หอสมุดกลาง
จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

# บทที่ 2

## ส่วนประกอบของเครื่องแยกสเปกตรัมมวล

ในเครื่องแยกสเปกตรัมมวลจะต้องประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 3 ส่วนคือ

1. แหล่งกำเนิดไอออน (Ion source)
2. ส่วยแยกมวล (Mass analyzer)
3. ตัวตรวจวัดหรือตัวเก็บ (Detector or Collector)

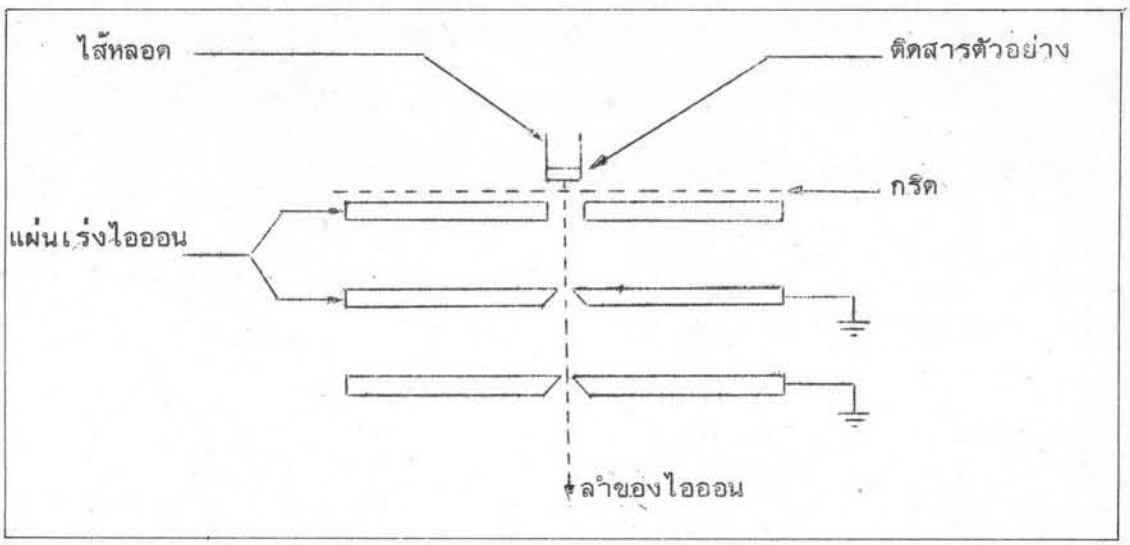
### 2.1 แหล่งกำเนิดไอออน

แหล่งกำเนิดไอออนที่ใช้ในเครื่องแยกสเปกตรัมมวลมีหลายชนิดด้วยกันจะใช้ชนิดไหนนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและสิ่งที่ต้องการศึกษา ดังจะได้กล่าวอย่างสั้น ๆ ยกเว้นวิธีที่ใช้ในการวิจัยนี้เท่านั้นที่กล่าวอย่างละเอียด แหล่งกำเนิดไอออนที่ใช้ในปัจจุบันได้แก่

2.1.1 แหล่งกำเนิดไอออนโดยการดิสชาร์จกาซ (Gaseous discharge ion source) ชนิดนี้ใช้กันมากในการศึกษาสเปกตรัมมวลในยุคแรก ๆ เพราะว่าให้กระแสไอออนที่มีความเข้มสูง แต่ไอออนที่สร้างขึ้นโดยแหล่งกำเนิดชนิดนี้มีการกระจายพลังงานค่อนข้างมาก และความดันอยู่ในช่วง $10^{-3}$-$10^{-1}$ มิลลิเมตรของความสูงปรอท จึงมีผลทำให้ความสามารถในการแยกมวลไม่ดี และยากแก่การควบคุมระบบสูญญากาศในส่วนแยกมวล

