

วิธีดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย

หลักการวิเคราะห์ Inorganic cations

อาศัยทฤษฎีเกี่ยวกับอิเล็กโตรฟอเรซิสที่ว่า Inorganic cations ต่างชนิดกัน จะมีอัตราการเคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้าต่างกัน แต่ถ้าเป็นไอออนชนิดเดียวกันอัตราการเคลื่อนที่ก็จะเท่ากัน อัตราการเคลื่อนที่เป็นคุณสมบัติประจำตัวของไอออนแต่ละชนิด ดังนั้นเมื่อให้ไอออนที่ไม่ทราบชนิดเคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้า แล้วเปรียบเทียบอัตราการเคลื่อนที่ของไอออนที่ไม่ทราบชนิดนี้ กับอัตราการเคลื่อนที่ของไอออนที่ทราบชนิด (สารมาตรฐาน) ถ้าอัตราการเคลื่อนที่ของไอออนทั้งสองเท่ากันก็แสดงว่าไอออนทั้งสองนั้นเป็นชนิดเดียวกัน ด้วยวิธีการเช่นนี้เราจึงสามารถตรวจพิสูจน์ (Identify) ไอออนที่ไม่ทราบชื่อได้ว่า เป็นชนิดใด

เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์จึงแบ่งไอออนทั้งหมดออกเป็นห้าหมู่ใหญ่แล้ววิเคราะห์ทีละหมู่ โดยนำสารละลายของไอออนแต่ละหมู่มาป้ายบนแผ่นกระดาษกรองซึ่งใช้เป็นสเปกโตรสโคปที่มีเคมื่อนำกระดาษกรองที่มีไอออนป้ายติดอยู่มาให้อิออนเคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้าในอิเล็กโตรฟอเรซิส และขณะเดียวกันนำไอออนเคี้ยวที่ทราบชื่ออยู่แล้วให้เคลื่อนที่บนกระดาษกรองแผ่นอื่นชนิดละแผ่น เพื่อจะได้เปรียบเทียบอัตราการเคลื่อนที่ของไอออนที่ต้องการหา กับอัตราการเคลื่อนที่ของไอออนมาตรฐาน ไอออนที่มีอัตราการเคลื่อนที่เท่ากันย่อมเป็นไอออนชนิดเดียวกัน

ในกรณีที่ไอออนเป็นสารไม่มีสี การตรวจสอบตำแหน่งของไอออนทำได้โดยการใช้ Detecting agent (เป็นสารที่ทำปฏิกิริยากับไอออนที่จะวิเคราะห์และที่ใช้เป็นมาตรฐานแล้วเกิดสีขึ้น) พ่นทับบนกระดาษกรองซึ่งเป็นอิเล็กโตรฟอเรโแกรม จะปรากฏสีขึ้นมาทำให้ทราบตำแหน่งของไอออนได้

เมื่อสร้างเครื่องมือแล้วก็ดำเนินการทดลองแยกวิเคราะห์ไอออนโดยอาศัยเครื่องมือที่สร้างขึ้นตามลำดับขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. แบ่งหมู่ Inorganic cations ที่จะนำมาแยกวิเคราะห์
2. เตรียมสารละลายไอออนมาตรฐาน

3. ทดลองหาอิเล็กโตรไลต์ที่เหมาะสมสำหรับแยกไอออนแต่ละหมู่
4. ทดลองหาเวลาที่เหมาะสมในการแยกไอออนแต่ละหมู่
5. ทดลองหา Detecting agent ที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบตำแหน่งของไอออนแต่ละชนิด

การแบ่งหมู่ Inorganic cations ที่จะนำมาแยกวิเคราะห์

ในการแยกวิเคราะห์ไอออนโดยวิธีอิเล็กโตรโฟเรซิสนั้น เราจำเป็นต้องแบ่ง Inorganic cations ทั้งหมดออกเป็นหมู่ ๆ ตามคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกันแบบเดียวกับที่เคยใช้แยกวิเคราะห์ Inorganic cations ในห้องปฏิบัติการเคมี (ทองสุข พงศทัต และ บัณฑิต คำทอง, 2501 : 68) คือนำสารที่ไม่ทราบชนิด (Unknown sample) มาแยกเป็นหมู่ดังนี้

