

363.438 401

๑384 ๐

๑๑

การพัฒนาศักยภาพการปฏิบัติกรวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติ
ในการดูดซับโลหะหนัก ที่ใช้สอนในวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

ปริญญานิพนธ์

ของ

อรอุมา ละมุล

๕-๑ เม.ย. 2542

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกวิทยาศาสตร์ศึกษา

ตุลาคม 2541

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

-๒ ๕๖๑๘

คณะกรรมการควบคุมและคณะกรรมการสอบได้พิจารณาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว
เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต
วิชาเอกวิทยาศาสตร์ศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้

คณะกรรมการควบคุม

..... ประธาน
(รองศาสตราจารย์พรพิมล ม่วงไทย)
..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ เจริญพิทย์)

คณะกรรมการสอบ

..... ประธาน
(รองศาสตราจารย์พรพิมล ม่วงไทย)
..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ เจริญพิทย์)

..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(อาจารย์สุภาภรณ์ สิริโสภณา)

..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ศรีไพโรจน์)

บัณฑิตวิทยาลัยอนุมัติให้รับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกวิทยาศาสตร์ศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)
วันที่ เดือน พ.ศ. 2541

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้เพราะได้รับความกรุณาเป็นอย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ พรพิมล ม่วงไทย ประธานกรรมการที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ณีฎฐพงษ์ เจริญพิทย์ กรรมการที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ซึ่งให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางในการทำวิจัยมาโดยตลอด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ศรีไพโรจน์ และอาจารย์สุภาภรณ์ ศิริโสภณา ที่ให้คำแนะนำเพิ่มเติมในการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ศรีไพโรจน์ อาจารย์สุภาภรณ์ ศิริโสภณา ดร.เปรมจิตร บุญสาย อาจารย์คันหยง อิ่มมาก และอาจารย์รตนา ชิดชอบ ที่ได้ให้คำแนะนำและตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือในการวิจัย

ขอขอบพระคุณผู้อำนวยการโรงเรียน และคณะครู และขอบคุณนักเรียน โรงเรียน กุณนทีรุทธารามวิทยาคม กรุงเทพมหานคร และโรงเรียนโคกกะเทียมวิทยาลัย จังหวัดลพบุรี ที่ให้คำแนะนำ เอื้อเฟื้อสถานที่ และเสียสละเวลาในการทดลองสอน

ขอขอบพระคุณ ผศ. สวัสดิ์ ทรัพย์บุญย ดร.สมปรางดา วงศ์บุญหนัก อาจารย์ศิริกานต์ ผาสุข อาจารย์ฐาปนีย์ เมธิ์พลกุล อาจารย์ปาริชาติ แก่นสำโรง อาจารย์ศิริเพ็ญ จึงตระกูล อาจารย์ศรีภรณ์ ณะวงศ์ษา และพี่น้องชาววิทยาศาสตร์ศึกษา ที่ให้คำแนะนำและเป็นกำลังใจในการทำทดลองด้วยดีมาตลอด

ขอขอบพระคุณภาควิชาเคมี ซึ่งให้ความอนุเคราะห์ในการใช้อุปกรณ์ในการทดลอง และขอขอบพระคุณอาจารย์ยุทธพันธ์ มินวงษ์ และครอบครัว ซึ่งให้ความอนุเคราะห์ที่พักในระหว่างทำการทดลองสอน

นอกจากนี้ ยังได้รับความอนุเคราะห์ในด้านต่าง ๆ จากผู้ที่เกี่ยวข้องที่ไม่สามารถเอ่ยนามได้หมดในที่นี้ ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และน้องที่ให้กำลังใจมาโดยตลอด คุณค่าและประโยชน์ที่พึงมีของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเป็นเกียรติแก่บิดา มารดา ครูอาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน

อรอุมา ละมุล

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ	1
	ภูมิหลัง	1
	ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า.....	4
	ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า	5
	ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า	5
	นิยามศัพท์เฉพาะ	7
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
	เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสอนสิ่งแวดล้อมศึกษา.....	11
	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์.....	13
	- การเรียนการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์.....	14
	- งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนักการดูดซับและ	
	การวิเคราะห์โลหะหนัก.....	21
	- โลหะหนัก.....	21
	- การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย.....	25
	- องค์ประกอบในเซลล์พืช.....	29
	- สารเซลล์โลสมแตกเปลี่ยน ไอออน.....	32
	- งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้วัสดุธรรมชาติเป็นสารดูดซับ โลหะหนัก.....	33
	- ทฤษฎีการดูดซับ หรือการดูดติดผิว.....	39
	- การหาปริมาณสารโดยวิธีดูดกลืนแสง.....	40
	- การเกิดสารประกอบเชิงซ้อน.....	48
	สมมติฐานของการศึกษาค้นคว้า.....	51

3	วิธีการดำเนินการศึกษาค้นคว้า.....	52
	ตอนที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์.....	52
	เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	52
	วิธีการทดลอง.....	54
	การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	62
	ตอนที่ 2 พัฒนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์จากผลการทดลอง.....	62
	บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์.....	63
	คู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์.....	67
	การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	69
	ตอนที่ 3 นำบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอน.....	70
	แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการทดลองสอน.....	70
	ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองสอน.....	70
	เนื้อหาที่ใช้ในการทดลองสอน.....	70
	- การดำเนินการทดลองสอน.....	71
	- การวิเคราะห์ข้อมูล.....	76
	- การทดลองสอน.....	78
	- การวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลองสอน.....	79
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	81
	ตอนที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์.....	81
	ตอนที่ 2 การพัฒนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์.....	107
	ตอนที่ 3 การนำบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ไปทดลองสอน.....	109

5	สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	111
	ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า	111
	สมมติฐานของการศึกษาค้นคว้า.....	111
	วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า	112
	วิธีการทดลอง	112
	การวิเคราะห์ข้อมูล	114
	ผลการศึกษาค้นคว้า.....	114
	อภิปรายผลการศึกษา.....	118
	ข้อเสนอแนะ.....	123
	บรรณานุกรม	128
	ภาคผนวก.....	138
	ภาคผนวก ก.....	139
	ภาคผนวก ข.....	147
	ภาคผนวก ค.....	171
	ภาคผนวก ง.....	282
	ภาคผนวก จ.....	309
	ประวัติของผู้วิจัย.....	316

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	หมู่ไอออนของเรซินประเภทต่าง ๆ	28
2	คุณสมบัติของ serva cellulose ion exchanger	33
3	คลื่นแสงที่ถูกสารดูดกลืน และสีที่มองเห็น	43
4	สัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องในการวัดปริมาณของแสงที่ถูกดูดกลืน	47
5	แนวทางในการพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์	63
6	การแบ่งช่วงเวลาในการเรียนการสอน	71
7	ผลของปฏิกิริยาระหว่างทองแดงไอออนกับสารละลายแอมโมเนีย ความเข้มข้น 3 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร	82
8	ค่าความยาวคลื่นที่สารละลายทองแดงเข้มข้น 1×10^{-2} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ดูดกลืนแสงได้มากที่สุด	83
9	ผลของการปฏิกิริยาระหว่างนิกเกิลไอออนสารละลายโคเมทิลไกลออกซิม	85
10	ผลของปฏิกิริยาระหว่างทองแดงและนิกเกิลในอัตราส่วน 1 : 1 กับสารละลาย แอมโมเนีย ความเข้มข้น 3 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร และสารละลายโคเมทิล ไกลออกซิม	86
11	ค่าความยาวคลื่นที่สามารถดูดกลืนแสงได้มากที่สุดของสารละลายผสมทองแดง ทองแดงและนิกเกิล ในอัตราส่วน 1 : 1 ความเข้มข้น 1×10^{-2} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร	87
12	ค่าความยาวคลื่นที่สารละลายนิกเกิลความเข้มข้น 3×10^{-4} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ดูดกลืนแสงได้มากที่สุด	89
13	ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานทองแดงที่ความยาวคลื่น 605.0 นาโนเมตร	91
14	ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานนิกเกิลที่ความยาวคลื่น 535.0 นาโนเมตร	94
15	ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับทองแดงในสารละลายทองแดงเข้มข้น 5×10^{-3} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ในเวลา 1 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง	97

16	ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับนิกเกิลในสารละลายนิกเกิลเข้มข้น 5×10^{-4} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ในเวลา 1 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง	98
17	ค่าปริมาณทองแดงที่เหลือจากการแช่โดยวัสดุธรรมชาติ	99
18	ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดงของวัสดุธรรมชาติ	100
19	ค่าปริมาณนิกเกิลที่เหลือจากการแช่โดยวัสดุธรรมชาติ	101
20	ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะนิกเกิลของวัสดุธรรมชาติ	102
21	ปริมาณทองแดงที่เหลืออยู่จากการสกัดสีของสารละลายเมื่อเทียบกับแบลงค์	103
22	ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดงของวัสดุธรรมชาติจากการสกัดสีของ สารละลายเมื่อเปรียบเทียบกับแบลงค์.....	104
23	ปริมาณนิกเกิลที่เหลืออยู่จากการสกัดสีของสารละลายเมื่อเทียบกับแบลงค์.....	105
24	ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะนิกเกิลของวัสดุธรรมชาติจากการสกัดสีของ สารละลายเมื่อเปรียบเทียบกับแบลงค์.....	106
25	ค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับ บทปฏิบัติการ และคู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์	108
26	ค่าเฉลี่ยและร้อยละของแบบทดสอบทั้ง 4 แบบ	109
27	การแบ่งช่วงเวลาในการเรียนการสอน	177
28	ความยากง่าย (p) และอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการ เรียน เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก	310
29	ความยากง่าย (p) และอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบวัดทักษะปฏิบัติการ วิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก.....	312
30	ผลการหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์	314

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 การแยกองค์ประกอบในเซลล์พีซ	29
2 ลักษณะโครงสร้างของเซลล์โลก	30
3 โครงสร้างของไอเลน Ac = Acetyl Group	31
4 หน่วยย่อยในโครงสร้างลิกนิน	32
5 แถบสเปกตรัมของแสงที่อยู่ในช่วงแสงวิสิเบิล	42
6 ส่วนประกอบอย่างย่อของสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	44
7 กระบวนการดูดกลืนแสง	44
8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดและเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตเทนซ์ กับความเข้มข้นของสารละลาย	46
9 สเปกตรัมของ $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ ของสารละลายทองแดง ความเข้มข้น 1×10^{-2} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร	84
10 สเปกตรัมของ $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ จากสารละลายผสมทองแดงและนิกเกิล ในอัตราส่วน 1 : 1 ความเข้มข้น 1×10^{-2} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร	88
11 สเปกตรัมของสารละลายนิกเกิล ความเข้มข้น 3×10^{-4} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร โดย Method B - Glyoxime ของ ASTM ที่ความยาวคลื่น 535.0 นาโนเมตร	90
12 สเปกตรัมของ $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$	92
13 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานทองแดง ค่า $r = .9997$	93
14 สเปกตรัมของสารละลายนิกเกิลโดย Method B - Glyoxime ของ ASTM	95
15 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานนิกเกิล ค่า $r = .9998$	96
16 กรรมวิธีการหุบโลหะทั่วไป	187
17 การถ่ายทอดโลหะหนักสู่สิ่งมีชีวิต	194
18 การตกตะกอนเกลือโลหะต่าง ๆ ที่ค่าความเป็นกรดต่าง ๆ กัน	207
19 สีของสารละลายเมื่อเติมลิแกนด์ในบทปฏิบัติการที่ 2	250
20 ชุดกรองสำหรับบทปฏิบัติการที่ 4	260
21 สีของสารละลายเมื่อเติมลิแกนด์ในบทปฏิบัติการที่ 5	268

- 22 สีของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ความเข้มข้น 1×10^{-3} , 3×10^{-3}
 5×10^{-3} , 7×10^{-3} และ 1×10^{-2} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร 273
- 23 สีของสารละลายนิกเกิลซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต ความเข้มข้น 1×10^{-4} , 3×10^{-4}
 5×10^{-4} , 7×10^{-4} และ 1×10^{-3} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร 279

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ประเทศไทยในอดีตมีทรัพยากรธรรมชาติอุดมสมบูรณ์ ส่งผลให้ประชาชนมีความสัมพันธ์แนบแน่นกับสิ่งแวดล้อม มีการดำรงชีวิตที่ดี ปัญหาสิ่งแวดล้อมยังไม่ปรากฏมากนัก เนื่องจากผู้คนในยุคต้น ๆ มีชีวิตภายใต้อิทธิพลของธรรมชาติ ความเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมเป็นไปอย่างค่อยเป็นค่อยไป ธรรมชาติจึงสามารถปรับความสมดุลของมันได้ แต่ในปัจจุบันสภาพของทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมตกอยู่ในสถานะเสื่อมโทรมที่ค่อนข้างรุนแรง เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมอย่างมากมาย ซึ่งสาเหตุหลักของปัญหาสิ่งแวดล้อม คือ 1) การเพิ่มของประชากร ซึ่งเป็นการเพิ่มในอัตราทวีคูณ เมื่อประชากรเพิ่มมากขึ้นความต้องการบริโภคทรัพยากรก็เพิ่มขึ้นทุกทาง 2) การขยายตัวทางเศรษฐกิจและความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยี ความเจริญทางเศรษฐกิจนั้นทำให้มาตรฐานการดำรงชีวิตสูงตามไปด้วย มีการบริโภคทรัพยากรจนเกินความจำเป็นขึ้นพื้นฐานของชีวิต และมีความจำเป็นต้องใช้พลังงานมากขึ้นตามไปด้วย ในขณะที่ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีก็ช่วยเสริมให้วิธีการนำทรัพยากรมาใช้ได้ง่ายขึ้นและมากขึ้น (สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. 2530 : 18) นำมาซึ่งผลสืบเนื่องอันเกิดจากปัญหาสิ่งแวดล้อมในหลายประการ คือ ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติร่อยหรอ เนื่องจากมีการใช้ทรัพยากรอย่างไม่ประหยัด และเกิดภาวะมลพิษ เช่น มลพิษทางน้ำ ทางอากาศ ทางเสียง สารเคมี และมลพิษจากสารปนเปื้อนในอาหาร ฯลฯ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการเร่งรัดทางด้านอุตสาหกรรมนั่นเอง

ปัญหามลพิษทางน้ำ มีสาเหตุที่สำคัญประการหนึ่งมาจากการที่โรงงานอุตสาหกรรมปล่อยน้ำทิ้งที่มีลักษณะไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในกิจการอื่นต่อไป เช่น น้ำทิ้งนั้นมีอินทรีย์สารปนเปื้อนหรือมีโลหะหนักและสารพิษบางชนิดปนเปื้อนอยู่ไม่เป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด ก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำซึ่งโลหะหนักและสารพิษเหล่านั้นสามารถสะสมตามห่วงโซ่อาหาร และเป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ในที่สุดได้

น้ำทิ้งที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติโดยมิได้ผ่านการบำบัดก่อน มักก่อให้เกิดปัญหาการเสื่อมสภาพของแหล่งน้ำ หรือเกิดมลพิษทางน้ำ ซึ่งจัดเป็นปัญหาสำคัญที่ประเทศไทยกำลังประสบอยู่ แม้ว่ากฎหมายโรงงานกำหนดให้โรงงานทุกโรงงานต้องมีระบบบำบัดน้ำเสียให้ได้มาตรฐานก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ (พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535) โดยมีขั้นตอน

การบำบัดน้ำเสียหลายขั้นตอน แต่ก็ยังปรากฏว่าโรงงานบางส่วนมีการหลีกเลี่ยงการบำบัดน้ำเสีย ทั้งนี้ ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. (2539 : 61-62) ได้กล่าวว่า โรงงานที่มักปล่อยโลหะหนักลงสู่แหล่งน้ำจำนวนมากในปัจจุบัน คือ โรงงานประเภทชุบโลหะ

จากการศึกษาปริมาณและคุณสมบัติน้ำทิ้งเฉลี่ย จากโรงงานชุบโลหะในเขตกรุงเทพมหานคร เปรียบเทียบกับประเทศอื่นโดย วินัย สมบูรณ์. (2533 : 60) พบว่า น้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะของประเทศไทยมี ระดับการปนเปื้อนของโครเมียม นิกเกิล สังกะสี และทองแดง สูงมาก เนื่องจากสาเหตุหลายประการ ได้แก่

- ก. โรงงานชุบโลหะตั้งกระจัดกระจายอยู่ทั่วไป ทำให้ไม่สามารถสร้างระบบบำบัดรวมได้
- ข. การบำบัดของแต่ละโรงงานมักไม่คุ้มค่ากับการลงทุน เนื่องจากปริมาณน้ำเสียมีน้อย
- ค. โรงงานส่วนใหญ่เป็นโรงงานขนาดกลาง และเล็ก มีเนื้อที่และเงินทุนน้อย และขาดบุคลากรที่ชำนาญในการควบคุมระบบบำบัด

ง. มีปัญหาในการกำจัดกากตะกอนที่เกิดขึ้นหลังการบำบัด

ซึ่งในการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของสารเคมี และโลหะหนัก ในปัจจุบันใช้กระบวนการทางเคมีและฟิสิกัลเคมี ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วยังมีสารเคมี และโลหะหนักเหลืออยู่ ทำให้ต้องนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมาผ่านกระบวนการอื่น ๆ อีก เพื่อให้ น้ำทิ้งมีค่าตามมาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม (ฉวีพันธ์ ทรวงเกียรติกุล. 2539 : 1)

จากเหตุผลข้างต้น จึงควรที่จะศึกษาหาวิธีการบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมกับสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น ซึ่งควรเป็นวิธีที่ประหยัด สะดวก ง่ายต่อการควบคุม และมีประสิทธิภาพในการบำบัด

เกศสุชา พูลคำ. (2537 : 1) ได้กล่าวถึง การพิจารณาวัดสุ่อื่นที่มีคุณสมบัติคล้ายกันกับเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่สังเคราะห์จากกระบวนการเคมีมาใช้ในกระบวนการบำบัดแบบฟิสิกัลเคมี ว่าเป็นแนวทางหนึ่ง值得พิจารณาเพื่อลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียให้ราคาถูกลงและโดยที่วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น เปลือกไม้ เปลือกผลไม้ ขี้เลื่อย กากใบชา ฯลฯ เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออนได้ตามธรรมชาติ เนื่องจากส่วนประกอบของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมีองค์ประกอบของ เซลลูโลส ลิกนิน ซึ่งภายในมีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้

ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดว่าควรจะนำวัสดุธรรมชาติมาใช้แทนเรซินสังเคราะห์ในการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นก่อนที่จะทำการบำบัดต่อในขั้นต่อไป ซึ่งในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้และความสามารถของวัสดุธรรมชาติ ในการดูดซับทองแดงและนิกเกิล ที่พบมากกว่าปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะเสมอ ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่ส่วนใหญ่มีขนาดเล็ก

และกระจายอยู่ตามจังหวัดต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก การใช้วัสดุธรรมชาติเป็นการช่วยลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสีย และยังเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับประเทศที่กำลังพัฒนาซึ่งมีพื้นฐานมาจากการเกษตรกรรมเช่นประเทศไทยอีกด้วย ข้อมูลพื้นฐานที่ได้จากการทดลองครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ในการจัดการศึกษาด้านสิ่งแวดล้อมอย่างมาก ซึ่งในปัจจุบันการศึกษาเรื่องสิ่งแวดล้อมมีความสำคัญมากและต้องอาศัยความร่วมมือจาก หลายฝ่าย วินัย วีระพัฒนานนท์. (2539 : 24) ได้กล่าวไว้ว่าในระดับมัธยมศึกษาได้บรรจุเนื้อหาสิ่งแวดล้อมศึกษาในรายวิชา โดยการสอดแทรกเข้าไปในรายวิชาต่าง ๆ กระจายกันไป ซึ่งปรากฏชัดเจนอยู่ในรายวิชาสังคมศึกษา และวิทยาศาสตร์ จากข้อมูลที่ได้ค้นคว้าเพิ่มเติมพบว่าในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายนั้นมีวิชาที่เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมโดยตรง โดยจะเห็นได้จากเอกสารคำสั่งกระทรวงศึกษาธิการที่ วก 872/2539 เรื่อง เพิ่มเติมหลักสูตรมัธยมศึกษาตอนปลาย พุทธศักราช 2524 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2533) ลงวันที่ 12 กันยายน 2539 ได้เพิ่มเติมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (ว 411) 3 คาบ/สัปดาห์/ภาค 1.5 หน่วยการเรียนรู้ ในวิชาบังคับเลือก สำหรับเนื้อหาในการจัดการเรียนการสอนจะเน้นนิเวศวิทยาและสภาพปัญหาเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเสนอเนื้อหาสำหรับแทรกเข้าไปเป็นตัวอย่างในการเรียนการสอน โดยเป็นการศึกษาในเชิงเคมีวิเคราะห์เป็นแนวทางที่สามารถใช้สอนในวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม อีกแนวทางหนึ่ง

การศึกษาเชิงเคมีวิเคราะห์โดยทั่วไป ต้องใช้การทดลองที่เป็นมาตรฐานเป็นพื้นฐานในการศึกษา ซึ่งอาจเป็นการยากหรือไม่เหมาะสม ไม่สะดวกในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน อันเป็นข้อจำกัดที่ทำให้นักเรียนได้เข้าถึงสิ่งแวดล้อมได้ยากมากยิ่งขึ้น ซึ่งเจริญ บุญญวัฒน์ (2511 : 26) กล่าวว่า การที่ผู้เรียนได้ประพฤติปฏิบัติต่อสิ่งแวดล้อมโดยตรง จะทำให้เกิดทักษะหรือนิสัยที่ถือเป็นกิจปฏิบัติที่ต้องเกิดการเรียนรู้ เกิดความรับรู้ และความรู้สึกผูกพันต่อสิ่งแวดล้อมได้มาก อีกทั้งการเรียนการสอนที่มีการทดลองนับว่ามีคุณประโยชน์หลายประการ ที่สำคัญคือช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ง่าย รวดเร็ว ทำให้บทเรียนเป็นที่น่าสนใจ

✓ อนึ่ง ยังไม่ปรากฏว่ามีผู้ใดทำแนวการสอนสิ่งแวดล้อมในเชิงเคมีวิเคราะห์ เพื่อให้เด็กได้มีโอกาสเรียนสิ่งแวดล้อมตามแนวเคมีมากขึ้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำผลการทดลองที่ผู้วิจัยได้ศึกษาดังกล่าว มาเขียนเป็นบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ โดยเน้นการทดลอง ซึ่งจะเป็นส่วนหนึ่งสำหรับการศึกษาในวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ในลักษณะเป็นบทปฏิบัติการเฉพาะเรื่อง ในการวิจัยครั้งนี้ ได้ศึกษาความสามารถของวัสดุธรรมชาติที่ดูดซับโลหะหนัก โดยพยายามหาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่เหมาะสมกับการนำไปใช้สร้างบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ทั้งนี้ในการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักได้ใช้วิธีการศึกษาการเกิดสีของสารประกอบเชิงซ้อนของทองแดงและนิกเกิล ที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยากับลิแกนด์ที่

เหมาะสม เพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการบอกปริมาณทองแดงและนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ แทนการใช้เครื่องมือขั้นสูง คือ อะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ หรือเครื่องอัลตราไวโอเลตวิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีราคาแพงและไม่มีในโรงเรียนระดับมัธยมศึกษา

จากนั้นทำการทดลองหาประสิทธิภาพของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้วัสดุธรรมชาติที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น คือ แกลบ ฟาง ขี้เถ้า และผักตบชวา โดยใช้ผลการทดลองของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีเป็นมาตรฐานในการบอกว่าวัสดุธรรมชาติชนิดใดมีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะได้

เมื่อทำการทดลองในห้องปฏิบัติการสำเร็จเรียบร้อยแล้ว จึงนำเอาผลการทดลองนี้ใช้เป็นแนวทางในการเขียนบทปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก เพื่อนำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นนี้ไปทดลองใช้กับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เมื่อนักเรียนได้เรียนรู้เนื้อหาเกี่ยวกับเรื่อง มลพิษทางน้ำที่เกิดจากโรงงานชุบโลหะ และความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนักที่เหมาะสม และเป็นจริงตามสภาพและสถานการณ์สิ่งแวดล้อมที่ปรากฏในประเทศไทย นักเรียนจะเกิดความรู้ ความเข้าใจข้อเท็จจริง หลักการ มโนทัศน์ และข้อสรุปต่าง ๆ ทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งจะช่วยพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ นิสัยในการทำงานและเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ อันส่งผลให้นักเรียนเกิดความตระหนักว่าตนเองมีหน้าที่ และบทบาทอย่างสำคัญในการช่วยอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติ เพื่อแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เสื่อมโทรม นอกจากนี้ประโยชน์ของการวิจัยครั้งนี้อีกประการหนึ่งก็คือ เป็นแนวทางในการผลิตสื่อการเรียนการสอนสำหรับเนื้อหาวิชาวิทยาศาสตร์ สิ่งแวดล้อมแก่ผู้สนใจในการพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ต่อไป อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการนำไปใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียได้ และผู้วิจัยหวังว่า การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ในครั้งนี้จะส่งผลให้การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บรรลุวัตถุประสงค์การเรียนรู้มากยิ่งขึ้น

ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า

1. เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมในการตรวจหาและวิเคราะห์ปริมาณทองแดงและนิกเกิลในน้ำ โดยศึกษาความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก เพื่อใช้ในการพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

2. เพื่อนำผลการทดลองไปพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก สำหรับการเรียนรู้การสอนนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

3. เพื่อศึกษาผลของการใช้บทปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น ในการสอนวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ผลของการวิจัยที่ได้จะมีประโยชน์ต่อเรื่องต่อไป

1. ได้แนวทางที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำ สำหรับนำไปใช้ในการเรียนการสอนในวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

2. ได้แนวทางในการพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่เน้นทักษะปฏิบัติการทดลอง โดยมีเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางน้ำที่เกิดจากโรงงานชุบโลหะและความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก

3. บทปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นทำให้ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจ อีกทั้งสร้างความตระหนักให้นักเรียนรู้จักคิด รู้จักวิเคราะห์ สามารถมีแนวความคิดในการมีส่วนร่วมในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ และบทปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นจะเป็นแนวทางในการใช้สอนวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 อันจะส่งผลให้เกิดการพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชาชนและพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ให้มีคุณภาพยั่งยืนในโอกาสต่อไป

ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ซึ่งดำเนินการศึกษาค้นคว้า 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ขอบเขตของการทดลองในห้องปฏิบัติการ

1.1 ศึกษาหาลิแกนด์ที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยากับทองแดง (Cu) และนิกเกิล (Ni) และนำมาเป็นมาตรฐานในการตรวจหาและวิเคราะห์ปริมาณนิกเกิลและทองแดงที่มีอยู่ในน้ำเสีย โดยวิธีการทางวิธีเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี

1.2 ศึกษาความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะทองแดงและนิกเกิลที่อยู่ในน้ำเสียสังเคราะห์ ในการวิจัยครั้งนี้ใช้ แกลบ ฟางข้าว ขี้เถ้า และผักตบชวา เป็นตัวดูดซับ

ตอนที่ 2 ขอบเขตของการพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ ได้กำหนดเนื้อหาที่นำมาพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ และคู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เฉพาะเรื่อง มลพิษทางน้ำที่เกิดจากโรงงานชุบโลหะ และความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก ซึ่งประกอบไปด้วยบทปฏิบัติการ 7 บท ดังนี้

บทปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง	การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น
บทปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง	การตรวจสอบหาทองแดงและนิกเกิลในน้ำ
บทปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง	พิษของทองแดงและนิกเกิลที่มีต่อการเจริญเติบโตของเมล็ดถั่วเขียว
บทปฏิบัติการที่ 4 เรื่อง	การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะด้วยการทำให้เกิดตะกอน
บทปฏิบัติการที่ 5 เรื่อง	คุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนักของวัสดุธรรมชาติ
บทปฏิบัติการที่ 6 เรื่อง	การวิเคราะห์หาปริมาณทองแดงที่เหลือจากการดูดซับโดยวัสดุธรรมชาติด้วยวิธีเทียบสี
บทปฏิบัติการที่ 7 เรื่อง	การวิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิลที่เหลือจากการดูดซับโดยวัสดุธรรมชาติด้วยวิธีเทียบสี

ตอนที่ 3 ขอบเขตของการนำบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอน

3.1 แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการทดลองสอน

แหล่งข้อมูลที่ใช้เป็นกลุ่มทดลองครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนโคกกระทิงวิทยาลัย จังหวัดลพบุรี ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2541 ที่เรียนแผนการเรียนวิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรมัธยมศึกษาตอนปลาย พุทธศักราช 2524 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2535) จำนวน 30 คน

3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองสอน

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เป็นการศึกษาผลการใช้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น ซึ่งตัวแปรที่ศึกษา คือ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

3.3 ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองสอน

กระทำใน เดือนมิถุนายน ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2541 ทำการทดลองสอนนักเรียนในชั่วโมงอิสระจำนวน 4 สัปดาห์ ๆ ละ 2 วัน ๆ ละ 2 คาบต่อเนื่อง (คาบละ 50 นาที) รวม 14 คาบ

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ หมายถึง กิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่นำความรู้ เรื่องมลพิษทางน้ำที่เกิดจากโรงงานชุบโลหะ และความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก มาสร้างเป็นกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ซึ่งพัฒนามาจากการทำการทดลองในห้องปฏิบัติการที่ผู้วิจัยเป็นผู้ทดลอง

2. วัสดุธรรมชาติ หมายถึง เศษของพืชหรือวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมทางการเกษตรที่เป็นชิ้นส่วนที่ถูกตัดทิ้ง คัดออก แยกออก ในขั้นตอนการเก็บเกี่ยว หรือขั้นตอนต่าง ๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม ชีวดีประจำวันหรือวัชพืชที่ขึ้นอยู่ตามธรรมชาติ ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้หมายถึง จีเลื้อย แกลบ ฟางข้าว และผักตบชวา

3. ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก หมายถึง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนักจากน้ำเสียสังเคราะห์ไว้ สำหรับการวิจัยครั้งนี้จะใช้วิธีการวิเคราะห์โดยพิจารณาจากปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือจากการดูดซับโดยวัสดุธรรมชาติ

4. โลหะหนัก หมายถึง โลหะ หรือไอออนโลหะ ในการวิจัยครั้งนี้ คือ ไอออนของทองแดง (Cu^{2+}) และ นิกเกิล (Ni^{2+}) ที่มีอยู่ในน้ำเสียสังเคราะห์

5. น้ำเสียสังเคราะห์ หมายถึง สารละลายที่เตรียมจากคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต และนิกเกิลซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต เพื่อใช้ในการศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของวัสดุธรรมชาติ

6. ลิแกนด์ หมายถึง โมเลกุลหรือไอออนที่เกิดพันธะโคเวเลนต์แบบโคออร์ดิเนตกับคอปเปอร์ (II) ไอออน และ นิกเกิล (II) ไอออน ในการวิจัยครั้งนี้ คือ แอมโมเนีย และ ไคเมทิลไกลออกซิม ซึ่งจะทำให้น้ำเสียสังเคราะห์เกิดสีและเกิดตะกอน

7. แบลงค์ หมายถึง น้ำกลั่นและน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นที่ทดลอง ซึ่งทำการทดลองเช่นเดียวกับสารละลายที่แช่ในวัสดุธรรมชาติ เพื่อใช้เป็นสารละลายมาตรฐานในการเทียบสีสำหรับหาความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือจากการดูดซับโดยวัสดุธรรมชาติ

8. ประสิทธิภาพในการดูดซับ หมายถึง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับ โลหะทองแดงและนิกเกิลออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยคิดเป็นร้อยละของการดูดซับ ดังนี้

ร้อยละของการดูดซับ

$$= \frac{\text{ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้น} - \text{ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ}}{\text{ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

9. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง ผลการเรียนรู้ ของนักเรียนด้านความรู้ความเข้าใจ การนำไปใช้ และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ในการวิจัยครั้งนี้ได้จากการตอบแบบทดสอบหลังการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น

10. ทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความสามารถของบุคคลในการสืบเสาะหาความรู้โดยผ่านการปฏิบัติการและการฝึกฝนอย่างมีระบบจนเกิดความรู้ด้านปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ซึ่งผู้วิจัยวัดได้จากคะแนนสอบที่ได้ จากการตอบแบบทดสอบวัดความรู้ด้านทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ หลังจากการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น ซึ่งคัดแปลงตามแนวคิดของ สุนีย์ คล้ายนิล (1984 : 257) ในด้านเทคนิคการทดลอง (Experimental Technique : ET) และการดำเนินการทดลอง (Procedure : PD)

11. ประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ หมายถึง ผลที่ได้จากการวัดความรู้ความเข้าใจของนักเรียนหลังจากที่ได้เรียนโดยใช้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น ให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้กำหนด 80/80 โดยวัดจากการตอบคำถามท้ายบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและแบบทดสอบวัดทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

12. เกณฑ์ 80/80 หมายถึง เกณฑ์ในการพิจารณาผลของการเรียนการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น โดย 80 ตัวแรก หมายถึง คะแนนของนักเรียนที่ตอบคำถามท้ายบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทุกบทปฏิบัติการ โดยเฉลี่ยทั้งกลุ่มคิดเป็นร้อยละ 80 ส่วน 80 ตัวหลัง หมายถึง นักเรียนทุกคนที่ทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์และทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์หลังเรียนทุกบทปฏิบัติการ โดยเฉลี่ยทั้งกลุ่มคิดเป็นร้อยละ 80

13. นักเรียน หมายถึง นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนโคกกระทิงวิทยาลักษ์ จังหวัดลพบุรี ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2541 ที่เรียนแผนการเรียนวิทยาศาสตร์ตามหลักสูตรมัธยมศึกษาตอนปลาย พุทธศักราช 2524 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2535)

14. เจตคติต่อการเรียนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความคิดเห็น ความรู้สึกของนักเรียนที่มีต่อการเรียนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ซึ่งพิจารณาโดยรวมใน 4 ระดับ คือ การเห็นความสำคัญและประโยชน์ ความนิยมชมชอบ ความสนใจ แนวโน้มการแสดงออกต่อสิ่งแวดล้อมในการเรียนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ตามแนวการวัดเจตคติต่อวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของวิชัย พุ่มเต็ม (2538 : 59-65) ในการวิจัยครั้งนี้ วัดเจตคติต่อการเรียนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น โดยใช้แบบสอบถามวัดเจตคติต่อการเรียนบทปฏิบัติการดังกล่าว

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยจะนำเสนอตามลำดับ ดังต่อไปนี้

1. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสอนสิ่งแวดล้อมศึกษา
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
 - 2.1 การเรียนการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
 - 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
3. เอกสารและงานวิจัยเกี่ยวกับโลหะหนัก การดูดซับและการวิเคราะห์โลหะหนัก
 - 3.1 โลหะหนัก
 - 3.2 การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย
 - 3.3 องค์ประกอบในเซลล์พืช
 - 3.4 สารเซตดูโลสแลกเปลี่ยนไอออน
 - 3.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้วัสดุธรรมชาติเป็นสารดูดซับโลหะหนัก
 - 3.6 ทฤษฎีการดูดซับ หรือการดูดติดผิว
 - 3.7 การหาปริมาณสารโดยใช้วิธีดูดกลืนแสง
 - 3.8 การเกิดสารประกอบเชิงซ้อน

สมมติฐานของการศึกษาค้นคว้า

1. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมศึกษา

จากการประชุมเพื่อรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมของสภาคุณภาพสิ่งแวดล้อม (Council on Environmental Quality. 1970 : 221 - 222) ณ กรุงวอชิงตัน ปี 1970 ได้ให้ความหมายของสิ่งแวดล้อมไว้ว่าเป็นกระบวนการทางการศึกษาที่ช่วยให้ผู้เรียนได้เข้าใจถึงระบบการทำงานของธรรมชาติในทุกส่วน และรู้ถึงความสัมพันธ์ของแต่ละส่วนที่มีต่อกันและมีต่อส่วนอื่น ๆ เป็นการศึกษามุ่งในหลาย ๆ สาขาวิชาพร้อม ๆ กัน ไม่ใช่การศึกษาที่มุ่งเฉพาะระบบนิเวศวิทยาเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อให้มนุษย์ได้เก็บความสำคัญของสิ่งแวดล้อม ได้รู้จักทุกสิ่งทุกอย่างรอบตัวมนุษย์และมีการแนะแนวทางว่ามนุษย์ควรมีบทบาทและพฤติกรรมต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไร

ซึ่งในการประชุมสากลเกี่ยวกับหลักสูตรสิ่งแวดล้อมในโรงเรียน ที่จัดขึ้นโดย ไอ ยู ซี เอ็น (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources) ได้ให้ความหมายของสิ่งแวดล้อมศึกษาไว้ว่า เป็นกระบวนการที่จะทำให้เห็นคุณค่าและพัฒนาแนวคิดให้ชัดเจนขึ้น เพื่อที่จะพัฒนาทักษะและทัศนคติที่จำเป็นสำหรับความเข้าใจและความซาบซึ้งเกี่ยวกับความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันของมนุษย์ ตลอดจนสภาพแวดล้อมของวัฒนธรรมของมนุษย์ สามารถวางเงื่อนไขในการปฏิบัติเกี่ยวกับการตัดสินใจและกำหนดพฤติกรรม มองตนเองในแง่ผลประโยชน์ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพสิ่งแวดล้อม

และในปี พ.ศ.2520 ได้มีการจัดประชุมสิ่งแวดล้อมศึกษาระดับโลก (International Conference on Environmental Education) ขึ้นที่เมืองทิบลิซี ประเทศรัสเซีย เพื่อสรุปเป้าหมายสิ่งแวดล้อมศึกษาให้อยู่ในแนวทางเดียวกัน กล่าวคือ สิ่งแวดล้อมศึกษามีเป้าหมาย “เพื่อส่งเสริมบุคคลให้ มีความตระหนักถึงความสัมพันธ์ระหว่างเศรษฐกิจ สังคม การเมือง และระบบนิเวศทั้งในเมืองและชนบท โดยเปิดโอกาสให้บุคคลได้รับความรู้ ค่านิยม เจตคติ และทักษะที่จำเป็นเพื่อป้องกันและปรับปรุงคุณภาพสิ่งแวดล้อมรวมทั้งรูปแบบพฤติกรรมส่วนบุคคล ชุมชนและสังคมที่เอื้อต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม” (UNESCO - UNEP. 1976 : 5) และจากการประชุมครั้งนี้ได้มีการนำไปพัฒนาเป็นขั้นตอนเพื่อใช้กำหนดวัตถุประสงค์สิ่งแวดล้อมศึกษา วัตถุประสงค์ในการเรียนการสอน กำหนดเนื้อหา และวิธีการ ตลอดจนการประเมินผล ซึ่งเป็นเป้าหมายสิ่งแวดล้อมศึกษาที่ประเทศต่าง ๆ ยอมรับและนำมาพัฒนาเป็นหลักในการพิจารณาหลักสูตร การเรียนการสอน และการรณรงค์เพื่อการอนุรักษ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม

สามารถกล่าวโดยสรุปได้ว่าสิ่งแวดล้อมศึกษา เน้นกระบวนการทางการศึกษาที่ให้ความรู้ ความเข้าใจถึงความคิดรวบยอดทางสิ่งแวดล้อม จนเกิดความตระหนัก (Environmental Conceptual Awareness) เพื่อปลูกจิตสำนึก สร้างเจตคติ ค่านิยม ความรับผิดชอบในการให้

ความร่วมมือป้องกันแก้ไขปัญหาดังกล่าว รวมทั้งให้เกิดทักษะในการประเมินหาทางเลือกที่เหมาะสมในการตัดสินใจพัฒนาคุณภาพชีวิตและคุณภาพสิ่งแวดล้อม และสิ่งแวดล้อมศึกษามีปรัชญาและเป้าหมายสูงสุดคือมุ่งหวังที่จะให้มนุษย์มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น มีความสามารถที่จะเลือกวิถีการดำรงชีวิตได้อย่างผาสุก โดยมีเจตคติ ค่านิยมและพฤติกรรมที่ส่งเสริมสนับสนุนให้ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมสามารถอยู่ให้คนรุ่นหลังได้ชื่นชมและใช้สอยต่อไปชั่วนานเท่านาน ซึ่งเป้าหมายของสิ่งแวดล้อมศึกษาสามารถถ่ายทอดไปสู่ตัวนักเรียนอย่างมีประสิทธิภาพได้ โดยใช้กระบวนการทางการศึกษาผ่านระดับการศึกษาต่าง ๆ ถึงระดับมหาวิทยาลัย การเรียนการสอนในชั้นเรียนเข้ามาช่วยให้เกิดความรู้ ความเข้าใจ และความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม มีการพัฒนาทักษะในการตัดสินใจที่ถูกต้อง มีพฤติกรรมที่ส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมและให้ความร่วมมือในการป้องกันแก้ไขปัญหาดังกล่าว

จากความหมายและขอบเขตของสิ่งแวดล้อมศึกษา เป้าหมาย วัตถุประสงค์และหลักการของสิ่งแวดล้อมศึกษา นักวิชาการในประเทศไทยได้นำมาเป็นแนวทางในการพัฒนาการจัดสิ่งแวดล้อมศึกษา โดยในปัจจุบันการจัดหลักสูตรสิ่งแวดล้อมศึกษา สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบที่อยู่ในระบบโรงเรียนและแบบที่อยู่นอกระบบโรงเรียน โดยในแบบแรกจะมีการให้การศึกษาระดับชั้นอนุบาล ประถมศึกษา มัธยมศึกษา และในระดับอุดมศึกษา ส่วนการศึกษาแบบนอกระบบนั้น ได้แก่ การให้การศึกษาระหว่างสื่อมวลชน โดยใช้ระบบการสื่อสารและโทรคมนาคม เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการนำเอาวิทยาการต่าง ๆ เผยแพร่ไปยังประชาชนทุกระดับทั่วประเทศ

เท่าที่ผ่านมากำหนดเนื้อหาวิชาทางด้านสิ่งแวดล้อม สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีการด้วยกัน คือ (ทวี หอมขง. 2538 : 59)

แบบที่ 1 แบบกระจายเนื้อหาวิชาด้านสิ่งแวดล้อมออกเป็นส่วนย่อย ๆ แล้วบรรจุลงไปในเนื้อหาของวิชาหลัก เช่น วิทยาศาสตร์และสังคมศึกษา

แบบที่ 2 การบรรจุความรู้เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมลงในหลักสูตร ในรูปของเนื้อหาที่เป็นวิชาการทางด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ปรัชญา และแนวคิดของวิชาสิ่งแวดล้อมอย่างครบถ้วนโดยมีจุดมุ่งหมายว่า จะให้ผู้เรียนได้มีความเข้าใจอย่างถ่องแท้ถึงความสำคัญของสิ่งแวดล้อม ตลอดจนรูปลักษณะที่แท้จริงของวิชานี้

สำหรับเนื้อหาที่จะนำมาใช้ในการเรียนการสอนระดับมัธยมศึกษาในปัจจุบันได้กำหนดเป็นรายวิชาไว้อย่างชัดเจน

ในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย กระทรวงศึกษาธิการได้มีคำสั่งกระทรวงศึกษาที่ วก 827/2539 เรื่อง เพิ่มเติมเนื้อหาวิชา โครงสร้างวิชาและปรับปรุงเนื้อหาการเรียนวิทยาศาสตร์ในหลักสูตรมัธยมศึกษาตอนปลาย พุทธศักราช 2524 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ.2533) โดยเพิ่มเติมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (ว 411) ในวิชาบังคับเลือก 3 คาบ/สัปดาห์/ภาค 1.5 หน่วยการเรียนรู้ ซึ่งมีคำอธิบายราย

วิชามาให้ แต่สำหรับเอกสารประกอบการสอนยังอยู่ในขั้นการทดลองใช้ โดยมีเนื้อหาของกิจกรรมเกี่ยวกับ ระบบนิเวศและปัจจัยในระบบนิเวศ พลังงาน และการหมุนเวียนของสารในระบบนิเวศ ประชากรมนุษย์กับทรัพยากรธรรมชาติ เช่น ดิน น้ำ อากาศ ป่าไม้ ฯลฯ การเสริมสร้างสิ่งแวดล้อมในชุมชน เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืนและคุณภาพชีวิตที่ดี (สสวท. 2540 : 1 - 26) ซึ่งในการจัดการเรียนการสอน โรงเรียนสามารถดำเนินการได้ตามความเหมาะสม โดยขึ้นอยู่กับความพร้อมของบุคลากร และการให้การสนับสนุนจากผู้บริหารโรงเรียน

อย่างไรก็ตามจากการปรับปรุงหลักสูตรในระดับมัธยมศึกษาในปี 2533 กระทรวงศึกษาธิการได้เปิดโอกาสให้สถานศึกษาในท้องถิ่นต่าง ๆ มีโอกาสปรับปรุงหลักสูตรให้เหมาะสมกับสภาพความต้องการของบุคคลในชุมชนนั้น ๆ โดยเฉพาะหลักสูตรวิทยาศาสตร์เป็นหลักสูตรที่เปิดโอกาสให้มีการจัดการเรียนการสอนที่เอื้อต่อการเรียนรู้ในด้านสิ่งแวดล้อมศึกษา ทั้งในทางตรงและทางอ้อม ในทางตรงได้แก่ การจัดกิจกรรมชุมนุมวิทยาศาสตร์ การจัดกิจกรรมชุมนุมนักสิ่งแวดล้อมเรียนรู้ การจัดทำโครงการวิทยาศาสตร์ทางด้านสิ่งแวดล้อม การจัดค่ายวิทยาศาสตร์ การจัดค่ายอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ฯลฯ ส่วนในทางอ้อม ได้แก่ การปรับปรุงกิจกรรมการเรียนการสอน และการปรับปรุงบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ให้สอดคล้องกับการสอนวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม กำจัดเป็นสิ่งที่ควรเร่งรีบกระทำเป็นอย่างยิ่ง (ทวี หอมขง. 2538 : 61)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำเสนอแนวทางในการเรียนการสอนสิ่งแวดล้อมในลักษณะบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่เหมาะสมกับสภาพการเรียนการสอนของโรงเรียนมัธยมศึกษา ซึ่งเป็นกิจกรรมการเรียนการสอนแบบหนึ่งที่จะมีในวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวกับบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

ปฏิบัติการ ตามความหมายในพจนานุกรมไทย ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พุทธศักราช 2525 (2531 : 494) หมายถึง การทดลอง พิสูจน์ข้อเท็จจริงตามทฤษฎี ส่วนความหมายของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์นั้นยังไม่มีผู้ให้นิยามไว้ แต่มีนักการศึกษาหลายท่านได้ให้แนวคิดเกี่ยวกับปฏิบัติการไว้ดังนี้

พาดิลลา (Padilla) นักการศึกษาจากประเทศเม็กซิโก ได้กล่าวไว้ในการประชุมนานาชาติเกี่ยวกับการศึกษาวิชาเคมี IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) ที่ประเทศไอร์แลนด์ เมื่อปี ค.ศ.1976 สรุปได้ว่า การเรียนการสอนวิชาเคมีที่เน้นการทดลองเป็นหลัก จะก่อให้เกิดทักษะในการศึกษาค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์ต่อไป ดังนั้นการสร้างหลักสูตรรายวิชาเคมีใด ๆ ก็ตามควรจะต้องมีการทดลองในทุกหัวข้อของวิชาเคมี เพื่อครูและนักเรียนจะได้ไม่พลั้งเผลอ

ในการเรียนการสอนภาคปฏิบัติ และในการทดสอบจะต้องรวมการทดลองไว้ด้วย (IUPAC, 1979 : 253) ซึ่ง Lunetta and et.al. (1981 : 22 - 25) ได้กล่าวถึงความสำคัญของกิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สรุปได้ว่า กิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์มีส่วนช่วยให้นักเรียนมีความเข้าใจในธรรมชาติ ของวิทยาศาสตร์ ช่วยส่งเสริมพัฒนาการทางสติปัญญาช่วยให้นักเรียนเกิดมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วยพัฒนาเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ในทางนิรนาม (Positive) และเปเรซ (Perez, 1982 : 20 - 21) ได้กล่าวว่าปฏิบัติการวิทยาศาสตร์จะช่วยให้เด็กได้เข้าใจถึงเค้าโครงของวิทยาศาสตร์ได้อย่างสมบูรณ์ จะทำให้เด็กเกิดทักษะในรูปร่างต่าง ๆ และได้รับประสบการณ์เกี่ยวกับกระบวนการสืบสวนหาความรู้

ดังนั้นบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คือ กิจกรรมการทดลองที่เกี่ยวข้องกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ที่จัดเพื่อให้นักเรียนได้ฝึกทักษะกระบวนการอันเป็นหัวใจของวิทยาศาสตร์ นักเรียนจะได้มีโอกาสปฏิบัติการร่วมกันในขณะที่ทำการทดลอง มีโอกาสที่จะได้สัมผัสและรู้จักวิธีใช้อุปกรณ์ของวิทยาศาสตร์ โดยมีครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ

2.1 การเรียนการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

ในด้านการเรียนการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์นั้น ผู้วิจัยจะนำเสนอตามหัวข้อดังต่อไปนี้

1. บทบาทของครูในการเรียนการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
2. ลำดับขั้นตอนในการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
3. ประเภทของการจัดกิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

1. บทบาทของครูในการเรียนการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

ถึงแม้ว่าในการเรียนการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ นักเรียนจะเป็นผู้ลงมือปฏิบัติการทดลอง เพื่อค้นพบข้อเท็จจริงต่าง ๆ ด้วยตนเองก็ตาม แต่ในขณะที่นักเรียนลงมือปฏิบัติการทดลอง ครูก็ยังคงมีบทบาทสำคัญ ซึ่งโฮฟ (Hoff, 1950 : 173 - 175) ได้กล่าวเกี่ยวกับบทบาทของครูไว้ว่า “ครูทำหน้าที่ เป็นผู้ คอยดูแลช่วยเหลือนักเรียน เมื่อนักเรียนต้องการความช่วยเหลือ โดยครู อยู่ในห้องที่นักเรียนทำการทดลองตลอดเวลาและควรยืนอยู่ในตำแหน่งที่นักเรียนทุกคนสามารถมองเห็นได้ทั่วถึง”

ประวิตร ชุติลปี (2524 : 5 - 6) กล่าวว่าบทบาทของครูมีอยู่ 3 ตอนด้วยกัน คือ

ตอนที่ 1 การอภิปรายก่อนทดลอง (Pre - Lab Discussion) ครูจะต้องเตรียมคำถามต่าง ๆ เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนอยากรู้อยากเห็น คิด สงสัย หรือแนะแนวทาง เพื่อให้นักเรียน

ได้สืบเสาะหาคำตอบต่อไป ตลอดจนให้คำแนะนำต่าง ๆ

ตอนที่ 2 การให้นักเรียนปฏิบัติการทดลอง (Experiment Period) ครูจะต้องคอยดูแลให้คำแนะนำต่าง ๆ อย่างใกล้ชิด คอยกระตุ้น สนับสนุน และเป็นที่ปรึกษาอยู่ด้วย ไม่ปล่อยให้ นักเรียนปฏิบัติการทดลองตามลำพัง

ตอนที่ 3 การอภิปรายผลการทดลอง (Post - Lab Discussion) ครูจะต้องเตรียมคำถามต่าง ๆ เพื่อช่วยให้นักเรียนสามารถใช้ข้อมูลหรือผลการทดลองที่รวบรวมได้ สรุปเป็นกฎเกณฑ์ ทฤษฎี หรือหลักการต่าง ๆ รวมทั้งอภิปรายถึงข้อผิดพลาดของการทดลองที่อาจเป็นไปได้ด้วย

ในการเรียนการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ครูจึงมีบทบาทเพียงผู้ที่คอยให้คำแนะนำ คอยช่วยเหลือและคอยสนับสนุนให้นักเรียนสนใจและตั้งใจทำปฏิบัติการทดลอง ครูไม่ควรมีบทบาทมากเกินไป ควรปล่อยให้ นักเรียนได้ทำการทดลองค้นคว้าด้วยตนเอง

2. ลำดับขั้นตอนในการเรียนการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

น้อมฤดี จงพฤษะ สมใจ ฤทธิ์สันธิ์ และพยอม ดันมณี (2519 : 44 - 46) กล่าวว่าในการเรียนการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ควรมีลำดับขั้นตอนการสอนดังนี้

1) ขั้นเตรียมกิจกรรม ในขั้นนี้คือ การจัดแบ่งกลุ่มนักเรียน อธิบายถึงระเบียบที่ควรปฏิบัติทดลอง ให้นักเรียนอ่านสรุปปฏิบัติการมาล่วงหน้า และการอธิบายให้นักเรียนรู้จักอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ

2) ขั้นปฏิบัติการ กิจกรรมในขั้นนี้คือ การให้นักเรียนแยกย้ายกันไปตามกลุ่มที่จัดไว้แล้วลงมือปฏิบัติการตามขั้นต่าง ๆ ที่อยู่ในสรุปปฏิบัติการ ให้นักเรียนสังเกตผลการทดลองตามลำดับขั้น และบันทึกผลที่ได้ลงในสมุดในขั้นนี้ ครูจะคอยดูแลนักเรียนกลุ่มต่าง ๆ ให้ทำงานร่วมกันอย่างทั่วถึงและคอยแนะนำข้อสงสัยต่าง ๆ

3) ขั้นสรุปผลและประเมินผล กิจกรรมในขั้นนี้ประกอบด้วย ครูซักถามนักเรียนถึงผลที่ได้จากการปฏิบัติการ ครูและนักเรียนร่วมกันแสดงความคิดเห็นถึงผลที่ได้จากการปฏิบัติการ ครูพยายามส่งเสริมให้นักเรียนเปรียบเทียบผลที่ได้ในกลุ่มของตนและกลุ่มของเพื่อน ๆ ว่ามีสาเหตุอะไรที่แตกต่างกันไป

3. ประเภทของการจัดกิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

ประเภทของการจัดกิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สำหรับให้นักเรียนทำปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ โดยทั่วไป จัดไว้ 2 แบบ คือ

1) การทดลองแบบสำเร็จรูป (Structured Laboratory)

2) การทดลองแบบไม่กำหนดแนวทาง (Unstructured Laboratory)

สเปียร์ส และโซลแมน (Spears and Zollman, 1977 : 34 - 35) ได้กล่าวเกี่ยวกับการจัดกิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ไว้ ดังนี้

การทดลองแบบสำเร็จรูป (Structured Laboratory) เป็นรูปแบบที่เก่าแก่ซึ่งในการทดลองแบบนี้ จะมีคำสั่งและวิธีปฏิบัติการทดลองมาให้ให้นักเรียนเสร็จ

การทดลองแบบไม่กำหนดแนวทาง (Unstructured Laboratory) เป็นรูปแบบที่อยู่บนพื้นฐานของการสืบเสาะ (Inquiry Model) ซึ่งเน้นให้นักเรียนได้ค้นและสืบเสาะในหลักการที่กำลังวิเคราะห์หาคำตอบกันในห้องเรียน

นอกจากนี้ สเปียร์ส และโซลแมน ยังได้เปรียบเทียบขั้นตอนในการทำการทดลองทั้งสองแบบไว้ สรุปได้ดังนี้

<u>การทดลองแบบสำเร็จรูป</u>	<u>การทดลองแบบไม่กำหนดแนวทาง</u>
1. กำหนดปัญหาให้ก่อนพบกันในห้องเรียน	1. กำหนดปัญหาให้ก่อนพบกันในห้องเรียน
2. แนะนำหรือชี้แจงให้นักเรียนทราบถึงเครื่องมือที่จะใช้	2. แนะนำหรือชี้แจงให้นักเรียนทราบถึงเครื่องมือที่จะใช้
3. กำหนดวิธีปฏิบัติการทดลองเพื่อแก้ปัญหา	3. ชักถามนักเรียนเพื่อหาทางแก้ปัญหา
4. ให้นักเรียนตอบคำถามเกี่ยวกับข้อมูลที่ได้ให้นักเรียนลงความเห็นจากข้อมูลและให้อธิบายข้อความเห็น	4. ให้นักเรียนแสดงข้อสรุปจากข้อมูลที่ได้

สรุปได้ว่า การจัดกิจกรรมการทดลองทั้งสองแบบมีขั้นตอนมีความแตกต่างกันอย่างเด่นชัดในขั้นตอนที่ 3 คือ การทดลองแบบสำเร็จรูปจะกำหนดวิธีปฏิบัติการทดลองมาให้ให้นักเรียน ส่วนการทดลองแบบไม่กำหนดแนวทาง จะไม่กำหนดวิธีปฏิบัติการทดลอง สำหรับขั้นตอนแรก ขั้นตอนที่สองและขั้นตอนที่ห้า มีลักษณะคล้าย ๆ กัน

สำหรับการจัดกิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ในโรงเรียนต่าง ๆ ของประเทศไทย ซึ่งในขณะนี้ใช้หลักสูตรของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนั้น กำหนดวิธีปฏิบัติการทดลองมาให้ให้นักเรียน จึงจัดว่าเป็นการจัดการทดลองแบบสำเร็จรูป

จากแนวทางดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้นำเสนอแบบปฏิบัติการที่เป็นการทดลองสำเร็จรูป สำหรับใช้ในการเรียนการสอนในวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมอีกแนวทางหนึ่ง โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยในประเทศ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท. 2519 : 80 - 82) ได้ทำการวิจัยเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์วิชาวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่เรียนหลักสูตรวิทยาศาสตร์ ปี พ.ศ.2503 กับนักเรียนที่เรียนตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์ ปี พ.ศ. 2518 ที่สร้างโดยสถาบันฯ และเน้นทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้ข้อสอบของ IEA (The Internal Association for the Evaluation of Education Achievement) ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนที่เรียนตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์ ปี พ.ศ.2518 มีผลสัมฤทธิ์ในวิชาวิทยาศาสตร์ดีกว่านักเรียนที่เรียนตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์ ปี พ.ศ.2503 และจากการวิเคราะห์ตรวจสอบข้อทดสอบแล้ว พบว่า นักเรียนที่เรียนตามหลักสูตรปี พ.ศ.2518 มีความสามารถในการคิด การทดลอง การวิเคราะห์ และการแก้ปัญหาได้ดี

มานิช วาตะพุกณะ (2523 : 72) ได้ ทำการศึกษาผลสัมฤทธิ์ ด้านทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ และพฤติกรรมด้านทักษะภาคปฏิบัติของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนบุญวัฒนา จังหวัดนครราชสีมา โดยใช้ตัวอย่างประชากร จำนวน 268 คน การดำเนินการวิจัยได้ใช้แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และแบบประเมินพฤติกรรมด้านทักษะภาคปฏิบัติ ผลการวิจัยพบว่า

1. ค่าเฉลี่ยของคะแนนผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์เฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 44.283

2. พฤติกรรมด้านทักษะภาคปฏิบัติมีผลการประเมินแตกต่างจากเกณฑ์ที่คาดหวังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ได้แก่

2.1 พฤติกรรมทักษะภาคปฏิบัติที่มีผลประเมินต่ำกว่าเกณฑ์ที่คาดหวัง ได้แก่ การใช้หลอดคิดยา การใช้หลอดหยด การเตรียมสารละลายกรด การใช้กระดาษทดสอบกรดและเบส การเก็บรักษาแม่เหล็ก การปฏิบัติขณะดมสาร การรินสาร การจับเวลา การทำเครื่องหมาย การใช้หลอดไฟพร้อมข้าว

2.2 พฤติกรรมทักษะภาคปฏิบัติที่มีผลการประเมินสูงกว่าเกณฑ์ที่คาดหวัง ได้แก่ การใช้ตะเกียงอัลกอฮอล์ การใช้ช้อนตักสาร การใช้ไม้หนีบ การใช้แว่นขยาย การวัดความยาว การเขย่าหลอดทดลอง การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า การทำความสะอาดและเก็บรักษาเครื่องมือ

3. พฤติกรรมทักษะภาคปฏิบัติที่มีผลการประเมินไม่แตกต่างจากเกณฑ์ที่คาดหวัง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ได้แก่ การปฏิบัติเมื่อกรดหก การปฏิบัติก่อนดื่มสาร การใช้เทอร์มอมิเตอร์ การคนสาร การใช้ตาชั่ง

4. ค่าเฉลี่ยของคะแนนผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนเพศชาย และหญิง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

5. ค่าเฉลี่ยของคะแนนพฤติกรรมด้านทักษะภาคปฏิบัติของนักเรียนเพศชายและเพศหญิง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

วนา ชลประเวศ (2526 : 79 - 83) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีสอนแบบใช้เกมกับวิธีสอนแบบปฏิบัติการทดลองที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ตัวอย่างประชากรเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 จำนวน 90 คน โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทดลอง 45 คน ใช้วิธีสอนแบบใช้เกม และกลุ่มควบคุม 45 คน ใช้วิธีสอนแบบปฏิบัติการทดลอง ผลการวิจัยพบว่า

1. การสอนด้วยการใช้เกมทำให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ มากกว่าการสอนแบบปฏิบัติการทดลองในทักษะการสังเกต ทักษะการจำแนกประเภท ทักษะการตั้งสมมติฐาน และทักษะการจัดกระทำข้อมูล อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05, .05, .05 และ .01 ตามลำดับ

2. การสอนด้วยปฏิบัติการทดลองได้ผลมากกว่าการสอนโดยใช้เกมในทักษะความสัมพันธ์ระหว่างมิติกับมิติกับเวลา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

3. วิธีสอนทั้งสองให้ผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะการวัด ทักษะการคำนวณ ทักษะการทดลอง และทักษะการแปลความหมายจากข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อัญชลี ไสยวรรณ (2531 : บทคัดย่อ) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลของการจัดประสบการณ์แบบปฏิบัติการทดลองกับแบบผสมผสานที่มีต่อทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของเด็กปฐมวัย ด้านการสังเกตและการจำแนกประเภท กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นอนุบาล 1 โรงเรียนอนุบาลละอออุทิศสภวิทยาลัษณโกสินทร์ สวนดุสิต กรุงเทพมหานคร ปีการศึกษา 2530 จำนวน 1 ห้องเรียน จำนวนนักเรียน 30 คน โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 15 คน กำหนดให้กลุ่มทดลองได้รับการจัดประสบการณ์แบบปฏิบัติการทดลอง และกลุ่มควบคุมได้จัดประสบการณ์แบบผสมผสาน ผลการวิจัยพบว่า

1. เด็กปฐมวัยที่ได้รับการจัดประสบการณ์โดยวิธีปฏิบัติการทดลองกับวิธีผสมผสานมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

2. เด็กปฐมวัยที่ได้รับการจัดประสบการณ์โดยวิธีปฏิบัติการทดลองกับวิธีผสมผสานมีทักษะการสังเกตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

3. เด็กปฐมวัยที่ได้รับการจัดประสบการณ์โดยวิธีปฏิบัติการทดลองกับวิธีผสมผสานมีทักษะการจำแนกประเภทแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

งานวิจัยต่างประเทศ

เกเบิล และรับบา (Gablle and Rubba. 1977 : 503 -511) ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของการสอนและประสบการณ์ของการฝึกสอนที่มีต่อทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ตัวอย่างประชากร เป็นนักศึกษาแผนกวิชาประถมศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนวิชาฟิสิกส์ จำนวน 58 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบทดสอบทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ จากผลการวิจัยพบว่า นักศึกษาที่ได้รับการฝึกกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในห้องปฏิบัติการเพิ่มเติมจะมีคะแนนผลสัมฤทธิ์ในทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สูงกว่าผู้ที่ไม่ได้รับการฝึกเพิ่มเติม

บีสลีย์ (Beasley. 1979 : 5428 - A) ได้ศึกษาผลของการฝึกทักษะปฏิบัติการเคมีโดยใช้วิธีปฏิบัติจริง และวิธีการคิดต่อการปฏิบัติการทดลองเคมีของนักศึกษาที่เรียนวิชาเคมีพื้นฐานเพื่อศึกษา

1. ผลของการฝึกทักษะด้วยการปฏิบัติการทดลองอย่างเดียว
2. ผลของการฝึกทักษะด้วยการคิดอย่างเดียว
3. ผลของการฝึกทักษะด้วยการทดลองและการคิดร่วมกัน

ผู้วิจัยแบ่งนักศึกษออกเป็นกลุ่มทดลอง และกลุ่มควบคุม โดยกลุ่มทดลองแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มย่อย เพื่อศึกษาผลของการฝึกทักษะทั้ง 3 แบบ เกณฑ์ในการประเมินมี 2 เกณฑ์ คือ ความถูกต้อง แม่นยำ (accuracy) และความคงที่แน่นอน (precision) โดยใช้วิธีการสังเกตพฤติกรรมของนักศึกษขณะทำการทดลอง เป็นเวลา 3 สัปดาห์ แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาความแปรปรวน ผลการวิจัยพบว่า

1. ทักษะปฏิบัติการทดลองของนักศึกษาที่ได้รับการฝึกทักษะแบบต่าง ๆ ทั้ง 3 กลุ่มย่อยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
2. นักศึกษาที่ได้รับการฝึกทักษะปฏิบัติการทดลอง แตกต่างจากกลุ่มที่ไม่ได้รับการฝึกอย่างมีนัยสำคัญ

อัลรูวาซิด (Al - Ruwashid. 1984 : 1357 - A) ได้ทำการศึกษาผลของการเรียนการสอนวิชาเคมีที่ใช้การบรรยายอย่างเดียว และที่ใช้การบรรยายกับการทำปฏิบัติการ ที่มีเจตคติเชิงวิทยาศาสตร์ เจตคติต่อวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี ของนักศึกษาในวิทยาลัย

รียาร์ด ประเทศซาอุดีอาระเบีย ตัวอย่างประชากรประกอบด้วยนักศึกษาที่เรียนวิชาเคมี 041 ที่วิทยาลัยรียาร์ด จำนวน 128 คน แบ่งเป็นกลุ่มที่สอนโดยการบรรยายอย่างเดียว 62 คน และกลุ่มที่สอนโดยการบรรยายกับการทำปฏิบัติการ 66 คน เวลาที่ใช้ในการทดลอง 1 ภาคเรียน เครื่องมือที่ใช้คือ แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี และแบบวัดเจตคติเชิงวิทยาศาสตร์ ให้นักศึกษาทั้ง 2 กลุ่มทำแบบทดสอบและวัดก่อนและหลังการเรียน จากผลการวิจัยพบว่า

1. การเรียนการสอนแบบที่ใช้การบรรยายกับการทำปฏิบัติการ มีผลทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมีเพิ่มขึ้นมากกว่าการเรียนการสอนแบบที่ใช้การบรรยายอย่างเดียว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2. การเรียนการสอนแบบที่ใช้การบรรยายกับการทำปฏิบัติการ มีผลทำให้เจตคติเชิงวิทยาศาสตร์ และเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ของนักวิทยาศาสตร์ของนักเรียนเพิ่มขึ้นมากกว่าการเรียนการสอนแบบที่ใช้การบรรยายอย่างเดียว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3. เจตคติเชิงวิทยาศาสตร์ เจตคติต่อวิทยาศาสตร์ และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมีของนักศึกษาแต่ละกลุ่ม มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ต่อมาโอเคบูโกลา (Okebukola, 1985 : 221 - 231) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมของนักเรียนในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์กับทักษะการทำปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และเจตคติต่อกิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ตัวอย่างประชากรเป็นนักเรียนชีววิทยา ระดับ 11 จำนวน 600 คน เครื่องมือที่ใช้ประกอบด้วยแบบสังเกตเกี่ยวกับพฤติกรรมของนักเรียน แบบสังเกตทักษะการปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ และแบบวัดเจตคติต่อกิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ซึ่งปรับปรุงมาจากแบบวัดเจตคติต่อกิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ของฮอฟสไตน์ และคณะ (Hofstein and et.al.) พบว่า พฤติกรรมของนักเรียนในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์กับทักษะการปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และเจตคติต่อกิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์มีความสัมพันธ์กันทางบวก

จากงานวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศที่ศึกษาผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์โดยการทำปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์นั้น จะเห็นได้ว่าการศึกษากิจการปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ในหลายรูปแบบคล้ายกัน เช่น การศึกษาจัดกลุ่มการเรียนในการทำปฏิบัติการ และการเปรียบเทียบการสอนแบบปฏิบัติการกับวิธีการสอนวิทยาศาสตร์แบบอื่น ๆ ซึ่งจากงานวิจัยดังกล่าวล้วนแสดงให้เห็นว่า การสอนวิทยาศาสตร์โดยการทำกิจกรรมปฏิบัติการ สามารถพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนให้สูงขึ้นได้

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทางสิ่งแวดล้อม เรื่อง ความสามารถของวัฏศรรวมชาติในการดูดซับโลหะหนัก ดังนั้นจึงขอเสนอข้อมูลที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนัก การดูดซับและการวิเคราะห์โลหะหนัก

3.1 โลหะหนัก

ธาตุต่าง ๆ ในโลกเท่าที่ค้นพบในปัจจุบัน ซึ่งมีทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้น รวมกันแล้วมีประมาณ 106 ธาตุ และในจำนวนนี้มีส่วนที่เป็นโลหะหนัก (heavy metal) อยู่ 68 ธาตุ ซึ่งได้มีผู้ให้ความหมายของโลหะหนักไว้หลายท่าน เช่น เกษม จันทรแก้ว. (2530 : 177), กิตติ เอกอำพน. (2528 : 10), รัชณี สุวกาพ. (2530 : 49), สุรกี โรจน์อารยณนท์. (2530 : 3), อุ้มแก้ว ประกอบไวทยกิจ บีเวอร์. (2538 : 116), แฮมมอนด์ และบิลลี (Hammond , B. and R.R. Beliles. 1980 : 409) โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป ที่มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23 ถึง 92 ถูกจัดตำแหน่งไว้ในคาบที่ 4 ถึง 7 ของตารางธาตุ โลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็ง (ยกเว้นปรอทที่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ) คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะหนัก คือนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีความมันวาว เหนียว สามารถนำมาตีเป็นแผ่นบาง ๆ ได้และสะท้อนแสงได้ดี ส่วนคุณสมบัติด้านเคมีที่สำคัญของโลหะหนัก คือ มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า ดังนั้นโลหะหนักจึงสามารถที่จะรวมตัวกับสารอื่น ๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อน (complex compound) ได้หลายรูปที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ (organometallic compound) ซึ่งสามารถที่จะถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตได้ โดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร (food chain) โลหะหนักเหล่านี้จะแพร่กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อม โดยปนเปื้อนในดิน น้ำ อากาศ และพืช จากนั้นจะเข้าสู่มนุษย์ โลหะหนักหลายชนิดมีคุณสมบัติเป็นอันตรายร้ายแรง เมื่อเข้าไปสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต ซึ่งอาจมีผลทำให้สิ่งมีชีวิตพิการหรือตายได้

โลหะหนักที่ศึกษาในการวิจัยนี้ ได้แก่ ทองแดง และนิกเกิล ซึ่งมักจะพบในกระบวนการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า

การชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า (electroplating) เป็นการประยุกต์โดยการนำเอาโลหะชนิดหนึ่งหรือหลายชนิดไปเกาะหรือห่อหุ้มโลหะอีกชนิดหนึ่ง เพื่อเป็นการเพิ่มคุณสมบัติให้เกิดความทนทานต่อการกร่อนและให้เกิดความสวยงามน่าใช้ อนันต์ ทองมอญ. (2533 : 55) กล่าวว่า การชุบทองแดงมีวัตถุประสงค์เพื่อจะเพิ่มความหนาของผิวโลหะ หรือเพื่อห่อหุ้มชิ้นงานโลหะก่อนที่จะนำชิ้นงานนั้นไปชุบเคลือบผิวในน้ำยาชุบที่กัดผิวโลหะเดิม เช่น ใช้ชุบหุ้มผิวชิ้นงานที่เป็นสังกะสีก่อนจะนำไปชุบนิกเกิล เนื่องจากว่าถ้าเอาชิ้นงานที่เป็นสังกะสีไปชุบนิกเกิลเลย สังกะสีจะละลายในถึงน้ำยาชุบนิกเกิลได้ หรือถ้าชุบเคลือบผิวชิ้นงานที่เป็นเหล็กด้วยนิกเกิลจะชุบได้ทันที แต่ถ้านำชิ้นงานนั้นมาชุบเคลือบผิวด้วยทองแดงชนิดค่างก่อน แล้วนำไปชุบจะทำ

ให้ชิ้นงานนั้นทนทานไม่ลอก หรือล่อนออกได้ง่าย เพราะโลหะนิกเกิลที่จับเกาะบนผิวทองแดง นั้นจับได้แน่นกว่าการจับเกาะบนเนื้อเหล็ก

ในอุตสาหกรรมการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า จะมีกระบวนการต่าง ๆ ที่อาจก่อให้เกิด ปัญหามลพิษ กล่าวคือ จากการทำความสะอาดชิ้นงาน จากการชุบต่าง ๆ และการชะล้างทำความสะอาดชิ้นงานหลังจากผ่านการชุบ และกระบวนการเกือบทั้งหมดจะทำให้มีสารเคมีไหลออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ เช่น ไหลไปกับน้ำชะล้าง จากการหก ล้นหรือจากการทิ้งสารเคมีชุบที่หมดอายุการใช้งาน ซึ่งหากระบายออกสู่แหล่งน้ำโดยไม่มีการบำบัดก่อนก็จะก่อให้เกิดปัญหามลพิษในแหล่งน้ำ ทำลายระบบนิเวศและอาจถึงขั้นไม่เหมาะกับการนำไปใช้ดื่มกิน (ไชยยุทธ กลั่นสุคนธ์, 2539 : 41)

สารเคมีหลักของการชุบทองแดงและนิกเกิล คือ copper sulfate ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) และ nickel sulfate ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ตามลำดับ เมื่อชิ้นงานผ่านกรรมวิธีการชุบนิกเกิล จะพบว่าน้ำ ที่จะมี Cu^{2+} และ Ni^{2+} ปนอยู่ (เฮเลน อารมย์ดี, 2535 : 39 - 49) สำหรับคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี การใช้ประโยชน์ การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม และความเป็นพิษของทองแดงและนิกเกิล ได้สรุปจาก จีวีพันธ์ ทรวงเกียรติกุล. (2539 : 9 - 10), ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. (2525 : 143 - 145, 383 - 394), โสภภาพรณ จิรนิติชัย. (2534 : 8-9) ได้ดังนี้

3.1.1 ทองแดง

ก. คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

ทองแดงเป็นธาตุในหมู่ที่สอง (II B) ของตารางธาตุ ประกอบไปด้วยทองแดง เงินและทองคำ ทองแดงเป็นโลหะที่อ่อนดัดงอได้ง่าย มีสมบัติที่ทนต่อการกัดกร่อน นำความร้อนและนำไฟฟ้าได้ดีรองลงมาจากเงิน ในธรรมชาติจะอยู่ในรูปแร่ chalcocite หรือ copper glance (Cu_2S), cuprite (Cu_2O) หรือ copper pyrite (CuFeS_2) รูปแบบสารประกอบเคมีของทองแดงมีหลายรูปแบบ ทั้งอยู่ในรูปคลอไรด์ ซัลเฟต ไนเตรด ซึ่งมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี ส่วนสารประกอบที่อยู่ในรูปคาร์บอเนต ไฮดรอกไซด์ ออกไซด์ และซัลไฟด์ จะไม่ละลายน้ำ ทองแดงบริสุทธิ์จะมีสีแดง มีความแวววาว มีความแข็งและเหนียว มีน้ำหนักอะตอม 63.54 จุดหลอมเหลว 1,083 องศาเซลเซียส จุดเดือด 2,582 องศาเซลเซียส มีวาเลนซ์ +2 เป็นส่วนใหญ่ ส่วนวาเลนซ์ +1 มีน้อย

ข. การใช้ประโยชน์

ทองแดงมีสมบัติการนำไฟฟ้าและความร้อนดีเยี่ยม ทนต่อการผุกร่อนแข็งแรง ดึงเป็นเส้นและตีเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ จึงนิยมใช้ทำเส้นลวดไฟฟ้า วงจรไฟฟ้าและเครื่องมือไฟฟ้าต่าง ๆ และการชุบเคลือบอุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ โดยจะเคลือบทองแดงก่อนที่จะชุบนิกเกิล เนื่องจากโลหะนิกเกิลจะจับเกาะบนผิวทองแดงได้แน่นกว่าโลหะอื่น และใช้ทำโลหะเจือ เช่น

ทองเหลือง (brass) คือ โลหะเจือของทองแดง (70%) และสังกะสี (30%) และทองสัมฤทธิ์ (bronze) เป็นโลหะเจือของทองแดง ดีบุก และสังกะสีเล็กน้อย เหริยญโดยทั่วไปเป็นโลหะที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย

ค. การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

การปนเปื้อนของทองแดง เกิดจากการนำมาใช้ประโยชน์อย่างมากมาย ทำให้ทองแดงแพร่กระจายไปสู่สิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ดังเช่น กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2532) พบว่า ความเข้มข้นของทองแดงในแม่น้ำแม่กลอง มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.6-7.2 ไมโครกรัม/ลิตร ในปี 2531 ซึ่งเพิ่มขึ้นกว่าปีที่ผ่านมา สำหรับในอาหารต่าง ๆ จะมีทองแดงปนเปื้อนอยู่ทั่วไป ดังรายงานของ Ndiokwer (1985 : 231 - 234) พบว่า พืชทอง มะเขือเทศ แดงโม ผักกาดหอม ถั่วฝักยาว มันฝรั่ง หัวหอม กระหล่ำดอกและกระหล่ำปลี มีความเข้มข้นของทองแดง 10.6, 7.6, 6.8, 16, 6.7, 10.8, 3.7, 4.5 และ 3.5 ไมโครกรัม/กรัม ตามลำดับ สำหรับสารประกอบทองแดงในอากาศซึ่งทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกายได้มากกว่าทองแดงที่ละลายน้ำ เพราะโลหะทองแดงที่ร่างกายต้องการและใช้ประโยชน์นั้น ต้องเป็นสารประกอบทองแดงที่ละลายน้ำได้ จูฮามาส เกตุทัต. (2530 : 168 - 175) รายงานว่า ความเข้มข้นของทองแดงในย่านอุตสาหกรรมและที่พักอาศัยของกรุงเทพฯ และสมุทรปราการ เป็น 0.77 และ 1.99 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และสำหรับการสะสมทองแดงในพืชจะมีความเข้มข้นลดลงไปตามระยะที่อยู่ห่างไกลจากแหล่งกำเนิดของเสียทองแดง แต่ทั้งนี้ถ้าดินในบริเวณใดมีปริมาณทองแดงสะสมอยู่มากหรือน้อยเกินไป จะมีผลให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง เนื่องจากทองแดงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเอนไซม์ต่าง ๆ ที่มีความสำคัญต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน ต่าง ๆ ในพืช เช่น tyrosinase เป็นต้น

ง. ความเป็นพิษ

ทองแดงเข้าสู่ร่างกายได้โดยการปนเปื้อนทางอาหารและการหายใจ ทองแดงเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต ร่างกายต้องการทองแดงวันละ 2 มิลลิกรัม เพื่อใช้ในการสร้างฮีโมโกลบิน และใช้ ในกระบวนการเผาผลาญอาหาร (metabolism) และยังเป็น องค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิด เช่น tyrosinase, acidoxidase, cytochrome oxidase การดูดซับทองแดง ส่วนใหญ่จะเกิดที่กระเพาะอาหาร แล้วเก็บสะสมไว้ที่ตับ ไต สมอง หัวใจและผม ในคนปกติ จะมีทองแดงในเลือด 1 มิลลิกรัม/ลิตร ทั้งนี้เพศหญิงจะมีปริมาณทองแดงในเลือดสูงกว่าในเพศชาย โดยเฉพาะผู้ที่คุมกำเนิดหรืออยู่ในระหว่างตั้งครรภ์ จะมีทองแดงในเลือดสูงถึง 2 มิลลิกรัม/ลิตร ถ้าร่างกายได้รับทองแดงมากเกินไปจนความต้องการ จะมีอาการอ่อนเพลีย อาเจียน ท้องร่วง เม็ดเลือดแดงถูกทำลาย เกิดอาการตับวาย มีเลือดมากในทางเดินอาหารและหากได้รับคอปเปอร์ซัลเฟตใน

ปริมาณมาก จะทำให้เกิดพิษเฉียบพลัน อาเจียน บางครั้งจะมีสีเขียวปนมากับอาเจียน ความดันโลหิตต่ำ ชีพจรช้า หายใจลำบาก คอปเปอร์ซัลเฟต 27 กรัม ทำให้ตายได้

3.1.2 นิกเกิล

ก. คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

นิกเกิลเป็นธาตุในหมู่ที่แปด (VIII B) ซึ่งหมู่นี้ประกอบด้วย เหล็ก โคบอลต์ นิกเกิล รูทีเนียม โรเดียม แพลเลเดียม ออสเมียม อิริเดียม และแพลทินัม โดยนิกเกิลจัดอยู่ในกลุ่มธาตุตระกูลเหล็ก (iron family) เป็นโลหะแข็ง มีความว่องไวปานกลางต่อปฏิกิริยา เป็นสารพาราแมกเนติก (ferromagnetic) ในธรรมชาติมักเกิดในรูปของซัลไฟด์ (NiS) เช่น แร่มิเลอไรต์ นิกเกิลบริสุทธิ์มีสีขาว วาวคล้ายเงิน มีน้ำหนักอะตอม 58.7 จุดหลอมเหลว $1,453^{\circ}\text{C}$ จุดเดือด $2,732^{\circ}\text{C}$ มีวาเลนซ์ +2 เป็นส่วนใหญ่ ส่วนวาเลนซ์ +3, +4, +6 มีน้อย