แหล่งกำเนิดชนิดนี้ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าสองขั้ววางอยู่ห่างกันและภายในมีกาซหรือไอความดัน $10^{-3}$ - $10^{-1}$ มิลลิเมตรของความสูงปรอทบรรจุอยู่ การดิสชาร์สจะเกิดขึ้นจากการใส่ความต่างศักย์สูงระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสอง ผลของการดิสชาร์จจะทำให้มีไอออนเกิดขึ้น และขณะเดียวกันไอ - ออนจะถูกเร่งให้ออกทางช่องแคบที่อยู่ตรงกึ่งกลางแผ่นคาโทด (cathode) เข้าสู่ส่วนแยกมวลต่อไป กระแสไอออนที่สร้างขึ้นโดยวิธีนี้มีค่ามากกว่า 1 แอมแปร์ [1,2,3]

2.1.2 แหล่งกำเนิดโดยใช้ความร้อนทำให้เกิดไอออน หรือแหล่งกำเนิดไอออนโดยการปลดปล่อยออกจากผิว (Thermal ionization source or Surface emission ion source) วิธีนี้ใช้สำหรับการวิเคราะห์ธาตุที่มีศักย์การเกิดไอออน (ionization potential) ต่ำ ใช้กับสารที่เป็นของแข็งและโดยทั่วไปมักใช้กับงานการวิเคราะห์โดยทั่วๆไป แหล่งกำเนิดไอออนชนิดนี้มีลักษณะดังรูป 2.1