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

หมู่ที่ 2 เมื่อแยกไอออนหมู่ที่ 1 ออกหมดแล้วนำมาแยก As^{+3} , Sb^{+3} และ Sn^{+4} ออกเสียก่อนโดยเติมสารละลาย Ammonium polysulfide ถ้ามีตะกอนสีดำไฟของสารสามชนิดนี้เกิดขึ้น กรองออก แยกเอาสารละลายที่เหลือมาต้มไล่ H_2S ออกให้หมดแล้วเติม NH_4OH ชนิกเข้มข้นลงไป ถ้ามีไอออนหมู่ที่สองจะตกเป็นตะกอน กรองออกแล้วนำตะกอนมาต้มกับ HNO_3 3 M. จนเป็นสารละลายใส ไอออนหมู่นี้ประกอบด้วย Fe^{+3} , Al^{+3} และ Cr^{+3} ส่วนสารละลายที่เหลือจากการกรองนำไปทำให้ตกตะกอนเพื่อแยกไอออนหมู่ที่ 3 ต่อไป

หมู่ที่ 3 หลังจากแยกสารหมู่ 2 ออกแล้วเอาสารละลายที่เหลือมาเติม NH_4OH เข้มข้นกับสารละลาย NH_4Cl แล้วผ่านก๊าซ H_2S ลงไป ไอออนหมู่ที่ 3 จะตกตะกอน กรองเอาตะกอนมาต้มกับ HNO_3 3 M. จนกลายเป็นสารละลายใส ไอออนหมู่นี้ประกอบด้วย Zn^{+2} , Co^{+2} , Ni^{+2} และ Mn^{+2} สารละลายที่เหลือจากการกรองนำไปตกตะกอนแยกไอออนหมู่ที่ 4 ต่อไป

หมู่ที่ 4 หลังจากแยกสารหมู่ที่ 3 ออกแล้วเอาสารละลายที่เหลือมาเติมกรดน้ำส้มจนเป็นกรดแล้วเคี่ยวจนปริมาตรเหลือ 10 - 15 ลบ.ซม. ทำให้เป็นตะกอนเล็ก NH_4Cl กรองออก เติม NH_4OH เข้มข้น ค่อยๆ ให้เดือดแล้วเติมสารละลาย $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ อิ่มตัวตั้งทิ้งไว้ประมาณครึ่งชั่วโมง อีออนหมู่ที่ 4 จะตกตะกอน กรองเอาตะกอนมาต้มกับ HNO_3 3 M. จนกลายเป็นสารละลายใส อีออนหมู่ที่ประกอบด้วย Ca^{+2} Sr^{+2} และ Ba^{+2} สารละลายที่เหลือจากการกรองเป็นสารที่มีอีออนหมู่ที่ 5 ละลายอยู่ นำไปเตรียมเป็นสารละลายสำหรับจะแยกวิเคราะห์ต่อไป

หมู่ที่ 5 คือสารละลายที่เหลือจากการกรองเอาตะกอนของอีออนหมู่ที่ 4 ออกไปแล้ว นำมาเติม HNO_3 3 M. แล้วต้มให้เดือดเพื่อให้ $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ละลายจนหมดกลืนแอมโมเนีย จะได้สารละลายใสของอีออนหมู่ที่ 5 ซึ่งประกอบด้วย Mg^{+2} , Na^{+} และ K^{+}

การเตรียมสารละลายอีออนที่จะใช้เป็นมาตรฐานและที่จะแยกวิเคราะห์

หมู่ที่ 1 เตรียมสารละลายอีออนชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ในหมู่ 1 ให้มีความเข้มข้น 0.2 M. ใน HNO_3 3 M. สำหรับใช้เป็นมาตรฐานบอกชนิดอีออน ดังนี้

สารละลาย $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ เป็นมาตรฐานของ Hg^{+2}

สารละลาย BiONO_3 เป็นมาตรฐานของ Bi^{+3}

สารละลาย $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ เป็นมาตรฐานของ Cd^{+2}

สารละลาย $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ เป็นมาตรฐานของ Pb^{+2}

สารละลาย $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ เป็นมาตรฐานของ Cu^{+2}