ข. การใช้ประโยชน์

นิกเกิลมีสมบัติทนต่อการกัดกร่อนเป็นอย่างดี โดยเฉพาะในสภาวะที่เป็นเบส เนื่องจากผิวของโลหะมักถูกเคลือบด้วยชั้นออกไซด์บาง ๆ ซึ่งเกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ จึงนิยมใช้ทำแบตเตอรี่ อิเล็กโทรดที่ใช้ในงานที่เป็นเบส และการชุบเคลือบอุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ เช่น ส่วนประกอบรถยนต์ เครื่องครัวประเภทสเตนเลสสตีล เป็นต้น สมบัติอีกข้อหนึ่งของนิกเกิลก็คือ เมื่อผลิตนิกเกิลให้มีสภาพพรุนที่เรียกว่า "นิกเกิลพรุน" (sponge nickel) นิกเกิลในสภาพนี้จะสามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนได้ดี และจะคายออกถ้ามีโลหะอื่นที่เหมาะสมมารับ ดังนั้น จึงผลิตนิกเกิลพรุนสำหรับใช้เป็นแคโทดในปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน ของพวกอัลคีน นิกเกิลยังใช้ผสมกับธาตุอื่น ๆ เป็นโลหะเจือ เช่น นิกเกิลผสมกับทองแดง เรียกว่า โมเนล (monel) ซึ่งมีนิกเกิลประมาณ 67% ทองแดงประมาณ 33% และมีอะลูมิเนียมกับซิลิกอนเล็กน้อย โมเนลสามารถทนต่อการกัดกร่อนของฟลูออรีนได้ จึงใช้ทำภาชนะบรรจุก๊าซฟลูออรีน นิกเกิลผสมกับโครเมียม เรียกว่า นิกโครม (nichrome) ประกอบด้วยนิกเกิลประมาณ 80% และโครเมียมประมาณ 20% ใช้ทำขดลวดความร้อนไฟฟ้า

ค. การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

นิกเกิลเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้ จากการใช้นิกเกิลในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยปนอยู่กับอากาศและน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม นิกเกิลในบรรยากาศเกิดได้ทั้งจากธรรมชาติ โดยการพังทลายของดินหิน และเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์โดยพบว่า นิกเกิลในบรรยากาศจะอยู่ในลักษณะของละอองไอ (particulate aerosols) ซึ่งมีนิกเกิลปนอยู่ในความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ขึ้นกับแหล่งที่มา และพบว่าขนาดอนุภาคของนิกเกิลจากแหล่งที่มนุษย์สร้างขึ้น (manmade source) จะมีขนาดเล็กกว่านิกเกิลในธรรมชาติ การปนเปื้อนของนิกเกิลในบรรยากาศ

จากกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การหลอมและถลุงแร่ การผลิตอัลลอย (alloy) เป็นต้น จะมีนิกเกิลออกมาในรูปของเหล็ก - นิกเกิลออกไซด์ เพอร์โรนิกเกิล การปนเปื้อนของนิกเกิลในน้ำ เกิดจากสารประกอบนิกเกิลที่อยู่ในบรรยากาศละลายในน้ำฝนแล้วตกลงสู่แหล่งน้ำ รวมทั้งจากอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่ปล่อยน้ำเสียที่มีนิกเกิลปนอยู่ออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น น้ำเสียจากการล้างโลหะที่ผ่านขบวนการชุบเคลือบนิกเกิลในโรงงานประกอบรถยนต์ โรงงานชุบโลหะ เป็นต้น

ง. ความเป็นพิษ

สารประกอบของนิกเกิลที่เป็นพิษต่อมนุษย์มากที่สุด อยู่ในรูปของนิกเกิลคาร์บอนิล ซึ่งจะอยู่ในฝุ่นนิกเกิล ทำให้เกิดอาการพิษเฉียบพลัน เมื่อหายใจเข้าสู่ร่างกาย โดยทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ หน้ามืด คลื่นเหียนอาเจียน ระบายท้อง ท้ายสุดอาจมีอาการแน่นหน้าอก ไอ คล้ายโรคปอดอักเสบจากเชื้อไวรัส (viral pneumonia) คือ มีเลือดออก น้ำท่วมปอด และความผิดปกติของเซลล์อัลวีโอล (alveoli cell) และเยื่อปอด รวมทั้งมีผลกระทบต่อการทำงานของตัว ไค ด่อมหมวกไต ม้ามและสมอง ซึ่งจะทำให้ผู้ป่วยถึงแก่ชีวิตในที่สุด

คนงานที่ต้องสัมผัสกับสารประกอบนิกเกิลที่ละลายในน้ำ เช่น คนงานในโรงงานชุบโลหะทำให้เกิดอาการภูมิแพ้ ในหลายประเทศพบว่า ผู้ที่มีความไว (sensitive) ต่อสารประกอบนิกเกิลจะมีอาการมือเป็นแผลเปื่อย บางกรณีพบว่า อาการรุนแรงถึงทำให้สูญเสียอวัยวะ

3.1.3 ปริมาณทองแดงและนิกเกิลในมาตรฐานน้ำทิ้ง

ลักษณะน้ำทิ้งจากกิจการอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539) เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535 และประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539) เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 ได้กำหนดปริมาณทองแดงและนิกเกิลในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมให้มีค่าไม่มากกว่า 2.0 มิลลิกรัม/ลิตร และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

3.2 การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย

การกำจัดสารอนินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย โดยเฉพาะโลหะหนักต่าง ๆ ที่ออกมาจากขบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมมีหลายวิธี การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความเป็นไปได้ทางเทคนิค ค่าใช้จ่าย บุคลากร ข้อจำกัดของแต่ละวิธี และความเหมาะสมอื่น ๆ ซึ่งแต่ละวิธีมีหลักการโดยย่อ ดังนี้ (ฉวีพันธ์ ทรวงเกียรติกุล, 2539, 11: 13)

1. การตกตะกอนทางเคมี (chemical precipitation) เป็นการเติมสารเคมีลงในน้ำ เพื่อให้ไอออนของโลหะหนักที่ละลายอยู่ในน้ำ เปลี่ยนสถานะมาอยู่ในรูปของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ เกิดเป็นตะกอนจมตัวลง แล้วจึงแยกออกจากน้ำด้วยวิธีการตกตะกอน หรือการกรอง สารเคมีที่นิยมใช้ ได้แก่ สารส้ม ปูนขาว แคลเซียมไฮดรอกไซด์ เพอร์คลอไรด์ เพอร์คลัลเฟต เป็นต้น โดยทั่วไปนิยมตกตะกอนโลหะหนักเป็นตะกอนไฮดรอกไซด์ ซึ่งโลหะแต่ละชนิดจะตกตะกอนได้ดียิ่งขึ้นที่ pH ต่าง ๆ ส่วนตะกอนหรือสลัดจ์ (sludge) ที่ได้จะมีส่วนประกอบของโลหะหนักที่เป็นพิษต้องนำไปกำจัดต่อ

2. การเกาะหรือดูดซับ (adsorption) เป็นขบวนการที่สารตัวกลางคั่งโมเลกุล หรือ คอลลอยด์ที่อยู่ในของเหลวหรือก๊าซ ให้มาเกาะจับและติดอยู่บนผิวของมัน จัดเป็นการเคลื่อนย้ายสาร (mass transfer) จากของเหลวหรือก๊าซมายังผิวของแข็ง ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดต่อไป

3. ออสโมซิสย้อนกลับ (reverse osmosis) เป็นขบวนการที่อาศัยแรงดันสูงผ่านเยื่อกรอง (semipermeable membrane) เพื่อแยกสารอินทรีย์ขนาดใหญ่ และสารอนินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำ มักใช้แรงดัน 300-1,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว หรือสูงกว่า เยื่อกรองจะยอมให้เฉพาะโมเลกุลของน้ำไหลผ่านไอออนต่าง ๆ ไม่สามารถผ่านเยื่อกรองได้ แผ่นเยื่อกรองที่นิยมใช้มักทำมาจาก เซลลูโลสอะซิเตท (cellulose acetate) มีความหนาประมาณ 100 ไมครอน ประกอบด้วย 2 ชั้น ชั้นที่ใช้งานหนาประมาณ 0.2 ไมครอน ทำหน้าที่ขัดขวางมิให้สารต่าง ๆ ซึมผ่านไปพร้อมกับน้ำอีกชั้นทำหน้าที่เป็นพื้นรองรับและมีรูพรุนสำหรับให้น้ำไหลผ่านได้

4. อิเล็กโตรไดอะไลซิส (electrodialysis) เป็นขบวนการอาศัยเยื่อกรองเช่นเดียวกัน แต่ใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า เป็นแรงขับเคลื่อนให้เกิดการแยกไอออนออกจากน้ำ แผ่นเยื่อกรองที่ใช้มี 2 ชนิด คือ แผ่นบวกและแผ่นลบ ซึ่งยอมให้เฉพาะไอออนที่มีประจุเหมือนกันไหลผ่าน แต่โมเลกุลของน้ำจะไหลผ่านได้ยาก ทำให้แยกไอออนของโลหะออกจากน้ำได้

5. การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) เป็นปรากฏการณ์ชนิดหนึ่ง ซึ่งมีการสับเปลี่ยนไอออนกลับไปกลับมา (reversible interchange) ระหว่างตัวกลาง 2 ชนิด คือ ตัวกลางของเหลวและตัวกลางของแข็ง โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านโครงสร้างของตัวกลางของแข็งที่เรียกว่า สารแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ซีโอไลต์ (zeolite) และเรซินแลกเปลี่ยนไอออน (resinuos ion exchanger)

ซีโอไลต์มีทั้งแบบธรรมชาติ ได้แก่ green sand และแบบสังเคราะห์จากสารประกอบต่าง ๆ เช่น โซเดียมซิลิเกต ซึ่งมีโซเดียมไอออน (Na^+) ที่ใช้แลกเปลี่ยนกับไอออนบวกที่อยู่ในน้ำได้ ปัจจุบันซีโอไลต์ใช้กำจัดเหล็กและแมงกานีสเท่านั้น ส่วนเรซินแลกเปลี่ยนไอออนเป็นสารสังเคราะห์พวกอินทรีย์โพลีเมอร์ มีอำนาจการแลกเปลี่ยนไอออนสูงกว่าซีโอไลต์

เรซินแลกเปลี่ยนไอออน ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ โครงร่างที่ไม่มีประจุไฟฟ้า และ หมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้า ซึ่งทำให้มันคงรูปร่างอยู่ได้โดยไม่ละลายน้ำ โครงสร้างนี้สร้างขึ้นจาก สารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำนวนมากที่เป็นชนิดเดียวกันซึ่งต่อกันเป็นสายยาว และมี ไฮโดรคาร์บอนอีกชนิดหนึ่งมาทำหน้าที่ประสาน เพื่อให้เกิดเป็นรูปสามมิติที่มีความโปร่งหรือ ความพรุน

หมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้า (functional group) ของเรซิน เป็นตัวกำหนดความสามารถหรืออำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน หมู่ไอออนเกาะจับอยู่บนไฮโดรคาร์บอน ทำให้เรซินมีประจุบวกหรือลบ ถ้าหมู่ไอออนมีประจุลบ เรซินจะมีประจุลบประจำตัวใช้ในการกำจัด ไอออนบวกออกจากน้ำ เรียกว่าเป็น cation exchanger ถ้าหมู่ไอออนมีประจุบวก คือ เป็นสารแลกเปลี่ยนประจุลบออกจากน้ำ เรียกว่า anion exchanger สามารถแบ่งเรซินได้ 4 ชนิด ดังนี้

- เรซินแบบกรดแก่ (strong acid cationic resin) มีหมู่ซัลโฟนิล (SO_3^{2-}) ซึ่งอยู่ในรูปของ SO_3H^+ หรือ SO_3Na^+ โดยจะใช้ไอออนบวกของตัวเอง คือ H^+ หรือ Na^+ แลกเปลี่ยนกับ ไอออนบวกที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำ
- เรซินแบบกรดอ่อน (weak acid cationic resin) มีหมู่คาร์บอกซิลิก (COOH หรือ COONa) โดยจะใช้ไอออนบวกของตัวเอง คือ H^+ หรือ Na^+ แลกเปลี่ยนกับไอออนบวกที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำ
- เรซินแบบด่างแก่ (strong basic anionic resin) มีหมู่ไอออนเป็น quaternary amine เช่น $(\text{CH}_3)_3\text{CH}_2\text{N}^+$ มีไอออนลบอิสระเป็น OH^- หรือ Cl^- สำหรับแลกเปลี่ยนไอออนลบ ที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำ
- เรซินแบบด่างอ่อน (weak basic anionic resin) ใช้กำจัดได้เฉพาะกรดแก่ เช่น HCl , H_2SO_4 , HNO_3 ออกจากน้ำ โดยไม่มีการแลกเปลี่ยนไอออน แต่กรดแก่ทั้งโมเลกุล จะเข้ามาจับกับเรซิน ซึ่งต่างจากเรซิน 3 ประเภทข้างต้น

หมู่ไอออนของเรซินประเภทต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 1

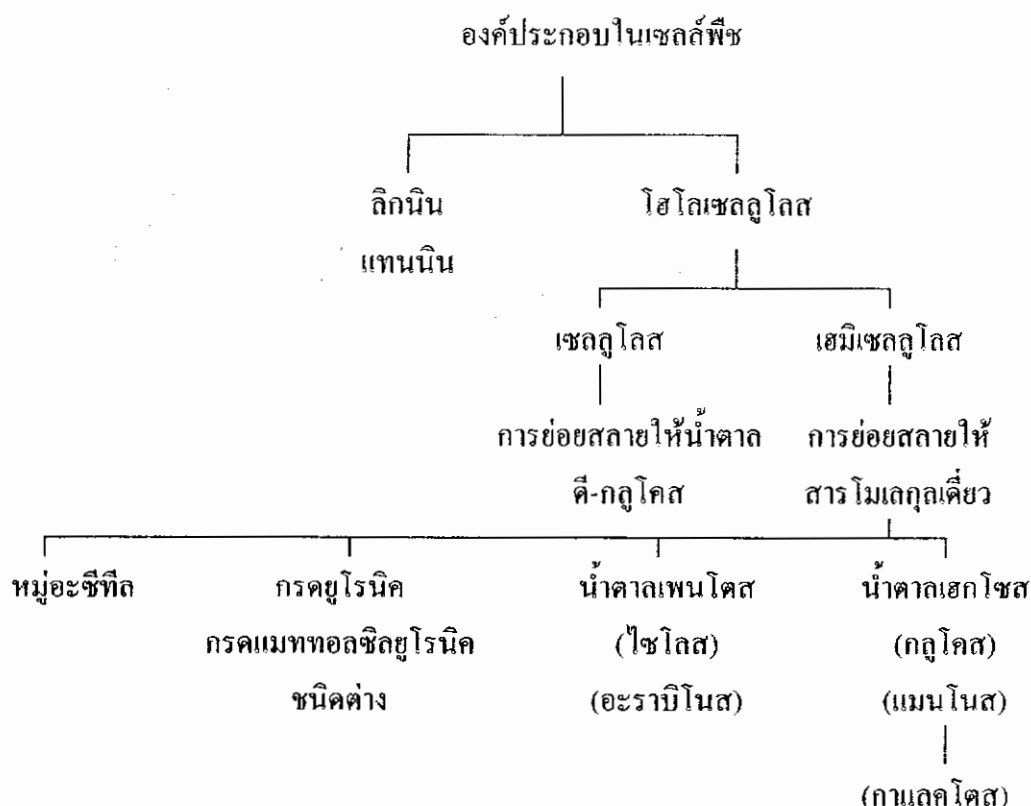
ตาราง 1 หมู่ไอออนของเรซินประเภทต่าง ๆ (มันลิน ดัชนีอุตสาหกรรม, 2539 : 86)

Classification	Active Groups	Dissociation Constant pK_2	Typical configuration
<i>Cation Exchange Resins</i>			
Strong acid	Sulfonic	1	
	Methylene sulfonic	1	
Weak acid	Carboxylic	4-6	
	Phosphonic	2-3 7-8	
	Phenolic hydroxyl	9-10	
<i>Anion Exchange Resins</i>			
Strong base	Quarternary ammonium (type I)	13	
	(type II)		
Weak base	Primary amine	6-9	
	Secondary amine	7-9	
	Tertiary amine (aromatic matrix)	9-11	
	aliphatic matrix)		

กล่าวโดยสรุปการกำจัดโลหะหนัก โดยใช้วิธีการแลกเปลี่ยนไอออนเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อน แต่เรซินที่ใช้ส่วนมากเป็นเรซินสังเคราะห์ ซึ่งมีราคาแพง ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาถึงวัสดุธรรมชาติ คือ แกลบ ขี้เถ้า ฟางข้าว และผักตบชวา เนื่องจากส่วนประกอบของวัสดุธรรมชาติมีองค์ประกอบของเซลลูโลส ลิกนิน ซึ่งภายในโครงสร้างเหล่านี้ ประกอบด้วย หมู่ฟังก์ชันที่มีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออนได้

3.3 องค์ประกอบในเซลล์พืช

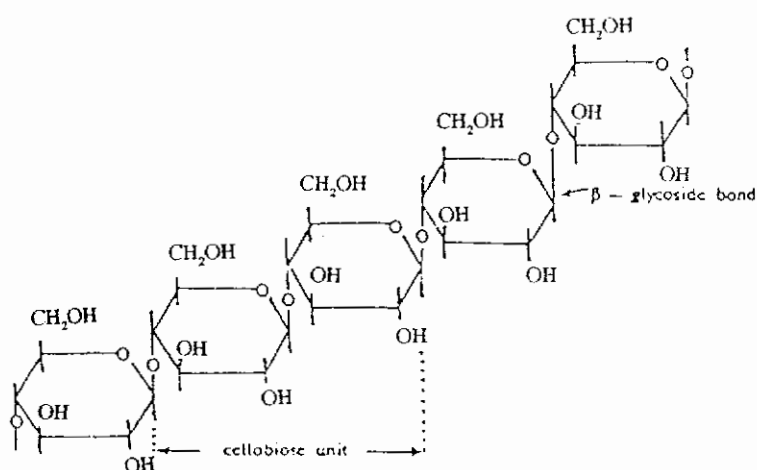
องค์ประกอบส่วนใหญ่ในเซลล์พืช แบ่งได้เป็น 2 ส่วนที่สำคัญ คือ ลิกนิน (lignin), แทนนิน (tanin), และโฮโลเซลลูโลส (holocellulose) ซึ่งโฮโลเซลลูโลส สามารถแบ่งย่อยได้เป็น เซลลูโลส (cellulose) และเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ดังแสดงในภาพประกอบ 1 (เกศสุชา พูลคำ. 2537 : 34 - 39 และฉวีพันธ์ ทรวงเกียรติกุล. 2539. 18: 23)



ภาพประกอบ 1 การแยกองค์ประกอบในเซลล์พืช (เกศสุชา พูลคำ. 2537 : 34)

3.3.1 เซลลูโลส

เซลลูโลสเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ สารประกอบที่มีมากที่สุดในธรรมชาติเพราะเป็นส่วนประกอบประมาณ 1 ใน 3 ของส่วนประกอบของพืชทั้งหมด โดยทำหน้าที่เป็นโครงสร้างให้กับผนังเซลล์พืช เช่น เนื้อไม้จะมีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบประมาณ 50% นอกจากนั้นยังเกิดในรูปของเส้นใย เช่น ฝ้าย จัดว่าเป็นเซลลูโลสบริสุทธิ์ โครงสร้างของเซลลูโลสจะประกอบด้วยโมเลกุลของ ดี-กลูโคส (D-Glucose) ซึ่งจะเชื่อมกันด้วยพันธะเบตา-ไกลโคไซด์ (β -Glycoside) (ภาพประกอบ 2) และความยาวของโซ่ จะประกอบด้วย ดี-กลูโคส ตั้งแต่ 300 ถึง 2500 หน่วย ซึ่งถ้าไฮโดรไลสเซลลูโลสเพียงบางส่วนจะได้เซลโลไบโอส แต่ถ้าไฮโดรไลสเต็มที่จะได้ดีกลูโคส



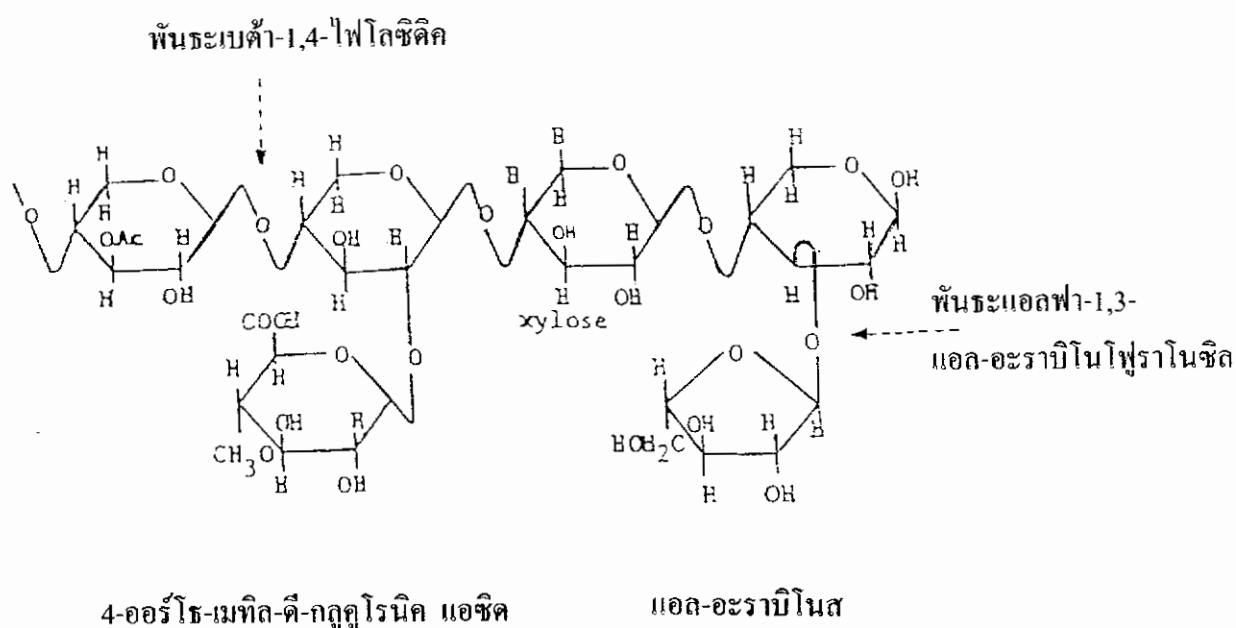
ภาพประกอบ 2 ลักษณะโครงสร้างของเซลลูโลส (เกษตรฯ พุดคำ. 2537 : 36)

คุณสมบัติของเซลลูโลสคือ ไม่ละลายน้ำ ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์หรือสารละลายด่างอ่อน แต่สามารถละลายได้ดี ในกรดหรือด่างแก่ จึงสามารถแบ่งชนิดของเซลลูโลสตามลักษณะการละลายในกรดหรือด่างได้เป็น 3 ชนิด ดังต่อไปนี้

1. แอลฟา-เซลลูโลส (α -Cellulose) เป็นเซลลูโลสที่ไม่ละลาย ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5%
2. เบตา-เซลลูโลส (β -Cellulose) เป็นเซลลูโลสที่สามารถละลายได้ ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5%
3. แกมมา-เซลลูโลส (γ -Cellulose) เป็นเซลลูโลสที่สามารถละลายได้ดี ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5% และสารละลายกรดเจือจาง

3.3.2 เฮมิเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลเพนโตส ที่มีลักษณะเป็น heterogeneous โดยประกอบด้วยโพลีแซคคาไรด์หลายชนิดมารวมกัน ลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่งก้านสาขาต่างจาก เซลลูโลสที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรง น้ำหนักโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสจะต่ำกว่าเซลลูโลสขนาดของโมเลกุลมีความยาว 30 - 50 หน่วย และมีองค์ประกอบหลักคือ ไซแกน (xylan) เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลไซโลสที่ต่อกันด้วยพันธะเบต้า-1,4-ไซโลซิดิก (β - 1,4-xylosidic linkage) เป็นเส้นตรง เฉพาะไซโลสอย่างเดียว หรือมีกิ่งก้านสาขาที่เป็นโพลีแซคคาไรด์ชนิดอื่น ๆ ปนอยู่ ดังแสดงในภาพประกอบ 3 เฮมิเซลลูโลสจะไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในด่างและถูกย่อยสลายได้ง่ายกว่าเซลลูโลส



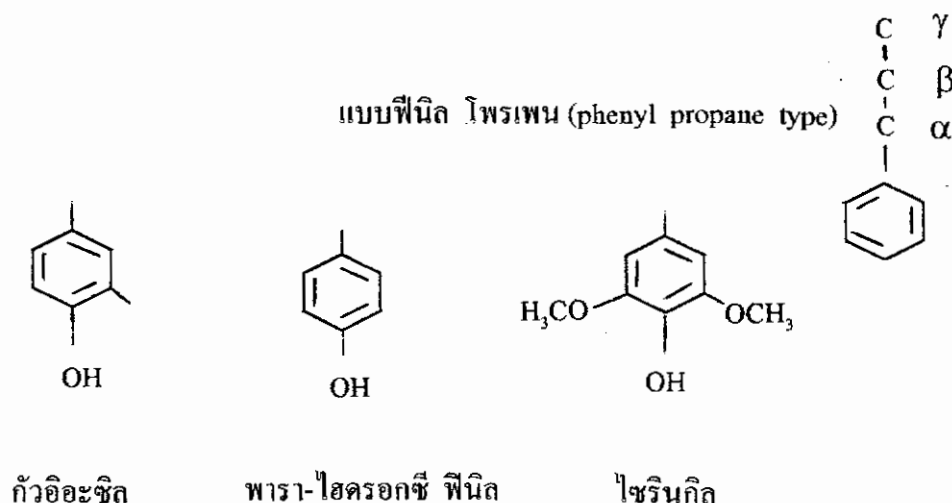
ภาพประกอบ 3 โครงสร้างของไซแกน Ac = Acetyl Group (เกษตรฯ พูลคำ. 2537: 37)

3.3.3 ลิกนินและแทนนิน

ลิกนินและแทนนินจัดอยู่ในพวก heterogeneous organic polymer จะอยู่ในโครงสร้างของพืชโดยอยู่รอบ ๆ เซลลูโลสและป้องกันเซลลูโลสจากการย่อยสลาย

ลิกนินเป็นสารประกอบอะโรมาติกที่ประกอบด้วย หมู่เมทอกซี ($-OCH_3$) หมู่ไฮดรอกซิล ($-OH$) และส่วนที่เป็นฟีนอลิก โดยปกติไม่สามารถระบุได้ว่าลิกนินเป็นสารประกอบประเภทใด เพราะไม่สามารถกำหนดโครงสร้างที่แน่นอนได้ ทั้งนี้เนื่องจากลิกนินจะไม่อยู่ในลักษณะตัวเดียว แต่จะเกาะเป็นสายยาว ซึ่งมีอยู่หลายแบบ ซึ่งประกอบด้วยหน่วยเหล่านี้ คือ

ฟีนิลโพรเพน (phenyl propane), กัวอีอะซิล (guaiacyl), ไซริงกิล (syringyl) และพาราไฮดรอกซีฟีนิล (parahydroxyphenyl) ลักษณะหน่วยย่อยในโครงสร้างของลิกนิน แสดงในภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 หน่วยย่อยในโครงสร้างลิกนิน (เกษตรฯ พญาคำ. 2537 : 38)

แทนนินเป็นสารประกอบอะโรมาติก ที่เป็นอนุพันธ์ของฟีนอล (phenol derivatives) พบได้ในส่วนต่าง ๆ ของพืช โดยเฉพาะในท่อน้ำเลี้ยงอาหาร ใบ เนื้อไม้ และเปลือกไม้ มีหน้าที่ให้ความแข็งแรงและป้องกันการสูญเสียน้ำของเซลล์ เมื่อทำการส่งเนื้อเยื่อด้วยกล้องจุลทรรศน์ สามารถเห็นแทนนินเป็นสารสีเหลือง แดง หรือน้ำตาลในเซลล์ โดยอยู่ในรูปของหยด ในไซโตพลาสซึม ผนังเซลล์ หรืออยู่ในเซลล์เฉพาะที่มีหน้าที่สะสมแทนนิน (tannin containing) ที่เรียกว่า ไอดีโอ بلاส (idioblasts) (Fahn A. 1990 : 26)

3.4 สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน (cellulose ion exchanger) (Dorfner K. 1977 : 1 - 83)

ในปัจจุบันมีการสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์จากเซลลูโลส เรียกว่า สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน เพื่อใช้ประโยชน์ในการดูดซับโลหะหนัก สามารถทำได้โดยใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชันผลิตภัณฑ์ที่ได้ประกอบด้วยไฮดรอกซีเซลลูโลส และหมู่คาร์บอกซิลิก 15% มีลักษณะเป็นผงไม่ละลายน้ำสามารถนำไปใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออนได้ serva cellulose ion exchanger เป็นสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนชนิดแรกที่เกิดขึ้นและสามารถจำหน่ายได้ในปริมาณมาก ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการยอมรับและความสำเร็จในการนำไปใช้งานของสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน คุณสมบัติที่สำคัญของ serva cellulose ion exchanger แสดงได้ในตาราง 2

ตาราง 2 คุณสมบัติของ serva cellulose ion exchanger (Dorfner K. 1977 : 1 - 83)

(CE = cation exchanger, AE = anion exchanger)

ชื่อ	กลุ่มแลกเปลี่ยน		ความจุ	ขนาดของ
	ไอออน	คุณสมบัติ		อนุภาค (mm.)
CM-Cellulose	-CO ₂ H ₂ COOH	CE, weak acid	0.62±0.1	50-200
P-Cellulose	-OPO ₃ H ₂	CE, medium acid	0.8-0.9	50-200
SE-Cellulose	-CO ₂ H ₂ SO ₃ H	CE, strong acid	0.2-0.3	50-200
DEAD-Cellulose	-OC ₂ H ₄ N(C ₂ H ₅) ₂	AE, strong base	0.4-0.55	50-200
TEAE-Cellulose	-OC ₂ H ₅ N ⁺ BR ⁻	AE, medium base	0.55-0.75	50-200
PAB-Cellulose	-OCH ₂ C ₆ H ₄ NH ₂	AE, weak base	0.15-0.2	50-200
AE-Cellulose	-OC ₂ H ₄ NH ₂	AE, weak base	0.33±0.1	50-200
BD-Cellulose	-CO ₂ H ₄ N(C ₂ H ₅) ₂	AE, medium base	0.8±0.05	50-200
GE-Cellulose	-OC ₂ H ₄ NH-C=NH ₂ ⁺ Cl ⁻	CE, strong base	0.2-0.3	50-200
BND-Cellulose	-OC ₂ H ₄ N(C ₂ H ₅) ₂	CE, medium base	0.8±0.05	50-200

เรซินที่ได้จากเซลลูโลส จะมีคุณสมบัติคล้ายกับเรซินสังเคราะห์จากกระบวนการทางเคมี แต่จะมีลักษณะบางประการที่แตกต่างกัน เช่น โครงสร้างของเซลลูโลสเป็นโครงสร้างที่ชอบน้ำ (hydrophilic) แต่โครงสร้างของเรซินสังเคราะห์เป็นโครงสร้างที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ผลจากคุณสมบัติของไฟเบอร์ในเซลลูโลส พบว่า มีการประสานกันด้วยพันธะไฮโดรเจนหมู่ไอออน ส่วนมากอยู่ตามตำแหน่งต่าง ๆ บนคาบของโครงร่าง ซึ่งมีระยะห่างประมาณ 50×10^{-10} เมตร ซึ่งหมู่ไอออนไม่สามารถที่จะลอดผ่านรูพรุนของโครงร่างของเรซินได้

3.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้วัสดุธรรมชาติเป็นสารดูดซับโลหะหนัก

งานวิจัยในประเทศ

ข้าวทิพย์ เจริญกิจ. (2531 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยโดยใช้ผักตบชวา มากำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งของหน่วยผลิตวงจรไฟฟ้า บริษัทพานิชย์อุตสาหกรรม จำกัด โดยวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งและในเนื้อเยื่อของผักตบชวา กระทำที่สภาวะคงที่ ในด้านปริมาตรของน้ำทิ้ง เวลาพักกันและความเข้มข้นของโลหะหนัก

ผลการทดลอง พบว่า การดูดกลืนโลหะหนักโดยผักตบชวา จะมีค่าสูงในช่วง 3 วันแรก และลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจนถึง 10 วัน โดยแนวโน้มของการลดลงเป็นเอกซ์โพเนนเชียล และผักตบชวามีขนาดกลางมีความสามารถในการกำจัดโลหะหนักมากกว่าขนาดใหญ่และเล็ก ส่วนการสะสมโลหะหนักจะไปสะสมที่ใบเท่ากับ 11.5 - 11.8 มิลลิกรัม/น้ำหนักแห้ง 1 กรัม สะสมที่ก้านใบช่วง 6.3 - 6.9 มิลลิกรัม/น้ำหนักแห้ง 1 กรัม และลำดับความทนทานของผักตบชวาต่อพิษของโลหะหนักเป็นดังนี้ โครเมียม, สังกะสี < นิกเกิล, ทองแดง < ตะกั่ว, แคดเมียม

วินัย สมบูรณ์. (2533 : 58) ได้ทำการวิจัยเพื่อศึกษาการใช้ ถ่านหิน ถ่านไม้ ขี้เลื่อย และเศษพืชแห้งซึ่งประกอบด้วยผักตบชวา เปลือกถั่ว แกลบ ฟางข้าว ถ่านบั่ว ดินกล้วย ชานอ้อย ดินจุบ ใบรูปถั่ว และใบสับปะรด ในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักชนิดเดียวปนอยู่ ซึ่งโลหะที่ศึกษา ได้แก่ โครเมียม ทองแดง นิกเกิล สังกะสี และแคดเมียม

ผลการทดลอง พบว่า วัสดุทุกชนิดสามารถบำบัดโลหะได้ทุกตัว แต่โลหะแคดเมียมกำจัดได้น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะชนิดอื่น และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่เตรียมขึ้นซึ่งเตรียมให้มีความเข้มข้นของโลหะต่าง ๆ ใกล้เคียงกับน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะเป็นดังนี้ คือ วัสดุที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง และไม่มีปัญหาเรื่องสีและความขุ่น ประกอบด้วย ถ่านไม้ เปลือกถั่วลิสง และผักตบชวา เมื่อเปรียบเทียบพบว่า ถ่านไม้สามารถบำบัด โลหะโครเมียม ทองแดง และสังกะสี ได้ดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพ 100, 100 และ 58 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สำหรับนิกเกิล พบว่าผักตบชวาบำบัดได้ดีที่สุดคือ 78 เปอร์เซ็นต์ สำหรับถ่านไม้สามารถกำจัดโลหะโครเมียม และทองแดง ในน้ำเสียผสมที่เตรียมขึ้นให้อยู่ในระดับต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยกระทรวงอุตสาหกรรม

เกศสุชา พูลคำ. (2537 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยโดยใช้ชานอ้อย ผักตบชวาเป็นวัสดุธรรมชาติในการกำจัดทองแดง นิกเกิล และสังกะสี โดยทำการวิจัยโดยใช้แบบคอลัมน์ ใช้คอลัมน์มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร บรรจุวัสดุธรรมชาติสูง 20 เซนติเมตร ซึ่งวัสดุธรรมชาติที่ใช้มีขนาด 0.18-0.21 มิลลิเมตร ในการทดลองจะทำการศึกษาถึงอิทธิพลของการปรับสภาพวัสดุด้วยกระบวนการทางเคมี และความเข้มข้นของน้ำเสีย กระบวนการทางเคมีที่ใช้ปรับสภาพคือ Carboxymethylation Reaction การป้อนน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะเจือปนอยู่จะควบคุมอัตราการไหล 3 มิลลิลิตร/นาที เวลาสัมผัส ประมาณ 20 นาที รีเจนเนอเรตด้วย HCl 0.5 นอร์มอล ที่อัตราไหล 10 มิลลิลิตร/นาที เวลาสัมผัสประมาณ 6 นาที

ผลการทดลอง พบว่า ผักตบชวาและชานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกระบวนการทางเคมี มีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักน้อยกว่าผักตบชวาและชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพทางเคมี โดยความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนโลหะของวัสดุที่ปรับสภาพมีค่าอยู่ในช่วง

0.052-0.496 มิลลิกรัมสมมูล/กรัม ส่วนวัสดุธรรมชาติที่ไม่ได้ปรับสภาพมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนได้ อยู่ในช่วง 0.065 - 0.809 มิลลิกรัมสมมูล/กรัม โดยประสิทธิภาพในการกำจัดเหมือนกันคือ ทองแดง>สังกะสี> นิกเกิล

ต่อมาเน้นทนา สิทธิพรโกวิท. (2538 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยโดยใช้ผักตบชวาเป็นวัสดุในการกำจัดทองแดง นิกเกิล และสังกะสีในน้ำเสีย ทำการทดลองโดยใช้คอลัมน์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร บรรจุวัสดุสูง 20 เซนติเมตร วัสดุที่ใช้มีขนาด 0.18-0.212 มิลลิเมตร ศึกษาอิทธิพลของการปรับสภาพด้วยกระบวนการทางเคมีและความเข้มข้นของน้ำเสีย ซึ่งกระบวนการปรับสภาพทางเคมีที่ใช้ คือ Sulphoethylation Reaction และ Crosslink-Xanthation Reaction และมีการควบคุมอัตราการไหลของน้ำเสีย 3 มิลลิลิตร/นาที

จากผลการทดลอง พบว่า สารเซลลูโลสชนิดซัลโฟเอทมีขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนประมาณ 0.233 - 0.503 มิลลิกรัมสมมูล/กรัม และชนิดโครอสต์ลิงค์-แซนเทตมีความสามารถแลกเปลี่ยนไอออนประมาณ 0.279 - 0.595 มิลลิกรัมสมมูล/กรัม ซึ่งมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย เมื่อพิจารณาราคาสารเคมีในการปรับสภาพ พบว่า สารเซลลูโลสชนิดโครอสต์ลิงค์-แซนเทตมีค่าสารเคมีถูกกว่า สำหรับประสิทธิภาพในการกำจัดของทั้งสองชนิดเหมือนกันคือ สังกะสี>นิกเกิล>ทองแดง

ฉวีพันธ์ ทรวงเกียรติกุล. (2539 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยใช้ขี้เลื่อยปรับสภาพด้วยฟอร์มาลดีไฮด์และกรดซัลฟิวริกในการกำจัดสารตะกั่วและนิกเกิลในน้ำเสีย 2 ชนิด คือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีตะกั่วและนิกเกิลผสมกันในอัตรา 10 : 1 และน้ำเสียจากโรงงานประกอบรถยนต์ที่มีตะกั่วเข้มข้น 18.35 มิลลิกรัม/ลิตร และนิกเกิล 2.025 มิลลิกรัม/ลิตร ทำการทดลองแบบต่อเนื่องให้น้ำเสียไหลผ่านขี้เลื่อยขนาด 0.295 - 1.68 มิลลิเมตร ในหลอดแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร บรรจุวัสดุสูง 30 เซนติเมตร ด้วยอัตราการไหลของน้ำเสีย 7.5 มิลลิลิตร/นาที เก็บด้วยน้ำเสียทุก ๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 10 ชั่วโมง

จากผลการทดลองว่า ขี้เลื่อยปรับสภาพแล้วสามารถดูดซับตะกั่วและนิกเกิลจากน้ำเสียได้โดยประสิทธิภาพการกำจัดขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของตะกั่วและนิกเกิล และชนิดของน้ำเสียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นั่นคือ เมื่อความเข้มข้นของตะกั่วและนิกเกิลเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพจะลดลง โดยขี้เลื่อยปรับสภาพมีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการกำจัดตะกั่ว> นิกเกิล

งานวิจัยต่างประเทศ

แรนคอลลี ฮัวตาลา และแมคโดนัลด์ (Randall Hautala and McDonald. 1978 : 379 - 387) ได้ทำการวิจัยโดยใช้เปลือกถั่วลิสงปรับสภาพด้วย 2% ฟอรั่มลดีไฮด์ในสารละลายกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 0.2 นอร์มอล ทำการกำจัดแคดเมียม, ทองแดง, โปรท, นิกเกิล, ตะกั่ว และสังกะสี ทำการทดลองโดยใช้คอลัมน์ ซึ่งทำจากหลอดแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.5 เซนติเมตร บรรจุเปลือกถั่วลิสงปรับสภาพที่บดและร่อนให้มีขนาด 1 มิลลิเมตร จำนวน 30 กรัม (สูงประมาณ 64 เซนติเมตร) ด้วยอัตราไหลในช่วง 1.0-4.3 ปริมาตรเรซิน/ชั่วโมง

จากผลการทดลอง พบว่า เปลือกถั่วลิสงปรับสภาพสามารถกำจัดไอออนโลหะต่าง ๆ ดังกล่าวได้ดี โดยพบว่าเมื่อความเข้มข้นของโลหะเพิ่มมากขึ้น การกำจัดไอออนโลหะออกจากสารละลายก็จะเพิ่มมากขึ้น แต่ร้อยละของการกำจัด (%removal) จะลดลงและจากการทดลองการแย่งกันจับกับเปลือกถั่ว (competitive experiment) โดยใช้สารละลายที่มีโลหะทั้ง 6 ชนิดผสมกัน ที่ความเข้มข้นชนิดละ 10 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่า โปรท, ตะกั่ว และทองแดง สามารถจับกับเปลือกถั่วปรับสภาพได้รวดเร็วและจับได้ดีกว่าแคดเมียม, นิกเกิล และสังกะสี ซึ่งจับกับเปลือกถั่วได้น้อยในช่วงแรก จนกระทั่งไอออนโลหะ 3 ชนิดแรก ซึ่งสามารถจับกับเปลือกถั่วได้ดีกว่าถูกกำจัดออกไปก่อน ทั้งแคดเมียม, นิกเกิล และสังกะสี จึงจะจับกับเปลือกถั่วได้ดีขึ้น

คูเมอร์ และดารา (Kumer and Dara. 1986 : 397 - 402) ได้ทำการวิจัยโดยใช้เปลือกหอมแดงกำจัดทองแดง สังกะสี นิกเกิล โปรท แคดเมียม และตะกั่ว ที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย การกำจัดสีของเปลือกหอมแดงและการปรับปรุงลักษณะทางกายภาพทำโดย นำเปลือกหอมแดงที่อบแห้งแล้ว บด 1 ส่วน แฉในสารฟอรั่มลดีไฮด์ 5 ส่วน และ H_2SO_4 0.2 นอร์มอล 5 ส่วน เป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ $50^{\circ}C$ นาน 24 ชั่วโมง การวิจัยนี้ใช้แบบครั้งคราว (batch study) และแบบใช้คอลัมน์ (column study) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร โดยควบคุมอัตราการไหลของน้ำเสียเท่ากับ 3 ปริมาตรเรซิน/เซนติเมตร ความเข้มข้นของโลหะหนักดังกล่าวในน้ำเสีย 4 ระดับ คือ 40, 100, 130 และ 220 มิลลิกรัม/ลิตร

จากผลการทดลอง พบว่า โลหะหนักถูกกำจัดได้ 63-99.87% และความสามารถสูงสุดของเปลือกหอมแดงที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพทางเคมีกำจัดทองแดง แคดเมียม ตะกั่ว นิกเกิล สังกะสีและโปรทได้ 1.62ม 1.55ม 1.35ม 1.30ม 1.22 และ 0.82 มิลลิกรัมสมมูล/กรัม ตามลำดับ

และในปีเดียวกันนี้ แม็คชี และคณะ (Macchi and et.al. 1986 : 431 - 444) ได้ทำการวิจัยโดยใช้กากกาแฟ (exhausted coffee grounds) กำจัดโปรทในน้ำเสีย การกำจัดสีของกากกาแฟสามารถทำโดยนำกากกาแฟแฉในสารละลาย NaOH 0.5 โมลาร์ กวนนาน 60 นาที กรองแล้วทำซ้ำอีก 2 ครั้ง จากนั้นนำไปแฉในสารละลาย HCl เข้มข้น 0.5 โมลาร์ กวนนาน 30 นาที กรองแล้วล้าง

ด้วยน้ำ การวิจัยเลือกใช้แบบครึ่งคราวและแบบใช้คอลัมน์ โดยมีการควบคุมพีเอชที่ 3 และ 11 ความเข้มข้นของ Hg อยู่ในช่วง 0.05-0.5 มิลลิกรัม/ลิตร

ผลการทดลองศึกษาอิทธิพลของพีเอช และความเข้มข้นของปรอทต่อประสิทธิภาพการกำจัด พบว่าที่พีเอชเท่ากับ 3 ประสิทธิภาพการกำจัดปรอทได้ 99.9% ที่พีเอชเท่ากับ 11 กำจัดปรอทได้ 99% ความสามารถในการดูดซับปรอทของกากกาแฟเท่ากับ 80 มิลลิกรัม/กรัม เมื่อสารละลายปรอทมีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร ในกรณีที่น้ำเสียมีปริมาณคลอไรด์สูง พีเอชที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดปรอทจะอยู่ในช่วง 10-11

ที และคาน (Tee and Khan, 1988 : 1223 - 1232) ทำการวิจัยโดยใช้กากใบชากำจัดโลหะตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสีในน้ำเสีย ใบชาที่นำมาใช้เป็นใบชาเหลือจากกระบวนการแปรรูปการเกษตรนำมาบด และคัดขนาด 60 - 80 mesh ดมในน้ำร้อน เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปแช่ใน HNO_3 0.1 โมลาร์ นาน 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทำการทดลองแบบครึ่งคราว โดยผสมกากใบชา ปริมาณตั้งแต่ 0 - 40 มก. กับน้ำเสียความเข้มข้นและพีเอชต่าง ๆ ในขวดพลาสติกโพลีเอทิลีนขนาด 150 มิลลิลิตร เขย่า 4 ชั่วโมง แล้วกรองน้ำไปวิเคราะห์โลหะหนัก ส่วนการทดลองแบบใช้คอลัมน์ บรรจุกากใบชา 1.8 กรัม ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสีย 100, 200, 300, 400 และ 500 มิลลิกรัม/ลิตร และอัตราไหลตั้งแต่ 0-40 มิลลิกรัม/นาที่

จากผลการทดลองแบบครึ่งคราว พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกากใบชา จะสามารถกำจัดโลหะหนักทั้งสามได้มากขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดสูงที่สุดที่ พีเอชเท่ากับ 6 ความสามารถในการดูดซับตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี มีค่า 0.38, 0.28 และ 0.18 มิลลิโมล/กรัม ของใบชา ตามลำดับ ส่วนผลการทดลองแบบใช้คอลัมน์ พบว่าโลหะหนักถูกกำจัดได้เกือบ 100% เมื่อใช้ใบชา 1.87 กรัม และน้ำเสียมีความเข้มข้นของโลหะหนัก 100 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ที่พีเอชเท่ากับ 6 และ พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักจะมากกว่า 90% แต่เมื่ออัตราไหลของน้ำเสียที่ผ่านคอลัมน์มีค่า 5.0 - 8.3 มิลลิลิตร/นาที่ เมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสีย และเพิ่มอัตราการไหล พบว่าความสามารถในการกำจัดโลหะหนักลดลง

เมอร์รานอน และแซตทรี (Meranon and Sastre, 1991 : 39 - 43) ทำการวิจัยโดยใช้กากแอปเปิ้ล ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำแอปเปิ้ล กำจัดทองแดง นิกเกิล และสังกะสีในน้ำเสียสังเคราะห์ กากแอปเปิ้ลที่ใช้พบว่ามีองค์ประกอบ เซลลูโลส 20% เฮมิเซลลูโลส 10% ลิกนิน 12% และส่วนประกอบอื่น ๆ การวิจัยแบบใช้คอลัมน์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร กระบวนการปรับสภาพกากแอปเปิ้ลที่ใช้คือ Phosphatation Reaction (P-AR) โดยปรับสภาพด้วย phosphorus (V) oxychloride และ Crosslinking - Xanthation Reaction (CLX-AR) โดยปรับ

สภาพด้วย epichlorhydrin และ carbon disulphide ให้น้ำเสียผ่านเข้าคอลัมน์ด้วยอัตราไหล 3 มิลลิลิตร/นาที่ เวลาสัมผัสประมาณ 20 นาที รีเจนเนอเรตด้วย HCl 0.5 นอร์มอล ที่อัตราไหล 10 มิลลิลิตร/นาที่

ผลการทดลองพบว่า ความสามารถแลกเปลี่ยนไอออนทองแดงของ P-AR, CLX-AR และ กากแอมป์เปิด ที่ปรับสภาพมีค่า 1.6, 1.1 และ 0.4 มิลลิกรัมสมมูล/กรัม ตามลำดับ สำหรับความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน นิกเกิล และสังกะสีของ P-AR, CLX-AR และกากแอมป์เปิดที่ไม่ปรับสภาพ มีค่า 1.1, 0.6 และ 0.3 มิลลิกรัมสมมูล/กรัม ตามลำดับ พบว่า กากแอมป์เปิด ขนาด 0.2-0.4 มิลลิเมตร มีความสามารถกำจัดโลหะหนักได้ดีกว่าขนาด 0.4-0.63 มิลลิเมตร ส่วนการเปรียบเทียบทางด้านกระบวนการเคมีในการปรับสภาพ พบว่ากากแอมป์เปิดชนิด P-AR สามารถกำจัดโลหะหนักได้ดีกว่า กากแอมป์เปิดชนิด CLX-AR และชนิดปรับสภาพประมาณ 2 และ 5 - 8 เท่า ตามลำดับ

แทน, ออยล์ และลี (Tan, Ooi and Lee. 1993 : 277 - 282) ได้ทดลองใช้ไฮโปคลอไรต์และปาล์มในการกำจัดโครเมียมที่มีประจุบวกหกในน้ำเสียสังเคราะห์ ทำการทดลองแบบครึ่งคราว และแบบใช้คอลัมน์ โดยเส้นไฮเมพรวัวและปาล์มจะนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส บดและร่อนคัดขนาดให้อยู่ในช่วง 0.60 - 0.85 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปต้มในน้ำกลั่นประมาณ 0.5 - 1.0 ชั่วโมง แล้วนำไปกวนใน NaOH 1.5 โมลาร์ ล้างด้วย HNO_3 2 โมลาร์ และน้ำกลั่นตามลำดับ นำไปอบแห้งก่อนใช้ทดลอง

จากผลการทดลองแบบครึ่งคราว พบว่า เวลาสัมผัสระหว่างโครเมียมกับวัสดุที่ใช้ในช่วง 20 นาทีแรก สามารถกำจัดโครเมียมได้ประมาณ 80% จากนั้นความสามารถในการกำจัดจะลดลงจนไม่สามารถกำจัดได้อีกต่อไป ระดับพีเอชต่าง ๆ ที่ศึกษา พบว่า ช่วงพีเอชที่เหมาะสมสำหรับไฮโปคลอไรต์คือ 1.5 - 5.0 และสำหรับไฮปาล์มคือ 1.5 - 3.0 ความสามารถในการดูดซับโครเมียมของไฮเมพรวัวเท่ากับ 5 และ 29 มิลลิกรัมโครเมียม/กรัม ที่พีเอชเท่ากับ 3 และ 2 ตามลำดับ ส่วนไฮปาล์มมีความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 5 และ 14 มิลลิกรัมโครเมียม/กรัม ที่พีเอช 3 และ 2 ตามลำดับ

จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนัก การดูดซับและการวิเคราะห์โลหะหนัก ผู้วิจัยได้ใช้เป็นแนวความคิดในการนำมาพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก โดยใช้เป็นบทเรียนต้นแบบเพื่อใช้เป็นที่ยึดแนวทางในการนำวัสดุธรรมชาติในท้องถิ่นมาใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้น ซึ่งจะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการนำไปพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการสำหรับการเรียนการสอน ดังนี้

3.6 ทฤษฎีการดูดซับ หรือการดูดติดผิว

การดูดซับหรือการดูดติดผิว (adsorption) เป็นปรากฏการณ์ที่โมเลกุลของของไหลหรือคอลลอยด์ เคลื่อนที่ไปสัมผัสและเกาะติดแน่นอยู่บนผิวของของแข็ง โดยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ต่างชนิดกันของสารที่เป็นของแข็งและของไหลนั้น สารของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของโมเลกุลหรือคอลลอยด์ เรียกว่า ตัวดูดซับ (adsorbent) ส่วนโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่มาเกาะจับ เรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (adsorbate) โดยการเกาะจับของโมเลกุลบนผิวของสารดูดซับ ได้ด้วยเหตุผล 3 ประการ คือ (มันสิน ตันจุลเวศม์, 2539 : 133 - 154)

1. การเกาะจับของโมเลกุลบนผิวของสารดูดซับ อาจเกิดขึ้นด้วยแรงแวน เดอ วาล์ (Van Der Waals Force) หรือ เกิดขึ้นโดยมีพันธะเคมี (chemisorption) หรือทั้งสองอย่างรวมกัน
2. ความสามารถในการดูดซับ (adsorbability) เนื่องจากตัวดูดซับมีพื้นผิวเป็นรูพรุน (porosity) ทำให้โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเกาะอยู่ที่รูพรุนนั้น
3. สารดูดซับมีประจุบนพื้นผิว สามารถดูดจับกับวัตถุอื่น ๆ ที่มีประจุตรงกันข้าม ทำให้เกิดการเกาะติดกันได้ สภาพดังกล่าวนี้ คล้ายปรากฏการณ์ของการแลกเปลี่ยนไอออน

3.6.1 ประเภทของสารดูดซับ

สารที่มีอำนาจดูดโมเลกุลต่าง ๆ มาติดผิวได้ เรียกว่า แอคซอร์เบนท์ มีหลายชนิด อาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้ (มันสิน ตันจุลเวศม์, 2539 : 133-134)

1. ประเภทสารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่าง ๆ , แมกนีเซียมออกไซด์, ถ่านกระดูก (bone charcoal), แอคทีเวตเตดซิลิกา (activated silica) เป็นต้น มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50-200 ตารางเมตร/กรัม มีข้อเสียคือ สามารถจับโมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด การใช้ประโยชน์จึงมีจำกัด
2. ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) เป็นสารดูดติดผิว ที่ดีกว่าสารอนินทรีย์ชนิดอื่น ๆ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600-1000 ตารางเมตร/กรัม ถ่านกัมมันต์ที่ใช้และเสื่อมแล้ว สามารถนำไปทำรีเจนเนอเรชัน และนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่มีข้อเสีย คือ การทำรีเจนเนอเรตคาร์บอน ต้องเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงมาก ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และต้องมีคาร์บอนบางส่วนสูญเสียไปเนื่องจากปฏิกิริยาเป็นผงละเอียดจนใช้การไม่ได้
3. ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ ที่มีประจุบนพื้นผิว สามารถดูดจับกับวัตถุอื่น ๆ ที่มีประจุตรงกันข้าม ทำให้เกิดการเกาะติดกันได้ ได้แก่ สารเรซินแลกเปลี่ยนไอออน ชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นมา เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่าง ๆ เป็นประเภทที่เรียกว่า เรซินที่มีโครงสร้างโมเลกุลใหญ่ (macroporous resin) เช่น สไตรีนไดไวนิลเบนซีน (styrene divinylbenzene (SDVB) resin) และ ฟีนอลฟอर्मัลดีไฮด์ (phenol - formaldehyde (PF) resin) เป็นต้น มีพื้นที่ผิวจำเพาะ

ประมาณ 300 - 500 ตารางเมตร/กรัม ซึ่งต่ำกว่าของถ่านกัมมันต์ แต่มีข้อดีกว่า คือ สามารถพื้นอำนาจได้ง่ายและรีเจนเนอเรชั่นมักเป็นสารราคาถูก เช่น แก๊สโอแกน สำหรับในประเทศไทยความเหมาะสมในการใช้เรซินดูดซับดีมี มีมากกว่าถ่านกัมมันต์ เมื่อคำนึงถึงข้อจำกัดในเรื่องรีเจนเนอเรชั่น

3.6.2 ขั้นตอนการดูดซับดีมี

ขั้นตอนที่เกิดขึ้นในระหว่างการดูดซับดีมี มีดังนี้

1. การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวถูกละลายเข้าหาสารดูดซับดีมี โดยการเคลื่อนที่อาจเกิดเนื่องจากการกวนน้ำ จนทำให้เกิดความปั่นป่วน หรือเนื่องจากกลไกการเคลื่อนที่ในระดับโมเลกุล ที่เกิดจากการแพร่กระจายแบบบราวเนียน(Brownian movement) การเคลื่อนที่ตามเส้นทางการไหล ของน้ำ ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ที่มีกลไกเช่นเดียวกับที่เกิดในเครื่องกรองน้ำ
2. เมื่อโมเลกุลของตัว ถู ก ละลาย เข้า มา ถึง สารดูดซับดีมี ซึ่งมีฟิล์มของน้ำห่อหุ้มอยู่โดยรอบคล้ายเยื่อบาง ๆ โมเลกุลต้องแทรกตัวผ่านฟิล์มน้ำให้ได้ จึงจะเข้าถึงผิวของสารดูดซับดีมีได้
3. เนื่องจากสารดูดซับดีมีมีพื้นที่ผิว ที่ลักษณะเป็นโพรง หรือช่องว่างภายใน โมเลกุลของตัวถูกละลายจึงต้องแทรกตัวเข้าไปถึงช่องว่างภายในสารดูดซับดีมี จึงจะมีการดูดซับดีมีเกิดขึ้น
4. โมเลกุลต้องเกาะติดบนผิวของสารดูดซับดีมีโดยไม่หลุด

3.7 การหาปริมาณของสารโดยใช้วิธีดูดกลืนแสง

สำหรับทฤษฎีเกี่ยวกับการหาปริมาณของสารโดยใช้วิธีดูดกลืนแสง ผู้วิจัยได้ค้นคว้าจากเอกสารของ พิมล เรียนวัฒนา. (2524 : 30 - 49, 176 - 193), แม้น อมรสิทธิ์ และอมรเพชรสม. (2534 : 90 - 115) และศุภชัย ไข่เทียมวงศ์. (2539 : 225 - 230) ซึ่งสามารถสรุปได้ ดังนี้

การวิเคราะห์โดยการวัดการดูดกลืนแสงของสารที่มีสี แต่เดิมเป็นเทคนิคที่ใช้การเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารที่มีองค์ประกอบเป็นสารที่เราต้องการทราบปริมาณในสารละลาย กับสีของสารละลายที่ประกอบด้วยสาร ซึ่งเราทราบความเข้มข้น ต่อมาพบว่า ถ้าผ่านแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วงแสงอินฟราเรด (infrared) แสงวิสิเบิล (visible light) หรือในช่วงของแสงอัลตราไวโอเลต (ultraviolet) เข้าไปในสารละลาย พบว่าแสงจะถูกดูดกลืน ณ ที่ช่วงความยาว ของคลื่นที่มีค่าบางค่า ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่ ละลายในสารละลายนั้น การวัดการดูดกลืนของแสงกระทำได้โดยใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ เทคนิคการหาปริมาณของสารแบบนี้เรียกว่า

แอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตเมตรี (absorption spectrophotometry) ซึ่งแบ่งออกตามความยาวคลื่นของแสงที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1.สเปกโตรโฟโตเมตรีในช่วงแสงอินฟราเรด (Infrared Spectrophotometry) เกี่ยวกับการดูดกลืนแสงที่อยู่ในช่วงคลื่นระหว่าง 1 ถึง 15 ไมโครเมตร

2.สเปกโตรโฟโตเมตรีในช่วงแสงวิสิเบิล (Visible Spectrophotometry) เกี่ยวกับการดูดกลืนแสงที่อยู่ในช่วงคลื่นระหว่าง 380 ถึง 780 นาโนเมตร

3.สเปกโตรโฟโตเมตรีในช่วงแสงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet Spectrophotometry) เกี่ยวกับการดูดกลืนแสงที่อยู่ในช่วงคลื่นระหว่าง 200 ถึง 380 นาโนเมตร

การดูดกลืนแสงของสารอินฟราเรดจะมีประโยชน์ในการวิเคราะห์ทางอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ สำหรับการดูดกลืนแสงวิสิเบิลและแสงอัลตราไวโอเล็ตส่วนมาก จะมีประโยชน์ในการวิเคราะห์สารทางอนินทรีย์เคมี

ในการวิจัยครั้งนี้จะกล่าวถึงสเปกโตรโฟโตเมตรีที่เกี่ยวกับการดูดกลืนแสงของสารในช่วงแสงวิสิเบิลเท่านั้น เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับงานปริมาณวิเคราะห์เบื้องต้นที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

การดูดกลืนแสงของสารในช่วงแสงวิสิเบิล

มีสารอินทรีย์และอนินทรีย์จำนวนมากที่สามารถหาปริมาณได้โดยการวัดการดูดกลืนแสงในช่วงแสงวิสิเบิล หลักที่สำคัญในเรื่องนี้ก็คือ สารที่ต้องการหาปริมาณจะต้องมีสีหรือสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นแล้วทำให้เกิดสารที่มีสี ซึ่งในทางทฤษฎี สารละลายที่มีสีที่ใช้ในการวิเคราะห์ ควรมีสมบัติดังนี้

1. สีของสารควรมีความเข้มมากพอที่จะวัดการดูดกลืนของแสงได้ ถึงแม้สารนั้นจะประกอบด้วยสารที่ต้องการวิเคราะห์เป็นจำนวนเล็กน้อยก็ตาม

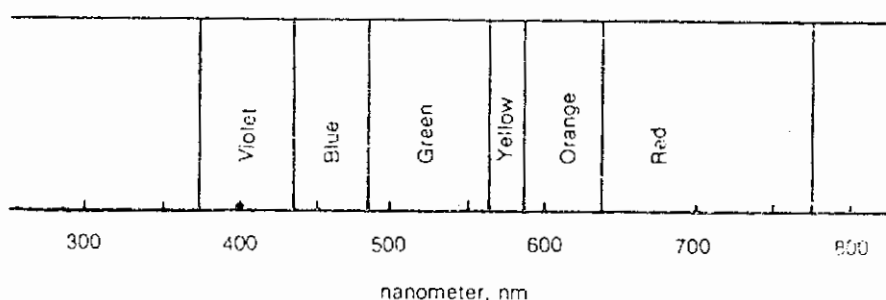
2. สีของสารที่อยู่ในสารละลายจะต้องอยู่ตัวไม่จางลงอย่างรวดเร็ว

3. สีของสารจะต้องไม่เปลี่ยนแปลงหรือจางลงเมื่อ pH หรืออุณหภูมิของสารละลายเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย

4. สารรีเอเจนต์ที่ทำให้เกิดสีกับสารที่เราต้องการวิเคราะห์ จะต้องไม่มีสีหรือไม่ดูดกลืนแสงที่มีช่วงคลื่นเดียวกับสารที่มีสีที่เกิดขึ้น

5. ปฏิกิริยาของรีเอเจนต์ที่ทำให้เกิดสารที่มีสีกับสารที่ต้องการวิเคราะห์ จะต้องให้สารที่มีสีชนิดเดียวเท่านั้น

แสงวิสิเบิล ประกอบด้วยช่วงคลื่นแคบ ๆ ของสเปกตรัม ช่วงแสงที่มีสมบัติเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งแต่ละช่วงจะมีสีเฉพาะตัวสามารถมองเห็นด้วยตา ช่วงคลื่นของแสงที่กล่าวมานี้จะมีช่วงคลื่นตั้งแต่ 380 นาโนเมตร (แสงสีม่วง) ถึง 780 นาโนเมตร (แสงสีแดง) รูปที่ 5 แสดงถึงแถบสเปกตรัมของแสงที่มีสีต่าง ๆ ที่อยู่ในช่วงของแสงวิสิเบิล



ภาพประกอบ 5 แถบสเปกตรัมของแสงที่อยู่ในช่วงของแสงวิสิเบิล
(ศุภชัย ใช้เทียมวงศ์. 2539 : 226)

แสงที่ประกอบด้วยแสงที่มีสีทุกสีในช่วงคลื่นของแสงที่มีสีทั้งหมด เราจะมองเห็นแสงนั้นเป็นแสงสีขาว แต่ถ้าแสงสีหนึ่งหรือหลายสี ถูกนำออกไปจากแสงสีขาว ตามนุษย์จะมองเห็นแสงนั้นมีสีอื่นทันที เราแบ่งสมบัติของแสงตามตาของมนุษย์ดังนี้ ชนิดของสี ความเข้มของสี และความสว่าง แสงสีต่าง ๆ แบ่งตามช่วงคลื่นดังภาพประกอบ 5 แสงบางสีหรือบางช่วงคลื่นที่ถูกนำออกไปจากแสงสีขาว ผลที่ได้ทำให้เรามองเห็นเป็นแสงอีกสีหนึ่งหรืออีกหลายสีผสมกัน สีของแสงที่ถูกนำเอาออกไปและสีของแสง ที่เหลือให้เรามองเห็น เรียกว่า สีส่วนเติมเต็ม (complementary color) แสดงไว้ในตาราง 3 ความเข้มข้นของแสงสีใดสีหนึ่ง จะขึ้นกับสัดส่วนของแสงนั้นต่อสัดส่วนของแสงสีขาวที่มีอยู่ในลำแสง ถ้าสัดส่วนของแสงที่มีสีมาก ความเข้มของสีนั้นก็ยิ่งมาก ถ้าสัดส่วนของแสงสีนั้นมีน้อย ความเข้มของสีนั้นก็ยิ่งน้อยหรือสีจาง ความสว่างของแสงหาได้จากกำลังส่องสว่างของลำแสงนั้น

ตาราง 3 คลื่นแสงที่ถูกสารดูดกลืน และสีที่มองเห็น

ช่วงคลื่นของแสง ที่ถูกดูดกลืนโดยสาร (nm.)	สีที่ถูกดูดกลืน	สีที่มองเห็นโดยตา
400-435	ม่วง	เหลืองแกมเขียว
435-480	น้ำเงิน	เหลือง
480-490	น้ำเงินแกมเขียว	ส้ม
490-500	เขียวแกมน้ำเงิน	แดง
500-560	เขียว	คราม
560-580	เหลืองแกมเขียว	ม่วง
580-595	เหลือง	น้ำเงิน
595-650	ส้ม	เขียวแกมน้ำเงิน
650-750	แดง	น้ำเงินแกมเขียว

เมื่อมีแสงสีขาวส่องผ่านของเหลวหรือสารละลาย (หรือเมื่อถูกของแข็งแล้วสะท้อนที่ผิวของของแข็งนั้น) เช่น สารละลายที่ประกอบด้วยไอออน (III) และไฮโอไซยานดไอออน ได้ สารละลายของ $\text{Fe}(\text{SCN})_2^{2+}$ มีสีแดง สารละลายจะดูดกลืนเอาแสงที่มีช่วงคลื่นสั้น คือ สีเขียวแกมน้ำเงิน (blue - green) แล้วปล่อยแสงที่มีสีส่วนเดิมเดิมที่เป็นสีแดง ซึ่งมีช่วงคลื่นยาวกว่า ให้ตามองเห็น สำหรับสารละลายสีน้ำเงินเอง $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ ที่มองเห็นเป็นสีน้ำเงินเข้ม แสดงว่า แสงสีแดงถูกดูดกลืนโดยสารละลายนี้

หลักทั่วไปของสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

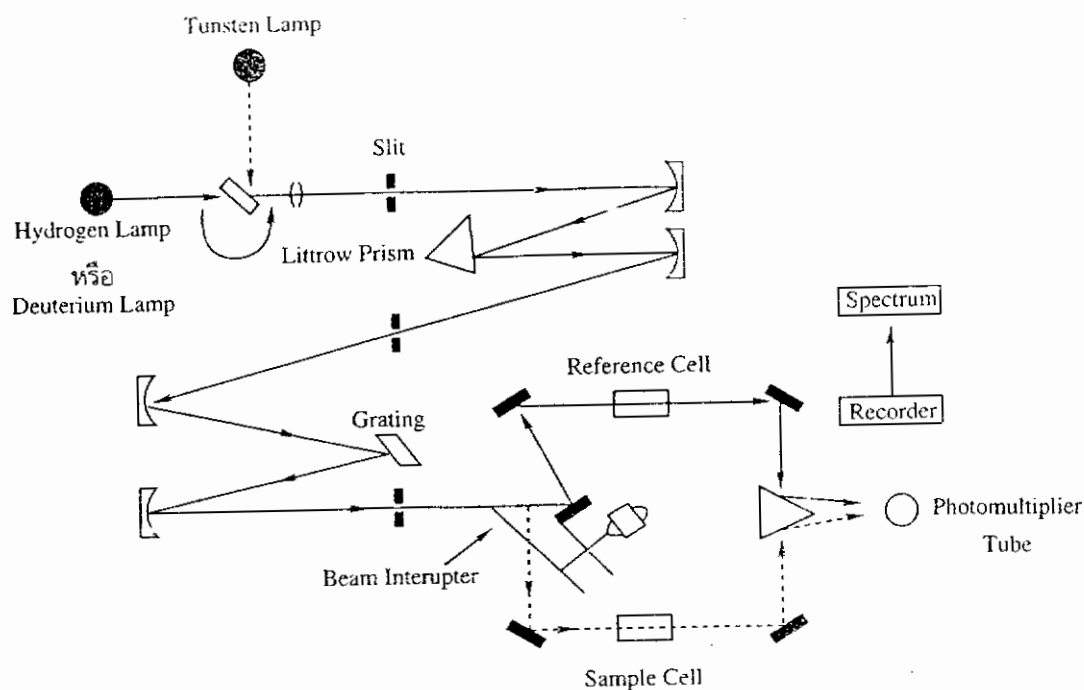
สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดการดูดกลืนแสงของสารในช่วงคลื่นค่าหนึ่ง ๆ ในเครื่องมือสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ จะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

ก. แหล่งกำเนิดพลังงานแสง (radiation source) ซึ่งจะเป็นหลอดไฟที่มีฟิลาเมนต์เป็นโลหะทังสเตน (tungsten filament lamp) ส่งให้กำเนิดแสงในช่วงแสงวิสิเบิล

ข. หน่วยจำแนกช่วงคลื่นของแสง (monochromater) ประกอบด้วยปริซึม (prism) หรือเกรตติง (grating) ในบางชนิดอาจใช้แผ่นแก้วกรองแสง (glass filter)

ค. เซลล์สำหรับใส่สารละลาย (absorption cell)

ง. หน่วยตรวจวัด (detector) ใช้ photocell

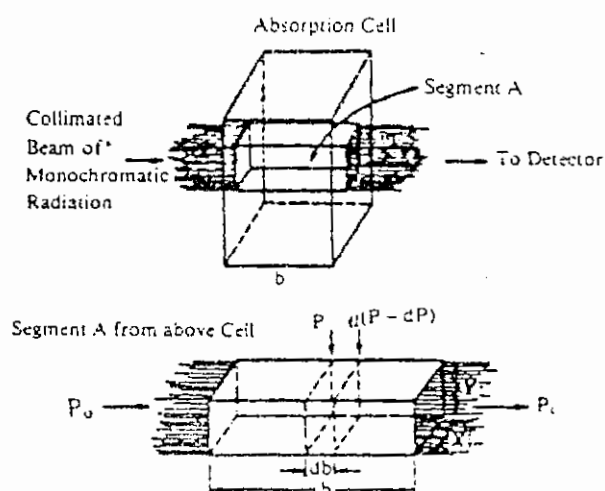


ภาพประกอบ 6 ส่วนประกอบอย่างย่อของสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

(มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาราช. 2538 : 32)

หลักในการหาปริมาณของสารกับการวัดปริมาณของแสงที่ถูกดูดกลืน

ในการวัดปริมาณของแสงหรือ radiation ที่ถูกดูดกลืนด้วยสารตัวอย่างนั้น เราสามารถทำได้โดยให้ลำแสงผ่านเข้าไปในสารตัวอย่าง แล้ววัดปริมาณของแสงที่ผ่านทะลุออกมา โดยเปรียบเทียบกับแสงที่ทะลุออกมาเมื่อไม่มีสารตัวอย่าง ดังภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 กระบวนการวัดการดูดกลืนแสง

(แม้น อมรสิทธิ์, อมร เพชรสม. 2534 : 96)

เมื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนของกำลังส่องสว่าง (radiant power) ที่เกิดจากการผ่านหน่วยจําแนกช่วงคลื่นของแสง (monochromatic radiation) เข้าไปยังเซลล์ซึ่งใส่แต่ตัวทำละลายกับสารอื่น ๆ ซึ่งไม่มีสารที่จะดูดกลืนแสง เรียกว่า แบลงค์ ดังนั้น radiant power ที่ผ่านทะลุออกมาให้เป็น P_0

พิจารณาจากรูป Segment A ในภาพประกอบ 7

P_0 = corrected incident radiant energy

dP = radiant power ที่ลดลงเพียงเล็กน้อย เมื่อผ่านชั้นบาง ๆ หรือเป็น radiant power ที่ถูกดูดกลืนโดยชั้นบาง ๆ db

จากกฎของเบียร์ (Beer's law) หรือกฎของเบียร์และแลมเบิร์ต (Beer and Lambert's law) ซึ่งอาจกล่าวสั้น ๆ ได้ว่า "ค่าแอมซอร์บแนนซ์ของสารละลายจะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับความเข้มข้น" ดังสมการต่อไปนี้

$$A = \epsilon bc = \log \frac{P_0}{P} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{หรือ } -\log T = \epsilon bc \quad \dots\dots\dots (2)$$

A = แอมซอร์บแนนซ์ (absorbance)

ϵ = โมลาร์แอมซอร์บติวิตี (molar absorptivity)

b = ความกว้างของเซลล์ เป็น เซ็นติเมตร (cm)

c = ความเข้มข้นเป็น โมลต่อลิตร (mol/l)

ถ้าความเข้มข้นเป็น กรัม/ลิตร หรือหน่วยอื่น ให้เขียนเป็น

$$A = abc \quad \dots\dots\dots (3)$$

a = แอมซอร์บติวิตี (absorptivity)

ทั้ง ϵ และ a เป็นค่าคงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสารและความยาวคลื่น

ความสัมพันธ์ของ A และเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตเทนซ์

$$\frac{P_0}{P} = T$$

$$100 \frac{P_0}{P} = \% T$$

$$\log 100 \frac{P_0}{P} = \log \% T$$

$$\begin{aligned}
 2 + \log \frac{P_o}{P} &= \log \% T \\
 2 - A &= \log \% T \\
 A &= 2 - \log \% T \quad \dots\dots\dots(4)
 \end{aligned}$$

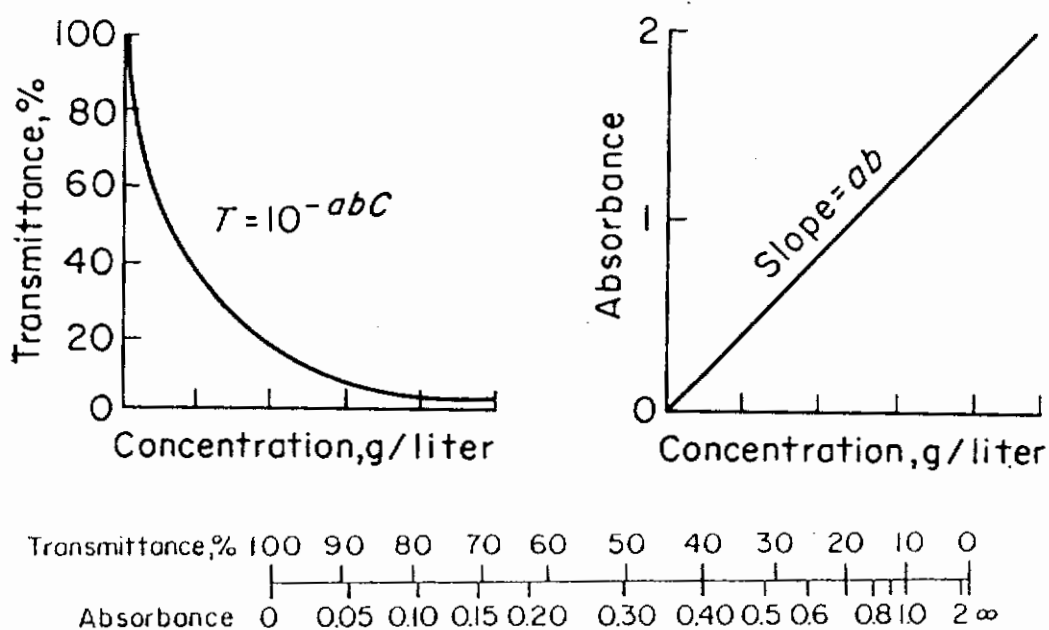
การที่เราได้กฎของเบียร์เป็น $A = \epsilon bc$ นี้เราได้สมมุติว่า

1. แสงหรือ radiant power ที่ใช้ผ่านสารละลายหรือวัตถุนั้น ต้องเป็นแสงโมโนโครมาติก

2. กระบวนการดูดกลืนแสงของแต่ละอนุภาคนั้นต้องไม่ขึ้นแก่กัน นั่นคือสารละลายของแต่ละชนิดต้องไม่มีอันตรกิริยาระหว่างอนุภาค

3. สารละลายที่นำไปวัดจะต้องเป็นสารละลายเนื้อเดียวกัน

ถ้าเขียนกราฟระหว่างค่า A กับความเข้มข้น จะได้กราฟเส้นตรง (ดังภาพประกอบ 8) แต่ถ้าเขียนกราฟระหว่างเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแทนซ์กับความเข้มข้น จะได้กราฟเป็นเส้นโค้ง ดังภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอบซอร์เบ้นซ์และเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแทนซ์กับความเข้มข้นของสารละลาย (Willard. 1965 : 78)

ตาราง 6 สัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องในการวัดปริมาณของแสงที่ถูกดูดกลืน

ชื่อ	สัญลักษณ์	คำจำกัดความ	ชื่ออย่างอื่นที่ใช้
Radian Power	P, P_0	เป็นพลังงานของแสงหรือรังสีที่ตกลงในมาตรวัดต่อ cm^2 ต่อวินาที	ความเข้มของแสงหรือรังสี I, I_0
แอมบอร์แบนซ์	A	$\log \frac{P_0}{P}$	optical density, OD, extinction, E
ทรานสมิตแทนซ์	T	$\frac{P_0}{P}$	ทรานสมิตชัน
ความกว้างของเซลล์	b	ระยะทางที่แสงผ่านเป็น cm .	l (length) d (distance)
โมลาร์แอมบอร์พิตีวิตี (molar absorptivity)	ϵ	$\frac{A}{bc}$ ($c = \text{โมล/ลิตร}$)	molar extinction coefficient
แอมบอร์บิตีวิตี (absorptivity)	a	$\frac{A}{bc}$ ($c = \text{โมล/ลิตร}$)	extinction coefficient, k
ความยาวคลื่น	λ	$\lambda = \frac{hc}{E}$ ($\text{nm}, 10^{-9}\text{m}$)	$m\mu$ (millimicron)

จากหลักการวิเคราะห์ ด้วยการหาปริมาณของสารโดยใช้วิธีดูดกลืนแสงของสารที่มีสี จะเห็นได้ว่า สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ในการวิเคราะห์โลหะหนักได้ โดยอาศัยปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะ (metal complex) กับสารอินทรีย์บางตัว แล้ววัดสีหรือการดูดกลืนแสง(absorption)ของแสง ของสารประกอบเชิงซ้อน (complex) ที่เกิดขึ้น ตามหลักการสเปกโทรโฟโตเมตริกที่กล่าวไว้ข้างต้น

ในการวิจัยนี้ได้ศึกษาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะหนักที่ศึกษา คือ โดยศึกษาจากปฏิกิริยาของโลหะหนักที่แสดงไว้ในเอกสารของ ประเสริฐ ศรีไพโรจน์. (2535 : 29 - 68) และโวเกิล อาร์เธอร์ (Vogel, Arthur I. 1987 : 76 - 123) ซึ่งรายละเอียดดังกล่าวในข้อ 3.8

3.8 การเกิดสารประกอบเชิงซ้อน

3.8.1 ปฏิกิริยาของทองแดง

ทองแดง (copper) ทองแดงเป็นโลหะที่มีปฏิกิริยาล้าชดกับปรอทมาก ไม่ละลายใน monoxidizing acid ที่เจือจาง แต่ละลายในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นอย่างช้า ๆ เกิดคอมเพล็กซ์ไอออน CuCl_4^{2-} ทองแดงละลายได้ดีในกรดไนตริกหรือกรดซัลฟิวริกที่เข้มข้นและร้อน โลหะทองแดงสามารถเกิดปฏิกิริยาแทนที่ปรอทและเงินในสารประกอบของปรอทและเงินได้ และสารประกอบของทองแดง ทองแดงอาจถูกแทนที่ด้วยเหล็ก อะลูมิเนียมหรือสังกะสีได้ สารประกอบที่สำคัญของทองแดงมี 2 ชนิด จะขอแยกกล่าวดังต่อไปนี้

สารประกอบคิวปริส (cuprous compounds) สารประกอบคิวปริสมีความคล้ายคลึงกับสารประกอบของเงินและปรอท (mercurous compounds) หลายอย่าง เช่น สารประกอบคลอไรด์มีสูตร Cu_2Cl_2 เป็นผลึกสีขาวไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในกรดไฮโดรคลอริก (เกิด CuCl_4^{2-} ไอออน) และในแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ที่มากเกินไป (เกิด $\text{Cu}_2(\text{NH}_3)_2^{2+}$ ไอออน) เป็นต้น โดยทั่วไปแล้ว ปฏิกิริยาของ Cu_2^{2+} ไอออนกับรีเจนต์ต่าง ๆ เป็นดังนี้

1. ปฏิกิริยากับไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogen sulphide) ให้ตะกอนสีดำของ Cu_2S ซึ่งไม่ละลายใน monoxidizing acid ที่เจือจาง แต่ละลายในกรดไนตริกที่ร้อน (เกิด $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$) และในโพแทสเซียมไซยาไนด์หรือโซเดียมไซยาไนด์ (เกิด $\text{Cu}(\text{CN})_4^{2-}$ ไอออน)

2. ปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) ให้ตะกอนสีเหลืองของ $\text{Cu}_2(\text{OH})_2$ เมื่อนำไปต้มจะสลายตัวเป็น Cu_2O ซึ่งมีสีแดง

สารประกอบคิวปริก (Cupric compounds) เมื่อ Cu^{2+} ไอออน ทำปฏิกิริยากับรีเจนต์ต่าง ๆ จะได้สารประกอบดังนี้

3. ปฏิกิริยากับไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogen sulphide) ให้ตะกอนสีดำของ CuS ซึ่งไม่ละลายใน monoxidizing acid ที่เจือจาง CuS ละลายได้เล็กน้อยในแอมโมเนียมซัลไฟด์ แต่ละลายได้ดีในกรดไนตริกที่ร้อน หรือในโพแทสเซียมไซยาไนด์ที่มากเกินไป (เกิด $\text{Cu}(\text{CN})_4^{2-}$ ไอออน)

4. ปฏิกิริยากับโพแทสเซียม หรือ แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (potassium หรือ ammonium hydroxide) ให้ตะกอนสีเขียวของ $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ซึ่งไม่ละลายในน้ำหรือด่าง (alkali) แต่ละลายในแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ที่มากเกินไป (ให้น้ำเงินเข้มของ $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ ไอออน) ในโพแทสเซียมไซยาไนด์และในกรด

5. ปฏิกิริยากับโพแทสเซียมหรือโซเดียมไอโอไดด์ (potassium หรือ sodium iodide) ให้ตะกอน CuI_2 ซึ่งไม่เสถียรจะสลายตัวให้ไอโอไดนและตะกอนสีชมพูขาวของ

Cu_2I_2 ซึ่ง Cu_2I_2 ไม่ละลายในน้ำแต่ละลายในอัลคาไลไอโอไดด์ (alkali iodide) ที่มากเกินไปหรือในโซเดียมไทโอซัลเฟต

6. ปฏิกริยากับอัลคาไลคาร์บอเนต (alkali carbonate) ให้ตะกอน basic carbonate ของ $\text{Cu}(\text{OH})\text{CO}_3$ ซึ่งละลายในกรดและในแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

7. ปฏิกริยากับโพแทสเซียมเฟอร์โรไซยาไนด์ (potassium ferrocyanide) ให้ตะกอนสีน้ำตาลแดงของ $\text{CuFe}(\text{CN})_6$ ซึ่งไม่ละลายในน้ำ ในกรดอ่อนหรือกรดเจือจางแต่ละลายในแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ สำหรับเกลือไนเตรด ซัลเฟต และคลอไรด์ ละลายได้ดีในน้ำ

8. ปฏิกริยากับสารละลายแอมโมเนีย (ammonia solution) ให้สีน้ำเงินเข้มเป็นสีของคอมเพล็กซ์ ไอออน $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$

3.8.2 ปฏิกริยาของนิกเกิล

นิกเกิล (nickel) นิกเกิลละลายได้ง่ายในกรดไนตริกเช่นเดียวกับโคบอลต์ แต่ละลายได้น้อยในกรดไฮโดรคลอริกและกรดซัลฟิวริกที่เจือจาง เมื่อนิกเกิลเกิดเป็นคอมเพล็กซ์ ไอออนจะมีขนาดแตกต่างกัน โดยที่นิกเกิลจะใช้เลขออกซิเดชัน +2 และ +3 แต่ส่วนมากจะใช้เลขออกซิเดชัน +2 มากกว่า +3

สารประกอบของนิกเกิล (nickel compounds) เมื่อให้ Ni^{2+} ไอออน ทำปฏิกริยากับรีเอเจนต์ต่อไปนี้ จะได้สารประกอบของนิกเกิล ดังนี้

1. ปฏิกริยากับแอลคาไล (alkalies) ให้ตะกอนสีเขียวของ $\text{Ni}(\text{OH})_2$ ซึ่งไม่ละลายในสารละลายแอลคาไลที่มากเกินไป แต่ละลายในสารละลายผสมระหว่างเกลือแอมโมเนียมและแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (เกิด $\text{Ni}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ ไอออน) และในกรด

2. ปฏิกริยากับแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (ammonium hydroxide) ให้ตะกอนของ $\text{Ni}(\text{OH})\text{Cl}$ ซึ่งละลายในนิกเกิลไฮดรอกไซด์

3. ปฏิกริยากับตัวออกซิไดส์ (oxidizing agent) เช่น Br_2 , Cl_2 หรือ NaClO จะออกซิไดส์ $\text{Ni}(\text{OH})_2$ ในสารละลายค้างให้เป็นตะกอนสีดำของ $\text{Ni}(\text{OH})_3$ ซึ่งไม่ละลายในแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไซยาไนด์ แต่ละลายในกรดแรม

4. ปฏิกริยากับไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือแอมโมเนียมซัลไฟด์ (hydrogen sulphide) หรือ ammonium sulphide ให้ตะกอน สีดำของ NiS (ตะกอนเกิดในสารละลายที่เป็นค่า่างหรือเป็นกลาง ซึ่งไม่ละลายในแอมโมเนียม ซัลไฟด์ แต่ละลายได้อย่างช้า ๆ ในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 mol/dm^3 และเย็น ละลายได้อย่างรวดเร็วในกรดกำมะถันหรือในกรดไนตริกเข้มข้น

ไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 mol/dm^3 และเย็น ละลายได้อย่างรวดเร็วในกรดกำมะถันหรือในกรดไนตริกเข้มข้น

5. ปฏิกริยากับคาร์บอเนต (carbonate) ให้ตะกอนสีเขียวของ NiCO_3 ซึ่งละลายในสารละลายผสมของเกลือแอมโมเนียมและแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ในแอมโมเนียมคาร์บอเนตหรือในกรด

6. ปฏิกริยากับฟอสเฟต (phosphate) ให้ตะกอนสีเขียวของ $\text{Ni}_3(\text{PO}_4)_2$ ซึ่งละลายในกรดที่เจือจาง

7. ปฏิกริยากับโพแทสเซียมไซยาไนด์ (potassium cyanide) ให้ตะกอนสีเขียวของ $\text{Ni}(\text{CN})_2$ ซึ่งละลายในโพแทสเซียมไซยาไนด์ที่มากเกินไป (เกิด $\text{Ni}(\text{CN})_4^{2-}$ ไอออน ที่ละลายตัวได้ในกรด) เมื่อให้สารละลายที่มี $\text{Ni}(\text{CN})_4^{2-}$ ไอออน ทำปฏิกริยากับไฮโดรเจนซัลไฟด์จะได้ NiS แต่เมื่อให้ทำปฏิกริยากับตัวออกซิไดส์ที่แรงจะละลายตัวให้ $\text{Ni}(\text{OH})_3$ และไซยาเนต-ไอออน (CNO^- ไอออน)

8. ปฏิกริยากับโพแทสเซียมเฟอร์โรไซยาไนด์ (potassium ferrocyanide) ให้ตะกอนสีเขียวของ $\text{Ni}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$ ซึ่งไม่ละลายในกรดไฮดรอกไซด์ที่เจือจาง

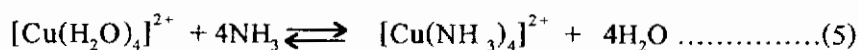
9. ปฏิกริยากับโครเมต (chromate) ให้ตะกอน basic chromate ของ $\text{Ni}(\text{OH})\text{CrO}_4$ ในสารละลาย Ni^{2+} ไอออนที่ร้อน แต่จะเกิดปฏิกริยาอย่างช้า ๆ ในสารละลายที่เย็น (ปฏิกริยานี้ใช้แยกนิเกิลและโคบอลต์ออกจากกันได้ เพราะโคบอลต์ จะเกิดปฏิกริยาในสารละลายที่เย็น แต่นิกเกิลเกิดปฏิกริยาในสารละลายที่ร้อน)

10. ปฏิกริยากับไดเมทิลไกลออกซิม เมื่อเติมไดเมทิลไกลออกซิม ลงในสารละลายที่มี Ni^{2+} ไอออน ซึ่งทำให้เป็นเบสด้วย NH_3 จะได้ตะกอนสีแดงของ $\text{Ni}(\text{C}_4\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2)_2$

จะเห็นได้ว่า ทองแดงและนิกเกิล สามารถทำปฏิกริยากับสารเคมีต่าง ๆ ได้มาก ในการวิจัยครั้งนี้ จึงพิจารณาคุณสมบัติของสารเคมีที่เหมาะสมที่จะใช้ในการทำปฏิกริยา ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการทดลองได้ ง่าย ราคาถูก ปฏิกริยาชัดเจน ซึ่งได้เลือกปฏิกริยาสำหรับทองแดงและนิกเกิลที่ทำการวิจัย ดังนี้

(1) ทองแดงทำปฏิกริยากับสารละลายแอมโมเนีย (NH_3)

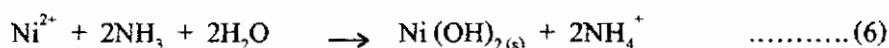
Cu^{2+} ในสารละลายที่มีน้ำจะอยู่ในรูป $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$ เมื่อเติมแอมโมเนียลงไปจะเกิดการแลกเปลี่ยนลิแกนด์ได้ ดังสมการ



ปฏิกิริยาข้างบนนี้เกิดเมื่อมีแอมโมเนียมากเกินไป เราอาจติดตามปฏิกิริยานี้ได้ไม่ยากนัก เพราะว่า $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ มีสีน้ำเงินเข้ม ฉะนั้น เมื่อเติมแอมโมเนียลงไปในสารละลายของ $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$ ก็จะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงจากสีน้ำเงินอ่อนไปเป็นสีน้ำเงินเข้ม

(2) นิโคเกิลทำปฏิกิริยากับไดเมทิลไกลออกซิม ($\text{C}_4\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2$)

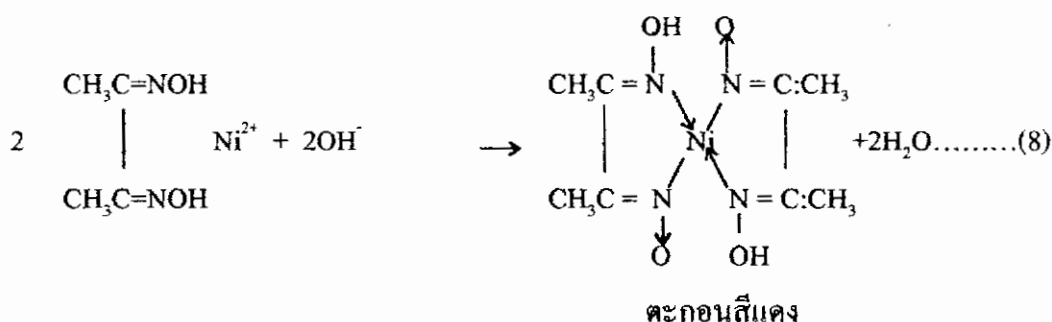
Ni^{2+} ในสารละลายแอมโมเนีย จะอยู่ในรูป $\text{Ni}(\text{OH})_2$ ซึ่งจะละลายใน NH_3 ที่มากเกินไป ดังสมการ



ตะกอนสีเขียวอ่อน



และเมื่อเติมไดเมทิลไกลออกซิม จะได้ ตะกอนสีแดงของนิโคเกิลไดเมทิลไกลออกซิม ดังสมการ



ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเฉพาะกับ Ni^{2+} ในสารละลายที่เป็นเบสด้วยแอมโมเนียเท่านั้น แม้จะมีปริมาณของ Ni^{2+} ในสารละลายเพียงเล็กน้อย ก็สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงนี้

สมมติฐานของการศึกษาค้นคว้า

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยกำหนดสมมุติฐานได้ดังนี้ คือ

1. สามารถพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก เพื่อใช้สำหรับการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ได้
2. บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ 80/80

บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า

รูปแบบการวิจัย

การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยนำผลการศึกษาค้นคว้าในห้องปฏิบัติการเกี่ยวกับการหาความเหมาะสมของลิแกนด์ในการทำปฏิกิริยากับโลหะหนักที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และการใช้วัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ มาพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เพื่อนำไปใช้ในการทดลองสอนนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 สรุปเป็นขั้นตอนการศึกษาค้นคว้าได้ 3 ตอน คือ

ตอนที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

ตอนที่ 2 พัฒนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์จากผลการทดลอง

ตอนที่ 3 นำบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอน

ตอนที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยใช้อุปกรณ์และสารเคมีในห้องปฏิบัติการ ตามขั้นตอนการทดลองที่ได้ศึกษาค้นคว้า ดังนี้

เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- เครื่อง UV - VIS Spectrophotometer ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น UV 160
- ตู้อบลมร้อน ยี่ห้อ memmert รุ่น ULM 500
- เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Precisa รุ่น 205 A Superbalance series
- เครื่องปั่นไฟฟ้า
- นาฬิกาจับเวลา

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- ปีเปดซ์ขนาด 1, 5, 10, 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร

- บีกเกอร์ขนาด 5, 10, 50, 100, 500 และ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- ขวดวัดปริมาตรขนาด 50, 100, 250, 500 และ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- ลูกยางสำหรับดูดปิเปตต์ ช้อนตักสาร ขวดพลาสติก หลอดหยด
แท่งแก้วคน กรวยแก้ว

3. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

- คอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ของ บริษัท MERCK เกรด
แอนาลาร์
- นิกเกิลซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ของ บริษัท MERCK เกรด
แอนาลาร์
- กรดไนตริกเข้มข้น ของ บริษัท MERCK เกรดแอนาลาร์

2. สารเคมีที่ใช้เตรียมลิแกนด์และรีเอเจนต์

- ไดเมทิลไกลออกซิม ($\text{C}_4\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2$)
- เอทานอล
- แอมโมเนีย
- โพแทสเซียมไอโอไดด์
- ไอโอดีน
- กรดซिटริกโมโนไฮเดรต
- น้ำกลั่น

3. วัสดุธรรมชาติที่ใช้ในการทดลอง

- แกลบ
- ฟางข้าว
- ขี้เลื่อย
- ผักตบชวา

วิธีการทดลอง

1. เตรียมสารละลายทองแดงและนิกเกิลมาตรฐานตั้งต้น

1.1 สารละลายทองแดงเข้มข้น 1 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร

ละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ปริมาณ 26.2860 กรัมในน้ำกลั่นปริมาตร 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมกรดในทริกที่เข้มข้นลงไป 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นทำการเจือจางให้มีปริมาตรสุดท้าย 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

1.2 สารละลายนิกเกิลเข้มข้น 1 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร

ละลายนิกเกิลซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต ปริมาณ 24.9710 กรัมในน้ำกลั่นปริมาตร 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมกรดในทริกที่เข้มข้นลงไป 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นทำการเจือจางให้มีปริมาตรสุดท้าย 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2. การเตรียมสารละลายที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

2.1 สารละลายทองแดงและนิกเกิล 1×10^{-1} , 1×10^{-2} , 1×10^{-3} , 1×10^{-4} , 1×10^{-5} , 1×10^{-6} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร

2.1.1 ปิเปตสารละลายมาตรฐานทองแดงจากข้อ 1.1 จำนวน 10, 1, 0.1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเจือจางด้วยน้ำจนครบปริมาตร จะได้สารละลายที่เข้มข้น 1×10^{-1} , 1×10^{-2} , 1×10^{-3} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตรตามลำดับ

2.1.2 ปิเปตสารละลายทองแดงเข้มข้น 1×10^{-3} จำนวน 10, 1, 0.1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเจือจางด้วยน้ำจนครบปริมาตร จะได้สารละลายที่เข้มข้น 1×10^{-4} , 1×10^{-5} , 1×10^{-6} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตรตามลำดับ

2.1.3 ปิเปตสารละลายมาตรฐานนิกเกิลจากข้อ 1.2 จำนวน 10, 1, 0.1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเจือจางด้วยน้ำจนครบปริมาตร จะได้สารละลายที่เข้มข้น 1×10^{-1} , 1×10^{-2} , 1×10^{-3} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตรตามลำดับ

2.1.4 ปิเปตสารละลายนิกเกิลเข้มข้น 1×10^{-3} จำนวน 10, 1, 0.1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเจือจางด้วยน้ำจนครบปริมาตร จะได้สารละลายที่เข้มข้น 1×10^{-4} , 1×10^{-5} , 1×10^{-6} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตรตามลำดับ

3. เตรียมสารละลายลิแกนด์มาตรฐาน

จากเอกสารของประเสริฐ ศรีไพโรจน์ (2535 : 68) พบว่า ลิแกนด์ที่เหมาะสมสำหรับทำปฏิกิริยา คือ ไดเมทิลไกลออกซิม ร้อยละ 1 และสารละลายแอมโมเนีย ความเข้มข้น 3 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร โดยเตรียม ดังนี้

3.1 สารละลายไดเมทิลไกลออกซิมร้อยละ 1

ละลายไดเมทิลไกลออกซิม ปริมาณ 1.0130 กรัม ในเอทิลแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.2 สารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 3 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร

เปิดสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 25% มา 22.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนครบปริมาตร จะได้สารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 3 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร

4. การศึกษาปฏิกิริยาไอออนของโลหะกับลิแกนด์

4.1 ศึกษาปฏิกิริยาระหว่างทองแดงไอออนกับแอมโมเนียเข้มข้น 3 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร

4.1.1 เปิดสารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้น 1×10^{-6} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร มา 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมสารละลายแอมโมเนีย 3 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงไปในสารละลาย เขย่าสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกัน สังเกตผลการทดลองและบันทึกผล

4.1.2 ทำการทดลองเช่นเดียวกับ 4.1.1 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายทองแดงที่มีปริมาณทองแดง 1×10^{-6} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร เป็น 1×10^{-5} , 1×10^{-4} , 1×10^{-3} , 1×10^{-2} , 1×10^{-1} และ 1 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ตามลำดับ

4.1.3 นำสารละลายทองแดงความเข้มข้น 1×10^{-2} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร จากข้อ 4.1.2 ไปวิเคราะห์โดยเทคนิควิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี เพื่อศึกษาหาความยาวคลื่นสูงสุด ($\lambda_{\max}$) ในการดูดกลืนแสงของสารละลาย บันทึกผลการทดลอง

4.2 ศึกษาปฏิกิริยาระหว่างนิกเกิลไอออนกับไดเมทิลไกลออกซิม

4.2.1 เปิดสารละลายนิกเกิลที่มีปริมาณนิกเกิล 1×10^{-6} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร มา 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 3 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงไปในสารละลาย เขย่าให้เป็นเนื้อเดียวกัน เติมสารละลายไดเมทิลไกลออกซิม

1% ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงไปในสารละลาย เขย่าสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกัน สังเกตผลการทดลองและบันทึกผล

4.2.2 ทำการทดลองเช่นเดียวกับ 4.2.1 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลาย นิกเกิลที่มีปริมาณนิกเกิล 1×10^{-6} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร เป็น 1×10^{-5} , 1×10^{-4} , 1×10^{-3} , 1×10^{-2} , 1×10^{-1} และ 1 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ตามลำดับ

4.3 ศึกษาปฏิกิริยาของแดงและนิกเกิลในอัตรา 1:1 กับ สารละลายแอมโมเนีย 3 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร และ ไคเมทิลไกลออกซิม

4.3.1 ปิเปตสารละลายนิกเกิลที่มีความเข้มข้น 1×10^{-6} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร มา 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมสารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้น 1×10^{-6} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร มา 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร เขย่าสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกัน เติมสารละลายแอมโมเนีย 3 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร เขย่าให้เป็นเนื้อเดียวกัน สังเกตผลการทดลองและบันทึกผล เติมสารละลายไคเมทิลไกลออกซิม 1% 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร เขย่าสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกัน สังเกตผลการทดลองและบันทึกผล

4.3.2 ทำการทดลองเช่นเดียวกับ 4.3.1 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลาย นิกเกิลที่มีความเข้มข้น 1×10^{-6} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร เป็น 1×10^{-5} , 1×10^{-4} , 1×10^{-3} , 1×10^{-2} , 1×10^{-1} และ 1 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ตามลำดับ และ สารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้น 1×10^{-6} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร เป็น 1×10^{-5} , 1×10^{-4} , 1×10^{-3} , 1×10^{-2} , 1×10^{-1} และ 1 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ตามลำดับ มาผสมกันในอัตรา 1:1

4.3.3 นำสารละลายผสมทองแดงและนิกเกิลอัตราส่วน 1 : 1 ที่ความเข้มข้น 1×10^{-2} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ไปวิเคราะห์โดยเทคนิควิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี เพื่อศึกษาความยาวคลื่นในการดูดกลืนแสงของสารละลาย

5. ศึกษาหาความยาวคลื่นสูงสุดในการดูดกลืนแสงของโลหะนิกเกิลโดย Method B - Glyoxime ของ ASTM

จากการศึกษาปฏิกิริยาระหว่างนิกเกิลกับสารละลายไคเมทิลไกลออกซิม พบว่าได้ตะกอนสีแดง ซึ่งไม่สามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงของนิกเกิลได้ แต่สามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงของโลหะนิกเกิลได้โดย Method B - Glyoxime ของ ASTM โดยทำการทดลอง ดังนี้

5.1 เตรียมรีเอเจนต์สำหรับทำปฏิกิริยากับสารละลายนิกเกิล

(1) สารละลายแอมโมเนียมซีเตรต (575 กรัม/ลิตร)

ละลายซีตริกแอซิดโมโนไฮเดรต จำนวน 500 กรัม ในแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (ความถ่วงจำเพาะ 0.90) 650 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่น ให้มีปริมาตรสุดท้าย 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

(2) สารละลายโคเมทิลไกลออกซิม แอมโมเนียมคลอไรด์

ละลายโคเมทิลไกลออกซิม จำนวน 1 กรัม ในแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (ความถ่วงจำเพาะ 0.90) 550 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่น 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร เตรียมเก็บได้นาน 2 สัปดาห์

(3) สารละลายไอโอดีน (12.7 กรัม/ลิตร)

ละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ 75 กรัม ในน้ำ 60 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นใส่เกล็ดไอโอดีน 6.35 กรัมลงไป ทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรสุดท้าย 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร เก็บไว้ในขวดสีชา

5.2 หาความยาวคลื่นสูงสุดที่สารละลายดูดกลืน

นำสารละลายนิกเกิล ความเข้มข้น 3×10^{-4} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร จำนวน 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ในขวดปริมาตร 100 จากนั้นปิเปตสารละลายแอมโมเนียมซีเตรต (575 กรัม/ลิตร) 10 ลูกบาศก์เซนติเมตรใส่ลงไป ปิเปตสารละลายไอโอดีน (12.7 กรัม/ลิตร) 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ตามลงไป เขย่าสารละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เติมสารละลายโคเมทิลไกลออกซิมแอมโมเนียมคลอไรด์ ลงไป 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่น จนครบปริมาตร นำไปศึกษาหาความยาวคลื่นสูงสุดในการดูดกลืนแสงของสารละลาย บันทึกผลการทดลอง

6. เตรียมสารละลายเพื่อทำกราฟมาตรฐาน

จากการศึกษาปฏิกิริยาไอออนของโลหะกับลิแกนด์ ความเข้มข้นของสารละลายที่เหมาะสมสำหรับนำมาเตรียม เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของวัสดุธรรมชาติ คือสารละลายทองแดงเข้มข้น 1×10^{-2} - 1×10^{-3} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร และสารละลายนิกเกิลเข้มข้น 1×10^{-3} - 1×10^{-4} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ดังนั้นจึงดำเนินการสร้าง กราฟมาตรฐาน (standard curve) ได้ตามขั้นตอน ดังนี้

6.1 สารละลายทองแดงเข้มข้น 1×10^{-1} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร

ละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ปริมาณ 2.6286 กรัมในน้ำกลั่นปริมาตร 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมกรดไนตริกที่เข้มข้นลงไป 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นทำการเจือจางให้มีปริมาตรสุดท้าย 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

6.1.1 เตรียมสารละลายทองแดงเข้มข้น 1×10^{-3} , 3×10^{-3} , 5×10^{-3} , 7×10^{-3} และ 9×10^{-3} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร

ปีเปตสารละลายจากข้อ 6.1 จำนวน 1, 3, 5, 7 และ 9 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ในขวดปริมาตรขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเจือจางด้วยน้ำจนครบปริมาตร จะได้สารละลายทองแดงที่เข้มข้น 1×10^{-3} , 3×10^{-3} , 5×10^{-3} , 7×10^{-3} และ 9×10^{-3} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ตามลำดับ

6.1.2 ทำกราฟมาตรฐาน ของทองแดง

ปีเปตสารละลายจากข้อ 5.1.1 จำนวน 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ในหลอดทดลองขนาดใหญ่ เติมสารละลายแอมโมเนีย เข้มข้น 3 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ลงไปในสารละลาย เขย่าสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกัน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 605.0 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นไปเขียนกราฟมาตรฐาน และคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ได้เท่ากับ .9997 (ดูภาพประกอบ 13 หน้า 93)

6.2 สารละลายนิกเกิลเข้มข้น 1×10^{-2} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร

ละลายนิกเกิลซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต ปริมาณ 0.24968 กรัมในน้ำกลั่นปริมาตร 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมกรดไนตริกที่เข้มข้นลงไป 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นทำการเจือจางให้มีปริมาตรสุดท้าย 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

6.2.1 เตรียมสารละลายนิกเกิลเข้มข้น 1×10^{-4} , 3×10^{-4} , 5×10^{-4} , 7×10^{-4} และ 9×10^{-4} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร

ปีเปตสารละลายจากข้อ 6.2 จำนวน 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 และ 0.9 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ในขวดปริมาตรขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเจือจางด้วยน้ำจนครบปริมาตร จะได้สารละลายนิกเกิลที่เข้มข้น 1×10^{-4} , 3×10^{-4} , 5×10^{-4} , 7×10^{-4} และ 9×10^{-4} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ตามลำดับ

6.2.2 ทำกราฟมาตรฐานของนิกเกิล

ปีเปตสารละลายจากข้อ 6.2.1 จำนวน 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ในขวดปริมาตร 100 จากนั้นดำเนินการทดลอง เช่นเดียวกับข้อ 5.2 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่

535.0 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นไปเขียนกราฟมาตรฐาน และคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ได้เท่ากับ .9998 (รูปภาพประกอบ 15 หน้า 95)

7. ศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของวัสดุธรรมชาติ

7.1 เตรียมวัสดุธรรมชาติที่ใช้ในการทดลอง

นำผักตบชวา ขี้เลื่อย แกลบและฟางข้าว ล้างด้วยน้ำหลาย ๆ ครั้งจนสะอาดแล้วทำให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น นำมาตากแดดให้แห้งกลางแดด 1 วัน หรือในตู้อบ 80°C จนวัสดุธรรมชาติแห้งสนิท (เอกสาร พญาคำ. 2537 : 62) หลังจากนั้นทิ้งให้เย็น แล้วเก็บใส่ถุงพลาสติก รัดปากถุงในแน่น

7.2 หาช่วงเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะทองแดง

7.2.1 นำวัสดุธรรมชาติที่เตรียมไว้ คือ แกลบ และขี้เลื่อย ชั่งให้ได้น้ำหนักประมาณ 2.5 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ เติมน้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีปริมาณทองแดงเข้มข้น 5×10^{-3} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ปริมาตร 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปิดปากขวดโดยแผ่นพาราฟิล์มให้สนิท ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง กรองผ่านถ่านกัมมันต์ (2 ซ้อนดักสาร) เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ที่เหลือ ปรับปริมาตรของสารละลายให้เท่ากับ 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 3 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร จำนวน 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อหาปริมาณทองแดงที่เหลือ

7.2.2 นำวัสดุธรรมชาติที่เตรียมไว้ คือ ฟางข้าว และผักตบชวา มาชั่งให้ได้ น้ำหนักประมาณ 2.5 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณทองแดงเข้มข้น 5×10^{-3} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตรปริมาตร 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปิดปากขวดโดยแผ่นพาราฟิล์มให้สนิท ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง กรองผ่านถ่านกัมมันต์ (2 ซ้อนดักสาร) เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ที่เหลือ ปรับปริมาตรของสารละลายเท่ากับ 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 3 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร จำนวน 4 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อหาปริมาณทองแดงที่เหลือ

สาเหตุที่ใช้ปริมาตรของน้ำเสียสังเคราะห์ในข้อ 7.2.1 และข้อ 7.2.2 ไม่เท่ากัน เนื่องจากการตรวจสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุธรรมชาติแต่ละชนิดในการดูดซับโลหะหนัก

7.2.3 ทำการทดลองเช่นเดียวกับ 7.2.1, 7.2.2 แต่เปลี่ยนช่วงเวลาในการแช่วัสดุธรรมชาติเป็น 3 ชั่วโมง และ 1 ชั่วโมง ตามลำดับ

7.2.4 ทำการทดลองตั้งแต่ 7.2.1-7.2.3 ซ้ำ 3 ครั้ง

7.2.5 บันทึกผลการทดลอง และอภิปรายผลการทดลอง

7.3 หาช่วงเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนัก

7.3.1 นำวัสดุธรรมชาติที่เตรียมไว้ คือ แกลบ และขี้เถ้า มาชั่งให้ได้น้ำหนักประมาณ 2.5 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณนิกเกิลเข้มข้น 5×10^{-4} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ปริมาตร 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปิดปากขวดโดยแผ่นพาราฟิล์มให้สนิท ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง กรองผ่านถ่านกัมมันต์ (2 ซ้อนดักสาร) เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ที่เหลือ ปรับปริมาตรของสารละลายเท่ากับ 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมสารละลายแอมโมเนีย เข้มข้น 3 โมล/ ลูกบาศก์เดซิเมตร จำนวน 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเติมโคเมทิลไกลออกซิมเข้มข้นร้อยละ 1 จำนวน 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อหาปริมาณนิกเกิลที่เหลือ

7.3.2 นำวัสดุธรรมชาติที่เตรียมไว้ คือ ฟางข้าว และผักตบชวา มาชั่งให้ได้ น้ำหนักประมาณ 2.5 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณนิกเกิลเข้มข้น 5×10^{-4} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ปริมาตร 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปิดปากขวดโดยแผ่นพาราฟิล์มให้สนิท ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง กรองผ่านถ่านกัมมันต์ (2 ซ้อนดักสาร) ปรับปริมาตรของสารละลายเท่ากับ 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมสารละลายแอมโมเนีย เข้มข้น 3 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร 1.0 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเติมโคเมทิลไกลออกซิมเข้มข้นร้อยละ 1 จำนวน 1.0 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อหาปริมาณนิกเกิลที่เหลือ

สาเหตุที่ใช้ปริมาตรของน้ำเสียสังเคราะห์ในข้อ 7.3.1 และข้อ 7.3.2 ไม่เท่ากัน เนื่องจากการตรวจสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุธรรมชาติแต่ละชนิดในการดูดซับโลหะหนัก

7.3.3 ทำการทดลองเช่นเดียวกับ 7.3.1, 7.3.2 แต่เปลี่ยนช่วงเวลาในการแช่วัสดุธรรมชาติเป็น 3 ชั่วโมง และ 1 ชั่วโมง ตามลำดับ

7.3.4 ทำการทดลองตั้งแต่ 7.3.1-7.3.3 ซ้ำ 3 ครั้ง

7.3.5 บันทึกผลการทดลอง และอภิปรายผลการทดลอง

7.4 หาปริมาณทองแดงที่เหลืออยู่โดยเทคนิควิลิเบิลสเปกโตรโฟโตเมตรี

7.4.1 นำวัสดุธรรมชาติที่เตรียมไว้ คือ แกลบ ขี้เถ้า ฟางข้าว และผักตบชวา ชั่งให้ได้น้ำหนักประมาณ 2.5 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณทองแดงเข้มข้น 1×10^{-2} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ปริมาตร 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปิดปากขวดโดยแผ่นพาราฟิล์มให้สนิท ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง กรองผ่านถ่านกัมมันต์ (2 ซ้อนดักสาร) ปรับปริมาตรของสารละลายเท่ากับ 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมสารละลายแอมโมเนีย ความเข้มข้น 3 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร จำนวน 4 ลูกบาศก์เซนติเมตร

7.4.2 ทำการทดลองเช่นเดียวกับ ข้อ 7.4.1 ซ้ำ 3 ครั้ง

7.4.3 นำสารละลายจากข้อ 7.4.2 ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 605.0 นาโนเมตร หาปริมาณทองแดงที่เหลือโดยหาจากกราฟมาตรฐานในข้อ 6.1.2 และหาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดงของวัสดุธรรมชาติ

7.5 หาปริมาณนิเกิลที่เหลืออยู่โดยเทคนิควิธีบีลสเปกโทรโฟโตเมตรี

7.5.1 นำวัสดุธรรมชาติที่เตรียมไว้ คือ แกลบ ขี้เลื่อย ฟางข้าว และผักคตขาว ชั่งให้ได้น้ำหนักประมาณ 2.5 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณนิเกิลเข้มข้น 1×10^{-3} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ปริมาตร 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปิดปากขวดโดยแผ่นพาราฟิล์มให้สนิท ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง กรองผ่านถ่านกัมมันต์ (2 ชั้นดักสาร) ปรับปริมาตรของสารละลายเท่ากับ 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร

7.5.2 นำสารละลายจากข้อ 6.5.1 มาเติมรีเอเจนต์ และทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 5.2

7.5.3 ทำการทดลองตั้งแต่ 7.5.1-7.5.2 ซ้ำ 3 ครั้ง

7.5.4 นำสารละลายจากข้อ 7.5.3 ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 535.0 นาโนเมตร หาปริมาณนิเกิลที่เหลือโดยหาจากกราฟมาตรฐานในข้อ 6.2.2 และหาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะของวัสดุธรรมชาติ

7.6 หาปริมาณทองและนิเกิลที่เหลือจากการสังเคราะห์ของสารละลายเมื่อเปรียบเทียบกับแบลงค์

7.6.1 หาปริมาณทองแดงที่เหลือจากการสังเคราะห์ของสารละลายเมื่อเปรียบเทียบกับแบลงค์ โดยนำสารละลายจากข้อ 7.4.1 -7.4.2 มาเทียบกับสารละลายทองแดงมาตรฐาน ความเข้มข้น 1×10^{-3} , 3×10^{-3} , 5×10^{-3} , 7×10^{-3} , 1×10^{-2} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร และน้ำกลั่นที่ทำ การทดลองกับวัสดุธรรมชาติ (แบลงค์) บันทึกผลการทดลองและหาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดงของวัสดุธรรมชาติ

7.6.2 หาปริมาณนิเกิลที่เหลือจากการสังเคราะห์ของสารละลายเมื่อเปรียบเทียบกับแบลงค์ สารละลายจากข้อ 7.5.1 -7.5.2 มาเทียบกับสารละลายนิเกิลมาตรฐาน ความเข้มข้น 1×10^{-4} , 3×10^{-4} , 5×10^{-4} , 7×10^{-4} , 1×10^{-3} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร และน้ำกลั่นที่ทำ การทดลองกับวัสดุธรรมชาติ (แบลงค์) บันทึกผลการทดลองและหาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะนิเกิลของวัสดุธรรมชาติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลจากผลการทดลองนำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดย

1. หาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) เพื่ออธิบายลักษณะลักษณะทั่วไปของการทดลองแต่ละการทดลอง
2. หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ของกราฟมาตรฐาน โดยใช้สูตร ดังนี้ (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2538 : 145)

$$\text{สูตร} \quad r = \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{\sqrt{\{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2\} \{n \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2\}}}$$

เมื่อ r	แทน	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X กับตัวแปร Y
$\sum X_i$	แทน	ผลรวมของข้อมูลดิบของตัวแปร X
$\sum Y_i$	แทน	ผลรวมของข้อมูลดิบของตัวแปร Y
$\sum X_i^2$	แทน	ผลรวมของกำลังสองของข้อมูลของตัวแปร X
$\sum Y_i^2$	แทน	ผลรวมของกำลังสองของข้อมูลของตัวแปร Y
$\sum X_i \sum Y_i$	แทน	ผลรวมของผลคูณระหว่างข้อมูลดิบของตัวแปร X ตัวแปร Y
n	แทน	จำนวนคู่ของข้อมูล

ตอนที่ 2 พัฒนารูปแบบปฏิบัติการวิทยาศาสตร์จากผลการทดลอง

สืบเนื่องจากการทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยได้นำผลการทดลองมาเป็นข้อมูลตั้งต้นในการพัฒนารูปแบบปฏิบัติการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยสร้างแบบปฏิบัติการเป็นเอกสาร 2 ชุด คือ

- 2.1 แบบปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
- 2.2 คู่มือครูประกอบการสอนแบบปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
ซึ่งได้ดำเนินการดังนี้

2.1 บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

การพัฒนามบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนักนี้ ผู้วิจัยได้พัฒนาให้มีเนื้อหาครอบคลุมเฉพาะเรื่อง มลพิษทางน้ำที่เกิดจากโรงงานชุบโลหะ และความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก โดยพัฒนามบทปฏิบัติการจากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ และจากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมทางน้ำ โลหะหนัก พิษของโลหะหนัก และการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ ซึ่งได้แสดงแนวทางในการพัฒนามบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ดังตาราง 5

ตาราง 5 แนวทางในการพัฒนามบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

บทปฏิบัติการที่	เรื่อง	เนื้อหาที่น่าสนใจ	ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
1	การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น	-การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของน้ำที่สามารถตรวจสอบได้ด้วยประสาทสัมผัส -สิ่งแวดล้อมทางน้ำ	-ศึกษาข้อมูลจากเอกสารที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมทางน้ำ -ดัดแปลงการทดลองจากบทปฏิบัติการของสนองทองปาน (2540 : 164-165)
2	การตรวจสอบหาทองแดงและนิกเกิลในน้ำ	-ลักษณะน้ำที่มาจากโรงงานชุบโลหะ -การวิเคราะห์หาทองแดงและนิกเกิลด้วยวิธีทางเคมี	-ศึกษาข้อมูลจากเอกสารที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมทางน้ำ การชุบโลหะ -พัฒนาจากผลการทดลองในตอนที่ 1 วิธีการทดลองข้อ 1-4 หน้า 55 - 56
3	พิษของทองแดงและนิกเกิลที่มีต่อการเจริญเติบโตของแมลงก้นเขียว	-โลหะหนักและพิษของโลหะหนัก โดยเฉพาะทองแดงและนิกเกิลที่มีต่อสิ่งมีชีวิต	-ศึกษาข้อมูลจากเอกสารที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนักและพิษของโลหะหนัก -ดัดแปลงการทดลองจากบทปฏิบัติการของ โฉมพิศ ชื้อศักดิ์. (ม.ป.ป : 106-110)

ตาราง 5 (ต่อ)

บทปฏิบัติการ ที่	เรื่อง	เนื้อหาที่นำเสนอ	ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
4	การบำบัดน้ำเสียจาก โรงงานชุบโลหะ ด้วยการทำให้เกิด ตะกอน	-การบำบัดน้ำเสียจาก โรงงานชุบโลหะ	-ศึกษาข้อมูลจากเอกสารที่ เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำ เสียด้วยวิธีการทางเคมีและ การบำบัดน้ำเสียจาก โรง งานชุบโลหะ -ดัดแปลงผลการทดลอง จากเอกสารการบำบัดน้ำ เสียจากโรงงานชุบโลหะ (เอกสารเผยแพร่ของกรม โรงงานอุตสาหกรรม. ม.ป.ป. : 1-2)
5	คุณสมบัติในการดูด ซับโลหะหนักของ วัสดุธรรมชาติ	- คุณสมบัติในการดูดซับ โลหะหนักของวัสดุ ธรรมชาติได้	-ศึกษาข้อมูลจากเอกสารที่ เกี่ยวข้องกับการดูดซับ โลหะหนักโดยใช้วัสดุ ธรรมชาติ -พัฒนาจากผลการทดลอง ในตอนที่ 1 วิธีการทดลอง ข้อที่ 7.1 - 7.3 หน้า 59-60
6	การวิเคราะห์หา ปริมาณทองแดงที่ เหลือจากการดูดซับ โดยวัสดุธรรมชาติ ด้วยวิธีการเทียบสี	-ความสามารถในการดูด ซับโลหะหนักของวัสดุ ธรรมชาติ -การดูดซับโลหะหนัก โดยใช้วัสดุธรรมชาติ -การวิเคราะห์ ปริมาณ โลหะหนักโดยวิธีเทียบสี	-ศึกษาข้อมูลจากเอกสารที่ เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ โลหะหนักโดยวิธีเทียบสี -พัฒนาจากผลการทดลอง ในตอนที่ 1 วิธีการทดลอง ข้อ 7.4 และ 7.6 หน้า 60 - 61

ตาราง 5 (ต่อ)

บทปฏิบัติการ ที่	เรื่อง	เนื้อหาที่นำเสนอ	ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
7	การวิเคราะห์หาปริมาณนิคเกิลที่เหลือจากการดูดซับโดยวัสดุธรรมชาติด้วยวิธีการเทียบสี	-การดูดซับโลหะหนักโดยใช้วัสดุธรรมชาติ -การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักโดยวิธีเทียบสี	-ศึกษาข้อมูลจากเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์โลหะหนักโดยวิธีเทียบสี -พัฒนาจากผลการทดลองในตอนต้นที่ 1 วิธีการทดลองข้อ 7.5 และ 7.6 หน้า 60 - 61

วิธีการพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

จากข้อมูลที่ได้ศึกษาเอกสารและผลการทดลองทั้งหมด ผู้วิจัยได้นำมาพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ โดยมีลักษณะเด่น คือเป็นกิจกรรมปฏิบัติการทดลองเชิงเคมีวิเคราะห์ ซึ่งบทปฏิบัติการที่สร้างขึ้นนี้ มีส่วนประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- ชื่อบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
- ใ้บทความรู้ประกอบบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
- หลักการ
- จุดประสงค์
- อุปกรณ์และสารเคมี
- วิธีการทดลอง
- รายงานผลการทดลอง
- คำถามท้ายการทดลอง

ซึ่งสามารถสรุปเป็นขั้นตอนการพัฒนาได้ดังนี้

1. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วย หลักสูตรมัธยมศึกษาตอนปลาย พุทธศักราช 2524 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2533) จุดมุ่งหมายของหลักสูตร จุดประสงค์รายวิชา ขอบข่ายและรายละเอียดของเนื้อหาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และวิชาเคมี รวมทั้งเอกสารที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมทางน้ำ การชุบโลหะ มลพิษจากโรงงานชุบโลหะ การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงาน

ชุบโลหะ เพื่อใช้ประกอบในการกำหนดเนื้อหา วัตถุประสงค์ การวัดผลการประเมินผล ของการ
สร้างบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก

2. วิเคราะห์จุดมุ่งหมาย และกิจกรรมการเรียนรู้การสอนวิชาที่เกี่ยวข้องจากเอกสาร
ที่ค้นคว้า เพื่อนำมากำหนดจุดมุ่งหมายและกิจกรรมของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่จะพัฒนาขึ้น

3. กำหนดจุดประสงค์ของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์แต่ละบท

4. พัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ 7 บท บทละ 2 คาบ รวม 14 คาบ ดังต่อไปนี้

บทปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง	การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น
บทปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง	การตรวจสอบหาทองแดงและนิกเกิลในน้ำ
บทปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง	พิษของทองแดงและนิกเกิลที่มีต่อการเจริญเติบโตของ เมล็ดถั่วเขียว
บทปฏิบัติการที่ 4 เรื่อง	การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะด้วยการทำให้เกิด ตะกอน
บทปฏิบัติการที่ 5 เรื่อง	คุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนักของวัสดุธรรมชาติ
บทปฏิบัติการที่ 6 เรื่อง	การวิเคราะห์หาปริมาณทองแดงที่เหลือจากการดูดซับ โดยวัสดุธรรมชาติด้วยวิธีเทียบสี
บทปฏิบัติการที่ 7 เรื่อง	การวิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิลที่เหลือจากการดูดซับ โดยวัสดุธรรมชาติด้วยวิธีเทียบสี

5. นำบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทั้ง 7 บทที่เขียนเสร็จเรียบร้อยแล้วเสนอต่อคณะกรรมการ
ที่ปรึกษาปริญญาโท นำนมาปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของคณะกรรมการที่ปรึกษา
ปริญญาโท แล้วนำบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ปรับปรุงแก้ไขไปให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน
5 ท่าน ซึ่งประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญทางด้านเคมีวิเคราะห์ คือ รศ.ดร.ประเสริฐ ศรีไพโรจน์
ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ผู้เชี่ยวชาญทางด้านสิ่งแวดล้อม คือ อาจารย์สุภาภรณ์
ศิริโสภณา ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ผู้เชี่ยวชาญทางด้าน
บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คือ ดร.เปรมจิตร บุญสาย สำนักงานสามัญศึกษาจังหวัดปราจีนบุรี
ผู้เชี่ยวชาญทางการสอนวิชาวิทยาศาสตร์และวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คือ อาจารย์คันหยง
อิมมาก โรงเรียนโคกกระทิงวิทยาลย์ จังหวัดลพบุรี ผู้เชี่ยวชาญทางการสอนวิชาเคมี คือ
อาจารย์ธรรณา ชิดชอบ โรงเรียนสิรินธร จังหวัดสุรินทร์ พิจารณาความเหมาะสมเกี่ยวกับเนื้อหา
หลักการ จุดประสงค์ อุปกรณ์ วิธีการทดลอง โดยผู้เชี่ยวชาญประเมินในแบบประเมินบทปฏิบัติการ
วิทยาศาสตร์ ในข้อที่ 1 เอกสารประกอบบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ข้อ 2 บทปฏิบัติการ
วิทยาศาสตร์ และข้อ 3 เอกสารรายงานผลการทดลองและคำถามท้ายการทดลอง

ผลการประเมินความคิดเห็นเกี่ยวกับบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทั้ง 3 ข้อ ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่านเห็นด้วยกับบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นในระดับมาก ซึ่งแสดงผลการพิจารณาโดยสรุปในบทที่ 4 และมีข้อเสนอแนะให้ปรับปรุงให้เหมาะสมยิ่งขึ้น สรุปได้ดังนี้

1. การเขียนสาระสำคัญ หลักการ ควรเขียนให้สอดคล้องกับชื่อบทปฏิบัติการ และเพิ่มเติมให้ครอบคลุมและเหมาะสมกับการทดลอง

2. คำถามท้ายการทดลองควรถามให้สอดคล้องและครอบคลุมกับจุดประสงค์ของการทดลอง ควรถามให้ยากง่ายตามลำดับ เพื่อนำไปสู่การสรุปผลการทดลอง ไม่ควรคาดหวังคำตอบจากนักเรียนมากเกินไป

3. การตั้งจุดประสงค์ การทดลองให้ครอบคลุมจุดประสงค์การเรียนรู้

4. ควรตรวจสอบความถูกต้อง และชัดเจนของภาษาที่ใช้ในทุกส่วน

5. ในส่วนของอุปกรณ์และสารเคมีของนักเรียนควรระบุจำนวนให้ชัดเจน เพื่อให้นักเรียนตรวจสอบได้ว่ามีครบหรือไม่

6. ในส่วนของเนื้อหาความรู้ ควรปรับให้ครอบคลุมและเหมาะสมกับระดับของนักเรียน

ผู้วิจัยนำผลการประเมินบทปฏิบัติการของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน มาปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำเกี่ยวกับความเหมาะสมของเนื้อหา สาระสำคัญในใบความรู้ ตรวจสอบความชัดเจนของหลักการและจุดประสงค์ให้สอดคล้องกัน และปรับคำถามท้ายการทดลองให้เหมาะสมกับผลการทดลองในทุกบทปฏิบัติการ

7. นำบทปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปทดลองใช้เบื้องต้นกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนโคกกะเทียมวิทยาลัย จังหวัดลพบุรี จำนวน 3 กลุ่ม ๆ ละ 2 คน เพื่อหาข้อบกพร่องต่าง ๆ เช่น ถ้อยคำภาษา ความน่าสนใจ ความยากง่ายของการทดลอง ความเหมาะสมของเวลาที่ใช้ในการทดลอง และส่วนประกอบอื่น ๆ ของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์แต่ละบท เหมาะสมกับผู้เรียนหรือไม่ มีสิ่งใดควรปรับปรุง และนำผลที่ได้มาทำการปรับปรุงแก้ไขเกี่ยวกับรูปแบบรายงานผลการทดลอง ก่อนนำไปทดลองกับกลุ่มทดลอง

2.2 คู่มือประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

คู่มือประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเพื่อเป็นแนวทางสำหรับครูผู้นำบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในการเรียนการสอน โดยดำเนินการพัฒนาตามลำดับขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาหลักสูตรมัธยมศึกษาตอนปลายพุทธศักราช 2524 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2533) คู่มือครูประกอบการสอนวิชาเคมี ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ที่จัดทำโดยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ รายละเอียดของเนื้อหาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมเคมี และบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้น

2. กำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้ของแต่ละบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

3. ดำเนินการพัฒนาคู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ จำนวน 7 บท ๆ ละ 2 คาบ แต่ละบทประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

- ชื่อบทปฏิบัติการ
- จุดประสงค์การเรียนรู้
- จุดประสงค์การทดลอง
- สารเคมีและอุปกรณ์
- การเตรียมก่อนล่วงหน้า
- การอภิปรายก่อนการทดลอง
- ผลการทดลอง
- การอภิปรายหลังการทดลอง
- แนวคำตอบของคำถามท้ายการทดลอง

4. นำคู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ไปให้ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน ตรวจสอบความเที่ยงตรงของเนื้อหา และองค์ประกอบทั้งหมด โดยผู้เชี่ยวชาญ ประเมินในแบบประเมินบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ในข้อที่ 4

ผลการประเมินความคิดเห็นเกี่ยวกับคู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน เห็นด้วยกับคู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ในระดับมาก ซึ่งแสดงผลการพิจารณาโดยสรุปในบทที่ 4 และมีข้อเสนอแนะให้ปรับปรุงให้เหมาะสมยิ่งขึ้น ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. ควรปรับปรุงจุดประสงค์การทดลองให้สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้
2. ควรเพิ่มเติมเกี่ยวกับรูปภาพประกอบผลการทดลอง เช่น ชุดการกรองอย่างง่าย
3. ควรตรวจสอบความถูกต้องของอุปกรณ์ให้สอดคล้องกับบทปฏิบัติการ

วิทยาศาสตร์

4. ควรปรับปรุงแนวคำตอบของคำถามท้ายการทดลองให้สอดคล้องกับคำถามใน

บางข้อ

5. ควรตรวจสอบความถูกต้อง และความเหมาะสมของภาษาที่ใช้

จากข้อมูลดังกล่าว ผู้วิจัยได้นำมาปรับปรุงแก้ไขคู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ในส่วนของจุดประสงค์การเรียนรู้ให้สอดคล้องกับหลักการ และแนวคำตอบคำถามท้ายการทดลองให้สอดคล้องกับคำถาม เพื่อให้ได้คู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และนำเสนอต่อคณะกรรมการที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ก่อนนำไปใช้จริงกับกลุ่มทดลอง

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

1. หาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ คำนวณจากสูตร (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2538 : 137)

$$\text{สูตร} \quad \bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

เมื่อ	$\bar{X}$	แทน	ค่าเฉลี่ยของข้อมูล
	$\sum X$	แทน	ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด
	N	แทน	จำนวนข้อมูลทั้งหมด

2. หาความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ คำนวณจากสูตร (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2538 : 143)

$$\text{สูตร} \quad S = \sqrt{\frac{N \sum X^2 - (\sum X)^2}{N(N-1)}}$$

เมื่อ	S	แทน	ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนน
	$\sum X$	แทน	ผลรวมของคะแนนทั้งหมด
	N	แทน	จำนวนนักเรียนในกลุ่มตัวอย่าง
	X	แทน	คะแนนแต่ละตัว

ตอนที่ 3 นำนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอน

เมื่อพัฒนานบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เรียบร้อยแล้ว นำไปทดลองสอนกับนักเรียนเพื่อหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ 80/80 ดังนี้

แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการทดลองสอน

ในการทดลองสอนครั้งนี้ได้นำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอนกับ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนโคกกระเทียมวิทยาลัย จังหวัดลพบุรี ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2541 ที่เรียนแผนการเรียนวิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรมัธยมศึกษาตอนปลาย พุทธศักราช 2524 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2535) จำนวน 30 คน

ระยะเวลาในการทดลองสอน

การทดลองสอนครั้งนี้กระทำในภาคเรียนที่ 1 เดือนมิถุนายน ปีการศึกษา 2541 ในช่วงเวลาอิสระจำนวน 4 สัปดาห์ ๆ ละ 2 วัน ๆ ละ 2 คาบต่อเนื่อง (คาบละ 50 นาที) รวมทั้งสิ้น 14 คาบ

เนื้อหาที่ใช้ในการทดลองสอน

เนื้อหาที่ใช้ในการทดลองสอนเป็นเนื้อหาเฉพาะเรื่อง มลพิษทางน้ำที่เกิดจากโรงงานชุมชนโลหะ และ ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนักที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าและจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นเนื้อหาที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ประกอบการสอนในวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ว 411 ตามหลักสูตรมัธยมศึกษาตอนปลายพุทธศักราช 2524 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2535)

การนำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอน ได้ดำเนินการ ดังต่อไปนี้

3.1 การดำเนินการก่อนการทดลองสอน

3.2 ทำการทดลองสอน

ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 การดำเนินการก่อนการทดลองสอน

ในส่วนการดำเนินการก่อนทดลองสอน ผู้วิจัยได้ดำเนินการในเรื่องสำคัญ 2 เรื่อง คือ

1. การสร้างแผนการสอน
2. การสร้างเครื่องมือที่ใช้วัดผลการเรียนรู้ของนักเรียน

ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. การสร้างแผนการสอน

การทดลองสอนครั้งนี้ใช้แผนการสอน ตามคู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการ การวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น โดยแบ่งช่วงเวลาในการเรียนการสอนบทปฏิบัติการ ดังตาราง 6

ตาราง 6 การแบ่งช่วงเวลาในการเรียนการสอน

ครั้งที่	จำนวน คาบ	เนื้อหา	การประเมินผล
1	2	การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น บทปฏิบัติการที่ 1	คำถามท้ายบทปฏิบัติการ
2	2	ลักษณะของน้ำจากโรงงานชุบโลหะ และการตรวจสอบหาทองแดงและนิกเกิล ในน้ำ บทปฏิบัติการที่ 2	คำถามท้ายบทปฏิบัติการ
3	2	โลหะหนักและพิษของโลหะหนักที่มีอยู่ ในน้ำ บทปฏิบัติการที่ 3	คำถามท้ายบทปฏิบัติการ
4	2	การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะ บทปฏิบัติการที่ 4	คำถามท้ายบทปฏิบัติการ
5	2	คุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนักของ วัชพืชมลลชาติ บทปฏิบัติการที่ 5	คำถามท้ายบทปฏิบัติการ

ตาราง 6 (ต่อ)

ครั้งที่	จำนวน คาบ	เนื้อหา	การประเมินผล
6	2	การหาปริมาณทองแดง(II)และนิกเกิล(II) ด้วยวิธีเทียบสี บทปฏิบัติการที่ 6	คำถามท้ายบทปฏิบัติการ
7	2	การหาปริมาณทองแดง(II)และนิกเกิล(II) ด้วยวิธีเทียบสี บทปฏิบัติการที่ 7	คำถามท้ายบทปฏิบัติการ
			เมื่อครบทุกบทปฏิบัติการ ได้ ประเมินผลการเรียนรวม ด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ ทางการเรียนและทักษะปฏิบัติ การวิทยาศาสตร์และแบบสอบ ถามเจตคติต่อการเรียนบทปฏิบัติ การวิทยาศาสตร์

2. การสร้างเครื่องมือที่ใช้วัดผลการเรียนรู้ของนักเรียน

ในการวัดผลการเรียนรู้ของนักเรียนประกอบด้วยเครื่องมือในการประเมิน 3 แบบ
ด้วยกันเรียงลำดับการประเมินได้ดังนี้

1. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
2. แบบวัดทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
3. แบบสอบถามเจตคติต่อการเรียนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

เครื่องมือประเมินดังกล่าวข้างต้นได้ดำเนินการสร้างตามขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างตามขั้นตอนดังนี้

1.1 ศึกษาวิธีการสร้างข้อสอบจากเอกสารและตำราต่าง ๆ รวมทั้งเนื้อหา

ในแต่ละบทปฏิบัติการและจุดประสงค์ในการเรียนรู้ เช่น เอกสารประกอบการสอนวิชาเคมี
หนังสืองานวิจัยและเทคนิคการเขียนข้อสอบของชวาล แพร์ตกุล. (2520 : 10-40)

1.2 วิเคราะห์เนื้อหาและจุดประสงค์การเรียนรู้และนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษา มาสร้างแบบทดสอบชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 45 ข้อ โดยแบ่งพฤติกรรมที่จะวัดออกเป็น 4 ด้าน คือ

1.2.1 ด้านความรู้ความจำ

1.2.2 ด้านความเข้าใจ

1.2.3 ด้านการนำไปใช้

1.2.4 ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

1.3 นำแบบทดสอบที่สร้างขึ้นให้ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน ตรวจสอบลักษณะการใช้คำถาม ตัวเลือก ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด ความถูกต้องด้านภาษา ผลการพิจารณาความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัดในแต่ละข้อส่วนใหญ่ได้ผล 3 ใน 5 ท่าน ขึ้นไป ซึ่งแสดงว่า ค่าดัชนีความสอดคล้องได้ค่าตั้งแต่ .60 ขึ้นไป สำหรับบางข้อที่ไม่ผ่านเกณฑ์ ผู้วิจัยได้ปรับปรุงแก้ไขให้มีความถูกต้องเหมาะสมตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญก่อนนำไปทดลองสอน

1.4 นำแบบทดสอบที่แก้ไข ปรับปรุงแล้ว ไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนถนนรัตนารามวิทยาคม กรุงเทพมหานคร ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2541 จำนวน 100 คน แล้วนำมาวิเคราะห์คุณภาพของแบบทดสอบดังนี้

1.4.1 หาความยากง่าย (difficulty) และค่าอำนาจจำแนก (discrimination) โดยใช้เทคนิค 27 % แล้วนำไปเปิดตารางจุง เดห์ ฟาน (Fan. 1952 : 6 - 32) (ข้อมูลในส่วนนี้แสดงไว้ในภาคผนวก)

1.4.2 ข้อสอบที่มีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง .20 - .80 และค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ .20 ขึ้นไป มีจำนวน 31 ข้อ ผู้วิจัยเลือก ไว้ 30 ข้อ เพื่อใช้เป็นแบบทดสอบสำหรับการวิจัยครั้งนี้

1.4.3 นำข้อสอบที่คัดเลือกไว้แล้วมาหาค่าความเชื่อมั่นแบบคูเคอร์-ริชาร์ดสัน โดยใช้สูตร KR-20 ได้ค่าความเชื่อมั่น (ทั้งฉบับ) เท่ากับ .66 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก)

1.4.4 นำแบบทดสอบไปใช้กับกลุ่มทดลอง

2. แบบทดสอบวัดทักษะปฏิบัติการทดลองวิทยาศาสตร์

ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างตามขั้นตอนดังนี้

2.1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เช่น หนังสืองานวิจัยที่เกี่ยวกับทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ ด้านเทคนิคการทดลองและการดำเนินการทดลอง

2.2 วิเคราะห์เนื้อหาและจุดประสงค์การทดลองและนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษามา สร้างแบบทดสอบวัดทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ ชนิดตัวเลือก 4 ตัวเลือก จำนวน 40 ข้อ โดยแบ่งพฤติกรรมที่จะวัดออกเป็น 2 ด้าน คือ

2.2.1 ด้านเทคนิคการทดลอง

2.2.2 ด้านการดำเนินการทดลอง

2.3 นำแบบทดสอบที่สร้างขึ้นให้ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่านข้างต้นตรวจสอบลักษณะการใช้คำถาม ตัวเลือก ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด ความถูกต้องด้านภาษา ผลการพิจารณาความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัดในแต่ละข้อส่วนใหญ่ได้ผล 3 ใน 5 ท่าน ขึ้นไป ซึ่งแสดงว่า ค่าดัชนีความสอดคล้องได้ค่าตั้งแต่ .60 ขึ้นไป สำหรับบางข้อที่ไม่ผ่านเกณฑ์ ผู้วิจัยได้ปรับปรุงแก้ไขให้มีความถูกต้องเหมาะสมตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญก่อนนำไปทดลองสอน

2.4 นำแบบทดสอบที่แก้ไข ปรับปรุงแล้วไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนกุนนทีรุทธารามวิทยาคม กรุงเทพมหานคร ภาคเรียนที่ 1 จำนวน 100 คน แล้วนำมาวิเคราะห์คุณภาพของแบบทดสอบดังนี้

2.4.1 หาความยากง่าย (difficulty) และค่าอำนาจจำแนก (discrimination) โดยใช้เทคนิค 27 % แล้วนำไปเปิดตารางจุง เคห์ ฟาน (Fan, 1952 : 6 - 32) (ข้อมูลในส่วนนี้แสดงไว้ในภาคผนวก)

2.4.2 ข้อสอบที่มีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง .20 - .80 และค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ .20 ขึ้นไป มีจำนวน 31 ข้อ ผู้วิจัยเลือก ไว้ 30 ข้อ เพื่อใช้เป็นแบบทดสอบสำหรับการวิจัยครั้งนี้

2.4.3 นำข้อสอบที่คัดเลือกไว้แล้วมาหาค่าความเชื่อมั่นแบบคูเดอร์-ริชาร์ดสัน โดยใช้สูตร KR-20 ได้ค่าความเชื่อมั่น (ทั้งฉบับ) เท่ากับ .62

2.4.4 นำแบบทดสอบไปใช้กับกลุ่มทดลอง

3. แบบสอบถามเจตคติต่อการเรียนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

ผู้วิจัยได้ดำเนินการขึ้นมาเป็นกรณีพิเศษภายหลังจากที่ได้ปรึกษากับ คณะกรรมการควบคุมปริญญาโท พบว่า บทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นเป็นบทปฏิบัติการใหม่ สมควรที่จะทำการศึกษาเพื่อเป็นประโยชน์สำหรับการใช้บทปฏิบัติการต่อไป จึงควรมีการวัดเจตคติ ซึ่งเป็นการทำเพิ่มเติมในระหว่างทดลองสอนและ ด้วยข้อจำกัดดังกล่าวจึงมิได้ให้ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน ตรวจสอบ ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างตามขั้นตอนดังนี้

3.1 ศึกษาวิธีการสร้างแบบสอบถามเจตคติตามวิธีของลิเคิร์ต (Likert)

3.2 สร้างแบบสอบถามเจตคติต่อการเรียนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เป็น มาตรการส่วนประเมินค่า 5 อันดับ จำนวน 35 ข้อ ซึ่งจะพิจารณาโดยรวมในการแสดงความคิดเห็น หรือความรู้สึก 4 ด้าน ต่อไปนี้

- การเห็นความสำคัญและประโยชน์ของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ที่พัฒนาขึ้น
- ความนิยมชมชอบในบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น
- ความสนใจในบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น
- แนวโน้มการแสดงออกของพฤติกรรมที่จะมีต่อสิ่งแวดล้อม

3.3 เนื่องจากการศึกษาเจตคติต่อการเรียนบทปฏิบัติการนี้เป็นประเด็น ศึกษาเพิ่มเติมจากตัวแปรเดิมที่กำหนดไว้แต่เดิม โดยพิจารณากระทำขึ้นในขั้นตอนนำไปทดลองสอน ด้วยสภาพการณ์เช่นนี้จำเป็นต้องลดขั้นตอนในการสร้างเครื่องมือลงตามความเหมาะสม กล่าวคือ ผู้วิจัยได้ดำเนินการโดยนำแบบสอบถามวัดเจตคติต่อการเรียนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่สร้างขึ้น ไปให้ คณะกรรมการที่ปรึกษาปริญญาโท คือ รองศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพงษ์ เจริญพิทย์ ตรวจสอบและพิจารณาความเหมาะสม และนำมาปรับปรุงแก้ไขก่อนนำไปทดลองกับกลุ่มทดลอง

3.4 นำแบบสอบถามวัดเจตคติจำนวน 35 ข้อที่ปรับปรุงแล้วนำไปสอบถามกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนโคกกระทิงวิทยาลัย จังหวัดลพบุรี ที่เป็นกลุ่มทดลอง จำนวน 30 คน หลังจากการเรียนการสอนทั้ง 7 บทปฏิบัติการ

3.5 นำแบบสอบถามวัดเจตคติต่อการเรียนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ มาตรวจให้คะแนน

3.6 นำผลคะแนนของแบบสอบถามจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน มา คำนวณหาค่าความเชื่อมั่น โดยวิธีสัมประสิทธิ์แอลฟา ของครอนบาค (α- Cronbach) ได้ค่าความ เชื่อมั่น (ทั้งฉบับ) เท่ากับ .91

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. สถิติพื้นฐาน ประกอบด้วยค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความแปรปรวนของคะแนน (S^2)

1.1 หาค่าความแปรปรวน (S^2) คำนวณจากสูตร ดังนี้ (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2538 :

142)

$$\text{สูตร } S^2 = \frac{N \sum X^2 - (\sum X)^2}{N(N-1)}$$

เมื่อ	S^2	แทน	ความแปรปรวนของคะแนน
	$\sum X$	แทน	ผลรวมของคะแนนทั้งหมด
	N	แทน	จำนวนนักเรียนในกลุ่มตัวอย่าง
	X	แทน	คะแนนแต่ละตัว

2. สถิติที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ

2.1 หาค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและแบบวัดความรู้ด้านทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ โดยใช้การวิเคราะห์ข้อสอบในรายข้อ (Item Analysis) ใช้เทคนิค 27 % โดยเปิดตารางของฟาน (Fan, 1952 : 6 - 32)

$$\text{สูตร } p = \frac{R}{N}$$

เมื่อ	p	แทน	ค่าความยากง่ายของคำถามแต่ละข้อ
	R	แทน	จำนวนผู้ตอบถูกในแต่ละข้อ
	N	แทน	จำนวนผู้เข้าสอบทั้งหมด

$$\text{สูตร } r = \frac{R_U - R_L}{N}$$

เมื่อ	r	แทน	ค่าอำนาจจำแนกเป็นรายข้อ
	R_U	แทน	จำนวนผู้ที่ตอบถูกในข้อนั้นในกลุ่มสูง
	R_L	แทน	จำนวนผู้ที่ตอบถูกในข้อนั้นในกลุ่มต่ำ
	N	แทน	จำนวนคนในกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด

2.2 หาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและแบบวัดความรู้ด้านปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ โดยใช้สูตร KR-20 ของคูเดอร์ ริชาร์ดสัน (พวงรัตน์ ทวีรัตน์, 2538 : 123)

$$\text{สูตร} \quad r_{\kappa} = \frac{n}{n-1} \left\{ 1 - \frac{\sum pq}{S_i^2} \right\}$$

เมื่อ	r_{κ}	แทน	ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ
	n	แทน	จำนวนข้อ
	p	แทน	สัดส่วนของคนทำถูกในแต่ละข้อ = $\frac{\text{จำนวนคนที่ทำถูกต้อง}}{\text{จำนวนคนทั้งหมด}}$
	q	แทน	สัดส่วนของคนทำผิดในแต่ละข้อ = $1 - p$
	S_i^2	แทน	ความแปรปรวนของคะแนนทั้งฉบับ

2.3 หาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดเจตคติต่อบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ โดยใช้สูตร ครอนบัต (Cronbach) จากสูตร (พวงรัตน์ ทวีรัตน์, 2538 : 125)

$$\text{สูตร} \quad \alpha = \frac{n}{n-1} \left\{ 1 - \frac{\sum S_i^2}{S_i^2} \right\}$$

เมื่อ	α	แทน	ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ
	n	แทน	จำนวนข้อ
	S_i^2	แทน	ความแปรปรวนของคะแนนแต่ละข้อ
	S_i^2	แทน	ความแปรปรวนของคะแนนทั้งฉบับ

2.4 วิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์ของบทปฏิบัติการและเนื้อหาของบทปฏิบัติการแต่ละบทที่พัฒนาขึ้น โดยใช้ดัชนีความสอดคล้อง จากสูตร (พวงรัตน์ ทวีรัตน์, 2538 : 117)

$$\text{สูตร} \quad IC = \frac{\sum R}{N}$$

เมื่อ IC แทน คำนีความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์ของบทปฏิบัติการ
และเนื้อหาของบทปฏิบัติการ

$\sum X$ แทน ผลรวมของคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

N แทน จำนวนผู้เชี่ยวชาญทางเนื้อหาวิชา

3.2 การทดลองสอน

ในการทดลองสอนครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัฏศรรวมชาติในการดูดซับโลหะ และคู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล เพื่อหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ ตามเกณฑ์ ที่ตั้งไว้ 80/80 โดยมีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

3.2.1 แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการทดลองสอน คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียน โศภกะเทียมหาวิทยาลัย จังหวัดลพบุรี ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2541 ที่เรียนแผน การเรียนวิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรมัธยมศึกษาตอนปลายพุทธศักราช 2524 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ .2535) จำนวน 30 คน โดยแบ่งกลุ่มเพื่อปฏิบัติการทดลอง กลุ่มละ 2 คน จำนวน 15 กลุ่ม

3.2.2 การดำเนินการสอน โดยใช้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ 7 บท ประกอบกับคู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นในตอน ที่ 2 ในช่วงโม่งอิสระ ทั้งหมด 14 คาบ (คาบละ 50 นาที) เป็นเวลา 4 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 4 คาบ

3.2.3 เมื่อสิ้นสุดการเรียนการสอนตามกำหนด ทำการทดสอบหลังเรียนด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แบบวัดทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ และแบบสอบถามเจตคติต่อการเรียนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

3.2.4 ตรวจสอบแบบฝึกหัดท้ายบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ตรวจสอบผลการทดสอบจากแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แบบวัดทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ และแบบสอบถามเจตคติต่อการเรียนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ โดยดำเนินการดังนี้

1) การตรวจสอบแบบฝึกหัดท้ายบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

การตรวจให้คะแนนมีเกณฑ์การให้คะแนนดังนี้

คำตอบที่ถูกต้องและครอบคลุม 2 คะแนน

คำตอบที่ถูกต้องแต่ไม่ครอบคลุม 1 คะแนน

คำตอบที่ไม่ถูกต้อง หรือไม่ตอบ 0 คะแนน

2) การตรวจแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและแบบวัดทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ให้คะแนนโดยข้อที่ตอบถูกให้ 1 คะแนนข้อที่ตอบผิดหรือไม่ตอบ หรือตอบเกินกว่า 1 ตัวเลือกให้ 0 คะแนน

3) การตรวจแบบสอบถามเจตคติต่อการเรียนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ได้กล่าวไว้ในขั้นดำเนินการก่อนทดลองสอน โดยให้คะแนน ดังนี้

เห็นด้วยอย่างยิ่ง ให้ 5 คะแนน

เห็นด้วย ให้ 4 คะแนน

ไม่แน่ใจ ให้ 3 คะแนน

ไม่เห็นด้วย ให้ 2 คะแนน

ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง ให้ 3 คะแนน

ถ้าข้อความเป็นทางลบจะให้คะแนนในทางกลับกัน

การวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลองสอน

การวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น ตามเกณฑ์ 80/80 ประยุกต์จากสูตรสูตร E_1/E_2 (เสาวณีย์ ศึกษาบัณฑิต. 2528 : 294-295)

80 ตัวแรก หมายถึง คะแนนเฉลี่ยจากการตอบคำถามท้ายบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ระหว่างเรียนของกลุ่มทดลองทั้งหมด เมื่อคิดเป็นร้อยละแล้วได้ 80 หรือสูงกว่า คำนวณจากสูตร

$$\text{สูตร } E_1 = \frac{\frac{\sum X}{N}}{A} \times 100$$

เมื่อ	E_1	แทน	ประสิทธิภาพของการประเมินผลจากการตอบคำถาม ท้ายบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ระหว่างเรียนคิดเป็นร้อยละ
	$\sum X$	แทน	คะแนนรวมของนักเรียนจากการตอบคำถามท้าย บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ระหว่างเรียน
	N	แทน	จำนวนนักเรียน
	A	แทน	คะแนนเต็มของคำถามท้ายบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ระหว่างเรียน

80 ตัวหลัง หมายถึง คะแนนเฉลี่ยจากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ของกลุ่มทดลองทั้งหมด เมื่อคิดเป็นร้อยละแล้วได้ 80 หรือสูงกว่า คำนวณจากสูตร

$$\text{สูตร } E_2 = \frac{\sum Y}{N} \times 100$$

เมื่อ	E_2	แทน	ประสิทธิภาพของการประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ระหว่างเรียนคิดเป็นร้อยละ
	$\sum Y$	แทน	คะแนนรวมของนักเรียนจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
	N	แทน	จำนวนนักเรียน
	B	แทน	คะแนนเต็มของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ แบ่งการดำเนินการออกเป็น 3 ตอน ตอนที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ (เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำ และศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของวัสดุธรรมชาติ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการนำผลการทดลองมาพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สำหรับการเรียนการสอน) ตอนที่ 2 พัฒนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ จากผลการทดลองในตอนที่ 1 (นำมาพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก) และตอนที่ 3 นำบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ที่พัฒนาขึ้น ไปทดลองสอน (เพื่อศึกษาผลของการใช้บทปฏิบัติการและหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ ตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ โดยนำไปทดลองสอนกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนโคกกระทิงวิทยาลย์ จังหวัดลพบุรี)

ต่อไปนี้เป็น การเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั้ง 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

การวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองจะนำเสนอตามลำดับต่อไปนี้

1. การศึกษาปฏิกิริยาของไอออนของโลหะกับลิแกนด์

1.1 การศึกษาปฏิกิริยาระหว่างทองแดงไอออนกับสารละลายแอมโมเนีย ความเข้มข้น 3 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร

1.2 การศึกษาปฏิกิริยาระหว่างนิกเกิลไอออนกับไดเมทิลไกลออกซิม

1.3 การศึกษาปฏิกิริยาของทองแดงและนิกเกิลในอัตรา 1 : 1 กับสารละลายแอมโมเนีย ความเข้มข้น 3 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร และ ไดเมทิลไกลออกซิม

1.4 การศึกษาปฏิกิริยาของนิกเกิลโดย Method B-Glyoxime ของ ASTM

2. การเตรียมสารละลายมาตรฐานเพื่อทำกราฟมาตรฐาน

2.1 การทำกราฟมาตรฐานทองแดง

2.2 การทำกราฟมาตรฐานนิกเกิล

3. ศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของวัสดุธรรมชาติ

3.1 หาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะทองแดง

3.2 หาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะนิกเกิล

- 3.3 ศึกษาหาปริมาณทองแดงที่เหลืออยู่โดยเทคนิควิสเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี
- 3.4 ศึกษาหาปริมาณนิกเกิลที่เหลืออยู่โดยเทคนิควิสเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี
- 3.5 ศึกษาหาปริมาณทองแดงที่เหลืออยู่จากการสังเคราะห์ของสารละลายเมื่อเทียบกับ
แบบลค์
- 3.6 ศึกษาหาปริมาณนิกเกิลที่เหลืออยู่จากการสังเคราะห์ของสารละลายเมื่อเทียบกับ
แบบลค์

1. การศึกษาปฏิกิริยาของไอออนของโลหะกับลิแกนด์

1.1 การศึกษาปฏิกิริยาระหว่างทองแดงไอออนกับสารละลายแอมโมเนีย ความเข้มข้น
3 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร

จากการทดลองในบทที่ 3 หัวข้อ 4.1.1 หน้า 54 ได้แสดงผลการทดลองในตาราง 7

ตาราง 7 ผลของปฏิกิริยาระหว่างทองแดงไอออนกับสารละลายแอมโมเนีย ความเข้มข้น 3
โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร

สารละลายทองแดงมาตรฐานเข้มข้น (mol/dm ³)	ผลการทดลอง
1×10^{-6}	ใส
1×10^{-5}	ใส
1×10^{-4}	ใส
1×10^{-3}	ใส สีน้ำเงินอ่อน
1×10^{-2}	ใส สีน้ำเงินเข้ม
1×10^{-1}	สีน้ำเงินเข้ม มีตะกอนสีขาว
1	สีน้ำเงินปนม่วง มีตะกอนสีขาว

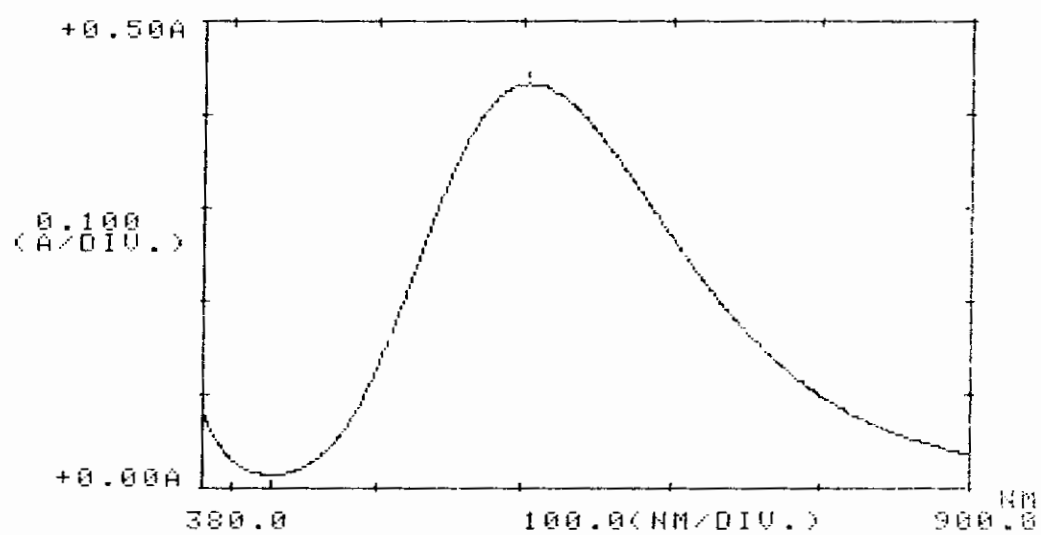
จากตาราง 7 ความเข้มข้นของทองแดงที่เหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการทดลอง
ของนักเรียน คือ สารละลายทองแดง ช่วงความเข้มข้น $1 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-2}$ โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร
สารละลายที่ได้มีลักษณะใสสีน้ำเงิน สามารถนำไปศึกษาโดยเทคนิควิสเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรีได้

1.1.1 ศึกษาหาความยาวคลื่นสูงสุดในการดูดกลืนแสงของ $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ จากการทดลองในบทที่ 3 หัวข้อ 4.1.3 หน้า 54 ได้แสดงผลการทดลองในตาราง 8

ตาราง 8 ค่าความยาวคลื่นที่สารละลายทองแดงเข้มข้น 1×10^{-2} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ดูดกลืนแสงได้มากที่สุด

ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง	ความยาวคลื่น (nm.)
1	0.049	604.5
2	0.051	605.5
3	0.050	605.0
เฉลี่ย	0.050	605.0

จากตาราง 8 อ่านค่าแอมพลิจูดบนสเปกตรัม (ภาพประกอบ 9) ของสารประกอบ $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ พบว่า ดูดกลืนแสงได้มากที่สุดที่ความยาวคลื่น 605.0 นาโนเมตร(ค่าเฉลี่ย) ซึ่งจะใช้เป็นความยาวคลื่นที่ทำกราฟมาตรฐานของทองแดง



ภาพประกอบ 9 สเปกตรัมของ $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ จาก สารละลายทองแดงความเข้มข้น 1×10^{-2} mol/dm³

1.2 การศึกษาปฏิกิริยาระหว่างนิกเกิลไอออนกับไคเมทิลไกลออกซิม จากการทดลองในบทที่ 3 หัวข้อ 4.2.1 - 4.2.2 หน้า 54 - 55 ได้แสดงผลการทดลองในตาราง 9

ตาราง 9 ผลของปฏิกิริยาระหว่างนิกเกิลไอออนกับไคเมทิลไกลออกซิม

สารละลายทองแดงมาตรฐานเข้มข้น (mol/dm ³)	ผลการทดลอง
1×10^{-6}	ใส
1×10^{-5}	ใส
1×10^{-4}	ตะกอนสีชมพูอ่อน
1×10^{-3}	ตะกอนสีแดง
1×10^{-2}	ตะกอนสีแดงเข้ม
1×10^{-1}	ตะกอนสีแดงเข้มมาก
1	ตะกอนสีแดงเกือบคนก

จากตาราง 9 ความเข้มข้นของนิกเกิลที่เหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการทดลองของนักเรียน คือ สารละลายนิกเกิล ที่ช่วงความเข้มข้น 1×10^{-4} - 1×10^{-3} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร สารละลายที่ได้มีลักษณะเป็นตะกอนสีแดง จึงไม่สามารถนำไปศึกษาโดยเทคนิควิทีเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรีได้