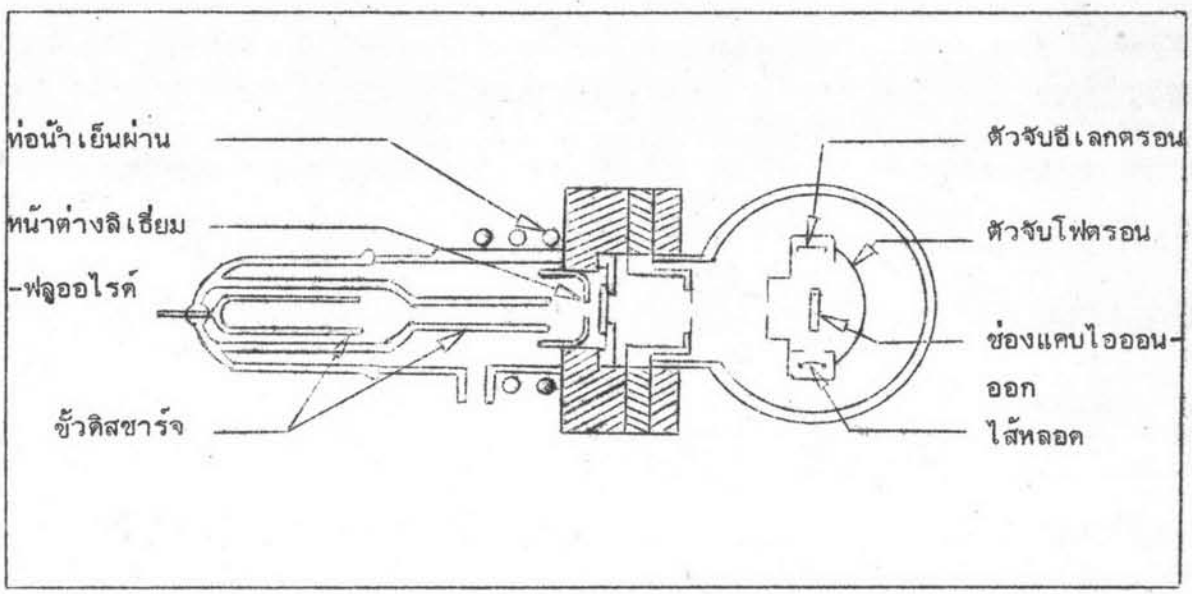



รูปที่ 2.1 แสดงไดอะแกรมของแหล่งกำเนิดโดยใช้ความร้อนทำให้เกิดไอออน

การสร้างไอออนทำได้โดยเคลือบสารติดกับไส้หลอดที่อยู่ภายในความกดดันต่ำเมื่อไส้หลอดร้อนสารจะกลายเป็นไอ ไอจะประกอบด้วยไอออนบวกและอะตอมที่เป็นกลาง ไอออนบวกที่เกิดขึ้นอาจอยู่ในรูปอะตอมหรือโมเลกุล หลังจากนั้นเร่งและทำให้เป็นลำตรง (collimated) ก่อนจะนำเข้าส่วนแยกมวลต่อไป

ปกติจำนวนไอออนที่เกิดขึ้นสำหรับแหล่งกำเนิดชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับเวิร์คฟังชั่น (work function) ของโลหะที่ใช้ทำไส้หลอด อุณหภูมิของไส้หลอดและศักย์การเกิดไอออนระดับแรกของธาตุที่ทำให้เกิดไอออน[1]

2.1.3 แหล่งกำเนิดโดยใช้แสงทำให้เกิดไอออน (Photoionization source) วิธีนี้จะใช้ทำให้โมเลกุลเกิดเป็นไอออนได้โดยการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้น เช่น รังสีเหนือม่วง (ultraviolet radiation) ตกกระทบกับก๊าซหรือไอ ซึ่งผลจะทำให้เกิดไอออนได้[1] แหล่งกำเนิดไอออนชนิดนี้มีลักษณะดังรูป 2.2

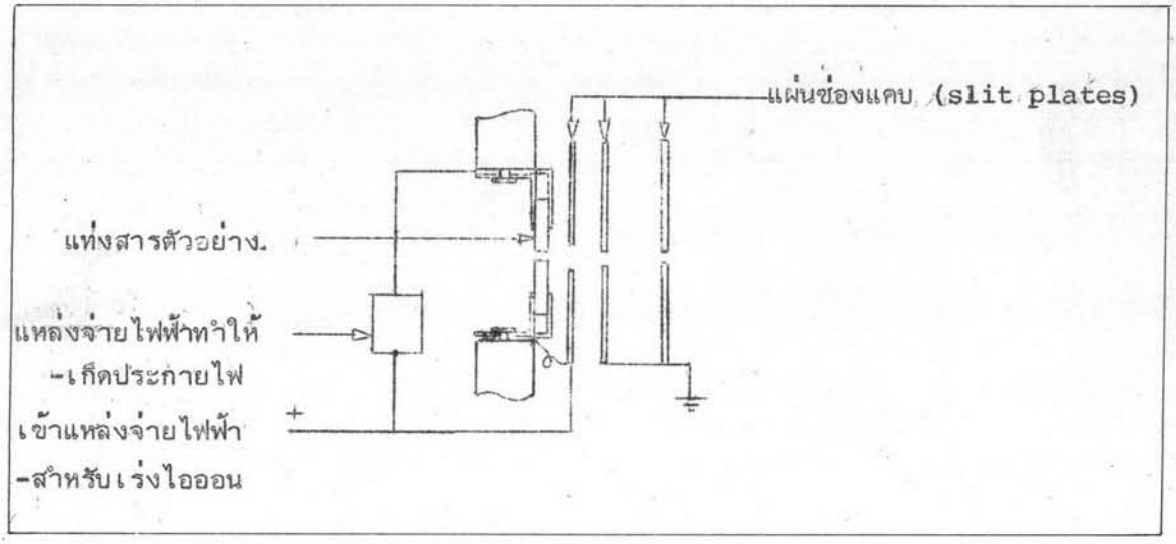



รูปที่ 2.2 แสดงไดอะแกรมของแหล่งกำเนิดโดยใช้แสงทำให้เกิดไอออน

2.1.4 แหล่งกำเนิดการเกิดไอออนโดยสนาม (Field ionization source) ชนิดนี้เป็นแหล่งกำเนิดที่ใช้ในการแยกของผสมเชิงซ้อน (complex mixture) และการแยกอินทรียสารของแข็งที่ไม่เสถียร (unstable organic solid)

