การวิเคราะห์ Inorganic cations โดยอาศัย Electrophoretic technique

ปริญญานิพนธ์

ของ

ประกอบ เอี่ยมสอาด

THE LIBRARY
COLLEGE OF EDUCATION
BANGKOK. THAILAND

เสนอต่อวิทยาลัยวิชาการศึกษา
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต
15 สิงหาคม 2515

15 ส.ค. 2515

การวิเคราะห์ Inorganic cations โดยอาศัย Electrophoretic Technique

บทคัดย่อ

ของ

ประกอบ เอี่ยมสอาด

เสนอต่อวิทยาลัยวิชาการศึกษา
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต
15 สิงหาคม 2515

การวิเคราะห์ Inorganic cations

โดยอาศัย

Electrophoretic technique

การศึกษาครั้งนี้มีความมุ่งหมายจะสร้างเครื่องมือสำหรับทำ Electrophoresis ชนิดง่ายและราคาถูก เพื่อใช้แยกวิเคราะห์ Inorganic cations บางชนิด โดยมุ่งจะนำเครื่องมือที่สร้างขึ้นนี้มาใช้ประกอบการสอนเกี่ยวกับคุณภาพวิเคราะห์ (Qualitative analysis)

เครื่องมือที่สร้างขึ้นครั้งนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ

1. เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า (Power supply) ขนาด 200 W. P 220 V. 1 A. S 1000 V. 200 ma. ใช้เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V. เป็นไฟฟ้ากระแสตรง 1000 V. เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้าประกอบด้วยลวดทองแดงขนาด 23 SWG. จำนวน 420 รอบ พันรอบแกนเหล็กที่มีพื้นที่หน้าตัด 4 ตารางนิ้ว เป็นขดปฐมภูมิและลวดทองแดงขนาด 30 SWG. จำนวน 1800 รอบ พันทับบนแกนเหล็กเดิมเป็นขด ทุติยภูมิ ส่วนนี้เป็นเครื่องเปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟฟ้าและใช้ซิลิกอนเบอร์ 1 R 1 D ขนาด 1000 V. เป็นตัวช่วยแปลงไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง

2. อิเลกโตรฟอเรติกเซ็ล เป็นส่วนที่ใช้แยก Inorganic cations ด้วยกระแสไฟฟ้า ประกอบด้วยกล่องพลาสติคใสขนาด $8 \times 24 \times 8$ นิ้วเป็นที่บรรจุเซ็ล มีอ่างดินเกลือบ 2 ใบสำหรับใส่สารอิเลกโตรไลท์ ใช้แท่งแกรไฟต์เป็นอิเลกโตรด และใช้กระดาษกรอง Whatman No. 3 เป็นสเตบิไลซิงมีเดี่ยมสำหรับให้อิออนเคลื่อนที่

การวิเคราะห์อิออนทำได้โดยจัดแบ่ง Inorganic cations จำนวน 18 ชนิดที่จะแยกวิเคราะห์เป็น 5 หมู่ตามสมบัติที่คล้ายคลึงกันดังนี้

หมู่ที่ 1 ประกอบด้วย Hg^{+2}, Bi^{+3}, Cu^{+2}, Cd^{+2}, Pb^{+2}

หมู่ที่ 2 ประกอบด้วย Fe^{+3}, Cr^{+3}, Al^{+3}

หมู่ที่ 3 ประกอบด้วย Zn^{+2}, Co^{+2}, Ni^{+2}, Mn^{+2}

หมู่ที่ 4 ประกอบด้วย Ca^{+2}, Ba^{+2}, Sr^{+2}

หมู่ที่ 5 ประกอบด้วย K^{+}, Na^{+}, Mg^{+2}

แล้วนำของผสมของอิออนแต่ละหมู่มาป้ายบนกระดาษกรองซึ่งเป็นสเตบิไลซิงมีเดียมใน อิเลกโตรฟอเรติกเซ็ล เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงในเซ็ล อิออนแต่ละหมู่จะเคลื่อนที่ไปบน สเตบิไลซิงมีเดียมและแยกออกเป็นอิออนเดี่ยว

ผลการทดลองปรากฏว่าเครื่องมือที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นนี้สามารถแยก Inorganic cations ได้ดีทุกหมู่.

THE ANALYSIS OF INORGANIC CATIONS

BY

ELECTROPHORETIC TECHNIQUE

ABSTRACT

BY

PRAKOB IAM-SA-ARD

Presented in partial fullfilment of requirements

for the Master of Education Degree

the College of Education

August, 15, 1972

The Analysis of Inorganic Cations

by

Electrophoretic Technique

The purpose of this study was to construct an apparatus for electrophoresis, which was simple and cheap. This apparatus had been used for separation of the inorganic cations. Such an instrument could be used to teach qualitative analysis.

The apparatus was constructed and consisted of two important parts.

1. Power supply yielding 200 W. P 220 V. 1 A. S 1000 V. 200 ma. was used to change 220 V. AC to 1000 V. DC. Power supply was made by using 23 SWG. copper wire around iron core as the primary coil and 30 SWG copper wire as the secondary coil. This part was used to change the emf of the electricity and silicon no. 1 R 1 D 1000 V. was used to rectify the AC to DC.

2. Electrophoretic cell was used for separation of inorganic cations. It consisted of the plastic chamber, a trough for electrolyte, graphite electrodes, and Whatman No. 3 filter paper as the stabilizing medium.

The 18 cations were arranged into 5 groups as follow :

group 1. Hg^{+2}, Bi^{+3}, Cu^{+2}, Cd^{+2}, Pb^{+2}

group 2. Fe^{+3}, Cr^{+3}, Al^{+3}

group 3. Zn^{+2}, Co^{+2}, Ni^{+2}, Mn^{+2}

group 4 Ca^{+2}, Ba^{+2}, Sr^{+2}

group 5. K^{+}, Na^{+}, Mg^{+2}

The mixture of each group of ions was applied on the stabilizing medium in electrophoretic cell. Each ion gave a single band after the current was turned on.

This apparatus was found to give good separation for each group of inorganic cations.

คณะกรรมการที่ปรึกษาประจำตัวนิสิตได้พิจารณาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควร
รับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิตของวิทยาลัยวิชาการศึกษาได้

ประธาน

กรรมการ

15 สิงหาคม 2515

ประกาศกุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเนื่องจากผู้เขียนได้รับคำแนะนำช่วยเหลือตลอดจนตรวจแก้เพิ่มเติม จากรองศาสตราจารย์สุนทรี พิริยกิจ และอาจารย์บุญมี ก้อนทอง ผู้เขียนจึงกราบขอบพระคุณอาจารย์ทั้งสองท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณอาจารย์สมบูรณ์ พลสิทธิ์ และอาจารย์ปรีชา กงสวัสดิ์ แห่งแผนกวิชาช่างไฟฟ้าและวิทยุ วิทยาลัยครูพระนคร ที่กรุณาช่วยเหลือในการสร้างเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้าสำหรับประกอบเครื่องมือการทดลองในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.นิดา สะเพียรชัย ที่กรุณาตรวจแก้ Abstract ให้จนสำเร็จด้วยดี

ประกอบ เอี่ยมสอาด

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ	1
	กำนำ	1
	ความมุ่งหมายในการวิจัย	3
	ขอบเขตของการวิจัย	3
	ความสำคัญของการวิจัย	3
	วิธีดำเนินการวิจัย	4
	การวิเคราะห์ข้อมูล	4
2	ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย	5
	ความหมายของอิเลกโตรฟอเรซิส	5
	ประวัติอิเลกโตรฟอเรซิส	6
	ก่ากงตัวประจำสารและองค์ประกอบของอัตราการเคลื่อนที่ของสารในสนามไฟฟ้า	6
	หลักการและเครื่องมือสำหรับทดลอง Zone electrophoresis	7
	เอกสารเกี่ยวกับการแยกวิเคราะห์ Inorganic cations	9
3	เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	12
	เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า	12
	อิเลกโตรฟอเรติกเซล	15
	การทดสอบเครื่องมือ	16

บทที่		หน้า
4	วิธีดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย	18
	หลักการวิเคราะห์ Inorganic cations	18
	การแบ่งหมู่ Inorganic cations ที่จะนำมาแยกวิเคราะห์	19
	การเตรียมสารละลายอิออนที่จะใช้เป็นสารมาตรฐานและที่จะแยกวิเคราะห์	20
	การทำสเปไลชิงมีเดียม	22
	วิธีทดลองแยกวิเคราะห์ Inorganic cations	22
	การทดลองหาอิเลคโตรไลท์และระยะเวลาที่เหมาะสำหรับแยกอิออนแต่ละหมู่	23
	การทดลองหา Detecting agent	24
	ผลการทดลอง	24
5	อภิปรายผลการวิจัย	28
	อภิปรายเกี่ยวกับเครื่องมือ	28
	เทคนิคการป้ายสารลงบนแผ่นกระดาษกรอง	31
	การทดลองหาอิเลคโตรไลท์ เวลาและ Detecting agent	31
6	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	34
	การสร้างเครื่องมือ	34
	ผลการทดลอง	35
	ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการวิจัยต่อไป	36
บรรณานุกรม		38
ภาคผนวก		41

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	ผลการแยกวิเคราะห์อ๊อกซิเดชันหมู่ที่ 1	24
2	ผลการแยกวิเคราะห์อ๊อกซิเดชันหมู่ที่ 2	25
3	ผลการแยกวิเคราะห์อ๊อกซิเดชันหมู่ที่ 3	26
4	ผลการแยกวิเคราะห์อ๊อกซิเดชันหมู่ที่ 4	26
5	ผลการแยกวิเคราะห์อ๊อกซิเดชันหมู่ที่ 5	27

บัญชีภาพประกอบ

รูปที่		หน้า
1	การวางแผ่นกระดาษกรองเชื่อมระหว่างภาชนะที่บรรจุสารอิเลคโตรไลท์	8
2	เครื่องเปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟฟ้า	12
3	วงจรบริกจ์สำหรับแปลงไฟ	13
4	แสดงวงจรการเปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟฟ้า	14
5	แสดงวงจรบริกจ์สำหรับแปลงไฟฟ้าแบบเต็มคลื่น	14
6	แสดงวงจรของเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า	15
7	อิเลกโตรฟอเรติกเซ็ล	15
8	แท่งแกรไฟท์สำหรับทำอิเลกโตรด	16
9	เครื่องมือสำหรับทดลองอิเลกโตรฟอเรซิส	17

บทที่ 1

บทนำ

กำนำ

เป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่าองค์ประกอบสำคัญในการพัฒนาประเทศนั้นได้แก่ กำลังคน กำลังทรัพย์ และความรู้ในวิชาการต่าง ๆ ตลอดจนความสามารถในการนำเอาเทคโนโลยีใหม่ ๆ มาใช้พัฒนากิจการทุกด้านของประเทศ

เทคโนโลยีมีความสำคัญต่อชีวิตประจำวันของเรามาก เพื่อเพิ่มผลผลิตทั้งด้านเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม ส่วนด้านสุขภาพอนามัยเทคโนโลยีก็มีความจำเป็นมากคือใช้เพื่อการสาธารณูปโภค การถนอมอาหาร การผลิตเครื่องนุ่งห่มและการผลิตยารักษาโรค สำหรับในด้านการศึกษาก็อาศัยเทคโนโลยีช่วยปรับปรุงการเรียนการสอนให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น จึงพอจะสรุปได้ว่าความมุ่งหมายในการจัดการศึกษาก็เพื่อนำวิชาการใหม่ ๆ และเทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้ามาใช้ และให้เยาวชนของชาติได้เรียนรู้เพื่อให้เป็นพลเมืองที่มีความสามารถสูงตามจุดประสงค์ของแผนการศึกษาแห่งชาติ

เนื่องจากวิชาการต่าง ๆ และเทคโนโลยีมีความก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว การจัดการศึกษาให้ทันกับความเปลี่ยนแปลงดังกล่าวย่อมต้องมีการค้นคว้าวิจัยเพื่อหาวิธีสอนใหม่ ๆ ตลอดเวลา ศาสตราจารย์ระวี ภาวิไล (ระวี ภาวิไล, 2513 : 11) ได้กล่าวถึงแนวทางของการวิจัยเกี่ยวกับการถ่ายทอดวิชาการไว้ว่า "ควรได้มีการวิจัยเนื้อหาโครงสร้างวิชา ความสัมพันธ์ระหว่างแขนงวิชาและวิธีการที่จะสาธิตหลักเกณฑ์ต่าง ๆ" กำกล่าวนี้แสดงให้เห็นว่าการวิจัยเกี่ยวกับการเรียนการสอนควรจะดำเนินไปในแนวใด จึงจะช่วยให้ผู้เรียนเรียนรู้วิชาการต่าง ๆ ทันกับความก้าวหน้าและการขยายตัวอย่างกว้างขวางรวดเร็วของวิชาการแต่ละสาขาในปัจจุบัน

องค์การศึกษาวิทยาศาสตร์และวัฒนธรรมแห่งสหประชาชาติเห็นว่าการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ได้กล่าวไว้ตอนหนึ่งในคู่มือกรูวิทยาศาสตร์ที่จัดพิมพ์ขึ้น (องค์การศึกษาวิทยาศาสตร์และวัฒนธรรมแห่งสหประชาชาติ, 2509 : ฌ) ว่า

> การสอนวิชาวิทยาศาสตร์จะต้องมีการพิจารณาเป็นพิเศษเหนือวิธีการสอนวิชาอื่น ๆ ทั้งนี้เป็นเพราะวิทยาศาสตร์เป็นวิชาที่จะต้องใช้วัสดุและอุปกรณ์การสอนโดยเฉพาะกับทั้งมีวิธี

เข้าให้ถึงเป็นพิเศษ ถ้าจะยกมาตรฐานการสอนวิทยาศาสตร์ขึ้นแล้วก็จะต้องมีวิชาเกี่ยวกับเทคนิคของการสอนเพิ่มขึ้นในหลักสูตรของวิทยาลัยครู ส่วนใหญ่ของการสอนวิทยาศาสตร์ควรจะหนักไปในภาคปฏิบัติหรือการใช้ห้องปฏิบัติการ ครูใหม่จะต้องได้รับการสอนให้รู้จักวิธีประดิษฐ์ วิธีออกแบบวิธีสร้างอุปกรณ์ง่าย ๆ จากวัสดุที่หาได้ในถิ่นที่ตนจะสอนด้วย การอบรมเช่นนี้จะก่อให้เกิดความสนใจในการสังเกตและการทดลอง

เมื่อพิจารณาดูสภาพการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ของประเทศเราในปัจจุบันนี้แล้วพบว่ายังขาดแคลนวัสดุอุปกรณ์การสอนอยู่มากโดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องมือทดลอง นอกจากนี้ยังขาดการค้นคว้าวิจัยเพื่อประดิษฐ์และสร้างอุปกรณ์ง่าย ๆ เพื่อใช้ประกอบการสอน การสอนวิทยาศาสตร์จะเน้นหนักในภาคปฏิบัติได้นั้นย่อมต้องอาศัยอุปกรณ์การทดลองเพราะเป็นปัจจัยสำคัญที่สุด แต่สถานศึกษาแต่ละแห่งได้รับงบประมาณน้อยไม่พอซื้ออุปกรณ์การทดลองโดยเฉพาะอุปกรณ์ที่มีราคาสูงจากต่างประเทศมาให้ผู้เรียนได้ใช้ ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าวิธีสร้างอุปกรณ์การทดลองขึ้นใช้เองในประเทศจึงเป็นสิ่งจำเป็นและเหมาะสมกับภาวะเศรษฐกิจของประเทศไทยเป็นอย่างยิ่ง

การศึกษาวิชาอินทรียเคมีนั้นมีการตรวจพิสูจน์ (Identify) Inorganic cations ซึ่งอาจทำได้หลายวิธี วิธีหนึ่งที่น่าสนใจคือ การแยกวิเคราะห์โดยอาศัยเทคนิคอิเลคโตรฟอเรซิส (Electrophoretic technique) ซึ่งเป็นวิธีที่ได้ผลดีและสะดวกในการทดลอง แต่เทคนิคนี้นักเรียนส่วนใหญ่ยังไม่มีโอกาสทดลองจริง ๆ ในห้องปฏิบัติการเคมี เพราะยังขาดเครื่องมือสำหรับทดลอง เนื่องจากเครื่องมาตรฐานจากต่างประเทศมีราคาแพงมาก

ด้วยเหตุดังกล่าวผู้วิจัยจึงพยายามสร้างเครื่องมือสำหรับทำอิเลคโตรฟอเรซิส (Electrophoresis) ขึ้นเองเพื่อใช้แยกวิเคราะห์ Inorganic cations บางตัว โดยมุ่งจะนำผลการวิจัยนี้ไปใช้ประกอบการสอนสองประการ ได้แก่

1. การวิเคราะห์โดยอาศัยเครื่องมือ (Instrumental methods of analysis)

2. คุณภาพวิเคราะห์ (Qualitative analysis)

ความมุ่งหมายในการวิจัย

1. เพื่อสร้างเครื่องมือสำหรับทำอิเลคโตรฟอเรซิส
2. เพื่อใช้เครื่องมือในข้อ 1. แยกวิเคราะห์ Inorganic cations
3. เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องมือที่สร้างขึ้น
4. เพื่อศึกษาขบวนการแยกวิเคราะห์สารโดยอาศัยเทคนิคอิเลคโตรฟอเรซิส และใช้เป็นวิธีตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือที่สร้างขึ้นนี้

ขอบเขตของการวิจัย

1. อิเลคโตรฟอเรซิส (Electrophoresis) หมายถึงการเคลื่อนที่ของอนุภาคสารในสนามไฟฟ้าโดยไม่อาศัย Stabilizing medium (เช่นกรณีของ Free boundary method) หรืออีกกรณีหนึ่งหมายถึงการเคลื่อนที่ของอนุภาคสารในสนามไฟฟ้าบน Stabilizing medium (เช่นกรณีของ Zone method)

สำหรับการวิจัยครั้งนี้มุ่งเฉพาะการทำอิเลคโตรฟอเรซิสโดยมีสเตบิไลซิงมีเดียม (Stabilizing medium) เท่านั้น

2. Stabilizing medium หมายถึงสารเคมีที่เป็นของแข็งหรือวัสดุแข็งที่ใช้เป็นตัวให้อิออนอาศัยเคลื่อนที่ไปในขณะทำอิเลคโตรฟอเรซิส เช่น กระดาษกรอง แป้ง แผ่นเซลลูโลสอะซีเตท และซิลิก้า – เจล เป็นต้น

3. อิเลคโตรไลท์ (Electrolyte) หมายถึงสารละลายที่นำไฟฟ้าได้และใช้เป็นตัวช่วยให้กระแสไฟฟ้าจากเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า (Power supply) ไหลผ่านสเตบิไลซิงมีเดียมได้

ความสำคัญของการวิจัย

1. ผลของการวิจัยช่วยให้ทราบว่าเครื่องมือที่สร้างขึ้นนี้มีประสิทธิภาพเพียงใด
2. ผลของการวิจัยช่วยให้ทราบแนวการทำคุณภาพวิเคราะห์ของ Inorganic cations อีกวิธีหนึ่ง

3. ผลของการวิจัยช่วยให้ทราบถึงวิธีสร้างเครื่องมือสำหรับทดลองเกี่ยวกับอิเลกโตรฟอเรซิสขึ้นใช้เอง โดยไม่ต้องใช้เครื่องมือราคาแพงจากต่างประเทศ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. สร้างเครื่องมือทดลอง โดยสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับ (A.C. 220 V.) มาเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. 850 V.) และสร้างอิเลกโตรฟอเรติกเซ็ล (Electrophoretic cell) โดยใช้อ่างดินเคลือบใส่สารละลายอิเลกโตรไลท์ ใช้แท่งถ่านแกรไฟต์เป็นอิเลกโตรด ใช้แผ่นพลาสติกใสประกอบกันเป็นกล่องสำหรับกรอบอิเลคโตรฟอเรติกเซ็ล เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าแรงสูง

2. นำเครื่องมือนี้มาทดลองแยกวิเคราะห์ Inorganic colloids โดยใช้กระดาษกรอง What man No. 3 เป็นสเกปิโสชิงมีเดียม ใช้สารละลาย Ammonium carbonate และ Formic acid เป็นอิเลคโตรไลท์

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำผลที่ได้จากการทดลองมาทำการประเมินผล เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องมือสำหรับทำอิเลคโตรฟอเรซิสที่สร้างขึ้นนี้.

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

ความหมายของอิเลคโตรฟอเรซิส (Electrophoresis)

"Electrophoresis" เป็นคำมาจากภาษากรีกว่า "Elektron" ซึ่งเป็นคำศัพท์ของ Electric (ไฟฟ้า) และ "Phore" มาจากภาษาละตินหมายถึง Bearer (ผู้นำไป) ดังนั้น Electrophoresis จึงหมายถึงการเคลื่อนที่ของสารในสนามไฟฟ้าหรือสนามไฟฟ้าทำให้สารเกิดการเคลื่อนที่ L. Michaelis เป็นคนแรกที่ใช้ศัพท์นี้อธิบายปรากฏการณ์การเคลื่อนที่ของอนุภาคคอลลอยด์ในสนามไฟฟ้า (Michaelis, 1909 : 81)

Willard ให้ความหมายของอิเลคโตรฟอเรซิส (Electrophoresis) ว่าหมายถึงการเคลื่อนที่ของอนุภาคขนาดเล็กหรือของโมเลกุลขนาดใหญ่อันเนื่องจากผลของสนามไฟฟ้าซึ่งเราให้แก่ตัวกลางที่อนุภาคเหล่านั้นแขวนลอยอยู่ (Willard, 1965 : 639) ตัวอย่างสารที่เคลื่อนที่ได้เมื่อเราปล่อยกระแสไฟฟ้าลงไป ได้แก่ สารละลายโปรตีน และอนุภาคของคอลลอยด์ ฯลฯ

การเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามไฟฟ้าอาจจะเป็นไปได้สองวิธีคือ เคลื่อนที่โดยไม่มีสเตบิไลซิงมีเดียม เช่นกรณีของ Free boundary method หรือการเคลื่อนที่โดยอาศัยสเตบิไลซิงมีเดียมก็ได้ เช่นในกรณีของ Zone method (Zweig and Whitaker, 1967 : 1)

Free boundary method หมายถึงการที่เราให้ (Apply) สนามไฟฟ้าแก่อนุภาคที่มีประจุในสารละลาย ทำให้อนุภาคเหล่านั้นเคลื่อนที่ไปหาขั้วไฟฟ้าอย่างเป็นอิสระโดยไม่ต้องมีสเตบิไลซิงมีเดียม ส่วน Zone method นั้นหมายถึงการที่เราให้กระแสไฟฟ้าแก่อนุภาคที่มีประจุในสเตบิไลซิงมีเดียม ทำให้อนุภาคเหล่านั้นเคลื่อนที่ไปหาขั้วไฟฟ้าโดยผ่านไปในเนื้อสารของสเตบิไลซิงมีเดียม แล้วอนุภาคเหล่านี้แยกออกเป็นแถบ (Zone) เนื่องจากอนุภาคต่างชนิดกันมีอัตราการเคลื่อนที่ต่างกัน

ประวัติอิเลกโตรฟอเรซิส

ใน พ.ศ. 2435 (ก.ศ. 1892) H. Picton และ S.E. Linder (Picton and Linder, 1892 : 148) ได้ศึกษาเรื่องอิเลกโตรฟอเรซิสโดยวิธี Free boundary method เป็นครั้งแรก แต่ผลการทดลองยังไม่เป็นที่พอใจนัก ต่อมา A. Tiselius (Tiselius, 1937 : 524) ได้ศึกษาเรื่องเดียวกันนี้อีกครั้งหนึ่งพบว่าวิธีนี้มีปัญหาหลายประการอันเป็นสาเหตุให้การทดลองไม่ได้ผลดี เช่น อัตราการเคลื่อนที่ของอนุภาคมีค่าไม่คงตัวและไม่สามารถแยกสารออกจากกันได้โดยสมบูรณ์ วิธี Free boundary method จึงไม่เป็นที่นิยม ต่อมานักเคมีหันมาสนใจศึกษาอิเลคโตรฟอเรซิสบนสเตบิไลซิงมีเดียมแทน (Tiselius and Flodin, 1953 : 461) วิธีใหม่นี้มีชื่อเฉพาะว่า Zone method เขาใช้สเตบิไลซิงมีเดียมเป็นตัวช่วยทำให้สารแยกออกจากกัน วิธีนี้ได้ผลดีกว่าวิธีแรก เพราะแถบสารที่แยกออกจะไม่บิดเบี้ยว (Distort) ทำให้มองเห็นขอบเขตของสารที่แยกออกจากกันได้ชัดเจน สารที่ใช้ทำสเตบิไลซิงมีเดียมมีหลายชนิด เช่น กระดาษกรอง แผ่นเซลลูโลส – อะซีเตท แป้ง ผงเซลลูโลส กระดาษไยหิน ผ้าเรยอง – อะซีเตท กระดาษใยแก้ว ผงซิลิก้า กีเซ็ลกัว (Kieselguhr) ผงแก้วป่น และอะกาโรส – เจล (Agarose gel) ที่นิยมใช้กันมากคือกระดาษกรอง เพราะเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย เตรียมการทดลองง่ายและให้ผลดี

ค่าคงตัวประจำสารและองค์ประกอบของอัตราการเคลื่อนที่ของสารในสนามไฟฟ้า

การดูสารที่แยกวิเคราะห์ว่าจะเป็นชนิดใด เราอาศัยค่าคงตัวเฉพาะ (Characteristics) ของสารนั้น ๆ สารแต่ละชนิดมีค่าคงตัว ค่านี้ได้แก่ อัตราการเคลื่อนที่ อัตราการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ (Relative mobility) และระยะทางที่สารเคลื่อนที่ในช่วงเวลาที่จำกัดช่วงหนึ่ง

Mikes ได้ศึกษาและจำแนกองค์ประกอบของการเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามไฟฟ้าเป็น 3 ประเภท (Mikes, 1966 : 357) คือ

1. องค์ประกอบที่เกิดจากลักษณะและคุณสมบัติของสารที่จะนำมาแยก ได้แก่ ขนาด จำนวนประจุ รูปลักษณะและสมบัติทางเคมีของอนุภาคนั้น ๆ

2. องค์ประกอบที่เกิดจากตัวกลาง ได้แก่ ธรรมชาติและคุณสมบัติของตัวกลางก็อ

อุณหภูมิ ความหนืด Dielectric constant of solvent, pH, Ionic strength และ Chemical interactions

3. องค์ประกอบที่เกิดจากสนามไฟฟ้า ได้แก่ ความเข้ม (Intensity) และ Homogeneity of current (หมายถึงกระแสไฟฟ้าที่ใช้จะต้องเป็นไฟฟ้ากระแสตรงอย่างเดียว ไม่มีไฟฟ้ากระแสสลับปนอยู่ด้วย เพราะไฟฟ้ากระแสสลับจะทำให้แถบสารบนกระดาษกรองบิดเบี้ยวได้

หลักการและเครื่องมือสำหรับทดลอง Zone electrophoresis

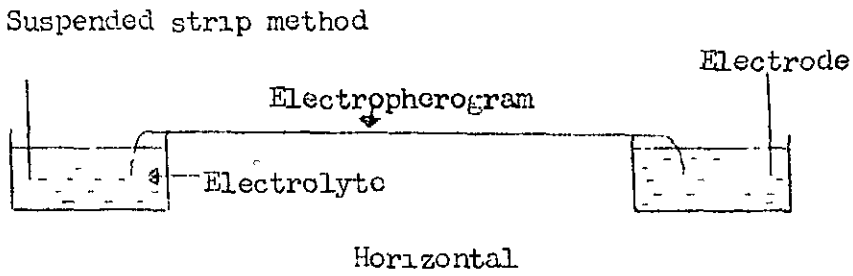
หลักของการวิเคราะห์สารแบบ Zone electrophoresis คือ นำสารที่เราไม่ทราบ (Unknown sample) และสารที่เราทราบแล้วว่าเป็นอะไร (เรียกว่าสารมาตรฐาน) มาเริ่มต้นเคลื่อนที่พร้อมกันในสนามไฟฟ้า โดยป้ายสารทั้งสองชนิดให้เป็นแถบเล็ก ๆ (Narrow sharp zone) วางบนแถบกระดาษกรองที่มีขนาดเท่ากันชนิดละแผ่น แล้วเปรียบเทียบอัตราการเคลื่อนที่ของสารทั้งสองในช่วงเวลาที่เท่ากัน โดยอาศัยทฤษฎีที่ว่าสารชนิดเดียวกันจะมีอัตราการเคลื่อนที่เท่ากัน และสารต่างชนิดกันจะมีอัตราการเคลื่อนที่ต่างกันจากอัตราการเคลื่อนที่เราสามารถบอกชนิดของสารที่ต้องการทราบได้

เครื่องมือที่ใช้ทำ Zone electrophoresis ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า (Power supply) กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทำอิเลคโตรฟอเรซิสต้องเป็นกระแสไฟตรงเพื่อให้มีขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ปัจจุบันนิยมใช้ไฟฟ้าที่ได้จากการเปลี่ยนไฟ A.C. มาเป็นไฟ D.C. โดยใช้เครื่องแปลงไฟ กระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมในการทดลองมีค่าระหว่าง 50 - 100 mA. และมีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 500 - 1000 V.

