



การสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น เพื่อศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน วิชา
ชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

CONSTRUCTION OF A FOUR-TIER DIAGNOSTIC TEST TO STUDY MISCONCEPTIONS
IN BIOLOGY REGARDING THE TOPIC OF CELL DIVISION FOR GRADE TEN
STUDENTS

ธีระวัฒน์ การะเกตุ

บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2561

การสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกที่ลำดับขั้น เพื่อศึกษามโนทัศน์ที่
คลาดเคลื่อน วิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4



ปฏิญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
การศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาการวิจัยและพัฒนาศักยภาพมนุษย์
คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

CONSTRUCTION OF A FOUR-TIER DIAGNOSTIC TEST TO STUDY
MISCONCEPTIONS IN BIOLOGY REGARDING THE TOPIC OF CELL
DIVISION FOR GRADE TEN STUDENTS



A Thesis Submitted in partial Fulfillment of Requirements
for MASTER OF EDUCATION (Research & Development on Human Potentials)

Faculty of Education Srinakharinwirot University

2018

Copyright of Srinakharinwirot University

ปฏิญานิพนธ์

เรื่อง

การสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกลำดับขั้น เพื่อศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน วิชาชีววิทยา
เรื่อง การแบ่งเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

ของ

ธีระวัฒน์ การะเกตุ

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาการวิจัยและพัฒนาศักยภาพมนุษย์
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปฏิญานิพนธ์

| | | | |
|---------------------------------------|---------------|---|---------|
| | ที่ปรึกษาหลัก | | ประธาน |
| (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัชย์ มีชาญ) | | (รองศาสตราจารย์ ดร.ไชยยศ ไพวิทยศิริธรรม) | |
| | ที่ปรึกษาร่วม | | กรรมการ |
| (อาจารย์ ดร.พนิดา ศกุนตนาค) | | (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตา ตุลย์เมธาการ) | |

| | |
|------------------|--|
| ชื่อเรื่อง | การสร้างแบบทดสอบวินิจัยหลายตัวเลือกส์ลำดับชั้น เพื่อศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน วิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 |
| ผู้วิจัย | ธีระวัฒน์ การะเกตุ |
| ปริญญา | การศึกษามหาบัณฑิต |
| ปีการศึกษา | 2561 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรัชย์ มีชาญ |

การวิจัยครั้งนี้มีความมุ่งหมายเพื่อสร้างแบบทดสอบวินิจัยหลายตัวเลือกส์ลำดับชั้น ในวิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 รวมทั้งตรวจสอบคุณภาพของแบบทดสอบวินิจัยหลายตัวเลือกส์ลำดับชั้น ในด้านความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา ความยาก อำนาจจำแนก และความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ และศึกษาการจำแนกกลุ่มแนวคิดและมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในวิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ รวมจำนวน 420 คน ในจังหวัดสมุทรปราการ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย 1) แบบทดสอบสำรวจ จำนวน 29 ข้อ มีลักษณะเป็นแบบทดสอบชนิดเติมคำตอบ พร้อมทั้งบอกเหตุผลของการตอบ 2) แบบทดสอบวินิจัยหลายตัวเลือกส์ลำดับชั้น จำนวน 24 ข้อ ลักษณะของแบบทดสอบเป็นแบบหลายตัวเลือกส์ลำดับชั้น ประกอบด้วยชั้นคำตอบ และชั้นเหตุผล โดยในแต่ละชั้นจะต้องระบุคะแนนความมั่นใจที่มีต่อคำตอบในชั้นคำตอบและชั้นเหตุผล โดยมีระดับความมั่นใจในการตอบ 4 ระดับ คือ 1 คาดเดา 2 ไม่มั่นใจ 3 มั่นใจ และ 4 มั่นใจมาก ผลการวิจัยปรากฏ ดังนี้ (1) แบบทดสอบวินิจัยหลายตัวเลือกส์ลำดับชั้น จำนวน 24 ข้อ มีค่าดัชนีความสอดคล้องของข้อสอบตั้งแต่ 0.71-1.00 โดยในชั้นคำตอบ (A tier) มีค่าความยากตั้งแต่ 0.18-0.68 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.13-0.62 และค่าความเชื่อมั่น (KR20) เท่ากับ 0.695 ในชั้นเหตุผล (R tier) มีค่าความยากตั้งแต่ 0.15-0.59 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.03-0.50 และค่าความเชื่อมั่น (KR20) เท่ากับ 0.520 (2) ผลการจำแนกกลุ่มแนวคิดและมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในวิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มขาดความรู้และกลุ่มที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน โดยพบมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่มากและเด่นชัด จำนวน 7 หัวข้อ ได้แก่ 1. ยีนบนโครโมโซม 2. ชุดของโครโมโซม 3. ชนิดของโครโมโซม 4. ลักษณะของโครโมโซมของมนุษย์ 5. เหตุการณ์ที่เกิดในไมโทซิส 6. ระยะ M-phase ของไมโทซิส และ 7. ระยะ M-phase ของไมโอซิส

คำสำคัญ : แบบทดสอบวินิจัยหลายตัวเลือกส์ลำดับชั้น, มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน, การแบ่งเซลล์

| | |
|----------------|--|
| Title | CONSTRUCTION OF A FOUR-TIER DIAGNOSTIC TEST TO STUDY MISCONCEPTIONS IN BIOLOGY REGARDING THE TOPIC OF CELL DIVISION FOR GRADE TEN STUDENTS |
| Author | TEERAWAT KARAKATE |
| Degree | MASTER OF EDUCATION |
| Academic Year | 2018 |
| Thesis Advisor | Assistant Professor Dr. Surachai Meechan , Ed.D |

The objectives of this study were as follows: (1) to develop a four-tier diagnostic test on biology conceptions on the topic of cell division among Grade Ten students; and (2) to validate the quality of a four-tier multiple choice diagnostic testing in terms of content validity, difficulty, discrimination index and the reliability of the test, as well as to classifying conceptions and misconceptions in biology on the topic of cell division. The sample consisted of four hundred and twenty Grade Ten students at in the Science-Mathematics program, in Samut Prakan. The tools used in this study consisted of the following: (1) a twenty-nine item write-up test with a reason tier; (2) a four-tier multiple choice diagnostic test. This test contained twenty-four items and each item contained four choices consisting of an answer tier (A tier), reason tier (R tier) In each tier were the confidence rating for the answer tier and reason tier on a four-point scale: 1 = Just guessing; 2 = Unconfident; 3 = Confident; and 4 = Very confident. The results were as follows: (1) the content validity of the twenty-four items on the four-tier multiple choice diagnostic test ranging from 0.71 – 1.00 for the A tier in which the difficulty index of the items ranged from 0.18 – 0.68 the discrimination index ranged from 0.13 – 0.62 and the reliability index (KR20) was 0.695. For the R tier, the difficulty index of the items ranged from 0.15 – 0.59 the discrimination index ranged from 0.03 – 0.50 and reliability index (KR20) was 0.520; (2) the classification of conceptions and misconceptions in biology on the topic of cell division showed that most students were classified by a lack of knowledge and the misconceptions of categories on the topic of cell division. Seven serious and obvious misconception were identified including: (1) genes on chromosomes; (2) chromosome pairs; (3) chromosome types; (4) human chromosome characteristics; (5) events in mitosis; (6) M-phase of mitosis; and (7) M-phases of meiosis.

Keyword : Four-Tier Diagnostic Test, Misconception, Cell division

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จขึ้นมาตามความคาดหวังของผู้วิจัยได้ เนื่องจากความเมตตากรุณาของอาจารย์ที่ปรึกษาที่มีพระคุณทั้งสองท่าน กราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัชย์ มีชาญ ที่กรุณารับเป็นที่ปรึกษาและเสียสละเวลาที่มีค่าในการให้คำปรึกษาเกี่ยวกับแนวทาง แนวคิด ในการทำปริญญาานิพนธ์ พร้อมทั้งตรวจแก้ไขความเรียบร้อย ตลอดจนคำแนะนำทางวิชาการที่ดีเสมอมา และอาจารย์ ดร.พนิดา ศกุนตนาค ที่กรุณารับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รวมทั้งให้คำแนะนำแนวทางในการทำปริญญาานิพนธ์ และปรับแก้ปริญญาานิพนธ์ นอกจากนี้ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ไชยยศ ไพวิทยศิริธรรม ที่กรุณารับเป็นประธานกรรมการสอบปากเปล่าปริญญาานิพนธ์ และได้ให้ข้อเสนอแนะ ข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงแก้ไขปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ และ ผศ.ดร.มนตา ตูลย์เมธากการ ที่กรุณารับเป็นกรรมการสอบปากเปล่าปริญญาานิพนธ์ และให้ข้อคิด คำแนะนำ แนวทางในการทำปริญญาานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการวิจัยได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากผู้บริหาร ผู้ช่วยฝ่ายวิชาการ และคณาจารย์ในโรงเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่างทุกท่าน ตลอดจนทั้งนักเรียน ที่ให้ความร่วมมือทุกคน ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่น้องนิสิตปริญญาโท สาขาวิชา การวิจัยและพัฒนาศึกษาศาสตร์มนุษยศาสตร์ 57 ทุกคน ที่ช่วยให้การเรียนเป็นไปด้วยความราบรื่นและสมบูรณ์ และขอบคุณทุกคนที่ให้ความสนใจในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสมอมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่สนับสนุนด้านการเรียนและคอยให้กำลังใจทุกเวลาที่เหนื่อยล้าจนเรียนผ่านพ้นไปได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณครูและอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ทั้งปวงให้แก่ผู้วิจัยทำให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้

ธีระวัฒน์ การะเกตุ

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ | ช |
| สารบัญตาราง..... | ญ |
| สารบัญรูปภาพ | ฎ |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| ภูมิหลัง | 1 |
| ความมุ่งหมายของงานวิจัย..... | 5 |
| ความสำคัญของงานวิจัย | 5 |
| ขอบเขตของงานวิจัย | 5 |
| นิยามศัพท์เฉพาะ..... | 6 |
| บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 8 |
| 1. ความรู้เกี่ยวกับมโนทัศน์..... | 9 |
| 1.1 ความหมายของมโนทัศน์ | 9 |
| 1.2 การสร้างมโนทัศน์ | 9 |
| 1.3 มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน | 10 |
| 2. แบบทดสอบวินิจจัย | 29 |
| 2.1 ความเป็นมาของแบบทดสอบวินิจจัย..... | 29 |
| 2.2 ความหมายของแบบทดสอบวินิจจัย | 29 |
| 2.3 ลักษณะของแบบทดสอบวินิจจัย..... | 31 |

| | |
|--|-----|
| 2.4 ประโยชน์ของแบบทดสอบวินิจฉัย | 32 |
| 2.5 เทคนิคการสร้างแบบทดสอบวินิจฉัย..... | 34 |
| 2.6 แบบทดสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์..... | 36 |
| 2.7 แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้น | 55 |
| 2.8 แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับขั้น..... | 62 |
| 2.9 แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับขั้น..... | 65 |
| 3. เกณฑ์การให้คะแนนแบบทดสอบวินิจฉัย..... | 69 |
| 3.1 เกณฑ์แบบทดสอบวินิจฉัยแบบปกติ..... | 70 |
| 3.2 เกณฑ์แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้น..... | 71 |
| 3.3 เกณฑ์แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่..... | 74 |
| 4. หลักสูตรแกนกลางการศึกษา 2551 สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์..... | 78 |
| 5. การตรวจสอบคุณภาพของแบบทดสอบวินิจฉัย..... | 82 |
| 5.1 ค่าความยากของแบบทดสอบ (Item Difficulty)..... | 82 |
| 5.2 ค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบ (Discrimination) | 83 |
| 5.3 ความเที่ยงตรงของแบบทดสอบ (Validity) | 84 |
| 5.4 ความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ (Reliability)..... | 85 |
| 6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมโนทัศน์และแบบทดสอบวินิจฉัย..... | 87 |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... | 137 |
| ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย | 137 |
| เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย | 142 |
| วิธีดำเนินการสร้างเครื่องมือและการเก็บรวบรวมข้อมูล..... | 159 |
| การวิเคราะห์ข้อมูล..... | 162 |
| การทดสอบเพื่อจำแนกกลุ่มแนวคิดและวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน | 163 |

| | |
|---|-----|
| สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล..... | 168 |
| บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล | 155 |
| สัญลักษณ์และอักษรย่อในการวิเคราะห์ข้อมูล | 155 |
| การเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล | 156 |
| ผลการวิเคราะห์ข้อมูล | 156 |
| 1. การทดสอบเพื่อสำรวจ..... | 156 |
| 2. การทดสอบเพื่อหาคุณภาพ..... | 171 |
| 3. การทดสอบเพื่อจำแนกกลุ่มแนวคิดและวิเคราะห์ห้มีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน | 177 |
| บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล ข้อเสนอแนะ | 205 |
| ความมุ่งหมายของงานวิจัย..... | 205 |
| ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง | 205 |
| เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย | 205 |
| การเก็บรวบรวมข้อมูล..... | 206 |
| การวิเคราะห์ข้อมูล..... | 207 |
| สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... | 207 |
| อภิปรายผล | 210 |
| ข้อเสนอแนะ | 219 |
| บรรณานุกรม | 253 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 264 |

สารบัญตาราง

หน้า

| | |
|---|-----|
| ตาราง 1 เครื่องมือวินิจฉัยที่ใช้ในงานวิจัยที่ศึกษาเพื่อระบุโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อน | 37 |
| ตาราง 2 แบบทดสอบแนวความคิดแบบเลือกตอบโดยทั่วไปในด้านวิทยาศาสตร์..... | 39 |
| ตาราง 3 แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ | 42 |
| ตาราง 4 แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้นด้านวิทยาศาสตร์ | 45 |
| ตาราง 5 การเปรียบเทียบแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น และแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้นในแง่ของการประเมินการขาดความรู้ | 46 |
| ตาราง 6 การเปรียบเทียบการตัดสินใจในแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น และแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้น..... | 47 |
| ตาราง 7 แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้นในด้านวิทยาศาสตร์..... | 48 |
| ตาราง 8 แสดงการเปรียบเทียบจุดแข็งและจุดอ่อนของวิธีการวินิจฉัยแบบต่าง ๆ | 50 |
| ตาราง 9 ตัวอย่างคำถามของวิธีการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนและการวิเคราะห์ผล | 52 |
| ตาราง 10 เกณฑ์การให้คะแนนแบบทดสอบชนิดตัวเลือก 2 ลำดับชั้น..... | 72 |
| ตาราง 11 การแพร่กระจายความถี่ของคำตอบของนักเรียนตามหมวดหมู่..... | 73 |
| ตาราง 12 การวิเคราะห์คะแนนเป็นรายข้อ ในชั้นคำตอบและชั้นเหตุผล | 73 |
| ตาราง 13 ค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือ และค่าสถิติที่ใช้ดังปรากฏในตาราง | 76 |
| ตาราง 14 ค่าความยาก ค่าอำนาจจำแนก CF CFC CFW CDQ ของในชั้นคำตอบ (A tier) ชั้นเหตุผล (R tier) และทั้งสองชั้น (B tier) | 77 |
| ตาราง 15 โรงเรียนในสังกัด สพม.6 ปีการศึกษา 2560 | 140 |
| ตาราง 16 กลุ่มตัวอย่าง ทั้ง 3 กลุ่ม รวมจำนวน 420 คน..... | 141 |
| ตาราง 17 โครงสร้างของแบบทดสอบ เรื่อง การแบ่งเซลล์ (Cell Division) | 144 |
| ตาราง 18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อหากับจุดประสงค์การเรียนรู้..... | 144 |

| | |
|---|-----|
| ตาราง 19 แสดงความสัมพันธ์ของเนื้อหา มโนทัศน์ และลักษณะโจทย์..... | 145 |
| ตาราง 20 แสดงตัวอย่างข้อสอบที่สอดคล้องกับเนื้อหาและจุดประสงค์การเรียนรู้..... | 150 |
| ตาราง 21 วิเคราะห์จุดบกพร่องและคำตอบในชั้นคำตอบและชั้นเหตุผลในแบบทดสอบสำรวจ | 157 |
| ตาราง 22 ผลการวิเคราะห์ค่าความยากและค่าอำนาจจำแนกชั้นเหตุผลและชั้นคำตอบ เพื่อหา คุณภาพรายข้อ | 172 |
| ตาราง 23 ค่าสถิติต่าง ๆ ของข้อสอบและแบบทดสอบก่อนการคัดเลือกข้อสอบ..... | 174 |
| ตาราง 24 วิเคราะห์จำนวนและร้อยละของการเลือกคำตอบถูกและคำตอบลวง..... | 174 |
| ตาราง 25 ค่าสถิติต่าง ๆ ของข้อสอบและแบบทดสอบฉบับสมบูรณ์..... | 177 |
| ตาราง 26 แสดงร้อยละของนักเรียนตามกลุ่มรหัสแนวคิด จำแนกตามขนาดโรงเรียน..... | 180 |
| ตาราง 27 แสดงร้อยละของนักเรียนในแต่ละกลุ่มแนวคิดที่เด่นชัด ทั้ง 4 แบบ จำแนกตามขนาด โรงเรียน..... | 185 |
| ตาราง 28 แสดงร้อยละของนักเรียนที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เด่นชัด จำแนกตามขนาดโรงเรียน | 187 |
| ตาราง 29 แสดงการเลือกตอบคำตอบที่ถูกต้องและคำตอบลวง การวิเคราะห์ความมั่นใจ | 190 |
| ตาราง 30 แสดงคะแนนความมั่นใจเฉลี่ยรวม (CF) คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยในคำตอบที่ถูกต้อง (CFC) คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยในคำตอบที่ผิด (CFW) และคะแนนความมั่นใจในการจำแนก (CDQ) ในชั้นคำตอบ (A tier) ชั้นเหตุผล (R tier) และทั้งสองชั้น (Both tier) จำแนกตามรายข้อ | 194 |
| ตาราง 31 ร้อยละของนักเรียน กำหนดตามกลุ่มแนวคิดต่าง ๆ และค่า CDQ ของชั้นคำตอบ ชั้น เหตุผล และทั้งสองชั้น (Both tier)..... | 196 |
| ตาราง 32 มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่มากและเด่นชัด ทั้งหมด 7 ข้อ..... | 197 |
| ตาราง 33 คำตอบของนักเรียนในชั้นคำตอบและชั้นเหตุผลเฉพาะข้อที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่ มากและเด่นชัด..... | 198 |
| ตาราง 34 สรุปมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่พบมากทั้งหมด 9 มโนทัศน์..... | 202 |

สารบัญรูปภาพ

หน้า

| | |
|--|-----|
| ภาพประกอบ 1 พัฒนาการของแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือก..... | 68 |
| ภาพประกอบ 2 ลำดับขั้นในการสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับขั้น | 159 |



บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

วิทยาศาสตร์มีความสำคัญอย่างยิ่งในสังคมโลกปัจจุบันและในอนาคต เพราะวิทยาศาสตร์อยู่ในชีวิตประจำวันของทุกคน วิทยาศาสตร์ทำให้คนได้พัฒนาความคิด ทำให้ความคิดเป็นเหตุเป็นผล คิดสร้างสรรค์ คิดวิเคราะห์ คิดวิจารณ์ ทั้งมีทักษะที่สำคัญในด้านการค้นคว้าหาความรู้ มีความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ สามารถตัดสินใจโดยใช้ข้อมูลหลากหลาย และประจักษ์พยานที่ตรวจสอบได้ วิทยาศาสตร์เป็นวัฒนธรรมของโลกสมัยใหม่ซึ่งเป็นสังคมแห่งการเรียนรู้ (Knowledge based society) ทุกคนจึงจำเป็นต้องได้รับการพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (Scientific literacy for all) เพื่อที่จะมีความรู้มีความเข้าใจในโลกธรรมชาติและเทคโนโลยีที่มนุษย์สร้างสรรค์ขึ้นและนำความรู้ไปใช้อย่างมีเหตุผล สร้างสรรค์ มีคุณธรรม ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไม่เพียงแต่นำมาใช้ในการพัฒนาคุณภาพชีวิตที่ดี แต่ยังช่วยให้คนมีความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้อง เกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ การดูแลรักษา ตลอดจนการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติอย่างสมดุลและยั่งยืน ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ได้มาด้วยความพยายามของมนุษย์ที่ใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (Scientific process) ในการสืบเสาะหาความรู้ (Scientific inquiry) การแก้ปัญหา โดยผ่านการสังเกตการณ์ สำนวจตรวจสอบ (Investigation) การศึกษาค้นคว้าอย่างเป็นระบบและการสืบค้นข้อมูล ทำให้เกิดองค์ความรู้ใหม่เพิ่มพูนตลอดเวลา ความรู้และกระบวนการดังกล่าวมีการถ่ายทอดต่อเนื่องกันเป็นเวลายาวนาน (กระทรวงศึกษาธิการ, 2546, น. 1; 2551, น. 92) ดังนั้น ทุกประเทศจึงจัดให้มีการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ตั้งแต่ระดับอนุบาลจนถึงอุดมศึกษา โดยจัดวิชาวิทยาศาสตร์เป็นวิชาพื้นฐานที่ทุกคนต้องเรียนเพื่อที่จะได้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับบทบาทหรืออิทธิพลของวิทยาศาสตร์ที่มีต่อตนเอง สังคม และประเทศชาติ ประชาชนได้มีความรู้ ความแตกฉาน ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ไพฑูริย์ สุขศรีงาม, 2533, น. 58-59)

บุคคลที่มีความรู้ทางวิทยาศาสตร์เป็นบุคคลที่สามารถใช้มันในทัศนและหลักการทางวิทยาศาสตร์เป็นพื้นฐานในการอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ และสามารถตัดสินใจโดยใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และวิธีคิดที่อยู่บนพื้นฐานของประจักษ์พยานทางวิทยาศาสตร์ เพื่อบุคคลและสังคมด้วยความรับผิดชอบได้ (American Association for the Advancement of Science, 1990) ความรู้และความเข้าใจในมนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์จึงเป็นพื้นฐานสำคัญที่

บุคคลใช้ในการอธิบายและทำนายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ซึ่งแสดงถึงการเป็นผู้ที่มีการรู้วิทยาศาสตร์ (National Science Education Standards (NSES), 1996, p. 22)

การจัดการศึกษาจำเป็นต้องมีจุดมุ่งหมายชัดเจน เพื่อช่วยกำหนดคุณลักษณะที่พึงประสงค์ของผู้สำเร็จการศึกษา การวัดและประเมินผลเข้ามามีบทบาทสำคัญในการตัดสินผลการเรียนรู้ของผู้เรียนว่าบรรลุผลสำเร็จตามจุดมุ่งหมายไว้หรือไม่ รวมถึงช่วยให้สารสนเทศอันเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงและพัฒนาการเรียนรู้ของผู้เรียนและการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของครูผู้สอน (ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556, น. 1) โดยบุคคลที่มีประสบการณ์การสอนในระดับประถมศึกษา มัธยมศึกษา หรือระดับมหาวิทยาลัย อาจเคยพบเจอกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในกระดาษข้อสอบของนักเรียน แม้กระทั่งหลังจากการเรียนการสอนในโรงเรียน สิ่งเหล่านี้ยังคงทนและทำให้สูญหายไปได้ยาก มีงานวิจัยจำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่อาจพบในบทความระดับนานาชาติ เช่น *International Journal of Science Education* และ *Journal of Research in Science Teaching* ที่เกี่ยวข้องกับภาระบุมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในสาขาวิทยาศาสตร์ จึงควรมีการศึกษาวิจัยมากขึ้นในทุกระดับ ไม่เพียงแต่เพื่อระบุมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเท่านั้น แต่ยังเพื่อแก้ไขมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนอีกด้วย (Bahar, 2003, p. 59)

แนวคิดวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับการแบ่งเซลล์ ได้รับการบรรจุไว้ในสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ สาระการเรียนรู้ที่ 1 สิ่งมีชีวิตกับกระบวนการดำรงชีวิต รายวิชาพื้นฐานชีววิทยา สำหรับนักเรียนที่เน้นวิทยาศาสตร์ บทที่ 3 การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมและความหลากหลายทางชีวภาพ ความเข้าใจในขั้นตอนและกระบวนการของการแบ่งเซลล์ ไม่เพียงแต่จะช่วยให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ดีในเรื่องนี้แล้ว แต่ยังส่งผลให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ที่ดีในเรื่องอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องด้วย เพราะการแบ่งเซลล์เป็นแนวคิดพื้นฐานในการเรียนรู้แนวคิดวิทยาศาสตร์อื่น ๆ ในวิชาชีววิทยา เช่น เซลล์ของสิ่งมีชีวิต การสืบพันธุ์และการเจริญเติบโตของสัตว์ การสืบพันธุ์ของพืชดอก การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม และเทคโนโลยีชีวภาพ (Banet & Ayuso, 2000; Lewis & Kattmann, 2004; กระทรวงศึกษาธิการ, 2546) แต่ยังคงพบว่า เนื้อหาเรื่องการแบ่งเซลล์เป็นแนวคิดวิทยาศาสตร์ที่ยากสำหรับนักเรียน นักเรียนจำนวนมากยังมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในเรื่องการแบ่งเซลล์ (Clark & Mathis, 2000; Dikmenli, 2010; Kindfield, 1991; Ozcan, Yildirim, & Ozgur, 2012)

การจัดการเรียนการสอนเพื่อให้ผู้เรียนบรรลุวัตถุประสงค์ตามเป้าหมายของหลักสูตรกระทรวงศึกษานั้น นอกจากการจัดการกระบวนการเรียนการสอนของครูแล้ว สิ่งที่ครูผู้สอนจะต้องให้ความสำคัญและต้องทำอย่างสม่ำเสมอควบคู่กันไปกับการจัดการเรียนการสอนคือ กระบวนการ

วัดและประเมินผล ซึ่งตั้งอยู่บนแนวคิดหลักการพื้นฐานสองประการคือ การประเมินเพื่อพัฒนาผู้เรียนและเพื่อตัดสินผลการเรียน (Education, 2008; กระทรวงศึกษาธิการ, 2539) ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่จะสามารถเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนให้สูงขึ้นได้ ครูผู้สอนจะต้องเอาใจใส่ หมั่นตรวจสอบดูแลข้อบกพร่องหรือจุดอ่อนในการเรียนการสอน ทั้งในส่วนที่เกิดจากผู้เรียนและตัวครูผู้สอนเอง โดยใช้วิธีการวัดผลและประเมินผล ด้วยเครื่องมือที่มีคุณภาพและได้มาตรฐาน ดังคำกล่าวที่ว่า “การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพ จำเป็นต้องมีกระบวนการในการแก้ไขข้อบกพร่องของผู้เรียนอย่างทันทั่วถึงและต่อเนื่อง” และการที่จะทราบว่าผู้เรียนมีจุดบกพร่องในเรื่องใด ผู้สอนจะต้องมีการวัดและประเมินผลทุกระยะด้วยการสอบวัด โดยใช้แบบทดสอบที่จะได้มาซึ่งข้อมูลที่บ่งบอกสภาพเด่นหรือด้อยทางการเรียนของนักเรียนในแต่ละเรื่องได้มากกว่าการสอบปกติ และแบบทดสอบที่สามารถให้ข้อมูลที่เป็นสารสนเทศเช่นนั้นได้ดี เรียกว่า แบบทดสอบวินิจฉัย (Diagnostic Tests) (Pattiyatani, 2010)

การศึกษาความเข้าใจ มโนทัศน์ หรือมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนนั้นมีวิธีการและเครื่องมือที่หลากหลาย ซึ่งโดยทั่วไปเครื่องมือประเมินมักเป็นแบบทดสอบวินิจฉัยที่สร้างได้หลายรูปแบบ ได้แก่ แบบสัมภาษณ์ แบบทดสอบชนิดเขียนตอบ แบบทดสอบหลายตัวเลือกทั่วไป แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้น แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้น แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น ซึ่งเครื่องมือแต่ละชนิดต่างก็มีทั้งข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน (Kilic & Saglam, 2009; วันเพ็ญ คำเทศ, 2560) กล่าวคือ แบบสัมภาษณ์จะให้ข้อมูลเชิงลึก แต่ใช้เวลามากทั้งยังวิเคราะห์ข้อมูลได้ยาก ต้องมีการฝึกอบรมเกี่ยวกับการสัมภาษณ์ และนักเรียนจะไม่ตอบคำถามอย่างอิสระหากไม่ไว้วางใจครูผู้สอน แบบทดสอบชนิดเขียนตอบ ให้โอกาสนักเรียนเขียนคำตอบด้วยภาษาของตนเอง นักเรียนอาจให้คำตอบใหม่ ๆ ที่มีประโยชน์แก่ผู้สอนที่คาดไม่ถึงมาก่อน แต่ก็ใช้เวลาในการวิเคราะห์คำตอบมาก การให้คะแนนทำได้ยาก และนักเรียนไม่สามารถเขียนคำตอบและเหตุผลได้อย่างชัดเจน แบบทดสอบหลายตัวเลือกทั่วไป เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพ เป็นรูปธรรม ง่ายต่อการใช้งาน ใช้ได้กับนักเรียนจำนวนมาก ตรวจคะแนนได้ง่าย แต่นำไปใช้ในการวัดทักษะพิสัยได้ไม่ดีนัก ไม่สามารถตรวจสอบแนวคิดของนักเรียนในเชิงลึก นักเรียนอาจให้คำตอบที่ถูกต้องด้วยเหตุผลที่ผิด (ผลบวกปลอม) หรือให้คำตอบที่ผิดด้วยเหตุผลที่ถูกต้อง (ผลลบปลอม) จุดอ่อนนี้ได้รับการแก้ไขโดยพัฒนาเป็นแบบทดสอบหลายตัวเลือกสองลำดับชั้น ซึ่งเป็นแบบทดสอบที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในกลุ่มแบบทดสอบหลายตัวเลือก โดยประกอบด้วยตัวเลือกตามเนื้อหาในขั้นแรกหรือขั้นคำตอบ (ขั้น Answer หรือขั้น A) และหลักการและเหตุผลที่เกี่ยวข้องกับคำตอบในขั้นที่สองหรือขั้นเหตุผล (ขั้น Reason หรือขั้น R) แบบทดสอบ

วินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นมีจุดแข็งทั้งหมดของแบบทดสอบหลายตัวเลือกทั่วไป ให้โอกาสในการตัดสินสัดส่วนของผลบวกปลอมและผลลบปลอม แต่ก็มีข้อจำกัดคือไม่สามารถแยกคำตอบที่ถูกต้องจากความเข้าใจที่ถูกต้องออกจากคำตอบที่ถูกต้องจากการเดาได้ รวมทั้งไม่สามารถแยกคำตอบที่ผิดจากการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนออกจากคำตอบที่ผิดจากการขาดความรู้ได้ จึงมีการพัฒนาเป็นแบบทดสอบหลายตัวเลือกสามลำดับชั้น โดยมีการเพิ่มในส่วนของระดับความมั่นใจ (Confidence) ในคำตอบของคำถามและเหตุผลของคำตอบ แบบทดสอบหลายตัวเลือกสามลำดับชั้นมีจุดแข็งทั้งหมดของแบบทดสอบหลายตัวเลือกสองลำดับชั้น และประเมินได้ว่าคำตอบในสองชั้นแรกเป็นผลมาจากมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนหรือการขาดความรู้ แต่มีข้อจำกัดคือนักเรียนจะต้องแสดงคะแนนความมั่นใจของคำตอบในชั้นคำตอบ (ชั้น A) และชั้นเหตุผล (ชั้น R) เพียงหนึ่งค่า จึงไม่รู้ชัดว่านักเรียนมีระดับความมั่นใจในสองชั้นต่างกันหรือไม่ หรือคะแนนความมั่นใจนั้นเป็นคะแนนความมั่นใจในส่วนใด

ดังนั้นจึงมีการพัฒนาต่อเป็นแบบทดสอบหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น เพื่อแสดงระดับความมั่นใจทั้งสองชั้น ซึ่งก็คือชั้นคำตอบและชั้นเหตุผล (ชั้น A และชั้น R) แยกออกจากกัน เพื่อตรวจสอบมโนทัศน์และความเข้าใจของนักเรียนในเรื่องนั้น ๆ อย่างละเอียดถี่ถ้วน และเชื่อว่าระดับความมั่นใจที่ดีควรสูงเมื่อคำตอบถูกต้อง และความมั่นใจควรต่ำเมื่อไม่แน่ใจในคำตอบนั้นหรือคำตอบนั้นผิด โดยหากคำตอบนั้นผิดแต่มีระดับความมั่นใจในคำตอบสูง แสดงว่านักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่แท้จริง (Genuine misconception) หากคำตอบนั้นผิดและมีระดับความมั่นใจในการตอบต่ำ แสดงว่านักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนปลอม (Spurious misconception) แบบทดสอบหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้นจึงมีจุดแข็งทั้งหมดของแบบทดสอบหลายตัวเลือกสามลำดับชั้น จึงสามารถประเมินมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนและการขาดความรู้ได้โดยไม่มีคามผิดพลาด (Caleon & Subramaniam, 2010; Gurel, Eryilmaz, & McDermott, 2015) แต่แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้นยังคงมีจำนวนน้อยมาก และไม่เพียงพอในวิทยาศาสตร์ทุกด้าน ไม่ว่าจะเป็นวิชาฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยา (Gurel et al, 2015)

จากเหตุผลดังกล่าวนี้ทำให้ผู้วิจัยสนใจที่สร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น วิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เพื่อจะได้มีแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้นที่สามารถนำไปทดสอบกับนักเรียน หลังจากเรียนจบในเนื้อหา โดยมีจุดหมายเพื่อค้นหาจุดบกพร่องหรือมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนแต่ละคน และค้นหาสาเหตุของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนนั้น พร้อมทั้งสามารถแสดงระดับความมั่นใจในการตอบของนักเรียนได้ เพื่อแสดงมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่

แท้จริง ซึ่งแก้ไขได้ยาก และมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนปลอม สามารถแก้ไขได้ง่ายกว่า ข้อมูลเหล่านี้สามารถใช้เป็นสารสนเทศประกอบการแก้ไขปรับปรุง ซ่อมเสริมได้ถูกต้องและตรงจุดอย่างมีประสิทธิภาพ มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนต่าง ๆ ที่ค้นพบจะนำไปสู่การปรับปรุงการเรียนการสอน และใช้สอนซ่อมเสริมให้แก่นักเรียนที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนได้ตรงจุด ตลอดจนนำไปใช้ในการพยากรณ์ระดับผลการเรียนและความสำเร็จในการเรียนเนื้อหาเดียวกันในรายวิชาที่ต้องเรียนในระดับสูงขึ้น อันจะส่งผลให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทางวิทยาศาสตร์สูงขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาประเทศชาติต่อไป

ความมุ่งหมายของงานวิจัย

1. เพื่อสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกลำดับชั้น ในวิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4
2. เพื่อตรวจสอบคุณภาพของแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกลำดับชั้น ในด้านความยาก อำนาจจำแนก ความเชื่อมั่น และความเที่ยงตรงของแบบทดสอบ
3. เพื่อศึกษาการจำแนกกลุ่มแนวคิดและวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในวิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 จากแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกลำดับชั้น

ความสำคัญของงานวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้ทำให้ได้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกลำดับชั้น วิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่มีคุณภาพ เพื่อช่วยให้ครูผู้สอนใช้ในการค้นหาจุดบกพร่องหรือมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในการเรียนของนักเรียนในแต่ละเนื้อหาย่อย ๆ และเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุง แก้ไข กระบวนการจัดการเรียนการสอนหรือจัดสอนซ่อมได้ตรงจุด เพื่อให้ นักเรียนประสบความสำเร็จในการเรียนต่อไป

ขอบเขตของงานวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2560 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จำนวน 4,200 คน จากโรงเรียน 25 โรงเรียนในจังหวัดสมุทรปราการ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 6

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2560 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ รวมจำนวน 420 คน จากโรงเรียน 9 โรงเรียน ในจังหวัดสมุทรปราการ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 6

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. มโนทัศน์ หมายถึง ความคิด ความเข้าใจในแต่ละบุคคล โดยเกี่ยวข้องกับข้อความซึ่งแสดงถึงเป้าหมายหรือจุดประสงค์ของสิ่งที่ต้องการเรียนรู้ สามารถสรุปลักษณะร่วมของสิ่งต่าง ๆ เข้าด้วยกันหรือสามารถแยกแยะความแตกต่างให้แยกย่อย ๆ ออกไป โดยการนำเอาการรับรู้มาสัมพันธ์กับประสบการณ์แล้วใช้ลักษณะร่วมของสิ่งเร้านั้นประมวลเข้าด้วยกันให้เป็นข้อสรุปหรือคำจำกัดความของสิ่งนั้น

2. มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน หมายถึง ความเข้าใจหรือความเชื่อที่ได้มาจากแนวความคิดหรือความรู้ที่ไม่ถูกต้อง ความรู้ที่ไม่สมบูรณ์ คลุมเครือ ความคิดสำคัญหรือความคิดรวบยอดที่แตกต่างไปจากความเป็นจริง และเป็นความคิดที่ต่างไปจากแนวคิดที่ได้รับการยอมรับกันในหลักทฤษฎี อาจได้มาจากประสบการณ์ที่ไม่ถูกต้อง ไม่ชัดเจน ของแต่ละบุคคลนั้น ๆ

3. แบบทดสอบสำรวจ หมายถึง แบบทดสอบอัตนัยชนิดเติมคำตอบลงในช่องว่างที่เว้นไว้ พร้อมทั้งบอกเหตุผลของการตอบ จำนวน 29 ข้อ วิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ โดยยึดตามจุดประสงค์การเรียนรู้และเนื้อหา เพื่อสำรวจและรวบรวมคำตอบที่ผิดหรือมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนต่าง ๆ ในแต่ละข้อ เพื่อใช้สร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับขั้น

4. แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับขั้น หมายถึง แบบทดสอบที่สร้างขึ้นเพื่อศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในการเรียนวิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 24 ข้อ ลักษณะของแบบทดสอบเป็นแบบปรนัยแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนการตอบ คือ 1. ขึ้นคำตอบ 2. ขึ้นความมั่นใจส่วนคำตอบ 3. ขึ้นเหตุผล และ 4. ขึ้นความมั่นใจส่วนเหตุผล โดยขึ้นคำตอบ (ขึ้น Answer หรือ ขึ้น A) และขึ้นเหตุผล (ขึ้น Reason หรือขึ้น R) ข้อคำถามจะเป็นคำถามที่มาจากแบบทดสอบสำรวจ ตัวลวงได้จากคำตอบผิดจากแบบทดสอบสำรวจ และบอกสาเหตุการตอบในแต่ละตัวลวง เพื่อใช้ในการวินิจฉัยจุดบกพร่องในการตอบของนักเรียน โดยในแต่ละขั้นจะต้องระบุคะแนนความมั่นใจ (Confidence) ที่มีต่อคำตอบทั้งในขั้นคำตอบ (ขึ้น Answer หรือ ขึ้น A) และขึ้นเหตุผล (ขึ้น Reason หรือขึ้น R) โดยมีระดับความมั่นใจในการตอบ 4 ระดับ คือ 1 = คาดเดา 2 = ไม่มั่นใจ 3 = มั่นใจ และ 4 = มั่นใจมาก เพื่อตรวจสอบมโนทัศน์และความเข้าใจของนักเรียนในเรื่องนั้น ๆ อย่างละเอียดถี่ถ้วน และเชื่อว่าระดับความมั่นใจที่ดีควรสูงเมื่อคำตอบถูกต้อง และความมั่นใจควรต่ำเมื่อไม่แน่ใจใน

คำตอบนั้นหรือคำตอบนั้นผิด โดยหากคำตอบนั้นผิดแต่มีระดับความมั่นใจในคำตอบสูง แสดงว่านักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่แท้จริง (Genuine misconception) หากคำตอบนั้นผิดและมีระดับความมั่นใจในการตอบต่ำ แสดงว่านักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนปลอม (Spurious misconception)

5. คะแนนความมั่นใจ หมายถึง คะแนนความมั่นใจของแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น โดยในทุกข้อของแบบทดสอบจะมีคะแนนความมั่นใจในชั้นคำตอบและชั้นเหตุผล คะแนนความมั่นใจจะเรียงคะแนนจากความมั่นใจน้อยที่สุดไปหาความมั่นใจมากที่สุด (1 = คาดเดา 2 = ไม่มั่นใจ 3 = มั่นใจ และ 4 = มั่นใจมาก) จากนั้นทำการคำนวณความมั่นใจสำหรับทุกข้อ ดังนี้

5.1 คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยรวม (Mean confidence of students for tier or item : CF)

5.2 คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยในคำตอบที่ถูกต้อง (Mean confidence of students who gave correct responses for tier or item : CFC)

5.3 คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยในคำตอบที่ผิด (Mean confidence of students who gave incorrect responses for tier or item : CFW)

5.4 คะแนนความมั่นใจในการจำแนก (Confidence discrimination quotient : CDQ)

6. การจำแนกกลุ่มแนวคิดของนักเรียน หมายถึง กลุ่มแนวคิดของนักเรียนตามรหัสคำตอบของนักเรียน ซึ่งแบ่งด้วยแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น โดยแบ่งกลุ่มแนวคิดของนักเรียนตามรหัสคำตอบทั้ง 4 ส่วน คือ คำตอบของคำถาม (A tier) ระดับความมั่นใจในคำตอบของคำถาม (CA tier) เหตุผลของคำตอบ (R tier) และระดับความมั่นใจในเหตุผลของคำตอบ (CR tier) โดยจำแนกกลุ่มแนวคิดของนักเรียนออกเป็น 4 กลุ่ม คือ

6.1 กลุ่มที่มีแนวคิดที่ถูกต้อง (Scientific knowledge : SK)

6.2 กลุ่มที่ขาดความมั่นใจในความรู้ (Not confident in knowledge : NCK)

6.3 กลุ่มที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (Misconception : M)

6.4 กลุ่มที่ขาดความรู้ (Lack of knowledge : LK)

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสร้างแบบทดสอบวินิจจัยหลายตัวเลือกี่ลำดับชั้นเพื่อศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนวิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าเอกสารต่าง ๆ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในหัวข้อต่อไปนี้

1. ความรู้เกี่ยวกับมโนทัศน์
 - 1.1 ความหมายของมโนทัศน์
 - 1.2 การสร้างมโนทัศน์
 - 1.3 มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน
2. แบบทดสอบวินิจจัย
 - 2.1 ความเป็นมาของแบบทดสอบวินิจจัย
 - 2.2 ความหมายของแบบทดสอบวินิจจัย
 - 2.3 ลักษณะของแบบทดสอบวินิจจัย
 - 2.4 ประโยชน์ของแบบทดสอบวินิจจัย
 - 2.5 เทคนิคการสร้างแบบทดสอบวินิจจัย
 - 2.6 ภาพรวมของแบบทดสอบวินิจจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์
 - 2.7 แบบทดสอบวินิจจัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้น
 - 2.8 แบบทดสอบวินิจจัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้น
 - 2.9 แบบทดสอบวินิจจัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น
3. เกณฑ์การให้คะแนนแบบทดสอบวินิจจัย
4. หลักสูตรแกนกลางการศึกษา 2551 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
5. การตรวจสอบคุณภาพของแบบทดสอบวินิจจัย
 - 5.1 ค่าความยากของแบบทดสอบ
 - 5.2 ค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบ
 - 5.3 ความเที่ยงตรงของแบบทดสอบ
 - 5.4 ความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมโนทัศน์และแบบทดสอบวินิจจัย

1. ความรู้เกี่ยวกับมโนทัศน์

1.1 ความหมายของมโนทัศน์

“มโนทัศน์” มาจากคำที่เป็นภาษาอังกฤษว่า “Concept” ซึ่งมีผู้ใช้คำอื่นในความหมายเดียวกันนี้อีกมาก เช่น ความคิดรวบยอด สังกัป มโนคติ และ มโนภาพ ได้มีผู้ให้ความหมายของมโนทัศน์ไว้ต่าง ๆ กัน ดังนี้

จำนง พรายแย้มแซ (2529, น. 106) สรุปความหมายของคำว่ามโนทัศน์ว่า มโนทัศน์คือข้อความซึ่งแสดงถึงแก่นหรือเป้าหมายของสิ่งที่ต้องการเรียนรู้ ซึ่งสามารถจำแนกแยกแยะความแตกต่าง (Discrimination) ขององค์ประกอบย่อยออกไป หรือรวบรวมองค์ประกอบย่อย ๆ ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงเข้ามาสรุปรวม (Generalization) เป็นกลุ่มหรือพวกเดียวกันได้

ปรียาพร วงศ์อนุตรโรจน์ (2534, น. 103) สรุปความหมายของมโนทัศน์ว่าเป็นการสรุปจากการรับรู้ของเราที่มีต่อสิ่งเร้าที่มีคุณลักษณะต่าง ๆ ร่วมกันอยู่เป็นการรวบรวมสิ่งที่คล้ายคลึงกันเข้ามารวมกันเป็นรูปแบบอันเดียวกัน เช่น หนังสือหมายรวมตั้งแต่พจนานุกรมจนถึงหนังสือการ์ตูน

ภพ เลหาไพบูลย์ (2534, น. 3) ให้ความหมายว่า มโนทัศน์เป็นเรื่องของแต่ละบุคคลหนึ่ง บุคคลใด สังเกตวัตถุ หรือปรากฏการณ์ต่าง ๆ จะทำให้เกิดการรับรู้ บุคคลนั้นจะนำการรับรู้นี้มาสัมพันธ์กับ ประสบการณ์เดิมของเขาทำให้เกิดมโนทัศน์ซึ่งเป็นความเข้าใจเกี่ยวกับวัตถุหรือปรากฏการณ์นั้น และทำให้เขามีความรู้ขึ้น

กล่าวโดยสรุป มโนทัศน์ หมายถึง ความคิดรวบยอดหรือความเข้าใจของแต่ละบุคคล โดยเกี่ยวกับข้อความ ซึ่งแสดงถึงเป้าหมายหรือจุดประสงค์ของสิ่งที่ต้องการเรียนรู้ สามารถสรุปรวมสิ่งต่าง ๆ ที่มีลักษณะร่วมกันเข้าด้วยกันหรือสามารถแยกแยะความแตกต่างให้ย่อย ๆ ออกไป โดยการนำเอาการรับรู้มาสัมพันธ์กับประสบการณ์แล้วใช้ลักษณะร่วมของสิ่งเร้านั้นประมวลเข้าด้วยกันให้เป็นข้อสรุปหรือคำจำกัดความของสิ่งนั้น ๆ ได้

1.2 การสร้างมโนทัศน์

การเรียนรู้มโนทัศน์ของผู้เรียนนั้น ผู้เรียนมักต้องสร้างจินตนาการได้ ความสามารถในการสร้าง จินตนาการเป็นการนำไปสู่ความเข้าใจ ซึ่งความเข้าใจของแต่ละคนไม่เท่ากันและไม่เหมือนกัน ผู้เรียนจะสามารถสร้างมโนทัศน์ได้ก็ต่อเมื่อเขาสามารถแยกแยะ และสามารถสรุปรวบยอด การแยกแยะ (Discrimination) คือคุณสมบัติของวัตถุหรือเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นว่าหมายถึงอะไรเป็นอย่างไร การสรุปรวบยอด (Generalization) หมายถึงการเอาสิ่งต่าง ๆ ที่เป็นตัวประกอบร่วมในบรรดาสิ่งต่าง ๆ ที่เราจัดเข้าเป็นหมู่ เป็นพวกของมโนทัศน์ร่วมกันมาสัมพันธ์กันเป็นหมวดหมู่

การสร้างมโนทัศน์ เป็นกระบวนการทางสมอง ซึ่งจะต้องประกอบด้วย การรับรู้ ความจำ การคิด หาเหตุผล และการจัดระเบียบของความคิดให้เป็นหมวดหมู่ การหาคุณลักษณะร่วม ผู้เรียนจะต้องได้รับความรู้ ผ่านการสัมผัสของอวัยวะสัมผัส และระบบประสาทส่วนกลางเป็นผู้ทำหน้าที่จัดระเบียบประสาน แยกแยะความแตกต่าง และเลือกความรู้ที่เข้าสู่สมองทำให้เกิดการรับรู้ขึ้น ภายหลัง การรับรู้ช่วยให้เกิดการแยกแยะความแตกต่างและสรุปรวบยอดได้ (ปรียาพร วงศ์อนุตรโรจน์, 2534, น. 27-28)

กล่าวโดยสรุป การสร้างมโนทัศน์ เป็นการที่ผู้เรียนสามารถแยกแยะ สรุปรวบยอด การสรุปรวบยอดและจัดเป็นหมวดหมู่ ซึ่งกระบวนการทางสมองโดยจะแตกต่างกันในแต่ละบุคคล ประกอบด้วย การรับรู้ ความจำ ประมวลผล และสรุปรวบยอดได้

1.3 มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

มีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อการเรียนรู้และผลการเรียนของนักเรียนในบริบทของการศึกษา โดยจำแนกได้เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอาจารย์ เช่น ความรู้ความสามารถทางวิชาชีพ รูปแบบการสอน ทักษะการคิด ความเห็นอกเห็นใจ ทักษะทางภาษา เป็นต้น นักเรียน เช่น ความสามารถ ทักษะการคิด ความต้องการ รูปแบบการเรียนรู้ ขนาดของหน่วยความจำ และรูปแบบการสร้างแรงบันดาลใจ เป็นต้น และอื่น ๆ เช่น สถานการณ์ทางกายภาพ วิธีการประเมินผล และปัจจัยทางสังคมวัฒนธรรม มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเรียนรู้ ซึ่งอาจเกิดขึ้นก่อนการเข้าเรียนในหลักสูตรใด ๆ หรือถูกกระตุ้นในชั้นตอนใด ๆ ของการศึกษาในโรงเรียน มีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อการเรียนรู้และผลการเรียนของนักเรียนในบริบทของการศึกษา โดยจำแนกได้เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอาจารย์ เช่น ความรู้ความสามารถทางวิชาชีพ รูปแบบการสอน ทักษะการคิด ความเห็นอกเห็นใจ ทักษะทางภาษา เป็นต้น นักเรียน เช่น ความสามารถ ทักษะการคิด ความต้องการ รูปแบบการเรียนรู้ ขนาดของหน่วยความจำ และรูปแบบการสร้างแรงบันดาลใจ เป็นต้น และอื่น ๆ เช่น สถานการณ์ทางกายภาพ วิธีการประเมินผล และปัจจัยทางสังคมวัฒนธรรม มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเรียนรู้ ซึ่งอาจเกิดขึ้นก่อนการเข้าเรียนในหลักสูตรใด ๆ หรือถูกกระตุ้นในชั้นตอนใด ๆ ของการศึกษาในโรงเรียน (Bahar, 2003, p. 56)

ผลการวิจัยทั้งระดับชาติและระดับนานาชาติ ในด้านการศึกษาชีววิทยา โดยสิ่งที่อ้างว่าเป็นความรู้ 8 คำอ้าง เกี่ยวกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน สามารถสรุปได้ดังนี้ (Bahar, 2003, p. 56-57; อ้างอิงจาก Wandersee, Mintzes & Novak, 1994)

1. นักเรียนได้รับการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในโรงเรียน ที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับวัตถุและเหตุการณ์ตามธรรมชาติหลายประการ
2. มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่นักเรียนได้เรียนรู้ในวิทยาศาสตร์ในโรงเรียนนั้นมากกว่าอายุ ความสามารถ เพศ และขอบเขตทางวัฒนธรรม
3. มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนนั้นอยู่คงทนและไม่สามารถทำให้สูญหายไปได้อย่างโดยกลยุทธ์การสอนโดยทั่วไป
4. มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมักเกิดขึ้นพร้อมกับคำอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติที่นักวิทยาศาสตร์และนักปรัชญารุ่นเก่าสอนเอาไว้
5. มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมีแหล่งกำเนิดมาจากประสบการณ์ส่วนตัว รวมถึงการสังเกตและการรับรู้โดยตรง วัฒนธรรมและภาษาในกลุ่มเพื่อน รวมถึงคำอธิบายและสื่อการสอนของอาจารย์
6. อาจารย์มักมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เหมือนกับนักเรียนของตน
7. ความรู้เดิมของนักเรียนมีความสัมพันธ์กับความรู้ที่นำเสนอในการเรียนการสอนในโรงเรียน เป็นผลให้เกิดผลลัพธ์การเรียนรู้ที่ไม่ตั้งใจ
8. วิธีการเรียนการสอนที่เอื้อต่อการเปลี่ยนแปลงแนวคิดเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในชั้นเรียน

Bahar (2003, p. 56) กล่าวว่า มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน คือ แนวคิดที่มีการตีความและความหมายที่แปลกในข้อสรุปของนักเรียนที่ไม่ถูกต้องในทางวิทยาศาสตร์ ในบทความวิจัย มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนยังหมายถึง ความเชื่อที่ไร้เดียงสา ความคิดที่ผิดพลาด การรับรู้ล่วงหน้า วิทยาศาสตร์แบบส่วนตัว แหล่งของความผิดพลาด ต้นแบบความเป็นจริงส่วนตัว เหตุผลที่เกิดขึ้นเอง ข้อผิดพลาดถาวร สามัญสำนึก ความรู้ที่เกิดขึ้นเอง กรอบมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และ วิทยาศาสตร์สมัยเด็ก แม้ว่าคำว่ามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (misconception) จะพบได้บ่อยในบทความวิจัย แต่ในปัจจุบันนักวิจัยบางท่าน นิยมใช้คำว่ามโนทัศน์ทางเลือก (Alternative conception) นักวิจัยเหล่านี้ระบุว่าคำว่ามโนทัศน์ทางเลือกหมายถึงคำอธิบายจากประสบการณ์ที่ผู้เรียนรู้สร้างขึ้นเพื่อให้สามารถเข้าใจปรากฏการณ์ธรรมชาติและวัตถุต่าง ๆ นอกจากนี้ยังเป็นการเคารพสติปัญญาของผู้เรียนรู้ที่ยึดถือแนวคิดเหล่านั้น และควรใช้คำว่ามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนแทนมโนทัศน์ทางเลือก เพื่อไม่ให้เกิดความสับสน เนื่องจากเหตุผลดังนี้ คือ เป็นคำที่นักวิจัยจำนวนมากยังคงใช้กัน ประชาชนคุ้นเคยกับคำนี้มากกว่า และง่ายต่อการสื่อว่าแนวคิดอาจมีความหมายตรงกันข้ามกับแนวคิดวิทยาศาสตร์ในการศึกษาวิทยาศาสตร์ในปัจจุบัน

ศิริเดช สุชีวะ (2538, น. 1) กล่าวว่า ในการจัดการเรียนการสอน ครูต้องการให้นักเรียนบรรลุวัตถุประสงค์การเรียนรู้ที่กำหนดไว้ทุกคน แต่ในความเป็นจริงจะพบว่า แม้นักเรียนจะได้รับการสอนจากครูคนเดียวกันและในเวลาเดียวกันก็ยังคงมีนักเรียนส่วนหนึ่งที่ไม่สามารถบรรลุวัตถุประสงค์การเรียนรู้ตามที่กำหนดได้ อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของนักเรียน ทั้งทางด้านสติปัญญา ความถนัด ความสนใจ รวมทั้งความบกพร่องของการจัดการเรียนการสอนของครู ซึ่งจะนำไปสู่ปัญหาสำคัญ ได้แก่ การที่นักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (Misconceptions) มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนอาจเกิดขึ้นก่อนหรือระหว่างการเรียนรู้ มีผลทำให้นักเรียนสอบไม่ผ่านหรือผ่านแต่ได้คะแนนไม่ดี หดกำลังใจที่จะเรียนรู้และมีทัศนคติที่ไม่ดีต่อวิชาที่เรียน นอกจากนี้มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนยังเป็นอุปสรรคต่อการเรียนรู้มโนทัศน์ที่สูงขึ้นด้วย หากครูสามารถวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนแต่ละคนภายหลังการเรียนรู้ในแต่ละเนื้อหา และให้ข้อมูลป้อนกลับเพื่อให้นักเรียนมีมโนทัศน์ที่ถูกต้องก่อนที่จะเรียนเรื่องต่อไปจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อตัวนักเรียนเองและการปรับปรุงการจัดการเรียนการสอนของครู เพื่อให้เกิดผลสัมฤทธิ์กับผู้เรียนมากที่สุดอันเป็นการใช้กระบวนการวัดและประเมินผลที่คุ้มค่าและเกิดประโยชน์อย่างสูงต่อผู้เรียน

การวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมีหลายวิธี เช่น การวินิจฉัยด้วยการสังเกตและการสอบถามนักเรียนเป็นรายบุคคล การวินิจฉัยจากการแสดงวิธีทำในแบบฝึกหัดหรือแบบสอบอัตนัย การวินิจฉัยด้วยแบบสอบวินิจฉัย การวินิจฉัยด้วยดัชนีบ่งชี้ความผิดปกติของแผนการตอบ และการวินิจฉัยด้วยวิธีการ Rule space ของทาทาซุโอะกะ (ศิริเดช สุชีวะ, 2538, น. 2-9)

1. การวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนด้วยการสังเกตและการสอบถามนักเรียนเป็นรายบุคคล วิธีการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่ใช้ในระยะแรก คือ การสังเกตและการสอบถามนักเรียนเป็นรายบุคคล วิธีนี้เป็นวิธีที่ไม่เป็นทางการ ครูผู้สอนมีทักษะในการสังเกตและการตั้งคำถามเพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ได้ผลดีในกรณีที่เป็นนักเรียนกลุ่มเล็ก และครูมีความใกล้ชิดกับนักเรียน หากครูมีความชำนาญในเนื้อหาและการในสอนด้วยแล้ว วิธีนี้ก็ยังมีโอกาสจะให้ผลการวินิจฉัยที่ตรงความเป็นจริงสูง แต่ในปัจจุบันแม้จะใช้วิธีการนี้ในการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน แต่ก็เป็นการใช้อย่างไม่เป็นทางการ เพราะความไม่เหมาะสมเนื่องจากต้องใช้เวลาในการวินิจฉัยค่อนข้างมาก อีกทั้งจำนวนนักเรียนและจำนวนห้องเรียนที่ครูแต่ละคนต้องรับผิดชอบมีมากขึ้น ทำให้ไม่สะดวกสำหรับครู ด้วยความจำกัดของเวลาที่กำหนดไว้สำหรับการเรียนแต่ละเนื้อหาและเวลาที่ครูต้องปฏิบัติ ภาระงานที่ได้รับมอบหมายนอกเหนือจากงานสอน

2. การวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนจากการแสดงวิธีทำของนักเรียนในแบบฝึกหัดหรือแบบสอบอัตนัย วิธีการนี้ใช้ได้ดีทั้งในการวินิจฉัยมโนทัศน์พื้นฐานและมโนทัศน์ที่

ซับซ้อน เช่นวิชาคณิตศาสตร์ที่มีการแสดงวิธีทำอย่างละเอียด โดยครูทำการวินิจฉัยชั้นในทันทีที่คลาดเคลื่อนจากการแสดงวิธีทำแต่ละขั้นตอน และให้คะแนนตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ รายงานผลเป็นความถี่ของวิธีคิดที่ผิดแบบต่าง ๆ พร้อมกับเรียงลำดับความคิดที่ผิดตามความถี่ที่พบจากมากไปหาน้อย การวินิจฉัยชั้นในทันทีที่คลาดเคลื่อนจากการแสดงวิธีทำในแบบสอบอัตนัยนี้ ครูผู้วินิจฉัยจะต้องเชี่ยวชาญในเรื่องนั้นเป็นอย่างดี และเวลาที่ใช้ในการสอบ การตรวจ และการวินิจฉัยค่อนข้างมาก ทำให้เป็นข้อจำกัดของวิธีการนี้ ในสภาพปัจจุบันครูแทบไม่มีเวลาแม้แต่จะตรวจการบ้านนักเรียนด้วยตนเองเป็นรายบุคคล แต่จะให้นักเรียนเปลี่ยนกันตรวจตามที่ครูเฉลยและถ้าหากนักเรียนลอกการบ้านมาส่ง ครูก็ยังไม่สามารถวินิจฉัยชั้นในทันทีที่คลาดเคลื่อนจากการบ้านหรือแบบฝึกหัดได้เลย

3. การวินิจฉัยชั้นในทันทีที่คลาดเคลื่อนด้วยแบบสอบวินิจฉัย โดยวิธีการนี้ใช้กันมาเป็นเวลานานในวงการวัดผลการศึกษา แบบสอบวินิจฉัยเป็นแบบสอบที่สร้างขึ้นเพื่อหาจุดบกพร่อง จุดอ่อนหรือจุดด้อยของผู้เรียน พร้อมหาสาเหตุว่าผู้เรียนมีผลการเรียนด้อยมาจากเหตุใด แบบสอบวินิจฉัยแบบสอบวินิจฉัยนั้นนอกจากจะเป็นประโยชน์ในทางวิชาการแล้ว ยังใช้เป็นประโยชน์ในการการตรวจสอบความผิดปกติทางร่างกายและจิตใจด้วย โดยแบบสอบวินิจฉัยมีการนำมาใช้และพัฒนาอย่างต่อเนื่อง แต่ยังคงมีน้อยในประเทศไทย ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของการทำวิจัยที่เป็นวิทยานิพนธ์ของนิสิตระดับบัณฑิตศึกษา โดยแบ่งงานวิจัยเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เป็นงานวิจัยที่เน้นกระบวนการสร้างแบบสอบวินิจฉัย และกลุ่มที่เป็นงานวิจัยที่เน้นวิเคราะห์หมักหมมทันทีที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน และการสร้างแบบสอบวินิจฉัยที่มีคุณภาพนั้นเป็นเรื่องยาก เพราะผู้สร้างต้องมีประสบการณ์และความรู้ที่รู้ว่านักเรียนส่วนใหญ่มีหมักหมมทันทีที่คลาดเคลื่อนแบบใด และการเลือกตัวลวงที่มีประสิทธิภาพในการสร้างแบบสอบวินิจฉัย

4. การวินิจฉัยชั้นในทันทีที่คลาดเคลื่อนด้วยดัชนีความผิดปกติของแบบแผนคะแนนการตอบ การวินิจฉัยชั้นในทันทีที่คลาดเคลื่อนด้วยวิธีนี้ อยู่ในรูปของการพัฒนาดัชนีบ่งชี้ความผิดปกติของแบบแผนคะแนนการตอบ โดยเทียบกับแบบแผนคะแนนการตอบที่มีลักษณะเป็นกัตแมนสมบูรณ์ (Perfect guttman) หากแบบแผนคะแนนการตอบของผู้สอบแตกต่างจากแบบแผนคะแนนการตอบที่มีลักษณะเป็นกัตแมนสมบูรณ์มากเพียงใด ก็แสดงว่ามีความผิดปกติของแบบแผนคะแนนการตอบมากเพียงนั้น การพัฒนาดัชนีตามแนวคิดนี้มีมาอย่างต่อเนื่องเป็นจำนวนมาก ตัวอย่างดัชนีที่สำคัญได้แก่ ดัชนีเตือนของซาโต (Sato's caution index) ดัชนีอิงทฤษฎีการตอบสนองรายข้อของฮาร์นิชและทาทซุโอกะ ดัชนีเหล่านี้เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายเนื่องจากใช้ง่าย สะดวกและประหยัด เพราะส่วนใหญ่มีสูตรและโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการ

คำนวณ และการแปลความหมายไม่ยุ่งยากมากนัก แต่มีข้อจำกัดสำคัญอยู่ที่ค่าดัชนีจะบอกได้เพียงว่าแบบแผนคะแนนการตอบนั้นผิดปกติหรือไม่ เพียงใด แต่ไม่สามารถบอกได้ว่าความผิดปกตินั้นเนื่องจากรูปแบบการคิดใด กล่าวคือ บ่งชี้ได้ว่ามีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน แต่ไม่สามารถบ่งชี้ว่าโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนนั้นมีลักษณะเป็นแบบใด

5. การวินิจฉัยมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนด้วยวิธีการของทาทชูโอกะ วิธีการนี้พัฒนาโดยทาทชูโอกะและคณะ จากแนวความคิดการประเมินกฎ โดยการตรวจสอบแบบการคิดที่นักเรียนใช้ในการแก้ปัญหาจากแบบแผนคะแนนการตอบ (Item-score response pattern) ของนักเรียนแต่ละคน วิธีนี้เริ่มต้นจากการสำรวจและวิเคราะห์แบบแผนการคิดผิดที่เป็นไปได้ทั้งหมดในเนื้อหา นั้นแล้วสร้างข้อสอบให้ครอบคลุมวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม รวบรวมเป็นข้อสอบปลายเปิดชนิดเติมคำตอบ คำนวณหาคำตอบด้วยวิธีการคิดผิดที่ละแบบ แต่ละแบบการคิดก็จะได้แบบคำตอบหนึ่งชุดซึ่งเมื่อตรวจให้คะแนน 0-1 แล้วก็จะได้เป็นแบบแผนการตอบประจำแบบการคิด จากนั้นนำแบบสอบนี้ไปให้กลุ่มตัวอย่างที่จะวินิจฉัยทำ นำมาตรวจโดยให้คะแนนแบบ 0-1 จะได้แบบแผนการตอบของผู้สอบแต่ละคน ดำเนินการวินิจฉัยมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนโดยการเปรียบเทียบว่า แบบแผนคะแนนการตอบของผู้สอบแต่ละคนใกล้เคียงกับแบบแผนคะแนนการตอบของแบบการคิดใด ซึ่งบางครั้งไม่สามารถตัดสินลงไปได้ว่าแบบแผนคะแนนการตอบของผู้สอบใกล้เคียงกับแบบแผนคะแนนการตอบของแบบการคิดใดแน่ จึงเพิ่มดัชนีสำหรับแต่ละแบบแผนคะแนนการตอบ เพื่อจะบอกได้ว่าแต่ละแบบแผนคะแนนการตอบใกล้เคียงกันเพียงใด แต่ดัชนีบ่งชี้ความผิดปกติของแบบแผนคะแนนการตอบทุกดัชนีจะบ่งชี้ความใกล้เคียงจากแบบแผนคะแนนการตอบแบบกัทแมนสมบรูณ์ จึงไม่สามารถนำมาใช้เทียบความใกล้เคียงระหว่างแบบแผนคะแนนการตอบได้ เพราะแบบแผนคะแนนการตอบที่แตกต่างกัน เช่น ในข้อสอบมี 10 ข้อ แบบแผนคะแนนการตอบแบบ 1111111000 กับแบบ 1110000000 ก็จะมีค่าดัชนีเท่ากัน เนื่องจากมีลักษณะแบบกัทแมนสมบรูณ์เหมือนกัน แต่แบบแผนคะแนนการตอบทั้งสองก็ยังมีค่าที่ต่างกันคือ คะแนนรวม ดังนั้นการเปรียบเทียบความใกล้เคียงของแบบแผนคะแนนการตอบ จึงต้องเปรียบเทียบในสองมิติ คือ มิติของดัชนีความผิดปกติของแบบแผนคะแนนการตอบและมิติของคะแนนรวม

กลยุทธ์การเปลี่ยนแปลงแนวคิด (Bahar, 2003, p. 57-59) โครงสร้างทางปัญญาเป็นสมมติฐานที่หมายถึงการจัดการแนวคิดหรือรูปแบบของความสัมพันธ์ในความจำ มีกลยุทธ์และเทคนิคจำนวนมากที่ถูกนำมาใช้แสดงความคิดและปรับเปลี่ยนมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในโครงสร้างทางปัญญาของนักเรียน กลยุทธ์เหล่านี้อาจเรียกได้ว่า กลยุทธ์การเปลี่ยนแปลงแนวคิด ซึ่งได้แก่ การทดสอบการเชื่อมโยงคำ ตารางโครงสร้างการสื่อสาร การสัมภาษณ์ทางคลินิก การ

สัมภาษณ์เกี่ยวกับตัวอย่างและเหตุการณ์ การทำนาย-การสังเกตการณ์ และการอธิบาย แผนผังแนวคิด แผนภาพเชื่อมโยง การอภิปรายในชั้นเรียน แบบจำลองคอมพิวเตอร์ ต้นไม้การตัดสินใจ การเขียนบทความ เนื้อหาเปลี่ยนแปลงแนวคิด บอร์ดพูดคุย และความคล้ายคลึง ข้อมูลโดยสังเขปเกี่ยวกับเทคนิคเหล่านี้มีดังต่อไปนี้

1. การเชื่อมโยงคำเป็นหนึ่งในวิธีเก่าแก่ที่ใช้กันมากที่สุดในการศึกษาโครงสร้างทางปัญญา และถูกนำมาใช้โดยนักวิจัยหลายท่าน ในเทคนิคนี้ จะมีการเลือกคำสำคัญ (สิ่งกระตุ้น) ประมาณ 10 คำ และขอให้กลุ่มตัวอย่างเขียนคำที่เกี่ยวข้องกับคำดังกล่าวให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ภายในเวลา 1 นาที (หรือภายใน 30 วินาที) สมมติฐานของเทคนิคนี้ก็คือลำดับของคำตอบที่ถูกดึงมาจากความทรงจำจะสะท้อนถึงส่วนหนึ่งของโครงสร้างภายในและระหว่างแนวคิด

2. ตารางโครงสร้างการสื่อสาร (SCG) เป็นเทคนิคที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย Egan (1972) และถูกนำมาใช้โดยนักวิจัยหลายท่าน เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ผลและการวินิจฉัย ในเทคนิคนี้ จะนำเสนอข้อมูลในรูปของตารางที่มีหมายเลขกำกับ และขอให้นักเรียน เลือกชิ้นส่วน (จำนวนกล่อง) ที่จำเป็นต่อการตอบคำถามในตาราง และเรียงลำดับหมายเลขเพื่อแสดงเหตุผล ในแต่ละคำถาม ดังนั้นนักเรียนจึงได้สื่อสารกับอาจารย์ผ่านโครงสร้างที่กำหนดไว้ในตารางแบบสุ่ม คำตอบนี้จะแสดงระดับของความสมบูรณ์และความต่อเนื่องเชื่อมโยงในความรู้เกี่ยวกับหัวข้อที่กำหนดของนักเรียน

3. การทดสอบต้นไม้การตัดสินใจ มีแผนภูมิต้นไม้อย่างง่าย โดยประกอบด้วย 7 ข้อความ ที่มีคำตอบแบบถูก/ผิด เส้นทางที่นักเรียนใช้ในการทดสอบจะแสดงให้เห็นว่าจุดใดที่นักเรียนมีการเชื่อมโยงที่ผิด กลยุทธ์ที่ผิด หรือความรู้ที่ถูกต้อง มีหลายงานวิจัยที่ใช้การทดสอบต้นไม้การตัดสินใจ และพบว่านักเรียนมีทัศนคติในทางบวกต่อเทคนิคเหล่านี้ และผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเทคนิคเหล่านี้เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการวินิจฉัยและการประเมินผล

4. แผนที่แนวคิดที่พัฒนาขึ้น จากทฤษฎีการเรียนรู้ของ Ausubel โดยมุ่งเน้นไปที่ความสำคัญของความรู้เดิมและการเรียนรู้ที่มีความหมาย และสามารถทำหน้าที่เป็นพาหะในการนำเสนอข้อมูลแบบกราฟไว้ในความจำ จึงสามารถให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับความคิดที่อยู่ในโครงสร้างทางปัญญาของนักเรียน แผนที่แนวคิดอาจเป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมมากที่สุด และในบางงานวิจัยจะใช้แผนที่แนวคิดและการสัมภาษณ์ทางคลินิกร่วมกัน

5. การสัมภาษณ์ทางคลินิก เป็นการสนทนาระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับนักเรียน โดยใช้คำถามเริ่มต้นเกี่ยวกับสถานการณ์ต่าง ๆ ที่นำเสนอในรูปแบบของแผนภาพเส้น เพื่อตรวจสอบการตีความปรากฏการณ์ธรรมชาติหรือปรากฏการณ์ทางสังคมของนักเรียน

6. การคาดการณ์-การสังเกตการณ์ และการอธิบาย (POE) ถูกนำมาใช้เพื่อเรียนรู้ว่านักเรียนใช้ข้อมูลเพื่อตีความเหตุการณ์และประสบการณ์ต่าง ๆ อย่างไร ในเทคนิคนี้ นักเรียนจะต้องทำงาน 3 อย่าง ก่อนอื่นนักเรียนจะต้องคาดการณ์ผลลัพธ์ของเหตุการณ์ โดยการคาดการณ์นั้นจะต้องเป็นเหตุเป็นผล หลังจากนั้นจึงอธิบายสิ่งที่คิดว่าจะเกิดขึ้น และสุดท้ายนักเรียนจะต้องแก้ไขความแตกต่างระหว่างการคาดการณ์และการสังเกตการณ์ เทคนิคที่มีประสิทธิภาพนี้ควรนำมาใช้ให้มากขึ้น เพื่อแสดงออกและแก้ไขมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

จุฬารัตน์ ธรรมประทีป (2554, น. 87-95) กล่าวว่า การวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับความเข้าใจเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนทุกวัยทุกระดับชั้น พบว่า นักเรียนมีมโนทัศน์ที่แตกต่างไปจากมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ที่ยอมรับโดยนักวิทยาศาสตร์ทั่วไป ทั้งมโนทัศน์ในวิชาฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา และโลกและดาราศาสตร์ มโนทัศน์ที่แตกต่างดังกล่าวนี้ เรียกว่า มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (misconception) สำหรับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่จะกล่าวถึงนี้จะเป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางชีววิทยา

1.3.1 แนวคิดเกี่ยวกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

จุฬารัตน์ ธรรมประทีป (2554, น. 88-89) กล่าวว่า มโนทัศน์ (Concept) หมายถึง ความเข้าใจของแต่ละบุคคลที่มีต่อสิ่งใดสิ่งหนึ่งที่อาจเป็นสิ่งของ เหตุการณ์หรือปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เป็นความคิด ที่เป็นภาพรวมของสิ่งนั้นอย่างชัดเจน ซึ่งเกิดจากการที่บุคคลนั้นรวบรวมข้อเท็จจริงจากการสังเกต การทำความเข้าใจ แยกแยะเปรียบเทียบความแตกต่าง สรุปลักษณะร่วมที่สำคัญ มองเห็นความสัมพันธ์ของสิ่ง ๆ นั้น ซึ่งแต่ละคนอาจมีมโนทัศน์ต่อสิ่งใดสิ่งหนึ่งแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับประสบการณ์และความรู้เดิม วิทยุติ และเหตุผลของบุคคลนั้น ๆ โดยมโนทัศน์สามารถนำไปใช้ในการบรรยาย อธิบาย หรือพยากรณ์เหตุการณ์ วัตถุ และปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้อง จากแนวคิดทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้ (Constructivism) ซึ่งเป็นทฤษฎีการเรียนรู้ที่อธิบายกระบวนการได้มาซึ่งความรู้ โดยมีใจความสำคัญว่า การเรียนรู้เป็นกระบวนการสร้างความรู้ภายในใจที่ต้องอาศัย ความรู้เดิม หรือประสบการณ์เดิมในการเชื่อมโยงเข้ากับประสบการณ์ใหม่แล้วสร้างเป็นความรู้ของตนเอง จากแนวคิดดังกล่าวตีความได้ว่า นักเรียนแต่ละคนที่เข้ามาเรียนในห้องเรียนจะมีประสบการณ์เดิมที่มีความหลากหลาย ความเข้าใจเกี่ยวกับ

ปรากฏการณ์ธรรมชาติหรือความเข้าใจในเนื้อหาวิชาวิทยาศาสตร์ของนักเรียนแต่ละคนมีความแตกต่างกันไปตามประสบการณ์ของแต่ละคน ตัวอย่างเช่น เด็กอนุบาลอาจจะมโนทัศน์ว่า พืชคือสิ่งที่มีลำต้น มีดอก และมีใบสีเขียว แต่เด็กนักเรียนระดับประถมศึกษาอาจจะมโนทัศน์ว่า พืชคือ สิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ ในขณะที่นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายอาจจะมโนทัศน์ว่า พืช คือ สิ่งมีชีวิตที่มีเซลล์เป็นแบบยูคาริโอต สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ มีวงจรชีวิตแบบสลับ จากตัวอย่าง จะพบว่ามโนทัศน์เกี่ยวกับความหมายของพืชของแต่ละคนแตกต่างกันไปตามความเข้าใจ ประสบการณ์และความรู้เดิมของแต่ละบุคคลมีอยู่ นักวิทยาศาสตร์ศึกษากล่าวว่าเป็นความเข้าใจที่นักเรียนสร้างขึ้นจากประสบการณ์ที่ตนเอง พบเห็น ซึ่งอาจมีความแตกต่างจากความเข้าใจของนักวิทยาศาสตร์ ความเข้าใจที่แตกต่างเช่นนี้ถูกเรียกได้หลายคำ เช่น มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (misconception) มโนทัศน์ทางเลือก (alternative conception) มโนทัศน์ก่อนมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ (prescientific conceptions) และความคิดที่ผิดพลาด (erroneous idea) ความหลากหลายของคำที่ใช้ขึ้นอยู่กับนักวิทยาศาสตร์ศึกษาแต่ละท่านที่ให้นิยามของคำแต่ละคำซึ่งจะสะท้อนถึงลักษณะของแนวคิดที่ค่อนข้างซับซ้อนและสะท้อนถึงสาเหตุของการเกิดมโนทัศน์ที่แตกต่างจากนักวิทยาศาสตร์อีกด้วย

การอธิบายความหมายของคำดังกล่าวข้างต้น ที่สะท้อนถึงลักษณะและที่มาของการเกิดแนวคิดที่คลาดเคลื่อน มีดังนี้

1. มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (Misconception) คำนี้เป็นคำที่เข้าใจง่ายต่อครูทั้งในเชิงปฏิบัติและโดยคนทั่วไปว่าแตกต่างหรือผิดไปจากที่ควรเป็น แต่อย่างไรก็ตามคำนี้ไม่ได้แสดงให้เห็นถึงที่มาของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนนั้นว่าเกิดขึ้นมาได้อย่างไร ลักษณะของมโนทัศน์นี้มักจะแพร่กระจายทั่วไปและถูกฝังอยู่ในความคิดที่ค่อนข้างมั่นคง ยากต่อการเปลี่ยนแปลงโดยใช้วิธีการจัดการเรียนการสอนปกติ

2. มโนทัศน์ทางเลือก (Alternative conception) คำนี้เป็นการมองความเข้าใจหรือแนวคิดนั้นว่าอาจจะแตกต่างได้จากที่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป ในเชิงการเรียนการสอนจะสะท้อนว่านักเรียนอาจมีแนวคิดที่สร้างเองจากประสบการณ์ในการสร้างคำอธิบายที่พยายามจะอธิบายสิ่งใดสิ่งหนึ่ง ซึ่งคำอธิบายนั้นอาจแตกต่างจากคำอธิบายของนักวิทยาศาสตร์ การจัดการเรียนการสอนที่มีประสิทธิภาพต้องสามารถเชื่อมโยงคำอธิบายของนักเรียนกับคำอธิบายของนักวิทยาศาสตร์และทำให้นักเรียนเกิดการจัดเรียงคำอธิบายใหม่ให้ตรงกับคำอธิบายของนักวิทยาศาสตร์

3. มโนทัศน์ก่อนมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ (Pre - scientific conception) คำนี้จะให้ความหมายที่ไม่รุนแรง และมุ่งไปที่การจะพัฒนาแนวคิดของนักเรียนโดยใช้วิธีสอนแบบต่าง ๆ

4. ความคิดที่ผิดพลาด (Erroneous idea) คำนี้มีความหมายค่อนข้างจะรุนแรง แสดงถึงความคิดความเข้าใจที่ผิดหรือตรงข้ามกับความคิดที่เป็นที่ยอมรับ สะท้อนให้ครูผู้สอนต้องมีความระมัดระวังในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่จะไม่เป็นสาเหตุของการเกิดความเข้าใจที่ผิดพลาด

เมื่อพิจารณาจากลักษณะของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และแหล่งที่มาของการพัฒนาเป็นมโนทัศน์ สามารถแบ่งมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนออกเป็น 3 ลักษณะ คือ

1. มโนทัศน์ที่แสดงถึงการมีแนวคิดที่มีความคลาดเคลื่อนในบางส่วน ซึ่งเป็นแนวคิดที่เกิดจากประสบการณ์ตรงในชีวิตประจำวัน

2. มโนทัศน์ที่แสดงถึงการมีแนวคิดที่ตรงข้ามหรือผิดไปจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งอาจเกิดจากการสอนของ ครูที่มีมโนทัศน์ที่ผิดหรือเกิดจากความเข้าใจผิดของนักเรียนในขณะเรียนเอง

3. มโนทัศน์ที่แสดงถึงการมีแนวคิดที่ถูกต้องแต่ไม่ครบถ้วนสมบูรณ์ ซึ่งอาจเป็นมโนทัศน์ของนักเรียนที่มีก่อนเรียนที่พัฒนามาจากประสบการณ์ในชีวิตประจำวัน หรือจากการเรียนในห้องเรียนมาก่อนก็ได้ จากทั้งสามลักษณะจะพบว่า นักเรียนสามารถมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนได้ทั้งก่อนเรียนที่เกิดจากประสบการณ์ที่มีอยู่เดิม ก่อนเข้าสู่ห้องเรียนและหลังเรียน ซึ่งอาจเกิดจากการสอนของครูที่ทำให้นักเรียนเกิดมโนทัศน์ที่แตกต่างไปจากมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์

1.3.2 สาเหตุของการเกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

จากข้อค้นพบทางการวิจัยเกี่ยวกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนหรือมโนทัศน์ทางเลือกของนักเรียนในหลาย ๆ เนื้อหาวิชาทางวิทยาศาสตร์ ทั้งเนื้อหาทางด้านฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา โลกและดาราศาสตร์ พบว่า มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงสาเหตุของการเกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนนั้นด้วย ได้มีการรวบรวมสรุปถึงสาเหตุของการเกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนจากหลายงานวิจัย และจากนักการศึกษาหลายท่าน (จุฬารัตน์ ธรรมประทีป, 2554, น. 89-90) พอจะสรุปสาเหตุได้ดังนี้

1. การใช้ภาษาในชีวิตประจำวัน สาเหตุที่ทำให้เกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เกิดจากประสบการณ์เดิมของนักเรียนในการใช้ภาษาในชีวิตประจำวัน เช่น คำว่า “การหายใจ” ในชีวิตประจำวัน คนทั่วไปจะหมายถึง การสูดลมหายใจเข้าและการสูดลมหายใจออก ที่เป็นส่วนหนึ่งของการทำงานในระบบหายใจและใช้ความหมายนี้ได้เฉพาะกับ คน และสัตว์เท่านั้น แต่ในทางชีววิทยา คำว่า “การหายใจ” หมายถึง กระบวนการหรือปฏิกิริยาการสลายสารอาหารของสิ่งมีชีวิตเพื่อให้ได้มาซึ่งพลังงาน เป็น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระดับเซลล์ที่ต้องอาศัยการแลกเปลี่ยนแก๊ส โดยความหมายนี้จะครอบคลุมสิ่งมีชีวิตทุกชนิด จากงานวิจัยพบว่า มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนลักษณะนี้ยากที่จะเปลี่ยนแปลง ดังนั้นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่สามารถเปลี่ยนมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนนี้ได้ ต้องเป็นวิธีการจัดการเรียนรู้ที่มีการพัฒนามาจากการพิจารณาจากมโนทัศน์ที่ผู้เรียนมีอยู่เป็นพื้นฐาน

2. การสังเกตโดยตรงในชีวิตประจำวันที่มีข้อจำกัดในการสังเกตและมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์เดิม สาเหตุที่ทำให้เกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในลักษณะนี้มักจะเป็นการอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติที่คำอธิบายยังไม่สมบูรณ์คล้ายกับคำอธิบายของนักวิทยาศาสตร์หรือนักปรัชญาในอดีต ซึ่งมักจะเป็นการอธิบายโดยใช้ความรู้สึก สัญชาติญาณ เนื่องจากในช่วงเวลานั้นมีข้อจำกัดในเรื่องของหลักฐานและข้อมูลเชิงประจักษ์ ลักษณะของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เกิดจากสาเหตุนี้จัดได้ว่าเป็นแนวคิดที่ไม่สมบูรณ์หรือคลาดเคลื่อนบางส่วน ซึ่งมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมีความแตกต่างกันไปตามระดับชั้นและอายุของนักเรียน ดังนั้นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อพัฒนามโนทัศน์ของนักเรียน ครูผู้สอนจำเป็นต้องตรวจสอบมโนทัศน์เดิมของนักเรียน และจัดกิจกรรมที่เชื่อมโยงกับมโนทัศน์เดิม ทำให้เกิดการเรียนอย่างมีความหมาย และนักเรียนสามารถเปลี่ยนมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเป็นมโนทัศน์ที่ถูกต้องทางวิทยาศาสตร์ได้

3. การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในห้องเรียน การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในห้องเรียนที่เป็นสาเหตุให้เกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนหรือเกิดผลการเรียนรู้ที่ไม่คาดหวัง เช่น ครูส่วนใหญ่มักจะกล่าวว่ามีมโนทัศน์ดังกล่าวได้บอกกับนักเรียนแล้ว นักเรียนก็ฟังที่ครูพูด นักเรียนก็น่าจะรู้และเข้าใจ แต่ในความเป็นจริงแล้วแนวคิดนี้เองที่เป็นแนวคิดที่คลาดเคลื่อนทางการจัดการศึกษา นอกจากนี้วิธีการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองหรือโมเดล หรือการใช้การเปรียบเทียบในการอธิบายเหตุการณ์ก็เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เนื่องมาจากข้อจำกัดของแบบจำลองหรือโมเดล และข้อจำกัดของการเปรียบเทียบที่ครูผู้สอนส่วนใหญ่ละเลยหรือมองข้าม ไม่ให้ความสำคัญและไม่เน้นย้ำกับผู้เรียนถึงข้อจำกัดของการใช้โมเดลและการเปรียบเทียบที่มีรายละเอียดบางอย่างที่แตกต่างจากความเป็นจริง นอกจากนี้ความคลาดเคลื่อนที่

เกิดจากการเรียนการสอนอีกประการหนึ่ง คือ ผู้เรียนจำความรู้นั้นมากกว่าเข้าใจ และจำเป็นส่วน ๆ มากกว่าที่จะจำเป็นองค์รวม ดังนั้น วิธีการจัดการเรียนรู้ที่จะสามารถแก้ปัญหานี้ได้จะต้องเป็นวิธีการที่คำนึงถึงความรู้เดิมของผู้เรียนและช่วยให้ผู้เรียนเรียนอย่างมีความหมาย สามารถเชื่อมโยงระหว่างความรู้เดิมกับความรู้ใหม่และให้เกิดความเข้าใจอย่างเป็นองค์รวม

4. ครูที่มีความเข้าใจผิดและหนังสือเรียนที่มีความคลาดเคลื่อน มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของครูเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ผู้เรียนเกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เนื่องจากความยุ่งยากซับซ้อนของเนื้อหา ครูผู้สอนมักจะมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนได้เช่นเดียวกับนักเรียน และดังได้กล่าวมาแล้วว่าการเกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนสามารถเกิดได้ทุกเพศ ทุกวัย และไม่ได้จำกัดเฉพาะนักเรียนเท่านั้น เช่นเดียวกับนักวิทยาศาสตร์บางครั้งก็ไม่ได้ใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ในการที่จะเข้าใจโลกเช่นกัน โดยทั่วไปแล้ว คนส่วนใหญ่จะเกิดข้อสรุปง่าย ๆ หรือมโนทัศน์ง่าย ๆ ไม่ซับซ้อนในกรณีที่ไม่มีความรู้ในเรื่องนั้น ๆ มากนัก ในกรณีที่ครูมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เมื่อจัดกิจกรรมการเรียนรู้ มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนนั้นจะถูกนำเสนอออกมา และถูกถ่ายทอดให้แก่ผู้เรียนผ่านกิจกรรมการเรียนรู้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของเด็กเล็กซึ่งเป็นผู้เรียนที่มีความเชื่อมั่น และยึดมั่นในคำพูดและคำอธิบายของครูว่าถูกต้องเสมอ และจะยอมรับคำอธิบายและความเข้าใจนั้นมาเป็นของตนเอง ซึ่งยากที่จะเปลี่ยนแปลง สำหรับสาเหตุที่มาจากหนังสือเรียนที่มีความคลาดเคลื่อนนั้น เกิดจากข้อความใน หนังสือไม่ครบถ้วนสมบูรณ์ การยกตัวอย่างหรือใช้แผนภาพรูปภาพที่คลาดเคลื่อนไม่สมบูรณ์ รูปภาพและแผนภาพนั้นเป็นสาเหตุหลักเนื่องจากผู้เรียนจะจดจำภาพ หรือแผนภาพนั้นได้มากกว่าการจดจำข้อความในหนังสือ ตัวอย่างของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เกิดจากข้อความที่ปรากฏในหนังสือที่ชัดเจนมาก คือ เรื่องจุดเดือดของน้ำ ที่ในหนังสือมักจะเขียนว่า 100 องศาเซลเซียส ซึ่งจะขัดแย้งกับผลการทดลองที่นักเรียนทำในห้องเรียน ซึ่งนักเรียนก็มักจะสรุปว่าการทำการทดลองของตนเองผิดพลาดมีความคลาดเคลื่อน และจดจำข้อความในหนังสือว่าน้ำมีจุดเดือดที่ 100 องศาเซลเซียสเท่านั้น โดยไม่คำนึงถึงปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับจุดเดือดของน้ำ ซึ่งเป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่พบมากในนักเรียนทุกระดับชั้น

1.3.3 มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางชีววิทยา

จากการรวบรวมผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบมโนทัศน์ทางชีววิทยาของนักเรียน พบว่า นักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในหลายเรื่อง พบได้ในนักเรียนทุกช่วงชั้น โดยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมีความแตกต่างกันไปตามวุฒิภาวะ ในที่นี้จะขอกล่าวถึงตัวอย่างของ

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางชีววิทยาที่ได้จากงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับมโนทัศน์ทางชีววิทยาของนักเรียนหลายระดับชั้น (จุฬารัตน์ ธรรมประทีป, 2554, น. 90-95) พบสรุปได้ดังนี้

1. สิ่งมีชีวิตและการจัดจำแนกมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตและการจัดจำแนกมี 2 เรื่อง คือ ความหมายของสิ่งมีชีวิต และการจัดจำแนกสัตว์

1.1 ความหมายของสิ่งมีชีวิต นักเรียนโดยส่วนใหญ่จะมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการจำแนกความแตกต่างระหว่างสิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิต จากงานวิจัยพบว่า เด็กเล็ก ๆ ส่วนมากจะมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับความหมายของสิ่งมีชีวิตหรือการยกตัวอย่างสิ่งที่จัดเป็นสิ่งมีชีวิต โดยเด็กเล็ก ๆ มักจะเข้าใจว่าสิ่งมีชีวิตต้องสามารถเคลื่อนที่ได้ ดังนั้นพืชจึงเป็นสิ่งไม่มีชีวิต หรือบางคนเข้าใจว่ารถเป็นสิ่งมีชีวิต เนื่องจากกินเชื้อเพลิงเป็นอาหาร สำหรับนักเรียนในระดับประถมศึกษาส่วนใหญ่มักจะมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่ว่า เมล็ดเป็นสิ่งไม่มีชีวิต ความเข้าใจคลาดเคลื่อนเช่นนี้เนื่องจากว่านักเรียนขาดความเข้าใจเรื่องวงจรชีวิตของสิ่งมีชีวิตที่มีการเกิดการเจริญเติบโตและการตาย โดยมักจะเข้าใจว่าสิ่งที่ไม่ใช่ชีวิตเป็นสิ่งที่ตายแล้ว ซึ่งในทางวิทยาศาสตร์ คำว่า สิ่งมีชีวิตนั้นรวมถึงสิ่งที่เคยมีชีวิต ดังนั้น สัตว์ที่ตายเป็นสิ่งที่มีชีวิต เพียงแต่สูญเสียความมีชีวิตไปแล้ว ส่วนสิ่งไม่มีชีวิตคือสิ่งที่ไม่แสดงลักษณะของชีวิต ลักษณะของการมีชีวิตทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง มีการเจริญเติบโต มีความต้องการสารอาหารเพื่อการเจริญเติบโต มีกระบวนการสืบพันธุ์ มีการขับถ่ายของเสีย และการหายใจ เมื่อนักเรียนที่เรียนในระดับสูงควรจะมีเข้าใจว่าสิ่งมีชีวิตประกอบด้วยเซลล์เป็นหน่วยพื้นฐาน

1.2 การจัดจำแนกสัตว์ จากงานวิจัยในหลายประเทศและจากการศึกษาจากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักเรียนในแต่ละระดับชั้น พบว่ามีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมากในเรื่องการจัดจำแนกสัตว์ โดยเฉพาะการจัดจำแนกระหว่างสัตว์เลื้อยคลานกับสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก ตัวอย่างมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เช่น ความเข้าใจว่าเต่าและจระเข้เป็นสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก โดยเฉพาะเต่าเป็นสัตว์ที่นักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนค่อนข้างมาก มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนนี้มีสาเหตุจากความเข้าใจคลาดเคลื่อนของลักษณะสำคัญที่ใช้ในการจำแนกสัตว์แต่ละกลุ่ม เหตุผลที่นักเรียนโดยเฉพาะนักเรียนชั้นประถมศึกษาและมัธยมศึกษาตอนต้นเข้าใจคลาดเคลื่อน คือ สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก หมายถึง สัตว์ที่อยู่ได้ทั้งในน้ำและบนบก จึงจัดว่าจระเข้และเต่าเป็นสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก และอีกเหตุผลหนึ่งที่นักเรียนจัดจระเข้และเต่าเป็นสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก คือ ลักษณะของโครงสร้างภายนอกที่มีขาและสามารถแบ่งรูปร่างออกเป็นส่วนตัวและลำตัว และอาศัยอยู่ในน้ำและบนบกได้ ทั้งนี้เพราะสัตว์เลื้อยคลาน เช่น งู หรือจิ้งจก เป็นสัตว์ที่นักเรียนคุ้นเคยไม่ได้มีลักษณะดังกล่าว นอกจากนี้ยังนักเรียนเกิดความคลาดเคลื่อนจากการเชื่อมโยงคำว่า

เลื้อยคลาน สะเทินน้ำสะเทินบกเป็นเกณฑ์สำคัญในการจัดจำแนก สำหรับความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในเด็กเล็กนั้นอาจเกิดมาจากประสบการณ์ในชีวิตประจำวัน ในขณะที่เด็กที่โตกว่าเกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการยึดมั่นในความเข้าใจเดิมว่าถูกต้อง และไม่ยอมเปลี่ยนแปลงความเข้าใจ แม้ว่าจะได้เรียนไปแล้ว ในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายพบว่า มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนส่วนใหญ่เป็นความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน เกี่ยวกับลักษณะและการดำรงชีวิตของสัตว์แต่ละประเภท เช่น สัตว์เลื้อยคลานจะเป็นสัตว์ที่สามารถใช้ลำตัวในการเคลื่อนที่อาจจะมีขาหรือไม่ก็ได้ หรือ สัตว์เลื้อยคลานจะอาศัยเฉพาะบนบก หรือในน้ำอย่างใดอย่างหนึ่ง สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกจะมีผิวหนังที่สามารถป้องกันการสูญเสียน้ำได้ หรือถ้าสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกอยู่บนบกนานเกินไปจะตายได้ นอกจากนี้ยังพบมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เกี่ยวกับการจัดจำแนกสัตว์ในกลุ่มอื่น สาเหตุเนื่องมาจากภาษาที่ใช้เรียกชื่อสัตว์เหล่านั้น เช่น ปลาวาฬ ปลาโลมา ปลาหมึก ปลาตาว ซึ่งตามการจำแนกของนักวิทยาศาสตร์แล้วสัตว์เหล่านี้ไม่ได้ถูกจัดให้เป็นสัตว์ในกลุ่มปลา ในขณะที่นักเรียนส่วนใหญ่ไม่เข้าใจว่า ม้าน้ำถูกจัดว่าเป็นปลาชนิดหนึ่ง เนื่องจากรูปร่างของม้าน้ำและการเรียกชื่อไม่แสดงลักษณะของปลาที่คุ้นเคยนั่นเอง

2. พืชและกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการดำรงชีวิตของพืช มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับพืชและกระบวนการดำรงชีวิตของพืชพบได้ในนักเรียนทุกระดับ สาเหตุของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนส่วนหนึ่งเกิดจากการที่นักเรียนนำความเข้าใจเกี่ยวกับสัตว์มาอธิบายกระบวนการในพืช ตัวอย่างของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ได้แก่ เด็กเล็ก ๆ มักจะนำความเข้าใจว่าอาหารคือสิ่งที่เข้าสู่ร่างกายแล้วก่อให้เกิดประโยชน์ซึ่งมีความหมายที่จะใช้กับคนหรือสัตว์ นำมาเทียบเคียงใช้กับพืชโดยเข้าใจว่า น้ำ แร่ธาตุ แสง คือ อาหารของพืช โดยพืชดูดซึมอาหารผ่านทางราก นอกจากนี้เด็กเล็ก ๆ ส่วนใหญ่มักจะเข้าใจว่า พืชสร้างออกซิเจนเพื่อให้มนุษย์และสัตว์ใช้ในการหายใจ มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมากและพบได้ในทุกระดับชั้นของนักเรียน คือ ความเข้าใจว่าพืชคือสิ่งมีชีวิตที่สร้างหรือผลิตออกซิเจนได้มากที่สุด หรือความเข้าใจของนักเรียนที่เรียนหรือรู้จักกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเข้าใจว่าออกซิเจนในอากาศส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช โดยความเป็นจริงแล้ว ออกซิเจนในอากาศครึ่งหนึ่งเป็นผลมาจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของแพลงก์ตอนพืช (Phytoplankton) ซึ่งมีจำนวนมากในทะเลและเป็นสิ่งมีชีวิตพื้นฐานสำหรับสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ๆ มโนทัศน์เกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช และการหายใจทั้งของพืชและสัตว์ถือว่ามีความวิจัยที่ศึกษาค่อนข้างมาก เนื่องจากมโนทัศน์ทั้งสองเรื่องมีความสำคัญ และเป็นกระบวนการพื้นฐานและมีความสัมพันธ์กัน สารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์กัน ทำให้นักเรียนเกิดความสับสนและคลาดเคลื่อน มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่พบ

มาก คือความเข้าใจว่ากระบวนการทั้งสองกระบวนการนั้น เกิดขึ้นตรงข้ามกัน คือ กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นกระบวนการสร้างอาหารของพืช ส่วนการหายใจเป็นการใช้พลังงานซึ่งเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน โดยพืชหายใจตอนกลางคืนและสังเคราะห์ด้วยแสงตอนกลางวัน นอกจากนี้ยังมีความคลาดเคลื่อนเนื่องมาจากมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของการหายใจ และการนำความเข้าใจเรื่องการหายใจในสัตว์มาเปรียบเทียบกับพืช เช่น ความเข้าใจว่าสัตว์หายใจโดยใช้จมูก พืชหายใจโดยใช้ใบ เป็นต้น มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับพืชที่พบจากหนังสือพจนานุกรม สารานุกรม เว็บไซต์ทางการศึกษา และวารสารวิทยาศาสตร์ศึกษาที่กล่าวถึงมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของทั้งนักเรียนและครู จำนวน 50 มโนทัศน์และจัดแบ่งมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเป็น 5 ประเภท ดังนี้

1. Overgeneralization มโนทัศน์ที่กล่าวอ้างลักษณะทั่วไปที่ไม่ครอบคลุมพืชได้ทุกชนิดในกลุ่มนั้น เช่น พืชใบเลี้ยงคู่ที่มักจะนิยามว่าเป็นพืชที่มีดอกเพศผู้และดอกเพศเมียคนละต้น แต่จะพบว่าพืชดอกซึ่งเป็นพืชใบเลี้ยงคู่มากกว่าร้อยละ 40 เป็นดอกสมบูรณ์เพศหรือในหนังสือมักจะกล่าวว่าเป็นพืชที่ใบเนื้อแข็งหรือพืชที่ให้เนื้อไม้เท่านั้นที่มีการเจริญเติบโตขั้นที่สอง ซึ่งในความเป็นจริงแล้วการเจริญเติบโตขั้นที่สองพบในพืชไม้เนื้ออ่อน หรือพืชที่ไม่ให้เนื้อไม้ด้วย เช่น รากสะสมอาหารของแครอตมีการเจริญเติบโตขั้นที่สองมีเนื้อเยื่อชั้นที่สอง (secondary tissues)

2. Oversimplification เป็นมโนทัศน์ที่กล่าวง่ายเกินกว่าความเป็นจริงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน เช่น การกล่าวว่าจิมโนสเปิร์ม (Gymnosperm) คือพืชเมล็ดเปลือย คำว่าเมล็ดเปลือยจะทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อน เนื่องจากการไม่มีเปลือกหุ้มเมล็ด แต่มีส่วนอื่นที่ปกคลุมอยู่ ตัวอย่างเช่น เมล็ดของแปะก๊วย (Ginkgo biloba) จะเปลือยในขั้นต้นของการพัฒนาแต่จะมีส่วนอื่นมาปกคลุม ทำให้เกิดความเข้าใจผิดว่าเป็นผล ในขณะที่พวกสนจะมีโคน (Cone) ปกคลุมเมล็ดอยู่ ดังนั้นควรจะเน้นย้ำว่า จิมโนสเปิร์มคือพืชที่ไม่มีดอกและผลมากกว่าการกล่าวว่าคือพืชเมล็ดเปลือย

3. Obsolete concepts and terms เป็น มโนทัศน์ที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการมีข้อมูลใหม่จากงานวิจัย เช่น ฟลอริเจน (Florigen) มีความเข้าใจว่า คือ ฮอริโมนที่กระตุ้นให้เกิดการออกดอกในพืช แต่ในปัจจุบัน มีงานวิจัยที่พบว่าฟลอริเจน คือ messenger RNA (mRNA) มโนทัศน์ที่เกี่ยวข้องกับการหายใจแสงหรือโฟโตเรสพิเรชัน (Photorespiration) ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการใช้ออกซิเจนและปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในขณะที่พืชมีการสังเคราะห์ด้วยแสง แต่กระบวนการนี้จะแตกต่างจากการหายใจแบบปกติ คือ น้ำตาลกลูโคสไม่ได้เป็นสารตั้งต้น และไม่เกิดกระบวนการไกลโคลิซิสและ วัฏจักรเครบส์ แต่เป็นกระบวนการใช้สาร

RuBP (Riburose biphosphate) เป็นสารตั้งต้นทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนและผ่านวิถีไกลโคเลต ซึ่งในหนังสือมักกล่าวว่าโฟโตเรสพิเรชันจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าการสังเคราะห์ด้วยแสง ทั้งนี้ยังไม่ทราบว่ากระบวนการนี้มีหน้าที่หรือช่วยพืชอย่างไร แต่งานวิจัยในปัจจุบันพบว่าโฟโตเรสพิเรชันมีความจำเป็นต่อการเกิดไนเตรต เมแทบอลิซึม (Nitrate metabolism) ตัวอย่างมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนอื่น เช่น การเปลี่ยนแปลงการใช้คำในการจัดจำแนกพืช โดยทั่วไปการจัดจำแนกพืชที่มักใช้คำว่าดิวิชัน (Division) และใช้คำว่าไฟลัม (Phylum) กับสัตว์ ในปัจจุบันการจัดจำแนกพืชใช้คำว่า ไฟลัม ได้เช่นเดียวกัน

4. Misidentification เป็นมโนทัศน์ที่เกี่ยวข้องกับการนิยามคำศัพท์ที่ใช้ในพฤกษศาสตร์ที่มีความแตกต่างจากการนิยามโดยทั่วไป เช่น พืชบางชนิดที่อยู่ในกลุ่มพืชที่ไม่สร้างเนื้อไม้ มักเรียกว่า พืชล้มลุก เช่น มะเขือเทศ หรือ ถั่วฝักยาว โดยความเป็นจริงแล้วเป็นพืชยืนต้น แต่เนื่องจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตนั้นจะเก็บเกี่ยวเป็นช่วงฤดูกาล

5. Other misconceptions มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนอื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชที่พบได้อีก ได้แก่ มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการสืบพันธุ์ของพืช เช่น มโนทัศน์ที่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์ของพืชดอกที่เกิดผลแต่ไม่มีเมล็ดที่ เรียกว่า พาทีโนคาร์ปี (Parthenocarpy) ซึ่งมีความเข้าใจว่า เป็นการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ แต่มโนทัศน์ที่ถูกต้องคือ พาทีโนคาร์ปีเป็นกระบวนการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ แต่เนื่องจากการเจริญเติบโตและพัฒนาของผลเกิดจากไม่มีการถ่ายละอองเรณู เช่น กล้วย หรือมีการถ่ายละอองเรณู และผสมเกสรแต่เกิดการเป็นหมัน เช่น องุ่นไม่มีเมล็ดบางพันธุ์

3. กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการดำรงชีวิตของสัตว์ มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับสัตว์ นอกจากการจัดจำแนกสัตว์ตามหลักอนุกรมวิธานแล้ว ยังมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในสัตว์ สามารถแบ่งออกเป็นเรื่อง ๆ ได้แก่ การหายใจ การย่อยอาหาร และ การหมุนเวียนโลหิต

3.1 การหายใจ มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการหายใจจะพบมากเนื่องจากการใช้คำว่า การหายใจ ในความหมายตามชีวิตประจำวันที่หมายถึงการนำอากาศเข้าและออกจากร่างกายผ่านระบบหายใจ ซึ่งทางชีววิทยาจัดว่าเป็นการหายใจภายนอกที่เป็นการแลกเปลี่ยนแก๊สหรือการสูดลมหายใจ ซึ่งคำว่า การหายใจในทางชีววิทยาจะรวมทั้งการหายใจภายนอกและการหายใจภายใน ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในระดับเซลล์ เป็นกระบวนการที่ใช้ในการสร้างพลังงานหรือการนำพลังงานจากสารอาหารมาใช้ ประโยชน์ นอกจากนี้ยังมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของอวัยวะในการหายใจ เช่น การทำงานของปอดในการนำ