การสร้างทำได้โดยใส่ความต่างศักย์สูงเข้ากับขั้วไฟฟ้าสองขั้ว ขั้วไฟฟ้าทั้งสองนี้ขั้วหนึ่งมีลักษณะเป็นเส้นตรงมีปลายแหลมทำด้วยทังสเตน อีกขั้วหนึ่งเป็นวงแหวน ขั้วทั้งสองอยู่ในลักษณะที่เส้นปลายแหลมอยู่ในแนวแกนของวงแหวนโดยที่ปลายแหลมอยู่ตรงจุดศูนย์กลางของวงแหวน ถ้านำสารที่ต้องการจะศึกษาสเปกตรัมมวลติดไว้ที่ปลายแหลม เมื่อใส่ความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสอง จนกระทั่งระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองมีสนามไฟฟ้าสูงประมาณ $10^8$ โวลต์ต่อเซนติเมตร จะสามารถทำให้สารเกิดเป็นไอออนได้

2.1.5 แหล่งกำเนิดโดยใช้ประกาย (spark source) วิธีนี้เป็นแหล่งกำเนิดที่ใช้สร้างไอออนจากอนินทรียสารของแข็ง (inorganic solid) แหล่งกำเนิดชนิดนี้ประกอบด้วยขั้วที่มีสารที่ต้องการวิเคราะห์ติดอยู่ภายในความดันต่ำ ดังรูป




รูปที่ 2.3 แสดงไดอะแกรมของแหล่งกำเนิดโดยใช้ประกาย

ไอออนสร้างขึ้นได้โดยการใส่ความต่างศักย์สูงมากอยู่ในลำดับขนาด (order of magnitude) 30 - 100 กิโลโวลต์เข้ากับขั้วไฟฟ้าทั้งสอง เมื่อเกิดประกาย (spark) การดิสชาร์จ (discharge) จะเกิดขึ้น ผลจะทำให้ไอออนของสารที่จะศึกษาเกิด แล้วจึงเร่งไอออนและทำให้เป็นลำตรงก่อนที่จะผ่านเข้าส่วนแยกมวลต่อไป[4]

2.1.6 แหล่งกำเนิดไอออนโดยใช้อิเลกตรอนระดมยิง (Electron-bombarding ion source) การสร้างไอออนโดยวิธีนี้เหมาะสำหรับสิ่งที่จะศึกษาเป็นกาซหรือไอ วิธีนี้ใช้กันอย่างแพร่หลายมาก เพราะว่าลำไอออนที่สร้างขึ้นมีการกระจายพลังงานค่อนข้างน้อย และการเกิดไอออนของโมเลกุลเชิงซ้อน (complex molecule) สามารถควบคุมได้โดยการแปรเปลี่ยนพลังงานจลน์ของอิเลกตรอนที่เข้าชนกาซหรือไอ