1.3 การศึกษาปฏิกิริยาระหว่างทองแดงและนิกเกิลในอัตราส่วน 1 : 1 กับสารละลายแอมโมเนีย ความเข้มข้น 3 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร และโคเมทิลไกลออกซิม จากการทดลองใน บทที่ 3 หัวข้อ 4.3.1 - 4.3.2 หน้า 55 ได้แสดงผลการทดลองในตาราง 10

ตาราง 10 ผลของปฏิกิริยาระหว่างทองแดงและนิกเกิลในอัตราส่วน 1 : 1 กับสารละลายแอมโมเนีย ความเข้มข้น 3 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร และโคเมทิลไกลออกซิม

สารละลายทองแดง เข้มข้น (mol/dm ³)	สารละลายนิกเกิล เข้มข้น (mol/dm ³)	ลักษณะของสารละลาย เมื่อเติม NH ₃ (mol/dm ³)	ลักษณะของสารละลาย โคเมทิลไกลออกซิม 1%
1×10^{-6}	1×10^{-6}	ใส	ใส
1×10^{-5}	1×10^{-5}	ใส	ใส
1×10^{-4}	1×10^{-4}	ใส	ตะกอนสีชมพูอ่อน
1×10^{-3}	1×10^{-3}	ใส สีน้ำเงินอ่อน	ตะกอนสีแดง
1×10^{-2}	1×10^{-2}	ใส สีน้ำเงินเข้ม	ตะกอนสีแดงเข้ม
1×10^{-1}	1×10^{-1}	สีน้ำเงินเข้ม มีตะกอนสีขาว สีเขียว มีตะกอนสีขาว	สีเทาปนม่วง มีตะกอน สีเขียวเข้ม มีตะกอน

จากตาราง 10 ความเข้มข้นของทองแดงและนิกเกิลในอัตราส่วน 1 : 1 ที่เหมาะสมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในการทดลองของนักเรียน คือ สารละลายทองแดงและนิกเกิลในช่วงความเข้มข้น 1×10^{-3} - 1×10^{-2} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ซึ่งสารละลายที่ได้มีลักษณะใสสีน้ำเงินเมื่อเติม NH₃ สามารถนำไปศึกษาโดยเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมตรีได้ แต่เมื่อเติมโคเมทิลไกลออกซิมสารละลายที่ได้มีตะกอนสีแดงเกิดขึ้น

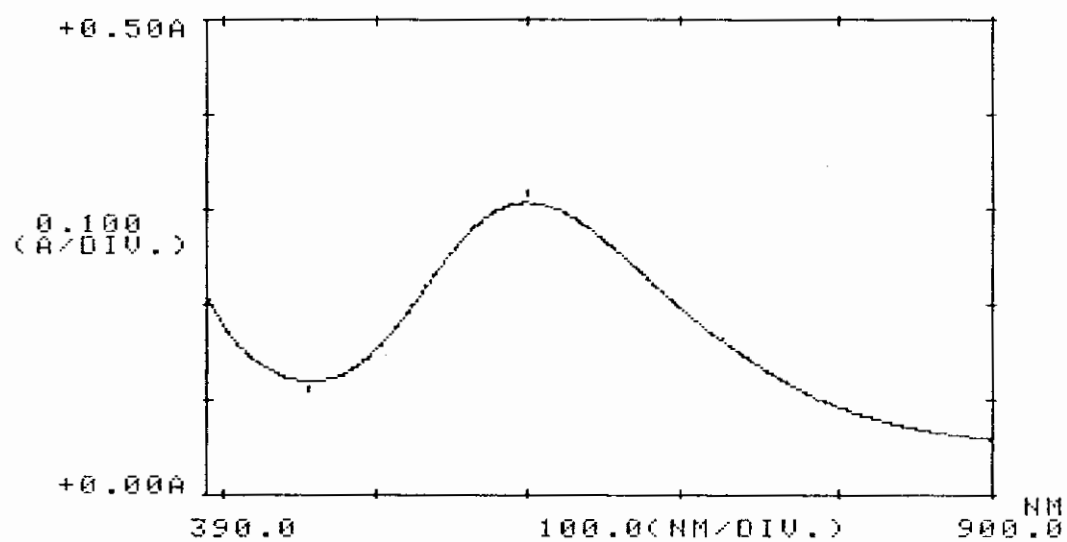
1.3.1 ศึกษาหาความยาวคลื่นในการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินของสารละลาย ผสมทองแดง และนิกเกิลในอัตราส่วน 1 : 1

จากการทดลองในบทที่ 3 หัวข้อ 4.3.3 หน้า 55 ได้แสดงผลการทดลองในตาราง 11

ตาราง 11 ค่าความยาวคลื่นที่สามารถดูดกลืนแสงได้มากที่สุดของสารละลายผสมทองแดงและนิกเกิลในอัตราส่วน 1 : 1 เข้มข้น 1×10^{-2} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร

ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง	ความยาวคลื่น (nm.)
1	0.320	603.0
2	0.310	602.0
3	0.323	604.0
เฉลี่ย	0.3177	603.0

จากตาราง 11 อ่านค่าแอมพลิจูดบนสเปกตรัม (ภาพประกอบ 10) พบว่า สารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินที่เกิดขึ้น พบว่า ดูดกลืนแสงได้มากที่สุดที่ความยาวคลื่น 603.0 นาโนเมตร (ค่าเฉลี่ย) แสดงว่าสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินที่เกิดขึ้นเป็น $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$



ภาพประกอบ 10 สเปกตรัมของ $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ จาก สารละลายผสมทองแดง และนิลเกิล
 ในอัตราส่วน 1:1 ความเข้มข้น 1×10^{-2} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร

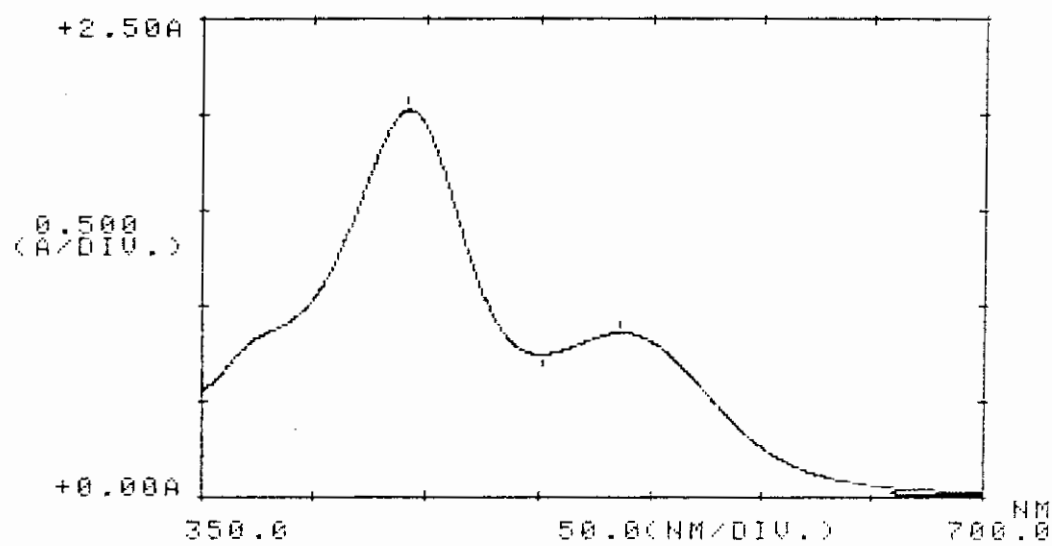
1.4 ศึกษาความยาวคลื่นสูงสุดในการดูดกลืนแสงของนิกเกิลโดย Method B-Glyoxime ของ ASTM

จากการทดลองในบทที่ 3 หัวข้อ 5.2 หน้า 56 ได้แสดงผลการทดลองในตาราง 12

ตาราง 12 ค่าความยาวคลื่นที่สารละลายนิกเกิลเข้มข้น 3×10^{-4} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ดูดกลืนแสงได้มากที่สุด

ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง	ความยาวคลื่น (nm.)
1	0.839	535.0
2	0.892	535.0
3	0.856	535.0
เฉลี่ย	0.862	535.0

จากตาราง 12 อ่านค่าแอมพลิจูดรับชั้นสเปกตรัม (ภาพประกอบ 11) ของสารละลายนิกเกิล โดยใช้ Method B-Glyoxime ของ ASTM พบว่า ดูดกลืนแสงได้มากที่สุดที่ ความยาวคลื่น 535.0 นาโนเมตร(ค่าเฉลี่ย) ซึ่งจะใช้เป็นความยาวคลื่นที่ทำกราฟมาตรฐาน



ภาพประกอบ 11 สเปกตรัมของสารละลายนิกเกิล ความเข้มข้น 3×10^{-4} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร
โดยใช้ Method B-Glyoxime ของ ASTM ที่ความยาวคลื่น 535.0 นาโนเมตร

2. การเตรียมสารละลายมาตรฐานเพื่อทำกราฟมาตรฐาน

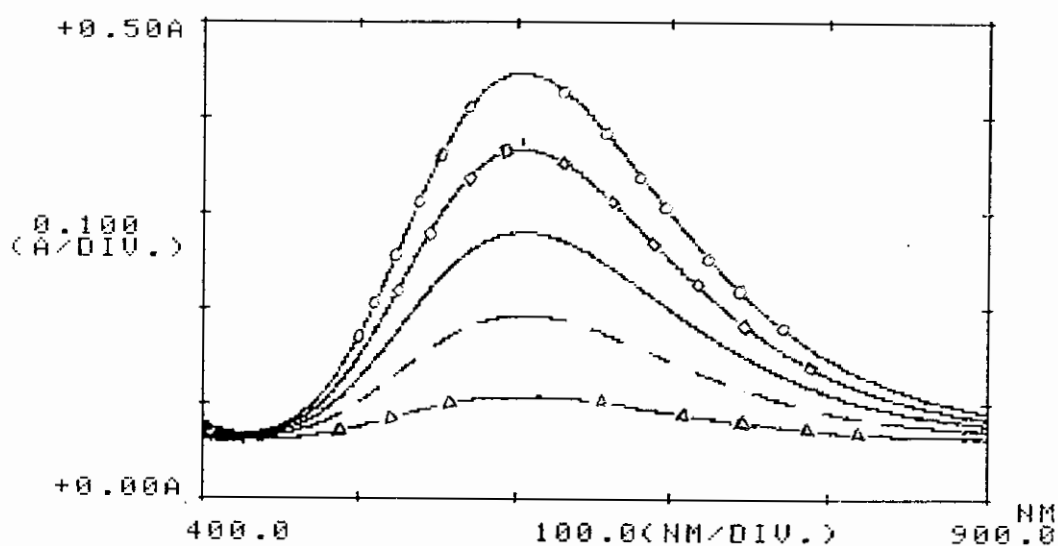
2.1 การทำกราฟมาตรฐานทองแดง

จากการทดลองในบทที่ 3 หัวข้อ 6.1.2 หน้า 57 ได้แสดงผลการทดลองในตาราง 13

ตาราง 13 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานทองแดงที่ความยาวคลื่น 605.0 นาโนเมตร

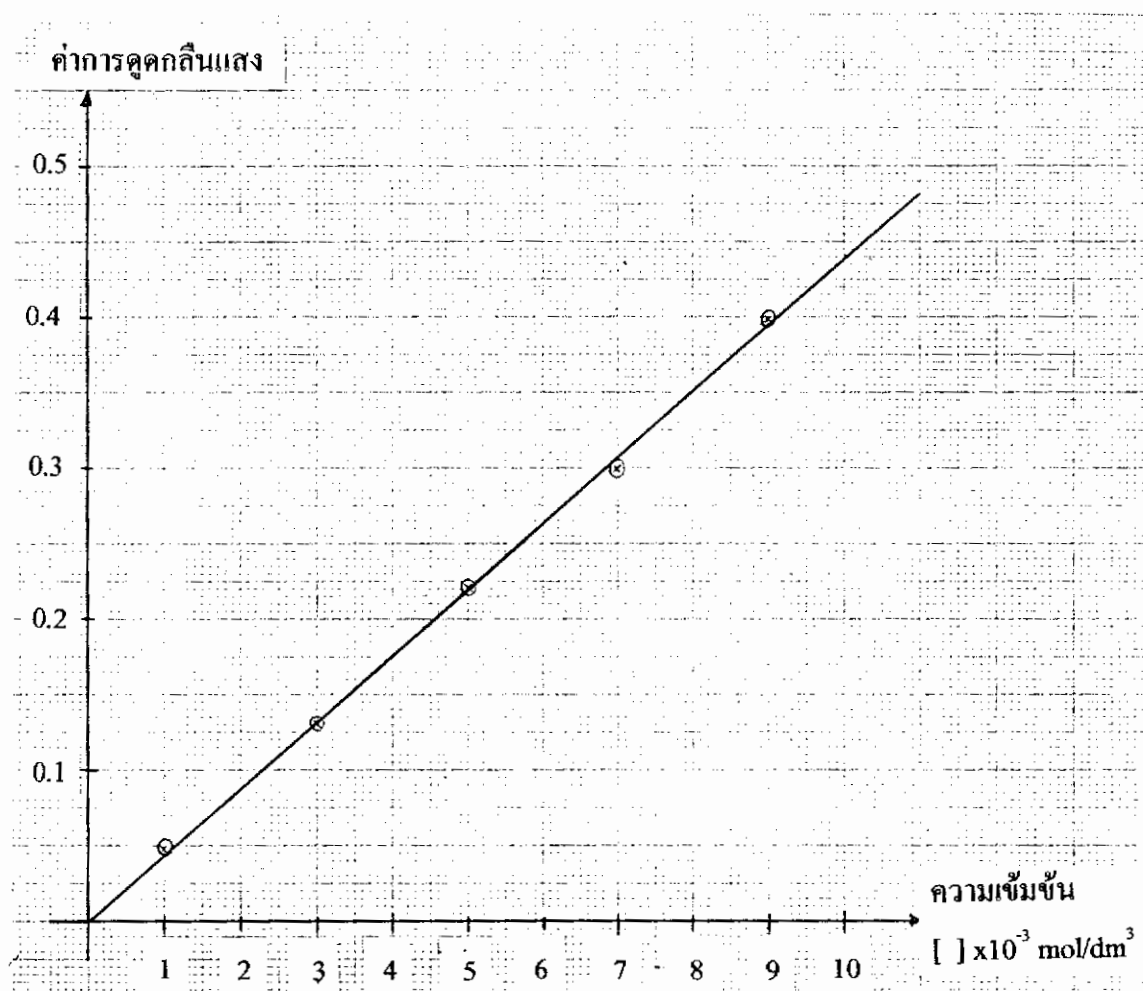
ความเข้มข้นของสารละลาย ทองแดงมาตรฐาน (mol/dm^3)	ค่าการดูดกลืนแสง					$\bar{X}$
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1×10^{-3}	0.048	0.048	0.051	0.050	0.048	0.049
3×10^{-3}	0.132	0.132	0.129	0.129	0.130	0.1304
5×10^{-3}	0.219	0.221	0.221	0.221	0.220	0.2204
7×10^{-3}	0.293	0.293	0.304	0.303	0.305	0.2996
9×10^{-3}	0.440	0.391	0.388	0.390	0.385	0.3988

จากตาราง 13 วัตถุประสงค์การดูดกลืนแสงของสารละลายทองแดงมาตรฐานที่ความเข้มข้น 1×10^{-3} , 3×10^{-3} , 5×10^{-3} , 7×10^{-3} และ 9×10^{-3} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ได้เท่ากับ 0.049, 0.1304, 0.2204, 0.2996 และ 0.3988 ตามลำดับ นำค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายไปเขียนกราฟมาตรฐานของทองแดง ได้ดังภาพประกอบ 12 และ 13



ภาพประกอบ 12 สเปกตรัมของ $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$

- เส้นที่ 1 คือ สารละลายทองแดง ความเข้มข้น $1 \times 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$
- เส้นที่ 2 คือ สารละลายทองแดง ความเข้มข้น $7 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$
- เส้นที่ 3 คือ สารละลายทองแดง ความเข้มข้น $5 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$
- - - เส้นที่ 4 คือ สารละลายทองแดง ความเข้มข้น $3 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$
- △-△-△- เส้นที่ 5 คือ สารละลายทองแดง ความเข้มข้น $9 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$



ภาพประกอบ 13 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานทองคำแดงค่า $r = .9997$

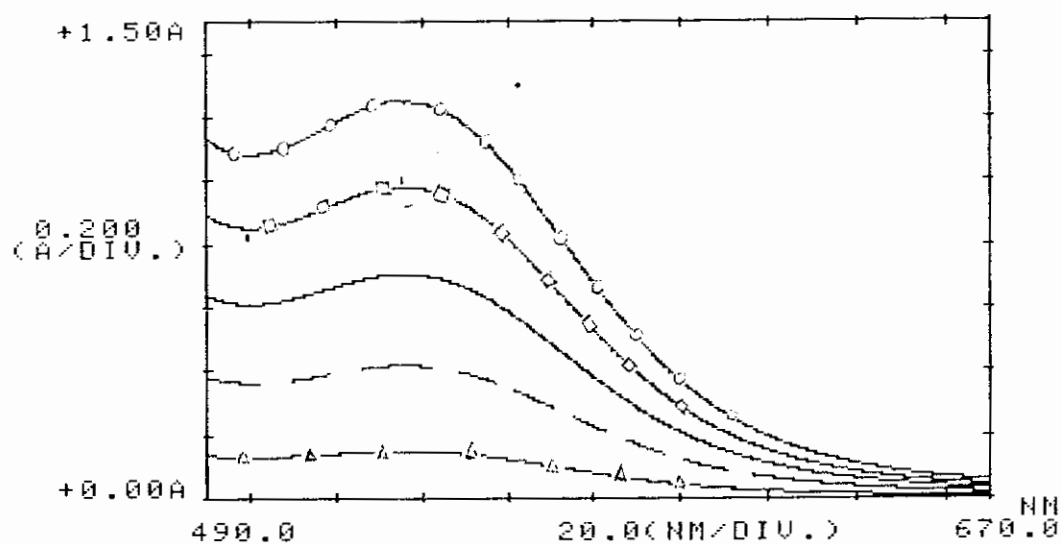
2.2 การทำกราฟมาตรฐานนิกเกิล

จากการทดลองในบทที่ 3 หัวข้อ 6.2.2 หน้า 57 ได้แสดงผลการทดลองในตาราง 14

ตาราง 14 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานนิกเกิลที่ความยาวคลื่น 535.0 นาโนเมตร

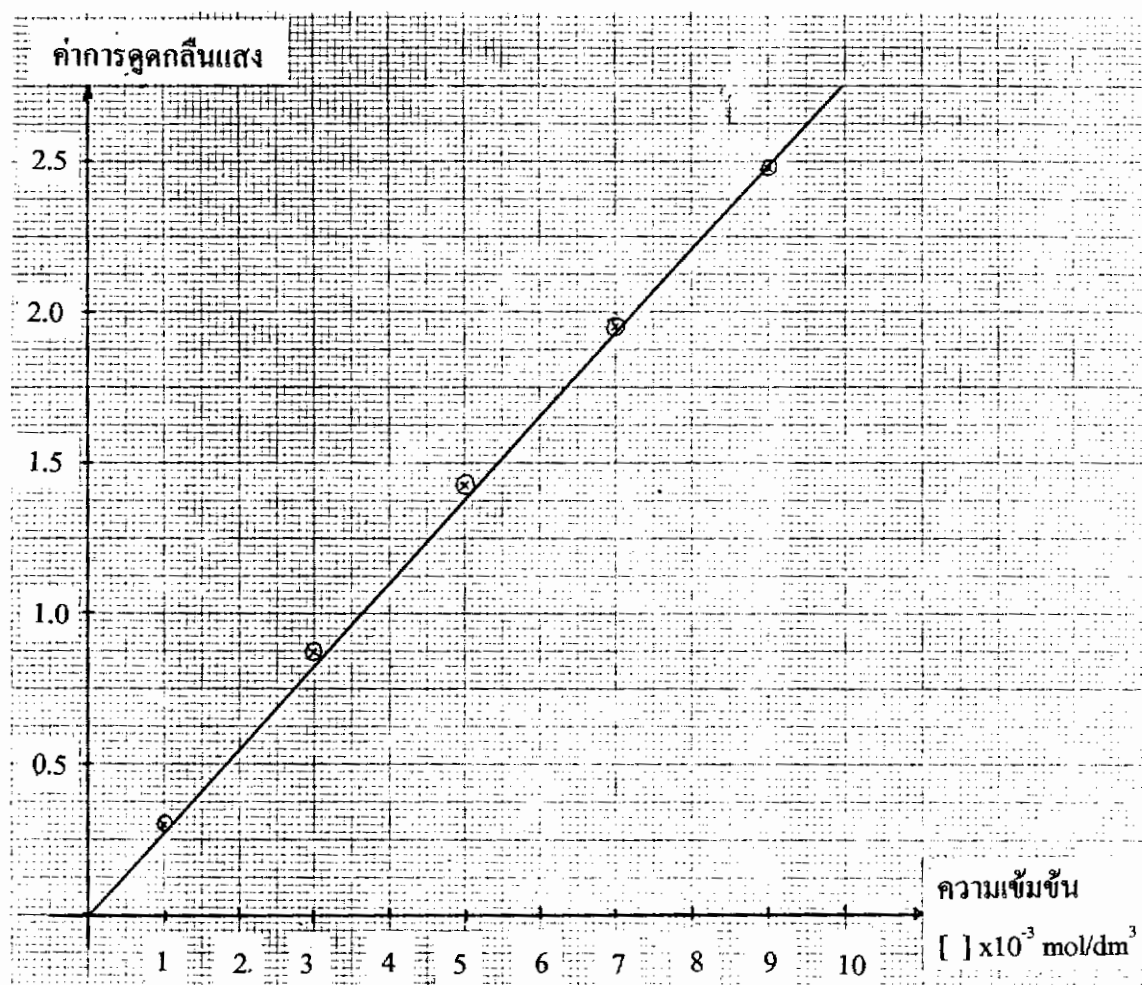
ความเข้มข้นของสารละลาย ทองแดงมาตรฐาน (mol/dm^3)	ค่าการดูดกลืนแสง					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	$\bar{X}$
1×10^{-4}	0.335	0.298	0.309	0.303	0.282	0.3050
3×10^{-4}	0.852	0.900	0.878	0.857	0.885	0.8744
5×10^{-4}	1.397	1.451	1.457	1.431	1.395	1.4262
7×10^{-4}	1.984	1.974	1.954	1.903	1.926	1.9482
9×10^{-4}	2.477	2.475	2.477	2.477	2.479	2.477

จากตาราง 14 วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายนิกเกิลมาตรฐานที่ความเข้มข้น 1×10^{-4} , 3×10^{-4} , 5×10^{-4} , 7×10^{-4} และ 9×10^{-4} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ได้เท่ากับ 0.049, 0.1304, 0.2204, 0.2996 และ 0.3988 ตามลำดับ นำค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายไปเขียนกราฟมาตรฐานของนิกเกิล ได้ดังภาพประกอบ 14 และ 15



ภาพประกอบ 14 สเปกตรัมของสารละลายนิกเกิลโดย Method B-Glyoxime ของ ASTM

○-○-○	เส้นที่ 1 คือ	สารละลายนิกเกิล ความเข้มข้น	$1 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$
□-□-□	เส้นที่ 2 คือ	สารละลายนิกเกิล ความเข้มข้น	$7 \times 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$
—	เส้นที่ 3 คือ	สารละลายนิกเกิล ความเข้มข้น	$5 \times 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$
- - -	เส้นที่ 4 คือ	สารละลายนิกเกิล ความเข้มข้น	$3 \times 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$
△-△-△	เส้นที่ 5 คือ	สารละลายนิกเกิล ความเข้มข้น	$9 \times 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$



ภาพประกอบ 15 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานนิกเกิลค่า $r = .9998$

3. ศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของวัสดุธรรมชาติ

3.1 หาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะทองแดง

จากการทดลองในบทที่ 3 หัวข้อ 7.2 หน้า 58 ได้แสดงผลการทดลองในตาราง 15

ตาราง 15 ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะทองแดงในสารละลายทองแดงเข้มข้น 5×10^{-3} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ในเวลา 1 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง

สารที่ทดลอง	เวลาที่แช่วัสดุธรรมชาติ					
	1 ชั่วโมง		2 ชั่วโมง		3 ชั่วโมง	
	ลักษณะสารละลาย	ตรวจสอบหาทองแดง	ลักษณะสารละลาย	ตรวจสอบหาทองแดง	ลักษณะสารละลาย	ตรวจสอบหาทองแดง
สารละลายทองแดง	ใส	สีน้ำเงิน	ใส	สีน้ำเงิน	ใส	สีน้ำเงิน
แกลบ	ใส	ใส	ใส	ใส	ใส	ใส
ขี้เถ้า	ใส	ใส	ใส	ใส	ใส	ใส
ฟางข้าว	ใส	ใส	ใส	ใส	ใส	ใส
ผักตบชวา	ใส	ใส	ใส	ใส	ใส	ใส

จากตาราง 15 สารละลายทองแดงเข้มข้น 5×10^{-3} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ที่ผ่านการแช่ด้วยวัสดุธรรมชาติ ในเวลา 1 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง เมื่อนำมาตรวจสอบหาทองแดงด้วยการเติมสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 3 mol/dm^3 ได้ สารละลายใสทั้งหมด แสดงว่าช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้ในการทดลองของนักเรียน คือ 1 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายทองแดงเข้มข้น 5×10^{-3} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร แช่ในแกลบ ขี้เถ้า ฟางข้าว และผักตบชวา

3.2 หาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะนิกเกิล

จากการทดลองในบทที่ 3 หัวข้อ 7.3 หน้า 58-59 ได้แสดงผลการทดลองในตาราง 16

ตาราง 16 ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะนิกเกิลในสารละลายนิกเกิล
เข้มข้น 5×10^{-4} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ในเวลา 1 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง

สารที่ทดลอง	เวลาที่แ้ววัสดุธรรมชาติ					
	1 ชั่วโมง		2 ชั่วโมง		3 ชั่วโมง	
	ลักษณะสารละลาย	ตรวจสอบหานิกเกิล	ลักษณะสารละลาย	ตรวจสอบหานิกเกิล	ลักษณะสารละลาย	ตรวจสอบหานิกเกิล
สารละลายนิกเกิล	ใส	ตะกอนสีชมพูเข้ม	ใส	ตะกอนสีชมพูเข้ม	ใส	ตะกอนสีชมพูเข้ม
แกลบ	ใส	ใส	ใส	ใส	ใส	ใส
ขี้เถ้า	ใส	ใส	ใส	ใส	ใส	ใส
ฟางข้าว	ใส	ใส	ใส	ใส	ใส	ใส
ผักตบชวา	ใส	ใส	ใส	ใส	ใส	ใส

จากตาราง 16 สารละลายนิกเกิลเข้มข้น 5×10^{-4} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ที่ผ่านการแ้วด้วยวัสดุธรรมชาติ ในเวลา 1 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง เมื่อนำมาตรวจสอบหานิกเกิลด้วยการเติมโคมพิทไกลออกซิมจะได้สารละลายใสทั้งหมด แสดงว่า ช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้ในการทดลองของนักเรียน คือ 1 ชั่วโมง เมื่อใช้ สารละลายนิกเกิลเข้มข้น 5×10^{-4} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร แ้วในแกลบ ขี้เถ้า ฟางข้าว และผักตบชวา

3.3 ศึกษาหาปริมาณทองแดงที่เหลืออยู่โดยเทคนิควิสเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี

จากการทดลองในบทที่ 3 หัวข้อ 7.4 หน้า 59 ได้แสดงผลการทดลองในตาราง 17

ตาราง 17 ปริมาณทองแดงที่เหลือจากการแช่โดยวัสดุธรรมชาติ

ชนิดของวัสดุ	ค่าการดูดกลืนแสง				ปริมาณทองแดง ที่เหลือ (mol/dm^3)
	การวัด ครั้งที่ 1	การวัด ครั้งที่ 2	การวัด ครั้งที่ 3	$\bar{X}$	
แกลบ	0.177	0.179	0.172	0.176	4.0×10^{-3}
ขี้เถ้า	0.155	0.153	0.151	0.153	3.5×10^{-3}
ฟางข้าว	0.062	0.059	0.062	0.061	1.4×10^{-3}
ผักตบชวา	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

จากตาราง 17 เมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายทองแดง หลังการแช่แกลบ ขี้เถ้า ฟางข้าว และผักตบชวา ด้วยน้ำเสียตั้งแต่วันที่ที่มีความเข้มข้นของทองแดง 1×10^{-2} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มาหาค่าความเข้มข้นของทองแดงโดยใช้กราฟมาตรฐานทองแดงที่สร้างขึ้น (ภาพประกอบ 13 หน้า 93) พบว่า มีทองแดงเหลืออยู่ 4.0×10^{-3} , 3.5×10^{-3} , 1.4×10^{-3} และ 0.00 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ตามลำดับ และหาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดงได้ผลดังตาราง 18

ตาราง 18 ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดงของวัสดุธรรมชาติ

ชนิดของวัสดุธรรมชาติ	ปริมาณสารละลายทองแดงที่แช่ (mol/dm ³)	ปริมาณสารละลายทองแดงที่เหลือ (mol/dm ³)	ปริมาณสารละลายทองแดงที่ถูกดูดซับ (mol/dm ³)	ประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายทองแดง (%)
แกลบ	1×10^{-2}	4.0×10^{-3}	6.0×10^{-3}	60
ขี้เลื่อย	1×10^{-2}	3.5×10^{-3}	6.5×10^{-3}	65
ฟางข้าว	1×10^{-2}	1.4×10^{-3}	8.6×10^{-3}	86
ผักตบชวา	1×10^{-2}	0.000	1×10^{-2}	100

จากตาราง 18 ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดง หลังจากแช่ แกลบ ขี้เลื่อย ฟางข้าว และผักตบชวา ด้วยสารละลายทองแดงเข้มข้น 1×10^{-2} mol/dm³ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า แกลบ ขี้เลื่อย ฟางข้าว และผักตบชวามีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดง คือ 60, 65, 86, 100 % ตามลำดับ แสดงว่า ผักตบชวามีความสามารถในการดูดซับโลหะทองแดงได้ดีที่สุด

3.4 ศึกษาหาปริมาณนิกเกิลที่เหลือยู่โดยเทคนิควิสเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี

จากการทดลองในบทที่ 3 หัวข้อ 7.5 หน้า 59 ได้แสดงผลการทดลองในตาราง 19

ตาราง 19 ปริมาณนิกเกิลที่เหลืจากการแช่โดยวัสดุธรรมชาติ

ชนิดของวัสดุ	ค่าการดูดกลืนแสง				ปริมาณนิกเกิล ที่เหลื (mol/dm ³)
	การวัด ครั้งที่ 1	การวัด ครั้งที่ 2	การวัด ครั้งที่ 3	$\bar{X}$	
แกลบ	0.611	0.577	0.531	0.573	2.05×10^{-4}
ขี้เถ้า	0.431	0.379	0.381	0.397	1.15×10^{-4}
ฟางข้าว	0.199	0.189	0.197	0.195	7.0×10^{-5}
ผักตบชวา	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000

จากตาราง 19 เมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายนิกเกิล หลังการแช่แกลบ ขี้เถ้า ฟางข้าว และผักตบชวา ด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของนิกเกิล 1×10^{-3} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มาหาค่าความเข้มข้นของนิกเกิลโดยใช้กราฟมาตรฐานนิกเกิลที่สร้างขึ้น (ภาพประกอบ 5 หน้า 94) พบว่า มีนิกเกิลเหลือยู่ 2.05×10^{-4} , 1.15×10^{-4} , 7.0×10^{-5} และ 0.000 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ตามลำดับ และหาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะนิกเกิลได้ผลดังตาราง 20

ตาราง 20 ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะนิกเกิลของวัสดุธรรมชาติ

ชนิดของวัสดุธรรมชาติ	ปริมาณสารละลายนิกเกิลที่แช่ (mol/dm ³)	ปริมาณสารละลายนิกเกิลที่เหลือ (mol/dm ³)	ปริมาณสารละลายนิกเกิลที่ถูกดูดซับ (mol/dm ³)	ประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายนิกเกิล (%)
แกลบ	1×10^{-3}	2.05×10^{-4}	7.95×10^{-4}	79.5
ขี้เลื่อย	1×10^{-3}	1.15×10^{-4}	8.85×10^{-4}	88.5
ฟางข้าว	1×10^{-3}	7.00×10^{-5}	9.3×10^{-4}	93
ผักตบชวา	1×10^{-3}	0.000	1×10^{-3}	100

จากตาราง 20 ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะนิกเกิล หลังจากแช่ แกลบ ขี้เลื่อย ฟางข้าว และผักตบชวา ด้วยสารละลายนิกเกิลเข้มข้น 1×10^{-3} mol/dm³ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า แกลบ ขี้เลื่อย ฟางข้าว และผักตบชวามีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะนิกเกิล คือ 79.5, 88.5, 93, 100 % ตามลำดับ แสดงว่า ผักตบชวามีความสามารถในการดูดซับโลหะนิกเกิลได้ดีที่สุด

3.5 ศึกษาหาปริมาณทองแดงที่เหลืออยู่จากการสังเคราะห์ของสารละลายเมื่อเปรียบเทียบกับแบลงค์

จากการทดลองในบทที่ 3 หัวข้อ 7.6.1 หน้า 60 ได้แสดงผลการทดลองในตาราง 21

ตาราง 21 ปริมาณทองแดงที่เหลืออยู่จากการสังเคราะห์ของสารละลายเมื่อเปรียบเทียบกับแบลงค์

ผลการทดลอง						
แบลงค์ (mol/dm ³) วัสดุธรรมชาติ	น้ำกลั่น ใส	1 x 10 ⁻³ สีน้ำเงิน อ่อนมาก	3 x 10 ⁻³ สีน้ำเงิน อ่อน	5 x 10 ⁻³ สีน้ำเงิน	7 x 10 ⁻³ สีน้ำเงิน เข้ม	1 x 10 ⁻² สีน้ำเงิน ม่วง
แกลบ	-	-	-	-	สีน้ำเงิน เข้ม	-
ขี้เลื่อย	-	-	-	สีน้ำเงิน	-	-
ฟางข้าว	-	-	สีน้ำเงินอ่อน	-	-	-
ผักคตขวา	ใส	-	-	-	-	-

จากตาราง 21 เมื่อเทียบกับแบลงค์หลังการแช่ แกลบ ขี้เลื่อย ฟางข้าว และผักคตขวา ด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของทองแดง 1 x 10⁻² โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า มีทองแดงเหลืออยู่ประมาณ 7 x 10⁻³, 5 x 10⁻³, 3 x 10⁻³ และ 0.0 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ตามลำดับ และหาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดงได้ผลดังตาราง 22

ตาราง 22 ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดงของวัสดุธรรมชาติจากการสกัดสีของสารละลายเมื่อเปรียบเทียบกับแบลงค์

ชนิดของวัสดุธรรมชาติ	ปริมาณสารละลายทองแดงที่แท้ (mol/dm ³)	ปริมาณสารละลายทองแดงที่เหลือ (mol/dm ³)	ปริมาณสารละลายทองแดงที่ถูกดูดซับ (mol/dm ³)	ประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายทองแดง (%)
แกลบ	1×10^{-2}	7.0×10^{-3}	3.0×10^{-3}	30
ขี้เลื่อย	1×10^{-2}	5.0×10^{-3}	5.0×10^{-3}	50
ฟางข้าว	1×10^{-2}	3.0×10^{-3}	7.0×10^{-3}	70
ผักตบชวา	1×10^{-2}	0.000	1.0×10^{-2}	100

จากตาราง 22 ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดง หลังจากแช่ แกลบ ขี้เลื่อย ฟางข้าว และผักตบชวา ด้วยสารละลายทองแดงเข้มข้น 1×10^{-2} mol/dm³ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า แกลบ ขี้เลื่อย ฟางข้าว และผักตบชวามีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดง คือ 30, 50, 70, 100 % ตามลำดับ แสดงว่า ผักตบชวามีความสามารถในการดูดซับโลหะทองแดงได้ดีที่สุด

3.6 ศึกษาหาปริมาณนิคเกิลที่เหลืออยู่จากการสังเคราะห์ของสารละลายเมื่อ เปรียบเทียบกับ
แบบลงค์

จากการทดลองในบทที่ 3 หัวข้อ 7.6.2 หน้า 60 ได้แสดงผลการทดลองใน
ตาราง 23

ตาราง 23 ปริมาณนิคเกิลที่เหลืออยู่จากการสังเคราะห์ของสารละลายเมื่อเปรียบเทียบกับแบบลงค์

ผลการทดลอง						
แบบลงค์ (mol/dm ³)	น้ำกลั่น ใส	1×10^{-4} สีแดงส้ม ออกน้ำตาล	3×10^{-4} สีน้ำตาล แดง	5×10^{-4} สีน้ำตาล แดงแก่	7×10^{-4} สีน้ำตาล แดงเข้ม	1×10^{-3} สีน้ำตาล แดงเข้มมาก
แกลบ	-	-	-	น้ำตาลแดง แก่		
ขี้เถ้า	-	-	น้ำตาล แดง	-	-	-
ฟางข้าว	-	แดงส้มออก น้ำตาล	-	-	-	-
ผักตบชวา	ใส	-	-	-	-	-

จากตาราง 23 เมื่อเทียบกับแบบลงค์สังเคราะห์ แกลบ ขี้เถ้า ฟางข้าว และผักตบชวา ด้วย
น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของนิคเกิล 1×10^{-3} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบ
ว่า มีนิคเกิลเหลืออยู่ประมาณ 5×10^{-4} , 3×10^{-4} , 1×10^{-4} และ 0.0 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ตาม
ลำดับ และหาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะนิคเกิลได้ผลดังตาราง 24

ตาราง 24 ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะนิกเกิลของวัสดุธรรมชาติจากการสังเคราะห์ของ
สารละลายเมื่อเปรียบเทียบกับแบลงค์

ชนิดของวัสดุธรรมชาติ	ปริมาณสารละลาย นิกเกิลที่แท้ (mol/dm ³)	ปริมาณสารละลาย นิกเกิลที่เหลือ (mol/dm ³)	ปริมาณสารละลาย นิกเกิลที่ถูกดูดซับ (mol/dm ³)	ประสิทธิภาพในการดูดซับ สารละลายนิกเกิล (%)
แกลบ	1×10^{-3}	5.0×10^{-4}	5.0×10^{-4}	50
ขี้เถ้า	1×10^{-3}	3.0×10^{-4}	7.0×10^{-4}	70
ฟางข้าว	1×10^{-3}	1.0×10^{-4}	9.0×10^{-4}	90
ผักตบชวา	1×10^{-3}	0.000	1.0×10^{-3}	100

จากตาราง 24 ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะนิกเกิล หลังจากแช่ แกลบ ขี้เถ้า ฟางข้าว และผักตบชวา ด้วยสารละลายนิกเกิลเข้มข้น 1×10^{-3} mol/dm³ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า แกลบ ขี้เถ้า ฟางข้าว และผักตบชวามีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะนิกเกิล คือ 50, 70, 90, และ 100 % ตามลำดับ แสดงว่า ผักตบชวามีความสามารถในการดูดซับโลหะนิกเกิลได้ดีที่สุด

ตอนที่ 2 การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ ได้นำผลการทดลองเฉพาะบางการทดลองในตอนที่ 1 มาประยุกต์ใช้ในการทดลองสอนดังได้เสนอไว้แล้วในตอนต้นที่ 1 ซึ่งการพัฒนาครั้งนี้ได้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษา เรื่องความสามารถในการดูดซับโลหะหนักโดยวัสดุธรรมชาติ 7 บท และคู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ดังนี้

บทปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง	การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น
บทปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง	การตรวจสอบหาทองแดงและนิกเกิลในน้ำ
บทปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง	พิษของทองแดงและนิกเกิลที่มีต่อการเจริญเติบโตของแมล็ดถั่วเขียว
บทปฏิบัติการที่ 4 เรื่อง	การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะด้วยการทำให้เกิดตะกอน
บทปฏิบัติการที่ 5 เรื่อง	คุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนักของวัสดุธรรมชาติ
บทปฏิบัติการที่ 6 เรื่อง	การวิเคราะห์หาปริมาณทองแดงที่เหลือจากการดูดซับโดยวัสดุธรรมชาติด้วยวิธีเทียบสี
บทปฏิบัติการที่ 7 เรื่อง	การวิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิลที่เหลือจากการดูดซับโดยวัสดุธรรมชาติด้วยวิธีเทียบสี

ผู้วิจัยได้นำบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ และคู่มือครูประกอบการสอนที่พัฒนาขึ้นไปให้ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน ประเมินความเหมาะสมในการนำไปใช้สำหรับสอนนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6 แล้วนำผลการประเมินมาวิเคราะห์ข้อมูลในตอนต้นที่ 2 นี้ โดยใช้สัญลักษณ์ ดังนี้

- X แทน ค่าเฉลี่ยของคะแนนที่ผู้เชี่ยวชาญประเมินผลบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
- S แทน ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนที่ผู้เชี่ยวชาญประเมินผลบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ที่มีต่อบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และคู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

จากการตอบแบบประเมินบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน ซึ่งเป็นคำถามแบบมาตราส่วนประมาณค่าชนิด 5 ช่วง มีน้ำหนักคะแนนตั้งแต่ 1 - 5 ผู้วิจัยได้คำนวณค่าเฉลี่ยของความคิดเห็นในแต่ละส่วนและจัดระดับตามค่าเฉลี่ยเป็น 3 ระดับ คือ

- ค่าเฉลี่ย 1.00 - 2.33 หมายถึง เห็นด้วยในระดับน้อย
- ค่าเฉลี่ย 2.34 - 3.66 หมายถึง เห็นด้วยในระดับปานกลาง
- ค่าเฉลี่ย 3.67 - 5.00 หมายถึง เห็นด้วยในระดับมาก

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนนี้ ปรากฏดังตาราง 21

ตาราง 25 ค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และคู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

องค์ประกอบที่เสนอ	ค่าสถิติ	บทปฏิบัติการที่						
		1	2	3	4	5	6	7
1.เอกสารประกอบบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ (ใบความรู้)	$\bar{X}$	3.87	4.06	3.90	3.86	3.96	3.87	3.84
	S	.24	.45	.24	.19	.17	.26	.19
	ระดับความคิดเห็น	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก
2.บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์	$\bar{X}$	4.22	4.25	4.12	4.13	4.22	4.18	4.22
	S	.34	.33	.35	.48	.29	.36	.29
	ระดับความคิดเห็น	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก
3.เอกสารรายงานผลการทดลองและคำถามท้ายการทดลอง	$\bar{X}$	3.97	4.00	3.87	4.03	4.23	4.27	4.27
	S	.23	.31	.33	.34	.15	.21	.21
	ระดับความคิดเห็น	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก
4.คู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์	$\bar{X}$	4.16	4.15	3.84	3.87	4.28	4.03	4.10
	S	.37	.36	.27	.31	.31	.34	.25
	ระดับความคิดเห็น	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก

จากตาราง 25 สรุปความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ 7 บท และคู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น จากผลการวิเคราะห์โดยสรุป ผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นว่าบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และคู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการเรียนการสอนอยู่ในระดับมาก

ตอนที่ 3 การนำบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาไปทดลองสอน

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลของผู้เชี่ยวชาญที่เห็นด้วยกับบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ที่พัฒนาขึ้นในระดับมาก ผู้วิจัยจึงได้นำบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และคู่มือครูประกอบการสอน บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นนี้ไปทดลองสอนกับนักเรียนกลุ่มทดลอง เพื่อศึกษาผลการใช้บทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นและหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ 80/80

ทั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดสัญลักษณ์ที่ใช้ในการเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตอนที่ 3 ดังนี้

$\bar{X}$ แทน ค่าเฉลี่ยของคะแนน

S แทน ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการหาค่าเฉลี่ยของคะแนนจากการตอบคำถามท้ายบทปฏิบัติการ และแบบทดสอบวัดทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ของกลุ่มทดลอง จำนวน 30 คน รวมทั้งได้หาค่าเฉลี่ยคะแนนจากแบบสอบถามเจตคติต่อการเรียนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น ซึ่งได้เสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล ดังตาราง 22

ตาราง 26 ค่าเฉลี่ยและร้อยละของแบบทดสอบทั้ง 4 แบบ

แบบทดสอบ	คะแนนเต็ม	สัญลักษณ์	ค่าสถิติ	ร้อยละ
1. คำถามท้ายบทปฏิบัติการ	62	$\bar{X}$ S	49.77 3.74	80.27
2. แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	30	$\bar{X}$ S	21.67 3.04	80.11
3. แบบวัดทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์	30	$\bar{X}$ S	27.00 1.31	
4. แบบสอบถามเจตคติต่อการเรียน บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น	5	$\bar{X}$ S	4.18 11.41	83.60

จากตาราง 26 ค่าร้อยละของคะแนนจากการตอบคำถามบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
ต่อแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับแบบทดสอบวัดทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คือ
80.27/80.11 ซึ่งแสดงว่า บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด
ไว้ ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานของการศึกษาค้นคว้าข้อ 2 ที่กำหนดไว้ สำหรับเจตคติต่อการ
เรียนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์พิจารณาค่าเฉลี่ย คือ 4.18 หรือร้อยละ 83.60 แสดงว่า นักเรียนมี
เจตคติ ต่อการเรียนโดยใช้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นในระดับดีมาก

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เป็นการพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นการวิจัยเชิงทดลอง และศึกษาหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น โดยสามารถสรุปสาระสำคัญและผลการศึกษาค้นคว้าได้ดังนี้

ความมุ่งหมายในการศึกษาค้นคว้า

1. เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมในการตรวจหาวิเคราะห์ปริมาณทองแดงและนิกเกิลในน้ำ และศึกษาความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก เพื่อใช้ในการพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
2. เพื่อนำผลการทดลองไปพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก สำหรับการเรียนการสอนนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6
3. เพื่อศึกษาผลของการใช้บทปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น ในการสอนวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

สมมติฐานของการศึกษาค้นคว้า

1. สามารถพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก เพื่อใช้สำหรับการเรียนการสอน วิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ได้
2. บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ 80/80

วิธีการดำเนินการศึกษาค้นคว้า

ในการศึกษาค้นคว้าเพื่อพัฒนามาตรฐานปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก มีขั้นตอนการศึกษาค้นคว้า 3 ตอน ในแต่ละตอนดำเนินการโดยสรุปดังนี้

ตอนที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ โดยใช้อุปกรณ์และสารเคมีในห้องปฏิบัติการตามขั้นตอนการทดลองที่ได้ศึกษาค้นคว้า

ตอนที่ 2 พัฒนามาตรฐานปฏิบัติการวิทยาศาสตร์จากผลการทดลองที่ศึกษา เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย

1. มาตรฐานปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก ซึ่งเป็นมาตรฐานการทดลอง 7 บท ใช้เวลาในการเรียนและทดลองมาตรฐานการทดลอง 2 คาบ (คาบละ 50 นาที)

2. คู่มือครูประกอบการสอนมาตรฐานปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ใช้สำหรับเป็นแนวทางในการสอน โดยใช้มาตรฐานปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นทั้ง 7 มาตรฐานการ

ตอนที่ 3 นำมาตรฐานปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ที่ พัฒนาขึ้น ไปทดลองสอนกับกลุ่มทดลอง เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย

1. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมาตรฐานปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก เป็นข้อสอบแบบอิงเกณฑ์ชนิดเลือกตอบ (multiple choice) มี 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ แบบทดสอบนี้มีค่าความเชื่อมั่น .66

2. แบบทดสอบวัดทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เป็นข้อสอบแบบอิงเกณฑ์ชนิดเลือกตอบ (multiple choice) มี 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ แบบทดสอบนี้มีค่าความเชื่อมั่น .62

3. แบบสอบถามเจตคติต่อการเรียนมาตรฐานปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก เป็นแบบมาตราส่วนประเมินค่า (rating scales) ชนิด 5 ช่วงคะแนน คือ เห็นด้วยอย่างยิ่ง เห็นด้วย ไม่แน่ใจ ไม่เห็นด้วย ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง จำนวน 35 ข้อ แบบสอบถามนี้มีค่าความเชื่อมั่น .91

วิธีดำเนินการทดลอง

ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองตามขั้นตอนการทดลองทั้ง 3 ตอน โดยสรุปดังนี้

ตอนที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการ

โดยศึกษาหาความเหมาะสมของลิแกนด์ในการทำปฏิกิริยากับทองแดง และ นิกเกิล คือ แอมโมเนีย และไดเมทิลไกลออกซิม ตามลำดับ วิเคราะห์ปริมาณทองแดงและนิกเกิลที่วัตุธรรมชาติ คือ แกลบ ขี้เถ้า ฟางข้าว และผักตบชวาคุชับ โดยวิธีการทางวิธีบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี

ตอนที่ 2 พัฒนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ จากผลการทดลอง โดยดำเนินดังนี้

2.1 พัฒนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เรื่อง ความสามารถของวัตุธรรมชาติในการคุชับโลหะหนัก โดยนำผลการทดลองในห้องปฏิบัติการมาเขียน เป็น บทปฏิบัติการในการตรวจสอบและวิเคราะห์ปริมาณปริมาณทองแดงและนิกเกิลในน้ำ และพัฒนบทปฏิบัติการให้ครอบคลุมเนื้อหาเกี่ยวกับมลพิษทางน้ำที่เกิดจากการปนเปื้อนของโลหะหนัก โดยเฉพาะโลหะหนักจากโรงงานชุบโลหะ เพื่อให้ เป็น บทปฏิบัติการที่เหมาะสมสำหรับการเรียนการสอนในวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

2.2 สร้างคู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ โดยนำผลการทดลองในห้องปฏิบัติการมาเขียนเป็นคู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ 7 บท เพื่อใช้เป็นแนวทางในการสอนด้วยบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เรื่อง ความสามารถของวัตุธรรมชาติในการคุชับโลหะหนัก

ตอนที่ 3 นำบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอน

3.1 กลุ่มทดลอง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนโคกกระเทียมวิทยาลัย จังหวัดลพบุรี ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2541 ที่เรียนแผนการเรียนวิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรมัธยมศึกษาตอนปลายพุทธศักราช 2524 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2535) จำนวน 30 คน

3.2 ทำการสอนกลุ่มทดลองด้วยบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่องความสามารถของวัตุธรรมชาติในการคุชับโลหะหนัก 7 สัปดาห์ ๆ ละ 4 คาบ (คาบละ 50 นาที) รวม 14 คาบ

3.3 ทำการทดสอบหลังจากจบการเรียน โดยให้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแบบวัดทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ และแบบสอบถามเจตคติต่อการเรียนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลครั้งนี้ ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูล 3 ตอนดังนี้

ตอนที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คำนวณค่าสถิติพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกราฟมาตรฐาน

ตอนที่ 2 พัฒนารูปแบบปฏิบัติการวิทยาศาสตร์จากผลการทดลอง คำนวณค่าสถิติพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของการประเมินผลแบบปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

ตอนที่ 3 นำแบบปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอน คำนวณค่าสถิติที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของคะแนนแบบฝึกหัดทำแบบปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและแบบทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ค่าเฉลี่ยของแบบสอบถามวัดเจตคติต่อการเรียนแบบปฏิบัติการ คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของคะแนนแบบฝึกหัดทำแบบปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและแบบทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เพื่อพิจารณาตามเกณฑ์หาประสิทธิภาพของแบบปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น

ผลการศึกษาค้นคว้า

ผลการศึกษาค้นคว้าแต่ละตอน สรุปได้ดังนี้

ตอนที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการ

ในการทดลองนี้ ได้ศึกษาความเหมาะสมของลิแกนด์ในการทำปฏิกิริยากับทองแดงและนิกเกิล รวมทั้งช่วงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานทองแดงและนิกเกิลที่เหมาะสมในการนำผลการทดลองมาประยุกต์ใช้ในการเขียนแบบปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ และวิเคราะห์ปริมาณทองแดงและนิกเกิลที่เนื่องจากการดูดซับโดยวัสดูดซับ

1. การศึกษาหาความเหมาะสมของลิแกนด์ที่ทำปฏิกิริยากับทองแดงและนิกเกิล

1.1 การศึกษาช่วงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานทองแดงที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนีย ความเข้มข้น 3 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร แสดงผลการทดลองดังตาราง 7 เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นของสารละลายทองแดงที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนีย ได้สารละลายสีน้ำเงินเห็นชัดเจนเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในการนำไปใช้ในการ

$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ (ประเสริฐ ศรีไพโรจน์. 2535 : 30 และ Vogel, Arthur I. 1987 : 78) นำสารละลายทองแดงเข้มข้น 1×10^{-2} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ไปวิเคราะห์โดยเทคนิควิสเปกโทรโฟโตเมตรี เนื่องจากเป็นความเข้มข้นสูงสุดที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนียแล้วเกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน ดังผลการทดลองในตาราง 8 พบว่า ความยาวคลื่นสูงสุดในการดูดกลืนแสงของ $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ คือ 605.0 นาโนเมตร ใช้เป็นความยาวคลื่นที่สร้างกราฟมาตรฐานทองแดง และในตาราง 13 การสร้างกราฟมาตรฐานทองแดง สารละลายมาตรฐานทองแดงที่นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสง คือ 1×10^{-3} , 3×10^{-3} , 5×10^{-3} , 7×10^{-3} และ 9×10^{-3} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 605.0 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้มาเขียนกราฟได้กราฟเส้นตรงที่ผ่านจุดศูนย์และมีค่า $r = .9997$ แสดงว่าความเข้มข้นของสารละลายกับค่าการดูดกลืนแสงมีความสัมพันธ์ทางบวกสูงมาก กราฟนี้มีความถูกต้องสูง กราฟมาตรฐานทองแดงที่สร้างขึ้นนี้นำไปใช้ในการหาปริมาณทองแดงที่เหลือจากการดูดซับโดยวัสดุธรรมชาติ

1.2 การศึกษาช่วงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานนิกเกิลที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยากับสารละลายโคเมทิลไกลออกซิมเข้มข้นร้อยละ 1 แสดงผลการทดลองดังตาราง 10 เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นของสารละลายนิกเกิลที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายโคเมทิลไกลออกซิมได้ตะกอนสีแดงเห็นชัดเจนเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในการนำไปใช้ในการทดลอง คือ 1×10^{-4} - 1×10^{-3} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ซึ่งตะกอนสีแดงที่เกิดขึ้น คือ $\text{Ni}(\text{C}_4\text{H}_7\text{N}_2\text{O}_2)_2$ (ประเสริฐ ศรีไพโรจน์. 2535 : 68 และ Vogel, Arthur I. 1987 : 122)

1.3 การศึกษาช่วงความเข้มข้นของสารละลายทองแดงในอัตราส่วน 1 : 1 ในการทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนีย ความเข้มข้น 3 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร และสารละลายโคเมทิลไกลออกซิมเข้มข้นร้อยละ 1 แสดงผลการทดลองดังตาราง 10 เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นของสารละลายที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนีย ได้สารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน และเมื่อเติมสารละลายโคเมทิลไกลออกซิม ได้ตะกอนสีแดง เห็นชัดเจน เหมาะสมกับการนำไปใช้ในการทดสอบคือ 1×10^{-3} - 1×10^{-2} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ซึ่งสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินที่เกิดขึ้น เมื่อนำไปศึกษาโดยเทคนิควิสเปกโทรโฟโตเมตรี จากตาราง 11 พบว่า ความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุดคือ 603.0 นาโนเมตร แสดงว่าเป็น $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ และตะกอนสีแดงที่เกิดขึ้นเมื่อเติมโคเมทิลไกลออกซิม คือ $\text{Ni}(\text{C}_4\text{H}_7\text{N}_2\text{O}_2)_2$

1.4 การศึกษาหาความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุดของนิกเกิลโดย Method B- Glyoxime ของ ASTM สารละลายที่ได้เป็นสารละลายสีน้ำตาลแดง แสดงผลการทดลองดังตาราง 12 ความยาวคลื่นที่สารละลายนิกเกิลเข้มข้น 3×10^{-4} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ที่ดูดกลืน

แสงได้สูงที่สุด คือ 535.0 นาโนเมตร ใช้เป็นความยาวคลื่นที่สร้างกราฟมาตรฐานนิกเกิล และในตาราง 14 การสร้างกราฟมาตรฐานนิกเกิล สารละลายมาตรฐานนิกเกิลที่นำมาสร้างกราฟมาตรฐานคือ 1×10^{-4} , 3×10^{-4} , 5×10^{-4} , 7×10^{-4} และ 9×10^{-4} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ซึ่งนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 535.0 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้มาเขียนกราฟได้กราฟเส้นตรงที่ผ่านจุดศูนย์และมีค่า $r = .9998$ แสดงว่าความเข้มข้นของสารละลายกับค่าการดูดกลืนแสงมีความสัมพันธ์ทางบวกสูงมาก กราฟนี้มีความถูกต้องสูง กราฟมาตรฐานที่สร้างขึ้นนี้นำไปใช้ในการหาปริมาณนิกเกิลที่เหลือจากการดูดซับโดยวัสดูรรมชาติ

2. การวิเคราะห์ปริมาณทองแดงและนิกเกิลที่เหลือจากการดูดซับโดยวัสดูรรมชาติ

2.1 การวิเคราะห์หาช่วงเวลาในการดูดซับโลหะหนักทองแดงและนิกเกิลที่เหมาะสม

แสดงผลการทดลองดังตาราง 15 โดยสังเกตสีของสารละลายเปรียบเทียบกับแบบลงค์ สำหรับการนำผลการทดลองมาประยุกต์ใช้ในการสอน พบว่า วัสดูรรมชาติสามารถดูดซับโลหะทองแดงและนิกเกิลได้ภายในเวลาน้อยที่สุดคือ 1 ชั่วโมง

2.2 การวิเคราะห์ปริมาณทองแดงที่เหลือจากการดูดซับโดยวัสดูรรมชาติ

เมื่อนำสารละลายจากการแช่ แกลบ จี้เลื้อย ฟางข้าว และผักตบชวา ด้วยสารละลายทองแดงเข้มข้น 1×10^{-2} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 605.0 นาโนเมตร ผลการทดลองแสดงดังตาราง 17 พบว่า ค่าการดูดกลืนแสงเป็น 0.176, 0.153, 0.061 และ 0.00 ตามลำดับ เมื่อนำไปหาค่าความเข้มข้นของทองแดง จากกราฟมาตรฐานทองแดง พบว่า ปริมาณทองแดงที่เหลือจากการดูดซับ คือ 4.0×10^{-3} , 3.5×10^{-3} , 1.4×10^{-3} และ 0.00 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ตามลำดับ และหาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดง ได้ 60, 65, 86 และ 100 % ตามลำดับ สำหรับผลการทดลองจากการสังเกตสีของสารละลายที่ผ่านการแช่วัสดูรรมชาติกับแบบลงค์ แสดงผลการทดลองดังตาราง 21 พบว่า ปริมาณทองแดงที่เหลือจากการดูดซับ คือ 7×10^{-3} , 5×10^{-3} , 3×10^{-3} และ 0.00 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดง และหาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดง ได้ 30, 50, 70 และ 100 % ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าผักตบชวาสามารถดูดซับโลหะทองแดงได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแกลบ จี้เลื้อย และฟางข้าว

2.3 การวิเคราะห์ปริมาณนิกเกิลที่เหลือจากการดูดซับโดยวัสดูรรมชาติ

เมื่อนำสารละลายจากการแช่ แกลบ จี้เลื้อย ฟางข้าว และผักตบชวา ด้วยสารละลายนิกเกิลเข้มข้น 1×10^{-3} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 535.0 นาโนเมตร ผลการทดลองแสดงดังตาราง 19 พบว่า ค่าการดูด

กลืนแสงเป็น 0.573, 0.397, 0.195 และ 0.00 ตามลำดับ เมื่อนำไปหาค่าความเข้มข้นของนิกเกิลจากกราฟมาตรฐานนิกเกิล พบว่า ปริมาณนิกเกิลที่เหลือจากการดูดซับ คือ 2.05×10^{-4} , 11.5×10^{-4} , 7.5×10^{-5} และ 0.00 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ตามลำดับ และหาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะนิกเกิล ได้ 79.5, 88.5, 93 และ 100 % ตามลำดับ สำหรับผลการทดลองจากการสังเกตสีของสารละลายที่ผ่านการแยกวัฏธรรมาชาติกับแบบลงค์ แสดงผลการทดลองดังตาราง 23 พบว่า ปริมาณนิกเกิลที่เหลือจากการดูดซับ คือ 5×10^{-4} , 3×10^{-4} , 1×10^{-4} และ 0.00 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ตามลำดับ และหาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะนิกเกิล ได้ 50, 70, 90 และ 100 % ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่า ผักตบชวาสามารถดูดซับโลหะนิกเกิลได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแคลบ จีเลื้อย และฟางข้าว

ตอนที่ 2 พัฒนารูปแบบปฏิบัติการวิทยาศาสตร์จากผลการทดลอง

บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัฏธรรมาชาติในการดูดซับโลหะหนัก จำนวน 7 บท แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ เอกสารประกอบประกอบบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์(ใบความรู้) บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ และเอกสารรายงานผลการทดลองและแบบฝึกหัดท้ายบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ พร้อมคู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

นำบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัฏธรรมาชาติในการดูดซับโลหะหนัก และคู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ไปให้ผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน ประเมินโดยใช้แบบประเมินบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ปรากฏว่าหลังจากที่ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน ประเมินแล้วค่าเฉลี่ยความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญต่อบทปฏิบัติการโดยรวมอยู่ในระดับมาก

จึงสรุปได้ว่า บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัฏธรรมาชาติในการดูดซับโลหะหนัก และคู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนได้

ตอนที่ 3 นำบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอน

นำบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัฏธรรมาชาติในการดูดซับโลหะหนัก ไปทดลองสอน และหาประสิทธิภาพ ปรากฏว่าสูงกว่า เกณฑ์มาตรฐาน ที่ตั้งไว้ 80/80 คือมีประสิทธิภาพ 80.27 /80.11 จึงสรุปได้ว่า บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัฏธรรมาชาติในการดูดซับโลหะหนักมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐานที่ตั้งไว้และสามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนได้

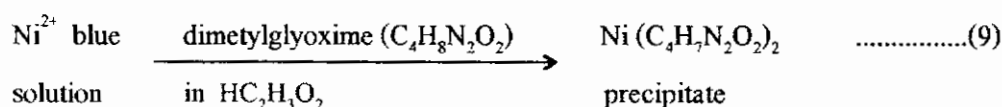
อภิปรายผลการศึกษา

เนื่องจากการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 3 ตอน คือตอนที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ตอนที่ 2 พัฒนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์จากผลการทดลอง และตอนที่ 3 นำบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอน ในการนำเสนอการวิเคราะห์ข้อมูลได้ แบ่งออกเป็น 3 ตอนเช่นกัน ดังนั้นการอภิปรายผลครั้งนี้ ผู้วิจัยทำการอภิปรายผลออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

จากการศึกษาความเหมาะสมของลิแกนด์ในการทำปฏิกิริยากับโลหะทองแดงรวมถึงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานของทองแดงและนิกเกิล ที่เหมาะสมในการนำผลการทดลองมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ และวิเคราะห์ปริมาณทองแดงและนิกเกิลที่เหลือจากการดูดซับโดยวัสดุธรรมชาติ (แกลบ ขี้เลื่อย ฟางข้าว และผักตบชวา) สามารถอภิปรายได้ดังนี้

1. ความเข้มข้นของทองแดงและนิกเกิลจากการทดลอง คือ 1×10^{-2} และ 1×10^{-3} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ตามลำดับ สามารถนำมาพัฒนบทปฏิบัติการที่ 2 เรื่องการตรวจสอบทองแดงและนิกเกิลในน้ำ เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสังเกตได้ชัดเจน และใช้สารเคมีน้อยที่สุดในการทำให้เกิดปฏิกิริยา ซึ่ง สำหรับความเข้มข้นของสารละลายผสมทองแดงและนิกเกิลในอัตรา 1 : 1 คือ ความเข้มข้นในช่วง 1×10^{-3} และ 1×10^{-2} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ซึ่งในการนำมาพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการที่ 2 ได้ใช้ความเข้มข้นของทองแดง คือ 1×10^{-2} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร และความเข้มข้นของนิกเกิล คือ 1×10^{-3} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร เพราะเมื่อนำสารละลายผสมไปทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนีย ได้สารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน จากการพิสูจน์ด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารละลาย ความยาวคลื่นที่วัดได้คือ 603.0 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงเดียวกับสารละลายทองแดง คือ 605.0 นาโนเมตร สาเหตุที่ช่วงความยาวคลื่นคลาดเคลื่อนไปอาจเป็นเพราะสารละลายมีค่า pH แตกต่างกัน และสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินที่เกิดขึ้นมีสารละลายนิกเกิลผสมอยู่ และตะกอนสีแดงที่เกิดขึ้นหลังจากเติมไดเมทิลไกลออกซิมเข้มข้นร้อยละ 1 คือ $\text{Ni}(\text{C}_4\text{H}_7\text{N}_2\text{O}_2)_2$ ซึ่งเป็นไปตามปฏิกิริยา (Vogel, Arthur I. 1996 : 122)



ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นชัดเจนเฉพาะกับ Ni^{2+} ในสารละลายที่เป็นเบสด้วยสารละลายแอมโมเนียเท่านั้น แม้จะมีปริมาณของ Ni^{2+} ในสารละลายเพียงเล็กน้อยก็สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลง แต่สาเหตุที่ใช้สารละลายนี้เกิดเข้มข้น 1×10^{-3} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร เพราะต้องการให้สังเกตปฏิกิริยาได้ทันที เพราะถ้าใช้สารละลายความเข้มข้นน้อยกว่านี้ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะต้องรอเวลาประมาณ 10 นาที จึงจะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลง อีกทั้งมีสารละลายทองแดงเข้มข้น 1×10^{-2} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ผสมอยู่ ฉะนั้นจึงเลือกความเข้มข้นสำหรับสารละลายทองแดงผสมกับสารละลายนิกเกิลในอัตราส่วน 1 : 1 คือ 1×10^{-2} และ 1×10^{-3} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ตามลำดับ มาพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ในบทปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง การตรวจสอบหาทองแดงและนิกเกิลในน้ำ

2. ในการวิเคราะห์ปริมาณทองแดงและนิกเกิลที่เหลือจากการดูดซับโดยวัสดุธรรมชาติพบว่า วัสดุธรรมชาติสามารถดูดซับโลหะทองแดงและนิกเกิลได้ภายในเวลาที่น้อยที่สุดคือ 1 ชั่วโมง สามารถนำมาพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ได้อย่างเหมาะสมกับเวลาที่ใช้ในการเรียนการสอนภายใน 2 คาบเรียน (คาบละ 50 นาที) คือเช้าวัสดุธรรมชาติ 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นดำเนินการทดลองเพื่อตรวจหาปริมาณโลหะทองแดงและนิกเกิล ซึ่งสามารถทำการทดลองได้พอดีในเวลา 2 คาบ จากความเหมาะสมดังกล่าวได้นำมาพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการที่ 5 เรื่อง คุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนักของวัสดุธรรมชาติ สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณทองแดงและนิกเกิลที่เหลือจากการดูดซับโดยวัสดุธรรมชาติ ได้เลือกเปรียบเทียบกับแบบลงค์ เพราะเป็นการแสดงให้เห็นถึง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะจริง ๆ เนื่องจากแบบลงค์คือ สารละลายมาตรฐานที่ผ่านขั้นตอนการทดลองเช่นเดียวกับวัสดุธรรมชาติ คือ ผ่านการกรองด้วยถ่าน ซึ่งปริมาณโลหะหนักบางส่วนจะถูกดูดซับไว้ได้ ซึ่งถ้านำไปเทียบกับสารละลายมาตรฐานที่ไม่ผ่านขั้นตอนเดียวกับวัสดุธรรมชาติ อาจทำให้นักเรียนไม่เข้าใจเกี่ยวกับความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนักได้จริง

ตอนที่ 2 พัฒนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์จากผลการทดลอง

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ประเมินผลบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์โดยผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน ปรากฏว่า บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก และคู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการเรียนการสอนอยู่ในระดับมาก ทั้ง 7 บทปฏิบัติการ ผลการศึกษาด้านการพัฒนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ในข้อ 1 เนื่องมาจากเหตุผลดังต่อไปนี้

ประการแรก การพัฒนาทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก ในบทปฏิบัติการที่ 2, 5, 6 และ 7 ได้พัฒนาทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์จากพื้นฐานการทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งได้คำนึงความเหมาะสมในการทดลองสารเคมี ช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง ให้เหมาะสมกับระดับชั้นที่ใช้ในการเรียนการสอน ซึ่งบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการเรียนการสอนได้ ดังได้กล่าวไว้ในตอนที่ 1 สำหรับในบทปฏิบัติการที่ 1, 3 และ 4 นั้น ผู้วิจัยได้เขียนบทปฏิบัติการขึ้นมาเพื่อประกอบให้บท ปฏิบัติการมีเนื้อหาครอบคลุมความรู้เฉพาะเรื่อง มลพิษทางน้ำที่เกิดจากโรงงานชุมชนโลหะ และความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก ซึ่งได้ทำการเขียนบทปฏิบัติการขึ้นมาประกอบการทดลองเพื่อให้ได้ผลการทดลองตามที่คาดหวัง เมื่อผลการทดลองเป็นไปตามที่คาดหวัง จึงได้นำมาพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการที่ 1, 3 และ 4 ซึ่งส่งผลให้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นมีความสมบูรณ์ในด้านเนื้อหาเฉพาะเรื่องมากยิ่งขึ้น

ประการที่สอง การพัฒนาทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนักนี้ สอดคล้องกับสภาพและปัญหาของสิ่งแวดล้อมทางน้ำที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน นักเรียนได้เรียนเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมทางน้ำ ปัญหามลพิษทางน้ำที่เกิดจากโรงงานชุมชนโลหะ การตรวจสอบหาโลหะหนักที่มีอยู่ในน้ำทิ้ง การบำบัดน้ำทิ้งที่มีโลหะหนัก และการนำวัสดุธรรมชาติที่เหลือทิ้ง หรือไม่มีประโยชน์มาใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งที่มีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ ทำให้นักเรียนมีความรู้ ทางสิ่งแวดล้อมและมีทักษะในการทดลองทางวิทยาศาสตร์ในเชิงเคมีวิเคราะห์มากขึ้น นักเรียนสามารถถ่ายโยงความรู้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้

ประการที่สาม บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก ประกอบด้วย ใบความรู้ ประกอบบทปฏิบัติการ หลักการ จุดประสงค์ อุปกรณ์และสารเคมี วิธีการทดลอง รายงานผลการทดลอง และคำถามท้ายการทดลอง ซึ่งมีองค์ประกอบโดยรวมเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในการเรียนการสอน สำหรับคู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วย จุดประสงค์การเรียนรู้ จุดประสงค์การทดลอง สารเคมีและอุปกรณ์ การเตรียมก่อนล่วงหน้า อภิปรายก่อนการทดลอง ผลการทดลอง อภิปรายหลังการทดลอง ซึ่งได้กำหนดเวลาในการดำเนินกิจกรรมเพื่อให้ครูสามารถใช้เวลาในการสอนกิจกรรมในแต่ละบทปฏิบัติการได้อย่างเหมาะสม รวมทั้งแนวคำตอบคำถามท้ายการทดลองและรูปภาพประกอบผลการทดลองสามารถช่วยให้ครูที่ใช้คู่มือครูมีความเข้าใจได้ดียิ่งขึ้น อีกทั้งบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นเป็นการสอนที่เน้นเทคนิคการทดลองในเชิงเคมีวิเคราะห์ จึง

สามารถจูงใจให้นักเรียนสนใจกิจกรรมการทดลองและเป็นการพัฒนาทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่

จากเหตุผลดังกล่าวมาข้างต้นทั้งหมด จึงทำให้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการเรียนการสอนอยู่ในระดับมาก

ตอนที่ 3 นวัตกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอน

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการนำบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอน เพื่อหาประสิทธิภาพ ปรากฏว่า บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐานที่ตั้งไว้ คือ 80.27/80.11 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ในข้อ 2 เนื่องจากเหตุผลดังนี้

ประการแรก สามารถนำผลการทดลองที่ผู้วิจัยทำการทดลองมาพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนักได้อย่างเหมาะสม ดังได้กล่าวไว้ในตอนที่ 2 ซึ่งส่งผลให้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพตามมาตรฐานที่ตั้งไว้

ประการที่สอง นักเรียนที่ได้รับการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นได้ใช้อุปกรณ์การทดลองอย่างถูกต้องเหมาะสม ทำให้การทดลองนั้นดำเนินไปด้วยดีและรวดเร็ว ที่สำคัญที่สุดก็คือผลการทดลองที่ได้มีความแม่นยำและมีข้อผิดพลาดน้อย (คณะกรรมการพัฒนาการสอนและผลิตอุปกรณ์การสอนวิทยาศาสตร์ ทบวงมหาวิทยาลัย. 2525 : 134) และนอกจากนี้ ยังทำให้นักเรียนเกิดทักษะและมีใจรักวิทยาศาสตร์ ใครที่จะเรียนรู้ให้รู้ยิ่งขึ้นไปอีก (ปรีชา อมาตยกุล. 2528 : 38) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ คล้าก (Klag. 1990 : 1989 - A) ได้ศึกษาผลของการฝึกวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่มีเจตคติและความชำนาญในการทำเครื่องมือวิทยาศาสตร์ไปใช้ประโยชน์พบว่า ครูฝึกสอนที่ได้รับการสอนโดยฝึกใช้อุปกรณ์และ เครื่องมือวิทยาศาสตร์มีความชำนาญ ในการทำเครื่องมือวิทยาศาสตร์ไปใช้ประโยชน์เพิ่มมากขึ้น และมีคุณภาพในการปฏิบัติในห้องเรียนสูงขึ้น

ประการที่สาม นักเรียนที่ได้รับการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นได้ฝึกทักษะการทดลอง ซึ่งทำให้ผู้เรียนได้มีการฝึกคิดและปฏิบัติการทดลอง บันทึกรผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง จากการที่นักเรียนได้ดำเนินการปฏิบัติการทดลองเองทั้งหมดในบทปฏิบัติการทำให้นักเรียนได้รับทั้งเนื้อหาที่เป็นตัวความรู้ และทักษะปฏิบัติการทดลองวิทยาศาสตร์ อันก่อให้เกิดทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ขั้นสูงขึ้นตามมาด้วย ดังที่ คณะกรรมการพัฒนาการเรียนและผลิตอุปกรณ์การสอนวิทยาศาสตร์ ทบวงมหาวิทยาลัย (2525 : 116) กล่าวว่า การทดลองนั้นถือว่า

เป็นหัวใจของการเรียนวิทยาศาสตร์แบบสืบเสาะหาความรู้ เพราะจะเป็นแกนนำไปสู่การฝึกผู้เรียนในแง่ทักษะกระบวนการต่าง ๆ ทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของแม็คเบธ (Macbeth. 1974 : 45 - 51) ที่ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการใช้อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ของนักเรียนอนุบาลกับนักเรียนเกรด 3 พบว่า การสอนโดยให้นักเรียนทำการทดลองด้วยตนเองช่วยพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ในระดับอนุบาลได้ดีกว่านักเรียนที่เรียนอยู่ในระดับเกรด 3 และสอดคล้องกับงานวิจัยของ เกเบิลและรึบบ้า (Gable and Rubba 1977 : 503 - 511) ได้ศึกษา พบว่า นักศึกษาคู ที่ ได้รับการฝึกทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ในห้องปฏิบัติการเพิ่มเติมจะมีคะแนนผลสัมฤทธิ์ในทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สูงกว่านักเรียนคูที่ไม่ได้รับการฝึกเพิ่มเติม

ประการที่สี่ ขณะดำเนินการทดลองด้วยบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยสังเกตเห็นว่า นักเรียนมีความกระตือรือร้นต่อการเรียน ซึ่งอาจจะสืบเนื่องมาจากนักเรียนไม่ค่อยได้มีโอกาสเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ นักเรียนได้ทำการทดลองจริงอย่างเป็นระบบและมีกระบวนการอย่างต่อเนื่อง ซึ่งส่งผลให้เกิดทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ดีขึ้น ส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นเช่นกัน ซึ่งในขั้นตอนของการเรียนโดยใช้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ จะเป็นสิ่งที่ช่วยให้นักเรียนฝึกฝนทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ อันได้แก่ ทักษะการสังเกต ทักษะการคำนวณ ทักษะการลงความคิดเห็นจากข้อมูล และทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป โดยที่นักเรียนได้ทำการฝึกเป็นรายบุคคล ด้วยเหตุนี้ นักเรียนจึงมีโอกาสพัฒนาส่วนของความคิดและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ได้มากขึ้น ทำให้นักเรียนสามารถสืบเสาะหาความรู้ได้ด้วยตนเอง (สมจิต สวธน์ไพบูลย์. 2526 : 66 - 73) จะเห็นได้ว่าการปฏิบัติการทดลองจะทำให้นักเรียนมีทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์สูงขึ้นและทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นเช่นกันซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เคนเนธ (ถนอมศรี คุณธรรม. 2532 : 28 อ้างอิงมาจาก Kennith. 1975) ที่พบว่านักเรียนที่ได้รับการสอนวิทยาศาสตร์ โดยใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ จะมีทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ดีกว่านักเรียนที่ได้รับการสอนแบบธรรมดา ประกอบกับเมื่อนักเรียนมีโอกาสสัมผัสสื่อและอุปกรณ์ในการใช้ค้นหาข้อมูลความรู้ ทำให้นักเรียนมีโอกาสฝึกปฏิบัติมากขึ้น ก็ยังส่งผลให้นักเรียนมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สูงขึ้นด้วย เมื่อนักเรียนได้รับการฝึกปฏิบัติทักษะต่าง ๆ อย่างสม่ำเสมอในทุก ๆ กิจกรรมที่ปฏิบัติก็จะทำให้เกิดความคล่องแคล่ว และชำนาญ สามารถทำสิ่งนั้นได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการเรียนรู้ของ ธีรอนไคด์ เกี่ยวกับกฎแห่งการฝึก (Law of Exercise) ที่กล่าวว่า สิ่งใดก็ตามที่มีการฝึกหัดหรือกระทำบ่อย ๆ ย่อมทำให้ผู้นั้นมีความคล่องและสามารถทำได้ดีกว่าผู้ที่ได้รับการฝึก ซึ่งตรงกับคำกล่าวของ คูชเลน (Kuhlen. 1968 : 389) ที่ว่า วิธีที่ดีที่สุดในการศึกษาเกี่ยวกับสิ่งใดก็คือการฝึกเกี่ยวกับสิ่งนั้น อันสอดคล้องกับงานวิจัยของโคลีเบส (Kolebas. 1972 : 4443-A) ได้ทำการทดลองกับนัก

สำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของวีเบอร์ (Weber, 1972 : 3582) ได้ทำการศึกษาโดยแบ่งนักเรียนออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 30 คน กลุ่มทดลองเรียนโดยใช้หลักสูตร SCIS (Science Curriculum Improvement Study) เพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ อีกกลุ่มหนึ่ง เรียนโดยใช้หลักสูตรเดิม ผลปรากฏว่า กลุ่มทดลองมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพิ่มมากขึ้นกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

จากเหตุผลดังกล่าว ทำให้ คณะแผนกผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ มีค่าสูงและส่งผลให้ประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่ตั้งไว้ 80/80

ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ข้อเสนอแนะทั่วไป

การศึกษาค้นคว้าโดยใช้ บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น พบว่า สภาพการเรียนการสอนในห้องเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ มีดังนี้

1. ในการเรียนการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์พัฒนาขึ้น พบว่า นักเรียนไม่มีพื้นฐานความรู้ด้านวิชาเคมีเกี่ยวกับปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน การเตรียมสารละลาย ตามความเข้มข้นต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ พบว่า นักเรียนขาดความเข้าใจ ผู้สอนแก้ปัญหาด้วยการทบทวนความรู้เดิมในวิชาเคมีในรายวิชาที่นักเรียนเคยเรียนมาแล้ว เกี่ยวกับเรื่องดังกล่าว แล้วจากนั้นจึงให้นักเรียนปฏิบัติการทดลอง จึงสรุปได้ว่า การสอนแบบปฏิบัติการทดลองนั้นควรมีการสอนความรู้พื้นฐานของนักเรียนในเรื่องการเตรียมสารเคมี และการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนก่อน เพราะถ้านักเรียนไม่มีความรู้พื้นฐานเพียงพอ อาจทำให้เกิดปัญหาในการปฏิบัติการทดลองได้

2. ในการเรียนการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่ยังใช้อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ไม่ถูกต้อง และเรียกชื่ออุปกรณ์ได้ไม่ถูกต้อง หรือไม่เคยใช้อุปกรณ์บางชนิดมาก่อนเลย ผู้สอนจึงควรแนะนำอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ทดลองและสาริตการใช้อุปกรณ์ก่อนที่จะให้นักเรียนปฏิบัติการทดลองทุกครั้ง ทั้งนี้เพื่อให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ด้านทักษะปฏิบัติการทดลองที่ถูกต้อง

3. ในการเรียนการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ พบว่า อุปกรณ์บางชนิดที่ผู้วิจัยเขียนไว้ในบทปฏิบัติการไม่มีเลย เช่น หลอดทดลองขนาดใหญ่ จึงทำให้ผู้วิจัยต้องเปลี่ยนอุปกรณ์เป็นหลอดทดลองขนาดกลางแทน ซึ่งทำให้ผู้วิจัยปรับปริมาณของสารละลาย ซึ่งเดิมใช้ 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร เป็น 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ในการเติมลิแกนด์ซึ่งต้องเปลี่ยนแปลงจำนวนสารละลายในการเติม ซึ่งทำให้ผลการทดลองเบี่ยงเบนไปจากปฏิกิริยาผู้วิจัยได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ คือ สีของสารละลายไม่เหมือนเดิม ผู้วิจัยแก้ไขปัญหาด้วยการอธิบายปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเพื่อให้ให้นักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับการตรวจสอบหาทองแดงและนิกเกิล ว่าจากการทดลองที่ถูกต้องจะต้องสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินและตะกอนสีแดงเท่านั้นจึงจะแสดงว่าน้ำที่นำมาตรวจสอบมีโลหะทองแดงและนิกเกิลปนเปื้อนอยู่ และปัญหาอีกประการหนึ่งเกี่ยวกับอุปกรณ์ คือ การที่อุปกรณ์การทดลองบางบทปฏิบัติการ ไม่เพียงพอเนื่องจากกลุ่มทดลองมีจำนวนมากถึง 15 กลุ่ม และอุปกรณ์ที่ใช้ในแต่ละกลุ่มต้องใช้จำนวนมาก ผู้วิจัยแก้ปัญหาโดยใช้อุปกรณ์ทดแทนเครื่องแก้วบางอย่างที่สัมผัสสารละลายไม่นานและไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลาย เช่น ใช้ขวดน้ำโพลาลิสแทนบีกเกอร์ ใช้ปากขวดโพลาลิสแทนกรวยกรองสารละลาย ซึ่งสามารถใช้ในการทดลองได้ผลการทดลองชัดเจนเช่นเดียวกับบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้น แสดงว่า วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ตามที่เสนอไว้ในบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นนี้ อาจใช้วัสดุทดแทนอื่นได้ ฉะนั้นโรงเรียนที่คิดว่าขาดอุปกรณ์ในการทดลองก็สามารถนำวิธีการนี้ไปใช้แก้ปัญหาได้

4. เกี่ยวกับเวลาที่ใช้ในการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ปรากฏว่าบทปฏิบัติการที่ 1, 2, 3, และ 4 นักเรียนปฏิบัติการทดลองได้ภายในเวลาและสามารถล้างอุปกรณ์เสร็จเรียบร้อยในเวลาเรียน 2 คาบ แต่บทปฏิบัติการที่ 5, 6 และ 7 ไม่สามารถดำเนินการล้างอุปกรณ์ภายในเวลาได้ เนื่องจากกิจกรรมในช่วงของการกรองสารเคมีใช้เวลาค่อนข้างมาก และนักเรียนยังไม่คุ้นเคยกับวิธีสอนแบบการทดลอง โดยใช้อุปกรณ์การทดลองจำนวนมาก ทำให้ต้องหาช่วงเวลาย่างมาล้างอุปกรณ์ที่ทำการทดลอง อาจสามารถแก้ไขปัญหาเรื่องนี้ได้ โดยการเพิ่มจำนวนคาบในการทดลอง เฉพาะบทปฏิบัติการที่ 5, 6 และ 7 เป็น 3 คาบ

5. ในการทดลองเกี่ยวกับการหาปริมาณนิกเกิลในบทปฏิบัติการที่ 7 สารละลายที่เป็นรีเอเจนต์ที่ใช้เดิมสารละลายนิกเกิล จะมีกลิ่นที่ค่อนข้างแรงมาก ควรแนะนำให้นักเรียนหาผ้ามาปิดจมูกโดยเน้นย้ำให้ชัดเจน

6. ผู้วิจัยเป็นผู้นำบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอน สังเกตพบว่านักเรียนมีความสนใจ และกระตือรือร้นในการทำกิจกรรมการทดลองมา ซึ่งอาจจะสืบเนื่องมาจากนักเรียนได้มีโอกาสทำการทดลองจริง เมื่อได้ทำการทดลองจึงมีการกระตือรือร้นที่จะค้นคว้าหาคำตอบ แม้ว่าบทปฏิบัติการที่ 5, 6 และ 7 เป็นบทปฏิบัติการที่ต้องใช้อุปกรณ์มากจะต้องใช้

ความละเอียด รอบอบในการทดลอง ต้องมีการวางแผนให้เหมาะสมกับเวลาที่ทำการศึกษาทดลอง นักเรียนก็สามารถทำการทดลองได้ถูกต้อง และสามารถสรุปผลการทดลองได้ถูกต้อง แสดงว่า บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนา สามารถสอนนักเรียนให้ทำการทดลองและเขียนรายงานได้ แต่ก็มีปรากฏว่ามีนักเรียนบางคนที่ยังไม่สามารถทำการทดลองได้ไม่ถูกต้องทุกข้อ เนื่องจากคำถามที่ยากของบทปฏิบัติการยาวเกินไป ทำให้นักเรียนสับสนได้ ฉะนั้นในการอภิปรายหลังการทดลองครูควรอภิปรายอย่างละเอียดและมีการซักถามเพื่อนำนักเรียนให้ร่วมอภิปรายและตอบคำถามในแนวทางเดียวกัน ซึ่งส่งผลทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจและสรุปความรู้ที่เรียนได้ดีขึ้น

2. ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัย

2.1 การศึกษาค้นคว้าในห้องปฏิบัติการและการพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ พบว่าในการทำการทดลองสามารถนำแนวทางการทดลองไปประยุกต์ใช้ และศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมได้ ดังนี้

2.1.1 วัสดุธรรมชาติที่ใช้ อาจใช้วัสดุธรรมชาติชนิดอื่น ซึ่งหาได้ง่ายในห้องถ้ำ โดยหลักการในการพิจารณาเลือกใช้ที่สำคัญคือ มีโครงสร้างที่รูพรุนและช่องว่างมาก เช่น ดินถก ดินบอน ปอ ฯลฯ ซึ่งในการนำมาทดลองควรเป็นวัสดุที่ไม่เคยผ่านการใช้งานมาก่อน

2.1.2 โลหะหนักที่ต้องการให้วัสดุธรรมชาติดูดซับ อาจเป็นโลหะหนักชนิดอื่นได้ เช่น แคดเมียม, เหล็ก, แมงกานีส, อะลูมิเนียม ฯลฯ แต่ต้องศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม เพื่อเลือกหาลิแกนด์ หรือสารเคมีที่ใช้ในการทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะหนักชนิดนั้นให้เหมาะสม ตามขั้นตอนและวิธีที่ได้เสนอไว้ในงานวิจัยครั้งนี้

2.1.3 ช่วงความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายที่เสนอในบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นนี้ เป็นช่วงที่เหมาะสมกับชนิดของวัสดุธรรมชาติและโลหะหนักที่ระบุไว้ ดังนั้น ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงชนิดของวัสดุธรรมชาติ หรือโลหะหนัก รวมทั้งรายละเอียดในการเตรียมในขั้นตอนการทดลอง จำเป็นต้องมีการทำการทดลองหาช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสมใหม่ ร่วมกับการสร้างกราฟมาตรฐานในการทดลองใหม่ ตามขั้นตอนและวิธีการที่ได้เสนอไว้เช่นกัน

2.1.4 การเพิ่มความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการกำจัดโลหะหนัก สามารถกระทำได้โดยการทำให้วัสดุธรรมชาติมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนได้ กล่าวคือ การใช้วัสดุธรรมชาติในการกำจัดโลหะหนักในน้ำของการวิจัยครั้งนี้ เป็นการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีกายภาพ-เคมีแบบหนึ่ง โดยอาศัยหลักการในการดูดซับ หรือการดูดซับผิวเป็นสำคัญ แต่ยังมี การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีกายภาพ-เคมีแบบอื่น ๆ อีก เช่น การแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange) ซึ่งมักใช้เรซินสังเคราะห์เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนไอออน อย่างไรก็ตามในปัจจุบันได้มีการวิจัย

พบว่า สามารถใช้วัสดุธรรมชาติเป็นตัวกลางได้ โดยนำเอาวัสดุธรรมชาติมาปรับสภาพหรือเพิ่มหมู่ไอออนที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนโลหะหนักได้ โดยการประสานพันธะของเซลลูโลสด้วยสารเคมี เช่น di-(2-ethylamine)sulfate, 1,4-butane sulfate, 1, 3-dichloro-2-propanal, divinylsulfone และ formaldehyde เป็นต้น ซึ่งผู้ที่สนใจสามารถทำการศึกษาค้นคว้าและทำวิจัยเพิ่มเติมได้ จากเอกสารที่เกี่ยวข้องต่อไป

2.1.5 บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นนี้อาจนำไปพัฒนาเป็นโครงการวิทยาศาสตร์ เรื่องอื่น ๆ ได้โดยการปรับเปลี่ยนปัจจัยหรือสถานการณ์ที่เกี่ยวข้อง เช่น ชนิดของวัสดุธรรมชาติ ชนิดของโลหะหนัก และความสามารถในการกำจัดโลหะหนักของวัสดุธรรมชาติ ซึ่งจะเป็นโครงการวิทยาศาสตร์ที่เน้นทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ได้เป็นอย่างดี ทำให้นักเรียนได้รับความรู้เชิงทฤษฎี จากการได้ปฏิบัติจริงตรงตามจุดประสงค์ด้วยความรู้สึที่น่าสนใจและรู้สึกสนุก ซึ่งจะเป็นแรงผลักดันให้นักเรียนอยากรู้อยากเห็น และอยากค้นคว้าเพิ่มเติม

ทั้งนี้อาจคัดเลือกหรือตัดตอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นเฉพาะบางบทที่น่าสนใจไปใช้ให้เหมาะสมกับความต้องการได้

2.2 สามารถนำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปใช้และศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม ได้ดังนี้

2.2.1 ในกรณีที่สามารถปฏิบัติได้ ผู้ที่เกี่ยวข้องควรพิจารณาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก ที่พัฒนาขึ้นไปใช้สำหรับการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ถึงแควดล้อม(ว 411) ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีบทเรียนที่เป็นปฏิบัติการทดลองทางเคมีวิเคราะห์ และสามารถนำไปสอนในรายวิชาเทคนิคปฏิบัติการพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ (ว 061) ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งในปัจจุบันนี้มีเฉพาะคำอธิบายรายวิชา

2.2.2 ควรนำบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก หรือกิจกรรมการทดลองไปใช้สำหรับการเรียนการสอนในชั่วโมงกิจกรรมอิสระ ชุมนุมวิทยาศาสตร์ หรือเป็นแนวทางในการสอนโครงการวิทยาศาสตร์หรือวิชาที่เกี่ยวข้อง

2.2.3 ควรนำบทปฏิบัติการดังกล่าวในส่วนที่มีความเหมาะสมไปใช้เป็นกิจกรรมสำหรับโครงการพัฒนา และส่งเสริมนักเรียนผู้มีความสามารถพิเศษ ในลักษณะที่คล้ายคลึงกัน

2.2.4 ควรศึกษาในทำนองเดียวกันนี้ให้มากยิ่งขึ้น เพื่อได้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ในการสอนที่เหมาะสมสำหรับนักเรียนให้มากยิ่งขึ้น เพราะการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เป็นการสอนวิทยาศาสตร์ด้วยวิธีแบบสืบเสาะโดยจัดกิจกรรมการทดลอง ช่วยให้นักเรียนมีโอกาสฝึกทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ และได้ฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ด้วย

สอดคล้องกับปรัชญาของวิทยาศาสตร์ ที่ว่า วิทยาศาสตร์จะต้องประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นความรู้และส่วนที่เป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์ ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ ควรจะส่งเสริมการสอนวิธีนี้ให้แพร่หลายมากขึ้น เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการฝึกฝนทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ของนักเรียน

2.2.5 ควรทำการวิจัยในทำนองเดียวกันนี้ โดยใช้รูปแบบการเรียนรู้หลาย ๆ รูปแบบ เช่น การเรียนรู้แบบร่วมมือ การเรียนรู้แบบเดี่ยว การเรียนรู้แบบคอนสตรัคติวิซึม

2.2.6 ควรนำเนื้อหาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม ๆ มาสร้างเป็นบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ให้มากยิ่งขึ้น เพื่อให้ นักเรียนมีบทเรียนทางสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวกับการปฏิบัติการทดลองมากขึ้น

2.2.7 ควรมีการศึกษผลของการใช้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นเกี่ยวกับการเกิดทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ที่เกิดขึ้นหลังการเรียนโดยใช้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น

2.2.8 ก่อนนำบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นไปใช้ ควรจัดอบรมปฏิบัติการให้ครูผู้สอนได้มีโอกาสเตรียมตัวก่อนทดลองใช้บทปฏิบัติการทั้งนี้เพื่อให้การเรียนการสอนมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กิ่งฟ้า สันธวัช. หลักสูตรและการสอนวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษา. ขอนแก่น :
คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2521.
- กิตติ เอกอำพน. “ความเป็นพิษของโลหะหนัก (I),” จุลสารสภาวะแวดล้อม. 4 (4) : 10-16 ;
ตุลาคม 2528.
- _____. “ความเป็นพิษของโลหะหนัก (II),” จุลสารสภาวะแวดล้อม. 4 (5) : 24 - 31 ; ตุลาคม
2528.
- เกศสุชา พูลคำ. การกำจัดโลหะหนักโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากขานอ้อยและ
ผักตบชวา. วิทยานิพนธ์. วศ.ม. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537. อัดสำเนา.
- เกษม จันทรแก้ว. วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ : โครงการบัณฑิตศึกษา สาขา
วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2530.
- เกษม จันทรแก้ว และประพันธ์ โกยสมบูรณ์. หลักการสิ่งแวดล้อมศึกษา. ใน เอกสารประกอบ
การสอนวิชาอนุรักษ์วิทยา 584. (ครูศาสตร์การอนุรักษ์). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์, 2525.
- โกวิท ประวาลพุกษ์. เอกสารประกอบการบรรยายเรื่อง “แนวในการออกข้อสอบ”
ณ หอประชุมกรมสามัญศึกษา. 3 กุมภาพันธ์ 2529.
- ข้าวทิพย์ เจริญกิจ. การนำผักตบชวา (Eichhornia crassipes) มาใช้ในการลดปริมาณโลหะหนัก
ในน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์. วท.ม. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัย
เชียงใหม่, 2531. อัดสำเนา.
- เจริญ บุญญวัฒน์. “การทำและการใช้อุปกรณ์การสอนวิทยาศาสตร์เบื้องต้น,” ใน เอกสารการ
อบรมสัมมนาผู้สอนวิทยาศาสตร์ในโรงเรียนสาธิต. กรุงเทพฯ : กรมการฝึกหัดครู
กระทรวงศึกษาธิการ, 2511.
- จุฬามาศ เกตุทัต. “โลหะหนักในอากาศของกรุงเทพมหานครและสมุทรปราการ,” ใน รายงาน
วิชาการเรื่องปัญหาโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมในประเทศไทยครั้งที่ 12 วันที่ 19 - 21
สิงหาคม 2530. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
2530.
- จำนง พรายเข้มแข. เทคนิคและวิธีสอนวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ : สหบัณฑิต, 2514.
- ฉวีพันธ์ ทรวงเกียรติกุล. การกำจัดตะกั่วและนิกเกิลจากน้ำเสียโดยพืชใล่. วิทยานิพนธ์. วท.ม.
กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยมหิดล, 2539. อัดสำเนา.

โถมพิศ ช่อศักดิ์. เอกสารประกอบการสอนวิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (สرف. 1301).

กรุงเทพฯ : พัทธอักษร, ม.ป.ป.

ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. “การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม/เขตอุตสาหกรรม,”

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 11 (1) : 61-72 ; มกราคม-เมษายน 2539.

_____. “เทคโนโลยีการแยกโลหะหนักจากน้ำทิ้งโรงงานชุบด้วยไฟฟ้า,” วิทยาศาสตร์และ

เทคโนโลยี. 11 (3) : 41-46 ; กันยายน-ธันวาคม 2539.

ชัยวัฒน์ เจนวาณิชชัย. สารานุกรมธาตุ. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2525.

เต็มดวง รัตนทัศนีย์. “ยุทธวิธีทางสิ่งแวดล้อมศึกษา,” ใน มนุษย์ สิ่งแวดล้อม และสิ่งแวดล้อม

ศึกษา. กรุงเทพฯ : โครงการต่อเนื่องมหาวิทยาลัยมหิดล , 2534.

ทบวงมหาวิทยาลัย, ทบวง. เคมี เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : อักษรเจริญทัศน์, ม.ป.ป.

ทวี หอมขง. มนุษย์กับสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ : ธีรพงษ์การพิมพ์, 2538.

นันทนา ลิทธิพรโกวิท. การกำจัดโลหะของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดซัลไฟเอทิลและ

โครอสต์คิง-แซนแททที่ทำจากผักคตบขัว. วิทยานิพนธ์. วศ.ม. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์

มหาวิทยาลัย, 2538. อัดสำเนา.

น้อมฤดี จงพยุหะ, สมใจ ฤทธิสนธิ์ และพยอม ดันมณี. วิธีสอนวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ :

มิตรสยาม, 2535.

ประกาย จิโรจน์กุล. คู่มือการเรียนรู้ด้วยตนเองสำหรับบุคลากรทางสุขภาพ เรื่อง ปัญหาสิ่งแวดล้อม

ที่มีต่อสุขภาพ. กรุงเทพฯ : โครงการสวัสดิการวิชาการสถาบันพัฒนากำลังคนด้าน

สาธารณสุข, 2538.

ประเสริฐ ศรีไพโรจน์. คุณภาพวิเคราะห์แบบเคมีไมโคร. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์,

2535.

ประวิตร ชูศิลป์. “หลักการประเมินผลวิทยาศาสตร์แผนใหม่,” ใน เอกสารนิเทศการศึกษา

ฉบับที่ 233 : หน่วยศึกษานิเทศก์. กรุงเทพฯ : กรมการฝึกหัดครู, 2524.

ปราณี พันธุมสินชัย. มลพิษอุตสาหกรรมเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : เรือนแก้วการพิมพ์, 2538.

ปริญญ์ นุตาลัย. เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและ

สิ่งแวดล้อมของประเทศไทย ครั้งที่ 3 วันที่ 31 ตุลาคม - 1 พฤศจิกายน 2535.

กรุงเทพฯ : คณะกรรมการจัดการสัมมนา, 2535.

ปรีชา อมาตยกุล. มิติใหม่ในการสอนวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ : สุวีริยาสาส์น, 2528.

พิมล เรียนวัฒนา. สเปกโตรสโคปีขั้นพื้นฐานกับการประยุกต์ทางเคมี. กรุงเทพฯ :

อักษรเจริญทัศน์, 2524.

- พิมล เรียนวัฒนา. และ ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. เคมีสภาวะแวดล้อม. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ โอเคียนสโตร์, 2539.
- เพชรพร เชาวกิจเจริญ. รายงานผลการวิจัยการกำจัดโลหะหนักโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนที่ทำจาก วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
- มันติน คันจุลเทศม์. วิศวกรรมการประปาเล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2539.
- มังกร ทองสุขจี. “ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์,” วารสารวิทยาศาสตร์. 36 : 572 ; สิงหาคม 2525.
- มหาวิทยาลัย, ทบวง คณะกรรมการพัฒนาการสอนและผลิตวัสดุอุปกรณ์การสอนวิทยาศาสตร์. ชุดการเรียนการสอนสำหรับครูวิทยาศาสตร์ เล่ม 1. กรุงเทพฯ : ทบวงมหาวิทยาลัย , 2529. อัดสำเนา.
- มานิช วาตะพุกกณา. สัมฤทธิ์ผลด้านทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ และพฤติกรรมด้านทักษะ ปฏิบัติการของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 (ม.2) โรงเรียนบุญวัฒนานครราชสีมา. วิทยานิพนธ์. กศ.ม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , 2523. อัดสำเนา.
- แมน อมรสิทธิ์. และอมร เพชรสม. Principles and Techniques of Instrumental Analysis. กรุงเทพฯ : ชวนพิมพ์, 2534.
- ยุพา คันติเจริญ. “คำแถลง,” ใน เทคนิคบางประการในการปฏิบัติการเคมีระดับมัธยมศึกษา ตอนปลาย. กรุงเทพฯ : ศุรสภา, 2529.
- รัชนี สุภาพ. “เกร็ดความรู้,” ข่าวสารวัตถุมิพิษ. 14(2) : 39-45 ; มีนาคม - เมษายน 2530.
- วนา ชลประเวศ. การเปรียบเทียบวิธีสอนแบบใช้เกณฑ์กับวิธีสอนแบบปฏิบัติการทดลองที่มีต่อ ผลสัมฤทธิ์ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1. ปริญญาโท. กศ.ม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, 2526. อัดสำเนา.
- วินัย สมบูรณ์. “การใช้วัสดุธรรมชาติในการบำบัดโลหะในน้ำ : ตอนที่ 1 ความสามารถและ ประสิทธิภาพในการบำบัด,” วิจัยสภาวะแวดล้อม. 12(1) : 58-73 ; มกราคม-มิถุนายน 2533.
- วินัย วีระพัฒนานนท์. สิ่งแวดล้อมศึกษา. กรุงเทพฯ : ส่องสยาม จำกัด, 2539.

- วีรพงษ์ อาศิรพงษ์พร. การกำจัดฟลูออไรด์ออกจากน้ำดื่มโดยวิธีการกรองผ่านเปลือกปูม้าและเปลือกหอยลาย. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ :
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. 2531. อัดสำเนา.
- ศุภชัย ไข่เทียมวงศ์. ปฏิบัติการเคมีปริมาณวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 5 กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบัน. เอกสารสำหรับครู : เทคนิคบางประการ
ในปฏิบัติการเคมีระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภา, 2529.
- ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบัน. “การศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ในวิชา
วิทยาศาสตร์ โดยใช้แบบทดสอบ IEA ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่เรียนตาม
หลักสูตร สสวท. และนักเรียนที่เรียนตามหลักสูตร พ.ศ. 2503,” ใน รายงานการวิจัย
ฉบับที่ 10. ม.ป.ป., 2519.
- _____. สถาบัน. “กิจกรรมวิทยาศาสตร์แวดล้อม,” ใน เอกสารประกอบการประชุมปฏิบัติการ
หลักสูตรและกิจกรรมการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมระดับมัธยมศึกษา
ตอนปลายเมษายน - พฤษภาคม 2540. ม.ป.ป. ม.ป.ท, อัดสำเนา.
- สนอง ทองปาน. การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเอง :
กรณีศึกษาเพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ให้สัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมศึกษา.
ปริญญาานิพนธ์. กศ.ค. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร,
2540. อัดสำเนา.
- สมจิต สวธนไพบูลย์. การพัฒนาการสอนของครูวิทยาศาสตร์. ภาควิชาหลักสูตรและการสอน
คณะศึกษาศาสตร์. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร , 2526.
- สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. (2530). ความรู้เรื่องสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ :
สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ.
- สุรณี โรจน์อารยนนท์. สภาวะแวดล้อมของเราตอนมลพิษสภาวะแวดล้อม. กรุงเทพฯ :
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.
- สุวัฒน์ นิยมคำ. การสอนวิทยาศาสตร์แบบพัฒนาความคิด. กรุงเทพฯ : วัฒนาพานิช, 2517.
- สุโขทัยธรรมาราช, มหาวิทยาลัย. ประมวลสาระชุดวิชาเคมีอินทรีย์ขั้นสูงสำหรับครู. กรุงเทพฯ :
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาราช. 2538.
- โสภภาพรณ จิรนิติชัย. ปริมาณตะกั่ว ทองแดง แคดเมียม ตั้งกะสีน้ำและดินตะกอนจากชั้น
คุณภาพลุ่มน้ำต่าง ๆ ของลุ่มน้ำแม่กลอง. วิทยานิพนธ์. วท.ม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์, 2534. อัดสำเนา.

อดิศักดิ์ ฤาชา. การศึกษาผลการจัดกลุ่มนักเรียนทำปฏิบัติการแยกกลุ่มอิสระ กลุ่มคณะและกลุ่มเหมือนที่มีต่อการเรียนรู้ ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เจดคติเชิงวิทยาศาสตร์ และ ความสนใจทางด้านวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ปีการศึกษา 2529. กศ.ม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร , 2530.

อัคร์ดำเนินา.

อนันต์ ทองมอญ. “การชูปทอแดง,” วารสารอุตสาหกรรม. 33(10): 55 - 59 ; ค.ศ. 2533.

_____. ชูปทอด้วยไฟฟ้า. กรุงเทพฯ : เรือนแก้วการพิมพ์, 2526.

อุบลพงษ์ วัฒนเสรี. ทักษะการใช้อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนสาริดจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยฝ่ายมัธยม. วิทยานิพนธ์. กศ.ม. กรุงเทพฯ :

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2518. อัคร์ดำเนินา.

อุแก้ว ประกอบไวทยกิจ ปีเวอร์. มนุษย์ - ระบบนิเวศและสภาพนิเวศในประเทศไทย.

พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิชจำกัด, 2535.

เฮเลน อารมย์ดี. “การชูปทอด้วยไฟฟ้า,” โรงงาน. 12(1) : 39 - 58 ; ตุลาคม 2535 - มกราคม 2536.

Al-Ruwashid, Mohammed Suliman. “The Effect of a Lecture Only and Lecture-Laboratory Approach on Riyadh Junior College, Saudi Arabia Chemistry Students’ Achievement and Attitudes,” Dissertation Abstracts Internaional. 39 : 5428-A ; Mach, 1979.

American Society for Testing and Materials. Annual book of ASTM Standard Water and Environment Technology section 11 volume 11.01. Washington D.C. : American Public Heath Association, 1995.

APHA AWWA & WPCE. Standard methods for the examination of water and wastewater 19th ed. Washington D.C. : American Public Heath Association, 1995.

Anderson, O Roger. The Experience of Science : A New perspective for Laboratory Teaching. New York : Teacher College Press Columbia University, 1976.

Beasley, warren Frederick. “The Effect of Physical and Mental Practice of Psychomotor Skills on Chemistry Student Laboratory Performance,” Dissertation Abstracts International. 39 : 5428-A ; March, 1979.

Bowman, Mary Lynne Cox. “Assessing College Student Attitudes Toward Environmental Issues,” Journal of Environmental Education. Winter, 1974

- Bloom, Benjamin S. Taxonomy of Education objective Hand Book I. New York : David Mckay Company, Inc., 1956.
- Council on Environment Quality. Environmental Quality. The first Annual Report of The Council on Environment Quality, Washington D.C. : August, 1970.
- Doran, Rodney L. "Assessing Manipulative Skills in Practical Chemistry," Science Education. 62 : 401-409 ; July - September, 1978.
- Dorfner K. Ion exchange properties and application. 3th ed. Michigan : Am Arbor Science Publisher Inc, 1977.
- Eglen, J.R., and Kempa, R.F. "Assessing Manipulative Skills in Practical Chemistry," School Science Review. (56) : 261-273 ; 1974.
- Emmer, Edmund T. Improving Teaching Through Experimentation : a Laboratory Approach. New Jersey : Engle Wood Cliff Prentice - Hall Inc., 1970.
- Fahn A. Plant Anatomy. 4th ed. Great Britain : BPC Wheaton Ltd., Exeter, 1990.
- Gable, Dorothy L., and Rubba, Peter A. "The Effect of Early Teaching and Training on Physics Achievment, Attitude Towards Science and Science Teaching and Process Skill Proficiency," Science Education. 61 : 503-511 ; Ocotober - December, 1977.
- Ganiel, Uri., and Hoftein, Avi. "Objective and Continuous Assessment of Student Performance in the Physics Laboratory," Science Education. 66 : 581-591 ; July - September, 1982.
- Grosmark, Jay Waldo. "The Relationship Between Achievement and Laboratory Skills to the Number of Experiment Performed by the High School Chemistry Students," Dissertation Abstracts International 34 : 3176 - A ; December, 1973.
- Hammond, B. and R. R. Beliles. Metals in Casarett and Doll's Toxicology : The Basic Science of Poisons. 2d ed., New York : Mc Millan Publishing Co., Inc., 1980.
- Hearle, Robert James. "The Identification and Measurement of High School Chemistry Laboratory Skills," Dissertation Abstracts International. 34 : 7067-A ; May, 1974.
- Hoff, Arthur G. Secondary - School Science Teaching. Philadelphia tht Blaskiston Company Toronto, 1950.

- IUPAC. The Teaching of Chemical International Between Secondary and Tertiary Levels. Ireland, 1979.
- Klag, William Prentiss. "Effect of science materials and equipment instruction on preservice elementary teachers' attitudes, knowledge, and use of science equipment," Dissertation abstracts International. 51(6) : 1989-A ; December, 1990.
- Klainin, S. Activity Based Learning in Chemistry, Unpublished. Ph.D. Thesis, Monash University, 1984.
- Krishan. S.S, Canalla A., and Jervis, R.B. "Waste Water treatment for heavy metal toxin using plant and hair as absorbents," The Science of the Total Environment. 68 : 269 - 273 ; 1988.
- Kolebas, particia. "The Effect on the Intelligence, Reading Mathematics and Interest in Science Level of third Grade Students Who have Participated in Science-A Process Approach Science First Entering School," Dissertation Abstracts International. 32 : 4443-A ; February, 1972.
- Kumer P., Dara SS. "Binding heavy metal ions with polymerized onion skin," Journal of Polymer Science. 19 : 397 - 402 ; 1981.
- Low K.S., Le C.K., Lee K.P. "Sorption of Copper by Dye - treated Oil - pals Fihres," Bioresource Technology. 44 : 109 - 112 ; 1993.
- Lucko, Bernard J. and Other. "Evaluation of Environmental Education Programs of the Elementary and Secondary School Levels" Journal of Environmental Education. 7 - 18 : Summer, 1980.
- Lunetta, Vincent N., Hofstein, Avi and Gidding Geoffrey. "Evaluating Science Laboratory Skills," The Science Teacher. 48 : 22 - 25 ; January 1981.
- Macchi G, Marani D, Tita vanti G. "Uptake of mercury by enhausted coffee grounds," Environmental Technology Lettery. 7 : 431 - 444 ; 1986.
- Meranon E. and Sastre. H. Heavy Metal Removal in Packed Beds usiny Apple Waster," Bioresource Technology. 30 : 39 - 43 ; 1991.

- Ndiokwere, C.L. "The dispersal of arsenic, chromium and copper from a wood treatment factory, and their effect on soil, vegetation and crops," Intern Environment Study. 24 : 231 - 234 ; 1985.
- Okebukola, Peter Akiinsola. "Science Laboratory Behavior Strategies of Students Relate to Performance and Attitude to Laboratory Work," Journal of Research in Science Teaching. 22 : 221-231 ; March, 1985.
- Owens, J. Harold. "The Ability to Recognize and Apply Scientific Principle in New Situation in High School Biology and Chemistry," Science Education. 35 : 207-213 : October, 1975.
- Perez, Linda, "Laboratory Teaching in High School Science," The Science Teacher. 49 : 20 - 21 ; February, 1982.
- Randall. JM, Hautata E, Waiss AC. Jr, Tschermitz JL. "Modified bark as scavengers for heavy metal ion," Forest Product. 26(8) : 46 - 50 ; 1976.
- RECSAM. Regional Workshop on Environmental Education. commened by Seameo - Regional Centre for Education in Science and Mathematic 2 - 13 August 1976 Penang, Malaysia, 1976.
- Richardson, John S. Science Teaching in Secondary School. New Jersey : Prentics - Hall Inc., 1957.
- Schmieder, Allens A. "The Nature and Philosophy of Environmental Education : Goals and Objective," Trench in Environmental Educations. Paris : Unesco, 1977.
- Shulman, Lee S., and Tamir, P. quoted in Hofstein & Lunetta. "The Role of the Laboratory in Science Teaching : Neglected Aspects of Research," Review of Education Research. 52 : 203 ; Summer, 1982.
- Spears, Jacqueline and Zollman, Dean. "The Influence of Structure Versus Unstructured Laboratory on Students' Understanding The Process of Science," Journal of Research in Science Teaching. 14 : 34 - 35 ; January, 1977.
- Sund, Robert B. and Leslie, W Trowbridge. Teaching Science by Inquiry in the Secondary School. Ohio : Columbus, Ohio Charles E. Merrel Publishing Co., 1967.

- Swan James. "The Challenge of Environmental Education," Phi Delta Kappan. : 26 - 28 ; September, 1969.
- Tan. W.T., Ooi S.T., and Lee C.K. "Removal of chromium (VI) from solution by coconut husk and palm fibers," Environmental Technology. 14 : 277 - 282 ; 1993.
- Tee WT, Khan PM. "Removal of lead, cadmium and Zinc by waste Tea leaves," Environmental Technology Letters. 9 : 1223 - 1232. 1988.
- UNESCO - UNEP. "Regional Plans Projects and Meetings," ENVIRONMENTAL EDUCATION NEWSLETTER. 1(5) : 1-5 ; April, 1976.
- _____. "The Belgrade Charter," ENVIRONMENTAL EDUCATION NEWSLETTER. 1(5) : 1-5 ; January, 1976.
- UNESCO - UNEP. "The Intergovernmental Conference on Environment Education," ENVIRONMENTAL EDUCATION NEWSLETTER. 11 (2) : 5-10 ; July, 1977.
- Vogel, Arthur I. Vogel's Qualitative Inorganic Analysis 1987. 6th ed. Singapore : Longman Singapore Publishers (Pte) Ltd, 1987.
- Vogel, Arthur I. Vogel's Qualitative Inorganic Analysis 1996. 7th ed. Singapore : Longman Singapore Publishers (Pte) Ltd, 1996.
- Weber, Marvin. C. "The Influence of Science Curriculum Improvement Study on the Hearer's Operational Utilization of Science Processer," Dissertation abstracts International. 32 : 3582-A ; 1972
- Willard, Hobart. H. Instrumental Methods of Analysis. 4th ed. Princeton : Van Nostrand, 1965.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

- รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ
- สำเนาหนังสือขอความอนุเคราะห์เพื่อความสะดวกในการทำปริญญานิพนธ์

รายนามผู้เชี่ยวชาญ

รายนามผู้เชี่ยวชาญในการแนะนำ ตรวจสอบ และแก้ไขเครื่องมือเพื่อทำปริญญานิพนธ์

1. รศ.ดร.ประเสริฐ ศรีโพธิ์โรจน์
ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
2. อาจารย์สุภาภรณ์ ศิริโสภณา
ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
3. ดร.เปรมจิตร บุญสาย
สำนักงานสามัญศึกษา จังหวัดปราจีนบุรี
4. อาจารย์คันหยง อิ่มมาก
โรงเรียนโคกกระทิงวิทยาลัย จังหวัดลพบุรี
5. อาจารย์รัตนา ชิดชอบ
โรงเรียนสิรินธร จังหวัดสุรินทร์



บันทึกข้อความ

141

ส่วนราชการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โทร. 5644

ที่ ทม 1007/ 161 วันที่ 16 เมษายน 2541

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์
เรื่อง

เรียน คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

เนื่องจาก นางสาวอรอุมา ละมุล นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกวิทยาศาสตร์ศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาทบปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก ที่ใช้สอนในวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6" ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความควบคุมดูแลของ

รองศาสตราจารย์พรพิมล ม่วงไทย ประธาน

รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ เจริญพิทย์ กรรมการ

มีความประสงค์จะขอเชิญ รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ศรีไพโรจน์ ภาควิชาเคมี และ
อาจารย์สุภาภรณ์ ศิริโรจนภา ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือการวิจัย

บัณฑิตวิทยาลัยจึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ในเรื่องนี้ด้วย และขอขอบคุณในความช่วยเหลือ
อนุเคราะห์ที่ท่านจะให้แก่บัณฑิตผู้นี้

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ที่ ทม 1007/ 1619



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

10 เมษายน 2541

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์

เรียน ผู้อำนวยการสำนักงานศึกษาจังหวัดปราจีนบุรี

เนื่องจาก นางสาวอรุมา ละมุล นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกวิทยาศาสตร์ศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาทบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก ที่ใช้สอนในวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6" ทั้งนี้อยู่ในความควบคุมดูแลของ

รองศาสตราจารย์พรพิมล ม่วงไทย

ประธาน

รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ เจริญพิทย์

กรรมการ

มีความประสงค์จะขอเชิญ ดร.เปรมจิตร บุญสาย เจ้าหน้าที่ฝ่ายวิชาการ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ
เครื่องมือการวิจัย

บัณฑิตวิทยาลัยจึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ในเรื่องนี้ด้วย และขอขอบคุณในความช่วยเหลือ
อนุเคราะห์ที่ท่านจะให้แก่นิสิตผู้นี้

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร. เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 2584119



ที่ ทม 1007/ 1๕1๗

บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

10 เมษายน 2541

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์

เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียนโลกกะเทียมวิทยาลัย

เนื่องจาก นางสาวอรุมา ละมุล นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกวิทยาศาสตร์ศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนามาตรปฏิบัติการศึกษา
เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก ที่ใช้สอนในวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6" ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความควบคุมดูแลของ

รองศาสตราจารย์พรพิมล ม่วงไทย ประธาน

รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ เจริญพิทย กรรมการ

มีความประสงค์จะขอเชิญ อาจารย์ต้นหยง อิ่มมาก เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องมือการวิจัย

บัณฑิตวิทยาลัยจึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ท่านในเรื่องนี้ด้วย และขอขอบคุณในความช่วยเหลือ
อนุเคราะห์ที่ท่านจะให้แก่บัณฑิตผู้นี้

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 2584119

ที่ ทม 1007/ 1415



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

10 เมษายน 2541

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์

เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียนสิรินธร

เนื่องจาก นางสาวอรุมา ละมุล นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกวิทยาศาสตร์ศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนานทปฏิบัติการศึกษา
เรื่อง ความสามารถของวัฒนธรรมชาติในการดูซับโลหะหนัก ที่ใช้สอนในวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6" ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความควบคุมดูแลของ

รองศาสตราจารย์พรพิมล ม่วงไทย

ประธาน

รองศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรพงษ์ เจริญพิทย

กรรมการ

มีความประสงค์จะขอเชิญ อาจารย์รัตนา ชิดชอบ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องมือการวิจัย

บัณฑิตวิทยาลัยจึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ในเรื่องนี้ด้วย และขอขอบคุณในความช่วยเหลือ
อนุเคราะห์ที่ท่านจะให้แก่นิสิตผู้นี้

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร. เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 2584119



ที่ ทม 1007/ 1846

บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

10 พฤษภาคม 2541

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์

เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียนทุนที่รุดรารามวิทยาคม

เนื่องจาก นางสาวอรอุมา ละมุล นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกวิทยาศาสตร์ศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนานทปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์เรื่อง
ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนักที่ใช้สอนในวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมสำหรับ
นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6" ทั้งนี้อยู่ในความควบคุมดูแลของ

รองศาสตราจารย์พรพิมล ม่วงไทย

ประธาน

รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ เจริญพิทย์

กรรมการ

มีความประสงค์จะขอให้นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 6 ทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และ
แบบวัดทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ ในระหว่างภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2541 เพื่อเป็นข้อมูล
ในการทำวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัยจึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ในเรื่องนี้ด้วย และขอขอบคุณในความช่วยเหลือ
อนุเคราะห์ที่ท่านจะให้แก่นิสิตผู้นี้

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 2584119



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

13 พฤษภาคม 2541

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์

เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียนโศกนาฏิกะเพียมวิทยาลัย

เนื่องจาก นางสาวอรอุมา ละมูล นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกวิทยาศาสตร์ศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนักที่ใช้สอนในวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6" ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความควบคุมดูแลของ

รองศาสตราจารย์พรพิมล ม่วงไทย

ประธาน

รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ เจริญพิทย์

กรรมการ

มีความประสงค์จะขอทดลองสอนวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

จำนวน 30 คน ในระหว่างภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2541 เพื่อเป็นข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัยจึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ในครั้งนี้ด้วย และขอขอบคุณในความช่วยเหลือ
อนุเคราะห์ที่ท่านจะให้แก่นิสิตผู้นี้

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร. เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 2584119

ภาคผนวก ข

- แบบประเมินผลบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

เรียน ท่านผู้เชี่ยวชาญที่เคารพ

เนื่องด้วยข้าพเจ้าได้สร้างบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่องความสามารถของวัสดุธรรมชาติ ในการดูดซับโลหะหนัก สำหรับใช้สอนในวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 6 หน่วยการเรียนรู้ 7 บทปฏิบัติการ ในแต่ละหน่วยการเรียนรู้ประกอบด้วย ใบความรู้ ประกอบบทปฏิบัติการ บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ และคำถามท้ายการทดลอง พร้อมทั้งได้จัดทำ คู่มือครูประกอบการสอน โดยมีความมุ่งหมายให้เหมาะสมกับสภาพสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน และนำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตจริงได้ ดังนั้นเพื่อที่จะได้ข้อมูลมาปรับปรุงบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ให้มี ประสิทธิภาพยิ่งขึ้น จึงขอความกรุณาจากท่านได้ โปรดช่วยประเมินผลบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ที่พัฒนาขึ้น ตามแบบประเมินซึ่งได้แนบมาแต่ละบทปฏิบัติการ พร้อมทั้งข้อเสนอแนะสำหรับการ ปรับปรุงบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ให้สมบูรณ์และเหมาะสมยิ่งขึ้น

ขอแสดงความนับถืออย่างสูง

นางสาวอรอุมา ละมุล

คำชี้แจงเกี่ยวกับการตอบแบบประเมิน

แบบประเมินบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ มี 7 บท แต่ละบทประกอบด้วย 4 ส่วน

- ส่วนที่ 1 เอกสารประกอบบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ (ใบความรู้)
- ส่วนที่ 2 บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
- ส่วนที่ 3 เอกสารรายงานผลการทดลองและคำถามท้ายการทดลอง
- ส่วนที่ 4 คู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

โปรดพิจารณา และให้ความคิดเห็นสำหรับเป็นแนวทางในการแก้ไขปรับปรุง บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทั้ง 7 บท โดยกาเครื่องหมาย / ลงในช่องว่างใต้ตัวเลข 5 4 3 2 และ 1 ตามความหมาย ดังนี้

- 5 หมายถึง เห็นด้วยมากที่สุด
- 4 หมายถึง เห็นด้วยมาก
- 3 หมายถึง เห็นด้วยปานกลาง
- 2 หมายถึง เห็นด้วยน้อย
- 1 หมายถึง เห็นด้วยน้อยที่สุด

แบบประเมินบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น
บทปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น

โปรดวิจารณ์และให้ความคิดเห็น สำหรับเป็นแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงบทปฏิบัติการ
เหล่านี้ โดยกาเครื่องหมาย / ลงในช่องว่างที่ท่านต้องการ

	5	4	3	2	1
1. เอกสารประกอบบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ (ใบความรู้)					
1.1 เนื้อหาสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (จุดประสงค์การเรียนรู้อยู่ในคู่มือครู)					
1.2 เนื้อหามีความต่อเนื่องกัน					
1.3 เนื้อหาสมบูรณ์					
1.4 เนื้อหาเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด (เวลาที่กำหนดอยู่ในคู่มือครู)					
1.5 ความสั้นยาวของเนื้อหาเหมาะสม					
1.6 ตัวอย่างประกอบเนื้อหาชัดเจน					
1.7 การใช้ภาษา					
1.7.1 มีความเหมาะสมกับระดับชั้นของนักเรียน					
1.7.2 ไม่วกวน					
1.7.3 ชวนอ่าน					
ข้อเสนอแนะ					
.....					
.....					
2. บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์					
2.1 หลักการ					
2.1.1 สอดคล้องกับบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์					
2.1.2 เหมาะสมกับระดับของนักเรียน					
ข้อเสนอแนะ					
.....					
.....					

	5	4	3	2	1
2.2 จุดประสงค์					
2.2.1 ใจความชัดเจนเพียงใด					
2.2.2 ประเมินผลได้					
ข้อเสนอแนะ					
.....					
.....					
2.3 วิธีการทดลอง					
2.3.1 เรียงลำดับกิจกรรมเหมาะสม					
2.3.2 เหมาะสมกับเวลาที่ใช้					
2.3.3 มีความยากง่ายพอเหมาะ					
2.3.4 ก่อให้เกิดความคิดรวบยอด					
2.3.5 ส่งเสริมให้นักเรียนมีทักษะปฏิบัติการทดลอง					
2.3.6 ส่งเสริมให้นักเรียนคิดเป็น					
2.3.7 นักเรียนแต่ละคนมีส่วนร่วมในกิจกรรม					
2.3.8 การใช้ภาษาชัดเจน					
ข้อเสนอแนะ					
.....					
.....					
3. เอกสารรายงานผลการทดลองและคำถามท้ายการทดลอง					
3.1 เอกสารรายงานผลการทดลองเหมาะสม					
3.2 คำถามท้ายการทดลอง					
3.2.1 คำถามสอดคล้องกับการทดลอง					
3.2.2 คำถามสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้					
3.2.3 จำนวนข้อในคำถามเหมาะสม					
3.2.4 มีความยาวพอเหมาะ					
3.2.5 ส่งเสริมด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์					
และการนำไปใช้เพียงใด					
ข้อเสนอแนะ					
.....					

	5	4	3	2	1
2.2 จุดประสงค์					
2.2.1 ใจความชัดเจนเพียงใด					
2.2.2 ประเมินผลได้					
ข้อเสนอแนะ					
.....					
.....					
2.3 วิธีการทดลอง					
2.3.1 เรียงลำดับกิจกรรมเหมาะสม					
2.3.2 เหมาะสมกับเวลาที่ใช้					
2.3.3 มีความยากง่ายพอเหมาะ					
2.3.4 ก่อให้เกิดความคิดรวบยอด					
2.3.5 ส่งเสริมให้นักเรียนมีทักษะปฏิบัติการทดลอง					
2.3.6 ส่งเสริมให้นักเรียนคิดเป็น					
2.3.7 นักเรียนแต่ละคนมีส่วนร่วมในกิจกรรม					
2.3.8 การใช้ภาษาชัดเจน					
ข้อเสนอแนะ					
.....					
.....					
3. เอกสารรายงานผลการทดลองและคำถามท้ายการทดลอง					
3.1 เอกสารรายงานผลการทดลองเหมาะสม					
3.2 คำถามท้ายการทดลอง					
3.2.1 คำถามสอดคล้องกับการทดลอง					
3.2.2 คำถามสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้					
3.2.3 จำนวนข้อในคำถามเหมาะสม					
3.2.4 มีความยาวพอเหมาะ					
3.2.5 ส่งเสริมด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์					
และการนำไปใช้เพียงใด					
ข้อเสนอแนะ					
.....					

แบบประเมินบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

หน่วยการเรียนรู้ที่ 3 เรื่อง โลหะหนักและพิษของโลหะทองแดงและนิกเกิลที่มีอยู่ในน้ำ
บทปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง พิษของทองแดงและนิกเกิลที่มีต่อการเจริญเติบโตของเมล็ดถั่วเขียว

โปรดวิจารณ์และให้ความคิดเห็น สำหรับเป็นแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงบทปฏิบัติการ
เหล่านี้ โดยกาเครื่องหมาย / ลงในช่องว่างที่ท่านต้องการ

	5	4	3	2	1
1. เอกสารประกอบบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ (ใบความรู้)					
1.1 เนื้อหาสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (จุดประสงค์การเรียนรู้อยู่ในคู่มือครู)					
1.2 เนื้อหามีความต่อเนื่องกัน					
1.3 เนื้อหาสมบูรณ์					
1.4 เนื้อหาเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด (เวลาที่กำหนดอยู่ในคู่มือครู)					
1.5 ความสั้นยาวของเนื้อหาเหมาะสม					
1.6 ตัวอย่างประกอบเนื้อหาชัดเจน					
1.7 ภาพประกอบเนื้อหาเหมาะสม					
1.8 การใช้ภาษา					
1.8.1 มีความเหมาะสมกับระดับชั้นของนักเรียน					
1.8.2 ไม่วกวน					
1.8.3 ชวนอ่าน					
ข้อเสนอแนะ					
.....					
2. บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์					
2.1 หลักการ					
2.1.1 สอดคล้องกับบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์					
2.1.2 เหมาะสมกับระดับของนักเรียน					
ข้อเสนอแนะ					
.....					

	5	4	3	2	1
2.2 จุดประสงค์					
2.2.1 ใจความชัดเจนเพียงใด					
2.2.2 ประเมินผลได้					
ข้อเสนอแนะ					
.....					
.....					
2.3 วิธีการทดลอง					
2.3.1 เรียงลำดับกิจกรรมเหมาะสม					
2.3.2 เหมาะสมกับเวลาที่ใช้					
2.3.3 มีความยากง่ายพอเหมาะ					
2.3.4 ก่อให้เกิดความคิดรวบยอด					
2.3.5 ส่งเสริมให้นักเรียนมีทักษะปฏิบัติการทดลอง					
2.3.6 ส่งเสริมให้นักเรียนคิดเป็น					
2.3.7 นักเรียนแต่ละคนมีส่วนร่วมในกิจกรรม					
2.3.8 การใช้ภาษาชัดเจน					
ข้อเสนอแนะ					
.....					
.....					
3. เอกสารรายงานผลการทดลองและคำถามท้ายการทดลอง					
3.1 เอกสารรายงานผลการทดลองเหมาะสม					
3.2 คำถามท้ายการทดลอง					
3.2.1 คำถามสอดคล้องกับการทดลอง					
3.2.2 คำถามสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้					
3.2.3 จำนวนข้อในคำถามเหมาะสม					
3.2.4 มีความยาวพอเหมาะ					
3.2.5 ส่งเสริมด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์					
และการนำไปใช้เพียงใด					
ข้อเสนอแนะ					
.....					

แบบประเมินบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
 หน่วยการเรียนรู้ที่ 4 เรื่อง การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานซูบโลหะ
 บทปฏิบัติการที่ 4 เรื่อง การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานซูบโลหะด้วยการทำให้เกิดตะกอน

โปรดพิจารณาและให้ความคิดเห็น สำหรับเป็นแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงบทปฏิบัติการ
 เหล่านี้ โดยกาเครื่องหมาย / ลงในช่องว่างที่ท่านต้องการ

	5	4	3	2	1
1. เอกสารประกอบบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ (ใบความรู้)					
1.1 เนื้อหาสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (จุดประสงค์การเรียนรู้อยู่ในคู่มือครู)					
1.2 เนื้อหามีความต่อเนื่องกัน					
1.3 เนื้อหาสมบูรณ์					
1.4 เนื้อหาเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด (เวลาที่กำหนดอยู่ในคู่มือครู)					
1.5 ความสั้นยาวของเนื้อหาเหมาะสม					
1.6 ตัวอย่างประกอบเนื้อหาชัดเจน					
1.7 ภาพประกอบเนื้อหาเหมาะสม					
1.8 การใช้ภาษา					
1.8.1 มีความเหมาะสมกับระดับชั้นของนักเรียน					
1.8.2 ไม่วกวน					
1.8.3 ชวนอ่าน					
ข้อเสนอแนะ					
.....					
2. บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์					
2.1 หลักการ					
2.1.1 สอดคล้องกับบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์					
2.1.2 เหมาะสมกับระดับของนักเรียน					
ข้อเสนอแนะ					
.....					

	5	4	3	2	1
2.2 จุดประสงค์					
2.2.1 ใจความชัดเจนเพียงใด					
2.2.2 ประเมินผลได้					
ข้อเสนอแนะ					
.....					
.....					
2.3 วิธีการทดลอง					
2.3.1 เรียงลำดับกิจกรรมเหมาะสม					
2.3.2 เหมาะสมกับเวลาที่ใช้					
2.3.3 มีความง่ายพอเหมาะ					
2.3.4 ก่อให้เกิดความคิดรวบยอด					
2.3.5 ส่งเสริมให้นักเรียนมีทักษะปฏิบัติการทดลอง					
2.3.6 ส่งเสริมให้นักเรียนคิดเป็น					
2.3.7 นักเรียนแต่ละคนมีส่วนร่วมในกิจกรรม					
2.3.8 การใช้ภาษาชัดเจน					
ข้อเสนอแนะ					
.....					
.....					
3. เอกสารรายงานผลการทดลองและคำถามท้ายการทดลอง					
3.1 เอกสารรายงานผลการทดลองเหมาะสม					
3.2 คำถามท้ายการทดลอง					
3.2.1 คำถามสอดคล้องกับการทดลอง					
3.2.2 คำถามสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้					
3.2.3 จำนวนข้อในคำถามเหมาะสม					
3.2.4 มีความยาวพอเหมาะ					
3.2.5 ส่งเสริมด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์					
และการนำไปใช้เพียงใด					
ข้อเสนอแนะ					
.....					

	5	4	3	2	1
2.2 จุดประสงค์					
2.2.1 ใจความชัดเจนเพียงใด					
2.2.2 ประเมินผลได้					
ข้อเสนอแนะ					
.....					
.....					
2.3 วิธีการทดลอง					
2.3.1 เรียงลำดับกิจกรรมเหมาะสม					
2.3.2 เหมาะสมกับเวลาที่ใช้					
2.3.3 มีความยากง่ายพอเหมาะ					
2.3.4 ก่อให้เกิดความคิดรวบยอด					
2.3.5 ส่งเสริมให้นักเรียนมีทักษะปฏิบัติการทดลอง					
2.3.6 ส่งเสริมให้นักเรียนคิดเป็น					
2.3.7 นักเรียนแต่ละคนมีส่วนร่วมในกิจกรรม					
2.3.8 การใช้ภาษาชัดเจน					
ข้อเสนอแนะ					
.....					
.....					
3. เอกสารรายงานผลการทดลองและคำถามท้ายการทดลอง					
3.1 เอกสารรายงานผลการทดลองเหมาะสม					
3.2 คำถามท้ายการทดลอง					
3.2.1 คำถามสอดคล้องกับการทดลอง					
3.2.2 คำถามสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้					
3.2.3 จำนวนข้อในคำถามเหมาะสม					
3.2.4 มีความยาวพอเหมาะ					
3.2.5 ส่งเสริมด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์					
และการนำไปใช้เพียงใด					
ข้อเสนอแนะ					
.....					

	5	4	3	2	1
2.2 จุดประสงค์					
2.2.1 ใจความชัดเจนเพียงใด					
2.2.2 ประเมินผลได้					
ข้อเสนอแนะ					
.....					
.....					
2.3 วิธีการทดลอง					
2.3.1 เรียงลำดับกิจกรรมเหมาะสม					
2.3.2 เหมาะสมกับเวลาที่ใช้					
2.3.3 มีความยากง่ายพอเหมาะ					
2.3.4 ก่อให้เกิดความคิดรวบยอด					
2.3.5 ส่งเสริมให้นักเรียนมีทักษะปฏิบัติการทดลอง					
2.3.6 ส่งเสริมให้นักเรียนคิดเป็น					
2.3.7 นักเรียนแต่ละคนมีส่วนร่วมในกิจกรรม					
2.3.8 การใช้ภาษาชัดเจน					
ข้อเสนอแนะ					
.....					
.....					
3. เอกสารรายงานผลการทดลองและคำถามท้ายการทดลอง					
3.1 เอกสารรายงานผลการทดลองเหมาะสม					
3.2 คำถามท้ายการทดลอง					
3.2.1 คำถามสอดคล้องกับการทดลอง					
3.2.2 คำถามสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้					
3.2.3 จำนวนข้อในคำถามเหมาะสม					
3.2.4 มีความยาวพอเหมาะ					
3.2.5 ส่งเสริมด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์					
และการนำไปใช้เพียงใด					
ข้อเสนอแนะ					
.....					

แบบประเมินบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
หน่วยการเรียนรู้ที่ 6 เรื่อง การหาปริมาณทองแดง (II) และนิกเกิล (II) ด้วยวิธีเทียบสี
บทปฏิบัติการที่ 7 เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิลที่เหลือจากการดูดซับ
โดยวัตรธรรมชาติด้วยวิธีเทียบสี

โปรดวิจารณ์และให้ความคิดเห็น สำหรับเป็นแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงบทปฏิบัติการ
เหล่านี้ โดยกาเครื่องหมาย / ลงในช่องว่างที่ท่านต้องการ

	5	4	3	2	1
1. เอกสารประกอบบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ (ใบความรู้)					
1.1 เนื้อหาสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (จุดประสงค์การเรียนรู้อยู่ในคู่มือครู)					
1.2 เนื้อหามีความต่อเนื่องกัน					
1.3 เนื้อหาสมบูรณ์					
1.4 เนื้อหาเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด (เวลาที่กำหนดอยู่ในคู่มือครู)					
1.5 ความสั้นยาวของเนื้อหาเหมาะสม					
1.6 ตัวอย่างประกอบเนื้อหาชัดเจน					
1.7 การใช้ภาษา					
1.7.1 มีความเหมาะสมกับระดับชั้นของนักเรียน					
1.7.2 ไม่วกวน					
1.7.3 ชวนอ่าน					
ข้อเสนอแนะ					
.....					
2. บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์					
2.1 หลักการ					
2.1.1 สอดคล้องกับบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์					
2.1.2 เหมาะสมกับระดับของนักเรียน					
ข้อเสนอแนะ					
.....					
.....					

	5	4	3	2	1
2.2 จุดประสงค์					
2.2.1 ใจความชัดเจนเพียงใด					
2.2.2 ประเมินผลได้					
ข้อเสนอแนะ					
.....					
.....					
2.3 วิธีการทดลอง					
2.3.1 เรียงลำดับกิจกรรมเหมาะสม					
2.3.2 เหมาะสมกับเวลาที่ใช้					
2.3.3 มีความง่ายพอเหมาะ					
2.3.4 ก่อให้เกิดความคิดรวบยอด					
2.3.5 ส่งเสริมให้นักเรียนมีทักษะปฏิบัติการทดลอง					
2.3.6 ส่งเสริมให้นักเรียนคิดเป็น					
2.3.7 นักเรียนแต่ละคนมีส่วนร่วมในกิจกรรม					
2.3.8 การใช้ภาษาชัดเจน					
ข้อเสนอแนะ					
.....					
.....					
3. เอกสารรายงานผลการทดลองและคำถามท้ายการทดลอง					
3.1 เอกสารรายงานผลการทดลองเหมาะสม					
3.2 คำถามท้ายการทดลอง					
3.2.1 คำถามสอดคล้องกับการทดลอง					
3.2.2 คำถามสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้					
3.2.3 จำนวนข้อในคำถามเหมาะสม					
3.2.4 มีความยาวพอเหมาะ					
3.2.5 ส่งเสริมด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์					
และการนำไปใช้เพียงใด					
ข้อเสนอแนะ					
.....					

ภาคผนวก ก

- บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติ
ในการดูดซับโลหะหนัก
- คู่มือประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก

คำนำ

บทปฏิบัติการเรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนักฉบับนี้ พัฒนาขึ้นเพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (ว 411) ซึ่งเป็นวิชาบังคับเลือก ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย บทปฏิบัติการนี้เน้นการปฏิบัติการทดลองโดยใช้ประโยชน์จากวัสดุธรรมชาติ การรักษาสภาพแวดล้อมให้ดีขึ้นเป็นการช่วยให้นักเรียนค้นพบจากการได้ทดลองด้วยตนเอง ช่วยกระตุ้นแนวความคิดในการรักษาภาวะแวดล้อมของท้องถิ่น และสามารถนำความรู้ที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน เพื่อให้มีคุณภาพชีวิตที่ดี นอกจากนี้ยังเป็นการจูงใจให้ครูผู้สอนวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม นำไปใช้เป็นแบบอย่างหรือแนวทางในการจัดการเรียนการสอนให้สอดคล้องกับความต้องการของท้องถิ่น อันเป็น จุดมุ่งหมายสำคัญของหลักสูตรระดับมัธยมศึกษาตอนปลายอีกด้วย

ในบทปฏิบัติการนี้มีทั้งหมด 7 บท ในแต่ละบทปฏิบัติการประกอบด้วยรายละเอียดต่าง ๆ คือ จุดมุ่งหมายเชิงพฤติกรรม เนื้อหาสาระ กิจกรรมการเรียนการสอน สื่อประกอบการเรียนการสอน และการวัดและประเมินผลการเรียนการสอนด้านพุทธิพิสัยและทักษะปฏิบัติการ ครูผู้สอนสามารถนำบทปฏิบัติการไปใช้ในการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายได้ทันที โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนที่เป็นการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนที่เน้นการเรียนการสอนแบบปฏิบัติการทดลอง จะช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ ด้านทักษะปฏิบัติการทดลองได้มากยิ่งขึ้น

ตัวอย่างบทปฏิบัติการที่นำเสนอครั้งนี้เป็นเพียงแนวคิดหรือแนวทางในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมในเชิงปฏิบัติการทดลองทางเคมีเท่านั้น นักเรียนและผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถเลือกปฏิบัติตามความสนใจและตามความพร้อมของโรงเรียน หรือสามารถดัดแปลงให้เหมาะสมกับสภาพการณ์ในแต่ละท้องถิ่นได้ ทั้งนี้เพื่อให้ผู้เรียนสามารถนำความรู้ที่ได้รับจากการเรียนการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการนี้ไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับสภาพโรงเรียนของตนเอง และเป็นแนวทางในการวิจัยด้านสิ่งแวดล้อมในอนาคตต่อไป

คำแนะนำการใช้บทปฏิบัติการ

การใช้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก มีข้อควรปฏิบัติ และทำความเข้าใจ ดังนี้

1. บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนักนี้ พัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาขาดแคลนเอกสารและบทปฏิบัติการในการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (ว 411) โดยอาศัยคำอธิบายรายวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มาพัฒนาแนวคิดในการสร้างเป็นบทปฏิบัติการเพื่อการเรียนการสอนสิ่งแวดล้อมในเชิงเคมีวิเคราะห์ ซึ่งสามารถช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ในเรื่องสิ่งแวดล้อมได้

2. ระยะเวลาในการเรียนการสอนโดยใช้บท ปฏิบัติการนี้ คือ 14 คาบเรียน สัปดาห์ละ 2 คาบ คาบละ 50 นาที

3. ผู้เรียนตามบทปฏิบัติการนี้ คือ นักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยเฉพาะนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

4. ผู้สอนที่จะใช้บทปฏิบัติการนี้ควรเป็นครู หรืออาจารย์ที่มีพื้นความรู้ในวิชาเคมีหรือวิทยาศาสตร์สาขาอื่น ๆ

5. บทปฏิบัติการนี้ควรใช้ควบคู่กับคู่มือครู และแบบทดสอบวัดผลการเรียนรู้ด้านพุทธิพิสัย และทักษะปฏิบัติการทดลองที่สร้างขึ้น

6. ควรดำเนินการสอนเรียงลำดับจากบทปฏิบัติการที่ 1 ไปจนถึงบทปฏิบัติการที่ 7 ซึ่งเป็นบทปฏิบัติการสุดท้าย

7. ในส่วนที่เป็นเนื้อหาและบทปฏิบัติการ สามารถปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมในสภาพท้องถิ่นได้

คำอธิบายรายวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ว 411 วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

3 คาบ/สัปดาห์/ภาค

1.5 หน่วยการเรียนรู้

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาค้นคว้า สำรวจ ทำปฏิบัติการ อภิปราย แสดงและเสนอความคิดในรูปแบบหลากหลาย วิเคราะห์สาเหตุและผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ ทรัพยากรธรรมชาติ ประชากรมนุษย์ และการพัฒนาที่ยั่งยืนเพื่อให้ความรู้ความเข้าใจในความสัมพันธ์ของสิ่งแวดล้อมทั้งระบบ สามารถแก้ปัญหาวางแผน เสนอแนวทางเพื่อแก้ปัญหาและจัดการทรัพยากรธรรมชาติ โดยใช้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีให้มีความรักชาติซึ่งในสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ ตลอดจนมีความตระหนัก มีจิตสำนึกที่จะมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์และพัฒนาสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน

จุดมุ่งหมายของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก

บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก มีจุดมุ่งหมาย ดังนี้

1. เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจ ในเรื่องความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก
2. เพื่อให้นักเรียนสามารถเลือกใช้วัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนักได้อย่างเหมาะสม อีกทั้งยังเป็นการช่วยรักษาสภาวะแวดล้อมได้อีกวิธีหนึ่ง
3. เพื่อให้เกิดทักษะปฏิบัติการทดลอง เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก
4. เพื่อให้นักเรียนสามารถนำหลักการของบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้น ไปใช้ให้เป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพชีวิต และสังคมในท้องถิ่นของตนเองได้
5. เพื่อให้นักเรียนตระหนักในสำคัญในการรักษาสภาวะแวดล้อมและแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นพิษอันเกิดจากโลหะหนัก

เนื้อหาของบทปฏิบัติการ

บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก เป็นเนื้อหาส่วนหนึ่งของวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่เน้นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้การสอนแบบ หน่วยการเรียนรู้ในลักษณะปฏิบัติการทดลอง ประกอบด้วยบทปฏิบัติ 7 บท ดังนี้

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น

บทปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น

หน่วยการเรียนรู้ที่ 2 เรื่อง ลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะและการ ตรวจสอบหาทองแดง และนิกเกิลในน้ำ

บทปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง การตรวจสอบหาทองแดงและนิกเกิลในน้ำ

หน่วยการเรียนรู้ที่ 3 เรื่อง โลหะหนักและพิษของโลหะทองแดงและนิกเกิล ที่มีอยู่ในน้ำ

บทปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง พิษของทองแดงและนิกเกิลที่มีต่อการเจริญเติบโต ของเมล็ดถั่วเขียว

หน่วยการเรียนรู้ที่ 4 เรื่อง การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ

บทปฏิบัติการที่ 4 เรื่อง การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ ด้วยการทำให้เกิดตะกอน

หน่วยการเรียนรู้ที่ 5 เรื่อง คุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนักของวัสดุ ธรรมชาติ

บทปฏิบัติการที่ 5 เรื่อง คุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนักของวัสดุธรรมชาติ

หน่วยการเรียนรู้ที่ 6 เรื่อง การหาปริมาณทองแดง (II) และนิกเกิล(II) ด้วยวิธี เทียบสี

บทปฏิบัติการที่ 6 เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณทองแดงที่เหลือจากการดูดซับ โดยวัสดุธรรมชาติด้วยวิธีเทียบสี

บทปฏิบัติการที่ 7 เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิลที่เหลือจากการดูดซับ โดยวัสดุธรรมชาติด้วยวิธีเทียบสี

การแบ่งช่วงเวลาในการเรียนการสอน

การแบ่งช่วงเวลาในการเรียนการสอน บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก ดังแสดงในตาราง 27

ตาราง 27 การแบ่งช่วงเวลาในการเรียนการสอน

ครั้งที่	จำนวนคาบ	เนื้อหา	การประเมินผล
1	2	การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น บทปฏิบัติการที่ 1	คำถามท้ายบทปฏิบัติการ
2	2	ลักษณะของน้ำจากโรงงานชุบโลหะ และการตรวจสอบหาทองแดงและนิกเกิล ในน้ำ บทปฏิบัติการที่ 2	คำถามท้ายบทปฏิบัติการ
3	2	โลหะหนักและพิษของโลหะหนักที่มีอยู่ในน้ำ บทปฏิบัติการที่ 3	คำถามท้ายบทปฏิบัติการ
4	2	การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะ บทปฏิบัติการที่ 4	คำถามท้ายบทปฏิบัติการ
5	2	คุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนักของ วัสดุธรรมชาติ บทปฏิบัติการที่ 5	คำถามท้ายบทปฏิบัติการ
6	2	การวิเคราะห์หาปริมาณทองแดง(II)และ นิกเกิล(II)วิธีเทียบสี บทปฏิบัติการที่ 6	คำถามท้ายบทปฏิบัติการ
7	2	การวิเคราะห์หาปริมาณทองแดง(II)และ นิกเกิล(II)วิธีเทียบสี บทปฏิบัติการที่ 7	คำถามท้ายบทปฏิบัติการ

ตาราง 27 (ต่อ)

ครั้งที่	จำนวน คาบ	เนื้อหา	การประเมินผล
			เมื่อครบทุกบทปฏิบัติการ จะประเมินผลการเรียนรวม ด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ ทางการเรียนและทักษะปฏิบัติ การวิทยาศาสตร์

สิ่งปนเปื้อนที่ไม่พึงปรารถนาในน้ำ ได้แก่ น้ำมัน ไขมัน ผงซักฟอก สบู่ ยาฆ่าแมลง สารพิษ และโลหะหนัก ทางสิ่งแวดล้อม มักเรียกสิ่งปนเปื้อนเหล่านี้ว่า “สารมลพิษ” ซึ่งอาจจะแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ดังนี้

1. สารอินทรีย์ หมายถึง สารประกอบที่ถูกย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ เช่น เศษอาหาร ซากพืช-สัตว์ น้ำมันและไขมัน เป็นต้น จุลินทรีย์ในน้ำมีจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน ในการดำรงชีวิต ดังนั้นถ้าในน้ำมีสารอินทรีย์ในปริมาณสูง เช่น น้ำเสียจากแหล่งชุมชน และมีออกซิเจนอยู่น้อยจะเกิดกระบวนการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งจะทำให้น้ำนั้นกลายเป็น้ำเสียในที่สุด

2. สารอนินทรีย์ มีทั้งที่ได้มาจากธรรมชาติ น้ำฝนหรือน้ำตามแหล่งน้ำทั่วไปไหลผ่านชั้นหินปูนแล้วชะล้างเอาแคลเซียมคาร์บอเนตปะปนมากับน้ำ ทำให้น้ำมีภาวะเป็นน้ำกระด้างเป็นด้น และได้มาจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การระบายน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสารอนินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงงานมีหลายชนิดแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับประเภทของโรงงาน นอกจากนี้ได้มาจากการระบายน้ำทิ้งจากการบำบัดน้ำเสีย เช่น การบำบัดทางชีววิทยา ซึ่งจำเป็นต้องเติมสารอนินทรีย์บางอย่างลงไปให้เหมาะสมกับการทำงาน หรือกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์สารในน้ำเสียที่จะบำบัด

3. สารที่เป็นกรดหรือด่าง การปล่อยสารเคมี หรือสารที่มีฤทธิ์เป็นกรดหรือด่างลงสู่แหล่งน้ำในปริมาณมาก จะเป็นอันตรายต่อคนและสัตว์น้ำ

4. สารเคมีเป็นพิษและสารกัมมันตรังสี ถ้าสารเหล่านี้ มีความเข้มข้นมากพอจะเป็นอันตรายต่อผู้ใช้น้ำนั้นและจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ

5. สารแขวนลอย สารนี้บางชนิดมีการสลายตัวทำให้เกิดกลิ่น บางชนิด เช่น น้ำมัน ไขมัน กันไม่ให้แสงแดดและอากาศผ่านลงสู่ได้ผิวน้ำ ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการเจริญเติบโตของพืชได้น้ำ และบางชนิดยังเป็นพิษต่อสัตว์น้ำอีกด้วย

6. สารที่ทำให้เกิดฟอง เช่น สารชะล้างจำพวกสารซักฟอก ทำให้แหล่งน้ำเกิดภาพไม่น่าดู และสารบางอย่างเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ รวมทั้งมนุษย์ด้วย

7. จุลินทรีย์หรือเชื้อโรค การถ่ายทิ้งสิ่งโสโครกจากครัวเรือน หรือชุมชนลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้ผู้ใช้น้ำรับเอาจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคเข้าสู่ร่างกายได้ เช่น อหิวาตกโรค บิด เป็นต้น

8. น้ำร้อน เป็นน้ำที่ถูกนำไปใช้ในการทำให้เครื่องจักรเย็น แล้วถูกปล่อยกลับสู่แหล่งน้ำ น้ำร้อนจะทำให้กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำหมดไปอย่างรวดเร็วมีผลทำให้เกิด น้ำเสียได้

9. สี สีเป็นตัวกันทางเดินของแสง ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์แสงของพืชได้น้ำ สีบางชนิดเป็นอันตรายต่อสัตว์และพืชน้ำ นอกจากนี้ สี ยังทำลายคุณค่าทางการพักผ่อนหย่อนใจอีกด้วย

การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น คือการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของน้ำที่สามารถตรวจสอบได้ด้วยประสาทสัมผัส รวมทั้งการใช้อุปกรณ์และสารเคมีอย่างง่าย ๆ ที่สามารถตรวจสอบได้ ลักษณะทางกายภาพที่สามารถตรวจสอบได้ง่าย ๆ เช่น อุณหภูมิ สี และความขุ่น กลิ่นรส ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และการนำไฟฟ้า เป็นต้น และเมื่อตรวจสอบแล้ว พบว่า ลักษณะทางกายภาพของน้ำเปลี่ยนแปลงไปจากสภาพเดิมและต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของน้ำ ก็หมายความว่า น้ำนั้นมีสิ่งปนเปื้อนที่ไม่พึงปรารถนาปะปนอยู่ ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำตามมา

เกณฑ์มาตรฐานของน้ำ มีการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานของน้ำออกเป็น 2 เกณฑ์ใหญ่ ๆ คือเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่ม และเกณฑ์มาตรฐานทิ้ง

เกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่ม หมายถึง ลักษณะขั้นต่ำของน้ำ ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการดื่มได้ โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย หรือโรคภัยไข้เจ็บแก่ผู้ดื่มโดยจะกำหนดเป็นปริมาณขั้นต่ำ ของสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำนั้น

เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง หมายถึง ลักษณะขั้นต่ำของน้ำทิ้งที่อนุญาตให้ระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ เช่น คู คลอง แม่น้ำได้ โดยกำหนดเป็นปริมาณขั้นต่ำของสิ่งปนเปื้อนที่มีอยู่ในน้ำทิ้งนั้น

บทปฏิบัติการที่ 1

เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น

หลักการ

การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น คือ การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของน้ำ ที่สามารถตรวจสอบได้โดยใช้ประสาทสัมผัส รวมทั้งการใช้อุปกรณ์และสารเคมีอย่างง่าย ๆ ที่สามารถตรวจสอบได้ ลักษณะทางกายภาพที่สามารถตรวจสอบได้ง่าย ๆ เช่น อุณหภูมิ สีและกลิ่น ความขุ่น กลิ่นรส ความเป็นกรดค่า(pH) และ การนำไฟฟ้า เป็นต้น และเมื่อตรวจสอบแล้วพบว่าลักษณะทางกายภาพของน้ำ เปลี่ยนแปลงไปจากสภาพเดิมและต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของน้ำ ก็หมายความว่าน้ำนั้นมีสิ่งปนเปื้อนที่ไม่พึงปรารถนาปนอยู่มาก ซึ่งจะก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำตามมา

ดังนั้น น้ำเสีย คือ น้ำที่มีสารหรือสิ่งปนเปื้อนที่ไม่พึงปรารถนาปนอยู่ การปนเปื้อนของสิ่งเหล่านี้จะทำให้ลักษณะทางกายภาพ สี กลิ่นและเคมีของน้ำเปลี่ยนไป

จุดประสงค์

1. บอกลักษณะทางกายภาพของน้ำที่ได้จากการการสังเกตโดยใช้ประสาทสัมผัสได้
2. สามารถเปรียบเทียบ สมบัติของน้ำสะอาดกับน้ำเสียได้
3. บอกคุณภาพของน้ำตัวอย่างโดยการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของน้ำได้

สารเคมีและอุปกรณ์

1. น้ำกลั่น	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
2. น้ำตัวอย่างที่ 1	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
3. น้ำตัวอย่างที่ 2	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
4. น้ำตัวอย่างที่ 3	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
5. น้ำตัวอย่างที่ 4	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
6. น้ำตัวอย่างที่ 5	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
7. กระดาษยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์	6 แผ่น
8. เทอร์มอมิเตอร์	1 อัน
9. บีกเกอร์ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร	6 ใบ

10. แท่งแก้วคนสาร	1 แท่ง
11. กระจกนาฬิกา	1 อัน

วิธีการทดลอง

ให้นักเรียนปฏิบัติดังต่อไปนี้

1. นำบีกเกอร์ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวน 6 ใบ ใส่ น้ำกลั่น และ น้ำตัวอย่างที่ 1-5 ปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงไปบีกเกอร์ละ 1 ตัวอย่าง เขียนชื่อน้ำกลั่น และน้ำตัวอย่างติดทุกใบ
2. วัดอุณหภูมิของน้ำกลั่นและน้ำตัวอย่างทันทีที่นำมาทดลอง (วัดน้ำตัวอย่างที่ 4 ก่อน) โดยใช้เทอร์มอมิเตอร์ แล้วบันทึกผลลงในตาราง
3. สังเกต สี กลิ่นและอนุภาคแขวนลอยในน้ำกลั่นและน้ำตัวอย่าง ด้วยประสาททางตา และจมูก แล้วบันทึกผลลงในตาราง
4. ใช้กระดาษยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ วัดค่า pH ของน้ำกลั่นและน้ำตัวอย่างทั้ง 5 ชนิด แล้วบันทึกผลลงในตาราง
5. นำข้อมูลของน้ำตัวอย่างที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับน้ำกลั่นและมาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในตาราง

หมายเหตุ มาตรฐานน้ำทิ้งในการทดลองนี้ เป็นค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง จากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535

รายงานการทดลอง
บทปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น

วัน/เดือน/ปี ชื่อผู้ทดลอง 1. ชั้น เลขที่
 กลุ่มที่ 2. ชั้น เลขที่

จุดประสงค์การทดลอง

.....

ผลการทดลอง

น้ำตัวอย่าง	สี	กลิ่น	อนุภาคแขวนลอย	pH	อุณหภูมิ (°C)
ค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง	ไม่มีสี	ไม่มีกลิ่น	ไม่มี	5.5 - 9	ไม่เกิน 40
น้ำกลั่น					
น้ำตัวอย่างที่ 1					
น้ำตัวอย่างที่ 2					
น้ำตัวอย่างที่ 3					
น้ำตัวอย่างที่ 4					
น้ำตัวอย่างที่ 5					

สรุปผลการทดลอง

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. นักเรียนคิดว่าน้ำตัวอย่างใดบ้าง มีสมบัติตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง เพราะเหตุใด ?

.....

.....

.....

2. น้ำตัวอย่างใดน่าจะเป็นน้ำสะอาด และน้ำเสีย อธิบายเหตุผล ?

.....

.....

.....

3. นักเรียนคิดว่าน้ำตัวอย่างที่ 2 ควรจะเป็นน้ำทิ้งจากแหล่งใด เพราะเหตุใด ?

.....

.....

.....

4. น้ำตัวอย่างใดควรจะเป็นน้ำทิ้งจากการนำไปใช้ในการหล่อเย็นเครื่องจักร เพราะเหตุใด?

.....

.....

.....

5. ถ้าตามแหล่งน้ำที่นักเรียนพบเห็นในปัจจุบันเป็นเหมือนคังน้ำตัวอย่างที่ 2 นักเรียนคิดว่า
จะเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไรบ้าง ?

.....

.....

.....