2. อิเลคโตรด (Electrode) ทำจากแท่งถ่านแกรไฟต์หรือลวดปลาตินัม

3. การจัดวางสเตบิไลซิงมีเดียม จัดวางได้ 4 แบบ (Zweig and Whitaker, 1967 : 22 - 28) แต่วิธีที่สะดวกและเหมาะสมที่สุดก็คือวิธี Suspended strip method เพราะอัตราการเคลื่อนที่ของไอออนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเวลา



รูปที่ 1 การวางแผ่นกระดาษกรองเชื่อมระหว่างภาชนะที่บรรจุสารอิเลคโตรไลท์

4. การป้าย (Apply) สารบนอิเลคโตรเฟอโรแกรม (Electropherogram)

การป้ายสารบนอิเลคโตรเฟอโรแกรมนั้นจะต้องระวังให้เกิดแถบสารที่แถบที่สุด และไม่ทำให้เกิดรอยบนสเตบิไลซิงมีเดียมด้วย การป้ายสารมีหลายวิธี โดยทั่วไปป้ายด้วย Micropipet (Contractor, 1965 : 182) หรือป้ายด้วยของกบ Glass microscope slide อีกวิธีหนึ่งใช้ด้ายสีขาวชุบสารละลายที่จะวิเคราะห์ แล้วทาบเส้นด้ายบนแผ่นอิเลคโตรเฟอโรแกรม เพยายามทำให้สารที่จะศึกบนกระดาษกรองเป็นแถบเล็กที่สุดและอยู่ติดกันไม่ให้ขาดตอน (ให้ได้ Narrow sharp zone)

5. การใช้สารเป็นตัวเทียบหรือตัวมาตรฐาน (Roferences or Standards)

เนื่องจากเราใช้ขบวนการอิเลคโตรฟอเรซิสในการตรวจพิสูจน์สาร โดยการเปรียบเทียบระยะทางของการเคลื่อนที่ของสารที่เราไม่ทราบกับสารมาตรฐานในช่วงเวลาที่เท่ากัน ดังนั้นจึงต้องให้สารที่จะตรวจพิสูจน์กับสารมาตรฐานเคลื่อนที่บนอิเลคโตรเฟอโรแกรมแผ่นเดียวกัน เพื่อเปรียบเทียบอัตราการเคลื่อนที่ของสารได้สะดวก การเปรียบเทียบอัตราการเคลื่อนที่ของสารทำได้สองวิธี คือ วิธีแรกป้ายสารที่จะตรวจและสารมาตรฐานเป็นแถบแถบ ๆ ทับกัน ถ้าสารทั้งสองเป็นสารชนิดเดียวกันหลังจากปล่อยให้เคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้าจะพบว่าแถบสารทั้งสองยังคงทับกันเป็นแถบเดียวไม่ว่าจะเคลื่อนที่ไปอยู่ตำแหน่งใด ๆ ส่วนอีกวิธีหนึ่งให้สารทั้งสองเคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้าด้วยระยะเวลาเท่ากัน สารชนิดเดียวกันจะเคลื่อนที่ได้ระยะทางเท่ากัน

6. การปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าในวงจรเพื่อทำอิเลคโตรฟอเรซิส ภายหลังจากการป้ายสารที่จะตรวจพิสูจน์และสารมาตรฐานลงบนจุดกั้งต้นของอิเลคโตรเฟอโรแกรมแล้ว ตรวจ

ทิ้งไว้ประมาณ 20 นาทีเพื่อให้สารทั้งหมดเข้าสู่สมดุลย์ไม่มีการแพร่ต่อไปอีก จึงปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าในวงจร เมื่อครบกำหนดเวลาก็ปิดสวิทซ์และนำอิเลคโตรเฟอโรแกรมออกทันที เพื่อป้องกันไม่ให้อิเลกโตรไลท์เกิด Siphon ไปตามแผ่นอิเลคโตรเฟอโรแกรมนั้น นำมาวางตามแนวราบและทิ้งไว้ให้แห้งหรือใส่ตู้อบเพื่อจะนำไปตรวจพิสูจน์สารต่อไป

7. การตรวจพิสูจน์สารที่กำลังศึกษา ทำได้หลายวิธีตามแต่จะเหมาะสม วิธีที่นิยมคือการตรวจพิสูจน์โดยสังเกตสีของสารที่มีอยู่แล้วหรือการให้สารนั้นทำปฏิกิริยากับสารเคมีอื่นแล้วเกิดเป็นสีขึ้น

เอกสารเกี่ยวกับการแยกวิเคราะห์ Inorganic cations

เนื่องจากในการวิจัยครั้งนี้มีความมุ่งหมายจะนำเทคนิคการทำอิเลคโตรฟอเรซิสมาใช้แยกวิเคราะห์สาร Inorganic cations ดังนั้นจึงศึกษาเฉพาะรายงานการแยกวิเคราะห์สาร Inorganic cations พอเป็นแนวความคิดในการทดลองของผู้วิจัยเท่านั้น

ใน พ.ศ. 2471 Kendall (Kendall, 1928 : 163) ได้ทดลองแยกหมู่ของ อิออนออกเป็นสองประเภท คือ ประเภทเคลื่อนที่ได้เร็วกับประเภทเคลื่อนที่ได้ช้า เพื่อให้แถบสารที่เกิดขึ้นแยกจากกันอย่างสมบูรณ์และชัดเจน ต่อมา Strain และ Sullivan (Strain and Sullivan, 1951 : 816) รายงานว่าสามารถแยก Inorganic cations ออกจากกันได้ด้วยวิธีอิเลกโตรฟอเรซิส

Gross พบว่าเทคนิคที่ใช้แยก Inorganic cations ได้ผลดีคือ Zone electrophoresis โดยใช้ความต่างศักย์ 100 V./cm. และใช้เวลา 20 นาที (Gross, 1957 : 1597)

Moghissi ได้ทดลองใช้ Thin - layer เป็นสเตบิไลซิงมีเดียมแทนกระดาษกรอง และใช้ความต่างศักย์สูง พบว่า Inorganic cations ส่วนใหญ่แยกออกจากกันได้ในเวลา 2 - 5 นาที (Moghissi, 1964 : 91)

- สารอิเลคโตรไลท์ที่ใช้ในการแยกวิเคราะห์ Inorganic cations มีหลายชนิด มีผู้ทำการสำรวจไว้ถึง 31 ชนิด (Majumdar and Chabrabortty, 1957 : 228)

แต่ที่นิยมใช้และเหมาะสมในการแยก Inorganic cations มีดังนี้

1. Ammonium carbonate 0.1 M. pH 8.9 (Gross, 1963 : 221)

2. Formic acid 0.75 M. pH 2.0 (Gross, 1963 : 221)

3. Citric acid 1 N. (De Vries, Schutz and Van Dalen, 1964 : 119)

4. Lactic acid 0.05 M. (Moghissi, 1964 : 91)

5. Sodium sulfate 0.5 N. (Chabrabortty, 1961 : 121)

ส่วนกระดาษกรองซึ่งใช้เป็นสเตชันารีเฟสนั้น ได้มีผู้ศึกษาผลการแยกวิเคราะห์ Inorganic cations โดยใช้กระดาษกรองที่มีความหนาต่างกัน คือ

De Vries และคณะ (De Vries, Schutz and Van Dalen, 1964 : 119) ใช้กระดาษกรอง Whatman No. 1

Gross (Gross, 1963 . 221) กับ Belling และเพื่อน (Belling and Underdown, 1960 : 203) ใช้กระดาษกรอง Whatman No. 3

M. Lederer (Lederer, 1957 : 606) ใช้กระดาษกรอง Arches 302 และ Arches 304

เพื่อตรวจสอบชนิดและตำแหน่งของ Inorganic cations ที่แยกได้ ใช้สารละลายบางชนิดพ่นทับบนอิเลคโตรเฟอโรแกรมเพื่อให้มันเข้าทำปฏิกิริยากับ Inorganic cations แล้วเกิดสารที่มีสีขึ้น สารละลายดังกล่าวได้แก่

1. สารละลาย Ammonium sulfide เจือจาง โดยนำอิเลคโตรเฟอโรแกรมที่ทำให้แห้งแล้วมาพ่นทับด้วยสารละลายแอมโมเนียมซัลไฟด์เจือจาง Inorganic cations ส่วนใหญ่จะทำปฏิกริยากับสารนี้เกิดสีจำพวกสีเหลือง สีน้ำตาลหรือสีดำ ยกเว้นพวกอัลคาไล หรือ อัลคาไลน์ เอิร์ท แคดเมียม ซึ่งไม่เกิดสีกับสารนี้

2. 8 - Hydroxyquinoline

ก. ใช้ 8 - Hydroxyquinoline 1% ละลายในสารละลายแอมโมเนียเข้มข้นพ่นบนแผ่นอิเลคโตรเฟอโรแกรม Inorganic cations ส่วนใหญ่จะทำปฏิกิริยากับสารนี้เกิดสีจำพวกสีเหลือง สีน้ำตาล และบางตัวจะเรืองแสงเมื่อส่องด้วยแสงอุลตราไวโอเล็ต

ข. ใช้ 8 - Hydroxyquinoline 1 % ละลายในเอทิลแอลกอฮอ 80 % พ่นทับบนอิเลคโตรเฟอโรแกรมที่แห้ง ต่อจากนี้นำไปรมด้วยไอแอมโมเนียเข้มข้น เมื่อส่องด้วยแสงอุลตราไวโอเล็ตจะเรืองแสงเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำตาล (De Vries and Others, 1964 : 119)

3. Alizarin

ก. ใช้สารละลาย Alizarin 0.1 % ในน้ำพ่นทับบนอิเลคโตรเฟอโรแกรม แล้วรมด้วยไอแอมโมเนีย เป็นการตรวจสอบอัลคาไลน์เอิร์ท แกตอิออน ได้สีส้มหรือสีม่วงแดง (Gross, 1957 : 1597)

ข. ใช้สารละลายอิ่มตัวของ Alizarin ในเอทิลแอลกอฮอ 95 % พ่นทับบนอิเลคโตรเฟอโรแกรม ต่อจากนั้นรมด้วยไอแอมโมเนียและพ่นทับด้วยสารละลายอิ่มตัวของกรดบอริก ได้สีส้มหรือสีม่วงกับ Inorganic cations บางตัว (De Vries and Others, 1964 : 119)

4. Bromothymol blue

ใช้สารละลายโบรโมไทมอลบลู 2 % ในน้ำพ่นลงบนอิเลคโตรเฟอโรแกรมที่กำจัดอิเลคโตรไลท์ (Background electrolyte) ออกไปหมดแล้ว ใช้สารนี้ตรวจสอบ Mg^{+2}, Na^{+}, K^{+} และนิยมใช้เมื่อมีแอมโมเนียม การบอเทาเป็นอิเลกโตรไลท์เพราะสารนี้เมื่ออบให้ร้อนที่ 80° เซ็นติเกรดจะสลายกลายเป็นก๊าซไปหมดทำให้แผ่นอิเลคโตรเฟอโรแกรมบริสุทธิ์และปราศจากสารอิเลกโตรไลท์ (Background electrolyte)

บทที่ 3

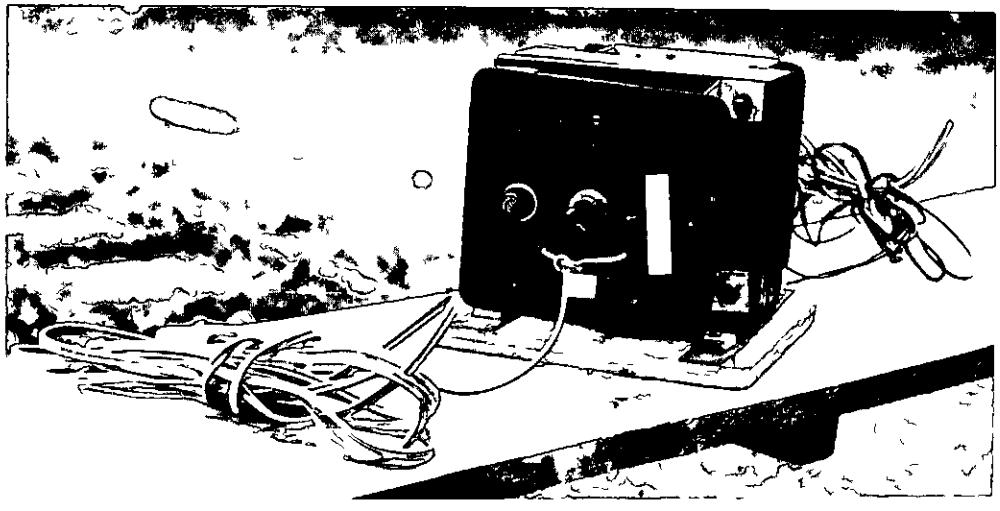
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือสำหรับทำอิเลคโตรฟอเรซิสที่ผู้วิจัยทดลองสร้างขึ้นประกอบด้วยส่วนที่สำคัญสองส่วนคือ