เตรียมสารละลายผสมของเกลือทั้งห้าชนิดนี้ให้มีความเข้มข้นเท่าเทียม และใช้ตัวทำละลายเติมเพื่อให้ Hg^{+2} , Bi^{+3} , Cd^{+2} , Pb^{+2} , Cu^{+2} ผสมกันเป็นสารละลายของอีออนหมู่ที่ 1 ที่จะแยกวิเคราะห์

หมู่ที่ 2 เตรียมสารละลายไอออนให้มีความเข้มข้น 0.2 M. ใน HNO_3 3 M.
สำหรับใช้เป็นมาตรฐานบอกชนิดไอออน ดังนี้

สารละลาย $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ เป็นมาตรฐานของ Fe^{+3}

สารละลาย $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ เป็นมาตรฐานของ Cr^{+3}

สารละลาย $\text{Al}(\text{CH}_3\text{COO})_3$ เป็นมาตรฐานของ Al^{+3}

และเตรียมสารละลายผสมของเกลือทั้งสามชนิดนี้ให้มีความเข้มข้นเท่าเดิมคือ 0.2 M. โดยใส่
ตัวทำละลายเดิม เพื่อให้มี Fe^{+3} , Cr^{+3} , Al^{+3} ผสมกันใช้เป็นสารละลายไอออนหมู่ที่ 2
ที่จะแยกวิเคราะห์

หมู่ที่ 3 เตรียมสารละลายไอออนให้มีความเข้มข้น 0.2 M. ใน HNO_3 3M.
สำหรับใช้เป็นมาตรฐานบอกชนิดไอออน ดังนี้

สารละลาย $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ เป็นมาตรฐานของ Ni^{+2}

สารละลาย $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ เป็นมาตรฐานของ Co

สารละลาย $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ เป็นมาตรฐานของ Mn^{+2}

สารละลาย $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ เป็นมาตรฐานของ Zn^{+2}

และเตรียมสารละลายผสมของเกลือทั้งสี่ชนิดนี้ให้มีความเข้มข้นเท่าเดิมโดยใส่ตัวทำละลายเดิม
เพื่อให้มี Ni^{+2} , Co^{+2} , Mn^{+2} , Zn^{+2} ผสมกันใช้เป็นสารละลายไอออนหมู่ที่ 3 ที่จะ
แยกวิเคราะห์

หมู่ที่ 4 เตรียมสารละลายไอออนให้มีความเข้มข้น 0.2 M. ใน HNO_3 3 M.
สำหรับใช้เป็นมาตรฐานบอกชนิดไอออน ดังนี้

สารละลาย $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ เป็นมาตรฐานของ Ca^{+2}

สารละลาย $\text{Sr}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ เป็นมาตรฐานของ Sr^{+2}

สารละลาย $\text{Ba}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ เป็นมาตรฐานของ Ba^{+2}

พอกว รอยาใหม่หรือย้อนเกินไป (ถ้ามากเกินไปจะทำให้แถบสารที่ป้ายบนกระดาษกรองไม่เป็น Narrow sharp zone แต่ถ้าน้อยไปจะทำให้แถบสารที่เกิดขึ้นขาดเป็นช่วง ๆ) แล้วนำมา ทาบนวี่คตินสอค่า สารที่ติดเส้นค้ายอยู่จะแพร่ลงไปที่บนกระดาษกรองเต็มความกว้างของกระดาษ ใช้วิธีเดียวกันนี้ป้ายสารที่จะวิเคราะห์ลงบนกระดาษกรอง แล้วนำกระดาษกรองทั้งหมด (ที่ป้าย สารที่ใช้เป็นมาตรฐานและสารที่จะวิเคราะห์) มาวางบนแท่นสำหรับวางสเคปปีโตซึ่งมีเค็มในเซลล์ ปีกดาเซลล์ควยแผ่นแก้วเปิดสวิตช์ปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าในวงจร ให้ไอออนเหล่านั้นเคลื่อนที่ไปบน กระดาษกรอง เมื่อไอออนต่าง ๆ แต่ละหมู่เคลื่อนที่แยกออกจากกันสมบูรณ์แล้ว (ทราบได้จาก กำหนดเวลาซึ่งได้ทดลองหาไว้แล้ว จะกล่าวถึงรายละเอียดของการทดลองในข้อต่อไป) ปีกสวิตช์ นำกระดาษกรองออกจากเซลล์มาวางบนแท่นสำหรับวางกระดาษกรอง อบให้แห้งและนำมาพันหัตถ์ด้วย Detecting agent เพื่อให้เกิดสีจะโคเห็นว่ไอออนเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทางเท่าใด วัดระยะทาง นี้ไว้ เทียบสีและระยะทางนี้กับไอออนมาตรฐาน ถ้าสีเหมือนกันและระยะทางที่เคลื่อนที่เท่ากัน แสดงว่ไอออนที่วิเคราะห์เป็นตัวเค็มกับไอออนมาตรฐานนั้น