ใบความรู้ ประกอบบทปฏิบัติที่ 2

เรื่อง ลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะและการตรวจสอบหาทองแดงและนิกเกิลในน้ำ

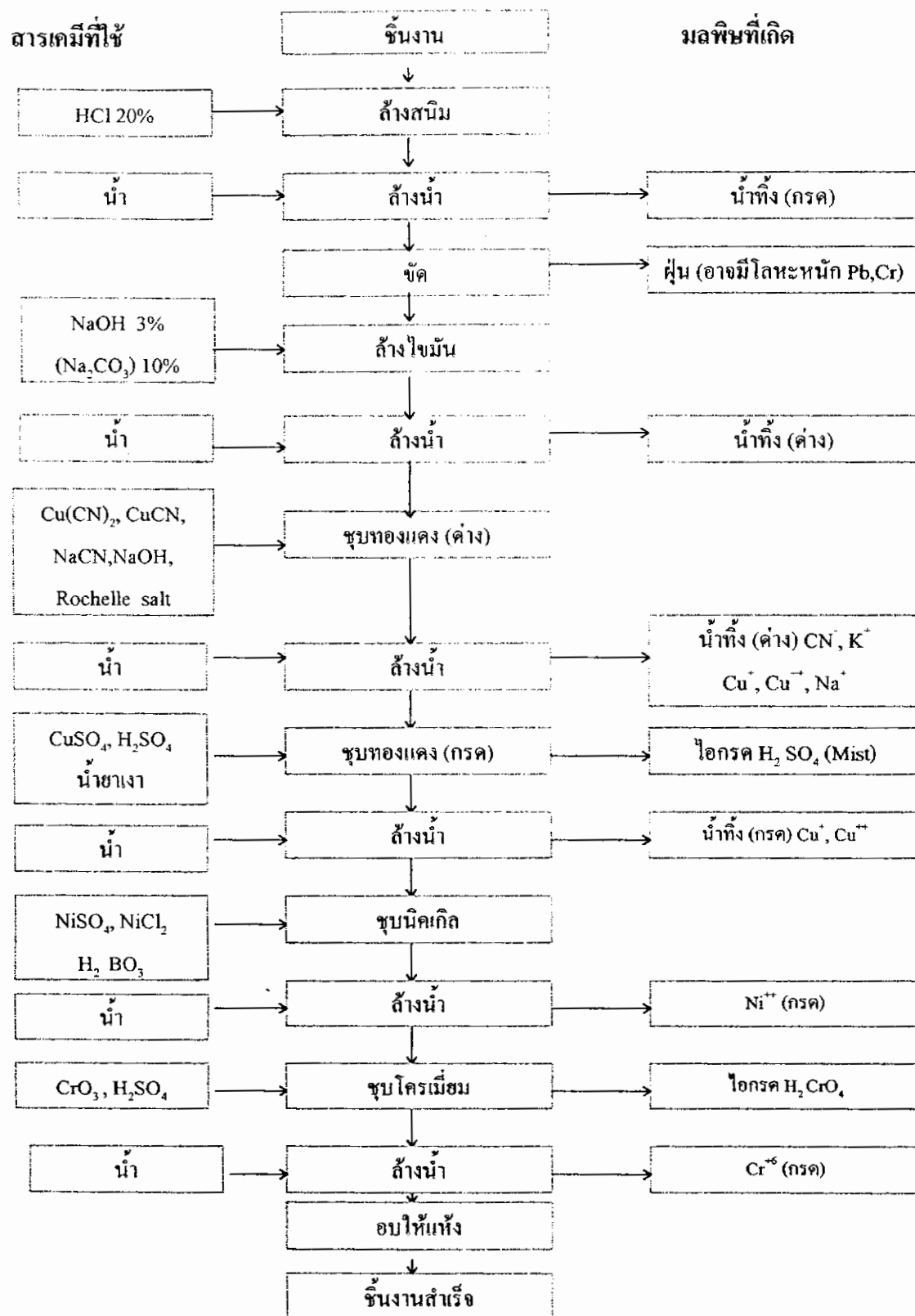
สาระสำคัญ

ลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะ

น้ำเสีย (wastewater) เกิดจาก น้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์ต่าง ๆ อาทิ เช่น การชำระล้างร่างกาย การประกอบอาหาร การขับถ่ายของเสีย การล้างวัตถุดิบในโรงงานอุตสาหกรรม การล้างเครื่องจักร การหล่อเย็นเครื่องจักร ฯลฯ ทำให้ลักษณะของน้ำเปลี่ยนไปจากเดิม เนื่องจากมีสิ่งปนเปื้อนทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ปะปนอยู่ในน้ำ ปริมาณสิ่งปนเปื้อนในน้ำขึ้นอยู่กับกระบวนการและประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของน้ำ ดังนั้นน้ำทิ้งจากแต่ละแหล่งจึงมีลักษณะไม่เหมือนกัน

น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำที่ระบายออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะ เช่น แม่น้ำ ลำธาร คู คลอง เป็นต้น น้ำทิ้งอาจเป็นน้ำเสียหรือไม่ก็ได้ แต่ต้องมีลักษณะเป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งที่กฎหมายกำหนด ซึ่งถ้าเป็นน้ำเสียก็ต้องผ่านการบำบัดก่อน

น้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะ ส่วนใหญ่ได้มาจากน้ำเสียที่เกิดจากการทำความสะอาดชิ้นงานก่อนการชุบ จากกระบวนการชุบโลหะ และการชะล้างทำความสะอาดชิ้นงานหลังจากผ่านการชุบ ซึ่งกระบวนการเกือบทั้งหมดจะทำให้มีสารเคมีปนเปื้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ ทั้งนี้กรรมวิธีการชุบโลหะโดยทั่วไป (ภาพประกอบ 16) พบว่า ไอออนโลหะหนักและสารพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำทิ้งขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของสารละลายชุบ หรือน้ำยาชุบนั่นเป็นโลหะหนัก หรือสารพิษชนิดใด ซึ่งโลหะหนักส่วนใหญ่ในน้ำทิ้งจากกระบวนการชุบโลหะ ได้แก่ ทองแดงไอออน นิกเกิลไอออน โครเมียมไอออน และสารพิษส่วนใหญ่เป็น ไซยาไนด์ไอออน เป็นต้น



ภาพประกอบ 6 กรรมวิธีการชุบโลหะทั่วไป

ที่มา : เฮเลน อารมย์ดี. วารสารโรงงาน. 12(1) : 51 ; ต.ค. 35 - ม.ค. 36

การวิเคราะห์โลหะหนัก

การหาปริมาณโลหะหนัก อาจกระทำได้ด้วยวิธีทางเคมีธรรมดา (classical method of analysis) แต่ถ้าปริมาณโลหะหนักในน้ำมีปริมาณน้อยมาก การใช้วิธีการธรรมดาจะไม่สามารถหาโลหะหนักได้ เพื่อให้ได้ผลแน่นอน จึงควรใช้เครื่องมือวิเคราะห์ เช่น สเปกโตรโฟโตเมทรี อะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตเมทรี เป็นต้น

ในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักโดยวิธีทางเคมี จะต้องใช้วิธีการที่เป็นมาตรฐาน ซึ่งแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของโลหะหนักแต่ละตัว สำหรับการวิเคราะห์หาทองแดงและนิกเกิลด้วยวิธีทางเคมีนั้น เนื่องจากทองแดงและนิกเกิลเป็นธาตุทรานสิชันที่สามารถเกิดสารประกอบได้ เราสามารถตรวจสอบได้ว่าน้ำทั้งนั้นมีโลหะทองแดงและนิกเกิลปนเปื้อนหรือไม่ โดยอาศัยหลักการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะหนัก เมื่อโลหะทำปฏิกิริยากับลิแกนด์ที่เหมาะสมจะเกิดเป็นสารประกอบที่มีคุณสมบัติเฉพาะขึ้น

จากการศึกษาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของทองแดงและนิกเกิล พบว่า ลิแกนด์ที่เหมาะสมของทองแดงและนิกเกิล คือ แอมโมเนีย และไดเอทิลไกลออกซิม ตามลำดับ โดยจะเข้าไปทำปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นพันธะโคเวเลนต์ หรือโคเวเลนต์แบบโคออร์ดิเนตกับทองแดง (II) ไอออน และนิกเกิล (II) ไอออน ดังนี้

(I) ทองแดงทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนีย (NH_3)

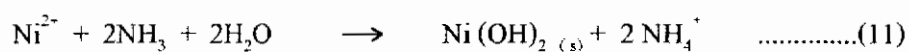
Cu^{2+} ในสารละลายที่มีน้ำจะอยู่ในรูป $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$ เมื่อเติมแอมโมเนียลงไปจะเกิดการแลกเปลี่ยนลิแกนด์ได้ ดังสมการ



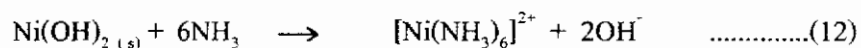
ปฏิกิริยาข้างบนนี้ เกิดเมื่อมี แอมโมเนียมากเกินไป โดยจะเกิดสารเชิงซ้อน $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ มีสีน้ำเงินเข้ม ดังนั้น เมื่อเติมแอมโมเนียลงไปในสารละลายของ $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$ ก็จะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงจากสีน้ำเงินอ่อนไปเป็นสีน้ำเงินเข้ม

(2) นิกเกิลทำปฏิกิริยากับไดเมทิลไกลออกซิม ($C_4H_8N_2O_2$)

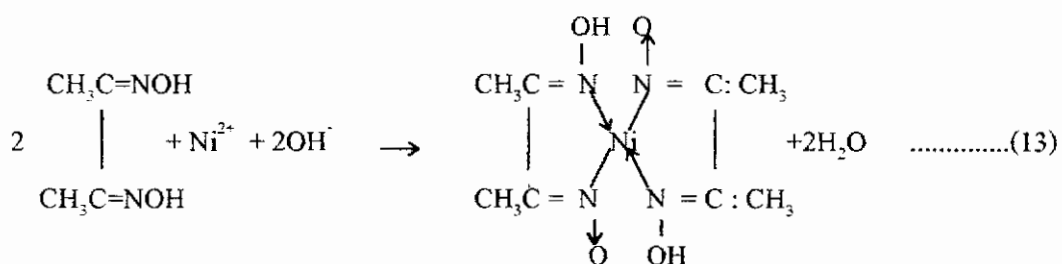
Ni^{2+} ในสารละลายแอมโมเนีย จะอยู่ในรูป $Ni(OH)_2$ ซึ่งจะละลายใน NH_3 ที่มากเกินไป
พอ ดังสมการ



ตะกอนสีเขียวอ่อน



และเมื่อเติมไดเมทิลไกลออกซิม จะได้ตะกอนสีแดงของนิกเกิลไดเมทิลไกลออกซิม
ดังสมการ



ไดเมทิลไกลออกซิม

ตะกอนสีแดงของนิกเกิลไดเมทิลไกลออกซิม

ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเฉพาะกับ Ni^{2+} ในสารละลายที่เป็นเบสด้วยแอมโมเนียเท่านั้น

บทปฏิบัติการที่ 2

เรื่อง การตรวจสอบหาทองแดงและนิกเกิลในน้ำ

หลักการ

น้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะมักมีทองแดงและนิกเกิลปนเปื้อนอยู่ สามารถตรวจสอบได้ว่าน้ำทิ้งนั้นมีโลหะทองแดงและนิกเกิลปนเปื้อนอยู่จริงหรือไม่ โดยอาศัยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน ซึ่งสารละลายแอมโมเนียจะรวมกับ Cu^{2+} เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนซึ่งมีสีน้ำเงิน และสารละลายไดอะมิลไกลออกซิมจะรวมตัวกับ Ni^{2+} ในสารละลายแอมโมเนีย ได้สารประกอบเชิงซ้อนเป็นตะกอนสีแดง

จุดประสงค์

1. ทดสอบหาทองแดงและนิกเกิลจากน้ำตัวอย่างได้
2. บอกความแตกต่างระหว่างน้ำที่ไม่มีโลหะทองแดง และนิกเกิลปนเปื้อนอยู่ กับน้ำที่มีโลหะทองแดง และนิกเกิลปนเปื้อนได้
3. บอกวิธีการตรวจสอบหาทองแดงและนิกเกิลที่มีอยู่ในน้ำตัวอย่างได้

สารเคมีและอุปกรณ์

1. น้ำกลั่น	5 ลูกบาศก์เซนติเมตร
2. น้ำตัวอย่าง 1	5 ลูกบาศก์เซนติเมตร
3. น้ำตัวอย่าง 2	5 ลูกบาศก์เซนติเมตร
4. น้ำตัวอย่าง 3	5 ลูกบาศก์เซนติเมตร
5. น้ำตัวอย่าง 4	5 ลูกบาศก์เซนติเมตร
6. น้ำตัวอย่าง 5	5 ลูกบาศก์เซนติเมตร
7. หลอดทดลองขนาดใหญ่	6 หลอด
8. หลอดหยดสารละลาย	2 อัน
9. ที่ตั้งหลอดทดลอง	1 อัน
10. สารละลายแอมโมเนีย เข้มข้น	3 mol/dm^3

11. สารละลายไคเมทิลไกลออกซิม เข้มข้น 1 %
12. ปีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร 2 ใบ

วิธีการทดลอง

1. นำหลอดทดลองขนาดใหญ่มา 6 หลอด หลอดที่ 1 ใส่น้ำกลั่น , หลอดที่ 2 ใส่น้ำตัวอย่าง 1, หลอดที่ 3 ใส่น้ำตัวอย่าง 2, หลอดที่ 4 ใส่น้ำตัวอย่าง 3, หลอดที่ 5 ใส่น้ำตัวอย่าง 4 และ หลอดที่ 6 ใส่น้ำตัวอย่าง 5 หลอดละ 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ โดยใช้ปิเปตต์ขนาด 10 มิลลิลิตร สังเกตและบันทึกลักษณะของน้ำกลั่นและน้ำตัวอย่างลงในตาราง
2. เติมสารละลายแอมโมเนียลงในหลอดที่ 1 - 6 จำนวน 5 หยด สังเกตและบันทึกผล
3. เติมสารละลายไคเมทิลไกลออกซิม ลงในหลอดที่ 1-6 จำนวน 10 หยด สังเกตและบันทึกผลลงในตาราง
4. นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองในหลอดที่ 2 - 6 มาเปรียบเทียบกับน้ำกลั่น(หลอดที่ 1) และสรุปผลการทดลอง

รายงานการทดลอง

บทปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง การตรวจสอบหาทองแดงและนิกเกิลในน้ำ

วัน/เดือน/ปี ชื่อผู้ทดลอง 1. ชั้น เลขที่

กลุ่มที่ 2. ชั้น เลขที่

จุดประสงค์การทดลอง

.....

.....

.....

ผลการทดลอง

น้ำตัวอย่าง ที่	ผลการสังเกตลักษณะ น้ำตัวอย่าง	ผลการทดลองเมื่อเติม	
		แอมโมเนียเข้มข้น 3 mol/dm^3	ไดเมทิลไกลออกซิม 1%
น้ำกลั่น			
1			
2			
3			
4			
5			

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จากการทดลอง น้ำตัวอย่างใดทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนีย น้ำตัวอย่างใดทำปฏิกิริยากับสารละลายโคบอลต์ไคลอออกไซด์ และน้ำตัวอย่างใดทำปฏิกิริยากับสารละลายทั้งสองชนิด ?

.....

.....

.....

2. จากข้อ 1 นักเรียนทราบได้อย่างไรว่าน้ำตัวอย่างนั้น ๆ ทำปฏิกิริยากับลิแกนด์แล้ว เพราะเหตุใด ?

.....

.....

.....

3. จากผลการทดลองน้ำตัวอย่างใดมีโลหะทองแดงปนเปื้อนอยู่ และน้ำตัวอย่างใดมีโลหะนิกเกิลปนเปื้อนอยู่ เพราะเหตุใด ?

.....

.....

.....

4. ให้นักเรียนบอกความแตกต่างระหว่างน้ำที่ไม่มีโลหะหนักทองแดง และนิกเกิลปนเปื้อนกับน้ำที่มีโลหะหนักทองแดง นิกเกิลปนเปื้อน ว่าแตกต่างกันอย่างไร ?

.....

.....

.....

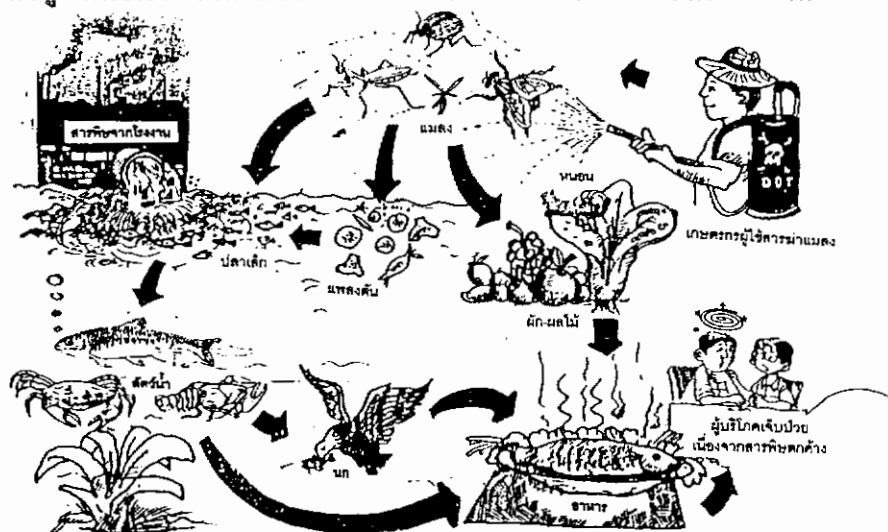
ใบความรู้ประกอบบทปฏิบัติการที่ 3

เรื่อง โลหะหนักและพิษของโลหะทองแดงและนิกเกิลที่มีอยู่ในน้ำ

สาระสำคัญ

ธาตุต่าง ๆ ในโลกเท่าที่ค้นพบในปัจจุบัน มีทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้น รวมกันแล้วมีประมาณ 109 ธาตุ และในจำนวนนี้มีธาตุที่เป็นโลหะหนัก (heavy metal) อยู่ 68 ธาตุ

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23 ถึง 92 ถูกจัดตำแหน่งไว้ในคาบที่ 4 ถึง 7 ของตารางธาตุ มีสถานะเป็นของแข็ง (ยกเว้นปรอทซึ่งเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ) คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะหนัก คือ นำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีความมันวาว เหนียว สามารถนำมาตีเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ และสะท้อนแสงได้ดี ส่วนคุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญของโลหะหนัก คือ มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า ดังนั้น โลหะหนักจึงสามารถที่จะรวมตัวกับสารอื่น ๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อน (complex compound) ได้หลายรูปที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ เรียกว่า สารประกอบออร์กาโนเมทัลลิก (organometallic compound) ซึ่งสามารถที่จะถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตได้ โดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร (food chain) โลหะหนักเหล่านี้จะแพร่กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อม โดยปนเปื้อนในดิน น้ำ อากาศ และพืช จากนั้นจะเข้าสู่มนุษย์ (ภาพประกอบ 17) โลหะหนักหลายชนิดเป็นอันตรายร้ายแรง เมื่อเข้าไปสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต ซึ่งอาจมีผลทำให้สิ่งมีชีวิตพิการหรือตายได้



ภาพประกอบ 17 การถ่ายทอดโลหะหนักสู่สิ่งมีชีวิต

ที่มา : ประกาย จิโรจน์. คู่มือการเรียนรู้ด้วยตนเองสำหรับบุคลากรทางสุขภาพ. หน้า 57. 2538.

โลหะหนักที่มักจะพบในกระบวนการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า คือ ทองแดง และ นิกเกิล ซึ่งมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

ทองแดง

ก. คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

ทองแดงเป็นธาตุในหมู่ที่สอง (IIB) ของตารางธาตุ ประกอบไปด้วยทองแดง เงิน และทองคำ ทองแดงเป็นโลหะที่อ่อนดัดงอได้ง่าย มีสมบัติที่ทนต่อการกัดกร่อน นำความร้อน และนำไฟฟ้าได้ดีรองลงมาจากเงิน ในธรรมชาติจะอยู่ในรูปแร่ chalcocite หรือ copper glance (Cu_2S), cuprite (Cu_2O) หรือ copper pyrite (CuFeS_2) รูปแบบสารประกอบเคมีของทองแดงมีหลายรูปแบบ ทั้งอยู่ในรูปคลอไรด์ ซัลเฟต ไนเตรต ซึ่งมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี ส่วนสารประกอบที่อยู่ในรูปคาร์บอเนต ไฮดรอกไซด์ ออกไซด์ และซัลไฟด์ จะไม่ละลายน้ำ ทองแดงบริสุทธิ์จะมีสีแดง มีความแวววาว มีความแข็งและเหนียว มีน้ำหนักอะตอม 63.54 จุดหลอมเหลว 1,083 องศาเซลเซียส จุดเดือด 2,582 องศาเซลเซียส มีวาเลนซ์ +2 เป็นส่วนใหญ่ ส่วนวาเลนซ์ +1 มีน้อย

ข. การใช้ประโยชน์

ทองแดงมีสมบัติการนำไฟฟ้าและความร้อนดีเยี่ยม ทนต่อการผุกร่อน แข็งแรง ดึงเป็นเส้นและตีเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ จึงนิยมใช้ทำเส้นลวดไฟฟ้า วงจรไฟฟ้าและเครื่องมือไฟฟ้าต่าง ๆ และการชุบเคลือบอุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ โดยจะเคลือบทองแดงก่อนที่จะชุบนิกเกิล เนื่องจากโลหะนิกเกิลจะจับเกาะบนผิวทองแดงได้แน่นกว่าโลหะอื่น และใช้ทำโลหะเจือ เช่น ทองเหลือง (brass) คือ โลหะเจือของทองแดง (70%) และสังกะสี (30%) และทองสัมฤทธิ์ (bronze) เป็นโลหะเจือของทองแดง คอปเปอร์ และสังกะสีเล็กน้อย เหมืองโดยทั่วไปเป็นโลหะที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย

ค. การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

การปนเปื้อนของทองแดง เกิดจากการนำมาใช้ประโยชน์อย่างมากมาย ทำให้ทองแดงแพร่กระจายไปสู่สิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ดังเช่น กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม พบว่า ความเข้มข้นของทองแดงในแม่น้ำแม่กลอง มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.6-7.2 ไมโครกรัม/ลิตร ในปี 2531 ซึ่งเพิ่มขึ้นกว่าปีที่ผ่านมา สำหรับในอาหารต่าง ๆ จะมีทองแดงปนเปื้อนอยู่ทั่วไป สำหรับสารประกอบทองแดงในอากาศซึ่งทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกายได้มากกว่าทองแดงที่ละลายน้ำ เพราะโลหะทองแดงที่ร่างกายต้องการและใช้ประโยชน์ได้นั้น ต้องเป็นสารประกอบทองแดงที่ละลายน้ำได้ และถ้าดินในบริเวณใดมีปริมาณทองแดงสะสมอยู่มากหรือน้อยเกินไป จะมีผลให้การเจริญเติบโต

ของพืชลดลง เนื่องจากทองแดงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเอนไซม์ต่าง ๆ ที่มีความสำคัญต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันต่าง ๆ ในพืช เช่น tyrosinase เป็นต้น

ง. ความเป็นพิษ

ทองแดงเข้าสู่ร่างกายได้โดยการปนเปื้อนทางอาหารและการหายใจ ทองแดงเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต ร่างกายต้องการทองแดงวันละ 2 มิลลิกรัม เพื่อใช้ในการสร้างฮีโมโกลบิน และใช้ในกระบวนการเผาผลาญอาหาร (metabolism) และยังเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิด เช่น tyrosinase, acidoxidase, cytochrome oxidase การดูดซับทองแดง ส่วนใหญ่จะเกิดที่กระเพาะอาหาร แล้วเก็บสะสมไว้ที่ตับ ไต สมอง หัวใจและผม ในคนปกติจะมีทองแดงในเลือด 1 มิลลิกรัม/ลิตร ทั้งนี้เพศหญิงจะมี ปริมาณทองแดงในเลือดสูงกว่าในเพศชาย โดยเฉพาะผู้ที่คุมกำเนิดหรืออยู่ในระหว่างตั้งครรภ์ จะมีทองแดงในเลือดสูงถึง 2 มิลลิกรัม/ลิตร ถ้าร่างกายได้รับทองแดงมากเกินไปเกินความต้องการ จะมีอาการอ่อนเพลีย อาเจียน ท้องร่วง เม็ดเลือดแดงถูกทำลาย เกิดอาการตับวาย มีเลือดมากในทางเดินอาหารและหากได้รับคอปเปอร์ซัลเฟตในปริมาณมาก จะทำให้เกิดพิษเฉียบพลัน อาเจียน บางครั้งจะมีสีเขียวปนมากับอาเจียน ความดันโลหิตต่ำ คีซ่านหมดสติ คอปเปอร์ซัลเฟต 27 กรัม ทำให้ตายได้

นิกเกิล

ก. คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

นิกเกิลเป็นธาตุในหมู่ที่แปด(VIII B) ซึ่งหมู่นี้ประกอบด้วย เหล็ก โคบอลต์ นิกเกิล รูทีเนียม โรเดียม แพลเลเดียม ออสเมียม อิริเดียม และแพลทินัม โดยนิกเกิลจัดอยู่ในกลุ่มธาตุตระกูลเหล็ก (iron family) เป็นโลหะแข็ง มีความว่องไวปานกลางต่อปฏิกิริยา เป็นสารพาราแมกเนติก (ferromagnetic) ในธรรมชาติมักเกิดในรูปของซัลไฟด์ (NiS) เช่น แร่มิเกลไรต์ นิกเกิลบริสุทธิ์มีสีขาว วาวคล้ายเงิน มีน้ำหนักอะตอม 58.7 จุดหลอมเหลว $1,453^{\circ}\text{C}$ จุดเดือด $2,732^{\circ}\text{C}$ มีวาเลนซ์ +2 เป็นส่วนใหญ่ ส่วนวาเลนซ์ +3, +4, +6 มีน้อย

ข. การใช้ประโยชน์

นิกเกิลมีสมบัติทนต่อการกัดกร่อนเป็นอย่างดี โดยเฉพาะในสภาวะที่เป็นเบส เนื่องจากผิวของโลหะมักถูกเคลือบด้วยชั้นออกไซด์บาง ๆ ซึ่งเกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ จึงนิยมใช้ทำแบตเตอรี่ อิเล็กโทรดที่ใช้งานในสภาวะที่เป็นเบส และการชุบเคลือบอุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ เช่น ส่วนประกอบรถยนต์ เครื่องครัวประเภทสเตนเลสสตีล เป็นต้น สมบัติอีกข้อหนึ่งของนิกเกิลก็คือ เมื่อผลิตนิกเกิลให้มีสภาพพรุนที่เรียกว่า "นิกเกิลพรุน" (sponge nickel) นิกเกิลในสภาพนี้จะสามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนได้ดี และจะคายออกถ้ามีโมเลกุลอื่นที่เหมาะสมมารับ ดังนั้นจึงผลิต

นิกเกิลพูนสำหรับใช้เป็นตะขตะลิสต์ ในปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน ของพวกอัลคีน นิกเกิลยังใช้ผสมกับธาตุอื่น ๆ เป็นโลหะเจือ เช่น นิกเกิลผสมกับทองแดง เรียกว่า โมเนล (monel) ซึ่งมีนิกเกิลประมาณ 67% ทองแดงประมาณ 33% และมีอะลูมิเนียมกับซิลิคอนเล็กน้อย โมเนลสามารถทนต่อการกัดกร่อนของฟลูออรีนได้ จึงใช้ทำภาชนะบรรจุก๊าซฟลูออรีน นิกเกิลผสมกับโครเมียม เรียกว่า นิกโครม (nichrome) ประกอบด้วยนิกเกิลประมาณ 80% และโครเมียมประมาณ 20% ใช้ทำขดลวดความร้อนไฟฟ้า

ค. การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

นิกเกิลเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้จากการใช้นิกเกิลในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยปนอยู่กับอากาศและน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม นิกเกิลในบรรยากาศเกิดได้ทั้งจากธรรมชาติ โดยการพังทลายของดินหิน และเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์โดยพบว่า นิกเกิลในบรรยากาศจะอยู่ในลักษณะของละอองไอ (particulate aerosols) ซึ่งมีนิกเกิลปนอยู่ในความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ขึ้นกับแหล่งที่มา และพบว่าขนาดอนุภาคของนิกเกิลจากแหล่งที่มนุษย์สร้างขึ้น (manmade source) จะมีขนาดเล็กกว่านิกเกิลในธรรมชาติ การปนเปื้อนของนิกเกิลในบรรยากาศจากกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การหลอมและถลุงแร่ การผลิตอัลลอย (alloy) เป็นต้น จะมีนิกเกิลออกมาในรูปของเหล็ก-นิกเกิลออกไซด์ เพอร์โรนิกเกิล การปนเปื้อนของนิกเกิลในน้ำ เกิดจากสารประกอบนิกเกิลที่อยู่ในบรรยากาศละลายในน้ำฝนแล้วตกลงสู่แหล่งน้ำ รวมทั้งจากอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่ปล่อยน้ำเสียที่มีนิกเกิลปนอยู่ออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น น้ำเสียจากการล้างโลหะที่ผ่านขบวนการชุบเคลือบ นิกเกิลในโรงงานประกอบรถยนต์ โรงงานชุบโลหะ เป็นต้น

ง. ความเป็นพิษ

สารประกอบของนิกเกิลที่เป็นพิษต่อมนุษย์มากที่สุด จะอยู่ในรูปของนิกเกิลคาร์บอเนล ซึ่งอยู่ในฝุ่นนิกเกิล ทำให้เกิดอาการพิษเฉียบพลัน เมื่อหายใจเข้าสู่ร่างกาย โดยทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ หน้ามืด คลื่นเหียนอาเจียน ระบายท้อง ท้ายสุดอาจมีอาการแน่น หน้าอก ไอ คล้ายโรคปอดอักเสบจากเชื้อไวรัส (viral pneumonia) คือ มีเลือดออก น้ำท่วมปอด และความผิดปกติของเซลล์อัลวีโอล (alveoli cell) และเยื่อปอด รวมทั้งมีผลกระทบต่อการทำงานของตับ ไต ต่อมน้ำนมโต ม้ามและสมอง ซึ่งจะทำให้ผู้ป่วยถึงแก่ชีวิตในที่สุด

คนงานที่ต้องสัมผัสกับสารประกอบนิกเกิลที่ละลายในน้ำ เช่น คนงานในโรงงานชุบโลหะทำให้เกิดอาการภูมิแพ้ ในหลายประเทศพบว่า ผู้ที่มีความไว (sensitive) ต่อสารประกอบนิกเกิลจะมีอาการมือเป็นแผลเปื่อย บางกรณีพบว่า อาการรุนแรงถึงทำให้สูญเสียอวัยวะ

ปริมาณทองแดงและนิกเกิลในมาตรฐานน้ำทิ้ง

ลักษณะน้ำทิ้งจากกิจการอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539) เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงาน อุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535 และ ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539) เรื่องกำหนด คุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษา คุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 ได้กำหนดปริมาณทองแดงและนิกเกิลในน้ำทิ้งจากโรงงาน อุตสาหกรรมให้มีค่าไม่มากกว่า 2.0 มิลลิกรัม/ลิตร และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

บทปฏิบัติการที่ 3

เรื่อง พิษของทองแดงและนิกเกิลที่มีต่อการเจริญเติบโตของเมล็ดถั่วเขียว

หลักการ

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความกว้างจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23 ถึง 92 ถูกจัดตำแหน่งไว้ในคาบที่ 4 ถึง 7 ของตารางธาตุ มีสถานะเป็นของแข็ง (ยกเว้นปรอท ซึ่งเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ) คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะหนัก คือ นำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีความมันวาว เหนียว สามารถนำมาตีเป็นแผ่นบาง ๆ ได้และสะท้อนแสงได้ดี ส่วนคุณสมบัติด้านเคมีที่สำคัญของโลหะหนัก คือ มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า

โลหะหนัก ที่ก่อให้เกิดมลพิษในสิ่งแวดล้อมนั้น ส่วนใหญ่เกิดจากการใช้โลหะหนักนั้นในกระบวนการของอุตสาหกรรม คือ ปรอท ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง โครเมียม และนิกเกิล เป็นต้น โดยที่เมื่อมีปริมาณโลหะหนักเหล่านี้อยู่มากในสิ่งแวดล้อม โลหะเหล่านี้ก็จะมีโอกาสเข้าไปในร่างกายของสิ่งมีชีวิตได้และเมื่อสะสมอยู่เป็นระยะเวลายาว ก็จะทำให้เกิดอาการเป็นพิษขึ้นเมื่อสะสมถึงระดับที่เป็นพิษ

จุดประสงค์

1. ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของทองแดงและนิกเกิลที่มีต่อการเจริญเติบโตของเมล็ดถั่วเขียว
2. บอกความแตกต่างของการเจริญเติบโตของเมล็ดถั่วเขียวที่ปลูกในน้ำที่มีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ กับที่ไม่มีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่

สารเคมีและอุปกรณ์

1. บีกเกอร์ขนาด 250 ml 4 ใบ
2. บีกเกอร์ขนาด 100 ml 1 ใบ
3. ทราย 450 ลูกบาศก์เซนติเมตร
4. เมล็ดถั่วเขียว 60 - 70 เมล็ด
5. จานแก้ว 4 ใบ
6. สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรตเข้มข้น $1 \times 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$ 50 cm^3

7. สารละลายนิกเกิลซัลเฟตเพนตะไฮเดรตเข้มข้น 1×10^{-2} mol/dm ³	50 cm ³
8. น้ำกลั่น	50 cm ³
9. น้ำในชุมชน (หรือน้ำประปา)	50 cm ³
10. ไม้บรรทัด	1 อัน
11. ปากคีบ	1 อัน

วิธีการทดลอง

1. คัดเมล็ดถั่วเขียวให้มีขนาดใกล้เคียงกันมากที่สุด จำนวน 60-70 เมล็ด ล้างน้ำให้สะอาดเตรียมไว้ทำการทดลองต่อไป (เตรียมก่อนล่วงหน้า)
2. ใช้บีกเกอร์ขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตวงทรายใส่บีกเกอร์ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทั้งหมด 4 ใบ โดยมีทรายใบละประมาณ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
3. ใส่สารละลายต่อไปนี้ ชนิดละ 40 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงในแต่ละบีกเกอร์ ดังนี้
 บีกเกอร์ที่ 1 สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรตเข้มข้น 1×10^{-2} mol/dm³
 บีกเกอร์ที่ 2 สารละลายนิกเกิลซัลเฟตเพนตะไฮเดรตเข้มข้น 1×10^{-2} mol/dm³
 บีกเกอร์ที่ 3 น้ำกลั่น
 บีกเกอร์ที่ 4 น้ำในชุมชน (หรือน้ำประปา)
4. นำเมล็ดถั่วเขียวที่คัดไว้จากข้อ 1 ใส่ลงในบีกเกอร์ที่เตรียมไว้ในข้อ 3 บีกเกอร์ละ 15 เมล็ด โดยวางให้กระจายไปทั่ว เอาจานแก้วปิดปากบีกเกอร์ไว้ นำไปวางไว้ในสภาวะแวดล้อมเดียวกันทั้ง 4 ใบ
5. เมื่อครบวันที่ 1 วัดความยาวของรากที่งอก ในแต่ละบีกเกอร์ โดยสุ่มหยิบเมล็ดถั่วขึ้นมาวัดบีกเกอร์ละ 3 เมล็ด แล้วหาค่าเฉลี่ย และสังเกตลักษณะทั่วไปของเมล็ดถั่วเหล่านั้นด้วย บันทึกผลลงในตาราง เมล็ดถั่วที่นำมาวัดความยาวของรากที่งอกแล้ว ไม่นำกลับเข้าไปใส่ในบีกเกอร์เดิมให้น้ำไปทิ้ง ปิดจานแก้วไว้เช่นเดิม เมื่อครบวันที่ 2 ให้ปฏิบัติเช่นเดียวกับวันที่ 1
6. เมื่อครบวันที่ 3 เอาจานแก้วที่ปิดไว้ออก สุ่มหยิบเมล็ดถั่วขึ้นมาบีกเกอร์ละ 3 เมล็ด วัดความยาวของลำต้นแล้วหาค่าเฉลี่ย และสังเกตลักษณะทั่วไป บันทึกผลการทดลองลงในตาราง (เมล็ดถั่วที่นำมาวัดความยาวของลำต้นแล้วให้นำไปทิ้ง) ปฏิบัติเช่นเดียวกันเมื่อครบวันที่ 4 และ 5 และสรุปผลการทดลอง

รายงานการทดลอง

บทปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง พืชของทองแดงและนิคเกิลที่มีต่อการเจริญเติบโตของเมล็ดถั่วเขียว

วัน/เดือน/ปี ชื่อผู้ทดลอง 1. ชั้น เลขที่

กลุ่มที่ 2. ชั้น เลขที่

จุดประสงค์การทดลอง

.....

ผลการทดลอง

วันที่ (นับจากเริ่มเพาะ)	ปีเกอร์ ที่	ความยาวของราก (ความยาวของลำต้น)				ลักษณะทั่วไป ที่สังเกตเห็น
		ต้นที่ 1 (mm.)	ต้นที่ 2 (mm.)	ต้นที่ 3 (mm.)	ค่าเฉลี่ย (mm.)	
1	1	.....	.....	.....	.....	.....
	2	.....	.....	.....	.....	.....
	3	.....	.....	.....	.....	.....
	4	.....	.....	.....	.....	.....
2	1	.....	.....	.....	.....	.....
	2	.....	.....	.....	.....	.....
	3	.....	.....	.....	.....	.....
	4	.....	.....	.....	.....	.....
3	1	.....	.....	.....	.....	.....
	2	.....	.....	.....	.....	.....
	3	.....	.....	.....	.....	.....
	4	.....	.....	.....	.....	.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. เมล็ดถั่วเขียวที่ปลูกในบีกเกอร์ใดตายภายในเวลาที่ทดลอง นักเรียนคิดว่าเป็นเพราะเหตุใด ?

.....

.....

.....

2. ถ้าเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเป็น $1 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$ นักเรียนคิดว่าเมล็ดถั่ว จะสามารถเจริญเติบโตเช่นเดียวกับในน้ำกลั่นหรือไม่ เพราะเหตุใด ? จงคิดเช่นนั้น

.....

.....

.....

3. จงอธิบายว่าสารพิษที่มีผลต่อห่วงโซ่อาหาร และมีสุขภาพของมนุษย์อย่างไร ?

.....

.....

.....

4. จงอธิบายถึงผลเสียจากการปล่อยน้ำทิ้งที่มีโลหะหนักลงสู่แหล่งน้ำ พร้อมยกตัวอย่าง ?

.....

.....

.....

ใบความรู้ประกอบบทปฏิบัติการที่ 4

เรื่อง การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานหุบโลหะ

สาระสำคัญ

สิ่งปนเปื้อนที่ละลายในน้ำ มีทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ และจะมีชนิดใดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งวิธีการบำบัดน้ำเสียในปัจจุบันมีกรรมวิธีหรือกระบวนการ 4 ประเภท ได้แก่

ประเภทที่ 1 การบำบัดทางกายภาพ (physical treatment) ได้แก่ การแยกสารที่เป็นของแข็งออกจากน้ำเสียโดยวิธีทางกายภาพ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงธรรมชาติของสารที่ถูกกำจัดออก เช่น

- ก. การคัดด้วยตะแกรง (screening)
- ข. การกวาดฝ้าไขที่ลอยบนผิวน้ำ (skimming)
- ค. การทำให้ลอยตัว (flotation) โดยอัดอากาศเข้าไปภายใต้ความดัน สารจะเกาะติดกับฟองอากาศลอยขึ้นสู่ผิวน้ำและถูกกวาดออกได้
- ง. การตกตะกอน (sedimentation)
- จ. การแยกด้วยแรงหมุนเหวี่ยง (centrifugation)
- ฉ. การกรอง (filtration)

ประเภทที่ 2 การบำบัดทางเคมี (chemical treatment) ได้แก่ การกำจัดสารโดยใช้ปฏิกิริยาทางเคมี สารใหม่ที่ได้จะมีความเป็นพิษน้อยลง หรือเปลี่ยนรูปเป็นสารอื่นที่สามารถกำจัดได้ง่ายขึ้น เช่น

- ก. การทำให้เป็นกลาง (neutralization) เป็นการปรับ pH ด้วยการเติมกรดหรือด่างให้ได้ pH ประมาณ 7
- ข. การทำให้เกิดตะกอนโดยใช้สารเคมี (precipitation)
- ค. การออกซิเดชัน-รีดักชัน (oxidation-reduction)
- ง. การรวมตัวของสารแขวนลอยโดยการเติมสารเคมี (coagulation-flocculation) เช่น อะลูมิเนียมซัลเฟต (alum) หรือเฟอร์ริกคลอไรด์ เป็นต้น
- จ. การฆ่าเชื้อโรค (disinfection) โดยใช้คลอรีน โอโซน เป็นต้น

ประเภทที่ 3 การบำบัดทางชีวภาพ (biological treatment) ได้แก่ การแยกเอาสารอินทรีย์และแร่ธาตุบางอย่างออกจากน้ำเสีย โดยการใช้จุลินทรีย์เป็นตัวย่อยสลาย จุลินทรีย์จะใช้สารเหล่านี้เป็นธาตุอาหาร เพื่อเจริญเติบโตและแพร่พันธุ์ ทำให้มีจุลินทรีย์เพิ่มจำนวนมากขึ้น ซึ่งต้องแยกออกจากน้ำ และกำจัดต่อไป จุลินทรีย์ที่ใช้มี 2 ประเภท ได้แก่ จุลินทรีย์ที่ใช้อากาศ (aerobic bacteria) และ จุลินทรีย์ที่ไม่ใช้อากาศ (anaerobic bacteria)

ก. การบำบัดโดยใช้จุลินทรีย์ที่ใช้อากาศ (aerobic treatment) เช่น

- บ่อเติมอากาศ (aerated lagoon)
- ระบบแอส (activated sludge)
- ระบบโปรยกรอง (tricking filter)
- ระบบอาร์บีซี (RBC หรือ Rotating Biological Contactor)
- ระบบไนตริฟิเคชัน (nitrification) ได้แก่ การเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนเตรด
- การย่อยแบบใช้อากาศ (aerobic digestion)

ข. การบำบัดโดยใช้จุลินทรีย์ที่ไม่ใช้อากาศ (anaerobic treatment)

- การกรองแบบไร้อากาศ (anaerobic filter)
- ระบบดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) ได้แก่ การเปลี่ยนไนเตรดเป็นก๊าซไนโตรเจน
- การย่อยแบบไร้อากาศ (anaerobic digestion)

ประเภทที่ 4 การบำบัดทางกายภาพ-เคมี (physical-chemical treatment) ได้แก่ การใช้คุณสมบัติทางกายภาพและปฏิกิริยาเคมีร่วมกัน เช่น

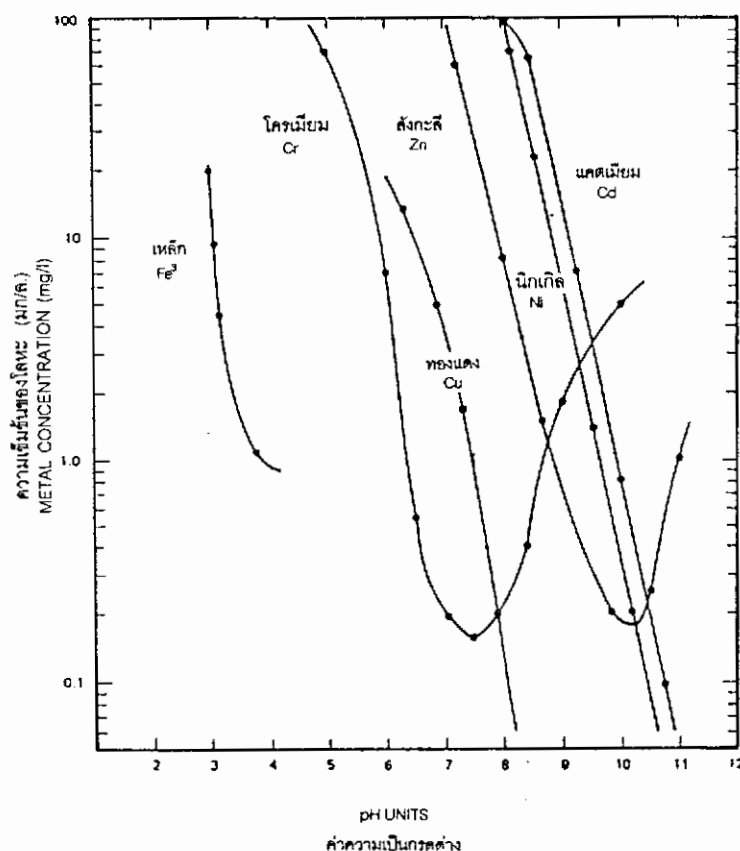
- การดูดซับด้วยถ่าน (carbon adsorption)
- การแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange)
- การออสโมซิสผันกลับ (reverse osmosis, R/O)
- การแยกก๊าซหรือสารประกอบที่ระเหยเป็นไอได้ง่ายจากน้ำเสีย ในขณะที่น้ำสัมผัสกับอากาศ

ในกระบวนการชุบโลหะจะมีการใช้สารเคมี น้ำกรด ต่าง เกลือโลหะ เช่น การชุบโครเมียม การชุบทอง การชุบสังกะสี การชุบคิงก ซึ่งในบทปฏิบัติการที่ 2 ได้แสดงขั้นตอนกระบวนการชุบ โครเมียม ไว้ในภาพประกอบ 16 น้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะ เป็นน้ำทิ้งที่มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต ถ้าน้ำทิ้งนั้นไม่ได้ผ่านการบำบัดอย่างเหมาะสม เนื่องจากน้ำทิ้งนั้น มักมีสภาพเป็นกรด ต่าง และมีพวกโลหะต่าง ๆ ปนเปื้อนอยู่ในปริมาณสูง

น้ำทิ้งที่ออกจากโรงงานชุบโลหะ ส่วนใหญ่มาจากการล้างทำความสะอาดชิ้นงานที่ผ่านขั้นตอนต่าง ๆ ของการชุบ ซึ่งมีสภาพเป็นกรดและด่าง ดังนั้นวิธีการกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่ละลายอยู่ในน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะ จึงนิยมใช้วิธีทางเคมีและกายภาพ-เคมี ในที่นี้จะอธิบายวิธีทางเคมีเกี่ยวกับการทำให้เกิดตะกอนโดยใช้สารเคมีและการออกซิเดชัน-รีดักชัน และวิธีทางกายภาพ-เคมีนั้น จะอธิบายเฉพาะการคลุ่ดด้วยถ่านและการแลกเปลี่ยนประจุ ดังนี้

1. การทำให้เกิดตะกอน เป็นการเติมสารลงไปในน้ำ เพื่อให้ไปทำปฏิกิริยากับโลหะหนักที่ละลายอยู่ในน้ำทิ้งเกิดเป็นตะกอนหนักซึ่งจมตัวได้ ซึ่งตะกอนนี้จะต้องนำไปฝังกลบให้ถูกวิธีต่อไป และเนื่องจากที่ค่าความเป็นกรดด่างต่าง ๆ กันการเกิดตะกอนของโลหะชนิดต่าง ๆ จะไม่เหมือนกัน ทั้งนี้หากพิจารณาจากภาพประกอบ 18 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ที่ค่า pH ต่าง ๆ โลหะจะเกิดตะกอนจนเหลือโลหะละลายในน้ำน้อยที่สุดต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น ที่ค่า pH 7.5 โครเมียมจะเกิดตะกอนจนเหลือละลายในน้ำน้อยที่สุด ที่ค่า 0.15 มิลลิกรัม/ลิตร และไม่ว่าจะเพิ่มหรือลดค่า pH อีก โครเมียมกลับจะละลายกลับคืนได้มากขึ้น ส่วนสังกะสี จะเกิดตะกอนสังกะสีไฮดรอกไซด์จนเหลือละลายอยู่ที่ ค่า 3.0 มิลลิกรัม/ลิตร ทองแดงจะเหลือละลายต่ำที่สุดประมาณ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร แต่หากปรับค่า pH 10 โครเมียมจะละลายในน้ำทิ้งได้เพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 4 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนแคดเมียมจะละลายได้น้อยลง จนเหลือความเข้มข้นประมาณ 0.8 มิลลิกรัม/ลิตร และนิกเกิลจะเหลือละลายอยู่เพียง 0.4 มิลลิกรัม/ลิตร ในขณะที่จะเป็นจุดที่สังกะสีลดเหลือความเข้มข้นในน้ำทิ้งลงได้ต่ำสุด โดยลดลงไปที่ค่า 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร

ดังนั้น ในกรณีที่มีโลหะต่าง ๆ ปนกันอยู่ในน้ำเสียที่ต้องการบำบัด การปรับค่า pH จะต้องเป็นค่าที่ทำให้สารที่มีอันตรายมากที่สุด เหลือความเข้มข้นในน้ำทิ้งต่ำสุด หรือตามที่กฎหมายกำหนด ในบางครั้งอาจจำเป็นต้องแยกน้ำเสียออกไปปรับค่า pH ใหม่ เพื่อตกตะกอนโลหะตัวอื่นให้เหลือความเข้มข้นไม่เกินค่าที่กฎหมายกำหนดไว้

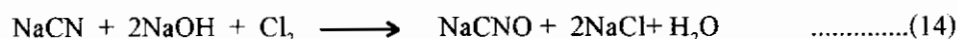


ภาพประกอบ 18 การตกตะกอนเกลือโลหะต่าง ๆ ที่ค่าความเป็นกรดต่าง ๆ กัน
ที่มา: ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 11 (3) : กันยายน ธันวาคม ;
หน้า 45, 2539

2. ออกซิเดชัน-รีดักชัน เป็นวิธีการทางเคมีที่ใช้กันมากในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะซึ่งมีสารประกอบของโลหะต่าง ๆ เจือปนอยู่ โดยในการกำจัดจะมีการเติมสารเคมีลงไปเพื่อให้ทำปฏิกิริยาเติมออกซิเจน หรือลดออกซิเจนกับสารประกอบที่ต้องการกำจัด ทำให้สารประกอบนั้นเปลี่ยนรูปไปเป็นสารประกอบอื่นที่ไม่เป็นพิษหรือตกตะกอนได้ สารเคมีที่ใช้เป็นตัวเติมออกซิเจน เรียกว่า ออกซิไดซ์จิงค์เอเจนต์ (oxidizing agent) ได้แก่ อากาศ ออกซิเจน โอโซน คลอรีน ไฮโปคลอไรท์ เปอร์แมงกานेट โครเมต และไนเตรต ตัวลดออกซิเจน เรียกว่า

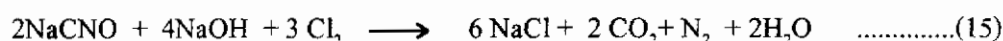
รีดิวซ์ซิงค์เอเจนต์ (reducing agent) ได้แก่ เฟอรัสซัลเฟต โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ซัลเฟอร์ ไดออกไซด์ ฯลฯ

ตัวอย่างการกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งด้วยวิธีออกซิเดชัน ได้แก่ การกำจัดไซยาไนด์ ในน้ำเสียของโรงงานชุบโลหะ สารเคมีที่นิยมใช้คือ คลอรีน หรือ ไฮโปคลอไรท์ ปฏิกริยาเกิดขึ้นในสภาพที่เป็นด่าง



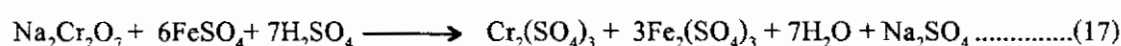
ปฏิกริยานี้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ประมาณ 80-90 % ของไซยาไนด์ จะถูกเปลี่ยนเป็น NaCNO ซึ่งไม่มีพิษ ภายใน 2 นาที

หากเติมคลอรีนลงไปมากเกินไปพอ ไซยาเนทจะถูกทำลายกลายเป็นไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการ

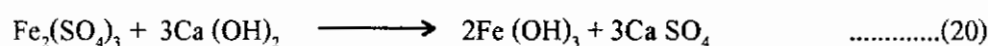
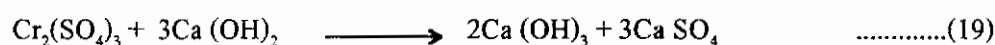


ปฏิกริยาก่อนข้างช้า ต้องใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง

ตัวอย่างการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีรีดักชัน คือการกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะที่มีสารประกอบโครเมทหรือกรดโครมิกละลายปนอยู่ นิยมใช้เฟอรัสซัลเฟตไปทำปฏิกริยากับสารประกอบโครเมท ดังสมการ



ปฏิกริยานี้เกิดขึ้นได้ดีที่ pH ต่ำกว่า 3 - 2.5 จึงต้องเติมกรดกำมะถันลงไปด้วย จากนั้นเติมปูนขาวลงไปเพื่อตกตะกอน $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ และ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ดังสมการ



3. การดูดซับด้วยถ่าน ได้แก่ การกำจัดสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ และไม่ถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาทางชีวภาพ เช่น สารที่ทำให้เกิดสี โดยการให้ถูกดูดไว้ที่ผิวของถ่านไวงาน (activated carbon) ซึ่งสามารถนำไปฟื้นฟูสภาพ (regenerate) ได้ด้วยการเผาให้สารอินทรีย์ระเหยไป

4. การแลกเปลี่ยนไอออน เป็นปรากฏการณ์ชนิดหนึ่ง ซึ่งมีการสับเปลี่ยนไอออนกันไปมา (reversible interchange) ระหว่างตัวกลาง 2 ชนิด คือตัวกลางของของเหลว หรือตัวกลางของแข็ง โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางค่านโครงสร้างของตัวกลางของแข็งที่เรียกว่า สารแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ซีโอไลต์ (zeolite) และเรซินแลกเปลี่ยนไอออน (resinuos ion exchanger)

สำหรับโรงงานชุมชนขนาดเล็ก ขนาดกลาง ส่วนมากนิยมใช้วิธี ประหยัดและเหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้ง คือ การทำให้เกิดตะกอน โดยวิธี Batch Process (ใช้งานทำการกำจัดโลหะหนักเป็นครั้ง ๆ ไม่ต่อเนื่อง) ซึ่งมีขั้นตอนการปฏิบัติดังต่อไปนี้

1. แยกน้ำเสียที่มีไซยาไนด์ (cyanide) ออกจากน้ำทิ้งที่มีโครเมียม (Cr) (ถ้าเราสามารถทำได้)

2. กำจัดไซยาไนด์โดยการ

2.1 ปรับค่า pH 10.5 โดยใช้โซดาไฟ (NaOH)

2.2 เติมตัวออกซิไดซ์ เช่น คลอรีน (Cl_2) หรือโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ($Na(OCl)$) แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ ($Ca(OCl_2)$) เป็นต้น แล้วเป่าอากาศ 30 นาที

ถ้าหากน้ำมีนิเกิล (Ni) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) หรือโลหะอื่น ๆ ที่ละลายอยู่ให้ทำการขจัดขั้นต่อไป

2.3 ถ้าหากไม่มีโลหะชนิดอื่น ๆ ละลายอยู่ให้ปรับ pH = 8.5 ด้วยกรดกำมะถัน (H_2SO_4) แล้วปล่อยน้ำทิ้งสู่แหล่งน้ำหรือทางระบายน้ำสาธารณะได้

3. การกำจัดโครเมียม

3.1 ปรับค่า pH 2.5 ด้วยกำมะถัน

3.2 เติมเฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4$) แล้วกวน 30 นาที

3.3 ปรับค่า pH 8.5 ด้วยปูนขาว

3.4 กวน 30 นาที ในระหว่างนี้ถ้ามีนิเกิล ทองแดง หรือสังกะสี ละลายอยู่ก็จะถูกทำปฏิกิริยาให้สามารถตกตะกอนได้

3.5 ปล่อยให้ตกตะกอน 4 ชั่วโมง

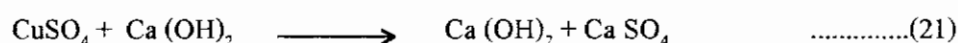
3.6 ปล่อยน้ำใส (effluent) ข้างบนทิ้ง

3.7 ปล่อยตะกอน (sludge) ลงถึงกรองตะกอน (sand dry bed) ส่วนที่เป็นตะกอน จะถูกกรองติดอยู่บนผิวทราย และจะแห้งไปในที่สุด และส่วนที่เป็นน้ำจะไหลผ่านชั้นทราย- หิน - อิฐ และไหลไปสู่ถังเก็บน้ำเสีย (raw waste tank) เพื่อทำการกำจัดซ้ำ

ในการกำจัดทองแดงและนิกเกิลที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย สามารถปรับ pH ของน้ำเป็น เบส เพื่อให้เกิดตะกอนของโลหะไฮดรอกไซด์ ซึ่งในการทดลองครั้งนี้กำจัดทองแดงและนิกเกิล โดยการเติมปูนขาว ดังนี้

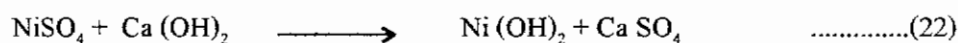
4. การกำจัดทองแดง

ปรับค่า pH ประมาณ 8 - 9 โดยใช้ปูนขาวจะเกิดตะกอนสารประกอบทองแดง ไฮดรอกไซด์ ดังปฏิกิริยา



5. การกำจัดนิกเกิล

ปรับค่า pH ประมาณ 10 - 11 โดยใช้ปูนขาวจะเกิดตะกอนสารประกอบนิกเกิล ไฮดรอกไซด์ ดังปฏิกิริยา



6. ดำเนินการต่อคั้งข้อ 3.7

บทปฏิบัติการที่ 4

เรื่อง การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะด้วยการทำให้เกิดตะกอน

หลักการ

การทำให้เกิดตะกอนเป็นการเติมสารลงไปทำปฏิกิริยากับโลหะหนักที่ละลายอยู่ในน้ำเสียให้เกิดเป็นตะกอน แยกตะกอนโลหะหนักออกจากน้ำ โดยให้น้ำใสที่ไม่มีโลหะหนักไหลล้นออกมา ส่วนตะกอนที่เกิดขึ้นจะตกจมที่ก้นถัง

การที่ทำให้ทองแดงและนิกเกิลเกิดตะกอน ทำได้ โดยเติมปูนขาวลงไปในสารละลาย ซึ่งทำให้สารละลายมีค่า pH เปลี่ยนไป ที่ pH ประมาณ 10 - 11 นิกเกิลจะตกตะกอน เหลืออยู่ในน้ำเพียง 0.4 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ pH ประมาณ 8 - 9 ทองแดงจะตกตะกอน เหลืออยู่ในน้ำเพียง 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่ไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดไว้

เมื่อแยกเอาตะกอนของทองแดงและนิกเกิลออกแล้ว สามารถตรวจสอบว่าน้ำนั้นมีทองแดงเหลืออยู่หรือไม่ โดยอาศัยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินกับแอมโมเนีย ส่วนนิกเกิลอาศัยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่เป็นตะกอนสีแดงกับโคบอลต์ไกลออกซิม

จุดประสงค์

1. ทำการทดลองบำบัดน้ำที่มีโลหะหนักปนเปื้อนโดยวิธีการทำให้เกิดตะกอนได้
2. ทำการตรวจสอบได้ว่า ทองแดงและนิกเกิลได้ถูกกำจัดไปจากน้ำเสียแล้ว
3. อธิบายหลักการบำบัดน้ำทิ้งที่มีโลหะหนักโดยวิธีการทำให้เกิดตะกอนได้

สารเคมีและอุปกรณ์

สารละลายคอปเปอร์เพนตะไฮเดรตเข้มข้น $1 \times 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$ ($\text{Cu SO}_4 \cdot 5 \text{ H}_2\text{O}$)	100 cm^3
สารละลายนิกเกิลซัลเฟตเฮกซะไฮเดรตเข้มข้น $1 \times 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$ ($\text{Ni SO}_4 \cdot 6 \text{ H}_2\text{O}$)	100 cm^3
สารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 3 mol/dm^3	10 cm^3
สารละลายโคบอลต์ไกลออกซิม 1 %	2 cm^3
น้ำกลั่น	250 cm^3
บีกเกอร์ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร	4 ใบ

บีกเกอร์ขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร	1 ใบ
แท่งแก้วคน	2 อัน
ชุดกรอง	2 ชุด
กระดาษยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์	5 แผ่น
ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml	2 ใบ
ช้อนตักสารเบอร์ 1	2 อัน
ปูนขาว	

วิธีการทดลอง

ตอนที่ I การกำจัดทองแดงและนิกเกิล

1. เตรียมสารละลายนิกเกิลซัลเฟตเฮกซะไฮเดรตเข้มข้น 1×10^{-2} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร และสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรตเข้มข้น 1×10^{-2} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร เทสารละลายที่เตรียมทั้งสองใส่บีกเกอร์ ขนาด 250 cm^3 โดยแยกใส่สารละลายแต่ละบีกเกอร์ สังเกตลักษณะของสารละลาย และวัดค่า pH ด้วยกระดาษยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์

2. เติมปูนขาวลงในสารละลายทั้ง 2 โดยในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรตเข้มข้น 1×10^{-2} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ให้เติมจนมี pH ประมาณ 8-9 (ปูนขาว 3/4 ช้อนเบอร์ 1) สำหรับสารละลายนิกเกิลซัลเฟตเฮกซะไฮเดรตเข้มข้น 1×10^{-2} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ให้เติมจนมี pH ประมาณ 10-11 (ปูนขาว 1 ช้อนเบอร์ 1) โดยใช้กระดาษยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ วัดค่า pH สังเกตผลการทดลองและบันทึกผลลงในตาราง

3. กรองตะกอนที่เกิดขึ้นจากสารละลายในข้อ 2 ด้วยชุดกรอง (ที่เหนือชั้นทรายให้วางกระดาษกรองก่อน) โดยกรองแยกสารละลายละ 1 ชุด ไม่ปะปนกัน จะสารละลายที่ติดในบีกเกอร์ด้วยน้ำกลั่น กรองน้ำกลั่นผ่านชุดกรอง จนสารละลายที่กรองได้มีปริมาตร 100 cm^3

4. เก็บน้ำที่ผ่านการกรองไว้ทำการทดลองตอนที่ II และเก็บรวบรวมกระดาษกรองที่วางอยู่เหนือชั้นทรายไว้เพื่อนำไปกำจัดต่อไป

ตอนที่ II การตรวจทองแดงและนิกเกิล

นำน้ำที่ผ่านการกรองมาตรวจสอบหาทองแดงและนิกเกิล

1. นำน้ำที่ได้จากสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต มาเติมสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 3 mol/dm^3 จำนวน 8 ลูกบาศก์เซนติเมตร สังเกตและบันทึกผลการทดลอง
2. นำน้ำที่ได้จากสารละลายนิกเกิลซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต มาเติมสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 3 mol/dm^3 จำนวน 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเติมสารละลายโคบอลต์ไกลออกไซด์ 1% จำนวน 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร สังเกตและบันทึกผลการทดลอง

รายงานการทดลอง

บทปฏิบัติการที่ 4 เรื่อง การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะด้วยการทำให้เกิดตะกอน

วัน/เดือน/ปี ชื่อผู้ทดลอง 1. ชั้น เลขที่

กลุ่มที่ 2. ชั้น เลขที่

จุดประสงค์การทดลอง

.....

.....

.....

ผลการทดลองที่ I

สารละลาย	pH	ลักษณะของสารละลาย	pH	ลักษณะของสารละลายเมื่อเติมปูนขาว
Cu SO ₄ · 5H ₂ O				
				
Ni SO ₄ · 6H ₂ O				
				

ผลการทดลองที่ II

สารละลาย	ลักษณะของสารละลายเมื่อผ่านขั้นตอน		
	การกรอง	ตรวจสอบทองแดง	ตรวจสอบนิกเกิล
Cu SO ₄ · 5H ₂ O			-
Ni SO ₄ · 6H ₂ O		-	

สรุปผลการทดลอง

คำถามท้ายการทดลอง

1. การกำจัดโลหะทองแดง และนิกเกิลที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำควรทำอย่างไร ?

.....

.....

.....

2. นักเรียนสามารถสรุปแนวทางในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะได้อย่างไร จงอธิบาย ?

.....

.....

.....

3. เหตุใดจึงเลือกใช้ปูนขาวในการทำให้โลหะหนักตกตะกอน ?

.....

.....

.....

4. เมื่อนำสารละลายทั้งสองชนิดมากรองผ่านชุดกรอง นักเรียนคิดว่าสิ่งที่เหลืออยู่บนกระดาษกรอง น่าจะเป็นอะไร เพราะเหตุใด ?

.....

.....

.....

5. ถ้านักเรียนทราบว่าน้ำที่นักเรียนนำมาทดลองมีทั้งทองแดงและนิกเกิลปนเปื้อนอยู่ นักเรียนจะกำจัดโลหะหนักทั้งสองชนิดอย่างไร จงอธิบาย ?

.....

.....

.....

.....

ใบความรู้ประกอบบทปฏิบัติการที่ 5

เรื่อง คุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนักของวัสดุธรรมชาติ

สาระสำคัญ

การกำจัดโลหะหนักโดยวัสดุธรรมชาติ

วัสดุธรรมชาติ คือ เศษของพืช หรือ วัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมทางการเกษตรที่เป็นชิ้นส่วนที่ถูกตัดทิ้ง คัดออก แยกออก ในขั้นตอนการเก็บเกี่ยว หรือขั้นตอนต่าง ๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม ชีวิตประจำวัน หรือวัชพืชที่ขึ้นอยู่ตามธรรมชาติ จากการศึกษาพบว่าวัสดุธรรมชาติมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออนได้ตามธรรมชาติ เนื่องจากส่วนประกอบของวัสดุธรรมชาติมีองค์ประกอบของเซลลูโลส ลิกนิน ซึ่งภายในโครงสร้างประกอบด้วย หมู่ฟังก์ชันนัลที่มีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออนได้

จากการพิจารณาคุณสมบัติของวัสดุธรรมชาติ เมื่อตากแห้งพบว่ามีเซลลูโลส 40 - 80% ซึ่งเซลลูโลสที่อยู่ในสภาพแห้งสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ แต่ความสามารถในการดูดซับโลหะหนักเพื่อการแลกเปลี่ยนไอออนขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเซลลูโลสของวัสดุธรรมชาติแต่ละชนิด

คุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนักของวัสดุธรรมชาติ

การดูดซับหรือการดูดติดผิว (adsorption) เป็นปรากฏการณ์ที่โมเลกุลของของไหลหรือคอลลอยด์ เคลื่อนที่ไปสัมผัสและเกาะติดแน่นอยู่บนผิวของของแข็ง โดยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ต่างชนิดกันของสารที่เป็นของแข็งและของไหลนั้น สารของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของโมเลกุลหรือคอลลอยด์ เรียกว่า ตัวดูดซับ (adsorbent) ส่วนโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่มาเกาะจับ เรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (adsorbate) โดยการเกาะจับของโมเลกุลบนผิวของสารดูดซับ สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผล 3 ประการ คือ

1. การเกาะจับของโมเลกุลบนผิวของสารดูดซับ อาจเกิดขึ้นด้วยแรงแวน เดอวาลส์ (Van Der Waals Force) หรือ เกิดขึ้นโดยมีพันธะเคมี (chemisorption) หรือทั้งสองอย่างรวมกัน
2. ความสามารถในการดูดซับ (adsorbability) เนื่องจากตัวดูดซับมีพื้นผิวเป็นรูพรุน (porosity) ทำให้โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเกาะอยู่ที่รูพรุนนั้น
3. สารดูดซับมีประจุบนพื้นผิว สามารถดูดซับกับวัตถุอื่น ๆ ที่มีประจุตรงกันข้าม ทำให้เกิดการเกาะติดกันได้ สภาพดังกล่าวนี้ คล้ายปรากฏการณ์ของการแลกเปลี่ยนไอออน

ประเภทของการดูดซับ

สารที่มีอำนาจดูดโมเลกุลต่าง ๆ มาติดผิวได้ เรียกว่า ตัวดูดซับ มีหลายชนิด อาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. ประเภทสารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่าง ๆ , แมกนีเซียมออกไซด์, ถ่านกระดูก (bone charcoal), แอคทีเวตเตดซิลิกา (activated silica) เป็นต้น มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50-200 ตารางเมตร/กรัม มีข้อเสียคือ สามารถจับโมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด การใช้ประโยชน์จึงมีจำกัด

2. ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) หรือ ถ่านไวงาน เป็นสารดูดติดผิว ที่ดีกว่าสารอนินทรีย์ชนิดอื่น ๆ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600-1000 ตารางเมตร/กรัม ถ่านกัมมันต์ที่ใช้และเสื่อมแล้ว สามารถนำไปฟื้นฟูสภาพ (regeneration) และนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่มีข้อเสียคือ การทำรีเจนเนอเรชันต้องเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงมาก ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และต้องมีคาร์บอน บางส่วนสูญเสียไปเนื่องจากปฏิกิริยาเป็นผงละเอียดจนใช้การไม่ได้

3. ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ ที่มีประจุบนพื้นผิว สามารถดูดจับกับวัตถุอื่น ๆ ที่มีประจุตรงกันข้าม ทำให้เกิดการเกาะติดกันได้ ได้แก่ สารเรซินแลกเปลี่ยนไอออน ชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นมา เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่าง ๆ เป็นประเภทที่เรียกว่า เรซินที่มีโครงสร้างโมเลกุลใหญ่ (macroporous resin) เช่น สไตรีนไดไวนิลเบนซีน (styrene divinylbenzene (SDVB) resin) และ ฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ (phenol-formaldehyde (PF) resin) เป็นต้น มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตร.ม/กรัม ซึ่งต่ำกว่าของถ่านกัมมันต์ แต่มีข้อดีกว่าคือ สามารถฟื้นฟูสภาพ ได้ง่ายและรีเจนเนอเรชันมักเป็นสารราคาถูก เช่นเกลือแกง สำหรับในประเทศไทยความเหมาะสมในการใช้เรซินดูดติดผิวมีมากกว่าถ่านกัมมันต์ เมื่อคำนึงถึงข้อจำกัดในเรื่องรีเจนเนอเรชัน

ขั้นตอนการดูดติดผิว

ขั้นตอนที่เกิดขึ้นในระหว่างการดูดติดผิว มีดังนี้

1. การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวถูกละลายเข้าหาสารดูดติดผิว โดยการเคลื่อนที่อาจเกิดเนื่องจากการกวนน้ำ จนทำให้เกิดความปั่นป่วน หรือเนื่องจากกลไกการเคลื่อนที่ในระดับโมเลกุล ที่เกิดจากการแพร่กระจายแบบบราวเนียน การเคลื่อนที่ตามเส้นทางการไหลของน้ำ ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ที่มีกลไกเช่นเดียวกับที่เกิดในเครื่องกรองน้ำ

2. เมื่อโมเลกุลของตัวถูกละลายเข้ามาถึงสารดูดซับผิว ซึ่งมีฟิล์มของน้ำห่อหุ้มอยู่โดยรอบ คล้ายเยื่อบาง ๆ โมเลกุลต้องแทรกตัวผ่านฟิล์มน้ำให้ได้ จึงจะเข้าถึงผิวของสารดูดซับผิวได้
3. เนื่องจากสารดูดซับผิวมีพื้นที่ผิว ที่มีลักษณะเป็นโพรง หรือช่องว่างภายในโมเลกุล ของตัวถูกละลายจึงต้องแทรกตัวเข้าไปถึงช่องว่างภายในพื้นที่ผิวของสารดูดซับผิว จึงจะมีการดูดซับผิวเกิดขึ้น
4. โมเลกุลต้องเกาะติดบนผิวของสารดูดซับผิวโดยไม่หลุด

จะเห็นได้ว่าเศษพืชหรือวัสดุธรรมชาติ มีคุณสมบัติที่สามารถดูดซับสารโลหะหนัก ซึ่งจะ มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะของเซลล์โลส ถ้าเซลล์โลสมีช่องว่างมาก โมเลกุลของตัวถูกละลาย ก็ จะสามารถแทรกตัวเข้าไปอยู่ในช่องว่างของเซลล์โลสได้มาก ความสามารถในการดูดซับหรือ ดูดซับก็จะมากด้วย

บทปฏิบัติการที่ 5

เรื่อง คุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนักของวัสดุธรรมชาติ

หลักการ

การดูดซับหรือการดูดซับผิว (adsorption) เป็นปรากฏการณ์ที่โมเลกุลของของไหลหรือคอลลอยด์ เคลื่อนที่ไปสัมผัสและเกาะติดแน่นอยู่บนผิวของของแข็ง ด้วยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ต่างชนิดกันของสารที่เป็นของแข็งและของไหลนั้น โดยการเกาะจับของโมเลกุลบนผิวของสารดูดซับ สารของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของโมเลกุลหรือคอลลอยด์ เรียกว่า ตัวดูดซับ (adsorbent) ส่วนโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่มาเกาะจับ เรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (adsorbate)

วัสดุธรรมชาติ คือ เศษของพืชหรือวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมทางการเกษตร ที่เป็นชิ้นส่วนที่ถูกคัดออก คัดทิ้ง แยกออกในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวหรือวัชพืชที่ขึ้นอยู่ตามธรรมชาติ เช่น แกลบ ขี้เลื่อย ฟางข้าว และผักตบชวา เป็นต้น ซึ่งวัสดุธรรมชาติเหล่านี้มีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักที่มีอยู่ในสารละลายได้ เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวเป็นรูพรุน ทำให้โมเลกุลของโลหะหนักที่มีอยู่ในน้ำถูกดูดซับหรือเกาะติดอยู่ที่รูพรุนนั้น

จุดประสงค์

1. ทำการทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนักของวัสดุธรรมชาติได้
2. บอกคุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนักของวัสดุธรรมชาติได้

สารเคมีและอุปกรณ์

1. แกลบ	5	กรัม
2. ขี้เลื่อย	5	กรัม
3. ฟางข้าว	5	กรัม
4. ผักตบชวา	5	กรัม
5. ถ่านกัมมันต์	5	กรัม
6. สารละลายแอมโมเนีย	ความเข้มข้น 3 mol/dm^3	15 cm^3
7. สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต	ความเข้มข้น $5 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$	200 cm^3
8. สารละลายนิกเกิลซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต	ความเข้มข้น $5 \times 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$	200 cm^3
9. ไคเมทิลไกลอออกซิม 1%	5	cm^3

10. กรวยกรอง	10 อัน
11. ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 ml	10 ใบ
12. กระบอกตวงขนาด 25 ml	6 ใบ
13. กระบอกตวงขนาด 50 ml	4 ใบ
14. กระดาษกรอง	20 แผ่น
15. แท่งแก้วคน	2 อัน
16. ปิเปตต์ขนาด 10 ml	1 อัน
17. ปิเปตต์ขนาด 5 ml	1 อัน
18. แผ่นพาราฟิล์ม	4 แผ่น
19. ขวดน้ำกลั่น	1 ขวด
20. น้ำกลั่น	

วิธีการทดลอง

1. นำขวดรูปชมพู่มา 10 ขวด ชั่งแก้วเบ, ชี้อ์เลื้อย, ฟาง และฝักคบชวว ที่นำมาป็นละเอียด และดาก หรืออบให้แห้งแล้ว ใส่วขวดรูปชมพู่ขวดละ 2.5 กรัม อย่างละ 2 ขวด โดยแยกใส่วขวด ละชนิด รวมเป็น 8 ขวด ส่วนอีก 2 ขวด ไม่ใส่วสารใด ๆ ลงไป คิดหมายเลขที่ขวดให้ตรงกับใน ตารางข้างล่าง

2. นำขวดรูปชมพู่ที่เตรียมไว้ในข้อที่ 1 มาเติมสารละลายมาตรฐานในปริมาตรที่กำหนด ไว้ในตารางข้างล่างนี้

ขวด ที่	วัสดุ ธรรมชาติ	สารละลาย มาตรฐาน	ปริมาณสารละลาย มาตรฐาน (cm ³)		สารละลาย แอมโมเนีย (cm ³)	สารละลายไดเมทิล ไกลออกซิม (cm ³)
1.	-	ทองแดง	25	แซ่ทั้ง	2.0	-
2.	แกลบ	ทองแดง	25	ไว้ 1	2.0	-
3.	ชี้อ์เลื้อย	ทองแดง	25	ชั่วโมง	2.0	-
4.	ฟางข้าว	ทองแดง	50	ทำต่อ	4.0	-
5.	ฝักคบชวว	ทองแดง	50	ตาม	4.0	-
6.	-	นิกเกิล	25	ข้อ	0.5	0.5
7.	แกลบ	นิกเกิล	25	4-7	0.5	0.5
8.	ชี้อ์เลื้อย	นิกเกิล	25		0.5	0.5
9.	ฟางข้าว	นิกเกิล	50		1.0	1.0
10.	ฝักคบชวว	นิกเกิล	50		1.0	1.0

เมื่อเติมสารละลายมาตรฐานแล้วปิดปากขวด ปั่นพู่ด้วยแผ่นพาราฟิล์มแล้วแช่ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมงโดยไม่ต้องคนสารละลายที่แช่ไว้

3. ในระหว่างรอ 1 ชั่วโมง ให้นักเรียนเตรียมถ่านกัมมันต์ โดยตัดถ่านกัมมันต์ 3 ช้อนใส่ลงในกรวยที่มีกระดาษกรองวางอยู่ก่อนแล้ว ค่อย ๆ ฝัดน้ำจากขวดน้ำกลั่นชะล้างบนถ่านกัมมันต์เพื่อไม่ให้ฝุ่นถ่านลอยขึ้นมา ชะน้ำกลั่นจนน้ำท่วมถ่านกัมมันต์ แล้วปล่อยให้ น้ำหยดออกจนหมดเตรียมเช่นนี้ 10 ชุด (ในการเตรียมชุดกรองถ่านกัมมันต์ สามารถใช้ภาชนะชนิดอื่นที่ไม่ใช่เครื่องแก้วสำหรับการทดลองรองรับได้ เช่น ขวดน้ำพลาสติกที่ตัดปากขวดออก) เมื่อสังเกตเห็นว่าน้ำในถ่านกัมมันต์หมด (หมด ๆ) เก็บไว้ทำข้อ 5 ต่อไป

4. เมื่อแช่ไว้ครบ 1 ชั่วโมงแล้ว นำสารละลายทั้ง 10 ชุด มากรองผ่านกระดาษกรองที่วางอยู่ในกรวยกรอง ปรับปริมาตรของสารละลายที่กรองได้ ให้มีปริมาตรเท่ากับปริมาตรของสารละลายมาตรฐานที่แช่ โดยใช้ น้ำกลั่นชะล้างชุดกรองที่อยู่ในขวดปั่นพู่ (ไม่คนวัสดุธรรมชาติ) สังเกตลักษณะของสารละลายที่กรองได้ บันทึกผลการสังเกตลงในตาราง

5. นำสารละลายที่กรองได้จากข้อ 4 ทั้ง 10 ชุด มากรองผ่านถ่านกัมมันต์ที่เตรียมไว้แล้วในข้อ 3 ที่ละชุด จนครบ 10 ชุด โดยชุดกรองถ่านที่ใช้แล้วจะไม่ถูกนำมาใช้ซ้ำอีก ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรเท่ากับปริมาตรของสารละลายมาตรฐานที่แช่ไว้ สังเกตลักษณะของสารละลายที่กรองได้ บันทึกผลการสังเกตลงในตาราง

6. เติมสารละลายแอมโมเนีย เพื่อทดสอบหาทองแดง และเติมสารละลายไดเมทิลไกลออกซิม เพื่อทดสอบหานิกเกิล ลงในแต่ละขวดในปริมาณที่กำหนดไว้ในตารางข้างบน สังเกตและบันทึกผลลงในตาราง

7. เปรียบเทียบ สีของสารละลายขวดที่ 2 - 5 กับสารละลายมาตรฐานขวดที่ 1 ส่วนขวดที่ 7 - 10 เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานขวดที่ 6 นำผลการเปรียบเทียบไปสรุปผลการทดลอง

หมายเหตุ

1. สารละลายมาตรฐานทองแดง คือ สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรตเข้มข้น $5 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$
2. สารละลายมาตรฐานนิกเกิล คือ สารละลายนิกเกิลซัลเฟตเฮกซะไฮเดรตเข้มข้น $5 \times 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$

รายงานการทดลอง

บทปฏิบัติการที่ 5 เรื่อง คุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนักของวัสดุธรรมชาติ

วัน/เดือน/ปี ชื่อผู้ทดลอง 1. ชั้น เลขที่
 กลุ่มที่ 2. ชั้น เลขที่

จุดประสงค์การทดลอง

.....

ผลการทดลอง

ขวด ที่	ลักษณะของสารละลายที่กรองได้		ลักษณะของสารละลายเมื่อเติม	
	ก่อนกรองผ่านถ่าน	หลังกรองผ่านถ่าน	สารละลายแอมโมเนีย (cm ³)	สารละลายโคบอลต์ไดออกไซด์ (cm ³)
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
9.				
10.				

สรุปผลการทดลอง[illegible]

คำถามท้ายการทดลอง

1. จากการทดลองวัสดุธรรมชาติสามารถดูดซับโลหะหนักได้หรือไม่ เพราะเหตุใด ?

2. นักเรียนคิดว่าเพราะเหตุใดวัสดุธรรมชาติจึงสามารถดูดซับโลหะหนักได้ ?

3. เมื่อแช่วัสดุธรรมชาติ สารละลายที่กรองได้จะมีสีเหลือง นักเรียนจะกำจัดสารที่มีสีเหลืองได้หรือไม่ อย่างไร ?

4. เพราะเหตุใดจึงใช้ปริมาณสารละลายในการแช่แกลบและขี้เถ้าอย่างเท่ากัน แต่แตกต่างกันฟางข้าวและผักตบชวา ?

5. จากผลการทดลองนักเรียนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียได้หรือไม่ อย่างไร ?