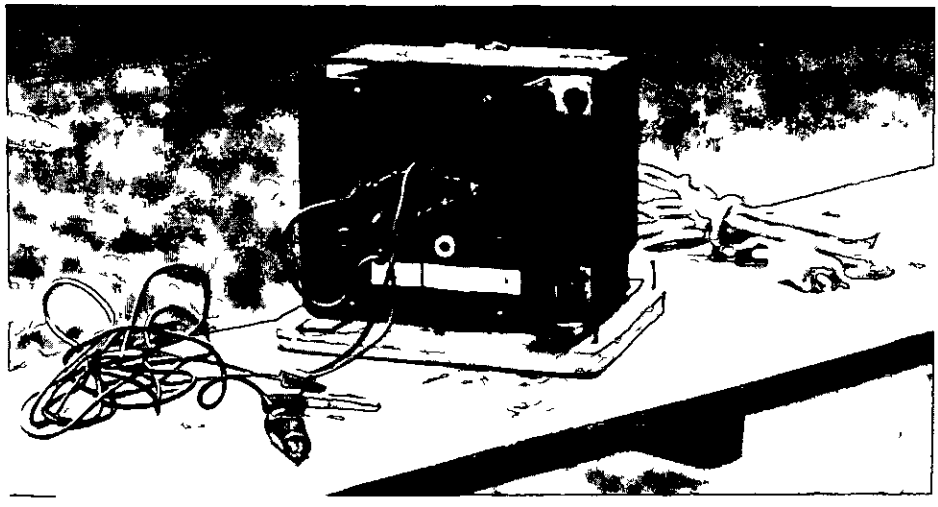
1. เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า (Power supply)
2. อิเลคโตรฟอเรติคเซ็ล (Electrophoretic cell)

เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า

เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้าเป็นเครื่องมือสำหรับจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้แก่อิเลคโตรฟอเรติคเซ็ล ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญสองส่วนคือ เครื่องเปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Power transformer) และวงจรแปลงไฟ (Rectifier circuit)



รูปที่ 2 เครื่องเปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟฟ้า



รูปที่ 3 วงจรบริดจ์สำหรับแปลงไฟ

เครื่องเปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟฟ้า

มีหน้าที่เปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้มีค่าตามต้องการ ในการทดลองนี้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เหมาะคือ 1000 V. ดังนั้นจึงต้องเปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟฟ้าจาก 220 V. เป็น 1000 V.

มีขนาดหรือมี Powor 220 W. P 220 V. 1 A. S 1000 V. 200 ma.

มีส่วนประกอบคือ แกนเหล็ก ลวดอาบน้ำยา ฉนวน น้ำมันวานิชสำหรับอาบเส้นลวด ฟิวส์ และสวิทช์

จำนวนรอบของลวดที่พันรอบแกนคำนวณจากสูตร

$$\text{จำนวนรอบของลวด} = \frac{7.5}{\text{พื้นที่หน้าตัดของแกน}} \quad \text{รอบ/แอมแปร์}$$

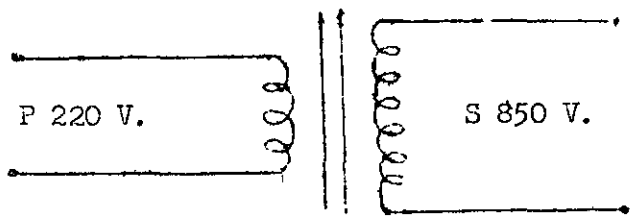
(พื้นที่หน้าตัดของแกนมีหน่วยเป็น ตารางนิ้ว)

ขนาดของลวดใช้ในอัตรา 600 Circular mil/Amp.

เครื่องไฟฟ้าที่สร้างขึ้นเพื่อทดลองครั้งนี้มีขดลวดปฐมภูมิซึ่งใช้ลวดทองแดงเบอร์ 23 SWG. ทนกระแสไฟฟ้าได้ 1A. พันรอบแกนเหล็กขนาดพื้นที่หน้าตัด 4 ตารางนิ้ว จำนวน 420 รอบ ส่วนขดทุติยภูมิใช้ลวดทองแดงเบอร์ 30 SWG. ทนกระแสไฟฟ้าได้ 220 ma. พันทับบนแกนเหล็กเดิมจำนวน 1800 รอบ เครื่องนี้สามารถให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าทางขดทุติยภูมิระหว่าง 850 - 1000 V.

ขนาดของฟิวส์ ใช้ฟิวส์วิทยุขนาดสั้นซึ่งทนกระแสไฟฟ้าได้ไม่เกิน 2 A.

วงจรไฟฟ้าแสดงได้ด้วยรูป ดังนี้

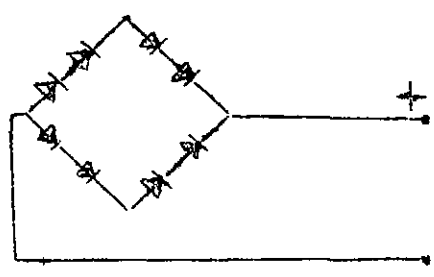


รูปที่ 4 แสดงวงจรการเปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Power transformer)

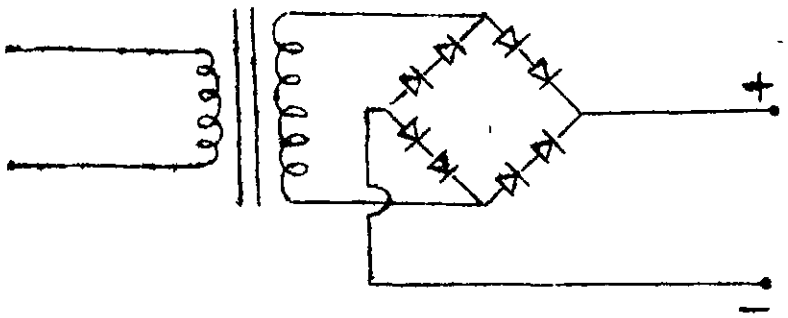
<u>วงจรแปลงไฟ</u>

มีหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง

วงจรไฟฟ้าสำหรับแปลงไฟนี้ใช้วงจรบริดจ์ (Bridge circuit) ซึ่งเป็นวงจรแปลงไฟแบบเต็มคลื่น ประกอบด้วยซิลิกอนขนาด 1000 V. 1 A. เบอร์ 1 R 1 D จำนวน 8 อัน มาต่อกันดังวงจรในภาพ



รูปที่ 5 แสดงวงจรบริดจ์สำหรับแปลงไฟแบบเต็มคลื่น

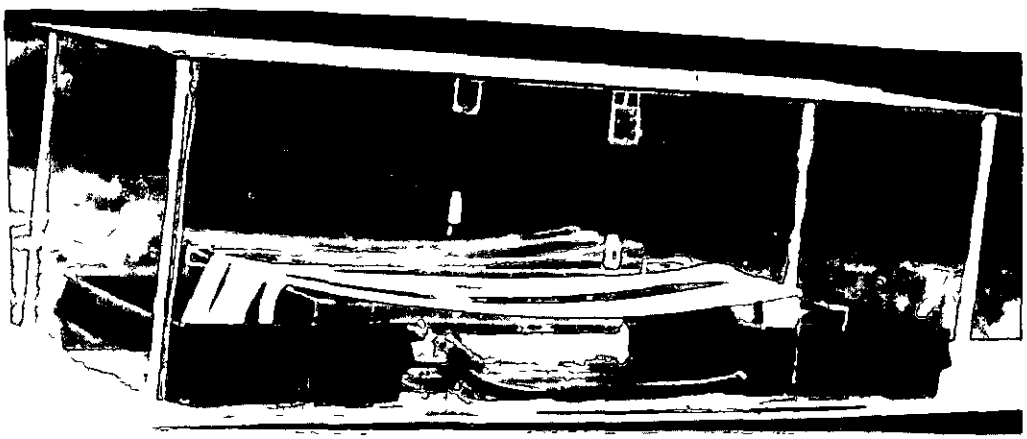


รูปที่ 6 แสดงวงจรของเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า (Powor supply)

อิเลคโตรฟอเรติคเซ็ล

อิเลคโตรฟอเรติคเซ็ล เป็นส่วนที่ใช้สำหรับแยก Inorganic cations ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ภาชนะสำหรับใส่อิเลคโตรไลท์สองใบ ทำด้วยดินขาวเผาไฟ และเคลือบผิวเพื่อป้องกันการรั่วซึมของสารที่บรรจุอยู่ภายในขนาด 6 × 8 × 1.5 นิ้ว มีท่อยางต่อระหว่างภาชนะทั้งสองเพื่อปรับระดับสารละลายให้เท่ากัน ตรงกลางท่อยางเชื่อมด้วยกอกทำด้วยแก้ว



รูปที่ 7 อิเลคโตรฟอเรติคเซ็ล

2. แท่นสำหรับวางสเตบิไลซิงมีเดียม ประกอบด้วยกรอบพลาสติครูปสี่เหลี่ยม ขนาด 8 x 15 นิ้ว ตัวกรอบกว้าง 0.5 นิ้วมีขาตั้งสี่ขาแต่ละขาสูง 2 นิ้ว วางแท่นนี้ไว้เหนือภาชนะสำหรับใส่อิเลคโตรไลท์เป็นที่วางสเตบิไลซิงมีเดียม

3. อิเลคโตรด ทำด้วยถ่านแกรไฟต์แบบเดียวกับที่ใช้เป็นส่วนประกอบไดนาโมรถยนต์ ขนาด 1.5 x 3 x 0.5 นิ้ว ตรงปลายมีลวดทองแดงฝังติดอยู่แน่นเพื่อใช้ต่อกับเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า ทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าบวกและลบสำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่อิเลคโตรฟอเรติคเซ็ล

รูปที่ 8 แท่งแกรไฟต์สำหรับทำอิเลคโตรด

4. กล่องพลาสติคขนาด 8 x 24 x 8 นิ้วสำหรับบรรจุอิเลคโตรฟอเรติคเซ็ล เพื่อป้องกันไม่ให้ไอน้ำในเซ็ลระเหยในขณะทดลอง กล่องนี้ทำด้วยแผ่นพลาสติคใสหนา 0.125 นิ้ว แต่ละชิ้นติดกันด้วยกาวพลาสติคเพื่อให้เป็นรูปกล่องสี่เหลี่ยมมีฝาปิดเปิดได้ทางด้านบนของกล่อง

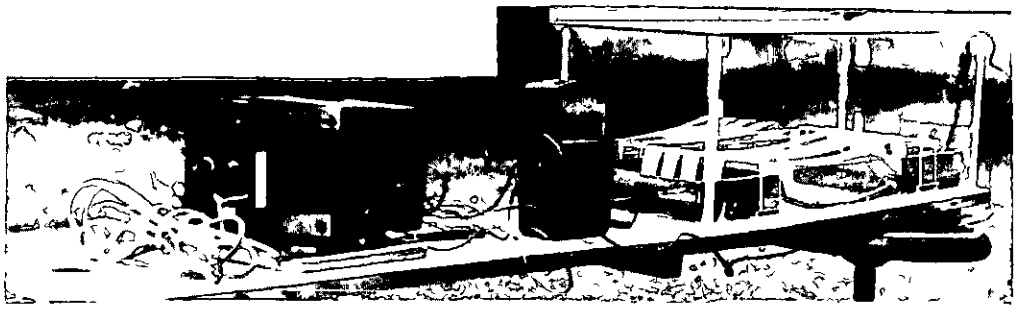
5. สเตบิไลซิงมีเดียม เป็นกระดาษกรอง Whatman No. 3 ตัดเป็นแถบขนาด 2 x 48 ซม.

<u>การทดสอบเครื่องมือ</u>

นำเครื่องมือที่สร้างขึ้นมาทดสอบดังนี้

1. นำมาวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า โดยต่อปลายขั้วทั้งสองของเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้ากับโวลท์มิเตอร์แบบขนาน วัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้ 850 โวลท์

2. นำเครื่องมือทั้งชุดมาจัดตั้งให้พร้อมที่จะทดลองดังรูป



รูปที่ 9 เครื่องมือสำหรับทดลองอิเลคโตรฟอเรซิส

ใช้ Formic acid 1 % เป็นอิเลคโตรไลท์ แล้วจ่ายกระแสไฟฟ้าลงในแผ่นอิเลคโตรเฟอโรแกรมที่มี Inorganic cations ติดอยู่เป็นแถบ หลังจากนั้น 30 นาทีจึงปิดสวิทซ์ นำอิเลคโตรเฟอโรแกรมมาตรวจสอบว่า Inorganic cations เหล่านั้นเคลื่อนที่ไปจากตำแหน่งเดิมหรือไม่ โดยพ่นด้วย Dotocting agont เพื่อให้เกิดสีจะได้เห็นว่าอิออนเคลื่อนที่ไปอยู่ในตำแหน่งใด

ผลการทดลองปรากฏว่าเครื่องมือนี้ สามารถทำให้ Inorganic cations ต่าง ๆ เคลื่อนที่ไปบนสเตปิโลซิงมีเดียมได้ จึงนำเครื่องมือนี้ไปทดลองแยกวิเคราะห์ Inorganic cations ตามวิธีทดลองในบทที่ 4 เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องมือต่อไป.