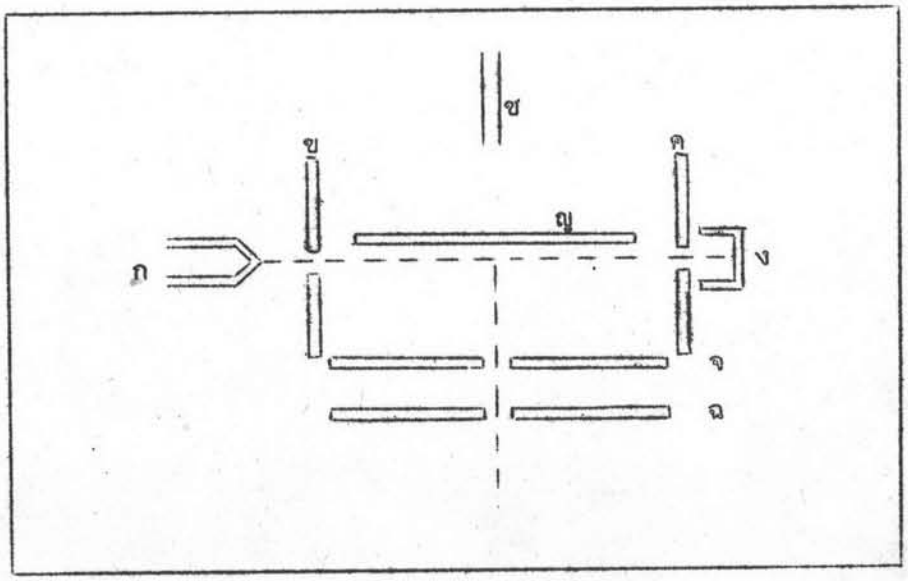
ไอออนบวกจะเกิดขึ้นโดยการผ่านลำของอีเลกตรอนเข้าชนกับกาซหรือไอที่อยู่ภายในความดัน $10^{-4}$-$10^{-5}$ มิลลิเมตรของความสูงปรอท (ความดันมากกว่านี้อาจจะใช้ได้ แต่ปกติช่วงนี้ใช้เหมาะสมที่สุด) ถ้าพลังงานของอีเลกตรอนที่เข้าชนมากกว่าศักย์การเกิดไอออนของกาซหรือไอ โมเลกุลของกาซหรือไอจะแตกออกเป็นไอออนได้ โดยทั่วไปแหล่งกำเนิดไอออนโดยใช้อีเลกตรอนระดมยิงจะต้องประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 3 ส่วนคือ

1. ไส้หลอดสร้างอีเลกตรอน (an electron-producing filament) และส่วนจับอีเลกตรอน

2. ขั้วไฟฟ้าความต่างศักย์สูง (high voltage electrode) ซึ่งใช้สำหรับเร่งไอออนบวกที่เกิดขึ้นจากการชนของอีเลกตรอน

3. ช่องแคบทำให้ไอออนเป็นลำขนาน (collimating slit)

แหล่งกำเนิดไอออนโดยการระดมยิงของอีเลกตรอนแบบหนึ่งดังแสดงในรูป 2.4 [5,6]




รูปที่ 2.4 แสดงไดอะแกรมของแหล่งกำเนิดไอออนโดยการระดมยิงของอีเลกตรอน

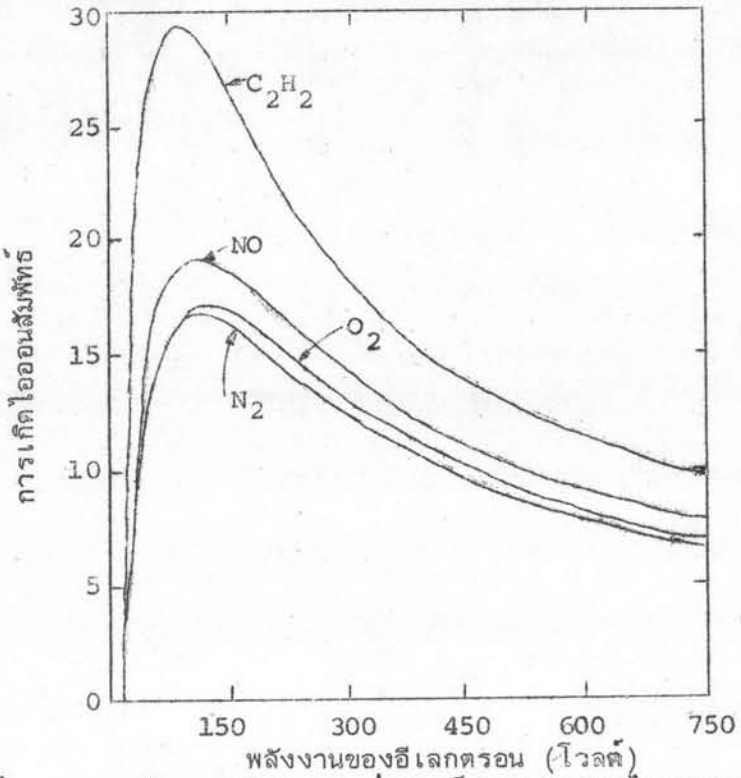
อีเลกตรอนจะปลดปล่อย (emitted) ออกจากไส้หลอด ก. และถูกผลักออกโดยความต่างศักย์ที่ใส่ระหว่างไส้หลอด ก. และแผ่นขั้วไฟฟ้า ข. ซึ่ง ก. มีศักย์ต่ำกว่า ข. บนแผ่น ข. มีช่องแคบ ดังนั้นอีเลกตรอนจะหลุดออกจากช่องแคบผ่านเข้ายังบริเวณการเกิดไอออน (ionization region) แล้วรี่งต่อไปยังแผ่น ค. ซึ่งมีศักย์เท่ากับแผ่น ข. และมีช่องแคบเช่นเดียวกัน ดังนั้นอีเลกตรอนจะผ่านช่องแคบบนแผ่น ค. ไปได้ และในที่สุดจะถูกจับโดยอาโนด (anode) ตัวจับ ง. ซึ่งมีศักย์สูงกว่าแผ่น ค. ทั้งนี้เพื่อป้องกันอีเลกตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) ที่อาจจะหลุดออก เนื่องจากการชนของอีเลกตรอนกับโลหะ