อากาศเข้าและออกจากร่างกาย ทั้งนี้เนื่องจากขาดความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับเรื่องความดันอากาศและปริมาตรของอก

3.2 การย่อยอาหาร มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เช่น พลังงานที่ร่างกายใช้มาจากกระบวนการย่อยอาหาร หรือ เมื่อย่อยอาหารแล้วจะได้รับพลังงาน มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนนี้มาจากความไม่เข้าใจกระบวนการหายใจที่เกิดขึ้นต่อจากกระบวนการย่อยอาหารและการดูดซึม นักเรียนมีความเข้าใจว่าการหายใจเป็นเพียงกระบวนการนำออกซิเจนเข้าและปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกเท่านั้น แต่ไม่เข้าใจเรื่องของกระบวนการหายใจที่เกิดขึ้นในระดับเซลล์

3.3 การหมุนเวียนโลหิต มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเนื่องจากความเข้าใจความสัมพันธ์ของทั้งสาม กระบวนการ คือ การหายใจ การย่อยอาหาร และการหมุนเวียนโลหิต และเนื่องจากครูสอนเป็นเรื่องๆ แยกออกจากกันและไม่ได้เน้นย้ำถึงความสัมพันธ์ของทั้งสามกระบวนการ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในรายละเอียดของทั้งสามกระบวนการ โดยเฉพาะที่มีความเกี่ยวข้องกับความเข้าใจทางเคมี เช่น มโนทัศน์เกี่ยวกับการแลกเปลี่ยนออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เข้าและออกจากเส้นโลหิต โดยหน้าที่ของเม็ดโลหิตและของเหลวในโลหิตที่ต้องอาศัยความเข้าใจเรื่องโมเลกุล โครงสร้างทางเคมี และปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น

3.4 เซลล์ มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนที่เกี่ยวกับเซลล์ ได้แก่ ความหมายของเซลล์และกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับเซลล์ ในความหมายของเซลล์ นักเรียนไม่เข้าใจความหมายของคำว่า เซลล์ โดยเข้าใจว่าเซลล์เป็นการ รวมของหลาย ๆ องค์ประกอบ เช่นเดียวกับคาร์โบไฮเดรต หรือโปรตีน โดยที่นักเรียนไม่เข้าใจว่าเซลล์เป็นหน่วยของสิ่งมีชีวิตที่เล็กที่สุดที่ต้องสามารถแสดงลักษณะของการมีชีวิต เช่น การเจริญเติบโต การสืบพันธุ์ การหายใจ และการขับถ่ายของเสีย เป็นต้น ส่งผลทำให้นักเรียนไม่เข้าใจเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวได้อย่างสมบูรณ์

3.5 กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับเซลล์ ในกระบวนการเจริญเติบโตของเซลล์ นักเรียนไม่สามารถบอก ความแตกต่างของการแบ่งเซลล์ การขยายขนาดของเซลล์ และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเซลล์ได้นักเรียนอาศัยการท่องจำความหมายแต่ขาดความเข้าใจที่ถูกต้อง โดยนักเรียนเข้าใจว่าสิ่งมีชีวิตเจริญเติบโตได้เพราะเซลล์มีขนาดใหญ่ขึ้น และนักเรียนไม่เข้าใจว่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเซลล์เป็นการเจริญเติบโตเช่นกัน อาจเนื่องมาจากการละเลยหรือมองข้ามในการสอนและขาดการยกตัวอย่างที่ ชัดเจน

3.6 สารอาหาร มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการทดสอบสารอาหาร ตัวอย่างเช่น ความเข้าใจว่าการทดสอบ โดยใช้เบเนดิกต์เป็นการทดสอบว่ามีน้ำตาลกลูโคสหรือไม่ ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว เบเนดิกต์ใช้ทดสอบว่ามีน้ำตาลประเภทที่เรียกว่า น้ำตาลรีดิวซิง (Reducing sugar) ซึ่งหมายถึง น้ำตาลที่มีหมู่อัลดีไฮด์ (Aldehyde) หรือคีโตน (Ketone) ซึ่งเป็นหมู่ที่พบในน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น กลูโคส ฟรักโทส กาแลกโตส กลีเซอรอลดีไฮด์ น้ำตาลโมเลกุลคู่บางชนิดก็มีส่วนที่อยู่ในรูปรีดิวซิง คือมีส่วนที่เป็นหมู่อัลดีไฮด์ที่เป็นโซ่เปิด (Open-chain) ที่สามารถทำปฏิกิริยากับเบเนดิกต์ได้ เช่น แลกโทส และมอลโทส แต่ ซูโครสหรือน้ำตาลทรายไม่มีส่วนที่อยู่ในรีดิวซิง จึงเป็นน้ำตาลประเภทที่ไม่ใช่ น้ำตาลรีดิวซิง (Non-reducing sugar) ใช้เบเนดิกต์ทดสอบไม่ได้ เหตุผลที่นักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนนี้มาจากนักเรียนคุ้นเคยกับน้ำตาลกลูโคสและมักจะใช้น้ำตาลกลูโคสในการทดสอบ และนักเรียนก็ยังไม่มีความเข้าใจในน้ำตาลที่เรียกว่า น้ำตาลรีดิวซิง รวมทั้งครูผู้สอนเองก็อาจจะไม่เข้าใจในเรื่องดังกล่าวเช่นกัน สำหรับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่ว่า วิธีการทดสอบไขมันสามารถทำได้โดยหยดน้ำมันลงในกระดาษจะพบว่ากระดาษที่จุดนั้นจะโปร่งแสง ในขณะที่สารอื่น เช่น น้ำ ไม่เกิดจุดโปร่งแสง แต่โดยความเป็นจริงแล้ว เมื่อหยดน้ำมันบนกระดาษจะเกิดจุดโปร่งแสงเช่นเดียวกัน แต่ความแตกต่าง คือ เมื่อกระดาษแห้ง ถ้าเป็นไขมันจุดโปร่งแสงนั้นจะยังคงอยู่ แต่หากเป็นน้ำจุดโปร่งแสงนั้นจะหายไป นอกจากนี้ สารอาหารชนิดอื่นสามารถทำให้เกิดจุดโปร่งแสงได้ เช่น โปรตีน แนวคิดที่ถูกต้องนั้นคือว่า จุดโปร่งแสงของไขมันนั้นจะหายไปถ้านำกระดาษจุ่มลงในสารละลายที่เป็นสารละลายออร์แกนิกส์ เช่น อะซีโตน แต่จุดโปร่งแสงของโปรตีนจะยังคงอยู่

3.7 พันธุกรรม มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในเรื่องพันธุกรรมในเด็กเล็ก ๆ จนถึงประถมศึกษา เช่น ลูกสาว มักจะได้ลักษณะส่วนใหญ่มาจากแม่ ส่วนลูกชายมักจะได้ลักษณะส่วนใหญ่มาจากพ่อ การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ เกิดขึ้นเฉพาะในสัตว์เท่านั้น และไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศและไม่อาศัยเพศได้ ในนักเรียนระดับมัธยมศึกษาจะมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เช่น ความแตกต่างระหว่าง สปีชีส์มาจากการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อม แต่ไม่ได้อ้างถึงการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม นักเรียนไม่เข้าใจความแตกต่างของคำว่า ยีน โครโมโซม DNA รวมทั้งความสัมพันธ์ของคำทั้งสามคำด้วย

3.8 ระบบนิเวศ มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในเรื่องระบบนิเวศ แบ่งเป็น 2 เรื่อง คือ พีระมิดพลังงาน และโซ่อาหาร พีระมิดพลังงาน ในเรื่องการสูญเสียพลังงาน พีระมิดพลังงาน นักเรียนไม่มีความเข้าใจเรื่องการ สูญเสียพลังงานในรูปของพลังงานความร้อน และนักเรียนเข้าใจว่าสิ่งมีชีวิตที่แข็งแรงจะมีพลังงานมากกว่าสิ่งมีชีวิตที่อ่อนแอ โซ่อาหาร นักเรียน

เข้าใจว่าผู้ล่าอยู่ท้ายสุดของโซ่อาหาร ทั้งนี้เนื่องจากนักเรียนขาดความเข้าใจเรื่องโซ่อาหารแบบอื่น เช่น โซ่อาหารแบบปรสิต โซ่อาหารแบบกินเศษอินทรีย์

1.3.4 ผลของการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนต่อการเรียน

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนหรือความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ที่แตกต่างจากนักวิทยาศาสตร์นั้น เป็นปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จในการเรียนวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ซึ่งผลจากการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (จุฬารัตน์ ธรรมประทีป, 2554, น. 95) มีดังนี้

1. มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนส่งผลให้การเรียน มโนทัศน์ใหม่เป็นเรื่องยากสำหรับนักเรียน เนื่องจากนักเรียนไม่สามารถเชื่อมโยงมโนทัศน์ใหม่กับความรู้เดิมได้ ทำให้ไม่เกิดการเรียนรู้ที่มีความหมาย ประกอบกับข้อจำกัดของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของครูจากการที่มีนักเรียนจำนวนค่อนข้างมาก และมีความสามารถที่หลากหลาย ในการวางแผนของครูมักจะปฏิบัติตามโครงสร้างเนื้อหาของแต่ละรายวิชาที่ได้กำหนดไว้ โดยเรียบเรียงเนื้อหาตามลำดับของความสัมพันธ์ของเนื้อหาที่จำเป็นห้องเรียนก่อนหลัง ครูมักจะติดเพียงว่านักเรียนได้เรียนเรื่องที่เป็นพื้นฐานมาก่อนแล้วหรือยังก่อนที่จะเรียนเรื่องใหม่หรือเรื่องที่กำลังจะสอนขณะนั้น โดยอาจจะลืมนึกไปว่าการเรียนการสอนในคราวก่อนนั้นนักเรียนอาจจะยังไม่เข้าใจ หรือเข้าใจคลาดเคลื่อน หรือแม้กระทั่งลืมมโนทัศน์นั้นไปแล้ว อาจกล่าวได้ว่าครูสอนยังขาดความตระหนักถึง ความสำคัญในเรื่องของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน ดังนั้น การเรียนเรื่องใหม่ของนักเรียนจึงเป็นเรื่องยากที่จะเข้าใจ

2. มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนส่งผลให้นักเรียนเรียนวิทยาศาสตร์แบบท่องจำมากกว่าเรียนแบบเข้าใจ เนื่องจากมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนยากต่อการเปลี่ยนแปลงโดยใช้การสอนแบบปกติที่ไม่ได้คำนึงถึงมโนทัศน์เดิมที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน เมื่อนักเรียนไม่สามารถเชื่อมโยงมโนทัศน์เดิมกับมโนทัศน์ใหม่ได้ ทำให้นักเรียนท่องจำมโนทัศน์ใหม่เพื่อการสอบ โดยไม่ได้เกิดจากความเข้าใจที่แท้จริง นักวิจัยหลายท่านพบว่า การเปลี่ยนแปลงมโนทัศน์เดิมที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนไปเป็นมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้อง ยาก มากกว่าการที่จะให้นักเรียนสร้างมโนทัศน์ใหม่ที่ถูกต้องจากการที่นักเรียนคนนั้นไม่เคยมีมโนทัศน์ในเรื่องนั้น ๆ มาก่อนเลย หรืออาจกล่าวได้ว่าการเปลี่ยนมโนทัศน์เดิมที่มีอยู่ยากกว่าการเติมข้อมูลใหม่เพื่อสร้างมโนทัศน์ใหม่ ยกตัวอย่าง เช่น การสอนการเล่นเทนนิสที่ถูกต้อง ในเรื่องของการจับไม้เทนนิสและวิธีการเสิร์ฟที่ถูกต้อง ถ้าผู้เรียนเคยจับไม้และเสิร์ฟถูกเทนนิสมาอย่างไม่ถูกต้อง จะพบว่าเป็นการยากมากที่จะสอนให้ทำได้ อย่างถูกต้อง เมื่อเปรียบเทียบกับการสอนผู้ที่ไม่เคยเล่นเทนนิสมาก่อน

3. มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนส่งผลให้มโนทัศน์ที่เรียนใหม่เกิดความคลาดเคลื่อน เนื่องจากการพัฒนามโนทัศน์ต้องอาศัยพื้นฐานความรู้หรือมโนทัศน์เดิมที่มีอยู่ เพื่อใช้ในการสร้างความเข้าใจในมโนทัศน์ใหม่ มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนอยู่เดิมจะเป็นอุปสรรคต่อการเชื่อมโยงกับความรู้ใหม่ที่ได้รับ มีผลทำให้ความรู้ใหม่ที่ผู้เรียนสร้างขึ้นคลาดเคลื่อนไปด้วย หรืออาจจะทำให้ไม่เกิดการเรียนรู้ความรู้ใหม่ ทำให้ไม่ประสบผลสำเร็จในการเรียนวิทยาศาสตร์

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางชีววิทยาของนักเรียน สามารถพบได้ในหลายเรื่อง และพบได้ในทุกระดับชั้น มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในเรื่องหนึ่งอาจจะส่งผลให้นักเรียนเกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในเรื่อง ๆ อื่นที่เกี่ยวข้องกันได้ มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมีหลายลักษณะ ทั้งที่เป็นแนวคิดที่ผิดพลาด แนวคิดที่ไม่สมบูรณ์ แนวคิดที่คลาดเคลื่อนบางส่วน ดังนั้น การจัดกิจกรรมการเรียนการสอน ครูผู้สอนควรให้ความสำคัญกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนที่นำเข้ามาสู่ห้องเรียน ครูควรค้ำประกันว่านักเรียนเคยผ่านการเรียนเรื่องที่เป็นพื้นฐานมาแล้วหรือยัง ครูยังต้องให้ความสำคัญกับมโนทัศน์เดิมที่นักเรียนมีในเรื่องที่เป็นพื้นฐาน หรือตั้งคำถามในใจว่า นักเรียนเข้าใจเรื่องที่เป็นพื้นฐานของเรื่องที่จะสอนใหม่อะไร หรือมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนอย่างไรบ้าง เพื่อที่จะได้จัดกิจกรรมการเรียนสอนเพื่อเปลี่ยนแปลงมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเป็นมโนทัศน์ที่ถูกต้องทางวิทยาศาสตร์ก่อนที่จะเรียนมโนทัศน์ใหม่ และจัดกิจกรรมการเรียนการสอนที่ทำให้นักเรียนเกิดมโนทัศน์ที่ถูกต้องอีกด้วย

กล่าวโดยสรุป มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน คือ ความเข้าใจหรือความเชื่อที่ได้มาจากแนวความคิดหรือความรู้ที่ไม่ถูกต้อง ความรู้ที่ไม่สมบูรณ์ คลุมเครือ ความคิดสำคัญหรือความคิดรวบยอดที่แตกต่างไปจากความเป็นจริง และเป็นความคิดที่ต่างไปจากแนวคิดที่ได้รับการยอมรับกันในหลักทฤษฎี อาจได้มาจากประสบการณ์ที่ไม่ถูกต้อง ไม่ชัดเจน ของแต่ละบุคคลนั้น ๆ มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกิดได้กับทุกคนทั้งนักวิทยาศาสตร์ นักวิชาการ ครูผู้สอน และนักเรียน และสามารถเกิดได้ในหลายวิชา วิชาชีววิทยาก็มีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนในหลายหัวข้อ เช่น การหายใจ การสังเคราะห์ด้วยแสง เซลล์ ระบบร่างกาย พันธุกรรม และระบบนิเวศ การแก้ไขมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเป็นสิ่งจำเป็นและต้องใช้วิธีการที่เหมาะสม ซึ่งจะให้นักเรียนความสำเร็จในการเรียนวิทยาศาสตร์ของนักเรียน

2. แบบทดสอบวินิจฉัย

2.1 ความเป็นมาของแบบทดสอบวินิจฉัย

โชติ เพชรชื่น (2544, น. 50) กล่าวว่า การวินิจฉัยความสามารถในการเรียนรู้ของนักเรียนเกิดจากความพยายามที่จะช่วยครูผู้สอน ให้มีข้อมูลของนักเรียนแต่ละคน เพื่อที่จะได้วางแผนปรับปรุงคุณภาพการเรียนการสอนและการ ปฏิบัติให้เกิดประโยชน์แก่นักเรียนในการเรียน รายวิชาต่าง ๆ สิ่งแรกที่จะต้องค้นให้พบก็คือ อะไรเป็นปัญหาทางการเรียนของนักเรียน เมื่อพบ ปัญหาแล้วก็พยายามขจัดปัญหาเหล่านั้นให้หมดไป ในต่างประเทศได้มีการใช้แบบทดสอบ วินิจฉัยกันมานาน เช่น แบบทดสอบการอ่านที่ชื่อ Gates primary reading test ใช้ตั้งแต่ พ.ศ. 2469 (ค.ศ. 1926) และแบบทดสอบวินิจฉัยการอ่าน และเลขคณิตของสแตนฟอร์ดที่รู้จักกัน แพร่หลายคือ Stanford diagnostic reading test, Stanford diagnostic arithmetic test ก็ใช้ ตั้งแต่ พ.ศ. 2509 (ค.ศ. 1966) แบบทดสอบดังกล่าวมีคุณภาพทั้งด้านความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา เชิงโครงสร้างและมีความเชื่อมั่นสูง

แบบทดสอบวินิจฉัยที่ได้รับความนิยมเป็นแบบทดสอบเลือกตอบ ประกอบด้วยส่วน สำคัญสองส่วน คือ ส่วนที่เป็นตัวคำถามหรือตอนนำ (Stem or Problem) กับส่วนที่เป็นตัวเลือก หรือตอนเลือก (Choices or Alternative) และในตอนเลือกนี้ประกอบด้วยตัวเลือกที่เป็นคำตอบ ถูกต้อง (Correct answer) หรือที่ดีที่สุด (Best choice) กับตัวเลือกที่เป็นตัวลวง (Distractors) ตัว ลวงทุกตัวของข้อนั้น ๆ อาจเป็นคำตอบผิดชนิดไม่มีส่วนถูกอยู่เลย หรือเป็นคำตอบถูกแต่มีส่วนถูก หรือมีความเหมาะสมน้อยกว่าตัวเลือกที่เป็นคำตอบที่ถูกต้อง (บุญชม ศรีสะอาด, 2543) โดยที่การ วินิจฉัยมโนทัศน์หรือมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนด้วยแบบสอบวินิจฉัย เป็นวิธีการที่เป็นทางการที่ใช้กัน มาเป็นเวลานานในวงการวัดผลการศึกษา (ศิริเดช สุชีวะ, 2538)

จากข้อความข้างต้น จะเห็นว่าแบบทดสอบวินิจฉัยสร้างขึ้นมาตั้งแต่อดีต โดยมีการ พัฒนาขึ้นมาเรื่อย ๆ เพื่อช่วยครูผู้สอน ให้มีข้อมูลของนักเรียนแต่ละคน เพื่อที่จะได้วางแผน ปรับปรุงคุณภาพการเรียนการสอน แก้ปัญหาทางการเรียนของนักเรียน

2.2 ความหมายของแบบทดสอบวินิจฉัย

จากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับแบบทดสอบวินิจฉัยพบว่า นักการศึกษาจาก ต่างประเทศและในประเทศหลายท่าน ได้ให้ความหมายของแบบทดสอบวินิจฉัย ดังนี้

Ahmann & Dock (1967, p. 18) กล่าวว่า แบบทดสอบวินิจฉัยเป็นแบบทดสอบ ที่ใช้หลังจากการให้การเรียนการสอน จุดมุ่งหมายของแบบทดสอบวินิจฉัย คือ ช่วยให้ทราบถึง ข้อบกพร่องเฉพาะที่เป็นพื้นฐานที่อยู่เบื้องหลังของนักเรียน

Thorndike & Hagen (1969, p. 646) ได้ให้ความหมายของแบบทดสอบวินิจฉัยว่าแบบทดสอบวินิจฉัยเป็นแบบทดสอบที่รวบรวมปัญหาและสาเหตุที่ทำให้เกิดความบกพร่องในการเรียนวิชาต่าง ๆ ไว้ในแบบทดสอบ เพื่อเป็นแนวทางในการจัดหาวิธีการในการสอนซ่อมเสริมที่ตรงจุดและเป็นการช่วยปรับปรุงความรอบรู้ของนักเรียนให้เพิ่มขึ้นด้วย

Brown & Frederick (1970, p. 225) ได้ให้ความหมายของแบบทดสอบวินิจฉัยว่าแบบทดสอบวินิจฉัยใช้สำหรับค้นหาจุดบกพร่องทางการเรียนของนักเรียนเป็นรายบุคคล โดยมุ่งที่จะทำการสอน ซ่อมเสริมแนะแนว ซึ่งสามารถชี้ให้เห็นถึงจุดอ่อน หรือจุดบกพร่องของนักเรียนเป็นรายบุคคล ในแต่ละส่วนย่อย ๆ ของแบบทดสอบนั้น

ทองหล่อ วิภาวีน (2521, น. 49) ได้ให้ความหมายของแบบทดสอบวินิจฉัยว่าแบบทดสอบวินิจฉัยการเรียนเป็นแบบทดสอบที่ใช้วัดความบกพร่องหรือจุดเด่นด้อยของผู้เรียนซึ่งเป็นการค้นหาสมมติฐานว่าผู้เรียนคนนี้อ่อนในเนื้อหาวิชานี้เนื่องด้วยสาเหตุใด เพื่อจะได้แก้ไขให้ถูกต้อง

สมศักดิ์ สินธุระเวชญ์ (2522, น. 1) ได้ให้ความหมายของแบบทดสอบวินิจฉัยว่าแบบทดสอบวินิจฉัยเป็นแบบทดสอบเพื่อวัดจุดอ่อนหรือจุดบกพร่องในแต่ละวิชา ผลของการสอบที่ได้จากแบบทดสอบวินิจฉัยจะนำไปสู่การแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ และค้นหาสาเหตุของความบกพร่องนั้น

บุญชม ศรีสะอาด (2523, น. 10) ได้ให้ความหมายของแบบทดสอบวินิจฉัยว่าแบบทดสอบวินิจฉัยเป็นแบบทดสอบที่สร้างขึ้นเพื่อให้เห็นจุดบกพร่อง หรือเป็นจุดที่เป็นปัญหาหรืออุปสรรคในการเรียนเรื่องหนึ่ง ๆ ของนักเรียนแต่ละคน

วิรัช นิยมแย้ม (2525, น. 13) ได้ให้ความหมายของแบบทดสอบวินิจฉัยว่าเป็นแบบทดสอบที่ใช้ค้นหาข้อบกพร่องในการเรียนวิชาต่าง ๆ และหาสาเหตุของข้อบกพร่องนั้น ๆ เพื่อจัดให้มีการสอนซ่อมเสริมต่อไป

สุเทพ สันติวรานนท์ (2533, น. 69) ได้ให้ความหมายของแบบทดสอบวินิจฉัยคือแบบทดสอบที่สร้างขึ้นเพื่อชี้ให้เห็นจุดบกพร่องของนักเรียนที่เกิดขึ้นในการเรียนเพื่อหาวิชานั้น ๆ อีกทั้งช่วยให้ทราบสาเหตุของความบกพร่อง อันจะเป็นประโยชน์ต่อการเรียนการสอนในแง่ของการเป็นแนวทางนำไปสู่การสอนซ่อมเสริมได้ตรงจุด การปรับปรุงแก้ไขนักเรียนให้เกิดการเรียนรู้เพิ่มขึ้น ปรับปรุงการสอนของครูให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

เบญจมา เขียวสม (2534, น. 7) ได้ให้ความหมายของแบบทดสอบวินิจฉัยว่าแบบทดสอบ วินิจฉัยเป็นเครื่องมือตรวจค้นข้อบกพร่องในการเรียนของนักเรียนพร้อมทั้งวิเคราะห์

สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องนั้น ๆ เพื่อให้ครูผู้สอนนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาความสามารถของนักเรียน

โชติ เพชรชื่น (2544, น. 7) ได้ให้ความหมายของแบบทดสอบวินิจฉัยว่า แบบทดสอบวินิจฉัย เป็นแบบทดสอบที่ใช้วัดเพื่อวิเคราะห์หาจุดเด่น จุดด้อยในการเรียน ตลอดจนทั้งป่งซึ่งถึงสาเหตุของความด้อยหรือความบกพร่องของนักเรียนแต่ละคน

จากความหมายของแบบทดสอบวินิจฉัยข้างต้น สรุปได้ว่า แบบทดสอบวินิจฉัย เป็น แบบทดสอบที่สร้างขึ้นเพื่อค้นหาจุดบกพร่องทางการเรียนของนักเรียนในแต่ละเนื้อหาย่อย ๆ อาจบอกถึงสาเหตุของความบกพร่องหรือความด้อยของนักเรียนแต่ละคน เพื่อนำไปสู่การแก้ไขข้อบกพร่องเหล่านั้นได้อย่างตรงจุดและเป็นแนวทางในการปรับปรุงการเรียนการสอนต่อไป

2.3 ลักษณะของแบบทดสอบวินิจฉัย

ลักษณะของแบบทดสอบวินิจฉัยมีนักวิชาการกล่าวถึงลักษณะของแบบทดสอบวินิจฉัยไว้หลายท่าน ดังนี้

วิเชียร เกตุสิงห์ (2517, น. 27) ได้กล่าวถึงลักษณะของแบบทดสอบวินิจฉัย ไว้ว่าเป็นแบบทดสอบที่สร้างขึ้นเพื่อหาจุดบกพร่อง หรือจุดอ่อนในการเรียนแต่ละวิชาของนักเรียนเป็นเรื่อง ๆ ไป แบบทดสอบประเภทนี้จะมีเนื้อหาต่าง ๆ ที่ต้องการวินิจฉัยได้ แต่ละเรื่องจะมีข้อสอบมาก ๆ ข้อ เมื่อนำไปทดสอบนักเรียนแล้ว ถ้าเด็กทำข้อสอบในเรื่องใดผิดมากแสดงว่าเด็กมีจุดอ่อนหรือเรียนอ่อนในเรื่องนั้น

บุญชม ศรีสะอาด (2523, น. 9-11) ได้กล่าวถึงลักษณะของแบบทดสอบวินิจฉัยการเรียนไว้ว่า แบบทดสอบวินิจฉัยการเรียนเป็นแบบสอบที่สร้างขึ้นโดยเฉพาะ เพื่อมุ่งวัดเป็นเรื่อง ๆ หรือด้าน ๆ ไป ถ้าต้องอาศัยทักษะย่อยหลายทักษะก็อาจแบ่งเป็นแบบทดสอบย่อยวัดตามทักษะย่อย ๆ นั้นและวัดละเอียดกว่าแบบสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน มีคะแนนของแต่ละด้านแต่ละตอน เพราะมุ่งค้นหาจุดบกพร่องในแต่ละด้าน ดังนั้นคะแนนรวมของแต่ละคนจะไม่เป็นประโยชน์ กรณีนี้ แบบสอบนี้จะสามารถชี้ให้เห็นข้อบกพร่องที่เป็นปัญหาหรืออุปสรรคในการเรียนเรื่องหนึ่ง ๆ ของนักเรียนแต่ละคน มีข้อสอบหลาย ๆ ข้อ ที่วัดทักษะเดียวกัน ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มโอกาสทำผิดพลาดได้มากขึ้น อันจะช่วยให้สามารถจำแนกนักเรียนที่มีความบกพร่องในการเรียนเรื่องนั้น ๆ ได้อย่างเพียงพอ ชี้ให้เห็นถึงจุดบกพร่องที่แท้จริงได้อย่างชัดเจน มักเป็นแบบทดสอบระดมพลัง (Power Test) การสร้างแบบทดสอบจะสร้างจากรากฐานของการวิเคราะห์ทักษะเฉพาะที่ส่งผลให้เรียนสำเร็จ และจากการศึกษาข้อผิดพลาดหรือความบกพร่องที่มักเกิดขึ้นกับนักเรียน ความเป็น

มาตรฐานของแบบทดสอบอยู่ในรูปที่ว่า เครื่องมือที่ใช้ดำเนินการสอบอยู่ภายใต้สภาพการณ์เดียวกันและการให้คะแนนมีความเป็นปรนัย

สุภาพ วาดเขียน (2525, น. 161) ได้กล่าวถึงลักษณะของแบบทดสอบวินิจัยการเรียนไว้ว่า แบบทดสอบวินิจัยการเรียนเป็นแบบทดสอบที่ไม่มีการกำหนดเวลา ตัวแบบทดสอบเริ่มด้วยข้อคำถามที่ง่าย ๆ ก่อน แล้วจึงค่อย ๆ ยากขึ้นเป็นลำดับไป โดยหลักการทั่วไปแล้วมีข้อปัญหาจำนวนหลาย ๆ ปัญหาที่ถามเกี่ยวกับมโนทัศน์หรือทักษะอย่างเดียวกัน

โชติ เพชรชื่น (2544, น. 7) ได้กล่าวถึงลักษณะของแบบทดสอบวินิจัยไว้ว่า แบบทดสอบวินิจัยมุ่งวัดความสามารถหรือทักษะในเรื่องหนึ่งโดยเฉพาะ แบ่งเป็นส่วน ๆ หรือเป็นฉบับย่อย ๆ การแบ่งเป็นส่วนหรือฉบับย่อยขึ้นอยู่กับลักษณะความสามารถหรือทักษะแต่ละอย่าง ซึ่งมีองค์ประกอบไม่เหมือนกัน จำนวนข้อสอบในแต่ละส่วนหรือในฉบับย่อยมีจำนวนข้อมากพอที่จะวัดความสามารถ หรือทักษะย่อยได้ด้วยความมั่นใจ มีเกณฑ์คะแนนขั้นต่ำไว้สำหรับเทียบเพื่ออธิบายถึงความบกพร่องแต่ละความสามารถและทักษะ เน้นความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาเป็นสำคัญ ตรวจคำตอบแยกเป็นส่วน ๆ หรือแยกแต่ละทักษะย่อยของนักเรียนเป็นรายบุคคล

จากลักษณะของแบบทดสอบวินิจัยการเรียนข้างต้น ผู้วิจัยได้สรุปลักษณะที่สำคัญของแบบทดสอบวินิจัยข้อบกพร่องในการเรียน คือ เป็นแบบทดสอบที่แยกเป็นฉบับย่อย ๆ โดยมีเป้าหมายที่จะวัดความรู้และ ความสามารถของนักเรียนเป็นด้าน ๆ มีเนื้อหาที่ต้องการวัดจะต้องสอดคล้องกับจุดมุ่งหมายที่กำหนดไว้ในหลักสูตรเป็นแบบทดสอบที่เน้นความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) เป็นหลักเป็นข้อสอบที่ค่อนข้างง่ายเป็นแบบทดสอบที่ให้เวลาเต็มที่ในการทำข้อสอบไม่จำเป็นต้องสร้างเกณฑ์ปกติ เพราะมีจุดมุ่งหมายเพื่อค้นหาจุดบกพร่องในการเรียนของนักเรียนเป็นรายบุคคล แต่ต้องมีเกณฑ์ขั้นต่ำที่ใช้ในการวิจัยนักเรียนว่ามีความบกพร่องหรือไม่เน้นความสำคัญที่การวิเคราะห์คำตอบของนักเรียนรายข้อ มากกว่าคะแนนรวมของนักเรียนแต่ละคน

2.4 ประโยชน์ของแบบทดสอบวินิจัย

ประโยชน์ของแบบทดสอบวินิจัยนั้น มีความสำคัญและมีคุณค่าต่อการเรียนการสอนเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อนักเรียน ครูผู้สอน และผู้บริหาร เพราะถือว่าเป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญเป็นสื่อที่จะให้ครูผู้สอนเข้าใจและวิเคราะห์ถึงสาเหตุของความไม่เข้าใจในเนื้อหา ของนักเรียน พร้อมทั้งครูผู้สอนสามารถปรับปรุง แก้ไข การจัดการเรียนการสอนได้อย่างตรงจุด มีนักการศึกษาต่างประเทศได้กล่าวถึงข้อดีของแบบทดสอบวินิจัยการเรียน ดังนี้

Lindquit & Franklin (1956, p. 37) ได้กล่าวถึงข้อดีของแบบทดสอบวินิจฉัยการเรียนรู้ ว่าสามารถวิเคราะห์ข้อบกพร่องทางการเรียนของนักเรียนได้ละเอียดช่วยให้ครูผู้สอนทราบถึงองค์ประกอบที่สำคัญของเนื้อหาวิชาลำดับขั้นของกระบวนการเรียนการสอนตลอดจนจุดบกพร่องช่วยในการปรับปรุงการเรียนการสอนของครูประหยัดเวลาและแรงงานทำให้ครูมีเวลาในการจัดซ่อมเสริมนักเรียนเป็นรายบุคคลได้ทำให้นักเรียนทราบถึงจุดบกพร่องของตนและสามารถนำมาใช้ปรับปรุง การเรียนได้ตรงจุด

Bloom, Benjamin & others (1971, p. 91-101) ได้กล่าวถึงหน้าที่และประโยชน์ของแบบทดสอบวินิจฉัยการเรียนรู้ ดังนี้

1. ใช้วัดพื้นฐานความรู้ก่อนเข้าเรียน
2. ใช้วัดระดับความรอบรู้
3. ใช้แยกนักเรียนเป็นกลุ่มเป็นพวกเพื่อหาทางใช้วิธีการสอนที่เหมาะสม
4. ใช้ค้นหาสาเหตุของความผิดที่เกิดขึ้นซ้ำซาก

โชติ เพชรชื่น (2544, p. 10-11) ได้กล่าวถึง ประโยชน์ของแบบทดสอบวินิจฉัย ดังนี้

1. ช่วยให้นักเรียนรู้ข้อบกพร่องของตนเองโดยดูคะแนนผลการสอบแต่ละส่วนว่ามีส่วน ไหนบ้างที่ได้คะแนนน้อยกว่าปกติ หรือต่ำกว่าคะแนนเกณฑ์ เมื่อรู้ข้อบกพร่องหรือจุดด้อยแล้ว ก็จะได้ปรับปรุงหรือฟื้นฟูความรู้ความเข้าใจหรือฝึกทักษะในเรื่องนั้น ๆ เป็นการเฉพาะเป็นการแก้ปัญหาใน ส่วนของตัวนักเรียนบางคนอาจมีข้อบกพร่องเพียงจุดเดียว เพียงด้านเดียว แต่บางคนอาจบกพร่องหลาย ๆ จุด หลาย ๆ ด้าน ก็ได้ไม่เท่ากัน

2. ครูผู้สอนหรือครูที่ปรึกษาสามารถช่วยเหลือนักเรียนได้ตรงจุด ทำให้ปัญหาของนักเรียนหมดไปโดยเร็วเป็นการประหยัดเวลา นอกจากนั้นยังต้องตระหนักว่าวิธีการสอนที่เคยใช้อยู่ก่อนอาจไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้สอนเสริม ควรแสวงหาหรือเลือกวิธีสอนใหม่ ซึ่งแตกต่างไปจากวิธีการสอนแบบเดิมที่เคยใช้สอนเรื่องนั้น ๆ มาก่อนแล้ว

3. ผู้บริหารโรงเรียนสามารถจัดการสนับสนุนและอำนวยความสะดวกให้แก่ครูผู้สอน หรือครูที่ปรึกษาตลอดทั้งตัวนักเรียนเองได้ตรงประเด็นหรือตรงความต้องการ ผลที่เกิดขึ้นก็คือผู้เรียนบรรลุตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้ของหลักสูตร

จากคำกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยสรุปประโยชน์ของแบบทดสอบวินิจฉัย ไว้ว่าแบบทดสอบวินิจฉัยเป็นแบบทดสอบที่ครูใช้ในการค้นหาจุดบกพร่องการเรียนรู้ของนักเรียนในแต่ละเนื้อหาย่อย ๆ ว่านักเรียนไม่เข้าใจในเนื้อหาการเรียนในตอนใดเพื่อใช้เป็นแนวทางในการแก้ไข

ปรับปรุง มโนทัศน์ของผู้เรียน รวมทั้งกระบวนการจัดการเรียนการสอนที่เกิดจากความบกพร่องของ ตัวครูผู้สอนผู้เรียนสามารถประเมินตนเองได้ถึงจุดบกพร่องในการเข้าใจเนื้อหาเพื่อทำความเข้าใจ ในเนื้อหาอีกครั้ง ทำให้ผู้เรียนเกิดแรงจูงใจในการเรียน และเตรียมพร้อมในการเรียนอยู่เสมอ

2.5 เทคนิคการสร้างแบบทดสอบวินิจฉัย

บุญชม ศรีสะอาด (2523, น. 10-12) ได้กล่าวถึงข้อควรคำนึงถึงในการสร้าง แบบทดสอบวินิจฉัยการเรียนไว้ดังนี้

1. การสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยการเรียนจะต้องครอบคลุมจุดประสงค์ในการ เรียนและทักษะพื้นฐานทุกด้าน
2. แบบทดสอบวินิจฉัยการเรียนสามารถใช้ค้นหาจุดอ่อนของการเรียนได้ และ สามารถชี้ให้เห็นชนิดของความผิดพลาดได้
3. ข้อมูลที่ได้จากแบบทดสอบวินิจฉัยการเรียน สามารถใช้ประกอบการวินิจฉัย อุปสรรค หรือปัญหาของนักเรียนได้
4. เรียบเรียงข้อสอบไว้เป็นด้าน ๆ เพื่อสะดวกในการวินิจฉัย โดยในแต่ละด้าน ควรมีข้อสอบซึ่งค่อนข้างง่ายไม่น้อยกว่า 3 ข้อ
5. ตรวจสอบความถูกต้องของแบบทดสอบ แล้วนำไปใช้เพื่อปรับปรุงแก้ไข แบบทดสอบ ให้มีประสิทธิภาพ

สุเทพ สันติวรานนท์ (2533, น. 71) ได้สรุปขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบวินิจฉัย ดังนี้

1. กำหนดจุดมุ่งหมายและวางแผนในการดำเนินการสร้างแบบทดสอบ
2. วิเคราะห์ทักษะที่จำเป็นและเนื้อหาวิชาอย่างละเอียด จากนั้นทำการแบ่งเป็น องค์ประกอบย่อย ๆ
3. เขียนจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (Behavioral objective) ให้ครอบคลุมเนื้อหาที่ กำหนด
4. เขียนข้อสอบให้สอดคล้องกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม ในข้อสอบจะ กำหนดให้นักเรียน หาคำตอบและสาเหตุการเลือกตอบ ซึ่งในขั้นนี้ถือเป็นขั้นการสร้างแบบทดสอบ เพื่อสำรวจหาสาเหตุของการเลือกตอบ
5. นำไปสอบกับนักเรียนในกลุ่มที่ได้เรียนเนื้อหานั้นผ่านมาแล้ว

6. วิเคราะห์หาคำตอบ และสาเหตุของการไม่ผ่านตามจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม จากแบบทดสอบเพื่อสำรวจ ทั้งนี้เพื่อนำผลการวิเคราะห์มากำหนดสร้างตัวเลือกของแบบทดสอบ วินิจฉัยต่อไป

7. เขียนข้อสอบ โดยตัวเลือกสร้างจากสาเหตุของการเลือกตอบของนักเรียน

8. มารวบรวมเป็นฉบับแบบทดสอบวินิจฉัย แล้วนำไปทดลองใช้ และพัฒนาปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้น

9. เขียนคู่มือในการใช้แบบทดสอบ และกำหนดแนวทางที่เหมาะสม เพื่อสามารถ บ่งชี้ถึงความบกพร่อง และค้นหาสาเหตุของความบกพร่องในแต่ละทักษะนั้นได้

โชติ เพชรชื่น (2544, น. 17) ได้สรุปขั้นตอนการดำเนินการสร้างแบบทดสอบวินิจฉัย ดังนี้

1. วิเคราะห์ความสามารถหรือทักษะที่เป็นองค์ประกอบย่อยความสามารถที่เป็น จุดประสงค์ของหลักสูตรรายวิชา

2. กำหนดจุดประสงค์ในการวัดและลักษณะเฉพาะข้อสอบ

3. สร้างคำถามที่วัดความสามารถหรือทักษะย่อยเหล่านี้ ให้ครอบคลุม จุดประสงค์และเนื้อหา มีจำนวนข้อคำถามเพียงพอที่จะอธิบายถึงความบกพร่องหรือจุดด้อยของ นักเรียนได้

4. ทดลองใช้และนำผลการวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงคำถาม

5. ตรวจสอบคุณภาพของข้อสอบ

6. สร้างเกณฑ์การบรรจุจุดประสงค์การเรียนรู้เพื่อเปรียบเทียบ

7. จัดทำคู่มือการใช้แบบทดสอบ

จากเทคนิคการสร้างแบบทดสอบวินิจฉัย สรุปขั้นตอนสร้างแบบทดสอบวินิจฉัย ได้ ดังนี้

1. วิเคราะห์ทักษะตามมาตรฐานการเรียนรู้หรือสาระสำคัญที่ต้องการทดสอบ

2. แบ่งทักษะหรือเนื้อหาเป็นองค์ประกอบย่อย ๆ ตามมาตรฐานการเรียนรู้หรือ สาระสำคัญ

3. กำหนดตัวบ่งชี้ทักษะความสามารถให้ครอบคลุมตามมาตรฐานการเรียนรู้หรือ สาระสำคัญ

4. สร้างแบบทดสอบสำรวจตามตัวบ่งชี้ทักษะความสามารถ มีจำนวนข้อคำถาม เพียงพอที่จะอธิบายถึงความบกพร่องหรือจุดด้อยของนักเรียนได้

5. นำไปทดสอบแล้วนำผลการตอบผิดมาสร้างเป็นตัวเลือกของแบบทดสอบ
วินิจฉัยต่อไป
6. สร้างแบบทดสอบวินิจฉัยโดยใช้ข้อคำถามจากแบบทดสอบสำรวจและสร้าง
ตัวลวงจากคำตอบที่รวบรวมจากการตอบผิดของนักเรียน
7. นำไปทดสอบแล้วนำผลมาวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงและหาคุณภาพของ
แบบทดสอบที่สร้างขึ้น
8. วิเคราะห์หาจุดบกพร่องทางการเรียนของนักเรียน
9. จัดพิมพ์แบบทดสอบและคู่มือดำเนินการสอบ

2.6 แบบทดสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์

งานวิจัยของ (Gurel et al, 2015) กล่าวว่าแบบทดสอบวินิจฉัยของนักเรียนเพื่อระบุมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์มีอยู่หลายประเภทโดยการวิเคราะห์เอกสารการศึกษาพบว่าการสัมภาษณ์ (53%) การทดสอบแบบเปิด (34%) การทดสอบแบบเลือกตอบ (32%) และการทดสอบหลายชั้น (13%) เป็นเครื่องมือวินิจฉัยที่ใช้กันมากที่สุด อย่างไรก็ตามเครื่องมือแต่ละตัวมีข้อดีและข้อเสีย ซึ่งควรคำนึงถึงในแนวทางปฏิบัติของผู้ใช้ที่ควรระมัดระวัง ครูหรือนักวิจัยจะต้องตระหนักถึงเครื่องมือวินิจฉัยและเลือกวิธีการที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับวัตถุประสงค์ของตนเอง เพื่อวัดมโนทัศน์ของนักเรียนต่อแนวคิดต่าง ๆ จึงได้มีการพัฒนาเครื่องมือวินิจฉัยและนำมาใช้ การสัมภาษณ์ แบบทดสอบปลายเปิด และแบบทดสอบแบบเลือกตอบ เป็นเครื่องมือที่ถูกนำมาใช้กันมากที่สุดในการวิจัยการศึกษาวิทยาศาสตร์ เพื่อระบุมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน แต่อย่างไรก็ตาม เครื่องมือแต่ละตัวมีข้อดีรวมถึงข้อเสียแตกต่างกัน ดังที่อธิบายไว้ข้างต้น

ในกลุ่มของงานวิจัยจำนวน 273 ฉบับ เครื่องมือวินิจฉัยที่ใช้กันมากที่สุดคือ การสัมภาษณ์ (53%) ดังตาราง 1 แสดงเปอร์เซ็นต์ของเครื่องมือวินิจฉัยที่ใช้ในบทความที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ แต่เปอร์เซ็นต์โดยรวมไม่เท่ากับ 100% เนื่องจากงานวิจัยบางส่วนใช้วิธีการวินิจฉัยหลายวิธี จากงานวิจัยทั้งหมดที่ทำกรวิเคราะห์ พบว่างานวิจัย 42% ใช้วิธีการวินิจฉัยวิธีเดียว ในขณะที่อีก 58% ใช้ตั้งแต่ 2 วิธีขึ้นไป เครื่องมือวิเคราะห์ที่ระบุว่า “อื่น ๆ” ประกอบด้วย แผนผังมโนทัศน์ การเชื่อมโยงคำ การวาดภาพ เรียงความ เป็นต้น

ตาราง 1 เครื่องมือวิจัยที่ใช้ในงานวิจัยที่ศึกษาเพื่อระบุโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

| วิธีการวิจัย | เปอร์เซ็นต์ (%) |
|---|-----------------|
| การสัมภาษณ์ | 53 |
| แบบทดสอบปลายเปิด | 34 |
| แบบทดสอบแบบเลือกตอบ | 32 |
| แบบทดสอบวิจัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้น | 9 |
| แบบทดสอบวิจัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้น | 3 |
| แบบทดสอบวิจัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น | 1 |
| อื่น ๆ (แผนผังโมทัศน์ การเชื่อมโยงคำ การวาดภาพ ฯลฯ) | 9 |

ที่มา: Gurel et al (2015)

การสัมภาษณ์ในกลุ่มของวิธีการต่าง ๆ ในการวิจัยโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อน การสัมภาษณ์มีบทบาทสำคัญอย่างมาก เพราะสามารถสอบถามข้อมูลเชิงลึกและรายละเอียดต่าง ๆ เพื่ออธิบายโครงสร้างทางปัญญาของนักเรียน ซึ่งในความเป็นจริงการสัมภาษณ์เป็นหนึ่งในวิธีการที่ดีที่สุดและใช้กันมากที่สุดในการศึกษามุมมองและโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน เทคนิคการสัมภาษณ์ที่นำมาใช้ในบทความวิจัยมีด้วยกันหลายวิธี ซึ่งวัตถุประสงค์ของการสัมภาษณ์คือการค้นหาสิ่งที่อยู่ในใจของบุคคล สิ่งที่เกิด หรือความรู้สึกที่มีต่อสิ่งต่าง ๆ หากทำการสัมภาษณ์อย่างมีทักษะ การสัมภาษณ์จะเป็นหนึ่งในวิธีการที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการจัดการกับโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อน แม้ว่าการสัมภาษณ์จะมีข้อดีหลายประการ เช่น การเข้าถึงข้อมูลเชิงลึกและมีความยืดหยุ่น แต่จำเป็นต้องใช้เวลานานในการสัมภาษณ์คนจำนวนมากเพื่อให้มีความสามารถในการแปลผลสู่ประชากรเป้าหมายมากขึ้น ผู้วิจัยจำเป็นต้องพิจารณาเกี่ยวกับการสัมภาษณ์ นอกจากนี้อคติของผู้สัมภาษณ์อาจส่งผลเสียต่อข้อค้นพบ และการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นเรื่องที่ยุ่งยาก

แบบทดสอบปลายเปิด เพื่อศึกษาความเข้าใจของนักเรียน แบบทดสอบปลายเปิดจึงถูกนำมาใช้กันมากในการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ วิธีการนี้จะให้ผู้ทดสอบใช้เวลาในการคิดและเขียนแนวคิดของตนเอง แต่ยากที่จะประเมินผลลัพธ์ได้ นอกจากนี้เนื่องจากปัญหาทางด้านภาษาการระบุโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนจึงเป็นไปได้ยาก เนื่องจากนักเรียนมักไม่กระตือรือร้นที่จะเขียนคำตอบของตนด้วยประโยคเต็มรูปแบบ

แบบทดสอบแบบเลือกตอบ เพื่อแก้ไขปัญหาที่พบในกระบวนการสัมภาษณ์และการทดสอบแบบปลายเปิด จึงมีการใช้แบบทดสอบแบบเลือกตอบเพราะสามารถให้คะแนนได้ในทันที และสามารถนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างจำนวนมากได้ จึงถูกนำมาใช้เพื่อยืนยันมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน แบบทดสอบเหล่านี้ถูกนำมาใช้ทั้งในการสัมภาษณ์เชิงลึกหรือใช้เป็นมาตรการตรวจสอบอย่างกว้าง ๆ การพัฒนาแบบทดสอบแบบเลือกตอบเกี่ยวกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนมีประโยชน์อย่างมาก และช่วยให้ครูวิทยาศาสตร์นำเอาผลการวิจัยไปใช้ในชั้นเรียนได้ง่ายขึ้น บทความวิจัยเกี่ยวกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนได้รายงานผลจากแบบทดสอบแบบเลือกตอบเอาไว้บ่อยครั้ง และมีหลักฐานที่ชัดเจนว่าแบบทดสอบแบบนี้มีความถูกต้อง จากมุมมองของการทำงานของครู เครื่องมือที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือ ง่ายต่อการให้คะแนน ง่ายต่อการนำไปใช้ ทำให้ครูสามารถประเมินความเข้าใจในวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ครูวิทยาศาสตร์สามารถหาข้อมูลเกี่ยวกับความเข้าใจและมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ เมื่อระบุมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนแล้ว ครูจะสามารถแก้ไขแนวคิดที่ผิดพลาดได้โดยใช้วิธีการและเครื่องมือที่เหมาะสม นักวิจัยหลายท่านได้กล่าวถึงข้อดีของการใช้แบบทดสอบแบบเลือกตอบที่เหนือกว่าวิธีการอื่น ๆ เอาไว้ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าข้อดีของแบบสอบถามแบบเลือกตอบ คือ 1. สามารถครอบคลุมหัวข้อได้หลากหลายในระยะเวลาที่ค่อนข้างสั้น 2. มีความหลากหลายและสามารถนำไปใช้เพื่อวัดระดับการเรียนรู้และทักษะทางปัญญา 3. มีความเป็นภาวะวิสัยในแง่ของการให้คะแนนจึงมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น 4. ให้คะแนนได้โดยง่ายและรวดเร็ว 5. เหมาะสำหรับนักเรียนที่ทราบเนื้อหาของวิชาแต่เขียนอธิบายไม่เก่ง 6. เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ข้อคำถาม ซึ่งจะสามารถตรวจสอบแต่ละคุณลักษณะได้ 7. ให้ข้อมูลที่ มีประโยชน์และเป็นทางเลือกที่เป็นไปได้แทนการสัมภาษณ์ และเป็นเครื่องมือเชิงคุณภาพในการวัดความเข้าใจของนักเรียนและการศึกษาความซุกและการกระจายตัวของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนระหว่างกลุ่มประชากร อย่างไรก็ตาม ปัญหาสำคัญในแบบทดสอบเหล่านี้ ก็คือการตีความคำตอบของนักเรียนหากข้อคำถามไม่ได้ถูกสร้างขึ้นอย่างระมัดระวัง นักวิจัยหลายท่านได้พัฒนาข้อคำถามที่ตัวเบี่ยงเบนความสนใจ โดยอาศัยคำตอบของนักเรียนในข้อสอบอัตนัยหรือแบบทดสอบปลายเปิดและแบบสอบถามแบบอื่น ๆ แม้ว่าแบบทดสอบแบบเลือกตอบจะมีข้อดีดังที่กล่าวไว้ข้างต้น แต่ก็มีข้อจำกัดหรือข้อเสียบางประการของข้อสอบแบบเลือกตอบ เช่น 1. การคาดเดาของนักเรียนทำให้ได้ความแปรปรวนที่คลาดเคลื่อนและลดความน่าเชื่อถือของแบบทดสอบ 2. ตัวเลือกที่เลือกไม่สามารถให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับแนวคิดหรือความเข้าใจของนักเรียน 3. นักเรียนถูกบังคับให้เลือกแต่ละคำถามจากรายการตัวเลือกที่จำกัด ซึ่งทำให้นักเรียนไม่สามารถสร้าง จัดเรียง และ

นำเสนอคำตอบของตนเอง 4. เป็นการยากที่จะเขียนคำถามแบบเลือกตอบที่ดี อีกหนึ่งคำวิพากษ์วิจารณ์ที่พบได้มาก ก็คือ แบบทดสอบแบบเลือกตอบไม่ได้ให้ข้อมูลเชิงลึกที่เพียงพอที่จะศึกษาแนวคิดของนักเรียน และนักเรียนอาจเลือกคำตอบที่ถูกต้องด้วยเหตุผลที่ผิด หรือกล่าวได้ว่าแบบทดสอบแบบเลือกตอบไม่สามารถแยกแยะคำตอบที่ถูกต้องที่เกิดจากการให้เหตุผลที่ถูกต้องออกจากคำตอบที่ถูกต้องที่เกิดจากการให้เหตุผลที่ไม่ถูกต้อง จึงอาจทำให้คะแนนนักเรียนเกินความเป็นจริง ซึ่งก็คือแนวคิดเกี่ยวกับ “ผลบวกปลอม” และ “ผลลบปลอม” ผลลบปลอมถือว่าเป็นสิ่งที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหา และมีสาเหตุมาจากความประมาทหรือไม่ตั้งใจ ในทางตรงกันข้ามการลดคำตอบแบบผลบวกปลอมนั้นทำได้ยาก ผู้วิจัยกล่าวว่าปัญหาหลักในการพัฒนาแบบทดสอบแบบเลือกตอบก็คือการลดผลบวกปลอมหรือผลลบปลอม จึงได้มีการพัฒนาแบบทดสอบเลือกตอบแบบหลายลำดับขั้น ตาราง 2 แสดงเอกสารอ้างอิงของแบบทดสอบแนวคิดที่ใช้กันมากที่สุดในด้านวิทยาศาสตร์ ในหัวข้อต่าง ๆ

ตาราง 2 แบบทดสอบแนวความคิดแบบเลือกตอบโดยทั่วไปในด้านวิทยาศาสตร์

| สาขา | แบบทดสอบแนวความคิด | เอกสารอ้างอิง |
|---------|--|--|
| | แบบทดสอบวัดความเข้าใจทางฟิสิกส์เรื่องแรง (Akkus) | Hestenes, Wells & Swackhamer (1992) |
| | แบบประเมินความเข้าใจเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ (FMCE) | Thornton & Sokoloff (1998) |
| | แบบทดสอบพื้นฐานกลศาสตร์ (MBT) | Hestenes & Wells (1992) |
| | แบบสำรวจแนวความคิดเรื่องพลังงานและโมเมนตัม | Singh & Rosegrant (2003) |
| ฟิสิกส์ | (EMCS) | |
| | แบบทดสอบความเข้าใจเรื่องกราฟในจลศาสตร์ (TUG-K) | Beichner (1994) |
| | แบบประเมินแนวความคิดเรื่องวงจรไฟฟ้า (ECCE) | Sokoloff (1993) |
| | การวินิจฉัยและการตีความวงจรตัวต้านทาน (DIRECT) | Engelhardt & Beichner (2004) |
| | การสำรวจแนวความคิดเรื่องไฟฟ้าและแม่เหล็ก (CSEM) | Maloney, O'Kuma, Heiggelke & Van Heuvelen (2001) |

ตาราง 2 (ต่อ)

| สาขา | แบบทดสอบแนวความคิด | เอกสารอ้างอิง |
|----------|---|--|
| ฟิสิกส์ | เครื่องมือประเมินความเข้าใจเรื่องไฟฟ้าและแม่เหล็กขบับ ย่อ (BEMA) | Ding, Chabay, Sherwood & Beichner (2006) |
| | แบบประเมินแนวความคิดเรื่องแสงและทัศนศาสตร์ (LOCE) | Sokoloff (1997) |
| | แบบทดสอบวัดความเข้าใจเรื่องแสงและสเปกโทรสโกปี (LSCI) | Bardar, Prather, Brecher & Slater (2007) |
| | แบบทดสอบวัดความเข้าใจเรื่องการนำเสนข้อมูล กลศาสตร์ควอนตัม (QMVI) | Cataloglu & Robinett (2002) |
| | แบบสำรวจแนวความคิดเรื่องคลื่นกลศาสตร์ | Tongchai, Sharma, Johnston, Arayathanitkul & Soankwan (2009) |
| เคมี | แบบสำรวจแนวความคิดด้านเคมี (CCI) | Mulford & Robinson (2002) |
| | แบบทดสอบแนวความคิดเรื่องสารละลาย | Uzuntiryaki & Geban (2005) |
| | แบบทดสอบแนวความคิดเรื่องความร้อนและอุณหภูมิต (HTCT) | Baser & Geban (2007) |
| | แบบทดสอบวัดความเข้าใจเรื่องการคัดเลือกโดยธรรมชาติ (CINS) | Anderson, Fisher & Norman (2002) |
| ชีววิทยา | แบบทดสอบวัดความเข้าใจด้านชีววิทยา (BCI) | Klymkowsky & Garvin-Doxas (2008) |
| | แบบสำรวจเนื้อหาเรื่องชีววิทยาการเจริญ | Knight & Wood (2005) |
| | แบบประเมินความเข้าใจเรื่องเซลล์และชีววิทยาระดับ โมเลกุลเบื้องต้น (IMCBA) | Shi, Wood, Martin, Guild, Vicens & Knight (2010) |
| | แบบทดสอบวัดความเข้าใจเรื่องวิทยาศาสตร์ชีวภาพ ระดับโมเลกุล | Howitt, Anderson, Hamilton & Wright (2008) |
| | แบบทดสอบวัดความเข้าใจเรื่องการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส | Kalas, O'Neil, Pollock & Birol (2013) |

ที่มา: Gurel et al (2015)

นักวิจัยตระหนักถึงความยากลำบากในการค้นหาโน้ตที่คลาดเคลื่อนโดยใช้แบบทดสอบแบบเลือกตอบ เนื่องจากไม่สามารถบ่งบอกถึงเหตุผลของการเลือกตอบของนักเรียนได้ ดังนั้น นักวิจัยจึงได้ขยายผลแบบทดสอบแบบเลือกตอบไปเป็นแบบทดสอบแบบเลือกตอบแบบหลายลำดับขั้น เพื่อชดเชยข้อจำกัดของแบบทดสอบแบบเลือกตอบโดยทั่วไป

แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้น เพื่อรวบรวมข้อมูลจากนักเรียนให้มากกว่าในการสัมภาษณ์ จึงใช้การให้เหตุผลในข้อคำถามแบบเลือกตอบ ซึ่งนักเรียนจะต้องให้เหตุผลกับการเลือกคำตอบในข้อคำถามแบบเลือกตอบในรูปของคำตอบสั้น ๆ และมีการแนะนำให้ใช้การให้เหตุผลเหล่านี้เป็นวัตถุประสงค์สำหรับการสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้วแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้นเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ โดยที่ขั้นแรกประกอบด้วยคำถามเชิงเนื้อหาแบบเลือกตอบ และขั้นที่สองเป็นตัวเลือกเหตุผลสำหรับคำตอบในขั้นแรก โดยจะถือว่าคำตอบของนักเรียนในแต่ละข้อคำถามถูกต้องเมื่อทั้งตัวเลือกและการให้เหตุผลถูกต้อง ตัวลวงจะได้มาจากโน้ตที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนที่รวบรวมมาจากบทความวิจัย การสัมภาษณ์ และแบบทดสอบปลายเปิด แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้นถือได้ว่าเป็นความก้าวหน้าอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการก่อนหน้า เนื่องจากแบบทดสอบเหล่านี้จะพิจารณาการให้เหตุผลหรือการตีความเบื้องหลังคำตอบที่เลือก และเชื่อมโยงคำตอบของนักเรียนกับโน้ตที่คลาดเคลื่อนของแนวคิดเป้าหมาย นอกจากนี้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้นทำให้นักเรียนตอบสนองได้อย่างสะดวก และมีคุณค่าและเป็นประโยชน์ในทางปฏิบัติต่อครู เพื่อใช้ในการลดการคาดเดา ทำให้สามารถนำไปใช้ได้กับนักเรียนปริมาณมากและง่ายต่อการให้คะแนน และให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับการให้เหตุผลของนักเรียน

ตั้งแต่ที่ Treagust ในปี 1986 ได้ตีพิมพ์ผลงานเกี่ยวกับการพัฒนาแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้น นักวิจัยจำนวนมากได้พัฒนาและนำเอาแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้นมาใช้ในวิชาชีววิทยา เคมี และฟิสิกส์ ดังแสดงในตาราง 3 ด้านล่าง

ตาราง 3 แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์

| สาขา | แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้น | เอกสารอ้างอิง |
|----------|--|---|
| ฟิสิกส์ | แบบทดสอบการเกิดภาพจากการสะท้อนของแสง (TIFOR) | Chen, Lin & Lin (2002) |
| | แบบทดสอบความเข้าใจเรื่องแสงและสมบัติของแสง ของนักเรียน | Fetherstonaugh & Treagust (1992) |
| | เครื่องมือวินิจฉัยเรื่องการเดินทางของแสง (LPDI) | Chu, Treagust & Chandrasegaran (2009) |
| | แบบสอบถามวิชาฟิสิกส์สองลำดับชั้น (เรื่องกลศาสตร์ ไฟฟ้า และแม่เหล็ก ความร้อน เสียงและคลื่น และแสง) | Chang, Chen, Guo, Chen, Chang, Lin, Su, Lain, Hsu, Lin, Chen, Cheng, Wang & Tseng (2007) |
| เคมี | แบบทดสอบสำหรับการระบุความคิดรวบยอดของนักเรียน (TISC) เรื่องสมดุลเคมี | Voska & Heikkinen (2000) |
| | เครื่องมือวิเคราะห์วินิจฉัยเชิงคุณภาพ (QADI) เรื่อง เคมีอินทรีย์ | Tan, Goh, Chia & Treagust (2002) |
| | แบบทดสอบวินิจฉัยเรื่องพันธะโคเวเลนต์และโครงสร้างเคมี | Peterson, Treagust & Garnett (1986); Treagust (1986) |
| | เครื่องมือวินิจฉัยเรื่องธรรมชาติของสารละลายและ ความสามารถในการละลาย (NSS-DI) | Adadan & Savasci (2012) |
| | แบบทดสอบแนวความคิดเรื่องการเดือด | Costu, Ayas, Niaz, Ünal & Çalık (2007) |
| | แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้น เรื่อง สมดุลเคมี | Akkus, Kadayifci & Atasoy (2011) |
| | แบบทดสอบวินิจฉัยสองลำดับชั้นเรื่องการแยกสสาร | Tuysuz (2009) |
| | แบบทดสอบแนวความคิดทางเคมีสองอันดับชั้น | Chiu (2007) |
| | แบบทดสอบวินิจฉัยเรื่องกรด-เบส (ABDT) | Artdej, Ratanaroutai, Coll & Thongpanchang (2010) |
| | เครื่องมือวินิจฉัยเรื่องระบบและปฏิกิริยาเคมี (RSCRDI) | Chandrasegaran, Treagust & Mocerino (2007) |
| ชีววิทยา | แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้น เรื่อง พันธุศาสตร์ | Tsui & Treagust (2010) |

ตาราง 3 (ต่อ)

| สาขา | แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้น | เอกสารอ้างอิง |
|----------|--|--|
| ชีววิทยา | แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้น เรื่อง พันธุศาสตร์ | Tsui & Treagust (2010) |
| | แบบทดสอบวินิจฉัยเรื่องการสังเคราะห์แสงและการหายใจ ของพืช | Haslam (1986); Treagust (1986) Haslam & Treagust, (1987) |
| | แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้น เรื่อง ไข่มาลาเรีย | Cheong, Treagust, Kyeleve & Oh (2010) |
| | แบบทดสอบวินิจฉัยเรื่องการเจริญเติบโตและพัฒนาการ ของพืชดอก | Lin (2004) |
| | แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้น เรื่อง ระบบการไหลเวียนในพืชและมนุษย์ (ITP&HCS) | Wang (2004) |
| | แบบทดสอบวินิจฉัยเรื่องการแพร่และการออสโมซิส (DOTD) | Odom & Barrow (1995) |
| | เครื่องมือวินิจฉัยสองอันดับชั้น เรื่อง การแบ่งเซลล์และ การสืบพันธุ์ | Sesli & Kara (2012) |
| | แบบทดสอบแนวความคิดสองอันดับชั้นเรื่องพันธุศาสตร์ | Kiliç & Saglam (2009) |
| | แบบทดสอบเรื่องการสุดลมหายใจและการหายใจ | Mann & Treagust (1998) |
| | แบบทดสอบแนวคิดเรื่องแร่ธาตุ | Monteiro, Nobrega, Abrantes & Gomes (2012) |

ที่มา: Gurel et al (2015)

เนื่องจากแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นอาจสามารถตรวจหาความไม่ถูกต้องของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนได้ แต่ยังไม่แน่ชัดว่าความผิดพลาดของนักเรียนเป็นผลมาจากมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนหรือการใช้คำที่ไม่จำเป็นในแบบทดสอบ อีกหนึ่งความกังวลเกี่ยวกับแบบทดสอบก็คือ ข้อคำถามแบบบังคับเลือกในแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นจะให้คำใบ้ของคำตอบบางอย่างแก่ผู้ทำแบบทดสอบที่ไม่มีในแบบทดสอบปลายเปิดหรือการสัมภาษณ์ ตัวอย่างเช่น นักเรียนสามารถเลือกคำตอบในขั้นที่สอง (ขั้นเหตุผล) บนพื้นฐานว่าคำตอบนั้นสมเหตุสมผลกับคำตอบในขั้นแรก (ขั้นคำตอบ) หรือเนื้อหาของแต่ละตัวเลือกในขั้นที่สองดูแล้วน่าจะถูกต้องบางส่วนสำหรับผู้ตอบ แต่คำตอบที่ถูกต้องบางส่วนนี้อาจดึงดูดใจผู้ตอบ

หรือแบบทดสอบเหล่านี้ไม่สามารถแยกแยะความผิดพลาดอันเนื่องจากการขาดความรู้ ออกจากความผิดพลาดอันเนื่องจากมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และไม่สามารถแยกแยะคำตอบที่ถูกต้องอันเนื่องมาจากความรู้ทางวิทยาศาสตร์และที่เกิดจากการเดา ดังนั้น แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นอาจประมาณแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนสูงกว่าหรือต่ำกว่าความเป็นจริง หรือประมาณสัดส่วนของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนสูงกว่าความเป็นจริง เนื่องจากไม่สามารถประเมินช่องว่างของความรู้ได้ด้วยแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้น เนื่องจากตัวเลือกในชั้นที่สองถูกสร้างขึ้นมาจากผลของการสัมภาษณ์ แบบสอบถามปลายเปิด และการทบทวนวรรณกรรม นักเรียนมักสร้างแนวคิดของตนเองจากตัวเลือกเหล่านี้ และอาจมีแนวโน้มที่จะเลือกตัวเลือกใด ๆ ในชั้นสองตามอำเภอใจ เพื่อแก้ปัญหา จึงมีการเพิ่มตัวเลือกกว้างเข้าไปด้วย เพื่อให้ผู้ตอบสามารถเขียนคำตอบที่ไม่ได้ถูกกำหนดไว้ให้

โดยรวมแล้ว แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นมีข้อดีที่เห็นว่าเป็นแบบทดสอบแบบเลือกตอบโดยทั่วไป เพราะนักเรียนจะต้องให้เหตุผลหรือตีความคำตอบที่ตนเองเลือก อย่างไรก็ตาม แบบทดสอบเหล่านี้มีข้อจำกัดบางประการในการแยกแยะการขาดความรู้จากมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ด้วยเหตุนี้ แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้นจึงมีความสำคัญต่อการตรวจสอบว่าคำตอบในสองชั้นแรกว่าเป็นผลมาจากมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน หรือความผิดพลาดอันเนื่องจากการขาดความรู้

แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้น ข้อจำกัดที่กล่าวถึงไว้ในแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นจะถูกชดเชยโดยการรวมเอาอันดับชั้นที่สามเข้าไปในแต่ละข้อคำถามของแบบทดสอบ เพื่อสอบถามความแน่ใจในคำตอบที่ให้ไว้ในสองชั้นแรก ในแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้น ผู้วิจัยได้สร้างแบบทดสอบแบบเลือกตอบ โดยชั้นแรกเป็นชั้นคำตอบ ชั้นที่สองเป็นชั้นเหตุผล และชั้นที่สามเป็นระดับความมั่นใจของนักเรียนที่มีต่อคำตอบที่เลือกในสองชั้นแรก คำตอบของนักเรียนในแต่ละข้อคำถามจะถูกต้องเมื่อทั้งชั้นคำตอบและชั้นเหตุผลถูกต้อง รวมทั้งมีความเชื่อมั่นสูง ในทำนองเดียวกัน คำตอบของนักเรียนจะถือว่าเป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เมื่อเลือกคำตอบที่ผิดพร้อมทั้งให้เหตุผลที่ผิด และมีความมั่นใจสูง แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้นสามารถอธิบายมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนได้อย่างถูกต้องมากกว่า เนื่องจากสามารถตรวจหาการขาดความรู้ โดยใช้อันดับชั้นที่ถามความมั่นใจ ซึ่งจะช่วยให้ผู้ที่ใช้แบบทดสอบประเภทนี้สามารถหาเปอร์เซ็นต์ของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่ปราศจากผลบวกปลอม ผลลบปลอม และการขาดความรู้ ตาราง 4 แสดงแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้นเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ พร้อมทั้งเอกสารอ้างอิง

ตาราง 4 แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับขั้นด้านวิทยาศาสตร์

| สาขา | แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับขั้น | เอกสารอ้างอิง |
|---|--|---|
| ฟิสิกส์ | แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับขั้น เรื่อง ความร้อนและอุณหภูมิจ | Eryilmaz (2010) |
| | แบบทดสอบวินิจฉัยเรื่องวงจรไฟฟ้าอย่างง่าย (SECDT) | Pesman & Eryilmaz (2010) |
| | เครื่องมือวินิจฉัยเรื่องคลื่น (WADI) | Caleon & Subramaniam (2010a) |
| | แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับขั้น เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม | Kızılıcık & Günes (2011) |
| | แบบทดสอบแนวความคิดเรื่องแรงโน้มถ่วง | Kaltakci & Didis (2007) |
| | แบบทดสอบแนวความคิดเรื่องไฟฟ้า | Aykutlu & Sen (2012) |
| | เคมี | แบบทดสอบวินิจฉัยเรื่องสถานะของสสาร (SMDT) |
| แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับขั้น เรื่อง กรดและเบส | | Cetin-Dindar & Geban, (2011) |
| ชีววิทยา | แบบทดสอบวินิจฉัยเรื่องปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับบรรยากาศ (AREPDit) | Arslan, Cigdemoglu &, Moseley (2012) |

ที่มา: Gurel et al (2015)

แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับขั้นจึงมีข้อดีในการจำแนกการขาดความรู้ออกจากมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ดังนั้น แบบทดสอบแบบนี้เป็นวิธีที่สามารถประเมินมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนได้อย่างถูกต้องและน่าเชื่อถือมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับแบบทดสอบแบบเลือกตอบโดยทั่วไปและแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้น อย่างไรก็ตาม เนื่องจากในแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับขั้น นักเรียนจะถูกถามระดับความมั่นใจที่มีต่อคำตอบในสองขั้นแรก ในทางกลับกันวิธีการนี้อาจประมาณสัดส่วนของการขาดความรู้ต่ำกว่าความเป็นจริง และประมาณคะแนนของนักเรียนสูงกว่าความเป็นจริง ด้วยเหตุนี้จึงมีการพัฒนาแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับขั้นที่มีให้คะแนนความมั่นใจของขั้นคำตอบและขั้นเหตุผลแยกกัน

แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับขั้น แม้ว่าแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับขั้นจะสามารถวัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนได้โดยไม่มี ความคลาดเคลื่อนและการขาดความรู้ได้อย่างถูกต้อง แต่ก็ยังมีข้อจำกัดบางประการ คือ การประมาณสัดส่วนการขาดความรู้

ต่ำกว่าความเป็นจริง และคะแนนที่ถูกต้องสูงกว่าความเป็นจริง โดยในตาราง 5 เป็นการเปรียบเทียบแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้นและสามลำดับชั้น ในการประเมินการขาดความรู้โดยอาศัยการให้คะแนนความมั่นใจในแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น ตัวอย่างเช่น หากนักเรียน มั่นใจคำตอบในชั้นคำตอบ และไม่มั่นใจคำตอบในชั้นเหตุผล ในแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้นผู้วิจัยจะสามารถตัดสินได้ว่านักเรียนขาดความรู้ อย่างไรก็ตาม ในแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้นที่ใช้ข้อคำถามเดียวกัน นักเรียนอาจจะระบุว่าตัวเองมั่นใจหรือไม่มั่นใจในชั้นคำตอบและชั้นเหตุผลเป็นผลให้นักวิจัยอาจตัดสินว่านักเรียนขาดความรู้ หากนักเรียนระบุว่าไม่มั่นใจหรือไม่ขาดความรู้ หากนักเรียนระบุว่ามั่นใจโดยขึ้นอยู่กับการให้คะแนนความมั่นใจ ดังนั้นในแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้นจึงอาจประมาณสัดส่วนของการขาดความรู้ต่ำกว่าความเป็นจริง

ตาราง 5 การเปรียบเทียบแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น และแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้นในแง่ของการประเมินการขาดความรู้

| แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น | | | แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้น | |
|--|---------------------------|----------------------------|--|------------------------------------|
| ความมั่นใจ ในชั้นที่ 2 | ความมั่นใจ ในชั้นที่ 4 | การตัดสิน การขาดความรู้ | คำตอบที่เป็นไปได้ ของนักเรียน | การตัดสิน การขาดความรู้ |
| มั่นใจ | มั่นใจ | ไม่ขาดความรู้ | มั่นใจ | ไม่ขาดความรู้ |
| มั่นใจ | ไม่มั่นใจ | ขาดความรู้ | มั่นใจ | ไม่ขาดความรู้หากตอบว่า “มั่นใจ” |
| | | | ไม่มั่นใจ | ขาดความรู้หากตอบว่า “ไม่มั่นใจ” |
| ไม่มั่นใจ | มั่นใจ | ขาดความรู้ | มั่นใจ | ไม่ขาดความรู้หากตอบว่า “มั่นใจ” |
| | | | ไม่มั่นใจ | ขาดความรู้หากตอบว่า “ไม่มั่นใจ” |
| ไม่มั่นใจ | ไม่มั่นใจ | ขาดความรู้ | ไม่มั่นใจ | ขาดความรู้ |

ที่มา: Gurel et al (2015)

ตาราง 6 การเปรียบเทียบการตัดสินใจในแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับขั้น และแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับขั้น

| ขั้นที่ 1 | ขั้นที่ 2 | ขั้นที่ 3 | ขั้นที่ 4 | แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับขั้น | แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับขั้น |
|-----------|-----------|-----------|-----------|--|---|
| ถูกต้อง | มั่นใจ | ถูกต้อง | มั่นใจ | SC | SC |
| ถูกต้อง | มั่นใจ | ถูกต้อง | ไม่มั่นใจ | LK | SC หากตอบว่า "มั่นใจ" LK หากตอบว่า "ไม่มั่นใจ" |
| ถูกต้อง | ไม่มั่นใจ | ถูกต้อง | มั่นใจ | LK | SC หากตอบว่า "มั่นใจ" LK หากตอบว่า "ไม่มั่นใจ" |
| ถูกต้อง | ไม่มั่นใจ | ถูกต้อง | ไม่มั่นใจ | LK | LK |
| ถูกต้อง | ไม่มั่นใจ | ผิด | มั่นใจ | FP | FP |
| | | | | ไม่คอยมี MSC | ไม่คอยมี MSD |
| ถูกต้อง | มั่นใจ | ผิด | ไม่มั่นใจ | LK | FP หากตอบว่า "มั่นใจ" ไม่คอยมี MSC หากตอบว่า "มั่นใจ" LK หากตอบว่า "ไม่มั่นใจ" |
| ถูกต้อง | ไม่มั่นใจ | ผิด | มั่นใจ | LK | FP หากตอบว่า "มั่นใจ" ไม่คอยมี MSC หากตอบว่า "มั่นใจ" LK หากตอบว่า "ไม่มั่นใจ" |
| ผิด | มั่นใจ | ถูกต้อง | มั่นใจ | FN | FN |
| ผิด | มั่นใจ | ถูกต้อง | ไม่มั่นใจ | LK | FN หากตอบว่า "มั่นใจ" LK หากตอบว่า "ไม่มั่นใจ" |
| ผิด | ไม่มั่นใจ | ถูกต้อง | มั่นใจ | LK | FN หากตอบว่า "มั่นใจ" LK หากตอบว่า "ไม่มั่นใจ" |
| ผิด | ไม่มั่นใจ | ถูกต้อง | ไม่มั่นใจ | LK | LK |
| ผิด | มั่นใจ | ผิด | มั่นใจ | MSC | MSC |
| | | | | ไม่คอยมี MTK | ไม่คอยมี MTK |
| ผิด | มั่นใจ | ผิด | ไม่มั่นใจ | LK | MSC หากตอบว่า "มั่นใจ" ไม่คอยมี MTK หากตอบว่า "มั่นใจ" LK หากตอบว่า "ไม่มั่นใจ" |
| ผิด | ไม่มั่นใจ | ผิด | มั่นใจ | LK | MSC หากตอบว่า "มั่นใจ" ไม่คอยมี MTK หากตอบว่า "มั่นใจ" LK หากตอบว่า "ไม่มั่นใจ" |
| ผิด | ไม่มั่นใจ | ผิด | ไม่มั่นใจ | LK | LK |

SC : แนวคิดทางวิทยาศาสตร์

LK : การขาดความรู้

MSC : มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

FP : ผลบวกปลอม

FN : ผลลบปลอม

MTK : ความผิดพลาด

ที่มา: Gurel et al (2015)

ในการทำงานเดียวกัน ในการตัดสินคะแนนในทัศนคติที่คลาดเคลื่อนและคะแนนที่ถูกต้อง แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้นจะประมาณสัดส่วนของคะแนนดังกล่าวสูงกว่าความเป็นจริง เมื่อเปรียบเทียบกับแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น ตาราง 6 เป็นการเปรียบเทียบการตัดสินสำหรับแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้น และแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้นลำดับชั้น ตัวอย่างเช่น แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น หากนักเรียนให้คำตอบที่ถูกต้องในขั้นแรก และมั่นใจในคำตอบในขั้นนี้ แล้วให้คำตอบที่ถูกต้องในเหตุผลในขั้นที่สาม แต่ไม่มั่นใจในคำตอบในขั้นนี้ นักวิจัยจะตัดสินว่าคำตอบของนักเรียนสำหรับข้อคำถามนี้เป็นผลมาจากการขาดความรู้ เนื่องจากมีข้อสงสัยเกี่ยวกับคำตอบของนักเรียนอย่างน้อย 1 ชั้น อย่างไรก็ตามในแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้นที่สอบถามความมั่นใจของคำตอบในสองชั้นร่วมกัน นักเรียนอาจจะระบุว่ามั่นใจหรือไม่มั่นใจ เนื่องจากไม่มั่นใจในคำตอบอย่างน้อย 1 ชั้น หากนักเรียนระบุว่าไม่มั่นใจ ผู้วิจัยจะตัดสินว่านักเรียนขาดความรู้ แต่หากนักเรียนระบุว่ามั่นใจ ผู้วิจัยจะตัดสินว่าคำตอบของนักเรียนเกิดจากนักเรียนมีความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ในข้อคำถามนั้น ดังนั้น จึงเป็นการประมาณคะแนนที่ถูกต้องของนักเรียนสูงกว่าความเป็นจริง ในบทความด้านการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ มีแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้นอยู่ค่อนข้างน้อย ดังที่แสดงไว้ในตาราง 7

ตาราง 7 แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้นในด้านวิทยาศาสตร์

| สาขา | แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น | เอกสารอ้างอิง |
|----------|---|-----------------------------------|
| ฟิสิกส์ | เครื่องมือแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้นเรื่องคลื่น (4WADI) | Caleon & Subramaniam (2010b) |
| | แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้นเรื่องแสงเชิงเรขาคณิต (FTGOT) | Kaltakçı (2012) |
| เคมี | เครื่องมือวินิจฉัยเรื่องเทอร์โมไดนามิกส์ (THEDI) | Sreenivasulu & Subramaniam (2013) |
| ชีววิทยา | - | - |

ที่มา: Gurel et al (2015)

จากการสืบค้นบทความวิจัยเกี่ยวกับการศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในการศึกษาวิทยาศาสตร์ วิธีการวิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมีหลายวิธี แต่ยังไม่ชัดเจนเกี่ยวกับวิธีที่ดีที่สุดสำหรับวัตถุประสงค์นี้ โดยขึ้นอยู่กับบริบทของหัวข้อที่จะศึกษา ลักษณะของวิชาที่จะศึกษา และความสามารถและทรัพยากรของนักวิจัยหรือครู อย่างไรก็ตาม เป็นที่ทราบกันดีว่าการใช้หลาย ๆ วิธีร่วมกันให้ผลดีกว่าการใช้เพียงวิธีการเดียว ดังนั้น เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่ถูกต้องเกี่ยวกับมโนทัศน์ของนักเรียนจึงควรใช้เครื่องมือวิจัยหลาย ๆ ตัวร่วมกัน เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีประโยชน์ เครื่องมือทางวาจาและเครื่องมือประเภทเขียนตอบ มีคุณลักษณะที่แตกต่างกันในการสอบถามข้อมูล และการใช้เครื่องมือเหล่านี้ร่วมกันจะเสริมการหาข้อสรุปจากข้อมูลที่ได้ และกำจัดจุดอ่อนที่เกิดจากธรรมชาติของเครื่องมือแต่ละชนิด

ในงานวิจัยก่อนหน้านี้ ในกลุ่มของงานวิจัยเกี่ยวกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน 103 ฉบับ พบว่า ใช้การสัมภาษณ์ 46% ใช้แบบทดสอบแบบเลือกตอบ 20% ใช้การเรียงลำดับ 19% ใช้แบบสอบถาม 8% และใช้แบบทดสอบปลายเปิด 6% เมื่อเปรียบเทียบงานวิจัยเหล่านี้กับผลของงานวิจัยในปัจจุบัน พบว่า แนวโน้มของเครื่องมือวิจัยในการระบุมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนไม่ได้เปลี่ยนไปมากนัก การสัมภาษณ์เชิงลึกยังคงเป็นหนึ่งในเครื่องมือวิจัยที่ใช้กันอย่างกว้างขวางมากที่สุดในด้านวิทยาศาสตร์ ในบางงานวิจัยจะใช้การสัมภาษณ์เพียงอย่างเดียว ในขณะที่งานวิจัยจำนวนมากจะใช้การสัมภาษณ์ก่อนแบบทดสอบข้อเขียน หลังแบบทดสอบข้อเขียน หรือในระหว่างกระบวนการพัฒนาแบบทดสอบเพื่อสร้างข้อคำถามในแบบทดสอบข้อเขียน ในทางตรงกันข้ามมีการใช้แบบทดสอบแบบเลือกตอบ (แบบทั่วไปหรือแบบหลายอันดับขั้น) กันมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่กล่าวไว้ข้างต้น และมีการส่งเสริมให้ใช้แบบทดสอบหลายอันดับขั้น ตั้งแต่ปี 1990 และยังคงได้รับความสนใจเพื่อให้ได้รับประโยชน์สูงสุด อย่างไรก็ตาม แบบทดสอบแบบเลือกตอบโดยทั่วไปในวิชาเคมีมีจำนวนค่อนข้างน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับวิทยาศาสตร์อีกสองด้าน และแบบทดสอบวิจัยหลายตัวเลือกสามลำดับขั้น และแบบทดสอบวิจัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับขั้นในวิทยาศาสตร์ทั้งสามด้าน ยังคงมีจำนวนน้อยและจำเป็นต้องมีเพิ่มขึ้น โดยจะเห็นได้ชัดเจนว่ายังมีแบบทดสอบวิจัยหลายตัวเลือกสามลำดับขั้น และแบบทดสอบวิจัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับขั้นไม่เพียงพอในวิทยาศาสตร์ทุกด้าน

เนื่องจากมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนนั้นเปลี่ยนแปลงได้ยากมาก และเป็นปัญหาสำหรับความรู้ทางวิทยาศาสตร์ จึงจำเป็นต้องศึกษาอย่างถูกต้อง การให้เหตุผลที่ไม่ถูกต้องในข้อคำถามในแบบทดสอบเลือกตอบแบบหลายอันดับขั้น เป็นแหล่งของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน การเพิ่มการให้คะแนนความมั่นใจในแบบทดสอบวิจัยหลายตัวเลือกสามลำดับขั้น และ

แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกส์ลำดับขั้น ทำให้สามารถประเมินธรรมชาติและ ความแข็งแกร่งของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนได้ โดยจะประเมินมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนได้โดยปราศจากความคลาดเคลื่อน และประเมินการขาดความรู้ได้โดยง่าย ซึ่งจะมีส่วนช่วยผู้ใช้แบบทดสอบ ครู หรือนักวิจัยในด้านวิทยาศาสตร์ งานวิจัยนี้ได้แสดงรายการของเอกสารอ้างอิงของเครื่องมือวินิจฉัยโดยทั่วไป สำหรับผู้อ่านที่สนใจ ซึ่งอาจเป็นครูหรือนักวิจัย

โดยสรุปแล้ว การวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมีด้วยกันหลายวิธี แต่วิธีการประเมินวินิจฉัยทั้งหมดมีจุดแข็งและจุดอ่อนที่แตกต่างกันไป ตาราง 8 เป็นการสรุปวิธีการเหล่านี้ พร้อมทั้งจุดแข็งและจุดอ่อน ซึ่งได้มาจากการวิเคราะห์บทความวิจัยหลาย ๆ บทความ นักวิจัย หรือครูที่ตั้งใจที่จะใช้แบบทดสอบเหล่านี้ควรระมัดระวังเกี่ยวกับข้อกังวลเหล่านี้ และใช้วิธีการที่เหมาะสมหรือวิธีการที่ดีที่สุดสำหรับวัตถุประสงค์ของตนเอง

ตาราง 8 แสดงการเปรียบเทียบจุดแข็งและจุดอ่อนของวิธีการวินิจฉัยแบบต่าง ๆ

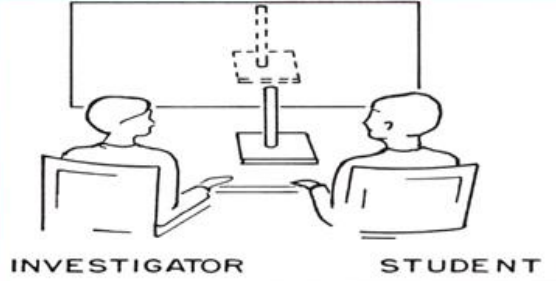
| วิธีการวินิจฉัย มโนทัศน์ ที่คลาดเคลื่อน | จุดแข็ง | จุดอ่อน |
|---|---|---|
| การสัมภาษณ์ | <ul style="list-style-type: none"> - ให้ข้อมูลเชิงลึก - มีความยืดหยุ่นในการตั้งคำถาม | <ul style="list-style-type: none"> - ต้องใช้เวลามากในการได้มาและวิเคราะห์ข้อมูล - ต้องใช้คนจำนวนมากเพื่อให้มีความสามารถในการแปลผลสู่ประชากร - ต้องมีการฝึกอบรมเกี่ยวกับการสัมภาษณ์ - การวิเคราะห์ข้อมูลเป็นไปได้ยากและเป็นเชิงอัตวิสัย - ผู้ตอบจะไม่ตอบคำถามอย่างอิสระหากไม่ไว้ใจผู้สัมภาษณ์ |
| แบบทดสอบ ปลายเปิด | <ul style="list-style-type: none"> - ให้โอกาสผู้ตอบเขียนคำตอบด้วยภาษาของตนเอง - ผู้ตอบอาจให้คำตอบใหม่ ๆ ที่มีประโยชน์ที่ผู้วิจัยคิดไม่ถึงมาก่อน | <ul style="list-style-type: none"> - ใช้เวลาในการวิเคราะห์คำตอบมาก - การให้คะแนนทำได้ยาก - อัตราการตอบสนองค่อนข้างต่ำ (ไม่สามารถเขียนคำตอบและเหตุผลได้ชัดเจน) |

ตาราง 8 (ต่อ)

| วิธีการวิจัย มนทัศน์ ที่คลาดเคลื่อน | จุดแข็ง | จุดอ่อน |
|---|--|--|
| แบบทดสอบ หลายตัวเลือก ทั่วไป | <ul style="list-style-type: none"> - ใช้เวลาอย่างมีประสิทธิภาพ - ให้คะแนนได้ทันที และเป็นกรให้คะแนนแบบภาวะวิสัย - มีหลักฐานอย่างชัดเจนถึงความถูกต้อง - ใช้ได้กับนักเรียนจำนวนมาก | <ul style="list-style-type: none"> - ใช้ในการวัดทักษะพิสัยได้ไม่ดีนัก - ไม่สามารถตรวจสอบแนวคิดของนักเรียนในเชิงลึก - นักเรียนอาจให้คำตอบที่ถูกต้องด้วยเหตุผลที่ผิด (ผลบวกปลอม) หรือให้คำตอบที่ผิดด้วยเหตุผลที่ถูกต้อง (ผลลบปลอม) เพราะมีการคาดเดา - ตีความคำตอบของนักเรียนผิด ๆ หากข้อความคำถามไม่ได้ถูกสร้างขึ้นอย่างระมัดระวัง - ยากที่จะพัฒนาข้อความคำถามที่ดี |
| แบบทดสอบ หลายตัวเลือก สองลำดับชั้น | <ul style="list-style-type: none"> - มีจุดแข็งทั้งหมดของ แบบทดสอบหลายตัวเลือกทั่วไป - ให้โอกาสในการตัดสินสัดส่วนของผลบวกปลอมและผลลบปลอม | <ul style="list-style-type: none"> - ประมาณสัดส่วนของมนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนสูงกว่าความเป็นจริงเนื่องจากไม่สามารถวัดการขาดความรู้ |
| แบบทดสอบ หลายตัวเลือก สามลำดับชั้น | <ul style="list-style-type: none"> - มีจุดแข็งทั้งหมดของ แบบทดสอบหลายตัวเลือกสองลำดับชั้น - ประเมินได้ว่าคำตอบในสองชั้นแรกเป็นผลมาจากมนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนหรือความผิดพลาดอันเนื่องมาจากขาดความรู้ | <ul style="list-style-type: none"> - ประมาณสัดส่วนของการขาดความรู้ต่ำกว่าความเป็นจริงเนื่องจากไม่สามารถตัดสินได้ว่าผู้ตอบมั่นใจในคำตอบของตนในชั้นแรก ในชั้นที่สอง และในทั้งสองชั้นหรือไม่ - ประมาณคะแนนของนักเรียนสูงกว่าความเป็นจริง |
| แบบทดสอบ หลายตัวเลือกสี่ ลำดับชั้น | <ul style="list-style-type: none"> - มีจุดแข็งทั้งหมดของ แบบทดสอบหลายตัวเลือกสามลำดับชั้น - สามารถประเมินมนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนและขาดความรู้ได้โดยไม่มีผิดพลาด | <ul style="list-style-type: none"> - ใช้เวลาในการทดสอบมาก - ได้สารสนเทศในการวินิจฉัยน้อยกว่าการสัมภาษณ์หรือแบบทดสอบปลายเปิด |

ที่มา: Gurel et al (2015)

ตาราง 9 ตัวอย่างคำถามของวิธีการวิจัยในทัศนที่คลาดเคลื่อนและการวิเคราะห์ผล

| ตัวอย่างข้อคำถามของวิธีการ วิจัยในทัศนที่คลาดเคลื่อน | วิธีการวิเคราะห์ |
|--|---|
| <p><u>แบบสัมภาษณ์เชิงสาธิตรายบุคคล</u></p> <p>คาดเดาตำแหน่งของภาพหากนักเรียนเคลื่อนไปหาผู้ตรวจสอบ</p>  <p>INVESTIGATOR STUDENT</p> <p>(Goldberg & McDermott, 1986)</p> | <p>หาว่านักเรียนคิดอย่างไร</p> <p>ผู้สัมภาษณ์พยายามค้นหาสิ่งที่อยู่ ในใจของนักเรียนโดยใช้ คำพูด</p> |
| <p><u>แบบทดสอบปลายเปิด</u></p> <p>ในห้องที่ไม่ได้รับแสงภายนอก มีดอกไม้ใส่ไว้ในแจกัน เมื่อจุดเทียนในห้อง จะ สามารถมองเห็นได้ว่าแจกันเป็นสีขาว และมีดอกไม้สีแดง สีเหลือง สีม่วง สี ชมพู และมีใบไม้สีเขียว คุณจะเห็นอะไรหลังจากดับเทียน ? จงอธิบาย</p> <p>(Langley, Ronen & Eylon, 1996)</p> | <p>ให้นักเรียนเขียนคำตอบของตน ในคำถามปลายเปิด</p> |
| <p><u>แบบทดสอบหลายตัวเลือกทั่วไป</u></p> <p>ลูกบอลเหล็กสองลูกมีขนาดเท่ากัน แต่ลูกหนึ่งหนักเป็นสองเท่าของอีกลูก ปล่อยลูกบอลลงจากยอดตึกสองชั้นพร้อมกัน เวลาที่ลูกบอลใช้ในการตกสู่พื้น จะเท่ากับเท่าใด</p> <p>ก. ลูกบอลที่หนักกว่าใช้เวลาประมาณครึ่งหนึ่ง ข. ลูกบอลที่เบากว่าใช้เวลาประมาณครึ่งหนึ่ง ค. ใช้เวลาใกล้เคียงกัน ทั้งสองลูก ง. ลูกบอลที่หนักกว่าใช้นเวลาน้อยกว่า แต่ไม่จำเป็นต้องเป็นครึ่งหนึ่ง จ. ลูกบอลที่เบากว่าใช้นเวลาน้อยกว่า แต่ไม่จำเป็นต้องเป็นครึ่งหนึ่ง</p> <p>(Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992)</p> | <p>ตัวเบี่ยงเบนความสนใจ (ตัวเลือกที่ผิด) ในข้อคำถามใน แบบทดสอบแบบเลือกตอบจะ สอดคล้องกับหนึ่งโมโนทัศน์ที่ คลาดเคลื่อนที่กำหนดไว้ ล่วงหน้า นักเรียนที่เลือกตัว เบี่ยงเบนความสนใจจะถือว่าม โนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนนั้น</p> |

ตาราง 9 (ต่อ)

| ตัวอย่างข้อคำถามของวิธีการ วินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน | วิธีการวิเคราะห์ |
|---|--|
| <p><u>แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้น</u></p> <p>1. ผมหยักศกเป็นลักษณะเด่นเมื่อเทียบกับผมตรง หากใช้ C แทนอัลลีลเด่น (ยีน) ของผลหยักศก และ c แทนอัลลีลด้อย ผู้ที่มีจีโนไทป์ Cc จะมีผมหยักศกหรือไม่</p> <p>ก. ใช่</p> <p>ข. ไม่ใช่</p> <p>ค. ไม่ทราบ</p> <p>2. เหตุผล</p> <p>ก. บุคคลจำเป็นต้องมีจีโนไทป์ CC จึงจะมีผมหยักศก</p> <p>ข. อัลลีลเด่น C จะแสดงออกในจีโนไทป์ Cc</p> <p>ค. บุคคลอาจมีผมหยักศกหรือไม่ก็ได้</p> <p>ง. อัลลีลด้อย ยีน c จะแสดงออก</p> <p>(Tsui & Treagust, 2010)</p> | <p>นักเรียนที่เลือกคำตอบที่ผิดในขั้นแรก และเลือกเหตุผลที่ผิดในขั้นที่สองจะถือว่ามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน</p> |
| <p><u>แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้น</u></p> <p>1. ชั้นโอโซน</p> <p>ก. ป้องกันโลกจากฝนกรด</p> <p>ข. กรองรังสียูวีของดวงอาทิตย์</p> <p>ค. ช่วยให้อุณหภูมิโลกคงตัว เพื่อให้โลกน่าอยู่</p> <p>2. ข้อใดเป็นเหตุผลของคำตอบของคุณ</p> <p>ก. ชั้นโอโซนจะดูดซับรังสียูวีของดวงอาทิตย์ ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก</p> <p>ข. ชั้นโอโซนป้องกันไม่ให้รังสีดวงอาทิตย์ออกไปจากชั้นบรรยากาศ ทำให้มีความอบอุ่นเพียงพอต่อสิ่งมีชีวิต</p> <p>ค. ชั้นโอโซนทำหน้าที่เป็นเหมือนกับกระจกกำบัง จึงไม่ทำให้ฝนกรดเข้าสู่พื้นผิวโลก</p> <p>ง.</p> <p>3. มั่นใจในคำตอบของใน 2 คำถามก่อนหน้าหรือไม่</p> <p>1. มั่นใจ 2. ไม่มั่นใจ</p> <p>(Arslan, Cigdemoglu & Moseley, 2012)</p> | <p>นักเรียนที่เลือกคำตอบที่ผิดในขั้นแรก เลือกเหตุผลที่ผิดในขั้นที่สอง และมั่นใจในคำตอบที่ให้ในทั้งสองขั้น จะถือว่ามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน</p> |

ตาราง 9 (ต่อ)

| ตัวอย่างข้อคำถามของวิธีการ วินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน | วิธีการวิเคราะห์ |
|---|---|
| <u>แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับขั้น</u> | |
| <p>1. พิจารณาก๊าซจริงที่บรรจุไว้ในภาชนะ หากแรงกระทำระหว่างโมเลกุลหายไปทันที จะเกิดสิ่งใดต่อไปนี้</p> <p>ก. ความดันลดลง ข. ความดันเพิ่มขึ้น ค. ความดันยังคงเท่าเดิม ง. ก๊าซขยายตัว</p> <p>2. จงให้คะแนนความเชื่อมั่นในคำตอบของคุณ</p> <p>ก. คาดเดา ข. ไม่มั่นใจมาก ค. ไม่มั่นใจ ง. มั่นใจ</p> <p>3. เหตุผล</p> <p>ก. โมเลกุลของก๊าซอยู่ห่างกัน ข. ความถี่ของการชนกันของโมเลกุลกับผนังของภาชนะเพิ่มขึ้น ค. โมเลกุลของก๊าซจะเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระมากขึ้น ง. ก๊าซจะมีพฤติกรรมเหมือนก๊าซในอุดมคติมากขึ้น</p> <p>4. จงให้คะแนนความเชื่อมั่นในคำตอบของคุณ</p> <p>1. คาดเดา 2. ไม่มั่นใจมาก 3. ไม่มั่นใจ 4. มั่นใจ 5. มั่นใจมาก 6. มั่นใจเต็มร้อย</p> <p>(Sreenivasulu & Subramaniam, 2013)</p> | <p>นักเรียนที่เลือกคำตอบที่ผิดในขั้นแรก ด้วยความมั่นใจที่สูง และเลือกเหตุผลที่ ผิดด้วยความมั่นใจที่สูง จะถือว่ามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน</p> |

ที่มา: Gurel et al (2015)

2.7 แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้น

การวัดผลและการวัดผลแบบเดิมและแบบทางเลือก เช่น แผนผังมโนทัศน์ การสัมภาษณ์ แฟ้มผลงาน แบบทดสอบปลายเปิด และแบบทดสอบวินิจฉัย ถูกนำมาใช้ในการศึกษาระดับความเข้าใจของนักเรียนที่มีต่อแนวคิดและมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน แบบทดสอบวินิจฉัยเป็นหนึ่งในสื่อที่เป็นที่นิยมกันมากที่สุดในการตรวจวัดระดับการเรียนรู้แนวคิดและมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในงานวิจัยจนถึงปัจจุบัน แม้ว่าจะมีลักษณะเหมือนกับแบบทดสอบหลายตัวเลือกในแง่ของโครงสร้าง แต่สาเหตุที่แบบทดสอบประเภทนี้เป็นที่นิยมก็คือ ทำให้นักเรียนสามารถอธิบายเหตุผลของคำตอบที่เลือก การศึกษาเหตุผลเหล่านี้ทำให้นักวิจัยด้านการศึกษาและอาจารย์ตรวจหา มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนได้ เนื่องจากแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นเป็นวิธีที่ง่ายต่อการให้คะแนนและการนำไปใช้ จึงสามารถโครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดที่อยู่ในใจของนักเรียนได้อย่างถูกต้องและน่าเชื่อถือ แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นนำมาใช้ในการศึกษาระดับความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับแนวคิดพื้นฐานในวิชาต่าง ๆ ระดับความเข้าใจของนักเรียนมักมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนอยู่ด้วย การทดสอบเช่นนี้จึงมีความจำเพาะเจาะจงต่อสาขาวิชา ไม่ได้ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้กับทุกวิชาหรือทุกหัวข้อ โครงสร้างของแบบทดสอบนี้เหมือนกับแบบทดสอบหลายตัวเลือก จึงสามารถนำไปใช้กับนักเรียนจำนวนมาก อย่างไรก็ตามก็มีความแตกต่างจากแบบทดสอบหลายตัวเลือก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจหา มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในข้อคำถามเหล่านี้ ในกรณีนี้ นักเรียนควรมีข้อมูลที่ชัดเจนในการเข้าถึงคำตอบที่ถูกต้อง หรือชัดเจนจากมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เนื่องจากแบบทดสอบเหล่านี้สามารถให้คะแนนได้ง่าย จึงสามารถนำมาใช้เป็นการสรุปผลเมื่อสิ้นสุดกระบวนการ แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นมีด้วยกัน 3 ประเภท ประเภทแรก ทั้งสองลำดับชั้นเป็นแบบทดสอบหลายตัวเลือก ประเภทที่สอง ลำดับชั้นแรกเป็นคำถามแบบถูกผิด ในขณะที่ลำดับชั้นที่สองเป็นแบบทดสอบหลายตัวเลือก ส่วนประเภทที่สาม ลำดับชั้นแรกเป็นแบบทดสอบหลายตัวเลือก ในขณะที่ลำดับชั้นที่สองเป็นคำถามปลายเปิด ลำดับชั้นที่สองของแบบทดสอบวินิจฉัยสองลำดับชั้นมีเป้าหมายในการค้นหา มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน ในแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้น ในขั้นแรกนักเรียนจะถูกขอให้ทำเลือกคำตอบที่คิดว่าถูกต้อง ในขั้นที่สองนักเรียนจะถูกขอให้เขียนเหตุผลที่เลือกตัวเลือกนั้น ด้วยวิธีนี้ก็จะสามารถศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนเกี่ยวกับคำตอบนั้น ๆ ได้ นอกจากนี้ยังสามารถวัดความสามารถของนักเรียนในการประเมินผลและการตั้งคำถามได้ดียิ่งขึ้น และสามารถตรวจสอบได้ว่านักเรียนมีมโน

ทัศนคติที่คลาดเคลื่อนแทนมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนหรือไม่ และยังทำให้นักเรียนและผู้สอนประสบความสำเร็จในกระบวนการเรียนรู้แนวคิดเพิ่มขึ้นมาก (Uyulgan, Akkuzu & Alpat, 2014)

การพัฒนาแนวคิดสามารถประเมินได้โดยใช้แบบทดสอบข้อเขียน วิธีการบรรยายด้วยคำพูด การทดสอบเป็นกลุ่มโดยใช้การสาธิต การศึกษาการสาธิต การสัมภาษณ์ทางคลินิก การสัมภาษณ์กรณีศึกษา การสัมภาษณ์เหตุการณ์ และแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้น คำถามในลำดับชั้นแรกและลำดับชั้นที่สอง สำหรับผู้เข้าร่วมการทดสอบจำนวนมากจะทำให้มีตัวเลือกมากขึ้น และไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ เนื่องจากมักมีคำตอบที่ถูกต้องมากเกินไป แต่อย่างไรก็ตาม คำถามที่คล้ายคลึงกันสำหรับผู้ตอบคนเดียวจะทำให้สามารถวิเคราะห์ผลได้ง่ายขึ้น เนื่องจากมีคำตอบมากขึ้น จากการเปรียบเทียบคำถามสองลำดับชั้นประเภทนี้ทำให้เราสามารถตัดสินได้ว่าผู้ตอบตอบคำถามได้อย่างถูกต้องหรือไม่ เพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องมือวินิจฉัยครอบคลุมหัวข้อทั้งหมดในหลักสูตรที่ศึกษา และแนวคิดทั้งหมดในแผนผังมโนทัศน์ที่เกี่ยวข้อง จำเป็นต้องทำการทบทวนการประเมินผลแนวคิด การสัมภาษณ์นักเรียน และสร้างคำถามที่มีประสิทธิภาพ จะต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงเครื่องมืออย่างต่อเนื่องโดยใช้สิ่งเหล่านี้ เพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการของนักเรียน (Chiang, Chiu, Chung & Liu, 2014)

แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นสามารถประเมินผลและให้คะแนนเชิงปรนัยได้ง่าย และยังสามารถให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับการคิดในระดับสูง เพื่อพัฒนาแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นขึ้น ต้องระบุเนื้อหาของหลักสูตร แล้วจึงพัฒนาแผนผังมโนทัศน์เพื่อนำเสนอเนื้อหา การเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับแนวคิดของนักเรียนโดยการทบทวนบทความต่าง ๆ ช่วยให้นักวิจัยสามารถพัฒนาคำถามหลายตัวเลือกที่เหมาะสมได้ จากนั้นจึงทำการสัมภาษณ์นักเรียนด้วยคำถามแบบไม่มีโครงสร้างเพื่อศึกษามุมมองอย่างกว้าง ๆ ของความเข้าใจของนักเรียน หลังจากนั้นจึงจำแนกกลุ่มแล้ววิเคราะห์ผลการสัมภาษณ์เพื่อระบุรูปแบบของคำตอบที่สอดคล้องกับแบบแผนความคิดอ่านของนักเรียน ศาสตราจารย์วิชาเคมีระดับมหาวิทยาลัย 2 ท่าน ได้พัฒนาการประเมินผลด้วยแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นตามรูปแบบคำตอบเหล่านี้ หลังจากนั้นผู้สอนวิชาเคมีระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (ซึ่งได้รับปริญญาเอกสาขาวิชาเคมี) จึงตรวจสอบความถูกต้องของแบบประเมิน และทำการปรับเปลี่ยนที่จะกล่าวในหัวข้อต่อไป ในกรณีที่นักเรียนตอบคำถามส่วนแรกได้ถูกต้อง แต่ตอบคำถามส่วนที่สองไม่ถูกต้อง ก็จะทำให้คะแนนบางส่วน (Chiang et al, 2014)