บทที่ 4

วิธีดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย

หลักการวิเคราะห์ Inorganic cations

อาศัยทฤษฎีเกี่ยวกับอิเลกโตรฟอเรซิสที่ว่า Inorganic cations ต่างชนิดกันจะมีอัตราการเคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้าต่างกัน แต่ถ้าเป็นอิออนชนิดเดียวกันอัตราการเคลื่อนที่จะเท่ากัน อัตราการเคลื่อนที่เป็นคุณสมบัติประจำตัวของอิออนแต่ละชนิด ดังนั้นเมื่อให้อิออนที่ไม่ทราบชนิดเคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้า แล้วเปรียบเทียบอัตราการเคลื่อนที่ของอิออนที่ไม่ทราบชนิดนี้กับอัตราการเคลื่อนที่ของอิออนที่ทราบชนิด (สารมาตรฐาน) ถ้าอัตราการเคลื่อนที่ของอิออนทั้งสองเท่ากันก็แสดงว่าอิออนทั้งสองนั้นเป็นชนิดเดียวกัน ด้วยวิธีการเช่นนี้เราจึงสามารถตรวจพิสูจน์ (Identify) อิออนที่ไม่ทราบชื่อได้ว่าเป็นชนิดใด

เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์จึงแบ่งอิออนทั้งหมดออกเป็นห้าหมู่ใหญ่แล้ววิเคราะห์ทีละหมู่ โดยนำสารละลายของอิออนแต่ละหมู่นี้มาป้ายบนแผ่นกระดาษกรองซึ่งใช้เป็นสเกบิไลซิงมีเดียม นำกระดาษกรองที่มีอิออนป้ายติดอยู่นี้มาให้อิออนเคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้าในอิเลคโตรฟอเรติกเซ็ล และขณะเดียวกันนำอิออนเดี่ยวที่ทราบชื่ออยู่แล้วให้เคลื่อนที่บนกระดาษกรองแผ่นอื่นชนิดละแผ่น เพื่อจะได้เปรียบเทียบอัตราการเคลื่อนที่ของอิออนที่ต้องการหากับอัตราการเคลื่อนที่ของอิออนมาตรฐาน อิออนที่มีอัตราการเคลื่อนที่เท่ากันย่อมเป็นอิออนชนิดเดียวกัน

ในกรณีที่อิออนเป็นสารไม่มีสี การตรวจสอบตำแหน่งของอิออนทำได้โดยการใช้ Detecting agent (เป็นสารที่ทำปฏิกิริยากับอิออนที่จะวิเคราะห์และที่ใช้เป็นมาตรฐานแล้วเกิดสีขึ้น) พ่นทับบนกระดาษกรองซึ่งเป็นอิเลคโตรเฟอโรแกรม จะปรากฏสีขึ้นมาทำให้ทราบตำแหน่งของอิออนได้

เมื่อสร้างเครื่องมือแล้วก็ดำเนินการทดลองแยกวิเคราะห์อิออนโดยอาศัยเครื่องมือที่สร้างขึ้นตามลำดับขั้นการทดลองดังนี้

1. แบ่งหมู่ Inorganic cations ที่จะนำมาแยกวิเคราะห์
2. เตรียมสารละลายอิออนมาตรฐาน

3. ทดลองหาอิเลคโตรไลท์ที่เหมาะสมสำหรับแยกอิออนแต่ละหมู่

4. ทดลองหาเวลาที่เหมาะสมในการแยกอิออนแต่ละหมู่

5. ทดลองหา Detecting agent ที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบตำแหน่งของอิออนแต่ละชนิด

การแบ่งหมู่ Inorganic cations ที่จะนำมาแยกวิเคราะห์

ในการแยกวิเคราะห์อิออนโดยใช้วิธีอิเลคโตรฟอเรซิสนั้น เราจำเป็นต้องแบ่ง Inorganic cations ทั้งหมดออกเป็นหมู่ ๆ ตามกฎเกณฑ์ที่คล้ายกลึงกันแบบเดียวกับที่เคยใช้แยกวิเคราะห์ Inorganic cations ในห้องปฏิบัติการเคมี (ทองสุข พงษ์ทัต และ บัวเรศ คำทอง, 2501 : 68) ก่อนำสารที่ไม่ทราบชนิด (Unknown sample) มาแยกเป็นหมู่ดังนี้

หมู่ที่ 1 นำมาทำให้ตกตะกอนโดยเติม HCl 0.3 M. แล้วผ่านก๊าซ H_2S ลงในสารละลาย กรองแยกเอาตะกอนมาต้มกับ HNO_3 3 M. จนกลายเป็นสารละลายใส อิออนหมู่นี้ประกอบด้วย Hg^{+2}, Bi^{+3}, Cu^{+2}, Cd^{+2} และ Pb^{+2} นำสารละลายที่เหลือจากการกรองไปตกตะกอนแยกอิออนหมู่ที่ 2 ต่อไป

หมู่ที่ 2 เมื่อแยกอิออนหมู่ที่ 1 ออกหมดแล้วนำมาแยก As^{+3}, Sb^{+3} และ Sn^{+4} ออกเสียก่อนโดยเติมสารละลาย Ammonium polysulfide ถ้ามีตะกอนซัลไฟด์ของสารสามชนิดนี้เกิดขึ้น กรองออก แยกเอาสารละลายที่เหลือมาต้มไล่ H_2S ออกให้หมดแล้วเติม NH_4OH ชนิดเข้มข้นลงไป ถ้ามีอิออนหมู่ที่สองจะตกเป็นตะกอน กรองออกแล้วนำตะกอนมาต้มกับ HNO_3 3 M. จนเป็นสารละลายใส อิออนหมู่นี้ประกอบด้วย Fe^{+3}, Al^{+3} และ Cr^{+3} ส่วนสารละลายที่เหลือจากการกรองนำไปทำให้ตกตะกอนเพื่อแยกอิออนหมู่ที่ 3 ต่อไป

หมู่ที่ 3 หลังจากแยกสารหมู่ 2 ออกแล้วเอาสารละลายที่เหลือมาเติม NH_4OH เข้มข้นกับสารละลาย NH_4Cl แล้วผ่านก๊าซ H_2S ลงไป อิออนหมู่ที่ 3 จะตกตะกอนกรองเอาตะกอนมาต้มกับ HNO_3 3 M. จนกลายเป็นสารละลายใส อิออนหมู่นี้ประกอบด้วย Zn^{+2} Co^{+2}, Ni^{+2} และ Mn^{+2} สารละลายที่เหลือจากการกรองนำไปตกตะกอนแยกอิออนหมู่ที่ 4 ต่อไป

หมู่ที่ 4 หลังจากแยกสารหมู่ที่ 3 ออกแล้วเอาสารละลายที่เหลือมาเติมกรดน้ำส้มจนเป็นกรดแล้วเกี่ยวจนปริมาตรเหลือ 10 - 15 ลบ.ซม. ทำให้เย็นจะได้ผลึก NH_4Cl กรองออก เติม NH_4OH เข้มข้น ต้มให้เดือดแล้วเติมสารละลาย $(NH_4)_2CO_3$ อิ่มตัวตั้งทิ้งไว้ประมาณครึ่งชั่วโมง อิออนหมู่ที่ 4 จะตกตะกอน กรองเอาตะกอนมาต้มกับ HNO_3 3 M. จนกลายเป็นสารละลายใส อิออนหมู่นี้ประกอบด้วย Ca^{+2} Sr^{+2} และ Ba^{+2} สารละลายที่เหลือจากการกรองเป็นสารที่มีอิออนหมู่ที่ 5 ละลายอยู่ นำไปเตรียมเป็นสารละลายสำหรับจะแยกวิเคราะห์ต่อไป

หมู่ที่ 5 คือสารละลายที่เหลือจากการกรองเอาตะกอนของอิออนหมู่ที่ 4 ออกไปแล้ว นำมาเติม HNO_3 3 M. แล้วต้มให้เดือดเพื่อไล่ $(NH_4)_2CO_3$ สลายจนหมดกลิ่นแอมโมเนียจะได้สารละลายใสของอิออนหมู่ที่ 5 ซึ่งประกอบด้วย Mg^{+2}, Na^{+} และ K^{+}

<u>การเตรียมสารละลายอิออนที่จะใช้เป็นสารมาตรฐานและที่จะแยกวิเคราะห์</u>

หมู่ที่ 1 เตรียมสารละลายอิออนชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ในหมู่ 1 ให้มีความเข้มข้น 0.2 M. ใน HNO_3 3 M. สำหรับใช้เป็นมาตรฐานบอกชนิดอิออน ดังนี้

สารละลาย $Hg(NO_3)_2.2H_2O$ เป็นมาตรฐานของ Hg^{+2}

สารละลาย $BiONO_3$ เป็นมาตรฐานของ Bi^{+3}

สารละลาย $Cd(CH_3COO)_2.2H_2O$ เป็นมาตรฐานของ Cd^{+2}

สารละลาย $Pb(NO_3)_2$ เป็นมาตรฐานของ Pb^{+2}

สารละลาย $Cu(CH_3COO)_2.2H_2O$ เป็นมาตรฐานของ Cu^{+2}

เตรียมสารละลายผสมของเกลือทั้งห้าชนิดนี้ให้มีความเข้มข้นเท่าเดิม และใช้ตัวทำละลายเดิมเพื่อให้มี Hg^{+2}, Bi^{+3}, Cd^{+2}, Pb^{+2}, Cu^{+2} ผสมกันเป็นสารละลายของอิออนหมู่ที่ 1 ที่จะแยกวิเคราะห์

COLLEGE OF EDUCATION
BANGKOK, THAILAND

หมู่ที่ 2 เตรียมสารละลายอิออนให้มีความเข้มข้น 0.2 M. ใน HNO_3 3 M. สำหรับใช้เป็นมาตรฐานบอกชนิดอิออน ดังนี้

สารละลาย $FeCl_3 .6H_2O$ เป็นมาตรฐานของ Fe^{+3}

สารละลาย $CrCl_3 .6H_2O$ เป็นมาตรฐานของ Cr^{+3}

สารละลาย $Al(CH_3COO)_3$ เป็นมาตรฐานของ Al^{+3}

และเตรียมสารละลายผสมของเกลือทั้งสามชนิดนี้ให้มีความเข้มข้นเท่าเดิมคือ 0.2 M. โดยใช้ตัวทำละลายเดิม เพื่อให้มี Fe^{+3}, Cr^{+3}, Al^{+3} ผสมกันใช้เป็นสารละลายอิออนหมู่ที่ 2 ที่จะแยกวิเคราะห์

หมู่ที่ 3 เตรียมสารละลายอิออนให้มีความเข้มข้น 0.2 M. ใน HNO_3 3M. สำหรับใช้เป็นมาตรฐานบอกชนิดอิออน ดังนี้

สารละลาย $NiSO_4 .7H_2O$ เป็นมาตรฐานของ Ni^{+2}

สารละลาย $Co(NO_3)_2 .6H_2O$ เป็นมาตรฐานของ Co^{+2}

สารละลาย $MnSO_4 .4H_2O$ เป็นมาตรฐานของ Mn^{+2}

สารละลาย $ZnSO_4 .7H_2O$ เป็นมาตรฐานของ Zn^{+2}

และเตรียมสารละลายผสมของเกลือทั้งสี่ชนิดนี้ให้มีความเข้มข้นเท่าเดิมโดยใช้ตัวทำละลายเดิม เพื่อให้มี Ni^{+2}, Co^{+2}, Mn^{+2}, Zn^{+2} ผสมกันใช้เป็นสารละลายอิออนหมู่ที่ 3 ที่จะแยกวิเคราะห์

หมู่ที่ 4 เตรียมสารละลายอิออนให้มีความเข้มข้น 0.2 M. ใน HNO_3 3 M. สำหรับใช้เป็นมาตรฐานบอกชนิดอิออน ดังนี้

สารละลาย $Ca(CH_3COO)_2$ เป็นมาตรฐานของ Ca^{+2}

สารละลาย $Sr(CH_3COO)_2$ เป็นมาตรฐานของ Sr^{+2}

สารละลาย $Ba(CH_3COO)_2$ เป็นมาตรฐานของ Ba^{+2}

39503

และเตรียมสารละลายผสมของเกลือทั้งสามชนิดนี้ให้มีความเข้มข้นเท่าเดิมโดยใช้ตัวทำละลายเดิม เพื่อให้มี Ca^{+2}, Sr^{+2}, Ba^{+2} ผสมกันใช้เป็นสารละลายของอิออนหมู่ที่ 4 ที่จะแยกวิเคราะห์

หมู่ที่ 5 เตรียมสารละลายอิออนให้มีความเข้มข้น 0.2 M. ใน HNO_3 3 M. สำหรับใช้เป็นมาตรฐานบอกชนิดอิออน ดังนี้

สารละลาย $Mg(CH_3COO)_2 .4H_2O$ เป็นมาตรฐานของ Mg^{+2}

สารละลาย CH_3COONa เป็นมาตรฐานของ Na^+

สารละลาย CH_3COOK เป็นมาตรฐานของ K^+

และเตรียมสารละลายผสมของเกลือทั้งสามชนิดนี้ให้มีความเข้มข้นเท่าเดิมโดยใช้ตัวทำละลายเดิม เพื่อให้มี Mg^{+2}, Na^+, K^+ ผสมกันใช้เป็นสารละลายของอิออนหมู่ที่ 5 ที่จะแยกวิเคราะห์

<u>การทำสเตบิไลซิงมีเดียม</u>

ตัดกระดาษกรอง Whatman No. 3 เป็นแถบขนาด 2 × 45 ซม. ใช้เป็นสเตบิไลซิงมีเดียม

<u>วิธีทดลองแยกวิเคราะห์ Inorganic cations</u>

ใช้ดินสอดำขีดเส้นตรงขวางบนแผ่นกระดาษกรองที่ใช้เป็นสเตบิไลซิงมีเดียมทางปลายข้างหนึ่ง ห่างจากปลายสุดของกระดาษประมาณ 3 ซม. เพื่อเป็นเครื่องหมายบอกจุดตั้งต้นของอิออนที่เคลื่อนที่ และเขียนชื่ออิออนที่จะป้ายลงบนกระดาษกรองแผ่นนั้นไว้ด้วย แล้วแช่ในอิเลกโตรไลท์นานหนึ่งนาที นำขึ้นมาวางบนกระจกแผ่นเรียบแล้วซับสารละลายที่มากเกินพอออก โดยใช้กระดาษซับสีขาวทับลงบนแผ่นกระดาษกรองที่เปียสารละลาย ใช้แท่งแก้วกลมกลิ้งไปบนกระดาษซับนั้นเพื่อให้เกิดแรงกดบนแผ่นกระดาษซับเท่ากันทุกตำแหน่ง หลังจากนั้นใช้ด้ายตราสมอเบอร์ 30 สีขาวตัดเป็นท่อนยาวประมาณ 5 เซ็นติเมตร จุ่มสารละลายอิออนที่จะใช้เป็นมาตรฐาน