ใบความรู้ประกอบบทปฏิบัติการที่ 6 และ 7

เรื่อง การหาปริมาณทองแดง (II) และนิกเกิล (II) ด้วยวิธีเทียบสี

สาระสำคัญ

การวิเคราะห์โลหะหนักโดยการวัดการดูดกลืนแสงของสารที่มีสี เกิดจากการที่ตาของเรามองเห็นสี ซึ่งสืบเนื่องมาจากการที่สสารมีการดูดกลืนและการปล่อยผ่านรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (แสง) ในช่วงวิสิเบิล สารต่างชนิดจะมีคุณสมบัติการดูดกลืนและการปล่อยผ่านแสงต่างกัน ทำให้มันมีสีต่างกัน

เมื่อรังสีวิสิเบิลหรืออัลตราไวโอเลตมีอันตรกิริยากับอะตอม โมเลกุล หรือ ไอออน อิเล็กตรอนในระดับพลังงานนอกสุด (เวเลนซ์อิเล็กตรอน) จะเกิดการานะจันระหว่างระดับพลังงานที่มีค่าพลังงานเฉพาะตัว (quantize) เนื่องจากอิเล็กตรอนเหล่านี้เกี่ยวข้องกับการสร้างพันธะเคมี ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้จากการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเลตหรือวิสิเบิล จะมีความสัมพันธ์กับคุณลักษณะของสารเคมีนั้น ๆ ปรัชการณนี้มีความสำคัญมากจนกระทั่งมีการพัฒนาการศึกษาด้านนี้ไปเป็นเคมีสาขาใหม่ เรียกว่า สเปกโทรโฟโตเมตรี เทคนิคการศึกษาด้านนี้จัดว่าเป็นวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณได้อย่างรวดเร็วมาก

การบ่งบอกชนิดของสารเคมีในทางสเปกโทรโฟโตเมตรีทำได้โดยอาศัยรูปร่างของสเปกตรัมการดูดกลืนแสง และปริมาณการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่กำหนดสามารถนำมาใช้คำนวณหาความเข้มข้นของสารเคมีดังกล่าวได้

ในการวัดการดูดกลืนแสงของสารเคมี ทำได้โดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยหน่วยต่าง ๆ คือ แหล่งกำเนิดแสง อุปกรณ์เลือกความยาวคลื่น (โมโนโครมิเตอร์) ที่ใส่สารตัวอย่าง โฟโตดีเทคเตอร์สำหรับวัดความเข้มของแสงที่ผ่านออกมาจากสารตัวอย่าง และอุปกรณ์แสดงค่าที่อ่านได้เป็นตัวเลข

วิธีการหาปริมาณ โดยเครื่องมือสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ สามารถดำเนินการได้ดังนี้ หาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายโลหะไอออนในช่วงวิสิเบิล หลังจากการหาความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงมากที่สุด (λ_{max}) เราจะทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นนี้กับความเข้มข้นของโลหะ ข้อมูลที่ได้ จะถูกนำมาพลอตกราฟเพื่อใช้ในการหาความเข้มของสารละลายโลหะที่ไม่ทราบค่าต่อไป

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อหาปริมาณของทองแดง (II) และนิกเกิล (II) สำหรับกรณีที่ไม่มียานวัดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งสามารถหาปริมาณโลหะได้อย่างคร่าว ๆ ไม่ละเอียดนัก วิธีนี้เรียกว่า วิธีเทียบสี (colorimetric method) ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะในน้ำ โดยอาศัยหลักการดูดกลืนแสงของโลหะในช่วงวิสิเบิล ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้ ซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นของโลหะอยู่สูง สารที่นำมาวิเคราะห์จะมีสี หรือไม่มีสี ก็สามารถนำมาวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะหนักได้ โดยนำมาทำปฏิกิริยากับรีเอเจนต์ที่เหมาะสมแล้วทำให้เกิดสารที่มีสีเข้มข้น ซึ่งความเข้มของสีที่เกิดขึ้นสามารถบอกได้ว่ามีปริมาณโลหะหนักมากหรือน้อย คือ ถ้ามีสีเข้มมากจะมีปริมาณโลหะหนักอยู่มาก และถ้าสีเข้มน้อยก็จะมีปริมาณโลหะหนักอยู่น้อย

บทปฏิบัติการที่ 6

เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณทองแดงที่เหลือจากการดูดซับโดยวัสดุธรรมชาติด้วยวิธีเทียบสี

หลักการ

วัสดุธรรมชาติที่มีลักษณะลำต้นเป็นโพรง จะมีช่องว่างภายในมาก จึงทำให้โมเลกุลของตัวถูกละลาย (โมเลกุลของของไหลหรือคอลลอยด์) สามารถแทรกตัวเข้าไปอยู่ในช่องว่างภายในได้มาก จึงมีการดูดซับหรือดูดติดผิวมากกว่าวัสดุธรรมชาติชนิดอื่น ๆ

วิธีเทียบสี (colorimetric method) เป็นวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะในน้ำ โดยอาศัยหลักการดูดกลืนแสงของโลหะในช่วงวิสิเบิล ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้ ซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นของโลหะอยู่สูง สารที่นำมาวิเคราะห์จะมีสี หรือไม่มีสี ก็สามารถนำมาวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะหนักได้ โดยนำมาทำปฏิกิริยากับรีเอเจนต์ที่เหมาะสมแล้วทำให้เกิดสารที่มีสีเข้มขึ้น ซึ่งความเข้มของสีที่เกิดขึ้นสามารถบอกได้ว่ามีปริมาณโลหะหนักมากหรือน้อย คือ ถ้ามีสีเข้มมากจะมีปริมาณโลหะหนักอยู่มาก และถ้าสีเข้มน้อยก็จะมีปริมาณโลหะหนักอยู่น้อย

จุดประสงค์

1. ทำการทดลองหาปริมาณทองแดงที่เหลือจากการดูดซับโดยวัสดุธรรมชาติได้
2. สามารถเลือกวัสดุธรรมชาติไปใช้ประโยชน์ในการดูดซับทองแดงได้อย่างเหมาะสม
3. เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับโลหะทองแดงของวัสดุธรรมชาติแต่ละชนิดได้

สารเคมีและอุปกรณ์

1. แกลบ	2.5	กรัม
2. ขี้เลื่อย	2.5	กรัม
3. ฟางข้าว	2.5	กรัม
4. ผักตบชวา	2.5	กรัม
5. ถ่านกัมมันต์	5.0	กรัม
6. สารละลายแอมโมเนียเข้มข้น	3 mol/dm^3	50 cm^3
7. สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ความเข้มข้น	$1 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$	50 cm^3
8. สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ความเข้มข้น	$3 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$	50 cm^3
9. สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ความเข้มข้น	$5 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$	50 cm^3
10. สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ความเข้มข้น	$7 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$	50 cm^3

11. สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ความเข้มข้น $1 \times 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$ 300 cm^3
12. น้ำกลั่น 50 cm^3
13. ขวดยุโรปขนาด 125 ml 10 ใบ
14. กระบอกตวงขนาด 50 ml 10 อัน
15. กระดาษกรอง 10 แผ่น
16. ช้อนตักสาร 1 อัน
17. แท่งแก้วคน 2 แท่ง
18. แผ่นพาราฟิล์ม 5 แผ่น
19. ขวดน้ำกลั่น 1 ขวด
20. กรวยกรอง 10 อัน

วิธีการทดลอง

1. ชั่งแก้วบ, จี๊เลื้อย, ฟางข้าว และผักตบชวา ที่นำมาป่นให้ละเอียดและ ตากหรืออบให้แห้งแล้ว ใส่วัตถุรูปขมพูขดละ 2.5 กรัม โดยแยกใส่ขวดละชนิด ติดหมายเลขให้เรียบร้อย
2. นำขวดรูปขมพูที่เตรียมไว้ในข้อ 1 และขวดรูปขมพูเปล่ามาอีก 6 ขวด ซึ่งหมายเลขแล้ว มาเติมสารละลายมาตรฐานทองแดงตามที่กำหนดไว้ในตารางข้างล่างนี้

ขวด ที่	วัสดุ ธรรมชาติ	สารละลายทองแดงมาตรฐาน			สารละลายแอมโมเนีย ความเข้มข้น 3 mol/dm^3 (cm^3)
		ความเข้มข้น mol/dm^3	ปริมาตรสาร ละลาย (cm^3)		
1.	แก้วบ	1×10^{-2}	50	แช่ทิ้ง	4.0
2.	จี๊เลื้อย	1×10^{-2}	50	ไว้ 1	4.0
3.	ฟางข้าว	1×10^{-2}	50	ชั่วโม่ง	4.0
4.	ผักตบชวา	1×10^{-2}	50	ทำต่อ	4.0
5.	-	น้ำกลั่น	50	ตาม	4.0
6.	-	1×10^{-3}	50	ข้อ	4.0
7.	-	3×10^{-3}	50	4-5	4.0
8.	-	5×10^{-3}	50		4.0
9.	-	7×10^{-3}	50		4.0
10.	-	1×10^{-2}	50		4.0

เมื่อเติมสารละลายมาตรฐานแล้วปิดปากขวดด้วยแผ่นพาราฟิล์มแล้วแช่ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง โดยไม่ต้องคนสารละลายที่แช่วัสดุธรรมชาติ

3. ในระหว่างรอ 1 ชั่วโมง ให้นำ กรีน เอนเดรียม ชุดกรองถ่านกัมมันต์ 10 ชุด ดังบทปฏิบัติการที่ 5 ข้อที่ 3

4. เมื่อแช่วัสดุธรรมชาติครบ 1 ชั่วโมงแล้ว กรองสารละลายทั้ง 10 ขวดผ่านถ่านกัมมันต์ที่เตรียมไว้แล้วในข้อ 3 ทีละขวด โดยใช้ น้ำกลั่นชะวัสดุธรรมชาติ (ไม่คนวัสดุธรรมชาติ) กรองผ่าน ถ่านกัมมันต์ด้วย เพื่อปรับปริมาตรให้เท่ากับสารละลายมาตรฐานที่แช่ ทำจนครบ 10 ขวด โดย ชุดกรองถ่านที่ใช้แล้วจะไม่ถูกนำมาใช้ซ้ำอีก สังเกตลักษณะของสารละลายที่กรองได้ บันทึกผลการสังเกตลงในตาราง

5. เติมสารละลายแอมโมเนียลงในขวดสารละลายที่กรองได้ ขวดละ 40 cm^3 เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณทองแดง สังเกตผลการทดลองโดยเปรียบเทียบสีของสารละลายในขวดที่ 1-4 กับน้ำกลั่น (ขวดที่ 5) และสารละลายมาตรฐานในขวดที่ 6 - 10 เพื่อคาดคะเนปริมาณทองแดงที่เหลือในขวดที่ 1 - 4 บันทึกผลลงในตาราง

รายงานการทดลอง

บทปฏิบัติการที่ 6 เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณทองแดงที่ปล่อยจากการดูดซับโดยวัสดุ
ธรรมชาติด้วยวิธีเทียบสี

วัน/เดือน/ปี ชื่อผู้ทดลอง 1. ชั้น เลขที่

กลุ่มที่ 2. ชั้น เลขที่

จุดประสงค์การทดลอง

.....

ผลการทดลอง

ขวดที่	ลักษณะของสารละลาย ที่กรองผ่านถ่าน	ลักษณะของสารละลายเมื่อ เติมสารละลายแอมโมเนีย ความเข้มข้น $3 \text{ mol/dm}^3 (\text{cm}^3)$	ปริมาณทองแดงที่คาด กะเน เมื่อเทียบสีกับขวดที่ 5-10
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			-
6.			-
7.			-
8.			-
9.			-
10.			-

สรุปผลการทดลอง

This image shows a full page of a handwriting practice worksheet. It consists of multiple horizontal rows, each defined by two parallel dashed lines. The lines are evenly spaced and extend across the entire width of the page, providing a guide for letter height and placement. There is no text or other markings on the page.

คำถามท้ายการทดลอง

1. จากการทดลองข้อมูลใดเป็นตัวชี้บ่งบอกความสามารถในการดูดซับโลหะทองแดงของวัสดุธรรมชาติ โดยเรียงลำดับความสามารถดังกล่าวจากมากไปหาน้อย ?

.....

.....

.....

2. วัสดุธรรมชาติชนิดใดดูดซับโลหะทองแดงได้ดีที่สุด เพราะเหตุใด ?

.....

.....

.....

3. ถ้านักเรียนต้องการให้ฟางข้าวมีประสิทธิภาพในการดูดซับเท่ากับผักตบชวา นักเรียนควรทำอย่างไร ?

.....

.....

.....

4. นักเรียนคิดว่าแกลบเหมาะสำหรับนำมาใช้ดูดซับโลหะทองแดงหรือไม่ เพราะเหตุใด ?

.....

.....

.....

บทปฏิบัติการที่ 7

เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิลที่เหลือจากการดูดซับโดยวัสดุธรรมชาติด้วยวิธีเทียบสี

หลักการ

วัสดุธรรมชาติที่มีลักษณะดำดึบเป็นโพรง จะมีช่องว่างภายในมาก จึงทำให้โมเลกุลของตัวถูกละลาย (โมเลกุลของของไหลหรือคอลลอยด์) สามารถแทรกตัวเข้าไปอยู่ในช่องว่างภายในได้มาก จึงมีการดูดซับหรือดูดติดผิวมากกว่าวัสดุธรรมชาติชนิดอื่น ๆ

วิธีเทียบสี (colorimetric method) เป็นวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะในน้ำ โดยอาศัยหลักการดูดกลืนแสงของโลหะในช่วงวิสิเบิล ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้ ซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นของโลหะอยู่สูง สารที่นำมาวิเคราะห์จะมีสี หรือไม่มีสี ก็สามารถนำมาวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะหนักได้ โดยนำมาทำปฏิกิริยากับรีเอเจนต์ที่เหมาะสมแล้วทำให้เกิดสารที่มีสีเข้มข้น ซึ่งความเข้มของสีที่เกิดขึ้นสามารถบอกได้ว่ามีปริมาณโลหะหนักมากหรือน้อย คือ ถ้ามีสีเข้มมากจะมีปริมาณโลหะหนักอยู่มาก และถ้าสีเข้มน้อยก็จะมีปริมาณโลหะหนักอยู่น้อย

จุดประสงค์

1. ทำการทดลองหาปริมาณนิกเกิลที่เหลือจากการดูดซับโดยวัสดุธรรมชาติได้
2. สามารถเลือกวัสดุธรรมชาติไปใช้ประโยชน์ในการดูดซับนิกเกิลได้อย่างเหมาะสม

สารเคมีและอุปกรณ์

1. แกลบ	2.5	กรัม
2. ขี้เลื่อย	2.5	กรัม
3. ฟางข้าว	2.5	กรัม
4. ผักตบชวา	2.5	กรัม
5. ถ่านกัมมันต์	5.0	กรัม
6. สารละลายไอโอดีน	50	cm ³
7. สารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต	100	cm ³
8. สารละลายแอมโมเนียคลอไรด์ ไกลออกซิม	200	cm ³
9. สารละลายนิกเกิลซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต ความเข้มข้น	1×10^{-4} mol/dm ³	50 cm ³
10. สารละลายนิกเกิลซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต ความเข้มข้น	3×10^{-4} mol/dm ³	50 cm ³
11. สารละลายนิกเกิลซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต ความเข้มข้น	5×10^{-4} mol/dm ³	50 cm ³

12. สารละลายนิกเกิลซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต ความเข้มข้น $7 \times 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$ 50 cm^3
13. สารละลายนิกเกิลซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต ความเข้มข้น $1 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$ 50 cm^3
14. น้ำกลั่น 50 cm^3
15. ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 ml 10 ใบ
16. ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml 10 ใบ
17. กระจกตวง ขนาด 50 ml 10 อัน
18. กระจกกรอง 10 แผ่น
19. ซ้อนดักสาร 1 อัน
20. แท่งแก้วคน 2 แท่ง
21. แผ่นพาราฟิล์ม 3 แผ่น
22. ขวดน้ำกลั่น 1 ขวด

วิธีการทดลอง

1. ชั่งเกล็ด, ชี้เกล็ด, ฟางข้าว และผักตบชวา ที่นำมาป็นให้ละเอียดและ ดากหรืออบให้แห้งแล้ว ใส่วัตถุชมพู่ขวดละ 2.5 กรัม โดยแยกใส่ขวดละชนิด คิดหมายเลขให้เรียบร้อย
2. นำขวดรูปชมพู่ที่เตรียมไว้ในข้อ 1 และขวดรูปชมพู่เปล่าอีก 6 ขวด ซึ่งคิดหมายเลขแล้ว มาเติมสารละลายมาตรฐานนิกเกิลในปริมาตรตามที่กำหนดไว้ในตารางข้างล่างนี้

ขวด ที่	วัสดุ ธรรมชาติ	สารละลายนิกเกิลมาตรฐาน			ปริมาตรของสารละลายที่ใช้วิเคราะห์นิกเกิล		
		ความเข้มข้น (mol/dm^3)	ปริมาตร สารละลาย (cm^3)		แอมโมเนีย ซิงค์ (cm^3)	ไอโอดีน (cm^3)	แอมโมเนีย กลีโคเมทิล ไกลออกซิม(cm^3)
1.	เกล็ด	1×10^{-3}	50	แช่ทิ้ง	10.0	5.0	20.0
2.	ชี้เกล็ด	1×10^{-3}	50	ไว้ 1	10.0	5.0	20.0
3.	ฟางข้าว	1×10^{-3}	50	ชั่วโม่ง	10.0	5.0	20.0
4.	ผักตบชวา	1×10^{-3}	50	ทำต่อ	10.0	5.0	20.0
5.	-	น้ำกลั่น	50	ตาม	10.0	5.0	20.0
6.	-	1×10^{-4}	50	ข้อ	10.0	5.0	20.0
7.	-	3×10^{-4}	50	4-5	10.0	5.0	20.0
8.	-	5×10^{-4}	50		10.0	5.0	20.0
9.	-	7×10^{-4}	50		10.0	5.0	20.0
10.	-	1×10^{-3}	50		10.0	5.0	20.0

เมื่อเติมสารละลายมาตรฐานแล้วปิดปากขวดด้วยแผ่นพาราฟิล์มแล้วแช่ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมงโดยไม่ต้องคนสารละลายที่แฉ่วสูตรธรรมชาติ

3. ในระหว่างรอ 1 ชั่วโมง ให้นักเรียนเตรียมชุดกรองถ่านกัมมันต์ 10 ชุด ดังบทปฏิบัติการที่ 5 ข้อที่ 3

4. เมื่อแฉ่วสูตรธรรมชาติครบ 1 ชั่วโมงแล้ว กรองสารละลายทั้ง 10 ขวดผ่านถ่านกัมมันต์ที่เตรียมไว้แล้วในข้อ 3 ทีละขวด โดยใช้ น้ำกลั่นชะสูตรธรรมชาติ (ไม่คนสูตรธรรมชาติ) ขณะกรองผ่านถ่านกัมมันต์ด้วย เพื่อปรับปริมาตรให้เท่ากับสารละลายมาตรฐานที่แช่ ทำจนครบ 10 ขวด โดยชุดกรองถ่านที่ใช้แล้วจะไม่ถูกนำมาใช้ซ้ำอีก สังเกตลักษณะของสารละลายที่กรองได้ บันทึกผลการสังเกตลงในตาราง

5. เทสารละลายจากข้อ 4 ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml ทีละขวดไม่ปะปนกันจนครบ 10 ขวด เติมสารละลายชนิดต่าง ๆ ในปริมาณที่กำหนดไว้ในตารางข้างบน ลงในแต่ละขวด ปรับปริมาตรเป็น 100 ml เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณนิเกิล สังเกตผลการทดลองโดยเปรียบเทียบสีของสารละลายในขวดที่ 1 - 4 กับน้ำกลั่น (ขวดที่ 5) และสารละลายมาตรฐานในขวดที่ 6 - 10 เพื่อคาดคะเนปริมาณนิเกิลที่เหลือในขวดที่ 1 - 4 บันทึกผลลงในตาราง

รายงานการทดลอง

บทปฏิบัติการที่ 7 เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณนิเกิลที่เหลือจากการดูดซับโดยวัสดุ
ธรรมชาติด้วยวิธีเทียบสี

วัน/เดือน/ปี ชื่อผู้ทดลอง 1. ชั้น เลขที่
กลุ่มที่ 2. ชั้น เลขที่

จุดประสงค์การทดลอง

.....
.....
.....

ผลการทดลอง

ขวดที่	ลักษณะของสารละลาย ที่กรองผ่านถ่าน	ลักษณะของสารละลายเมื่อ เติมสารละลายทั้งสามชนิด	ปริมาณนิเกิลที่คาดคะเน เมื่อเทียบกับขวดที่ 5-10
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			-
6.			-
7.			-
8.			-
9.			-
10.			-

สรุปผลการทดลอง

[illegible]

คำถามท้ายการทดลอง

1. จากการทดลองข้อมูลใดเป็นตัวบ่งบอกความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของวัสดุธรรมชาติ โดยเรียงลำดับความสามารถดังกล่าวจากมากไปหาน้อย ?

.....

.....

.....

2. วัสดุธรรมชาติชนิดใดดูดซับโลหะหนักได้ดีที่สุด เพราะเหตุใด ?

.....

.....

.....

3. นักเรียนคิดว่าวัสดุธรรมชาติต่อไปนี้ หญา ดันกก ดันบอน ชนิดใดน่าจะมีคุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนักในน้ำทิ้งได้ดีกว่าหรือเท่ากับผักตบชวา เพราะเหตุใดจึงคิดเช่นนั้น และทำการทดลองพิสูจน์ได้อย่างไร ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. จากผลการทดลองนักเรียนสามารถนำแนวคิดนี้ไปใช้ประโยชน์ในการแก้ปัญหาน้ำเสียได้หรือไม่ อย่างไร ?

.....

.....

.....

.....

คู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

คู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการที่ 1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สามารถใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ ตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นได้
2. บันทึกผลการทดลอง วิเคราะห์ข้อมูล และสรุปผลการทดลองได้
3. เปรียบเทียบน้ำสะอาดกับน้ำเสียได้

ให้ความรู้เกี่ยวกับเรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น ตามรายละเอียดในใบความรู้ประมาณ 40 นาที

บทปฏิบัติการที่ 1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น

การทดลองนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาลักษณะของน้ำทางกายภาพเบื้องต้น

จุดประสงค์การทดลอง เมื่อนักเรียนทำการทดลองแล้ว สามารถ

1. บอกลักษณะทางกายภาพของน้ำที่ได้จากการการสังเกตโดยใช้ประสาทสัมผัสได้
2. สามารถเปรียบเทียบ สมบัติของน้ำสะอาดกับน้ำเสียได้
3. บอกคุณภาพของน้ำตัวอย่างโดยการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของน้ำได้

เวลาที่ใช้อธิบายก่อนการทดลอง	10	นาที
ทดลอง	30	นาที
อภิปรายหลังการทดลอง	20	นาที
รวม	60	นาที

สารเคมีและอุปกรณ์

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
<u>สารเคมี</u>	
น้ำกลั่น	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำตัวอย่างที่ 1	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำตัวอย่างที่ 2	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำตัวอย่างที่ 3	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำตัวอย่างที่ 4	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำตัวอย่างที่ 5	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
<u>อุปกรณ์</u>	
บีกเกอร์ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร	6 ใบ
เทอร์มอมิเตอร์ 100 องศาเซลเซียส	1 อัน
กระดาษยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์	6 แผ่น
แท่งแก้วคนสาร	1 แท่ง
กระจกนาฬิกา	1 อัน

การเตรียมล่วงหน้า

การเตรียมน้ำตัวอย่าง ถ้าเป็นสารละลาย ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการทดลองในระดับนี้จะใช้ค่าประมาณ ครูเตรียมน้ำตัวอย่างต่าง ๆ ดังนี้

น้ำตัวอย่างที่ 1 ใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 1 ช้อนอะลูมิเนียมขนาดจืด ละลายน้ำ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วเติมสารละลายกรดซัลฟิวริก 2 โมล/ลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวน 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปรับปริมาตรเป็น 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร สารละลายที่ได้จะมีสีชมพูอ่อน ๆ (หรือน้ำที่มีสีที่แตกต่างไปจากน้ำธรรมชาติและมีสภาพเป็นกรด)

น้ำตัวอย่างที่ 2 ควรเป็นน้ำมาจากแหล่งชุมชนที่มีสีค้ำและมีกลิ่นเน่าเหม็น ก่อนทดลองอาจใส่เศษอาหารผสมกับน้ำความเข้มข้น 10 กรัม/ลิตร ควรเตรียมไว้ 3 วัน (ถ้าหาไม่ได้ให้นำนําล้างจานหรือน้ำจากโรงอาหารนำมาใส่ขวดและปิดฝาให้สนิทไว้ 3 วัน น้ำที่ได้จะมีกลิ่นเน่าเหม็น นามาผสมกับดินสีค้ำ)

น้ำตัวอย่างที่ 3 ควรเป็นน้ำประปา เปิดใส่ในภาชนะปากกว้างทิ้งไว้ 1 คืน ก่อนนำมาทดลอง เพื่อให้ปราศจากกลิ่นคลอรีน (หรือเป็นน้ำบาดาล)

น้ำตัวอย่างที่ 4 ควรเป็นน้ำส้มสายชูผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1 : 3 ส่วน ต้มให้เดือด แล้วทิ้งทิ้งไว้ให้มีอุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส เตรียมก่อนการทดลอง 30 นาที (สำหรับใช้เป็นตัวอย่างของน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่ามาตรฐาน)

น้ำตัวอย่างที่ 5 น้ำคลองหรือน้ำซึม-น้ำซับที่ใช้ดื่มในชุมชน หรือในโรงเรียน อาจให้นักเรียนเป็นผู้คิดมาทำการทดลอง

บรรจุน้ำตัวอย่างทั้ง 5 ชนิดและน้ำกลั่น ในขวดใส่สารหรือในบีกเกอร์ขนาด 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร พร้อมทั้งติดป้ายชื่อน้ำตัวอย่างที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ น้ำกลั่น ตั้งไว้ใช้ร่วมกัน

อภิปรายก่อนการทดลอง

ครูแนะนำนักเรียนในหัวข้อต่อไปนี้

1. ห้ามนักเรียนชิมน้ำตัวอย่างทุกชนิด และในการดมกลิ่นใช้มือพัดกลิ่นมาดมห้ามใช้จมูกโดยตรง
2. อธิบายวิธีใช้อุปกรณ์ในการทดลอง
3. ให้นักเรียนทำงานร่วมกันเป็นกลุ่มกลุ่มละ 2 คน
4. การติดป้ายชื่อน้ำตัวอย่างที่บีกเกอร์
5. บันทึกผลการทดลอง
6. การสรุปผลการทดลองเป็นการอธิบายผลการทดลองให้สอดคล้องกับข้อมูลได้บันทึกไว้

ผลการทดลอง

น้ำตัวอย่าง	สี	กลิ่น	สารแขวนลอย	pH	อุณหภูมิ (°C)
ค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง	ไม่มีสี	ไม่มีกลิ่น	ไม่มี	5-9	ไม่เกิน 40
น้ำกลั่น	ไม่มีสี	ไม่มีกลิ่น	ไม่มี	7	34
น้ำตัวอย่างที่ 1	สีชมพูอ่อน	ไม่มีกลิ่น	ไม่มี	1	35
น้ำตัวอย่างที่ 2	สีเทาดำ	กลิ่นเหม็น	ตะกอนสีดำ เศษอาหาร	8	32
น้ำตัวอย่างที่ 3	ไม่มีสี	ไม่มีกลิ่น	ไม่มี	7	33
น้ำตัวอย่างที่ 4	ไม่มีสี	กลิ่นเปรี้ยว	ไม่มี	3	60
น้ำตัวอย่างที่ 5	ไม่มีสี	ไม่มีกลิ่น	ไม่มี	7	35

หมายเหตุ ผลการทดลองอาจเปลี่ยนแปลงไปตามการทดลองที่ทดลองได้จริง

อภิปรายหลังการทดลอง

- ให้นักเรียนนำเสนอผลการทดลองบนกระดานดำ และร่วมกันอภิปราย
- ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อให้ได้ข้อสรุปดังนี้
 - น้ำที่ได้ผลการทดลองเช่นเดียวกับน้ำกลั่น คือ น้ำตัวอย่างที่ 3 และ 5 แสดงว่า น้ำตัวอย่างที่ 3 และ 5 เป็นน้ำที่สะอาดสามารถนำไปใช้ในการบริโภคได้
 - น้ำที่มีผลการทดลองแตกต่างไปจากน้ำกลั่น คือ น้ำตัวอย่างที่ 1, 2 และ 4 โดยที่

น้ำตัวอย่างที่ 1 มีสีชมพู และมีค่า pH เท่ากับ 1 แสดงว่าน้ำนี้มีสภาพเป็นกรด

น้ำตัวอย่างที่ 2 มีสีดำ มีกลิ่นเหม็น และมีเศษอาหารปนเปื้อน แสดงว่าน่าจะเป็นน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน

น้ำตัวอย่างที่ 4 มีกลิ่นเปรี้ยว ค่า pH เท่ากับ 3 และมีอุณหภูมิสูงถึง 60 °C แสดงว่า น่าจะเป็นน้ำที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน

ดังนั้น น้ำตัวอย่างที่ 1, 2 และ 4 จึงเป็นน้ำเสีย เนื่องจากมีลักษณะแตกต่างไปจากน้ำกลั่น
- เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง น้ำที่เป็นไปตามเกณฑ์คือ น้ำกลั่น น้ำตัวอย่างที่ 3 และ 5 เท่านั้น

แนวคำตอบคำถามท้ายการทดลอง

1. นักเรียนคิดว่าน้ำตัวอย่างใดบ้าง มีสมบัติตามค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง เพราะเหตุใด?
น้ำตัวอย่างที่ 3 และ 5 เพราะมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับน้ำกลั่น คือไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีสารแขวนลอย pH เท่ากับ 7 และอุณหภูมิไม่เกิน 40°C
2. น้ำตัวอย่างใดน่าจะเป็นน้ำสะอาด และน้ำเสีย อธิบายเหตุผล ?
น้ำตัวอย่างที่ 3 และ 5 น่าจะเป็นน้ำสะอาด เพราะมีลักษณะทางกายภาพเหมือนน้ำกลั่น ที่ถือว่าเป็นน้ำสะอาด คือ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีสารแขวนลอย pH อยู่ระหว่าง 5-7 และอุณหภูมิไม่เกิน 40°C
น้ำตัวอย่างที่ 1, 2 และ 4 น่าจะเป็นน้ำเสีย เนื่องจาก มีลักษณะแตกต่างไปจากน้ำกลั่น คือ
น้ำตัวอย่างที่ 1 มีสีชมพู และมีค่า pH เท่ากับ 1 แสดงว่าน้ำที่มีสภาพเป็นกรด
น้ำตัวอย่างที่ 2 มีสีดำ มีกลิ่นเหม็น และมีเศษอาหาร ตะกอนดิน
น้ำตัวอย่างที่ 4 มีกลิ่นเปรี้ยว ค่า pH เท่ากับ 3 และมีอุณหภูมิสูงถึง 60°C
3. นักเรียนคิดว่าน้ำตัวอย่างที่ 2 ควรจะเป็นน้ำทิ้งจากแหล่งใด เพราะเหตุใด ?
ควรจะเป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากแหล่งชุมชนซึ่งมีกระแสน้ำทิ้งที่มีเศษอาหาร ชิ้นส่วนพืช สัตว์ และสิ่งปฏิกูลต่าง ๆ ลงในแม่น้ำลำคลอง ทำให้เกิดกลิ่นเน่าเหม็น มีสีดำ และมีตะกอนมากมาย ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายและการคายที่ทับถมกันของจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ
4. น้ำตัวอย่างใดควรจะเป็นน้ำทิ้งจากการนำไปใช้ในการหล่อเย็นเครื่องจักร เพราะเหตุใด ?
น้ำตัวอย่างที่ 4 เพราะมีอุณหภูมิสูงเกิน 40°C คือวัดได้ประมาณ 60°C
5. ถ้าตามแหล่งน้ำที่นักเรียนพบเห็นในปัจจุบันเป็นเหมือนคังน้ำตัวอย่างที่ 2 นักเรียนคิดว่า จะเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไรบ้าง ?
ถ้าน้ำทิ้งหรือน้ำโสโครกจากแหล่งชุมชนถูกถ่ายเทลงสู่แหล่งน้ำโดยไม่มีการกำจัดสิ่ง ที่ละลายหรือแขวนลอยอยู่ก่อนก็จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อแหล่งน้ำดังต่อไปนี้

ก. ผลกระทบทางด้านสาธารณสุข อาจทำให้เกิดการแพร่กระจายของเชื้อโรค เช่น เชื้อบิด ไทยฟอยด์ และอหิวาตกโรค ซึ่งในทางด้านสาธารณสุขได้ใช้แบคทีเรียพวก “Coliform bacteria” เป็นดัชนีมาตรฐานคุณภาพน้ำ โดยปกติแบคทีเรียพวกนี้อาศัยอยู่ในลำไส้ของคนและสัตว์โดยไม่ก่อให้เกิดโรค ถ้าพบแบคทีเรียพวกนี้มากในแหล่งน้ำแห่งใดแห่งหนึ่งก็แสดงว่าแหล่งน้ำแห่งนั้นมีโอกาสที่จะมีเชื้อโรคบางชนิดที่เป็นอันตรายปะปนอยู่ในน้ำ

ข. ผลกระทบในเรื่องการลดปริมาณออกซิเจนในน้ำ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำเสียหรือน้ำโสโครกจากแหล่งชุมชนอาจเกิดการเน่าเสียขึ้นได้ การเน่าเสียของน้ำเกิดจากการทำงานของจุลชีพพวกหนึ่งที่ต้องการออกซิเจนเพื่อการหายใจ ถ้ามีสิ่งปนเปื้อนที่เป็นอินทรีย์สารมากก็就会有การย่อยสลายมากขึ้น ซึ่งทำให้ออกซิเจนลดปริมาณลงไปได้มากด้วย ผลของการลดปริมาณออกซิเจนในน้ำ จะกระทบโดยตรงต่อสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ใน บริเวณนั้น โดยทั่วไปแล้วในแหล่งน้ำธรรมชาติควรที่จะมีปริมาณการละลายของออกซิเจน ไม่น้อยกว่า 3.00 มิลลิกรัม/ลิตร เพราะถ้าต่ำกว่านี้ปลาและสัตว์น้ำ ๆ บางชนิดจะเริ่มทน ไม่ไหวและตายลงในที่สุด

ผลกระทบอันเนื่องมาจากการลดปริมาณออกซิเจนในน้ำ อีกประการหนึ่งที่จะตามมาคือ “Over-eutrophication” หรือการที่มีธาตุอาหารมากเกินไปในแหล่งน้ำ สารอินทรีย์เมื่อผ่านการย่อยสลายโดยจุลชีพแล้วก็จะเปลี่ยนเป็นอนุมูลของสารประกอบอนินทรีย์ เช่น ไนโตรเจนในเครท แอมโมเนียม และฟอสเฟต สารประกอบเหล่านี้เป็นแร่ธาตุอาหารที่ดีของพืช ซึ่งถ้ามีมากในน้ำก็จะก่อให้เกิดการแพร่พันธุ์ และเพิ่มจำนวนของพืชน้ำทั้งเล็กและใหญ่โดยรวดเร็ว การเพิ่มปริมาณพืชเล็ก ๆ ในน้ำจะมีผลกระทบต่อสัตว์น้ำในเวลากลางคืน กล่าวคือในเวลากลางคืนพืชไม่ทำการสังเคราะห์แสงแต่หายใจเอาออกซิเจนเข้าไป ฉะนั้นปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำจะลดปริมาณลงไปด้วยเรื่อย ๆ ยิ่งมีปริมาณพืชมากเท่าไร ปริมาณออกซิเจนก็จะลดลงมากเท่านั้น

ค. ผลกระทบต่อการพักผ่อนหย่อนใจ หรือเป็นแหล่งท่องเที่ยวหรือก่อให้เกิดความรำคาญแก่ผู้ที่อาศัยอยู่ใกล้เคียงเนื่องจาก มีสีและกลิ่นเป็นที่รังเกียจ รวมทั้งมีตะกอนและเศษอาหารปนเปื้อนทำให้ไม่น่าดู หมดความสวยงาม จัดเป็นมลพิษทางสายตาด้วย

คู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการที่ 2

ลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะและการตรวจสอบหาทองแดงและนิกเกิลในน้ำ

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. บอกความแตกต่างระหว่างน้ำที่ไม่มีโลหะทองแดงและนิกเกิลปนเปื้อนอยู่กับน้ำที่มีโลหะทองแดงและนิกเกิลปนเปื้อนได้
 2. อธิบายลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะได้
 3. ทำการทดลอง รวบรวมข้อมูล และสรุปได้ว่า น้ำตัวอย่างใดมีทองแดงและนิกเกิลปนเปื้อนอยู่
 4. บอกวิธีการทดสอบเพื่อตรวจสอบหาทองแดงและนิกเกิลในน้ำได้
- ครูให้ความรู้เกี่ยวกับเรื่องลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะและการตรวจสอบหาทองแดงและนิกเกิลในน้ำ ตามรายละเอียดต่อไปนี้ในใบความรู้ประมาณ 40 นาที

บทปฏิบัติการที่ 2 ลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะและการตรวจสอบหาทองแดงและนิกเกิลในน้ำ

การทดลองนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อตรวจสอบหาทองแดงและนิกเกิลในน้ำ

จุดประสงค์การทดลอง เมื่อนักเรียนทำการทดลองแล้ว สามารถ

1. ทดสอบหาทองแดงและนิกเกิลจากน้ำตัวอย่างได้
2. บอกความแตกต่างระหว่างน้ำที่ไม่มีโลหะทองแดง และนิกเกิลปนเปื้อนอยู่ กับน้ำที่มีโลหะทองแดง และนิกเกิลปนเปื้อนได้
3. บอกวิธีการตรวจสอบหาทองแดง และนิกเกิลที่มีอยู่ในน้ำตัวอย่างได้

เวลาที่ใช้อธิบายก่อนการทดลอง	5	นาที
ทดลอง	40	นาที
อภิปรายหลังการทดลอง	15	นาที
รวม	60	นาที

สารเคมีและอุปกรณ์

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
<u>สารเคมี</u>	
น้ำกลั่น	10 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำตัวอย่างที่ 1	10 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำตัวอย่างที่ 2	10 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำตัวอย่างที่ 3	10 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำตัวอย่างที่ 4	10 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำตัวอย่างที่ 5	10 ลูกบาศก์เซนติเมตร
สารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 3 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร	5 ลูกบาศก์เซนติเมตร
สารละลายไดเมทิลไกลออกซิมเข้มข้น 1%	5 ลูกบาศก์เซนติเมตร
<u>อุปกรณ์</u>	
บีกเกอร์ขนาด 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร	2 ใบ
หลอดทดลองขนาดใหญ่	6 หลอด
ที่ตั้งหลอดทดลองขนาดใหญ่	1 อัน
หลอดหยดสารละลาย	2 อัน

การเตรียมก่อนล่วงหน้า

1. เตรียม สารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 3 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร โดยใช้แอมโมเนียเข้มข้น 25 % (ความหนาแน่น 0.91 g/cm^3) 22.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปรับปริมาตรโดยน้ำเป็น 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2. เตรียมสารละลายไดเมทิลไกลออกซิมเข้มข้น 1% โดยละลายไดเมทิลไกลออกซิม 0.5 กรัม ในเอธานอลแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ ปรับปริมาตรโดยเอธานอลบริสุทธิ์ ให้เป็น 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3. เตรียมสารละลายมาตรฐานตั้งต้น

3.1 เตรียมสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) เข้มข้น 1 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร โดยละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต 13.1430 กรัม ในน้ำกลั่น 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมกรดไนตริกที่เข้มข้นลงไป 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นทำการเจือจางให้มีปริมาตรสุดท้าย 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2 เตรียมสารละลายนิเกิลซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) เข้มข้น 1 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร โดยละลายนิเกิลซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต 12.4605 กรัมในน้ำกลั่น 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมกรดไนตริกที่เข้มข้นลงไป 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นทำการเจือจางให้มีปริมาตรสุดท้าย 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร

4. เตรียมน้ำตัวอย่างจากสารละลายมาตรฐานตั้งต้น

4.1 น้ำตัวอย่างที่ 1 คือ สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต เข้มข้น 1×10^{-2} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร เตรียมโดย ปิเปตสารละลายจากข้อ 3.1 จำนวน 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ขวดวัดปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเจือจางด้วยน้ำจนครบปริมาตร

4.2 น้ำตัวอย่างที่ 2 คือ สารละลายนิเกิลซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต เข้มข้น 1×10^{-3} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร เตรียมโดย ปิเปตสารละลายจากข้อ 3.2 จำนวน 0.1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ขวดวัดปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเจือจางด้วยน้ำจนครบปริมาตร

4.3 น้ำตัวอย่างที่ 3 คือ น้ำประปา

4.4 น้ำตัวอย่างที่ 4 คือ น้ำตัวอย่างที่ 1 ผสมกับน้ำตัวอย่างที่ 2 ในอัตราส่วน 1:1

4.5 น้ำตัวอย่างที่ 5 คือ น้ำคลองในเขตชุมชน, ในโรงเรียน (อาจให้นักเรียนดักมาให้ ถ้าเป็นไปได้) ให้กรองออกด้วยกระดาษกรองก่อน)

บรรจุน้ำตัวอย่างทั้ง 5 ชนิด , น้ำกลั่น , สารละลายแอมโมเนีย และสารละลาย ไคเมทิลไกลออกซิม ในขวดใส่สารหรือในบีกเกอร์ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร พร้อมทั้งติดป้ายชื่อให้เรียบร้อย ตั้งไว้ใช้ร่วมกัน พร้อมทั้งปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตร 6 อันและลูกยางดูดปิเปต 6 ลูก ประจำแต่ละน้ำตัวอย่าง

หมายเหตุ สารละลายมาตรฐานตั้งต้นในข้อ 3.1 และ 3.2 เก็บไว้ใช้ในบทปฏิบัติการที่ 3 - 7

อภิปรายก่อนการทดลอง

ครูแนะนำนักเรียนในหัวข้อต่อไปนี้

1. ห้ามนักเรียนชิมน้ำตัวอย่างทุกชนิด
2. อธิบายวิธีใช้อุปกรณ์ในการทดลอง
3. ให้นักเรียนนำหลอดทดลองขนาดใหญ่จำนวน 6 หลอด มาเอาน้ำตัวอย่างปริมาตร 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยใช้ปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตรที่เตรียมไว้ให้ เขียนชื่อติดข้างหลอดทดลองสำหรับน้ำตัวอย่างแต่ละชนิด
4. แนะนำการเขย่าสารเคมีอย่างระมัดระวัง

ผลการทดลอง

น้ำตัวอย่าง ที่	ผลการสังเกต ลักษณะของน้ำตัวอย่าง	ผลการทดลองเมื่อเติม	
		แอมโมเนียมซัลเฟต 3 mol/dm ³	โคเมทิลไกลออล 1%
น้ำกลั่น	ใส ไม่มีสี	ใส ไม่มีสี	ใส ไม่มีสี
1.	ใส สีฟ้าอ่อน	ใส สีน้ำเงินเข้มปนม่วง	ใส สีน้ำเงินเข้มปนม่วง
2.	ใส ไม่มีสี	ใส ไม่มีสี	เกิดตะกอนสีเบจ
3.	ใส ไม่มีสี	ใส ไม่มีสี	ใส ไม่มีสี
4.	ใส สีฟ้าอ่อนมาก ๆ	ใส สีน้ำเงิน	เกิดตะกอนสีน้ำตาลแดง
5.	ใส ไม่มีสี	ใส ไม่มีสี*	ใส ไม่มีสี*

* ผลการทดลองขึ้นอยู่กับน้ำที่นักเรียนนำมาทดลอง

สีของสารละลายเมื่อเติมลิแกนด์ ภาพประกอบ 19



ภาพประกอบ 19 สีของสารละลายเมื่อเติมลิแกนด์ ในบทปฏิบัติการที่ 2

รูป ก สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรตทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียม
(น้ำตัวอย่างที่ 1)

รูป ข สารละลายนิกเกิลซัลเฟตเพนตะไฮเดรตทำปฏิกิริยากับโคเมทิลไกลออล 1%
(น้ำตัวอย่างที่ 2)

รูป ค สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรตผสมกับนิกเกิลซัลเฟตเพนตะไฮเดรต
ทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียม (น้ำตัวอย่างที่ 4)

รูป ง สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรตผสมกับนิกเกิลซัลเฟตเพนตะไฮเดรต
ทำปฏิกิริยากับโคเมทิลไกลออล 1% (น้ำตัวอย่างที่ 4)

อภิปรายหลังการทดลอง

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อให้ได้ข้อสรุปดังนี้

1. จากการทดลองเมื่อเทียบบผลการทดลองกับน้ำกลั่น พบว่า น้ำตัวอย่างที่ 3 และน้ำตัวอย่างที่ 5 ได้ผลเช่นเดียวกับน้ำกลั่นแสดงว่า น้ำตัวอย่างที่ 3 และน้ำตัวอย่างที่ 5 ไม่มีโลหะของแดงและนิกเกิลปนเปื้อนอยู่

2. น้ำตัวอย่างที่ 1 มีโลหะของแดงปนเปื้อนอยู่ เนื่องจากเมื่อเติมสารละลายแอมโมเนียของแดงที่อยู่ในน้ำจะทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน

3. น้ำตัวอย่างที่ 2 มีโลหะนิกเกิลปนเปื้อนอยู่ เนื่องจากเมื่อเติมสารละลายโคบอลต์'ไกลออกซิมลงในน้ำตัวอย่างที่ 2 ที่มีสภาพเป็นเบส (จากการเติมแอมโมเนีย) นิกเกิลที่อยู่ในน้ำจะทำปฏิกิริยากับ'โคบอลต์'ไกลออกซิมเกิดเป็นตะกอนสีแดง

4. น้ำตัวอย่างที่ 3 มีทั้งโลหะของแดงและนิกเกิลปนเปื้อนอยู่ เนื่องจากเมื่อเติมสารละลายแอมโมเนีย ของแดงที่อยู่ในน้ำจะทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน และเมื่อเติมสารละลายโคบอลต์'ไกลออกซิมลง นิกเกิลที่มีอยู่ในน้ำในสภาพเป็นเบสจากการเติมแอมโมเนียจะทำปฏิกิริยากับโคบอลต์'ไกลออกซิมเกิดเป็นตะกอนสีแดงงุ่น

แนวคำตอบคำถามท้ายการทดลอง

1. จากการทดลอง น้ำตัวอย่างใดทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนีย น้ำตัวอย่างใดทำปฏิกิริยากับสารละลายโคบอลต์ไกลออกไซด์ และน้ำตัวอย่างใดทำปฏิกิริยากับสารละลายทั้งสองชนิด ?
 น้ำตัวอย่างที่ 1 ทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนีย น้ำตัวอย่างที่ 2 ทำปฏิกิริยากับสารละลายโคบอลต์ไกลออกไซด์ และน้ำตัวอย่างที่ 4 ทำปฏิกิริยากับสารละลายทั้งสองชนิด
2. จากข้อ 1 นักเรียนทราบได้อย่างไรว่าน้ำตัวอย่างนั้น ๆ ปฏิกิริยากับลิแกนด์แล้ว เพราะเหตุใด ?
 เพราะน้ำตัวอย่างทั้ง 3 จากข้อ 1 มีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เมื่อเติมลิแกนด์ ดังนี้
 น้ำตัวอย่างที่ 1 ทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนียเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน
 น้ำตัวอย่างที่ 2 ทำปฏิกิริยากับสารละลายโคบอลต์ไกลออกไซด์เกิดเป็นตะกอนสีแดง
 น้ำตัวอย่างที่ 4 ทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนียเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินเข้มและเมื่อเติมสารละลายโคบอลต์ไกลออกไซด์ลงไปพบว่าเกิดตะกอนสีแดงขึ้น
3. จากผลการทดลองน้ำตัวอย่างใดมีโลหะหนักทองแดงปนเปื้อนอยู่ และน้ำตัวอย่างใดมีโลหะนิกเกิลปนเปื้อนอยู่ เพราะเหตุใด ?
 น้ำตัวอย่างที่ 1 และ 4 มีโลหะทองแดงปนเปื้อนอยู่เพราะเมื่อเติมสารละลายแอมโมเนียเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินเข้ม
 น้ำตัวอย่างที่ 2 และ 4 มีโลหะนิกเกิลปนเปื้อนอยู่ เพราะเมื่อเติมสารละลายโคบอลต์ไกลออกไซด์เกิดเป็นตะกอนสีแดง
4. ให้นักเรียนบอกความแตกต่างระหว่างน้ำที่ไม่มีโลหะหนักทองแดง และนิกเกิลปนเปื้อนกับน้ำที่มี โลหะหนักทองแดง นิกเกิลปนเปื้อนว่าแตกต่างกันอย่างไร ?
 น้ำที่มีโลหะทองแดงปนเปื้อนอยู่ จะทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนีย เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน ถ้ามีโลหะนิกเกิลเมื่อเติมสารละลายโคบอลต์ไกลออกไซด์จะเกิดตะกอนสีแดง และถ้ามีน้ำที่มี โลหะทั้งทองแดงและนิกเกิลปนเปื้อนอยู่ จะทำปฏิกิริยากับลิแกนด์ทั้งสองชนิด คือ เมื่อเติมสารละลายแอมโมเนีย จะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน และเมื่อเติมสารละลายโคบอลต์ไกลออกไซด์จะเกิดตะกอนสีแดงเกิดขึ้น ซึ่งถ้าเป็นน้ำที่ไม่มีโลหะทองแดงและนิกเกิลจะไม่สามารถสังเกตเห็นผลของการทำปฏิกิริยากับลิแกนด์ทั้งสองชนิด

คู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการที่ 3 โลหะหนักและพิษของโลหะทองแดงและนิกเกิลที่มีอยู่ในน้ำ

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. บอกความหมายและพิษของโลหะหนักซึ่งมีผลต่อสิ่งมีชีวิตได้
2. อธิบายความเป็นพิษของโลหะทองแดงและนิกเกิลในน้ำได้
3. บอกความแตกต่างของการเจริญเติบโตของเมล็ดถั่วที่ปลูกในน้ำที่มีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ กับที่ไม่มีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ได้

ครูให้ความรู้เกี่ยวกับเรื่อง โลหะหนัก และพิษของโลหะหนักที่มีอยู่ในน้ำทั้งตามรายละเอียดในใบความรู้ประมาณ 50 นาที

บทปฏิบัติการที่ 3 พิษของทองแดงและนิกเกิลที่มีต่อการเจริญเติบโตของเมล็ดถั่วเขียว

การทดลองนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาความเป็นพิษของโลหะทองแดงและนิกเกิลที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเมล็ดถั่วเขียว

จุดประสงค์การทดลอง เมื่อนักเรียนทำการทดลองแล้ว สามารถ

1. ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของทองแดงและนิกเกิลที่มีต่อการเจริญเติบโตของเมล็ดถั่วเขียว
2. บอกความแตกต่างของการเจริญเติบโตของเมล็ดถั่วเขียวที่ปลูกในน้ำที่มีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ กับที่ไม่มีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ได้

เวลาที่ใช้อภิปรายก่อนการทดลอง	5	นาที
ทดลอง	30	นาที
อภิปรายหลังการทดลอง	15	นาที
รวม	50	นาที

สารเคมีและอุปกรณ์

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
<u>สารเคมี</u>	
สารละลายคอปเปอร์เพนตะไฮดรตเข้มข้น $1 \times 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$	50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
สารละลายนิกเกิลซัลเฟตเพนตะไฮดรตเข้มข้น $1 \times 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$	50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำกลั่น	50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำในชุมชน (หรือน้ำประปา)	50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
<u>อุปกรณ์</u>	
บีเกอร์ขนาด 250 cm^3	4 ใบ
บีเกอร์ขนาด 100 cm^3	1 ใบ
ทราย	450 ลูกบาศก์เซนติเมตร
เมล็ดถั่วเขียว	60 - 70 เมล็ด
จานยแก้ว	4 ใบ
ไม้บรรทัด	1 อัน
ปากคีบ	1 อัน

การเตรียมก่อนล่วงหน้า

1. เตรียมเมล็ดถั่วเขียวและทรายเพื่อใช้ในการทดลอง
2. เตรียมสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮดรตเข้มข้น $1 \times 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$ จำนวน 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยละลายสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮดรต 1.3143 กรัม ในน้ำกลั่น 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมน้ำในตริกลเข้มข้น ลงไป 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นทำการเจือจางให้มีปริมาตรสุดท้ายเป็น 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร
3. เตรียมสารละลายนิกเกิลซัลเฟตเพนตะไฮดรตเข้มข้น $1 \times 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$ จำนวน 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยละลายสารละลายนิกเกิลซัลเฟตเพนตะไฮดรต 1.2484 กรัม ในน้ำกลั่น 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมน้ำในตริกลเข้มข้น ลงไป 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นทำการเจือจางให้มีปริมาตรสุดท้ายเป็น 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร

บรรจุสารละลายในข้อ 2,3, น้ำกลั่น และน้ำในชุมชน (อาจให้นักเรียนเป็นผู้นำมาทดลอง) ในขวดใส่สารหรือในบีกเกอร์ขนาด 500 cm³ พร้อมทั้งติดป้าย ชื่อสารละลายให้ชัดเจน ตั้งไว้ใช้ร่วมกัน พร้อมกระบอกตวงขนาด 50 cm³ 4 อันประจำสารละลายแต่ละชนิด

อภิปรายก่อนการทดลอง

ครูแนะนำนักเรียนในหัวข้อต่อไปนี้

1. เมื่อเอาสารละลายใส่ในทรายต้องเขย่าหรือแกว่งบีกเกอร์ไปมาให้ทรายแฉ่อยู่ สารละลาย ตั้งทิ้งไว้เพื่อให้ น้ำซึมออกมาท่วมทรายประมาณ 0.5 cm จึงใส่เมล็ดถั่วเขียวที่ตัดไว้
2. การวัดความยาวให้ถั่วเขียววันละ 3 เมล็ด ออกมาวัด และใช้วิธีวัดแบบเดียวกัน ทุกครั้ง เมล็ดถั่วเขียวที่นำมาวัดแล้วไม่ต้องใส่เข้าไปคืนในบีกเกอร์
3. เวลาที่ใช้วัด ให้ใช้เวลาเดียวกันตลอด 5 วัน คือประมาณ 24 ชั่วโมง วัด 1 ครั้ง

ผลการทดลอง*

วันที่ (นับจาก เริ่มเพาะ)	บีกเกอร์ ที่	ความยาวของราก (ความยาวของลำต้น)				ลักษณะทั่วไปที่สังเกตเห็น
		ต้นที่ 1 (mm.)	ต้นที่ 2 (mm.)	ต้นที่ 3 (mm.)	เฉลี่ย (mm.)	
1	1	6	5	5	5.33	เมล็ดแตงมีรากงอก
	2	9	7	8	8	เมล็ดแตงมีรากงอก
	3	20	18	18	18.67	เมล็ดแตงมีรากงอก
	4	22	20	15	18	เมล็ดแตงมีรากงอก
2	1	12	9	10	10	เมล็ดเขียว สีเขียวเข้ม
	2	8	6	5	6.33	เมล็ดสีน้ำตาล
	3	48	60	52	53.33	มีใบงอกออกมา มีรากอ่อน
	4	60	70	65	65	มีใบงอกออกมา มีรากอ่อน
3	1	15	20	13	16	เมล็ดสีเขียวเข้ม รากสั้น
	2	-	-	-	-	ลำต้นคลไปมา และตาย
	3	35	30	38	34.3	มีใบงอกออกมา 2 ใบ
	4	33	34	34	34	มีใบงอกออกมา 2 ใบ ลำต้นสูง

วันที่ (นับจาก เริ่มเพาะ)	บีกอร์ ที่	ความยาวของราก (ความยาวของลำดับ)				ลักษณะทั่วไปที่สังเกตเห็น
		ต้นที่ 1 (mm.)	ต้นที่ 2 (mm.)	ต้นที่ 3 (mm.)	เฉลี่ย (mm.)	
4	1	13	13	9	11.67	ลำต้นเหี่ยวแต่เขียว
	2	-	-	-	-	เน่าตายไปตั้งแต่วันที่ 3
	3	100	95	112	102.33	มีใบสีเขียว 2 ใบ ลำต้นสูง
	4	100	90	95	95	มีใบสีเขียว 2 ใบ ลำต้นสูง
5	1	-	-	-	-	เหี่ยวตาย
	2	-	-	-	-	เน่าตายไปตั้งแต่วันที่ 3
	3	135	130	110	125	มีใบสีเขียว 2 ใบ ลำต้นสูง
	4	110	115	110	111.67	มีใบสีเขียว 2 ใบ ลำต้นสูง

* ผลการทดลองเป็นเพียงแนวทาง ขึ้นอยู่กับการทดลองแต่ละครั้ง

อภิปรายหลังการทดลอง

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อให้ได้ข้อสรุปดังนี้

1. เมล็ดถั่วที่ปลูกในบีกอร์ที่มีสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ความเข้มข้น $1 \times 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$ (บีกอร์ที่ 1) และสารละลายนิกเกิลซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต ความเข้มข้น $1 \times 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$ (บีกอร์ที่ 2) เน่าและตายในวันที่ 3 ของการปลูกแสดงว่า โลหะทองแดง และนิกเกิลที่อยู่ในสารละลายมีผลต่อการงอกของเมล็ดถั่วเขียว ซึ่งเมล็ดถั่วไม่ สามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติเมื่อเทียบกับน้ำกลั่น นั่นคือ เมล็ดถั่วเขียวรับโลหะนิกเกิลและทองแดงเข้าไปมากเกินไปจนความจำเป็นในการใช้ประโยชน์ทำให้เกิดความเป็นพิษ เมล็ดถั่วเขียวจึงไม่สามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ
2. เมล็ดถั่วที่ปลูกในบีกอร์ที่มีน้ำจากแหล่งชุมชน (หรือน้ำประปา) อยู่ มีการเจริญเติบโตเช่นเดียวกับในบีกอร์ที่มีน้ำกลั่นอยู่ แสดงว่า น้ำในชุมชน (หรือน้ำประปา) ไม่มีโลหะหนักทองแดงและนิกเกิลปนเปื้อนอยู่หรือถ้ามีก็มีน้อยมาก ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อการงอกและการเจริญเติบโตของเมล็ดถั่วเขียว

แนวคำตอบคำถามท้ายการทดลอง

1. เมล็ดถั่วเขียวที่ปลูกในบีกเกอร์ใดที่ตาย นักเรียนคิดว่าเป็นเพราะเหตุใด ?

เมล็ดถั่วที่ปลูกในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรตเข้มข้น $1 \times 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$ และสารละลายนิกเกิลซัลเฟตเฮกซะไฮเดรตลงเป็น $1 \times 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$ เน้นตายในวันที่สามของการทดลอง เนื่องจากสารละลายมีความเข้มข้นของโลหะทองแดงและนิกเกิลมากเกินไป ทำให้มีความเป็นพิษเกิดขึ้น เมล็ดถั่วจึงเน่าและตาย

2. ถ้าเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรตลงเป็น $1 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$ นักเรียนคิดว่าเมล็ดถั่วจะสามารถเจริญเติบโตเช่นเดียวกับน้ำกลั่นหรือไม่ เพราะเหตุใดจึงคิดเช่นนั้น

ถ้าเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรตลงเป็น $1 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$ ซึ่งมีความเข้มข้นน้อยกว่าสารละลายที่ใช้ทำการทดลอง ($1 \times 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$) เมล็ดถั่วเขียวอาจจะมีการงอกและการเจริญเติบโตตามปกติและอาจจะมีดีกว่าน้ำกลั่น เนื่องจากถ้าดินในบริเวณใดมีปริมาณทองแดงสะสมอยู่มากหรือน้อยเกินไป จะมีผลให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง เพราะจากการศึกษา พบว่า ทองแดงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเอนไซม์ต่าง ๆ ที่มีความสำคัญต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันต่าง ๆ ในพืช เช่น tyrosinase เป็นต้น แสดงว่าถ้าความเข้มข้นทองแดงไม่มากหรือน้อยเกินไป เมล็ดถั่วเขียวก็จะเจริญเติบโตได้ดี และนอกจากนี้ยังพบว่า ทองแดงเป็นธาตุจำเป็นสำหรับพืชในด้านการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ และเอนไซม์ของพืชด้วย

3. จงอธิบายว่าสารพิษที่มีผลต่อห่วงโซ่อาหาร และสุขภาพของมนุษย์อย่างไร ?

สารพิษ ทำให้สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดไม่ว่าจะเป็นพืช สัตว์ หรือ มนุษย์ ที่อยู่ในห่วงโซ่อาหารได้รับอันตราย เช่น เจ็บป่วย ล้มตาย สูญพันธุ์ หรืออาจเกิดการคัดต่อสารพิษ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารพิษนั้น ๆ เนื่องจากจะมีการถ่ายทอด หรือส่งต่อสารพิษจากสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งไปยังอีกชนิดหนึ่ง สะสมมากขึ้นเรื่อย ๆ โดยการบริโภคต่อกันเป็นทอด ๆ ส่วนมนุษย์เป็นผู้บริโภคขั้นสุดท้ายในห่วงโซ่อาหาร จะเป็นผู้ได้รับพิษที่สะสมเอาไว้มากที่สุด โดยสะสมไว้ตามเนื้อเยื่อและอวัยวะต่าง ๆ ซึ่งถ้าสะสมมีปริมาณมาก ร่างกายก็จะแสดงอาการที่เกิดจากการสะสมพิษนั้นออกมา

4. จงอธิบายถึงผลเสียจากการปล่อยน้ำทิ้งที่มีโลหะหนักลงสู่แหล่งน้ำ พร้อมยกตัวอย่าง ?

โลหะหนักที่ปนเปื้อนมากับน้ำทิ้ง จะลงสู่แม่น้ำลำคลองจะถูกดูดซึมและสะสมอยู่ในพืชและสัตว์น้ำ ตั้งแต่พวกแพลงตอนซึ่งเป็นอาหารสัตว์น้ำ เช่น ปลาเล็ก ๆ เมื่อปลาใหญ่หรือสัตว์น้ำอื่น ๆ มากินปลาเล็กเหล่านี้ก็จะรับเอาสารพิษเข้าไปสะสมในตัวมันเป็นทอด ๆ และในที่สุดเมื่อมนุษย์หรือสัตว์ใหญ่กินกุ้ง หอย ปู ปลาที่มีสารพิษเข้าไป ก็จะได้รับอันตรายจากที่สะสมไว้ เพราะเป็นผู้บริโภคชั้นสุดท้ายในห่วงโซ่อาหาร ถ้ามีการสะสมในปริมาณที่มาก อาจทำให้เกิดความเป็นพิษเฉียบพลันขึ้นได้ กล่าวคือ เป็นผลเสียต่อห่วงโซ่อาหาร ซึ่งการสะสมของโลหะหนักในสิ่งมีชีวิตระดับต่าง ๆ จนถึงมนุษย์ที่เป็นผู้บริโภคอันดับสุดท้ายในที่สุด ตัวอย่างกรณีแพ้พิษปรอท หรือโรคมินามาตะ (ในประเทศญี่ปุ่น) เป็นโรคที่เกิดขึ้นแล้วแสดงอาการให้เห็นต้องใช้เวลานานประมาณ 1 ปี โรคนี้จะทำลายระบบประสาทและระบบกล้ามเนื้อ โดยทำให้กล้ามเนื้ออ่อนเพลียหมดแรงไปเฉย ๆ ถ้าร่างกายสะสมไว้ประมาณ 50 มิลลิกรัมก็จะทำให้ตายได้ หรือที่บริเวณปากอ่าวแม่น้ำเจ้าพระยา พบว่ามีปริมาณปรอทในปริมาณสูง ซึ่งจะต้องหาแนวทางแก้ไขต่อไป ฯลฯ

มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการที่ 4 การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายการบำบัดน้ำทั้งทางเคมีและทางกายภาพ-เคมีได้
2. สามารถนำความรู้เกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้

ครูให้ความรู้เกี่ยวกับเรื่องการบำบัดน้ำทั้งจากโรงงานชุบโลหะโดยเน้นวิธีทางเคมีตามรายละเอียดในใบความรู้ประมาณ 50 นาที

บทปฏิบัติการที่ 4 การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ ด้วยการทำให้เกิดตะกอน

การทดลองนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาวิธีการบำบัดน้ำที่มีโลหะทองแดงและนิกเกิลโดยวิธีการทำให้เกิดตะกอน

จุดประสงค์การทดลอง เมื่อนักเรียนทำการทดลองแล้ว สามารถ

1. ทำการทดลองบำบัดน้ำที่มีโลหะหนักปนเปื้อน โดยวิธีการทำให้เกิดตะกอนได้
2. ทำการตรวจสอบได้ว่า ทองแดงและนิกเกิลได้ถูกกำจัดไปจากน้ำเสียแล้ว
3. อธิบายหลักการบำบัดน้ำทั้งที่มีโลหะหนักโดยวิธีการทำให้เกิดตะกอนได้

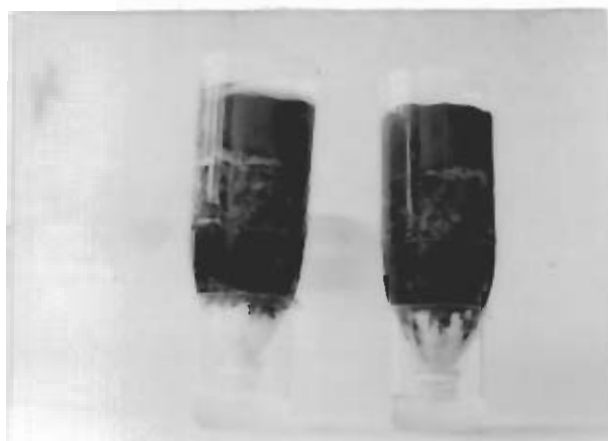
เวลาที่ใช้	อภิปรายก่อนการทดลอง	5	นาที
	ทดลอง	30	นาที
	อภิปรายหลังการทดลอง	15	นาที
	รวม	50	นาที

สารเคมีและอุปกรณ์

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
สารเคมี	
สารละลายคอปเปอร์เพอร์ไทเตไซด์เข้มข้น $1 \times 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
สารละลายนิกเกิลซัลเฟตเฮกซะไฮเดรตเข้มข้น $1 \times 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
สารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 3 mol/dm^3	10 ลูกบาศก์เซนติเมตร
สารละลายโคบอลต์ไกลออกซีม 1%	2 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำกลั่น	250 ลูกบาศก์เซนติเมตร
อุปกรณ์	
บีกเกอร์ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร	4 ใบ
บีกเกอร์ขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร	1 ใบ
กระดาษชูนีเวอร์อินดิเคเตอร์	5 แผ่น
ขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 ml	2 ใบ
ช้อนตักสารเบอร์ 1	2 อัน
แท่งแก้วคน	2 แท่ง
ชุดกรอง	2 ชุด

การเตรียมก่อนล่วงหน้า

1. เตรียมชุดกรองโดยนำขวดน้ำอัดลมชนิดพลาสติกขนาด 1.25 ลิตร ตัดกันออก และใส่วัสดุตามลำดับต่อไปนี้ ลำไส้ ถ่าน อีซู หิน ทราช โดยอัดให้แน่น แล้ววางกระดาษกรองไว้เหนือชั้นทราช (ภาพประกอบ 20) อาจจะแนะนำให้นักเรียนแต่ละกลุ่มทำมาใช้ในการทดลองของตนเอง



ภาพประกอบ 20 ชุดกรองสำหรับบทปฏิบัติการที่ 4

อภิปรายก่อนการทดลอง

ครูแนะนำนักเรียนในหัวข้อต่อไปนี้

1. การเตรียมสารละลายคอปเปอร์เพนตะไฮดรตเข้มข้น $1 \times 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$ จำนวน 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร เตรียมโดยเปิดสารละลายคอปเปอร์เพนตะไฮดรต ความเข้มข้น 1.0 mol/dm^3 (เตรียมไว้ในบทปฏิบัติการที่ 2) จำนวน 1.0 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ขวดวัดปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเจือจางด้วยน้ำจนครบปริมาตร และสารละลายนิกเกิลซัลเฟตเฮกซะไฮดรต ความเข้มข้น $1 \times 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$ จำนวน 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร เตรียมโดยเปิดสารละลายนิกเกิลซัลเฟตเฮกซะไฮดรตเข้มข้น 1.0 mol/dm^3 (เตรียมไว้ในบทปฏิบัติการที่ 2) จำนวน 1.0 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ขวดวัดปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเจือจางด้วยน้ำจนครบปริมาตร

2. แนะนำให้นักเรียนนำบีกเกอร์ขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ไปดักเอาปูนขาวที่ครูเตรียมไว้ มาประมาณ 3 - 4 ช้อน เพื่อใช้ในการทดลอง

3. สังเกตลักษณะของสารละลายทั้งก่อนและหลังเติมปูนขาวอย่างละเอียด

4. ในขณะที่ใส่ปูนขาวต้องคนตลอดเวลา

5. การวัด ค่า pH ระวังอย่าให้เกินช่วงที่โลหะตกตะกอน

6. การกรองเอาตะกอนออกให้วางชุดกรองไว้บนบีกเกอร์ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อที่จะสามารถวัดปริมาตรของสารละลายที่ผ่านการกรองได้ สารละลายที่กรองได้จะมีปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ผลการทดลองตอนที่ I

สารละลาย	pH	ลักษณะของสารละลาย	pH	ลักษณะของสารละลายเมื่อเติมปูนขาว
$\text{Cu SO}_4 \cdot 5 \text{ H}_2\text{O}$	3	ใส สีฟ้าอ่อน	9	ขุ่นมีตะกอน สีฟ้า
$\text{Ni SO}_4 \cdot 6 \text{ H}_2\text{O}$	3	ใส สีเขียวอ่อน	11	ขุ่นมีตะกอน สีเขียว

ผลการทดลองตอนที่ II

สารละลาย	ลักษณะของสารละลายเมื่อผ่านขั้นตอน		
	การกรอง	ตรวจสอบทองแดง	ตรวจสอบนิกเกิล
$\text{Cu SO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	ใส	ใส	-
$\text{Ni SO}_4 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	ใส	-	ใส

อภิปรายหลังการทดลอง

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อให้ได้ข้อสรุปดังนี้

ผลการทดลองตอนที่ I

การกำจัดโลหะทองแดงและนิกเกิล โดยการเติมปูนขาว ทำให้สารละลายเกิดเป็นตะกอนของโลหะไฮดรอกไซด์ ดังสมการ



โดยที่โลหะทองแดงจะเกิดตะกอนในช่วง pH 8 - 9 โลหะนิกเกิลจะเกิดตะกอนในช่วง pH 10 - 11 ซึ่งสามารถแยกตะกอนออกด้วยการกรอง ส่วนน้ำที่ใสสามารถระบายสู่แหล่งน้ำได้

ผลการทดลองตอนที่ II

สามารถตรวจสอบว่าน้ำเสียถูกกำจัดโลหะทองแดง และนิกเกิล ไปแล้วได้โดยสังเกตจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เมื่อเติมสารละลายแอมโมเนียและสารละลายไดเมทิลไกลออกซิม จากการทดลองน้ำที่ผ่านการกรองเมื่อนำมาตรวจสอบหาทองแดงและนิกเกิล พบว่าไม่เกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินและตะกอนสีแดง แสดงว่า ทองแดงและนิกเกิลถูกกำจัดไปแล้ว

สรุปได้ว่า การกำจัดทองแดงและนิกเกิล ในน้ำเสีย ทำได้โดยการเติมปูนขาว เพื่อให้สารละลายมี pH อยู่ในช่วงที่ทองแดงและนิกเกิลตกตะกอนได้ดี แล้วแยกน้ำที่ใสทิ้งไปด้วยการกรอง และสามารถตรวจสอบว่า ทองแดงและนิกเกิลถูกกำจัดไปแล้วโดยการวิเคราะห์หาปริมาณทองแดงและนิกเกิลในน้ำใสที่กรองได้

แนวการตอบคำถามท้ายการทดลอง

1. การกำจัดโลหะทองแดง และนิกเกิลที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำควรทำอย่างไร ?
โลหะทองแดง และนิกเกิล ที่ละลายอยู่ในน้ำมักทำให้เกิดตะกอนได้โดยเพิ่ม pH ทั้งนี้ ทองแดงเกิดตะกอนช่วง pH 8 - 9 และนิกเกิลเกิดตะกอน ในช่วง pH 10 - 11 ดังนั้นการเติมปูนขาวให้กับน้ำจนมี pH ขึ้นถึงระดับที่เหมาะสมทำให้โลหะหนักเกิดตะกอนได้ จากนั้นแยกตะกอนออกจากน้ำโดยการกรอง
2. นักเรียนสามารถสรุปแนวทางในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะได้อย่างไร จงอธิบาย ?
น้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะมักจะมีโลหะหนัก เช่น โครเมียม ทองแดง นิกเกิล โซดาไฟ ฯลฯ ปนเปื้อนอยู่ ระบบบำบัดที่ใช้จึงควรเป็นแบบระบบเคมี ซึ่งเป็นวิธีแยกโลหะหนักออกจากน้ำเสียโดยวิธีการทำให้เกิดตะกอนให้เกิดสารประกอบโลหะไฮดรอกไซด์ต่าง ๆ แล้วแยกตะกอนออกจากน้ำ
3. เหตุใดจึงเลือกใช้ปูนขาวในการทำโลหะหนักตกตะกอน ?
ปูนขาวเป็นสารเคมีที่มีสภาพเป็นเบสเมื่อเติมลงในสารละลายจะทำให้ pH ของสารละลายสูงขึ้น อีกทั้งเป็นสารเคมีที่ราคาถูก และหาซื้อได้ง่าย
4. เมื่อนำสารละลายทั้งสองผ่านการกรองแล้ว นักเรียนคิดว่าสิ่งที่เหลืออยู่บนกระดาษกรองน่าจะเป็นอะไร เพราะเหตุใด ?
น่าจะเป็นตะกอนของสารประกอบของทองแดงและนิกเกิล เพราะเมื่อนำน้ำที่ผ่านการกรองจากชุดกรอง มาทดสอบด้วยสารละลายแอมโมเนียและสารละลายโคบอลต์ ไกลออกซิมพบว่าไม่เกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินและตะกอนสีแดง
5. ถ้านักเรียนทราบว่าน้ำที่นักเรียนนำมาทดลองมีทั้งทองแดงและนิกเกิลปนเปื้อนอยู่ นักเรียนจะกำจัดโลหะหนักทั้งสองชนิดอย่างไร จงอธิบาย ?
ทำการตกตะกอนเอาทองแดงและนิกเกิลออกตามลำดับของค่า pH โดยการเติมปูนขาวเพื่อให้สารละลายมี pH อยู่ในช่วง 8-9 ทองแดงจะตกตะกอน กรองเอาตะกอนของทองแดงออกโดยผ่านชุดกรอง ต่อจากนั้นนำน้ำที่กรองได้มาปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 10-11 นิกเกิลจะตกตะกอน กรองเอาตะกอนของนิกเกิลออกโดยผ่านชุดกรอง นำน้ำที่กรองได้ไปตรวจสอบหาทองแดงและนิกเกิลโดยเติมสารละลายแอมโมเนียและสารละลายโคบอลต์ ไกลออกซิมตามลำดับ

คู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการที่ 5
คุณสมบัติในการดูค้ำโหละหนักของวัสดุธรรมชาติ

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติการดูค้ำโหละหนักของวัสดุธรรมชาติ
2. สามารถนำวัสดุธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และรักษาสิ่งแวดล้อมได้
3. สามารถนำความรู้จากการทดลองไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้

ครู ให้ความรู้เกี่ยวกับเรื่องคุณสมบัติ ในการดูค้ำโหละหนักของวัสดุธรรมชาติ ตามรายละเอียดในใบความรู้ประมาณ 30 นาที

บทปฏิบัติการที่ 5 คุณสมบัติในการดูค้ำโหละหนักของวัสดุธรรมชาติ

การทดลองนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาคุณสมบัติ ในการดูค้ำโหละหนักของวัสดุธรรมชาติ

จุดประสงค์การทดลอง เมื่อนักเรียนทำการทดลองแล้ว สามารถ

1. ทำการทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติในการดูค้ำโหละหนักของวัสดุธรรมชาติได้
2. บอกคุณสมบัติในการดูค้ำโหละหนักของวัสดุธรรมชาติได้

เวลาที่ใช้อภิปรายก่อนการทดลอง	10	นาที
ทดลอง	40	นาที
อภิปรายหลังการทดลอง	20	นาที
รวม	70	นาที

สารเคมีและอุปกรณ์

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
<u>สารเคมี</u>	
สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต เข้มข้น $5 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$	200 ลูกบาศก์เซนติเมตร
สารละลายนิคมิกซ์ลฟอสเฟตเฮกซะไฮเดรต เข้มข้น $5 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$	200 ลูกบาศก์เซนติเมตร
สารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 3 mol/dm^3	15 ลูกบาศก์เซนติเมตร
สารละลายไดเมทิลไกลออกซิม 1%	5 ลูกบาศก์เซนติเมตร
แกลบ	5 กรัม
ซีลีออย	5 กรัม
ฟางข้าว	5 กรัม
ผักตบชวา	5 กรัม
ถ่านกัมมันต์	5 กรัม
น้ำกลั่น	
<u>อุปกรณ์</u>	
ขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 ลูกบาศก์เซนติเมตร	10 ใบ
แท่งแก้วคน	2 แท่ง
กรวยกรอง	10 อัน
กระบอกตวง ขนาด 25 ml	6 ใบ
กระบอกตวง ขนาด 50 ml	4 ใบ
กระดาษกรอง	20 แผ่น
ปิเปตต์ ขนาด 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร	1 อัน
ปิเปตต์ ขนาด 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร	1 อัน
แผ่นพาราฟิล์ม	4 แผ่น
ขวดน้ำกลั่น	1 ขวด

การเตรียมก่อนล่วงหน้า

1. เตรียมสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 3 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ดังบทปฏิบัติการที่ 2

2. เตรียมสารละลายโคโมทิลไกลออกซิมเข้มข้น 1 % ดังบทปฏิบัติการที่ 2

3. เตรียมสารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรตเข้มข้น $5 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$ โดยเปิดสารละลายมาตรฐานตั้งต้นคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรตเข้มข้น 1 mol/dm^3 (เตรียมไว้ในบทปฏิบัติการที่ 2) จำนวน 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ขวดวัดปริมาตร 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเจือจางด้วยน้ำจนครบปริมาตร (สำหรับใช้ทดลอง 5 กลุ่ม)

4. เตรียมสารละลายมาตรฐานนิโคตินิกซัลเฟตเฮกซะไฮเดรตเข้มข้น $5 \times 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$ โดยเปิดสารละลายมาตรฐานตั้งต้นนิโคตินิกซัลเฟตไฮเดรตเข้มข้น 1 mol/dm^3 (เตรียมไว้ในบทปฏิบัติการที่ 2) จำนวน 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ขวดวัดปริมาตร 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเจือจางด้วยน้ำจนครบปริมาตร (สำหรับใช้ทดลอง 5 กลุ่ม)

5. เตรียมวัสดุธรรมชาติดังนี้

5.1 แกลบ นำแกลบมาป่นให้ละเอียดพอสมควร ล้างด้วยน้ำให้สะอาด พยายามล้างให้น้ำสีเหลือง ๆ ออกให้หมด กรองด้วยผ้าขาวบาง บิดเอาน้ำออก นำไปอบที่ตู้อบลมร้อน ณ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 6-8 ชั่วโมง หรือตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 1 วัน เก็บไว้ในถุงพลาสติกปิดไม่ให้อากาศเข้า

5.2 ขี้เถ้า นำขี้เถ้ามาป่นให้ละเอียดพอสมควร ล้างด้วยน้ำให้สะอาด พยายามล้างให้น้ำสีเหลือง ๆ ออกให้หมด กรองด้วยผ้าขาวบาง บิดเอาน้ำออก นำไปอบที่ตู้อบลมร้อน ณ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 6-8 ชั่วโมง หรือตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 1 วัน เก็บไว้ในถุงพลาสติกปิดไม่ให้อากาศเข้า

5.3 ฟางข้าว นำฟางข้าวตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ก่อนที่จะนำไปป่นให้ละเอียดพอสมควร ล้างด้วยน้ำให้สะอาด พยายามล้างให้น้ำสีเหลือง ๆ ออกให้หมด กรองด้วยผ้าขาวบาง บิดเอาน้ำออก นำไปอบที่ตู้อบลมร้อน ณ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ประมาณ 6-8 ชั่วโมง หรือตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 1 วัน เก็บไว้ในถุงพลาสติกปิดไม่ให้อากาศเข้า

5.4 ผักตบชวา ผักตบชวาใช้ส่วนที่เป็นลำต้น นำมาล้างให้สะอาด หั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ก่อนนำไปป่นให้ละเอียดพอสมควร ล้างด้วยน้ำให้สะอาด พยายามล้างให้น้ำสีเขียว ๆ ออกให้หมด กรองด้วยผ้าขาวบาง บิดเอาน้ำออก นำไปอบที่ตู้อบลมร้อน ณ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 6-8 ชั่วโมง หรือตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 1 วัน เก็บไว้ในถุงพลาสติกปิดไม่ให้อากาศเข้า

นำสารละลายในข้อ 1 และ 2 ตั้งไว้ใช้ร่วมกัน พร้อมทั้งเปิดขนาด 1 , 5 มิลลิเมตร และถูกยางดูดปิเปต สำหรับสารละลายมาตรฐานในข้อ 3 และ 4 ใส่ไว้ในขวดใส่สาร หรือในบีกเกอร์ขนาด 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตั้งไว้ใช้ร่วมกัน

อภิปรายก่อนการทดลอง

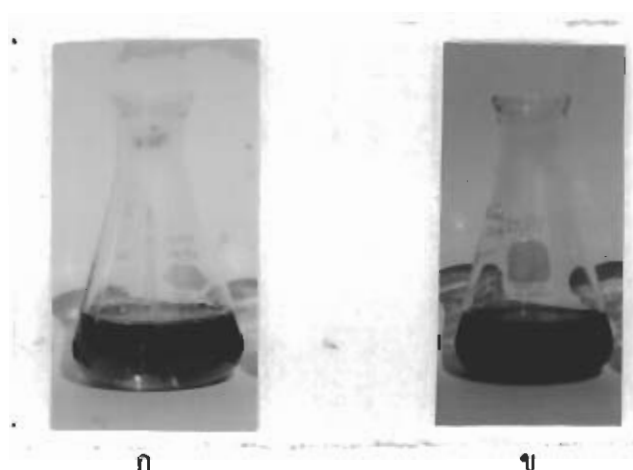
ครูแนะนำนักเรียนในหัวข้อต่อไปนี้

1. การเตรียมกระดาษกรองแบบจิบเพื่อกรองสารละลายออกจากวัชศุรรมชาติ
2. การเตรียมชุดกรองถ่านกัมมันต์ ให้นักเรียนใส่ถ่านกัมมันต์ 3 ชั้นตักสารลงในกระดาษกรองที่อยู่ในกรวยกรอง แล้วค่อย ๆ ชะด้วยน้ำกลั่น เพื่อป้องกันฝุ่นถ่านลอยขึ้นมาให้น้ำท่วมถ่านและปล่อยให้ น้ำหยดออกจนหมด จะสามารถนำมาใช้ได้เมื่อสังเกตเห็นว่าน้ำในถ่านหมด (หมด ๆ) จึงจะสามารถนำไปใช้ในการทดลองได้ (สามารถบอกให้นักเรียนมาเตรียมก่อนล่วงหน้าในช่วงเวลาว่างได้)
3. การชะวัชศุรรมชาติที่แช่อยู่ในสารละลาย คือห้ามคนวัชศุรรมชาติแต่ให้ค่อย ๆ ชะด้วยน้ำกลั่น ระวังไม่ให้สารละลายที่ปรับปริมาตรนั้นเกินปริมาตรที่กำหนด

ผลการทดลอง

ขวด ที่	ลักษณะสารละลายที่กรองได้		ลักษณะสารละลายเมื่อเติม	
	ก่อนกรองผ่านถ่าน	หลังกรองผ่านถ่าน	สารละลาย แอมโมเนีย (cm ³)	สารละลายไตเมทิล ไกลออกซิม (cm ³)
1	ใส	ใส	ใส สีน้ำเงิน	-
2	ใส สีเหลืองอ่อน ๆ	ใส	ใส	-
3	ใส สีเหลืองอ่อน	ใส	ใส	-
4	ใส สีเหลืองเข้ม	ใส	ใส	-
5	ใส สีเหลืองอ่อนมาก	ใส	ใส	-
6	ใส	ใส	-	ตะกอนสีแดงส้ม
7	ใส สีเหลืองอ่อน ๆ	ใส	-	ใส
8	ใส สีเหลืองอ่อน	ใส	-	ใส
9	ใส สีเหลืองเข้ม	ใส	-	ใส
10	ใส สีเหลืองอ่อนมากๆ	ใส	-	ใส

สีของสารละลายเมื่อเติมลิแกนด์ ภาพประกอบ 21



ภาพประกอบ 21 สีของสารละลายเมื่อเติมลิแกนด์ ในบทปฏิบัติการที่ 5

รูป ก สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรตทำปฏิกิริยากับแอมโมเนีย (ขวดที่ 1)

รูป ข สารละลายนิกเกิลซัลเฟตเพนตะไฮเดรตทำปฏิกิริยากับไดเมทิลไกลออกซิม(ขวดที่ 6)

อภิปรายหลังการทดลอง

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อให้ได้ข้อสรุปดังนี้

1. เมื่อนำสารละลายที่แช่ในวัสดุธรรมชาติคือ แกลบ จี้เลื่อย ฟางข้าว และผักตบชวา มาตรวจสอบหาทองแดงและนิกเกิล ปรากฏว่าไม่พบ เพราะเมื่อเติมสารละลายแอมโมเนียและสารละลายไดเมทิลไกลออกซิมไม่มีการเปลี่ยนแปลง แสดงว่า คือ แกลบ จี้เลื่อย ฟางข้าว และผักตบชวาสามารถดูดซับโลหะหนักไว้
2. สารละลายที่กรองได้จากการแช่คือ แกลบ จี้เลื่อย ฟางข้าว และผักตบชวา มีสีเหลืองเมื่อกรองผ่านผงถ่านกัมมันต์สารละลายที่ได้ไม่มีสี (ใส) แสดงว่าผงถ่านกัมมันต์สามารถดูดสีของสารอินทรีย์ได้
3. ปริมาณสารละลายที่ใช้ในการแช่แกลบ จี้เลื่อย ฟางข้าว และผักตบชวาแตกต่างกัน แสดงว่า ความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของวัสดุธรรมชาติแตกต่างกันด้วย

แนวการตอบคำถามท้ายการทดลอง

1. จากการทดลองวัสดุธรรมชาติสามารถดูดซับโลหะหนักได้หรือไม่ เพราะเหตุใด ?