งานวิจัยที่เป็นตัวอย่างในการสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นที่ดีและสามารถนำมาเป็นตัวอย่างในการวิจัย ได้แก่ งานวิจัยการสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลาย

ตัวเลือกสองลำดับชั้นของ Kilic & Saglam (2009) กล่าวว่า แผนผังความคิด แบบทดสอบหลายตัวเลือก และการสัมภาษณ์ ล้วนแล้วแต่ถูกนำมาใช้ในการศึกษาความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์ของนักเรียน และเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม แต่ละวิธีก็มีข้อจำกัด ทั้งอาจารย์และนักเรียนต้องใช้เวลาในการสร้างความชำนาญในการสร้างแผนผังความคิด และจำเป็นต้องมีการเรียนการสอนการวิเคราะห์ผลเพิ่มเติม แม้ว่าการสัมภาษณ์จะสามารถระบุความเข้าใจในหัวข้อวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้ แต่ก็เป็นการยากที่จะนำไปใช้ในชั้นเรียน เนื่องจากการสร้าง การถ่ายทอด และการตีความต้องอาศัยเวลาและประสบการณ์ แบบทดสอบหลายตัวเลือกเป็นวิธีการหนึ่งที่ได้รับค่านิยม ในการศึกษามโนทัศน์หรือความเข้าใจแนวคิดของนักเรียน แบบทดสอบหลายตัวเลือกเป็นวิธีที่ครูสามารถนำมาใช้ในชั้นเรียนได้โดยง่าย สามารถใช้ตรวจสอบความรู้เกี่ยวกับหัวข้อนั้น ๆ ของนักเรียนได้ แต่ไม่สามารถประเมินเหตุผลที่เป็นพื้นฐานของความรู้นั้นได้ จึงควรให้นักเรียนได้ให้เหตุผลกับคำตอบของตนเอง

แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นซึ่งข้อคำถามประกอบด้วยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่มีพื้นฐานมาจากเหตุผลเบื้องหลังคำตอบของนักเรียน ข้อคำถามในเครื่องมือวินิจฉัยด้วยแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นถูกออกแบบขึ้นมาโดยเฉพาะเพื่อระบุมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนและมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในเนื้อหาที่จำกัดและระบุเอาไว้อย่างชัดเจน แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นเป็นวิธีการที่ดี เนื่องจากมีการพิจารณาเหตุผลและการตีความคำตอบของนักเรียน เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ แบบทดสอบประเภทนี้จึงเป็นเครื่องมือที่มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ สามารถประเมินแนวคิดของนักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และง่ายต่อการให้คะแนนและนำไปใช้งาน ลำดับชั้นแรกของข้อคำถามในแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นมักประกอบด้วยคำถามที่เกี่ยวข้องกับความรู้ด้านเนื้อหา ที่มีตัวเลือก 2 หรือ 3 ตัวเลือก ลำดับชั้นที่สองของแต่ละข้อคำถามประกอบด้วยเหตุผลที่เป็นไปได้ของตัวเลือกต่าง ๆ ในลำดับชั้นแรก เหตุผลเหล่านี้ ซึ่งเป็นตัวเลือกของลำดับชั้นที่สอง ได้มาจากแบบทดสอบหลายตัวเลือกแบบปลายเปิด การสัมภาษณ์ และบทความต่าง ๆ ข้อกำหนดในการเลือกเหตุผลในแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นนั้นเป็นวิธีที่มีความไวและมีประสิทธิภาพในการวัดการเรียนรู้ที่มีประโยชน์ของนักเรียน มีการพัฒนาแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นขึ้นหลายแบบ ซึ่งจำเพาะต่อเนื้อหาในสาขาต่าง ๆ และได้ถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์ของนักเรียน โดยถูกพัฒนาขึ้นในหัวข้อที่ยากและสร้างสับสนให้กับนักเรียน และมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่หลากหลาย เช่น กลุ่มวิชาคณิตศาสตร์ ฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยา ในวิชาชีววิทยา หัวข้อที่ยากมีหลายหัวข้อ เช่น โครโมโซม ดีเอ็นเอ และพันธุ

ศาสตร์ เป็นต้น ผลจากงานวิจัยได้แสดงให้เห็นว่าทั้งอาจารย์และนักเรียนจำนวนมากคิดว่าพันธุศาสตร์เป็นหัวข้อที่เรียนและสอนได้ยาก

พันธุศาสตร์เป็นหัวข้อพื้นฐานของชีววิทยา และยังมีความเกี่ยวเนื่องโดยตรงกับชีวิตประจำวัน นักเรียนมีความสับสนกับแนวคิดต่าง ๆ เช่น โครโมโซม ยีน อัลลีลโครมาทิด และ ดีเอ็นเอ และพบว่านักเรียนมีปัญหาในการทำความเข้าใจหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับยีนและโครโมโซม ขณะเดียวกันก็มีปัญหาเกี่ยวกับการศึกษาเรื่องพันธุกรรมที่มีแนวคิดเหล่านี้เป็นพื้นฐาน ยิ่งไปกว่านั้น ยังพบว่านักเรียนไม่สามารถแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้อง เนื่องจากนักเรียนไม่เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างโครโมโซม ยีน และอัลลีล มีหลายงานวิจัยที่ศึกษาเน้นไปที่ความเข้าใจแนวคิดพันธุศาสตร์ของนักเรียน วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยเหล่านี้ คือ การสัมภาษณ์ข้อเขียน แบบทดสอบหลายตัวเลือก การวาดภาพ แผ่นงาน การทดสอบความสัมพันธ์ของคำ และแผนผังมโนทัศน์ การพัฒนาแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นเพื่อศึกษาความเข้าใจแนวคิดพันธุศาสตร์พื้นฐานของนักเรียนโดยใช้วิธีการแบบ 10 ขั้นตอน ซึ่งประกอบด้วย 3 ระยะหลักดังต่อไปนี้

ก. การกำหนดเนื้อหา

1. ระบุความรู้ในเชิงประจักษ์
2. พัฒนาแผนผังมโนทัศน์
3. เชื่อมโยงความรู้เชิงประจักษ์เข้ากับแผนผังมโนทัศน์
4. ตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหา
- ข. รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน
5. ทบทวนบทความที่เกี่ยวข้อง
6. สัมภาษณ์นักเรียน
7. พัฒนาข้อคำถามด้านเนื้อหาแบบหลายตัวเลือกที่มีคำตอบอิสระ

ค. พัฒนาแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้น

8. พัฒนาแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้น
9. ออกแบบตารางข้อมูลจำเพาะ
10. ทำการปรับแต่งอย่างต่อเนื่อง

1. การกำหนดเนื้อหา

ระยะแรก ระยะนี้ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ซึ่งเกี่ยวข้องกับการกำหนดขอบเขตของแนวคิดและหัวข้อต่าง ๆ โดยเริ่มจากการระบุนิยามเชิงประพจน์ 15 ข้อ ที่มีทุกแง่มุมของหัวข้อ และแนวคิดที่เกี่ยวข้องที่พบได้ในตำราเรียน หนังสืออ่านเสริม และหลักสูตรชีววิทยา ความรู้เชิงประพจน์ ซึ่งประกอบด้วยความรู้ที่จำเป็นต่อการทำความเข้าใจแนวคิดของดีเอ็นเอ ยีน โครโมโซม และการแบ่งเซลล์ซึ่งเป็นแนวคิดพื้นฐานของพันธุศาสตร์ และความสัมพันธ์ระหว่างหัวข้อเหล่านี้ เช่น โครโมโซมพบบนนิวเคลียสในเซลล์สิ่งมีชีวิต ดีเอ็นเอสร้างจากนิวคลีโอไทด์ ยีนพบได้ในทุก ๆ เซลล์ เซลล์สืบพันธุ์ถูกสร้างโดยการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส

แผนผังมโนทัศน์ถูกนำมาใช้ในการกำหนดเนื้อหาเนื่องจากสามารถแสดงแนวคิดสำคัญของหัวข้อ และความสัมพันธ์ระหว่างแนวคิดเหล่านี้ ในขั้นตอนที่สองเป็นการจัดทำแผนผังมโนทัศน์ที่ประกอบด้วยแนวคิดทั้งหมดและความสัมพันธ์ของหัวข้อต่าง ๆ ตามขั้นตอน หลังจากนั้นจึงเชื่อมโยงความรู้เชิงประพจน์เข้ากับแผนผังมโนทัศน์ และศึกษาความสอดคล้องภายในของเนื้อหา (สำหรับขั้นตอนสุดท้ายของระยะนี้ จะทำการสอบถามความคิดเห็นจากนักศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ 3 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญในสาขา 1 ท่าน และอาจารย์วิชาชีววิทยา 2 ท่าน แล้วปรับเปลี่ยนข้อความความรู้ และตัดสินใจเลือกข้อความความรู้เชิงประพจน์และแนวคิดรูปแบบสุดท้าย ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นพื้นฐานสำหรับการพัฒนาแบบทดสอบ

2. การเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน

ระยะที่สองระยะนี้เป็นเปิดเผยความรู้ของนักเรียนที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาเฉพาะด้าน โดยเริ่มจากการทบทวนบทความที่เกี่ยวข้องและศึกษาอุปสรรคเชิงแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนเกี่ยวกับเนื้อหาด้านพันธุศาสตร์ ซึ่งได้มาจากการทบทวนบทความวิจัย ตัวอย่างมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่พบได้บ่อยในพันธุศาสตร์ เช่น

1. เซลล์ที่มีโครงสร้างเหมือนกันหรือมาจากส่วนเดียวกันของร่างกายจะมีข้อมูลพันธุกรรมเหมือนกัน
2. แต่ละเซลล์มีข้อมูลพันธุกรรมแตกต่างกันไปตามการทำงาน
3. ข้อมูลพันธุกรรมจะพบได้เฉพาะในเซลล์สืบพันธุ์เท่านั้น
4. ข้อมูลพันธุกรรมมีความสัมพันธ์กับโครโมโซม X และ Y ของเซลล์สุจิ

5. เซลล์สืบพันธุ์ที่มีโครโมโซมทั้งสองชนิดจะพบได้ในเซลล์ร่างกายของพ่อแม่

6. เซลล์อสุจิมียีนครึ่งหนึ่งของลักษณะที่พบในรุ่นลูก
7. ยีนและอัลลีลแตกต่างกัน หรืออัลลีลเป็นส่วนหนึ่งของยีน
8. โครโมโซมเป็นส่วนหนึ่งของดีเอ็นเอ
9. โครโมโซมทั้งหมดในบุคคลมีข้อมูลพันธุกรรมที่เหมือนกัน
10. โครโมโซมเพศมีอยู่เฉพาะในเซลล์สืบพันธุ์เท่านั้น

ข้อมูลที่ได้จากการทบทวนบทความถูกนำมาใช้ในการพัฒนาแบบทดสอบและการสร้างคำถามสำหรับการสัมภาษณ์ โดยทำการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างกับนักเรียน 21 คน เพื่อหามุมมองเชิงลึกเกี่ยวกับความเข้าใจของนักเรียน ในการเตรียมแบบสัมภาษณ์ ใช้บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เมื่อเร็ว ๆ นี้

โดยการทำการแปลและปรับเปลี่ยนคำถามให้เหมาะสมกับการวิจัยโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการศึกษาชีววิทยา และเพิ่มข้อคำถามที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดพื้นฐานด้านพันธุศาสตร์เข้าไปในแบบสัมภาษณ์ด้วย ซึ่งทำให้ได้แบบสัมภาษณ์เริ่มต้นที่ประกอบด้วยข้อคำถาม 10 ข้อ เพื่อยืนยันความถูกต้องของแบบสัมภาษณ์ จากนั้นขอความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ หลังจากใช้แบบสัมภาษณ์เริ่มต้นกับนักเรียน 2 คน ทำการเพิ่มข้อคำถามอีก 1 ข้อ เข้าไปในแบบสัมภาษณ์ แล้วเลือกแบบสัมภาษณ์สุดท้าย และเตรียมพร้อมสำหรับการนำไปใช้งานจริง การสัมภาษณ์นักเรียนทั้งหมดทำโดยผู้วิจัย ซึ่งพบว่านักเรียนมีความเข้าใจบางส่วน มีความมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนหรือไม่เข้าใจแนวคิดเกี่ยวกับพันธุศาสตร์อยู่มาก ตัวอย่างคำถามสัมภาษณ์ที่มีประสิทธิภาพในการศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน เช่นลักษณะทางพันธุกรรมสืบทอดไปยังรุ่นลูกได้อย่างไรการแบ่งเซลล์มีความสัมพันธ์กับการสืบพันธุ์อย่างไรหรือในหัวข้อพันธุศาสตร์ประเด็นที่ยากในการเรียนรู้คืออะไร

จากนั้นพัฒนาแบบทดสอบหลายตัวเลือก แบบ 13 ข้อคำถาม ที่มีคำตอบอิสระ เพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน แบบทดสอบนี้มีพื้นฐานมาจากความรู้เชิงประจักษ์ และถูกออกแบบขึ้นตามผลที่ได้จากการสัมภาษณ์และบทความ ในแบบทดสอบลำดับขั้นแรกของแต่ละข้อคำถามเป็นคำถามแบบ 5 ตัวเลือก ในขณะที่ลำดับขั้นที่สองเป็นคำถามปลายเปิด ซึ่งจะขอให้นักเรียนให้เหตุผลของคำตอบที่ตอบไว้ในลำดับขั้นแรก ก่อนจะนำแบบทดสอบนี้ไปใช้กับนักเรียน โดยปรึกษาความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ และทำการปรับเปลี่ยนตามความจำเป็น แบบทดสอบแบบหลายตัวเลือกนี้ถูกนำมาใช้กับนักเรียน 92 คน และ

ในระยะเวลาที่สองของกระบวนการพัฒนาแบบทดสอบ เราได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนเกี่ยวกับแนวคิดพื้นฐานด้านพันธุศาสตร์ผ่านการสัมภาษณ์และคำตอบอิสระ

3. การพัฒนาแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้น

ในระยะเวลาที่สาม จะทำการพัฒนาข้อคำถามของแบบทดสอบหลายตัวเลือกสองลำดับขั้นซึ่งมีเป้าหมายเพื่อศึกษาความเข้าใจแนวคิดพันธุศาสตร์ของนักเรียน แต่ละข้อคำถามในแบบทดสอบประกอบด้วย 2 คำถาม คำถามแรกถูกออกแบบมาเพื่อวัดความรู้เกี่ยวกับแนวคิดด้านพันธุศาสตร์ของนักเรียน และคำถามที่สองเป็นการค้นหาเหตุผลที่อยู่เบื้องหลังตัวเลือกที่นักเรียนเลือกตอบในคำถามแรก ลำดับขั้นแรกในแต่ละข้อคำถามในแบบทดสอบเป็นคำถามด้านเนื้อหาแบบ 3 ตัวเลือก ในขณะที่ลำดับขั้นที่สองเป็นเหตุผลที่เป็นไปได้ 5 ข้อ สำหรับคำตอบในลำดับขั้นแรก เหตุผลเหล่านี้ได้มาจากผลการสัมภาษณ์ บทความ และแบบทดสอบหลายตัวเลือกที่มีคำตอบอิสระ ที่กล่าวไว้ในระยะก่อนหน้า

ข้อมูลที่ได้จากการนำแบบทดสอบหลายตัวเลือกที่มีคำตอบอิสระ ถูกนำไปวิเคราะห์ข้อคำถามโดยใช้โปรแกรม ITEMAN หลังจากการวิเคราะห์ข้อคำถามและการประเมินคำตอบของนักเรียน จากนั้นนำข้อคำถามออกจากแบบทดสอบ 2 ข้อ จัดเรียงใหม่ 1 ข้อ และเพิ่มเข้าไปอีก 3 ข้อ ซึ่งทำให้ได้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้นที่ประกอบด้วย 14 ข้อคำถาม เนื้อหาในแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้นถูกออกแบบตามจุดประสงค์การเรียนรู้ ประกอบด้วยหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของยีน ดีเอ็นเอ และโครโมโซม การแบ่งเซลล์ ใจหายปัญหาเกี่ยวกับพันธุกรรม จากนั้นสร้างตารางข้อมูลจำเพาะที่แสดงความรู้เชิงประจักษ์และหัวข้อ ต่าง ๆ ของแต่ละข้อคำถาม ตารางข้อมูลจำเพาะนี้ถูกออกแบบขึ้นเพื่อให้แบบทดสอบมีความเป็นธรรมชาติ มีความรู้เชิงประจักษ์และแนวคิดที่เกี่ยวข้อง และการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของแบบทดสอบทำให้สามารถปรับแต่งข้อคำถามในแบบทดสอบได้อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้แบบทดสอบนั้นพร้อมใช้งานหลังจากนั้นวิเคราะห์ค่าสถิติต่าง ๆ ของแบบทดสอบพร้อมมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนเกี่ยวกับแนวคิด เรื่อง พันธุศาสตร์พื้นฐาน

ตัวอย่างมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน เรื่อง พันธุศาสตร์

1. ยีนที่กำหนดลักษณะพันธุกรรมพบได้ในเซลล์สืบพันธุ์
2. ลักษณะพันธุกรรมถูกถ่ายทอดไปยังรุ่นลูกผ่านโครโมโซมเพศ
3. โครโมโซมที่กำหนดเพศอยู่ในเซลล์สุจิและเซลล์ไข่

4. โครงสร้างของดีเอ็นเอประกอบด้วยโครโมโซม
5. ไฮโกตจะเกิดการแบ่งตัวแบบไมโอซิส
6. โครโมโซม X และ Y ที่มีอยู่ในเซลล์สุจิที่มียีนอยู่ทั้งหมด
7. ยีนมีโครงสร้างที่ใหญ่กว่าโครโมโซม
8. โครโมโซมอยู่บนยีน
9. โครโมโซมเพศอยู่ในเซลล์สืบพันธุ์
10. ยีนแตกต่างกันไปในแต่ละเซลล์
11. ยีนแต่ละยีนพบได้ในเนื้อเยื่อที่เกี่ยวข้อง
12. จำนวนโครโมโซมในแต่ละเซลล์ของแต่ละคนจะเท่ากัน

กล่าวโดยสรุป แบบทดสอบวินิจฉัย ถูกนำมาใช้ในการศึกษาระดับความเข้าใจของนักเรียนที่มีต่อแนวคิดและมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน แบบทดสอบวินิจฉัยเป็นหนึ่งในสื่อที่เป็นที่นิยมกันมากที่สุดในการตรวจวัดระดับการเรียนรู้แนวคิดและมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในงานวิจัยจนถึงปัจจุบัน โดยแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้น แบ่งการตอบเป็น 2 ชั้น คือ ชั้นคำตอบและชั้นเหตุผล เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงลึกมากขึ้น ขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้น คือ

1. การกำหนดเนื้อหา โดยระบุความรู้ในเชิงประพจน์ พัฒนาแผนผังมโนทัศน์เชื่อมโยงความรู้เชิงประพจน์เข้ากับแผนผังมโนทัศน์ และตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหา
2. รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน โดยทบทวนบทความที่เกี่ยวข้อง สัมภาษณ์นักเรียน จากนั้นพัฒนาข้อคำถามด้านเนื้อหาแบบหลายตัวเลือกที่มีคำตอบอิสระ
3. พัฒนาแบบทดสอบวินิจฉัยสองลำดับชั้น พัฒนาแบบทดสอบวินิจฉัยสองลำดับชั้น ออกแบบตารางข้อมูลจำเพาะ ทำการปรับแต่งอย่างต่อเนื่อง

2.8 แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้น

แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้นมีข้อดีในการจำแนกการขาดความรู้ ออกจากมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ดังนั้น แบบทดสอบแบบนี้เป็นวิธีที่สามารถประเมินมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนได้อย่างถูกต้องและน่าเชื่อถือมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับแบบทดสอบแบบเลือกตอบโดยทั่วไปและแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้น (Gurel et al, 2015) งานวิจัยที่เป็นตัวอย่างในการสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นที่ดีและสามารถ

นำมาเป็นตัวอย่างในการวิจัย ได้แก่ งานวิจัยการสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้นของ Kirbulut & Geban (2014) สรุปขั้นตอนการสร้างดังนี้

Kirbulut & Geban (2014) ศึกษาการประยุกต์ใช้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้นเพื่อประเมินมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับสถานะของสสารของนักเรียนงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้นเพื่อวัดความเข้าใจในแนวคิดเรื่องสถานะของสสารของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้น เรื่องความเข้าใจเรื่องสถานะของสสาร (SMDT) เป็นแบบทดสอบจำนวน 19 ข้อคำถามที่ประกอบด้วย ชั้นคำตอบ ชั้นเหตุผล และชั้นความมั่นใจในคำตอบ เพื่อประเมินความเข้าใจแนวคิดเรื่องสถานะของสสารของนักเรียน นำแบบทดสอบนี้มาใช้กับนักเรียนเกรด 10 จำนวน 195 คน ในการศึกษาสำรวจ และนักเรียนเกรด 10 จำนวน 102 คน ในการศึกษาหลัก

โดยแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้น เรื่องความเข้าใจเรื่องสถานะของสสาร (SMDT) ได้รับการพัฒนาโดยใช้วิธีการที่นักวิจัยหลายคนใช้กัน Kutluay ในปี 2005, Pesman Eryilmaz ในปี 2009 และ Treagust ในปี 1986 ซึ่งการสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้น ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนต่อไปนี้ 1) การกำหนดขอบเขตเนื้อหา 2) การระดมมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่รายงานในบทความและงานวิจัยต่าง ๆ 3) ทำการสัมภาษณ์เพื่อสำรวจว่านักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนแตกต่างจากที่รายงานไว้หรือไม่ 4) สร้างคำถามปลายเปิดเพื่อสำรวจมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน และ 5) การพัฒนาแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้น โดยการศึกษาข้อขอบเขตเนื้อหาที่กำหนดตามหลักสูตรเคมีและหนังสือเรียนที่ตรวจสอบโดยนักการศึกษาด้านเคมี 4 คน และครูเคมี 1 คน มีการกำหนดความเหมาะสมของเนื้อหา การยืนยันความถูกต้องและตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาตามข้อตกลงของผู้เชี่ยวชาญ มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนถูกระบุโดยการตรวจสอบงานวิจัยหรือวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง จากนั้นดำเนินการสัมภาษณ์ด้วยคำถามปลายเปิด ด้วยการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง ประกอบด้วย 13 คำถาม ดำเนินการสัมภาษณ์ทั้งหมด 12 ครั้ง แต่ครั้งใช้เวลา 50 นาที จากนั้นดำเนินการสร้างคำถามปลายเปิด จำนวน 13 ข้อ คำถามส่วนใหญ่เหมือนกับคำถามในการสัมภาษณ์ ซึ่งคำถามทั้งหมดถูกตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ (นักการศึกษาวิชาเคมี 4 คนและครูเคมี 1 คน) จากนั้นทดสอบกับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จำนวน 54 คน ใช้เวลาในการทำแบบทดสอบ 45 นาที คำตอบของนักเรียนจะถูกจัดหมวดหมู่ คำตอบที่มีความถี่ในการตอบสูงจะถูกคัดเลือกเป็นตัวเลือกของแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้น ทั้งในส่วน of ชั้นคำตอบ และคำตอบในชั้นเหตุผล และในชั้นที่ 3 ชั้นความมั่นใจของแบบทดสอบ นักเรียน

จะถูกถามว่าพวกเขามีความมั่นใจในคำตอบของพวกเขาสำหรับสองขั้นแรกหรือไม่ และผู้วิจัยได้สร้างข้อคำถามเพิ่มเติมอีก 6 ข้อ โดยใช้คำถามติดตามผลในการสัมภาษณ์และคำถามในตำราเคมี ความถูกต้องของเนื้อหาตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ ในแง่ของวัตถุประสงค์และความเหมาะสมของข้อคำถาม สุดท้ายจึงได้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้น จำนวน 19 ข้อ จากนั้นนำแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้นไปทดสอบนำร่องกับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 10 จำนวน 195 คน ในทดสอบจริงกับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 10 จำนวน 102 คน โดยใช้เวลา 45 นาที ผลการวิจัยพบว่าดัชนีความเชื่อถือได้ (Cronback alpha) ของ SMDT ในการศึกษานำร่องและในการศึกษาหลัก มีค่าเท่ากับ 0.78 และ 0.83 ตามลำดับ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบพอยท์ไบเซเรียล (point biserial coefficient) มีค่าอยู่ในช่วง 0.20 – 0.69 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.44 ในกรณีของการศึกษานำร่อง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.49 ในกรณีของการศึกษาหลัก โดยพบมีทัศนคติที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับสถานะของสสารของนักเรียน ดังนี้

1. เมื่อได้รับความร้อนอนุภาคจะขยายตัว และอุณหภูมิลดลงอนุภาคจะหดตัว
 2. ในภาชนะปิดที่บรรจุก๊าซ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น/ลดลง ความดันก๊าซจะเพิ่มขึ้น/ลดลงเสมอ

3. อากาศร้อนเบากว่าอากาศเย็น
4. ก๊าซมีน้ำหนักน้อยกว่าของเหลว (หรือของแข็ง) เสมอ
5. ไอน้ำหรือก๊าซไม่มีน้ำหนัก
6. เมื่อความดันก๊าซเพิ่มขึ้น น้ำหนักของก๊าซจะเพิ่มขึ้น
7. ในภาชนะปิดที่บรรจุก๊าซ ปริมาณของก๊าซจะลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลงเสมอ
8. เมื่ออากาศถูกอัด อนุภาคจะยึดติดกัน

ตัวอย่างข้อสอบของ Kirbulut & Geban (2014) เช่น

1.1 ระบบที่แสดงในรูปด้านซ้ายแสดงถึงขวดปิดที่ต่อกับบอลลูนยืดหยุ่นและเต็มไปด้วยอากาศที่ 40 C หากอุณหภูมิของระบบลดลงจาก 40 C เป็น 5 C ปริมาณของบอลลูนจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร (ความดันบรรยากาศเท่ากับ 1 atm)



ชั้นคำตอบ

- ก. มันจะลดลง
- ข. มันจะไม่เปลี่ยนแปลง
- ค. มันจะเพิ่มขึ้น

ชั้นเหตุผล

ข้อใดต่อไปนี้เป็นเหตุผลที่คุณตอบคำถามก่อนหน้านี้

- ก. หากอุณหภูมิลดลงอนุภาค อากาศในระบบจะหดตัว
- ข. หากอุณหภูมิลดลงแรงดันในระบบจะลดลง
- ค. หากอุณหภูมิลดลงแรงดันในระบบจะเพิ่มขึ้น
- ง. ถ้าอุณหภูมิลดลงระยะห่างระหว่างอนุภาคอากาศจะลดลง
- จ. ความดันบรรยากาศคงที่ไม่มีเปลี่ยนแปลง

ชั้นความมั่นใจ

คุณมั่นใจเกี่ยวกับคำตอบของคำถามสองข้อก่อนหน้านี้หรือไม่

- ก. ฉันทันใจ
- ข. ฉันไม่มั่นใจ

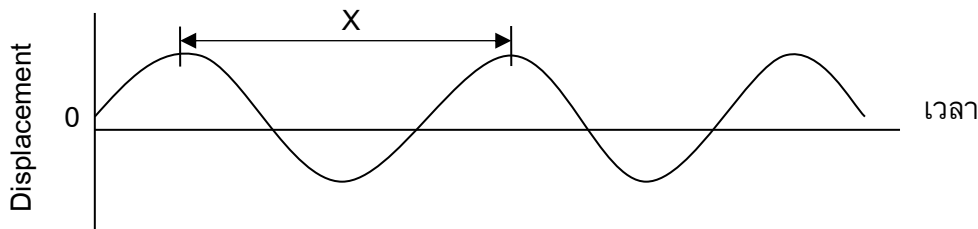
2.9 แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น

แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น (Four-tier multiple choice question) เป็นแบบทดสอบที่ถูกพัฒนาขึ้นใหม่ซึ่งพัฒนาจากแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้น ซึ่งได้ถูกพัฒนาขึ้นมาก่อนแล้ว จากนักวิจัยชื่อ Caleon และ Subramaniam โดยต่อยอดมาจากแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นของ Treagust ในปี 1988

ในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมา งานวิจัยจำนวนมากให้ความสำคัญกับความเข้าใจหรือมโนทัศน์ของนักเรียนมากขึ้น ในการศึกษาจึงมักใช้แบบทดสอบหลายตัวเลือก (Multiple choice question) แบบทดสอบหลายตัวเลือกโดยทั่วไปจะให้นักเรียนเลือกคำตอบที่ดีที่สุดจากชุดตัวเลือก เป็นเครื่องมือที่มีความหลากหลาย มีประสิทธิภาพ เป็นรูปธรรม ง่ายต่อการใช้ การใช้แบบทดสอบหลายตัวเลือกเป็นวิธีการทางเลือกที่ดีแทนการสัมภาษณ์และเครื่องมือเชิงคุณภาพอื่น ๆ ในการศึกษาความเข้าใจหรือมโนทัศน์ของนักเรียน แต่อย่างไรก็ตามแบบทดสอบหลายตัวเลือกก็มีจุดอ่อน คือไม่สามารถแยกแยะคำตอบที่ถูกต้องนั้นที่เป็นผลมาจากการให้เหตุผลที่ถูกต้อง หรือเป็นการให้เหตุผลอย่างไม่ถูกต้อง จุดอ่อนนี้ได้รับการแก้ไขโดยแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือก

สองลำดับชั้น (Two-tier multiple choice question) ซึ่งกลายเป็นหนึ่งในแบบทดสอบที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในตระกูลแบบทดสอบหลายตัวเลือก โดยแบบทดสอบวินิจัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นประกอบด้วยตัวเลือกตามเนื้อหาในชั้นแรก (ชั้นคำตอบ หรือชั้น A) และหลักการที่เกี่ยวข้องกับคำตอบในชั้น A ในชั้นที่สอง (ชั้นเหตุผล หรือชั้น R) เมื่อเปรียบเทียบกับแบบทดสอบหลายตัวเลือกทั่วไป แบบทดสอบวินิจัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นสามารถใช้เพื่อตรวจสอบมโนทัศน์ของนักเรียนได้ดีกว่า เนื่องจากไม่เพียงแต่วัดความสามารถของนักเรียนในการเลือกคำตอบที่ถูกต้อง แต่ยังวัดการให้เหตุผลของคำตอบที่เลือก จากนั้นมีการวัดคะแนนความมั่นใจเพื่อเป็นส่วนเสริมในคำตอบแบบทดสอบวินิจัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นพัฒนามาเป็นแบบทดสอบวินิจัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้น (Tree-tier multiple choice question) โดยมีความเชื่อว่าระดับความมั่นใจที่ดีควรสูงเมื่อคำตอบถูกต้อง และความมั่นใจที่ต่ำเมื่อคำตอบนั้นผิด แต่เนื่องจากในแบบทดสอบวินิจัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้น นักเรียนจะต้องแสดงคะแนนความมั่นใจของคำตอบในชั้น A และ R เพียงหนึ่งค่า จึงไม่รู้ชัดว่านักเรียนมีระดับความมั่นใจในสองชั้นต่างกันหรือไม่ หรือคะแนนความมั่นใจนั้นเป็นคะแนนความมั่นใจในส่วนใด จึงมีการพัฒนาเป็นแบบทดสอบวินิจัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น (Four-tier multiple choice question) ขึ้นมา เพื่อแสดงระดับความมั่นใจทั้งสองชั้น โดยจะสามารถตรวจสอบมโนทัศน์และความเข้าใจของนักเรียนในเรื่องนั้น ๆ อย่างละเอียดถี่ถ้วน ด้วยความคิดที่ว่าค่าความมั่นใจกับคะแนนมโนทัศน์มีความสอดคล้องกัน (Caleon & Subramaniam, 2010) ตัวอย่างของลักษณะแบบทดสอบมีดังนี้

ข้อ 1 กราฟด้านล่างแสดงการเคลื่อนที่ของอนุภาคในระดับปานกลางกับเวลาที่คลื่นแพร่กระจายผ่านตัวกลางเครื่องหมาย X แสดงถึงสิ่งใด



ขั้นคำตอบ

ก. ความถี่

ข. คาบ

ค. ความยาวคลื่น

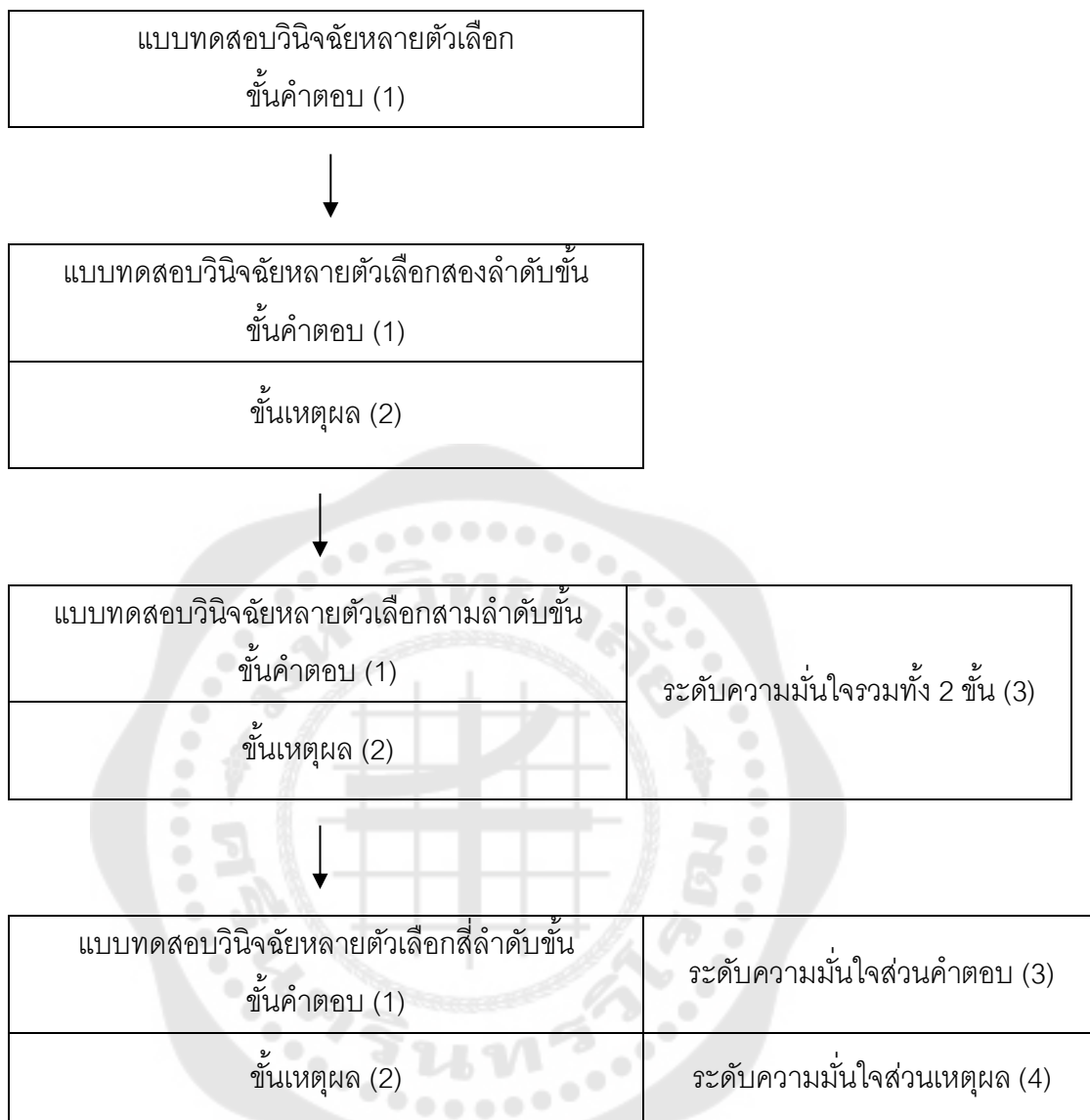
ระดับความมั่นใจขั้นคำตอบ 1 2 3 4 5 6 (คาดเดา ถึง มั่นใจที่สุด)

ขั้นเหตุผล

1. X คือระยะห่างระหว่างจุดยอด 2 จุดของคลื่น
2. X เป็นระยะห่างระหว่างสองจุดใด ๆ ที่กระจัดสูงสุดของอนุภาคที่เกิดขึ้น
3. X เป็นช่วงเวลาสำหรับอนุภาคคลื่นที่เคลื่อนครบรอบหนึ่งรอบ *
4. X คือจำนวนของคลื่นที่สมบูรณ์ที่ผ่านอนุภาคในเวลาที่กำหนด

ระดับความมั่นใจขั้นเหตุผล 1 2 3 4 5 6 (คาดเดา ถึง มั่นใจที่สุด)

แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับขั้นมีเกณฑ์การให้คะแนนสำหรับทุกข้อ คำถามของแบบทดสอบ ในขั้นคำตอบและขั้นเหตุผลจะให้คะแนนแยกกัน คือ 0 และ 1 โดยให้ 0 เมื่อคำตอบนั้นผิด และให้ 1 เมื่อคำตอบนั้นถูกต้อง จากนั้นคำนวณคะแนนความมั่นใจเฉลี่ยรวม (CF) คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยในคำตอบที่ถูกต้อง (CFC) คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยในคำตอบที่ผิด (CFW) คะแนนความมั่นใจในการจำแนก (CDQ) โดย $CDQ = CFC - CFW$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความมั่นใจ และ CDQ เป็นตัวบ่งชี้ว่าข้อสอบสามารถจำแนกระหว่างนักเรียนที่รู้กับนักเรียนที่ไม่รู้



ภาพประกอบ 1 พัฒนาการของแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือก

กล่าวโดยสรุป แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น (Four-tier multiple choice question) เป็นแบบทดสอบที่ถูกพัฒนาขึ้นมาใหม่ซึ่งพัฒนาจากแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสอง ลำดับชั้น และแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้น ซึ่งแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นประกอบด้วยตัวเลือกตามเนื้อหาในชั้นแรก (ชั้นคำตอบ หรือชั้น A) และหลักการที่เกี่ยวข้องกับคำตอบในชั้น A ในชั้นที่สอง (ชั้นเหตุผล หรือชั้น R) แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้น มีการแสดงระดับความมั่นใจเพียง 1 ค่า โดยไม่สามารถระบุได้ว่าความมั่นใจนี้เป็นค่าของชั้นคำตอบหรือชั้นเหตุผล จนพัฒนาเป็นแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น จะแสดงระดับความมั่นใจทั้งสองชั้น ทั้งในส่วนของชั้นคำตอบและส่วนของชั้น

เหตุผล โดยจะสามารถตรวจสอบโน้ตทัศน์และความเข้าใจของนักเรียนในเรื่องนั้น ๆ อย่างละเอียดถี่ถ้วน ด้วยความคิดที่ว่าค่าความมั่นใจกับคะแนนโน้ตทัศน์มีความสอดคล้องกัน ซึ่งจะสามารถหาโน้ตทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่แท้จริง (Genuine misconception) และมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนปลอม (Spurious misconception) ได้

3. เกณฑ์การให้คะแนนแบบทดสอบวินิจฉัย

แบบสอบ (Test) เป็นเครื่องมือวัดผลชนิดหนึ่ง ประกอบด้วย ชุดข้อคำถามที่ใช้วัดกลุ่มตัวอย่างพฤติกรรมเกี่ยวกับความสามารถทางสมอง หรือความรู้สึกนึกคิดทางจิตใจ หรือทักษะการดำเนินงานของบุคคลหรือกลุ่มบุคคล ภายใต้สถานการณ์ที่เป็นมาตรฐาน และมีการกำหนดหลักเกณฑ์การให้คะแนนที่ชัดเจนแบบสอบนิยมใช้เรียกเครื่องมือสำหรับวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนหรือความสามารถเฉพาะด้าน ส่วนแบบวัดนิยมใช้วัดคุณลักษณะทางจิตวิทยา การใช้แบบสอบหรือแบบวัดจึงมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ ในทางปฏิบัติยังไม่มีวิธีการใดที่สามารถวัดคุณลักษณะทางจิตวิทยาได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์ อย่างไรก็ตามเราถือว่าแบบสอบที่มีคุณภาพสามารถใช้เป็นเครื่องมือที่ดี ยุติธรรม และเป็นผลที่น่าเชื่อถือสำหรับการตัดสินใจเกี่ยวกับบุคคลหรือกลุ่มบุคคล (ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556, น. 8)

การทดสอบ (Testing) เป็นกระบวนการใช้แบบสอบสำหรับกำหนดหรือบรรยายคุณลักษณะหรือคุณภาพเฉพาะอย่างของบุคคลหรือกลุ่มบุคคล เพื่อใช้เป็นสารสนเทศสำหรับการตัดสินใจ (ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556, น. 9)

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าแบบสอบและการทดสอบมีความสัมพันธ์กัน กล่าวคือ แบบสอบเป็นเครื่องมือวัดผลชนิดหนึ่งที่ใช้สำหรับกระบวนการทดสอบ การทดสอบเป็นวิธีการหนึ่งสำหรับการวัดผล (Measurement) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการประเมิน (Assessment) ในการนำแบบทดสอบไปใช้สำหรับการวัดผล ถ้ามีการออกแบบที่ดี นำไปใช้อย่างเหมาะสมก็จะเกิดประโยชน์ต่อการพัฒนาผู้เรียน แต่ถ้าออกแบบไม่ดี สร้างอย่างขาดความรู้ การนำไปใช้ก็จะเกิดผลเสียโดยไม่ตั้งใจ แบบสอบที่สร้างขึ้นมาอย่างขาดคุณภาพ นอกจากจะไม่ช่วยสะท้อนผลการเรียนรู้ของผู้เรียนแล้ว ยังทำให้ผู้เรียนเกิดความเครียดและความกลัว แต่ถ้าแบบทดสอบถูกพัฒนาอย่างดี และนำไปใช้อย่างสร้างสรรค์ จะมีส่วนช่วยกระตุ้นการเรียนรู้ของผู้เรียน และให้ข้อมูลย้อนกลับที่ช่วยสะท้อนผลการเรียนรู้ของผู้เรียนได้ดี การวัดและประเมินการเรียนรู้ของผู้เรียน โดยอาจวัดและประเมินเพื่อวินิจฉัย (Diagnostic evaluation) เพื่อวินิจฉัยสาเหตุของปัญหาการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นระหว่างการเรียนการสอน เช่น ปัญหาเกี่ยวกับผู้เรียน สิ่งแวดล้อม เนื้อหาวิชา เป็นต้น จะได้ทำการปรับปรุงแก้ไขปัญหาได้ถูกต้องตรงประเด็น เครื่องมือที่วัดอาจใช้เป็น Published diagnostic tests,

Teacher – made diagnostic tests, Observational techniques เป็นต้น (ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556, น. 10-14)

ปัญหาสำคัญของการวัดผลประการหนึ่งก็คือคะแนน ครูส่วนมากเข้าใจว่าเมื่อได้คะแนนเป็นตัวเลขมาแล้วก็สิ้นสุดกระบวนการในการวัดผล ซึ่งนับว่าเป็นความเข้าใจที่ไม่ถูกต้อง ครูควรนำเอาคะแนนผลการสอบนั้นมาจัดกระทำเพื่อให้เกิดประโยชน์แก่นักเรียน ผู้ปกครอง และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องให้มากที่สุด เพื่อที่จะได้ใช้ผลการสอบให้คุ้มค่าสมกับความเหนื่อยยาก (สุรศักดิ์ อมรรัตนศักดิ์, 2544)

แบบทดสอบวินิจฉัย (Diagnostic test) จึงมีบทบาทสำคัญในการใช้เป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งสำหรับการวัดและประเมินผลสัมฤทธิ์ของการเรียนรู้ของผู้เรียน ทำให้ผู้สอนทราบว่า ผู้เรียนมีจุดเด่นจุดด้อยของทักษะการเรียนรู้เป็นอย่างไร อันเป็นปัญหาของผู้เรียน แบบสอบมุ่งตรวจสอบกลไก องค์ประกอบย่อย ๆ ที่ครอบคลุมกระบวนการสำคัญของทักษะที่เป็นเป้าหมายของหน่วยการเรียนรู้ เพื่อระบุว่าผู้เรียนมีปัญหาของการเรียนตรงจุดไหน อันเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงและการสอนซ่อมเสริม ทำให้ผู้เรียนได้พัฒนาความรู้ ความสามารถถึงระดับมาตรฐานที่ผู้สอนกำหนดไว้หรือยัง หรือมีความรู้ความสามารถถึงระดับใด หรือมีความรู้ความสามารถดีเพียงไร (ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556)

โดยรูปแบบของแบบทดสอบวินิจฉัยที่ในปัจจุบันมีหลากหลายรูปแบบ มีเกณฑ์การให้คะแนนแตกต่างกัน ตัวอย่างการให้คะแนนแบบทดสอบวินิจฉัย มีดังนี้

3.1 เกณฑ์แบบทดสอบวินิจฉัยแบบปกติ

แบบทดสอบแบบนี้จะให้ นักเรียนเขียนเกี่ยวกับความรู้ของนักเรียนเกี่ยวกับมโนทัศน์ในเรื่องนั้น ๆ โดยคำถามอาจเป็นสถานการณ์ เหตุการณ์ และให้เหตุผลประกอบ โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนน โดยแบ่งกลุ่มนักเรียนเป็น 5 กลุ่มดังนี้ (จันทร์จิรา ชุ่มเรืองศรี, 2539)

1. ความเข้าใจที่สมบูรณ์ (Complete understanding) หมายถึง คำตอบของนักเรียนที่ถูกต้อง และมี การให้เหตุผลสมบูรณ์ครบถ้วนขององค์ประกอบที่สำคัญของแต่ละแนวความคิด ให้คะแนน 3 คะแนน

2. ความเข้าใจที่ถูกแต่ไม่สมบูรณ์ (Partial understanding) หมายถึง คำตอบของนักเรียนถูก และให้เหตุผลถูก แต่ขาดองค์ประกอบที่สำคัญบางส่วน ให้ 2 คะแนน

3. ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (Partial understanding with specific alternative conception) หมายถึง คำตอบของนักเรียนถูกบางส่วนแต่บางส่วนแสดงมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนให้คะแนน 1 คะแนน

4. มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (Alternative conceptions) หมายถึง คำตอบของนักเรียนแสดงมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทั้งหมด ให้ 0 คะแนน

5. ไม่เข้าใจ (No understanding) หมายถึง คำตอบของนักเรียนไม่ตรงกับคำถาม หรือนักเรียนไม่ตอบคำถาม ให้ 0 คะแนน

3.2 เกณฑ์แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้น

รูปแบบที่ 1 เกณฑ์แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นมีการให้คะแนนหลายแบบซึ่งแตกต่างกันในแต่ละงานวิจัย เช่น การคิดคะแนนแบบ 1 ข้อมีการให้คะแนนหลายค่า เช่น Uyulgan et al (2014) ที่ศึกษาระดับความเข้าใจและความเข้าใจที่ผิดพลาดของนักศึกษา มหาวิทยาลัย วิซาคะมี ในเรื่องของรูปทรงเรขาคณิตของโมเลกุล ด้วยแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นโดยชั้นที่ 1 ชั้นคำตอบ มี 4 ตัวเลือก ส่วนชั้นที่ 2 ชั้นเหตุผล เป็นการแสดงคำตอบโดยการแสดงวิธีทำ มีเกณฑ์การให้คะแนนเป็นตั้งแต่ 0-3 คะแนน โดยคะแนนที่ได้คิดจากชั้นคำตอบและชั้นเหตุผล ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่างข้อสอบ

15. สำหรับโมเลกุลนิวของ NH_3 และ NF_3

1. โมเลกุลของสารทั้งสองเป็นรูปทรงพีระมิดคู่ฐานสามเหลี่ยม
2. มุมพันธะระหว่างอะตอม N-H และ N-F ต่างกัน
3. โมเมนต์ขั้วคู่ (Dipole Moments) ของ NH_3 ต่ำกว่า NF_3

ข้อใดกล่าวผิด (H = 11 N = 7, F = 9)

ก. ข้อ II เท่านั้น *

ข. ข้อ III เท่านั้น

ค. ข้อ I และ III

ง. ข้อ I, II และ III

คำอธิบายของนักเรียน ข้อ 2 อธิบายว่ามุมพันธะของโมเลกุลเหมือนกัน โดยคำนึงถึงความหนาแน่นของอิเล็กตรอนระหว่างอะตอม

15) NH_3 ve NF_3 molekülleri için,

→ I. Molekül geometrileri üçgen piramittir.
 → II. N-H ve N-F atomları arasındaki bağ açıları birbirinden farklıdır.
 → III. NH_3 molekülünün dipol momenti NF_3 molekülünün dipol momentinden küçüktür.
 yargılarından hangileri yanlıştır? (H=1, N=7 F=9)

A) Yalnız II B) Yalnız III
 C) I ve III D) I, II ve III

Seçeneğinizin Açıklaması:

II'de elektron yoğunluklarına bakarak açıları aynı olur

ภาพประกอบ ข้อสอบข้อที่ 15 ของนักเรียนคนที่ 41

จากนั้นนำข้อสอบมาคิดคะแนนโดยดูจากลักษณะคำตอบ โดยแบ่งเป็นส่วนของคำตอบ และส่วนของเหตุผล มีคะแนนตั้งแต่ 0-3 คะแนน ดังนี้

ตาราง 10 เกณฑ์การให้คะแนนแบบทดสอบชนิดตัวเลือก 2 ลำดับขั้น

| ลักษณะคำตอบ | สัญลักษณ์ | คะแนน |
|----------------------------|-----------|-------|
| คำตอบถูก-เหตุผลถูก | CC | 3 |
| คำตอบผิด-เหตุผลถูก | WC | 2 |
| คำตอบถูก-ไม่เต็มเหตุผล | CB | 2 |
| คำตอบถูก-เหตุผลผิด | CW | 1 |
| คำตอบผิด-ไม่เต็มเหตุผล | WB | 0 |
| คำตอบผิด-เหตุผลผิด | WW | 0 |
| ไม่เต็มคำตอบ-ไม่เต็มเหตุผล | BB | 0 |

หมายเหตุ C = ถูก (Correct) W = ผิด (Wrong) B = เว้นว่างหรือไม่เต็ม (Blank)

ที่มา: Uyulgan et al (2014)

จากนั้นนำคะแนนในแต่ละข้อที่ได้มาแสดงในตารางการแพร่กระจายความถี่ของคำตอบของนักเรียนตามหมวดหมู่ เพื่อศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน

ตาราง 11 การแพร่กระจายความถี่ของคำตอบของนักเรียนตามหมวดหมู่

| ลักษณะคำตอบ | CC | | WC | | CB | | CW | | WB | | WW | | BB | |
|-------------|----|-----|----|---|----|-----|-----|----|----|-----|----|-----|----|----|
| | f | % | f | % | f | % | f | % | f | % | f | % | f | % |
| ข้อ 1 | 14 | 13 | 3 | 3 | 9 | 8 | 4 | 4 | 39 | 35* | 30 | 27 | 11 | 10 |
| ข้อ 2 | 38 | 35* | 0 | 0 | 35 | 32 | 16 | 15 | 5 | 5 | 12 | 11 | 4 | 4 |
| ข้อ 3 | 25 | 23 | 0 | 0 | 34 | 31* | 17 | 15 | 8 | 7 | 20 | 18 | 6 | 5 |
| ข้อ 4 | 19 | 17 | 0 | 0 | 12 | 11 | 7 | 6 | 19 | 17 | 28 | 25* | 25 | 23 |
| ข้อ 5 | 22 | 20 | 2 | 2 | 4 | 4 | 299 | 26 | 10 | 9 | 40 | 36* | 3 | 3 |

ที่มา: Uyulgan et al (2014)

รูปแบบที่ 2 การคิดคะแนนเป็นข้อละ 1 คะแนน เช่น งานวิจัยของ Lin (2004) ทำการศึกษาการคิดและมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนเกี่ยวกับระบบการลำเลียงในพืชโดยใช้แบบทดสอบวินิจฉัยสองลำดับชั้น โดยชั้นที่ 1 ชั้นคำตอบ มี 2 ตัวเลือก ส่วนชั้นที่ 2 ชั้นเหตุผล มี 5 ตัวเลือก จากนั้นทำการวิเคราะห์คะแนนเป็นรายข้อ ดังนี้

ตาราง 12 การวิเคราะห์คะแนนเป็นรายข้อ ในชั้นคำตอบและชั้นเหตุผล

| ข้อ 1 | ชั้นคำตอบ | | | รวม |
|------------|-----------|------|------|------|
| | ตัวเลือก | ก | ข | |
| ชั้นเหตุผล | 1 | 12.3 | 0 | 12.3 |
| | 2 | 17.8 | 2.7 | 20.6 |
| | 3 | 5.5 | 9.6* | 20.6 |
| | 4 | 20.6 | 19.2 | 39.7 |
| | 5 | 0 | 1.4 | 1.4 |
| | อื่น ๆ | 8.2 | 2.7 | 11.0 |
| | รวม | 64.4 | 35.6 | 100 |

ที่มา: Lin (2004)

3.3 เกณฑ์แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับขั้น

แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับขั้นของ Caleon และ Subramaniam ในปี 2010 มีเกณฑ์การให้คะแนนสำหรับทุกข้อคำถามของแบบทดสอบ ในชั้นของคำตอบ (ขั้น Answer หรือขั้น A) และชั้นของเหตุผล (ขั้น Reason หรือขั้น R) โดยจะให้คะแนนแยกกัน คือ 0 และ 1 จะให้ 0 เมื่อคำตอบนั้นผิด และให้ 1 เมื่อคำตอบนั้นถูกต้อง จากนั้นคำนวณคะแนนความมั่นใจเฉลี่ยรวม (Mean confidence of students for tier or item หรือ CF) คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยในคำตอบที่ถูกต้อง (Mean confidence of students who gave correct responses for tier or item หรือ CFC) คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยในคำตอบที่ผิด (Mean confidence of students who gave incorrect responses for tier or item หรือ CFW) คะแนนความมั่นใจในการจำแนก (CDQ) โดย $CDQ = CFC - CFW$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความมั่นใจ และ CDQ เป็นตัวบ่งชี้ว่าข้อสอบสามารถจำแนกระหว่างนักเรียนที่รู้กับนักเรียนที่ไม่รู้ โดยทำการคำนวณทั้งชั้นคำตอบ (A tier) ชั้นเหตุผล (R tier) และทั้งสองชั้น (Both tier) (Caleon & Subramaniam, 2010)

การหาความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ Caleon และ Subramaniam ใช้ตัวบ่งชี้มา ยืนยันระดับความเชื่อมั่นของแบบทดสอบได้แก่

1. การหาความเชื่อมั่นแบบวัดความคงที่ (Measure of stability) เป็นการหาความเชื่อมั่นจากการสอบซ้ำ (Test - retest) โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนสอบครั้งแรก และครั้งที่สองที่ทำการทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างเดิมในเครื่องมือวัดชุดเดียวกันโดยทิ้งช่วงระยะห่าง การทดสอบทั้งสองครั้งพอประมาณ เพื่อให้ผู้สอบจำข้อสอบไม่ได้และไม่ให้เรียนรู้เพิ่มเติม โดยจะทดสอบว่ายังคงมีค่าเท่ากันเหมือนเดิมหรือไม่ ถ้ามีค่าเหมือนเดิมแสดงว่ามีความคงที่ของคะแนน จากนั้นนำคะแนนมาหาค่าสัมประสิทธิ์ของความคงที่ (Coefficient of stability) ของคะแนนการสอบซ้ำโดยใช้สูตรคำนวณสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson product moment coefficient correlation)

2. การวัดความเชื่อมั่นโดยใช้ความสอดคล้องภายใน (Measure of internal consistency) เป็นการวัดค่าความเชื่อมั่นจากการทดลองใช้เครื่องมือเพียงครั้งเดียว ด้วยแบบวัดฉบับเดียวและวัดกับกลุ่มตัวอย่างเดียว การตรวจสอบความสอดคล้องภายในนั้นเป็นการวัดระดับความเป็นเอกพันธ์ (homogeneity) ของข้อสอบในแบบสอบนั้นว่า วัดเนื้อเรื่องเดียวกันเพียงใด ถ้าแบบสอบวัดในเรื่องเดียวกัน เมื่อทำการวัดซ้ำ ๆ ก็น่าจะมีความคงที่หรือสอดคล้องในผลการวัดสูง แนวคิดการวัดความสอดคล้องภายในนี้พัฒนามาจากการวัดความสมมูลกัน โดยมีความเชื่อว่าเมื่อเครื่องมือวัดในสิ่งเดียวกัน และสร้างข้อคำถามให้มีลักษณะสมมูลกัน การแบ่งเครื่องมือหรือ

แบบวัดออกเป็นสองส่วน เหมือนกันหรือคู่ขนานกัน ทำให้เกิดการหาความเชื่อมั่นด้วยวิธีแบ่งครึ่งข้อสอบ (Split-half) ขึ้น ต่อจากนั้นก็ขยายแนวคิดออกไปอีกว่า หากข้อคำถามมีลักษณะสมมูลกัน การทำข้อสอบแต่ละข้อ ก็เหมือนกับการวัดหนึ่งครั้ง หากมีข้อคำถามจำนวน X ข้อก็เหมือนการวัดซ้ำจำนวน X ครั้ง ความสัมพันธ์ระหว่างผลการวัดทุกข้อคำถามในแบบวัด จึงน่าจะบ่งบอกความเชื่อมั่นของแบบวัดได้ ดังนั้นการพิจารณาความสอดคล้องภายในของแบบวัดหรือความเป็นเอกพันธ์จึงเป็นการหาค่าความเชื่อมั่นอีกแบบหนึ่ง

การประมาณค่าความเชื่อมั่นแบบสอดคล้องภายในนี้ สามารถคำนวณได้จากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนของกลุ่มข้อสอบที่มีการแยกส่วนแบบต่าง ๆ ผลการวัดจัดเป็นความเป็นเอกพันธ์ของแบบสอบ (Test homogeneity) ซึ่งแสดงถึงการวัดมวลงเนื้อเรื่องเดียวกัน (Content domain) แต่ถ้าข้อสอบข้อต่าง ๆ วัดเนื้อเรื่องที่ไม่เกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน คะแนนข้อสอบเหล่านั้นจะไม่สอดคล้องกัน ทำให้แบบสอบมีความสอดคล้องภายในต่ำ การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่นักวิจัย Cronbach และ Subramaniam ใช้คือวิธีสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient method) ซึ่งวิธีนี้ใช้สำหรับประมาณค่าความเชื่อมั่นตามแนวคิดแบ่งแบบทดสอบ ออกเป็น X ส่วนสำหรับใช้ในกรณีที่มีการตรวจให้คะแนนแบบทั่วไป สามารถใช้ได้ทั้งแบบทดสอบที่ให้คะแนนแบบ 0, 1 ให้คะแนนแบบถ่วงน้ำหนัก หรือกำหนดคะแนนแบบมาตราส่วนประเมินค่า (Rating scale) หรือแม้แต่ข้อสอบอัตนัย ซึ่งวิธีนี้รู้จักกันดีในชื่อสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's α -coefficient)

3. การหาความเชื่อมั่นแบบความสอดคล้องในการตัดสินใจ (Decision consistency) เป็นการหาความสอดคล้องการหาความสอดคล้องระหว่างการสอบ 2 ครั้ง จากแบบทดสอบฉบับเดียว หรือ แบบทดสอบที่คู่ขนานกัน 2 ฉบับ

สำหรับแบบอิงเกณฑ์ เมื่อนำคะแนนสอบทั้งสองครั้งมาจำแนกการผ่านเกณฑ์หรือไม่ผ่านเกณฑ์ จากนั้นจึงคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความคงที่ โดยทั่วไปจะพิจารณาว่าผลการสอบทั้งสองครั้ง ตัดสินผู้สอบว่ามีความรอบรู้ (ผ่านเกณฑ์) และไม่รอบรู้ (ไม่ผ่านเกณฑ์) ตรงกันหรือสอดคล้องกันหรือไม่ ในการหาความคงที่ของแบบสอบแบบอิงเกณฑ์จึงเป็นการหาค่าสัมประสิทธิ์ความสอดคล้องกัน (Agreement coefficient) ระหว่างผลการตัดสินใจผ่านเกณฑ์หรือไม่ผ่านเกณฑ์ของการสอบทั้งสองครั้งซึ่งวิธีคำนวณที่ Cronbach และ Subramaniam ใช้คือสัดส่วนของสัมประสิทธิ์ความสอดคล้องกัน (Proportion of agreement: P_0) และสัมประสิทธิ์แคปปาของโคเฮน (Cohen's kappa: k)

ตาราง 13 ค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือ และค่าสถิติที่ใช้ดังปรากฏในตาราง

| ความเชื่อมั่น | สถิติ | ชั้นคำตอบ | | ชั้นเหตุผล | | ทั้งสองชั้น | |
|---------------------------|-----------------------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|---------------------------------|
| | | คะแนน | ความมั่นใจ | คะแนน | ความมั่นใจ | คะแนน | ความมั่นใจ |
| ความสอดคล้องภายใน | Cronbach alpha (α) | .40 (n=598) | .88 (n=557) | .19 (n=598) | .91 (n=524) | .50 (n=598) | .92 (n=586) |
| ความสอดคล้องในการตัดสินใจ | Proportion of agreement (P_o) | .75 (n=145) | | .77 (n=147) | | .89 (n=126) | .75 ^a (n=145) |
| การทดสอบซ้ำ | Pearson correlation (r) | .53*** (n=148) | | .16 (n=148) | | .51*** (n=148) | .76 ^a *** (n=148) |

^aThe students' confidence rating for both main answer and reason tiers on first administration of test were compared with the mean of students' separate confidence ratings for main answer tier and reason tier on the second administration of test

***p<.0001

ที่มา: Caleon & Subramaniam (2010)

จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าความยาก ค่าอำนาจจำแนก ค่าความเชื่อมั่นในแบบ CF CFC CFW และ CDQ ของในชั้นคำตอบ (A tier) ชั้นเหตุผล (R tier) และทั้งสองชั้น (B tier) ซึ่งเป็นข้อมูลการตอบของนักเรียน ดังตารางต่อไปนี้

ตาราง 14 ค่าความยาก ค่าอำนาจจำแนก CF CFC CFW CDQ ของในชั้นคำตอบ (A tier) ชั้นเหตุผล (R tier) และทั้งสองชั้น (B tier)

| Item | DI | Prop. correct | | | A tier | | | | R tier | | | | B tier | | | |
|------|-----|---------------|--------|---------|--------------------|------|------|-------|--------------------|------|------|-------|--------------------|------|------|-------|
| | | A tier | R tier | B tiers | CF | CFC | CFW | CDQ | CF | CFC | CFW | CDQ | CF | CFC | CFW | CDQ |
| 1a | .56 | .37 | .33 | .28 | 4.71 | 4.61 | 4.76 | -0.13 | 4.09 | 4.03 | 4.12 | -0.08 | 4.40 | 4.38 | 4.41 | -0.03 |
| 2a | .76 | .64 | .61 | .49 | 4.00 | 4.37 | 3.34 | 0.76 | 3.55 | 3.77 | 3.19 | 0.42 | 3.78 | 4.20 | 3.36 | 0.67 |
| 3a | .47 | .51 | .39 | .27 | 3.45 | 3.89 | 2.98 | 0.60 | 3.06 | 3.95 | 3.00 | 0.71 | 3.26 | 3.95 | 3.00 | 0.71 |
| 4a | .27 | .28 | .32 | .12 | 2.81 | 3.01 | 2.73 | 0.19 | 2.71 | 3.27 | 2.46 | 0.58 | 2.77 | 3.61 | 2.65 | 0.73 |
| 5b | .40 | .21 | .36 | .16 | 3.71 | 3.96 | 3.64 | 0.24 | 3.33 | 3.59 | 3.18 | 0.30 | 3.52 | 4.03 | 3.42 | 0.49 |
| 6b | .16 | .48 | .15 | .12 | 3.33 | 3.49 | 3.19 | 0.23 | 3.02 | 2.62 | 3.09 | -0.34 | 3.18 | 3.09 | 3.19 | -0.08 |
| 7c | .14 | .20 | .20 | .08 | 3.53 | 3.54 | 3.53 | 0.01 | 3.03 | 2.60 | 3.13 | -0.38 | 3.28 | 3.09 | 3.30 | -0.17 |
| 8b | .12 | .11 | .18 | .07 | 3.60 | 2.97 | 3.68 | -0.50 | 2.96 | 2.72 | 3.02 | -0.23 | 3.28 | 3.03 | 3.30 | -0.21 |
| 9a | .62 | .43 | .38 | .34 | 3.09 | 3.36 | 2.87 | 0.37 | 2.87 | 3.29 | 2.62 | 0.48 | 2.98 | 3.39 | 2.76 | 0.49 |
| 10a | .29 | .39 | .31 | .16 | 2.97 | 3.09 | 2.90 | 0.14 | 2.94 | 2.86 | 2.83 | 0.02 | 2.91 | 3.35 | 2.82 | 0.41 |
| 11a | .35 | .21 | .35 | .17 | 3.49 | 3.39 | 3.52 | -0.10 | 3.03 | 3.04 | 3.02 | 0.10 | 3.26 | 3.48 | 3.22 | 0.20 |
| 12b | .35 | .61 | .57 | .51 | 3.36 | 3.56 | 3.03 | 0.38 | 2.93 | 2.96 | 2.90 | 0.05 | 3.15 | 3.34 | 2.97 | 0.28 |
| Mean | .38 | .37 | .35 | .23 | 3.51 | 3.44 | 3.45 | -0.04 | 3.12 | 3.23 | 3.06 | 0.14 | 3.32 | 3.53 | 3.25 | 0.24 |
| SD | .20 | .17 | .14 | .15 | 0.91 | 1.07 | 0.96 | 0.75 | 0.96 | 1.07 | 0.98 | 0.65 | 0.91 | 1.06 | 0.93 | 0.73 |
| | | Overall score | | | Overall confidence | | | | Overall confidence | | | | Overall confidence | | | |
| Mean | | 4.45 | 4.15 | | 2.75 | 3.51 | | | 3.12 | | | | 3.32 | | | |
| SD | | 1.98 | 1.75 | | 1.86 | 0.91 | | | 0.96 | | | | 0.91 | | | |

หมายเหตุ

N = 598 คน

CF = คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยรวม (mean confidence of students for tier or item)

CFC = คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยในคำตอบที่ถูกต้อง

(mean confidence of students who gave correct responses for tier or item)

CFW = คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยในคำตอบที่ผิด

(mean confidence of students who gave incorrect responses for tier or item)

CDQ = คะแนนความมั่นใจในการจำแนก

โดย $CDQ = CFC - CFW$ / ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของความมั่นใจ

และ CDQ เป็นตัวบ่งชี้ว่าข้อสอบสามารถจำแนกระหว่างนักเรียนที่รู้กับนักเรียนที่ไม่รู้

ที่มา: Caleon & Subramaniam (2010)

การศึกษาของ Caleon และ Subramaniam พบว่าแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกลำดับขั้นที่สร้างขึ้น สามารถระบุพื้นที่ความคิดที่เป็นปัญหาเกี่ยวกับเรื่องคลื่นทั้งหมด 19 มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (Misconceptions) ซึ่งแยกเป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนแท้ (Genuine Misconception) 9 แนวคิด และมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนไม่แท้ (Spurious Misconception) 10 แนวคิด โดยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนแท้จะมีค่าความมั่นใจเฉลี่ยมากกว่า 3.50 และมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนไม่แท้มีค่าความมั่นใจเฉลี่ยน้อยกว่า 3.50 ส่วนการให้คะแนนข้อสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกลำดับขั้น มีการให้คะแนน 2 ส่วน คือ

1. คะแนนข้อคำถาม สำหรับทุกข้อคำถามของแบบทดสอบในชั้นของคำตอบและชั้นของเหตุผลจะให้คะแนนแยกกัน คือ 0 และ 1 โดยให้ 0 เมื่อคำตอบนั้นผิด และให้ 1 เมื่อคำตอบนั้นถูกต้อง

2. คะแนนความมั่นใจ โดยทำการคำนวณความมั่นใจ ดังนี้

2.1 คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยรวม (CF)

2.2 คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยในคำตอบที่ถูกต้อง (CFC)

2.3 คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยในคำตอบที่ผิด (CFW)

2.4 คะแนนความมั่นใจในการจำแนก (CDQ) โดย $CDQ = CFC - CFW$

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความมั่นใจ และ CDQ เป็นตัวบ่งชี้ว่าข้อสอบสามารถจำแนกระหว่างนักเรียนที่รู้กับนักเรียนที่ไม่รู้ โดยทำการคำนวณทั้งชั้นคำตอบ (A tier) ชั้นเหตุผล (R tier) และทั้งสองชั้น (Both tier)

4. หลักสูตรแกนกลางการศึกษา 2551 สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

4.1 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

วิทยาศาสตร์มีบทบาทสำคัญยิ่งในสังคมโลกปัจจุบันและอนาคต เพราะวิทยาศาสตร์เกี่ยวข้องกับทุกคนทั้งในชีวิตประจำวันและการทำงานอาชีพต่าง ๆ ตลอดจนเทคโนโลยี เครื่องมือ เครื่องใช้ และผลผลิตต่าง ๆ ที่มนุษย์ได้ใช้เพื่ออำนวยความสะดวกในชีวิตและการทำงาน เหล่านี้ล้วนเป็นผลของความรู้วิทยาศาสตร์ ผสมผสานกับความคิดสร้างสรรค์และศาสตร์อื่น ๆ วิทยาศาสตร์ช่วยให้มนุษย์ ได้พัฒนาวิถีคิด ทั้งความคิดเป็นเหตุเป็นผล คิดสร้างสรรค์ คิดวิเคราะห์ วิจัย มีทักษะสำคัญในการค้นคว้าหาความรู้ มีความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ สามารถตัดสินใจโดยใช้ข้อมูลที่หลากหลายและมีประจักษ์พยานที่ตรวจสอบได้ วิทยาศาสตร์เป็นวัฒนธรรมของโลกสมัยใหม่ซึ่งเป็นสังคมแห่งการเรียนรู้ (Knowledge-based society) ดังนั้นทุกคนจึงจำเป็นต้องได้รับการพัฒนาให้รู้วิทยาศาสตร์ เพื่อที่จะมีความรู้ความเข้าใจในธรรมชาติและ

เทคโนโลยีที่มนุษย์สร้างสรรค์ขึ้น สามารถนำความรู้ไปใช้ได้อย่างมีเหตุผล สร้างสรรค์ และมีคุณธรรม (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551)

4.2 สารการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (กระทรวงศึกษาธิการ, 2546, น. 92-99) มุ่งหวังให้ผู้เรียนได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เน้นการเชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการ มีทักษะสำคัญในการค้นคว้าและสร้างองค์ความรู้ โดยใช้กระบวนการในการสืบเสาะหาความรู้ และการแก้ปัญหาที่หลากหลาย ให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ทุกขั้นตอน มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติจริงอย่างหลากหลาย เหมาะสมกับระดับชั้น โดยได้กำหนดสาระสำคัญไว้ดังนี้

1. สิ่งมีชีวิตกับกระบวนการดำรงชีวิต สิ่งมีชีวิต หน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต โครงสร้างและหน้าที่ของระบบต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิต และกระบวนการดำรงชีวิต ความหลากหลายทางชีวภาพ การถ่ายทอดทางพันธุกรรม การทำงานของระบบต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิต วิวัฒนาการและความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต และเทคโนโลยีชีวภาพ

2. ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม สิ่งมีชีวิตที่หลากหลายรอบตัว ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งแวดล้อม ความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ในระบบนิเวศ ความสำคัญของทรัพยากรธรรมชาติ การใช้และจัดการทรัพยากรธรรมชาติ ในระดับท้องถิ่น ประเทศ และโลก ปัจจัยที่มีผลต่อการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ

3. สารและสมบัติของสาร สมบัติของวัสดุและสาร แรงแยัดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค การเปลี่ยนแปลงสถานะ การเกิดสารละลายและการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสาร สมการเคมีและการแยกสาร

4. แรงแยกและการเคลื่อนที่ธรรมชาติของแรงแม่เหล็กไฟฟ้าแรงโน้มถ่วง แรงแม่เหล็ก การออกแรงกระทำต่อวัตถุ การเคลื่อนที่ของวัตถุ แรงเสียดทาน โมเมนต์การเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน

5. พลังงานพลังงานกับการดำรงชีวิต การเปลี่ยนรูปพลังงาน สมบัติและปรากฏการณ์ของแสง เสียง และวงจรไฟฟ้า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กัมมันตภาพรังสีและปฏิกิริยานิวเคลียร์ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารและพลังงานการอนุรักษ์พลังงาน ผลของการใช้พลังงานต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม

6. กระบวนการเปลี่ยนแปลงของโลก โครงสร้างและองค์ประกอบของโลก ทรัพยากรทางธรณี สมบัติทางกายภาพของดิน หิน น้ำ อากาศ สมบัติของผิวโลก และบรรยากาศ

กระบวนการเปลี่ยนแปลงของโลก ปรัชญาการณทางธรณี ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศ

7. ดาราศาสตร์และอวกาศ วิวัฒนาการของระบบสุริยะ กาแล็กซี เอกภพ ปฏิสัมพันธ์และผลต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก ความสัมพันธ์ของดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์ และโลก ความสำคัญของเทคโนโลยีอวกาศ

8. ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้ การแก้ปัญหา และจิตวิทยาศาสตร์

4.3 คุณภาพผู้เรียนจบชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

คุณภาพผู้เรียนเมื่อจบชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 มีหลายประการ ดังนี้

1. เข้าใจการรักษาคุณภาพของเซลล์และกลไกการรักษาคุณภาพของสิ่งมีชีวิต
2. เข้าใจกระบวนการถ่ายทอดสารพันธุกรรม การแปรผัน มิเวทชัน วิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตและปัจจัยที่มีผลต่อการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ
3. เข้าใจกระบวนการ ความสำคัญและผลของเทคโนโลยีชีวภาพต่อมนุษย์ สิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม
4. เข้าใจชนิดของอนุภาคสำคัญที่เป็นส่วนประกอบในโครงสร้างอะตอม การจัดเรียงธาตุในตารางธาตุ การเกิดปฏิกิริยาเคมีและเขียนสมการเคมี ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
5. เข้าใจชนิดของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคและสมบัติต่าง ๆ ของสารที่มีความสัมพันธ์กับแรงยึดเหนี่ยว
6. เข้าใจการเกิดปิโตรเลียม การแยกแก๊สธรรมชาติและการกลั่นลำดับส่วนน้ำมันดิบ การนำผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมไปใช้ประโยชน์และผลต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม
7. เข้าใจชนิด สมบัติ ปฏิกิริยาที่สำคัญของพอลิเมอร์และสารชีวโมเลกุล
8. เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ สมบัติของคลื่นกล คุณภาพของเสียงและการได้ยิน สมบัติ ประโยชน์และโทษของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กัมมันตภาพรังสีและพลังงานนิวเคลียร์
9. เข้าใจกระบวนการเปลี่ยนแปลงของโลกและปรัชญาการณทางธรณีที่มีผลต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

10. เข้าใจการเกิดและวิวัฒนาการของระบบสุริยะ กาแล็กซี เอกภพและความสำคัญของเทคโนโลยีอวกาศ

11. เข้าใจความสัมพันธ์ของความรู้วิทยาศาสตร์ที่มีผลต่อการพัฒนาเทคโนโลยีประเภทต่าง ๆ และการพัฒนาเทคโนโลยีที่ส่งผลให้มีการคิดค้นความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่ก้าวหน้าผลของเทคโนโลยีต่อชีวิต สังคม และสิ่งแวดล้อม

12. ระบุปัญหา ตั้งคำถามที่จะสำรวจตรวจสอบ โดยมีการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ สืบค้นข้อมูลจากหลายแหล่ง ตั้งสมมติฐานที่เป็นไปได้หลายแนวทาง ตัดสินใจเลือกตรวจสอบสมมติฐานที่เป็นไปได้

13. วางแผนการสำรวจตรวจสอบเพื่อแก้ปัญหาหรือตอบคำถาม วิเคราะห์เชื่อมโยงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์หรือสร้างแบบจำลองจากผลหรือความรู้ที่ได้รับจากการสำรวจตรวจสอบ

14. สื่อสารความคิด ความรู้จากผลการสำรวจตรวจสอบโดยการพูด เขียน จัดแสดง หรือใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ

15. อธิบายความรู้และใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการดำรงชีวิต การศึกษาหาความรู้เพิ่มเติม ทำโครงการหรือสร้างชิ้นงานตามความสนใจ

16. แสดงถึงความสนใจ มุ่งมั่น รับผิดชอบ รอบคอบและซื่อสัตย์ในการสืบเสาะหาความรู้ โดยใช้เครื่องมือและวิธีการที่ได้ผลถูกต้องเชื่อถือได้

17. ตระหนักในคุณค่าของความรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ใช้ในชีวิตประจำวัน การประกอบอาชีพ แสดงถึงความชื่นชม ภูมิใจ ยกย่อง อ้างอิงผลงาน ชิ้นงานที่เป็นผลจากภูมิปัญญาท้องถิ่นและการพัฒนาเทคโนโลยีที่ทันสมัย

18. แสดงความซาบซึ้ง ห่วงใย มีพฤติกรรมเกี่ยวกับการใช้และรักษาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอย่างรู้คุณค่า เสนอตัวเองร่วมมือปฏิบัติกับชุมชนในการป้องกัน ดูแลทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของท้องถิ่น

19. แสดงถึงความพอใจ และเห็นคุณค่าในการค้นพบความรู้ พบคำตอบ หรือแก้ปัญหาได้

20. ทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ แสดงความคิดเห็นโดยมีข้อมูลอ้างอิง และเหตุผลประกอบ เกี่ยวกับผลของการพัฒนาและการใช้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอย่างมีคุณธรรมต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม และยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น

5. การตรวจสอบคุณภาพของแบบทดสอบวินิจฉัย

การหาคุณภาพของแบบทดสอบวินิจฉัยแบบทดสอบวินิจฉัยที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเป็นแบบทดสอบแบบอิงเกณฑ์ ผู้วิจัยขอเสนอการหาคุณภาพของแบบทดสอบวินิจฉัยตามแนวแบบทดสอบอิงเกณฑ์ดังนี้

5.1 ค่าความยากของแบบทดสอบ (Item Difficulty)

ในการหาค่าความยากของแบบทดสอบอิงเกณฑ์ ได้มีนักการศึกษาหลายท่านได้ให้แนวคิดไว้ดังนี้

บุญชม ศรีสะอาด (2535, น. 87) กล่าวว่า ค่าความยากของข้อสอบอิงเกณฑ์เป็นค่าแสดงถึงร้อยละหรือสัดส่วนของผู้ที่ตอบข้อสอบนั้นถูกหรือที่เลือกคำตอบนั้นเพื่อตรวจสอบความสามารถของผู้เรียน

พวงรัตน์ ทวีรัตน์ (2541, น. 15) กล่าวว่า ค่าความยากของแบบทดสอบอิงเกณฑ์จะพิจารณาจากจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ตั้งขึ้น ทั้งนี้เพราะจุดประสงค์ที่ตั้งขึ้นจะเป็นตัวกำหนดความยากของข้อสอบ กล่าวคือ ถ้าจุดประสงค์นั้นวัดพฤติกรรมขั้นสูงก็จะมีควมยากมากกว่าจุดประสงค์ที่วัดพฤติกรรมขั้นต่ำ ดังนั้นความยากของข้อสอบอิงเกณฑ์จึงขึ้นอยู่กับระดับของพฤติกรรมที่ทำการวัด

สมนึก ภัททิยธนี (2541, น. 195-213) ได้เสนอแนวคิดที่ว่า ค่าความยากของแบบทดสอบ อิงเกณฑ์ หมายถึง อัตราส่วนหรือร้อยละของจำนวนคนตอบถูกกับจำนวนคนทั้งหมด

ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ (2543, น. 196) กล่าวว่า ข้อสอบอิงเกณฑ์จะพิจารณา ค่าความยากของข้อสอบแตกต่างจากแบบอิงกลุ่ม โดยข้อสอบอิงเกณฑ์ในแต่ละข้อจะต้องมีค่าความยากน้อยกว่า 0.40 ก่อนที่นักเรียนจะได้รับการสอนและเมื่อนักเรียนได้รับการสอนแล้ว ข้อสอบแต่ละข้อจะต้องมีค่าความยากมากกว่า 0.75 ทั้งนี้เพราะการวิเคราะห์ข้อสอบแบบอิงเกณฑ์ไม่ได้เน้นที่จะนำค่าความยากง่ายเพื่อมาเลือกข้อสอบ แต่เน้นที่คุณภาพในการสอนของครู กล่าวคือ ถ้าครูยังไม่ได้อสอนเนื้อหา นั้น ข้อสอบควรจะยากคือมีค่า p ต่ำกว่า 0.40 แต่ถ้าครูทำการสอนแล้วและครูสอนดีนักเรียนควรจะเรียนรู้ในเนื้อหา นั้นและควรจะทำข้อสอบนั้นได้ ซึ่งข้อสอบควรง่ายคือมีค่ามากกว่า 0.75

ไพศาล วรคำ (2554, น. 292) กล่าวว่า ค่าความยากของข้อสอบ เป็นคุณลักษณะประจำตัวของข้อสอบแต่ละข้อที่บ่งบอกถึงโอกาสที่กลุ่มตัวอย่างจะตอบข้อนั้นได้ถูกต้อง ดังนั้นความยากของข้อสอบจึงพิจารณาได้จาก จำนวนผู้ตอบข้อนั้นถูก ถ้ามีจำนวนผู้ตอบถูกมาก

แสดงว่าข้อสอบนั้นง่าย หรือมีค่าดัชนีความยากสูง ถ้ามีจำนวนผู้ตอบถูกน้อยแสดงว่าข้อสอบนั้นยาก หรือมีค่าดัชนีความยากต่ำ

สุรศักดิ์ อมรรัตนศักดิ์ (2544, น. 127) กล่าวว่า ค่าความยาก หมายถึงจำนวนเปอร์เซ็นต์ หรือสัดส่วนที่นักเรียนทั้งหมดตอบข้อนั้นถูก ข้อสอบที่ดีควรมีค่าความยากพอเหมาะ

กล่าวโดยสรุป ความยากของข้อสอบ หมายถึง สัดส่วนของคนทำข้อสอบในแต่ละข้อถูก เมื่อเทียบกับจำนวนนักเรียนที่เข้าสอบทั้งหมด ในการสร้างแบบทดสอบวินิจัยนี้ควรทำการคัดเลือกข้อสอบที่มีความยากตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไป

5.2 ค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบ (Discrimination)

ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ (2543, น. 197) กล่าวว่าค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ อิงเกณฑ์นั้นจะเป็นค่าอำนาจจำแนกระหว่างกลุ่มที่ยังไม่ได้รับการเรียนหรือกลุ่มที่ยังไม่รู้ (Nonmaster) กับกลุ่มที่ได้รับการเรียนรู้แล้วหรือที่รู้แล้ว (Master) ข้อสอบอิงเกณฑ์ไม่เน้นที่ค่าอำนาจจำแนก เนื่องจากแบบทดสอบอิงเกณฑ์จะใช้ในการวัดผลที่ใช้การเรียนการสอนแบบมีระบบ (Systematic instruction) เช่นการเรียนแบบรอบรู้ นักเรียนทุกคนจะเรียนรู้หมด นั่นคือมีคะแนนเต็มหรือใกล้เคียงเต็มทุกคน เมื่อหาค่าอำนาจจำแนกจะมีค่าเป็น 0 หรือใกล้ 0 ทั้งนี้ ดังนั้นดัชนีค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบอิงเกณฑ์ควรมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 0

ไพศาล วรคำ (2554, น. 294) หมายถึง คุณลักษณะของข้อสอบหรือข้อคำถามที่สามารถแยกปริมาณของคุณลักษณะที่ต้องการวัดที่มีอยู่ในแต่ละบุคคลได้ ข้อสอบที่มีค่าอำนาจจำแนกก็คือ ข้อสอบที่สามารถแยกคนเก่งออกจากคนอ่อนได้นั้นหมายความว่า คนเก่งทำข้อสอบนั้นถูกขณะที่คนอ่อนทำผิด

สุรศักดิ์ อมรรัตนศักดิ์ (2544, น. 127) หมายถึง ความสามารถของข้อคำถามที่จะแบ่งนักเรียนเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเก่งกับกลุ่มอ่อน อำนาจจำแนกนี้เปรียบได้กับความไวของตาซึ่งที่มีต่อน้ำหนักของวัตถุที่วางบนเครื่องชั่ง ข้อสอบที่ง่ายเกินไป (ทุกคนตอบถูกหมด) หรือข้อสอบที่ยากเกินไป (ทุกคนตอบผิด) จะไม่มีอำนาจจำแนก ซึ่งเป็นลักษณะข้อสอบที่ไม่พึงปรารถนา

กล่าวโดยสรุป อำนาจจำแนกของข้อสอบ หมายถึง ประสิทธิภาพของข้อสอบแต่ละข้อที่สามารถจำแนกนักเรียนออกเป็นกลุ่มที่ผ่านเกณฑ์และกลุ่มที่ไม่ผ่านเกณฑ์ ในการสร้างแบบทดสอบวินิจัยครั้งนี้ควรทำการคัดเลือกข้อที่มีอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไป

5.3 ความเที่ยงตรงของแบบทดสอบ (Validity)

ความเที่ยงตรงของแบบทดสอบเป็นคุณภาพของแบบทดสอบ หมายถึง แบบทดสอบที่สามารถวัดได้ตรงตามลักษณะหรือจุดประสงค์ที่ต้องการจะวัด ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ความถนัด เจตคติ จริยธรรม บุคลิกภาพ และอื่น ๆ แบบทดสอบทุกฉบับจะต้องมีคุณภาพด้านความเที่ยงตรงจึงจะเชื่อถือได้ว่าเป็นแบบทดสอบที่ดีและผลที่ได้จากการวัดจะถูกต้องตามที่ต้องการความเที่ยงตรงในการวัดจำแนกตามคุณลักษณะหรือจุดประสงค์ที่ต้องการวัดได้ 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ความเที่ยงตรงตามเนื้อหา (Content Validity) ความเที่ยงตรงตามเกณฑ์สัมพัทธ์ (Criterion-Related Validity) ความเที่ยงตรงตามโครงสร้าง (Construct Validity)

ลัวัน สายยศ และอังคณา สายยศ (2543, น. 246) ได้ให้ความหมายของแบบทดสอบอิงเกณฑ์เกี่ยวกับความเที่ยงตรงตามเนื้อหาว่า เป็นเครื่องมือที่สามารถวัดได้ตามเนื้อหาที่ต้องการจะวัด ความเที่ยงตรงตามเกณฑ์สัมพัทธ์ หมายถึง คุณภาพของเครื่องมือที่เอาผลการวัดของแบบทดสอบไปหาความสัมพันธ์กับเกณฑ์ที่ต้องการ ส่วนความเที่ยงตรงตามโครงสร้างนั้น หมายถึง คุณภาพของเครื่องมือที่สามารถวัดได้ตรงตามลักษณะหรือตามทฤษฎีต่าง ๆ ของโครงสร้างนั้น

ไพศาล วรคำ (2554, น. 260) กล่าวว่า ความเที่ยงตรง หมายถึง ความถูกต้องแม่นยำของเครื่องมือในการวัดสิ่งที่ต้องการจะวัด หรือความสอดคล้อง เหมาะสมของผลการวัดกับเนื้อเรื่อง หรือเกณฑ์ หรือทฤษฎีเกี่ยวกับลักษณะที่มุ่งวัด ความเที่ยงตรงจึงถือว่าเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของเครื่องมือวัดทุกประเภท เพราะเป็นคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพด้านความถูกต้องของผลที่ได้จากการวัด หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ความเที่ยงตรงเป็นความใกล้เคียงกันระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าจริง ถ้าค่าที่วัดได้ใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริงเพียงใด ก็ถือว่าการวัดมีความเที่ยงตรงมากขึ้นเพียงนั้น ความเที่ยงตรงของเครื่องมือจำแนกได้ 3 ประเภท คือ ความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา ความเที่ยงตรงตามเกณฑ์สัมพัทธ์ และความเที่ยงตรงเชิงทฤษฎีหรือความเที่ยงตรงเชิงโครงสร้าง

ศิริชัย กาญจนวาสี (2556, น. 99) กล่าวว่า ความเที่ยงตรง เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของเครื่องมือวัดผล ซึ่งเกี่ยวข้องกับคุณภาพด้านความถูกต้องของผลที่ได้จากเครื่องมือวัด ทำให้สามารถนำคะแนนที่ได้ไปแปลความหมายถึงสิ่งที่มุ่งวัดได้อย่างเหมาะสม โดยความเที่ยงตรงเป็นความใกล้เคียงกันระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าที่แท้จริง ถ้าผลการวัดได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริงเพียงใด ก็ถือว่าการวัดมีความตรงมากขึ้นเพียงนั้น ดังนั้นความเที่ยงตรงจึงเป็นคุณสมบัติที่สำคัญ

ที่สุดของเครื่องมือหรือแบบทดสอบ แบบทดสอบที่มีความเที่ยงตรงสูงจะเป็นเครื่องมือที่วัดคุณลักษณะที่ต้องการได้ตรงหรือใกล้เคียงกับค่าจริงมาก คะแนนที่ได้จากแบบทดสอบที่มีความตรงสูง คะแนนนั้นสามารถบ่งบอกถึงสภาพที่แท้จริงของลักษณะที่มุ่งวัดนั้นได้เป็นอย่างดี

ราตรี นันทสุคนธ์ (2553, น. 226) กล่าวว่า ความเที่ยงตรง เป็นคุณสมบัติของเครื่องมือที่สามารถวัดสิ่งที่ต้องการวัดได้ ในปัจจุบันความเที่ยงตรงมี 3 ประการ คือ ความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) ความเที่ยงตรงตามโครงสร้าง (Construct Validity) และความเที่ยงตรงเชิงเกณฑ์สัมพันธ์ (Criterion-Related Validity)

สุรศักดิ์ อมรรัตนศักดิ์ (2544, น. 115) กล่าวถึงความเที่ยงตรงว่า เป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของเครื่องมือในการวัดผล และเป็นยอดปรารถนาของทุกท่าน เพราะถ้าเครื่องมือในการวัดมีความเที่ยงตรงดีแล้ว จะทำให้ผลที่ได้จากการวัดมีความหมายตามที่ต้องการจะวัด คงไม่มีใครปฏิเสธว่า ตาซึ่งใช้วัดน้ำหนัก ไม่เมตรใช้วัดความยาว และนาฬิกาใช้วัดเวลา แม้ว่านาฬิกาบางเรือนจะเดินช้าหรือเดินเร็วไปบ้างก็ตาม แต่ก็ยังเป็นเครื่องมือใช้วัดเวลาอยู่ เครื่องมือในการวัดที่สำคัญของครูได้แก่ แบบทดสอบ ความเที่ยงตรงจึงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดที่ได้จากแบบทดสอบกับสิ่งที่ต้องการวัด สิ่งที่ต้องการวัดอาจเป็นเนื้อหาวิชาคณิตศาสตร์ ความสามารถในอนาคต เป็นต้น โดยทั่วไปเรียกสิ่งที่ต้องการวัดว่า ตัวแปรเกณฑ์ ดังนั้นถ้าจะให้นิยามของความเที่ยงตรงตามนัยนี้ก็จะได้ว่า ความเที่ยงตรงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้จากแบบทดสอบกับค่าวัดของตัวแปรเกณฑ์ ดังนั้นความเที่ยงตรงจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับว่าสัมพันธ์กันมากหรือน้อย โดยทั่วไปแบบทดสอบมีความเที่ยงตรงทั้งนั้น เพียงแต่ว่ามากหรือน้อย ในการหาความเที่ยงตรงนั้นนิยมมาโดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ความเที่ยงตรงแบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ ความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) ความเที่ยงตรงตามโครงสร้าง (Construct Validity) ความเที่ยงตรงเชิงสภาพ (Concurrent Validity) และความเที่ยงตรงเชิงพยากรณ์ (Predictive Validity)

โดยสรุป ความเที่ยงตรง คือ ความถูกต้องแม่นยำของเครื่องมือในการวัดสิ่งที่ต้องการจะวัด เป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของเครื่องมือในการวัดผล ความเที่ยงตรงมี 3 ประการ คือ ความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) ความเที่ยงตรงตามโครงสร้าง (Construct Validity) และความเที่ยงตรงเชิงเกณฑ์สัมพันธ์ (Criterion-Related Validity)

5.4 ความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ (Reliability)

ไพศาล วรคำ (2554, น. 272) กล่าวว่า ความเชื่อมั่น หมายถึง ความคงที่ของผลที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือชุดใดชุดหนึ่งในการวัดหลาย ๆ ครั้ง เช่น ถ้านำตุ่มน้ำหนักขนาด 1

กิโลกรัม ไปชั่งด้วยเครื่องชั่งเครื่องหนึ่ง เครื่องชั่งนั้นจะบอกน้ำหนักมาค่าหนึ่ง ซึ่งอาจเป็น 1 กิโลกรัม หรืออาจเป็นค่าอื่นก็ได้ เมื่อนำตุ้มน้ำหนักนั้นชั่งด้วยเครื่องชั่งนี้กี่ครั้ง ๆ ก็จะบอกค่าน้ำหนักเดิมเสมอ แสดงว่าเครื่องชั่งนี้มีความเชื่อมั่น ส่วนค่าน้ำหนักที่ชั่งได้ ถ้ามีค่าเท่ากับ 1 กิโลกรัมตามน้ำหนักที่แท้จริงของตุ้มน้ำหนัก แสดงว่าเครื่องชั่งมีความเที่ยง แต่ถ้าค่าน้ำหนักที่ชั่งได้ไม่เท่ากับ 1 กิโลกรัม แสดงว่าเครื่องชั่งไม่มีความเที่ยงตรง ดังนั้นความเชื่อมั่นของแบบวัดจึงเป็นคุณสมบัติของแบบวัดที่ให้ผลการวัดคงที่ในการวัดคุณลักษณะใดลักษณะหนึ่ง เมื่อคุณลักษณะนั้นไม่เปลี่ยนแปลงไป ไม่ว่าจะทำการวัดกี่ครั้งก็ตาม

ศิริชัย กาญจนวาสิ (2556, น. 55) กล่าวว่า ความเชื่อมั่น คือคุณสมบัติประการหนึ่งของแบบสอบ การให้ผลการทดสอบที่ใกล้เคียงของเดิมเมื่อใช้ผู้สอบคนเดิมภายใต้สภาพการทดสอบที่เหมือนเดิม นั่นคือความคงที่หรือความคงเส้นคงวาของผลคะแนนที่ได้จากการวัดซ้ำ ถ้าการวัดสิ่งเดียวกันหลาย ๆ ครั้งได้ค่าที่ค่อนข้างคงเส้นคงวาสูงขึ้นเพียงใดก็ถือว่าการวัดมีค่าความเชื่อมั่นมากขึ้นเพียงนั้น แบบสอบที่มีความเที่ยงสูงจะเป็นเครื่องมือที่ใช้วัดคุณสมบัตินั้นที่ต้องการได้ผลอย่างคงเส้นคงวา

ราตรี นันทสุนทร (2553, น. 226) กล่าวว่าความเชื่อมั่นหมายถึง การที่วัดแล้ววัดอีกได้เท่าเดิม นั่นคือเช่น แบบทดสอบชุดหนึ่งนำไปทดสอบกับเด็กคนหนึ่งได้คะแนน 30 คะแนน หากทำการทดสอบอีกทีได้คะแนนเท่าเดิม แสดงว่าแบบทดสอบนี้มีความเชื่อมั่นสูง เปรียบเสมือนกับการใช้ไม้เมตรวัดความยาวของชิ้นหนึ่ง ครั้งแรกวัดได้ยาว 2 เมตร หากเอาไม้เมตรวัดของชิ้นเดิมอีกทีก็ปรากฏว่ายาวเท่าเดิม แปลว่าไม้เมตรมีความเชื่อมั่นสูงมาก เราต้องการเครื่องมือที่มีความเชื่อมั่นสูง ๆ ข้อมูลที่ได้ถึงจะมีคุณค่า

สุรศักดิ์ อมรรัตนศักดิ์ (2544, น. 89-98) กล่าวว่า ความเชื่อมั่นเป็นคุณลักษณะที่สำคัญของการวัดทุกชนิด กล่าวคือ ถ้าเครื่องมือวัดขาดความเชื่อมั่นแล้ว ผลที่ได้จากการวัดก็จะไม่มีความหมาย แบบทดสอบที่มีความเชื่อมั่นสูง หมายถึง แบบทดสอบที่นำไปสอบกับนักเรียนกี่ครั้ง ๆ ผู้เข้าสอบก็จะได้คะแนนคงที่ แน่นนอน ไม่เปลี่ยนแปลง หรือเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเพียงเล็กน้อย โดยปกติจะนิยามความเชื่อมั่นว่าเป็นอัตราส่วนระหว่างความแปรปรวนของคะแนนจริง และความแปรปรวนของคะแนนที่ได้จากแบบทดสอบ ในการวัดทางการศึกษานั้นพบปัญหาในการวัดมากมาย และปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งก็คือความเชื่อมั่นในการวัดทางการศึกษา ต่ำกว่าความเชื่อมั่นในการวัดทางกายภาพ การหาความเชื่อมั่นของเครื่องมือวัด อาจทำได้หลายวิธีเช่น วิธีสอบซ้ำ (Test-retest method) วิธีใช้แบบทดสอบคู่ขนาน (Paralell test method) วิธีหา

ความคงที่ภายใน (Internal consistency method) ซึ่งแบ่งออกเป็น วิธีแบ่งครึ่งข้อสอบ (Split-half method) และวิธีคูเดอริ ริชาร์ดสัน (Kuder-richardson method)

โดยสรุป ความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ หมายถึง ความคงที่ของคะแนนที่ได้จากการทำแบบทดสอบ คือ การให้ผลการทดสอบที่ใกล้เคียงของเดิมเมื่อใช้ผู้สอบคนเดิมภายใต้สภาพการทดสอบที่เหมือนเดิม การหาความเชื่อมั่นของเครื่องมือวัด อาจทำได้หลายวิธีเช่น วิธีสอบซ้ำ (Test-retest method) วิธีใช้แบบทดสอบคู่ขนาน (Paralell test method) วิธีหาความคงที่ภายใน (Internal consistency method) ซึ่งแบ่งออกเป็น วิธีแบ่งครึ่งข้อสอบ (Split-half method) และวิธีคูเดอริ ริชาร์ดสัน (Kuder-richardson method)

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมโนทัศน์และแบบทดสอบวินิจฉัย

6.1 วิจัยเกี่ยวข้องกับมโนทัศน์

ศศิเทพ ปิติพรเทพิน และคณะ (2554) ได้ทำงานวิจัยเรื่อง การส่งเสริมความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง การแบ่งเซลล์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยการสร้างภาพเคลื่อนไหว มีจุดประสงค์เพื่อส่งเสริมความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง การแบ่งเซลล์ในวิชาชีววิทยา 1 โดยการสร้างภาพเคลื่อนไหวด้วยคอมพิวเตอร์ และศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 115 คน โดยงานวิจัยนี้เป็น การวิจัยแบบผสมผสาน (mixed-method study) ที่นำเสนอทั้งข้อมูลเชิงปริมาณและคุณภาพ ภายใต้การตีความหมายข้อมูลเกี่ยวกับการส่งเสริมความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง การแบ่งเซลล์ในวิชาชีววิทยา 1 และปัจจัยที่ส่งผลต่อความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์ดังกล่าว ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยการสร้างภาพเคลื่อนไหวด้วยคอมพิวเตอร์ กลุ่มที่ศึกษาเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ของโรงเรียนสาธิตสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาแห่งหนึ่ง ในกรุงเทพมหานครได้มาจากการสุ่มแบบเฉพาะเจาะจง (purposive sampling) จำนวน 4 ห้องเรียน ประกอบด้วยนักเรียนทั้งสิ้น 115 คน ในภาคต้นปีการศึกษา 2554 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 1. แบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง การแบ่งเซลล์ ประกอบด้วยคำถามปลายเปิดจำนวน 7 ข้อ ซึ่งมีเนื้อหาครอบคลุมความรู้พื้นฐาน ได้แก่ ความสามารถในการเพิ่มจำนวนของเซลล์วัฏจักรของเซลล์ จุดประสงค์ของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ขั้นตอนการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส จุดประสงค์ของการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส ขั้นตอนการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส และการแบ่งไซโทพลาสซึม 2. แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การแบ่งเซลล์ มีกิจกรรมที่เน้นการสร้างความรู้ด้วยตนเอง และสอดคล้องกับตัวชี้วัดของหลักสูตรแกนกลาง การศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ 3. บันทึกการเรียนรู้

(journal) เป็นเครื่องมือที่ให้นักเรียนบันทึกสิ่งที่ได้เรียนรู้ รวมทั้งความคิดเห็นของนักเรียนที่มีต่อเนื้อหาที่เรียน และกิจกรรมการเรียนรู้ในแต่ละคาบเรียน จากนั้นคณะผู้วิจัยส่งเครื่องมือทั้งหมดให้นักวิทยาศาสตร์จำนวน 1 ท่าน นักวิทยาศาสตร์ศึกษาจำนวน 1 ท่าน และครูผู้มีประสบการณ์ในการจัดการเรียนรู้วิชาชีววิทยา จำนวน 1 ท่าน ตรวจสอบความตรงตามเนื้อหาและภาษาที่ใช้ และลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่มีลักษณะเดียวกับกลุ่มที่ศึกษา จำนวน 1 ห้องเรียน แล้วนำเครื่องมือมาปรับปรุงก่อนนำไปใช้จริงต่อไป

คณะผู้วิจัยมีขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยเริ่มจากการประชุมร่วมกัน เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกันเกี่ยวกับวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล และก่อนการจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้น คณะผู้วิจัยให้นักเรียนทำแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง การแบ่งเซลล์ใช้เวลา 30 นาที และชี้แจงให้นักเรียนเข้าใจรูปแบบการเรียนรู้ด้วยการสร้างภาพเคลื่อนไหวด้วยคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นคณะผู้วิจัยจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้กับนักเรียนที่รับผิดชอบในการปฏิบัติการสอนในหัวข้อการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส (mitosis) จำนวน 4 คาบ และหัวข้อการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส (meiosis) จำนวน 4 คาบ โดยใช้เวลาเรียน จำนวน 3 คาบต่อสัปดาห์ รวมทั้งสิ้นจำนวน 8 คาบ (คาบละ 50 นาที) และทำหน้าที่เป็นผู้อำนวยความสะดวกในการเรียนรู้ (learning facilitator) โดยชี้แนะเข้าสู่บทเรียน คณะผู้วิจัยใช้รูปภาพเซลล์ร่างกายและเซลล์สืบพันธุ์ที่กำลังเพิ่มจำนวน เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนถามคำถามเพื่อนำไปสู่การสำรวจตรวจสอบเกี่ยวกับกระบวนการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและไมโอซิส ในชั้นวางแผนและสำรวจ นักเรียนมีส่วนร่วมในการวางแผน เก็บรวบรวมข้อมูลจากแหล่งเรียนรู้ต่าง ๆ เกี่ยวกับการแบ่งเซลล์ เพื่อใช้ในการสร้างเป็นดินน้ำมันเพื่อแสดงการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและไมโอซิส นักเรียนต้องถ่ายรูปในแต่ละขั้นตอนของการแบ่งเซลล์ จากนั้นนักเรียนนำภาพถ่ายไปสร้างภาพเคลื่อนไหวด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ส่วนคณะผู้วิจัยทำหน้าที่เป็นผู้แนะนำ กระตุ้นการเรียนรู้ให้กับนักเรียนในแต่ละคาบเรียน ตลอดจนสังเกตและบันทึกผลการสังเกตการทำงานกลุ่ม รวมทั้งเปิดโอกาสให้นักเรียนแต่ละคนประเมินการทำงานกลุ่มของตนเอง นักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอผลงาน หน้าชั้นเรียน เผยแพร่ผลงานให้ผู้สนใจทางสื่อต่าง ๆ เมื่อจัดการเรียนรู้เสร็จในแต่ละคาบเรียน คณะผู้วิจัยให้นักเรียนแต่ละคน เขียนบันทึกการเรียนรู้ และรวบรวมส่งในคาบเรียนชีววิทยาถัดไป หากข้อมูลที่ได้จากบันทึกการเรียนรู้ยังไม่ชัดเจน คณะผู้วิจัยจะสัมภาษณ์นักเรียนอย่างไม่เป็นทางการเพิ่มเติม เมื่อจัดการเรียนรู้ครบทุกหัวข้อ คณะผู้วิจัยให้นักเรียนทำแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง การแบ่งเซลล์อีกครั้งใช้เวลา 50 นาที