พอกวรอย่าให้มากหรือน้อยเกินไป (ถ้ามากไปจะทำให้แถบสารที่ป้ายบนกระดาษกรองไม่เป็น Narrow sharp zone แต่ถ้าน้อยไปจะทำให้แถบสารที่เกิดขึ้นขาดเป็นห้วง ๆ) แล้วนำมาทาบบนขีดกินสวดำ สารที่ติดเส้นด้ายอยู่จะแพร่ลงไปติดบนกระดาษกรองเต็มด้านกว้างของกระดาษ ใช้วิธีเดียวกันนี้ป้ายสารที่จะวิเคราะห์ลงบนกระดาษกรอง แล้วนำกระดาษกรองทั้งหมด (ที่ป้ายสารที่ใช้เป็นมาตรฐานและสารที่จะวิเคราะห์) มาวางบนแท่นสำหรับวางสเตปไสซิงมีเดียมในเซ็ล ปิดฝาเซ็ลด้วยแผ่นแก้วเปิดสวิทช์ปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าในวงจร ให้อิออนเหล่านั้นเคลื่อนที่ไปบนกระดาษกรอง เมื่ออิออนต่าง ๆ แต่ละหมู่เคลื่อนที่แยกออกจากกันสมบูรณ์แล้ว (ทราบได้จากกำหนดเวลาซึ่งได้ทดลองหาไว้แล้ว จะกล่าวถึงรายละเอียดของการทดลองในข้อต่อไป) ปิดสวิทช์นำกระดาษกรองออกจากเซ็ลมาวางบนแท่นสำหรับวางกระดาษกรอง อบให้แห้งและนำมาพ่นทับด้วย Detecting agent เพื่อให้เกิดสีจะได้เห็นว่าอิออนเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทางเท่าใด วัดระยะทางนี้ไว้ เทียบสีและระยะทางนี้กับอิออนมาตรฐาน ถ้าสีเหมือนกันและระยะทางที่เคลื่อนที่เท่ากัน แสดงว่าอิออนที่วิเคราะห์เป็นตัวเดียวกับอิออนมาตรฐานนั้น

<u>การทดลองหาอิเลคโตรไลท์และระยะเวลาที่เหมาะสำหรับแยกอิออนแต่ละหมู่</u>

นำอิออนหมู่ที่จะแยกวิเคราะห์มาทำให้เคลื่อนที่บนกระดาษกรองที่ชุบสารละลายอิเลคโตรไลท์ โดยต่อกระดาษกรองนั้นไว้ในวงจรของเครื่องอิเลคโตรฟอเรติคเซ็ล (ดูเครื่องมือดังรูปที่ 9 หน้า 17) หลังจากเวลาผ่านไป 30, 35, 40, 45, . . . 80, 85, 90 นาที แต่ละช่วงเวลาดังกล่าวนำกระดาษกรองมาตรวจสอบดูผลการแยกอิออน โดยเอากระดาษกรองหรืออิเลคโตรเฟอโรแกรมนั้นมาอบให้แห้งแล้วพ่นทับด้วย Detecting agent จะทราบว่าอิออนแยกออกจากกันอย่างสมบูรณ์หรือไม่โดยดูแถบสีที่เกิดขึ้น แถบสีที่เกิดขึ้นจะต้องมีจำนวนเท่ากับชนิดของอิออนที่นำมาแยกและจะต้องมองเห็นว่าแยกจากกันอย่างสมบูรณ์ เช่นหมู่ที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยอิออน 5 ชนิด ถ้าการแยกเป็นไปอย่างสมบูรณ์จะปรากฏแถบสีเป็น 5 แถบ แต่ละแถบอยู่เป็นอิสระไม่มีการเหลื่อมซ้อนกัน ถ้าผลยังไม่เป็นที่พอใจต้องเปลี่ยนความเข้มข้นใหม่หรืออาจจะต้องเปลี่ยนชนิดของอิเลคโตรไลท์ใหม่ แล้วใช้วิธีเดิมทดลองหาเวลาที่เหมาะในการแยกต่อไปอีกจนกว่าอิออนแต่ละหมู่จะแยกออกจากกันได้อย่างสมบูรณ์จึงยุติการทดลองได้ บันทึกเวลานี้ไว้และทำการทดลองกับ

อิออนหมู่อื่นต่อไป ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางหน้า 24, 25, 26, 27, 31, 32

การทดลองหา Detecting agent

การทดลองหา Detecting agent ที่เหมาะสม ทำได้โดยการนำอิเลกโตรเฟอโรแกรมของอิออนแต่ละหมู่ที่แยกด้วยไฟฟ้าเรียบร้อยแล้วมาพ่นทับด้วย Detecting agent ที่คาดว่าจะใช้ได้ ถ้าปรากฏแถบสีชัดเจนบนกระดาษกรองที่เป็นอิเลกโตรเฟอโรแกรมกรบชนิดของอิออน สารนั้นใช้เป็น Detecting agent ได้ แต่ถ้าปรากฏสีเฉพาะบางแถบไม่กรบชนิดของอิออนก็ใช้ไม่ได้ ต้องทดลองใช้สารอื่นต่อไปใหม่ Detecting agent ที่ทดลองได้ว่าเหมาะสมกับอิออนแต่ละหมู่ปรากฏในตารางหน้า 22

ผลการทดลอง

การทดลองแยกวิเคราะห์ Inorganic cations โดยอาศัยเทคนิคอิเลกโตรฟอเรซิส ปรากฏผลดังนี้

หมู่ที่ 1 ประกอบด้วยอิออน Hg^{+2}, Bi^{+3}, Cu^{+2}, Cd^{+2} และ Pb^{+2} ในการวิเคราะห์อิออนหมู่นี้ใช้ Formic acid 1% เป็นอิเลกโตรไลท์ ใช้เวลา 90 นาที อิออนจึงแยกออกจากกันได้อย่างสมบูรณ์ ใช้ Na_2S 2 % ในน้ำเป็น Detecting agent ระยะทางการเคลื่อนที่และสีที่ปรากฏเป็นดังนี้

ตาราง 1 ผลการแยกวิเคราะห์อิออนหมู่ที่ 1

ชนิดอิออน	ระยะทางการเคลื่อนที่เป็น ม.ม.	สีที่ปรากฏ
Hg^{+2}	130 ± 5	ดำ
Bi^{+3}	175 ± 5	น้ำตาล
Cu^{+2}	280 ± 5	น้ำตาลคมเขียว
Cd^{+2}	300 ± 5	เหลือง
Pb^{+2}	320 ± 5	น้ำตาลไหม้

หมู่ที่ 2 ประกอบด้วยอิออน Fe^{+3}, Al^{+3} และ Cr^{+3} ในการวิเคราะห์อิออนหมู่นี้ใช้ Formic acid 1 % เป็นอิเลกโตรไลท์ ใช้เวลา 60 นาทีจึงแยกอิออนต่าง ๆ ออกจากกันได้อย่างสมบูรณ์ การตรวจหาตำแหน่งสารใช้พ่นด้วยสารละลาย Alizarin red ที่ผสมตัวใน Ethanol 95 % แล้วพ่นทับด้วย Ammonium hydroxide เพื่อให้เกิดสีอย่างสมบูรณ์ หลังจากนั้นพ่นด้วย Boric acid ผสมตัวอีกครั้งหนึ่งเพื่อกำจัดสีม่วงส่วนที่ไม่ใช่ตำแหน่งของอิออนให้จางหายไป ระยะทางการเคลื่อนที่และสีที่ปรากฏเป็นดังนี้

ตาราง 2 ผลการแยกวิเคราะห์อิออนหมู่ที่ 2

ชนิดอิออน	ระยะทางการเคลื่อนที่เป็น ม.ม.	สีที่ปรากฏ
Fe^{+3}	170 ± 10	ม่วง
Al^{+3}	230 ± 10	แดง
Cr^{+3}	250 ± 10	ม่วง

หมู่ที่ 3 ประกอบด้วยอิออน Zn^{+2}, Co^{+2}, Ni^{+2} และ Mn^{+2} ในการวิเคราะห์อิออนหมู่นี้ใช้ Ammonium carbonate 0.5 % เป็นอิเลกโตรไลท์ ใช้เวลา 60 นาทีจึงสามารถแยกอิออนต่าง ๆ ออกจากกันได้อย่างสมบูรณ์ การตรวจหาตำแหน่งสารใช้พ่นด้วยสารละลาย Alizarin red ที่ผสมตัวใน Ethanol 95 % แล้วพ่นทับด้วย Ammonium hydroxide เพื่อให้เกิดสีอย่างสมบูรณ์ หลังจากนั้นพ่นด้วย Boric acid ผสมตัวอีกครั้งหนึ่งเพื่อกำจัดสีม่วงส่วนที่ไม่ใช่ตำแหน่งของอิออนให้จางหายไปเช่นเดียวกับหมู่ที่สอง ระยะทางการเคลื่อนที่และสีที่ปรากฏเป็นดังนี้

ตาราง 3 ผลการแยกวิเคราะห์อิออนหมู่ที่ 3

ชนิดอิออน	ระยะทางการเคลื่อนที่เป็น ม.ม.	สีที่ปรากฏ
Zn^{+2}	10 ± 10	ม่วงแดง
Co^{+2}	115 ± 10	ม่วงแดง
Ni^{+2}	150 ± 10	ม่วงแดง
Mn^{+2}	190 ± 10	ม่วงแดง

หมู่ที่ 4 ประกอบด้วยอิออน Ca^{+2}, Sr^{+2} และ Ba^{+2} ในการวิเคราะห์อิออนหมู่นี้ใช้ Formic acid 1 % เป็นอิเลคโตรไลท์ ใช้เวลา 60 นาทีจึงแยกอิออนต่าง ๆ ออกจากกันได้อย่างสมบูรณ์ การตรวจหาตำแหน่งสารใช้พ่นด้วยสารละลาย 8 - Hydroxy quinolineอิ่มตัวใน Ethanol 95 % แล้วพ่นทับด้วย Ammonium hydroxide เพื่อให้เกิดสีอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากสีที่ปรากฏเหลืองจางมองเห็นไม่ชัดเจนจึงส่องด้วยแสงอุลตราไวโอเล็ตเพื่อให้สีที่ได้เรืองแสงขึ้น ระยะทางการเคลื่อนที่และสีที่ปรากฏเป็นดังนี้

ตาราง 4 ผลการแยกวิเคราะห์อิออนหมู่ที่ 4

ชนิดอิออน	ระยะทางการเคลื่อนที่เป็น ม.ม.	สีที่ปรากฏ
Ca^{+2}	205 ± 10	เหลืองเรืองแสง
Sr^{+2}	230 ± 10	เหลืองปนม่วงเรืองแสง
Ba^{+2}	240 ± 10	เหลืองปนเขียว เรืองแสง

หมู่ที่ 5 ประกอบด้วยอิออน Mg^{+2}, Na^{+} และ K^{+} ในการวิเคราะห์อิออนหมู่นี้ใช้ Ammonium carbonate 0.5 % เป็นอิเลกโทรไลท์ ใช้เวลา 45 นาทีจึงสามารถแยกอิออนต่าง ๆ ออกจากกันได้อย่างสมบูรณ์ การตรวจหาตำแหน่งสารใช้พ่นด้วยสารละลาย Bromothymol blue 2 % แล้วพ่นทับด้วย Ammonium hydroxide เพื่อให้สีเกิดอย่างสมบูรณ์ ระยะทางการเคลื่อนที่และสีที่ปรากฏเป็นดังนี้

ตาราง 5 ผลการแยกวิเคราะห์อิออนหมู่ที่ 5

ชนิดอิออน	ระยะทางการเคลื่อนที่เป็น ม.ม.	สีที่ปรากฏ
K^{+}	220 ± 10	สีฟ้า
Na^{+}	270 ± 10	สีฟ้า
Mg^{+2}	300 ± 10	สีฟ้า

บทที่ 5

อภิปรายผลการวิจัย

อภิปรายเกี่ยวกับเครื่องมือ

1. เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า

เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้าที่สร้างขึ้นประกอบด้วยเครื่องแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับ (A.C. 220 V.) เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. 850 V.) ใช้ซิลิกอนเบอร์ 1 R 1 D ขนาด 1000 V. 1 A ช่วยแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและแปลงไฟแบบเต็มคลื่น (Full wave rectifier) โดยอาศัยวงจรบริดจ์ (Bridge circuit) ขนาดเครื่อง 200 W. P 220 V. 1 A. S 1000 V. 200 ma. ใช้ลวดทองแดงอาบน้ำยาเบอร์ 23 SWG. เป็นขดลวดปฐมภูมิและใช้ลวดทองแดงเบอร์ 30 SWG. เป็นขดลวดทุติยภูมิ มีสวิทช์ปิดเปิดเครื่องและมีฟิวส์ขนาด 3 A. ต่ออยู่ในวงจรเพื่อป้องกันการใช้กระแสไฟฟ้าเกินอัตรากำลังของเส้นลวดในเครื่องแปลงไฟ สายไฟที่ใช้ทำด้วยโลหะทองแดงหุ้มด้วยฉนวน ใช้สายสีแดงต่อระหว่างขั้วบวกกับวงจรแปลงไฟ และสายสีดำต่อระหว่างขั้วลบกับวงจรแปลงไฟ ที่ปลายสายมีที่หนีบสายไฟต่ออยู่เพื่อใช้ต่อกับแท่งอิเลคโตรดและแอมมิเตอร์

ในการทดลองใช้เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้าต่อกับเซ็ลสำหรับแยกวิเคราะห์ Inorganic cations นั้น พบว่าระหว่างการทดลองบางครั้งฟิวส์จะขาดแสดงว่ากระแสไฟฟ้าผ่านเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้ามากเกินความต้านทานของฟิวส์ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเหตุ 2 ประการคือ

ก. สารละลายอิเลกโตรไลท์เข้มข้นมากเกินไปจนความต้านทานของอิเลคโตรไลท์ต่ำกว่า 200 โอห์ม จากการทดลองพบว่าความต้านทานที่เหมาะสมของสารละลายอิเลกโตรไลท์ควรอยู่ระหว่าง 500 - 800 โอห์ม จึงจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรประมาณ 15-25 ma. ซึ่งเป็นปริมาณกระแสไฟฟ้าที่พอเหมาะในการแยกอิออนแต่ละหมู่ออกจากกันเป็นอิออนเดี่ยว ถ้ากระแสไฟฟ้าไหลในวงจรประมาณเท่านี้จะไม่ทำให้เกิดความร้อนบนอิเลคโตรเฟอโรแกรมมากเกินไป จึงไม่ต้องมีการระบายความร้อน ถ้ามีความร้อนมากเกินไปจะทำให้กระดาษกรองแห้งและอาจติดไฟขึ้นเองในขณะทดลองได้