การทดลองหาอิเล็กโตรไลต์และ ระยะเวลาที่เหมาะสำหรับแยกไอออนแต่ละหมู่

นำไอออนหมู่ที่จะแยกวิเคราะห์มาทำให้เคลื่อนที่บนกระดาษกรองที่ระบุจะละลายอิเล็กโตรไลต์ โดยคอกกระดาษกรองนั้นไว้ในวงจรของเครื่องอิเล็กโตรฟอเรติกเซลล์ (จัดเครื่องมือดังรูปที่ 9 หน้า 17) หลังจากเวลาผ่านไป 30, 35, 40, 45, . . . 80, 85, 90 นาที แต่ละช่วงเวลาดังกล่าวนำกระดาษกรองมาตรวจสอบคุณภาพการแยกไอออน โดยเอากระดาษกรองหรือ อิเล็กโตรฟอเรแกรมนั้นมาอบให้แห้งแล้วพันหัตถ์ด้วย Detecting agent จะทราบว่ไอออน แยกออกจากกันอย่างสมบูรณ์หรือไม่โดยดูแถบสีที่เกิดขึ้น แถบสีที่เกิดขึ้นจะต้องมีจำนวนเท่ากับชนิดของ ไอออนที่นำมาแยกและจะต้องมองเห็นว่แยกออกจากกันอย่างสมบูรณ์ เช่นหมู่ที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยไอออน 5 ชนิด ถ้าการแยกเป็นไปอย่างสมบูรณ์จะปรากฏแถบสีเป็น 5 แถบ แต่ละแถบอยู่เป็นอิสระไม่ มีการเหลื่อมซ้อนกัน ถ้าผลยังไม่เป็นที่พอใจต้องเปลี่ยนความเข้มข้นใหม่หรืออาจจะต้องเปลี่ยนชนิด ของอิเล็กโตรไลต์ใหม่ แล้วใช้วิธีเค็มทดลองหาเวลาที่เหมาะในการแยกต่อไปอีกจนกว่าไอออน แต่ละหมู่จะแยกออกจากกันอย่างสมบูรณ์จึงยุติการทดลองได้ บันทึกเวลานี้ไว้และทำการทดลองกับ

หมู่ที่ 4 หลังจากแยกสารหมู่ที่ 3 ออกแล้วเอาสารละลายที่เหลือมาเติมกรดน้ำส้มจนเป็นกรดแล้วเคี่ยวจนปริมาตรเหลือ 10 - 15 ลบ.ซม. ทำให้เป็นตะกอนเล็ก NH_4Cl กรองออก เติม NH_4OH เข้มข้น ต้มให้เดือดแล้วเติมสารละลาย $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ อิ่มตัวตั้งทิ้งไว้ประมาณครึ่งชั่วโมง อีออนหมู่ที่ 4 จะตกตะกอน กรองเอาตะกอนมาต้มกับ HNO_3 3 M. จนกลายเป็นสารละลายใส อีออนหมู่ที่ประกอบด้วย Ca^{+2} Sr^{+2} และ Ba^{+2} สารละลายที่เหลือจากการกรองเป็นสารที่มีอีออนหมู่ที่ 5 ละลายอยู่ นำไปเตรียมเป็นสารละลายสำหรับจะแยกวิเคราะห์ต่อไป

หมู่ที่ 5 คือสารละลายที่เหลือจากการกรองเอาตะกอนของอีออนหมู่ที่ 4 ออกไปแล้ว นำมาเติม HNO_3 3 M. แล้วต้มให้เดือดเพื่อให้ $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ สลายจนหมดกลืนแอมโมเนียจะได้สารละลายใสของอีออนหมู่ที่ 5 ซึ่งประกอบด้วย Mg^{+2} , Na^{+} และ K^{+}