จากนั้นคณะผู้วิจัยนำข้อมูลจากบันทึกการเรียนรู้ และการสัมภาษณ์อย่างไม่เป็นทางการ วิเคราะห์เนื้อหา (content analysis) เพื่อจัดกลุ่มคำตอบของนักเรียน สำหรับคำตอบของนักเรียนจากแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์เรื่อง การแบ่งเซลล์ทั้งก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ คณะผู้วิจัยอ่าน ตีความ และจำแนกคำตอบของนักเรียนเป็น 5 กลุ่มได้แก่ 1. กลุ่มแนวคิดวิทยาศาสตร์ หมายถึง นักเรียนตอบคำถามสอดคล้องกับแนวคิดของนักวิทยาศาสตร์ทุกองค์ประกอบ 2. กลุ่มแนวคิดวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ หมายถึง นักเรียนตอบคำถามสอดคล้องกับแนวคิดของนักวิทยาศาสตร์อย่างน้อย 1 องค์ประกอบ 3. กลุ่มแนวคิดวิทยาศาสตร์บางส่วนและคลาดเคลื่อนบางส่วน หมายถึง นักเรียนตอบคำถามสอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์อย่างน้อย 1 องค์ประกอบ และมีบางแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดวิทยาศาสตร์ด้วย 4. กลุ่มแนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดวิทยาศาสตร์ หมายถึง นักเรียนตอบคำถามไม่สอดคล้องกับแนวคิดวิทยาศาสตร์ที่ปรากฏในคำถามนั้น ๆ และ 5. กลุ่มที่ไม่เข้าใจ หมายถึง นักเรียนไม่ได้ตอบคำถามนักเรียน หรือเขียนคำตอบในลักษณะทวนคำถามและไม่ได้ใช้แนวคิดวิทยาศาสตร์ใด ๆ ในการตอบคำถาม จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการจัดกลุ่มไปนำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา หากผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นไม่ตรงกับคณะผู้วิจัย คณะผู้วิจัยและผู้เชี่ยวชาญจะอภิปรายเพื่อหาข้อสรุปของจากจัดกลุ่มคำตอบก่อนคำนวณหาค่าร้อยละ ของความถี่ของคำตอบในแต่ละกลุ่มเพื่อเปรียบเทียบกับจำนวนนักเรียนทั้งหมดที่เป็นกลุ่มศึกษา ผลการวิจัยพบว่านักเรียนส่วนใหญ่มีแนวคิดที่สอดคล้องกับ แนวคิดวิทยาศาสตร์เพิ่มมากขึ้น ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ได้แก่ เวลาที่นักเรียนใช้ในการสร้างภาพเคลื่อนไหว การลงมือปฏิบัติด้วย ตนเองในห้องเรียน ความกระตือรือร้นของนักเรียนในการหาความรู้เพิ่มเติม และข้อเสนอแนะจากการอภิปรายในชั้นเรียน

พรประสิทธิ์ ศรีสุพรรณ และไพโรจน์ เต็มเตชาติพงศ์ (2010) ได้ศึกษาการปรับเปลี่ยนมโนคติ เรื่อง เซลล์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนเพื่อเปลี่ยนมโนคติตามแนวคิดของ Hewson and Hewson (2003) วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้าใจมโนคติ เรื่อง เซลล์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เมื่อใช้ยุทธศาสตร์การสอนเพื่อเปลี่ยนมโนคติตามแนวคิดของ Hewson and Hewson (2003) กลุ่มเป้าหมาย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2552 โรงเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายห้วยทราย อำเภอห้วยทราย จังหวัดปทุมธานี ประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว จำนวน 37 คน ซึ่งได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง รูปแบบการวิจัยเป็นแบบกลุ่มเดียวที่มีการทดสอบก่อนและหลังการทดลอง (One group pretest posttest design) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมี 2 ชนิดได้แก่ แบบ

วัดความเข้าใจในมิติ เรื่อง เซลล์ และแผนการจัดการเรียนรู้ โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนเพื่อเปลี่ยนมโนคติตามแนวคิดของ Hewson and Hewson (2003) จำนวน 5 แผน โดยใช้เวลาสอน 13 คาบ การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการวัดความเข้าใจในมิติก่อนเรียนของนักเรียน แล้วทำการจัดการเรียนรู้ โดยใช้แผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 5 แผน หลังจากได้เรียนรู้ครบทั้ง 5 แผน ก็ได้ทำการวัดความเข้าใจในมิติหลังเรียนของนักเรียน จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยหาค่าความถี่ ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ ค่า t-test ซึ่งผลการวิจัยพบว่า 1. คะแนนเฉลี่ยความเข้าใจในมิติ เรื่อง เซลล์ ของนักเรียนก่อนและหลังการใช้ยุทธศาสตร์การสอนเพื่อเปลี่ยนมโนคติตามแนวคิดของ Hewson and Hewson (2003) มีความแตกต่างกันในที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยที่คะแนนเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน (50.97 และ 9.76 ตามลำดับ) 2. ระดับความเข้าใจในมิติ เรื่อง เซลล์ของนักเรียนในแต่ละมโนคติก่อนและหลังเรียนในมโนคติหลักที่ศึกษา 5 มโนคติหลัก ได้แก่ 1) เซลล์และทฤษฎีเซลล์ 2) โครงสร้างพื้นฐานของเซลล์ 3) โครงสร้างของเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ 4) การเคลื่อนที่ของสารผ่านเซลล์ และ 5) การแบ่งเซลล์ พบว่า ก่อนเรียนนั้นนักเรียนมีความเข้าใจในมิติ ตั้งแต่ระดับความไม่เข้าใจไปจนถึงความเข้าใจในมิติในระดับที่สมบูรณ์ โดยส่วนใหญ่จะมีความเข้าใจในมิติในระดับที่คลาดเคลื่อน จำนวนร้อยละ 0 ถึง ร้อยละ 97.30 3. นักเรียนได้เรียนรู้จากการจัดการเรียนรู้โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนเพื่อเปลี่ยนมโนคติตามแนวคิดของ Hewson and Hewson (2003) พบว่า นักเรียนมีความเข้าใจในมิติที่เป็นลักษณะความเข้าใจในมิติที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้นโดยส่วนใหญ่จะมีความเข้าใจในระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ จำนวนร้อยละ 35.14 ถึงร้อยละ 72.97 และจำนวนนักเรียนมีความเข้าใจในมิติที่คลาดเคลื่อนลดลงยังเหลือจำนวนร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 2.70 การเปลี่ยนแปลงความเข้าใจในมิติ เรื่อง เซลล์ของนักเรียนเป็นรายบุคคลในแต่ละมโนคติ หลังเรียนพบว่า จากจำนวนนักเรียนทั้งหมด 37 คน มีนักเรียนจำนวน 11 คน คิดเป็นร้อยละ 29.73 ที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้าใจในมิติ เรื่อง เซลล์ตามเกณฑ์ และมีนักเรียนจำนวน 26 คน ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้าใจในมิติ เรื่อง เซลล์ตามเกณฑ์ เนื่องจากในรายชื่อนั้น หลังเรียนนักเรียนมีคะแนนการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้าใจในมิติ เพียง 1 คะแนน และทั้งหมดข้อสอบ หลังเรียนนักเรียนมีการเปลี่ยนแปลงความเข้าใจในมิติเป็นรายชื่อน้อยกว่าจำนวน 15 ข้อลงมา จากทั้งหมด 30 ข้อ

Aldahmash, Alshaya & Asiri (2012) มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับพันธุศาสตร์ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษา พบว่า มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเป็นปัจจัยสำคัญที่ขัดขวางการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแนวคิดเรื่องพันธุศาสตร์และพันธุกรรมของนักเรียนเกรด 11 กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียน

186 คน จากเมืองรียาด ประเทศซาอุดีอาระเบีย สุ่มเลือกให้ทำแบบสอบถาม ผลการวิจัยที่ได้ชี้ว่า นักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในแนวคิดเกี่ยวกับพันธุศาสตร์และพันธุกรรม ในเรื่องการแบ่งเซลล์โดยตรงและโดยอ้อม การแบ่งตัวแบบลดจำนวนโครโมโซม (reduction division) การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศและไม่อาศัยเพศ และกระบวนการถ่ายทอดข้อมูลพันธุกรรม ผลที่ได้ชี้ว่านักเรียนมีปัญหาในการแยกแยะระหว่างการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศและไม่อาศัยเพศ และขาดความเข้าใจในกลไกของการถอดทอดลักษณะทางพันธุศาสตร์และพันธุกรรมในการสืบพันธุ์และการแบ่งเซลล์ เป็นผลให้มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเหล่านี้อาจทำให้นักเรียนมีความสามารถในการอธิบายคำตอบลดลง และมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเหล่านี้จะขัดขวางการทำความเข้าใจแนวคิดชีววิทยาของนักเรียน

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการแบ่งเซลล์โดยตรงและโดยอ้อม

1. เซลล์ผิวหนังจะมีจำนวนโครโมโซมน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของเซลล์ใหม่
2. เซลล์ผิวหนังเดิมและเซลล์ผิวหนังใหม่อาจมีลักษณะพันธุกรรมที่ต่างกัน
3. เซลล์สามารถเจริญเติบโต แต่ไม่สามารถแบ่งตัว

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการแบ่งเซลล์สืบพันธุ์

1. จำนวนโครโมโซมในเซลล์ไข่ที่เกิดใหม่มีจำนวนเป็นสองเท่า หรือเท่ากับจำนวนโครโมโซมในเซลล์ไข่เดิม

2. เซลล์ไข่ใหม่มีข้อมูลพันธุกรรมต่างกัน
3. การแบ่งตัวของเซลล์พืชแตกต่างจากเซลล์ของสัตว์

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการถ่ายทอดข้อมูลพันธุกรรม

1. นักเรียนคิดว่าเซลล์ร่างกาย ชนิดเดียวกัน (เช่น เซลล์ที่แก้ม) มีข้อมูลพันธุกรรมแตกต่างกัน

2. นักเรียนคิดว่าเซลล์ร่างกายต่างชนิด (เช่น เซลล์ที่แก้มและเซลล์ประสาท) มีข้อมูลแตกต่างกัน

3. นักเรียนเชื่อว่าเซลล์ร่างกาย 1 เซลล์ และเซลล์สืบพันธุ์ 1 เซลล์ (เซลล์ที่แก้มและเซลล์สุจิ) มีข้อมูลแตกต่างกัน

4. นักเรียนเชื่อว่าเซลล์สืบพันธุ์ 2 เซลล์ (เซลล์สุจิ) มีข้อมูลแตกต่างกัน

Kara & Yeşilyurt (2008) เปรียบเทียบอิทธิพลของซอฟต์แวร์การสอนและการเรียนรู้แบบศึกษาแบบเห็นถึงที่มีต่อผลการเรียน มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และทัศนคติต่อวิชาชีววิทยาของนักเรียนวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อศึกษาอิทธิพลของซอฟต์แวร์การสอนและการเรียนรู้

แบบศึกษาบันเทิง (edutainment) ในหัวข้อ การแบ่งเซลล์ ที่มีต่อผลการเรียน มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และทัศนคติของนักเรียน โดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์เรื่องการแบ่งเซลล์ (National Science Education Standards (NSES) แบบทดสอบแนวคิดเรื่องการแบ่งเซลล์ (CCT) และสเกลวัดทัศนคติทางชีววิทยา (BAS) เมื่อเริ่มต้นและเมื่อสิ้นสุดการวิจัย หลังจากใช้ซอฟต์แวร์ เราพบว่าผลสัมฤทธิ์ใน CAT ของกลุ่มทดลองเพิ่มขึ้น ซอฟต์แวร์การเรียนการสอนนี้ยังมีผลในเชิงบวกต่อการตระหนักในความเข้าใจเรื่องหน้าที่ของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและไมโอซิสของนักเรียน แต่อย่างไรก็ตาม ผลของการวิจัยปัจจุบันเผยให้เห็นว่านักเรียนในกลุ่มทดลองยังคงมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนบางประการ แม้กระทั่งหลังจากการใช้ซอฟต์แวร์ และเราสังเกตเห็นว่าการใช้เพียงซอฟต์แวร์การเรียนรู้ออนไลน์แบบศึกษาบันเทิงทำให้ทัศนคติที่นักเรียนมีต่อชีววิทยาเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ และพบมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนวิชาชีววิทยา มีตัวอย่างดังนี้

จำนวนโครโมโซม

1. หลังการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส จำนวนโครโมโซมจะเพิ่มเป็นสองเท่า
2. หลังการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส จำนวนโครโมโซมจะลดลงครึ่งหนึ่ง
3. หลังการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส จำนวนโครโมโซมจะยังคงเท่าเดิม
4. หลังการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส จำนวนโครโมโซมจะเพิ่มเป็นสองเท่า

ข้อมูลพันธุกรรมหลังการแบ่งเซลล์

1. หลังการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส เซลล์ใหม่มีข้อมูลพันธุกรรมต่างจากเดิม
2. หลังการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส เซลล์เพศมีข้อมูลพันธุกรรมเหมือนเดิม

ตำแหน่งในการแบ่งเซลล์

1. การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสเกิดขึ้นที่ต่อมเพศ
2. การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสเกิดขึ้นในเนื้อเยื่อร่างกาย
3. การแบ่งเซลล์ทั้งหมดเกิดขึ้นในเนื้อเยื่อร่างกาย
4. การแบ่งเซลล์ทั้งหมดเกิดขึ้นในต่อมเพศ

การแบ่งเซลล์ในพืช

1. พืชไม่เกิดการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส
2. พืชไม่เกิดการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส

Yeşilyurt & Kara (2007) ทำการเปรียบเทียบอิทธิพลของซอฟต์แวร์การสอนและการเรียนรู้แบบศึกษาบันเทิงต่อผลการเรียน มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และทัศนคติต่อชีววิทยา ในหัวข้อการแบ่งเซลล์ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ เพื่อศึกษาอิทธิพลของการออกแบบซอฟต์แวร์การเรียนรู้ออนไลน์แบบศึกษาบันเทิงต่อผลการเรียน มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และทัศนคติต่อชีววิทยา ในหัวข้อการแบ่งเซลล์ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ เพื่อศึกษาอิทธิพลของการออกแบบซอฟต์แวร์การเรียนรู้ออนไลน์แบบศึกษาบันเทิงต่อผลการเรียน มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และทัศนคติต่อชีววิทยา ในหัวข้อการแบ่งเซลล์

สอนและการเรียนรู้แบบศึกษาบันเทิง (edutainment) ในหัวข้อ การแบ่งเซลล์ ที่มีต่อผลการเรียน มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และทัศนคติของนักเรียน โดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์เรื่องการแบ่ง เซลล์(National Science Education Standards (NSES) แบบทดสอบแนวคิดเรื่องการแบ่งเซลล์ (CCT) และสเกลวัดทัศนคติทางชีววิทยา (BAS) เมื่อเริ่มต้นและเมื่อสิ้นสุดการวิจัย หลังจากใช้ ซอฟต์แวร์ เราพบว่าผลสัมฤทธิ์ใน CAT ของกลุ่มทดลองเพิ่มขึ้น ซอฟต์แวร์การเรียนการสอนนี้ยังมี ผลในเชิงบวกต่อการตระหนักในความเข้าใจเรื่องหน้าที่ของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและไมโอซิส ของนักเรียน แต่อย่างไรก็ตาม ผลของการวิจัยปัจจุบันเผยให้เห็นว่านักเรียนในกลุ่มทดลองยังคงมี มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนบางประการ แม้กระทั่งหลังจากการใช้ซอฟต์แวร์ และผู้วิจัยพบว่าการใช้ เพียงซอฟต์แวร์การเรียนรู้อย่างแบบศึกษาบันเทิงทำให้ทัศนคติที่นักเรียนมีต่อชีววิทยาเปลี่ยนแปลงไป อย่างมีนัยสำคัญ

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่พบ หัวข้อ จำนวนโครโมโซม

1. หลังการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส จำนวนโครโมโซมจะเพิ่มเป็นสองเท่า
2. หลังการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส จำนวนโครโมโซมจะลดลงครึ่งหนึ่ง
3. หลังการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส จำนวนโครโมโซมจะยังคงเท่าเดิม
4. หลังการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส จำนวนโครโมโซมจะเพิ่มเป็นสองเท่า

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่พบ หัวข้อ ข้อมูลพันธุกรรมหลังการแบ่งเซลล์

1. หลังการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส เซลล์ใหม่จะมีสารพันธุกรรมต่างจากเดิม
2. หลังการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส เซลล์เพศจะมีสารพันธุกรรมเหมือนเดิม

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่พบ หัวข้อ ตำแหน่งในการแบ่งเซลล์

1. การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสเกิดขึ้นที่ต่อมเพศ
2. การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสเกิดขึ้นในเนื้อเยื่อร่างกาย
3. การแบ่งเซลล์ทั้งหมดเกิดขึ้นในเนื้อเยื่อร่างกาย
4. การแบ่งเซลล์ทั้งหมดเกิดขึ้นในต่อมเพศ

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่พบ หัวข้อ การแบ่งเซลล์ในพืช

1. พืชไม่เกิดการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส
2. พืชไม่เกิดการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส

Dikmenli (2010) ศึกษา มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการแบ่งเซลล์ของนักศึกษา ฝึกสอนวิชาชีววิทยา โดยวิเคราะห์ด้วยภาพวาด วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อระบุมโนทัศน์ที่ คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการแบ่งเซลล์ของนักศึกษาฝึกสอน โดยใช้ภาพวาดและการสัมภาษณ์ โดย

ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากนักศึกษาฝึกสอนวิชาชีววิทยา 124 คน ผลจากการวิเคราะห์ภาพวาด และการสัมภาษณ์แสดงให้เห็นว่านักศึกษาฝึกสอนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการแบ่งเซลล์ และมีปัญหาในการสร้างแนวคิดรวบยอดที่เป็นประโยชน์ โดยนักศึกษาฝึกสอนมีปัญหากับการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสมากกว่าการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส นักศึกษาฝึกสอนสับสนในระยะเวลาต่างๆ ของกระบวนการแบ่งเซลล์ และเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละระยะ มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่พบในงานวิจัยนี้ได้แก่ การจำลองตัวเองของดีเอ็นเอเกิดขึ้นในระยะโปรเฟสในระหว่างการแบ่งเซลล์ อินเตอร์เฟสเป็นระยะพักของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส จำนวนโครโมโซมจะเพิ่มเป็นสองเท่าในระยะโปรเฟสของไมโทซิส และลดลงครึ่งหนึ่งในระยะแอนาเฟสของไมโทซิส จำนวนโครโมโซมยังคงเท่าเดิมในระยะไมโอซิส I และลดลงครึ่งหนึ่งในระยะไมโอซิส II และในระหว่างการแบ่งเซลล์โครโมโซมจะมี 2 โครมาทิดเสมอ จากนั้นเปรียบเทียบผลที่ได้กับบทความวิจัยที่เกี่ยวข้อง และระบุข้อเสนอแนะสำหรับอาจารย์และนักวิจัย สำหรับการศึกษาวิจัยเพื่อแก้ปัญหา มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในอนาคต

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการแบ่งเซลล์ที่ได้จากภาพวาด

1. อินเตอร์เฟสเป็นระยะพักของการแบ่งตัวแบบไมโทซิส
2. การจำลองตัวเองของดีเอ็นเอเกิดขึ้นในระยะโปรเฟสในระหว่างการแบ่งเซลล์
3. จำนวนโครโมโซมเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า ในระยะโปรเฟสของไมโทซิส และลดลงครึ่งหนึ่งในระยะแอนาเฟสของไมโทซิส
4. โครโมโซมและโครมาทิดคือสิ่งเดียวกัน
5. จำนวนโครโมโซมเท่าเดิมในระยะไมโอซิส I และลดลงครึ่งหนึ่งในระยะไมโอซิส II
6. ในการแบ่งเซลล์ไมโทซิส โฮโมโลกัสโครโมโซมแยกออกจากกันระยะแอนาเฟส
7. ดิพลอยด์เซลล์ ($2n$) เกิดขึ้นจากการแบ่งตัวแบบไมโอซิส
8. ในระหว่างการแบ่งเซลล์ โครโมโซมมี 2 โครมาทิดเสมอ
9. ในการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ซิสเตอร์โครมาทิดจะไม่แยกออกจากกัน
10. โฮโมโลกัสโครโมโซมจะแยกออกจากกันที่ระยะแอนาเฟส II ของการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส
11. ในเซลล์ที่มีจำนวนดิพลอยด์โครโมโซม ($2n$) เท่ากับ 4 จะมี 2 โครโมโซม และแต่โครโมโซมมี 2 โครมาทิด
12. ซิสเตอร์โครมาทิดแยกออกจากกันระยะแอนาเฟส I ในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส
13. ซิสเตอร์โครมาทิดจะแยกออกจากกันเมื่อมีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสเท่านั้น

14. เซนทริโอลพบได้ในนิวเคลียสของเซลล์
 15. การจำลองตัวเองของดีเอ็นเอเกิดขึ้นระหว่างระยะไมโอซิส I และไมโอซิส II
 16. เส้นใยสปินเดิลถูกสร้างขึ้นโดยเซนโทรเมียร์
 17. การจำลองตัวเองของดีเอ็นเอเกิดขึ้นระหว่างระยะโปรเฟสและเมตาเฟส ในระหว่างกระบวนการแบ่งเซลล์
 18. จำนวนโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่งหลังการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส
 19. การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสของเซลล์ที่มี $2n = 4$ โครโมโซม จะทำให้เกิดเซลล์ที่มีโครโมโซมเดียว
 20. crossing over เกิดขึ้นที่ระยะเมตาเฟส I ของการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส
 21. จำนวนโครโมโซมยังคงเท่าเดิมหลังการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส
 22. จำนวนโครโมโซมเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าหลังการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส
 23. การจำลองตัวเองของดีเอ็นเอเกิดขึ้นระหว่างระยะแอนาเฟสและเทโลเฟส ในระหว่างกระบวนการแบ่งเซลล์
 24. การจำลองตัวเองของดีเอ็นเอเกิดขึ้นในกระบวนการแบ่งไซโทพลาสซึม (cytokinesis) ในระหว่างกระบวนการแบ่งเซลล์
- มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการแบ่งเซลล์ที่ได้จากการสัมภาษณ์
1. ออร์แกเนลล์ เช่น ไมโทคอนเดรียและคลอโรพลาสต์ จะสลายไปในระหว่างการแบ่งเซลล์ แล้วจึงถูกสร้างขึ้นใหม่
 2. เซนทริโอลพบได้ในนิวเคลียสของเซลล์
 3. การจำลองตัวเองของดีเอ็นเอเกิดขึ้นในระยะโปรเฟสในระหว่างกระบวนการแบ่งเซลล์
 4. การจำลองตัวเองของดีเอ็นเอเกิดขึ้นระหว่างระยะโปรเฟสและระยะเมตาเฟส ในระหว่างการแบ่งเซลล์
 5. ระยะอินเตอร์เฟสเป็นระยะพักของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส
 6. การจำลองตัวเองของดีเอ็นเอเกิดขึ้นในกระบวนการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสเท่านั้น
 7. โครโมโซมเกิดขึ้นจากการหดตัวและการหนาขึ้นของเส้นใยสปินเดิล
 8. ในการแบ่งตัวแบบไมโทซิส โสโมไลกัสนโครโมโซมจะแยกออกจากกันในระยะแอนาเฟส

9. จำนวนโครโมโซมเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าในระยะโพรเฟสของการแบ่งตัวแบบไมโทซิส และลดลงครึ่งหนึ่งในระยะแอนาเฟสของการแบ่งตัวแบบไมโทซิส

10. การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสเกิดขึ้นในเซลล์สืบพันธุ์ (เซลล์อสุจิหรือเซลล์ไข่)

11. เซนทริโอลจะถูกจำลองตัวเองในระหว่างระยะโพรเฟส

12. ดิพลอยด์เซลล์ (2n) เกิดขึ้นจากการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส

13. ในระหว่างการแบ่งเซลล์ เซนทริโอลจะแยกออกจากกันและเคลื่อนยังด้านตรงกันข้าม

14. เส้นใยสปินเดิลเกิดขึ้นจากเซนโทรเมียร์

15. เซนโทรโซมและเซนทริโอลคือสิ่งเดียวกัน

16. ซิสเตอร์โครมาทิดคือโฮโมโลกัสโครโมโซม

Karagoz & Cakir (2011) ศึกษาการแก้ปัญหาเรื่องพันธุศาสตร์ ปัญหาเกี่ยวกับความคิดรวบยอดและขั้นตอน วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อศึกษาความเข้าใจในแนวคิดพันธุศาสตร์พื้นฐานของนักศึกษาฝึกสอนวิชาชีววิทยา และความสัมพันธ์ระหว่างมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนกับความสามารถในการแก้ปัญหาเรื่องพันธุศาสตร์ งานวิจัยนี้ได้อธิบายปัญหาเกี่ยวกับความคิดรวบยอดและขั้นตอน ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการแก้ไขปัญหาเรื่องพันธุศาสตร์ของนักศึกษาฝึกสอนวิชาชีววิทยา โดยใช้กรณีศึกษา ในงานวิจัยนี้มีนักศึกษาฝึกสอนวิชาชีววิทยาเข้าร่วมทั้งหมด 70 คน ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบทดสอบแนวคิดพันธุศาสตร์ (GBT) และการสัมภาษณ์แบบกึ่งมีโครงสร้าง โดยให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยทั้งหมดทำแบบทดสอบแนวคิดพันธุศาสตร์ และสุ่มเลือกผู้เข้าร่วมการวิจัย 6 คน เพื่อทำการสัมภาษณ์แบบกึ่งมีโครงสร้าง ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่านักศึกษาฝึกสอนวิชาชีววิทยามีความเข้าใจที่ไม่สมบูรณ์และมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับพันธุศาสตร์ของเมนเดล แม้ว่านักศึกษาฝึกสอนเหล่านี้จะสามารถอธิบายแนวคิดบางประการได้ แต่ไม่สามารถนำแนวคิดไปใช้ในการแก้ปัญหา ในหลายกรณีพบว่ามีการนำเอากลยุทธ์การแก้ปัญหาโดยทั่วไปมาใช้โดยไม่มีความเข้าใจในความคิดรวบยอดที่ครอบคลุม ผู้เข้าร่วมการวิจัยต้องอาศัยกลยุทธ์แบบอภิปัญญาและทักษะการคิดขั้นสูง เช่น การตั้งสมมติฐาน ข้อมูล และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการและเป้าหมาย ผู้เข้าร่วมการวิจัยบางคนจะประสบปัญหาในการแก้ปัญหาแบบการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการและเป้าหมาย

Odom (1995) ศึกษาในทัศนคติที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการแพร่และการ ออสโมซิส ของนักเรียนชีววิทยาระดับมัธยมศึกษาและวิทยาลัย กล่าวว่าการระบุสาเหตุของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการพัฒนาบทเรียนเพื่อเปลี่ยนแปลงแนวคิด ซึ่งในช่วงไม่กี่ปีที่

ผ่านมา งานวิจัยเกี่ยวกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก จาก นักการศึกษาวิทยาศาสตร์และนักจิตวิทยาการรู้คิด และในปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่า นักเรียนทุกคนจะนำแนวคิดของตนมาใช้ในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์ เนื่องจากนักเรียนมีประสบการณ์ แตกต่างกัน แต่ละแนวคิดจึงมีความหมายที่ค่อนข้างแตกต่างกัน ยิ่งไปกว่านั้น แนวคิดจำนวนมาก มักแตกต่างจากแนวคิดที่ได้รับการยอมรับจากชุมชนวิทยาศาสตร์ การแพร่และการออสโมซิสเป็น หัวข้อที่มีการสอนกันอย่างแพร่หลายในหลักสูตรชีววิทยาระดับมัธยมศึกษาและวิทยาลัย และมี เหตุผลหลายประการว่าทำไมเราจึงควรให้ความสำคัญกับแนวคิดเรื่องการแพร่และการออสโมซิส ในวิชาชีววิทยา การแพร่และการออสโมซิสเป็นกุญแจสำคัญในการทำความเข้าใจกระบวนการต่าง ๆ ที่สำคัญในชีวิต การแพร่เป็นวิธีการหลักในการขนส่งระยะใกล้ภายในเซลล์และระบบเซลล์ การ ทำความเข้าใจการ ออสโมซิสเป็นกุญแจสำคัญในการทำความเข้าใจการดูดซึมน้ำของพืช สมดุล น้ำในสัตว์น้ำ แรงดันเต่งในพืช และการขนส่งในสิ่งมีชีวิต นอกจากนี้ การแพร่และการออสโมซิสมี ความสัมพันธ์กันอย่างมากกับแนวคิดสำคัญในวิชาฟิสิกส์และเคมี เช่น ความสามารถในการซึม ผ่านและความเป็นอนุภาคของสาร เพราะอนุภาคมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในเรื่องการแพร่และออสโมซิส เช่น

1. การแพร่เป็นการเคลื่อนที่ของอนุภาค
2. การแพร่เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่แบบสุ่ม และ/หรือ การชนกันของอนุภาค (ไอออนหรือโมเลกุล)
3. การแพร่คือการเคลื่อนที่สุทธิของอนุภาค ที่เป็นผลของความลดหลั่นของความเข้มข้น (concentration gradient)
4. ความเข้มข้นคือจำนวนของอนุภาคต่อหน่วยปริมาตร
5. ความลดหลั่นของความเข้มข้นคือความแตกต่างของความเข้มข้นของสาร ระหว่างบริเวณต่าง ๆ

Köse (2008) ทำวิจัยเรื่องการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักศึกษาโดย วิเคราะห์ด้วยภาพวาด พบว่าในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาได้รับความสนใจเกี่ยวกับมโนทัศน์ที่ คลาดเคลื่อนของนักศึกษาวิทยาศาสตร์เป็นอย่างมาก การหาข้อมูลเกี่ยวกับความรู้ของนักศึกษามี ด้วยกันหลายวิธีด้วยกัน เช่น การสัมภาษณ์แบบบุคคลต่อบุคคล คำถามปลายเปิด และ/หรือ แบบทดสอบหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นเกี่ยวกับหัวข้อทางวิทยาศาสตร์บางหัวข้อ อาจช่วยให้ นักเรียนเกิดความคิดเชิงลึกได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่เป็นการยากที่จะหาปริมาณ และในบางครั้ง

ก็เป็นไปตามความคิดของแต่ละบุคคล ภาพวาดเป็นเครื่องมือวิจัยอย่างง่ายที่ช่วยให้เราสามารถทำการเปรียบเทียบมโนทัศน์ของนักศึกษาได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของวิธีการวาดภาพต่อการศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของพืช ของนักศึกษามหาวิทยาลัย โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากภาพวาดของนักศึกษาจำนวน 156 คน จาก 4 ชั้นเรียน อายุ 20 – 25 ปี และจากการสัมภาษณ์นักศึกษา 15 คน ทำการวิเคราะห์ภาพวาดเหล่านี้แล้วแบ่งออกเป็นประเภทตามระดับความเข้าใจ เราพบมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนหลายประการ และมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนบางประการมีความสัมพันธ์ระหว่างการสังเคราะห์ด้วยแสงกับการหายใจในพืช และอาหารกับโภชนาการของพืช โดยบางมโนทัศน์มีความคล้ายคลึงกับในงานวิจัยก่อนหน้านี้และมีการกระจายตัวระหว่างกลุ่มอายุ การวิเคราะห์ภาพวาดจึงสามารถนำมาใช้ร่วมกับการสัมภาษณ์เพื่อวินิจฉัยการทำความเข้าใจแนวคิดและมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแนวคิดเชิงนามธรรมของนักศึกษา

ตัวอย่างมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เช่น

1. การสังเคราะห์ด้วยแสงในพืชจะเป็นการดูด CO_2 และคาย O_2 ในช่วงกลางวัน แต่จะมีการดูด O_2 และคาย CO_2 ในช่วงกลางคืน
2. การสังเคราะห์ด้วยแสงคือการหายใจของพืช
3. การสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดขึ้นเมื่อปริมาณฝนตกเพิ่มขึ้น และหลังเกิดการระเหยการสังเคราะห์แสงจะลดลง
4. การสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นกระบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซ โดยมีการดูด CO_2 และคาย O_2 ออกมา
5. พืชเจริญเติบโตได้โดยการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างช่วงกลางวัน

Andrews et al (2012) ศึกษาวิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงความถี่ของยีนอย่างฉับพลันโดยบังเอิญ (Genetic drift) ของนักศึกษาระดับปริญญาตรี งานวิจัยนี้ได้ศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงความถี่ของยีนอย่างฉับพลันโดยบังเอิญของนักศึกษาระดับปริญญาตรี โดยใช้วิธีการเชิงคุณภาพและวิธีการเชิงปริมาณเพื่ออธิบายคำจำกัดความของนักศึกษา ระบุมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และศึกษาความแตกต่างก่อนและหลังการเรียนการสอนเรื่องการเปลี่ยนแปลงความถี่ของยีนอย่างฉับพลันโดยบังเอิญ โดยระบุและอธิบายมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน 5 ประเภท ซึ่งประกอบด้วยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการ

เปลี่ยนแปลงความถี่ของยีนอย่างฉับพลันโดยบังเอิญ 16 มโนทัศน์ ความถูกต้องของแนวคิดของนักเรียนมีตั้งแต่คำตอบที่แสดงถึงความรู้เกี่ยวกับวิวัฒนาการอย่างผิวเผิน ไปจนถึงคำตอบที่ยังคงมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนอยู่อย่างน้อย 1 มโนทัศน์ และเราได้สรุปผลว่าแนวคิดเรื่องการเปลี่ยนแปลงความถี่ของยีนอย่างฉับพลันโดยบังเอิญเปลี่ยนไปตามการเรียนการสอนอย่างไร นอกจากนี้เราได้ตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับแนวคิดเรื่องวิวัฒนาการทั่วไปและการเปลี่ยนแปลงความถี่ของยีนอย่างฉับพลันโดยบังเอิญของนักศึกษา เอาไว้ 3 สมมติฐาน คือ 1) นักศึกษาเริ่มต้นด้วยแนวคิดเรื่องวิวัฒนาการที่ยังไม่ได้รับการพัฒนา และไม่รู้จักกลไกการเปลี่ยนแปลงแบบต่าง ๆ 2) นักศึกษาเริ่มพัฒนารอบแนวคิดที่ซับซ้อนมากขึ้น แต่ยังคงไม่ถูกต้อง ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่านักศึกษามีประสบการณ์เกี่ยวกับคำศัพท์ แต่ยังขาดความเข้าใจในเชิงลึก และ 3) นักศึกษาจะเกิดมโนทัศน์ใหม่ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงความถี่ของยีนอย่างฉับพลันโดยบังเอิญ เมื่อนักศึกษาเข้าใจเรื่องวิวัฒนาการมากขึ้น

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่พบ เช่น

1. การเปลี่ยนแปลงความถี่ของยีนอย่างฉับพลันโดยบังเอิญ เกิดขึ้นเมื่อสัตว์สปีชีส์เดียวกันมีลักษณะต่างกัน
2. การเปลี่ยนแปลงความถี่ของยีนอย่างฉับพลันโดยบังเอิญ เกิดขึ้นเพราะทั้งสองสปีชีส์มีลักษณะคล้ายคลึงกัน
3. การเปลี่ยนแปลงความถี่ของยีนอย่างฉับพลันโดยบังเอิญ เกิดเมื่อจำนวนอัลลีลค่อย ๆ เปลี่ยนไปเมื่อเวลาผ่านไป
4. การเปลี่ยนแปลงความถี่ของยีนอย่างฉับพลันโดยบังเอิญ เป็นการเปลี่ยนแปลงของยีนเมื่อเวลาผ่านไป
5. การเปลี่ยนแปลงความถี่ของยีนอย่างฉับพลันโดยบังเอิญ เป็นการส่งผ่านคุณลักษณะ ในขณะที่การคัดเลือกตามธรรมชาติไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับพันธุกรรม

Tekkaya (2002) ทำการศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเป็นอุปสรรคต่อการทำความเข้าใจชีววิทยา พบว่าในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมางานวิจัยจำนวนมากได้ศึกษามุ่งเน้นไปที่ความเข้าใจในปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ผลการศึกษาความเข้าใจในแนวคิดวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชี้ว่านักเรียนในช่วงอายุต่าง ๆ มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแนวคิดทางชีววิทยา และนักการศึกษายอมรับว่าความซุกซมของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในกลุ่มนักเรียน ไม่เพียงแต่เป็นอุปสรรคร้ายแรงต่อการเรียนรู้วิชาชีววิทยา แต่ยังขัดขวางการเรียนรู้ในอนาคต เพื่อส่งเสริมให้เกิดการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพและมีประโยชน์ จำเป็นต้องระบุสาเหตุของมโนทัศน์ที่

คลาดเคลื่อนดังกล่าว และหาแนวทางแก้ไขหรือป้องกันไม่ให้เกิดขึ้น ดังนั้น การทบทวนวรรณกรรมนี้จึงได้สรุปผลการวิจัยด้านมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนโดยย่อ โดยพุ่งความสนใจไปที่ความพยายามในการค้นหาวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงแนวคิดเกี่ยวกับชีววิทยาอย่างยั่งยืน

ตัวอย่างมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในชีววิทยา ในหัวข้อการสังเคราะห์ด้วยแสง เช่น

1. การสังเคราะห์ด้วยแสงคือการหายใจของพืชในสภาวะที่มีแสง
2. การสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นกระบวนการที่พืชมีการหายใจ
3. การสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นกระบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์

น้ำ ปุ๋ย และแร่ธาตุ เป็นอาหารของพืช

4. มีเพียงพืชสีเขียวเท่านั้นที่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้
5. การสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นกลไกที่ให้พลังงาน พืชได้รับอาหารจากดิน
6. พืชดูด CO_2 และเปลี่ยนไปเป็น O_2

ตัวอย่างมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในชีววิทยา ในหัวข้อนิเวศวิทยา เช่น

1. ประชากรคือจำนวนคน/สิ่งมีชีวิต (เช่น ประชากรของตุรกี)
2. กลุ่มสิ่งมีชีวิตมีความหมายเช่นเดียวกับประชากร
3. สัตว์กินพืชมีมากกว่าสัตว์กินเนื้อ เพราะสัตว์กินพืชออกลูกมากกว่าสัตว์กินเนื้อ
4. สิ่งมีชีวิตที่แข็งแรงกว่าจะมีพลังงานมากกว่า
5. แบคทีเรียเป็นแหล่งพลังงานในห่วงโซ่อาหาร

ตัวอย่างมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในชีววิทยา ในหัวข้อพลังงาน เช่น

1. การย่อยอาหารเป็นกระบวนการปลดปล่อยพลังงาน
2. พืชได้รับพลังงานจากดิน อากาศ ลม น้ำ และสัตว์ชนิดอื่น ๆ
3. สัตว์ได้รับพลังงานจากการนอนหลับ การรักษาร่างกายให้อบอุ่น และอากาศที่

หายใจ

ตัวอย่างมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในชีววิทยา ในหัวข้อพันธุกรรม เช่น

1. ยีนประกอบด้วยอัลลีล
2. อัลลีล ประกอบด้วยยีน
3. ยีนและอัลลีลนั้นเหมือนกัน
4. การจำลองตัวเองของดีเอ็นเอเกิดขึ้นในระยะโปรเฟส (prophase)
5. การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศเกิดขึ้นในสัตว์แต่ไม่เกิดขึ้นในพืช
6. โครโมโซมและดีเอ็นเออยู่แยกจากกันภายในนิวเคลียส

ตัวอย่างมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในชีวิตวิทยา ในการจำแนกสิ่งมีชีวิต เช่น

1. เพนกวิน กิ้งก่า จระเข้ และเต่า ล้วนเป็นสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก
2. วาฬ ปลาโลมา แมวน้ำ แมงกะพรุน ปลาดาว ล้วนเป็นปลา
3. ค้างคาวเป็นนกชนิดหนึ่ง
4. พารามีเซียมอยู่ในอาณาจักรสัตว์ เพราะมีพฤติกรรมและถิ่นที่อยู่คล้ายสัตว์
5. มนุษย์ไม่ใช่สัตว์

ตัวอย่างมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในชีวิตวิทยา ในหัวข้อระบบไหลเวียนโลหิต เช่น

1. ซีรัมเป็นรูปแบบในการจัดเก็บพลาสมา
2. ผนังที่หนาและยืดหยุ่นของเส้นเลือดช่วยป้องกันการสูญเสียความร้อน
3. เลือดในเส้นเลือดฝอยมีความเร็วต่ำเพราะมีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก
4. หัวใจทำหน้าที่จัดเก็บ ทำความสะอาด กรอง หรือผลิตเลือด

Thompson & Logue (2006) ทำการสำรวจมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ของนักเรียน โดยงานวิจัยนี้เป็นพื้นฐานของการมอบหมายงานในหลักสูตรการฝึกอบรมครู โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อระบุแนวคิดวิทยาศาสตร์ 3 แนวคิด และระบุมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของแต่ละแนวคิดที่พบได้บ่อยในนักเรียน ทำการศึกษาโดยสัมภาษณ์นักเรียน 6 คน ซึ่งเป็นตัวแทนของ 3 กลุ่มอายุ โดยใช้ชุดคำถามและกิจกรรมที่กำหนดไว้ล่วงหน้า บันทึกคำตอบของนักเรียนแล้วประเมินผลเพื่อทำความเข้าใจว่านักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนแบบใด และนักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนนั้นได้อย่างไร งานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นว่าระดับของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมีความแตกต่างกันระหว่างแนวคิดต่าง ๆ และพบว่าระดับและประเภทของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนจะมีรูปแบบระหว่าง 3 กลุ่มอายุ แสดงให้เห็นว่าจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในด้านนี้ให้มากยิ่งขึ้น

ตัวอย่างมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ของนักเรียน เช่น

1. วัตถุจะลอยหากมีน้ำหนักเบา และจะจมหากมีน้ำหนักมาก
2. เมฆมีน้ำที่รั่วไหลออกมาเป็นฝน
2. สัตว์คือสัตว์บกที่เลี้ยงลูกด้วยนมที่ไม่ใช่มนุษย์ ส่วนแมลง นก และปลา ไม่ใช่สัตว์

สัตว์

Yilmaz & Eryilmaz (2010) ทำการรวมความแตกต่างทางเพศและความแตกต่างระหว่างกลุ่มเข้ากับกลยุทธ์การเชื่อมโยง เป้าหมายหลักของงานวิจัยนี้คือเพื่อรวมอิทธิพลของเพศและกลุ่มเข้ากับกลยุทธ์การเชื่อมโยง เพื่อประเมินอิทธิพลของการเรียนการสอนแบบเชื่อมโยงที่อาศัยการเปรียบเทียบที่มีต่อมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องกฎข้อที่สามของนิวตัน ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 ผู้วิจัยได้พัฒนาและใช้ประโยชน์จากการทดสอบวินิจฉัยเชิงเปรียบเทียบ เพื่อรวมอิทธิพลของกลุ่มและเพศเข้ากับกลยุทธ์ โดยเครื่องมือวัดผลที่ถูกนำมาใช้ในการศึกษาที่ทดลอง คือ การทดสอบมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกฎข้อที่สามของนิวตัน สเกลวัดทัศนคติต่อกฎข้อที่สามของนิวตัน และการสังเกตการณ์ชั้นเรียน นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้พัฒนาหรือใช้สื่อการเรียนการสอนหลายชนิด เช่น แผ่นผังแนวคิดแบ่งออกตามเพศและกลุ่ม แผนการสอน ตารางความถี่แบ่งตามเพศ สเกลวัดความสมเหตุสมผล สไลด์นำเสนอ PowerPoint แพลชการ์ด และการสาธิต โดยกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยนี้เลือกมาจากกลุ่มประชากรที่สามารถเข้าถึงได้ ซึ่งประกอบด้วยนักศึกษา 308 คน จากมหาวิทยาลัยของรัฐ 2 แห่ง ผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมแบบพหุตัวแปรชี้ว่ากลยุทธ์การเชื่อมโยงมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักศึกษาในเรื่องกฎข้อที่สามของนิวตัน ในขณะที่ไม่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อทัศนคติของนักศึกษาต่อกฎข้อที่สามของนิวตัน

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักศึกษาในเรื่องกฎข้อที่สามของนิวตัน เช่น

1. วัตถุแข็ง (ที่ไม่เคลื่อนที่) ไม่มีการออกแรง
2. เมื่อวัตถุสองชิ้นชนกัน วัตถุที่แตกตัว (เปราะบาง) จะออกแรงน้อยกว่า
3. เมื่อวัตถุสองชิ้นมีอันตรกิริยากัน วัตถุที่แข็งแกร่งกว่าจะออกแรงผลักดันด้วยแรงที่มากกว่าวัตถุที่เปราะบางกว่า
4. เมื่อวัตถุสองชิ้นผลัดกันหรือชนกัน วัตถุที่แข็งกว่าจะออกแรงผลักดันด้วยแรงที่มากกว่าวัตถุที่นิ่มกว่า
5. เมื่อวัตถุสองชิ้นชนกัน วัตถุที่มีมวลมากกว่าจะออกแรงมากกว่า
6. แรงสัมผัสจะไม่เท่ากันเมื่อวัตถุหนึ่งไปเร่งวัตถุอีกชิ้นหนึ่งด้วยความเร็วคงที่

Chabalengula, Sanders & Mumba (2012) ศึกษาวิจัยเรื่อง การวินิจฉัยความเข้าใจเรื่องพลังงานและแนวคิดที่เกี่ยวข้องในวิชาชีววิทยาของนักศึกษา งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความเข้าใจในเรื่องพลังงานและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับพลังงานในบริบทของชีววิทยา ของนักศึกษาปีหนึ่งที่สาขาวิชาชีววิทยา จากมหาวิทยาลัยในแอฟริกาใต้ จำนวน 90 คน โดยทำการศึกษาคำอธิบายเกี่ยวกับพลังงานในบริบทของชีววิทยาของนักศึกษาว่าพลังงานเกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ทาง

ชีววิทยาต่าง ๆ อย่างไร มีพลังงานอยู่หรือไม่ และพลังงานประเภทใดที่เกี่ยวข้องกับแผนภาพที่แสดงปรากฏการณ์ทางชีววิทยา โดยใช้แบบทดสอบเขียนตอบที่ออกแบบมาสำหรับงานวิจัยนี้ เพื่อการศึกษาความเข้าใจของนักศึกษา โดยใช้ข้อคำถามที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ทางชีววิทยา ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่านักศึกษาจำนวนมากมีปัญหาในการทำความเข้าใจเรื่องพลังงานและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับพลังงาน ประการแรก คือ นักเรียนส่วนใหญ่ให้คำนิยามของพลังงานแทนที่จะให้คำอธิบาย และคำนิยามนั้นสามารถเรียนรู้ได้ผ่านการท่องจำ ประการที่สอง แม้ว่านักเรียนเกือบทั้งหมดจะทราบกฎการอนุรักษ์พลังงาน (พลังงานไม่สามารถถูกสร้างหรือทำลาย) แต่นักเรียนจำนวนมากไม่สามารถนำแนวคิดนี้ไปใช้ในบริบทของชีววิทยา ประการที่สาม นักเรียนจำนวนมากตอบอย่างผิด ๆ ว่า พลังงานสำหรับเมตาบอลิซึมและกระบวนการต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตถูกสร้างขึ้นในระหว่างการสังเคราะห์ด้วยแสงในพืช ในระหว่างการย่อยอาหารในสัตว์ หรือได้มาจากดวงอาทิตย์โดยตรง ประการที่สี่ นักเรียน 2/3 ตอบอย่างผิด ๆ ว่า ไม่มีพลังงานเข้ามาเกี่ยวข้องกับวัตถุที่ไม่เคลื่อนที่ เช่น รูปปั้น และในงานวิจัยนี้ได้อภิปรายถึงประโยชน์ต่อการเรียนการสอนแนวคิดเรื่องพลังงานและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง และขอเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

Arslan, Geban & Sağlam (2015). ศึกษาแบบจำลองวัฏจักรการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการทำความเข้าใจแนวคิดเรื่องการแบ่งเซลล์และการสืบพันธุ์ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของวัฏจักรการเรียนรู้ที่มีต่อความเข้าใจในแนวคิดเรื่องการแบ่งเซลล์และการสืบพันธุ์ ของนักเรียนเกรด 10 และมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของแนวคิดเหล่านี้ โดยใช้แบบแผนการวิจัยแบบผสม (mixed method) กลุ่มตัวอย่างคือนักเรียน 228 คน จากชั้นเรียน 8 ชั้นเรียน จากโรงเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายของรัฐ 2 แห่ง โดยกลุ่มทดลองจะได้รับการสอนแบบวัฏจักรการเรียนรู้ (LC) และกลุ่มควบคุมจะได้รับการสอนแบบปกติ (CT) ตลอดระยะเวลา 10 สัปดาห์ แล้วทำแบบทดสอบหลายตัวเลือกลำดับขั้นก่อนและหลังการสอน จากนั้นหลังการสอนทำการสัมภาษณ์นักเรียน 12 คน ด้วยคำถามแบบกึ่งมีโครงสร้าง และผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าวัฏจักรการเรียนรู้ให้ผลที่ดีกว่าการสอนแบบปกติ ในแง่ของการส่งเสริมให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแนวคิดพร้อมทั้งช่วยเพิ่มความเข้าใจงานวิจัยนี้แนะนำให้อาจารย์ใช้วิธีการสอนแบบวัฏจักรการเรียนรู้เพื่อปรับปรุงความเข้าใจของนักเรียนและแก้ไขมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

1. ในการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส จำนวน DNA จะแตกต่างกันในแต่ละระยะ
2. การจำลองตัวเองของดีเอ็นเอเกิดขึ้นในระยะโปรเฟส
3. ในการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส จำนวน DNA ลดลงครึ่งหนึ่งในระยะแอนาเฟส
4. ในวัฏจักรไมโทซิส จำนวน DNA ไม่เปลี่ยนแปลง

5. จำนวนโครโมโซมคงที่ และยังคงไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างระยะต่าง ๆ
6. จำนวนโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่งในแอนาเฟสของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส
7. จำนวนโครโมโซมเพิ่มเป็นสองเท่าในอินเตอร์เฟส และเท่าเดิมในระยะต่าง ๆ
8. โพรเฟสเป็นระยะพักตัวและเตรียมพร้อมของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส
9. ในระยะต่าง ๆ ของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส จำนวนโครโมโซมจะเท่าเดิม
10. โฮโมโลกัสโครโมโซมแยกจากกันในระหว่างการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส
11. ซิสเตอร์โครมาทิดแยกจากกันในระหว่างการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสเท่านั้น
12. ออร์แกเนลล์ทั้งหมดจะละลายและหายไป ในการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส
13. เส้นใยสปินเดิลเกิดขึ้นจากเซนโทรโซมเท่านั้น
14. ในเซลล์พืชมีเซนโทรโซม
15. มีเพียงสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวเท่านั้นที่สืบพันธุ์ได้โดยการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส
16. สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวและสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ทั้งหมดที่มีความสามารถในการฟื้นฟูตัวเองจะสามารถสืบพันธุ์ได้โดยการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส
17. จำนวนโครโมโซมจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระยะไมโอซิส I และลดลงครึ่งหนึ่งในระยะไมโอซิส II
18. ทั้งโฮโมโลกัสโครโมโซมและซิสเตอร์โครมาทิดจะแยกออกจากกัน และจำนวนโครโมโซมลดลงเหลือหนึ่งในสี่
19. โฮโมโลกัสโครโมโซมจะเกิดการแยกออกในระยะไมโอซิส I และถูกส่งต่อไปยังเซลล์ลูกโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลง
20. เซลล์ลูกมีจำนวนโครโมโซมแบบดิพลอยด์ ($2n$)
21. ซิสเตอร์โครมาทิดจะแยกออกจากกันในช่วงระยะไมโอซิสเท่านั้น
22. ดีเอ็นเอจะต้องเกิดการจำลองตัวเองหลังระยะไมโอซิส I
23. ดิพลอยด์เซลล์ทั้งหมดสามารถเกิดการแบ่งเซลล์ได้ โดยการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและไมโอซิส
24. มีเพียงแฮพลอยด์เซลล์ (n) เท่านั้นที่สามารถเกิดการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส
25. การเปลี่ยนแปลงของจำนวนโครโมโซมทำให้เกิดความหลากหลายทางพันธุกรรม
26. พืชสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศเท่านั้น
27. พืชสืบพันธุ์โดยการผสมเกสร ซึ่งเป็นการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศชนิดหนึ่ง

28. พืชไร้ดอกสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ แต่พืชมีดอกสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ
29. การปฏิสนธิเกิดขึ้นในการสืบพันธุ์แบบพาทินีซีซิส (parthenogenesis)
30. การสืบพันธุ์ไม่สามารถเกิดขึ้นได้หากไม่มีการปฏิสนธิ
31. เซลล์สืบพันธุ์แบบดิพลอยด์ (diploid gametes) สามารถพัฒนาได้โดยไม่ต้องอาศัยการปฏิสนธิ

32. ในการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศจะต้องมีการผสมพันธุ์
33. เซนทริโอลอยู่ในนิวเคลียสของเซลล์ แต่จะย้ายไปยังไซโทพลาสซึมหลังจากผนังนิวเคลียสสลายตัว

34. เซลล์แม่ของเซลล์สืบพันธุ์เป็นแฮพลอยด์เซลล์ (n)
35. เซลล์สืบพันธุ์เป็นดิพลอยด์เซลล์ (2n)
36. หลังการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส โครโมโซมโครโมโซมจะอยู่ในเซลล์ลูกเท่านั้น
37. โครโมโซมโครโมโซมเกิดขึ้นจากการจำลองตัวเองของดีเอ็นเอ
38. โครโมโซมโครโมโซมถูกสร้างขึ้นในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสเท่านั้น
39. โครโมโซมโครโมโซมและซิสเทอริโครมาทิดคือสิ่งเดียวกัน
40. โครโมโซมโครโมโซมยึดติดกันตั้งแต่บริเวณเซนโทรเมียร์
41. สัตว์ชั้นสูงมีความสามารถในการฟื้นฟูตัวเองมากกว่าสัตว์ชั้นต่ำ
42. สัตว์ที่มีร่างกายขนาดใหญ่จะมีความสามารถในการฟื้นฟูตัวเองสูง
43. ความหลากหลายทางพันธุกรรมเกิดขึ้นได้จากการฟื้นฟูตัวเอง

Kirbulut & Geban (2014) การประยุกต์ใช้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับขั้นเพื่อประเมินทัศนคติที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับสถานะของสสารของนักเรียนงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับขั้นเพื่อวัดความเข้าใจในแนวคิดเรื่องสถานะของสสารของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับขั้น เรื่องความเข้าใจเรื่องสถานะของสสาร (SMDT) เป็นแบบทดสอบแบบ 19 ข้อคำถามที่ประกอบด้วยข้อคำถามแบบสามลำดับขั้น คือขั้นคำตอบ ขั้นเหตุผล และขั้นความมั่นใจในคำตอบ เพื่อประเมินความเข้าใจแนวคิดเรื่องสถานะของสสารของนักเรียน นำแบบทดสอบนี้มาใช้กับนักเรียนเกรด 10 จำนวน 195 คน ในการศึกษาสำรวจ และนักเรียนเกรด 10 จำนวน 102 คน ในการศึกษาหลัก พบว่าดัชนีความเชื่อถือได้ (Cronback alpha) ของ SMDT ในการศึกษาสำรวจ และในการศึกษาหลัก มีค่าเท่ากับ 0.78 และ 0.83 ตามลำดับ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบพอยท์

ไบซีเรียล (point biserial coefficient) มีค่าอยู่ในช่วง 0.20 – 0.69 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.44 ในกรณีของการศึกษานำร่อง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.49 ในกรณีของการศึกษาหลัก

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับสถานะของสสารของนักเรียน มีดังนี้

1. เมื่อได้รับความร้อนอนุภาคจะขยายตัว เมื่ออุณหภูมิลดลงอนุภาคจะหดตัว
2. ในภาชนะปิดที่บรรจุก๊าซ เมื่ออุณหภูมิต่ำลง/เพิ่มขึ้น/ลดลง ความดันก๊าซจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงเสมอ

3. อากาศร้อนเบากว่าอากาศเย็น
4. ก๊าซมีน้ำหนักน้อยกว่าของเหลว (หรือของแข็ง) เสมอ
5. ไอน้ำหรือก๊าซไม่มีน้ำหนัก
6. เมื่อความดันก๊าซเพิ่มขึ้น น้ำหนักของก๊าซจะเพิ่มขึ้น
7. ในภาชนะปิดที่บรรจุก๊าซ ปริมาณของก๊าซจะลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลงเสมอ
8. เมื่ออากาศถูกอัด อนุภาคจะยึดติดกัน

Wang (2007) ศึกษาแนวคิดและมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับระบบการลำเลียงในพืชของนักเรียน โดยการศึกษาติดตามผล เป้าหมายของงานวิจัยนี้คือเพื่อค้นหามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนและความคิดเชื่อมโยงเกี่ยวกับระบบลำเลียงในพืชของนักเรียน โดยใช้การทดสอบวินิจฉัยที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว ซึ่งมีการเพิ่มคำถามเกี่ยวกับความคิดเชื่อมโยงและคำอธิบายเข้าไปในแบบทดสอบ เพื่อสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับขั้นจากแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้น ผลการศึกษาพบว่านักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในคำศัพท์ 3 คำศัพท์ คือ การซึมตามรูเล็ก (capillary action) แร่ธาตุ และสารอาหารที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์แสง จากความคิดเชื่อมโยงของนักเรียนที่เกี่ยวข้องกับคำศัพท์ 3 คำศัพท์นี้ แสดงให้เห็นว่า 1) การซึมตามรูเล็กมีความเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ระหว่างขนรากกับน้ำ 2) แร่ธาตุจัดอยู่ในกลุ่มของสารอาหาร และ 3) ออกซิเจนมีความเกี่ยวข้องกับสารอาหาร และสุดท้ายงานวิจัยนี้ได้อภิปรายประเด็นเกี่ยวกับอิทธิพลของภาษาต่อการเรียนรู้จากแนวคิดรวบยอด ใน 3 ด้าน คือ อิทธิพลของภาษา ภาษาจีน และภาษาในตำราเรียน

Odom & Barrow (2007) ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับความรู้และความเชื่อมั่นในแนวคิดเรื่องการแพร่และการออสโมซิสของนักเรียนชีววิทยาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อศึกษาความเข้าใจเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาที่เป็นที่ยอมรับทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างความรู้เรื่องการแพร่และการออสโมซิส และความเชื่อมั่นในความรู้ในเนื้อหาของนักเรียน ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากชั้นเรียนชีววิทยาระดับ

มัธยมศึกษาตอนปลาย โดยใช้แบบทดสอบวินิจฉัยเรื่องการแพร่และการออสโมซิส (DODT) และสเกลความเชื่อมั่นในคำตอบ (CRT) ข้อมูลทั้งหมดเก็บรวบรวมหลังจากเรียนเรื่องการแพร่และการออสโมซิส จำแนกผลของ DODT ออกเป็นคำตอบที่ถูกและผิด และจำแนกค่า CRI ออกเป็นเชื่อมั่นและไม่เชื่อมั่น ความเชื่อมั่นที่สูงในคำตอบที่ผิดชี้ว่านักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในแนวคิดเรื่องการแพร่และการออสโมซิส ความเชื่อมั่นที่ต่ำในคำตอบที่ไม่ถูกต้องหรือคำตอบที่ถูกต้องชี้ว่านักเรียนอาจเดา แสดงว่านักเรียนไม่มีความเข้าใจหรือสับสนในความเข้าใจ ผลการวิเคราะห์ Chi-square แสดงให้เห็นว่านักเรียนมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมากกว่าความรู้ในเนื้อหาที่ต้องการอย่างมีนัยสำคัญในเรื่องอิทธิพลพลังชีวิตต่อการแพร่และการออสโมซิส เยื่อหุ้มเซลล์ ความเป็นอนูภาค และลักษณะแบบสุ่มของสสาร และกระบวนการแพร่และออสโมซิส นักเรียนโดยส่วนใหญ่เดาหรือมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในทุกข้อคำถามที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดเรื่องการออสโมซิสและสภาพตั้งตัวออสโมซิสและการแพร่เป็นกุญแจสำคัญในการทำความเข้าใจแนวคิดชีววิทยาพื้นฐาน แต่จะยังไม่มีการสอนแนวคิดเรื่องสภาพตั้งตัวให้กับนักเรียนชีววิทยาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จนกว่านักวิจัยจะสามารถระบุวิธีการสอนที่มีประสิทธิภาพได้

ทรัพย์ทวี อภิญาวาท (2543) ศึกษาการใช้เทคนิคแผนผังมโนทัศน์ในการศึกษาการปรับโครงสร้างความรู้และการเปลี่ยนมโนคติในวิชาการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของนักศึกษาระดับปริญญาตรี วิชาเอกวิทยาศาสตร์ทั่วไปโดยการศึกษาครั้งนี้เป็นการตรวจสอบการปรับโครงสร้างความรู้ที่ซับซ้อนของนักศึกษาสถาบันราชภัฏนครสวรรค์ โดยใช้แผนผังมโนคติเป็นเครื่องมืออธิบายการเปลี่ยนโครงสร้างความรู้ของนักศึกษาตลอดภาคเรียน การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา 1. โครงสร้างความรู้ของนักศึกษาจากการสร้างแผนผังมโนคติ 2. การเปลี่ยนมโนคติโดยการใช้เทคนิคแผนผังมโนคติในกระบวนการเรียนการสอน 3. ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างความรู้กับมโนคติ กลุ่มประชากรที่ใช้ในการวิจัยเป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรี วิชาเอกวิทยาศาสตร์ทั่วไป ที่ลงทะเบียนเรียนวิชา "การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม" ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2542 จำนวน 25 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยแผนการสอนที่ใช้เทคนิคแผนผังมโนคติ แผนผัง มโนคติและแบบทดสอบวัดมโนคติวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิต, ค่า t-test และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน ผลการวิจัยพบว่า 1. นักศึกษามีการปรับโครงสร้างความรู้เพิ่มมากขึ้น ค่าสถิติจากการทดสอบ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 2. นักศึกษาที่เรียนโดยใช้เทคนิคแผนผังมโนคติ หลังการเรียนมีการเปลี่ยนมโนคติเพิ่มมากขึ้น ค่าสถิติจากการทดสอบ มีความแตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และ 3. โครงสร้างความรู้มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับมโนคติโดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น .735

เวชฤทธิ์ อังกนะภักทขจร (2557) ศึกษาโน้ตค้นทางคณิตศาสตร์ของนิสิตวิชาเอกคณิตศาสตร์ โดยการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษานโน้ตค้นทางคณิตศาสตร์ของนิสิตวิชาเอกคณิตศาสตร์ ประชากรที่ใช้ในการวิจัยเป็นนิสิตสาขาการสอนคณิตศาสตร์ ชั้นปีที่ 1-4 คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ศึกษาในปีการศึกษา 2556 จำนวน 148 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แบบวัดมโน้ตค้นทางคณิตศาสตร์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นโดยมีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.9331 และแบบสัมภาษณ์เพื่อเพื่อศึกษาเชิงลึกเกี่ยวกับมโน้ตค้นทางคณิตศาสตร์ ผลการวิจัยพบว่า นิสิตวิชาเอกคณิตศาสตร์ส่วนใหญ่ (ร้อยละ 37.55) มีมโน้ตค้นทางคณิตศาสตร์อยู่ในกลุ่มที่ 3 กล่าวคือ นิสิตสามารถตอบคำถามถูกต้องอย่างสมบูรณ์โดยการอธิบายมีการอ้างอิงความรู้และความสัมพันธ์เชิงมโน้ตค้นทางคณิตศาสตร์สนับสนุนคำตอบบ้างแต่ไม่ชัดเจนหรือสามารถตอบคำถามถูกต้องอย่างสมบูรณ์ แต่การอธิบายใช้การอ้างอิงความรู้เชิงขั้นตอนหรือกระบวนการทางคณิตศาสตร์มาสนับสนุนคำตอบอย่างเป็นเหตุเป็นผลไม่ชัดเจน

ประดับ แก้วแดง (2542) ศึกษาผลของการสอนแบบจัดกรอบมโน้ตค้นที่มีต่อความคงทนในการเรียนรู้และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาพยาบาล โดยการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบกึ่งทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาพยาบาลก่อนและหลังได้รับการสอนแบบจัดกรอบมโน้ตค้น และเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความคงทนในการเรียนรู้ของนักศึกษาพยาบาลระหว่างกลุ่มที่ได้รับการสอนแบบจัดกรอบมโน้ตค้นกับกลุ่มที่ได้รับการสอนแบบปกติ กลุ่มตัวอย่างคือ นักศึกษาชั้นปีที่ 1 หลักสูตรพยาบาลศาสตรบัณฑิต วิทยาลัยพยาบาลพระปกเกล้า จันทบุรี จำนวน 51 คน จัดเข้ากลุ่มทดลอง 25 คน และกลุ่มควบคุม 26 คน โดยการสุ่มแบบจับคู่ตามระดับเกรดเฉลี่ยของนักศึกษา เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แผนการสอนแบบจัดกรอบมโน้ตค้น และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ซึ่งผู้วิจัยสร้างขึ้น ผ่านการตรวจสอบความตรงตามเนื้อหาโดยกลุ่มผู้ทรงคุณวุฒิ ค่าความเที่ยงของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเท่ากับ .72 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติทดสอบที ผลการวิจัยพบว่า 1. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาพยาบาล หลังได้รับการสอนแบบจัดกรอบมโน้ตค้นสูงกว่าก่อนได้รับการสอน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความคงทนในการเรียนรู้ของนักศึกษาพยาบาลกลุ่มที่ได้รับการสอนแบบจัดกรอบมโน้ตค้นสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับการสอนแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

อ้อมใจ คงเสาร์ (2540) ศึกษาค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบและค่าฟังก์ชันอินฟอร์เมชัน จากแบบทดสอบเลือกตอบกับแบบทดสอบโคลซที่วัดมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 : ประยุกต์ใช้ทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบการวิจัยนี้มีความมุ่งหมายเพื่อศึกษาค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบ ได้แก่ ค่าความยาก ค่าอำนาจจำแนก ค่าการเดา และศึกษาค่าฟังก์ชันอินฟอร์เมชัน จากแบบทดสอบเลือกตอบกับแบบทดสอบโคลซ ที่วัดมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ เรื่องเศษส่วน ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการ วิจัยเป็นนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ภาคเรียนที่ 2 ปี การศึกษา 2539 โดยการเลือกโรงเรียนขนาดใหญ่จาก สำนักงานการ ประถมศึกษาจังหวัดกำแพงเพชร 3 โรงเรียน ได้จำนวนนักเรียน 652 คน และโรงเรียนขนาดใหญ่ จาก สำนักงานการประถมศึกษาจังหวัดสุโขทัย 2 โรงเรียน ได้ จำนวนนักเรียน 440 คน รวมทั้งสิ้น 5 โรงเรียน ได้จำนวน นักเรียนทั้งสิ้น 1,092 คน เครื่องมือที่ใช้เก็บรวบรวมข้อมูลเป็นแบบทดสอบที่ วัดมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์เรื่องเศษส่วน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 2 ฉบับ คือ แบบทดสอบ เลือกตอบจำนวน 17 ข้อ และแบบทดสอบโคลซ จำนวน 14 ข้อ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการ ประมาณค่าของเบส์ตามทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบด้วยโมเดลโลจิสติก 3 พารามิเตอร์ ผลการวิจัยพบว่า 1. ค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบเลือกตอบได้แก่ ค่าความยาก (b) มีค่าอยู่ในช่วง -2.997 ถึง +1.061 มีค่า ความยากเฉลี่ยเท่ากับ -0.193 ค่าอำนาจจำแนก (a) มีค่า อยู่ในช่วง 0.562 ถึง 2.452 มีค่าอำนาจจำแนกเฉลี่ยเท่ากับ 1.108 และค่าการเดา (c) อยู่ในช่วง 0.107 ถึง 0.457 มีค่าการเดาเฉลี่ยเท่ากับ 0.230 2. ค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบโคลซได้แก่ ค่าความยาก (b) มีค่าอยู่ในช่วง -1.175 ถึง +1.919 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.355 ค่าอำนาจจำแนกอยู่ในช่วง 0.338 ถึง 1.490 มีค่า อำนาจจำแนกเฉลี่ยเท่ากับ 0.944 และมีค่าการเดาอยู่ในช่วง 0.000 ถึง 0.004 มีค่าการเดาเฉลี่ยเท่ากับ 0.002 3. ค่าฟังก์ชันอินฟอร์เมชันของแบบทดสอบเลือกตอบและ แบบทดสอบโคลซ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 9.341 และ 7.573 ที่ระดับความสามารถ 0.800 และ -0.600 ตามลำดับและ ค่าฟังก์ชันอินฟอร์เมชันของแบบทดสอบเลือกตอบมีค่าต่ำกว่า ฟังก์ชันอินฟอร์เมชันของแบบทดสอบโคลซในช่วงระดับความสามารถ -4.000 ถึง +0.300 และค่าฟังก์ชันอินฟอร์เมชันของแบบทดสอบเลือกตอบมีค่าสูงกว่าค่าฟังก์ชันอินฟอร์เมชัน ของแบบทดสอบโคลซในช่วง ระดับความสามารถ +0.310 ถึง +4.000

เอมอร จังศิริพรปกรณ์ (2548) ศึกษาการเปรียบเทียบคุณภาพของการประเมิน ความคิดรวบยอดวิชาคณิตศาสตร์ โดยใช้แผนผังมโนทัศน์ที่มีการตรวจให้คะแนนด้วยวิธีที่แตกต่าง กัน โดยการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1. ศึกษาและพัฒนาเกณฑ์การให้คะแนนการประเมิน แผนผังมโนทัศน์ด้วยวิธีของโนแวกและโกวินและวิธีของบอลท์ 2. เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของการ

ประเมินเมื่อตรวจด้วยวิธีที่แตกต่างกัน โดยพิจารณาจากความเที่ยงตรงตามสภาพ ความเที่ยงตรงเชิงโครงสร้าง ค่าฟังก์ชันสารสนเทศของข้อสอบและแบบสอบ ความเที่ยงตรงที่แทนด้วยสัมประสิทธิ์การสรุปอ้างอิง และ 3. เพื่อวิเคราะห์จำนวนผู้ประเมินและจำนวนแผนผังมโนทัศน์ที่เหมาะสม กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสุรนารีวิทยา สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษานครราชสีมา เขต 1 จำนวน 220 คน และผู้ประเมินที่ตรวจให้คะแนนแผนผังมโนทัศน์ด้วยวิธีของโนแวกและโกวิน และวิธีของบอลท์ รวม 4 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือ แบบประเมินความคิดรวบยอดวิชาคณิตศาสตร์โดยใช้แผนผังมโนทัศน์ และแบบทดสอบประเภทเลือกตอบ ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐาน ตรวจสอบความตรงตามสภาพ และความตรงเชิงโครงสร้างด้วยเมทริกซ์พหุลักษณะพหุวิธี โดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows วิเคราะห์ค่าฟังก์ชันสารสนเทศของข้อสอบและแบบสอบด้วยโปรแกรม MULTILOG และวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การสรุปอ้างอิงด้วยโปรแกรม GENOVA

ผลการวิจัย พบว่า 1. เกณฑ์การให้คะแนนของโนแวกและโกวิน พิจารณาจากแผนผังมโนทัศน์ในด้านคุณภาพ 4 ด้าน ซึ่งแต่ละด้านจะมีคะแนนเต็ม 4 คะแนน คือ 1. ประพจน์ 2. การจัดลำดับขั้นตอน 3. การเชื่อมระหว่างมโนทัศน์ และ 4. ตัวอย่างและเกณฑ์การให้คะแนนของบอลท์ พิจารณาจากแผนผังมโนทัศน์ในด้านการจัดแผนผังมโนทัศน์ 6 คะแนน และความถูกต้อง 4 คะแนน 2. การเปรียบเทียบคุณภาพด้านความตรงเที่ยงและความเชื่อมั่น 2.1 ค่าความเที่ยงตรงตามสภาพของคะแนนการประเมินแผนผังมโนทัศน์ เมื่อตรวจให้คะแนนด้วยวิธีของโนแวกและโกวินมีค่าสูงกว่าการตรวจให้คะแนนด้วยวิธีของบอลท์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 2.2 แผนผังมโนทัศน์เมื่อตรวจให้คะแนนด้วยวิธีของโนแวกและโกวิน และการตรวจให้คะแนนด้วยวิธีของบอลท์ มีความเที่ยงตรงเชิงโครงสร้างทั้งสองวิธี 2.3 ค่าฟังก์ชันสารสนเทศของข้อสอบและแบบสอบ ของวิธีการให้คะแนนของโนแวกและโกวินมีค่าฟังก์ชันสารสนเทศของข้อสอบและแบบสอบ โดยเฉลี่ยสูงกว่าวิธีการให้คะแนนของบอลท์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 2.4 ค่าสัมประสิทธิ์การสรุปอ้างอิงของคะแนนการประเมินแผนผังมโนทัศน์ เมื่อตรวจให้คะแนนด้วยวิธีของโนแวกและโกวินมีค่าสูงกว่าการตรวจให้คะแนนด้วยวิธีของบอลท์ 3. จำนวนผู้ประเมินและจำนวนแผนผังที่เหมาะสม ที่ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สรุปอ้างอิงอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมเมื่อกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สรุปอ้างอิงเพื่อการนำไปใช้อิงเกณฑ์ เท่ากับ 0.8 พบว่าวิธีการให้คะแนนของโนแวกและโกวินต้องให้ผู้ประเมินจำนวน 2 คน และจำนวนแผนผังมโนทัศน์จำนวน 8 ผัง หรือผู้ประเมิน 1 คน แผนผังมโนทัศน์ 12 แผนผัง และวิธีการให้คะแนนของบอลท์ต้องใช้ผู้ประเมิน 4 คน และ

จำนวนแผนผังมโนทัศน์ 12 แผนผัง หรือผู้ประเมิน 3 คน แผนผังมโนทัศน์ 16 แผนผัง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผู้ปฏิบัติว่าจะเลือกใช้ให้เหมาะสมกับการเรียนการสอน

Deshmukh & Deshmukh (2007) ศึกษาของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนในวิชาชีววิทยา ระดับมัธยมศึกษาวัตถุประสงค์ของการศึกษาค้างนี้ เพื่อตรวจสอบมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในกลุ่มของนักเรียนและระบุแหล่งของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ข้อมูลเผยให้เห็นว่าตำราหนังสืออ้างอิง ครูผู้สอน ภาษา ความเชื่อและการปฏิบัติ ทำให้เกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนมัธยมศึกษาต่อแนวความคิดทางวิทยาศาสตร์อย่างมาก รวมทั้งชีววิทยา ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ามีความจำเป็นเร่งด่วนที่จะแก้ไขมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ของนักเรียนเกี่ยวกับแนวคิดทางชีวภาพ สรีรวิทยา การหายใจ การขับถ่ายการสังเคราะห์แสง การปฏิสนธิ ฯลฯ โดยเฉพาะของมนุษย์หรือสัตว์ และงานวิจัยแสดงให้เห็นว่ามีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกระบวนการหายใจการสังเคราะห์แสง การไหลเวียนเลือด ยังคงมีอยู่ในระดับชั้นประถมศึกษา

Mintzes, Wandersee & Novak (2001) การประเมินความเข้าใจในวิชาชีววิทยาศึกษากลยุทธ์การประเมินใหม่หลาย ๆ อย่าง ที่ส่งเสริมการเรียนรู้ ความเข้าใจในแนวคิดวิทยาศาสตร์ชีวภาพ จุดประสงค์ของเราคือแนะนำการประเมินผลและเทคนิคการวัดที่ช่วยให้นักเรียนซึมซับความเข้าใจอย่างลึกซึ้งต่อแนวคิด ความสัมพันธ์ในความเข้าใจที่แท้จริงของธรรมชาติ ในวิธีการเหล่านี้ เช่น การใช้แผนที่ความคิด ไดอะแกรมรูปตัววีโปรแกรม SemMet ภาพบรรยาย การสัมภาษณ์เบื้องต้น แฟ้มสะสมงาน การเขียนผังตัวอย่าง เครื่องมือทดสอบประสิทธิภาพ เครื่องมือตรวจวินิจฉัยความคิด หลักฐานที่แสดงให้เห็นว่าวิธีการเหล่านี้มีประโยชน์มากที่สุดในมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนและการให้ความช่วยเหลือนักเรียนที่ต้องการเรียนรู้

Cheong, Treagust, Kyeleve & Oh (2010) ศึกษาการประเมินเข้าใจแนวคิดโรคมาลาเรียของนักศึกษาพยาบาล โดยเป็นการทดสอบด้วยแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้น สำหรับการทำความเข้าใจโรคมาลาเรีย ได้รับการพัฒนาจากนักเรียนบรูไน จำนวน 314 คน ในปี 12 และในหลักสูตรประกาศนียบัตรพยาบาล ความเที่ยงตรงและความเชื่อมั่น ความยาก อำนาจจำแนก และความสามารถของการทดสอบ ผลการศึกษาพบว่านักเรียนมีความเข้าใจของโรคมาลาเรียในระดับสูง เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา MalariaTT2 สามารถนำมาใช้ในการเรียนในห้องเรียนที่ทำหายสำหรับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนและการเสริมสร้างแนวความคิดของโรคมาลาเรียได้

Ratinen, Viiri & Lehesvuori (2013) ศึกษาความเข้าใจการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในโรงเรียนประถมศึกษา โดยการเปรียบเทียบผลจากแผนที่ความคิดและการวิเคราะห์

การสื่อสารการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) เป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ซับซ้อนที่สามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียน โดยผ่านการสื่อสารในชั้นเรียน การศึกษาครั้งนี้จะตรวจสอบ 4 องค์ความรู้ ของกลุ่มนักเรียนโรงเรียนประถมศึกษา (n = 20) ซึ่งรวมถึงการวิเคราะห์รูปแบบการสื่อสารที่ใช้และของนักเรียนก่อนและหลังการกำหนดข้อความคิดเชิงมโนทัศน์ (conceptualization) การเปลี่ยนแปลงองค์ความรู้ขึ้นอยู่กับ การเขียนเรียงความและภาพวาด (essays and drawings) โดยครั้งหลังจะกระตุ้นองค์ความรู้ (ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา และ ภูมิศาสตร์) โดยการสัมภาษณ์ การทำแผนที่แนวคิดที่ใช้ในการวิเคราะห์ของการตอบสนองของนักเรียน ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการสื่อสารเพื่อที่จะหาการอภิปรายเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศระหว่างครูและนักเรียน การวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่านักเรียนที่ไม่ได้มีความรู้หรือความกล้าหาญที่จะมีส่วนร่วมในการอภิปราย แต่ข้อความคิดเชิงมโนทัศน์ (conceptualization) แสดงให้เห็นว่าความคิดของนักเรียนได้เชื่อมโยงกันมากขึ้น

Andrews, Tressler & Mintzes (2008) ทำวิจัยการศึกษาด้านสิ่งแวดล้อมเป็นสิ่งที่มีความสำคัญ วิธีการที่ดีที่สุดในการประเมินความเข้าใจในแนวคิดด้านสิ่งแวดล้อม คือการทำแผนที่แนวความคิด เพราะเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการประเมินความเข้าใจด้านสิ่งแวดล้อม โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากนักเรียน จำนวน 325 คน อายุ 11-14 ปี และการโดยใช้ทางการโปรแกรมการศึกษาทางทะเล (ได้แก่ MarineQuest) ผลการศึกษาพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในมโนทัศน์ด้านสิ่งแวดล้อม ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าแผนที่ความคิดมีคุณค่าหรือเสริมสร้างกระบวนการสร้างมโนทัศน์

6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบทดสอบวินิจฉัย

วรวัฒน์ ทิพจ้อย (2557) ได้ศึกษาความเข้าใจในมิติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง สิ่งมีชีวิตกับกระบวนการดำรงชีวิตของครูผู้สอนที่ไม่ใช่ครูวิทยาศาสตร์ในโรงเรียนสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาอุดรธานี เขต 1 โดยมีความมุ่งหมายเพื่อศึกษาความเข้าใจในมิติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง สิ่งมีชีวิตกับกระบวนการดำรงชีวิตของครูผู้สอนที่ไม่ใช่ครูวิทยาศาสตร์ในโรงเรียน สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษา อุดรธานี เขต 1 ก่อนและหลังการฝึกอบรมระยะสั้น 2 วัน กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ครูผู้สอนที่ไม่ใช่ครูวิทยาศาสตร์ ในโรงเรียนสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา ประถมศึกษาอุดรธานี เขต 1 จำนวน 45 คน ซึ่งได้มา โดยการเลือกแบบเจาะจงเขตพื้นที่ ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2555 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แผนการฝึกอบรมระยะสั้น และแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกลำดับขั้น เพื่อวัดมโนคติทาง

วิทยาศาสตร์ แบบ 5 ตัวเลือก (two-tier diagnostic test) จัดกลุ่มคำตอบโดยใช้เกณฑ์ที่ปรับมาจากงานวิจัยของ Westbrook and Marek ผลการวิจัยพบว่า หลังได้รับการฝึกอบรมครูผู้สอนที่ไม่ใช่ครูวิทยาศาสตร์ในโรงเรียนสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษา อุตรดิตถ์ เขต 1 มีความเข้าใจในมิติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง สิ่งมีชีวิตกับกระบวนการดำรงชีวิตในระดับมีความเข้าใจที่สมบูรณ์ (ร้อยละ 60.00) เพิ่มขึ้นจากก่อนได้รับการฝึกอบรม (ร้อยละ 37.77) มีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (ร้อยละ 24.44) ลดลงจากก่อนได้รับการอบรม (ร้อยละ 35.55) และมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน (ร้อยละ 15.55) ลดลงจากก่อนได้รับการอบรม (ร้อยละ 26.66) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ .05

อรวรรณ จันทร์ฟู (2554) ได้ทำวิจัยเชิงทดลองที่มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวคิดเรื่องพันธะเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เมื่อเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิซึม กลุ่มที่ศึกษาคือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ศึกษาแผนการเรียนวิทยาศาสตร์ ภาคเรียนที่ 1 ปี การศึกษา 2553 จำนวน 45 คน ของโรงเรียนขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในจังหวัดกาญจนบุรี เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล คือ แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิซึมแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้น เรื่องพันธะเคมีชนิด 4 ตัวเลือก (two-tier diagnostic test) จำนวน 30 ข้อ จากผลการวิเคราะห์คำตอบของนักเรียนที่ได้จากแบบวัดแนวคิดเรื่อง พันธะเคมี พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีแนวคิดเรื่องพันธะเคมีถูกต้อง (SU) คิดเป็นร้อยละ 35.53 แนวคิดถูกต้องบางส่วน (PU) ร้อยละ 14.53 แนวคิดถูกต้องบางส่วนคลาดเคลื่อนบางส่วน (PUSM) ร้อยละ 12.75 แนวคิดคลาดเคลื่อน (SM) ร้อยละ 30.92 และมีนักเรียนอีกร้อยละ 4.86 ที่ไม่มีแนวคิด (NU) ในเรื่องพันธะเคมี

Kilic & Saglam (2009) ศึกษาการพัฒนาแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้น เพื่อศึกษาความเข้าใจของนักเรียนในแนวคิดเกี่ยวกับพันธะเคมี โดยมีที่มาและความสำคัญของปัญหา คือ ประสิทธิภาพของการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อทำให้นักเรียนมีความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์และถูกต้อง สามารถประเมินผลได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อวัดผลโดยใช้เครื่องมือที่เหมาะสมเท่านั้น โดยงานวิจัยระบุว่าแผนผังมโนทัศน์แบบทดสอบหลายตัวเลือก และแบบสอบถาม สามารถนำมาใช้การศึกษาความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้สำเร็จ แต่อย่างไรก็ตาม แต่ละวิธีก็มีข้อจำกัดในการศึกษาความเข้าใจแนวคิดของนักเรียน ผู้วิจัยจึงใช้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้น ซึ่งจะประเมินความเข้าใจของนักเรียนได้เป็นอย่างดี วัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือ การประเมินความเข้าใจในแนวคิดเกี่ยวกับพันธะเคมี ซึ่งเป็นหนึ่งในหัวข้อของชีววิทยาที่นักเรียนมีปัญหาอย่างมากในการทำ

ความเข้าใจ งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้น ซึ่งสามารถประเมินความเข้าใจในแนวคิดเกี่ยวกับพันธุกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีเป้าหมายเพื่อวิเคราะห์ความถูกต้องและความเชื่อถือได้ของแบบทดสอบ วิธีการวิจัยใช้วิธีการ 3 ขั้นตอน ในขั้นตอนแรกเป็นการกำหนดเนื้อหาของแบบทดสอบ ขั้นที่สองเป็นการศึกษาบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน โดยทำการสัมภาษณ์นักเรียน และให้นักเรียนทำแบบทดสอบแบบหลายตัวเลือกที่มีคำตอบแบบอิสระ เพื่อให้นักเรียนอธิบายเหตุผลของคำตอบนั้น ๆ ส่วนในขั้นตอนที่สาม เป็นการพัฒนาแบบทดสอบสองลำดับชั้น แบบ 14 ข้อคำถาม ซึ่งในลำดับชั้นแรกเป็นคำถามเกี่ยวกับเนื้อหาแบบหลายตัวเลือก และชุดเหตุผลของทุกคำตอบของลำดับชั้นแรก แบบทดสอบนี้ถูกนำมาใช้กับนักเรียน 231 คน แล้วจึงทำการวิเคราะห์ข้อคำถาม โดยคำนวณความเชื่อมั่นของแบบทดสอบด้วยสูตรของ Kuder-Richardson 20 และศึกษาความถูกต้องของโครงสร้างโดยใช้ผลต่างของกลุ่ม ผลการวิจัยพบว่า ดัชนีอำนาจจำแนกของข้อคำถามมีค่าอยู่ระหว่าง 0.34 – 0.74 ความยากของข้อคำถามอยู่ในช่วง 0.25 – 0.67 ความยากของแบบทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.43 และความเชื่อถือได้ของแบบทดสอบคือ 0.86 สรุปผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นสามารถนำไปใช้เพื่อศึกษาความเข้าใจในแนวคิดเกี่ยวกับพันธุศาสตร์ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาได้อย่างถูกต้องและน่าเชื่อถือ ส่วนข้อเสนอแนะพบว่านอกจากทำให้การประเมินผลมีประสิทธิภาพมากขึ้นแล้ว แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้นยังอำนวยความสะดวกในการใช้งานและการให้คะแนน ดังนั้นจึงเชื่อว่าการพัฒนาและการใช้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้น ดังกล่าวในสาขาต่าง ๆ จะส่งผลดีอย่างมีนัยสำคัญต่อการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์

Uyulgan et al (2014) ทำการประเมินความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับรูปร่างโมเลกุลโดยใช้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้น ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาระดับความเข้าใจและมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักศึกษามหาวิทยาลัย ในวิชารูปร่างโมเลกุล โดยใช้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับชั้น ที่ประกอบด้วย 25 ข้อคำถาม ที่นักวิจัยพัฒนาขึ้น โดยนำแบบทดสอบนี้มาใช้กับนักศึกษามหาวิทยาลัย 110 คน แล้วทำการทดสอบความเชื่อมั่นและความเที่ยงตรงของแบบทดสอบ และวิเคราะห์ข้อคำถามของแบบทดสอบ และหาค่าความยากและค่าอำนาจจำแนกของข้อคำถาม ซึ่งพบว่าสัมประสิทธิ์ความน่าเชื่อถือของแบบทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.865 ในขณะที่ค่าความยากเฉลี่ยของแบบทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.487 จากผลการวิจัยที่ได้จากขั้นเหตุผลของแบบทดสอบซึ่งมีคำถามปลายเปิดพบว่า นักเรียนมีข้อมูลที่ผิดและมีมโนทัศน์ที่

คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับรูปร่างของโมเลกุล เช่น “อะตอมเคลื่อนที่ในโครงสร้างเรโซแนนซ์” และ “มุมพันธะของสองโมเลกุลที่มีรูปร่างเป็นพีระมิดทรงสามหน้าจะไม่แตกต่างกัน” เป็นหนึ่งในมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่สำคัญของนักเรียน

Chiang et al (2014) ศึกษาการวัดระดับความเข้าใจของนักเรียนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของการศึกษาวิทยาศาสตร์ ซึ่งการศึกษาจำนวนมากทั่วโลกได้รับการตรวจสอบมโนทัศน์ของนักเรียนวิทยาศาสตร์ ผลการวิจัยที่ผ่านมาในห้องเรียนโรงเรียนมัธยมศึกษาในแถบอเมริกาเหนือ พบว่า ผลการเรียนรู้ในโรงเรียนห้องปฏิบัติการเคมีได้รับการพัฒนาให้สูงขึ้นโดยการใช้แผนที่ความคิดและช่วยให้นักเรียนบูรณาการแนวคิดที่ได้เรียนรู้ในชั้นเรียนอีกด้วย การศึกษาครั้งนี้มีจุดมุ่งหมาย เพื่อศึกษาแนวความคิดของนักเรียนได้วัน เกรด 10, 11 และ 12 สามารถนำเอาความรู้ เรื่อง การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ไปประยุกต์ใช้ได้หรือไม่และเพื่อนำเสนอแผนที่แนวคิดของนักเรียนในการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ สำหรับหลักสูตรของโรงเรียนมัธยมศึกษา นอกจากนี้เรายังเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่มีความแตกต่างกันในการเรียนวิชาเคมีด้วยการศึกษาครั้งนี้ใช้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้น เรื่องพันธะเคมี (Two-tier diagnostic test) พัฒนาโดย Treagust (1988,1995) ซึ่งได้รับการใช้กันอย่างแพร่หลายในการตรวจสอบแนวความคิดของนักเรียนในหลายพื้นที่ของการศึกษาวิทยาศาสตร์รวมทั้งเคมี ชีววิทยา และฟิสิกส์ ด้วยแบบทดสอบแบบนี้จะช่วยส่งเสริมการคิดขั้นสูงและเพื่อระบุความเข้าใจผิดที่จัดขึ้นโดยนักเรียน จากนั้นนำมาสร้างแผนที่แนวคิดที่ถูกต้องของนักเรียนเพื่อนำมาให้ต่อไปในอนาคต

Lin (2004) ศึกษาการพัฒนาและการประยุกต์ใช้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้นเพื่อวัดความเข้าใจเกี่ยวกับการเจริญเติบโตและการพัฒนาของไม้ดอกของนักเรียนระดับมัธยมปลาย โดยงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาและการประยุกต์ใช้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้นเพื่อวัดความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับการเจริญเติบโตและการพัฒนาของไม้ดอก ขั้นตอนการพัฒนาเครื่องมือประกอบด้วย 3 ขั้นตอนทั่วไป คือ การระบุขอบเขตของเนื้อหาของแบบทดสอบ การเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนและการพัฒนาเครื่องมือ โดยข้อมูลเกี่ยวกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนโดยใช้การสัมภาษณ์และคำถามแบบหลายตัวเลือกด้วยคำตอบแบบเปิด ข้อมูลนี้นำมาใช้ในการพัฒนาข้อคำถามของแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้น แนวคิดที่ทดสอบคือวงจรชีวิตของไม้ดอก การสืบพันธุ์ เจริญของการงอก สารอาหารพืช และกลไกของการเจริญเติบโต กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จำนวน 477 คน ซึ่งสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการวัดซ้ำ (test-retest) มีค่าเท่ากับ 0.75 ค่าความยากมีค่าอยู่ในช่วง 0.24 – 0.82 และค่าอำนาจจำแนกมีค่าอยู่ในช่วง

0.32 – 0.65 ผลของแบบทดสอบวินิจฉัยความเข้าใจเรื่องการเจริญเติบโตและการพัฒนาของไม้ดอกแสดงให้เห็นว่านักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับแนวคิดของการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืชไม่เป็นที่น่าพอใจ จากการวิเคราะห์ข้อคำถามพบว่ามิมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนอยู่ 19 รายการ

Akkus, Kadayifci & Atasoy (2011) ศึกษาพัฒนาและการประยุกต์ใช้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้นเพื่อประเมินความเข้าใจของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาเกี่ยวกับแนวคิดเรื่องสมดุลเคมี งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้นเพื่อตรวจวัดความเข้าใจเชิงแนวคิดเกี่ยวกับสมดุลเคมีของนักเรียนเกรด 10 โดยใช้ขั้นตอนต่าง ๆ ที่อธิบายไว้โดย Treagust (1988) ในการพัฒนาแบบทดสอบนี้ถูกจัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดความเข้าใจเชิงแนวคิดของนักเรียนในหัวข้อต่าง ๆ เช่น การเข้าสู่สมดุล สภาวะสมดุล การเปลี่ยนแปลงในสภาวะสมดุล การเติมก๊าซเฉื่อย และตัวเร่งปฏิกิริยาแบบทดสอบที่ได้ถูกนำมาใช้กับนักเรียนเกรด 10 จำนวน 102 คน ซึ่งสัมประสิทธิ์เชื่อมั่น Cronbach alpha มีค่าเท่ากับ 0.903 ค่าความยากมีค่าอยู่ในช่วง 0.20 – 0.93 และค่าอำนาจจำแนกอยู่ในช่วง 0.19 – 0.89 จากนั้นได้วิเคราะห์แต่ละข้อคำถามเพื่อศึกษาความเข้าใจของนักเรียน และระบุมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับสมดุลเคมี ผลจากแบบทดสอบแสดงให้เห็นว่านักเรียนมีความเข้าใจในแนวคิดเกี่ยวกับสมดุลเคมีไม่เป็นที่น่าพอใจ และจากการวิเคราะห์ข้อคำถามในแบบทดสอบพบว่านักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน 25 แนวคิด

Mutlu & Sesen (2015) พัฒนาแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้นเพื่อประเมินความเข้าใจในแนวคิดทางเคมีของนักศึกษาปริญญาตรีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อพัฒนาแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้นที่ถูกต้องและเชื่อถือได้ เพื่อประเมินความเข้าใจในแนวคิดในหลักสูตรวิชาเคมีทั่วไประดับปริญญาตรี สำหรับการพัฒนาแบบทดสอบ ได้ระบุขอบเขตเนื้อหา วัตถุประสงค์การเรียนรู้ และมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน แล้วนำแบบทดสอบแรกที่มีส่วนของคำถามปลายเปิดมาใช้กับนิสิตครูวิทยาศาสตร์ 68 คน และทำการวิเคราะห์ผลเชิงคุณภาพในส่วนของคำถามปลายเปิด และนำผลที่ได้มาพัฒนาเป็นแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้น และทดสอบความถูกต้องของแบบทดสอบโดยนักการศึกษาเคมี 5 คน และนำแบบทดสอบที่ได้ไปใช้กับนิสิตครูวิทยาศาสตร์ 151 คน แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้นที่ได้ประกอบด้วย 44 ข้อคำถาม และมีค่าความเชื่อมั่น 0.84

Taber & Tan (2007) สำรวจทรัพยากรเชิงแนวคิดของผู้เรียนในหัวข้อพลังงานไอออนไนเซชันของนักเรียนระดับ A ในสิงคโปร์ งานวิจัยนี้อธิบายการค้นผลจากการศึกษาเพื่อสำรวจความเข้าใจในพลังงานไอออนไนเซชันของนักเรียนระดับ A ในสิงคโปร์ (เกรด 11 และ 12 อายุ 16-

19 ปี) ซึ่งเป็นหัวข้อที่เป็นนามธรรมและซับซ้อนในหลักสูตรวิชาเคมีในโรงเรียน ซึ่งงานวิจัยก่อนหน้านี้อธิบายว่านักเรียนในสหราชอาณาจักรมักใช้โมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่มีพื้นฐานมาจากความเสถียรของ full shell และ Fsharing out ของแรงนิวเคลียร์ แต่แนวคิดเช่นนี้มักถูกนำมาใช้อย่างไม่สอดคล้องกัน งานวิจัยนี้ได้อธิบายผลที่ได้จากการนำแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกลำดับชั้นมาใช้ ซึ่งเป็นแบบทดสอบเกี่ยวกับพลังงานไอออนในเซชัน เพื่อศึกษาว่า 1) นักเรียนระดับ A ในสิงคโปร์มีวิธีการคิดเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อพลังงานไอออนในเซชันแบบเดียวกับนักเรียนระดับ A ในสหราชอาณาจักรหรือไม่ และ 2) นักเรียนระดับ A ในสิงคโปร์อธิบายแนวโน้มของพลังงานไอออนในเซชันของธาตุในคาบที่ 3 อย่างไร ผลที่ได้พบว่านักเรียนในสิงคโปร์ใช้โมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนแบบเดียวกันกับนักเรียนในสหราชอาณาจักร และยังใช้โมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกัน และยังแสดงให้เห็นถึงความไม่สอดคล้องกันอย่างมากในวิธีการตอบคำถามที่เกี่ยวข้องของนักเรียน นอกจากนี้งานวิจัยยังได้พิจารณาความสำคัญของผลการวิจัยที่มีต่อการทำความเข้าใจหัวข้อทางวิทยาศาสตร์ที่ซับซ้อนของนักเรียน

Won, Yoon & Treagust (2014) ศึกษาพฤติกรรมการเรียนรู้ของนักเรียนด้วยภาพแทนการอธิบายกลไกการหายใจของมนุษย์วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อทำความเข้าใจวิธีการที่นักเรียนใช้ภาพแทนเพื่อเรียนรู้และอธิบายแนวคิดวิทยาศาสตร์ ซึ่งในกรณีนี้คือกลไกการหายใจของมนุษย์ โดยทำการศึกษากับนักเรียนเกรด 11 ในชั้นเรียนชีววิทยามนุษย์ ชั้นแรกใช้แบบสัมภาษณ์แบบกึ่งมีโครงสร้างและแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกลำดับชั้นเพื่อประเมินพฤติกรรมการเรียนรู้โดยการใช้ภาพแทนของนักเรียน โดยได้นำเอาแนวคิดเกี่ยวกับการใช้ภาพแทน (การเสริม การจำกัด และการทำความเข้าใจเชิงลึก) ที่กล่าวไว้โดย Ainsworth (2008) มาปรับใช้เป็นกรอบการวิเคราะห์เพื่ออธิบายพฤติกรรมการเรียนรู้ของนักเรียนโดยใช้ภาพแทน (เข้าถึงข้อมูลเสริม, ใช้ภาพแทน 1 รูปแบบเพื่อตีความสิ่งอื่น และการประเมินการใช้ภาพแทน) การจำแนกกลุ่มพฤติกรรมการเรียนรู้ของนักเรียนมีส่วนช่วยในการตีความการทำความเข้าใจการใช้ภาพแทนหลายรูปแบบ นอกจากนี้ข้อสรุปเกี่ยวกับพฤติกรรมการเรียนรู้ของนักเรียนแล้ว เรายังได้นำเสนอกรณีตัวอย่าง 3 ตัวอย่างเพื่อแสดงให้เห็นว่ากรอบการทำงานนี้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์หรืออย่างไร และเพื่ออธิบายว่าพฤติกรรมการเรียนรู้มีความสัมพันธ์กับการทำความเข้าใจการใช้ภาพแทนหลายรูปแบบและการทำความเข้าใจแนวคิดของนักเรียนอย่างไร

Tsai & Chou (2002) ศึกษาการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในวิทยาศาสตร์ของนักเรียน การวิจัยนี้ได้อธิบายความพยายามในการพัฒนาแบบทดสอบหลายตัวเลือกลำดับชั้นแบบเครือข่าย แบบทดสอบหลายตัวเลือกลำดับชั้นแบบเครือข่ายมีลักษณะเป็นข้อคำถาม

หลายตัวเลือกแบบสองลำดับขั้น ซึ่งจะวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนในด้านวิทยาศาสตร์ ซึ่งในงานวิจัยนำข้อคำถามเหล่านี้มาสอบถามแบบออนไลน์กับนักเรียนในได้หวัน (อายุ 14 จำนวน 555 คน และอายุ 16 ปี จำนวน 599 คน) ผลจากการวิเคราะห์คำตอบของนักเรียนแสดงให้เห็นว่ามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนอาจยังคงอยู่แม้กระทั่งหลังจากได้เรียนแนวคิดที่เกี่ยวข้องอย่างเป็นทางการแล้ว นอกจากนี้งานวิจัยยังเน้นไปที่การออกแบบการคำติชมและคำแนะนำที่เหมาะสมจะช่วยให้นักเรียนสามารถเอาชนะมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนได้แบบทดสอบหลายตัวเลือกสองลำดับขั้นแบบเครือข่ายไม่เพียงแต่เป็นเครื่องมือวินิจฉัย แต่ยังเป็นเครื่องมือการเรียนการสอนที่มีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้จึงได้ช่วยสร้างแนวทางใหม่ให้กับแนวคิดเชิงนวัตกรรมสำหรับการวิจัยและการปฏิบัติในการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์

Sia, Treagust & Chandrasegaran (2012) ศึกษาความชำนาญและระดับความมั่นใจในการแสดงความเข้าใจในแนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับอิเล็กโทรไลซิสของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยงานวิจัยนี้จัดทำขึ้นกับนักเรียนเกรด 10 อายุ 15 – 16 ปี จำนวน 330 คน ที่ได้เรียนหลักสูตรที่มีแนวคิดเกี่ยวกับอิเล็กโทรไลซิสโดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อ 1) ประเมินความเข้าใจใน 19 หลักการสำคัญของอิเล็กโทรไลซิสของนักเรียน โดยใช้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้นที่พัฒนาขึ้นแล้ว ซึ่งก็คือ Electrolysis Diagnostic Instrument (EDI) และ 2) เพื่อประเมินระดับความเชื่อมั่นของนักเรียนในการแสดงความรู้และความเข้าใจของตนในแนวคิดเกี่ยวกับอิเล็กโทรไลซิส ผลจากการวิเคราะห์คำตอบของนักเรียนใน EDI พบว่านักเรียนมีการแสดงความเข้าใจน้อย เกี่ยวกับกระบวนการอิเล็กโทรไลซิสที่เกี่ยวข้องกับสารประกอบหลอมเหลวและสารละลายของสารประกอบ โดยมีคะแนนเฉลี่ย 6.82 (จากค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ 17) นักเรียนมีความรู้ด้านเนื้อหาเกี่ยวกับกระบวนการอิเล็กโทรไลซิส แต่ไม่สามารถอธิบายการแลกเปลี่ยนที่เกิดขึ้นได้อย่างเหมาะสม โดยมีนักเรียนน้อยกว่า 45% ที่แสดงความเข้าใจเกี่ยวกับอิเล็กโทรไลซิสที่ยอมรับได้ในทางวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้ นักเรียนแสดงความมั่นใจที่จำกัดเกี่ยวกับการเลือกคำตอบที่ถูกต้อง แต่ใน 16 จาก 17 ข้อคำถาม เปอร์เซ็นต์ของนักเรียนที่มั่นใจว่าเลือกคำตอบที่ถูกต้องสูงกว่าเปอร์เซ็นต์ของนักเรียนที่ตอบคำถามได้ถูกต้องจริง ผลการวิจัยที่ได้แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ต่อการเรียนการสอนในชั้นเรียนในหัวข้ออิเล็กโทรไลซิสที่จำเป็นต้องได้รับการแก้ไข เพื่อให้ นักเรียนทำความเข้าใจแนวคิดในเรื่องนี้ได้ดียิ่งขึ้น

Yenilmez & Tekkaya (2006) ศึกษาการยกระดับความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับการสังเคราะห์แสงและการหายใจในพืชผ่านวิธีการเปลี่ยนมโนทัศน์งานวิจัยนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพของการใช้วิธีการเปลี่ยนมโนทัศน์ร่วมกับกลยุทธ์การอภิปรายกลุ่มที่มีต่อความเข้าใจ

เกี่ยวกับสังเคราะห์แสงและการหายใจในพืชของนักเรียน ได้วัดความเข้าใจแนวคิดของการสังเคราะห์แสงและการหายใจในพืชของนักเรียนโดยใช้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้นที่พัฒนาขึ้นโดย Haslam และ Treagust (1987, Journal of Bio-logical Education 21: 203-211) โดยนำแบบทดสอบนี้มาใช้เป็นแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนกับนักเรียนเกรด 8 จำนวน 233 คน จำนวน 6 ชั้นเรียน ในโรงเรียนเดียวกัน ซึ่งตั้งอยู่ในชุมชนเมือง แบบทดสอบการคิดอย่างมีเหตุผลถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาความสามารถให้เหตุผลของนักเรียน โดยกลุ่มตัวอย่างแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 นักเรียน 116 คน ซึ่งใช้การเรียนการสอนแบบการอภิปรายกลุ่มร่วมกับการเปลี่ยนแนวคิด กลุ่มที่ 2 นักเรียน 117 คน ซึ่งใช้การเรียนการสอนแบบดั้งเดิม หลังจากการเรียนการสอน วิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมสองทาง (ANCOVA) โดยใช้ Test of Logical Thinking และใช้คะแนนทดสอบก่อนเรียนเป็นตัวแปรร่วม การเปลี่ยนแนวคิดในการเรียนการสอน ซึ่งจะจัดการกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน ทำให้นักเรียนสามารถทำความเข้าใจเรื่องการสังเคราะห์แสงและการหายใจในพืชได้ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ผลจากการวิเคราะห์ยังแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสมรรถภาพของนักเรียนหญิงและนักเรียนชาย โดยนักเรียนหญิงมีสมรรถภาพที่ดีกว่า แต่ปฏิสัมพันธ์ของการบำบัดกับความแตกต่างของเพศไม่มีนัยสำคัญต่อการเรียนรู้แนวคิด

Kibuka-Sebitosi (2007) ทำความเข้าใจเกี่ยวกับพันธุศาสตร์และการสืบทอดพันธุกรรมในโรงเรียนชนบทงานวิจัยนี้จัดทำขึ้นในโรงเรียนในเขตชุมชนเมืองและเขตชนบท ที่ตั้งอยู่ใน 2 จังหวัด ของประเทศแอฟริกาใต้ เพื่อศึกษาความเข้าใจในแนวคิดเกี่ยวกับพันธุศาสตร์และการสืบทอดพันธุกรรมของนักเรียนที่เรียนวิชาชีววิทยา ผู้เข้าร่วมการวิจัยคือ นักเรียนเกรด 11 และ 12 อายุ 15 – 16 ปี เครื่องมือที่ใช้ประกอบด้วยแบบสอบถาม การสัมภาษณ์ และแบบทดสอบข้อเขียนก่อนเรียนและหลังเรียน และการสนทนากลุ่ม งานวิจัยได้ทำการศึกษานำร่อง ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อระบุมุมมองและแนวคิดของผู้เข้าร่วมการวิจัย รวมถึงตรวจสอบความเหมาะสมของเครื่องมือที่ใช้ผลจากการศึกษานำร่องและอุปสรรคของนักวิจัยที่มีประสบการณ์ถูกนำมาใช้ในการปรับเปลี่ยนเครื่องมือ เพื่อใช้คำถามหลายตัวเลือกและระบุปัญหาเกี่ยวกับความเที่ยงตรงและความเชื่อถือได้ ผลการศึกษาเบื้องต้นของงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่านักเรียนขาดความเข้าใจเกี่ยวกับกลไกและกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับพันธุศาสตร์และการสืบทอดพันธุกรรม ผลการวิจัยแสดงให้เห็นถึงความมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับธรรมชาติของข้อมูลพันธุกรรมในเซลล์ ซึ่งพบว่ามี ความขัดแย้งระหว่างความเชื่อแบบเดิมและมุมมองทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับการสืบทอด อาจารย์และนักเรียน

รายงานว่าการสอนและการเรียนเรื่องพันธุศาสตร์เป็นสิ่งที่ยาก และการค้นพบนี้สอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่ศึกษาด้วยโครงสร้างแบบเดียวกันนี้

Cetin-Dindar & Geban (2011) ศึกษาการพัฒนาแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับขั้นเพื่อประเมินความเข้าใจเรื่องกรดเบสของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายในงานวิจัยกล่าวว่า เป้าหมายของงานวิจัยนี้คือเพื่อพัฒนาแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับขั้นที่ถูกต้องและเชื่อถือได้ เพื่อประเมินความเข้าใจแนวคิดเกี่ยวกับกรดเบสของนักเรียน สำหรับการพัฒนาแบบทดสอบนี้ได้ทำการสัมภาษณ์และใช้คำถามปลายเปิดกับนักเรียนระดับมัธยมปลาย และได้ทบทวนบทความที่เกี่ยวข้อง และนำผลที่ได้จากขั้นตอนเหล่านี้มาใช้ในการสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับขั้น

Wang (2007) ศึกษาการคิดและมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนเกี่ยวกับระบบการลำเลียงในพืชวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อสำรวจมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนและการคิดเชื่อมโยงของนักเรียน เกี่ยวกับการลำเลียงภายในพืช โดยใช้แบบทดสอบวินิจฉัยที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพแล้ว โดยได้เพิ่มคำถามเกี่ยวกับการคิดเชื่อมโยงและการอธิบายเพื่อสร้างลำดับขั้นที่สามจากแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้น และพบว่ามี 3 หัวข้อที่เกี่ยวข้องกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน คือ การทำงานของคาปิลารี แร่ธาตุ และสารอาหารที่สร้างขึ้นจากการสังเคราะห์แสง จากการคิดเชื่อมโยงของนักเรียนที่เกี่ยวข้องกับ 3 หัวข้อนี้แสดงให้เห็นว่า (1) การทำงานของคาปิลารีมีความเชื่อมโยงกับความสัมพันธ์ระหว่างขน-น้ำ (2) แร่ธาตุเป็นสารอาหารกลุ่มหนึ่ง และ (3) ออกซิเจนมีความสัมพันธ์กับสารอาหาร และสุดท้าย เราได้อภิปรายประเด็นต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับอิทธิพลของภาษาต่อการเรียนรู้แนวคิด ใน 3 หัวข้อ คือ อิทธิพลของภาษาภาษาจีน และภาษาในตำราเรียน

Caleon & Subramaniam (2010) ศึกษาการใช้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับขั้น เพื่อประเมินลักษณะของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน เรื่อง คลื่นกล งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการพัฒนาและการประยุกต์ใช้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับขั้น (4TMC) ซึ่งยังไม่เคยมีการรายงานถึงมาก่อน แบบทดสอบนี้เป็นรูปแบบปรับปรุงของแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้น (2TMC) ขึ้นคำตอบและขึ้นเหตุผลจะวัดความรู้ด้านเนื้อหาและความรู้เชิงการอธิบายของนักเรียน ตามลำดับ ส่วนอีกสองขั้นจะวัดระดับความเชื่อมั่นของนักเรียนในการเลือกของคำตอบและเหตุผลที่เลือก ตามลำดับ แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับขั้น (4TMC) นี้เน้นไปที่คุณสมบัติและการกระจายตัวของคลื่นกล โดยให้นักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย 598 คนทำแบบทดสอบหลังจากได้เรียน เรื่อง คลื่นกล แล้ว และพบว่านักเรียนโดยส่วน

ใหญ่มีความเข้าใจในหัวข้อที่ทดสอบไม่เพียงพอ คะแนนเฉลี่ยและความเชื่อมั่นเฉลี่ยที่เกี่ยวข้องกับ
 ชั้นคำตอบสูงกว่าของค่าเฉลี่ยที่เกี่ยวข้องกับชั้นเหตุผล นักเรียนแยกแยะระหว่างนักเรียนที่รู้กับ
 นักเรียนที่ไม่รู้ ได้ไม่ได้นัก ความคุ้นเคยกับหัวข้อที่ทดสอบมีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ที่มากขึ้น
 ของนักเรียนที่ให้คำตอบที่ถูกต้อง ความเชื่อมั่นที่สูงขึ้นและความฉลาดในการแยกแยะที่สูงขึ้น และ
 เราสามารถระบุโมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนได้ 9 โมโนทัศน์ ซึ่งพบว่านักเรียนมีความเชื่อมั่นในระดับ
 ปานกลาง

Hermita et al (มปป) สร้างและใช้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับขั้น
 สำหรับการประเมินโมโนทัศน์เรื่องแม่เหล็กไฟฟ้าของครูประถมก่อนประจำการ โดยกล่าวถึงการ
 พัฒนาแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับขั้นว่าเป็นการขยายผลมาจากแบบทดสอบ
 วินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้น โดยชั้นคำตอบและชั้นเหตุผลจะเป็นการประเมินระดับความรู้
 ในเนื้อหา และการชี้แจงให้เหตุผลของครูประถมก่อนประจำการ เช่นเดียวกับในแบบทดสอบ
 วินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้น อีกสองชั้นที่เพิ่มเข้ามาเป็นการประเมินระดับความมั่นใจของ
 ครูประถมก่อนประจำการที่มีต่อความถูกต้องของคำตอบที่เลือกใช้ชั้นคำตอบและชั้นเหตุผล
 ตามลำดับ แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับขั้นนี้เป็นการประเมินโมโนทัศน์เรื่อง
 แม่เหล็กไฟฟ้า และได้นำมาใช้ในการวัดผลครูประถมก่อนประจำการ จำนวน 40 คน โดยครูก่อน
 ประจำการเหล่านี้ได้รับการฝึกอบรมในหัวข้อก่อนหน้าเป็นอย่างดี และจากการประเมิน พบว่า
 กลุ่มผู้เข้าร่วมการวิจัยมีโมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในหัวข้อที่ทดสอบ ซึ่งเราได้อธิบายไว้แล้วว่า
 แบบทดสอบนี้สามารถศึกษาและจัดหมวดหมู่นักเรียนตามโมโนทัศน์ของนักเรียนที่มีต่อแนวคิดเรื่อง
 แม่เหล็กไฟฟ้า ผลการศึกษาโดยใช้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับขั้น พบว่าผู้เข้าร่วม
 การวิจัยมีโมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ 5% มีโมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน 44.89% ขาดความรู้ในเรื่อง
 แม่เหล็กไฟฟ้า 46.52% และมีข้อผิดพลาดในโมโนทัศน์ 3.95% และพบแนวโน้มว่าครูประถมก่อน
 ประจำการไม่ตระหนักถึงสิ่งที่กำลังวินิจฉัยและสิ่งที่ไม่ได้วินิจฉัย นอกจากนี้ ประเภทของคำถามที่
 ทดสอบมีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์การตอบคำถามถูก และพบว่ามีคามผันผวนที่สูงขึ้น และ
 พบว่ามีโมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่สามารถคาดเดาได้ถึง 23 โมโนทัศน์ วิธีการวิจัย ในงานวิจัยนี้ใช้
 เทคนิคการประเมินผลเพื่อศึกษาข้อมูลของครูประถมก่อนประจำการจำนวน 40 คน และนำมาใช้
 ในการสร้างแบบจำลองด้วยวิธี 4D คือ นิยาม (define) ออกแบบ (design) พัฒนา
 (development) และเผยแพร่ (disseminate) โดยในขั้นนิยามและออกแบบ เป็นการเรียนรู้
 ความหมายและรูปแบบทั่วไปของแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสองลำดับขั้น และ
 แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับขั้น ในขั้นพัฒนา เป็นการตรวจสอบวินิจฉัยความรู้ความ

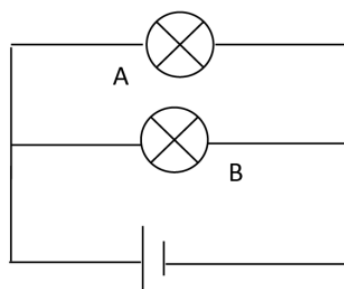
เข้าใจในหัวข้อที่กำหนด โดยใช้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับขั้น และในขั้นเผยแพร่เป็นการวิเคราะห์ผลเบื้องต้นเพื่อจำแนกนักเรียนออกเป็นกลุ่มต่าง ๆ ประกอบด้วย มีมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ (SC) มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (M) ขาดความรู้ (LK) และข้อผิดพลาดใหม่ในมโนทัศน์ (E) ใช้เวลาในการทดสอบประมาณ 60 นาที นอกจากนี้ยังทำการประเมินผลกับครูประถมก่อนประจำการที่มีความรู้เกี่ยวกับแนวคิดพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์อีกด้วย ส่วนผลการวิจัยและอภิปรายผล เพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์เรื่องแม่เหล็กไฟฟ้าของครูประถมก่อนประจำการ โดยใช้แบบจำลอง 4D (นิยาม, ออกแบบ, พัฒนา และเผยแพร่) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ขั้นนิยาม แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับขั้นสำหรับการประเมินความรู้ความเข้าใจเรื่องแม่เหล็กไฟฟ้าได้รับการพัฒนาในเบื้องต้นในขั้นตอนการอธิบาย และเนื่องจากแนวคิดเรื่องแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นแนวคิดที่สำคัญในการวินิจฉัยระดับมโนทัศน์ของนักเรียน จึงใช้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับขั้น เพื่อนำมาขยายผลเครื่องมือการประเมินผลในหัวข้อนี้ เพราะผู้วิจัยเชื่อว่าแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับขั้นมีจุดอ่อนบางประการในการวินิจฉัยมโนทัศน์ของนักเรียน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของ การประเมินความมั่นใจ

2. ขั้นออกแบบ เป็นการสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับขั้น สำหรับการประเมินมโนทัศน์เรื่องแม่เหล็กไฟฟ้า ข้อคำถามในแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับขั้นนี้ประกอบด้วยคำถามแบบ 4 ขั้น คือ ขั้นคำตอบ ขั้นความมั่นใจส่วนคำตอบ ขั้นเหตุผล และขั้นความมั่นใจส่วนเหตุผล และทำการกำหนดหมวดหมู่ของมโนทัศน์สำหรับการวินิจฉัยมโนทัศน์ของครูประถมก่อนประจำการด้วย

3. ขั้นพัฒนา เป็นการพัฒนาเครื่องมือทดสอบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 23 ข้อคำถาม ตัวอย่าง เช่น คำถามข้อที่ 10 ในแบบทดสอบแบบ 4 ระดับ ดังนี้

ตัวอย่างข้อ 10 รูปภาพด้านล่าง แสดงหลอดไฟ A และ B ที่เหมือนกัน และเชื่อมต่อกันแบบขนาน หากในภายหลังมีการเพิ่มหลอดไฟ C ซึ่งมีลักษณะเหมือนกัน เข้าไปในวงจร โดยการเชื่อมต่อแบบขนานกับหลอดไฟ A และ B ลักษณะการติดของหลอดไฟสองหลอดจะเป็นอย่างไร จงเปรียบเทียบกับหลอดไฟสองหลอดแรก เมื่อวงจรประกอบด้วยจุดเชื่อมต่อเพียง 2 จุด



- ก. สว่างเท่ากัน
- ข. สว่างกว่า
- ค. มีดกว่า

คะแนนความมั่นใจในคำตอบ

- ก. มั่นใจ
- ข. ไม่มั่นใจ

ข้อใดต่อไปนี้เป็นเหตุผล

- ก. วงจรขนานเป็นวงจรแบ่งกระแสไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อมีการเพิ่มจุดเชื่อมต่อในวงจร กระแสที่ไหลใน 3 จุดเชื่อมต่อนี้จะน้อยลง เนื่องจากกระแสทั้งหมดถูกแบ่งไปให้กับจุดเชื่อมต่อที่มากขึ้น
- ข. การเพิ่มจุดเชื่อมต่อแบบขนานที่เหมือนกัน จะไม่ลดปริมาณกระแสที่ไหลในแต่ละจุดเชื่อมต่อ
- ค. หากต่อหลอดไฟแบบขนาน ความต้านทานรวมจะน้อยลง กระแสที่ไหลในแต่ละเส้นสูงขึ้น
- ง. หากต่อหลอดไฟแบบขนาน ความต้านทานรวมจะสูงขึ้น กระแสไฟฟ้าไหลในแต่ละจุดจะน้อยลง

จ.