ข. แท่งซิลิกอนที่ใช้แปลงไฟหมดประสิทธิภาพในการแปลงไฟ หน้าที่ของซิลิกอนคือช่วยแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้นเมื่อซิลิกอนหมดประสิทธิภาพในการแปลงไฟวงจรบริดจ์ของซิลิกอนจะเป็นต้นเหตุให้ไฟฟ้าเกิดลัดวงจรขึ้นทำให้ฟิวส์ร้อนจัดจนละลาย

ในกรณีเช่นนี้ต้องตรวจสอบประสิทธิภาพของแท่งซิลิกอนที่ใช้แปลงไฟทันที โดยใช้เครื่องวัดค่าความต้านทานของแท่งซิลิกอน ตามปกติซิลิกอนที่มีประสิทธิภาพในการแปลงไฟได้ดีจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลได้ทางเดียว เพราะค่าความต้านทานด้านหนึ่งต่ำดังนั้นด้านนี้จึงยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเองได้มาก แต่ถ้ากลับขั้วเครื่องวัดจะพบว่าค่าความต้านทานอีกด้านหนึ่งจะสูงมากจนเป็นอนันต์ (Infinity) ดังนั้นด้านนี้จะไม่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปได้ ซิลิกอนที่หมดประสิทธิภาพในการแปลงไฟจะมีค่าความต้านทานต่ำทั้งคู่ ต้องเปลี่ยนซิลิกอนใหม่วงจรแปลงไฟจึงจะมีคุณภาพดีดังเดิม

<u>คุณภาพของเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า</u>

เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น เมื่อใช้ทดลองแยกวิเคราะห์ Inorganic cations ตามวิธีทดลองในบทที่ 4 แล้วพบว่ามีอำนาจในการแยกอิออนหมู่ต่าง ๆ ออกจากกันได้ดี แต่ต้องใช้เวลาสำหรับแยกตั้งแต่ 45 นาทีจนกระทั่งถึง 90 นาที ซึ่งถือว่าประสิทธิภาพในการแยกอิออนแต่ละหมู่ยังไม่อยู่ในเกณฑ์ดีนัก เพราะถ้าเป็นเครื่องที่มีประสิทธิภาพสูงควรจะใช้เวลาประมาณ 10 - 20 นาที ซึ่งอาจทำได้โดยเพิ่มแรงเกลื่อนไฟฟ้าของเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้าทางขดทุติยภูมิให้สูงขึ้นกว่าเครื่องที่ใช้วิจัยในครั้งนี้ แต่การทำเช่นนั้นจะต้องใช้ซิลิกอนซึ่งทนแรงเกลื่อนไฟฟ้าสูงกว่า 1000 โวลท์ แต่ร้านอุปกรณ์วิทยุปัจจุบันนี้ไม่มีขาย หรือมิฉะนั้นอาจใช้วงจรหลอดวิทยุช่วยในการแปลงไฟแทนซิลิกอนได้ วิธีนี้นอกจากจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากกว่าการใช้ซิลิกอนแปลงไฟแล้วยังมีความยุ่งยากในการต่อวงจรหลอดอีกด้วยเพราะวงจรหลอดต้องอาศัยความรู้ความชำนาญเรื่องไฟฟ้าวิทยุเป็นอย่างมาก

2. อิเลคโตรด

อิเลคโตรดที่ใช้ในอิเลกโตรฟอเรติกเซ็ลสำหรับการวิจัยครั้งนี้ ทำจากถ่านแกรไฟต์ชนิดเดียวกับที่ใช้ในไดนาโมรถยนต์ มีขนาด $1.5 \times 3 \times 0.5$ นิ้ว มีสายไฟต่อไว้

ทางปลายด้านหนึ่งเพื่อใช้ต่อกับเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า อิเลคโตรดนี้ทำหน้าที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้แก่อิเลกโตรฟอเรติคเซ็ล จากการทดลองพบว่าอิเลคโตรดซึ่งทำจากถ่านแกรไฟต์มีประสิทธิภาพในการจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ดีและมีราคาถูก จึงเหมาะสำหรับใช้แทนอิเลคโตรดที่ทำด้วยลวดปลาตินัมในเครื่องมือมาตรฐานได้

3. อ่างใส่สารอิเลคโตรไลท์สองใบทำด้วยกินขาวเคลือบขนาด $6 \times 8 \times 1.5$ นิ้ว มีท่อยางต่อถึงกันและมีก๊อกทำด้วยแก้วต่อระหว่างกลางท่อยาง อ่างนี้ใช้ใส่สารละลายสำหรับอิเลคโตรฟอเรติคเซ็ลได้ดีมาก หรือจะใช้แผ่นพลาสติกประกอบเป็นอ่างก็ได้เพราะสะดวกและราคาถูกกว่าอ่างกินเคลือบ

4. แท่นสำหรับวางสเตบิไลซิงมีเดียมทำด้วยแผ่นพลาสติคเป็นกรอบสี่เหลี่ยมขนาด 8×15 นิ้ว ตัวกรอบกว้าง 0.5 นิ้วมีขาสี่ขาแต่ละขาสูงสองนิ้ว, วางแท่นนี้เหนืออ่างทั้งคู่ที่ใส่อิเลคโตรไลท์เพื่อใช้เป็นที่วางสเตบิไลซิงมีเดียม จากผลการทดลองพบว่าแท่นนี้เหมาะสำหรับพาดกระดาษกรองที่ใช้เป็นสเตบิไลซิงมีเดียม เพราะบริเวณพื้นที่ส่วนกลางของกระดาษกรองนั้นลอยแขวนอยู่กลางอากาศในแนวราบ ทำให้อัตราการเคลื่อนที่ของอิออนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเวลาของการแยก ผู้วิจัยได้ทดลองออกแบบแท่นสำหรับวางสเตบิไลซิงมีเดียมไว้สองชนิด คือ

ชนิดที่ 1 ใช้กระจกแผ่นเรียบเป็นที่วางสเตบิไลซิงมีเดียม เมื่อทดลองแล้วพบว่าแถบของอิออนบนกระดาษกรองเกิดการแพร่กระจายไม่เป็น Narrow sharp zone เนื่องมาจากแรงดึงดูดระหว่างอิออนกับผิวของแผ่นกระจกซึ่งสัมผัสกันอยู่ขณะที่ให้อิออนเคลื่อนที่

ชนิดที่ 2 ใช้พลาสติกเส้นเล็ก ๆ หลายเส้นขึงรับใต้แผ่นกระดาษกรองโดยให้กระดาษกรองอยู่ในแนวราบ ปรากฏว่าการเคลื่อนที่ของอิออนถูกรบกวนเนื่องจากเกิดแรงดึงดูดระหว่างอิออนกับเส้นพลาสติกเหล่านี้ ทำให้แถบของอิออนบนกระดาษกรองไม่เป็น Narrow sharp zone

เมื่อผลการทดลองดังกล่าวทั้งสองวิธียังไม่เป็นที่พอใจ จึงได้ออกแบบแท่นวางสเตบิไลซิงมีเดียมใหม่ โดยทำตรงกลางแท่นพลาสติคเป็นช่องว่างเพื่อให้แผ่นกระดาษกรองลอยแขวนอยู่กลางอากาศ ป้องกันการเกิดแรงดึงดูดของอิออนกับแท่นนี้ทำให้ได้ผลการทดลองดีขึ้น

5. กล่องพลาสติกสำหรับบรรจุอิเลกโตรฟอเรติคเซ็ล กล่องนี้ใช้ป้องกันการระเหยของอิเลกโตรไลท์จากแผ่นกระดาษกรองในขณะทดลองและป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้าที่มีแรงเกลื่อนสูง กล่องนี้นอกจากจะมีคุณสมบัติตรงตามความมุ่งหมายที่ตั้งไว้ทุกประการแล้วยังมีความทนทานไม่แตกง่าย และเนื่องจากเป็นแผ่นพลาสติกใสจึงสามารถมองผ่านผนังกล่องเห็นทุกส่วนของอิเลกโตรฟอเรติคเซ็ลอีกด้วย จึงเหมาะที่จะใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องมือนี้

เทคนิคการป้ายสารลงบนแผ่นกระดาษกรอง

การป้ายสารลงบนแผ่นกระดาษกรองที่ใช้เป็นสเตบิไลซิงมีเดียมนั้นได้ทดลองใช้สามวิธีคือ

1. ใช้ปลายหลอดขนาดเล็ก (Capillary tube) ป้ายสารแทน Micropipet
2. ป้ายสารด้วยขอบกระจกสไลด์
3. ป้ายสารด้วยเส้นด้ายขนาดเล็กสีขาวตามวิธีทดลองในบทที่ 4 ปรากฏว่าสองวิธีแรกได้ผลไม่ดีเพราะปริมาณสารที่ป้ายติดบนกระดาษกรองมากเกินไป เมื่อให้อิออนเคลื่อนที่ไปบนกระดาษกรองแล้วจะแยกออกจากกันได้ไม่สมบูรณ์เพราะเกิดเป็นแถบขนาดใหญ่เกินไป วิธีที่ดีที่สุดก็คือวิธีที่สาม โดยป้ายสารด้วยเส้นด้ายขนาดเล็ก

การทดลองหาสารอิเลคโตรไลท์ เวลา และ Detecting agent

อิเลคโตรไลท์ที่เหมาะสมในการแยกวิเคราะห์อิออนแต่ละหมู่ อิเลกโตรไลท์ที่เหมาะสมในการแยกวิเคราะห์อิออนแต่ละหมู่ คือ

หมู่ที่ 1 ใช้ Formic acid 1 %
หมู่ที่ 2 ใช้ Formic acid 1 %
หมู่ที่ 3 ใช้ Ammonium carbonate 0.5 %
หมู่ที่ 4 ใช้ Formic acid 1 %
หมู่ที่ 5 ใช้ Ammonium carbonate 0.5 %

การที่อิออนบางหมู่เช่น หมู่ที่ 3 และหมู่ที่ 5 ต้องใช้ Ammonium carbonate แทน Formic acid อาจเป็นเพราะอิเลคโตรไลท์ตัวนี้มี Interaction กับอิออนบางตัวของสองหมู่นี้มากกว่า Formic acid จึงช่วยให้การแยกอิออนในสองหมู่นี้แยกได้ดีกว่าการใช้ Formic acid เป็นอิเลกโตรไลท์

<u>เวลาที่เหมาะสมเพื่อใช้แยกอิออนแต่ละหมู่</u> เวลาที่เหมาะสมเพื่อใช้แยกอิออนแต่ละหมู่คือ

หมู่ที่ 1 ใช้เวลา 90 นาที
หมู่ที่ 2 ใช้เวลา 60 นาที
หมู่ที่ 3 ใช้เวลา 60 นาที
หมู่ที่ 4 ใช้เวลา 60 นาที
หมู่ที่ 5 ใช้เวลา 45 นาที

พบว่าถ้าแต่ละหมู่มีอิออนน้อยชนิดจะใช้เวลาในการแยกน้อยเช่นหมู่ที่ 5 หมู่ที่ 2 และหมู่ที่ 4 แต่ละหมู่มีอิออนจำนวน 3 ตัวปนกันอยู่ใช้เวลาแยกเพียง 45, 60 และ 60 นาที ตามลำดับ แต่ถ้ามีอิออนมากชนิดผสมกันก็ต้องใช้เวลาแยกนานกว่าเดิม เช่นอิออนหมู่ที่ 1 มีอิออน 5 ชนิดปนกันต้องใช้เวลาแยกนานถึง 90 นาที จึงสามารถแยกอิออนทั้งหมดออกเป็นอิออนเดี่ยวอย่างสมบูรณ์ได้

<u>Detecting agent ที่เหมาะสม</u> Detecting agent ที่เหมาะสมสำหรับตรวจสอบตำแหน่งและชนิดของอิออนแต่ละหมู่ คือ

หมู่ที่ 1 ใช้ Sodium sulfide 2 %
หมู่ที่ 2 ใช้ Alizarin red จิ่มตัวใน Ethanol 95 % แล้วพ่นทับด้วยสารละลาย Boric acid จิ่มตัว
หมู่ที่ 3 เช่นเดียวกับหมู่ที่ 2
หมู่ที่ 4 ใช้ 8 - Hydroxy quinoline จิ่มตัวใน Ethanol 95 % แล้วพ่นทับด้วย Ammonium hydroxide เข้มข้นพร้อมกับส่องด้วยแสงอุลตราไวโอเล็ต
หมู่ที่ 5 ใช้ Bromothymol blue 2 % แล้วพ่นทับด้วย Ammonium hydroxide เข้มข้น

จากการทดลองพบว่า Detecting agent ที่เหมาะสมในการแยกวิเคราะห์อิออนแต่ละหมู่ ขึ้นอยู่กับสมบัติของอิออนนั้นเป็นหมู่ ๆ เช่นอิออนหมู่ที่ 1 เกิดเป็นสารซัลไฟด์มีสีต่าง ๆ ได้ง่ายจึงใช้พบด้วย Sodium sulfide แต่สารหมู่อื่นใช้แบบเดียวกันไม่ได้เพราะสารประกอบซัลไฟด์ของอิออนบางตัวไม่เกิดเป็นสีทำให้มองไม่เห็น วิธีนี้จึงตรวจสอบตำแหน่งสารไม่ได้ต้องหาสารอื่นที่เหมาะสมกว่ามาแทน เช่นใช้ Alizarin red หรือ 8 - Hydroxy quinoline ส่วนอิออนหมู่ที่ 5 ต้องใช้ Bromothymol blue พ่นบนอิเลคโตรเฟอโรแกรมและอิเลคโตรไลท์ต้องเป็น Ammonium carbonate ซึ่งมี pH เป็นด่างอย่างอ่อนจึงเกิดสีน้ำเงินได้ ถ้าใช้ Formic acid เป็นอิเลคโตรไลท์จะใช้ Bromothymol blue เป็น Detecting agent ไม่ได้ เพราะในสภาพกรดอิออนของโลหะไม่เป็นสีน้ำเงินเมื่อถูกกับ Bromothymol blue.