การเตรียมสารละลายอีออนที่จะใช้เป็นมาตรฐานและที่จะแยกวิเคราะห์

หมู่ที่ 1 เตรียมสารละลายอีออนชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ในหมู่ 1 ให้มีความเข้มข้น 0.2 M. ใน HNO_3 3 M. สำหรับใช้เป็นมาตรฐานบอกชนิดอีออน ดังนี้

สารละลาย $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ เป็นมาตรฐานของ Hg^{+2}

สารละลาย BiONO_3 เป็นมาตรฐานของ Bi^{+3}

สารละลาย $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ เป็นมาตรฐานของ Ca^{+2}

สารละลาย $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ เป็นมาตรฐานของ Pb^{+2}

สารละลาย $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ เป็นมาตรฐานของ Cu^{+2}

เตรียมสารละลายผสมของเกลือทั้งห้าชนิดนี้ให้มีความเข้มข้นเท่าเดิม และใช้ทำละลายเดิมเพื่อให้ Hg^{+2} , Bi^{+3} , Ca^{+2} , Pb^{+2} , Cu^{+2} ผสมกันเป็นสารละลายของอีออนหมู่ที่ 1 ที่จะแยกวิเคราะห์

หมู่ที่ 2 เตรียมสารละลายไอออนให้มีความเข้มข้น 0.2 M. ใน HNO_3 3 M.
สำหรับใช้เป็นมาตรฐานบอกชนิดไอออน ดังนี้

สารละลาย $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ เป็นมาตรฐานของ Fe^{+3}

สารละลาย $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ เป็นมาตรฐานของ Cr^{+3}

สารละลาย $\text{Al}(\text{CH}_3\text{COO})_3$ เป็นมาตรฐานของ Al^{+3}

และเตรียมสารละลายผสมของเกลือทั้งสามชนิดนี้ให้มีความเข้มข้นเท่าเดิมคือ 0.2 M. โดยใช้
ตัวทำละลายเดิม เพื่อให้ Fe^{+3} , Cr^{+3} , Al^{+3} ผสมกันใช้เป็นสารละลายไอออนหมู่ที่ 2
ที่จะแยกวิเคราะห์

หมู่ที่ 3 เตรียมสารละลายไอออนให้มีความเข้มข้น 0.2 M. ใน HNO_3 3M.
สำหรับใช้เป็นมาตรฐานบอกชนิดไอออน ดังนี้

สารละลาย $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ เป็นมาตรฐานของ Ni^{+2}

สารละลาย $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ เป็นมาตรฐานของ Co

สารละลาย $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ เป็นมาตรฐานของ Mn^{+2}

สารละลาย $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ เป็นมาตรฐานของ Zn^{+2}

และเตรียมสารละลายผสมของเกลือทั้งสี่ชนิดนี้ให้มีความเข้มข้นเท่าเดิมโดยใช้ตัวทำละลายเดิม
เพื่อให้ Ni^{+2} , Co^{+2} , Mn^{+2} , Zn^{+2} ผสมกันใช้เป็นสารละลายไอออนหมู่ที่ 3 ที่จะ
แยกวิเคราะห์

หมู่ที่ 4 เตรียมสารละลายไอออนให้มีความเข้มข้น 0.2 M. ใน HNO_3 3 M.
สำหรับใช้เป็นมาตรฐานบอกชนิดไอออน ดังนี้

สารละลาย $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ เป็นมาตรฐานของ Ca^{+2}

สารละลาย $\text{Sr}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ เป็นมาตรฐานของ Sr^{+2}

สารละลาย $\text{Ba}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ เป็นมาตรฐานของ Ba^{+2}

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

หมู่ที่ 5 เตรียมสารละลายไอออนให้มีความเข้มข้น 0.2 M. ใน HNO_3 3 M. สำหรับใช้เป็นมาตรฐานบอกชนิดไอออน ดังนี้

สารละลาย $\text{Mg}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ เป็นมาตรฐานของ Mg^{+2}