คะแนนความมั่นใจในเหตุผล

- ก. มั่นใจ
- ข. ไม่มั่นใจ

คำถามข้อที่ 10 เป็นการประเมินมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับความรู้ของนักเรียนในเรื่อง กฎของกำลังไฟฟ้า ซึ่งพบว่านักเรียน 16 คน จากทั้งหมด 40 คน ตอบคำถามไม่ถูกต้อง แสดงให้เห็นว่ามีนักเรียน 40% ที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

4) ชั้นเผยแพร่ ข้อมูลการสำรวจประเมินนี้เป็นผลมาจากการวิเคราะห์ลักษณะของมโนทัศน์พื้นฐานของครูก่อนประจำการ ซึ่งเกี่ยวข้องกับความรู้พื้นฐานในมหาวิทยาลัย ในปี 2016/2017 ข้อมูลเชิงปริมาณแสดงอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ข้อมูลเชิงคุณภาพจะไดมาจาก การให้เหตุผลของคำตอบในขั้นแรก

Yang & Lin (2015) ศึกษาการประเมินผลสัมฤทธิ์และมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่องความรู้สึกเชิงจำนวนของนักเรียน 10-11 ปี โดยใช้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกลำดับชั้น ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย ผู้วิจัยกล่าวว่าความรู้สึกเชิงจำนวน (number sense) เป็นหัวข้อสำคัญในการศึกษาวิชาคณิตศาสตร์ ดังนั้นการระบุมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนว่าจำนวนคืออะไร จึงมีความสำคัญ ข้อมูลเกี่ยวกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่ร้ายแรงของนักเรียนอาจมีความสำคัญอย่างมากสำหรับครู เนื่องจากทำให้ครูสามารถเปลี่ยนแปลงแผนการสอนของตัวเอง เพื่อช่วยให้นักเรียนสามารถแก้ไขมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเหล่านี้ของนักเรียน นำไปสู่การพัฒนาแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกลำดับชั้น และแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกลำดับชั้น ไม่เพียงแต่จะประเมินความเข้าใจและมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน แต่ยังประเมินความมั่นใจที่นักเรียนมีต่อคำตอบด้วย อย่างไรก็ตาม ยังมีการทดสอบประเภทนี้เพียงจำนวนน้อยที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการศึกษาเรื่องความรู้สึกเชิงจำนวน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์และมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน ในเรื่องความรู้สึกเชิงจำนวนโดยใช้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกลำดับชั้น ประกอบด้วย ชั้นคำตอบ ชั้นความมั่นใจส่วนคำตอบ ชั้นเหตุผล และชั้นความมั่นใจส่วนเหตุผล แบบแผนและวิธีการวิจัยกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยนี้คือนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 (อายุ 10 – 11 ปี) ทั้งหมด 195 คน จากประเทศไต้หวัน และใช้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกลำดับชั้นบนเว็บไซต์ ซึ่งประกอบด้วยข้อคำถามเกี่ยวกับความรู้สึกเชิงจำนวน ใน 5 ด้าน ทั้งหมด 40 ข้อคำถาม

วิธีการวิจัย การพัฒนาแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกลำดับชั้น (NS4TT) สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 (อายุ 10 – 11 ปี) โดยในแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกลำดับชั้น (NSTTT) ประกอบด้วย ชั้นคำตอบ ชั้นความมั่นใจส่วนคำตอบ ชั้นเหตุผล และชั้นความมั่นใจส่วนเหตุผล โดยใช้ระดับความมั่นใจ 4 ค่า คือ 0 = คาดเดา, 1 = ไม่มั่นใจ, 2 = มั่นใจ และ 3 = มั่นใจมาก ดังนั้น ขั้นแรก (ชั้นคำตอบ) ของแบบทดสอบจึงเป็นการประเมินคำตอบของนักเรียน ในข้อคำถามเกี่ยวกับความรู้สึกเชิงจำนวน ขั้นที่สอง (ชั้นความมั่นใจส่วนคำตอบ) ของแบบทดสอบจะวัดระดับความมั่นใจที่นักเรียนมีต่อคำตอบในขั้นแรก ขั้นที่สาม (ชั้นเหตุผล) เป็นการประเมินเหตุผลของคำตอบในขั้นแรก และขั้นที่สี่ (ชั้นความมั่นใจส่วนเหตุผล) เป็นการประเมิน

ระดับความมั่นใจที่นักเรียนมีต่อเหตุผลในชั้นที่สาม แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับขั้น (NS4TT) สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 นี้ประกอบด้วย 5 องค์ประกอบ (F1, F2, F3, F4 และ F5) และแต่ละองค์ประกอบประกอบด้วยข้อคำถาม 8 ข้อ รวมทั้งหมด 40 ข้อคำถาม โดย F1 คือ ความเข้าใจในความหมายของจำนวนและการดำเนินการ F2 คือ การรับรู้ขนาดของจำนวน F3 คือ การใช้การแสดงผลแทนจำนวนและการดำเนินการ F4 คือ การรับรู้ผลของการดำเนินการของจำนวน F5 คือ การตัดสินใจสมเหตุสมผลของผลการคำนวณ

ขั้นตอนการวิจัย การทำแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับขั้น (NS4TT) จัดทำขึ้นผ่านระบบออนไลน์ ซึ่งจะให้นักเรียนตอบคำถาม 40 ข้อ บนคอมพิวเตอร์ โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ข้อคำถามแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับขั้น (NS4TT) นี้ถูกจัดทำขึ้นด้วยภาษาจีน ซึ่งเป็นภาษาที่ใช้ในการเรียนการสอนในโรงเรียน การทำแบบทดสอบแต่ละช่วงใช้เวลา 40 นาที และให้นักเรียนพัก 10 นาที ก่อนทำการทดสอบช่วงต่อไป ระหว่างการทดสอบจะไม่อนุญาตให้นักเรียนนำกระดาษและดินสอเข้าไป เพื่อให้สามารถทดสอบความสามารถด้านความรู้สึกเชิงจำนวนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น มีการอธิบายวิธีการตอบคำถามในระบบการทดสอบแบบออนไลน์ก่อนที่นักเรียนจะเริ่มทำแบบทดสอบ และแจ้งให้นักเรียนทราบอย่างชัดเจนว่าห้ามทำการคำนวณโดยกระดาษและดินสอในระหว่างการทดสอบ และสนับสนุนให้นักเรียนคิดได้อย่างอิสระและมีประสิทธิภาพ และสนับสนุนให้นักเรียนแก้ปัญหาโดยใช้วิธีการทางเลือกที่ไม่ใช่วิธีการแบบดั้งเดิม หรือกล่าวได้ว่าให้นักเรียนแก้ปัญหาในแบบทดสอบออนไลน์โดยใช้ความรู้สึกเชิงจำนวน ในชั้นเหตุผลมักจะมีเหตุผลสำหรับชั้นคำตอบอยู่ 3 ประเภท ประเภทแรก คือการให้เหตุผลแบบเขียนตอบ ประเภทที่สอง คือวิธีการเชิงความรู้สึกเชิงจำนวนเป็นคำตอบที่ถูกต้อง ประเภทที่สาม คือมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน อย่างไรก็ตามสำหรับตัวเลือกที่ไม่ถูกต้องในชั้นคำตอบ จะมีเพียงตัวเลือกที่เป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่พบได้มาก แต่ไม่มีตัวเลือกที่เป็นวิธีการที่เกี่ยวกับความรู้สึกเชิงตัวเลข ผู้เข้าร่วมการวิจัยนี้คือชั้นเรียน 6 ห้องเรียน ในโรงเรียนประถมศึกษาของรัฐบาลแห่งหนึ่ง ซึ่งประกอบด้วยนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 (อายุ 10 – 11 ปี) ทั้งหมด 195 คน เป็นเด็กหญิง 96 คน และเด็กชาย 99 คน ช่วงสิ้นสุดปีการศึกษาในเดือนมิถุนายน และโรงเรียนแห่งนี้ตั้งอยู่ในเขตเมืองของเมืองขนาดกลางในภาคใต้ของไต้หวัน และเป็นโรงเรียนขนาดกลางที่มีชั้นเรียนตั้งแต่ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ถึง 6 รวมทั้งหมด 36 ห้องเรียน และนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ทุกคนในโรงเรียนนี้ได้เข้าร่วมในงานวิจัยนี้ ห้องเรียนเหล่านี้ถูกจัดชั้นเรียนตามปกติ ไม่ได้จัดลำดับตามความสามารถ แต่ละห้องเรียนมีทั้งนักเรียนที่มีผลสัมฤทธิ์วิชาการคณิตศาสตร์สูงและต่ำและนักเรียนโดยส่วนใหญ่มาจากครอบครัวชนชั้นกลาง โดยทั่วไปแล้ว

นักเรียนเหล่านี้มีผลสัมฤทธิ์วิชาคณิตศาสตร์ในระดับปานกลาง เมื่อเปรียบเทียบกับผลสัมฤทธิ์ของนักเรียนในโรงเรียนอื่น ๆ ในเมืองนี้ ประเด็นหลักของการใช้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกที่ลำดับชั้นในเนื้อหาวิชาคณิตศาสตร์ ก็คือ เมื่อคำตอบถูกเลือกแล้ว (แม้ว่าจะเป็นการคาดเดา) ผู้ทำแบบทดสอบจะสามารถกำจัดเหตุผลที่ไม่สอดคล้องกับคำตอบของตนออกไปได้ง่าย โดยง่าย ตัวเลือกเหตุผลจำนวนมากเป็นผลมาจากการคำนวณที่จำเพาะเจาะจง ทำให้นักเรียนสามารถตัดสินใจได้ง่ายว่าเหตุผลใดเป็นของคำตอบใด ตัวอย่างเช่น หากนักเรียนตอบว่า 0.1280 เป็นคำตอบที่ถูกต้อง แนวโน้มที่นักเรียนจะเลือกว่า “7.84 มีค่าประมาณ 8, 4.96 มีค่าประมาณ 5 และมีผลรวมประมาณ 13 และคำตอบที่ใกล้เคียงที่สุดคือ 12.8” คือเหตุผลของคำตอบ เนื่องจากตัวเลือกนี้จะใช้ได้กับคำตอบ 12.8 เท่านั้น นักเรียนจึงมักตัดตัวเลือกนี้ออกไป สถานการณ์นี้ต่างจากแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกที่ลำดับชั้น สำหรับเนื้อหาในวิชาวิทยาศาสตร์ ซึ่งนักเรียนอาจเลือกเหตุผลเดียวกันเพื่ออธิบายคำตอบที่แตกต่างกัน ดังนั้น หากเราใช้การแสดงตัวเลือกในลักษณะเดียวกันกับการทดสอบการศึกษาวิทยาศาสตร์ ในบริบทของการศึกษาคณิตศาสตร์ (การสร้างเหตุผล 3 หรือ 4 เหตุผล และแสดงพร้อมๆ กัน) เหตุผลอาจสิ้นสุดลงที่เหตุผลที่สอดคล้องกับคำตอบแบบข้อต่อข้อ (4 คำตอบและเหตุผลที่สอดคล้องกับคำตอบแต่ละคำตอบ) ในสถานการณ์นี้ เราอาจคาดได้ว่านักเรียนจะสามารถเลือกเหตุผลของคำตอบที่ตนเลือกในชั้นคำตอบได้โดยง่าย โดยไม่ได้มีความเข้าใจอย่างแท้จริงในเหตุผลนั้น เราจึงจำเป็นต้องสร้างตัวเลือกเหตุผลมากกว่า 1 เหตุผล สำหรับแต่ละตัวเลือกในชั้นคำตอบ อย่างไรก็ตาม วิธีนี้จะทำให้มีตัวเลือกเท่ากับหรือมากกว่า 8 ตัวเลือก ในชั้นเหตุผล ในแต่ละข้อคำถาม (แต่ละคำตอบจะต้องมีเหตุผลที่อย่างน้อย 2 เหตุผล) แต่การใช้ข้อคำถามที่มีตัวเลือกมากกว่า 8 ตัวเลือกไม่ได้เป็นวิธีการที่ดี เพราะนักเรียนอาจใช้เวลามากเกินไปในแต่ละข้อคำถาม และหมดความอดทนในการพิจารณาตัวเลือกทั้งหมดในที่สุด ดังนั้น ในแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกที่ลำดับชั้นในงานวิจัยนี้ นักเรียนจะเห็นเพียงชุดเหตุผลที่สอดคล้องกับคำตอบของนักเรียนในชั้นคำตอบ (มักมี 2 หรือ 3 เหตุผล) และตัวเลือกที่สอดคล้องกับคำตอบเหล่านี้มีพื้นฐานมาจากมโนทัศน์ที่พบได้บ่อยที่สุดในกลุ่มนักเรียน ในชั้นเหตุผล นักเรียนจะถูกบังคับพิจารณาเพียงทางเลือกที่สอดคล้องกันกับคำตอบ แทนที่จะเห็นตัวเลือกทั้งหมดที่เป็นไปได้ โดยเชื่อว่าการให้เด็กพิจารณามุ่งเน้นไปที่เหตุผลที่เกี่ยวข้องของเพียงไม่กี่เหตุผล จะให้ผลลัพธ์ที่มีความหมายมากกว่า

จริยธรรมการวิจัย เพื่อให้แน่ใจว่าผู้เข้าร่วมการวิจัยทั้งหมดในงานวิจัยนี้ไม่ได้รับอันตรายหรือเกิดความเสียหายเปรียบใด ๆ จึงพิจารณาจริยธรรมการวิจัยด้วย ก่อนที่นักเรียนจะเข้าร่วมในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้แนะนำการวิจัยโดยสังเขปให้กับนักเรียนและผู้ปกครองทราบ เพื่อให้มีความ

เข้าใจในข้อมูลที่จำเป็นและสิทธิในการวิจัยนี้ โดยเราได้แจ้งให้นักเรียนและผู้ปกครองทราบถึงสถานที่ที่จะทำวิจัย ระยะเวลา และสิ่งที่นักเรียนจะถูกขอให้ทำ เป็นต้น นอกจากนี้ผู้วิจัยยังแจ้งผู้เข้าร่วมการวิจัยว่าข้อมูลจะถูกนำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์ด้านการศึกษาเท่านั้น แต่จะไม่มี การเปิดเผยข้อมูลส่วนตัว และผู้เข้าร่วมการวิจัยมีสิทธิออกจากการวิจัยได้ตลอดเวลาในระหว่างการทำวิจัย นักเรียนและผู้ปกครองทั้งหมดจะถูกขอให้ลงชื่อในเอกสารยินยอมเข้าร่วมการวิจัย การวิจัยนี้ยังได้รับการตรวจสอบจริยธรรมการวิจัยโดยกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในได้วัน

การวิเคราะห์ผล การเก็บรวบรวมคำตอบของนักเรียนทำโดยใช้คอมพิวเตอร์ และทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม SPSS 17 เพื่อคำนวณค่าทางสถิติ โดยในการวิเคราะห์ผลด้วย SPSS ในขั้นคำตอบและขั้นเหตุผล คำตอบที่ถูกต้องจะได้รับคะแนน 1 คะแนน และคำตอบที่ไม่ถูกต้องจะได้รับคะแนน 0 คะแนน สำหรับคำตอบของนักเรียนในขั้นความมั่นใจ จะให้คะแนนระดับความมั่นใจของนักเรียน 4 ค่า ซึ่งมีคะแนนตั้งแต่ 0 ถึง 3 และเพื่อประเมินว่านักเรียนมีความมั่นใจในคำตอบของตนเองในขั้นคำตอบมากเพียงใด จึงทำการทดสอบ t-test เพื่อหาความแตกต่างระหว่างคะแนนความมั่นใจในขั้นคำตอบและขั้นเหตุผล ในงานวิจัยนี้ ใช้ 35% เป็นเกณฑ์ของคำตอบในแต่ละตัวเลือก และ 21% สำหรับคำตอบในคู่คำถาม-เหตุผลเป็นเกณฑ์ในการประเมินว่ามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนมีนัยสำคัญหรือไม่ ซึ่ง Caleon and Subramaniam ได้นิยามว่ามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน คือ คำตอบหรือคู่ของคำตอบ-เหตุผลที่ไม่ถูกต้องซึ่งถูกเลือกโดยนักเรียน 10% สูงกว่าเปอร์เซ็นต์ที่คาดว่าจะเลือกคำตอบหรือคู่ของคำตอบ-เหตุผลแบบสุ่ม ดังนั้นในงานวิจัยนี้ เนื่องจากข้อคำถามจะมีตัวเลือกในขั้นคำตอบ 4 ตัวเลือก และมีตัวเลือกในขั้นเหตุผลทั้งหมด 9 ตัวเลือก (ตัวเลือกคำตอบที่ถูกต้องมีตัวเลือกเหตุผลที่สอดคล้องกัน 3 ตัวเลือก และตัวเลือกคำตอบที่ใหม่ถูกต้องมีตัวเลือกเหตุผลที่สอดคล้องกัน 2 ตัวเลือก) มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่มีนัยสำคัญจึงหมายถึงกรณีที่นักเรียนมากกว่า 35% เลือกคำตอบที่ไม่ถูกต้อง (25% + 10%) หรือนักเรียนมากกว่า 21% เลือกคู่ของคำตอบ-เหตุผลหนึ่ง ๆ (11% + 10%) สำหรับระดับนัยสำคัญของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน หากมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมีระดับความเชื่อมั่นต่ำกว่าค่ามัธยฐาน (ต่ำกว่า 1.5) จะถือว่ามีนัยสำคัญนั้นเป็นมโนทัศน์ที่เป็นเท็จ หากมโนทัศน์มีระดับความเชื่อมั่นปานกลาง (1.5 – 1.8) หรือสูง (มากกว่าหรือเท่ากับ 1.8) จะถือว่ามีนัยสำคัญปานกลางหรือสูง ตามลำดับ ซึ่งเกณฑ์การกำหนดระดับความเชื่อมั่นเหล่านี้ได้ดัดแปลงมาจากการศึกษาของ Caleon and Subramaniam ในปี 2010 เช่นกัน

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า 1. คะแนนความมั่นใจในคำตอบสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับความมั่นใจในเหตุผล 2. นักเรียนโดยเฉลี่ย 68% มีแนวโน้มที่จะมีความมั่นใจในคำตอบและเหตุผลเท่ากัน 3. นักเรียนที่ตอบคำถามได้ถูกต้อง หรือให้เหตุผลได้ถูกต้อง มีคะแนนความมั่นใจในข้อคำถามส่วนใหญ่ (จำนวน 36 จาก 40 ข้อ) สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับนักเรียนที่ตอบคำถามไม่ถูกต้องหรือให้เหตุผลได้ไม่ถูกต้อง และ 4. พบมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน 16 แบบ และโดยส่วนใหญ่มีระดับที่สูง ผู้วิจัยสรุปว่า แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับชั้น สามารถระบุมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนบางประการ ทั้งในขั้นคำตอบและขั้นเหตุผล และสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับระดับความมั่นใจ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะทำให้ครูสามารถทำความเข้าใจลักษณะของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียนในเรื่องความรู้เชิงจำนวนได้ดีขึ้น จึงเป็นการส่งเสริมความก้าวหน้าในวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียน

Hermita et al (2017) ศึกษาการสร้างและการใช้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับชั้น สำหรับการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง ไฟฟ้าสถิตของครูประถมก่อนประจำการ โดยผู้วิจัยได้สร้างและนำแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับชั้น ไปใช้ในการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องไฟฟ้าสถิตของครูประถมก่อนประจำการ เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ 3D-1I (นิยาม ออกแบบ พัฒนา และนำไปใช้) ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้กับครูประถมก่อนประจำการโดยเฉพาะ ผู้เข้าร่วมการวิจัยคือนักศึกษาจำนวน 78 คน จากมหาวิทยาลัย PGSD FKIP Universitas Riau และทำการเก็บรวบรวมโดยใช้ข้อคำถามในแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับชั้น ซึ่งผลที่ได้ชี้ให้เห็นว่ามีครูประถมก่อนประจำการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนบางประการในเรื่องไฟฟ้าสถิต ประกอบด้วย 1. วัตถุที่มีไฟฟ้าสถิตไม่สามารถดึงดูดวัตถุที่เป็นกลาง 2. วัตถุที่เป็นกลางคือวัตถุที่ไม่มีประจุไฟฟ้า และ 3. ขนาดของแรงดึงดูดระหว่างวัตถุที่มีประจุขึ้นอยู่กับขนาดของประจุ ยิ่งไปกว่านั้น ผลของงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าแบบทดสอบวินิจฉัยสามารถวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และจำแนกระดับความเข้าใจของครูประถมก่อนประจำการออกเป็น ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ขาดความรู้ และข้อผิดพลาดในมโนทัศน์ ซึ่งโดยสรุปแล้ว ในงานวิจัยนี้ได้สร้างข้อคำถามในแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับชั้นนี้ และนำไปใช้ในการวินิจฉัยมโนทัศน์เรื่องไฟฟ้าสถิตของนักเรียน

วิธีการวิจัย การสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับชั้น คือ 3D-1I (นิยาม ออกแบบ พัฒนา และนำไปใช้) โดยขั้นนิยาม เป็นการศึกษาค้นคว้าและการศึกษาวรรณกรรมเพื่อรวบรวมมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนประเภทต่าง ๆ ในพบในแนวคิดเรื่องไฟฟ้าสถิต ขั้นออกแบบคือการออกแบบเนื้อหาของแต่ละขั้นในแบบทดสอบ ขั้นพัฒนา คือการสร้างแบบทดสอบมโนทัศน์

ตามผลที่ได้ในชั้นออกแบบ จำนวนของข้อคำถามที่พัฒนานั้นจะเท่ากับปัญหา 3 ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับมโนทัศน์ คือ 1. วัตถุที่มีไฟฟ้าสถิตไม่สามารถดึงดูดวัตถุที่เป็นกลาง 2. วัตถุที่เป็นกลางคือวัตถุที่ไม่มีประจุไฟฟ้า และ 3. ขนาดของแรงดึงดูดระหว่างวัตถุที่มีประจุนั้นอยู่กับขนาดของประจุ ชั้นนำไปใช้ เป็นการนำแบบทดสอบที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในการวินิจฉัยมโนทัศน์ของครูประถมก่อนประจำการ ใน FKIP University of Riau ผู้เข้าร่วมการวิจัยในงานวิจัยนี้ คือนักศึกษา จำนวน 78 คน ในชั้นเรียนแนวคิดวิทยาศาสตร์พื้นฐาน และเพื่อจำแนกมโนทัศน์ของนักศึกษา ได้ใช้แนวทางในการจำแนกกลุ่มนักศึกษาออกเป็น มโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ (SC) มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (M) การขาดความรู้ (LK) และข้อผิดพลาด (E) มีรายละเอียด คือ

1. ชั้นนิยาม ในขั้นนี้เป็นการกำหนดข้อคำถามในแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น ในเรื่องไฟฟ้าสถิต ไฟฟ้าสถิตเป็นแนวคิดหลักในการวินิจฉัยมโนทัศน์ของผู้เรียน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงพัฒนาแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น เนื่องจากก่อนหน้านี้ ผู้วิจัย พบว่า แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสามลำดับชั้น ไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างของคะแนนความมั่นใจในคำตอบในสองชั้นแรกได้ (ชั้นแรกเป็นชั้นคำตอบแบบปรนัยและชั้นที่สองเป็นชั้นเหตุผล) แบบทดสอบแบบ 3 ระดับจึงมีจุดอ่อนบางประการในการวิเคราะห์มโนทัศน์ของนักเรียน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของคะแนนความมั่นใจ

2. การออกแบบ ผู้วิจัยสร้างข้อคำถามของแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น เพื่อวินิจฉัยมโนทัศน์เรื่องไฟฟ้าสถิต ลักษณะของเครื่องมือที่สร้างขึ้น มีดังนี้

คำถาม วินิจฉัยมโนทัศน์ของนักเรียน

ชั้นคำตอบ (ชั้นที่ 1)

ก. ตัวเลือกที่ 1

ข. ตัวเลือกที่ 2

ค. ตัวเลือกที่ 3

ง. ตัวเลือกที่ 4

ชั้นความมั่นใจส่วนคำตอบ (ชั้นที่ 2)

ก. มั่นใจ

ข. ไม่มั่นใจ

ชั้นเหตุผล (ชั้นที่ 3)

ก. เหตุผลที่ 1

ข. เหตุผลที่ 2

ค. เหตุผลที่ 3

ง. เหตุผลอื่น ๆ

ชั้นความมั่นใจส่วนเหตุผล (ชั้นที่ 4)

ก. มั่นใจ

ข. ไม่มั่นใจ

3. ชั้นพัฒนา พัฒนาข้อคำถามในแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น ประกอบด้วย ชั้นคำตอบ ชั้นความมั่นใจส่วนคำตอบ ชั้นเหตุผล ชั้นความมั่นใจส่วนเหตุผล ดังนี้

คำถาม ภาพด้านล่างแสดงวัตถุที่มีประจุตรงบวก "A" และวัตถุที่มีประจุเป็นกลาง "B" หากวัตถุทั้งสองอยู่ใกล้กัน สิ่งที่จะเกิดขึ้นคืออะไร

ชั้นคำตอบ (ชั้นที่ 1)

ก. วัตถุ B จะไม่ถูกดึงดูดโดยวัตถุ A

ข. วัตถุ B จะถูกดึงดูดโดยวัตถุ A

ค. วัตถุ B ถูกผลักโดยวัตถุ A

ชั้นความมั่นใจส่วนคำตอบ (ชั้นที่ 2)

ก. มั่นใจ

ข. ไม่มั่นใจ

ชั้นเหตุผล (ชั้นที่ 3)

จงระบุเหตุผลของคำตอบที่คุณเลือก

ก. มีเพียงวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าเท่านั้นที่จะถูกดึงดูดด้วยวัตถุอีกชั้นที่มีประจุไฟฟ้า

ข. เมื่อวัตถุที่เป็นกลางเข้าใกล้วัตถุที่มีประจุ ประจุจะถูกโพลารไรซ์และประจุไฟฟ้าตรงข้ามจะหันเข้าหากัน วัตถุที่เป็นกลางจึงถูกดึงดูด

ค. เมื่อวัตถุที่เป็นกลางเข้าใกล้วัตถุที่มีประจุ ประจุจะถูกโพลารไรซ์ และประจุที่เหมือนกันจะหันเข้าหากัน ทำให้วัตถุที่เป็นกลางถูกผลัก

ง.

ชั้นความมั่นใจส่วนเหตุผล (ขั้นที่ 4)

ก. มั่นใจ

ข. ไม่มั่นใจ

4. การนำไปใช้ ข้อมูลที่ได้เป็นผลมาจากการวินิจฉัยในทัศนเรื่องแนวคิดวิทยาศาสตร์พื้นฐาน ของครูประถมก่อนประจำการ ในปีการศึกษา 2016/2017 ข้อมูลเชิงปริมาณ และข้อมูลเชิงคุณภาพจะถูกนำไปใช้ในการศึกษาต่อไป

Fariyani, Rusilowati & Sugianto (2017) สร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น สำหรับการระบุทัศนคติที่คลาดเคลื่อนในเรื่องทัศนศาสตร์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อระบุทัศนคติที่คลาดเคลื่อนในเรื่องทัศนศาสตร์ของนักเรียน โดยใช้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้นในการระบุทัศนคติที่คลาดเคลื่อน ซึ่งการเก็บรวบรวมข้อมูลทำโดยการสัมภาษณ์ แบบสอบถาม และแบบทดสอบ และใช้วิธีสุ่มตัวอย่างแบบสุ่ม เพื่อสุ่มตัวอย่างนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 (เกรด 10) จำนวน 107 คน ที่เรียนเรื่องทัศนศาสตร์แล้ว จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์และตีความหมายข้อมูลเพื่อจำแนกนักเรียนที่มีความเข้าใจในแนวคิด ไม่เข้าใจในแนวคิด และนักเรียนที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า จากในแต่ละข้อคำถามของแบบทดสอบ นักเรียนบางคนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน โดยนักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนระดับต่ำ 31% ของข้อคำถามทั้งหมด มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในระดับปานกลาง 53% และมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในระดับสูง 16% การแบ่งเกณฑ์ออกเป็นระดับต่ำ ปานกลาง และสูง มีหลักการดังนี้ ต่ำ: $0\% \leq P < 30\%$, ปานกลาง: $30\% \leq P < 60\%$ และสูง: $60\% \leq P \leq 100\%$ ผลการวิจัยและอภิปรายผล ผู้วิจัยได้ตีความข้อมูลจากการทดสอบในภาคสนามเพื่อศึกษาว่านักเรียนมีความเข้าใจ ไม่มีความเข้าใจ หรือมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ในข้อคำถามต่าง ๆ การตีความมีความสำคัญ เนื่องจากทุกวันนี้คิดว่า การไม่เข้าใจในแนวคิด มีความหมายเหมือนกับการมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ครูจึงต้องแยกแยะนักเรียนที่มีความเข้าใจดี ไม่เข้าใจเลย และมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เพื่อให้สอนนักเรียนได้อย่างถูกต้อง ปัญหาที่พบได้มากที่สุดก็คือการที่ครูขาดความสามารถในการแยกแยะว่านักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนหรือไม่ แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้นเป็นแบบทดสอบที่ถูกนำมาใช้เพื่อจำแนกนักเรียนที่ไม่เข้าใจในแนวคิดออกจากนักเรียนนักเรียนที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน แบบทดสอบวินิจฉัยสามารถแยกแยะสิ่งที่ผู้จัดทำแบบทดสอบต้องการให้เด็กเข้าใจออกจากสิ่งที่เด็กเข้าใจ ซึ่งสนับสนุนความคิดที่ว่าแบบทดสอบวินิจฉัยสามารถนำมาใช้เพื่อแยกแยะนักเรียนที่มีความเข้าใจดี และมีความเข้าใจบางส่วนทำให้เด็กมีความมั่นใจต่ำ จากงานวิจัยพบว่านักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในทุก

หัวข้อย่อย ของเรื่องทัศนศาสตร์ โดยหัวข้อย่อยที่นักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนสูงที่สุดคือเรื่องเลนส์นูน เนื่องจากนักเรียนไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างเลนส์นูนสองหน้า และเลนส์เว้าสองหน้า นักเรียนคิดว่าเลนส์นูนสองหน้าคือเลนส์เว้า ซึ่งแตกต่างกัน มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนอีกหนึ่งข้อก็คือในเรื่องเลนส์นูน ซึ่งนักเรียนคิดว่าเลนส์นูนสองหน้ามีจุดโฟกัสเป็นลบ นอกจากนี้ นักเรียนยังมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการหักเหของเลนส์นูน โดยนักเรียนคิดว่าแสงจะเดินทางผ่านจุดโฟกัส การสะท้อนเกิดจากการหักเหของเลนส์นูนจากจุดตัดของแสงที่เกิดการหักเห

ในงานวิจัยได้แบ่งนักเรียนออกตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ และวิเคราะห์เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ของกลุ่มต่าง ๆ จากตัวอย่างทั้งหมด และพบมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน ดังนี้

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน

การสะท้อนของแสง

- กฎการสะท้อนของแสง
- แนวคิดเรื่องรังสีตกกระทบและรังสีหักเห
- หามุมของรังสีตกกระทบและรังสีหักเห

กระจก

- ลักษณะและการเกิดเงาในกระจกเงา กระจกนูน และกระจกเว้า
- ความสูงต่ำของ divergent light และ convergent light ในกระจกเงา

การหักเหของแสง

- การหักเหของแสง
- ความเร็วเฟส ความถี่ และความยาวของคลื่นแสงในตัวกลางต่าง ๆ
- การหักเหของเลนส์เกิดขึ้นเพียงครั้งเดียว

เลนส์

- เลนส์นูนและเลนส์เว้า
- การเกิดเงาและโฟกัสของเลนส์นูนและเลนส์เว้า
- เงาในเลนส์นูนและเลนส์เว้า

สายตา

- กระบวนการมองเห็น
- สายตาสั้นและสายตายาว
- การหาค่าไดออปเตอร์ (diopters)

รูป

- ตำแหน่งของวัตถุในรูปเพื่อให้มองเห็นได้ชัดเจนที่สุดผ่านการปรับโฟกัส
- การขยายเงาในรูปให้เห็นได้ชัดที่สุดที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับโฟกัส

กล้องจุลทรรศน์

- การหักเหของแสงในกล้องจุลทรรศน์
- เงาที่เกิดจากกล้องจุลทรรศน์
- การขยายเงาในกล้องจุลทรรศน์

กล้องโทรทรรศน์

- การหักเหแสงในกล้องโทรทรรศน์บนพื้นโลก
- เงาในเลนส์วัตถุของกล้องโทรทรรศน์

จากการสัมภาษณ์นักเรียน ซึ่งมีข้อมูลการสัมภาษณ์จากหลายแหล่ง เช่น จากตัวนักเรียน ครู หรือหนังสือ พบว่า นักเรียนใช้ตรรกะและสัญชาตญาณ (intuition) ในการตอบแบบทดสอบ และมโนทัศน์ที่นักเรียนมีเป็นผลมาจากการสร้างความรู้ในชีวิตประจำวัน นอกจากนี้ นักเรียนยังกล่าวว่าได้รับข้อมูลอย่างผิด ๆ จากครู ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากนักเรียนไม่ได้ซึมซับข้อมูลจากครูอย่างถูกต้อง และอาจเป็นไปได้ว่าครูมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ครูจึงควรตระหนักว่ามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนนั้นอาจทำให้นักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนแบบเดียวกัน เพื่อให้ นักเรียนได้รับการสอนอย่างถูกต้อง นอกจากนี้เพื่อนก็เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลที่ทำให้เกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนได้เช่นกัน เพราะนักเรียนมีแนวโน้มที่จะรวมกลุ่มกับเพื่อนเพื่อหารือเกี่ยวกับปัญหาในการเรียน ปัญหาจะเกิดขึ้นหากเพื่อนให้แนวคิดที่ผิด และนักเรียนคนดังกล่าวเชื่อในแนวคิดนั้น ตำราเรียนที่ทำความเข้าใจได้ยากจะทำให้นักเรียนเกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เพราะนักเรียนจะยอมรับเพียงข้อมูลบางส่วนจากหนังสือ และความเข้าใจที่ไม่สมบูรณ์จะขัดขวางความเข้าใจในวิชาฟิสิกส์ นักเรียนทุกคนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่แตกต่างกัน มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่แตกต่างกันนั้นเกิดจากโรงเรียนและบ้านของนักเรียน ซึ่งมีความแตกต่างหลากหลาย ซึ่งทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจที่แตกต่างจากครูคนละคน พื้นฐานที่ต่างกันนี้ทำให้นักเรียนแต่ละคนมีความเข้าใจที่ต่างกัน เนื่องจากทั้งเด็กและผู้ใหญ่ได้รับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมาจากโลกรอบตัว หากครูรู้ว่ามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในสื่อการสอนหรือในตัวนักเรียน ครูมีหน้าที่ต้องลดและแก้ไขมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนดังกล่าว

สรุปผล แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น เป็นเครื่องมือประเมินผลที่ใช้ระบุมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ซึ่งประกอบด้วย 4 ระดับ โดยชั้นที่ 1 เป็นชั้นคำตอบ ที่มีคำตอบที่

ถูกต้อง 1 คำตอบ และตัวเลือกที่เป็นตัวลวง 3 ตัวเลือก ชั้นที่ 2 คือ ชั้นความมั่นใจส่วนคำตอบ ชั้นที่ 3 คือ ชั้นเหตุผล และชั้นที่ 4 ชั้นความมั่นใจส่วนเหตุผล ซึ่งในงานวิจัยนี้พบว่า นักเรียนมีโมโนทัศน์คลาดเคลื่อนในระดับต่ำ 31% มีโมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในระดับปานกลาง 53% และมีโมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในระดับสูง 16% และจำเป็นอย่างยิ่งที่ครูจะต้องตระหนักถึงมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ว่ามาจากนักเรียนหรือตัวครูเอง เนื่องจากมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนสามารถเกิดมาจากทั้งตัวนักเรียน ครู เพื่อน และหนังสือต่าง ๆ

Afif, Nugraha & Samsudin (2017) ศึกษาการพัฒนาแบบสำรวจแนวคิดด้านพลังงานและโมเมนตัม (EMCS) ด้วยแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น พบว่าแนวคิดเรื่องงานและพลังงานในวิชาฟิสิกส์ของนักเรียนเป็นสิ่งสำคัญในการสนับสนุนกระบวนการเรียนรู้ในห้องเรียน ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องใช้เครื่องมือทดสอบวินิจฉัย เพื่อวินิจฉัยแนวคิดของนักเรียนเกี่ยวกับงานและพลังงาน ผู้วิจัยตัดสินใจพัฒนาเครื่องมือทดสอบพลังงานและโมเมนตัม (EMCS) เป็นแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ เพื่อการพัฒนาแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น เรื่อง พลังงานและโมเมนตัม (EMCS) ในฐานะหนึ่งในเครื่องมือทดสอบวินิจฉัยเรื่องงานและพลังงาน วิธีการวิจัยใช้แบบจำลอง 4 มิติ (การนิยาม การออกแบบ การพัฒนา และการเผยแพร่) เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นได้รับการทดสอบกับนักเรียน 39 คน ในโรงเรียนมัธยมศึกษาหนึ่งแห่ง ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น เรื่อง พลังงานและโมเมนตัม (EMCS) สามารถวินิจฉัยระดับแนวคิด เรื่อง งานและพลังงานของนักเรียนได้ และสามารถสรุปได้ว่าการพัฒนาแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น เรื่อง พลังงานและโมเมนตัม (EMCS) เป็นหนึ่งในเครื่องมือทดสอบการวินิจฉัยที่มีศักยภาพที่สามารถแยกกลุ่มนักเรียนที่มีเข้าใจแนวคิด นักเรียนที่มีความเข้าใจผิด และนักเรียนไม่เข้าใจแนวคิดเรื่องงานและพลังงานเลย โครงสร้างของแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น เรื่อง พลังงานและโมเมนตัม (EMCS) ประกอบด้วย 4 ชั้นของการตอบ คือ 1. ชั้นคำตอบ 2. ชั้นความมั่นใจส่วนคำตอบ 3. ชั้นเหตุผล 4. ชั้นความมั่นใจส่วนเหตุผล ที่เลือกศึกษาเรื่องนี้เพราะหัวข้องานและพลังงานเป็นหนึ่งในแนวคิดทางฟิสิกส์ที่มีความซับซ้อน วิธีการวิจัยใช้แบบจำลอง 4 มิติ (การนิยาม การออกแบบ การพัฒนา และการเผยแพร่) กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียน 39 คน ในโรงเรียนมัธยมปลายแห่งหนึ่ง ระดับชั้น X1 ที่เรียนแนวคิดของงานและพลังงานคำถามที่ใช้ในการศึกษามีจำนวน 15 คำถาม รูปแบบของคำถาม มีดังนี้

1. หินที่เหมือนกันสองก้อนคือ A และ B ถูกยิงจากหน้าผาจากความสูงเดียวกัน และด้วยความเร็วเริ่มต้นที่เหมือนกัน v_0 หิน A ถูกยิงในแนวตั้งและหิน B ถูกยิงในแนวตั้ง (ดังรูป) คำใดคำหนึ่งต่อไปนี้อธิบายได้ดีที่สุดว่าหินชนิดใดที่มีความเร็วสูงกว่าก่อนที่มันจะกระทบพื้น



- ก. หินทั้งสองมีความเร็วเท่ากัน
 ข. หิน A เพราะเดินทางไกลกว่า
 ค. หิน A เพราะใช้เวลานานกว่า
 ง. หิน A เพราะเดินทางไกลและใช้เวลานานกว่า
 จ. หิน B เนื่องจากไม่มีแรงกระทำต่อแรงโน้มถ่วง
- ความมั่นใจส่วนคำตอบ

- ก. มั่นใจ
 ข. ไม่มั่นใจ

เหตุผล

- ก. วิธีโค้งมีผลต่อค่าความเร็วของวัตถุ
 ข. งานที่ทำโดยแรงอนุรักษ์ ดังนั้นพลังงานจลน์ขนาดใหญ่จึงยังคงอยู่
 ค. เวลาเป็นสัดส่วนกับความเร็ว หากใช้เวลานานแล้วความเร็วก็จะเพิ่มขึ้น
 ง. ระยะทางของวิถีทั้งสองแตกต่างกันคือเทียบกับทิศทางของแรงโน้มถ่วงที่จุด A และทิศทางของแรงโน้มถ่วงที่จุด B เพื่อให้ค่าของความเร่งที่เกิดขึ้นนั้นแตกต่างกัน

จ.

ความมั่นใจส่วนเหตุผล

- ก. มั่นใจ
 ข. ไม่มั่นใจ

แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับขั้นที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถใช้วินิจฉัยแนวคิดของนักเรียนเกี่ยวกับงานและพลังงานได้อย่างดี และพบว่าระดับความคิดของนักเรียนเกี่ยวกับแนวคิดของงานและพลังงานเป็นสิ่งที่น่าตกใจมาก โดยมีนักเรียนที่เข้าใจมีเพียงประมาณ 29.63% มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมากที่สุดคือ 45.69%

จากที่กล่าวมาข้างต้น พบว่า แบบทดสอบวินิจฉัยที่ผู้วิจัยหลาย ๆ ท่านได้สร้างไว้ส่วนใหญ่นั้นเป็นแบบทดสอบวินิจฉัยการเรียนรู้ทางด้านการกระบวนคิด การคิดวิเคราะห์ การคิดคำนวณ ซึ่งประกอบด้วยเนื้อหาด้านวิชาคณิตศาสตร์ วิชาวิทยาศาสตร์และทางด้านภาษา โดยที่คุณภาพของแบบทดสอบวินิจฉัยที่สร้างขึ้นอยู่ในเกณฑ์ดี ผู้วิจัยจึงสนใจสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับขั้น เพื่อหามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางการเรียนชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ ซึ่งเป็นแบบทดสอบที่น่าสนใจและยังไม่มีใครสร้างไว้มาก่อน



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกลำดับชั้น เพื่อศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน วิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย
2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
3. การเก็บรวบรวมข้อมูล
4. การวิเคราะห์ข้อมูล
5. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2560 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จำนวน 4,200 คน จากโรงเรียนทั้งหมด 25 โรงเรียน ในจังหวัดสมุทรปราการ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 6 (สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 6, 2560)

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2560 แผนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ในจังหวัดสมุทรปราการ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 6 ผู้วิจัยใช้กลุ่มตัวอย่าง รวมจำนวน 420 คน โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างเพื่อทำการศึกษา เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ทดสอบเพื่อสำรวจมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน ใช้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 140 คน

กลุ่มที่ 2 ทดสอบเพื่อตรวจสอบคุณภาพของแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกลำดับชั้น ใช้กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 105 คน

กลุ่มที่ 3 ทดสอบเพื่อจำแนกกลุ่มแนวคิดและวิเคราะห์หามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ใช้กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 175 คน

รายละเอียดของการสุ่มกลุ่มตัวอย่างของแต่ละกลุ่ม มีดังนี้

กลุ่มที่ 1 ทดสอบเพื่อสำรวจจมนิทศน์ที่คลาดเคลื่อน ใช้กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 140 คน ซึ่งได้มาโดยวิธีการสุ่มแบบหลายขั้นตอน (Multi Stage Random Sampling) มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 กำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง ผู้วิจัยใช้กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 140 คน

ขั้นที่ 2 ทำการสุ่มกลุ่มตัวอย่างมีขั้นตอน ดังนี้

2.1 ใช้อำเภอเป็นหน่วยในการสุ่ม จาก 6 อำเภอในจังหวัดสมุทรปราการ ทำการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่ม (Cluster random sampling) มา 50% ได้ 3 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเมืองสมุทรปราการ อำเภอบางบ่อ และอำเภอบางพลี ประกอบด้วยโรงเรียน 17 โรงเรียน

2.2 จำแนกโรงเรียนทั้งหมด 17 โรงเรียน จาก 3 อำเภอ เป็น 3 ขนาด โดยใช้จำนวนนักเรียนเป็นเกณฑ์ในการแบ่ง (ตาราง 15) ดังนี้

โรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ มีจำนวนตั้งแต่ 2,500 คนขึ้นไป

โรงเรียนขนาดใหญ่ มีนักเรียนตั้งแต่ 1,501 - 2,500

โรงเรียนขนาดกลางและขนาดเล็ก มีนักเรียนตั้งแต่ 0 - 1,500

2.3 สุ่มแบบแบ่งชั้นภูมิ (Stratified sampling) โดยใช้ขนาดโรงเรียนเป็นหน่วยการสุ่ม ผู้วิจัยสุ่มได้โรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ จำนวน 2 โรงเรียนขนาดใหญ่ จำนวน 1 โรงเรียน และโรงเรียนขนาดกลางและขนาดเล็ก จำนวน 1 โรงเรียน ได้โรงเรียนรวมทั้งสิ้น 4 โรงเรียน

2.4 สุ่มห้องเรียนในแต่ละโรงเรียน โรงเรียนละ 1 ห้อง โดยใช้การสุ่มแบบแบ่งกลุ่ม (Cluster random sampling จากโรงเรียน 4 โรงเรียน ผู้วิจัยสุ่มได้ห้องเรียน 4 ห้อง

2.5 สุ่มนักเรียนในแต่ละห้องเรียน ห้องเรียนละ 35 คน ด้วยการสุ่มอย่างง่าย (Simple Random Sampling) เพื่อให้ได้จำนวนกลุ่มตัวอย่างตามที่กำหนดไว้ (ตาราง 16) คือ ห้องเรียน 4 ห้อง ห้องละ 35 คน รวมจำนวน 140 คน

กลุ่มที่ 2 ทดสอบเพื่อตรวจสอบคุณภาพของแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกที่ลำดับขั้น ใช้กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 105 คน คือ นักเรียนโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ 35 คน โรงเรียนขนาดใหญ่ 35 คน และโรงเรียนขนาดกลาง 35 คน

กลุ่มที่ 3 ทดสอบเพื่อจำแนกกลุ่มแนวคิดและวิเคราะห์หิมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ใช้กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 175 คน ซึ่งได้มาโดยวิธีการสุ่มแบบหลายขั้นตอน (Multi Stage Random Sampling) มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 กำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง ผู้วิจัยใช้กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 175 คน

ขั้นที่ 2 ทำการสุ่มกลุ่มตัวอย่างมีขั้นตอน ดังนี้

2.1 ใช้อำเภอเป็นหน่วยในการสุ่ม จาก 6 อำเภอในจังหวัดสมุทรปราการ ทำการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่ม (Cluster random sampling) มา 50% ได้ 3 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเมืองสมุทรปราการ อำเภอบางบ่อ และอำเภอบางพลี ประกอบด้วยโรงเรียน 17 โรงเรียน

2.2 จำแนกโรงเรียนทั้งหมด 17 โรงเรียน จาก 3 อำเภอ เป็น 3 ขนาด โดยใช้จำนวนนักเรียนเป็นเกณฑ์ในการแบ่ง ได้โรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ โรงเรียนขนาดใหญ่ โรงเรียนขนาดกลางและขนาดเล็ก

2.3 สุ่มแบบแบ่งชั้นภูมิ (Stratified sampling) โดยใช้ขนาดโรงเรียนเป็นหน่วยการสุ่ม ผู้วิจัยสุ่มได้โรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ 3 โรงเรียน โรงเรียนขนาดใหญ่ 1 โรงเรียน และโรงเรียนขนาดกลางและขนาดเล็ก 1 โรงเรียน ได้โรงเรียนรวมทั้งสิ้น 5 โรงเรียน

2.4 สุ่มห้องเรียนในแต่ละโรงเรียน โรงเรียนละ 1 ห้อง โดยใช้การสุ่มแบบแบ่งกลุ่ม (Cluster random sampling) จากโรงเรียน 5 โรงเรียน ผู้วิจัยสุ่มได้ห้องเรียน 5 ห้อง

2.5 สุ่มนักเรียนในแต่ละห้องเรียน ห้องเรียนละ 35 คน ด้วยการสุ่มอย่างง่าย (Simple Random Sampling) เพื่อให้ได้จำนวนกลุ่มตัวอย่างตามที่กำหนดไว้ คือ ห้องเรียน 5 ห้อง ห้องละ 35 คน รวมจำนวน 175 คน

ตาราง 15 โรงเรียนในสังกัด สพม.6 ปีการศึกษา 2560

| ที่ | โรงเรียน | อำเภอ | จำนวน นักเรียน | ขนาดโรงเรียน |
|-----|----------------------------------|------------------|-------------------|---------------|
| 1 | สมุทรปราการ | เมืองสมุทรปราการ | 3,252 | ขนาดใหญ่พิเศษ |
| 2 | สตรีสมุทรปราการ | เมืองสมุทรปราการ | 2,825 | ขนาดใหญ่พิเศษ |
| 3 | เทพศิรินทร์ สมุทรปราการ | เมืองสมุทรปราการ | 2,832 | ขนาดใหญ่พิเศษ |
| 4 | นวมินทราชินูทิศ สวนกุหลาบฯ สป. | เมืองสมุทรปราการ | 2,608 | ขนาดใหญ่พิเศษ |
| 5 | มัธยมวัดด่านสำโรง | เมืองสมุทรปราการ | 1,685 | ขนาดใหญ่ |
| 6 | ปทุมคงคา สมุทรปราการ | เมืองสมุทรปราการ | 1,819 | ขนาดใหญ่ |
| 7 | หาดอมราอักษรลักษณ์วิทยา | เมืองสมุทรปราการ | 1,160 | ขนาดกลาง |
| 8 | มัธยมวัดศรีจันทร์ประดิษฐ์ฯ | เมืองสมุทรปราการ | 880 | ขนาดกลาง |
| 9 | บางบ่อวิทยาคม | บางบ่อ | 2,698 | ขนาดใหญ่พิเศษ |
| 10 | นวมินทราชินูทิศ เตรียมอุดมศึกษาฯ | บางบ่อ | 2,486 | ขนาดใหญ่ |
| 11 | หลวงพ่อบานคลองด่านอนุสรณ์ | บางบ่อ | 1,202 | ขนาดกลาง |
| 12 | เป็ริงวิสุทธิาธิบดี | บางบ่อ | 259 | ขนาดเล็ก |
| 13 | บางพลีราษฎร์บำรุง | บางพลี | 2,683 | ขนาดใหญ่พิเศษ |
| 14 | พูลเจริญวิทยาคม | บางพลี | 2,572 | ขนาดใหญ่พิเศษ |
| 15 | ราชวินิตบางแก้ว | บางพลี | 3,643 | ขนาดใหญ่พิเศษ |
| 16 | บางแก้วประชาสรรค์ | บางพลี | 1,266 | ขนาดใหญ่ |
| 17 | ราชวินิตสุวรรณภูมิ | บางพลี | 791 | ขนาดกลาง |
| 18 | ราชประชาสมาสัย ฝ่ายมัธยมฯ | พระประแดง | 3,011 | ขนาดใหญ่พิเศษ |
| 19 | เตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้าฯ สป. | พระประแดง | 2,752 | ขนาดใหญ่พิเศษ |
| 20 | วัดทรงธรรม | พระประแดง | 2,214 | ขนาดใหญ่ |
| 21 | วิสุทธิกษัตริ์ | พระประแดง | 1,593 | ขนาดใหญ่ |
| 22 | บ่อมนาคราชสวาทยานนท์ | พระสมุทรเจดีย์ | 1,655 | ขนาดใหญ่ |
| 23 | สาขาสุทธิราชอุปถัมภ์ | พระสมุทรเจดีย์ | 91 | ขนาดเล็ก |
| 24 | มัธยมวัดใหม่สมุทรกิจวิทยาคม | พระสมุทรเจดีย์ | 235 | ขนาดเล็ก |
| 25 | บดินทรเดชา (สิงห์ สิงห์เสนี) สป. | บางเสาธง | 2,129 | ขนาดใหญ่พิเศษ |

ตาราง 16 กลุ่มตัวอย่าง ทั้ง 3 กลุ่ม รวมจำนวน 420 คน

| โรงเรียน | จำนวนนักเรียน | | | รวม |
|--|-----------------|--------------------|-----------------------|------------|
| | ทดสอบเพื่อสำรวจ | ทดสอบเพื่อหาคุณภาพ | ทดสอบเพื่อจำแนกกลุ่มฯ | |
| โรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษ | | | | |
| สมุทรปราการ | 35 | - | - | 35 |
| สตรีสมุทรปราการ | - | - | - | - |
| เทพศิรินทร์ สมุทรปราการ | - | - | - | - |
| นวมินทราชินูทิศ สวณกุลหลาฯ สป. | - | - | - | - |
| บางป่อวิทยาคม | - | - | 35 | 35 |
| บางพลีราษฎร์บำรุง | 35 | - | 35 | 70 |
| พูลเจริญวิทยาคม | - | - | 35 | 35 |
| ราชวินิตบางแก้ว | - | 35 | - | 35 |
| โรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่ | | | | |
| มัธยมวัดด่านสำโรง | 35 | - | 35 | 70 |
| ปทุมคงคา สมุทรปราการ | - | 35 | - | 35 |
| นวมินทราชินูทิศ เตรียมอุดมศึกษาฯ | - | - | - | - |
| บางแก้วประชาสรรค์ | - | - | - | - |
| โรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดกลางและขนาดเล็ก | | | | |
| หาดอมราอักษรลักษณ์วิทยา | - | - | - | - |
| มัธยมวัดศรีจันทร์ประดิษฐ์ฯ | 35 | 35 | - | 70 |
| หลวงพ่อบานคลองด่านอนุสรณ์ | - | - | 35 | 35 |
| ราชวินิตสุวรรณภูมิ | - | - | - | - |
| โรงเรียนแป็งวิสุทธาภิบัติ | - | - | - | - |
| รวม | 140 | 105 | 175 | 420 |

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยแบบทดสอบ ดังนี้

1. แบบทดสอบสำรวจ ซึ่งมีลักษณะเป็นแบบทดสอบอัตนัย ชนิดเติมคำตอบลงในช่องว่างที่เว้นไว้ พร้อมทั้งบอกเหตุผลของการตอบ จำนวน 29 ข้อ วิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ โดยยึดตามเนื้อหาและจุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อสำรวจและรวบรวมคำตอบที่ผิดหรือมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนต่าง ๆ ในแต่ละข้อ เพื่อใช้สร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับขั้น

2. แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับขั้น เพื่อศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน วิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ซึ่งเป็นแบบทดสอบที่สร้างขึ้นเพื่อศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในการเรียนวิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ จำนวน 24 ข้อ ลักษณะของแบบทดสอบ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนการตอบ คือ 1. ชั้นคำตอบ 2. ชั้นความมั่นใจ ส่วนคำตอบ 3. ชั้นเหตุผล และ 4. ชั้นความมั่นใจส่วนเหตุผล โดยชั้นคำตอบ (ชั้น Answer หรือ ชั้น A) และชั้นเหตุผล (ชั้น Reason หรือชั้น R) เป็นแบบปรนัยแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก ข้อคำถามจะเป็นคำถามที่มาจากแบบทดสอบสำรวจ ตัวลงได้จากคำตอบผิดจากแบบทดสอบสำรวจ ในแต่ละขั้นจะต้องระบุคะแนนความมั่นใจ (Confidence) ที่มีต่อคำตอบทั้งในชั้นคำตอบ (ชั้น Answer หรือ ชั้น A) และชั้นเหตุผล (ชั้น Reason หรือชั้น R) โดยมีระดับความมั่นใจในการตอบ 4 ระดับ คือ 1 = คาดเดา 2 = ไม่มั่นใจ 3 = มั่นใจ และ 4 = มั่นใจมาก เพื่อตรวจสอบมโนทัศน์และความเข้าใจของนักเรียนในเรื่องนั้น ๆ อย่างละเอียดถี่ถ้วน และเชื่อวาระดับความมั่นใจที่ดีควรสูงเมื่อคำตอบถูกต้อง และความมั่นใจควรต่ำเมื่อไม่แน่ใจในคำตอบนั้นหรือคำตอบนั้นผิด โดยหากคำตอบนั้นผิดแต่มีระดับความมั่นใจในคำตอบสูง แสดงว่านักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่แท้จริง (Genuine misconception) หากคำตอบนั้นผิดและมีระดับความมั่นใจในการตอบต่ำ แสดงว่านักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนปลอม (Spurious misconception)

ผู้วิจัยสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับขั้น ให้สอดคล้องกับสาระมาตรฐานตัวชี้วัด เนื้อหา และจุดประสงค์การเรียนรู้ โดยเลือกเนื้อหาในสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ สาระการเรียนรู้ที่ 1 สิ่งมีชีวิตกับกระบวนการดำรงชีวิต รายวิชาพื้นฐานชีววิทยา สำหรับนักเรียนที่เน้นวิทยาศาสตร์ บทที่ 3 การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมและความหลากหลายทางชีวภาพ ในบทนี้มีเนื้อหาย่อยประกอบด้วย ลักษณะทางพันธุกรรม โครโมโซมและสารพันธุกรรม การแบ่งเซลล์ การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม การเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม เทคโนโลยีชีวภาพ และความหลากหลายทางชีวภาพ (กระทรวงศึกษาธิการ, 2546)

สาระที่ 1 สิ่งมีชีวิตกับกระบวนการดำรงชีวิต

มาตรฐาน ว 1.2 เข้าใจกระบวนการและความสำคัญของการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต ความหลากหลายทางชีวภาพ การใช้เทคโนโลยีชีวภาพที่มีผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

ตัวชี้วัดช่วงชั้น 1. อธิบายกระบวนการถ่ายทอดสารพันธุกรรม การแปรผันทางพันธุกรรม มิวเทชัน และการเกิดความหลากหลายทางชีวภาพ

| ตอนที่ | เนื้อหา |
|--------|------------------------------|
| 1 | ลักษณะทางพันธุกรรม |
| 2 | โครโมโซมและสารพันธุกรรม |
| 3 | การแบ่งเซลล์ |
| 5 | การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม |
| 6 | การเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม |
| 7 | เทคโนโลยีชีวภาพ |
| 8 | ความหลากหลายทางชีวภาพ |

ผู้วิจัยเลือกสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น เรื่อง การแบ่งเซลล์ เพราะเป็นเนื้อหาที่ค่อนข้างยาก และนักเรียนยังมีมีโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในเรื่องนี้มาก และการแบ่งเซลล์ ยังมีความสำคัญในการเรียนรู้เนื้อหาอื่น ๆ ในวิชาชีววิทยาที่เกี่ยวข้องด้วย เช่น เซลล์ของสิ่งมีชีวิต การสืบพันธุ์และการเจริญเติบโตของสัตว์ การสืบพันธุ์ของพืชดอก การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม การเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม และเทคโนโลยีชีวภาพ จากนั้นผู้วิจัยดำเนินการสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น ตามโครงสร้างของแบบทดสอบต่อไปนี้

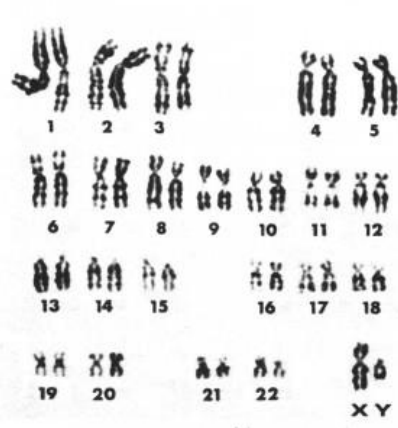
ตาราง 17 โครงสร้างของแบบทดสอบ เรื่อง การแบ่งเซลล์ (Cell Division)

| ที่ | เนื้อหา | พฤติกรรม | | | | รวม (ข้อ) |
|-----|---------------------------|----------|------------|------------|-----------|-----------|
| | | ความจำ | ความเข้าใจ | การนำไปใช้ | วิเคราะห์ | |
| 1 | พื้นฐานของโครโมโซม | - | 3 | 1 | - | 4 |
| 2 | ภาพรวมวัฏจักรเซลล์ | 1 | 3 | - | 2 | 6 |
| 3 | การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส | 3 | 2 | - | - | 5 |
| 4 | การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส | 1 | 2 | - | 2 | 5 |
| 5 | การแบ่งไซโทพลาสซึม | - | 1 | - | 2 | 3 |
| 6 | สิ่งที่ได้จากการแบ่งเซลล์ | - | 3 | - | - | 3 |
| 7 | บทประยุกต์ | - | 1 | - | 2 | 3 |
| | รวม | 5 | 15 | 1 | 8 | 29 |

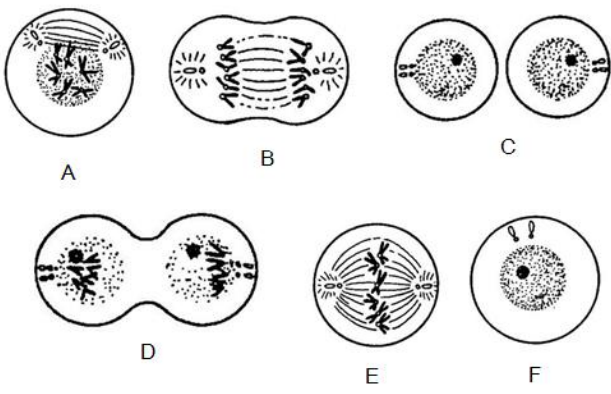
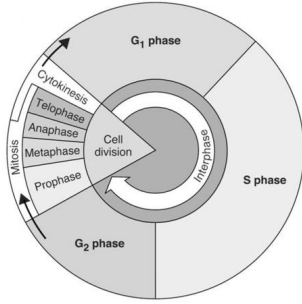
ตาราง 18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อหากับจุดประสงค์การเรียนรู้

| ที่ | เนื้อหา | จุดประสงค์การเรียนรู้ |
|-----|---------------------------|---|
| 1 | พื้นฐานของโครโมโซม | 1. นักเรียนสามารถอธิบายพื้นฐานของโครโมโซมได้ |
| 2 | ภาพรวมวัฏจักรเซลล์ | 2. นักเรียนสามารถอธิบายภาพรวมของวัฏจักรเซลล์ได้ |
| 3 | การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส | 3. นักเรียนสามารถบอกและอธิบายความสำคัญ ขั้นตอนการแบ่งเซลล์ การเปลี่ยนแปลงของนิวเคลียสในการแบ่งแบบไมโทซิสได้ |
| 4 | การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส | 4. นักเรียนสามารถบอกและอธิบายความสำคัญ ขั้นตอนการแบ่งเซลล์ การเปลี่ยนแปลงของนิวเคลียสในการแบ่งแบบไมโอซิสได้ |
| 5 | การแบ่งไซโทพลาสซึม | 5. นักเรียนสามารถบอกและอธิบายการแบ่งไซโทพลาสซึมได้ |
| 6 | สิ่งที่ได้จากการแบ่งเซลล์ | 6. นักเรียนสามารถอธิบายจำนวนเซลล์ที่ได้ และความแตกต่างของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและไมโอซิสได้ |
| 7 | บทประยุกต์ | 7. นักเรียนสามารถประยุกต์ใช้ความรู้เรื่องการแบ่งเซลล์ได้ |

ตาราง 19 แสดงความสัมพันธ์ของเนื้อหา มโนทัศน์ และลักษณะใจหาย

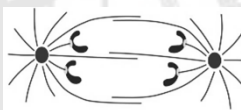
| เนื้อหา | มโนทัศน์ | ลักษณะใจหาย |
|-------------------------|--|--|
| 1. พื้นฐานของโครโมโซม | ยีนบนโครโมโซม ชุดของโครโมโซม ชนิดของโครโมโซม | 1. ยีนบนโครโมโซมที่กำหนดสีของดวงตาพบในเซลล์ใด 2. จงวาดรูปเซลล์ที่มีชุดโครโมโซม $2n = 6$ 3. เซลล์เส้นผมจะมีโครโมโซมแบบใด และมีจำนวนชุดโครโมโซมเป็นเท่าใด |
| ลักษณะของโครโมโซมมนุษย์ | ลักษณะของโครโมโซมมนุษย์ | 4. การทำคาริโอไทป์ (Karyotype) เป็นการศึกษารายละเอียดของโครโมโซมแต่ละแห่งในนิวเคลียสของเซลล์ของสิ่งมีชีวิต สิ่งใดเป็นข้อมูลที่ได้จากการศึกษาคาริโอไทป์ด้านล่าง |
| | |  |
| 2. ภาพรวมวัฏจักรเซลล์ | ความหมายของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและไมโอซิส | 5. จากแผนภาพด้านล่าง หมายเลข 1 และ 2 คือการแบ่งเซลล์แบบใด |
| | |  |

ตาราง 19 (ต่อ)

| เนื้อหา | มโนทัศน์ | ลักษณะเฉพาะ |
|--|---------------------------|---|
| 2. ภาพรวม วัฏจักรเซลล์ (ต่อ) | ขั้นตอนใน วัฏจักรเซลล์ | 6. ลำดับขั้นตอนในวัฏจักรเซลล์ควรเป็นอย่างไร  |
| ความเข้าใจใน วัฏจักรเซลล์ | | 7. จากแผนภาพวัฏจักรเซลล์ยูคาริโอต ในระยะใดบ้าง ที่แต่ละโครโมโซมมี 2 โครมาทิด  |
| ผลที่ได้ของการ แบ่งเซลล์ | | 8. เซลล์ผิวหนึ่งเดิมและเซลล์ผิวหนึ่งที่แบ่งตัวใหม่มีข้อมูล ทางพันธุกรรมแตกต่างกันหรือไม่ และถ้ามีโครโมโซม 4 แห่ง เซลล์ลูกจะเป็นแบบใด |
| ออร์แกเนลล์ที่ เกี่ยวข้องในการ แบ่งเซลล์ | | 9. เส้นใยสปินเดิล (Spindle fiber) สร้างมาจากอะไร |
| จำนวนโครโมโซม หลังการแบ่งเซลล์ | | 10. จำนวนโครโมโซมของไซโกต (zygote) ที่ได้พัฒนาขึ้น จากการปฏิสนธิของเซลล์ไข่ที่มีโครโมโซม 3 แห่ง คือ |

ตาราง 19 (ต่อ)

| เนื้อหา | มโนทัศน์ | ลักษณะโจทย์ |
|---------------------------|--|--|
| 3. การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส | ลักษณะของเซลล์ที่ได้จากการแบ่งไมโทซิส | 11. การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส เซลล์ใหม่ที่ได้มีลักษณะเป็นอย่างไร |
| | เหตุการณ์ที่เกิดในการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส | 12. สิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งมีจำนวนโครโมโซม 12 คู่ ในการศึกษาดูเซลล์ระยะเมตาเฟสของไมโทซิส จะมีโครมาทิดกี่เส้น |
| | ระยะอินเตอร์เฟส | 13. ข้อใดเป็นเหตุการณ์ที่พบในระยะอินเตอร์เฟสของการแบ่งแบบไมโทซิส |
| | ระยะ M-phase | 14. การแบ่งนิวเคลียสของเซลล์ในภาพอยู่ในระยะใด และสิ่งมีชีวิตนี้มีจำนวนโครโมโซมในร่างกายเป็นแบบใด |
| | ระยะ M-phase | 15. ระยะใดของการแบ่งเซลล์ที่เห็นโครโมโซมชัดเจนที่สุดจากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ |
| 4. การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส | ระยะอินเตอร์เฟส | 16. การจำลองดีเอ็นเอในไมโอซิส เกิดในระยะใด |
| | ระยะ M-phase | 17. Crossing over เกิดในขั้นตอนใดของการแบ่งเซลล์ |
| | เหตุการณ์ที่เกิดในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส | 18. เซลล์สัตว์ชนิดหนึ่งมีโครโมโซมเป็น $2n = 4$ จงวาดภาพเซลล์นี้ขณะแบ่งเซลล์ในชั้นเมตาเฟส I ไมโอซิส |
| | จำนวนโครโมโซมและขนาดของเซลล์ในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส | 19. เซลล์ X เป็นผลของไมโอซิส I เมื่อเซลล์ X แบ่งไมโอซิส II เซลล์ที่ได้จะมีลักษณะอย่างไร จำนวนโครโมโซมของแต่ละเซลล์ คือ _____ และขนาดของเซลล์ คือ _____ |
| | ระยะ M-phase | 20. จากภาพ คือระยะใดของการแบ่งเซลล์ |



ตาราง 19 (ต่อ)

| เนื้อหา | มโนทัศน์ | ลักษณะโจทย์ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|---|--|----------------------|----------------|---------|---------|----|---------------|---------|---------|----|-----------------|----------------------|----------------------|----|-----------------------|-------|----|----|--------------------------------------|-------|----|
| 5. การแบ่ง ไซโทพลาสซึม | การแบ่ง | 21. พืชไม่มีการคอดกิวของเซลล์ (Cleavage furrow) ในขั้นตอนการแบ่งไซโทพลาสซึม เพราะอะไร | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ไซโทพลาสซึม ในเซลล์สิ่งมีชีวิต | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ผลที่ได้ของการ แบ่งไซโทพลาสซึม | 22. ในกระบวนการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ถ้าไม่มี การแบ่งไซโทพลาสซึม ผลจะเป็นอย่างไร | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ออร์แกเนลล์ ที่ใช้ในการแบ่ง ไซโทพลาสซึม | 23. ออร์แกเนลล์ใดที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการแบ่ง ไซโทพลาสซึมในเซลล์สัตว์และเซลล์พืช | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6. สิ่งที่ได้จาก การแบ่งเซลล์ | จำนวนเซลล์ที่ได้ | 24. เซลล์ร่างกายชนิดหนึ่งใช้เวลาในการแบ่ง 1 รอบ ประมาณ 15 นาที ถ้าเริ่มต้นมีเซลล์จำนวน 100 เซลล์ เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง มีเซลล์ที่เกิดขึ้นจำนวนเท่าใด | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | หลังการแบ่งเซลล์ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ความแตกต่างของ ระยะไมโทซิส และไมโอซิส | 25. ข้อเปรียบเทียบของการแบ่งเซลล์ไมโทซิสและไมโอซิส ข้อใดไม่ถูกต้อง | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>ข้อเปรียบเทียบ</th> <th>ไมโทซิส</th> <th>ไมโอซิส</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ก.</td> <td>จำนวนเซลล์ลูก</td> <td>2 เซลล์</td> <td>2 เซลล์</td> </tr> <tr> <td>ข.</td> <td>ขนาดของเซลล์ลูก</td> <td>เล็กกว่า เซลล์แม่</td> <td>เล็กกว่า เซลล์แม่</td> </tr> <tr> <td>ค.</td> <td>การเกิดครอซซิงโอเวอร์</td> <td>ไม่มี</td> <td>มี</td> </tr> <tr> <td>ง.</td> <td>การแยกโครโมโซม คู่เหมือนออกจากกัน</td> <td>ไม่มี</td> <td>มี</td> </tr> </tbody> </table> | | ข้อเปรียบเทียบ | ไมโทซิส | ไมโอซิส | ก. | จำนวนเซลล์ลูก | 2 เซลล์ | 2 เซลล์ | ข. | ขนาดของเซลล์ลูก | เล็กกว่า เซลล์แม่ | เล็กกว่า เซลล์แม่ | ค. | การเกิดครอซซิงโอเวอร์ | ไม่มี | มี | ง. | การแยกโครโมโซม คู่เหมือนออกจากกัน | ไม่มี | มี |
| | ข้อเปรียบเทียบ | ไมโทซิส | ไมโอซิส | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ก. | จำนวนเซลล์ลูก | 2 เซลล์ | 2 เซลล์ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ข. | ขนาดของเซลล์ลูก | เล็กกว่า เซลล์แม่ | เล็กกว่า เซลล์แม่ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ค. | การเกิดครอซซิงโอเวอร์ | ไม่มี | มี | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ง. | การแยกโครโมโซม คู่เหมือนออกจากกัน | ไม่มี | มี | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | การตายของเซลล์ | 26. เซลล์ใดเมื่อตายไปแล้ว จะไม่มีการสร้างเซลล์ใหม่ ขึ้นมาทดแทน | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7. บท ประยุกต์ | ความคิดรวบยอด ของการแบ่งเซลล์ | 27. เหตุการณ์ต่อไปนี้ พบในขั้นตอนใดของการแบ่งเซลล์ 1. การแยกคู่ Homologous Chromosome 2. การแยกคู่ Sister chromatid 3. การสร้าง Spindle fiber 4. การสลายของ Nucleolus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

ตาราง 19 (ต่อ)

| เนื้อหา | มโนทัศน์ | ลักษณะโจทย์ | | | |
|----------------------------|----------------------------|---|------------|-----------|-----------|
| 7. บท ประยุกต์ (ต่อ) | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | ก. | แอนาเฟส I | แอนาเฟส II | โปรเฟส | โปรเฟส |
| | ข. | แอนาเฟส I | แอนาเฟส II | โปรเฟส I | โปรเฟส I |
| | ค. | แอนาเฟส I | แอนาเฟส | โปรเฟส II | โปรเฟส II |
| | ง. | แอนาเฟส II | แอนาเฟส | โปรเฟส II | โปรเฟส I |
| | โรคมะเร็งกับวัฏจักรเซลล์ | 28. จงอธิบายว่ามะเร็งเกี่ยวข้องกับวัฏจักรเซลล์อย่างไร | | | |
| | ความผิดปกติของการแบ่งเซลล์ | 29. กลุ่มอาการเทอร์เนอร์ มีโครโมโซม 45 แห่ง (44+XO) สาเหตุที่เกิดขึ้นน่าจะเป็นเพราะอะไร | | | |

ตาราง 20 แสดงตัวอย่างข้อสอบที่สอดคล้องกับเนื้อหาและจุดประสงค์การเรียนรู้

| ที่ | เนื้อหา | จุดประสงค์ การเรียนรู้ | แบบทดสอบสำรวจ | แบบทดสอบวินิจฉัย หลายตัวเลือกี่ลำดับขั้น |
|-----|--|--|---|--|
| 1 | พื้นฐานของ โครโมโซม (มโนทัศน์ เรื่อง ยีนบน โครโมโซม) | 1. นักเรียน สามารถอธิบาย พื้นฐานของ โครโมโซมได้ | 1. ยีนบนโครโมโซมที่ กำหนดสีของดวงตาพบ ในเซลล์ใด ตอบ _____ | 1. ยีนบนโครโมโซมที่กำหนด สีของดวงตามนุษย์พบได้ใน เซลล์ใด ก. เซลล์กระจกตา ข. เซลล์อสุจิ ค. เซลล์สมอง ง. พบได้ทุกเซลล์ เหตุผลของคำตอบ 1. กระจกตาเป็นบริเวณ ที่มีผลต่อสีของดวงตา 2. โครโมโซม X และ Y ในเซลล์อสุจิมียีนอยู่ทั้งหมด 3. สมองเป็นศูนย์กลาง ควบคุมการทำงานทั้งหมด 4. ยีนที่กำหนดลักษณะ พันธุกรรมพบได้ในทุกเซลล์ |

ตัวอย่างแบบทดสอบวินิจฉัยที่ใช้ในงานวิจัย

ตัวอย่างแบบทดสอบวินิจฉัยในวิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ สำหรับนักเรียน
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 มีตัวอย่างแบบทดสอบสำรวจ และตัวอย่างแบบทดสอบวินิจฉัยหลาย
ตัวเลือก สี่ลำดับชั้น ดังนี้

(ตัวอย่างเครื่องมือ แบบทดสอบสำรวจ)

แบบทดสอบสำรวจ

เรื่อง การแบ่งเซลล์ (Cell Division) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

วิชา ชีววิทยา จำนวน 29 ข้อ เวลา 60 นาที

คำชี้แจง ให้นักเรียนเติมข้อความสั้น ๆ พร้อมระบุเหตุผลลงในช่องว่าง

1. ยีนบนโครโมโซมที่กำหนดสีของดวงตาพบในเซลล์ใด

ตอบ _____

เหตุผลของคำตอบ _____

2. จงวาดรูป เซลล์ที่มีชุดโครโมโซม $2n = 6$

ตอบ _____

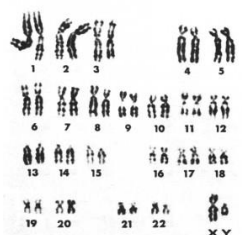
เหตุผลของคำตอบ _____

3. เซลล์เส้นผมจะมีโครโมโซมแบบใด และมีจำนวนชุดโครโมโซมเป็นเท่าใด

ตอบ _____

เหตุผลของคำตอบ _____

4. การทำคาริโอไทป์ (Karyotype) เป็นการศึกษารายละเอียดของโครโมโซมแต่ละแท่งในนิวเคลียส
ของเซลล์ของสิ่งมีชีวิต สิ่งใดเป็นข้อมูลที่ได้จากการศึกษาคาริโอไทป์ดังกล่าว



ตอบ _____

เหตุผลของคำตอบ _____

(ตัวอย่างเครื่องมือ แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกส์ลำดับขั้น)

แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกส์ลำดับขั้น

เรื่อง การแบ่งเซลล์ (Cell Division) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

วิชา ชีววิทยา จำนวน 24 ข้อ เวลา 50 นาที

คำชี้แจง แบบทดสอบนี้ทำเพื่อวินิจฉัยคนที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน ไม่มีผลต่อคะแนนที่ใช้ในการตัดเกรด ให้ตั้งใจทำด้วยตนเอง แบ่งเป็น 7 ตอน จำนวน 24 ข้อ

1. พื้นฐานของโครโมโซม
2. ภาพรวมวัฏจักรเซลล์
3. การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส
4. การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส
5. การแบ่งไซโทพลาสซึม
6. หลังจากการแบ่งเซลล์
7. บทประยุกต์

โดยในแต่ละข้อ นักเรียนต้องตอบคำตอบ 4 ตำแหน่ง

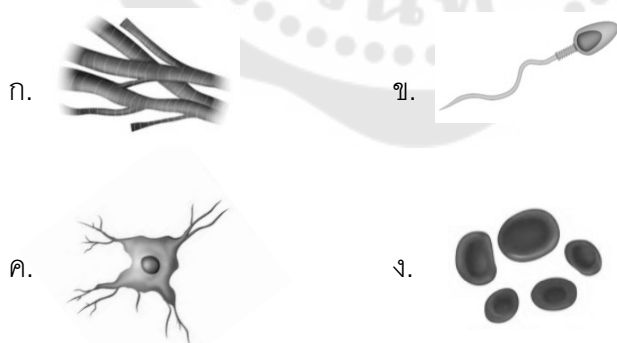
คือ ชั้นคำตอบ ชั้นความมั่นใจส่วนคำตอบ ชั้นเหตุผล ชั้นความมั่นใจส่วนเหตุผล

โดยค่าความมั่นใจ มี 4 ระดับ คือ

| | | | |
|------------|---------------|------------|---------------|
| 1 = คาดเดา | 2 = ไม่มั่นใจ | 3 = มั่นใจ | 4 = มั่นใจมาก |
|------------|---------------|------------|---------------|

ตัวอย่าง

00. เซลล์ชนิดใดต่อไปนี้มีพันธุกรรมต่างกันทุกเซลล์



ความมั่นใจ ส่วนคำตอบ

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|

คาดเดา → มั่นใจมาก

ความมั่นใจ ส่วนเหตุผล

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|

เหตุผล

1. เซลล์บางชนิดมีพันธุกรรมต่างกัน เพราะเกิดจากการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส
2. เซลล์บางชนิดมีพันธุกรรมต่างกัน เพราะเกิดจากการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส
3. เซลล์ร่างกายมีพันธุกรรมที่ต่างกัน เนื่องจากเป็นเซลล์ดิพลอยด์ (2n)
4. เซลล์สืบพันธุ์มีพันธุกรรมต่างกัน สามารถแบ่งเซลล์ได้ตลอดชีวิต

(ตัวอย่างข้อคำถาม)

1. ยืนยันโครโมโซมที่กำหนดสีของดวงตามนุษย์พบได้ในเซลล์ใด

- ก. เซลล์กระจกตา
- ข. เซลล์อสุจิ
- ค. เซลล์สมอง
- ง. พบได้ทุกเซลล์

| | | | |
|-----------------------|---|---|-----------|
| ความมั่นใจ ส่วนคำตอบ | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| คาดเดา | | → | มั่นใจมาก |
| ความมั่นใจ ส่วนเหตุผล | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |

เหตุผล

1. กระจกตาเป็นบริเวณที่มีผลต่อสีของดวงตา
2. โครโมโซม X และ Y ในเซลล์อสุจิมียืนอยู่ทั้งหมด
3. สมองเป็นศูนย์กลางควบคุมการทำงานทั้งหมด
4. ยีนที่กำหนดลักษณะพันธุกรรมพบได้ในทุกเซลล์

2. จงวาดรูปเซลล์ที่มีชุดโครโมโซม $2n = 6$

- ก.
- ข.
- ค.
- ง.

| | | | |
|-----------------------|---|---|-----------|
| ความมั่นใจ ส่วนคำตอบ | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| คาดเดา | | → | มั่นใจมาก |
| ความมั่นใจ ส่วนเหตุผล | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |

เหตุผล

1. ชุดโครโมโซมในโพลี คือ 2 ดังนั้น จำนวนโครโมโซมทั้งหมด คือ $6 \times 2 = 12$
2. ดิพลอยด์ คือ เซลล์ที่ประกอบด้วยโครโมโซม 2 ชุด ($2n$) โดยที่โครโมโซมจะอยู่กันเป็นคู่ ๆ
3. n แสดงถึง จำนวนชุดโครโมโซมที่เหมือนกัน ดังนั้น $2n = 6$ แสดงว่า มีโครโมโซม 3 ชุดที่เหมือนกัน
4. $2n = 6$ แสดงว่า เซลล์นั้นมีโครโมโซม 3 แท่ง แต่ละแท่งมี 2 โครมาทิด รวมเป็น 6 โครมาทิด

(ตัวอย่างกระดาษคำตอบ)

กระดาษคำตอบแบบทดสอบวินิจฉัยตัวเลือกลำดับชั้น

เรื่อง การแบ่งเซลล์ (Cell Division) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

วิชา ชีววิทยา จำนวน 24 ข้อ เวลา 50 นาที

ตัวอย่างการกากบาทลงกระดาษคำตอบ

| | | | | | | | | |
|--------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-----------------------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|
| ข้อ 00 | ชั้นคำตอบ | | | | ความมั่นใจ ส่วนคำตอบ | | | |
| | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 1 | 2 | <input checked="" type="checkbox"/> | 4 |
| | ชั้นเหตุผล | | | | ความมั่นใจ ส่วนเหตุผล | | | |
| | 1 | 2 | 3 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 | 2 | 3 | <input checked="" type="checkbox"/> |

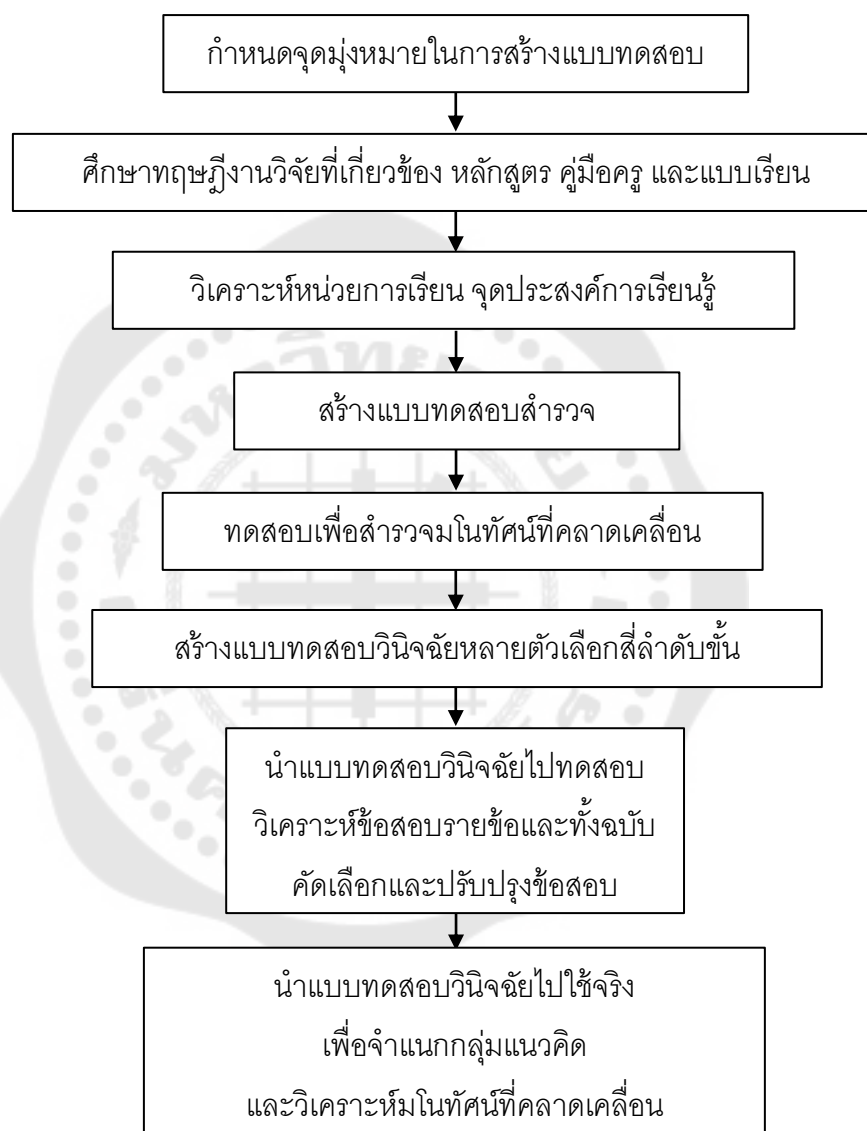
| | | | | | | | | |
|-------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|---|---|---|
| ข้อ 1 | ชั้นคำตอบ | | | | ความมั่นใจ ชั้นคำตอบ | | | |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | ชั้นเหตุผล | | | | ความมั่นใจ ชั้นเหตุผล | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |

| | | | | | | | | |
|-------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|---|---|---|
| ข้อ 2 | ชั้นคำตอบ | | | | ความมั่นใจ ชั้นคำตอบ | | | |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | ชั้นเหตุผล | | | | ความมั่นใจ ชั้นเหตุผล | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |

| | | | | | | | | |
|-------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|---|---|---|
| ข้อ 3 | ชั้นคำตอบ | | | | ความมั่นใจ ชั้นคำตอบ | | | |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | ชั้นเหตุผล | | | | ความมั่นใจ ชั้นเหตุผล | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |

วิธีดำเนินการสร้างเครื่องมือและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับชั้น และการเก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อเพื่อจำแนกกลุ่มแนวคิดและวิเคราะห์หมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน วิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ดังแสดงในภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 2 ลำดับชั้นในการสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับชั้น

จากภาพประกอบ ลำดับชั้นในการสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับชั้น เพื่อศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน วิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. กำหนดจุดมุ่งหมายในการสร้าง ผู้วิจัยได้กำหนดจุดมุ่งหมายในการสร้างแบบทดสอบ เพื่อพัฒนาแบบทดสอบวินิจฉัยในการเรียน เรื่อง การแบ่งเซลล์ เพื่อนำไปทดสอบนักเรียน เมื่อเรียนจบเรื่อง การแบ่งเซลล์ ว่านักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในการเรียนอย่างไรบ้าง เพื่อนำข้อมูลมาพิจารณาในการสอนซ่อมเสริมได้ตรงจุดและเป็นแนวทางในการปรับปรุงการเรียนการสอนต่อไป

2. ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยของแบบทดสอบวินิจฉัย คู่มือครูและแบบเรียนวิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ซึ่งแบ่งเนื้อหาสาระทั้งหมดเป็น 3 หน่วยการเรียนรู้ ดังนี้

- | | |
|-----------------------|--------------------------------|
| หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 | ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม |
| หน่วยการเรียนรู้ที่ 2 | คุณภาพของสิ่งมีชีวิต |
| หน่วยการเรียนรู้ที่ 3 | การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม ฯ |

ผู้วิจัยได้ใช้หน่วยการเรียนรู้ที่ 3 เรื่อง การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมและความหลากหลายทางชีวภาพ เนื้อหาย่อย เรื่อง การแบ่งเซลล์ นำมาสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยเพื่อใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในครั้งนี้

3. วิเคราะห์ชื่อเรื่อง ตัวชี้วัด เนื้อหา จุดประสงค์การเรียนรู้ และมโนทัศน์ในหน่วยการเรียนรู้ เรื่อง การแบ่งเซลล์ เพื่อกำหนดจำนวนข้อสอบให้เหมาะสม โดยแบ่งเป็นเนื้อหาย่อยรวมทั้งสิ้น 7 ตอน จำนวนทั้งสิ้น 29 ข้อ ดังนี้

- | | |
|---------------------------|-------------|
| 1. พื้นฐานของโครโมโซม | จำนวน 4 ข้อ |
| 2. ภาพรวมวัฏจักรเซลล์ | จำนวน 6 ข้อ |
| 3. การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส | จำนวน 5 ข้อ |
| 4. การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส | จำนวน 5 ข้อ |
| 5. การแบ่งไซโทพลาสซึม | จำนวน 3 ข้อ |
| 6. หลังจากการแบ่งเซลล์ | จำนวน 3 ข้อ |
| 7. บทประยุกต์ | จำนวน 3 ข้อ |

4. สร้างแบบทดสอบสำรวจ เพื่อสำรวจมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ซึ่งเป็นแบบทดสอบอัตนัย จำนวน 29 ข้อ โดยเขียนข้อคำถามตามลักษณะและจำนวนในโครงสร้างแบบทดสอบ จากนั้นพิจารณาปรับปรุงแก้ไขแบบทดสอบให้เหมาะสม เช่น การใช้ภาษา สัญลักษณ์ รูปภาพ ให้เข้าใจง่าย กระชับและชัดเจน

5. นำแบบทดสอบสำรวจที่สร้างขึ้นเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ จากนั้นให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านเนื้อหา จำนวน 7 คน ซึ่งเป็นอาจารย์มหาวิทยาลัยที่เชี่ยวชาญด้านชีววิทยา จำนวน 3 คน เป็นครูผู้สอนที่มีประสบการณ์ทางการสอนวิชาชีววิทยา ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 มาแล้ว ไม่น้อยกว่า 15 ปี จำนวน 3 คน และนักวัดผลการศึกษา จำนวน 1 คน เพื่อพิจารณาตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) ตรวจสอบโดยการพิจารณาความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์

การพิจารณาว่าข้อคำถามแต่ละข้อวัดได้ตรงตามจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ต้องการทดสอบ แล้วแก้ไขปรับปรุงให้เรียบร้อยก่อนนำไปทดสอบ วิธีดำเนินการแบบนี้เป็นการพิจารณาความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (สมนึก ภัททิยธนี, 2549) ซึ่งมีเกณฑ์ ดังนี้

| | |
|-------------|--|
| ให้คะแนน +1 | เมื่อข้อคำถามนั้นสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ |
| ให้คะแนน 0 | เมื่อข้อคำถามนั้นสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ |
| ให้คะแนน -1 | เมื่อข้อคำถามนั้นไม่สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ |

จากนั้นผู้วิจัยนำผลการพิจารณามาหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ (IOC) โดยใช้สูตรของ Rovinelli และ Hambleton (ลิ้วน สายยศ และอังคณา สายยศ, 2543 อ้างอิงจาก Rovinelli and Hambleton, 1977) ว่าได้ค่า IOC ตั้งแต่ .50 ถึง 1.00 แสดงว่าข้อสอบข้อนั้นใช้ได้ ซึ่งสามารถวัดได้ตรงตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของเนื้อหาในหลักสูตรปรับปรุงแก้ไขแบบทดสอบตามที่ผู้เชี่ยวชาญเสนอแนะ

6. ติดต่อขอหนังสือจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒเพื่อขอความอนุเคราะห์ผู้บริหารสถานศึกษาในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากโรงเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย นำหนังสือราชการจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ยื่นต่อผู้อำนวยการโรงเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง เพื่อขอความอนุเคราะห์ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

7. นำแบบทดสอบสำรวจ จำนวน 29 ข้อ ไปทดสอบกับนักเรียนกลุ่มตัวอย่างจำนวน 140 คน ที่เคยเรียนเรื่องการแบ่งเซลล์มาแล้ว เพื่อสำรวจมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และรวบรวมคำตอบผิด

8. วิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสำรวจมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน โดยทำรอยขีด (tally) รูปแบบคำตอบที่ผิดเหมือนกัน และข้อผิดพลาดต่าง ๆ ไว้ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกลำดับขั้นต่อไป

9. สร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกลำดับขั้น เรื่อง การแบ่งเซลล์ จำนวน 29 ข้อ โดยใช้คำถามจากแบบทดสอบสำรวจ สร้างตัวลวงจากมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน

และนำแบบทดสอบที่สร้างขึ้นไปให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านเนื้อหาพิจารณา เพื่อแก้ไขปรับปรุงจำนวน การเขียนข้อสอบ ทั้งโจทย์และตัวเลือกในข้อสอบทั้งชั้นเหตุผลและชั้นคำตอบ จากนั้นนำ แบบทดสอบที่แก้ไขปรับปรุงแล้วทดสอบกับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 105 คน เพื่อวิเคราะห์ คุณภาพรายข้อ ด้านความยาก อำนาจจำแนก แล้วคัดเลือกและปรับปรุงข้อสอบ และประมาณค่า ความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับ

10. นำแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น จำนวน 24 ข้อ ที่ได้รับการ พัฒนาจนมีประสิทธิภาพไปใช้จริงกับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 175 คน เพื่อศึกษาจำแนกกลุ่ม แนวคิดและวิเคราะห์ทัศนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยนำข้อมูลที่เกิดขึ้นรวบรวมได้จากกลุ่มตัวอย่าง มาวิเคราะห์ข้อมูลมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ตรวจสอบคุณภาพของแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น ดังนี้

1.1 ความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา ตรวจสอบโดยค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อ คำถามกับวัตถุประสงค์ (IOC)

1.2 ความยากของข้อสอบ คำนวณจากจำนวนผู้สอบที่ตอบข้อสอบข้อนั้นถูกต้องหาร ด้วยจำนวนผู้สอบทั้งหมด

1.3 อำนาจจำแนกของข้อสอบ คำนวณจากสัดส่วนของผู้สอบกลุ่มสูงที่ตอบ ข้อสอบข้อนั้นถูกต้องด้วยสัดส่วนของผู้สอบกลุ่มต่ำที่ตอบข้อสอบข้อนั้นถูก

1.4 ความเชื่อมั่น ตรวจสอบด้วยวิธีการหาความสอดคล้องภายใน (internal consistency) โดยใช้สูตร KR20

2. การจำแนกกลุ่มแนวคิดและวิเคราะห์ทัศนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน วิชา ชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 จากแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือก สี่ลำดับชั้น โดยใช้ค่าสถิติร้อยละ

การทดสอบเพื่อจำแนกกลุ่มแนวคิดและวิเคราะห์หมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน

1. การจำแนกกลุ่มแนวคิดของนักเรียน

การจำแนกกลุ่มแนวคิดของนักเรียนโดยใช้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น จะแบ่งกลุ่มแนวคิดของนักเรียนตามรหัสคำตอบของนักเรียน โดยแบ่งรหัสคำตอบเป็น 4 ส่วน ดังนี้

1. ส่วนที่ 1 (A tier) คือ ชั้นคำตอบ ประกอบด้วย 4 ตัวเลือก โดย 1 ตัวเลือกจะเป็นตัวเลือกที่ถูกต้อง และอีก 3 ตัวเลือกจะเป็นหมโนทัศน์คลาดเคลื่อน

2. ส่วนที่ 2 (CA tier) คือ ชั้นความมั่นใจส่วนคำตอบ 4 ระดับ คือ 4 = มั่นใจมาก 3 = มั่นใจ 2 = ไม่มั่นใจ และ 1 = คาดเดา

3. ส่วนที่ 3 (R tier) คือ ชั้นเหตุผล ประกอบด้วย 4 ตัวเลือก โดย 1 ตัวเลือกจะเป็นตัวเลือกที่ถูกต้อง ส่วนอีก 3 ตัวเลือกจะเป็นหมโนทัศน์คลาดเคลื่อน

4. ส่วนที่ 4 (CR tier) คือ ชั้นความมั่นใจส่วนเหตุผล ประกอบด้วย 4 ระดับ คือ 4 = มั่นใจมาก 3 = มั่นใจ 2 = ไม่มั่นใจ และ 1 = คาดเดา ดังต่อไปนี้

| ชั้นของแบบทดสอบ | รหัสคำตอบ |
|-----------------|---|
| A tier | 1 = ตอบถูก 0 = ตอบผิด |
| CA tier | 4 = มั่นใจมาก 3 = มั่นใจ 2 = ไม่มั่นใจ 1 = คาดเดา |
| R tier | 1 = ตอบถูก 0 = ตอบผิด |
| CR tier | 4 = มั่นใจมาก 3 = มั่นใจ 2 = ไม่มั่นใจ 1 = คาดเดา |

ตัวอย่างการวิเคราะห์ จะมีการเรียงคำตอบของแบบทดสอบดังนี้

| หลักที่ 1 | หลักที่ 2 | หลักที่ 3 | หลักที่ 4 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| A tier | CA tier | R tier | CR tier |

เช่น รหัสคำตอบ 1412 ตัวเลขหลักแรก หมายถึง นักเรียนตอบถูกต้องในชั้นคำตอบ (A tier) ตัวเลขหลักที่สอง หมายถึง นักเรียนมีความมั่นใจมากส่วนคำตอบ (CA tier) ตัวเลขหลักที่สาม หมายถึง นักเรียนตอบถูกต้องในชั้นเหตุผล (R tier) และตัวเลขหลักที่สี่ หมายถึง นักเรียนไม่มีความมั่นใจส่วนเหตุผล (CR tier)

เมื่อทำการกำหนดรหัสแล้วจะได้รหัสคำตอบทั้งหมด 64 ลักษณะ ได้แก่

| รหัสคำตอบทั้ง 64 ลักษณะ | | | |
|-------------------------|------|------|------|
| 1414 | 1413 | 1412 | 1411 |
| 1314 | 1313 | 1312 | 1311 |
| 1214 | 1213 | 1212 | 1211 |
| 1114 | 1113 | 1112 | 1111 |
| 1404 | 1403 | 1402 | 1401 |
| 1304 | 1303 | 1302 | 1301 |
| 1204 | 1203 | 1202 | 1201 |
| 1104 | 1103 | 1102 | 1101 |
| 0414 | 0413 | 0412 | 0411 |
| 0314 | 0313 | 0312 | 0311 |
| 0214 | 0213 | 0212 | 0211 |
| 0114 | 0113 | 0112 | 0111 |
| 0404 | 0403 | 0402 | 0401 |
| 0304 | 0303 | 0302 | 0301 |
| 0204 | 0203 | 0202 | 0201 |
| 0104 | 0103 | 0102 | 0101 |

จากนั้นทำการจัดกลุ่มรหัสแนวคิดออกเป็น 4 กลุ่ม ดังต่อไปนี้

| กลุ่มแนวคิด | รหัสคำตอบ |
|---|--|
| 1. กลุ่มที่มีแนวคิดที่ถูกต้อง (SK) | 1414, 1413, 1314, 1313 |
| 2. กลุ่มที่ขาดความมั่นใจในความรู้ (NCK) | 1412, 1411, 1312, 1311, 1214, 1213, 1212, 1211, 1114, 1113, 1112, 1111 |
| 3. กลุ่มที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (M) | 1404, 1403, 1304, 1303, 1204, 1203, 1104, 1103, 0414, 0413, 0412, 0411, 0314, 0313, 0312, 0311, 0404, 0403, 0402, 0401, 0304, 0303, 0302, 0301, 0204, 0203, 0104, 0103 |
| 4. กลุ่มที่ขาดความรู้ (LK) | 1402, 1401, 1302, 1301, 1202, 1201, 1102, 1101, 0214, 0213, 0212, 0211, 0114, 0113, 0112, 0111, 0202, 0201, 0102, 0101 |

รายละเอียดกลุ่มแนวคิดทั้ง 4 กลุ่ม มีดังนี้

1. กลุ่มที่มีแนวคิดที่ถูกต้อง (Scientific knowledge : SK) หมายถึง กลุ่มของนักเรียนที่มีแนวคิดที่สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่วงการวิทยาศาสตร์ให้การยอมรับ ซึ่งพิจารณาจากนักเรียนตอบถูกทั้งชั้นคำตอบ (A-tier) และชั้นเหตุผล (R-tier) และมีความมั่นใจในคำตอบทั้งสองชั้นรหัสคำตอบคือ 1414, 1413, 1314, 1313

2. กลุ่มที่ขาดความมั่นใจในความรู้ (Not confident in knowledge : NCK) หมายถึง กลุ่มของนักเรียนที่ขาดความมั่นใจในความรู้ หมายถึง นักเรียนมีความรู้ที่ถูกต้องแต่ไม่มั่นใจในความรู้ที่ตนเองมี ซึ่งพิจารณาจากนักเรียนตอบถูกทั้งชั้นคำตอบ (A-tier) และชั้นเหตุผล (R-tier) แต่ไม่มีความมั่นใจในชั้นคำตอบ (A-tier) และ/หรือชั้นเหตุผล (R-tier) รหัสคำตอบคือ 1412, 1411, 1312, 1311, 1214, 1213, 1212, 1211, 1114, 1113, 1112, 1111

3. กลุ่มที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (Misconception : M) หมายถึง กลุ่มของนักเรียนที่มี มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน หมายถึงนักเรียนมีแนวคิดที่ไม่สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่วงการวิทยาศาสตร์ให้การยอมรับ ซึ่งพิจารณาจากนักเรียนตอบผิดแต่มีความมั่นใจในชั้นคำตอบ (A-tier) และ/หรือชั้นเหตุผล (R-tier) รหัสคำตอบคือ 1404, 1403, 1304, 1303, 1204, 1203, 1104, 1103, 0414, 0413, 0412, 0411, 0314, 0313, 0312, 0311, 0404, 0403, 0402, 0401, 0304, 0303, 0302, 0301, 0204, 0203, 0104, 0103

4. กลุ่มที่ขาดความรู้ (Lack of knowledge : LK) หมายถึง นักเรียนมีความรู้ไม่เพียงพอที่จะตอบคำถามได้ คำตอบจึงเกิดจากการเดา ซึ่งพิจารณาจากนักเรียนตอบผิดและไม่มีความมั่นใจชั้นคำตอบ (A-tier) และ/หรือชั้นเหตุผล (R-tier) รหัสคำตอบคือ 1402, 1401, 1302, 1301, 1202, 1201, 1102, 1101, 0214, 0213, 0212, 0211, 0114, 0113, 0112, 0111, 0202, 0201, 0102, 0101

ทั้งนี้เกณฑ์การกำหนดรหัสและการจัดกลุ่มรหัสแนวคิดนี้ได้รับการประเมินตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสมจากผู้เชี่ยวชาญแล้ว จากนั้นทำการตรวจให้คะแนน และแยกนักเรียนตามกลุ่มรหัสแนวคิด ทั้ง 4 แบบ คือ กลุ่มที่มีแนวคิดที่ถูกต้อง (SK) กลุ่มที่ขาดความมั่นใจในความรู้ (NCK) กลุ่มที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (M) และกลุ่มที่ขาดความรู้ (LK) โดยแบ่งตามขนาดโรงเรียน คือโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ โรงเรียนขนาดใหญ่ และโรงเรียนขนาดกลาง

2. การวิเคราะห์มิติที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน

ผู้วิจัยตรวจให้คะแนนแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น เพื่อวิเคราะห์มิติที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนโดยการกำหนดเกณฑ์การให้คะแนน ดังนี้

1. คะแนนความรู้ สำหรับทุกข้อคำตอบของแบบทดสอบในชั้นคำตอบ (A tier) และชั้นเหตุผล (R tier) จะให้คะแนนแยกกัน คือ ตอบถูกให้ 1 คะแนน และตอบผิดให้ 0 คะแนน โดยวิเคราะห์การเลือกตอบของคำตอบที่ถูกต้องและการเลือกตอบคำตอบลวง แยกเป็นชั้นคำตอบและชั้นเหตุผล ดังตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ 1 การวิเคราะห์คะแนนความรู้แต่ละตัวเลือก ทั้งการเลือกคำตอบที่ถูกต้องและคำตอบลวง แยกเป็นชั้นคำตอบและชั้นเหตุผล

| ข้อ | A tier | | R tier | |
|-----|--------|--------|--------|--------|
| | คน | % | คน | % |
| 1. | ก. 80 | 45.71% | ก. 77 | 44.00% |
| | ข. 44 | 25.14% | ข. 43 | 24.57% |
| | ค. 9 | 5.14% | ค. 13 | 7.43% |
| | ง. 42* | 24.00% | ง. 42* | 24.00% |

2. คะแนนความมั่นใจ สำหรับทุกข้อคำตอบของข้อสอบในชั้นคำตอบและชั้นเหตุผลจะให้คะแนนแยกกันเช่นเดียวกัน โดยมีคะแนนความมั่นใจ คือ 1 ถึง 4 ตามลำดับ จากความมั่นใจจากน้อยที่สุดไปหามากที่สุด จากนั้นทำการคำนวณความมั่นใจสำหรับทุกข้อ ดังนี้

2.1 คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยรวม (Mean confidence of students for tier or item : CF)

2.2 คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยในคำตอบที่ถูกต้อง (Mean confidence of students who gave correct responses for tier or item : CFC)

2.3 คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยในคำตอบที่ผิด (Mean confidence of students who gave incorrect responses for tier or item : CFW)

2.4 คะแนนความมั่นใจในการจำแนก (Confidence discrimination quotient : CDQ) โดย $CDQ = CFC - CFW$ / ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความมั่นใจ และ CDQ เป็นตัวบ่งชี้ว่าข้อสอบสามารถจำแนกระหว่างนักเรียนที่รู้กับนักเรียนที่ไม่รู้ โดยทำการคำนวณทั้งชั้นคำตอบ (A tier) ชั้นเหตุผล (R tier) และทั้งสองชั้น (Both tier)

ตัวอย่างที่ 2 การวิเคราะห์คะแนนความมั่นใจในชั้นคำตอบ (A tier) ชั้นเหตุผล (R tier) และทั้งสองชั้น (Both tier)

| ข้อ | A tier | | | | R tier | | | | Both tier | | | |
|-----|--------|------|------|------|--------|------|------|------|-----------|------|------|------|
| | CF | CFC | CFW | CDQ | CF | CFC | CFW | CDQ | CF | CFC | CFW | CDQ |
| 1 | 2.73 | 3.05 | 2.62 | 0.46 | 2.8 | 3.38 | 2.62 | 0.79 | 2.76 | 3.21 | 2.62 | 0.63 |

โดยข้อมูลที่ได้ในชั้นคำตอบ (A tier) จะเป็นตัวบ่งบอกถึง มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่แท้จริง (Genuine misconception) และมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนปลอม (Spurious misconception) ซึ่งมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่แท้จริงเป็นความเข้าใจผิดที่ฝังลึกกว่าปกติ การแก้ไขทำได้ยาก และเช่นเดียวกัน ข้อมูลที่ได้ในชั้นเหตุผล (R tier) จะเป็นตัวบ่งบอกถึงมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่แท้จริงและมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนปลอมในส่วนของเหตุผล ค่าคะแนนความมั่นใจเฉลี่ยรวม (CF) สามารถบอกถึงระดับของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนได้ โดยคะแนนความมั่นใจแบบทดสอบมีคะแนนเต็ม 4 แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่แท้จริง คือ คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยรวม (CF) มากกว่า 2.4 มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนระดับกลาง คือ คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยรวม (CF) 2.0-2.4 และมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนปลอม คือ คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยรวม (CF) น้อยกว่า 2.00 โดยเกณฑ์การตัดสินมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเหล่านี้ได้ดัดแปลงจาก Caleon และ Subramaniam (2010) แสดงดังต่อไปนี้

| ระดับ | คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยรวม (CF) (คะแนนเต็ม 4) |
|---|--|
| มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่แท้จริง (ระดับสูง) | มากกว่า 2.40 |
| มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนระดับกลาง (ระดับกลาง) | 2.00-2.40 |
| มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนปลอม (ระดับต่ำ) | น้อยกว่า 2.00 |

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. ตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของแบบทดสอบ โดยการหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ ด้วยวิธีของโรวินेलลี และแฮมเบิลตัน (ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ, 2543 อ้างอิงจาก Rovinelli and Hambleton. 1977)

$$IOC = \frac{\sum R}{N}$$

เมื่อ IOC แทน ดัชนีความสอดคล้องมีค่าอยู่ระหว่าง -1 กับ +1
 $\sum R$ แทน ผลรวมของการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญ
 N แทน จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

2. ค่าสถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (\bar{X}) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) (พวงรัตน์ ทวีรัตน์, 2540) ใช้ค่าสถิติดังนี้

2.1 ค่าเฉลี่ย (\bar{X})

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

เมื่อ \bar{X} แทน ค่าเฉลี่ย
 $\sum X$ แทน ผลรวมของคะแนนทั้งหมด
 N แทน จำนวนนักเรียนทั้งหมด

2.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)

$$S. D. = \sqrt{\frac{N \sum x^2 - (\sum x)^2}{N(N-1)}}$$

เมื่อ S. D. แทน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนน
 $\sum x^2$ แทน ผลรวมของคะแนนทั้งหมด
 $(\sum x)^2$ แทน ผลรวมของคะแนนแต่ละตัวยกกำลังสอง
 N แทน จำนวนนักเรียนทั้งหมด

3. ค่าความยากของข้อสอบเป็นรายข้อ (P) (ลิ้น สายยศ และอังคณา สายยศ, 2543)

$$P = \frac{R}{N}$$

| | | | |
|-------|---|-----|---------------------------------|
| เมื่อ | P | แทน | ค่าความยากของข้อสอบ |
| | R | แทน | จำนวนนักเรียนที่ทำข้อสอบถูก |
| | N | แทน | จำนวนนักเรียนที่ทำข้อสอบทั้งหมด |

4. ค่าอำนาจจำแนก (r) (ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556)

$$r = P_H - P_L$$

| | | | |
|-------|----------------|-----|----------------------------------|
| เมื่อ | r | แทน | ค่าอำนาจจำแนก |
| | P _H | แทน | จำนวนนักเรียนที่ตอบถูกในกลุ่มสูง |
| | P _L | แทน | จำนวนนักเรียนที่ตอบถูกในกลุ่มต่ำ |

5. ค่าความเชื่อมั่น ใช้วิธีการของคูเดอร์-ริชาร์ดสัน ด้วยสูตร KR20 (ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556)

$$KR20 = \frac{k}{k-1} \left[1 - \frac{\sum p_i q_i}{S_x^2} \right]$$

| | | | |
|-------|-----------------------------|-----|---|
| เมื่อ | KR20 | แทน | สัมประสิทธิ์ของความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ |
| | k | แทน | จำนวนข้อสอบ |
| | p _i | แทน | สัดส่วนของผู้ตอบถูกในข้อที่ i |
| | q _i | แทน | สัดส่วนของผู้ตอบผิดในข้อที่ i ($q_i = 1 - p_i$) |
| | S _x ² | แทน | ความแปรปรวนของคะแนนรวม x |

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

สัญลักษณ์และอักษรย่อในการวิเคราะห์ข้อมูล

เพื่อให้เกิดความเข้าใจตรงกันในการแปลความหมายในการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยได้กำหนด สัญลักษณ์และอักษรย่อที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ดังต่อไปนี้

| | | |
|---------|-----|--|
| A tier | แทน | ชั้นคำตอบ |
| R tier | แทน | ชั้นเหตุผล |
| CA tier | แทน | ชั้นความมั่นใจส่วนคำตอบ |
| CR tier | แทน | ชั้นความมั่นใจส่วนเหตุผล |
| n | แทน | จำนวนนักเรียนในกลุ่มตัวอย่าง |
| K | แทน | จำนวนข้อสอบ |
| Mean | แทน | คะแนนเฉลี่ย |
| P | แทน | ค่าความยาก |
| r | แทน | ค่าอำนาจจำแนก |
| Avg.P | แทน | ค่าความยากเฉลี่ยของแบบทดสอบ |
| Avg.R | แทน | ค่าอำนาจจำแนกเฉลี่ยของแบบทดสอบ |
| SK | แทน | กลุ่มที่มีแนวคิดที่ถูกต้อง |
| NCK | แทน | กลุ่มที่ขาดความมั่นใจในความรู้ |
| M | แทน | กลุ่มที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน |
| LK | แทน | กลุ่มที่ขาดความรู้ |
| CF | แทน | คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยรวม |
| CFC | แทน | คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยในคำตอบที่ถูกต้อง |
| CFW | แทน | คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยในคำตอบที่ผิด |
| CDQ | แทน | คะแนนความมั่นใจในการจำแนก |

การเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล ตามลำดับดังนี้

1. การทดสอบเพื่อสำรวจ
2. การทดสอบเพื่อหาคุณภาพ
3. การทดสอบเพื่อจำแนกกลุ่มแนวคิดและวิเคราะห์ทัศนคติที่คลาดเคลื่อนของ

นักเรียน

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

1. การทดสอบเพื่อสำรวจ

เมื่อสร้างแบบทดสอบสำรวจ ซึ่งเป็นแบบทดสอบแบบอัตนัย จำนวน 29 ข้อ ให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านเนื้อหา ทั้ง 7 คน พิจารณาความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์การเรียนรู้กับเนื้อหา พบว่ามีค่า IOC ตั้งแต่ 0.86-1.00 และข้อคำถามกับจุดประสงค์การเรียนรู้ พบว่ามีค่า IOC ตั้งแต่ 0.71-1.00 (ดังภาคผนวกหน้า 242 และ 248) จากนั้นนำแบบทดสอบสำรวจไปทดสอบกับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 140 คน ที่เคยเรียนเรื่องการแบ่งเซลล์มาแล้ว เพื่อสำรวจจุดบกพร่องหรือมีทัศนคติที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน และรวบรวมคำตอบผิวนำมาสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น วิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสำรวจมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน โดยทำรอยขีด (tally) รูปแบบคำตอบที่ได้ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้นต่อไป ผลการวิเคราะห์ปรากฏดังตาราง 21

ตาราง 21 วิเคราะห์จุดบกพร่องและคำตอบในชั้นคำตอบและชั้นเหตุผลในแบบทดสอบสำรวจ

| ข้อ | จุดบกพร่องและคำตอบ/เหตุผล | | ความถี่ |
|-----------------------------|--|--|---------|
| 1 | จุดบกพร่องชั้นคำตอบ | คำตอบ | ความถี่ |
| | ไม่เข้าใจความหมายของคำว่า | - พบได้ทุกเซลล์ * | 12 |
| | ยีนบนโครโมโซม | - พบได้ในเซลล์กระจกตา | 50 |
| | | - พบได้ในเซลล์อสุจิ | 11 |
| | | - พบได้ในเซลล์สมอง | 5 |
| | จุดบกพร่องชั้นเหตุผล | เหตุผล | ความถี่ |
| | เข้าใจผิดว่ายีนที่กำหนดสีดวงตา | - ยีนที่กำหนดลักษณะพันธุกรรมพบได้ในทุกเซลล์ * | 10 |
| | มนุษย์ จะอยู่ในเซลล์ที่เกี่ยวข้อง | - กระจกตาเป็นบริเวณที่มีผลต่อสีของดวงตา | 23 |
| | | - โครโมโซม X และ Y ในเซลล์อสุจิมียีนอยู่ทั้งหมด | 5 |
| | | - สมองเป็นศูนย์กลางควบคุมการทำงานทั้งหมด | 4 |
| 2 | จุดบกพร่องชั้นคำตอบ | คำตอบ | ความถี่ |
| | ไม่เข้าใจและวิเคราะห์ชุดของ | - วาดภาพเซลล์ มีโครโมโซมคู่เหมือน 3 ชุด อย่างละ 2 | 35 |
| | โครโมโซมไม่ได้ | แท่ง รวมทั้งหมด 6 แท่ง * | |
| | | - วาดภาพเซลล์ มีโครโมโซมคู่เหมือน 2 ชุด อย่างละ 3 | 37 |
| | | แท่ง รวมทั้งหมด 6 แท่ง | |
| | | - วาดภาพเซลล์ มีโครโมโซมคู่เหมือน 2 อย่างละ 6 แท่ง | 7 |
| | | รวมทั้งหมด 12 แท่ง | |
| | | - วาดภาพเซลล์ มีโครโมโซมคู่เหมือน 3 ชุด อย่างละ 1 | 5 |
| | | แท่ง รวมทั้งหมด 3 แท่ง | |
| | จุดบกพร่องชั้นเหตุผล | เหตุผล | ความถี่ |
| ไม่เข้าใจวิธีการคิดคำนวณชุด | - n แสดงถึง จำนวนชุดโครโมโซมที่เหมือนกัน ดังนั้น | 20 | |
| โครโมโซม | $2n = 6$ แสดงว่า มีโครโมโซม 3 ชุดที่เหมือนกัน * | | |
| | - ดิพลอยด์ คือ เซลล์ที่ประกอบด้วยโครโมโซม 2 ชุด ($2n$) | 15 | |
| | โดยโครโมโซมจะอยู่เป็นคู่ ๆ | | |
| | - ชุดโครโมโซมในโกลีคือ 2 ดังนั้น จำนวนโครโมโซม | 4 | |
| | ทั้งหมด คือ $6 \times 2 = 12$ | | |
| | - $2n = 6$ แสดงว่า เซลล์มีโครโมโซม 3 แท่ง แต่ละแท่งมี 2 | 4 | |
| | โครมาทิด รวม 6 โครมาทิด | | |

* หมายถึง คำตอบถูก

ตาราง 21 (ต่อ)

| ข้อ | จุดบกพร่องและคำตอบ/เหตุผล | คำตอบ | ความถี่ |
|-----|--|---|----------------------|
| 3 | จุดบกพร่องชั้นคำตอบ | คำตอบ | ความถี่ |
| | ไม่เข้าใจชนิดของโครโมโซม และ ชุดโครโมโซมในเซลล์แบบต่าง ๆ | - โครโมโซมร่างกายและโครโมโซมเพศ ชุดโครโมโซม 2n = 46 * - โครโมโซมร่างกายเท่านั้น ชุดโครโมโซม 2n = 46 - โครโมโซมร่างกายและโครโมโซมเพศ ชุดโครโมโซม n = 23 - โครโมโซมเพศเท่านั้น ชุดโครโมโซม n = 23 | 29 42 9 6 |
| | จุดบกพร่องชั้นเหตุผล | เหตุผล | ความถี่ |
| | ไม่เข้าใจชนิดของโครโมโซม ชนิดของเซลล์ และชุดโครโมโซม | - เซลล์ร่างกายมีโครโมโซมทั้ง 2 แบบ สามารถสร้างเซลล์ ที่เหมือนกัน โดยมีชุดโครโมโซมเท่าเดิม * - เซลล์ร่างกายมีเพียงโครโมโซมร่างกายเท่านั้น ชุดโครโมโซม เป็น ดิพลอยด์ หรือ 2n - เซลล์ร่างกายมีโครโมโซมทั้ง 2 แบบ ชุดโครโมโซม เป็นแฮพลอยด์ หรือ n - เซลล์ร่างกายมีโครโมโซมเพศ เพราะโครโมโซม X และ Y เก็บลักษณะพันธุกรรมสิ่งมีชีวิตไว้ทั้งหมด | 20 29 3 5 |
| 4 | จุดบกพร่องชั้นคำตอบ | คำตอบ | ความถี่ |
| | ไม่เข้าใจลักษณะโครโมโซม ชุดโครโมโซม รวมถึงความเข้าใจ คาริโอไทป์ของมนุษย์ | - เป็นเพศชาย * - เซลล์นี้ไม่ได้อยู่ในระยะแบ่งเซลล์ - ชุดโครโมโซมเป็น 2n - สิ่งมีชีวิตนี้คือมนุษย์ | 10 33 15 10 |
| | จุดบกพร่องชั้นเหตุผล | เหตุผล | ความถี่ |
| | ไม่เข้าใจโครโมโซมบน คาริโอไทป์ของมนุษย์ | - มนุษย์เพศชายมีโครโมโซมเพศ เป็น XX * - โครโมโซมมี 2 โครมาทิด แสดงว่าเซลล์นี้อยู่ใน กระบวนการแบ่งเซลล์ - มีสิ่งมีชีวิตหลายชนิดที่โครโมโซมเป็น 46 แท่ง จึงไม่น่าจะเป็นโครโมโซมของมนุษย์อย่างเดียว - ลักษณะชุดโครโมโซมเป็น 23n หรือมีโครโมโซม คู่เหมือน 23 คู่ | 15 17 12 7 |

ตาราง 21 (ต่อ)

| ข้อ | จุดบกพร่องและคำตอบ/เหตุผล | | |
|--|--|--|---------|
| 5 | จุดบกพร่องชั้นคำตอบ | คำตอบ | ความถี่ |
| | ไม่เข้าใจการแบ่งเซลล์ของ | - หมายเลข 1 คือ ไมโทซิส และ 2 คือ ไมโอซิส * | 28 |
| | มนุษย์และวิเคราะห์ไม่ถูกต้อง | - หมายเลข 1 คือ ไมโอซิส และ 2 คือ ไมโทซิส | 32 |
| | | - หมายเลข 1 และ 2 คือ ไมโอซิส | 10 |
| | | - หมายเลข 1 และ 2 คือ ไมโทซิส | 7 |
| จุดบกพร่องชั้นเหตุผล | เหตุผล | ความถี่ | |
| ไม่เข้าใจและจำแนกวิธีการแบ่ง | - เซลล์ร่างกายมีการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ส่วนเซลล์ | 37 | |
| | สืบพันธุ์แบ่งเซลล์แบบไมโอซิส * | | |
| | - เซลล์ทุกชนิดมีการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ทำให้ทุกเซลล์ | 10 | |
| | มีลักษณะพันธุกรรมเหมือนกัน | | |
| | - เซลล์ร่างกายมีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส ส่วนเซลล์ | 4 | |
| สืบพันธุ์แบ่งเซลล์แบบไมโทซิส | | | |
| - การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสพบได้ในสัตว์และสิ่งมีชีวิต | 3 | | |
| ชั้นสูง | | | |
| 6 | จุดบกพร่องชั้นคำตอบ | คำตอบ | ความถี่ |
| | ไม่เข้าใจลำดับขั้นตอนของการ | - E A C B D * | 56 |
| | แบ่งเซลล์ | - A E B C D | 11 |
| | | - D B C A E | 7 |
| | | - เป็นไปได้ทุกข้อ | 6 |
| จุดบกพร่องชั้นเหตุผล | เหตุผล | ความถี่ | |
| มีความเข้าใจผิดเกี่ยวกับขั้นตอน | - การแบ่งเซลล์ เริ่มจากระยะอินเตอร์เฟส โปรเฟส | 37 | |
| | การแบ่งเซลล์ | เมตาเฟส แอนาเฟส เทโลเฟส และแบ่งไซโทพลาสซึม * | |
| | - เซลล์จะเริ่มแบ่งแบบไมโทซิสก่อนแล้วค่อยแบ่งแบบ | 4 | |
| | ไมโอซิส | | |
| | - เซลล์จะเริ่มแบ่งไซโทพลาสซึมก่อนแล้วค่อยแบ่ง | 3 | |
| นิวเคลียส | | | |
| - เซลล์สามารถแบ่งเซลล์แบบใดก็ได้ ข้อสำคัญคือ | 3 | | |
| สารพันธุกรรมในนิวเคลียสต้องเหมือนกัน | | | |

ตาราง 21 (ต่อ)

| ข้อ | จุดบกพร่องและคำตอบ/เหตุผล | | ความถี่ |
|-----|--|---|---------|
| 7 | จุดบกพร่องชั้นคำตอบ | คำตอบ | |
| | วิเคราะห์แผนภาพวัฏจักรเซลล์ ไม่ถูกต้อง | - ระยะ S G ₂ โปรเฟส เมตาเฟส * | 23 |
| | | - ระยะ โปรเฟส เมตาเฟส แอนาเฟส เทโลเฟส | 25 |
| | | - ระยะ G ₁ S G ₂ | 20 |
| | | - ระยะการแบ่งไซโทพลาสซึม | 5 |
| | จุดบกพร่องชั้นเหตุผล | เหตุผล | ความถี่ |
| | มีความเข้าใจวัฏจักรของการ แบ่งเซลล์ที่ผิดและวิเคราะห์ ไม่ถูกต้อง | - ระยะนี้โครโมโซมยังมี 2 โครมาทิดอยู่ เพราะยังไม่มี การดึงโครโมโซมให้แยกจากกัน * | 20 |
| | | - ระยะเริ่มต้นการแบ่งเซลล์ โครโมโซมจึงมี 2 โครมาทิด เพื่อพร้อมจะแบ่งให้เซลล์ลูก | 18 |
| | | - ระยะนี้เป็นระยะแบ่งโครโมโซมจาก 4 โครมาทิด เป็น 2 โครมาทิด | 12 |
| | | - การแบ่งไซโทพลาสซึม ทำให้โครโมโซมมี 2 โครมาทิด | 7 |
| 8 | จุดบกพร่องชั้นคำตอบ | คำตอบ | ความถี่ |
| | ไม่เข้าใจหลักของการแบ่งเซลล์ | - เหมือนกัน ได้เซลล์แม่และเซลล์ลูก คือ $2n = 4$ * | 41 |
| | | - เหมือนกัน ได้เซลล์แม่และเซลล์ลูก คือ $n = 4$ | 17 |
| | | - ต่างกัน คือ เซลล์แม่ $2n = 4$ เซลล์ลูก $2n = 2$ | 12 |
| | | - ต่างกัน คือ เซลล์แม่ $2n = 4$ เซลล์ลูก $n = 2$ | 10 |
| | จุดบกพร่องชั้นเหตุผล | เหตุผล | ความถี่ |
| | มีความเข้าใจผิดเกี่ยวกับการ แบ่งเซลล์ ในหลาย ๆ เรื่อง | - เซลล์ลูกมีสารพันธุกรรมร่วมกัน ซึ่งจะเพิ่มจำนวนเป็น สองเท่าก่อนการแบ่งเซลล์ * | 14 |
| | | - เซลล์ลูกจะแบ่งเซลล์เดิมออกเท่า ๆ กัน ในระหว่าง การแบ่งเซลล์ | 17 |
| | | - ข้อมูลทางพันธุกรรมแต่ละเซลล์จะไม่เกิดการ เปลี่ยนแปลง | 13 |
| | | - เซลล์ลูกที่ผ่านการแบ่งตัวของเซลล์เดิม จะมีโครโมโซม ลดลงเสมอ | 12 |

ตาราง 21 (ต่อ)

| ข้อ | จุดบกพร่องและคำตอบ/เหตุผล | | ความถี่ |
|-----|---|--|---------|
| 9 | จุดบกพร่องชั้นคำตอบ | คำตอบ | |
| | ไม่รู้หน้าที่ของออร์แกนเนลล์ | - เซนทริโอล * | 39 |
| | ที่เกี่ยวข้องกับการแบ่งเซลล์ | - เซนโทรเมียร์ | 12 |
| | | - นิวเคลียส | 8 |
| | | - ไรโบโซม | 7 |
| | จุดบกพร่องชั้นเหตุผล | เหตุผล | ความถี่ |
| | ไม่เข้าใจบทบาทของออร์แกนเนลล์ที่เกี่ยวข้องกับการแบ่งเซลล์ | - เพราะเป็นออร์แกนเนลล์ที่ช่วยในการเคลื่อนที่ของโครโมโซมขณะที่มีการแบ่งเซลล์ * | 22 |
| | | - เพราะเป็นออร์แกนเนลล์ที่สร้างโปรตีน และนำมาสร้างเส้นใยสปินเดิล | 19 |
| | | - เป็นตำแหน่งรอยคอดตรงกลางโครโมโซม เหมาะสำหรับฉีกโครโมโซม | 10 |
| | | - เป็นศูนย์กลางการทำงานของเซลล์จึงควบคุมการทำงานทุกอย่างในเซลล์ | 5 |
| 10 | จุดบกพร่องชั้นคำตอบ | คำตอบ | ความถี่ |
| | ไม่เข้าใจวิธีการแบ่งเซลล์และนำความรู้ไปใช้ไม่ถูกต้อง | - โครโมโซม 6 แท่ง * | 40 |
| | | - โครโมโซม 3 แท่ง | 8 |
| | | - โครโมโซม 9 แท่ง | 5 |
| | | - โครโมโซม 12 แท่ง | 4 |
| | จุดบกพร่องชั้นเหตุผล | เหตุผล | ความถี่ |
| | ไม่เข้าใจหลักของการแบ่งเซลล์ | - เซลล์ในสปีชีส์เดียวกันจะจับคู่กับเซลล์ที่มีจำนวนโครโมโซมเท่ากัน * | 7 |
| | สืบพันธุ์และการเกิดชีวิตใหม่ | - เซลล์จากสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันจะมีจำนวนโครโมโซมเท่ากัน | 21 |
| | | - จำนวนโครโมโซมจะเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากการแบ่งเซลล์ | 10 |
| | | - ไซโกตเกิดขึ้นจากการรวมตัวกันของอสุจิและไข่ | 5 |

ตาราง 21 (ต่อ)

| ข้อ | จุดบกพร่องและคำตอบ/เหตุผล | | |
|---|--|---|---------|
| 11 | จุดบกพร่องชั้นคำตอบ | คำตอบ | ความถี่ |
| | ไม่เข้าใจหลักของการแบ่งเซลล์ | - 2 เซลล์ เหมือนเดิมทุกประการ * | 46 |
| | แบบไมโทซิส | - 2 เซลล์ มีจำนวนโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่งของเซลล์เดิม | 13 |
| | | - 2 เซลล์ มีจำนวนโครโมโซมมากเป็น 2 เท่าจากเซลล์เดิม | 9 |
| | | - 1 เซลล์ เหมือนเดิมทุกประการ | 8 |
| จุดบกพร่องชั้นเหตุผล | เหตุผล | ความถี่ | |
| มีความเข้าใจผิดในการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสในหลาย ๆ เรื่อง เช่น จำนวนเซลล์ลูก โครโมโซม และสารพันธุกรรมในเซลล์ | - สารพันธุกรรมจากการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากเซลล์เดิม * | 12 | |
| | - เซลล์ชนิดเดียวกันจะมีจำนวนโครโมโซมเท่ากันและเหมือนกันทุกประการ | 17 | |
| | - ข้อมูลทางพันธุกรรมจะแบ่งออกเป็นครึ่งหนึ่งผ่านการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส | 10 | |
| | - เซลล์ลูกจะมีจำนวนโครโมโซมมากกว่าเซลล์แม่เนื่องจากอายุน้อยกว่า | 3 | |
| | | | |
| 12 | จุดบกพร่องชั้นคำตอบ | คำตอบ | ความถี่ |
| | ไม่เข้าใจการเปลี่ยนแปลงของโครมาทิดและโครโมโซมในกระบวนการแบ่งเซลล์ | - 48 เส้น * | 18 |
| | กระบวนการแบ่งเซลล์ | - 24 เส้น | 37 |
| | | - 12 เส้น | 8 |
| | | - 96 เส้น | 7 |
| จุดบกพร่องชั้นเหตุผล | เหตุผล | ความถี่ | |
| ไม่เข้าใจความสัมพันธ์ของโครมาทิดและโครโมโซม | - ในระยะเมตาเฟส โครโมโซม 1 แท่ง จะมีโครมาทิด 2 เส้น * | 17 | |
| | - โครโมโซม 1 แท่ง จะมีโครมาทิด 2 เส้นเสมอ | 24 | |
| | - ในระยะเมตาเฟส โครโมโซม 1 แท่ง จะมีโครมาทิด 4 เส้น | 23 | |
| | - โครโมโซม 1 แท่ง จะมีโครมาทิด 1 เส้นเสมอ | 7 | |

ตาราง 21 (ต่อ)

| ข้อ | จุดบกพร่องและคำตอบ/เหตุผล | คำตอบ | ความถี่ |
|-----|----------------------------|---|---------|
| 13 | จุดบกพร่องชั้นคำตอบ | คำตอบ | ความถี่ |
| | จำเหตุการณ์ที่พบในระยะ | - มีการจำลองตัวของโครโมโซม * | 25 |
| | อินเตอร์เฟสของการแบ่งเซลล์ | - เยื่อหุ้มนิวเคลียสสลายตัว | 17 |
| | แบบไมโทซิสไม่ได้ | - โครมาทินหดสั้นเป็นโครโมโซม | 15 |
| | | - โครโมโซมเรียงกันบริเวณกึ่งกลางเซลล์ | 5 |
| | จุดบกพร่องชั้นเหตุผล | เหตุผล | ความถี่ |
| | เข้าใจผิดในการแบ่งเซลล์ใน | - ระยะนี้มีการสร้างดีเอ็นเอขึ้นมาอีก 1 ชุด ให้เหมือนกับ | 20 |
| | ระยะอินเตอร์เฟสของการแบ่ง | ชุดเดิม * | |
| | เซลล์แบบไมโทซิส | - ระยะนี้เป็นระยะเริ่มต้นการแบ่งเซลล์ เซลล์จึงต้องมีการ | 16 |
| | | สลายออร์แกเนลล์ที่ไม่เกี่ยวข้องทั้งหมด | |
| | | - ระยะนี้โครมาทินหดสั้น เพราะให้สะดวกต่อการแบ่ง | 13 |
| | | เซลล์ | |
| | | - ระยะอินเตอร์เฟส โครโมโซมจะเรียงตรงกลางเซลล์ด้วย | 10 |
| | | เส้นใยสปินเดิล | |
| 14 | จุดบกพร่องชั้นคำตอบ | คำตอบ | ความถี่ |
| | วิเคราะห์ระยะการแบ่งเซลล์ | - แอนาเฟส จำนวนโครโมโซม คือ 4 * | 37 |
| | และจำนวนโครโมโซมไม่ได้ | - แอนาเฟส จำนวนโครโมโซม คือ 2 | 27 |
| | | - เมตาเฟส จำนวนโครโมโซม คือ 2 | 11 |
| | | - เมตาเฟส จำนวนโครโมโซม คือ 4 | 10 |
| | จุดบกพร่องชั้นเหตุผล | เหตุผล | ความถี่ |
| | เข้าใจผิดในการแบ่งเซลล์แบบ | - แอนาเฟส มีการฉีกโครมาทิดให้แยกจากกัน ทำให้ | 16 |
| | ไมโทซิส | มีจำนวนแท่งโครโมโซม 2 เท่า * | |
| | | - แอนาเฟส มีการฉีกโครมาทิดให้แยกจากกัน แต่ก็ถือว่า | 18 |
| | | มีจำนวนโครโมโซมเท่าเดิม | |
| | | - เมตาเฟส โครโมโซมโดนเส้นใยสปินเดิลไฟเบอร์ดึง | 9 |
| | | ทำให้มีโครโมโซมมาก 2 เท่า | |
| | | - เมตาเฟส โครโมโซมเรียงกันกลางเซลล์ และมีจำนวน | 7 |
| | | โครโมโซมเท่าเดิม | |

ตาราง 21 (ต่อ)

| ข้อ | จุดบกพร่องและคำตอบ/เหตุผล | | |
|---|---|------------------------------------|---------|
| 15 | จุดบกพร่องขั้นคำตอบ | คำตอบ | ความถี่ |
| | ไม่เข้าใจลักษณะของโครโมโซมในการแบ่งเซลล์ | - เมตาเฟส * | 31 |
| | | - อินเทอร์เฟส | 12 |
| | | - โปรเฟส | 10 |
| | | - เทโลเฟส | 4 |
| จุดบกพร่องขั้นเหตุผล | เหตุผล | ความถี่ | |
| ไม่เข้าใจลักษณะของโครโมโซมและโครมาทิดในแต่ละระยะของการแบ่งเซลล์ | - ระยะนี้โครโมโซมเรียงกันตรงกลางเซลล์ หดตัวมากที่สุด * | 22 | |
| | - ระยะนี้เป็นขั้นแรกของการแบ่งเซลล์ ทำให้สังเกตเห็นโครโมโซมได้ง่าย | 12 | |
| | - ระยะนี้โครมาทิดหดตัวกลายเป็นโครโมโซมแล้ว | 40 | |
| | - ระยะนี้เห็นโครโมโซมแยกออกจากกันด้วยเส้นใยสปินเดิล | 4 | |
| | | | |
| 16 | จุดบกพร่องขั้นคำตอบ | คำตอบ | ความถี่ |
| | ไม่เข้าใจขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงของดีเอ็นเอในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส | - อินเทอร์เฟส I * | 24 |
| | | - อินเทอร์เฟส II | 20 |
| | | - อินเทอร์เฟส I และอินเทอร์เฟส II | 19 |
| | | - โปรเฟส ในไมโอซิส I และไมโอซิส II | 7 |
| จุดบกพร่องขั้นเหตุผล | เหตุผล | ความถี่ | |
| ระบุการเปลี่ยนแปลงของดีเอ็นเอในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสไม่ได้ | - เฉพาะในระยะอินเทอร์เฟส I เท่านั้นที่มีการจำลองดีเอ็นเอ ส่วนระยะอินเทอร์เฟส II ไม่มีการจำลองดีเอ็นเอ * | 17 | |
| | - ระยะอินเทอร์เฟส I และอินเทอร์เฟส II มีการจำลองดีเอ็นเอ เพิ่มเป็น 2 เท่า | 10 | |
| | - อินเทอร์เฟส II เท่านั้นที่มีการจำลองดีเอ็นเอ เพราะเหลือไม่เพียงพอต่อการแบ่งเซลล์ | 12 | |
| | - โปรเฟสเป็นระยะแรกของการแบ่งเซลล์ จึงมีการเริ่มการจำลองดีเอ็นเอ | 6 | |
| | | | |

ตาราง 21 (ต่อ)

| ข้อ | จุดบกพร่องและคำตอบ/เหตุผล | | |
|-----|-------------------------------|---|---------|
| 17 | จุดบกพร่องขั้นคำตอบ | คำตอบ | ความถี่ |
| | ไม่เข้าใจพฤติกรรมของ | - โปर्फอส * | 27 |
| | โครโมโซมในกระบวนการแบ่ง | - เมตาเฟส | 22 |
| | เซลล์ | - อินเตอร์เฟส | 12 |
| | | - การแบ่งไซโทพลาสซึม | 8 |
| | จุดบกพร่องขั้นเหตุผล | เหตุผล | ความถี่ |
| | ไม่เข้าใจพฤติกรรมของ | - เพราะระยะนี้มีการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนโครโมโซม | 23 |
| | โครโมโซม และจำนวนโครโมโซม | ก่อให้เกิดความแตกต่างของพันธุกรรม * | |
| | ในกระบวนการแบ่งเซลล์ | - เพราะเป็นระยะแรกของการแบ่งเซลล์ และมีการเตรียม | 11 |
| | | ความพร้อมที่จะแบ่งเซลล์ | |
| | | - ระยะนี้มีการแบ่งไซโทพลาสซึมเป็น 2 เซลล์ | 4 |
| | | - ระยะนี้จำนวนโครโมโซมจะเพิ่มขึ้น อันเนื่องมา | 2 |
| | | จากการแบ่งเซลล์ | |
| 18 | จุดบกพร่องขั้นคำตอบ | คำตอบ | ความถี่ |
| | วิเคราะห์ชุดของโครโมโซม เพื่อ | - พบการจับคู่ของโครโมโซมคู่เหมือน 2 คู่ บริเวณกลาง | 25 |
| | เขียนเป็นภาพวาดไม่ได้ | เซลล์ยึดด้วยเส้นใยสปินเดิล * | |
| | | - พบโครโมโซมคู่เหมือน 4 แห่ง เรียงต่อกันบริเวณกลาง | 20 |
| | | เซลล์ ยึดด้วยเส้นใยสปินเดิล | |
| | | - พบโครโมโซม 2 แห่ง ขนาดต่างกัน บริเวณกลางเซลล์ยึด | 10 |
| | | ด้วยเส้นใยสปินเดิล | |
| | | - โครโมโซมคู่เหมือน 2 คู่ กำลังฉีกออกจากกันด้วยเส้น | 6 |
| | | ใยสปินเดิล | |
| | จุดบกพร่องขั้นเหตุผล | เหตุผล | ความถี่ |
| | ไม่เข้าใจ และวิเคราะห์ชุดของ | - ระยะนี้มีโครโมโซมคู่เหมือน 2 คู่ มาเรียงใน | 12 |
| | โครโมโซมเพื่อเขียนเป็นภาพวาด | ระนาบเดียวกัน * | |
| | ไม่ได้ | - ระยะนี้มีโครโมโซม 4 แห่ง เรียงกันในระนาบเดียวกัน | 8 |
| | | - ระยะนี้มีโครโมโซม 2 แห่ง เรียงกันกลางเซลล์ | |
| | | - โครโมโซมคู่เหมือนแยกออกจากกันด้วยเส้นใยสปินเดิล | 3 |
| | | ในระยะนี้ | 3 |

ตาราง 21 (ต่อ)

| ข้อ | จุดบกพร่องและคำตอบ/เหตุผล | | |
|-----|---|--|---------------------|
| 19 | จุดบกพร่องขั้นคำตอบ | คำตอบ | ความถี่ |
| | วิเคราะห์จำนวนโครโมโซม และขนาดของเซลล์ที่ได้จากกระบวนการแบ่งเซลล์ไม่ได้ | - จำนวนโครโมโซมเท่าเซลล์ X ขนาดเซลล์เล็ก * - จำนวนโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่งของเซลล์ X ขนาดเซลล์เล็ก - จำนวนโครโมโซมเท่าเซลล์ X ขนาดเซลล์เท่าเดิม - จำนวนโครโมโซมเป็น 2 เท่าของเซลล์ X ขนาดเซลล์ใหญ่กว่าเดิม | 17 24 12 5 |
| | จุดบกพร่องขั้นเหตุผล | เหตุผล | ความถี่ |
| | ไม่เข้าใจผลที่ได้ของกระบวนการแบ่งเซลล์สืบพันธุ์ | - การแบ่งเซลล์สืบพันธุ์ย่อมมีจำนวนโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่ง และเซลล์ขนาดเล็ก * - การแบ่งเซลล์สืบพันธุ์ เซลล์ลูกจะต่างจากเซลล์พ่อแม่ทุกประการ - การแบ่งเซลล์ไมโอซิสพบได้ทุกเซลล์ และเซลล์ลูกจะเหมือนเซลล์พ่อแม่ทุกประการ - การแบ่งเซลล์แบบนี้มีการรวมของสารพันธุกรรม เซลล์จึงสารพันธุกรรมมากขึ้นและขนาดใหญ่ขึ้น | 11 13 11 5 |
| 20 | จุดบกพร่องขั้นคำตอบ | คำตอบ | ความถี่ |
| | ระบุระยะการแบ่งเซลล์ไม่ได้ | - เมตาเฟส I * - เมตาเฟส II - โปรเฟส I - อินเตอร์เฟส I | 40 21 7 6 |
| | จุดบกพร่องขั้นเหตุผล | เหตุผล | ความถี่ |
| | ไม่เข้าใจเหตุการณ์ที่เกิดในแต่ละระยะของการแบ่งเซลล์ | - ระยะนี้โครโมโซมคู่เหมือนมาเรียงกันกลางเซลล์ * - การฉีกโครโมโซมเกิดในระยะนี้ เพื่อแยกโครโมโซมคู่เหมือนให้ออกจากกัน - ระยะนี้เป็นระยะที่เกิดการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนของสารพันธุกรรม - ระยะนี้เป็นระยะเตรียมความพร้อมของเซลล์ จึงสังเกตเห็นได้ชัดเจน | 27 16 12 8 |

ตาราง 21 (ต่อ)

| ข้อ | จุดบกพร่องและคำตอบ/เหตุผล | | |
|--|---|--|---------|
| 21 | จุดบกพร่องชั้นคำตอบ | คำตอบ | ความถี่ |
| | วิเคราะห์การแบ่งไซโทพลาสซึม | - มีผนังเซลล์ * | 28 |
| | ไม่ถูกต้อง | - มีแวคิวโอลในเซลล์ | 12 |
| | | - มีคลอโรพลาสต์กระจายเต็มเซลล์ | 10 |
| - เซลล์พืชมีการเรียงตัวเป็นเนื้อเยื่ออย่างหนาแน่น | | 8 | |
| จุดบกพร่องชั้นเหตุผล | เหตุผล | ความถี่ | |
| ไม่เข้าใจหลักการของการแบ่งไซโทพลาสซึมของเซลล์พืช | - พืชมีผนังเซลล์ที่แข็งแรง ทำให้ไม่เกิดการคอดกึ่งของเซลล์พืช * | 16 | |
| | - การที่เซลล์พืชมีแวคิวโอลในเซลล์ขนาดใหญ่ ทำให้การคอดกึ่งของเซลล์เกิดขึ้นไม่ได้ | 10 | |
| | - การมีคลอโรพลาสต์กระจายเต็มเซลล์พืช ทำให้เป็นอุปสรรคของการแบ่งเซลล์ | 7 | |
| | - เนื้อเยื่อพืชประกอบด้วยเซลล์เรียงตัวหนาแน่น ทำให้ไม่เกิดการคอดกึ่งของเซลล์ | 5 | |
| 22 | จุดบกพร่องชั้นคำตอบ | คำตอบ | ความถี่ |
| | วิเคราะห์ผลของการแบ่งไซโทพลาสซึมไม่ถูกต้อง | - เซลล์มีปริมาณไซโทพลาสซึมและขนาดเซลล์เท่าเดิม แต่สารพันธุกรรมกว่าปกติ * | 11 |
| | | - เซลล์มี 2 นิวเคลียส หรือมากกว่า 2 ขนาดเซลล์ปกติ | 15 |
| | | - เซลล์มีขนาดใหญ่ มีไซโทพลาสซึมมากกว่าปกติ | 12 |
| - เซลล์มีไซโทพลาสซึมและขนาดเซลล์ปกติ แต่มีสารพันธุกรรมมากกว่าปกติ จึงไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส | | 8 | |
| จุดบกพร่องชั้นเหตุผล | เหตุผล | ความถี่ | |
| ระบุเหตุผลการแบ่งไซโทพลาสซึมไม่ถูกต้อง | - เซลล์มีสารพันธุกรรมมากขึ้น เพราะจำนวนโครโมโซมเพิ่มเป็น 2 เท่า * | 6 | |
| | - เซลล์มีนิวเคลียสหลายอัน แบ่งเป็น 2 เซลล์ไม่ได้ | 10 | |
| | - มีไซโทพลาสซึมขนาดใหญ่ เนื่องจากไซโทพลาสซึมแบ่งไปอีกเซลล์ไม่ได้ | 10 | |
| | - เซลล์จะไม่มีการสร้างเยื่อหุ้มนิวเคลียส เพราะดีเอ็นเอมากเกินไป | 5 | |

ตาราง 21 (ต่อ)

| ข้อ | จุดบกพร่องและคำตอบ/เหตุผล | คำตอบ | ความถี่ |
|-----|-----------------------------------|--|---------|
| 23 | จุดบกพร่องขั้นคำตอบ | คำตอบ | ความถี่ |
| | ไม่เข้าใจบทบาทของ | - ไมโครฟิลาเมนต์ * | 15 |
| | ออร์แกเนลล์ที่เกี่ยวข้อง | - กอลจิบอดี | 20 |
| | กับการแบ่งไซโทพลาสซึม | - ไรโบโซม | 10 |
| | | - ร่างแหเอนโดพลาสซึม | 8 |
| | จุดบกพร่องขั้นเหตุผล | เหตุผล | ความถี่ |
| | ไม่เข้าใจออร์แกเนลล์ที่เกี่ยวข้อง | - ไมโครฟิลาเมนต์เกี่ยวข้องกับการคอดกิวของเซลล์สัตว์ | 10 |
| | กับการแบ่งเซลล์ | จนกลายเป็น 2 เซลล์ * | |
| | | - กอลจิบอดีสร้างเซลล์เพลท (Cell plate) กั้นเซลล์ลูก | 15 |
| | | ทั้ง 2 เซลล์ | |
| | | - ไรโบโซมมีหน้าที่สร้างโปรตีน ซึ่งนำมาสร้างเส้นใย | 8 |
| | | สปินเดิล | |
| | | - ร่างแหเอนโดพลาสซึมทำหน้าที่ควบคุมโปรตีน ดีเอ็นเอ | 7 |
| | | นำมาสร้างเป็นโครโมโซม | |
| 24 | จุดบกพร่องขั้นคำตอบ | คำตอบ | ความถี่ |
| | ระบุจำนวนเซลล์ที่ได้จาก | - 40 เซลล์ * | 30 |
| | การแบ่งเซลล์ไม่ได้ | - 20 เซลล์ | 40 |
| | | - 10 เซลล์ | 9 |
| | | - 160 เซลล์ | 8 |
| | จุดบกพร่องขั้นเหตุผล | เหตุผล | ความถี่ |
| | ไม่เข้าใจและไม่มีความรู้พื้นฐาน | - เซลล์ร่างกาย 1 เซลล์ หากเกิดการแบ่งเซลล์ | 37 |
| | ของการแบ่งเซลล์ | จะได้เซลล์ลูก 2 เซลล์ ต่อ 1 วัฏจักรเซลล์ * | |
| | | - ถ้ามีการแบ่งเซลล์ เซลล์เดิมต้องตายเพื่อให้ได้เซลล์ใหม่ | 5 |
| | | - การแบ่งเซลล์ร่างกายจะได้เซลล์ลูก 4 เซลล์ | 6 |
| | | เมื่อครบกำหนดจึงมีเซลล์ลูกมากมาย | |
| | | - เซลล์ร่างกายจะแบ่งได้ 4 เซลล์ต่อรอบ แต่สลายตัวไป | 6 |
| | | บางส่วน | |

ตาราง 21 (ต่อ)

| ข้อ | จุดบกพร่องและคำตอบ/เหตุผล | คำตอบ | ความถี่ |
|-----|---|---|----------------------|
| 25 | จุดบกพร่องขั้นคำตอบ | คำตอบ | ความถี่ |
| | วิเคราะห์การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและไมโอซิสไม่ได้ | - ขนาดของเซลล์ลูกไมโทซิสเล็กกว่าเซลล์แม่ ไมโอซิสเล็กกว่าเซลล์แม่ * - การแยกโครโมโซมคู่เหมือนออกจากกัน ไมโทซิสไม่มีไมโอซิสมี - จำนวนเซลล์ลูกไมโทซิส 2 เซลล์ ไมโอซิส 4 เซลล์ - การเกิดครอสซิงโอเวอร์ ไมโทซิสไม่มี ไมโอซิสมี | 17 15 12 10 |
| | จุดบกพร่องขั้นเหตุผล | เหตุผล | ความถี่ |
| | ไม่เข้าใจการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและไมโอซิส | - ไมโทซิสขนาดของเซลล์ลูกที่ได้จะเท่ากับเซลล์แม่ ส่วนไมโอซิสขนาดของเซลล์ลูกจะเล็กกว่า * - ไมโทซิสและไมโอซิสจะแบ่งตัวได้เซลล์ลูก 2 เซลล์เหมือนกัน - การแยกโครโมโซมคู่เหมือนออกจากกัน พบได้ใน การแบ่งเซลล์ทั้ง 2 แบบ - การเกิดครอสซิงโอเวอร์ (Crossing over) พบได้ใน การแบ่งเซลล์ทั้ง 2 แบบ | 8 10 12 11 |
| 26 | จุดบกพร่องขั้นคำตอบ | คำตอบ | ความถี่ |
| | วิเคราะห์และนำความรู้เรื่องการแบ่งเซลล์ไปใช้ไม่ได้ | - เซลล์ประสาท * - เซลล์ทุกชนิด (เซลล์ทุกชนิดสามารถสร้างใหม่ได้) - เซลล์กระดูก - เซลล์ผิวหนัง | 22 29 14 6 |
| | จุดบกพร่องขั้นเหตุผล | เหตุผล | ความถี่ |
| | ไม่มีความรู้ในเรื่องความสามารถในการแบ่งเซลล์แต่ละชนิด | - เซลล์บางชนิดในร่างกายจะไม่มี การแบ่งตัวเพิ่มในระยะวัยผู้ใหญ่ * - เซลล์ทุกชนิดไม่สามารถแบ่งตัวได้ ต้องสร้างใหม่เท่านั้น - เซลล์ทุกเซลล์สามารถแบ่งตัวมาทดแทนเซลล์เดิม - เซลล์บางชนิดในร่างกายจะสร้างทดแทนในกรณีที่บาดเจ็บหรือมีบาดแผล | 12 16 4 4 |

ตาราง 21 (ต่อ)

| ข้อ | จุดบกพร่องและคำตอบ/เหตุผล | | |
|-----|---|--|---------------------|
| 27 | จุดบกพร่องขั้นคำตอบ | คำตอบ | ความถี่ |
| | วิเคราะห์เหตุการณ์สำคัญ ที่เกิดขึ้นในระยะต่าง ๆ ของการแบ่งเซลล์ไม่ได้ | - แอนาเฟส II แอนาเฟส โพรเฟส II โพรเฟส I * - แอนาเฟส I แอนาเฟส II โพรเฟส I โพรเฟส I - แอนาเฟส I แอนาเฟส II โพรเฟส โพรเฟส - แอนาเฟส I แอนาเฟส โพรเฟส II โพรเฟส II | 8 16 12 8 |
| | จุดบกพร่องขั้นเหตุผล | เหตุผล | ความถี่ |
| | ไม่เข้าใจเหตุการณ์สำคัญ ที่เกิดขึ้นในระยะต่าง ๆ ของการแบ่งเซลล์ | - การแยกคู่ Homologous Chromosome อยู่ในระยะ แอนาเฟส I เท่านั้น * - การสร้างเส้นใยสปินเดิลพบในระยะโพรเฟส I และ II เท่านั้น - การแยกคู่ Sister chromatid อยู่ในระยะแอนาเฟส ทั้งหมด - การสลายของ Nucleolus ไม่มีในระยะโพรเฟส II | 9 12 7 4 |
| 28 | จุดบกพร่องขั้นคำตอบ | คำตอบ | ความถี่ |
| | วิเคราะห์โรคที่เกี่ยวข้องกับ วัฏจักรเซลล์ไม่ได้ | - โรคมะเร็ง * - โรคตาบอดสี - โรคเอดส์ - โรคไข้หวัด | 10 38 11 3 |
| | จุดบกพร่องขั้นเหตุผล | เหตุผล | ความถี่ |
| | ไม่มีความรู้เรื่องโรคต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแบ่งเซลล์ | - โรคนี้เกิดจากการแบ่งเซลล์ที่ไม่ได้ถูกควบคุมอย่าง เหมาะสม * - โรคนี้เกิดจากความผิดปกติในการแบ่งเซลล์ของ โครโมโซม X - โรคนี้เกิดจากระบบภูมิคุ้มกันที่บกพร่อง ทำให้ เม็ดเลือดขาวแบ่งตัวน้อยลงมาก - โรคนี้เกิดจากเชื้อไวรัสที่แบ่งตัวเพิ่มจำนวนในร่างกาย | 5 12 7 5 |

ตาราง 21 (ต่อ)

| ข้อ | จุดบกพร่องและคำตอบ/เหตุผล | | ความถี่ |
|-----|-----------------------------------|---|---------|
| 29 | จุดบกพร่องชั้นคำตอบ | คำตอบ | ความถี่ |
| | วิเคราะห์ความผิดปกติของ | - การแบ่งแบบไมโอซิสผิดปกติ * | 41 |
| | โครโมโซมที่เกี่ยวข้องกับโรคทาง | - การแบ่งแบบไมโทซิสผิดปกติ | 19 |
| | พันธุกรรมไม่ได้ | - การแบ่งแบบไมโทซิสและไมโอซิสผิดปกติ | 12 |
| | | - การที่เซลล์ไม่แบ่งตัว | 7 |
| | จุดบกพร่องชั้นเหตุผล | เหตุผล | ความถี่ |
| | ไม่มีความรู้เรื่องการแบ่งเซลล์ที่ | - โครโมโซม X ขาดหายไป เกิดจากการไม่แยกส่วนของ | 20 |
| | เกี่ยวข้องกับโรคทางพันธุกรรม | โครโมโซมในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส * | |
| | | - โครโมโซม X ขาดหายไป เกิดจากการไม่แยกส่วนของ | 11 |
| | | โครโมโซมในการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส | |
| | | - การที่โครโมโซม X ขาดหายไป เกิดจากความผิดปกติ | 11 |
| | | ของการแบ่งเซลล์ทั้งไมโทซิสและไมโอซิส | |
| | | - ความผิดปกติบางอย่าง เช่น การติดเชื้อในครรภ์ ทำให้ | 7 |
| | | เซลล์ไซโกตไม่แบ่งตัว | |

2. การทดสอบเพื่อหาคุณภาพ

นำแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น ให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านเนื้อหาพิจารณา เพื่อแก้ไขปรับปรุงสำนวนการเขียนข้อสอบ ทั้งโจทย์และตัวเลือกในข้อสอบทั้งชั้นเหตุผลและชั้นคำตอบ จากนั้นนำไปทดสอบกับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 105 คน เพื่อวิเคราะห์คุณภาพรายข้อ ด้านความยาก (P) อำนาจจำแนก (r) แล้วคัดเลือกและปรับปรุงข้อสอบ และวิเคราะห์ความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับ

ตาราง 22 ผลการวิเคราะห์ค่าความยากและค่าอำนาจจำแนกชั้นเหตุผลและชั้นคำตอบ เพื่อหา
คุณภาพรายข้อ

| ข้อ | ชั้นคำตอบ (A tier) | | | ชั้นเหตุผล (R tier) | | | ข้อสรุป |
|-----|--------------------|------|--------------------------------------|---------------------|------|--------------------------------------|---------|
| | P | r | แปลผล | P | r | แปลผล | |
| 1 | 0.19 | 0.44 | ข้อสอบยากมาก จำแนกได้ปานกลาง | 0.25 | 0.53 | ข้อสอบค่อนข้างยาก จำแนกได้ปานกลาง | ตัดไว้ |
| 2 | 0.39 | 0.42 | ข้อสอบค่อนข้างยาก จำแนกได้บ้าง | 0.15 | 0.27 | ข้อสอบยากมาก จำแนกได้บ้าง | ตัดไว้ |
| 3 | 0.40 | 0.10 | ข้อสอบยากปานกลาง จำแนกไม่ค่อยได้ | 0.26 | 0.09 | ข้อสอบค่อนข้างยาก จำแนกไม่ค่อยได้ | ตัดไว้ |
| 4 | 0.54 | 0.39 | ข้อสอบยากปานกลาง จำแนกได้บ้าง | 0.35 | 0.46 | ข้อสอบค่อนข้างยาก จำแนกได้ปานกลาง | ตัดไว้ |
| 5 | 0.37 | 0.39 | ข้อสอบค่อนข้างยาก จำแนกได้บ้าง | 0.59 | 0.15 | ข้อสอบยากปานกลาง จำแนกไม่ค่อยได้ | ตัดไว้ |
| 6 | 0.87 | 0.38 | ข้อสอบง่ายมาก จำแนกได้บ้าง | 0.83 | 0.34 | ข้อสอบง่ายมาก จำแนกได้บ้าง | ตัดทิ้ง |
| 7 | 0.42 | 0.61 | ข้อสอบยากปานกลาง จำแนกได้ดี | 0.45 | 0.41 | ข้อสอบยากปานกลาง จำแนกได้บ้าง | ตัดไว้ |
| 8 | 0.51 | 0.37 | ข้อสอบยากปานกลาง จำแนกได้บ้าง | 0.23 | 0.06 | ข้อสอบค่อนข้างยาก จำแนกไม่ค่อยได้ | ตัดไว้ |
| 9 | 0.51 | 0.51 | ข้อสอบยากปานกลาง จำแนกได้ปานกลาง | 0.21 | 0.02 | ข้อสอบค่อนข้างยาก จำแนกไม่ค่อยได้ | ตัดไว้ |
| 10 | 0.68 | 0.20 | ข้อสอบค่อนข้างง่าย จำแนกได้บ้าง | 0.18 | 0.04 | ข้อสอบยากมาก จำแนกไม่ค่อยได้ | ตัดไว้ |
| 11 | 0.46 | 0.40 | ข้อสอบยากปานกลาง จำแนกได้ปานกลาง | 0.17 | 0.14 | ข้อสอบยากปานกลาง จำแนกได้บ้าง | ตัดไว้ |
| 12 | 0.18 | 0.26 | ข้อสอบยากมาก จำแนกได้บ้าง | 0.30 | 0.06 | ข้อสอบค่อนข้างยาก จำแนกไม่ค่อยได้ | ตัดไว้ |
| 13 | 0.47 | 0.20 | ข้อสอบยากปานกลาง จำแนกได้บ้าง | 0.38 | 0.42 | ข้อสอบยากปานกลาง จำแนกได้ปานกลาง | ตัดไว้ |
| 14 | 0.28 | 0.18 | ข้อสอบค่อนข้างยาก จำแนกไม่ค่อยได้ | 0.30 | 0.16 | ข้อสอบค่อนข้างยาก จำแนกไม่ค่อยได้ | ตัดไว้ |

ตาราง 22 (ต่อ)

| ข้อ | ชั้นคำตอบ (A tier) | | | ชั้นเหตุผล (R tier) | | | ข้อสรุป |
|-----|--------------------|-------|--------------------------------------|---------------------|------|--------------------------------------|---------|
| | P | r | แปลผล | P | r | แปลผล | |
| 15 | 0.54 | 0.47 | ข้อสอบยากปานกลาง จำแนกได้ปานกลาง | 0.46 | 0.42 | ข้อสอบยากปานกลาง จำแนกได้ปานกลาง | ตัดไว้ |
| 16 | 0.41 | 0.33 | ข้อสอบยากปานกลาง จำแนกได้บ้าง | 0.45 | 0.39 | ข้อสอบยากปานกลาง จำแนกได้ปานกลาง | ตัดไว้ |
| 17 | 0.36 | 0.38 | ข้อสอบค่อนข้างยาก จำแนกได้บ้าง | 0.40 | 0.43 | ข้อสอบยากปานกลาง จำแนกได้ปานกลาง | ตัดไว้ |
| 18 | 0.37 | 0.39 | ข้อสอบค่อนข้างยาก จำแนกได้บ้าง | 0.38 | 0.39 | ข้อสอบค่อนข้างยาก จำแนกได้บ้าง | ตัดไว้ |
| 19 | 0.11 | 0.11 | ข้อสอบยากมาก จำแนกไม่ค่อยได้ | 0.56 | 0.26 | ข้อสอบยากปานกลาง จำแนกได้บ้าง | ตัดทิ้ง |
| 20 | 0.60 | 0.60 | ข้อสอบค่อนข้างง่าย จำแนกได้ดี | 0.35 | 0.43 | ข้อสอบค่อนข้างยาก จำแนกได้ปานกลาง | ตัดไว้ |
| 21 | 0.55 | 0.30 | ข้อสอบยากปานกลาง จำแนกได้บ้าง | 0.52 | 0.34 | ข้อสอบยากปานกลาง จำแนกได้บ้าง | ตัดไว้ |
| 22 | 0.29 | 0.04 | ข้อสอบค่อนข้างยาก จำแนกไม่ค่อยได้ | 0.12 | 0.12 | ข้อสอบค่อนข้างยาก จำแนกได้บ้าง | ตัดทิ้ง |
| 23 | 0.44 | 0.53 | ข้อสอบยากปานกลาง จำแนกได้ปานกลาง | 0.38 | 0.46 | ข้อสอบค่อนข้างยาก จำแนกได้ปานกลาง | ตัดไว้ |
| 24 | 0.28 | 0.08 | ข้อสอบค่อนข้างยาก จำแนกไม่ค่อยได้ | 0.48 | 0.26 | ข้อสอบยากปานกลาง จำแนกได้บ้าง | ตัดทิ้ง |
| 25 | 0.23 | 0.19 | ข้อสอบค่อนข้างยาก จำแนกไม่ค่อยได้ | 0.35 | 0.16 | ข้อสอบค่อนข้างยาก จำแนกไม่ค่อยได้ | ตัดไว้ |
| 26 | 0.53 | 0.22 | ข้อสอบยากปานกลาง จำแนกได้บ้าง | 0.45 | 0.35 | ข้อสอบยากปานกลาง จำแนกได้บ้าง | ตัดไว้ |
| 27 | 0.21 | 0.19 | ข้อสอบค่อนข้างยาก จำแนกไม่ค่อยได้ | 0.36 | 0.28 | ข้อสอบค่อนข้างยาก จำแนกได้บ้าง | ตัดไว้ |
| 28 | 0.12 | -0.07 | ข้อสอบยากมาก จำแนกไม่ได้ | 0.10 | 0.02 | ข้อสอบยากมาก จำแนกไม่ค่อยได้ | ตัดทิ้ง |
| 29 | 0.45 | 0.20 | ข้อสอบยากปานกลาง จำแนกได้บ้าง | 0.46 | 0.17 | ข้อสอบยากปานกลาง จำแนกไม่ค่อยได้ | ตัดไว้ |

ตาราง 23 ค่าสถิติต่าง ๆ ของข้อสอบและแบบทดสอบก่อนการคัดเลือกข้อสอบ

| ชั้นคำตอบ | | | | | | ชั้นเหตุผล | | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|-----|-----|-------|-------------------------------|-------|-------|-----|-----|------|
| Avg.P | Avg.R | Mean | Max | Min | SD | Avg.P | Avg.R | Mean | Max | Min | SD |
| 0.41 | 0.30 | 11.77 | 21 | 3 | 4.163 | 0.36 | 0.26 | 10.47 | 20 | 2 | 3.56 |
| ค่าความเชื่อมั่น (KR20) 0.663 | | | | | | ค่าความเชื่อมั่น (KR20) 0.542 | | | | | |

จากตาราง 23 พบว่าแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกที่ลำดับชั้น ทั้งหมด 29 ข้อ ในชั้นคำตอบ (A tier) มีค่าความยากตั้งแต่ 0.11-0.87 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ -0.07-0.61 ค่าความยากเฉลี่ยทั้งฉบับ 0.41 ค่าอำนาจจำแนกเฉลี่ยทั้งฉบับ 0.30 ค่าเฉลี่ยคะแนนทั้งฉบับ 11.77 และค่าความเชื่อมั่น (KR20) เท่ากับ 0.663 ในชั้นเหตุผล (R tier) มีค่าความยากตั้งแต่ 0.10-0.83 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.02-0.53 ค่าความยากเฉลี่ยทั้งฉบับ 0.36 ค่าอำนาจจำแนกเฉลี่ยทั้งฉบับ 0.26 ค่าเฉลี่ยคะแนนทั้งฉบับ 10.47 และค่าความเชื่อมั่น (KR20) เท่ากับ 0.542

ผู้วิจัยจึงทำการตัดข้อสอบที่ไม่เป็นตามเกณฑ์ออก จำนวน 4 ข้อ ได้แก่ ข้อ 6, 19, 22, 24 และ 28 ทำให้เหลือข้อสอบ จำนวน 24 ข้อ โดยข้อสอบบางข้อมีค่าความยาก และค่าอำนาจจำแนกที่ไม่ได้มาตรฐานแต่ก็คัดเลือกไว้ เป็นเพราะข้อสอบมีคำตอบลวงที่มีประสิทธิภาพ เช่นข้อ 1 ในชั้นคำตอบ (A tier) มีค่าความยาก เท่ากับ 0.19 แต่มีคำตอบลวงที่มีประสิทธิภาพ ดังตาราง 24

ตาราง 24 วิเคราะห์จำนวนและร้อยละของการเลือกคำตอบถูกและคำตอบลวง

| ข้อ | ชั้นคำตอบ (A tier) | | | | ชั้นเหตุผล (R tier) | | | |
|-----|--------------------|--------|--------|--------|---------------------|--------|--------|--------|
| | ก. | ข. | ค. | ง. | ก. | ข. | ค. | ง. |
| 1 | 51 | 27 | 7 | 20* | 45 | 25 | 9 | 26* |
| | 48.57% | 25.71% | 6.67% | 19.05% | 42.86% | 23.81% | 8.57% | 24.76% |
| 2 | 11 | 22 | 31 | 41* | 3 | 16* | 50 | 36 |
| | 10.48% | 20.95% | 29.52% | 39.05% | 2.86% | 15.24% | 47.62% | 34.29% |
| 3 | 44 | 8 | 42* | 11 | 39 | 25 | 14 | 27* |
| | 41.90% | 7.62% | 40.00% | 10.48% | 37.14% | 23.81% | 13.33% | 25.71% |
| 4 | 14 | 57* | 21 | 13 | 17 | 37* | 33 | 18 |
| | 13.33% | 54.29% | 20.00% | 12.38% | 16.19% | 35.24% | 31.43% | 17.14% |

ตาราง 24 (ต่อ)

| ข้อ | ชั้นคำตอบ (A tier) | | | | ชั้นเหตุผล (R tier) | | | |
|-----|--------------------|--------|--------|--------|---------------------|--------|--------|--------|
| | ก. | ข. | ค. | ง. | ก. | ข. | ค. | ง. |
| 5 | 9 | 13 | 44 | 39* | 62* | 23 | 10 | 10 |
| | 8.57% | 12.38% | 41.90% | 37.14% | 59.05% | 21.90% | 9.52% | 9.52% |
| 6 | 2 | 6 | 91* | 6 | 7 | 7 | 87* | 4 |
| | 1.90% | 5.71% | 86.67% | 5.71% | 6.67% | 6.67% | 82.86% | 3.81% |
| 7 | 19 | 44* | 34 | 8 | 29 | 47* | 18 | 11 |
| | 18.10% | 41.90% | 32.38% | 7.62% | 27.62% | 44.76% | 17.14% | 10.48% |
| 8 | 54* | 10 | 18 | 23 | 24* | 38 | 22 | 21 |
| | 51.43% | 9.52% | 17.14% | 21.90% | 22.86% | 36.19% | 20.95% | 20.00% |
| 9 | 20 | 18 | 54* | 13 | 22* | 17 | 58 | 8 |
| | 19.05% | 17.14% | 51.43% | 12.38% | 20.95% | 16.19% | 55.24% | 7.62% |
| 10 | 20 | 71* | 10 | 4 | 19* | 20 | 34 | 32 |
| | 19.05% | 67.62% | 9.52% | 3.81% | 18.10% | 19.05% | 32.38% | 30.48% |
| 11 | 16 | 48* | 32 | 9 | 18* | 46 | 36 | 5 |
| | 15.24% | 45.71% | 30.48% | 8.57% | 17.14% | 43.81% | 34.29% | 4.76% |
| 12 | 10 | 74 | 19* | 2 | 11 | 60 | 31* | 3 |
| | 9.52% | 70.48% | 18.10% | 1.90% | 10.48% | 57.14% | 29.52% | 2.86% |
| 13 | 51* | 23 | 20 | 11 | 40* | 20 | 28 | 17 |
| | 48.57% | 21.90% | 19.05% | 10.48% | 38.10% | 19.05% | 26.67% | 16.19% |
| 14 | 19 | 17 | 40 | 29* | 12 | 21 | 40 | 32* |
| | 18.10% | 16.19% | 38.10% | 27.62% | 11.43% | 20.00% | 38.10% | 30.48% |
| 15 | 17 | 13 | 57* | 18 | 20 | 48* | 21 | 16 |
| | 16.19% | 12.38% | 54.29% | 17.14% | 19.05% | 45.71% | 20.00% | 15.24% |
| 16 | 43* | 34 | 16 | 12 | 18 | 47* | 26 | 14 |
| | 40.95% | 32.38% | 15.24% | 11.43% | 17.14% | 44.76% | 24.76% | 13.33% |
| 17 | 8 | 38* | 36 | 23 | 42* | 22 | 20 | 21 |
| | 7.62% | 36.19% | 34.29% | 21.90% | 40.00% | 20.95% | 19.05% | 20.00% |

ตาราง 24 (ต่อ)

| ข้อ | ชั้นคำตอบ (A tier) | | | | ชั้นเหตุผล (R tier) | | | |
|-----|--------------------|--------|--------|--------|---------------------|--------|--------|--------|
| | ก. | ข. | ค. | ง. | ก. | ข. | ค. | ง. |
| 18 | 39 | 18 | 39* | 9 | 24 | 29 | 40* | 12 |
| | 37.14% | 17.14% | 37.14% | 8.57% | 22.86% | 27.62% | 38.10% | 11.43% |
| 19 | 18 | 31 | 11* | 45 | 10 | 59* | 29 | 7 |
| | 17.14% | 29.52% | 10.48% | 42.86% | 9.52% | 56.19% | 27.62% | 6.67% |
| 20 | 6 | 13 | 63* | 23 | 37* | 15 | 21 | 32 |
| | 5.71% | 12.38% | 60.00% | 21.90% | 35.24% | 14.29% | 20.00% | 30.48% |
| 21 | 58* | 23 | 8 | 16 | 55* | 22 | 11 | 17 |
| | 55.24% | 21.90% | 7.62% | 15.24% | 52.38% | 20.95% | 10.48% | 16.19% |
| 22 | 32 | 30* | 31 | 12 | 30 | 13* | 36 | 26 |
| | 30.48% | 28.57% | 29.52% | 11.43% | 28.57% | 12.38% | 34.29% | 24.76% |
| 23 | 46* | 23 | 15 | 21 | 40* | 26 | 16 | 23 |
| | 43.81% | 21.90% | 14.29% | 20.00% | 38.10% | 24.76% | 15.24% | 21.90% |
| 24 | 11 | 56 | 29* | 9 | 9 | 25 | 21 | 50* |
| | 10.48% | 53.33% | 27.62% | 8.57% | 8.57% | 23.81% | 20.00% | 47.62% |
| 25 | 30 | 24* | 27 | 24 | 20 | 37* | 28 | 20 |
| | 28.57% | 22.86% | 25.71% | 22.86% | 19.05% | 35.24% | 26.67% | 19.05% |
| 26 | 56* | 6 | 14 | 29 | 19 | 12 | 27 | 47* |
| | 53.33% | 5.71% | 13.33% | 27.62% | 18.10% | 11.43% | 25.71% | 44.76% |
| 27 | 17 | 44 | 22 | 22* | 26 | 19 | 22 | 38* |
| | 16.19% | 41.90% | 20.95% | 20.95% | 24.76% | 18.10% | 20.95% | 36.19% |
| 28 | 76 | 3 | 13 | 13* | 25 | 57 | 10* | 13 |
| | 72.38% | 2.86% | 12.38% | 12.38% | 23.81% | 54.29% | 9.52% | 12.38% |
| 29 | 24 | 47* | 18 | 16 | 25 | 48* | 19 | 13 |
| | 22.86% | 44.76% | 17.14% | 15.24% | 23.81% | 45.71% | 18.10% | 12.38% |

จากตาราง 24 พบว่าแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกลำดับชั้น ทั้งหมด 29 ข้อ มีตัว
 ลวงที่มีประสิทธิภาพในทุกข้อ ทั้งชั้นคำตอบ (A tier) และชั้นเหตุผล (R tier) สังเกตได้จากการ
 เลือกตอบของนักเรียน จำนวน 105 คน มีการเลือกคำตอบครบทุกตัวเลือก ทั้งตัวเลือกที่เป็น

คำตอบถูกต้องและตัวเลือกที่เป็นคำตอบลวง โดยมีหลายข้อที่นักเรียนมีการเลือกคำตอบที่เป็นตัวลวงมากกว่าคำตอบที่ถูกต้อง

ดังนั้นในหลังการปรับปรุงข้อสอบแล้ว พบว่าแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น ทั้งหมด 24 ข้อ ในชั้นคำตอบ (A tier) มีค่าความยากตั้งแต่ 0.18-0.68 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.13-0.62 ค่าความยากเฉลี่ยทั้งฉบับ 0.42 ค่าอำนาจจำแนกเฉลี่ยทั้งฉบับ 0.35 และค่าความเชื่อมั่น (KR20) เท่ากับ 0.695 ในชั้นเหตุผล (R tier) มีค่าความยากตั้งแต่ 0.15-0.59 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.03-0.50 ค่าความยากเฉลี่ยทั้งฉบับ 0.35 ค่าอำนาจจำแนกเฉลี่ยทั้งฉบับ 0.28 และค่าความเชื่อมั่น (KR20) เท่ากับ 0.520 แสดงดังตาราง 25

ตาราง 25 ค่าสถิติต่าง ๆ ของข้อสอบและแบบทดสอบฉบับสมบูรณ์

| ชั้นคำตอบ | | | | | | ชั้นเหตุผล | | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|-----|-----|-------|-------------------------------|-------|------|-----|-----|------|
| Avg.P | Avg.R | Mean | Max | Min | SD | Avg.P | Avg.R | Mean | Max | Min | SD |
| 0.42 | 0.35 | 10.11 | 19 | 1 | 4.056 | 0.35 | 0.28 | 8.38 | 17 | 2 | 3.22 |
| ค่าความเชื่อมั่น (KR20) 0.695 | | | | | | ค่าความเชื่อมั่น (KR20) 0.520 | | | | | |

3. การทดสอบเพื่อจำแนกกลุ่มแนวคิดและวิเคราะห์หัตถ์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน

นำแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้นไปใช้จริงกับนักเรียนจำนวน 175 คน จำแนกกลุ่มแนวคิดนักเรียนและการวิเคราะห์หัตถ์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน ดังนี้

3.1 การจำแนกกลุ่มแนวคิดของนักเรียน

3.2 การวิเคราะห์หัตถ์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน

3.1 การจำแนกกลุ่มแนวคิดของนักเรียน

การจำแนกกลุ่มแนวคิดของนักเรียนโดยใช้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น จะแบ่งกลุ่มแนวคิดของนักเรียนตามรหัสคำตอบของนักเรียน โดยแบ่งรหัสคำตอบเป็น 4 ส่วน ดังนี้

1. ส่วนที่ 1 (A tier) คือ ชั้นคำตอบ ประกอบด้วย 4 ตัวเลือก โดย 1 ตัวเลือกจะเป็นตัวเลือกที่ถูกต้อง และอีก 3 ตัวเลือกจะเป็นมโนทัศน์คลาดเคลื่อน

2. ส่วนที่ 2 (CA tier) คือ ชั้นความมั่นใจส่วนคำตอบ 4 ระดับ คือ 4 = มั่นใจมาก 3 = มั่นใจ 2 = ไม่มั่นใจ และ 1 = คาดเดา

3. ส่วนที่ 3 (R tier) คือ ชั้นเหตุผล ประกอบด้วย 4 ตัวเลือก โดย 1 ตัวเลือกจะเป็นตัวเลือกที่ถูกต้อง ส่วนอีก 3 ตัวเลือกจะเป็นมโนทัศน์คลาดเคลื่อน

4. ส่วนที่ 4 (CR tier) คือ ชั้นความมั่นใจส่วนเหตุผล ประกอบด้วย 4 ระดับ คือ 4 = มั่นใจมาก 3 = มั่นใจ 2 = ไม่มั่นใจ และ 1 = คาดเดา

ตัวอย่างการวิเคราะห์ จะมีการเรียงลำดับตัวเลขต่าง ๆ ดังนี้

| หลักที่ 1 | หลักที่ 2 | หลักที่ 3 | หลักที่ 4 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| A tier | CA tier | R tier | CR tier |

จากนั้นทำการจัดกลุ่มรหัสแนวคิดออกเป็น กลุ่ม ดังต่อไปนี้ 4

| กลุ่มแนวคิด | รหัสคำตอบ |
|---|--|
| 1. กลุ่มที่มีแนวคิดที่ถูกต้อง (SK) | 1414, 1413, 1314, 1313 |
| 2. กลุ่มที่ขาดความมั่นใจในความรู้ (NCK) | 1412, 1411, 1312, 1311, 1214, 1213, 1212, 1211, 1114, 1113, 1112, 1111 |
| 3. กลุ่มที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (M) | 1404, 1403, 1304, 1303, 1204, 1203, 1104, 1103, 0414, 0413, 0412, 0411, 0314, 0313, 0312, 0311, 0404, 0403, 0402, 0401, 0304, 0303, 0302, 0301, 0204, 0203, 0104, 0103 |
| 4. กลุ่มที่ขาดความรู้ (LK) | 1402, 1401, 1302, 1301, 1202, 1201, 1102, 1101, 0214, 0213, 0212, 0211, 0114, 0113, 0112, 0111, 0202, 0201, 0102, 0101 |

ทั้งนี้เกณฑ์การกำหนดรหัสและการจัดกลุ่มรหัสแนวคิดนี้ได้รับการประเมินตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสมจากผู้เชี่ยวชาญแล้ว จากนั้นทำการลงรหัส และแยกนักเรียนตามกลุ่มรหัสแนวคิด ทั้ง 4 แบบ คือ กลุ่มที่มีแนวคิดที่ถูกต้อง (SK) กลุ่มที่ขาดความมั่นใจในความรู้ (NCK) กลุ่มที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (M) และกลุ่มที่ขาดความรู้ (LK) โดยแบ่งตามขนาดโรงเรียน คือโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ โรงเรียนขนาดใหญ่ และโรงเรียนขนาดกลาง ดังตาราง 26



ตาราง 26 แสดงร้อยละของนักเรียนตามกลุ่มรหัสแนวคิด จำแนกตามขนาดโรงเรียน

| ข้อ | โรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ (n = 105) | | | | | โรงเรียนขนาดใหญ่ (n = 35) | | | | | โรงเรียนขนาดกลาง (n = 35) | | | | | รวม (n = 175) | | | | |
|-----------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|---------------|----|-----|---|----|
| | SK | NCK | M | LK | SK | NCK | M | LK | SK | NCK | M | LK | SK | NCK | M | LK | SK | NCK | M | LK |
| 1 | 21.90 | 8.57 | 46.67 | 22.86 | 8.57 | 8.57 | 54.29 | 28.57 | 5.71 | 0.00 | 62.86 | 31.43 | 16.00 | 6.86 | 51.43 | 25.71 | | | | |
| 2 | 0.00 | 1.90 | 69.52 | 28.57 | 0.00 | 0.00 | 51.43 | 48.57 | 0.00 | 0.00 | 80.00 | 20.00 | 0.00 | 1.14 | 68.00 | 30.86 | | | | |
| 3 | 2.86 | 8.57 | 43.81 | 44.76 | 0.00 | 2.86 | 60.00 | 37.14 | 5.71 | 2.86 | 48.57 | 42.86 | 2.86 | 6.29 | 48.00 | 42.86 | | | | |
| 4 | 17.14 | 14.29 | 40.00 | 28.57 | 5.71 | 22.86 | 42.86 | 28.57 | 17.14 | 22.86 | 25.71 | 34.29 | 14.86 | 17.71 | 37.71 | 29.71 | | | | |
| 5 | 21.90 | 4.76 | 35.24 | 38.10 | 2.86 | 5.71 | 31.43 | 60.00 | 8.57 | 2.86 | 28.57 | 60.00 | 15.43 | 4.57 | 33.14 | 46.86 | | | | |
| 6 | 12.38 | 4.76 | 34.29 | 48.57 | 2.86 | 8.57 | 31.43 | 57.14 | 5.71 | 11.43 | 22.86 | 60.00 | 9.14 | 6.86 | 31.43 | 52.57 | | | | |
| 7 | 9.52 | 12.38 | 41.90 | 36.19 | 8.57 | 20.00 | 22.86 | 48.57 | 2.86 | 0.00 | 40.00 | 57.14 | 8.00 | 11.43 | 37.71 | 42.86 | | | | |
| 8 | 6.67 | 1.90 | 50.48 | 40.95 | 2.86 | 2.86 | 54.29 | 40.00 | 8.57 | 5.71 | 42.86 | 42.86 | 6.29 | 2.86 | 49.71 | 41.14 | | | | |
| 9 | 0.95 | 8.57 | 43.81 | 46.67 | 0.00 | 11.43 | 22.86 | 65.71 | 0.00 | 2.86 | 28.57 | 68.57 | 0.57 | 8.00 | 36.57 | 54.86 | | | | |
| 10 | 8.57 | 3.81 | 50.48 | 37.14 | 0.00 | 2.86 | 48.57 | 48.57 | 0.00 | 2.86 | 40.00 | 57.14 | 5.14 | 3.43 | 48.00 | 43.43 | | | | |
| 11 | 1.90 | 1.90 | 64.76 | 31.43 | 0.00 | 0.00 | 40.00 | 60.00 | 0.00 | 2.86 | 51.43 | 45.71 | 1.14 | 1.71 | 57.14 | 40.00 | | | | |
| 12 | 21.90 | 7.62 | 35.24 | 35.24 | 2.86 | 22.86 | 31.43 | 42.86 | 8.57 | 14.29 | 31.43 | 45.71 | 15.43 | 12.00 | 33.71 | 38.86 | | | | |
| 13 | 20.00 | 7.62 | 44.76 | 27.62 | 17.14 | 17.14 | 40.00 | 25.71 | 2.86 | 5.71 | 34.29 | 57.14 | 16.00 | 9.14 | 41.71 | 33.14 | | | | |
| 14 | 36.19 | 6.67 | 27.62 | 29.52 | 0.00 | 2.86 | 42.86 | 54.29 | 0.00 | 2.86 | 40.00 | 57.14 | 21.71 | 5.14 | 33.14 | 40.00 | | | | |
| 15 | 19.05 | 6.67 | 32.38 | 41.90 | 2.86 | 14.29 | 22.86 | 60.00 | 5.71 | 2.86 | 17.14 | 74.29 | 13.14 | 7.43 | 27.43 | 52.00 | | | | |
| 16 | 17.14 | 3.81 | 39.05 | 40.00 | 2.86 | 11.43 | 20.00 | 65.71 | 0.00 | 0.00 | 31.43 | 68.57 | 10.86 | 4.57 | 33.71 | 50.86 | | | | |
| 17 | 9.52 | 7.62 | 55.24 | 27.62 | 5.71 | 2.86 | 51.43 | 40.00 | 5.71 | 8.57 | 51.43 | 34.29 | 8.00 | 6.86 | 53.71 | 31.43 | | | | |
| 18 | 13.33 | 8.57 | 39.05 | 39.05 | 2.86 | 8.57 | 28.57 | 60.00 | 0.00 | 2.86 | 34.29 | 62.86 | 8.57 | 7.43 | 36.00 | 48.00 | | | | |
| 19 | 31.43 | 17.14 | 16.19 | 35.24 | 45.71 | 0.00 | 14.29 | 40.00 | 11.43 | 11.43 | 25.71 | 51.43 | 30.29 | 12.57 | 17.71 | 39.43 | | | | |
| 20 | 30.48 | 14.29 | 21.90 | 33.33 | 25.71 | 20.00 | 20.00 | 34.29 | 5.71 | 17.14 | 25.71 | 51.43 | 24.57 | 16.00 | 22.29 | 37.14 | | | | |
| 21 | 19.05 | 10.48 | 29.52 | 40.95 | 2.86 | 22.86 | 20.00 | 54.29 | 2.86 | 17.14 | 22.86 | 57.14 | 12.57 | 14.29 | 26.29 | 46.86 | | | | |
| 22 | 11.43 | 12.38 | 47.62 | 28.57 | 0.00 | 8.57 | 51.43 | 40.00 | 5.71 | 14.29 | 42.86 | 37.14 | 8.00 | 12.00 | 47.43 | 32.57 | | | | |
| 23 | 10.48 | 7.62 | 26.67 | 55.24 | 2.86 | 2.86 | 17.14 | 77.14 | 2.86 | 22.86 | 17.14 | 57.14 | 7.43 | 9.71 | 22.86 | 60.00 | | | | |
| 24 | 18.10 | 18.10 | 30.48 | 33.33 | 17.14 | 31.43 | 22.86 | 28.57 | 2.86 | 8.57 | 28.57 | 60.00 | 14.86 | 18.86 | 28.57 | 37.71 | | | | |
| รวมร้อยละ | 15.08 | 8.33 | 40.28 | 36.31 | 6.67 | 10.48 | 35.12 | 47.74 | 4.52 | 7.62 | 36.43 | 51.43 | 11.29 | 8.62 | 38.48 | 41.62 | | | | |

จากตาราง 26 แปลความได้ว่า ข้อที่ 1. ในภาพรวมนักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ร้อยละ 51.43 รองลงมาคือ กลุ่มที่ขาดความรู้ ร้อยละ 25.71 อันดับที่ 3 คือ กลุ่มที่มีแนวคิดที่ถูกต้อง ร้อยละ 16.00 และอันดับสุดท้ายคือ กลุ่มที่ขาดความมั่นใจในความรู้ ร้อยละ 6.86 เมื่อจำแนกตามขนาดโรงเรียน พบว่าในโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ นักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมากที่สุด ร้อยละ 46.67 รองลงมาคือกลุ่มที่ขาดความรู้ ร้อยละ 22.86 อันดับที่ 3 คือ กลุ่มที่มีแนวคิดที่ถูกต้อง ร้อยละ 21.90 และอันดับสุดท้ายคือ กลุ่มที่ขาดความมั่นใจในความรู้ ร้อยละ 8.57 ซึ่งในกรณีโรงเรียนขนาดใหญ่ โรงเรียนขนาดกลางหรือในกรณีข้ออื่น ๆ ก็แปลความได้แนวเดียวกัน

เมื่อศึกษารายข้อพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่ในทุกขนาดโรงเรียนอยู่ในกลุ่มที่ขาดความรู้ โดยพบร้อยละ 41.62 และกลุ่มที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ร้อยละ 38.48 กลุ่มที่มีแนวคิดที่ถูกต้อง ร้อยละ 11.29 และกลุ่มที่ขาดความมั่นใจในความรู้ ร้อยละ 8.62 โดยในโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ และขนาดกลางพบนักเรียนกลุ่มที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมาก ซึ่งต่างจากโรงเรียนขนาดใหญ่ที่พบนักเรียนในกลุ่มขาดความรู้มาก สามารถแจงเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

ข้อที่ 1. มโนทัศน์เรื่องยีนบนโครโมโซม นักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ร้อยละ 51.43 ซึ่งในโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ พบร้อยละ 46.67 โรงเรียนขนาดใหญ่ พบร้อยละ 54.29 และโรงเรียนขนาดกลาง พบร้อยละ 62.86

ข้อที่ 2. มโนทัศน์เรื่องชุดของโครโมโซม นักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ร้อยละ 68.00 ซึ่งในโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ พบร้อยละ 69.52 โรงเรียนขนาดใหญ่ พบร้อยละ 51.43 และโรงเรียนขนาดกลาง พบร้อยละ 80.00

ข้อที่ 3. มโนทัศน์เรื่องชนิดของโครโมโซม นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ร้อยละ 48.00 ซึ่งในโรงเรียนขนาดใหญ่ พบร้อยละ 60.00 โรงเรียนขนาดกลาง พบร้อยละ 18.57 ส่วนโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ พบกลุ่มที่ขาดความรู้ ร้อยละ 44.76 มากที่สุด รองลงมาคือกลุ่มที่มีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนที่พบในร้อยละ 43.81

ข้อที่ 4. มโนทัศน์เรื่องลักษณะของโครโมโซมของมนุษย์ นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ร้อยละ 37.71 ซึ่งในโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ พบร้อยละ 40.00 โรงเรียนขนาดใหญ่ พบร้อยละ 42.86 ส่วนโรงเรียนขนาดกลาง พบกลุ่มที่ขาดความรู้ ร้อยละ 34.29 ซึ่งมากกว่ากลุ่มที่มีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนที่พบในร้อยละ 25.71

ข้อที่ 5. มโนทัศน์เรื่องความหมายของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและไมโอซิส นักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มที่ขาดความรู้ พบร้อยละ 46.86 ซึ่งในโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ พบร้อยละ 38.10 ส่วนโรงเรียนขนาดใหญ่และโรงเรียนขนาดกลาง พบเท่ากัน คือร้อยละ 60.00

ข้อที่ 6. มโนทัศน์เรื่องความเข้าใจในวัฏจักรเซลล์ นักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มที่ขาดความรู้ ร้อยละ 52.57 ซึ่งในโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ พบร้อยละ 48.57 ส่วนโรงเรียนขนาดใหญ่ พบร้อยละ 57.14 และโรงเรียนขนาดกลาง พบร้อยละ 60.00

ข้อที่ 7. มโนทัศน์เรื่องผลที่ได้ของการแบ่งเซลล์ นักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มที่ขาดความรู้ ร้อยละ 42.86 ซึ่งในโรงเรียนขนาดใหญ่ พบร้อยละ 48.57 และโรงเรียนขนาดกลาง พบร้อยละ 57.14 ส่วนโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ พบกลุ่มที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมากที่สุด ร้อยละ 41.90 รองลงมาคือ กลุ่มที่ขาดความรู้ ที่พบร้อยละ 36.19

ข้อที่ 8. มโนทัศน์เรื่องออร์แกเนลล์ที่เกี่ยวข้องในการแบ่งเซลล์ นักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ร้อยละ 49.71 ซึ่งในโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ พบร้อยละ 50.48 โรงเรียนขนาดใหญ่ พบร้อยละ 54.29 และโรงเรียนขนาดกลาง พบร้อยละ 42.86 ซึ่งพบเท่ากับกลุ่มที่ขาดความรู้ ที่พบร้อยละ 42.86

ข้อที่ 9. มโนทัศน์เรื่องจำนวนโครโมโซมหลังการแบ่งเซลล์ นักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มที่ขาดความรู้ พบร้อยละ 54.86 ซึ่งในโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ พบร้อยละ 46.67 โรงเรียนขนาดใหญ่ พบร้อยละ 65.71 และโรงเรียนขนาดกลาง พบร้อยละ 68.57

ข้อที่ 10. มโนทัศน์เรื่องลักษณะของเซลล์ที่ได้จากการแบ่งไมโทซิส นักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ร้อยละ 48.00 ซึ่งในโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ พบร้อยละ 50.48 โรงเรียนขนาดใหญ่ พบร้อยละ 48.57 ซึ่งพบเท่ากับกลุ่มที่ขาดความรู้ พบร้อยละ 48.57 และโรงเรียนขนาดกลาง พบร้อยละ 57.14

ข้อที่ 11. มโนทัศน์เรื่องเหตุการณ์ที่เกิดในไมโทซิส นักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ร้อยละ 57.14 ซึ่งในโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ พบร้อยละ 64.76 และโรงเรียนขนาดกลาง พบร้อยละ 51.43 ส่วนโรงเรียนขนาดใหญ่ พบร้อยละ 40.00 เป็นอันดับ 2 รองจากกลุ่มที่ขาดความรู้ ที่พบร้อยละ 60.00

ข้อที่ 12. มโนทัศน์เรื่องระยะอินเตอร์เฟสในไมโทซิส นักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มที่ขาดความรู้ พบร้อยละ 38.86 ซึ่งในโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ พบร้อยละ 35.24 เท่ากับกลุ่มที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ร้อยละ 35.24 เท่ากัน ส่วนโรงเรียนขนาดใหญ่ พบร้อยละ 42.86 และโรงเรียนขนาดกลาง พบร้อยละ 45.71

ข้อที่ 13. มโนทัศน์เรื่องระยะ M-phase ในไมโทซิส นักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ร้อยละ 41.71 ซึ่งในโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ พบร้อยละ 44.76 โรงเรียนขนาดใหญ่ พบร้อยละ 40.00 และโรงเรียนขนาดกลาง พบร้อยละ 34.29 ซึ่งรองมาจากกลุ่มที่ขาดความรู้ ที่พบถึงร้อยละ 57.14

ข้อที่ 14. มโนทัศน์เรื่องระยะ M-phase ในไมโทซิส นักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มที่ขาดความรู้ พบร้อยละ 40.00 ซึ่งในโรงเรียนขนาดใหญ่ พบร้อยละ 54.29 และโรงเรียนขนาดกลาง พบร้อยละ 57.14 ส่วนโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ พบร้อยละ 29.52 รองมาจากกลุ่มของนักเรียนที่มีแนวคิดที่ถูกต้อง พบมากที่สุดที่ร้อยละ 36.19

ข้อที่ 15. มโนทัศน์เรื่องระยะอินเตอร์เฟสในไมโอซิส นักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มที่ขาดความรู้ พบร้อยละ 52.00 ซึ่งในโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ พบร้อยละ 41.90 โรงเรียนขนาดใหญ่ พบร้อยละ 60.00 และโรงเรียนขนาดกลาง พบถึงร้อยละ 74.29

ข้อที่ 16. มโนทัศน์เรื่องเหตุการณ์ที่เกิดในการแบ่งไมโอซิส นักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มที่ขาดความรู้ พบร้อยละ 50.86 ซึ่งในโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ พบร้อยละ 40.00 โรงเรียนขนาดใหญ่ พบร้อยละ 65.71 และโรงเรียนขนาดกลาง พบร้อยละ 68.57

ข้อที่ 17. มโนทัศน์เรื่องระยะ M-phase ในไมโอซิส นักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ร้อยละ 53.71 ซึ่งในโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ พบร้อยละ 55.24 โรงเรียนขนาดใหญ่และโรงเรียนขนาดกลางพบเท่ากัน คือ ร้อยละ 51.43

ข้อที่ 18. มโนทัศน์เรื่องระยะ M-phase ในไมโอซิส นักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มที่ขาดความรู้ พบร้อยละ 48.00 ซึ่งในโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ ร้อยละ 39.05 ซึ่งเท่ากับกลุ่มที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน โรงเรียนขนาดใหญ่ พบร้อยละ 60.00 และโรงเรียนขนาดกลาง พบร้อยละ 62.86

ข้อที่ 19. มโนทัศน์เรื่องการแบ่งไซโทพลาสซึมในเซลล์สิ่งมีชีวิต นักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มที่ขาดความรู้ พบร้อยละ 39.43 ซึ่งในโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ พบร้อยละ 35.24 โรงเรียนขนาดใหญ่ พบร้อยละ 40.00 ซึ่งเป็นอันดับ 2 น้อยกว่ากลุ่มที่มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งมีอยู่ร้อยละ 45.71 และโรงเรียนขนาดกลาง พบอยู่ร้อยละ 51.43

ข้อที่ 20. มโนทัศน์เรื่องออร์แกเนลล์ที่ใช้ในการแบ่งไซโทพลาสซึม นักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มที่ขาดความรู้ พบร้อยละ 37.14 ซึ่งในโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ พบร้อยละ 33.33 โรงเรียนขนาดกลาง พบร้อยละ 34.29 และโรงเรียนขนาดกลาง พบถึงร้อยละ 51.43

ข้อที่ 21. มโนทัศน์เรื่องความแตกต่างของระยะไมโทซิสและไมโอซิส นักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มที่ขาดความรู้ พบร้อยละ 46.86 ซึ่งในโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ พบร้อยละ 40.95 โรงเรียนขนาดขนาดใหญ่ พบร้อยละ 54.29 และโรงเรียนขนาดขนาดกลาง พบถึงร้อยละ 57.14

ข้อที่ 22. มโนทัศน์เรื่องการตายของเซลล์ นักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ร้อยละ 47.43 ซึ่งในโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ ร้อยละ 47.62 โรงเรียนขนาดใหญ่ ร้อยละ 51.43 และโรงเรียนขนาดขนาดกลาง ร้อยละ 42.86