วัสดุธรรมชาติทั้ง 4 ชนิด คือ แกลบ ขี้เถ้า ฟาง ผักตบชวา สามารถดูดซับโลหะหนักได้ เพราะนำสารละลายที่มี โลหะทองแดง และนิกเกิลมาแช่ในวัสดุธรรมชาติ เมื่อนำสารละลายที่แช่ในวัสดุธรรมชาติ มาตรวจสอบหาทองแดง และนิกเกิล โดยเติมสารละลายแอมโมเนีย และสารละลายโคบอลต์ ไกลออกซีมตามลำดับ พบว่าไม่เกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินและตะกอนสีแดง แสดงว่า วัสดุธรรมชาติทั้ง 4 ชนิดสามารถดูดซับโลหะหนักได้

2. นักเรียนคิดว่าเพราะเหตุใดวัสดุธรรมชาติจึงสามารถดูดซับโลหะหนักได้ ?

เพราะวัสดุธรรมชาติมีพื้นผิวเป็นรูพรุนทำให้โมเลกุลของโลหะหนักเกาะอยู่ที่รูพรุน

3. เมื่อแช่วัสดุธรรมชาติ สารละลายที่กรองได้จะมีสีเหลือง นักเรียนจะกำจัดสารที่มีสีเหลืองได้หรือไม่ อย่างไร ?

ได้ โดยนำสารละลายที่มีสีเหลืองกรองผ่านถ่านกัมมันต์ เนื่องจากถ่านกัมมันต์เป็นคาร์บอนที่มีรูพรุน และสามารถดูดกลืนและดูดสีได้

4. เพราะเหตุใดจึงใช้ปริมาตรสารละลายในการแช่แกลบและขี้เถ้าเท่ากัน แต่แตกต่างจากฟางข้าวและผักตบชวา ?

เพราะความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของวัสดุธรรมชาติแต่ละชนิดไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับมวลของวัสดุธรรมชาติ ความพรุนของวัสดุธรรมชาติและปริมาตรของสารละลายมาตรฐานที่ใช้ในการแช่วัสดุธรรมชาติ

5. จากผลการทดลองนักเรียนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียได้หรือไม่ อย่างไร ?

ในระบบบำบัดทางเคมีต้องมีการเติมสารเคมีลงไปทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการซื้อสารเคมีมาใช้ ดังนั้นน่าจะลองนำวัสดุธรรมชาติมาช่วยในการดูดซับโลหะหนักก่อนที่จะทำการบำบัดขั้นต่อไป

คู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการที่ 6

การวิเคราะห์ปริมาณทองแดงที่เหลือจากการดูดซับโดยวัสดุธรรมชาติด้วยวิธีเทียบสี

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของวัสดุธรรมชาติ
2. สามารถนำวัสดุธรรมชาติไปใช้ให้เกิดประโยชน์และรักษาสิ่งแวดล้อมให้ดีขึ้น
3. สามารถนำความรู้จากการทดลองไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้

ครูทบทวนบทปฏิบัติการที่ 5 ประมาณ 10 นาทีเพื่อนำเข้าสู่บทปฏิบัติการที่ 6

บทปฏิบัติการที่ 6 การวิเคราะห์ปริมาณทองแดงที่เหลือจากการดูดซับโดยวัสดุธรรมชาติด้วยวิธีเทียบสี

การทดลองนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงของวัสดุธรรมชาติด้วยวิธีเทียบสีหาปริมาณ

จุดประสงค์การทดลอง เมื่อนักเรียนทำการทดลองแล้ว สามารถ

1. ทำการทดลองหาปริมาณของทองแดงที่เหลือจากการดูดซับโดยวัสดุธรรมชาติได้
2. สามารถเลือกวัสดุธรรมชาติไปใช้ประโยชน์ในการดูดซับทองแดงได้อย่างเหมาะสม
3. เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับโลหะทองแดงของวัสดุธรรมชาติแต่ละชนิดได้

เวลาที่ใช้อภิปรายก่อนการทดลอง	10	นาที
ทดลอง	50	นาที
อภิปรายหลังการทดลอง	30	นาที
รวม	90	นาที

สารเคมีและอุปกรณ์

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
สารเคมี	
สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต $1 \times 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$	300 ลูกบาศก์เซนติเมตร
สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต $7 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$	50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต $5 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$	50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต $3 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$	50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต $1 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$	50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
สารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 3 mol/dm^3	50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำกลั่น	50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
แมกนีเซียม	2.5 กรัม
ซีลีเนียม	2.5 กรัม
ฟอสฟอรัส	2.5 กรัม
ผักตบชวา	2.5 กรัม
ถ่านกัมมันต์	5.0 กรัม
อุปกรณ์	
ขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 ลูกบาศก์เซนติเมตร	10 ใบ
แจ่งแก้วคน	2 แจ่ง
กรวยกรอง	10 อัน
กระดาษกรอง	10 แผ่น
กระบอกตวง ขนาด 50 ml	10 อัน
ช้อนตักสาร	1 อัน
แผ่นพาราฟิล์ม	5 แผ่น
ขวดน้ำกลั่น	1 ขวด

การเตรียมก่อนล้างหน้า

1. เตรียมชั้นดีชกับบทยปฏิบัติการใช้ 5 เฉพาะข้อที่ 1 และ 5 เท่านั้น
 2. การเตรียมสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรตเข้มข้น $1 \times 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$ โดยเปิดสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรตเข้มข้น 1 mol/dm^3 (เตรียมไว้ในบทยปฏิบัติการใช้ 2) จำนวน 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตรและเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนครบปริมาตร (สำหรับใช้ทดลอง 2 กลุ่ม)
 3. เตรียมสารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต 1×10^{-3} , 3×10^{-3} , 5×10^{-3} , และ $7 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$ จำนวน 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยเปิดสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ความเข้มข้น $1 \times 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$ จากข้อ 2 จำนวน 10, 30, 50, และ 70 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรและเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนครบปริมาตร (สำหรับใช้ทดลอง 2 กลุ่ม)
- บรรจุสารละลายในข้อ 1 - 3 และน้ำกลั่น ใส่ขวดใส่สารหรือใส่บีกเกอร์ขนาด 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร พร้อมทั้งติดป้ายชื่อให้ชัดเจน ตั้งไว้ใช้ร่วมกัน พร้อมกระบอกตวงขนาด 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร 5 อัน ประจำสารละลายแต่ละชนิด

อภิปรายก่อนการทดลอง

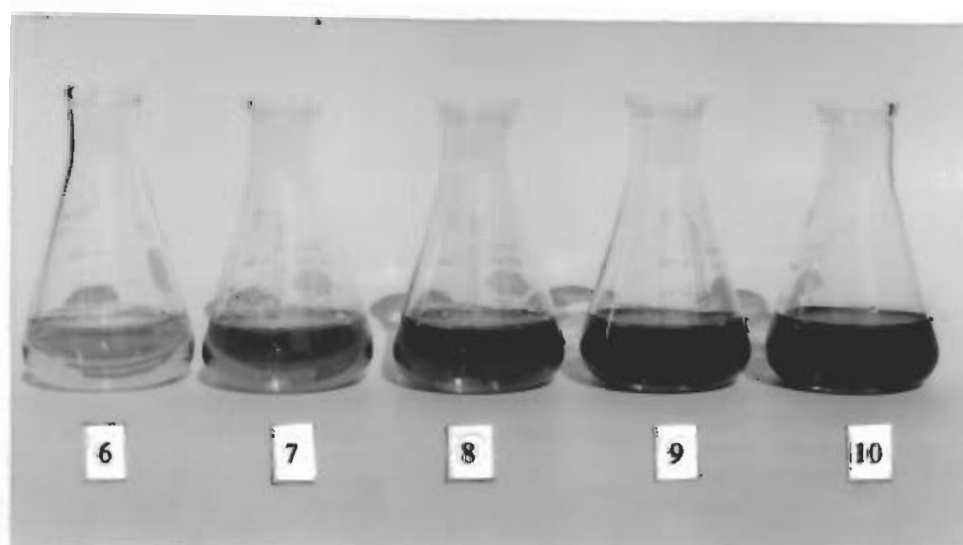
ครูแนะนำนักเรียนในหัวข้อต่อไปนี้

1. สารละลายทองแดงมาตรฐานที่เดิมในขวดที่ 1-4 มีความเข้มข้นเท่ากัน คือ $1 \times 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$ ขวดที่ 5 - 6 คือสารละลายมาตรฐานที่ใช้สำหรับเทียบสีหรือคาดคะเนปริมาณทองแดงที่เนื่องจากการดูดซับโดยวัสดุธรรมชาติในขวดที่ 1 - 4
2. การเทียบสีให้นักเรียนคาดคะเนให้ใกล้เคียงกับสีที่นักเรียนเห็นในขวดที่ 5 - 6 มากที่สุด ถ้าสีนั้นอยู่ระหว่างความเข้มข้นทั้งสองให้ใช้ค่ากลางของความเข้มข้นนั้น

ผลการทดลอง

ขวด ที่	ลักษณะของสาร ละลาย ที่กรองผ่านถ่าน	ลักษณะของสารละลายเมื่อ เติมสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 3 mol/dm ³ (cm ³)	ปริมาณทองแดงที่คาดคะเน เมื่อเทียบกับขวดที่ 5 - 10
1	ใส	สีน้ำเงิน	7×10^{-3}
2	ใส	สีน้ำเงินอ่อน	5×10^{-3}
3	ใส	สีน้ำเงินอ่อนมาก	3×10^{-3}
4	ใส	ใส	-
5	ใส	ใส	-
6*	ใส	สีน้ำเงินอ่อนเกือบใส	-
7*	ใส	สีน้ำเงินอ่อน	-
8*	ใส	สีน้ำเงิน	-
9*	ใส	สีน้ำเงินเข้ม	-
10*	ใส สีฟ้าอ่อน	สีน้ำเงินม่วง	-

* สีของสารละลายจะเข้มข้นตามลำดับดังรูป. คือ ขวดที่ 6-10



ภาพประกอบ 22 สีของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ความเข้มข้น 1×10^{-3} , 3×10^{-3} , 5×10^{-3} , 7×10^{-3} และ 1×10^{-2} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ตามลำดับ ทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียเข้มข้น 3 โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร

อภิปรายหลังการทดลอง

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อให้ได้ข้อสรุปดังนี้

1. จากการทดลองสามารถเรียงลำดับความเข้มข้นของสีของสารละลายที่ผ่านการแช่โดยวัสดุธรรมชาติจากน้อยไปหามากได้ดังนี้ ผักตบชวา < ฟางข้าว < ขี้เถ้า < แกลบ แสดงว่าผักตบชวาสามารถดูดโลหะทองแดงที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำได้ดีที่สุด รองลงมาคือฟางข้าว ขี้เถ้า และ แกลบตามลำดับ

2. เมื่อเปรียบเทียบการคาดคะเนปริมาณทองแดง หลังจากผ่านการแช่ในวัสดุธรรมชาติ เปรียบเทียบทองแดงที่เหลืออยู่ พบว่า ผักตบชวาดูดโลหะทองแดงหมด ฟางข้าวมีปริมาณทองแดงเหลือ 3×10^{-3} ขี้เถ้ามีปริมาณทองแดงเหลือ 5×10^{-3} และแกลบมีปริมาณทองแดงเหลือ 7×10^{-3} แสดงว่าประสิทธิภาพในการดูดทองแดงผักตบชวาดีที่สุด รองลงมาคือฟางข้าว ขี้เถ้า และแกลบตามลำดับ

แนวคำตอบคำถามท้ายการทดลอง

1. จากการทดลองข้อมูลใดเป็นตัวบ่งชี้บอกความสามารถในการดูดซับโลหะทองแดงของวัสดุธรรมชาติ โดยเรียงลำดับความสามารถดังกล่าวจากมากไปหาน้อย ?

จากการทดลองสามารถใช้การสังเกตสีของสารละลายและปริมาณทองแดงที่คาดคะเนปริมาณทองแดงที่หลุดจากการดูดซับโดยวัสดุธรรมชาติ และจากการเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานที่ 6 - 10 พบว่า ความสามารถในการดูดซับโลหะทองแดงของวัสดุธรรมชาติ เป็นดังต่อไปนี้คือ ผักตบชวา > ฟางข้าว > ขี้เถ้า > แกลบ ตามลำดับ

2. วัสดุธรรมชาติชนิดใดดูดซับโลหะทองแดงได้ดีที่สุด เพราะเหตุใด ?

ผักตบชวา เพราะ ผักตบชวาเป็นวัสดุธรรมชาติที่มีลักษณะลำต้นเป็นโพรง หรือช่องว่างภายในมาก ดังนั้น โมเลกุลของโลหะทองแดงสามารถแทรกตัวเข้าไปอยู่ในช่องว่างภายในได้มากกว่าวัสดุธรรมชาติชนิดอื่น ๆ ที่ทำการทดลอง

3. ถ้านักเรียนต้องการให้ฟางข้าวมีประสิทธิภาพในการดูดซับเท่ากับผักตบชวา นักเรียนควรทำอย่างไร ?

ควรเพิ่มปริมาณฟางข้าวให้มากกว่าเดิมจาก 2.5 กรัม เป็น 5 กรัม (หรือมากกว่าเดิม) เพราะจะทำให้พื้นที่และช่องว่างในการดูดซับโลหะทองแดงมากขึ้น

4. นักเรียนคิดว่าแกลบเหมาะสำหรับมาใช้ดูดซับโลหะทองแดงหรือไม่ เพราะเหตุใด ?

ไม่เหมาะ เพราะจากการทดลอง แกลบมีความสามารถในการดูดซับโลหะทองแดงได้น้อยมาก สังเกตได้จากสีของสารละลายทองแดงที่เหลืออยู่เทียบกับสารละลายมาตรฐาน น่าจะนำแกลบไปใช้ประโยชน์ในแง่การเกษตรจะมีความเหมาะสมมากกว่า

คู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการที่ 7
การวิเคราะห์ปริมาณนิเกิลที่เหลือจากการดูดซับโดยวัสดุธรรมชาติโดยวิธีเทียบสี

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของวัสดุธรรมชาติ
2. สามารถนำวัสดุธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์และรักษาสังแวดล้อมให้ดีขึ้น
3. สามารถนำความรู้จากการทดลองไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้

ครูทบทวนบทปฏิบัติการที่ 6 ประมาณ 10 นาที เพื่อนำเข้าสู่บทปฏิบัติการที่ 7

บทปฏิบัติการที่ 7 การวิเคราะห์ปริมาณนิเกิลที่เหลือจากการดูดซับโดยวัสดุธรรมชาติ

การทดลองนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับนิเกิลของวัสดุธรรมชาติด้วยวิธีเทียบสีหาปริมาณ

จุดประสงค์การทดลอง เมื่อนักเรียนทำการทดลองแล้ว สามารถ

1. ทำการทดลองหาปริมาณของนิเกิลที่เหลือจากการดูดซับโดยวัสดุธรรมชาติได้
2. สามารถเลือกวัสดุธรรมชาติไปใช้ประโยชน์ในการดูดซับนิเกิลได้อย่างเหมาะสม
3. เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของวัสดุธรรมชาติแต่ละชนิดได้

เวลาที่ใช้อภิปรายก่อนการทดลอง	10	นาที
ทดลอง	50	นาที
อภิปรายหลังการทดลอง	30	นาที
รวม	90	นาที

สารเคมีและอุปกรณ์

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
สารเคมี	
สารละลายนิโคตินิกแอซิดเฟดเฮกซะไฮเดรต 1×10^{-3} mol/dm ³	300 ลูกบาศก์เซนติเมตร
สารละลายนิโคตินิกแอซิดเฟดเฮกซะไฮเดรต 7×10^{-4} mol/dm ³	50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
สารละลายนิโคตินิกแอซิดเฟดเฮกซะไฮเดรต 5×10^{-4} mol/dm ³	50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
สารละลายนิโคตินิกแอซิดเฟดเฮกซะไฮเดรต 3×10^{-4} mol/dm ³	50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
สารละลายนิโคตินิกแอซิดเฟดเฮกซะไฮเดรต 1×10^{-4} mol/dm ³	50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
สารละลายแอมโมเนียไฮดรอกไซด์	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
สารละลายไอโอดีน	50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
สารละลายแอมโมเนียโคบอลต์ไกลออกซีม	200 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำกลั่น	50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
แอลกอฮอล์	2.5 กรัม
ขี้เถ้า	2.5 กรัม
ฟางข้าว	2.5 กรัม
ผักตบชวา	2.5 กรัม
ถ่านกัมมันต์	5 กรัม
อุปกรณ์	
ขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 ลูกบาศก์เซนติเมตร	10 ใบ
แจ่งแก้วคน	2 แจ่ง
กรวยกรอง	10 อัน
กระดาษกรอง	10 แผ่น
ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml	10 ใบ
กระบอกลวด ขนาด 50 ml	10 อัน
ชิ้นดักสาร	1 อัน
แผ่นพาราฟิล์ม	3 แผ่น
ขวดน้ำกลั่น	1 ขวด

การเตรียมก่อนล่วงหน้า

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานนิเกิลซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต ความเข้มข้น $1 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$ โดยเปิดสารละลายมาตรฐานตั้งต้น นิเกิลซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต 1 mol/dm^3 (เตรียมไว้ในบทปฏิบัติการที่ 2) จำนวน 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ขวดวัดปริมาตร 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเจือจางด้วยน้ำจนครบปริมาตร (สำหรับใช้ทดลอง 2 กลุ่ม)

2. เตรียมสารละลายมาตรฐานนิเกิลซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต 1×10^{-4} , 3×10^{-4} , 5×10^{-4} , และ $7 \times 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$ จำนวน 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยเปิดสารละลายนิเกิลซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต ความเข้มข้น $1 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$ จากข้อ 1 จำนวน 10, 30, 50, และ 70 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรและเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนครบปริมาตร (สำหรับใช้ทดลอง 2 กลุ่ม)

3. สารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต (575 g/l) ละลายซิงก์แอซิโตนไฮเดรต 500 กรัม ในสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 25-30 % (18 N) เจือจางด้วยน้ำกลั่นเป็น 1 ลิตร (สำหรับใช้ทดลอง 10 กลุ่ม)

4. สารละลายไฮโอซีน (12.7 g/l) ละลายไฮโอซีน ในสารละลาย 75 กรัมของโพแทสเซียมไฮโอไดต์ในน้ำกลั่น 60 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นเป็น 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร เก็บไว้ในขวดสีชา (สำหรับใช้ทดลอง 10 กลุ่ม)

5. สารละลายแอมโมเนียคัลโคเมทิลไกลออกซิม ละลายโคเมทิลไกลออกซิม 1 กรัม ในสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 25-30 % (18 N) 500 ลูกบาศก์เซนติเมตรและเจือจางด้วยน้ำกลั่น 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร (เก็บไว้ใช้ได้นาน 2 สัปดาห์) (สำหรับใช้ทดลอง 5 กลุ่ม)

อภิปรายก่อนการทดลอง

ครูแนะนำนักเรียนในหัวข้อต่อไปนี้

1. ทำการทดลองเช่นเดียวกับบทปฏิบัติการที่ 6 แต่การทดลองนี้เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณนิเกิลแทนทองแดง

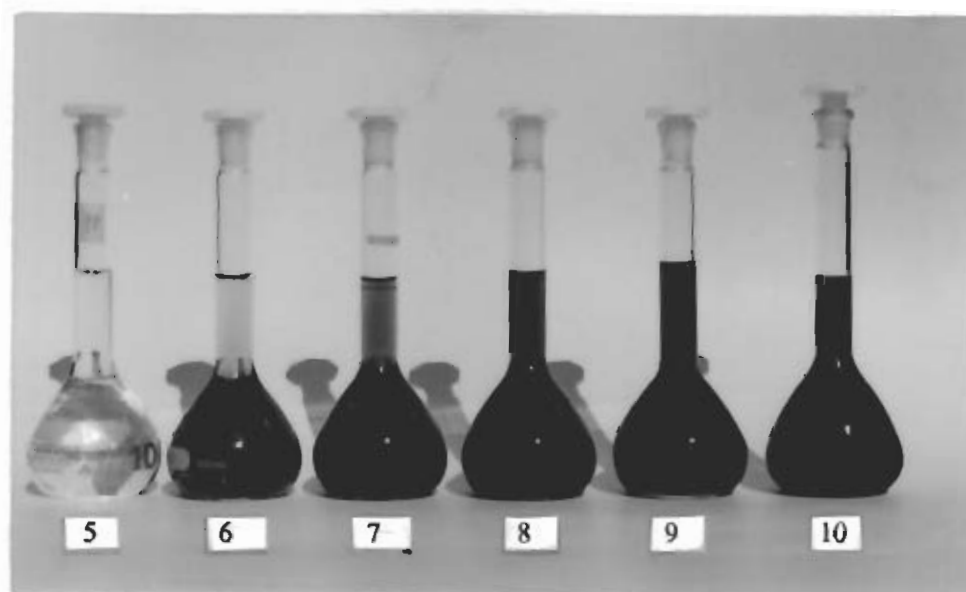
2. ควรระมัดระวังในการทดลองให้มาก เพราะรีเอเจนต์ ที่ใช้มีกลิ่นแอมโมเนียที่แรงมาก ต้องใช้ผ้าปิดจมูกในขณะที่ทำการทดลอง (ควรสั่งให้นักเรียนเตรียมมาล่วงหน้าก่อนจะถึงบทปฏิบัติการที่ 7)

3. ในการเติมรีเอเจนต์ เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณนิเกิล ในสารละลายให้เดิมเรียงตามลำดับตามวิธีการทดลอง และอย่าให้สารละลายผสมกันทุกครั้งหลังจากเติมรีเอเจนต์แต่ละตัว

ผลการทดลอง

ขวด ที่	ลักษณะของสาร ละลาย ที่กรองผ่านถ่าน	ลักษณะของสารละลายเมื่อ เติมสารละลายทั้งสามชนิด	ปริมาณทองแดงที่ตกตะกอน เมื่อเทียบสีกับขวดที่ 5 - 10
1	ใส	สีส้มน้ำตาล	5×10^{-1}
2	ใส	สีแดงส้ม	3×10^{-1}
3	ใส	เหลืองเข้มออกส้ม	1×10^{-1}
4	ใส	เหลือง	-
5*	ใส	เหลือง	-
6*	ใส	แดงส้มออกน้ำตาล	-
7*	ใส	น้ำตาลแดง	-
8*	ใส	น้ำตาลแดงแก่	-
9*	ใส	น้ำตาลแดงเข้ม	-
10*	ใส	น้ำตาลแดงเข้มมาก	-

* สีของสารละลายเข้มจะขึ้นตามลำดับดังรูปคือ ขวดที่ 5- 10



ภาพประกอบ 23 สีของน้ำกลั่นและสารละลายนิกเกิลซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต ความเข้มข้น 1×10^{-1} , 7×10^{-1} , 5×10^{-1} , 3×10^{-1} และ 1×10^{-1} โมล/ลูกบาศก์เดซิเมตร ตามลำดับ ทำปฏิกิริยากับรีเอเจนต์ที่เติมทั้ง 3 ชนิด

อภิปรายหลังการทดลอง

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อให้ได้ข้อสรุปดังนี้

1. จากการทดลองสามารถเรียงลำดับความเข้มข้นของสีของสารละลายที่ผ่านการแช่ โดยวัฏศุภรรมาติจากน้อยไปหามากได้ดังนี้ ผักตบชวา < ฟางข้าว < จี๊เลื้อย < แกลบ แสดงว่าผักตบชวาสามารถดูดโลหะนิกเกิลที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำได้ดีที่สุด รองลงมาคือฟางข้าว จี๊เลื้อย และ แกลบ ตามลำดับ

2. เมื่อเปรียบเทียบการคาดคะเนปริมาณนิกเกิล หลังจากผ่านการแช่ในวัฏศุภรรมาติ เปรียบเทียบนิกเกิลที่เหลืออยู่ พบว่า ผักตบชวาดูดโลหะนิกเกิลหมด ฟางข้าวมีปริมาณนิกเกิลเหลือ 1×10^{-4} จี๊เลื้อยมีปริมาณนิกเกิลเหลือ 3×10^{-4} และแกลบมีปริมาณนิกเกิลเหลือ 5×10^{-4} แสดงว่าประสิทธิภาพในการดูดนิกเกิลผักตบชวาดีที่สุด รองลงมาคือฟางข้าว จี๊เลื้อย และแกลบ ตามลำดับ

แนวคำตอบคำถามท้ายการทดลอง

1. จากการทดลองข้อมูลใดเป็นตัวบ่งชี้บอกความสามารถในการดูดซับโลหะหนักเกิดของวัสดุธรรมชาติ โดยเรียงลำดับความสามารถดังกล่าวจากมากไปน้อย ?

จากการทดลองสามารถ สังเกตสีของสารละลายและคาดคะเนปริมาณนิเกิลที่เหลือจากการดูดซับโดยวัสดุธรรมชาติ และจากการเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน พบว่าความสามารถ ในการดูดซับโลหะทองแดงของวัสดุธรรมชาติ เป็นดังต่อไปนี้คือ ผักตบชวา > ฟางข้าว > ขี้เลื่อย > แกลบ ตามลำดับ

2. วัสดุธรรมชาติชนิดใดดูดซับโลหะหนักได้ดีที่สุด เพราะเหตุใด ?

ผักตบชวาเป็นวัสดุธรรมชาติที่มีลักษณะลำต้นเป็นโพรง หรือช่องว่างภายในมาก ดังนั้นโมเลกุลของโลหะทองแดงสามารถแทรกตัวเข้าไปอยู่ในช่องว่างภายในได้มากกว่าวัสดุธรรมชาติชนิดอื่น ๆ ที่ทำการทดลอง

3. นักเรียนคิดว่าวัสดุธรรมชาติต่อไปนี้ หญ้า คันกก คันบอน ชนิดใดน่าจะมีสามารถในการดูดซับโลหะหนักในน้ำทิ้งได้ดีกว่าหรือเท่ากับผักตบชวา เพราะเหตุใดจึงคิดเช่นนั้น และทำการทดลองพิสูจน์ได้อย่างไร ?

วัสดุธรรมชาติที่น่าจะมีสามารถในการดูดซับโลหะหนักเท่ากับผักตบชวาคควรมีลักษณะลำต้นเช่นเดียวกับผักตบชวา คือเป็นโพรง หรือมีช่องว่างภายในมาก คือ คันบอน ทำการทดลองเพื่อพิสูจน์ว่า คันบอน มีสามารถในการดูดซับโลหะหนักเช่นเดียวกับผักตบชวา สามารถทำการทดลองดังบทปฏิบัติการที่ 6 - 7 แต่ใช้วัสดุธรรมชาติเพียง 2 ชนิด คือ คันบอน เปรียบเทียบกับผักตบชวา

4. จากผลการทดลองนักเรียนสามารถนำแนวคิดนี้ไปใช้ประโยชน์ในการแก้ปัญหาน้ำเสียได้หรือไม่ อย่างไร ?

ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อสารเคมีเพื่อนำมาทำการบำบัดในราคาที่สูง เพราะเหตุสำคัญนี้โรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลาง และขนาดเล็กหลีกเลี่ยงที่จะบำบัดน้ำเสียก่อนทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ จากผลการทดลอง พบว่าผักตบชวามีคุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนักได้ดี ดังนั้นจึงน่าจะมีการณรงค์ให้ใช้ผักตบชวช่วยในการดูดซับโลหะหนักก่อนที่จะปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แม่น้ำ

ภาคผนวก ง

- แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
- แบบทดสอบวัดทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
- แบบสอบถามวัดเจตคติต่อการเรียนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

แบบทดสอบวัดผลการเรียนรู้ด้านพุทธิพิสัย

ความรู้-ความจำ ความเข้าใจ การนำไปใช้ และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
 บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

จำนวน 30 ข้อ

เวลา 40 นาที

คำชี้แจง

1. ให้นักเรียนเขียนชื่อ นามสกุล ชั้น ห้อง ลงในกระดาษคำตอบ
2. ให้นักเรียนเขียนเครื่องหมาย X ลงในช่อง ☐ ของคำตอบที่ถูกต้องที่สุด
เพียงข้อเดียว ข้อละคำตอบเดียว โดยเขียนลงในกระดาษที่แจกให้ต่างหาก
3. ข้อสอบฉบับนี้มีทั้งหมด 30 ข้อ ใช้เวลาทำ 40 นาที
4. ห้ามนักเรียนขีดเขียนลงในแบบทดสอบ

1. น้ำเสีย หมายถึงน้ำที่มีลักษณะเช่นไร

- ก. น้ำที่มีสีเปลี่ยนไปจากน้ำธรรมชาติเพียงอย่างเดียว
- ข. น้ำที่มีสมบัติเปลี่ยนแปลงไปจากสภาพที่เป็นอยู่ตามธรรมชาติ
- ค. น้ำที่สิ่งมีชีวิตนำมาใช้ประโยชน์แล้วเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต
- ง. น้ำที่สิ่งมีชีวิตไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม

2. น้ำที่สะอาดมีสภาพความเป็นกรด-ด่างที่ระดับใด

ก. 2	ค. 5
ข. 7	ง. 8

3. สภาพแวดล้อมที่เป็นมลพิษ มีลักษณะอย่างไร

- ก. เสื่อมโทรม
- ข. เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม
- ค. มีผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสิ่งแวดล้อม
- ง. มีผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตและสภาพแวดล้อม

4. ข้อใดเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่ทำให้เกิดมลพิษทางน้ำ

ก. พืช

ค. สัตว์

๒. มนุษย์

จ. โรงงานอุตสาหกรรม

5. ข้อใดเป็นสาเหตุใหญ่ที่ทำให้น้ำในแม่น้ำลำคลองเน่าเสีย

ก. การเลี้ยงสัตว์

ค. การระบายน้ำจากชุมชน

๑. ยาชำແມ່ທຽງແລະປຸ້ຍ

ง. การระบายน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

6. นิลเกิดไคเมทิลโกลออกซิมมีลักษณะอย่างไร

ก. ตะกอนสีแดง

ข. ตะกอนสีน้ำเงิน

ค. สารประกอบเชิงซ้อนสี่เหลี่ยม

ง. สารประกอบเชิงซ้อนสี่น้ำเงิน

7. จากสมการสาร X มีสูตรทางเคมีอย่างไร



н. $[\text{Cu}(\text{NH}_3)]^{2+}$

ค. $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_3]^{2+}$

9. $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^{2+}$

3. $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$

8. การทดสอบตรวจสอบหาทองแดงในน้ำ ข้อใดถูกต้อง

ก. เมื่อนำสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต

ทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียจะได้ ตะกอนสีแดง

ข. เมื่อนำสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต

ทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียจะได้ สารละลายสีน้ำเงิน

ค. เมื่อนำสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต

ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไดออกไซด์จะได้ ตะกอนสีแดง

๖. เมื่อนำสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต

ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไดออกไซด์จะได้ สารละลายสีน้ำเงิน

9. โลหะชนิดใดมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการชุบมากที่สุด
- | | |
|-------------|-----------|
| ก. โครเมียม | ค. ทองแดง |
| ข. นิกเกิล | ง. ตะกั่ว |
10. สารใดเป็นตัวบ่งชี้ที่ดีของต้นเหตุของมลพิษทางน้ำจากโรงงานชุบโลหะ
- | | |
|-------|-------|
| ก. Zn | ค. Pb |
| ข. Cu | ง. Hg |
11. ปริมาณทองแดงและนิกเกิลในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำควรมีปริมาณไม่เกินเท่าไรตามลำดับ
- | | |
|------------------------|------------------------|
| ก. 1, 2 มิลลิกรัม/ลิตร | ค. 2, 1 มิลลิกรัม/ลิตร |
| ข. 1, 1 มิลลิกรัม/ลิตร | ง. 2, 2 มิลลิกรัม/ลิตร |
12. ธาตุในข้อใดต่อไปนี้ เป็นโลหะหนักที่เป็นมลพิษในสิ่งแวดล้อม
- | |
|-------------------------|
| ก. Ag Hg Na Zn |
| ข. Ca Mn Ni Pb |
| ค. Cd Pb Ni Hg |
| ง. Cr Ca Cu Cd |
13. “นิกเกิลพูน” คือระดับก๊าซชนิดใดได้ดีที่สุด
- | | |
|-------------|---------------------|
| ก. ไฮโดรเจน | ค. ออกซิเจน |
| ข. ไนโตรเจน | ง. คาร์บอนไดออกไซด์ |
14. ผู้ป่วยคนหนึ่งมีอาการปวดศีรษะ หน้ามืด คลื่นเหียนอาเจียน ระคายเคืองตา แขนงหน้าอก ไอ คลายปอดอักเสบจากเชื้อไวรัส อาการเช่นนี้เกิดจากการรับสารพิษชนิดใดเข้าไปในร่างกายมากเกินไปมาตรฐาน
- | | |
|-------|-------|
| ก. Ni | ค. Cu |
| ข. Pb | ง. Hg |

29. “น้ำเสียจากโรงงานดื่มหน่อไม้ สะอาดกว่าน้ำในแม่น้ำแม่กลอง” เป็นจริงหรือไม่ เพราะอะไร

- ก. จริง เพราะ มีสารพิษที่เป็นอันตรายน้อยชนิดกว่า
- ข. จริง เพราะ มีจำนวนจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายน้อยชนิดกว่า
- ค. ไม่จริง เพราะ มีจำนวนจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายมากชนิดกว่า
- ง. ไม่จริง เพราะ มีสารพิษที่เป็นอันตรายในระดับความเข้มข้นที่สูงกว่า

30. ข้อใดต่อไปนี้ไม่ถูกต้อง

- ก. ควรมีกฎหมายควบคุมให้โรงงานติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสีย
 - ข. ให้การศึกษาทางด้านสิ่งแวดล้อมเฉพาะผู้ที่สนใจจริงเท่านั้น
 - ค. การกำหนดผังเมืองที่ถูกต้องเป็นการควบคุมระบบการกำจัดน้ำเสียวิธีหนึ่ง
 - ง. ใช้มาตรการทางกฎหมายควบคุมโรงงานและบ้านเรือนมิให้ปล่อยน้ำเสียลงสู่แม่น้ำ
-

แบบทดสอบวัดทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

แบบทดสอบวัดทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

จำนวน 30 ข้อ

เวลา 40 นาที

คำชี้แจง

1. ให้นักเรียนเขียนชื่อ นามสกุล ชั้น ห้อง ลงในกระดาษคำตอบ
 2. ให้นักเรียนเขียนเครื่องหมาย X ลงในช่อง ☐ ของคำตอบที่ถูกต้องที่สุด
เพียงข้อเดียว ข้อละคำตอบเดียว โดยเขียนลงในกระดาษที่แจกให้ต่างหาก
 3. ข้อสอบฉบับนี้มีทั้งหมด 30 ข้อ ใช้เวลาทำ 40 นาที
 4. ห้ามนักเรียนขีดเขียนลงในแบบทดสอบ
-
1. เมื่อครูให้ลงมือปฏิบัติการทดลองได้ นักเรียนควรปฏิบัติตามลำดับอย่างไร
 - ก. ตรวจสอบอุปกรณ์ว่ามีครบหรือไม่
 - วางแผนปฏิบัติการทดลอง
 - จัดพื้นที่บนโต๊ะ - ลงมือทำการทดลอง
 - ข. ตรวจสอบอุปกรณ์ว่ามีครบหรือไม่ - ลงมือปฏิบัติการทดลองทันที
 - จัดพื้นที่บนโต๊ะ - ล้างอุปกรณ์
 - ค. ตรวจสอบอุปกรณ์ว่ามีครบหรือไม่ - ล้างอุปกรณ์ - หยิบอุปกรณ์ทุกชิ้นมาวางบนโต๊ะ
 - ทำการทดลองทันที
 - ง. หยิบอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ทั้งหมดมาวางบนโต๊ะให้พร้อม
 - ทำการทดลองทันที - ตรวจสอบอุปกรณ์ว่ามีครบหรือไม่ - ล้างอุปกรณ์
 2. ในการทำการทดลองควรปฏิบัติอย่างไรในเรื่องการใช้เวลา
 - ก. พยายามทำการทดลองให้เสร็จก่อนกลุ่มอื่น
 - ข. ทำการทดลองด้วยความระมัดระวังและให้เสร็จภายในเวลาที่กำหนด
 - ค. ทำการทดลองด้วยความรอบคอบ แม้จะไม่เสร็จภายในเวลาที่กำหนด
 - ง. ทำการทดลองด้วยความระมัดระวัง และให้เสร็จพร้อมกับกลุ่มอื่น

3. ในการปฏิบัติทำการทดลอง ข้อใดสำคัญน้อยที่สุด
 - ก. เมื่อทำการทดลองเสร็จแล้วล้างอุปกรณ์เก็บเข้าที่ให้เรียบร้อย
 - ข. เลือกอุปกรณ์ให้มีขนาดพอเหมาะ ตั้งให้มั่นคงไม่ให้ล้มหรือแตก
 - ค. รักษาบริเวณพื้นที่ทดลองให้สะอาดเรียบร้อย เก็บของที่ไม่ใช่ออกไปให้พ้นบริเวณ
 - ง. มอบหมายเพื่อนในกลุ่ม 1 คน ให้เป็นผู้หีบสารเคมีหรือเก็บอุปกรณ์เป็นการเฉพาะทุกครั้ง ที่ทำการทดลอง

4. การถ่ายเทสารเคมีซึ่งเป็นของแข็งออกจากขวดควรปฏิบัติอย่างไร
 - ก. เปิดฝาขวดสารเคมี, คว่ำฝาขวดแล้วจึงใช้ช้อนตักสารเคมี
 - ข. เปิดฝาขวดสารเคมี, วางฝาขวดโดยการหงายฝา แล้วใช้ช้อนตักสารเคมี
 - ค. เปิดฝาขวดสารเคมี, วางฝาขวดอย่างไรก็ได้ แล้วใช้ช้อนตักสารเคมี
 - ง. เปิดฝาขวดสารเคมี, ให้มือข้างหนึ่งถือฝาขวดไว้ แล้วใช้ช้อนตักสารเคมี

5. การถ่ายเทของเหลวจากขวดลงในบีกเกอร์ ควรปฏิบัติอย่างไร
 - ก. รินของเหลวจากขวด ผ่านแท่งแก้วลงในบีกเกอร์
 - ข. รินของเหลวจากขวด ผ่านกรวยกรองลงในบีกเกอร์
 - ค. ใช้กระบอกฉีดยาของเหลวจากขวด แล้วใส่ลงในบีกเกอร์
 - ง. รินของเหลวจากขวดลงในบีกเกอร์ โดยให้ของเหลว ๆ ไหลผ่านด้านข้างของบีกเกอร์ลงไปอย่างช้า ๆ

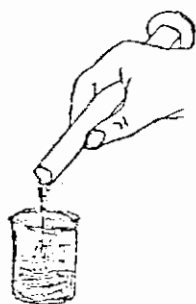
6. ในการกรองสารละลายควรนำชั้นคอนโค มาปฏิบัติตามลำดับก่อนหลังอย่างไร (ดูข้อ 1-5 ข้างล่าง)
 1. พับกระดาษกรอง
 2. ทำกระดาษกรองให้เปียก
 3. วางกระดาษกรองให้แนบกรวย
 4. รินสารผ่านแท่งแก้ว ให้ปลายแท่งแก้วแตะกระดาษกรองด้านที่หนา
 5. ใส่กรวยกรองลงในภาชนะรองรับ โดยให้ก้านกรวยแตะข้างภาชนะที่รองรับ และอยู่เหนือของเหลว

ก. 1, 2, 3, 5, 4	ค. 2, 1, 3, 4, 5
ข. 1, 3, 2, 5, 4	ง. 2, 1, 3, 5, 4

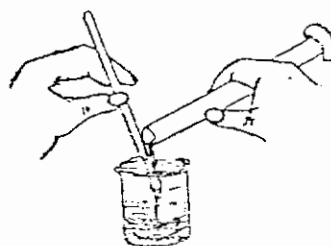
7. การใช้กระดาษลิทมัสทดสอบสารที่เป็นของเหลวในหลอดทดลองควรปฏิบัติอย่างไร
- ใช้ปากคีบจับกระดาษลิทมัสจุ่มลงในของเหลว
 - หย่อนกระดาษลิทมัสลงไปหลอดทดลอง
 - เอียงหลอดทดลองแล้วนำกระดาษลิทมัสไปแตะที่ปากหลอด
 - ใช้แท่งแก้วจุ่มลงในของเหลว ในหลอดทดลองแล้วนำไปแตะกระดาษลิทมัสที่วางบนกระจก

8. การรินของเหลวจากกระบอกควกลงสู่ภาชนะตามภาพใดเป็นการรินที่ ไม่ถูกต้อง

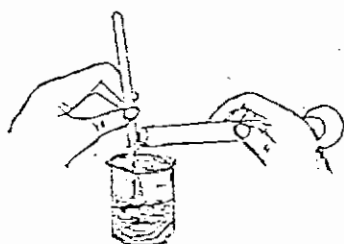
ก.



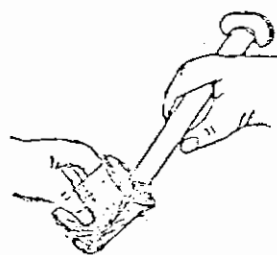
ค.



ข.



ง.



9. การทำกรดเข้มข้นให้เจือจาง ควรปฏิบัติอย่างไร

- เทกรดลงในน้ำอย่างช้า ๆ พร้อมกับใช้แท่งแก้วคนตลอดเวลา
- เทน้ำลงในกรดอย่างช้า ๆ พร้อมกับใช้แท่งแก้วคนตลอดเวลา
- เทกรดและน้ำพร้อม ๆ กันอย่างช้า ๆ ลงในภาชนะปากกว้าง
- เทกรดลงในน้ำผ่านแท่งแก้วอย่างช้า ๆ และใช้แท่งแก้วคนตลอดเวลา

10. การวางแผนร่วมกันทั้งกลุ่มในระหว่างทำการทดลองเป็นไปเพื่อเหตุผลใดบ้าง(คู่มือ 1-5 ข้างล่าง)

1. เพื่อให้ทุกคนมีทักษะในการปฏิบัติ
2. เพื่อให้ทดลองเสร็จในเวลาที่กำหนด
3. เพื่อให้ผลการทดลองถูกต้อง
4. เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดอันตราย
5. เพื่อตรวจสอบคำตอบ

ก. 1, 2, 3

ค. 3, 4, 5

ข. 1, 3, 4

ง. 2, 3, 4

11. การใช้ชิ้นดักสาร ควรปฏิบัติอย่างไร

- ก. ดักสารเต็มช้อน - ใส่ลงในหลอดทดลอง - ถ้าง้อ้นสะอาด - นำไปดักสารชนิดอื่น
- ข. ดักสาร กดสารในช้อนให้แน่นจนเต็มช้อน - ใส่ลงในหลอดทดลอง
- ถ้าง้อ้นสะอาด - นำไปดักสารชนิดอื่น
- ค. ดักสารเต็มช้อนพอดี - ใส่ในหลอดทดลอง - ถ้าง้อ้นจนสะอาด เช็ดให้แห้งแล้ว
- นำไปดักสารชนิดอื่น
- ง. ดักสารเต็มช้อน ใช้สันด้ามช้อนอีกอันหนึ่งปาดปากช้อน - ใส่ในหลอดทดลอง
- ถ้าง้อ้นสะอาด เช็ดให้แห้ง - นำไปดักสารชนิดอื่น

12. การใช้หลอดหยด ควรปฏิบัติอย่างไร

ก. ดูดของเหลวเต็มหลอด

- เวลาหยดบีบจุกยางให้ของเหลว หยดที่ละหยดเสร็จแล้วสะบัดให้แห้ง
- เก็บไว้

ข. ดูดของเหลวให้มีปริมาณใกล้เคียงกับที่ต้องการ

- เวลาหยดบีบจุกยางให้ของเหลวหยดที่ละหยดในปริมาณที่เท่า ๆ กัน
- เสร็จแล้วล้างให้สะอาดทันที

ค. ดูดของเหลวเต็มหลอด

- เวลาหยดต้องบีบให้ของเหลวหยดที่ละหยดในปริมาณที่เท่า ๆ กัน เสร็จแล้วสะบัดให้แห้ง
- เก็บไว้

ง. ดูดของเหลวให้มีปริมาณใกล้เคียงกับที่ต้องการ

- เวลาหยดบีบจุกยางให้ของเหลวหยดที่ละหยดในปริมาณที่เท่า ๆ กัน
- ล้างให้สะอาดแล้วต้องสะบัดให้แห้ง

13. การทดสอบว่าของเหลวในหลอดทดลองเป็นกรดหรือเบส ควรทำอย่างไร

ก. นำกระดาษยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์วางพาดที่ปากหลอด

- ใช้ปลายแท่งแก้วที่สะอาดกดที่กระดาษยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์
- ค่อย ๆ เลื่อนลงไปหลอดจนแตะกับของเหลว

ข. นำกระดาษยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์วางบนถ้วยกระเบื้อง

- ใช้แท่งแก้วสะอาดจุ่มของเหลวมาแตะ
- สังเกตผลการทดลอง

ค. ใช้กระดาษยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์วางพาดที่ขอบปากหลอดทดลอง

- เอียงหลอดให้ของเหลวไหลมาถูกกระดาษยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์
- สังเกตผลการทดลอง

ง. เอียงหลอดให้ของเหลวไหลมาที่ปากหลอด

- แก้วใช้กระดาษกระดาษยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์แตะ
- สังเกตผลการทดสอบ

14. การใช้แท่งแก้วคนสารในบีกเกอร์หลาย ๆ ใบ ต้องปฏิบัติอย่างไร

- ก. คนให้ปลายแท่งแก้วแตะก้นหลอด คนจนครบทุกบีกเกอร์
 - แล้วล้างเก็บในตะกร้าใส่อุปกรณ์
- ข. คนให้แท่งแก้วชิดกับด้านข้างของบีกเกอร์
 - ล้างให้สะอาดก่อนนำไปคนหลอดอื่นเสร็จ
 - แล้วล้างเก็บในตะกร้าใส่อุปกรณ์
- ค. คนให้แท่งแก้วชิดด้านข้างของบีกเกอร์
 - ล้างให้สะอาด
 - เช็ดให้แห้งก่อนนำไปคนบีกเกอร์อื่น
 - เสร็จแล้วล้างเก็บในตะกร้าเก็บอุปกรณ์
- ง. คนไม่ให้กระทบด้านข้างของบีกเกอร์
 - ล้างให้สะอาด
 - เช็ดให้แห้งก่อนนำไปคนบีกเกอร์อื่น
 - เสร็จแล้วล้างเก็บในตะกร้าเก็บอุปกรณ์

15. การจับเวลาในการทดลองควรปฏิบัติอย่างไร

- ก. เมื่อจะจับเวลา ต้องหมุนเข็มวินาทีให้ตรงกับเลข 12 ก่อน
- ข. เมื่อจะจับเวลาต้องรอจนเข็มวินาทีเดินมาถึงเลข 12 ก่อน
- ค. จับเวลาทันที แม้เข็มวินาทีจะชี้เวลาใดก็ตาม
- ง. รอให้เข็มวินาทีเดินมาถึงตำแหน่งที่มีตัวเลขบอก เช่น 1, 2, 3 ก่อนจึงจับเวลา

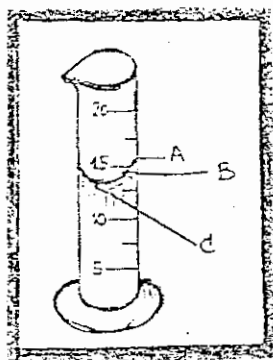
16. การใช้ตาชั่งทริปเปิลเบีมัฆสาร ต้องปฏิบัติอย่างไร

- ก. วางสารบนจาน
 - เลื่อนค้อน้ำหนัก
- ข. วางสารบนจาน
 - ค่อย ๆ เลื่อนค้อน้ำหนักที่อยู่บนแขนที่บอกน้ำหนักละเอียดเป็นหลักสิบ
- ค. ต้องจัดให้ตาชั่งอยู่ที่จุดศูนย์ก่อนวางสารบนจาน
 - ค่อย ๆ เลื่อนค้อน้ำหนักที่อยู่บนแขนที่บอกน้ำหนักละเอียดเป็นหลักหน่วย
- ง. ปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ ค. แต่ประมาณค่าน้ำหนักของสารที่นำมาชั่ง แล้วค่อย ๆ เลื่อนค้อน้ำหนักที่อยู่บนแขนที่บอกน้ำหนักตามที่ประมาณค่า

17. การใส่สารละลายหลายชนิดที่มีลักษณะเหมือนกันลงในหลอดทดลองหลาย ๆ หลอด ต้องปฏิบัติอย่างไร
- ใส่สารละลายแต่ละชนิดในหลอดทดลองแต่ละหลอดตามลำดับ
 - จำให้ได้ว่าหลอดใดใส่สารละลายชนิดใดทำเครื่องหมายบนหลอดทดลอง ทันที
 - บันทึกว่าเครื่องหมายใดแสดงถึงสารละลายชนิดใด
 - ใส่สารละลายในหลอดทดลอง
 - กลับมาถึงโต๊ะปฏิบัติการแล้วใช้ดินสอเขียนแก้ว เลข 1, 2, 3 ตามลำดับของสารละลายที่ใช้ในการทดลอง
 - ใช้ดินสอเขียนแก้วทำเครื่องหมายบนหลอดทดลองหลอดละสี่
 - นำไปใส่สารละลายและบันทึกไว้ สีใดแสดงถึงสารละลายชนิดใด
18. ถ้าต้องการสารละลายปริมาตร 5 cm^3 ควรใช้อุปกรณ์ใดในการตวงสารจึงจะเหมาะสม
- ปิเปตต์
 - กระบอกลด
 - บิวเรตต์
 - ขวดปริมาตร
19. ในการเทียบสีสารละลาย ควรใช้กระดาษสีใดเป็นฉาก
- ส้ม
 - ขาว
 - ฟ้าอ่อน
 - ดำ
20. เครื่องมือในข้อใดเหมาะสมสำหรับใช้วัดปริมาณของของเหลวมากที่สุด
- บีกเกอร์ กระบอกลด ขวดรูปกรวย
 - กระบอกลด ปิเปตต์ บิวเรตต์
 - ขวดรูปกรวย บีกเกอร์ ปิเปตต์
 - กระบอกลด ปิเปตต์ ขวดรูปกรวย
21. การเก็บรักษาเครื่องแก้ว ต้องปฏิบัติเช่นไร
- เมื่อล้างเสร็จแล้วทำให้แห้งโดยการไปอังกับเปลวไฟ
 - เมื่อล้างเสร็จแล้วควรใช้ผ้าแห้งหรือกระดาษชำระเช็ด
 - แช่เครื่องแก้วกับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เพื่อขจัดคราบไขมันก่อนเป็นเวลานาน ๆ
 - ล้างด้วยน้ำ ถ้าไม่สะอาดให้ใช้สบู่หรือสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ล้าง แล้วรีบล้างด้วยน้ำอีกครั้งหนึ่ง

22. การใช้ขั้วครุฑชมพูเป็นภาษาในการผสมสารละลาย ควรปฏิบัติอย่างไร
- ใช้มือจับขั้วครุฑชมพู แล้วหมุนข้อมือให้สารละลาย ไหลวนไปทางเดียวกัน
 - ใช้มือจับขั้วครุฑชมพู แล้วหมุนข้อมือให้สารละลาย ไหลวนไปวนมา
 - ใช้มือจับขั้วครุฑชมพู แล้วเขย่าไปมา
 - นำจุกมาปิดขั้วครุฑชมพูแล้วเขย่าไปมา
23. การกรองสารโดยใช้กระดาษกรอง ควรปฏิบัติอย่างไร
- เทสารละลายให้ไหลไปตามแท่งแก้วคนกระดาษกรองต้องแนบสนิทกับผิวของกรวยกรอง
 - เทสารละลายให้ไหลไปตามแท่งแก้วคน โดยวนไปรอบ ๆ กระดาษกรอง
 - เทสารละลายให้ไหลไปตามแท่งแก้วคนลงไปตามแรงโน้มถ่วงของโลก
 - เทอย่างไรก็ได้ที่ไม่ให้สารละลายหกออกจากกระดาษกรอง
24. การทดลองในข้อใดเป็นการตรวจสอบว่าในน้ำตัวอย่างมีโลหะทองแดง และนิกเกิลปนเปื้อนอยู่ (X หมายถึง แอมโมเนีย, Y หมายถึง ไดเมทิลไกลออกซิม)
- ใส่น้ำตัวอย่างในหลอดทดลอง 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร
 - เติมสารละลาย X
 - สังเกตผลการทดลอง
 - ใส่น้ำตัวอย่างในหลอดทดลอง 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร
 - เติมสารละลาย Y
 - สังเกตผลการทดลอง
 - ใส่น้ำตัวอย่างในหลอดทดลอง 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร -เติมสารละลาย X
 - สังเกตผลการทดลอง
 - หลังจากนั้นเติมสารละลาย Y
 - สังเกตผลการทดลอง
 - ใส่น้ำตัวอย่างในหลอดทดลอง 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร
 - เติมสารละลาย Y สังเกตผลการทดลอง
 - หลังจากนั้นเติมสารละลาย X
 - สังเกตผลการทดลอง

25. ถ้าในห้องปฏิบัติการมีสารละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ เข้มข้น 1 mol/dm^3 แต่นักเรียนต้องการใช้สารละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ เข้มข้น $1 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$ จำนวน 100 cm^3 ต้องนำสารละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ เข้มข้น 1 mol/dm^3 มาทำอย่างไร
- ปิเปตสารละลายที่มีอยู่มา 50 cm^3 ใส่ขวดปริมาตร ขนาด 100 cm^3 แล้วเติมน้ำลงไปจนครบปริมาตร
 - ปิเปตสารละลายที่มีอยู่มา 10 cm^3 ใส่ขวดปริมาตร ขนาด 100 cm^3 แล้วเติมน้ำลงไปจนครบปริมาตร
 - ปิเปตสารละลายที่มีอยู่มา 1.0 cm^3 ใส่ขวดปริมาตร ขนาด 100 cm^3 แล้วเติมน้ำลงไปจนครบปริมาตร
 - ปิเปตสารละลายที่มีอยู่มา 0.1 cm^3 ใส่ขวดปริมาตร ขนาด 100 cm^3 แล้วเติมน้ำลงไปจนครบปริมาตร
26. การอ่านปริมาตรของของเหลวในกระบอกตวงต้องปฏิบัติเช่นไร



- ให้สายตาคู่ในระดับเหนือของเหลวเล็กน้อย ปริมาตรที่ถูกต้องอยู่ตรงตำแหน่ง A
- ให้สายตาคู่ในระดับเหนือของเหลวเล็กน้อย ปริมาตรที่ถูกต้องอยู่ตรงตำแหน่ง B
- ให้สายตาคู่ในระดับตรงกับของเหลว ปริมาตรที่ถูกต้องอยู่ตรงตำแหน่ง C
- ให้สายตาคู่ในระดับตรงกับของเหลว ปริมาตรที่ถูกต้องอยู่ตรง ตำแหน่ง B

27. เมื่อใช้หลอดทดลองทำการทดลองเสร็จแล้ว ต้องปฏิบัติอย่างไร
- เทสารในหลอดทดลองทิ้ง เก็บไว้ในที่ตั้งหลอดทดลอง
 - เทสารในหลอดทดลองทิ้ง แช่รวมกันในอ่างน้ำ แล้วล้างที่ละหลอด ด้วยแปรงล้างหลอด เก็บไว้ในที่ตั้งหลอดทดลอง
 - เทสารในหลอดทดลองทิ้ง แช่รวมกันในอ่างน้ำ ล้างด้วยผงซักฟอก โดยใช้แปรงล้างหลอด หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาด เก็บไว้ในที่ตั้งหลอดทดลอง
 - เทสารในหลอดทดลองทิ้ง โดยใช้แปรงล้างหลอด หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาด ที่ละหยด เก็บไว้ในที่ตั้งหลอดทดลอง
28. การเตรียมสารละลายมาตรฐานหรือสารละลายที่มีความเข้มข้นน้อยกว่าเดิมต้องใช้อุปกรณ์ในข้อใด
- ปิเกตอร์
 - กระบอกล้าง
 - ขวดรูปชมพู่
 - ขวดปริมาตร
29. ในการถ่ายสารละลายจากปิเปตต์ ควรปฏิบัติตามลำดับก่อนหลังอย่างไร (ข้อ 1-5)
- บิบบลูกยางให้สารละลายขึ้น ไปสูงกว่าขีดปริมาตรที่ต้องการ
 - ทำให้ปิเปตต์ มีสารละลายอยู่เต็มปริมาตรที่ต้องการ
 - เมื่อใช้แล้วล้างให้สะอาดและสับัดหรือวางไว้ให้แห้งก่อนใช้ครั้งต่อไป
 - ค่อย ๆ ปลดปล่อยให้สารละลายในปิเปตต์ไหลลงไปในภาชนะรองรับ
 - ถือปิเปตต์ อยู่เหนืออุปกรณ์บรรจุสารละลาย แต่ไม่ติดกันภาชนะ
- 1, 2, 3, 5, 4
 - 2, 1, 3, 4, 5
 - 1, 2, 5, 4, 3
 - 2, 1, 3, 5, 4

30. ข้อใดปฏิบัติไม่ถูกต้อง เกี่ยวกับการถ่ายเทของเหลวจากบีเกอร์

ก.



ค.



ข.



ง.



แบบสอบถามวัดเจตคติต่อการเรียนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

แบบสอบถามเจตคติต่อการเรียน
บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก

คำชี้แจงของการตอบแบบสอบถาม

1. แบบสอบถามฉบับนี้ ต้องการถามความคิดเห็น หรือความรู้สึกของนักเรียนที่เรียนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก ว่ามีความคิดเห็น หรือความรู้สึกอย่างไรในด้านการเรียนการสอน และด้านการนำความรู้ไปใช้จากการเรียนการสอนในครั้งนี้

2. แบบสอบถามนี้ไม่มีคำตอบใด ถูก หรือ ผิด เพราะแต่ละคนย่อมมีความคิดเห็นแตกต่างกัน และไม่มีผลต่อการเรียนของนักเรียน ฉะนั้นขอให้นักเรียนตอบให้ตรงสภาพความคิดเห็น หรือความรู้สึกของนักเรียนให้มากที่สุดเพื่อจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาการเรียนการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ฉบับนี้ต่อไป

3. การตอบแบบสอบถามฉบับนี้ให้นักเรียนอ่านข้อความในช่องข้อความอย่างละเอียด แล้วทำเครื่องหมาย ลงในช่องที่ตรงกับความคิดเห็น หรือความรู้สึกของนักเรียน ซึ่งมี 5 ระดับ คือ เห็นด้วยอย่างยิ่ง เห็นด้วย ไม่แน่ใจ ไม่เห็นด้วย และไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง ดังตัวอย่างข้างล่างนี้

ข้อที่	ข้อความ	ความคิดเห็นหรือความรู้สึก				
		เห็นด้วย อย่างยิ่ง	เห็น ด้วย	ไม่ แน่ใจ	ไม่เห็น ด้วย	ไม่เห็นด้วย อย่างยิ่ง
0				✓		

แบบสอบถามเจตคติต่อการเรียนการสอน
บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก

เมื่อนักเรียนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการ
 ดูดซับโลหะหนักจบแล้ว นักเรียนมีความคิดเห็น หรือความรู้สึกอย่างไร

ข้อที่	ข้อความ	ความคิดเห็นหรือความรู้สึก				
		เห็นด้วย อย่างยิ่ง	เห็น ด้วย	ไม่ แน่ใจ	ไม่เห็น ด้วย	ไม่เห็นด้วย อย่างยิ่ง
1.	ทำให้มีความละเอียดรอบคอบในการ ใช้เครื่องมือต่าง ๆ ในการทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
2.	เป็นการฝึกทักษะปฏิบัติ ทำให้ คล่องตัวในการทำงานอื่น ๆ ด้วย.....	.....	.....	.....	.....	.....
3.	ช่วยสร้างนิสัยรักการค้นคว้าทดลอง เพื่อแสวงหาข้อเท็จจริงต่าง ๆ.....	.....	.....	.....	.....	.....
4.	การสอนแบบนี้ทำให้เข้าใจเนื้อหาทาง สิ่งแวดล้อมเป็นลำดับขั้นตอนดีขึ้น....	.....	.....	.....	.....	.....
5.	กิจกรรมการทดลองทำให้เกิดการ ศึกษาค้นคว้าหาความจริง.....	.....	.....	.....	.....	.....
6.	การปฏิบัติการทดลองด้วยตนเอง ทำให้เข้าใจเนื้อหาได้ดีกว่าครูสาธิต....	.....	.....	.....	.....	.....
7.	การเปิดโอกาสให้นักเรียนอภิปราย ผล หรือสรุปการทดลองอย่างอิสระ ทำให้สับสนและล่าช้า.....	.....	.....	.....	.....	.....
8.	รู้สึกสนุกสนานกับการค้นคว้าหา ความรู้จากกิจกรรมการทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
9.	กิจกรรมการทดลอง มักทำให้เกิด เสียงดัง และห้องเรียนสกปรก เสียเวลาทำความสะอาด.....	.....	.....	.....	.....	.....

ข้อที่	ข้อความ	ความคิดเห็นหรือความรู้สึก				
		เห็นด้วย อย่างยิ่ง	เห็น ด้วย	ไม่ แน่ใจ	ไม่เห็น ด้วย	ไม่เห็นด้วย อย่างยิ่ง
10.	กิจกรรมการทดลองทำให้มีความ ระมัดระวังในการใช้อุปกรณ์มาก ยิ่งขึ้น.....	.....	.....	.....	.....	.....
11.	การฝึกทักษะการทดลองและทักษะ การใช้อุปกรณ์นอกเหนือจาก การเรียนการสอนในวิชาประจำ ทำให้ เกิดความชำนาญมากขึ้น.....	.....	.....	.....	.....	.....
12.	บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น ไม่น่าสนใจ.....	.....	.....	.....	.....	.....
13.	บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น ซ้ำซาก น่าเบื่อหน่าย.....	.....	.....	.....	.....	.....
14.	บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น ทำให้เกิดความกังวลใจในการทดลอง .....	.....	.....	.....	.....	.....
15.	บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น แต่ละการทดลองใช้เวลาพอเหมาะ.....	.....	.....	.....	.....	.....
16.	บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น ไม่ส่งเสริมให้นักเรียนได้ใช้ความ สามารถของตนเอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
17.	บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น ส่งเสริมให้เป็นคนช่างสังเกต.....	.....	.....	.....	.....	.....
18.	บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น มีความยาก-ง่าย พอเหมาะกับความสามารถ ของนักเรียน.....	.....	.....	.....	.....	.....
19.	บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น ทำให้เกิดความรู้สึกตื่นเต้นในการ ทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....

ข้อที่	ข้อความ	ความคิดเห็นหรือความรู้สึก				
		เห็นด้วย อย่างยิ่ง	เห็น ด้วย	ไม่ แน่ใจ	ไม่เห็น ด้วย	ไม่เห็นด้วย อย่างยิ่ง
20.	บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น ช่วยให้เกิดคามกระตือรือร้นในการ เรียน.....	.....	.....	.....	.....	.....
21.	บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น ช่วยให้กล้าแสดงความคิดเห็น.....	.....	.....	.....	.....	.....
22.	บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น ช่วยให้เกิดความรักในการค้นคว้าหา คำตอบด้วยตนเอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
23.	การเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการ วิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นเสียเวลาโดย เปล่าประโยชน์.....	.....	.....	.....	.....	.....
24.	การเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการ วิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นเป็นการให้ ประสบการณ์ตรง.....	.....	.....	.....	.....	.....
25.	การเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการ วิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นทำให้เกิด ความคิดริเริ่มสร้างสรรค์.....	.....	.....	.....	.....	.....
26.	การเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการ วิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นทำให้ได้รับ ความรู้ทางแวกส์ล้อมมากยิ่งขึ้น.....	.....	.....	.....	.....	.....
27.	การเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการ วิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น ทำให้เกิด ความสนใจที่จะเรียนรู้เกี่ยวกับ สิ่งแวดล้อมเพิ่มเติม.....	.....	.....	.....	.....	.....

ข้อที่	ข้อความ	ความคิดเห็นหรือความรู้สึก				
		เห็นด้วย อย่างยิ่ง	เห็น ด้วย	ไม่ แน่ใจ	ไม่เห็น ด้วย	ไม่เห็นด้วย อย่างยิ่ง
28.	การเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการ วิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น ช่วยให้ เข้าใจเกี่ยวกับมลพิษทางน้ำและการ บำบัดน้ำเสียมากขึ้น.....	.....	.....	.....	.....	.....
29.	สามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ ในชีวิตประจำวันได้.....	.....	.....	.....	.....	.....
30.	สามารถนำไปใช้แก้ปัญหา ทางน้ำได้.....	.....	.....	.....	.....	.....
31.	ทำให้มีความสนใจสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น	.....	.....	.....	.....	.....
32.	มีความตระหนักในการอนุรักษ์ สิ่งแวดล้อมมากขึ้น.....	.....	.....	.....	.....	.....
33.	อยากมีส่วนร่วมในการแก้ปัญหา สิ่งแวดล้อม.....	.....	.....	.....	.....	.....
34.	อยากให้มีการทดลองทาง สิ่งแวดล้อมในบทเรียนมากขึ้น.....	.....	.....	.....	.....	.....
35.	บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น เหมาะสำหรับใช้ในการเรียนการสอน	.....	.....	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะของนักเรียนที่มีต่อบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น

บทปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น

บทปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง การตรวจสอบหาทองแดงและนิกเกิลในน้ำ

บทปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง พิษของนิกเกิลและทองแดงที่มีต่อการเจริญเติบโตของเมล็ดถั่วเขียว

บทปฏิบัติการที่ 4 เรื่อง การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะด้วยวิธีทำให้เกิดตะกอน

บทปฏิบัติการที่ 5 เรื่อง คุณสมบัติในการดูดซับทองแดงและนิกเกิลของวัสดุธรรมชาติ

บทปฏิบัติการที่ 6 เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณทองแดงที่เหลือจากการดูดซับโดย

วัสดุธรรมชาติด้วยวิธีเทียบสี

บทปฏิบัติการที่ 7 เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิลที่เหลือจากการดูดซับโดย

วัสดุธรรมชาติด้วยวิธีเทียบสี

ภาคผนวก จ

- ผลการวิเคราะห์ค่าความยากง่ายและอำนาจจำแนก
- แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
- แบบวัดทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
- ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

ตาราง 28. ความยากง่าย (p) และอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
เรื่อง ความสามารถของวิศวกรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก

ข้อที่	จำนวนผู้ที่ตอบถูก ในกลุ่มสูง	จำนวนผู้ที่ตอบถูก ในกลุ่มต่ำ	p	r	ข้อที่เลือกไว้
1.	19	10	.54	.34	✓
2.	24	16	.75	.38	✓
3.	24	18	.79	.31	✓
4.	26	27	-	-	-
5.	23	19	.78	.21	✓
6.	9	4	.24	.24	✓
7.	27	27	-	-	-
8.	14	3	.30	.48	✓
9.	7	8	-	-	-
10.	20	11	.58	.34	✓
11.	17	7	.44	.38	✓
12.	25	19	.83	.37	-
13.	27	17	.86	.66	-
14.	16	2	.30	.59	✓
15.	18	7	.46	.41	✓
16.	23	7	.57	.59	✓
17.	20	10	.50	.26	✓
18.	17	5	.40	.46	✓
19.	19	14	.61	.19	-
20.	13	4	.30	.38	✓
21.	22	10	.60	.46	✓
22.	27	23	.94	.46	-
23.	15	19	-	-	-
24.	11	4	.27	.32	✓
25.	18	8	.48	.37	✓

ตาราง 28 (ต่อ)

ข้อที่	จำนวนผู้ที่ตอบถูก ในกลุ่มสูง	จำนวนผู้ที่ตอบถูก ในกลุ่มต่ำ	p	r	ข้อที่เลือกไว้
26.	17	4	.38	.50	✓
27.	5	2	.34	.65	✓
28.	18	11	.54	.27	✓
29.	22	17	.72	.22	✓
30.	12	10	.40	.07	-
*31.	19	9	.52	.37	✓
32.	20	11	.58	.34	✓
33.	8	4	.22	.21	✓
34.	9	4	.24	.24	✓
35.	22	21	.80	.04	-
36.	9	7	.29	.08	-
37.	26	21	.88	.38	-
38.	18	6	.44	.46	✓
39.	15	8	.43	.27	✓
40.	22	10	.60	.46	✓
41.	23	12	.66	.45	✓
42.	12	6	.33	.25	✓
43.	27	20	.90	.58	-
44.	24	23	.05	.14	-
45.	25	16	.78	.48	✓
รวมจำนวนข้อที่เลือกได้					31

* คัดออก จึงเหลือแบบทดสอบทั้งหมด 30 ข้อ แล้วนำไปหาค่าความเชื่อมั่นได้ $\alpha = .6608$

ตาราง 29 ความยากง่าย (p) และอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
เรื่อง ความสามารถของวิศวกรรมชาติในการดูฉบับโลหะหนัก

ข้อที่	จำนวนผู้ที่ตอบถูก ในกลุ่มสูง	จำนวนผู้ที่ตอบถูก ในกลุ่มต่ำ	p	r	ข้อที่เลือกไว้
1.	25	17	.80	.40	✓
2.	27	25	-	-	-
3.	23	17	.75	.28	✓
4.	25	14	.75	.52	✓
5.	27	18	.87	.63	-
6.	27	22	.92	.52	-
7.	24	13	.70	.48	✓
8.	19	20	-	-	-
9.	4	23	.13	.08	-
10.	10	2	.20	.43	✓
11.	17	11	.52	.22	✓
12.	16	6	.40	.39	✓
13.	14	9	.42	.20	✓
14.	14	8	.41	.23	✓
15.	25	19	.83	.37	-
16.	12	7	.53	.20	✓
17.	24	15	.74	.41	✓
18.	26	15	.79	.57	✓
19.	5	6	-	-	-
20.	19	8	.50	.40	✓
21.	21	12	.62	.36	✓
22.	18	17	.65	.04	-
23.	8	4	.22	.21	✓
24.	13	2	.25	.52	✓
25.	17	11	.25	.52	✓

ตาราง 29 (ต่อ)

ข้อที่	จำนวนผู้ที่ตอบถูก ในกลุ่มสูง	จำนวนผู้ที่ตอบถูก ในกลุ่มต่ำ	p	r	ข้อที่เลือกไว้
26.	14	9	.42	.20	✓
27.	25	16	.78	.47	✓
28.	14	3	.30	.48	✓
29.	14	9	.42	.20	✓
30.	22	8	.56	.51	✓
31.	10	5	.28	.22	✓
32.	20	10	.60	.46	✓
33.	17	11	.52	.22	✓
34.	13	9	.46	.27	✓
35.	16	10	.48	.22	✓
36.	27	18	.87	.63	-
*37.	14	8	.35	.36	✓
38.	11	6	.31	.22	✓
39.	22	12	.63	.40	✓
40.	21	13	.64	.32	✓
รวมจำนวนข้อที่เลือกได้					31

* คัดออก จึงเหลือแบบทดสอบทั้งหมด 30 ข้อ แล้วนำไปหาค่าความเชื่อมั่นได้ $\alpha = .6153$

ตาราง 30 ผลการหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

คนที่	X	Y
	(A = 62)	(B = 60)
1.	47	45
2.	50	51
3.	44	52
4.	52	52
5.	50	51
6.	50	54
7.	51	51
8.	55	48
9.	54	52
10.	51	52
11.	55	52
12.	52	51
13.	55	52
14.	51	51
15.	49	51
16.	50	46
17.	50	44
18.	54	47
19.	57	44
20.	46	45
21.	50	46
22.	52	43
23.	44	45
24.	51	44
25.	47	42
26.	47	45

ตาราง 30 (ต่อ)

คนที่	X (A = 62)	Y (B = 60)
27.	44	44
28.	47	47
29.	45	47
30.	43	48
	$\sum X = 1493$	$\sum Y = 1442$
	คิดเป็นร้อยละ 80.2688	80.1111

จากผลการหาประสิทธิภาพว่าประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ได้เกณฑ์ตาม
ที่กำหนดและสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน คือ 80.27/80.11

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ - สกุล	นางสาวอรอุมา ละมุล
วันเดือน ปี เกิด	18 กันยายน พ.ศ.2515
ที่อยู่ปัจจุบัน	95/4 ซอยสระโบราณ 1 อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์ 32000 โทรศัพท์ (044) 530218
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	อาจารย์ 1 ระดับ 3
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	โรงเรียนรามวิทยา รัชมังคลาภิเษก ตำบลราม อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์ 32000
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2533	ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนสิรินธร
พ.ศ. 2537	การศึกษามัธยมศึกษา (เคมี) (เกียรตินิยมอันดับ 2) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
พ.ศ. 2541	การศึกษามหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ศึกษา) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การพัฒนาทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติ
ในการดูดซับโลหะหนัก ที่ใช้สอนในวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

บทคัดย่อ
ของ
อรอุมา ละมุล

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกวิทยาศาสตร์ศึกษา
ตุลาคม 2541

การวิจัยครั้งนี้มีความมุ่งหมาย เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาผลการทดลองใช้เบื้องต้นกับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 และเพื่อหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ตามเกณฑ์ 80/80

ในการวิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอน 3 ขั้นตอน คือ 1. การทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำ และศึกษาความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก 2. พัฒนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติ ในการดูดซับโลหะหนัก พร้อมทั้งคู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ โดยผ่านการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน 3. ทดลองสอนเพื่อหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ ซึ่งแหล่งข้อมูลที่ใช้ในการทดลองสอน คือ นักเรียนโรงเรียนโคกกระทิงวิทยาลย์ จังหวัดลพบุรี จำนวน 30 คน ทำการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ที่พัฒนาขึ้นประกอบกับคู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ วัดผลการเรียนรู้จากคำถามท้ายการทดลอง แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แบบวัดทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

ผลการวิจัยปรากฏว่า

1. การศึกษาการใช้วัสดุธรรมชาติ คือ แกลบ ขี้เถ้า ฟางข้าว และผักตบชวา ในการดูดซับโลหะทองแดงและนิกเกิลที่มีอยู่ในน้ำ พบว่า วัสดุธรรมชาติทุกชนิดสามารถดูดซับโลหะทองแดงและนิกเกิลได้ ซึ่งความสามารถในการดูดซับโลหะหนักขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุธรรมชาติ และสามารถตรวจสอบความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะทองแดงและนิกเกิลได้ โดยการเทียบสีของสารละลายที่ทำปฏิกิริยากับลิแกนด์ ผลการทดลองที่ได้สามารถนำไปพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ได้

2. จากผลการทดลองดังกล่าว สามารถพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และคู่มือครูประกอบการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนักได้ 7 บท ดังนี้

บทปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง	ตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น
บทปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง	การตรวจสอบหาทองแดงและนิกเกิลในน้ำ
บทปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง	พิษของทองแดงและนิกเกิลที่มีต่อการเจริญเติบโตของเมล็ดถั่วเขียว
บทปฏิบัติการที่ 4 เรื่อง	การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะด้วยการทำให้เกิดตะกอน

บทปฏิบัติการที่ 5 เรื่อง	คุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนักของวัสดุธรรมชาติ
บทปฏิบัติการที่ 6 เรื่อง	การวิเคราะห์หาปริมาณทองแดงที่ปล่อยจากการดูดซับ โดยวัสดุธรรมชาติด้วยวิธีการเทียบสี
บทปฏิบัติการที่ 7 เรื่อง	การวิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิลที่ปล่อยจากการดูดซับ โดยวัสดุธรรมชาติด้วยวิธีการเทียบสี

โดยค่าเฉลี่ยของความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์อยู่ใน
ระดับมาก

3. บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์กำหนด คือ
80.11/80.27

**A DEVELOPMENT OF SCIENCE LABORATORY LESSONS ON
"ADSORBABILITY OF HEAVY METALS BY NATURAL ADSORBERS"
FOR TEACHING ENVIRONMENTAL SCIENCE FOR STUDENTS
AT MATHAYOM SUKSA VI**

**AN ABSTRACT
BY
ONOUA LAMUL**

**Presented in partial fulfillment of the requirements for the
Master of Education degree in Science Education
at Srinakharinwirot University**

October 1998

The purposes of this research are to develop science laboratory lesson. In this work, the research has studied about the adsorbability of heavy metals by natural adsorbers. From a data researchs in laboratory, the researcher must investigate its utilizing possibility to use with the basic experimental laboratory lesson for Matayom suksa VI level and find the efficiency of science laboratory lesson since the standard index of 80/80

The study composed of three stages ; as followed.

1. To find out an appropriate method to quantitatively heavy metals contents in water and study adsorbability of heavy metals by natural adsorber.
2. To develop science laboratory lesson on adsorbability of heavy metal by natural adsorbers with the teacher's handbook. In this step all process had tested by five experience persons.
3. To find the efficiency of science laboratory lessen by using the data research results in topic 1 and 2 to teach in a student class room of 30 students in M.S. VI at Kokkatiamwittayalai School. The results of the learning was treated by doing the excercies, the achievement tests and the experimentation skill tests.

From this research, we can conclude that :

1. In each type of natural absorber as rice husk, sawdust, rice straw and water hyacine., can adsorbed copper (Cu) and nickel (Ni) from water. The adsorbability of each ion depend on the nature of each natural absorber. In the experiment, we selected the colorimetric method to determine that adsorbability of each ion depend on the nature of each natural absorber. In the experiment, we selected the colorimetric method to determine that adsorbability of each natural adsorber by comparative color complex that formed by copper ion, nickel ion with appropriated ligand.

2. We can improve the science laboratory lesson and teacher's handbook on "adsorbability of heavy metals by natural adsorber" and set it up into 7 topics as follows.

- Lab I Qualitative study of water.
- Lab II Detection of copper and nickel in water.
- Lab III Toxicity study of copper and nickel to rate growth of green seed.
- Lab IV Chemical treatment of wastewater from metal plating industries by precipitation
- Lab V Properties of adsorption of natural adsorber.
- Lab VI Determining the quantity of copper contents in water after treatment with natural adsorber.
- Lab VII Determining the quantity of nickel contents in water after treatment with natural adsorber.

The average of experts' opinion on the science laboratory was in a high level.

3. The efficiency of the science laboratory was 80.11/80.27