สารละลาย CH_3COONa เป็นมาตรฐานของ Na^+

สารละลาย CH_3COOK เป็นมาตรฐานของ K^+

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

การทำสเปกโตรสโคปีเปลวไฟ

คัดกระดาษกรอง Whatman No. 3 เป็นแถบขนาด 2×48 ซม. ใช้เป็นสเปกโตรสโคปีเปลวไฟ

วิธีทดลองแยกวิเคราะห์ Inorganic cations

ใช้คีมสอดคำชี้คั้นตรงขวางบนแผ่นกระดาษกรองที่ใช้เป็นสเปกโตรสโคปีเปลวไฟทางปลายข้างหนึ่ง ห่างจากปลายสุดของกระดาษประมาณ 3 ซม. เพื่อเป็นเครื่องหมายบอกจุดตั้งต้นของไอออนที่เคลื่อนที่ และเขียนชื่อไอออนที่จะป้ายลงบนกระดาษกรองแผ่นนั้นไว้ด้วย แล้วแช่ในอิเล็กโตรไลต์นานหนึ่งนาที่ นำขึ้นมาวางบนกระจกแผ่นเรียบแล้วขีดสารละลายที่มากเกินพอออกโดยใช้กระดาษซับสีขาวทับลงบนแผ่นกระดาษกรองที่เปียกสารละลาย ใช้แท่งแก้วกลมกดลงไปบนกระดาษซับนั้น เพื่อให้เกิดแรงกดบนแผ่นกระดาษซับเท่ากันทุกตำแหน่ง หลังจากนั้นใช้ควมตราสมอบเบอร์ 30 สีกาตัดเป็นท่อนยาวประมาณ 5 เซนติเมตร จุ่มสารละลายไอออนที่จะใช้เป็นมาตรฐาน

พอควรวอลท์ให้มากขึ้นหรือน้อยเกินไป (ถ้ามากเกินไปจะทำให้แถบสารที่ป้ายบนกระดาษกรองไม่เป็น Narrow sharp zone แต่ถ้าน้อยไปจะทำให้แถบสารที่เกิดขึ้นขาดเป็นช่วง ๆ) แล้วนำมา ทาบบนซีลคีนสอค่า สารที่ติดเส้นค่าของจะแพร่ลงไปที่บนกระดาษกรองเติมกันกว้างของกระดาษ ใช้วิธีเดียวกันนี้ป้ายสารที่จะวิเคราะห์ลงบนกระดาษกรอง แล้วนำกระดาษกรองทั้งหมด (ที่ป้าย สารที่ใช้เป็นมาตรฐานและสารที่จะวิเคราะห์) มาวางบนแท่นสำหรับวางสเปกโตรโสมิเตอร์ในเซลล์ ปีกาเซลล์ควมแน่นแก้วเปิดสวิตช์ปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าในวงจร ให้ไอออนเหล่านั้นเคลื่อนที่ไปบน กระดาษกรอง เมื่อไอออนต่าง ๆ แยกออกมาจากกันสมบูรณ์แล้ว (ทราบได้จาก กำหนดเวลาซึ่งได้ทดลองหาไว้แล้ว จะกล่าวถึงรายละเอียดของการทดลองในข้อต่อไป) ปีกาสวิทช์ นำกระดาษกรองออกจากเซลล์มาวางบนแท่นสำหรับวางกระดาษกรอง อนุมัติแห่งและนำมาพบทับด้วย Detecting agent เพื่อให้เกิดสีจะให้เห็นว่าไอออนเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทางเท่าใด ระยะทาง นี้ไว้ เปรียบสีและระยะทางนี้กับไอออนมาตรฐาน ถ้าสีเหมือนกันและระยะทางที่เคลื่อนที่เท่ากัน แสดงว่าไอออนที่วิเคราะห์เป็นตัวเดียวกับไอออนมาตรฐานนั้น

การทดลองหาอิเล็กโตรไลต์และระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับแยกไอออนแต่ละหมู่