ข้อที่ 23. มโนทัศน์เรื่องความคิดรวบยอดของการแบ่งเซลล์ นักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มที่ไม่มีความรู้ พบร้อยละ 60.00 ซึ่งในโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ ร้อยละ 55.24 โรงเรียนขนาดใหญ่ พบถึงร้อยละ 77.14 และโรงเรียนขนาดขนาดกลาง ร้อยละ 57.14

ข้อที่ 24. มโนทัศน์เรื่องความผิดปกติของการแบ่งเซลล์ นักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มที่ไม่มีความรู้ พบร้อยละ 37.71 ซึ่งในโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ ร้อยละ 33.33 โรงเรียนขนาดใหญ่ ร้อยละ 28.57 รองมาจากกลุ่มที่ไม่มั่นใจในความรู้ ที่พบมากที่สุด คือ ร้อยละ 31.43 และโรงเรียนขนาดขนาดกลาง ร้อยละ 60.00

จากข้อมูลที่รวบรวมได้ เพื่อให้เกิดความชัดเจน ผู้วิจัยได้เลือกจำแนกกลุ่มแนวคิดที่เด่นชัดนักเรียนออกเป็น 4 แบบ แบ่งเป็น กลุ่มที่มีแนวคิดที่ถูกต้องที่เด่นชัด คือ 1414, กลุ่มที่ขาดความมั่นใจในความรู้ที่เด่นชัด คือ 1111, กลุ่มที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เด่นชัด คือ 0404, และกลุ่มที่ขาดความรู้ที่เด่นชัด คือ 0101 เพื่อศึกษาต่อไปดังตาราง 27

ตาราง 27 แสดงร้อยละของนักเรียนในแต่ละกลุ่มแนวคิดที่เด่นชัด ทั้ง 4 แบบ จำแนกตามขนาดโรงเรียน

| ข้อ | โรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ | | | | | | | | | | โรงเรียนขนาดใหญ่ | | | | | | | | | | โรงเรียนขนาดกลาง | | | | | | | | | | รวมทุกขนาด | | | | |
|-----------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------------------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------------------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|------------|-------|-------|-------|-------|
| | 1414 | 1111 | 0404 | 0101 | 1414 | 1111 | 0404 | 0101 | 1414 | 1111 | 0404 | 0101 | 1414 | 1111 | 0404 | 0101 | 1414 | 1111 | 0404 | 0101 | 1414 | 1111 | 0404 | 0101 | 1414 | 1111 | 0404 | 0101 | 1414 | 1111 | 0404 | 0101 | | | |
| 1 | 12.38 | 0.95 | 9.52 | 6.67 | 0.00 | 0.00 | 8.57 | 5.71 | 5.71 | 0.00 | 0.00 | 2.86 | 8.57 | 5.71 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 0.00 | 5.71 | 2.86 | 8.57 | 0.00 | 0.00 | 2.86 | 8.57 | 0.00 | 0.00 | 2.86 | 8.57 | 0.00 | 0.00 | 2.86 | 8.57 | 5.71 | |
| 2 | 0.00 | 0.00 | 19.05 | 5.71 | 0.00 | 0.00 | 2.86 | 2.86 | 2.86 | 0.00 | 0.00 | 14.29 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 8.57 | 2.86 | 2.86 | 2.86 | 0.00 | 0.00 | 8.57 | 2.86 | 0.00 | 0.00 | 2.86 | 2.86 | 0.00 | 0.00 | 2.86 | 2.86 | 4.57 | | |
| 3 | 0.95 | 0.95 | 5.71 | 8.57 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.29 | 0.00 | 0.00 | 14.29 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 8.57 | 2.86 | 2.86 | 2.86 | 0.00 | 0.00 | 8.57 | 2.86 | 0.00 | 0.00 | 2.86 | 2.86 | 0.00 | 0.00 | 2.86 | 2.86 | 8.57 | | | |
| 4 | 4.76 | 0.95 | 8.57 | 5.71 | 2.86 | 0.00 | 8.57 | 8.57 | 8.57 | 0.00 | 5.71 | 8.57 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 0.00 | 8.57 | 0.00 | 8.57 | 0.00 | 0.00 | 8.57 | 0.00 | 8.57 | 0.00 | 0.00 | 8.57 | 0.00 | 0.00 | 8.57 | 0.00 | 8.57 | 6.86 | | |
| 5 | 13.33 | 0.00 | 1.90 | 6.67 | 0.00 | 2.86 | 0.00 | 5.71 | 2.86 | 0.00 | 5.71 | 2.86 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 2.86 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 2.86 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 2.86 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 2.86 | 6.29 | | |
| 6 | 1.90 | 1.90 | 5.71 | 16.19 | 0.00 | 5.71 | 2.86 | 8.57 | 2.86 | 2.86 | 2.86 | 8.57 | 2.86 | 2.86 | 2.86 | 0.00 | 5.71 | 2.86 | 2.86 | 0.00 | 0.00 | 2.86 | 2.86 | 0.00 | 0.00 | 2.86 | 2.86 | 0.00 | 0.00 | 2.86 | 2.86 | 4.00 | 15.43 | | |
| 7 | 2.86 | 3.81 | 3.81 | 11.43 | 2.86 | 2.86 | 2.86 | 11.43 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 11.43 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 8.57 | 2.29 | 2.86 | 4.00 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 8.57 | 2.29 | 2.86 | 4.00 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 10.86 | | | |
| 8 | 2.86 | 0.95 | 1.90 | 5.71 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.86 | 1.71 | 0.57 | 2.29 | 2.86 | 4.00 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 8.57 | 2.29 | 2.86 | 4.00 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 10.86 | | |
| 9 | 0.95 | 2.86 | 6.67 | 5.71 | 0.00 | 5.71 | 0.00 | 11.43 | 0.00 | 0.00 | 11.43 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 2.86 | 1.71 | 0.57 | 2.29 | 2.86 | 4.00 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 8.57 | 2.29 | 2.86 | 4.00 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 10.86 | |
| 10 | 3.81 | 0.00 | 2.86 | 6.67 | 0.00 | 2.86 | 0.00 | 11.43 | 0.00 | 0.00 | 11.43 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.86 | 1.71 | 0.57 | 2.29 | 2.86 | 4.00 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 8.57 | 2.29 | 2.86 | 4.00 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 10.86 | | |
| 11 | 0.95 | 0.95 | 20.95 | 7.62 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 8.57 | 0.00 | 0.00 | 8.57 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.86 | 1.71 | 0.57 | 2.29 | 2.86 | 4.00 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 8.57 | 2.29 | 2.86 | 4.00 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 10.86 | | |
| 12 | 15.24 | 1.90 | 6.67 | 10.48 | 0.00 | 11.43 | 5.71 | 11.43 | 2.86 | 2.86 | 2.86 | 8.57 | 11.43 | 9.71 | 4.00 | 6.86 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| 13 | 12.38 | 1.90 | 18.10 | 4.76 | 2.86 | 2.86 | 5.71 | 8.57 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 8.57 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 11.43 | 8.00 | 1.71 | 0.57 | 2.29 | 2.86 | 4.00 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 8.57 | 2.29 | 2.86 | 4.00 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 10.86 | |
| 14 | 27.62 | 1.90 | 3.81 | 6.67 | 0.00 | 0.00 | 2.86 | 5.71 | 0.00 | 0.00 | 2.86 | 5.71 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 8.57 | 16.57 | 1.14 | 4.00 | 6.86 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 8.57 | 16.57 | 1.14 | 4.00 | 6.86 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 10.86 | |
| 15 | 12.38 | 2.86 | 8.57 | 14.29 | 0.00 | 2.86 | 2.86 | 11.43 | 0.00 | 0.00 | 11.43 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.86 | 1.71 | 0.57 | 2.29 | 2.86 | 4.00 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 8.57 | 2.29 | 2.86 | 4.00 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 10.86 | | |
| 16 | 8.57 | 2.86 | 2.86 | 14.29 | 0.00 | 5.71 | 0.00 | 22.86 | 0.00 | 0.00 | 22.86 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 11.43 | 8.00 | 1.71 | 0.57 | 2.29 | 2.86 | 4.00 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 8.57 | 2.29 | 2.86 | 4.00 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 10.86 |
| 17 | 3.81 | 0.95 | 20.00 | 5.71 | 0.00 | 0.00 | 14.29 | 11.43 | 0.00 | 0.00 | 14.29 | 11.43 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.86 | 1.71 | 0.57 | 2.29 | 2.86 | 4.00 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 8.57 | 2.29 | 2.86 | 4.00 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 10.86 | | |
| 18 | 5.71 | 0.95 | 3.81 | 11.43 | 0.00 | 0.00 | 2.86 | 8.57 | 0.00 | 0.00 | 8.57 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 8.57 | 16.57 | 1.14 | 4.00 | 6.86 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 8.57 | 16.57 | 1.14 | 4.00 | 6.86 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 10.86 | |
| 19 | 18.10 | 6.67 | 2.86 | 12.38 | 22.86 | 0.00 | 0.00 | 14.29 | 5.71 | 0.00 | 14.29 | 5.71 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 11.43 | 8.00 | 1.71 | 0.57 | 2.29 | 2.86 | 4.00 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 8.57 | 2.29 | 2.86 | 4.00 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 10.86 |
| 20 | 15.24 | 4.76 | 2.86 | 12.38 | 8.57 | 2.86 | 5.71 | 11.43 | 0.00 | 0.00 | 11.43 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.86 | 1.71 | 0.57 | 2.29 | 2.86 | 4.00 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 8.57 | 2.29 | 2.86 | 4.00 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 10.86 | | |
| 21 | 9.52 | 0.95 | 4.76 | 18.10 | 2.86 | 5.71 | 0.00 | 8.57 | 0.00 | 0.00 | 8.57 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.86 | 1.71 | 0.57 | 2.29 | 2.86 | 4.00 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 8.57 | 2.29 | 2.86 | 4.00 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 10.86 | | |
| 22 | 5.71 | 0.95 | 8.57 | 6.67 | 0.00 | 0.00 | 11.43 | 5.71 | 2.86 | 0.00 | 5.71 | 2.86 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 11.43 | 8.00 | 1.71 | 0.57 | 2.29 | 2.86 | 4.00 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 8.57 | 2.29 | 2.86 | 4.00 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 10.86 |
| 23 | 2.86 | 3.81 | 3.81 | 24.76 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 37.14 | 0.00 | 0.00 | 37.14 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 11.43 | 8.00 | 1.71 | 0.57 | 2.29 | 2.86 | 4.00 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 8.57 | 2.29 | 2.86 | 4.00 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 10.86 |
| 24 | 6.67 | 10.48 | 6.67 | 11.43 | 5.71 | 5.71 | 8.57 | 14.29 | 2.86 | 2.86 | 2.86 | 8.57 | 14.29 | 2.86 | 2.86 | 0.00 | 11.43 | 8.00 | 1.71 | 0.57 | 2.29 | 2.86 | 4.00 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 8.57 | 2.29 | 2.86 | 4.00 | 10.86 | 0.00 | 0.00 | 10.86 |
| รวมร้อยละ | 7.86 | 2.26 | 7.50 | 10.00 | 2.02 | 2.38 | 3.81 | 11.07 | 1.07 | 1.43 | 3.33 | 8.10 | 5.33 | 2.12 | 5.93 | 9.83 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

จากตาราง 27 เมื่อศึกษากลุ่มแนวคิดที่เด่นชัดทั้ง 4 แบบ โดยแบ่งเป็น กลุ่มที่มีแนวคิดที่ถูกต้องที่เด่นชัด คือ 1414 กลุ่มที่ขาดความมั่นใจในความรู้ที่เด่นชัด คือ 1111 กลุ่มที่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เด่นชัด คือ 0404 และกลุ่มที่ขาดความรู้ที่เด่นชัด คือ 0101 พบว่า ในภาพรวมโรงเรียนทุกขนาดจะมีนักเรียนกลุ่มที่ขาดความรู้ที่เด่นชัด เป็นอันดับ 1 ร้อยละ 9.83 รองลงมาคือกลุ่มที่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เด่นชัด ร้อยละ 5.93 อันดับที่ 3 คือ กลุ่มที่มีแนวคิดที่ถูกต้องที่เด่นชัด ร้อยละ 5.33 และอันดับสุดท้าย คือ กลุ่มขาดความมั่นใจในความรู้ที่เด่นชัด ร้อยละ 2.12 ตามลำดับ เมื่อศึกษาโดยแยกเป็นขนาดโรงเรียนก็มีลักษณะคล้ายกัน คือ กลุ่มแนวคิดที่พบได้มาก 2 อันดับแรก ได้แก่ กลุ่มที่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เด่นชัดและกลุ่มที่ขาดความรู้ที่เด่นชัด ยกเว้นโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษที่กลุ่มที่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เด่นชัดและกลุ่มที่มีแนวคิดที่ถูกต้องที่เด่นชัด ซึ่งพบมากเป็น 2 อันดับแรก

หากศึกษารายชื่อ พบว่า กลุ่มที่ขาดความรู้ที่เด่นชัด คือ 0101 พบมากใน 15 ข้อ ได้แก่ ข้อ 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 16, 18, 20, 21, 23 และ 24 กลุ่มที่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เด่นชัด คือ 0404 พบมากใน 7 ข้อ ได้แก่ ข้อ 1, 2, 9, 11, 13, 17 และ 22 กลุ่มที่มีแนวคิดที่ถูกต้องที่เด่นชัด คือ 1414 พบมากใน 5 ข้อ ได้แก่ ข้อ 1, 5, 14, 19 และ 20 ส่วนกลุ่มที่ขาดความมั่นใจในความรู้ที่เด่นชัด คือ 1111 จะพบได้น้อยมากทุก ๆ ข้อ

หากศึกษาเป็นขนาดโรงเรียน พบว่า ในกลุ่มนักเรียนโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษจะมีกลุ่มที่ขาดความรู้ที่เด่นชัด คือ 0101 พบ 11 ข้อ คือ ข้อ 3, 6, 7, 8, 10, 15, 16, 18, 21, 23 และ 24 รองลงมาคือ กลุ่มที่มีมีโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เด่นชัด คือ 0404 พบ 7 ข้อ คือ ข้อ 2, 4, 9, 11, 13, 17 และ 22 อันดับที่ 3 กลุ่มที่มีแนวคิดที่ถูกต้องที่เด่นชัด คือ 1414 พบ 6 ข้อ 1, 5, 12, 14, 19 และ 20 และอันดับสุดท้าย กลุ่มที่ขาดความมั่นใจในความรู้ที่เด่นชัด คือ 1111 จะพบได้น้อยที่สุดในโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ ซึ่งในกลุ่มโรงเรียนขนาดอื่น ๆ ก็แปลความได้แนวเดียวกัน

จากนั้นผู้วิจัยทำการศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เด่นชัดของนักเรียนให้ละเอียดกว่าเดิม โดยแบ่งเป็น 4 แบบ คือ 0404, 0403, 0304 และ 0303 ซึ่งหมายถึง นักเรียนตอบผิดทั้งในส่วนของคำตอบและเหตุผล และนักเรียนก็มีความมั่นใจในการตอบคำถามและเหตุผลที่สูง โดยเลือกตอบที่ความมั่นใจที่มาก คือ 3 มั่นใจ และ 4 มั่นใจมาก โดยจำแนกตามขนาดโรงเรียน ดังตาราง 28

ตาราง 28 แสดงร้อยละของนักเรียนที่มีน้ำหนักตัวที่คลาดเคลื่อนที่เด่นชัด จำแนกตามขนาดโรงเรียน

| ข้อ | โรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ | | | | | | | | | | โรงเรียนขนาดใหญ่ | | | | | | | | | | โรงเรียนขนาดกลาง | | | | | | | | | | รวมทุกขนาด | | | | |
|-----------|-----------------------|------|------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|------------------|------|------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|------------------|------|------|------|-----|------|------|------|------|-----|------------|--|--|--|--|
| | 0404 | 0403 | 0304 | 0303 | รวม | 0404 | 0403 | 0304 | 0303 | รวม | 0404 | 0403 | 0304 | 0303 | รวม | 0404 | 0403 | 0304 | 0303 | รวม | 0404 | 0403 | 0304 | 0303 | รวม | 0404 | 0403 | 0304 | 0303 | รวม | | | | | |
| 1 | 9.52 | 4.76 | 5.71 | 13.33 | 33.33 | 8.57 | 0.00 | 5.71 | 22.86 | 37.14 | 5.71 | 2.86 | 2.86 | 28.57 | 40.00 | 8.57 | 3.43 | 5.14 | 18.29 | 35.43 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 19.05 | 6.67 | 3.81 | 9.52 | 39.05 | 2.86 | 0.00 | 0.00 | 11.43 | 14.29 | 2.86 | 2.86 | 2.86 | 28.57 | 37.14 | 12.57 | 4.57 | 2.86 | 13.71 | 33.71 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 5.71 | 5.71 | 1.90 | 6.67 | 20.00 | 0.00 | 5.71 | 2.86 | 11.43 | 20.00 | 8.57 | 5.71 | 0.00 | 2.86 | 17.14 | 5.14 | 5.71 | 1.71 | 6.86 | 19.43 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 8.57 | 4.76 | 0.95 | 10.48 | 24.76 | 8.57 | 2.86 | 2.86 | 8.57 | 22.86 | 0.00 | 2.86 | 0.00 | 5.71 | 8.57 | 6.86 | 4.00 | 1.14 | 9.14 | 21.14 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 1.90 | 1.90 | 0.00 | 1.90 | 5.71 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 5.71 | 0.00 | 2.86 | 0.00 | 5.71 | 8.57 | 1.14 | 1.71 | 0.00 | 3.43 | 6.29 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 5.71 | 3.81 | 1.90 | 6.67 | 18.10 | 2.86 | 0.00 | 0.00 | 8.57 | 11.43 | 0.00 | 5.71 | 0.00 | 5.71 | 11.43 | 4.00 | 3.43 | 1.14 | 6.86 | 15.43 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 3.81 | 0.95 | 0.00 | 5.71 | 10.48 | 2.86 | 0.00 | 0.00 | 2.86 | 5.71 | 5.71 | 0.00 | 2.86 | 2.86 | 11.43 | 4.00 | 0.57 | 0.57 | 4.57 | 9.71 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 1.90 | 1.90 | 0.95 | 3.81 | 8.57 | 0.00 | 0.00 | 2.86 | 5.71 | 8.57 | 5.71 | 2.86 | 2.86 | 0.00 | 11.43 | 2.29 | 1.71 | 3.43 | 9.14 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 6.67 | 2.86 | 2.86 | 3.81 | 16.19 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.86 | 2.86 | 5.71 | 0.00 | 2.86 | 5.71 | 14.29 | 5.14 | 1.71 | 2.29 | 4.00 | 13.14 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 2.86 | 3.81 | 2.86 | 3.81 | 13.33 | 0.00 | 2.86 | 5.71 | 8.57 | 17.14 | 2.86 | 0.00 | 0.00 | 20.00 | 22.86 | 2.29 | 2.86 | 8.00 | 16.00 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | 20.95 | 0.95 | 5.71 | 12.38 | 40.00 | 0.00 | 2.86 | 0.00 | 17.14 | 20.00 | 8.57 | 0.00 | 0.00 | 8.57 | 17.14 | 14.29 | 1.14 | 3.43 | 12.57 | 31.43 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | 6.67 | 4.76 | 2.86 | 11.43 | 25.71 | 5.71 | 2.86 | 0.00 | 20.00 | 28.57 | 8.57 | 0.00 | 0.00 | 2.86 | 11.43 | 6.86 | 3.43 | 1.71 | 11.43 | 23.43 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | 18.10 | 2.86 | 1.90 | 6.67 | 29.52 | 5.71 | 0.00 | 2.86 | 14.29 | 22.86 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 11.43 | 11.43 | 12.00 | 1.71 | 1.71 | 9.14 | 24.57 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | 3.81 | 1.90 | 0.95 | 7.62 | 14.29 | 2.86 | 2.86 | 0.00 | 17.14 | 22.86 | 5.71 | 2.86 | 0.00 | 8.57 | 17.14 | 4.00 | 2.29 | 0.57 | 9.71 | 16.57 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 8.57 | 0.00 | 1.90 | 4.76 | 15.24 | 2.86 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 8.57 | 2.86 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.86 | 6.29 | 0.00 | 1.14 | 4.00 | 11.43 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 2.86 | 1.90 | 0.95 | 2.86 | 8.57 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 5.71 | 0.00 | 2.86 | 2.86 | 5.71 | 11.43 | 1.71 | 1.71 | 1.14 | 4.00 | 8.57 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 20.00 | 5.71 | 0.00 | 6.67 | 32.38 | 14.29 | 2.86 | 0.00 | 14.29 | 31.43 | 5.71 | 0.00 | 2.86 | 11.43 | 20.00 | 16.00 | 4.00 | 0.57 | 9.14 | 29.71 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 3.81 | 2.86 | 0.95 | 4.76 | 12.38 | 2.86 | 2.86 | 0.00 | 2.86 | 8.57 | 5.71 | 5.71 | 0.00 | 0.00 | 14.29 | 4.00 | 3.43 | 1.14 | 3.43 | 12.00 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 2.86 | 0.00 | 3.81 | 3.81 | 10.48 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 11.43 | 11.43 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 8.57 | 8.57 | 1.71 | 0.00 | 2.29 | 6.29 | 10.29 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 2.86 | 1.90 | 0.95 | 7.62 | 13.33 | 5.71 | 0.00 | 0.00 | 11.43 | 17.14 | 2.86 | 0.00 | 0.00 | 8.57 | 11.43 | 3.43 | 1.14 | 0.57 | 8.57 | 13.71 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | 4.76 | 2.86 | 0.00 | 4.76 | 12.38 | 0.00 | 0.00 | 2.86 | 8.57 | 11.43 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.86 | 2.86 | 2.86 | 1.71 | 0.57 | 5.14 | 10.29 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | 8.57 | 0.00 | 2.86 | 2.86 | 14.29 | 11.43 | 0.00 | 5.71 | 2.86 | 20.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 7.43 | 0.00 | 2.86 | 2.29 | 12.57 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | 3.81 | 0.95 | 0.95 | 8.57 | 14.29 | 5.71 | 2.86 | 0.00 | 2.86 | 11.43 | 0.00 | 0.00 | 2.86 | 2.86 | 5.71 | 3.43 | 1.14 | 1.14 | 6.29 | 12.00 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | 6.67 | 3.81 | 0.95 | 6.67 | 18.10 | 8.57 | 0.00 | 0.00 | 5.71 | 14.29 | 2.86 | 0.00 | 2.86 | 17.14 | 22.86 | 6.29 | 2.29 | 1.14 | 8.57 | 18.29 | | | | | | | | | | | | | | | |
| รวมร้อยละ | 7.50 | 2.82 | 1.90 | 6.55 | 18.77 | 3.81 | 1.19 | 1.31 | 9.52 | 15.83 | 3.33 | 1.55 | 1.19 | 8.09 | 14.17 | 5.93 | 2.24 | 1.64 | 7.45 | 17.26 | | | | | | | | | | | | | | | |

จากตาราง 28 พบว่า ภาพรวมของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เด่นชัด ทั้ง 4 แบบ คือ 0404, 0403, 0304 และ 0303 พบมากในข้อ 1 ร้อยละ 35.43 ข้อ 2 ร้อยละ 33.71 ข้อ 3 ร้อยละ 19.43 ข้อ 4 ร้อยละ 21.14 ข้อ 11 ร้อยละ 31.43 ข้อ 12 ร้อยละ 23.43 ข้อ 13 ร้อยละ 24.57 ข้อ 14 ร้อยละ 29.71 และข้อ 24 ร้อยละ 18.29 โดยมีเพียง 2 ข้อที่พบมากที่สุดในโรงเรียนทุกขนาด คือข้อ 1 และ 17 และหากแยกตามเป็นขนาดโรงเรียนแล้ว พบว่า โรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เด่นชัดมากที่สุด คือพบมากถึง 11 ข้อ รองลงมาคือ โรงเรียนขนาดกลาง มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เด่นชัด 8 ข้อ และโรงเรียนขนาดใหญ่ มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เด่นชัดน้อยที่สุด คือพบ 6 ข้อ ซึ่งโรงเรียนทุกขนาดจะมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เด่นชัดแบบ 0303 ร้อยละ 7.45 กับ 0404 ร้อยละ 5.93 มากเป็นอันดับที่ 1 และอันดับ 2 ตามลำดับ

หลังจากการวิเคราะห์กลุ่มแนวคิดนักเรียน เป็น 4 กลุ่มแล้ว ผู้วิจัยทำการศึกษารายข้อ เพื่อหามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนด้วยการวิเคราะห์คะแนนความรู้ และคะแนนความมั่นใจในการตอบ รายละเอียดดังหัวข้อถัดไป



3.2 การวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน

ผู้วิจัยวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนโดยการกำหนดเกณฑ์การให้คะแนน ดังนี้

1. คะแนนความรู้ สำหรับทุกข้อคำตอบของแบบทดสอบในชั้นคำตอบ (A tier) และชั้นเหตุผล (R tier) จะให้คะแนนแยกกัน คือ ตอบถูกให้ 1 คะแนน และตอบผิดให้ 0 คะแนน โดยวิเคราะห์การเลือกตอบของคำตอบที่ถูกต้องและการเลือกตอบคำตอบลวง แยกเป็นชั้นคำตอบ และชั้นเหตุผล

2. คะแนนความมั่นใจ สำหรับทุกข้อคำตอบของแบบทดสอบในชั้นคำตอบและชั้นเหตุผลจะให้คะแนนแยกกันเช่นเดียวกัน โดยมีคะแนนความมั่นใจ คือ 1 ถึง 4 ตามลำดับ จากความมั่นใจจากน้อยที่สุดไปมากที่สุด จากนั้นทำการคำนวณความมั่นใจสำหรับทุกข้อ ดังนี้

2.1 คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยรวม (CF)

2.2 คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยในคำตอบที่ถูกต้อง (CFC)

2.3 คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยในคำตอบที่ผิด (CFW)

2.4 คะแนนความมั่นใจในการจำแนก (CDQ) โดย $CDQ = CFC - CFW$

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความมั่นใจ และ CDQ เป็นตัวบ่งชี้ว่าข้อสอบสามารถจำแนกระหว่างนักเรียนที่รู้กับนักเรียนที่ไม่รู้ โดยทำการคำนวณทั้งชั้นคำตอบ (A tier) ชั้นเหตุผล (R tier) และทั้งสองชั้น (Both tier)

โดยคะแนนความมั่นใจเฉลี่ยรวม (CF) สามารถบอกถึงระดับของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนได้ โดยคะแนนความมั่นใจเฉลี่ยรวม มีคะแนนเต็ม 4 มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่แท้จริง คือ มโนทัศน์ที่มีคะแนนความมั่นใจเฉลี่ยรวมมากกว่า 2.4 มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนระดับกลาง คือ มโนทัศน์ที่มีคะแนนความมั่นใจเฉลี่ยรวม ตั้งแต่ 2.0-2.4 และมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนปลอม คือ มโนทัศน์ที่มีคะแนนความมั่นใจเฉลี่ยรวมน้อยกว่า 2.00 โดยเกณฑ์การตัดสินมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเหล่านี้ได้ดัดแปลงจาก Caleon และ Subramaniam (2010) แสดงดังต่อไปนี้

| ระดับ | คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยรวม (CF) (คะแนนเต็ม 4) |
|---|--|
| มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่แท้จริง (ระดับสูง) | มากกว่า 2.40 |
| มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนระดับกลาง (ระดับกลาง) | 2.00-2.40 |
| มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนปลอม (ระดับต่ำ) | น้อยกว่า 2.00 |

ตาราง 29 แสดงการเลือกตอบคำตอบที่ถูกต้องและคำตอบลวง การวิเคราะห์ความมั่นใจ

| ข้อ | คำตอบ | | | | ความมั่นใจ | | | | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|--------|--------|------------|------|------|-------|--------|------|------|-------|-----------|------|------|-------|
| | A tier | | R tier | | A tier | | | | R tier | | | | Both tier | | | |
| | คน | % | คน | % | CF | CFC | CFW | CDQ | CF | CFC | CFW | CDQ | CF | CFC | CFW | CDQ |
| 1. | ก. 80 | 45.71 | ก. 77 | 44.00 | | | | | | | | | | | | |
| | ข. 44 | 25.14 | ข. 43 | 24.57 | 2.73 | 3.05 | 2.62 | 0.46 | 2.80 | 3.38 | 2.62 | 0.79 | 2.76 | 3.21 | 2.62 | 0.63 |
| | ค. 9 | 5.14 | ค. 13 | 7.43 | | | | | | | | | | | | |
| | ง. 42* | 24.00 | ง. 42* | 24.00 | | | | | | | | | | | | |
| 2. | ก. 21 | 12.00 | ก. 12 | 6.86 | | | | | | | | | | | | |
| | ข. 77 | 44.00 | ข. 34* | 19.43 | 2.79 | 2.94 | 2.76 | 0.18 | 2.75 | 2.50 | 2.82 | -0.33 | 2.77 | 2.71 | 2.79 | -0.08 |
| | ค. 46 | 26.29 | ค. 74 | 42.29 | | | | | | | | | | | | |
| | ง. 31* | 17.71 | ง. 55 | 31.43 | | | | | | | | | | | | |
| 3. | ก. 70 | 40.00 | ก. 55 | 31.43 | | | | | | | | | | | | |
| | ข. 18 | 10.29 | ข. 57 | 32.57 | 2.46 | 2.33 | 2.51 | -0.18 | 2.27 | 2.14 | 2.30 | -0.17 | 2.36 | 2.25 | 2.40 | -0.15 |
| | ค. 54* | 30.86 | ค. 26 | 14.86 | | | | | | | | | | | | |
| | ง. 33 | 18.86 | ง. 37* | 21.14 | | | | | | | | | | | | |
| 4. | ก. 36 | 20.57 | ก. 34 | 19.43 | | | | | | | | | | | | |
| | ข. 81* | 46.29 | ข. 66* | 37.71 | 2.75 | 2.88 | 2.64 | 0.24 | 2.43 | 2.42 | 2.43 | -0.01 | 2.59 | 2.67 | 2.53 | 0.14 |
| | ค. 23 | 13.14 | ค. 46 | 26.29 | | | | | | | | | | | | |
| | ง. 35 | 20.00 | ง. 29 | 16.57 | | | | | | | | | | | | |
| 5. | ก. 21 | 12.00% | ก. 98* | 56.00% | | | | | | | | | | | | |
| | ข. 25 | 14.29% | ข. 44 | 25.14% | 2.55 | 2.95 | 2.36 | 0.57 | 2.50 | 2.91 | 1.99 | 0.86 | 2.53 | 2.92 | 2.21 | 0.67 |
| | ค. 73 | 41.71% | ค. 20 | 11.43% | | | | | | | | | | | | |
| | ง. 56* | 32.00% | ง. 13 | 7.43% | | | | | | | | | | | | |
| 6. | ก. 52 | 29.71% | ก. 46 | 26.29% | | | | | | | | | | | | |
| | ข. 43* | 24.57% | ข. 53* | 30.29% | 2.18 | 2.37 | 2.12 | 0.24 | 2.08 | 2.23 | 2.02 | 0.21 | 2.13 | 2.29 | 2.07 | 0.22 |
| | ค. 55 | 31.43% | ค. 42 | 24.00% | | | | | | | | | | | | |
| | ง. 25 | 14.29% | ง. 34 | 19.43% | | | | | | | | | | | | |
| 7. | ก. 79* | 45.14% | ก. 47* | 26.86% | | | | | | | | | | | | |
| | ข. 19 | 10.86% | ข. 45 | 25.71% | 2.40 | 2.67 | 2.18 | 0.48 | 2.31 | 2.38 | 2.29 | 0.09 | 2.36 | 2.56 | 2.24 | 0.31 |
| | ค. 35 | 20.00% | ค. 28 | 16.00% | | | | | | | | | | | | |
| | ง. 42 | 24.00% | ง. 55 | 31.43% | | | | | | | | | | | | |
| 8. | ก. 32 | 18.29% | ก. 43* | 24.57% | | | | | | | | | | | | |
| | ข. 22 | 12.57% | ข. 25 | 14.29% | 2.55 | 2.76 | 2.33 | 0.43 | 2.44 | 2.42 | 2.45 | -0.03 | 2.49 | 2.65 | 2.40 | 0.25 |
| | ค. 89* | 50.86% | ค. 91 | 52.00% | | | | | | | | | | | | |
| | ง. 32 | 18.29% | ง. 16 | 9.14% | | | | | | | | | | | | |

* หมายถึง คำตอบถูก

จากตาราง 29 พบว่า ข้อ 1 คำตอบส่วนคำตอบ (A tier) มีนักเรียนเลือกคำตอบที่ถูกต้อง คือ ข้อ ง. จำนวน 42 คน คิดเป็นร้อยละ 24.00 และการเลือกตอบคำตอบลวงคือ ข้อ ก. ข. ค. จำนวน 133 คน คิดเป็นร้อยละ 76 ซึ่งมากกว่าคำตอบถูกต้องอย่างมาก เป็นเพราะนักเรียนมีโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อนข้อนี้ในส่วนคำตอบส่วนคำตอบ (A tier) สูงมาก คำตอบส่วนเหตุผล (R tier) มีนักเรียนเลือกคำตอบที่ถูกต้อง คือ ข้อ ง. จำนวน 42 คน คิดเป็นร้อยละ 24.00 และการเลือกตอบคำตอบลวง จำนวน 133 คน คิดเป็นร้อยละ 76 เช่นเดียวกับส่วนคำตอบ (A tier) และพบว่าทุกตัวลวงของแบบทดสอบเป็นตัวลวงที่ดีเช่นกัน เพราะมีการเลือกตอบในทุกข้อ ถัดไปเป็นส่วนของคะแนนความมั่นใจส่วนคำตอบ (A tier) ประกอบด้วยคะแนนความมั่นใจเฉลี่ยรวม (CF) มีค่า 2.73 คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยในคำตอบที่ถูกต้อง (CFC) มีค่า 3.05 คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยในคำตอบที่ผิด (CFW) มีค่า 2.62 และคะแนนความมั่นใจในการจำแนก (CDQ) มีค่า 0.46 ซึ่งค่า CDQ ควรจะเป็นบวก เพราะเป็นตัวบ่งชี้ว่าข้อสอบสามารถจำแนกระหว่างนักเรียนที่รู้กับนักเรียนที่ไม่รู้ได้ จากนั้นก็จะเป็นคะแนนความมั่นใจส่วนเหตุผล (R tier) และทั้งสองชั้น (Both tier) ตามลำดับ และในกรณีข้ออื่น ๆ ก็สามารถแปลความได้แนวเดียวกัน

จากนั้นผู้วิจัยวิเคราะห์ค่าความมั่นใจของแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกลำดับชั้นในส่วนของชั้นคำตอบ (A tier) ชั้นเหตุผล (R tier) และทั้งสองชั้น (Both tier) ซึ่งจะแสดงในตาราง

ตาราง 30 แสดงคะแนนความมั่นใจเฉลี่ยรวม (CF) คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยในคำตอบที่ถูกต้อง (CFC) คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยในคำตอบที่ผิด (CFW) และคะแนนความมั่นใจในการจำแนก (CDQ) ในชั้นคำตอบ (A tier) ชั้นเหตุผล (R tier) และทั้งสองชั้น (Both tier) จำแนกตามรายข้อ

| ข้อ | A tier | | | | R tier | | | | Both tier | | | |
|-----------|--------|------|------|-------|--------|------|------|-------|-----------|------|------|-------|
| | CF | CFC | CFW | CDQ | CF | CFC | CFW | CDQ | CF | CFC | CFW | CDQ |
| 1 | 2.73 | 3.05 | 2.62 | 0.46 | 2.80 | 3.38 | 2.62 | 0.79 | 2.76 | 3.21 | 2.62 | 0.63 |
| 2 | 2.79 | 2.94 | 2.76 | 0.18 | 2.75 | 2.50 | 2.82 | -0.33 | 2.77 | 2.71 | 2.79 | -0.08 |
| 3 | 2.46 | 2.33 | 2.51 | -0.18 | 2.27 | 2.14 | 2.30 | -0.17 | 2.36 | 2.25 | 2.40 | -0.15 |
| 4 | 2.75 | 2.88 | 2.64 | 0.24 | 2.43 | 2.42 | 2.43 | -0.01 | 2.59 | 2.67 | 2.53 | 0.14 |
| 5 | 2.55 | 2.95 | 2.36 | 0.57 | 2.50 | 2.91 | 1.99 | 0.86 | 2.53 | 2.92 | 2.21 | 0.67 |
| 6 | 2.18 | 2.37 | 2.12 | 0.24 | 2.08 | 2.23 | 2.02 | 0.21 | 2.13 | 2.29 | 2.07 | 0.22 |
| 7 | 2.40 | 2.67 | 2.18 | 0.48 | 2.31 | 2.38 | 2.29 | 0.09 | 2.36 | 2.56 | 2.24 | 0.31 |
| 8 | 2.55 | 2.76 | 2.33 | 0.43 | 2.44 | 2.42 | 2.45 | -0.03 | 2.49 | 2.65 | 2.40 | 0.25 |
| 9 | 2.15 | 1.98 | 2.35 | -0.37 | 2.20 | 1.83 | 2.29 | -0.44 | 2.17 | 1.94 | 2.31 | -0.37 |
| 10 | 2.62 | 3.00 | 2.31 | 0.66 | 2.44 | 2.53 | 2.42 | 0.11 | 2.53 | 2.87 | 2.38 | 0.47 |
| 11 | 2.55 | 2.04 | 2.63 | -0.59 | 2.52 | 2.45 | 2.54 | -0.09 | 2.54 | 2.30 | 2.59 | -0.29 |
| 12 | 2.55 | 2.89 | 2.36 | 0.48 | 2.42 | 2.74 | 2.28 | 0.42 | 2.48 | 2.82 | 2.32 | 0.46 |
| 13 | 2.66 | 2.88 | 2.56 | 0.30 | 2.64 | 2.85 | 2.53 | 0.30 | 2.65 | 2.86 | 2.55 | 0.30 |
| 14 | 2.68 | 3.13 | 2.31 | 0.75 | 2.61 | 3.22 | 2.30 | 0.87 | 2.65 | 3.17 | 2.30 | 0.80 |
| 15 | 2.29 | 2.79 | 2.07 | 0.66 | 2.19 | 2.39 | 2.08 | 0.30 | 2.24 | 2.58 | 2.08 | 0.47 |
| 16 | 2.36 | 2.70 | 2.19 | 0.44 | 2.22 | 2.67 | 1.95 | 0.67 | 2.29 | 2.68 | 2.08 | 0.55 |
| 17 | 2.87 | 2.83 | 2.88 | -0.05 | 2.64 | 2.75 | 2.59 | 0.16 | 2.76 | 2.78 | 2.75 | 0.03 |
| 18 | 2.47 | 2.74 | 2.27 | 0.41 | 2.31 | 2.56 | 2.21 | 0.35 | 2.39 | 2.67 | 2.24 | 0.40 |
| 19 | 2.48 | 3.00 | 2.02 | 0.88 | 2.41 | 2.85 | 1.97 | 0.80 | 2.44 | 2.92 | 1.99 | 0.84 |
| 20 | 2.45 | 2.80 | 2.14 | 0.63 | 2.39 | 2.74 | 2.14 | 0.58 | 2.42 | 2.77 | 2.14 | 0.61 |
| 21 | 2.30 | 2.74 | 2.09 | 0.61 | 2.14 | 2.51 | 1.93 | 0.59 | 2.22 | 2.62 | 2.01 | 0.59 |
| 22 | 2.80 | 3.04 | 2.62 | 0.39 | 2.53 | 2.50 | 2.55 | -0.05 | 2.67 | 2.78 | 2.58 | 0.18 |
| 23 | 1.96 | 2.34 | 1.82 | 0.53 | 1.94 | 2.17 | 1.85 | 0.32 | 1.95 | 2.26 | 1.84 | 0.42 |
| 24 | 2.33 | 2.41 | 2.27 | 0.14 | 2.31 | 2.41 | 2.25 | 0.15 | 2.32 | 2.41 | 2.26 | 0.15 |
| \bar{x} | 2.50 | 2.72 | 2.35 | 0.35 | 2.40 | 2.56 | 2.28 | 0.27 | 2.45 | 2.65 | 2.32 | 0.32 |

จากตาราง 30 แปลความได้ว่า ในชั้นคำตอบ (A tier) ในข้อที่ 1 มีคะแนนความมั่นใจเฉลี่ยของนักเรียนทั้งหมด (CF) มีค่าเท่ากับ 2.73 จากคะแนนความมั่นใจเต็ม 4.00 ซึ่งถือว่าเป็นคะแนนความมั่นใจที่สูง (ระดับต่ำ คือ น้อยกว่า 2.00 ระดับกลาง คือ 2.00 - 2.39 และระดับสูง คือ 2.40 ขึ้นไป) คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยในคำตอบที่ถูกต้อง (CFC) มีค่าเท่ากับ 3.05 คะแนนความมั่นใจเฉลี่ยในคำตอบที่ผิด (CFW) มีค่าเท่ากับ 2.62 และคะแนนความมั่นใจในการจำแนก (CDQ) มีค่าเท่ากับ 0.46 โดยคะแนนความมั่นใจในการจำแนก (CDQ) ควรมีค่าเป็นบวก เพราะเป็นผลต่างระหว่างความมั่นใจของคะแนนความมั่นใจเฉลี่ยในคำตอบที่ถูกต้อง (CFC) และคะแนน

ความมั่นใจเฉลี่ยในคำตอบที่ผิด (CFW) โดยคำนวณจากสูตร สามารถบ่งบอกว่าข้อสอบสามารถ
จำแนกระหว่างนักเรียนที่รู้กับนักเรียนที่ไม่รู้ และพบว่านักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน
ที่แท้จริงและมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนระดับกลางเท่านั้น ส่วนในกรณีของชั้นเหตุผล (R tier) ทั้งสอง
ชั้น (Both tier) หรือในข้ออื่น ๆ ก็สามารถแปลความได้แนวเดียวกัน

เมื่อศึกษาภาพรวมของคำตอบในชั้นคำตอบ (A tier) มีค่าเฉลี่ยคะแนนความมั่นใจเฉลี่ย
ของนักเรียนทั้งหมด (CF) คือ 2.50 โดยทุกข้อมีค่าความมั่นใจมากกว่า 2.00 คือมีค่าความมั่นใจ
ระดับกลาง (2.00 - 2.39) และระดับสูง (2.40 ขึ้นไป) ยกเว้นข้อที่ 23 ที่มีค่าความมั่นใจระดับต่ำ
(น้อยกว่า 2.00) มีเพียง 1.96 ค่าเฉลี่ยคะแนนความมั่นใจเฉลี่ยในคำตอบที่ถูกต้อง (CFC) คือ
2.72 โดยส่วนใหญ่มีค่าความมั่นใจมากกว่า 2.00 ยกเว้นข้อที่ 9 มีคะแนนความมั่นใจเพียง 1.98
ค่าเฉลี่ยคะแนนความมั่นใจเฉลี่ยในคำตอบที่ผิด (CFW) คือ 2.35 โดยส่วนใหญ่มีค่าความมั่นใจ
มากกว่า 2.00 ยกเว้นข้อที่ 23 มีคะแนนความมั่นใจ 1.82 และค่าเฉลี่ยคะแนนความมั่นใจในการ
จำแนก (CDQ) คือ 0.35 โดยมีข้อที่ค่า CDQ ตีลบอยู่ 4 ข้อ คือข้อ 3, 9, 11 และ 17 ในกรณีของ
ชั้นเหตุผล (R tier) ทั้งสองชั้น (Both tier) ก็สามารถแปลความได้แนวเดียวกัน

ค่าคะแนนความมั่นใจในการจำแนก (CDQ) ซึ่งสามารถบ่งบอกว่าข้อสอบสามารถ
จำแนกระหว่างนักเรียนที่รู้กับนักเรียนที่ไม่รู้ พบว่า ในชั้นคำตอบ (A tier) ที่ค่า CDQ ตีลบอยู่ 4
ข้อ คือข้อ 3, 9, 11 และ 17 ในชั้นเหตุผล (R tier) มีค่า CDQ ตีลบอยู่ 7 ข้อ คือข้อ 2, 3, 4, 8, 9,
11 และ 22 ซึ่งพบมากกว่าชั้นคำตอบ และทั้งสองชั้น (Both tier) มีค่า CDQ ตีลบอยู่ 4 ข้อ คือข้อ
2, 3, 9 และ 11 และพบว่าค่า CF CFC CFW และ CDQ ของชั้นคำตอบ (A tier) มักมีคะแนน
ความมั่นใจที่สูงกว่าชั้นเหตุผลเสมอ

จากนั้นผู้วิจัยทำการเปรียบเทียบรายข้อระหว่างกลุ่มแนวคิดผู้เรียนทั้ง 4 แบบ มโนทัศน์ที่
คลาดเคลื่อนที่เด่นชัด และค่า CF CFC CFW และ CDQ ของชั้นคำตอบ ชั้นเหตุผล และทั้งสองชั้น
(Both tier)

ตาราง 31 ร้อยละของนักเรียน กำหนดตามกลุ่มแนวคิดต่าง ๆ และค่า CDQ ของชั้นคำตอบ ชั้น
เหตุผล และทั้งสองชั้น (Both tier)

| ข้อ | กลุ่มแนวคิด | | | | มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เด่นชัด | | | | CDQ | | | |
|-----|-------------|-------|-------|-------|----------------------------------|------|------|-------|-------|--------|--------|-------|
| | SK | NCK | M | LK | 0404 | 0403 | 0304 | 0303 | รวม | A tier | R tier | Both |
| 1 | 16.00 | 6.86 | 51.43 | 25.71 | 8.57 | 3.43 | 5.14 | 18.29 | 35.43 | 0.46 | 0.79 | 0.63 |
| 2 | 0.00 | 1.14 | 68.00 | 30.86 | 12.57 | 4.57 | 2.86 | 13.71 | 33.71 | 0.18 | -0.33 | -0.08 |
| 3 | 2.86 | 6.29 | 48.00 | 42.86 | 5.14 | 5.71 | 1.71 | 6.86 | 19.43 | -0.18 | -0.17 | -0.15 |
| 4 | 14.86 | 17.71 | 37.71 | 29.71 | 6.86 | 4.00 | 1.14 | 9.14 | 21.14 | 0.24 | -0.01 | 0.14 |
| 5 | 15.43 | 4.57 | 33.14 | 46.86 | 1.14 | 1.71 | 0.00 | 3.43 | 6.29 | 0.57 | 0.86 | 0.67 |
| 6 | 9.14 | 6.86 | 31.43 | 52.57 | 4.00 | 3.43 | 1.14 | 6.86 | 15.43 | 0.24 | 0.21 | 0.22 |
| 7 | 8.00 | 11.43 | 37.71 | 42.86 | 4.00 | 0.57 | 0.57 | 4.57 | 9.71 | 0.48 | 0.09 | 0.31 |
| 8 | 6.29 | 2.86 | 49.71 | 41.14 | 2.29 | 1.71 | 1.71 | 3.43 | 9.14 | 0.43 | -0.03 | 0.25 |
| 9 | 0.57 | 8.00 | 36.57 | 54.86 | 5.14 | 1.71 | 2.29 | 4.00 | 13.14 | -0.37 | -0.44 | -0.37 |
| 10 | 5.14 | 3.43 | 48.00 | 43.43 | 2.29 | 2.86 | 2.86 | 8.00 | 16.00 | 0.66 | 0.11 | 0.47 |
| 11 | 1.14 | 1.71 | 57.14 | 40.00 | 14.29 | 1.14 | 3.43 | 12.57 | 31.43 | -0.59 | -0.09 | -0.29 |
| 12 | 15.43 | 12.00 | 33.71 | 38.86 | 6.86 | 3.43 | 1.71 | 11.43 | 23.43 | 0.48 | 0.42 | 0.46 |
| 13 | 16.00 | 9.14 | 41.71 | 33.14 | 12.00 | 1.71 | 1.71 | 9.14 | 24.57 | 0.30 | 0.30 | 0.30 |
| 14 | 21.71 | 5.14 | 33.14 | 40.00 | 4.00 | 2.29 | 0.57 | 9.71 | 16.57 | 0.75 | 0.87 | 0.80 |
| 15 | 13.14 | 7.43 | 27.43 | 52.00 | 6.29 | 0.00 | 1.14 | 4.00 | 11.43 | 0.66 | 0.30 | 0.47 |
| 16 | 10.86 | 4.57 | 33.71 | 50.86 | 1.71 | 1.71 | 1.14 | 4.00 | 8.57 | 0.44 | 0.67 | 0.55 |
| 17 | 8.00 | 6.86 | 53.71 | 31.43 | 16.00 | 4.00 | 0.57 | 9.14 | 29.71 | -0.05 | 0.16 | 0.03 |
| 18 | 8.57 | 7.43 | 36.00 | 48.00 | 4.00 | 3.43 | 1.14 | 3.43 | 12.00 | 0.41 | 0.35 | 0.40 |
| 19 | 30.29 | 12.57 | 17.71 | 39.43 | 1.71 | 0.00 | 2.29 | 6.29 | 10.29 | 0.88 | 0.80 | 0.84 |
| 20 | 24.57 | 16.00 | 22.29 | 37.14 | 3.43 | 1.14 | 0.57 | 8.57 | 13.71 | 0.63 | 0.58 | 0.61 |
| 21 | 12.57 | 14.29 | 26.29 | 46.86 | 2.86 | 1.71 | 0.57 | 5.14 | 10.29 | 0.61 | 0.59 | 0.59 |
| 22 | 8.00 | 12.00 | 47.43 | 32.57 | 7.43 | 0.00 | 2.86 | 2.29 | 12.57 | 0.39 | -0.05 | 0.18 |
| 23 | 7.43 | 9.71 | 22.86 | 60.00 | 3.43 | 1.14 | 1.14 | 6.29 | 12.00 | 0.53 | 0.32 | 0.42 |
| 24 | 14.86 | 18.86 | 28.57 | 37.71 | 6.29 | 2.29 | 1.14 | 8.57 | 18.29 | 0.14 | 0.15 | 0.15 |

จากตาราง 31 หากนำค่าร้อยละของกลุ่มแนวคิดทั้ง 4 แบบ ศึกษาพร้อมกับมโนทัศน์ที่
คลาดเคลื่อนที่เด่นชัดทั้ง 4 แบบ (0404 0403 0304 และ 0303) และค่า CDQ ของชั้นคำตอบ ชั้น
เหตุผล และทั้งสองชั้น (Both tier) พบว่ามีข้อที่มีร้อยละของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่มาก จำนวน
10 ข้อ คือ ข้อ 1, 2, 3, 4, 8, 10, 11, 13, 17 และ 22 ข้อที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เด่นชัดทั้ง 4
แบบ จำนวน 9 ข้อ คือ 1, 2, 3, 4, 11, 12, 13, 17 และ 24 และค่า CDQ ติดลบในชั้นคำตอบ
ชั้นเหตุผล หรือทั้งสองชั้น (Both tier) จำนวน 8 ข้อ คือ ข้อ 2, 3, 4, 8, 9, 11, 17 และ 22

และแปลความได้ว่า ข้อที่ 1 จากนักเรียน จำนวน 175 คน มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน จำนวนร้อยละ 51.43 ผู้วิจัยศึกษาต่อพบว่ามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เด่นชัดถึงร้อยละ 35.4 โดยค่า CDQ เท่ากับ 0.63 ในข้ออื่น ๆ อีก 23 ข้อ ก็สามารถแปลความได้แนวเดียวกัน และพบว่ามีข้อสอบที่น่าสนใจเนื่องจากมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมากและเด่นชัด จำนวน 7 ข้อ ดังตาราง 32





ตาราง 32 มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่มากและเด่นชัด ทั้งหมด 7 ข้อ

| ข้อ | กลุ่มแนวคิด | | | | มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เด่นชัด | | | | | CDQ | | |
|-----|-------------|-------|-------|-------|----------------------------------|------|------|-------|-------|--------|--------|-------|
| | SK | NCK | M | LK | 0404 | 0403 | 0304 | 0303 | รวม | A tier | R tier | Both |
| 1 | 16.00 | 6.86 | 51.43 | 25.71 | 8.57 | 3.43 | 5.14 | 18.29 | 35.43 | 0.46 | 0.79 | 0.63 |
| 2 | 0.00 | 1.14 | 68.00 | 30.86 | 12.57 | 4.57 | 2.86 | 13.71 | 33.71 | 0.18 | -0.33 | -0.08 |
| 3 | 2.86 | 6.29 | 48.00 | 42.86 | 5.14 | 5.71 | 1.71 | 6.86 | 19.43 | -0.18 | -0.17 | -0.15 |
| 4 | 14.86 | 17.71 | 37.71 | 29.71 | 6.86 | 4.00 | 1.14 | 9.14 | 21.14 | 0.24 | -0.01 | 0.14 |
| 11 | 1.14 | 1.71 | 57.14 | 40.00 | 14.29 | 1.14 | 3.43 | 12.57 | 31.43 | -0.59 | -0.09 | -0.29 |
| 13 | 16.00 | 9.14 | 41.71 | 33.14 | 12.00 | 1.71 | 1.71 | 9.14 | 24.57 | 0.30 | 0.30 | 0.30 |
| 17 | 8.00 | 6.86 | 53.71 | 31.43 | 16.00 | 4.00 | 0.57 | 9.14 | 29.71 | -0.05 | 0.16 | 0.03 |

จากตาราง 32 ทำการคัดเลือกข้อที่มีกลุ่มที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมาก และมีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนที่เด่นชัด (0404 0403 0304 0303) ซึ่งมีจำนวน 7 ข้อ ได้แก่ ข้อที่ 1 มโนทัศน์เรื่องยีนบนโครโมโซม ข้อที่ 2 มโนทัศน์เรื่องชุดของโครโมโซม ข้อที่ 3 มโนทัศน์เรื่องชนิดของโครโมโซม ข้อที่ 4 มโนทัศน์เรื่องลักษณะของโครโมโซมของมนุษย์ ข้อที่ 11 มโนทัศน์เรื่องเหตุการณ์ที่เกิดในไมโทซิส ข้อที่ 13 มโนทัศน์เรื่องระยะ M-phase ของไมโทซิส และข้อที่ 17 มโนทัศน์เรื่องระยะ M-phase ของไมโทซิส โดยข้อที่ 1 มโนทัศน์เรื่องยีนบนโครโมโซม มีนักเรียนที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ร้อยละ 51.43 ซึ่งมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เด่นชัด ร้อยละ 34.5 ค่า CDQ เท่ากับ 0.63 ส่วนในข้ออื่น ๆ ก็สามารถแปลความได้แนวเดียวกัน โดยพบว่ามีข้อที่มีค่า CDQ ตีลบจำนวน 5 ข้อ คือ ข้อ 2, 3, 4, 11, และ 17

ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ข้อสอบทั้ง 7 ข้อในรายข้อต่อไป โดยดูจากคำตอบของนักเรียนในส่วนของชั้นคำตอบและชั้นเหตุผล เพื่อศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่พบมากและเด่นชัด ดังตาราง 33

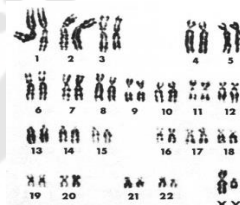
ตาราง 33 คำตอบของนักเรียนในชั้นคำตอบและชั้นเหตุผลเฉพาะข้อที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่มากและเด่นชัด

| ข้อ | ชั้น | คำตอบ |
|-----|--------|---|
| 1. | คำตอบ | <p>ยีนบนโครโมโซมที่กำหนดสีของดวงตามนุษย์พบได้ในเซลล์ใด</p> <p>ก. เซลล์กระจกตา (45.71%)</p> <p>ข. เซลล์อสุจิ (25.14%)</p> <p>ค. เซลล์สมอง (5.14%)</p> <p>ง. พบได้ทุกเซลล์ * (24.00%)</p> |
| | เหตุผล | <p>1. กระจกตาเป็นบริเวณที่มีผลต่อสีของดวงตา (44.00%)</p> <p>2. โครโมโซม X และ Y ในเซลล์อสุจิมียีนอยู่ทั้งหมด (24.57%)</p> <p>3. สมองเป็นศูนย์กลางควบคุมการทำงานทั้งหมด (7.43%)</p> <p>4. ยีนที่กำหนดลักษณะพันธุกรรมพบได้ในทุกเซลล์ * (24.00%)</p> |
| 2. | คำตอบ | <p>2. จงวาดรูปเซลล์ที่มีชุดโครโมโซม $2n = 6$</p> <p>ก.  (12.00%)</p> <p>ข.  (44.00%)</p> <p>ค.  (26.29%)</p> <p>ง.  * (17.71%)</p> |
| | เหตุผล | <p>1. ชุดโครโมโซมในโกลีคือ 2 ดังนั้น จำนวนโครโมโซมทั้งหมด คือ $6 \times 2 = 12$ (6.86%)</p> <p>2. ดิพลอยด์ คือ เซลล์ที่ประกอบด้วยโครโมโซม 2 ชุด ($2n$) โดยที่โครโมโซมจะอยู่กันเป็นคู่ ๆ * (19.43%)</p> <p>3. n แสดงถึง จำนวนชุดโครโมโซมที่เหมือนกัน ดังนั้น $2n = 6$ แสดงว่ามีโครโมโซม 3 ชุดที่เหมือนกัน (42.29%)</p> <p>4. $2n = 6$ แสดงว่า เซลล์นั้นมีโครโมโซม 3 แท่ง แต่ละแท่งมี 2 โครมาทิด รวมเป็น 6 โครมาทิด (31.43%)</p> |

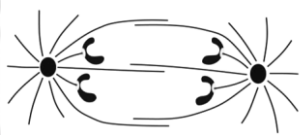
* คือคำตอบถูก

ตาราง 33 (ต่อ)


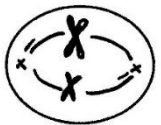
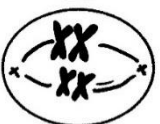

| ข้อ | ข้อ | คำตอบ |
|-----|--------|--|
| 3. | คำตอบ | <p>เซลล์เส้นผมจะมีโครโมโซมแบบได และมีจำนวนชุดโครโมโซมเป็นเท่าใด</p> <p>ก. โครโมโซมร่างกายเท่านั้น ชุดโครโมโซม $2n = 46$ (40.00%)</p> <p>ข. โครโมโซมเพศเท่านั้น ชุดโครโมโซม $n = 23$ (10.29%)</p> <p>ค. โครโมโซมร่างกายและโครโมโซมเพศ ชุดโครโมโซม $2n = 46$ * (30.86%)</p> <p>ง. โครโมโซมร่างกายและโครโมโซมเพศ ชุดโครโมโซม $n = 23$ (18.86%)</p> |
| | เหตุผล | <p>1. เซลล์ร่างกายมีเพียงโครโมโซมร่างกายเท่านั้น ชุดโครโมโซมเป็นดิพลอยด์ หรือ $2n$ (31.43%)</p> <p>2. เซลล์ร่างกายมีโครโมโซมเพศ เพราะโครโมโซม X และ Y เก็บลักษณะพันธุกรรม สิ่งมีชีวิตไว้ทั้งหมด (32.57%)</p> <p>3. เซลล์ร่างกายมีโครโมโซมทั้ง 2 แบบ ชุดโครโมโซมเป็นแฮพลอยด์ หรือ n (14.86%)</p> <p>4. เซลล์ร่างกายมีโครโมโซมทั้ง 2 แบบ และสามารถสร้างเซลล์ที่เหมือนกัน โดยมีชุดโครโมโซมเท่าเดิม * (21.14%)</p> |
| 4. | คำตอบ | <p>การทำคาริโอไทป์ (Karyotype) เป็นการศึกษารายละเอียดของโครโมโซมแต่ละแท่ง ในนิวเคลียสของเซลล์สิ่งมีชีวิต ข้อใดไม่เป็นข้อมูลที่ได้จากการศึกษาคาริโอไทป์</p> <p>ด้านล่าง</p> <p>ก. สิ่งมีชีวิตนี้คือมนุษย์ (20.57%)</p> <p>ข. เซลล์นี้ไม่ได้อยู่ในระยะแบ่งเซลล์ * (46.29%)</p> <p>ค. ชุดโครโมโซมเป็น $2n$ (13.14%)</p> <p>ง. เป็นเพศชาย (20.00%)</p> |
| | เหตุผล | <p>1. มีสิ่งมีชีวิตหลายชนิดที่โครโมโซม 46 แท่ง จึงไม่น่าจะเป็นโครโมโซมของมนุษย์ อย่างเดียว (19.43%)</p> <p>2. โครโมโซมมี 2 โครมาทิด แสดงว่าเซลล์นี้อยู่ในกระบวนการแบ่งเซลล์ * (37.71%)</p> <p>3. ลักษณะชุดโครโมโซมเป็น $23n$ หรือมีโครโมโซมคู่เหมือน 23 คู่ (26.29%)</p> <p>4. มนุษย์เพศชายมีโครโมโซมเพศ เป็น XX (16.57%)</p> |





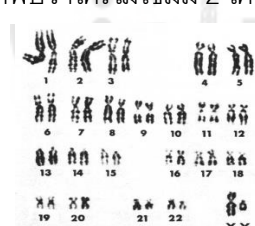



ตาราง 33 (ต่อ)

| ข้อ | ชั้น | คำตอบ |
|-----|--------|---|
| 11. | คำตอบ | <p>สิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งมีจำนวนโครโมโซม 12 คู่ ในการศึกษาดูเซลล์ระยะเมตาเฟสของไมโทซิส จะมีโครมาทิดกี่เส้น</p> <p>ก. 12 เส้น (9.71%)</p> <p>ข. 24 เส้น (75.43%)</p> <p>ค. 48 เส้น * (13.14%)</p> <p>ง. 96 เส้น (1.71%)</p> |
| | เหตุผล | <p>1. โครโมโซม 1 แท่ง จะมีโครมาทิด 1 เส้นเสมอ (16.00%)</p> <p>2. โครโมโซม 1 แท่ง จะมีโครมาทิด 2 เส้นเสมอ (53.14%)</p> <p>3. ในระยะเมตาเฟส โครโมโซม 1 แท่ง จะมีโครมาทิด 2 เส้น * (21.71%)</p> <p>4. ในระยะเมตาเฟส โครโมโซม 1 แท่ง จะมีโครมาทิด 4 เส้น (9.14%)</p> |
| 13. | คำตอบ | <p>การแบ่งนิวเคลียสของเซลล์ในภาพอยู่ในระยะใดในไมโทซิส และระยะนี้มีจำนวนโครโมโซมเท่าใด</p>  <p>ก. เมตาเฟส จำนวนโครโมโซม คือ 2 (13.71%)</p> <p>ข. เมตาเฟส จำนวนโครโมโซม คือ 4 (22.86%)</p> <p>ค. แอนาเฟส จำนวนโครโมโซม คือ 2 (31.43%)</p> <p>ง. แอนาเฟส จำนวนโครโมโซม คือ 4 * (32.00%)</p> |
| | เหตุผล | <p>1. เมตาเฟส โครโมโซมเรียงกันกลางเซลล์ และมีจำนวนโครโมโซมเท่าเดิม (9.14%)</p> <p>2. เมตาเฟส โครโมโซมโดนเส้นใยสปินเดิลไฟเบอร์ดึง ทำให้มีโครโมโซมมาก 2 เท่า (21.71%)</p> <p>3. แอนาเฟส มีการฉีกโครมาทิดให้แยกออกจากกัน แต่ก็ถือว่ามีจำนวนโครโมโซมเท่าเดิม (35.43%)</p> <p>4. แอนาเฟส มีการฉีกโครมาทิดให้แยกออกจากกัน ทำให้มีจำนวนแท่งโครโมโซมเป็น 2 เท่า * (33.71%)</p> |


ตาราง 33 (ต่อ)

| ข้อ | ชั้น | คำตอบ |
|--------|---|--|
| 17. | คำตอบ | เซลล์สัตว์ชนิดหนึ่งมีโครโมโซมเป็น $2n = 4$ ข้อใดคือวาดภาพเซลล์นี้ขณะแบ่งเซลล์ในขั้นเมตาเฟส I |
| | ก. |  (32.57%) |
| | ข. |  40.00% |
| | ค. |  * (20.57%) |
| | ง. |  6.86% |
| เหตุผล | <ol style="list-style-type: none"> ระยะนี้มีโครโมโซม 2 แท่ง เรียงกันกลางเซลล์ (34.29%) ระยะนี้มีโครโมโซม 4 แท่ง เรียงกันในระนาบเดียวกัน (21.71%) ระยะนี้มีโครโมโซมคู่เหมือน 2 คู่ มาเรียงในระนาบเดียวกัน * (33.71%) โครโมโซมคู่เหมือนแยกออกจากกันด้วยเส้นใยสปินเดิลในระยะนี้ (10.29%) | |

ตาราง 34 สรุปมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่พบบ่อยทั้งหมด 9 มโนทัศน์

| ที่ | มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่พบบ่อย |
|-----|--|
| 1. | ยีนบนโครโมโซมที่กำหนดสีของดวงตามนุษย์พบได้ในเซลล์กระจกตา (45.71%) เพราะกระจกตาเป็นบริเวณที่มีผลต่อสีของดวงตา (44.00%) |
| 2. | เซลล์ที่มีชุดโครโมโซม $2n = 6$ คือ  (44.00%) เพราะ $2n = 6$ แสดงว่าเซลล์นั้น มีโครโมโซม 3 คู่ แต่ละคู่มี 2 โครมาทิด รวมเป็น 6 โครมาทิด (31.43%) |
| 3. | เซลล์ที่มีชุดโครโมโซม $2n = 6$ คือ  (26.29%) เพราะ n แสดงถึงจำนวนชุดโครโมโซม ที่เหมือนกัน ดังนั้น $2n = 6$ แสดงว่า มีโครโมโซม 3 ชุดที่เหมือนกัน (42.29%) |
| 4. | เซลล์เส้นผมจะมีโครโมโซมร่างกายเท่านั้น และมีจำนวนชุดโครโมโซมเป็น $2n = 46$ (40.00%) เพราะเซลล์ร่างกายมีเพียงโครโมโซมร่างกายเท่านั้น ชุดโครโมโซมเป็นดิพลอยด์ หรือ $2n$ (31.43%) |
| 5. | การทำคาริโอไทป์ (Karyotype) เป็นการศึกษารายละเอียดของโครโมโซม แต่ละแห่งใน นิวเคลียสของเซลล์สิ่งมีชีวิต จะเห็นว่าเซลล์นี้ไม่ได้อยู่ในระยะแบ่งเซลล์ (46.29%) เพราะ ถ้าพบว่าโครโมโซมมี 2 โครมาทิด แสดงว่าเซลล์นี้อยู่ในกระบวนการแบ่งเซลล์ (37.71%) |
| |  |
| 6. | สิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งมีจำนวนโครโมโซม 12 คู่ ในการศึกษาชุดเซลล์ระยะเมตาเฟสของไมโทซิส จะมีโครมาทิด 24 เส้น (75.43%) เพราะโครโมโซม 1 คู่ จะมีโครมาทิด 2 เส้นเสมอ (53.14%) |
| 7. | การแบ่งนิวเคลียสของเซลล์ในภาพอยู่ในระยะแอนาเฟสในไมโทซิส และระยะนี้มีจำนวน โครโมโซม คือ 2 (31.43%) เพราะระยะแอนาเฟส มีการฉีกโครมาทิดให้แยกออกจากกัน แต่ก็ถือว่ามีจำนวนโครโมโซมเท่าเดิม (35.43%) |
| |  |
| 8. | เซลล์สัตว์ชนิดหนึ่งมีโครโมโซมเป็น $2n = 4$ วาดภาพเซลล์นี้ขณะแบ่งเซลล์ในขั้นเมตาเฟส I คือ  (32.57%) เพราะระยะนี้มีโครโมโซม 4 คู่ เรียงกันในระนาบเดียวกัน (21.71%) |
| 9. | เซลล์สัตว์ชนิดหนึ่งมีโครโมโซมเป็น $2n = 4$ วาดภาพเซลล์นี้ขณะแบ่งเซลล์ในขั้นเมตาเฟส I คือ  (40.00%) เพราะระยะนี้มีโครโมโซม 2 คู่ เรียงกันกลางเซลล์ (34.29%) |

นอกจากนี้ยังพบมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในเรื่องอื่น ๆ แต่พบไม่มากนัก เช่น

- เซลล์อสุจิและเซลล์ไข่ มีการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ส่วนไซโกตซึ่งเป็นเซลล์ร่างกาย มีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส (ข้อ 5)
- วัฏจักรเซลล์ยูคาริโอตในระยะโปรเฟส เมตาเฟส แอนาเฟส เทโลเฟส มีโครโมโซม 2 โคโรมาทิด เพราะระยะ M phase จะเป็นระยะที่โครโมโซมเป็น 2 โคโรมาทิดเสมอ (ข้อ 6)
- เซลล์ผิวหนังเดิม (เซลล์แม่) ถ้ามีโครโมโซม 4 แท่ง จะมีชุดโครโมโซม $2n = 4$ ส่วนเซลล์ผิวหนังที่แบ่งตัวใหม่ (เซลล์ลูก) จะมีชุดโครโมโซม $n = 2$ ซึ่งมีข้อมูลทางพันธุกรรมแตกต่างกัน เพราะเซลล์ลูกที่ผ่านการแบ่งตัวจากเซลล์เดิมจะมีโครโมโซมลดลงเสมอ (ข้อ 7)
- เส้นใยสปินเดิล (Spindle fiber) สร้างมาจากไรโบโซม เพราะเป็นออร์แกเนลล์ที่สร้างโปรตีน และนำมาสร้างเส้นใยสปินเดิล (ข้อ 8)
- จำนวนโครโมโซมของไซโกต (zygote) ที่ได้พัฒนาขึ้นจากการปฏิสนธิ จะเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากการแบ่งเซลล์ (ข้อ 9)
- การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส เซลล์ลูกที่ได้มีลักษณะเป็น 2 เซลล์ และมีจำนวนโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่งของเซลล์เดิม เพราะข้อมูลทางพันธุกรรมจะแบ่งออกเป็นครึ่งหนึ่งเมื่อผ่านการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส (ข้อ 10)
- เหตุการณ์ที่พบในระยะอินเตอร์เฟสของการแบ่งแบบไมโทซิส คือ เยื่อหุ้มนิวเคลียสสลายตัว เพราะระยะนี้เป็นระยะเริ่มต้นการแบ่งเซลล์ เซลล์จึงต้องมีการสลายออร์แกเนลล์ที่ไม่เกี่ยวข้องทั้งหมด (ข้อ 12)
- ระยะอินเตอร์เฟสจะเห็นโครโมโซมชัดเจนที่สุดจากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ เพราะระยะนี้เป็นขั้นแรกของการแบ่งเซลล์ ทำให้สังเกตเห็นโครโมโซมได้ง่าย (ข้อ 14)
- การจำลองดีเอ็นเอในไมโอซิส เกิดในระยะอินเตอร์เฟส I และอินเตอร์เฟส II เพราะระยะอินเตอร์เฟส I และอินเตอร์เฟส II มีการจำลองดีเอ็นเอเพิ่มเป็น 2 เท่า (ข้อ 15)
- การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสจะเกิดครอสซิงโอเวอร์ (Crossing over) ในขั้นการแบ่งไซโทพลาสซึม เพราะระยะนี้มีการแบ่งไซโทพลาสซึมเป็น 2 เซลล์ (ข้อ 16)
- จากภาพ  คือ ระยะเมตาเฟส II ของการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส เพราะการฉีกโครโมโซมเกิดในระยะนี้ เพื่อแยกโครโมโซมคู่เหมือนให้ออกจากกัน (ข้อ 18)
- การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและไมโอซิสจะแบ่งตัวได้เซลล์ลูก 2 เซลล์เหมือนกัน (ข้อ 21)

- เซลล์บางชนิด เช่น เซลล์ประสาท เซลล์ผิวหนัง เซลล์กระดูก เมื่อตายไปแล้ว จะไม่มีการสร้างเซลล์ใหม่ขึ้นมาทดแทน เนื่องจากมีเซลล์บางชนิดในร่างกายนั่นที่จะสร้างทดแทนในกรณีที่บาดเจ็บหรือมีบาดแผล (ข้อ 22)

- การแยกคู่ Homologous Chromosome ไม่พบใน แอนาเฟส I การแยกคู่ Sister chromatid ไม่พบใน แอนาเฟส II ส่วนการสร้าง Spindle fiber และการสลายของ Nucleolus ไม่พบใน โพรเฟส I (ข้อ 23)

- กลุ่มอาการเทอร์เนอร์ มีโครโมโซม 45 แท่ง (44+XO) สาเหตุที่เกิดขึ้นน่าจะเป็นเพราะการแบ่งแบบไมโทซิสและไมโอซิสผิดปกติ เพราะการที่โครโมโซม X ขาดหายไป เกิดจากความผิดปกติของการแบ่งเซลล์ทั้งไมโทซิสและไมโอซิส (ข้อ 24)



บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล ข้อเสนอแนะ

ความมุ่งหมายของงานวิจัย

1. เพื่อสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น ในวิชาชีววิทยาเรื่อง การแบ่งเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4
2. เพื่อตรวจสอบคุณภาพของแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น ในด้านความเที่ยงตรง ความยาก อำนาจจำแนก และความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ
3. เพื่อศึกษาการจำแนกกลุ่มแนวคิดและวิเคราะห์ทัศนคติที่คลาดเคลื่อนในวิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 จากแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2560 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จำนวน 4,200 คน จากโรงเรียน 25 โรงเรียน ในจังหวัดสมุทรปราการ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 6 (สพม.6, 2560)

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2560 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ รวมจำนวน 420 คน จากโรงเรียน 9 โรงเรียน ในจังหวัดสมุทรปราการ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 6

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยแบบทดสอบ ดังนี้

1. แบบทดสอบสำรวจ ซึ่งมีลักษณะเป็นแบบทดสอบอัตนัย ชนิดเติมคำตอบลงในช่องว่างที่เว้นไว้ พร้อมทั้งบอกเหตุผลของการตอบ จำนวน 29 ข้อ วิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ โดยยึดตามจุดประสงค์การเรียนรู้และเนื้อหา เพื่อสำรวจและรวบรวมคำตอบที่ผิดหรือมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนต่าง ๆ ในแต่ละข้อ เพื่อใช้สร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น
2. แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น เพื่อศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในวิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ซึ่งเป็นแบบทดสอบที่สร้างขึ้นเพื่อศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในการเรียนวิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ จำนวน 24 ข้อ ลักษณะของแบบทดสอบ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนการตอบ คือ 1. ชั้นคำตอบ 2. ชั้นความมั่นใจ

ส่วนคำตอบ 3. ชั้นเหตุผล และ 4. ชั้นความมั่นใจส่วนเหตุผล โดยชั้นคำตอบ (ชั้น Answer หรือ ชั้น A) และชั้นเหตุผล (ชั้น Reason หรือชั้น R) เป็นแบบปรนัยแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก ข้อคำถามจะเป็นคำถามที่มาจากแบบทดสอบสำรวจ ตัวลวงได้จากคำตอบผิดจากแบบทดสอบสำรวจ ในแต่ละชั้นจะต้องระบุคะแนนความมั่นใจ (Confidence) ที่มีต่อคำตอบในชั้นคำตอบ (ชั้น Answer หรือ ชั้น A) และชั้นเหตุผล (ชั้น Reason หรือชั้น R) โดยมีระดับความมั่นใจในการตอบ 4 ระดับ คือ 1 = คาดเดา 2 = ไม่มั่นใจ 3 = มั่นใจ และ 4 = มั่นใจมาก เพื่อตรวจสอบมโนทัศน์และความเข้าใจของนักเรียนในเรื่องนั้น ๆ อย่างละเอียดถี่ถ้วน และเชื่อว่าระดับความมั่นใจที่ดีควรสูงเมื่อคำตอบถูกต้อง และความมั่นใจควรต่ำเมื่อไม่แน่ใจในคำตอบนั้นหรือคำตอบนั้นผิด โดยหากคำตอบนั้นผิดแต่มีระดับความมั่นใจในคำตอบสูง แสดงว่านักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่แท้จริง (Genuine misconception) หากคำตอบนั้นผิดและมีระดับความมั่นใจในการตอบต่ำ แสดงว่านักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนปลอม (Spurious misconception)

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยดำเนินการต่าง ๆ เพื่อการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยสรุปมีขั้นตอนดังนี้

1. สร้างแบบทดสอบสำรวจ เพื่อสำรวจมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ซึ่งเป็นแบบทดสอบแบบอัตนัย จำนวน 29 ข้อ จากนั้นให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านเนื้อหาพิจารณา เพื่อประเมินความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์การเรียนรู้กับเนื้อหา และข้อคำถามกับจุดประสงค์การเรียนรู้
2. นำแบบทดสอบสำรวจไปทดสอบกับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 140 คน ที่เคยเรียนเรื่องการแบ่งเซลล์มาแล้ว เพื่อสำรวจมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน และรวบรวมคำตอบผิดนำมาสร้างแบบทดสอบวินิจฉัย
3. วิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสำรวจมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน โดยทำรอยขีด (tally) รูปแบบคำตอบที่ผิดเหมือนกัน และข้อผิดพลาดต่าง ๆ ไว้ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการสร้างแบบทดสอบวินิจฉัย
4. สร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น มีลักษณะเป็นแบบทดสอบเลือกตอบสี่ชั้น ในข้อคำถามข้อหนึ่ง ๆ จะถาม 4 ชั้น คือ ชั้นคำตอบ ชั้นความมั่นใจส่วนคำตอบ ชั้นเหตุผล ชั้นความมั่นใจส่วนเหตุผล โดยค่าความมั่นใจ มี 4 ระดับ โดยใช้คำถามจากแบบทดสอบสำรวจ สร้างตัวลวงจากข้อบกพร่องหรือมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน นำแบบทดสอบที่สร้างขึ้นให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านเนื้อหาพิจารณา เพื่อแก้ไขปรับปรุงจำนวนการเขียนข้อสอบ ทั้งโจทย์และตัวเลือกในข้อสอบทั้งชั้นเหตุผลและชั้นคำตอบ จากนั้นนำแบบทดสอบที่

แก้ไขปรับปรุงแล้วทดสอบกับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 105 คน เพื่อวิเคราะห์คุณภาพรายข้อ ด้านความยาก อำนาจจำแนก และความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ แล้วคัดเลือกและปรับปรุงข้อสอบ

5. นำแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับชั้นที่ได้รับการพัฒนาจนมีประสิทธิภาพไปใช้จริงกับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 175 คน เพื่อศึกษากลุ่มแนวคิดและวิเคราะห์ห้มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จากกลุ่มตัวอย่าง มาวิเคราะห์ข้อมูลมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ตรวจสอบคุณภาพของแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับชั้น ดังนี้

1.1 ความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา ตรวจสอบโดยค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ (IOC)

1.2 ความยากของข้อสอบ คำนวณจากจำนวนผู้สอบที่ตอบข้อสอบข้อนั้นถูกต้องหารด้วยจำนวนผู้สอบทั้งหมด

1.3 อำนาจจำแนกของข้อสอบ คำนวณจากสัดส่วนของผู้สอบกลุ่มสูงที่ตอบข้อสอบข้อนั้นถูกต้องด้วยสัดส่วนของผู้สอบกลุ่มต่ำที่ตอบข้อสอบข้อนั้นถูกต้อง

1.4 ความเชื่อมั่น ตรวจสอบด้วยวิธีการหาความสอดคล้องภายใน (internal consistency) โดยใช้สูตร KR20

2. การจำแนกกลุ่มแนวคิดและวิเคราะห์ห้มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในวิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 จากแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับชั้น โดยใช้ค่าสถิติร้อยละ

สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล

1. สรุปผลการสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับชั้น

ผลการสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับชั้น เรื่อง การแบ่งเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่วิเคราะห์คุณภาพด้วยทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม ลักษณะของแบบทดสอบเป็นแบบทดสอบวินิจฉัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนการตอบ คือ 1. ขั้นคำตอบ 2. ขั้นความมั่นใจส่วนคำตอบ 3. ขั้นเหตุผล และ 4. ขั้นความมั่นใจส่วนโดยมีระดับความมั่นใจในการตอบ 4 ค่า มีระดับความมั่นใจ คือ 1 = คาดเดา 2 = ไม่มั่นใจ 3 = มั่นใจ และ 4 = มั่นใจมาก เพื่อตรวจสอบมโนทัศน์และความเข้าใจของนักเรียนในเรื่อง


นั้น ๆ อย่างละเอียดถี่ถ้วน ประกอบด้วย 7 เนื้อหาย่อย คือ พื้นฐานของโครโมโซม ภาพรวมวัฏจักรเซลล์ การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส การแบ่งไซโทพลาสซึม สิ่งที่ได้จากการแบ่งเซลล์ และบทประยุกต์ จำนวน 24 ข้อ ได้ผลการวิเคราะห์คุณภาพแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกลำดับชั้น ปากฎดังนี้


แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกลำดับชั้น จำนวน 24 ข้อ มีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของแบบทดสอบ โดยมีค่า IOC ตั้งแต่ 0.71-1.00 ในชั้นคำตอบ (A tier) มีค่าความยากตั้งแต่ 0.18-0.68 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.10-0.61 ค่าความยากเฉลี่ยทั้งฉบับ 0.42 ค่าอำนาจจำแนกเฉลี่ยทั้งฉบับ 0.35 และค่าความเชื่อมั่น (KR20) เท่ากับ 0.695 ในชั้นเหตุผล (R tier) มีค่าความยากตั้งแต่ 0.15-0.59 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.02-0.53 ค่าความยากเฉลี่ยทั้งฉบับ 0.35 ค่าอำนาจจำแนกเฉลี่ยทั้งฉบับ 0.28 และค่าความเชื่อมั่น (KR20) เท่ากับ 0.520

2. สรุปผลการจำแนกกลุ่มแนวคิดและวิเคราะห์หมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน วิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 จากแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกลำดับชั้น

ผลการจำแนกกลุ่มแนวคิดและการหมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในวิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 จากแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกลำดับชั้น พบว่าหมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมากและมีหมโนทัศน์คลาดเคลื่อนที่เด่นชัด (0404 0403 0304 0303) มีจำนวน 7 ข้อ ได้แก่ ข้อที่ 1 หมโนทัศน์เรื่องยีนบนโครโมโซม ข้อที่ 2 หมโนทัศน์เรื่องชุดของโครโมโซม ข้อที่ 3 หมโนทัศน์เรื่องชนิดของโครโมโซม ข้อที่ 4 หมโนทัศน์เรื่องลักษณะของโครโมโซมของมนุษย์ ข้อที่ 11 หมโนทัศน์เรื่องเหตุการณ์ที่เกิดในไมโทซิส ข้อที่ 13 หมโนทัศน์เรื่องระยะ M-phase ของไมโทซิส และข้อที่ 17 หมโนทัศน์เรื่องระยะ M-phase ของไมโอซิส โดยพบหมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่ค่า CDQ ตีดลบจำนวน 4 ข้อ คือ ข้อ 2, 3, 11 และ 17 และพบหมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมาก มีทั้งหมด 9 ข้อ ดังนี้

1. ยีนบนโครโมโซมที่กำหนดสีของดวงตามนุษย์พบได้ในเซลล์กระจกตา (45.71%) เพราะกระจกตาเป็นบริเวณที่มีผลต่อสีของดวงตา (44.00%)

2. เซลล์ที่มีชุดโครโมโซม $2n = 6$ คือ  (44.00%) เพราะ $2n = 6$ แสดงว่าเซลล์นั้นมีโครโมโซม 3 แท่ง แต่ละแท่งมี 2 โครมาทิด รวมเป็น 6 โครมาทิด (31.43%)

3. เซลล์ที่มีชุดโครโมโซม $2n = 6$ คือ  (26.29%) เพราะ n แสดงถึงจำนวนชุดโครโมโซมที่เหมือนกัน ดังนั้น $2n = 6$ แสดงว่า มีโครโมโซม 3 ชุดที่เหมือนกัน (42.29%)

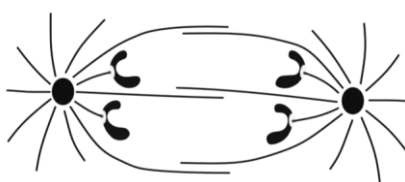
4. เซลล์เส้นผมจะมีโครโมโซมร่างกายเท่านั้น และมีจำนวนชุดโครโมโซมเป็น $2n = 46$ (40.00%) เพราะเซลล์ร่างกายมีเพียงโครโมโซมร่างกายเท่านั้น ชุดโครโมโซมเป็นดิพลอยด์ หรือ $2n$ (31.43%)


5. การทำคาริโอไทป์ (Karyotype) เป็นการศึกษารายละเอียดของโครโมโซม แต่ละแท่งในนิวเคลียสของเซลล์สิ่งมีชีวิต จะเห็นว่าเซลล์นี้ไม่ได้อยู่ในระยะแบ่งเซลล์ (46.29%) เพราะถ้าพบว่าโครโมโซมมี 2 โครมาทิด แสดงว่าเซลล์นี้อยู่ในกระบวนการแบ่งเซลล์ (37.71%)




6. สิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งมีจำนวนโครโมโซม 12 คู่ ในการศึกษาดูเซลล์ระยะเมตาเฟสของไมโทซิส จะมีโครมาทิด 24 เส้น (75.43%) เพราะโครโมโซม 1 แท่ง จะมีโครมาทิด 2 เส้นเสมอ (53.14%)

7. การแบ่งนิวเคลียสของเซลล์ในภาพอยู่ในระยะแอนาเฟสในไมโทซิส และระยะนี้มีจำนวนโครโมโซม คือ 2 แท่ง เพราะระยะแอนาเฟส มีการฉีกโครมาทิดให้แยกออกจากกัน แต่ก็ถือว่ามีจำนวนโครโมโซมเท่าเดิม (35.43%)



8. เซลล์สัตว์ชนิดหนึ่งมีโครโมโซมเป็น $2n = 4$ วาดภาพเซลล์นี้ขณะแบ่งเซลล์ในขั้นเมตาเฟส I คือ  (32.57%) เพราะระยะนี้มีโครโมโซม 4 แท่ง เรียงกันในระนาบเดียวกัน (21.71%)

9. เซลล์สัตว์ชนิดหนึ่งมีโครโมโซมเป็น $2n = 4$ วาดภาพเซลล์นี้ขณะแบ่งเซลล์ในขั้นเมตาเฟส I คือ  (40.00%) เพราะระยะนี้มีโครโมโซม 2 แท่ง เรียงกันกลางเซลล์ (34.29%)

อภิปรายผล

จากผลการพัฒนาแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับชั้น เรื่อง การแบ่งเซลล์ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 มีประเด็นสำคัญที่นำมาอภิปราย 2 ประเด็นได้แก่

1. ผลการสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับชั้น
2. ผลการจำแนกกลุ่มแนวคิดและวิเคราะห์หมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน วิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 จากแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับชั้น

1. อภิปรายผลการสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับชั้น

การศึกษาความเข้าใจ มโนทัศน์ หรือมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนนั้นไม่มีวิธีการและเครื่องมือที่หลากหลาย ซึ่งโดยทั่วไปเครื่องมือประเมินดังกล่าวมักเป็นแบบทดสอบวินิจฉัยที่สร้างได้หลายรูปแบบ ได้แก่ แบบสัมภาษณ์ แบบทดสอบชนิดเขียนตอบ แบบทดสอบหลายตัวเลือกี่ลำดับชั้น แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่สองลำดับชั้น แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่สามลำดับชั้น แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับชั้น ซึ่งเครื่องมือแต่ละชนิดต่างก็มีทั้งข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน (วันเพ็ญ คำเทศ, 2560) แต่แบบทดสอบหลายตัวเลือกี่ลำดับชั้นมีจุดแข็งทั้งหมดของแบบทดสอบวินิจฉัย สามารถประเมินมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนและขาดความรู้ได้โดยไม่มีคามผิดพลาด (Caleon & Subramaniam, 2010; Gurel et al, 2015) ผู้วิจัยจึงเลือกสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับชั้น ในการศึกษาหมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในวิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ ซึ่งงานวิจัยในประเทศไทยยังไม่มีการสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับชั้นในวิชาชีววิทยา เรื่องการแบ่งเซลล์ มาก่อน (Gurel et al, 2015) จนได้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับชั้น จำนวน 24 ข้อ มีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของแบบทดสอบ โดยมีค่า IOC ตั้งแต่ 0.71-1.00 ในชั้นคำตอบ (A tier) มีค่าความยากตั้งแต่ 0.18-0.68 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.10-0.61 ค่าความยากเฉลี่ยทั้งฉบับ 0.42 ค่าอำนาจจำแนกเฉลี่ยทั้งฉบับ 0.35 และค่าความเชื่อมั่น (KR20) เท่ากับ 0.695 ในชั้นเหตุผล (R tier) มีค่าความยากตั้งแต่ 0.15-0.59 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.02-0.53 ค่าความยากเฉลี่ยทั้งฉบับ 0.35 ค่าอำนาจจำแนกเฉลี่ยทั้งฉบับ 0.28 และค่าความเชื่อมั่น (KR20) เท่ากับ 0.520 ดังนั้นผู้วิจัยจึงสรุปว่าแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับชั้นที่สร้างขึ้นมีคุณภาพและสามารถนำไปใช้ศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในวิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ ได้เป็นอย่างดี สอดคล้องกับงานวิจัยในต่างประเทศที่ใช้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับชั้นในการหามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เช่น Caleon & Subramaniam

(2010) ศึกษาการใช้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับขั้น เพื่อประเมินลักษณะของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน เรื่อง คลื่นกล Yang & Lin (2015) ศึกษาการประเมินผลสัมฤทธิ์และมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง ความรู้สึกเชิงจำนวนของนักเรียน Hermita et al (2017) ศึกษาการสร้างและการใช้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับขั้น สำหรับการวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง ไฟฟ้าสถิตย์ Afif et al (2017) ศึกษาการพัฒนาแบบสำรวจแนวคิดด้านพลังงานและโมเมนตัม (EMCS) ด้วยแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับขั้น Afif et al (2017) สร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับขั้น สำหรับการระบุมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในเรื่องทัศนศาสตร์ และ Hermita et al (มปป) สร้างและใช้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับขั้น สำหรับการประเมินมโนทัศน์เรื่องแม่เหล็กไฟฟ้าของครูประถมก่อนประจำการ ซึ่งแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับขั้นจากงานวิจัยเหล่านี้ก็ล้วนมีคุณภาพและสามารถนำไปใช้ศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนได้ดีเช่นเดียวกัน


2. อภิปรายผลการจำแนกกลุ่มแนวคิดและวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน วิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 จากแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับขั้น



ผลการจำแนกกลุ่มแนวคิดและวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในวิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 จากแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับขั้น พบว่า มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมากและมีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนที่เด่นชัด (0404 0403 0304 0303) มีจำนวน 7 ข้อ โดยมีค่า CDQ ตีตลาดจำนวน 4 ข้อ คือ ข้อ 2, 3, 11 และ 17 จะเห็นว่านักเรียนยังมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในเรื่องการแบ่งเซลล์มาก โดยมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่พบมากและเด่นชัดมีทั้งหมด 9 ข้อ ดังนี้


1. มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง ยีนบนโครโมโซมที่กำหนดสีของดวงตามนุษย์ พบได้ในเซลล์กระจกตา (45.71%) เพราะกระจกตาเป็นบริเวณที่มีผลต่อสีของดวงตา (44.00%) (มโนทัศน์เรื่องยีนบนโครโมโซม)


เป็นที่ทราบกันดีว่ายีน คือ หน่วยที่ควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมต่าง ๆ ในร่างกายของสิ่งมีชีวิตที่ถ่ายทอดจากพ่อแม่ไปสู่ลูกหลาน ซึ่งปรากฏอยู่บนโครโมโซม โดยโครโมโซมประกอบด้วยดีเอ็นเอ (DNA) ซึ่งในดีเอ็นเอมียีนอยู่ ยีนจะทำหน้าที่กำหนดลักษณะทางพันธุกรรมต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิต และถูกถ่ายทอดจากสิ่งมีชีวิตรุ่นพ่อแม่สู่ลูกหลาน เช่น สีตา สีผม สติปัญญา และความสูง รูปร่างหน้าตาของเด็กที่มีบางส่วนเหมือนกับแม่ เหล่านี้ล้วนเกิดจากการที่ยีนซึ่งอยู่บนโครโมโซมถ่ายทอดจากรุ่นสู่รุ่น หากถามว่า ยีนบนโครโมโซมที่กำหนดสีของดวงตามนุษย์พบได้

ในเซลล์ใด คำตอบส่วนใหญ่ คือ อยู่บนเซลล์กระจกตา เป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่มากในนักเรียนส่วนใหญ่ ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว ยีนบนโครโมโซมที่กำหนดสีของดวงตามนุษย์พบได้ในเซลล์ทุก ๆ เซลล์ในมนุษย์

2. มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง วาดรูปเซลล์ที่มีชุดโครโมโซม $2n = 6$ คือ  (44.00%) เพราะ $2n = 6$ แสดงว่าเซลล์นั้นมีโครโมโซม 3 แท่ง แต่ละแท่งมี 2 โครมาทิด รวมเป็น 6 โครมาทิด (31.43%) (มโนทัศน์เรื่องชุดของโครโมโซม)

สิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ มีจำนวนโครโมโซมในเซลล์ร่างกายอยู่ 2 ชุด เรียกว่า ดิพลอยด์ หรือ $2n$ ส่วนในเซลล์สืบพันธุ์มีจำนวนโครโมโซมเพียงชุดเดียว เรียกว่า แฮพลอยด์ หรือ n ดังนั้นเซลล์ที่มีชุดโครโมโซม $2n = 6$ แสดงว่ามีโครโมโซมแบบดิพลอยด์ ($2n$) โดยโครโมโซมจะอยู่เป็นคู่ ๆ เรียกว่าโครโมโซมคู่เหมือน (Homologous chromosome) ภาพเซลล์ที่มีชุดโครโมโซม $2n = 6$ จึงควรเป็น  อธิบายได้ว่า มีโครโมโซมอยู่เป็นคู่ ๆ จำนวน 3 คู่ รวมเป็น 6 แท่ง การวาดภาพเซลล์ที่มีโครโมโซมเพียง 3 แท่ง () แต่นับจำนวนโครมาทิดเป็น 6 โครมาทิด จึงเป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

3. มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง วาดรูปเซลล์ที่มีชุดโครโมโซม $2n = 6$ คือ  (26.29%) เพราะ n แสดงถึง จำนวนชุดโครโมโซมที่เหมือนกัน ดังนั้น $2n = 6$ แสดงว่า มีโครโมโซม 3 ชุดที่เหมือนกัน (42.29%) (มโนทัศน์เรื่องชุดของโครโมโซม)

จากความรู้ในข้อ 2 พบว่ายังมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่พบมากในนักเรียน เรื่องชุดโครโมโซม ก็คือการวาดรูปชุดโครโมโซม $2n = 6$ คือ  (26.29%) ด้วยความเข้าใจว่า $2n = 6$ แสดงว่า มีโครโมโซมจำนวน 3 ชุดที่เหมือนกัน อธิบายแบบง่าย ๆ ก็คือ นักเรียนเข้าใจว่า $2n = 6$ จะพบโครโมโซมอยู่ 2 ชุด โดยมีขนาดเท่ากันอยู่ถึง 3 โครโมโซม

4. มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง เซลล์เส้นผมจะมีโครโมโซมร่างกายเท่านั้น และมีจำนวนชุดโครโมโซมเป็น $2n = 46$ (40.00%) เพราะเซลล์ร่างกายมีเพียงโครโมโซมร่างกายเท่านั้น ชุดโครโมโซมเป็นดิพลอยด์ หรือ $2n$ (31.43%) (มโนทัศน์เรื่องชนิดของโครโมโซม)

เซลล์ร่างกาย (Somatic cell) มีชุดโครโมโซมเป็นดิพลอยด์ หรือ $2n$ ดังนั้นเซลล์เส้นผม ซึ่งเป็นเซลล์ร่างกายมนุษย์ย่อมมีชุดโครโมโซมเป็น $2n = 46$ โดยโครโมโซมจะอยู่เป็นคู่ ๆ เรียกว่า โครโมโซมคู่เหมือน (Homologous chromosome) จำนวน 23 คู่ หรือ 46 แท่ง นั้นแสดงว่า

โครโมโซมคู่ที่ 1 โครโมโซมแท่งหนึ่งต้องมาจากพ่อ ส่วนอีกหนึ่งแท่งต้องมาจากแม่ ตั้งแต่การปฏิสนธิ ดังนั้นข้อความที่กล่าวว่าเซลล์เส้นผมมีจำนวนชุดโครโมโซมเป็น $2n = 46$ จึงถูกต้อง แต่จะพบมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนตรงข้อความที่กล่าวว่าเซลล์เส้นผมจะมีโครโมโซมร่างกายเท่านั้น เพราะในความจริงแล้ว เซลล์เส้นผมซึ่งมีชุดโครโมโซม $2n = 46$ นั้นมีทั้งโครโมโซมร่างกาย ก็คือแท่งที่ 1-44 (คู่ที่ 1-22) และโครโมโซมเพศ แท่งที่ 45-46 (คู่ที่ 23) นั่นเอง ส่วนเซลล์สืบพันธุ์ (Sex cell) ประกอบด้วย ชุดโครโมโซมเป็นแฮพลอยด์ หรือ n ย่อมมีชุดโครโมโซมเป็น $n = 23$ แสดงว่าเซลล์สืบพันธุ์จะมีโครโมโซมเพียงครึ่งหนึ่ง ประโยชน์ก็เพื่อการปฏิสนธิซึ่งเป็นการรวมตัวของเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ นั่นคือ อสุจิ และเซลล์สืบพันธุ์เพศเมีย นั่นคือ ไข่ โดยเซลล์สืบพันธุ์ทั้ง 2 เพศนี้ ล้วนมีโครโมโซมร่างกาย ก็คือแท่งที่ 1-22 และโครโมโซมเพศ แท่งที่ 23 หรือจะกล่าวได้ว่า ทุกเซลล์ของมนุษย์ย่อมมีโครโมโซมร่างกายและโครโมโซมเพศ แต่ต่างกันที่ชุดโครโมโซมนั่นเอง

5. มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง จากการทำคาริโอไทป์ (Karyotype) เป็นการศึกษารายละเอียดของโครโมโซมแต่ละแท่งในนิวเคลียสของเซลล์สิ่งมีชีวิต พบว่าเซลล์นี้ไม่อยู่ในระยะแบ่งเซลล์ (46.29%) เพราะถ้าพบว่าโครโมโซมมี 2 โครมาทิด แสดงว่าเซลล์นี้อยู่ในกระบวนการแบ่งเซลล์ (37.71%) (มโนทัศน์เรื่องลักษณะของโครโมโซมของมนุษย์)



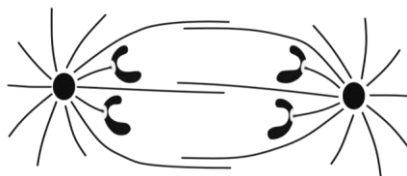
จากข้อมูลคาริโอไทป์ดังกล่าว ทำให้ทราบว่าสิ่งมีชีวิตนี้คือมนุษย์ เพราะจะเห็นว่า มีโครโมโซม เท่ากับ 46 แท่ง 23 คู่ ชุดโครโมโซมเป็น $2n = 46$ และเป็นเพศชาย เนื่องจากโครโมโซมคู่สุดท้าย (คู่ที่ 23) มีโครโมโซมเป็น XY แต่เซลล์นี้ไม่อยู่ในระยะแบ่งเซลล์ไม่ใช่คำตอบที่ถูกต้องและเป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เพราะสภาพที่เห็นเป็นเซลล์ที่เส้นใยโครมาทินหดสั้น กลายเป็นโครโมโซมแล้ว และเห็นโครโมโซมมี 2 โครมาทิด แสดงว่าผ่านระยะ S ของการแบ่งเซลล์มาแล้ว ซึ่งแขนโครมาทิดที่เกิดใหม่มีลักษณะเหมือนกับแขนเดิม เรียกว่าเป็น sister chromatid

ดังนั้นเซลล์ที่เห็นในภาพจึงเป็นเซลล์ที่กำลังแบ่งเซลล์ ส่วนเซลล์ที่ไม่ได้แบ่งเซลล์จะไม่เห็นเป็นโครโมโซม แต่จะเห็นเพียงเส้นใยโครมาทินที่อยู่ภายในนิวเคลียสเท่านั้น


6. มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง สิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งมีจำนวนโครโมโซม 12 คู่ ในการศึกษาดูเซลล์ระยะเมตาเฟสของไมโทซิส จะมีโครมาทิด 24 เส้น (75.43%) เพราะโครโมโซม 1 แท่ง จะมีโครมาทิด 2 เส้นเสมอ (53.14%) (มโนทัศน์เรื่องเหตุการณ์ที่เกิดในไมโทซิส)



โครโมโซมไม่จำเป็นต้องมีโครมาทิดคงที่เสมอไป ในบางระยะการแบ่งเซลล์โครโมโซมอาจมี 1 โครมาทิด (f) หรือในบางระยะการแบ่งเซลล์ก็อาจมี 2 โครมาทิด (X) ก็ได้ โดยในการแบ่งเซลล์เริ่มต้นด้วยระยะอินเทอร์เฟส ซึ่งในระยะนี้โครโมโซมก่อนการแบ่งเซลล์จะมีเพียง 1 โครมาทิด และจะเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ เพื่อจำลองโครมาทิดอีก 1 แท่ง ที่ระยะการสร้างดีเอ็นเอ (ระยะ S) ในระยะอินเทอร์เฟส ดังนั้นในระยะนี้โครโมโซมแต่ละแท่งจะมี 2 โครมาทิด เมื่อถึงระยะเมตาเฟสของไมโทซิส โครโมโซมจะมาอยู่ในตำแหน่งตรงกลางเซลล์ ด้วยเส้นใยสปินเดิล (Spindle fiber) ที่สร้างจากเซนทริโอล (Centriole) ดังนั้นโครโมโซมทั้ง 12 คู่ หรือ 24 แท่ง จะเห็นโครมาทิด จำนวน 48 เส้นในระยะนี้ ไม่ใช่เห็นเพียง 24 แท่ง เพราะ 1 โครโมโซมจะมี 2 โครมาทิดในระยะนี้


7. มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง การแบ่งนิวเคลียสของเซลล์ในภาพอยู่ในระยะแอนาเฟสในไมโทซิส และระยะนี้มีจำนวนโครโมโซม คือ 2 แท่ง เพราะระยะแอนาเฟส มีการฉีกโครมาทิดให้แยกออกจากกัน แต่ก็ถือว่ามีจำนวนโครโมโซมเท่าเดิม (35.43%) (มโนทัศน์เรื่องระยะ M-phase ใน ไมโทซิส)






มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในเรื่องนี้เป็นผลมาจากไม่เข้าใจในระยะต่าง ๆ ของการแบ่งเซลล์จึงไม่รู้ว่าระยะในภาพ คือ ระยะแอนาเฟส และไม่เข้าใจว่าการฉีกโครมาทิดจาก 2 โครโมโซม ในระยะแอนาเฟสนี้ ทำให้โครโมโซมเกิดขึ้นเป็น 2 เท่า หรือ 4 โครโมโซม (ระยะนี้จึงเรียกว่า $4n$ แต่เกิดไม่นานก็เข้าสู่ระยะเทโลเฟส กลายเป็น 2 เซลล์ แต่ละเซลล์มี 2 โครโมโซมเท่าเดิม เพียงแต่แต่ละโครโมโซมเหลือเพียง 1 โครมาทิด) ดังนั้นการฉีกโครโมโซมดังภาพ ถือว่ามีจำนวนโครโมโซม เป็น 4 แท่ง ไม่ใช่ 2 แท่ง แบบที่นักเรียนเข้าใจ

8. มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง เซลล์สัตว์ชนิดหนึ่งมีโครโมโซมเป็น $2n = 4$ วาดภาพเซลล์นี้ขณะแบ่งเซลล์ในขั้นเมตาเฟส I คือ  (32.57%) เพราะระยะนี้มีโครโมโซม 2 แห่งเรียงกันกลางเซลล์ (34.29%) (มโนทัศน์เรื่องระยะ M-phase ในไมโอซิส)

การที่จะวาดภาพการแบ่งเซลล์ได้ถูกต้อง นักเรียนต้องมีมโนทัศน์ เรื่อง ชุดโครโมโซมอย่างถูกต้อง โดยต้องบอกได้ว่า $2n = 4$ คือการที่เซลล์มีจำนวนโครโมโซมอยู่ 2 ชุดที่เหมือนกัน ชุดละ 2 แห่ง รวมเป็น 4 แห่ง โดยเรียกคู่ของโครโมโซมว่า โครโมโซมคู่เหมือน หรือ Homologous chromosome และนักเรียนต้องมีมโนทัศน์ในเรื่องขั้นตอนการแบ่งเซลล์ด้วย ทั้งการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส โดยเริ่มต้นจากระยะอินเตอร์เฟส ระยะโปรเฟส ระยะเมตาเฟส ระยะแอนาเฟส ระยะ เทโลเฟส และระยะการแบ่งไซโทพลาสซึม และการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส เริ่มต้นจากอินเตอร์เฟส I ไมโอซิส I อินเตอร์เฟส II และไมโอซิส II ดังนั้นจากโจทย์หากเซลล์มีการแบ่งเซลล์ระยะเมตาเฟส I นั้นหมายความว่า เป็นการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส I ในระยะเมตาเฟส I ซึ่งเป็นระยะที่เส้นใยสปินเดิล จับคู่โครโมโซมคู่เหมือน (Homologous chromosome) มาเรียงกันบริเวณกลางเซลล์ในระนาบเดียวกัน ดังภาพ  จะเห็นว่าภาพนี้มีโครโมโซมคู่เหมือน จำนวน 2 ชุด ชุดละ 2 แห่ง รวมเป็น 4 แห่ง จับคู่กันและเรียงกันบริเวณกลางเซลล์ ส่วนภาพ  เป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเนื่องจากนักเรียนไม่สามารถระบุชุดของโครโมโซมได้ถูกต้อง เพราะคิดว่า $2n = 4$ ในขั้นเมตาเฟส I ระยะนี้จะมีโครโมโซม 2 แห่ง เรียงกันกลางเซลล์ ซึ่งเป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

9. มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง เซลล์สัตว์ชนิดหนึ่งมีโครโมโซมเป็น $2n = 4$ วาดภาพเซลล์นี้ขณะแบ่งเซลล์ในขั้นเมตาเฟส I คือ  (40.00%) เพราะระยะนี้มีโครโมโซม 4 แห่งเรียงกันในระนาบเดียวกัน (21.71%) (มโนทัศน์เรื่องระยะ M-phase ในไมโอซิส)

ข้อนี้เช่นเดียวกับข้อ 6 การทำโจทย์ข้อนี้ได้ นักเรียนต้องมีมโนทัศน์ เรื่อง ชุดของโครโมโซมและขั้นตอนการแบ่งเซลล์ด้วย โดยข้อนี้ นักเรียนจะมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับขั้นตอนการแบ่งเซลล์เป็นหลัก เนื่องจากนักเรียนไม่ทราบว่า การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส I ในระยะเมตาเฟส I โครโมโซมมีการจับคู่กันของโครโมโซมคู่เหมือน จำนวน 2 ชุด ชุดละ 2 แห่ง รวมเป็น 4 แห่ง จับคู่กันและเรียงกันบริเวณกลางเซลล์ ดังภาพ  ส่วนภาพ  ซึ่งเป็นคำตอบของนักเรียนผิดเนื่องจากไม่เข้าใจการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส I ในระยะเมตาเฟส I แต่เป็นการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ในระยะเมตาเฟสนั่นเอง

- นอกจากนี้ยังพบมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในเรื่องอื่น ๆ แต่พบไม่มากนัก เช่น
- เซลล์อสุจิและเซลล์ไข่ มีการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ส่วนไซโกตซึ่งเป็นเซลล์ร่างกาย มีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส (ข้อ 5)
 - วัฏจักรเซลล์ยูคาริโอตในระยะโปรเฟส เมตาเฟส แอนาเฟส เทโลเฟส มีโครโมโซม 2 โครมาทิด เพราะระยะ M phase จะเป็นระยะที่โครโมโซมเป็น 2 โครมาทิดเสมอ (ข้อ 6)
 - เซลล์ผิวหนังเดิม (เซลล์แม่) ถ้ามีโครโมโซม 4 แท่ง จะมีชุดโครโมโซม $2n = 4$ ส่วนเซลล์ผิวหนังที่แบ่งตัวใหม่ (เซลล์ลูก) จะมีชุดโครโมโซม $n = 2$ ซึ่งมีข้อมูลทางพันธุกรรมแตกต่างกัน เพราะเซลล์ลูกที่ผ่านการแบ่งตัวจากเซลล์เดิมจะมีโครโมโซมลดลงเสมอ (ข้อ 7)
 - เส้นใยสปินเดิล (Spindle fiber) สร้างมาจากไรโบโซม เพราะเป็นออร์แกเนลล์ที่สร้างโปรตีน และนำมาสร้างเส้นใยสปินเดิล (ข้อ 8)
 - จำนวนโครโมโซมของไซโกต (zygote) ที่ได้พัฒนาขึ้นจากการปฏิสนธิ จะเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากการแบ่งเซลล์ (ข้อ 9)
 - การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส เซลล์ลูกที่ได้มีลักษณะเป็น 2 เซลล์ และมีจำนวนโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่งของเซลล์เดิม เพราะข้อมูลทางพันธุกรรมจะแบ่งออกเป็นครึ่งหนึ่งเมื่อผ่านการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส (ข้อ 10)
 - เหตุการณ์ที่พบในระยะอินเตอร์เฟสของการแบ่งแบบไมโทซิส คือ เยื่อหุ้มนิวเคลียสสลายตัว เพราะระยะนี้เป็นระยะเริ่มต้นการแบ่งเซลล์ เซลล์จึงต้องมีการสลายออร์แกเนลล์ที่ไม่เกี่ยวข้องทั้งหมด (ข้อ 12)
 - ระยะอินเตอร์เฟสจะเห็นโครโมโซมชัดเจนที่สุดจากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ เพราะระยะนี้เป็นขั้นแรกของการแบ่งเซลล์ ทำให้สังเกตโครโมโซมได้ง่าย (ข้อ 14)
 - การจำลองดีเอ็นเอในไมโอซิส เกิดในระยะอินเตอร์เฟส I และอินเตอร์เฟส II เพราะระยะอินเตอร์เฟส I และอินเตอร์เฟส II มีการจำลองดีเอ็นเอเพิ่มเป็น 2 เท่า (ข้อ 15)
 - การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสจะเกิดครอสซิงโอเวอร์ (Crossing over) ในขั้นการแบ่งไซโทพลาสซึม เพราะระยะนี้มีการแบ่งไซโทพลาสซึมเป็น 2 เซลล์ (ข้อ 16)
 - จากภาพ  คือ ระยะเมตาเฟส II ของการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส เพราะการฉีกโครโมโซมเกิดในระยะนี้ เพื่อแยกโครโมโซมคู่เหมือนให้ออกจากกัน (ข้อ 18)
 - การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและไมโอซิสจะแบ่งตัวได้เซลล์ลูก 2 เซลล์เหมือนกัน (ข้อ 21)

- เซลล์บางชนิด เช่น เซลล์ประสาท เซลล์ผิวหนัง เซลล์กระดูก เมื่อตายไปแล้ว จะไม่มีการสร้างเซลล์ใหม่ขึ้นมาทดแทน เนื่องจากมีเซลล์บางชนิดในร่างกายเท่านั้นที่จะสร้างทดแทนในกรณีที่บาดเจ็บหรือมีบาดแผล (ข้อ 22)

- การแยกคู่ Homologous Chromosome ไม่พบใน แอนาเฟส I การแยกคู่ Sister chromatid ไม่พบใน แอนาเฟส II ส่วนการสร้าง Spindle fiber และการสลายของ Nucleolus ไม่พบใน โพรเฟส I (ข้อ 23)

- กลุ่มอาการเทอร์เนอร์ มีโครโมโซม 45 แท่ง (44+XO) สาเหตุที่เกิดขึ้นน่าจะเป็นเพราะการแบ่งแบบไมโทซิสและไมโอซิสผิดปกติ เพราะการที่โครโมโซม X ขาดหายไป เกิดจากความผิดปกติของการแบ่งเซลล์ทั้งไมโทซิสและไมโอซิส (ข้อ 24)

จากผลการศึกษาในทัศนที่คลาดเคลื่อน ในวิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ด้วยแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกลำดับชั้น พบว่า นักเรียนยังมีทัศนที่คลาดเคลื่อนเรื่องการแบ่งเซลล์ในหลายมโนทัศน์ ยกตัวอย่างเช่น มโนทัศน์เรื่อง พื้นฐานของโครโมโซม ภาพรวมวัฏจักรเซลล์ การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของนักวิจัยหลาย ๆ คน เช่น Aldahmash et al (2012) ที่พบมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในเรื่องการแบ่งเซลล์ ในเรื่องข้อมูลทางพันธุกรรมและความแตกต่างของโครโมโซมในเซลล์ร่างกายและเซลล์สืบพันธุ์ Kara & Yeşilyurt (2008) พบมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องจำนวนโครโมโซม ข้อมูลพันธุกรรมหลังการแบ่งเซลล์ไมโทซิสและไมโอซิส Dikmenli (2010) พบมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องจำนวนโครโมโซมในการแบ่งเซลล์ ระยะต่าง ๆ ของกระบวนการแบ่งเซลล์ เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละระยะ รวมถึงออร์แกเนลล์ที่เกี่ยวข้องกับการแบ่งเซลล์ Arslan et al (2015) พบมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องยีน ดีเอ็นเอ ชุดโครโมโซม จำนวนโครโมโซม ระยะต่าง ๆ ของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและไมโอซิส ออร์แกเนลล์ที่เกี่ยวข้องกับการแบ่งเซลล์ และ Kilic & Saglam (2009) พบมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในเรื่องยีนและดีเอ็นเอที่กำหนดพันธุกรรมโครโมโซม

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์เป็นความรู้ ความเข้าใจ หรือความคิดที่ไม่สมบูรณ์และแตกต่างไปจากแนวความคิดที่เป็นที่ยอมรับทางวิทยาศาสตร์ วันเพ็ญ คำเทศ (2560) ซึ่งการมีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนในเรื่องใดเรื่องหนึ่งสามารถนำไปสู่การมีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนในเรื่องอื่น ๆ ได้ เพราะลำดับของการสร้างมโนทัศน์ใด ๆ ก็ตามต้องอาศัยหลายมโนทัศน์มาประกอบ (Westbrook, 1992) เนื้อหาเรื่องการแบ่งเซลล์ เป็นเรื่องหนึ่งที่สำคัญในวิชาชีววิทยา เพราะเป็นพื้นฐานความเข้าใจเนื้อหาเรื่องอื่น ๆ เช่น เซลล์สิ่งมีชีวิต พันธุศาสตร์ การสืบพันธุ์และการเจริญเติบโตของสัตว์ การสืบพันธุ์ดอกและการเจริญเติบโตของพืช เป็นต้น ถ้านักเรียนไม่มีความ

เข้าใจในเรื่องการแบ่งเซลล์ก็จะส่งผลต่อความเข้าใจในเนื้อหาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เมื่อพิจารณาเนื้อหาเรื่องการแบ่งเซลล์พบว่าเนื้อหาค่อนข้างยาก มีลักษณะเป็นนามธรรม และมีศัพท์เทคนิคเฉพาะมากมาย นักเรียนส่วนใหญ่จึงมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนจากแนวคิดของนักวิทยาศาสตร์ (Nakthong, 2007; Puengpang N., 2006; นางลักษณ ศิริชัย, 2530)

พื้นฐานของโครโมโซม เป็นมโนทัศน์แรกที่นักเรียนมักมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ดังรายงานของ Kindfield (1991) ที่ระบุว่า โครโมโซมเป็นหัวข้อที่นักเรียนมีความสับสนมากในการเรียนเรื่องการแบ่งเซลล์ นอกจากนี้ยังพบความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนอื่น ๆ เช่น ความแตกต่างระหว่างโครโมโซม โครมาทิด ฮอโมโลกัสโครโมโซม และชุดของโครโมโซม (Clark & Mathis, 2000) โดยบางครั้งนักเรียนสามารถระบุขั้นตอนการแบ่งเซลล์ได้ครบถ้วนแต่ยังคงสับสนเกี่ยวกับจำนวนโครโมโซม นักเรียนมากกว่าครึ่งที่เรียนเรื่องการแบ่งเซลล์ มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับจำนวนโครโมโซมของเซลล์เริ่มต้นและเซลล์ลูกที่ได้จากการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส (Nakthong, 2007) นักเรียนไม่สามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของโครโมโซม ระหว่างการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส และการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส และขาดความเข้าใจเกี่ยวกับบทบาทหน้าที่ของโครโมโซมในระยะเวลาต่างๆ ของการแบ่งเซลล์ (สุรจิตา เศรษฐภูภักดี, 2547) หรือนักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับจำนวนโครโมโซมในเซลล์ใหม่ที่เกิดขึ้นจากการแบ่งเซลล์ โดยอธิบายว่า จำนวนเซลล์ใหม่ที่ได้มีโครโมโซมเป็น 2 เท่าของเซลล์เดิมหรือจำนวนเซลล์ใหม่ที่ได้มีโครโมโซมลดลงเป็นครึ่งหนึ่งของเซลล์เดิม (ขวัญฤทัย เทียงจันทราทิพย์ และคณะ, 2017) ในบางครั้งนักเรียนสามารถอธิบายการแบ่งเซลล์ได้ถูกต้องว่า การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสเป็นการแบ่งเซลล์เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ในร่างกายของสิ่งมีชีวิต ส่วนการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสเป็นการแบ่งเซลล์เพื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์ แต่นักเรียนยังมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับจำนวนโครโมโซมที่เกิดจากการแบ่งเซลล์ทั้งสองแบบ (จุฬารัตน์ ธรรมประทีป, 2554)

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในขั้นตอนวัฏจักรเซลล์ เช่น การลำดับระยะต่าง ๆ ของการแบ่งเซลล์ เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละระยะของการแบ่งเซลล์ เช่น การจำลองดีเอ็นเอเกิดขึ้นในระยะ โปรเฟสจำนวนโครโมโซมจะลดลงครึ่งหนึ่ง ในระยะแอนาเฟสโครโมโซมจะมี 2 โครมาทิด (Dikmenli, 2010; Nakthong, 2007; Ozcan et al, 2012)

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส เช่น นักเรียนเข้าใจว่ามีเซลล์บางชนิดที่ไม่สามารถเพิ่มจำนวนได้ แต่ไม่สามารถยกตัวอย่างหรืออธิบายได้อย่างชัดเจน นักเรียนที่ยังไม่เข้าใจเกี่ยวกับการเพิ่มจำนวนเซลล์ (ศศิเทพ ปิติพรเทพิน และคณะ, 2554) การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสจะได้เซลล์ใหม่ที่มีจำนวนโครโมโซมสองเท่าของเซลล์เดิม และมีลักษณะทาง

พันธุกรรมที่แตกต่างจากเซลล์เดิม (ขวัญฤทัย เทียงจันทราทิพย์ และคณะ, 2017) การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส เซลล์ลูกที่ได้จากการแบ่งเซลล์ของเซลล์แม่ต้องมีขนาดเท่าเดิม เซลล์ลูกที่ได้สามารถแบ่งเซลล์ต่อได้เรื่อย ๆ ไม่มีที่สิ้นสุด มีลักษณะที่วิเศษ หรือเป็นแบบหนึ่งต่อหนึ่งโดยเพิ่มจาก 1 เป็น 2 จาก 2 เป็น 3 (ศศิเทพ ปิติพรเทพิน และคณะ, 2554)

มนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส เช่น นักเรียนอธิบายจำนวนโครโมโซมไม่ถูกต้อง นักเรียนส่วนใหญ่ไม่เข้าใจเรื่อง โครโมโซมและการจัดเรียงโครโมโซมขณะแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส (Mertens, 1992) การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสได้เซลล์ใหม่ที่มีจำนวนโครโมโซมเป็น 2 เท่าของเซลล์เดิม มีลักษณะทางพันธุกรรมที่เหมือนกับเซลล์เดิม จำนวนเซลล์ใหม่ที่ได้จากการแบ่งแบบไมโอซิสมีโครโมโซมเป็น 4 เท่าหรือ 2 เท่าของเซลล์เดิม หรือจำนวนเซลล์ใหม่ที่ได้มีโครโมโซมเท่ากับเซลล์เดิม หรือการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสเป็นการแบ่งเพื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์ จำนวนเซลล์ใหม่ที่ได้มีโครโมโซมลดลงเป็นครึ่งหนึ่งของเซลล์เดิม แต่เซลล์ใหม่ที่ได้มีลักษณะทางพันธุกรรมเหมือนกับเซลล์เดิม (ขวัญฤทัย เทียงจันทราทิพย์ และคณะ, 2017) ซึ่งในงานวิจัยหลาย ๆ ฉบับ พบว่านักเรียนไม่สามารถบอกความแตกต่างของการแบ่งเซลล์ระหว่างไมโทซิสและไมโอซิส (Puengpang N., 2006) และพบว่านักเรียนมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเรื่องการแบ่งเซลล์แบบ ไมโอซิสมากกว่าไมโทซิส (Dikmenli, 2010) ซึ่งเป็นเรื่องที่ควรวิจัยและแก้ไขอย่างเร่งด่วน

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1. การวิจัยการเรียนรู้ของนักเรียนโดยใช้แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกลีลาดีบยังไม่มีที่แพร่หลายและนักเรียนไม่คุ้นเคยกับการทำแบบทดสอบ อาจทำให้นักเรียนเกิดความสับสนในการทำแบบทดสอบ ดังนั้นครูผู้สอนจะต้องศึกษาทำความเข้าใจและอธิบายนักเรียนให้ชัดเจน โดยให้นักเรียนทดลองทำข้อตัวอย่างพร้อมกัน เพื่อตรวจสอบความเข้าใจก่อนการทำแบบทดสอบ

2. การตรวจสอบมนทัศน์ของนักเรียนก่อนการเรียนรู้ในหัวข้อที่มีเชื่อมโยงกัน ยังมีความจำเป็นและความสำคัญต่อการพัฒนามนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ครูผู้สอนสามารถแบ่งแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกลีลาดีบเป็นแบบทดสอบย่อยในแต่ละหัวข้อจะทำให้ครูและนักเรียนได้ทราบมนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในแต่ละหัวข้อ เพื่อให้นักเรียนที่มีปัญหาในหัวข้อนั้น ๆ ได้รับการแก้ไขได้ทันการและสามารถเรียนรู้ในหัวข้อถัดไปได้เป็นอย่างดี

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับขั้นเป็นแบบทดสอบที่สามารถวัดแนวคิดของนักเรียนได้ละเอียดชัดเจน สามารถวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนรวมทั้งระดับความมั่นใจในการตอบ ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงระดับของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน จึงสามารถเป็นแนวทางในการสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับขั้นในเนื้อหาวิชาอื่น ๆ หรือระดับชั้นอื่น ๆ เพื่อศึกษามโนทัศน์คลาดเคลื่อนของนักเรียนได้

2. การตรวจแบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกี่ลำดับขั้นมีความยุ่งยากและซับซ้อน หากมีการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้ในการตรวจและวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนและสามารถให้ข้อมูลย้อนกลับได้ทันที จะเป็นการประหยัดเวลาและผ่อนแรงครูผู้สอนได้เป็นอย่างดี

3. งานวิจัยนี้ได้สำรวจสาเหตุเพียงภาพรวมของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน ในอนาคตอาจมีการวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนว่าเกิดจากสาเหตุใดบ้าง เช่น เกิดจากนักเรียน ครูผู้สอน หนังสือ ตำรา หรือวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางแก้ไขมโนทัศน์คลาดเคลื่อนให้ตรงประเด็น



ภาคผนวก

- รายนามผู้เชี่ยวชาญ
- ค่าความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์การเรียนรู้กับเนื้อหา
- ค่าความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์การเรียนรู้
- แบบทดสอบสำรวจ
- แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกที่ลำดับชั้น วิชาชีววิทยา เรื่อง การแบ่งเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

รายนามผู้เชี่ยวชาญ

- | | |
|--|------------------------------------|
| 1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาคภูมิ พระประเสริฐ | คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา |
| 2. อาจารย์ ดร.วิภาพร ใจเกื้อ | คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา |
| 3. อาจารย์ ดร.เขาวนีย์ ชูพีร์ชน์ | สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล |
| 4. อาจารย์ณัฐินี มีสุข | ครู คศ.3 โรงเรียนสมุทรปราการ |
| 5. อาจารย์กานดา ชาสวัสดิ์ | ครู คศ.3 โรงเรียนสตรีสมุทรปราการ |
| 6. อาจารย์ศรีสุวรรณา เดชอุดม | ครู คศ.3 โรงเรียนบางพลีราษฎร์บำรุง |
| 7. อาจารย์วิไล แจ่มเจริญ | ครู คศ.3 โรงเรียนสมุทรปราการ |



แบบประเมินความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์การเรียนรู้กับเนื้อหา

คำชี้แจง แบบประเมินนี้เป็นแบบประเมินความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์การเรียนรู้กับเนื้อหา เรื่อง การแบ่งเซลล์ ให้ท่านพิจารณาว่าจุดประสงค์การเรียนรู้กับเนื้อหาเหล่านี้มีความสอดคล้องกันหรือไม่ ดังนี้

- ถ้าท่านแน่ใจว่าจุดประสงค์การเรียนรู้นั้นสอดคล้องกับเนื้อหานั้นจริง ให้ทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องหมายเลข +1
- ถ้าท่านไม่แน่ใจว่าจุดประสงค์การเรียนรู้นั้นสอดคล้องกับเนื้อหานั้นจริง ให้ทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องหมายเลข 0
- ถ้าท่านแน่ใจว่าจุดประสงค์การเรียนรู้นั้นไม่สอดคล้องกับเนื้อหานั้นจริง ให้ทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องหมายเลข +1

| เนื้อหา | จุดประสงค์การเรียนรู้ | คะแนนพิจารณา | | |
|---------------------------|---|--------------|---|----|
| | | +1 | 0 | -1 |
| พื้นฐานของโครโมโซม | 1. นักเรียนสามารถอธิบายพื้นฐานของโครโมโซมได้ | | | |
| ภาพรวมวัฏจักรเซลล์ | 2. นักเรียนสามารถอธิบายภาพรวมของวัฏจักรเซลล์ได้ | | | |
| การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส | 3. นักเรียนสามารถบอกและอธิบายความสำคัญ ขั้นตอนการแบ่งเซลล์ การเปลี่ยนแปลงของนิวเคลียสในการแบ่งแบบไมโทซิสได้ | | | |
| การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส | 4. นักเรียนสามารถบอกและอธิบายความสำคัญ ขั้นตอนการแบ่งเซลล์ การเปลี่ยนแปลงของนิวเคลียสในการแบ่งแบบไมโอซิสได้ | | | |
| การแบ่งไซโทพลาสซึม | 5. นักเรียนสามารถบอกและอธิบายการแบ่งไซโทพลาสซึมได้ | | | |
| สิ่งที่ได้จากการแบ่งเซลล์ | 6. นักเรียนสามารถอธิบายความแตกต่างของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและไมโอซิสได้ | | | |
| บทประยุกต์ | 7. นักเรียนสามารถประยุกต์ใช้ความรู้เรื่องการแบ่งเซลล์ได้ | | | |

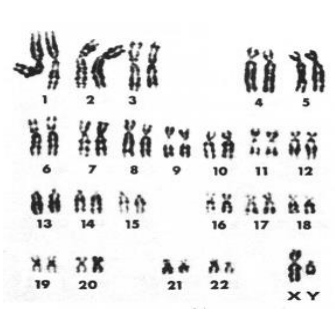
ค่าความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์การเรียนรู้กับเนื้อหา

| ข้อ | กรรมกรคนที | | | | | | | ค่า IOC | แปลผล |
|-----|------------|----|----|----|----|----|----|------------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | |
| 1 | +1 | +1 | 0 | +1 | +1 | +1 | +1 | 0.86 | ใช้ได้ |
| 2 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 0 | +1 | 0.86 | ใช้ได้ |
| 3 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 1.00 | ใช้ได้ |
| 4 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 1.00 | ใช้ได้ |
| 5 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 1.00 | ใช้ได้ |
| 6 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 1.00 | ใช้ได้ |
| 7 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 1.00 | ใช้ได้ |

แบบประเมินความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์การเรียนรู้

คำชี้แจง แบบประเมินนี้เป็นแบบประเมินความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์การเรียนรู้ เรื่อง การแบ่งเซลล์ ให้ท่านพิจารณาว่าข้อคำถามกับจุดประสงค์การเรียนรู้เหล่านี้มีความสอดคล้องกันหรือไม่ ดังนี้

- ถ้าท่านแน่ใจว่าข้อคำถามนั้นวัดได้ตรงตามจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ต้องการวัด ให้ทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องหมายเลข +1
- ถ้าท่านไม่แน่ใจว่าข้อคำถามนั้นวัดได้ตรงตามจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ต้องการวัด ให้ทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องหมายเลข 0
- ถ้าท่านแน่ใจว่าข้อคำถามนั้นวัดได้ไม่ตรงตามจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ต้องการวัด ให้ทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องหมายเลข -1

| จุดประสงค์การเรียนรู้ | ข้อคำถาม | คะแนนพิจารณา | | |
|--|--|--------------|---|----|
| | | +1 | 0 | -1 |
| 1. นักเรียนสามารถอธิบายพื้นฐานของโครโมโซมได้ <u>มโนทัศน์ที่วัด</u> - ยีนบนโครโมโซม - ชุดของโครโมโซม - ชนิดของโครโมโซม - ลักษณะของโครโมโซมมนุษย์ | 1. ยีนบนโครโมโซมที่กำหนดสีของดวงตามนุษย์พบในเซลล์ใด | | | |
| | 2. จงวาดรูปเซลล์ที่มีชุดโครโมโซม $2n = 6$ | | | |
| | 3. เซลล์เส้นผมจะมีโครโมโซมแบบใด และจำนวนชุดโครโมโซมเป็นเท่าใด | | | |
| | 4. การทำคาริโอไทป์ (Karyotype) เป็นการศึกษารายละเอียดของโครโมโซมแต่ละแท่งในนิวเคลียสของเซลล์ของสิ่งมีชีวิต สิ่งใดเป็นข้อมูลที่ได้จากการศึกษาคาริโอไทป์ด้านล่าง | | | |
| |  | | | |

| จุดประสงค์การเรียนรู้ | ข้อความคำถาม | คะแนนพิจารณา | | |
|---|--|--------------|---|----|
| | | +1 | 0 | -1 |
| <p>2. นักเรียนสามารถอธิบายภาพรวมของวัฏจักรเซลล์ได้</p> <p>มโนทัศน์ที่วัด</p> <ul style="list-style-type: none"> - ความหมายของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ไมโอซิส - ขั้นตอนในการแบ่งเซลล์ - ความเข้าใจในวัฏจักรเซลล์ - ผลที่ได้ของวัฏจักรเซลล์ - ออร์แกเนลล์ที่เกี่ยวข้องในวัฏจักรเซลล์ - จำนวนโครโมโซมหลังการแบ่งเซลล์ | <p>5. จากแผนภาพด้านล่าง หมายเลข 1 และ 2 คือการแบ่งเซลล์แบบใด</p> | | | |
| | <p>6. ลำดับขั้นตอนในวัฏจักรเซลล์ควรเป็นอย่างไร</p> | | | |
| | <p>7. จากแผนภาพวัฏจักรเซลล์ยูคาริโอต ในระยะใดบ้าง ที่โครโมโซมมี 2 โครมาทิด</p> | | | |

| จุดประสงค์การเรียนรู้ | ข้อความคำถาม | คะแนนพิจารณา | | | |
|--|--|---|---|----|--|
| | | +1 | 0 | -1 | |
| | 8. เซลล์ผิวหนังเดิมและเซลล์ผิวหนังที่แบ่งตัวใหม่ มีข้อมูลทางพันธุกรรมแตกต่างกันหรือไม่ และถ้ามีโครโมโซม 4 แท่ง เซลล์ลูกจะเป็นแบบใด | | | | |
| | 9. เส้นใยสปินเดิล (Spindle fiber) สร้างมาจากอะไร | | | | |
| | 10. จำนวนโครโมโซมของไซโกต (zygote) ที่ได้พัฒนาขึ้นจากการปฏิสนธิของเซลล์ไข่ที่มีโครโมโซม 3 แท่ง คือ | | | | |
| 3. นักเรียนสามารถบอกและอธิบายความสำคัญ ขั้นตอนการแบ่งเซลล์ การเปลี่ยนแปลงของนิวเคลียสในการแบ่งแบบไมโทซิสได้ <u>มโนทัศน์ที่วัด</u> - ลักษณะของเซลล์ที่ได้จากการแบ่งไมโทซิส - เหตุการณ์ที่เกิดในการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส - ระยะเวลาอินเตอร์เฟส - ระยะเวลา M-phase - ระยะเวลา M-phase | 11. การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส เซลล์ใหม่ที่ได้มีลักษณะเป็นอย่างไร | | | | |
| | 12. สิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งมีจำนวนโครโมโซม 12 คู่ ในการศึกษาดูเซลล์ระยะเมตาเฟสของไมโทซิส จะมีโครมาทิดกี่เส้น | | | | |
| | 13. ข้อใดเป็นเหตุการณ์ที่พบในระยะอินเตอร์เฟสของการแบ่งแบบไมโทซิส | | | | |
| | 14. การแบ่งนิวเคลียสของเซลล์ในภาพอยู่ในระยะใด และระยะนี้มีจำนวนโครโมโซมเท่าใด |  | | | |
| | 15. ระยะใดของการแบ่งเซลล์ที่เห็นโครโมโซมชัดเจนที่สุดจากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ | | | | |

| จุดประสงค์การเรียนรู้ | ข้อความคำถาม | คะแนนพิจารณา | | |
|---|--|---|---|----|
| | | +1 | 0 | -1 |
| <p>4. นักเรียนสามารถบอกและอธิบายความสำคัญ ขั้นตอนการแบ่งเซลล์ การเปลี่ยนแปลงของนิวเคลียสในการแบ่งแบบไมโอซิสได้</p> <p><u>มโนทัศน์ที่วัด</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - ระยะเวลาอินเตอร์เฟส - ระยะเวลา M-phase - เหตุการณ์ที่เกิดในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส - จำนวนโครโมโซมและขนาดของเซลล์ในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส | 16. การจำลองดีเอ็นเอในไมโอซิส เกิดในระยะใด | | | |
| | 17. Crossing over เกิดในขั้นตอนใดของการแบ่งเซลล์ | | | |
| | 18. เซลล์สัตว์ชนิดหนึ่งมีโครโมโซมเป็น $2n = 4$ จงวาดภาพเซลล์นี้ขณะแบ่งเซลล์ในขั้นเมตาเฟส I | | | |
| | 19. เซลล์ X เป็นผลของไมโอซิส I เมื่อเซลล์ X แบ่งไมโอซิส II เซลล์ที่ได้จะมีลักษณะอย่างไร จำนวนโครโมโซมของแต่ละเซลล์ คือ _____ และขนาดของเซลล์ คือ _____ | | | |
| | 20. จากภาพ คือระยะใดของการแบ่งเซลล์ |  | | |
| 21. พืชไม่มีการคอดกิวของเซลล์ (Cleavage furrow) ในขั้นตอนการแบ่งไซโทพลาสซึม เพราะอะไร | | | | |
| <p>5. นักเรียนสามารถบอกและอธิบายการแบ่งไซโทพลาสซึมได้</p> <p><u>มโนทัศน์ที่วัด</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - การแบ่งไซโทพลาสซึมในเซลล์สิ่งมีชีวิต - ผลที่ได้ของการแบ่งไซโทพลาสซึม | 22. ในกระบวนการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ถ้าไม่มีการแบ่งไซโทพลาสซึม ผลจะเป็นอย่างไร | | | |

| จุดประสงค์การเรียนรู้ | ข้อความคำถาม | คะแนนพิจารณา | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|------------------|------------------|---------|---------|----|---------------|---------|---------|----|-----------------|------------------|------------------|----|-----------------------|-------|----|----|----------------------------------|-------|----|--|--|--|
| | | +1 | 0 | -1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - ออร์แกเนลล์ที่ใช้ในการแบ่งไซโทพลาสซึม | 23. ออร์แกเนลล์ใดที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการแบ่งไซโทพลาสซึมในเซลล์สัตว์และเซลล์พืช | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6. นักเรียนสามารถอธิบายความแตกต่างของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและไมโอซิสได้ | 24. เซลล์ร่างกายชนิดหนึ่งใช้เวลาในการแบ่ง 1 รอบ ประมาณ 15 นาที ถ้าเริ่มต้นมีเซลล์จำนวน 100 เซลล์ เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง จะมีเซลล์ที่เกิดขึ้นจำนวนเท่าใด | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| มโนทัศน์ที่วัด | 25. ข้อเปรียบเทียบของการแบ่งเซลล์ไมโทซิสและไมโอซิสข้อใดไม่ถูกต้อง | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - จำนวนเซลล์ที่ได้หลังการแบ่งเซลล์ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - ความแตกต่างของไมโทซิสและไมโอซิส | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - การตายของเซลล์ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>ข้อเปรียบเทียบ</th> <th>ไมโทซิส</th> <th>ไมโอซิส</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ก.</td> <td>จำนวนเซลล์ลูก</td> <td>2 เซลล์</td> <td>2 เซลล์</td> </tr> <tr> <td>ข.</td> <td>ขนาดของเซลล์ลูก</td> <td>เล็กกว่าเซลล์แม่</td> <td>เล็กกว่าเซลล์แม่</td> </tr> <tr> <td>ค.</td> <td>การเกิดครอสซิงโอเวอร์</td> <td>ไม่มี</td> <td>มี</td> </tr> <tr> <td>ง.</td> <td>การแยกโครโมโซมคู่เหมือนออกจากกัน</td> <td>ไม่มี</td> <td>มี</td> </tr> </tbody> </table> | | ข้อเปรียบเทียบ | ไมโทซิส | ไมโอซิส | ก. | จำนวนเซลล์ลูก | 2 เซลล์ | 2 เซลล์ | ข. | ขนาดของเซลล์ลูก | เล็กกว่าเซลล์แม่ | เล็กกว่าเซลล์แม่ | ค. | การเกิดครอสซิงโอเวอร์ | ไม่มี | มี | ง. | การแยกโครโมโซมคู่เหมือนออกจากกัน | ไม่มี | มี | | | |
| | ข้อเปรียบเทียบ | ไมโทซิส | ไมโอซิส | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ก. | จำนวนเซลล์ลูก | 2 เซลล์ | 2 เซลล์ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ข. | ขนาดของเซลล์ลูก | เล็กกว่าเซลล์แม่ | เล็กกว่าเซลล์แม่ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ค. | การเกิดครอสซิงโอเวอร์ | ไม่มี | มี | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ง. | การแยกโครโมโซมคู่เหมือนออกจากกัน | ไม่มี | มี | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 26. เซลล์ใดเมื่อตายไปแล้ว จะไม่มีการสร้างเซลล์ใหม่ขึ้นมาทดแทน | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7. นักเรียนสามารถประยุกต์ใช้ความรู้เรื่องการแบ่งเซลล์ได้ | 27. เหตุการณ์ต่อไปนี้ พบในขั้นตอนใดของการแบ่งเซลล์ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| มโนทัศน์ที่วัด | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - ความคิดรวบยอดของการแบ่งเซลล์ | ก. การแยกคู่ Homologous Chromosome ข. การเกิด Crossing over ค. การสร้าง Spindle fiber ง. การแยกคู่ Sister chromatid | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| จุดประสงค์การเรียนรู้ | ข้อความคำถาม | คะแนนพิจารณา | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|--------------|------------|----|----|-----------|------------|----|-----------|------------|----|-----------|---------|----|------------|---------|--|---|---|--|--------|--------|--|----------|----------|--|-----------|-----------|--|--|--|
| | | +1 | 0 | -1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - โรคมะเร็งกับวัณจักรเซลล์ - ความผิดปกติของการแบ่งเซลล์ | <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ก.</td> <td>แอนาเฟส I</td> <td>แอนาเฟส II</td> </tr> <tr> <td>ข.</td> <td>แอนาเฟส I</td> <td>แอนาเฟส II</td> </tr> <tr> <td>ค.</td> <td>แอนาเฟส I</td> <td>แอนาเฟส</td> </tr> <tr> <td>ง.</td> <td>แอนาเฟส II</td> <td>แอนาเฟส</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td></td> <td>โปรเฟส</td> <td>โปรเฟส</td> </tr> <tr> <td></td> <td>โปรเฟส I</td> <td>โปรเฟส I</td> </tr> <tr> <td></td> <td>โปรเฟส II</td> <td>โปรเฟส II</td> </tr> </tbody> </table> | | 1 | 2 | ก. | แอนาเฟส I | แอนาเฟส II | ข. | แอนาเฟส I | แอนาเฟส II | ค. | แอนาเฟส I | แอนาเฟส | ง. | แอนาเฟส II | แอนาเฟส | | 3 | 4 | | โปรเฟส | โปรเฟส | | โปรเฟส I | โปรเฟส I | | โปรเฟส II | โปรเฟส II | | | |
| | | 1 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ก. | แอนาเฟส I | แอนาเฟส II | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ข. | แอนาเฟส I | แอนาเฟส II | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ค. | แอนาเฟส I | แอนาเฟส | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ง. | แอนาเฟส II | แอนาเฟส | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 3 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | โปรเฟส | โปรเฟส | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | โปรเฟส I | โปรเฟส I | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | โปรเฟส II | โปรเฟส II | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 28. จงอธิบายว่ามะเร็งเกี่ยวข้องกับวัณจักรเซลล์อย่างไร | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 29. กลุ่มอาการเทอร์เนอร์ มีโครโมโซม 45 แท่ง (44+XO) สาเหตุที่เกิดขึ้นน่าจะเป็นเพราะอะไร | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

ความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์การเรียนรู้

| ข้อ | กรรมกรคนที | | | | | | | ค่า IOC | แปลผล |
|-----|------------|----|----|----|----|----|----|---------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | |
| 1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 1.00 | ใช้ได้ |
| 2 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 1.00 | ใช้ได้ |
| 3 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 1.00 | ใช้ได้ |
| 4 | +1 | +1 | 0 | +1 | 0 | +1 | +1 | 0.71 | ใช้ได้ |
| 5 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 1.00 | ใช้ได้ |
| 6 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 1.00 | ใช้ได้ |
| 7 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 1.00 | ใช้ได้ |
| 8 | 0 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 0.86 | ใช้ได้ |
| 9 | +1 | +1 | 0 | +1 | +1 | +1 | +1 | 0.86 | ใช้ได้ |
| 10 | 0 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 0.86 | ใช้ได้ |
| 11 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 1.00 | ใช้ได้ |
| 12 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 1.00 | ใช้ได้ |
| 13 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 1.00 | ใช้ได้ |
| 14 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 1.00 | ใช้ได้ |
| 15 | +1 | +1 | 0 | +1 | +1 | +1 | +1 | 0.86 | ใช้ได้ |
| 16 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 1.00 | ใช้ได้ |
| 17 | +1 | +1 | 0 | +1 | +1 | +1 | +1 | 0.86 | ใช้ได้ |
| 18 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 1.00 | ใช้ได้ |
| 19 | +1 | +1 | 0 | +1 | +1 | 0 | +1 | 0.71 | ใช้ได้ |
| 20 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 1.00 | ใช้ได้ |
| 21 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 1.00 | ใช้ได้ |
| 22 | +1 | +1 | 0 | +1 | +1 | +1 | +1 | 0.86 | ใช้ได้ |
| 23 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 1.00 | ใช้ได้ |
| 24 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 1.00 | ใช้ได้ |
| 25 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 1.00 | ใช้ได้ |
| 26 | +1 | +1 | +1 | +1 | 0 | +1 | +1 | 0.86 | ใช้ได้ |
| 27 | 0 | +1 | 0 | +1 | +1 | +1 | +1 | 0.71 | ใช้ได้ |
| 28 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 1.00 | ใช้ได้ |
| 29 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 1.00 | ใช้ได้ |

แบบทดสอบสำรวจ

เรื่อง การแบ่งเซลล์ (Cell Division) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

วิชา ชีววิทยา จำนวน 29 ข้อ เวลา 60 นาที

คำชี้แจง ให้นักเรียนเติมคำตอบ พร้อมระบุเหตุผลลงในช่องว่าง

ตัวอย่างการตอบ

00. ตำแหน่งใดในเซลล์ที่เกี่ยวข้องกับโครโมโซมมากที่สุด

ตอบ นิวเคลียส

เหตุผลของคำตอบ

นิวเคลียสมีโครโมโซมบรรจุอยู่ภายในเซลล์

1. ยีนบนโครโมโซมที่กำหนดสีของดวงตามนุษย์พบในเซลล์ใด

คำตอบ _____

เหตุผลของคำตอบ _____

2. จงวาดรูปเซลล์ที่มีชุดโครโมโซม $2n = 6$

คำตอบ _____

เหตุผลของคำตอบ _____

3. เซลล์เส้นผมจะมีโครโมโซมแบบใด และมีจำนวนชุดโครโมโซมเป็นเท่าใด

คำตอบ _____

เหตุผลของคำตอบ _____

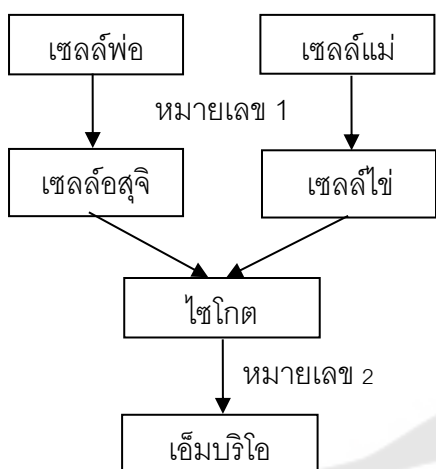
4. การทำคาริโอไทป์ (Karyotype) เป็นการศึกษารายละเอียดของโครโมโซมแต่ละแท่งในนิวเคลียสของเซลล์สิ่งมีชีวิต สิ่งใดเป็นข้อมูลที่ได้จากการศึกษาคาริโอไทป์ดังกล่าว



คำตอบ _____

เหตุผลของคำตอบ _____

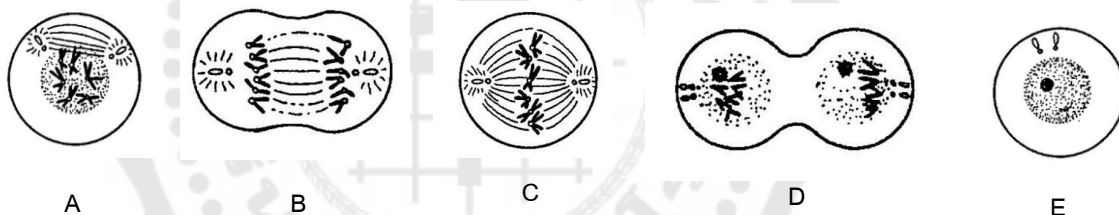
5. จากแผนภาพด้านล่าง หมายเลข 1 และ 2 คือการแบ่งเซลล์แบบใด



คำตอบ _____

เหตุผลของคำตอบ _____

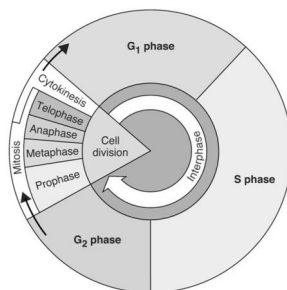
6. ลำดับขั้นตอนในวัฏจักรเซลล์ควรเป็นอย่างไร



คำตอบ _____

เหตุผลของคำตอบ _____

7. จากแผนภาพวัฏจักรเซลล์ยูคาริโอตในระยะใดบ้าง ที่โครโมโซมมี 2 โครมาทิด



คำตอบ _____

เหตุผลของคำตอบ _____

8. เซลล์ผิวหนังเดิมและเซลล์ผิวหนังที่แบ่งตัวใหม่มีข้อมูลทางพันธุกรรมแตกต่างกันหรือไม่ และถ้ามีโครโมโซม 4 แท่ง เซลล์ลูกจะเป็นแบบใด

คำตอบ _____

เหตุผลของคำตอบ _____

9. เส้นใยสปินเดิล (Spindle fiber) สร้างมาจากอะไร

คำตอบ _____

เหตุผลของคำตอบ _____

10. จำนวนโครโมโซมของไซโกต (zygote) ที่ได้พัฒนาขึ้นจากการปฏิสนธิของเซลล์ไข่ที่มีโครโมโซม 3 แท่ง คือ

คำตอบ _____

เหตุผลของคำตอบ _____

11. การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส เซลล์ใหม่ที่ได้มีลักษณะเป็นอย่างไร

คำตอบ _____

เหตุผลของคำตอบ _____

12. สิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งมีจำนวนโครโมโซม 12 คู่ ในการศึกษาดูเซลล์ระยะเมตาเฟสของไมโทซิส จะมีโครมาทิดกี่เส้น

คำตอบ _____

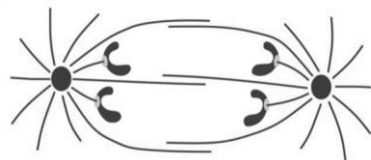
เหตุผลของคำตอบ _____

13. ข้อใดเป็นเหตุการณ์ที่พบในระยะอินเตอร์เฟสของการแบ่งแบบไมโทซิส

คำตอบ _____

เหตุผลของคำตอบ _____

14. การแบ่งนิวเคลียสของเซลล์ในภาพอยู่ในระยะใด ในไมโทซิส และระยะนี้มีจำนวนโครโมโซมเท่าใด



คำตอบ _____

เหตุผลของคำตอบ _____

15. ระยะใดของการแบ่งเซลล์ที่เห็นโครโมโซมชัดเจนที่สุดจากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์

คำตอบ _____

เหตุผลของคำตอบ _____

16. การจำลองดีเอ็นเอในไมโอซิส เกิดในระยะใด

คำตอบ _____

เหตุผลของคำตอบ _____

17. Crossing over เกิดในขั้นตอนใดของการแบ่งเซลล์

คำตอบ _____

เหตุผลของคำตอบ _____

18. เซลล์สัตว์ชนิดหนึ่งมีโครโมโซมเป็น $2n = 4$ จงวาดภาพเซลล์นี้ขณะแบ่งเซลล์ในชั้นเมตาเฟส I

คำตอบ _____

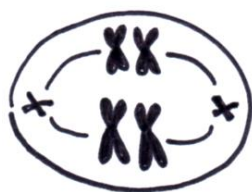
เหตุผลของคำตอบ _____

19. เซลล์ X เป็นผลของไมโอซิส I เมื่อเซลล์ X แบ่งไมโอซิส II เซลล์ที่ได้จะมีลักษณะอย่างไร
จำนวนโครโมโซมของแต่ละเซลล์ คือ _____ และขนาดของเซลล์ คือ _____

คำตอบ _____

เหตุผลของคำตอบ _____

20. จากภาพ คือระยะใดของการแบ่งเซลล์



คำตอบ _____

เหตุผลของคำตอบ _____

21. พืชไม่มีการคอดกิวของเซลล์ (Cleavage furrow) ในขั้นตอนการแบ่งไซโทพลาสซึม เพราะอะไร

คำตอบ _____

เหตุผลของคำตอบ _____

22. ในกระบวนการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ถ้าไม่มีการแบ่งไซโทพลาสซึม ผลจะเป็นอย่างไร

คำตอบ _____

เหตุผลของคำตอบ _____

23. ออร์แกเนลล์ใดที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการแบ่งไซโทพลาสซึมในเซลล์สัตว์และเซลล์พืช

คำตอบ _____

เหตุผลของคำตอบ _____

24. เซลล์ร่างกายชนิดหนึ่งใช้เวลาในการแบ่ง 1 รอบ ประมาณ 15 นาที ถ้าเริ่มต้นมีเซลล์จำนวน 100 เซลล์ เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง จะมีเซลล์ที่เกิดขึ้นจำนวนเท่าใด

คำตอบ _____

เหตุผลของคำตอบ _____

25. ข้อเปรียบเทียบของการแบ่งเซลล์ไมโทซิสและไมโอซิสข้อใดไม่ถูกต้อง

| | ข้อเปรียบเทียบ | ไมโทซิส | ไมโอซิส |
|----|----------------------------------|------------------|------------------|
| ก. | จำนวนเซลล์ลูก | 2 เซลล์ | 2 เซลล์ |
| ข. | ขนาดของเซลล์ลูก | เล็กกว่าเซลล์แม่ | เล็กกว่าเซลล์แม่ |
| ค. | การเกิดครอสซิงโอเวอร์ | ไม่มี | มี |
| ง. | การแยกโครโมโซมคู่เหมือนออกจากกัน | ไม่มี | มี |

คำตอบ _____

เหตุผลของคำตอบ _____

26. เซลล์ใดเมื่อตายไปแล้ว จะไม่มีการสร้างเซลล์ใหม่ขึ้นมาทดแทน

คำตอบ _____

เหตุผลของคำตอบ _____

27. เหตุการณ์ต่อไปนี้ พบในขั้นตอนใดของการแบ่งเซลล์

1. การแยกคู่ Homologous Chromosome
2. การแยกคู่ Sister chromatid
3. การสร้าง Spindle fiber
4. การสลายของ Nucleolus

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|------------|------------|-----------|-----------|
| ก. | แอนาเฟส I | แอนาเฟส II | โปรเฟส | โปรเฟส |
| ข. | แอนาเฟส I | แอนาเฟส II | โปรเฟส I | โปรเฟส I |
| ค. | แอนาเฟส I | แอนาเฟส | โปรเฟส II | โปรเฟส II |
| ง. | แอนาเฟส II | แอนาเฟส | โปรเฟส II | โปรเฟส I |

คำตอบ _____

เหตุผลของคำตอบ _____

28. จงอธิบายว่ามะเร็งเกี่ยวข้องกับวัฏจักรเซลล์อย่างไร

คำตอบ _____

เหตุผลของคำตอบ _____

29. กลุ่มอาการเทอร์เนอร์ มีโครโมโซม 45 แท่ง (44+XO) สาเหตุที่เกิดขึ้นน่าจะเป็นเพราะอะไร

คำตอบ _____

เหตุผลของคำตอบ _____



เลขที่

แบบทดสอบวินิจฉัยหลายตัวเลือกสี่ลำดับชั้น (Four-tier diagnostic test)

แบบทดสอบ เรื่อง การแบ่งเซลล์ (Cell Division) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

วิชา ชีววิทยา จำนวน 24 ข้อ เวลา 50 นาที

คำชี้แจง แบบทดสอบนี้ทำเพื่อวินิจฉัยในทัศนที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน ไม่มีผลต่อคะแนนที่ใช้ในการตัดเกรด ให้ตั้งใจทำด้วยตนเอง แบ่งเป็น 7 ตอน จำนวน 24 ข้อ

1. พื้นฐานของโครโมโซม
2. ภาพรวมวัฏจักรเซลล์
3. การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส
4. การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส
5. การแบ่งไซโทพลาสซึม
6. หลังจากการแบ่งเซลล์
7. บทประยุกต์

โดยในแต่ละข้อ นักเรียนต้องตอบคำตอบ 4 ตำแหน่ง

คือ ชั้นคำตอบ ชั้นความมั่นใจส่วนคำตอบ ชั้นเหตุผล ชั้นความมั่นใจส่วนเหตุผล

โดยค่าความมั่นใจ มี 4 ระดับ คือ

1 = คาดเดา 2 = ไม่มั่นใจ 3 = มั่นใจ 4 = มั่นใจมาก

ตัวอย่าง

00. เซลล์ชนิดใดต่อไปนี้มีพันธุกรรมต่างกันทุกเซลล์



ความมั่นใจ ส่วนคำตอบ

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|

คาดเดา → มั่นใจมาก

ความมั่นใจ ส่วนเหตุผล

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|

เหตุผล

1. เซลล์บางชนิดมีพันธุกรรมต่างกัน เพราะเกิดจากการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส
2. เซลล์บางชนิดมีพันธุกรรมต่างกัน เพราะเกิดจากการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส
3. เซลล์ร่างกายมีพันธุกรรมที่ต่างกัน เนื่องจากเป็นเซลล์ดิพลอยด์ (2n)
4. เซลล์สืบพันธุ์มีพันธุกรรมต่างกัน สามารถแบ่งเซลล์ได้ตลอดชีวิต

ตัวอย่างการกากบาทลงกระดาษคำตอบ

| | | | | | | | | |
|--------|--------------|---|---|--------------|-----------------------|---|--------------|--------------|
| ข้อ 00 | ชั้นคำตอบ | | | | ความมั่นใจ ส่วนคำตอบ | | | |
| | ก | ข | ค | ง | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | ชั้นเหตุผล | | | | ความมั่นใจ ส่วนเหตุผล | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |

1. ยืนยันโครโมโซมที่กำหนดสีของดวงตามนุษย์พบได้ในเซลล์ใด

- ก. เซลล์กระจกตา
- ข. เซลล์อสุจิ
- ค. เซลล์สมอง
- ง. พบได้ทุกเซลล์

| | | | |
|-----------------------|---|---|-----------|
| ความมั่นใจ ส่วนคำตอบ | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| คาดเดา | | → | มั่นใจมาก |
| ความมั่นใจ ส่วนเหตุผล | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |

เหตุผล

1. กระจกตาเป็นบริเวณที่มีผลต่อสีของดวงตา
2. โครโมโซม X และ Y ในเซลล์อสุจิมียืนอยู่ทั้งหมด
3. สมองเป็นศูนย์กลางควบคุมการทำงานทั้งหมด
4. ยีนที่กำหนดลักษณะพันธุกรรมพบได้ในทุกเซลล์

2. จงวาดรูปเซลล์ที่มีชุดโครโมโซม $2n = 6$

- ก.
- ข.
- ค.
- ง.

| | | | |
|-----------------------|---|---|-----------|
| ความมั่นใจ ส่วนคำตอบ | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| คาดเดา | | → | มั่นใจมาก |
| ความมั่นใจ ส่วนเหตุผล | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |

เหตุผล

1. ชุดโครโมโซมในโพลี คือ 2 ดังนั้น จำนวนโครโมโซมทั้งหมด คือ $6 \times 2 = 12$
2. ดิพลอยด์ คือ เซลล์ที่ประกอบด้วยโครโมโซม 2 ชุด ($2n$) โดยที่โครโมโซมจะอยู่กันเป็นคู่ ๆ
3. n แสดงถึง จำนวนชุดโครโมโซมที่เหมือนกัน ดังนั้น $2n = 6$ แสดงว่า มีโครโมโซม 3 ชุดที่เหมือนกัน
4. $2n = 6$ แสดงว่า เซลล์นั้นมีโครโมโซม 3 แท่ง แต่ละแท่งมี 2 โครมาทิด รวมเป็น 6 โครมาทิด

3. เซลล์เส้นผมจะมีโครโมโซมแบบใด และมีจำนวนชุดโครโมโซมเป็นเท่าใด

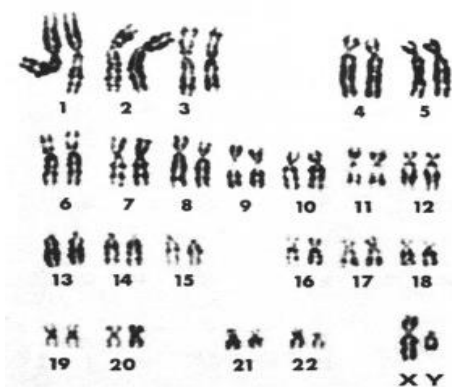
- ก. โครโมโซมร่างกายเท่านั้น ชุดโครโมโซม $2n = 46$
 ข. โครโมโซมเพศเท่านั้น ชุดโครโมโซม $n = 23$
 ค. โครโมโซมร่างกายและโครโมโซมเพศ ชุดโครโมโซม $2n = 46$
 ง. โครโมโซมร่างกายและโครโมโซมเพศ ชุดโครโมโซม $n = 23$

| | | | |
|-----------------------|---|---|-----------|
| ความมั่นใจ ส่วนคำตอบ | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| คาดเดา | | → | มั่นใจมาก |
| ความมั่นใจ ส่วนเหตุผล | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |

เหตุผล

- เซลล์ร่างกายมีเพียงโครโมโซมร่างกายเท่านั้น ชุดโครโมโซมเป็นดิพลอยด์ หรือ $2n$
- เซลล์ร่างกายมีโครโมโซมเพศ เพราะโครโมโซม X และ Y เก็บลักษณะพันธุกรรมสิ่งมีชีวิตไว้ทั้งหมด
- เซลล์ร่างกายมีโครโมโซมทั้ง 2 แบบ ชุดโครโมโซมเป็นแฮพลอยด์ หรือ n
- เซลล์ร่างกายมีโครโมโซมทั้ง 2 แบบ และสามารถสร้างเซลล์ที่เหมือนกัน โดยมีชุดโครโมโซมเท่าเดิม

4. การทำคาริโอไทป์ (Karyotype) เป็นการศึกษารายละเอียดของโครโมโซม แต่ละแท่งในนิวเคลียสของเซลล์สิ่งมีชีวิต ข้อใดไม่เป็นข้อมูลที่ได้จากการศึกษาคาริโอไทป์ด้านล่าง



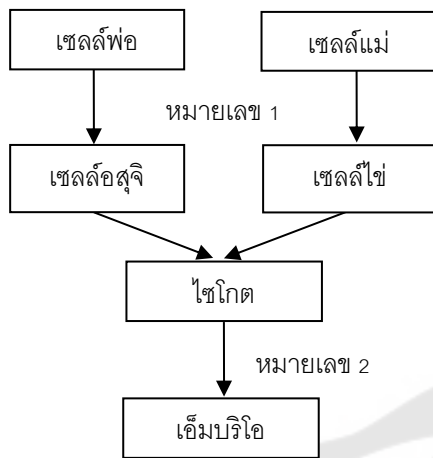
- ก. สิ่งมีชีวิตนี้คือมนุษย์
 ข. เซลล์นี้ไม่ได้อยู่ในระยะแบ่งเซลล์
 ค. ชุดโครโมโซมเป็น $2n$
 ง. เป็นเพศชาย

| | | | |
|-----------------------|---|---|-----------|
| ความมั่นใจ ส่วนคำตอบ | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| คาดเดา | | → | มั่นใจมาก |
| ความมั่นใจ ส่วนเหตุผล | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |

เหตุผล

- มีสิ่งมีชีวิตหลายชนิดที่โครโมโซม 46 แท่ง จึงไม่น่าจะเป็นโครโมโซมของมนุษย์อย่างเดียว
- โครโมโซมมี 2 โครมาทิด แสดงว่าเซลล์นี้อยู่ในกระบวนการแบ่งเซลล์
- ลักษณะชุดโครโมโซมเป็น $23n$ หรือมีโครโมโซมคู่เหมือน 23 คู่
- มนุษย์เพศชายมีโครโมโซมเพศ เป็น XY

5. จากแผนภาพด้านล่าง หมายเลข 1 และ 2 คือการแบ่งเซลล์แบบใด



ความมั่นใจ ส่วนคำตอบ

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|

คาดเดา → มั่นใจมาก

ความมั่นใจ ส่วนเหตุผล

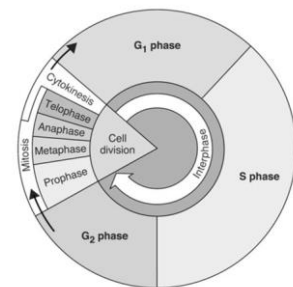
| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|

- ก. หมายเลข 1 และหมายเลข 2 คือ ไมโทซิส
- ข. หมายเลข 1 และหมายเลข 2 คือ ไมโอซิส
- ค. หมายเลข 1 คือ ไมโทซิส หมายเลข 2 คือ ไมโอซิส
- ง. หมายเลข 1 คือ ไมโอซิส หมายเลข 2 คือ ไมโทซิส

เหตุผล

- 1. เซลล์ร่างกายมีการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ส่วนเซลล์สืบพันธุ์มีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส
- 2. เซลล์ร่างกายมีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส ส่วนเซลล์สืบพันธุ์มีการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส
- 3. เซลล์ทุกชนิดมีการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ทำให้ทุกเซลล์มีลักษณะพันธุกรรมเหมือนกัน
- 4. การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสพบได้ในสัตว์และสิ่งมีชีวิตชั้นสูง

6. จากแผนภาพวัฏจักรเซลล์ยูคาริโอตในระยะใดบ้าง ที่โครโมโซมมี 2 โครมาทิด



- ก. ระยะ G_1 S G_2
- ข. ระยะ S G_2 โปรเฟส เมตาเฟส
- ค. ระยะโปรเฟส เมตาเฟส
แอนาเฟส เทโลเฟส
- ง. ระยะการแบ่งไซโทพลาสซึม

ความมั่นใจ ส่วนคำตอบ

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|

คาดเดา → มั่นใจมาก

ความมั่นใจ ส่วนเหตุผล

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|

เหตุผล

- 1. ระยะเริ่มต้นการแบ่งเซลล์ โครโมโซมจึงมี 2 โครมาทิด เพื่อพร้อมจะแบ่งให้เซลล์ลูก
- 2. ระยะนี้โครโมโซมยังมี 2 โครมาทิดอยู่ เพราะยังไม่มี การดึงโครโมโซมให้แยกจากกัน
- 3. ระยะ M phase จะเป็นระยะที่โครโมโซมเป็น 2 โครมาทิดเสมอ
- 4. การแบ่งไซโทพลาสซึม ทำให้โครโมโซมมี 2 โครมาทิด

7. เซลล์ผิวหนังเดิมและเซลล์ผิวหนังที่แบ่งตัวใหม่ มีข้อมูลทางพันธุกรรมแตกต่างกันหรือไม่ และถ้ามีโครโมโซม 4 แท่ง เซลล์ลูกจะเป็นแบบใด

ก. เหมือนกัน เซลล์แม่ $2n = 4$ เซลล์ลูก $2n = 4$

ข. เหมือนกัน เซลล์แม่ $n = 4$ เซลล์ลูก $n = 4$

ค. ต่างกัน เซลล์แม่ $2n = 4$ เซลล์ลูก $2n = 2$

ง. ต่างกัน เซลล์แม่ $2n = 4$ เซลล์ลูก $n = 2$

ความมั่นใจ ส่วนคำตอบ

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|

คาดเดา \longrightarrow มั่นใจมาก

ความมั่นใจ ส่วนเหตุผล

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|

เหตุผล

1. เซลล์ลูกมีสารพันธุกรรมร่วมกัน ซึ่งจะเพิ่มปริมาณเป็นสองเท่าก่อนการแบ่งเซลล์
2. เซลล์ลูกของเซลล์ทุกชนิดจะแบ่งเซลล์เดิมออกเท่าๆ กัน ในระหว่างการแบ่งเซลล์
3. ข้อมูลทางพันธุกรรมของเซลล์ทุกชนิดจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง
4. เซลล์ลูกที่ผ่านการแบ่งตัวจากเซลล์เดิม จะมีโครโมโซมลดลงเสมอ

8. เส้นใยสปินเดิล (Spindle fiber) สร้างมาจากอะไร

ก. ไรโบโซม

ข. นิวเคลียส

ค. เซนทริโอล

ง. เซนโทรเมียร์

ความมั่นใจ ส่วนคำตอบ

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|

คาดเดา \longrightarrow มั่นใจมาก

ความมั่นใจ ส่วนเหตุผล

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|

เหตุผล

1. เพราะเป็นออร์แกเนลล์ที่ช่วยในการเคลื่อนที่ของโครโมโซมขณะที่มีการแบ่งเซลล์
2. เป็นตำแหน่งรอยคอดตรงกลางโครโมโซม เหมาะสำหรับจับโครโมโซม
3. เพราะเป็นออร์แกเนลล์ที่สร้างโปรตีน และนำมาสร้างเส้นใยสปินเดิล
4. เป็นศูนย์กลางการทำงานของเซลล์จึงควบคุมการทำงานทุกอย่างในเซลล์

9. จำนวนโครโมโซมของไซโกต (zygote) ที่ได้พัฒนาขึ้นจากการปฏิสนธิของเซลล์ไข่ที่มีโครโมโซม 3 แท่ง คือ

- ก. 3 แท่ง
- ข. 6 แท่ง
- ค. 9 แท่ง
- ง. 12 แท่ง

เหตุผล

1. เซลล์สืบพันธุ์ที่มีจำนวนโครโมโซมเท่ากันจะจับคู่กันระหว่างการปฏิสนธิ
2. เซลล์ที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันจะมีจำนวนโครโมโซมเท่ากับเซลล์พ่อแม่
3. จำนวนโครโมโซมจะเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากการแบ่งเซลล์
4. ไซโกตเกิดจากการรวมตัวกันของอสุจิและไข่ ทำให้มีจำนวนโครโมโซมเท่ากับเซลล์เหล่านั้น

ความมั่นใจ ส่วนคำตอบ

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|

คาดเดา → มั่นใจมาก

ความมั่นใจ ส่วนเหตุผล

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|

10. การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส เซลล์ลูกที่ได้มีลักษณะเป็นอย่างไร

- ก. 1 เซลล์ เหมือนเดิมทุกประการ
- ข. 2 เซลล์ เหมือนเดิมทุกประการ
- ค. 2 เซลล์ มีจำนวนโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่งของเซลล์เดิม
- ง. 2 เซลล์ มีจำนวนโครโมโซมมากเป็น 2 เท่าจากเซลล์เดิม

เหตุผล

1. สารพันธุกรรมจากการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากเซลล์เดิม
2. เซลล์ชนิดเดียวกันจะมีจำนวนโครโมโซมเท่ากันและเหมือนกันทุกประการ
3. ข้อมูลทางพันธุกรรมจะแบ่งออกเป็นครึ่งหนึ่งเมื่อผ่านการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส
4. เซลล์ลูกจะมีจำนวนโครโมโซมมากกว่าเซลล์แม่ เนื่องจากอายุน้อยกว่า

ความมั่นใจ ส่วนคำตอบ

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|

คาดเดา → มั่นใจมาก

ความมั่นใจ ส่วนเหตุผล

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|

11. สิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งมีจำนวนโครโมโซม 12 คู่ ในการศึกษาดูเซลล์ระยะเมตาเฟสของไมโทซิส จะมีโครมาทิดกี่เส้น

- ก. 12 เส้น
- ข. 24 เส้น
- ค. 48 เส้น
- ง. 96 เส้น

เหตุผล

1. โครโมโซม 1 แท่ง จะมีโครมาทิด 1 เส้นเสมอ
2. โครโมโซม 1 แท่ง จะมีโครมาทิด 2 เส้นเสมอ
3. ในระยะเมตาเฟส โครโมโซม 1 แท่ง จะมีโครมาทิด 2 เส้น
4. ในระยะเมตาเฟส โครโมโซม 1 แท่ง จะมีโครมาทิด 4 เส้น

ความมั่นใจ ส่วนคำตอบ

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|

คาดเดา → มั่นใจมาก

ความมั่นใจ ส่วนเหตุผล

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|

12. ข้อใดเป็นเหตุการณ์ที่พบในระยะอินเตอร์เฟสของการแบ่งแบบไมโทซิส

- ก. มีการจำลองตัวของโครโมโซม
- ข. เยื่อหุ้มนิวเคลียสสลายตัว
- ค. โครมาทินหดสั้นเป็นโครโมโซม
- ง. โครโมโซมเรียงกันบริเวณกึ่งกลางเซลล์

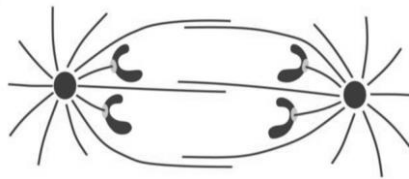
เหตุผล

1. ระยะนี้มีการสร้างดีเอ็นเอขึ้นมาอีก 1 ชุด ให้เหมือนกับชุดเดิม
2. ระยะนี้โครมาทินหดสั้น เพราะให้สะดวกต่อการแบ่งเซลล์
3. ระยะนี้เป็นระยะเริ่มต้นการแบ่งเซลล์ เซลล์จึงต้องมีการสลายออร์แกเนลล์ที่ไม่เกี่ยวข้องทั้งหมด
4. ระยะอินเตอร์เฟส โครโมโซมจะเรียงตรงกลางเซลล์ด้วยเส้นใยสปินเดิล

| | | | |
|-----------------------|---|---|-----------|
| ความมั่นใจ ส่วนคำตอบ | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| คาดเดา | | → | มั่นใจมาก |
| ความมั่นใจ ส่วนเหตุผล | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |

13. การแบ่งนิวเคลียสของเซลล์ในภาพอยู่ในระยะใดในไมโทซิส

และระยะนี้มีจำนวนโครโมโซมเท่าใด



- ก. เมตาเฟส จำนวนโครโมโซม คือ 2
- ข. เมตาเฟส จำนวนโครโมโซม คือ 4
- ค. แอนาเฟส จำนวนโครโมโซม คือ 2
- ง. แอนาเฟส จำนวนโครโมโซม คือ 4

เหตุผล

1. เมตาเฟส โครโมโซมเรียงกันกลางเซลล์ และมีจำนวนโครโมโซมเท่าเดิม
2. เมตาเฟส โครโมโซมโดนเส้นใยสปินเดิลไฟเบอร์ดึง ทำให้มีโครโมโซมมาก 2 เท่า
3. แอนาเฟส มีการฉีกโครมาทิดให้แยกออกจากกัน แต่ก็ถือว่าจำนวนโครโมโซมเท่าเดิม
4. แอนาเฟส มีการฉีกโครมาทิดให้แยกออกจากกัน ทำให้มีจำนวนแท่งโครโมโซมเป็น 2 เท่า

| | | | |
|-----------------------|---|---|-----------|
| ความมั่นใจ ส่วนคำตอบ | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| คาดเดา | | → | มั่นใจมาก |
| ความมั่นใจ ส่วนเหตุผล | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |

14. ระยะเวลาของการแบ่งเซลล์ที่เห็นโครโมโซมชัดเจนที่สุดจากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์

- ก. อินเตอร์เฟส
- ข. โพรเฟส
- ค. เมตาเฟส
- ง. เทโลเฟส

เหตุผล

1. ระยะเวลาเป็นขั้นแรกของการแบ่งเซลล์ ทำให้สังเกตเห็นโครโมโซมได้ง่าย
2. ระยะเวลาโครโมโซมเรียงกันตรงกลางเซลล์ หดตัวมากที่สุด
3. ระยะเวลาโครมาทิดหดตัวกลายเป็นโครโมโซมแล้ว
4. ระยะเวลาเห็นโครโมโซมแยกออกจากกันด้วยเส้นใยสปินเดิล

| | | | |
|-----------------------|---|---|-----------|
| ความมั่นใจ ส่วนคำตอบ | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| คาดเดา | | → | มั่นใจมาก |
| ความมั่นใจ ส่วนเหตุผล | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |

15. การจำลองดีเอ็นเอในไมโอซิส เกิดในระยะใด

- ก. อินเตอร์เฟส I
- ข. อินเตอร์เฟส II
- ค. อินเตอร์เฟส I และอินเตอร์เฟส II
- ง. โพรเฟส ในไมโอซิส I และไมโอซิส II

เหตุผล

1. ระยะอินเตอร์เฟส I และอินเตอร์เฟส II มีการจำลองดีเอ็นเอเพิ่มเป็น 2 เท่า
2. เฉพาะในอินเตอร์เฟส I เท่านั้นที่มีการจำลองดีเอ็นเอ ส่วนอินเตอร์เฟส II ไม่มีจำลองดีเอ็นเอ
3. อินเตอร์เฟส II เท่านั้นที่มีการจำลองดีเอ็นเอ เพราะเหลือไม่เพียงพอต่อการแบ่งเซลล์
4. โพรเฟสเป็นระยะแรกของการแบ่งเซลล์ จึงมีการเริ่มการจำลองดีเอ็นเอ

| | | | |
|-----------------------|---|---|-----------|
| ความมั่นใจ ส่วนคำตอบ | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| คาดเดา | | → | มั่นใจมาก |
| ความมั่นใจ ส่วนเหตุผล | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |

16. การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสจะเกิดครอสซิงโอเวอร์ (Crossing over) ในขั้นตอนใด

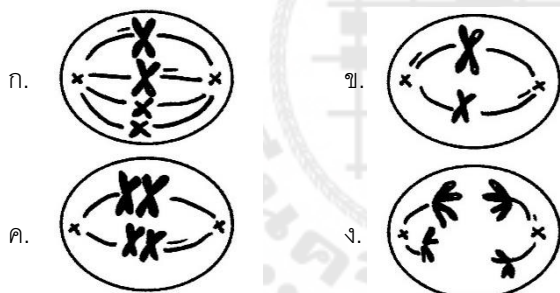
- ก. อินเทอร์เฟส
- ข. โพรเฟส
- ค. เมตาเฟส
- ง. การแบ่งไซโทพลาสซึม

| | | | |
|-----------------------|---|---|-----------|
| ความมั่นใจ ส่วนคำตอบ | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| คาดเดา | | → | มั่นใจมาก |
| ความมั่นใจ ส่วนเหตุผล | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |

เหตุผล

1. เพราะระยะนี้มีการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนโครโมโซม ก่อให้เกิดความแตกต่างของพันธุกรรม
2. เพราะเป็นระยะแรกของการแบ่งเซลล์ และมีการเตรียมความพร้อมที่จะแบ่งเซลล์
3. ระยะนี้จำนวนโครโมโซมจะเพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากการแบ่งเซลล์
4. ระยะนี้มีการแบ่งไซโทพลาสซึมเป็น 2 เซลล์

17. เซลล์สัตว์ชนิดหนึ่งมีโครโมโซมเป็น $2n = 4$ ข้อใดคือวาดภาพเซลล์นี้ ขณะแบ่งเซลล์ในขั้นเมตาเฟส I

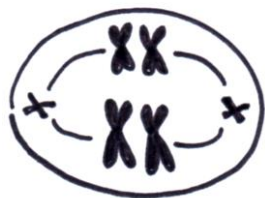


| | | | |
|-----------------------|---|---|-----------|
| ความมั่นใจ ส่วนคำตอบ | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| คาดเดา | | → | มั่นใจมาก |
| ความมั่นใจ ส่วนเหตุผล | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |

เหตุผล

1. ระยะนี้มีโครโมโซม 2 แท่ง เรียงกันกลางเซลล์
2. ระยะนี้มีโครโมโซม 4 แท่ง เรียงกันในระนาบเดียวกัน
3. ระยะนี้มีโครโมโซมคู่เหมือน 2 คู่ มาเรียงในระนาบเดียวกัน
4. โครโมโซมคู่เหมือนแยกออกจากกันด้วยเส้นใยสปินเดิลในระยะนี้

18. จากภาพ คือระยะใดของการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส



- ก. อินเตอร์เฟส I
ข. โปรเฟส I
ค. เมตาเฟส I
ง. เมตาเฟส II

ความมั่นใจ ส่วนคำตอบ

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|

คาดเดา → มั่นใจมาก

ความมั่นใจ ส่วนเหตุผล

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|

เหตุผล

1. ระยะนี้โครโมโซมคู่เหมือนมาเรียงกันกลางเซลล์
2. ระยะเกิดการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนของสารพันธุกรรม
3. ระยะนี้เป็นระยะเตรียมความพร้อมของเซลล์ จึงสังเกตได้ชัดเจน
4. การฉีกโครโมโซมเกิดในระยะนี้ เพื่อแยกโครโมโซมคู่เหมือนให้ออกจากกัน

19. พืชไม่มีการคอดกิวของเซลล์ (Cleavage furrow) ในขั้นตอนการแบ่ง

ไซโทพลาสซึม เพราะอะไร

- ก. มีผนังเซลล์
ข. มีแวคิวโอลในเซลล์
ค. มีคลอโรพลาสต์กระจายเต็มเซลล์
ง. เซลล์พืชมีการเรียงตัวเป็นเนื้อเยื่ออย่างหนาแน่น

ความมั่นใจ ส่วนคำตอบ

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|

คาดเดา → มั่นใจมาก

ความมั่นใจ ส่วนเหตุผล

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|

เหตุผล

1. พืชมีผนังเซลล์ที่แข็งแรง ทำให้ไม่เกิดการคอดกิวของเซลล์พืช
2. การที่เซลล์พืชมีแวคิวโอลในเซลล์ขนาดใหญ่ ทำให้การคอดกิวของเซลล์เกิดขึ้นไม่ได้
3. การมีคลอโรพลาสต์กระจายเต็มเซลล์พืช ทำให้เป็นอุปสรรคของการแบ่งเซลล์
4. เนื้อเยื่อพืชประกอบด้วยเซลล์เรียงตัวอย่างหนาแน่น ทำให้ไม่เกิดการคอดกิวของเซลล์

20. โครงสร้างใดมีส่วนเกี่ยวข้องกับการแบ่งไซโทพลาสซึมในเซลล์สัตว์

- ก. ไมโครฟิลาเมนต์
- ข. กอลจิบอดี
- ค. ไรโบโซม
- ง. ร่างแหเอนโดพลาสซึม

| | | | |
|-----------------------|---|---|-----------|
| ความมั่นใจ ส่วนคำตอบ | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| คาดเดา | | → | มั่นใจมาก |
| ความมั่นใจ ส่วนเหตุผล | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |

เหตุผล

1. ไมโครฟิลาเมนต์เกี่ยวข้องกับการคอดกิ่วของเซลล์สัตว์ จนกลายเป็น 2 เซลล์
2. กอลจิบอดีสร้างเซลล์เพลท (Cell plate) กั้นเซลล์ลูกทั้ง 2 เซลล์
3. ไรโบโซมมีหน้าที่สร้างโปรตีน ซึ่งนำมาสร้างเส้นใยสปีนเดิล
4. ร่างแหเอนโดพลาสซึมทำหน้าที่ควบคุมโปรตีน ดีเอ็นเอ นำมาสร้างเป็นโครโมโซม

21. ข้อเปรียบเทียบของการแบ่งเซลล์ไมโทซิสและไมโอซิสข้อใดไม่ถูกต้อง

| | ข้อเปรียบเทียบ | ไมโทซิส | ไมโอซิส |
|----|--------------------------------------|------------------|------------------|
| ก. | จำนวนเซลล์ลูก | 2 เซลล์ | 4 เซลล์ |
| ข. | ขนาดของเซลล์ลูก | เล็กกว่าเซลล์แม่ | เล็กกว่าเซลล์แม่ |
| ค. | การเกิดครอสซิงโอเวอร์ | ไม่มี | มี |
| ง. | การแยกโครโมโซม คู่เหมือนออกจากกัน | ไม่มี | มี |

| | | | |
|-----------------------|---|---|-----------|
| ความมั่นใจ ส่วนคำตอบ | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| คาดเดา | | → | มั่นใจมาก |
| ความมั่นใจ ส่วนเหตุผล | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |

เหตุผล

1. ไมโทซิสและไมโอซิสจะแบ่งตัวได้เซลล์ลูก 2 เซลล์เหมือนกัน
2. ไมโทซิสขนาดของเซลล์ลูกที่ได้จะเท่ากับเซลล์แม่ ส่วนไมโอซิสขนาดของเซลล์ลูกจะเล็กกว่า
3. การเกิดครอสซิงโอเวอร์ (Crossing over) พบได้ในการแบ่งเซลล์ทั้ง 2 แบบ
4. การแยกโครโมโซมคู่เหมือนออกจากกัน พบได้ในการแบ่งเซลล์ทั้ง 2 แบบ

22. เซลล์ใดเมื่อตายไปแล้ว จะไม่มีการสร้างเซลล์ใหม่ขึ้นมาทดแทน

- ก. เซลล์ประสาท
- ข. เซลล์ผิวหนัง
- ค. เซลล์กระดูก
- ง. ไม่มีข้อถูก

ความมั่นใจ ส่วนคำตอบ

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|

คาดเดา → มั่นใจมาก

ความมั่นใจ ส่วนเหตุผล

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|

เหตุผล

1. เซลล์ทุกเซลล์สามารถแบ่งตัวมาทดแทนเซลล์เดิมได้
2. เซลล์ทุกชนิดไม่สามารถแบ่งตัวได้ ต้องสร้างใหม่เท่านั้น
3. เซลล์บางชนิดในร่างกายจะสร้างทดแทนในกรณีที่บาดเจ็บหรือมีบาดแผล
4. เซลล์บางชนิดในร่างกายจะไม่มีการแบ่งตัวเพิ่มในระยะวัยผู้ใหญ่

23. เหตุการณ์ของการแบ่งเซลล์ต่อไปนี้ ข้อใดไม่ถูกต้อง

| | การแยกคู่ Homologous Chromosome | การแยกคู่ Sister chromatid | การสร้าง Spindle fiber | การสลายของ Nucleolus |
|----|---------------------------------|----------------------------|------------------------|----------------------|
| ก. | แอนาเฟส I | แอนาเฟส II | โปรเฟส | โปรเฟส |
| ข. | แอนาเฟส I | แอนาเฟส II | โปรเฟส I | โปรเฟส I |
| ค. | แอนาเฟส I | แอนาเฟส | โปรเฟส II | โปรเฟส II |
| ง. | แอนาเฟส II | แอนาเฟส | โปรเฟส II | โปรเฟส I |

ความมั่นใจ ส่วนคำตอบ

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|

คาดเดา → มั่นใจมาก

ความมั่นใจ ส่วนเหตุผล

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|

เหตุผล

1. การสร้างเส้นใยสปินเดิลพบในระยะโปรเฟส I และ II เท่านั้น
2. การสลายของ Nucleolus ไม่มีในระยะโปรเฟส II
3. การแยกคู่ Sister chromatid อยู่ในระยะแอนาเฟสทั้งหมด
4. การแยกคู่ Homologous Chromosome อยู่ในระยะแอนาเฟส I เท่านั้น

24. กลุ่มอาการเทอร์เนอร์ มีโครโมโซม 45 แท่ง (44+XO) สาเหตุที่เกิดขึ้น น่าจะเป็นเพราะอะไร

- ก. การแบ่งแบบไมโทซิสผิดปกติ
- ข. การแบ่งแบบไมโอซิสผิดปกติ
- ค. การแบ่งแบบไมโทซิสและไมโอซิสผิดปกติ
- ง. การที่เซลล์ไม่แบ่งตัว



เหตุผล

1. โครโมโซม X ขาดหายไป เกิดจากการไม่แยกส่วนของโครโมโซมในการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส
2. โครโมโซม X ขาดหายไป เกิดจากการไม่แยกส่วนของโครโมโซมในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส
3. การที่โครโมโซม X ขาดหายไป เกิดจากความผิดปกติของการแบ่งเซลล์ทั้งไมโทซิสและไมโอซิส
4. ความผิดปกติบางอย่าง เช่น การติดเชื้อในครรภ์ ทำให้เซลล์ไซโกตไม่แบ่งตัว



กระดาษคำตอบแบบทดสอบวินิจฉัยตัวเลือกสี่ลำดับชั้น

เรื่อง การแบ่งเซลล์ (Cell Division) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

วิชา ชีววิทยา จำนวน 24 ข้อ เวลา 50 นาที

| | | | | | | | | |
|-------|------------|---|---|---|-----------------------|---|---|---|
| ข้อ 1 | ชั้นคำตอบ | | | | ความมั่นใจ ชั้นคำตอบ | | | |
| | ก | ข | ค | ง | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | ชั้นเหตุผล | | | | ความมั่นใจ ชั้นเหตุผล | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |

| | | | | | | | | |
|-------|------------|---|---|---|-----------------------|---|---|---|
| ข้อ 2 | ชั้นคำตอบ | | | | ความมั่นใจ ชั้นคำตอบ | | | |
| | ก | ข | ค | ง | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | ชั้นเหตุผล | | | | ความมั่นใจ ชั้นเหตุผล | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |

| | | | | | | | | |
|-------|------------|---|---|---|-----------------------|---|---|---|
| ข้อ 3 | ชั้นคำตอบ | | | | ความมั่นใจ ชั้นคำตอบ | | | |
| | ก | ข | ค | ง | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | ชั้นเหตุผล | | | | ความมั่นใจ ชั้นเหตุผล | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |

| | | | | | | | | |
|-------|------------|---|---|---|-----------------------|---|---|---|
| ข้อ 4 | ชั้นคำตอบ | | | | ความมั่นใจ ชั้นคำตอบ | | | |
| | ก | ข | ค | ง | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | ชั้นเหตุผล | | | | ความมั่นใจ ชั้นเหตุผล | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |

| | | | | | | | | |
|-------|------------|---|---|---|-----------------------|---|---|---|
| ข้อ 5 | ชั้นคำตอบ | | | | ความมั่นใจ ชั้นคำตอบ | | | |
| | ก | ข | ค | ง | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | ชั้นเหตุผล | | | | ความมั่นใจ ชั้นเหตุผล | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |

บรรณานุกรม

- Afif, N. F., Nugraha, M. G., & Samsudin, A. (2017). *Developing energy and momentum conceptual survey (EMCS) with four-tier diagnostic test items*. AIP Publishing : In AIP Conference Proceedings, 1848(1).
- Ahmann, Stanley J. & Marvin, dock. (1967). *Evaluation Pupil Growth*. 3rd ed. Boston: Allyn and Bacon, Inc.
- Akkus, H., Kadayifci, H., & Atasoy, B. (2011). *DEVELOPMENT AND APPLICATION OF A TWO-TIER DIAGNOSTIC TEST TO ASSESS SECONDARY STUDENTS' UNDERSTANDING OF CHEMICAL EQUILIBRIUM CONCEPTS*. Journal of Baltic Science Education, 10(3).
- Aldahmash, A. H., Alshaya, F. S., & Asiri, A. A. (2012). *Secondary school students' Alternative conceptions about genetics*. Electronic Journal of Science Education, 16(1).
- American Association for the Advancement of Science, A. (1990). *Science for All Americans: Project 2061*. Available from: <http://www.project2061.org/publications/sfaa/online/intro.htm>. October 20, 2015.
- Andrews, K. E., Tressler, K. D., & Mintzes, J. J. (2008). *Assessing environmental understanding: an application of the concept mapping strategy*. Environmental Education Research, 14(5), 519-536.
- Andrews, T. M., Price, R. M., Mead, L. S., McElhinny, T. L., Thanukos, A., Perez, K. E., ..., & Lemons, P. P. (2012). *Biology undergraduates' misconceptions about genetic drift*. CBE-Life Sciences Education, 11(3), 248-259.
- Arslan, H. Ö., Geban, Ö., & Sağlam, N. (2015). *Learning cycle model to foster conceptual understanding in cell division and reproduction concepts*. Journal of Baltic Science Education 14(5), 670-684.
- Bahar, M. (2003). *Misconceptions in biology education and conceptual change strategies*. Educational Sciences: Theory & Practice 3(1), 55-64.
- Banet, E., & Ayuso, E. (2000). *Teaching genetics at secondary school: A strategy for*

- teaching about the location of inheritance information.* Science Education (84), 313–351.
- Bloom, Benjamin, & others. (1971). *Handbook on Formative and Summative Evaluation of student Learning.* New York: McGraw-Hill.
- Brown, and Frederick, G. (1970). *Principles of Educational and Psychological Testing.* New York: Holt: Rinehart and Winston.
- Caleon, I. S., & Subramaniam, R. (2010). *Do students know what they know and what they don't know? Using a four-tier diagnostic test to assess the nature of students' alternative conceptions.* Research in Science Education, 40(3), 313-337.
- Cetin-Dindar, A., & Geban, O. (2011). *Development of a three-tier test to assess high school students' understanding of acids and bases.* Procedia-Social and Behavioral Sciences (15), 600-604.
- Chabalengula, V., Sanders, M., & Mumba, F. (2012). *DIAGNOSING STUDENTS' UNDERSTANDING OF ENERGY AND ITS RELATED CONCEPTS IN BIOLOGICAL CONTEXT.* International Journal of Science & Mathematics Education, 10(2).
- Cheong, I. P. A., Treagust, D., Kyeleve, I. J., & Oh, P. Y. (2010). *Evaluation of Students' Conceptual Understanding of Malaria.* International Journal of Science Education, 32(18), 2497-2519.
- Chiang, W. W., Chiu, M. H., Chung, S. L., & Liu, C. K. (2014). *SURVEY OF HIGH SCHOOL STUDENTS' UNDERSTANDING OF OXIDATION-REDUCTION REACTION.* Journal of Baltic Science Education, 13(5).
- Clark, D. C., & Mathis, P. M. (2000). *Modeling mitosis and meiosis: A problem-solving activity.* The American Biology Teacher 62(3), 204–206.
- Deshmukh, N. D., & Deshmukh, V. M. (2007). *A study of students' misconceptions in Biology at the secondary school level.* Paper presented at the In Proceedings of epiSTEME-2: An International Conference to Review Research on Science, Technology and Mathematics Education, 137-141.
- Dikmenli, M. (2010). *Misconceptions of cell division held by student teachers in biology:*

- A drawing analysis*. *Scientific Research and Essays*, 5(2), 235-247.
- Education, M. o. (2008). *Core Curriculum of Basic Education*. Bangkok: Ladprou Teacher Council Press.
- Fariyani, Q., Rusilowati, A., & Sugianto, S. (2017). *Four-Tier Diagnostic Test to Identify Misconceptions in Geometrical Optics*. *Unnes Science Education Journal*, 6(3).
- Gurel, D. K., Eryilmaz, A., & McDermott, L. C. (2015). *A Review and Comparison of Diagnostic Instruments to Identify Students' Misconceptions in Science*. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 11(5).
- Hermita, N., Suhandi, A., Syaodih, E., & Samsudin. (2017). *A Four-Tier Diagnostic Test to Assess Pre-service Elementary Teachers' on Electricity Magnetism*. Paper presented at the In Proceedings of the UR International Conference on Educational Sciences, 560-565.
- Hermita, N., Suhandi, A., Syaodih, E., Samsudin, A., J., ohan, H., Rosa, F., ..., & Safitri, D. (2017). *Constructing and implementing a four tier test about static electricity to diagnose pre-service elementary school teacher' misconceptions*. In *Journal of Physics: Conference Series*, 89(1 September), IOP Publishing.
- Kara, Y., & Yeşilyurt, S. (2008). *Comparing the impacts of tutorial and edutainment software programs on students' achievements, misconceptions, and attitudes towards biology*. *Journal of Science Education and Technology*, 17(1), 32-41.
- Karagoz, M., & Cakir, M. (2011). *Problem Solving in Genetics: Conceptual and Procedural Difficulties*. *Educational Sciences. Theory and Practice*, 11(3), 1668-1674.
- Kibuka-Sebitosi, E. (2007). *Understanding genetics and inheritance in rural schools*. *Journal of Biological Education*, 41(2), 56-61.
- Kilic, D., & Saglam, N. (2009). *Development of a two-tier diagnostic test to determine students' understanding of concepts in genetics*. *Eurasian Journal of Educational Research*, (36), 227-244.
- Kindfield, A. C. (1991). *Confusing chromosome number and structure: A common student error*. *Journal of Biological Education*, 25(3), 193-200.

- Kirbulut, Z. D., & Geban, O. (2014). *Using three-tier diagnostic test to assess students' misconceptions of states of matter*. Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education, 10(5), 509-521.
- Köse, S. (2008). *Diagnosing student misconceptions: Using drawings as a research method*. World Applied Sciences Journal, 3(2), 283-293.
- Lewis, J., & Kattmann, U. (2004). *Traits, genes, particles and information: Re-visiting students' understandings of genetics*. International Journal of Science Education, (26), 195–206.
- Lin, S. W. (2004). *Development and application of a two-tier diagnostic test for high school students' understanding of flowering plant growth and development*. International Journal of Science and Mathematics Education, 2(2), 175-199.
- Lindquist, & Everet Franklin. (1956). *Educational Measurement*. Washington, D.C American Council on Education.
- Mertens, T. R. (1992). *A paper-&-pencil strategy for teaching mitosis & meiosis, diagnosing learning problems & predicting examination performance*. The American Biology Teacher, 54(8), 470-474.
- Mintzes, J. J., Wandersee, J. H., & Novak, J. D. (2001). *Assessing understanding in biology*. Journal of Biological Education, 35(3), 118-124.
- Mutlu, A., & Sesen, B. A. (2015). *Development of a Two-tier Diagnostic Test to Assess Undergraduates' Understanding of Some Chemistry Concepts*. Procedia-Social and Behavioral Sciences, (174), 629-635.
- Nakthong, U., Anuntasethakul, T. A., and Yutakom, N. (2007). *Student conceptions on cells and cell processes in grade 10*. Kasetsart Journal (Social Sciences), 28(1), 1–10 (Thai).
- National Science Education Standards (NSES). (1996). *Science education*. Washington, DC: National Academy Press.
- Odom, A. L. (1995). *Secondary & college biology students' misconceptions about diffusion & osmosis*: The American Biology Teacher. 409-405.
- Odom, A. L., & Barrow, L. H. (2007). *High school biology students' knowledge and*

- certainty about diffusion and osmosis concepts*. School science and mathematics, 107(3), 94-101.
- Ozcan, T., Yildirim, O., & Ozgur, S. (2012). *Determining of the university freshmen students' misconceptions and alternative conceptions about mitosis and meiosis*. Procedia, (46) 3677-3680
- Pattiyatani. (2010). *Educational Measurement (8th edition)*. Kalasin: Prasan Publishing.
- Puengpang N., K. S., Roadrangka V. (2006). *Exploring pre-service teachers' science basic concepts*. Journal of the Faculty of Education. Chulalongkorn University, 34(3), 95-111 (Thai).
- Ratinen, I., Viiri, J., & Lehesvuori, S. (2013). *Primary School Student Teachers' Understanding of Climate Change: Comparing the Results Given by Concept Maps and Communication Analysis*. Research in Science Education, 43(5), 1801-1823.
- Sia, D. T., Treagust, D. F., & Chandrasegaran, A. L. (2012). *HIGH SCHOOL STUDENTS' PROFICIENCY AND CONFIDENCE LEVELS IN DISPLAYING THEIR UNDERSTANDING OF BASIC ELECTROLYSIS CONCEPTS*. International Journal of Science and Mathematics Education, 10(6), 1325-1345.
- Taber, K. S., & Tan, K. C. D. (2007). *Exploring learners' conceptual resources: Singapore A level students' explanations in the topic of ionisation energy*. International Journal of Science and Mathematics Education, 5(3), 375-392.
- Tekkaya, C. (2002). *Misconceptions as barrier to understanding biology*. Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 23(23).
- Thompson, F., & Logue, S. (2006). *An exploration of common student misconceptions in science*. International Education Journal, 7(4), 553-559.
- Thorndike, R. L., & Hagen, E. p. (1969). *Measurement and Evaluation in Psychology and Education*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Tsai, C. C., & Chou, C. (2002). *Diagnosing students' alternative conceptions in science*. Journal of computer assisted learning, 18(2), 157-165.
- Uyulgan, M. A., Akkuzu, N., & Alpat, Ş. (2014). *Assessing the students' understanding*

- related to molecular geometry using a two-tier diagnostic test. *Journal of Baltic Science Education*, 13(6).
- Wang, J. R. (2007). *Students' thinking and alternative conceptions of transport systems in plants: a follow-up study*. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 5(2), 307-328.
- Westbrook, S. L., & Marek, E.A. (1992). *A cross-age study of student understanding of concept of homeostasis*. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(1), 51-61.
- Won, M., Yoon, H., & Treagust, D. F. (2014). *Students' learning strategies with multiple representations: Explanations of the human breathing mechanism*. *Science Education*, 98(5), 840-866.
- Yang, D. C., & Lin, Y. C. (2015). *Assessing 10-to 11-year-old children's performance and misconceptions in number sense using a four-tier diagnostic test*. *Educational Research*, 57(4), 368-388.
- Yenilmez, A., & Tekkaya, C. (2006). *Enhancing students' understanding of photosynthesis and respiration in plant through conceptual change approach*. *Journal of science Education and Technology* 15(1), 81-87.
- Yeşilyurt, S., & Kara, Y. (2007). *THE EFFECTS OF TUTORIAL AND EDUTAINMENT SOFTWARE PROGRAMS ON STUDENTS' ACHIEVEMENTS, MISCONCEPTIONS AND ATTITUDES TOWARDS BIOLOGY ON THE CELL DIVISION ISSUE*. *Journal of Baltic science education*, 6(2).
- Yilmaz, S., & Eryilmaz, A. (2010). *Integrating gender and group differences into bridging strategy*. *Journal of Science Education and Technology*, 19(4), 341-355.
- กระทรวงศึกษาธิการ. (2539). *คู่มือการสร้างแบบวัดวินิจฉัยข้อบกพร่องทางการเรียนวิทยาศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษา*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.
- กระทรวงศึกษาธิการ. (2546). *การจัดสาระการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.
- กระทรวงศึกษาธิการ. (2551). *หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*. กรุงเทพฯ: ชุมชนุสสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

- ขวัญฤทัย เทียงจันทร์ทิพย์ และคณะ. (2017). มโนทัศน์เรื่องเซลล์และการแบ่งเซลล์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, 27(3), 95-110.
- จันทร์จิรา ชุ่มเรืองศรี. (2539). การวิเคราะห์มโนคติที่คลาดเคลื่อนวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่องระบบนิเวศของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท). มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- จุฬารัตน์ ธรรมประทีป. (2554). มโนคติทางเลือกทางชีววิทยา (*Alternative Conceptions in Biology*) ว. ศึกษาศาสตร์ มสธ, ปีที่ 4 (ฉบับที่ 1 ม.ค.2554- มิ.ย.2554), 87-96.
- โชติ เพชรชื่น. (2544). แบบทดสอบวินิจฉัย. สารานุกรมศึกษาศาสตร์, 23, 7-11.
- จำนง พรายแยมแซ. (2529). เทคนิคการสอนกลุ่มสร้างเสริมประสบการณ์ชีวิตเพื่อให้มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์. กรุงเทพมหานคร: ไทยวัฒนาพานิช จำกัด.
- ทรัพย์ทวี อภิญญาวาท. (2543). การใช้เทคนิคแผนผังมโนคติในการศึกษาการปรับโครงสร้างความรู้และการเปลี่ยนมโนคติในวิชา การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ของนักศึกษาระดับปริญญาตรี วิชาเอกวิทยาศาสตร์ทั่วไป. สถาบันราชภัฏนครสวรรค์. ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต (ศึกษาศาสตร์-การสอน) สาขา การสอน วิทยาศาสตร์ ภาควิชาการศึกษา.
- ทองหล่อ วิภาวิน. (2521). ข้อสอบวินิจฉัย พัฒนาวัดผล. (14: หน้า 49 -52). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ศรีอนันต์.
- นงลักษณ์ ศิริชัย. (2530). การวิเคราะห์มโนคติวิชาชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6. (วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทมหาบัณฑิต). บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. (สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา).
- บุญชม ศรีสะอาด. (2523). แบบทดสอบวินิจฉัย. วารสารการวัดผล การศึกษา, 2 (1 พฤษภาคม- สิงหาคม), 9-24.
- บุญชม ศรีสะอาด. (2535). การวิจัยเบื้องต้น. กรุงเทพฯ สุวีริยาสาส์น.
- บุญชม ศรีสะอาด. (2543). การวิจัยทางการวัดผลและประเมินผล (*Research in measurement and evaluation*). กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.
- เบญจา เขียวสม. (2534). การสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยตามพฤติกรรมกรรมการแก้ไขปัญหาวิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1. (ปริญญาโท กศ.ม. (การวัดผลการศึกษา). บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.
- ประดับ แก้วแดง. (2542). ผลของการสอนแบบจัดกรอบมโนทัศน์ที่มีต่อความคงทนในการเรียนรู้และ

- ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาพยาบาล. (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. พยาบาลศาสตร์ (การพยาบาลศึกษา). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย บัณฑิตวิทยาลัย.
- ปรียาพร วงศ์อนุตรโรจน์. (2534). *จิตวิทยาการศึกษา*. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ.
- พรประสิทธิ์ ศรีสุพรรณ และไพโรจน์ เต็มเตชาดิพงษ์. (2010). การปรับเปลี่ยนนมโม่ติ เรื่อง เซลล์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนเพื่อเปลี่ยนนมโม่ติตามแนวคิดของ Hewson and Hewson. *วารสารศึกษาศาสตร์ ฉบับวิจัยบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยขอนแก่น (Journal of Education Graduate Studies Research, KKU.)* 4(3), 68-77.
- พวงรัตน์ ทวีรัตน์. (2540). *วิธีการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคม (พิมพ์ครั้งที่ 7)*. กรุงเทพฯ สำนักทดสอบทางการศึกษาและจิตวิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- พวงรัตน์ ทวีรัตน์. (2541). *การวิเคราะห์ข้อสอบอิงเกณฑ์*. *วารสารการวัดผลการศึกษา*, 20(15) พฤษภาคม-สิงหาคม, 15.
- ไพฑูริย์ สุขศรีงาม. (2533). *แนวการสอนของออลซูเบล*. มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ มหาสารคาม, 9(2 กรกฎาคม- ธันวาคม), 58-69.
- ไพศาล วรคำ. (2554). *การวิจัยทางการศึกษา (Educational research) (พิมพ์ครั้งที่ 3)*. มหาสารคาม: ตักศิลาการพิมพ์.
- ภาพ เลหาโพบูลย์. (2534). *การสอนวิทยาศาสตร์ในโรงเรียนมัธยมศึกษา เชียงใหม่*. โรงพิมพ์เชียงใหม่ คอมเมอร์เชียล 2532ก, แผนภูมิโนทัศน์. *วารสาร มศว*. ปทุมวัน. 2 มีนาคม 2532, 105-113.
- ราตรี นันทสุนทร. (2553). *หลักการวัดผลและประเมินผลการศึกษา*. คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี. กรุงเทพฯ: จุดทอง.
- ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. (2543). *เทคนิคการวัดผลการเรียนรู้*. กรุงเทพฯ: ชมรมเด็ก.
- รวรรณ ทิพจ้อย. (2557). *ความเข้าใจในมิติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง สิ่งมีชีวิตกับกระบวนการดำรงชีวิตของครูผู้สอนที่ไม่ใช่ครูวิทยาศาสตร์ ในโรงเรียนสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา ประถมศึกษาดุรธานี เขต 1*. *วารสารวิชาการศรีปทุม ชลบุรี*, ปีที่ 11 (ฉบับที่ 2), 17-24.
- วันเพ็ญ คำเทศ. (2560). *มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์: ประเภทและเครื่องมือประเมิน*. *STOU Education Journal*, 10(2), 54-64.
- วิเชียร เกตุสิงห์. (2517). *การวัดผลการศึกษาและสถิติเบื้องต้น*. กรุงเทพฯ: สกุลไทย.

- วิรัช นิยมแย้ม. (2525). การสร้างแบบทดสอบวินิจฉัยในการเรียน เรื่อง ระบบจำนวนเต็ม สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ในจังหวัดนครนายก. (ปริญญาโท กศ.ม.).
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.
- เวชฤทธิ์ อังกนะภัทรขจร. (2557). การศึกษามโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ของนิสิตวิชาเอกคณิตศาสตร์. ภาควิชาการจัดการเรียนรู้ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
วารสารศึกษาศาสตร์ ปีที่ 25 (ฉบับที่ 2 พฤษภาคม - สิงหาคม 2557).
- ศศิเทพ ปิติพรเทพิน และคณะ. (2554). การส่งเสริมความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง การแบ่งเซลล์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยการสร้างภาพเคลื่อนไหว (*Enhancing Grade 10 Students' Understanding of the Scientific Concepts of Cell Division by Generating Animations*). วารสารวิจัย มข, ปีที่ 2 (ฉบับที่ 1 : มกราคม-มีนาคม 2555), หน้า 115-130.
- ศิริเดช สุชีวะ. (2538). การวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (*Misconception*). จุลสารการทดสอบอันดับที่ 2. ศูนย์ทดสอบทางการศึกษา ร่วมกับศูนย์ตำราและเอกสารวิชาการ. คุรุศาสตร์ มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์.
- ศิริชัย กาญจนวาสี. (2556). ทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม (*Classical Test Theory*). (พิมพ์ครั้งที่ 7). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
สมนึก ภัททิยธนี. (2541). การวัดผลการศึกษา. กฟลินธุ์: ประสานการพิมพ์.
สมนึก ภัททิยธนี. (2549). การวัดผลการศึกษา. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กฟลินธุ์: ประสานการพิมพ์.
สมศักดิ์ สีนุระเวชญ์. (2522). แบบทดสอบวินิจฉัย. สำนักทดสอบกรมวิชาการ
กระทรวงศึกษาธิการ.
- สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 6. (2560). จำนวนนักเรียนแยกชั้น เพศ โรงเรียนสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 6 ปีการศึกษา 2560. สืบค้นจาก
<http://118.173.197.228/sec6/main>.
- สุเทพ สันติวรานนท์. (2533). แบบทดสอบวินิจฉัยและแนวทางในการสร้าง. วารสาร ศึกษาศาสตร์.
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี (6), 67-73.
- สุภาพ วาดเขียน. (2525). มาตรฐานและประเมินผลพฤติกรรม. กรุงเทพฯ ฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.
- สุรจิตา เศรษฐภูภักดี. (2547). ผลการเรียนรู้เรื่องการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่เรียนด้วยวัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้. (วิทยานิพนธ์ปริญญา

- มหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (สาขาวิชาสอนวิทยาศาสตร์ ภาควิชาการศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย).
- สุรศักดิ์ อมรรัตนศักดิ์. (2544). ทฤษฎีทางการวัดและการประเมินผล (*Evaluation and measurement theory*) : MER 4004 (MR 404). พิมพ์ครั้งที่ 1 (ฉบับปรับปรุงใหม่). กรุงเทพฯ สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- อรรวรรณ จันทร์ฟู. (2554). แนวคิดเรื่องพันธะเคมีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิซิม (*Grad-10 Students' Understanding of the Chemical Bonding Concept by Constructivist Approach*). (หลักสูตรศิลปศาสตรมหาบัณฑิต แขนงวิชาการศึกษา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน. (รายงานสืบเนื่องจากการประชุมทางวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัย “มสธ. วิจัย ประจำปี 2554”).
- เอมอร จังศิริพรปกรณ์. (2548). การเปรียบเทียบคุณภาพของการประเมินความคิดรวบยอดวิชาคณิตศาสตร์โดยใช้แผนผังมโนทัศน์ที่มีการตรวจให้คะแนนด้วยวิธีที่แตกต่างกัน. การวัดและประเมินผลการศึกษา. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การศึกษาและการสอนคณิตศาสตร์.
- อ้อมใจ คงเสาร์. (2540). การศึกษาค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบและค่าฟังก์ชันอินฟอर्मชันจากแบบทดสอบเลือกตอบกับแบบทดสอบโคลซที่วัดมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 : ประยุกต์ใช้ทฤษฎีการตอบสนองของข้อสอบ. (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต การวัดผลการศึกษา). มหาวิทยาลัยนเรศวร บัณฑิตวิทยาลัย.



ประวัติผู้เขียน

| | |
|-------------------|--|
| ชื่อ-สกุล | นายธีระวัฒน์ การะเกตุ |
| วัน เดือน ปี เกิด | 9 มิถุนายน 2526 |
| สถานที่เกิด | จังหวัดพิษณุโลก |
| วุฒิการศึกษา | พ.ศ. 2541 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนพิริยาลัยจังหวัดแพร่ พ.ศ. 2544 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนพิริยาลัยจังหวัดแพร่ พ.ศ. 2548 ปริญญาตรี วท.บ. สาขา ชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา พ.ศ. 2561 ปริญญาโท กศ.ม. สาขาวิชาการวิจัยและพัฒนา ศึกษภาพมนุษย์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ |
| ที่อยู่ปัจจุบัน | บ้านเลขที่ 24/2 หมู่ 6 ถนนนาแหลม-เหมืองหม้อ ตำบลทุ่งกวาว อำเภอเมืองแพร่ จังหวัดแพร่ 54000 อีเมลล์ piicaszo@gmail.com |