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย และ ข้อเสนอแนะ

การศึกษาเพื่อแยกวิเคราะห์สาร Inorganic cations โดยอาศัยเทคนิคอิเลคโตรฟอเรซิสครั้งนี้ มีความมุ่งหมายจะสร้างเครื่องมือราคาถูกและมีประสิทธิภาพดีพอควรเพื่อใช้แยกวิเคราะห์ Inorganic cations จำนวน 5 หมู่ซึ่งประกอบด้วยอิออนทั้งหมด 18 ตัว โดยมุ่งเอาผลการทดลองนี้มาใช้ประกอบการสอน 2 ประการคือ

1. การสอนเรื่องวิธีวิเคราะห์สารโดยอาศัยเครื่องมือ (Instrumental methods of analysis)

2. การสอนเรื่องคุณภาพวิเคราะห์ (Qualitative analysis)

การสร้างเครื่องมือ

เครื่องมือสำหรับทำอิเลคโตรฟอเรซิสที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ

1. เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า
2. อิเลคโตรฟอเรติคเซ็ล

เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า

เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า คือเครื่องมือจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้แก่อิเลคโตรฟอเรติกเซ็ล ประกอบด้วยเครื่องเปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟฟ้าซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้ได้อัตราที่ต้องการกับอีกส่วนหนึ่งเป็นวงจรแปลงไฟ ใช้แปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ใช้ซิลิกอนเบอร์ 1 R 1 D ขนาด 1000 V. 1 A. เป็นหัวช่วยแปลงไฟโดยต่อในวงจรบริดจ์ ซึ่งเป็นวงจรแปลงไฟแบบเต็มคลื่น

เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้านี้มีขนาด 200 W. P 220 V. 1 A. S 1000 V. 200 ma.

อิเลคโตรฟอเรติคเซ็ล

อิเลคโตรฟอเรติคเซ็ล คือส่วนที่เป็นเซ็ลสำหรับแยก Inorganic cations ประกอบด้วยอ่างดินเกลือบสำหรับใส่อิเลคโตรไลท์ 2 ใบขนาด $6 \times 8 \times 1.5$ นิ้ว มีสายยางต่อถึงกันและมีก๊อกต่อระหว่างกลางสายยางเพื่อปรับระดับสารละลายในอ่างทั้งสองให้เท่ากัน อิเลคโตรดทำด้วยถ่านแกรไฟต์ชนิดเดียวกับที่ใช้ในไดนาโมรถยนต์ ตรงปลายมีลวดทองแดงฝังติดแน่นอยู่และต่อกับขั้วบวกและขั้วลบของเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า แท่นสำหรับวางสเตบิไลซิงมีเดียมทำด้วยพลาสติคเป็นกรอบสี่เหลี่ยมขนาด 8×15 นิ้ว กว้างกรอบกว้าง 0.5 นิ้วมีกล่องพลาสติคขนาด $8 \times 24 \times 8$ นิ้วเป็นที่บรรจุอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังกล่าวอันเป็นส่วนประกอบของอิเลคโตรฟอเรติคเซ็ล กล่องนี้ช่วยลดอัตราการระเหยรองน้ำบนแผ่นกระดาษกรองและช่วยป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้าที่มีแรงเกลื่อนสูง

ผลการทดลอง

เมื่อนำเครื่องทำอิเลคโตรฟอเรซิสนี้มาทดลองแยกวิเคราะห์ Inorganic cations ทั้ง 5 หมู่ซึ่งประกอบด้วยอิออน 18 ตัว ใช้กระดาษกรอง Whatman No. 3 เป็นสเตบิไลซิงมีเดียมพบว่า

หมู่ที่ 1 ประกอบด้วยอิออน Hg^{+2}, Bi^{+3}, Cu^{+2}, Cd^{+2} และ Pb^{+2} แยกออกจากกันได้โดยใช้ Formic acid 1 % เป็นอิเลคโตรไลท์ ใช้เวลา 90 นาที อิออนต่าง ๆ ที่ผสมกันอยู่จึงแยกออกจากกันอย่างสมบูรณ์ ตรวจสอบตำแหน่งอิออนโดยพ่นด้วย Sodium sulfide 2 % สีที่เกิดจะเป็นประเภทสีเหลือง สีน้ำตาลและสีดำ

หมู่ที่ 2 ประกอบด้วยอิออน Fe^{+3}, Al^{+3} และ Cr^{+3} แยกออกจากกันได้โดยใช้ Formic acid 1 % เป็นอิเลคโตรไลท์ ใช้เวลา 60 นาที อิออนต่าง ๆ ที่ผสมกันอยู่จึงแยกออกจากกันอย่างสมบูรณ์ ตรวจสอบตำแหน่งอิออนโดยพ่นด้วยสารละลาย Alizarin red ซึ่มตัวใน Ethanol 95 % แล้วพ่นทับด้วย Ammonium hydroxide เข้มข้นเพื่อให้เกิดสีม่วงชัดเจน ต่อไปพ่นด้วยสารละลาย Boric acid ซึมตัวเพื่อทำลายสีม่วงในบริเวณอื่นซึ่งไม่ใช่ตำแหน่งของ Inorganic cations ในหมู่นั้นเสีย (สีที่เกิดขึ้นตรง

ตำแหน่งของอิออนที่แยกได้จะปรากฏอยู่โดยไม่ถูก Boric acid ทำลาย)

หมู่ที่ 3 ประกอบด้วยอิออน Zn^{+2}, Co^{+2}, Ni^{+2} และ Mn^{+2} แยกออกจากกันได้โดยใช้สารละลาย Ammonium carbonate 0.5 % เป็นอิเลกโตรไลท์ ใช้เวลา 60 นาทีอิออนต่าง ๆ ที่ผสมกันอยู่จึงแยกออกจากกันอย่างสมบูรณ์ ตรวจสอบตำแหน่งอิออนด้วยวิธีเดียวกันกับอิออนหมู่ที่ 2

หมู่ที่ 4 ประกอบด้วยอิออน Ca^{+2}, Sr^{+2} และ Ba^{+2} แยกออกจากกันได้โดยใช้สารละลาย Formic acid 1 % เป็นอิเลกโตรไลท์ ใช้เวลา 60 นาทีอิออนต่าง ๆ ที่ผสมกันอยู่จึงแยกออกจากกันอย่างสมบูรณ์ ตรวจสอบตำแหน่งอิออนโดยพ่นด้วย 8 - Hydroxy quinoline แล้วพ่นทับด้วย Ammonium hydroxide เข้มข้น พร้อมกับส่องด้วยแสงอุลตราไวโอเล็ต สีที่เกิดจะเป็นประเภทสีเขียวหรือม่วงเรืองแสง

หมู่ที่ 5 ประกอบด้วยอิออน K^{+}, Na^{+} และ Mg^{+2} แยกออกจากกันได้โดยใช้สารละลาย Ammonium carbonate 0.5 % เป็นอิเลคโตรไลท์ ใช้เวลา 45 นาทีอิออนต่าง ๆ ที่ผสมกันอยู่จึงแยกออกจากกันอย่างสมบูรณ์ ตรวจสอบตำแหน่งอิออนโดยพ่นด้วย Bromothymol blue แล้วพ่นทับด้วย Ammonium hydroxide เพื่อให้เกิดสีสมบูรณ์ สีที่เกิดจะเป็นประเภทสีฟ้า

ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการวิจัยต่อไป

1. จากการทดลองแยกวิเคราะห์สารพบว่าเนื่องจากต้องใช้อิเลคโตรไลท์ถึงสองชนิด จึงจำเป็นต้องแยกอิออนออกเป็น 5 หมู่ ทำให้วิธีการวิเคราะห์ไม่สะดวกเท่าที่ควรเนื่องจากต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์นานเกินไป ต่อไปควรมีการทดลองหาชนิดของอิเลกโตรไลท์ที่เหมาะสมเพียงชนิดเดียวแต่สามารถแยกวิเคราะห์อิออนทั้ง 5 หมู่ได้หมด ทำให้ไม่ต้องแยกอิออนออกเป็น 5 หมู่เสียก่อน เพียงแต่เอาอิออนที่ทราบชนิดแล้วแต่ละชนิดมาทำอิเลกโตรฟอเรซิสใช้เวลาอิออนละ 90 นาทีแล้วเปรียบเทียบตารางบอกคุณสมบัติสองประการของอิออนเกี่ยว ระยะทางการเคลื่อนที่กับสีที่ปรากฏของแต่ละอิลวน เมื่อมี Unknown sample ที่จะตรวจพิสูจน์เราก็นำเอา Unknown นั้นมาทำอิเลกโตรฟอเรซิสในช่วงเวลาที่เท่าเดิมคือ 90 นาที และใช้ภาวะต่าง ๆ

เช่น สารอิเลคโตรไลท์ ความเข้มข้น แรงเคลื่อนไฟฟ้า และขนาดของสเตปไสซิงมีเดียม เหมือนกันทุกประการกับการทดลองมาตรฐาน เมื่อวัดระยะทางที่สารเคลื่อนที่ได้แล้วนำมาเทียบกับค่าในตารางมาตรฐานก็สามารถพิสูจน์ได้ว่าสาร Unknown นั้น ๆ เป็นสารอะไร และเพื่อเป็นการยืนยันให้แน่นอนยิ่งขึ้น ก็อาจนำไปทดสอบด้วย Color reaction test หรือ Flame test เป็นต้น

2. เครื่องทำอิเลคโตรฟอเรซิสนี้นอกจากจะใช้แยกวิเคราะห์ Inorganic cations ได้แล้วยังใช้แยกวิเคราะห์ Inorganic anions และสารอื่น ๆ เช่นสารวินทรีย์ หรือสารชีวเคมีได้อีกหลายชนิดด้วยกัน ดังนั้นจึงอาจจะศึกษาการใช้เครื่องมือนี้แยกวิเคราะห์สารดังกล่าวต่อไปเพื่อจะได้ทราบประสิทธิภาพที่แท้จริงของเครื่องมือที่สร้างขึ้นนี้.

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

ทองสุข พงศทัตและบัวเรก กำทอง ปฏิบัติการอนินทรียเคมี สำหรับชั้นปีที่ 1 ภาก 2 กณะวิทยากาสตร์จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย โรงพิมพ์เทพไพศาล 2501, 99 หน้า.

ระวี ภาวิไล "แนวคิดจากเรื่องวิชาการในมหาวิทยาลัย" วารสารสภาการศึกษาแห่งชาติ 4 (11) : 17 - 33 มิถุนายน 2513.

องค์การศึกษาวิทยากาสตร์และวัฒนธรรมแห่งสหประชาชาติ คู่มือการสอนวิชาวิทยากาสตร์ พิมล กลกิจ แปล โรงพิมพ์คุรุสภา 2509, 461 หน้า.

Belling, G.B., and Underdown, R.E., Analitical Chimica Acta, 22 : 203, 1960.

Chabrabrotty, H.C., Journal of Chromatography, 5 : 121, 1961.

Contractor, S.F., Journal of Chromatography, 20 : 182, 1965.

De Vries, G., Schutz, G.P., and Van Dalen, E., Journal of Chromatography, 13 : 119, 1964.

Gross, D., Chemical Industries, 54 : 1597, 1957.

Gross, D., Journal of Chromatography, 20 : 221, 1963.

Kendall, J., Science, 67 : 163, 1928.

Lederer, M., Analytical Chimica Acta, 17 : 606, 1957.

Majumdar, A.K., and Chabrabortty, H.C., Analytical Chimica Acta, 17 : 228, 1957.

Michaelis, L., Biochemische Zeitschrift, 66 : 81, 1909.

Mikes, F., Chromatographic Methods, Van Nostrand Reinhold Company, London, 1966, 434 pp.

Moghissi, A., Analytical Chimica Acta, 30 : 91, 1964.

Picton, H., and Lander, S.E., Journal of the Chemical Society, 61 : 148, 1892.

Strain, H.H., and Sullivan, J.C., Analytical Chemistry, 23 : 816, 1951.

Tiselius, A., Transaction Faraday Society, 33 : 524, 1937.

Tiselius, A., and Flodin, P., Advances in Protein Chemistry, 8 : 461, 1953.

Willard, Hobart H., Instrumental Methods of Analysis, D. Van Nostrand Company, Princeton, New Jersey, 1965, 784 pp.

Zweig, Gunter, and Whitaker, John R., Paper Chromatography and Electrophoresis, Academic Press, New York, 1967, 420 pp.

ภาคผนวก

รายการประมาณราคาวัสดุอุปกรณ์ในการสร้างเครื่องมือทดลองอิเลกโตรฟอเรซิส

1.	แกนเหล็กสำหรับพันลวดเพื่อสร้างเครื่องเปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟฟ้า	ราคา	10	บาท
2.	ลวดทองแดงอาบน้ำยาเบอร์ 23 SWG. 75 เมตร	ราคา	50	บาท
3.	ลวดทองแดงอาบน้ำยาเบอร์ 30 SWG. 200 เมตร	ราคา	150	บาท
4.	สายไฟฟ้ามีฉนวนหุ้ม 5 เมตร	ราคา	5	บาท
5.	ผ้าฉนวนไฟฟ้า	ราคา	5	บาท
6.	สวิทช์	ราคา	5	บาท
7.	ฟิวส์	ราคา	1.50	บาท
8.	กล่องสำหรับใส่ฟิวส์	ราคา	5	บาท
9.	ปลั๊กซ์	ราคา	1.50	บาท
10.	น้ำมันวานิชอาบขดลวดทองแดง	ราคา	20	บาท
11.	แท่งซิลิกอนสำหรับแปลงไฟ 8 แท่ง	ราคา	80	บาท
12.	ตะกั่วบักกรี	ราคา	2	บาท
13.	ที่หนีบสายไฟ	ราคา	12	บาท
14.	อ่างดินเคลือบสำหรับใส่อิเลกโตรไลท์	ราคา	20	บาท
15.	แท่นพลาสติคสำหรับวางกระดาษกรอง	ราคา	3	บาท
16.	แผ่นพลาสติคขนาด 8 × 24 นิ้ว 4 แผ่น	ราคา	120	บาท
17.	กระจกแผ่นเรียบใส หนา 0.125 นิ้ว ขนาด 9 × 25 นิ้ว	ราคา	10	บาท
18.	แผ่นไม้สำหรับทำที่วางกระดาษกรองเพื่อนำเข้าอบ	ราคา	3	บาท
19.	ที่หนีบแผ่นไม้ 4 อัน	ราคา	6	บาท
20.	กรดอไครลิกสำหรับทำกาวพลาสติก	ราคา	6	บาท
21.	แท่งแกรไฟต์สำหรับเป็นอิเลกโตรด 2 แท่ง	ราคา	10	บาท
		รวมราคา	525	บาท