นำไอออนหมู่ที่จะแยกวิเคราะห์มาทำให้เคลื่อนที่บนกระดาษกรองที่บรรจุสารละลายอิเล็กโตรไลต์ โดยยกกระดาษกรองนั้นไว้ในวงจรของเครื่องอิเล็กโตรโฟเรติกเซลล์ (จัดเครื่องมือดังรูปที่ 9 หน้า 17) หลังจากเวลาผ่านไป 30, 35, 40, 45, . . . 80, 85, 90 นาที แต่ละช่วงเวลาดังกล่าวนำกระดาษกรองมาตรวจสอบคุณภาพการแยกไอออน โดยเอากระดาษกรองหรือ อิเล็กโตรโฟโกราฟีนั้นมาอนุมัติแห่งแล้วพบทับด้วย Detecting agent จะทราบว่าไอออน แยกออกจากกันอย่างสมบูรณ์หรือไม่โดยดูแถบสีที่เกิดขึ้น แถบสีที่เกิดขึ้นจะต้องมีจำนวนเท่ากับชนิดของ ไอออนที่นำมาแยกและจะต้องมองเห็นว่าแยกออกจากกันอย่างสมบูรณ์ เช่นหมู่ที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยไอออน 5 ชนิด ถ้าการแยกเป็นไปอย่างสมบูรณ์จะปรากฏแถบสีเป็น 5 แถบ แต่ละแถบอยู่เป็นอิสระไม่ มีการเหลื่อมซ้อนกัน ถ้าผลยังไม่เป็นที่พอใจของเปลี่ยนความเข้มข้นใหม่หรืออาจจะต้องเปลี่ยนชนิด ของอิเล็กโตรไลต์ใหม่ แล้วใช้วิธีเดิมทดลองหาเวลาที่เหมาะสมในการแยกต่อไปอีกจนกว่าไอออน แต่ละหมู่จะแยกออกจากกันอย่างสมบูรณ์จึงยุติการทดลองได้ บันทึกเวลานี้ไว้และทำการทดลองกับ

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

การทดลองหา Detecting agent

การทดลองหา Detecting agent ที่เหมาะสม ทำได้โดยการนำอิเล็กโตรฟอเรโแกรมของไอออนแต่ละหมู่ที่แยกด้วยไฟฟ้าเรียบร้อยแล้วมาพ่นทับด้วย Detecting agent ที่คาดว่าจะใช้ได้ ถ้าปรากฏแถบสีชัดเจนบนกระดาษกรองที่เป็นอิเล็กโตรฟอเรโแกรมครบชนิดของไอออน สารนั้นจึงเป็น Detecting agent ได้ แต่ปรากฏสีเฉพาะบางแถบไม่ครบชนิดของไอออนก็ไม่ใช่ ต้องทดลองใช้สารอื่นต่อไปใหม่ Detecting agent ที่ทดลองไว้ว่าเหมาะสมกับไอออนแต่ละหมู่ปรากฏในตารางหน้า 32

ผลการทดลอง

การทดลองแยกวิเคราะห์ Inorganic cations โดยอาศัยเทคนิคอิเล็กโตรฟอเรซิส ปรากฏผลดังนี้

หมู่ที่ 1 ประกอบด้วยไอออน Hg^{+2} , Bi^{+3} , Cu^{+2} , Cd^{+2} และ Pb^{+2} ในการวิเคราะห์ไอออนหมู่ที่ 1 ใช้ Formic acid 1% เป็นอิเล็กโตรไลต์ ใช้เวลา 90 นาที ไอออนจึงแยกออกจากกันได้อย่างสมบูรณ์ ใช้ Na_2S 2% ในน้ำเป็น Detecting agent ระยะทางการเคลื่อนที่และสีที่ปรากฏเป็นดังนี้

ตาราง 1 ผลการแยกวิเคราะห์ไอออนหมู่ที่ 1

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



หมู่ที่ 2 ประกอบด้วยไอออน Fe^{+3} , Al^{+3} และ Cr^{+3} ในการวิเคราะห์ไอออนหมู่นี้ใช้ Formic acid 1 % เป็นอิเล็กโตรไลต์ ใช้เวลา 60 นาทีจึงแยกไอออนต่าง ๆ ออกจากกันได้อย่างสมบูรณ์ การตรวจหาคำแหน่งสารใช้พจนดสารละลาย Alizarin red ที่อิมตัวใน Ethanol 95 % แล้วพ่นทับด้วย Ammonium hydroxide เพื่อให้เกิดสีอย่างสมบูรณ์ หลังจากนั้นพ่นด้วย Boric acid อิมตัวอีกครั้งหนึ่งเพื่อกำจัดสีบางส่วนที่ไม่ใช่ตำแหน่งของไอออนให้จางหายไป ระยะทางการเคลื่อนที่และสีที่ปรากฏเป็นดังนี้

ตาราง 2 ผลการแยกวิเคราะห์ไอออนหมู่ที่ 2

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

หมู่ที่ 3 ประกอบด้วยไอออน Zn^{+2} , Co^{+2} , Ni^{+2} และ Mn^{+2} ในการวิเคราะห์ไอออนหมู่นี้ใช้ Ammonium carbonate 0.5 % เป็นอิเล็กโตรไลต์ ใช้เวลา 60 นาทีจึงสามารถแยกไอออนต่าง ๆ ออกจากกันได้อย่างสมบูรณ์ การตรวจหาคำแหน่งสารใช้พจนดสารละลาย Alizarin red ที่อิมตัวใน Ethanol 95 % แล้วพ่นทับด้วย Ammonium hydroxide เพื่อให้เกิดสีอย่างสมบูรณ์ หลังจากนั้นพ่นด้วย Boric acid อิมตัวอีกครั้งหนึ่งเพื่อกำจัดสีบางส่วนที่ไม่ใช่ตำแหน่งของไอออนให้จางหายไปเช่นเดียวกับหมู่ที่สอง ระยะทางการเคลื่อนที่และสีที่ปรากฏเป็นดังนี้

ตาราง 3 ผลการแยกวิเคราะห์ไอออนหมู่ที่ 3

ชนิดไอออน	ระยะทางการเคลื่อนที่เป็น มม.	สีที่ปรากฏ
Zn ⁺²	10 ± 10	ม่วงแดง
Co ⁺²	115 ± 10	ม่วงแดง
Ni ⁺²	150 ± 10	ม่วงแดง
Mn ⁺²	190 ± 10	ม่วงแดง

หมู่ที่ 4 ประกอบด้วยไอออน Ca⁺², Sr⁺² และ Ba⁺² ในการวิเคราะห์ไอออนหมู่ที่ใช้ Formic acid 1 % เป็นอิเล็กโตรไลต์ ใช้เวลา 60 นาทีจึงแยกไอออนต่าง ๆ ออกจากกันได้อย่างสมบูรณ์ การตรวจหาตำแหน่งสารโพรพควยสารละลาย 8 - Hydroxy quinoline ใน Ethanol 95 % แล้วพ่นทับด้วย Ammonium hydroxide เพื่อให้เกิดสีอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากสีที่ปรากฏเหลืองจางมองเห็นไม่ชัดเจนจึงส่องด้วยแสงอุลตราไวโอเล็ตเพื่อให้สีที่เคื่องแสงขึ้น ระยะทางการเคลื่อนที่และสีที่ปรากฏเป็นดังนี้

ตาราง 4 ผลการแยกวิเคราะห์ไอออนหมู่ที่ 4

ชนิดไอออน	ระยะทางการเคลื่อนที่เป็น มม.	สีที่ปรากฏ
Ca ⁺²	205 ± 10	เหลืองเรืองแสง
Sr ⁺²	230 ± 10	เหลืองปนม่วงเรืองแสง
Ba ⁺²	240 ± 10	เหลืองปนเขียวเรืองแสง

หมู่ที่ 5 ประกอบด้วยไอออน Mg^{+2} , Na^+ และ K^+ ในการวิเคราะห์
 ไอออนหมู่ที่ 5 ใช้ Ammonium carbonate 0.5 % เป็นอิเล็กโทรไลต์ ใช้เวลา 45 นาทีจึง
 สามารถแยกไอออนต่าง ๆ ออกจากกันได้เป็นอย่างดี การตรวจหาตำแหน่งสารไอออนด้วยสารละลาย
 Bromothymol blue 2 % แลวพ่นทับด้วย Ammonium hydroxide เพื่อให้สีเกิดอย่างสมบูรณ์
 ระบุทางการเคลื่อนที่และสีที่ปรากฏเป็นดังนี้

ตาราง 5 ผลการแยกวิเคราะห์ไอออนหมู่ที่ 5

ชนิดไอออน	ระยะทางการเคลื่อนที่เป็น มม.	สีที่ปรากฏ
K^+	220 ± 10	* สีฟ้า
Na^+	270 ± 10	สีฟ้า
Mg^{+2}	300 ± 10	สีฟ้า