สำหรับบริเวณการเกิดไอออน เมื่ออีเลกตรอนผ่านเข้าไปมันจะไปชนกับโมเลกุลของกาซหรือไอที่ปล่อยเข้าทางท่อ ช. จากการเปิดลิ้นปลายเข็ม (needle valve) ถ้าอีเลกตรอนที่เข้าชนมีพลังงานสูงกว่าศักย์การเกิดไอออนของกาซหรือไอ ผลที่เกิดขึ้นคือโมเลกุลของกาซหรือไอจะแตกตัวเป็นไอออน ดังนั้นจะมีไอออนบวกชนิดต่าง ๆ เกิดขึ้น ระหว่างแผ่นผลัก (repeller plate) ฌ กับแผ่นขั้วไฟฟ้า จ. มีสนามไฟฟ้าอย่างอ่อน ๆ ซึ่งจะใช้ผลักไอออนบวกออกจากบริเวณการเกิดไอออน

ไอออนบวกหลังจากถูกผลักออกจากบริเวณการเกิดไอออนแล้วจะถูกเร่งโดยความต่างศักย์สูงระหว่างแผ่นขั้วไฟฟ้า จ. และ ฉ. ไอออนบวกจะได้รับพลังงานศักย์และผ่านตรงออกช่องแคบที่อยู่บนแผ่น ฉ. กระแสไอออนที่ผ่านช่องแคบ ฉ. ออกไปมีค่าอยู่ในลำดับขนาด $10^{-7}$-$10^{-15}$ แอมแปร์

พลังงานของอีเลกตรอนที่ใช้ในการทำให้กาซชนิดต่าง ๆ เกิดไอออนดังแสดงในรูป 2.5 จากรูปแสดงว่าการเกิดไอออนสูงที่สุดเกิดขึ้นในบริเวณที่อีเลกตรอนมีพลังงาน 50 - 100 อีเลกตรอนโวลต์

จำนวนไอออนบวกที่เกิดขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความหนาแน่นของโมเลกุลของกาซถ้าความดันต่ำกว่า $10^{-4}$ มิลลิเมตรของความสูงปรอท แต่ถ้าความดันสูงกว่านี้จำนวนไอออนบวกที่เกิดขึ้นจะไม่สัมพันธ์กับความหนาแน่นของกาซโดยตรง ในการชนของอีเลกตรอนนั้น ทำให้เกิดทั้งไอออนอะตอม (atomic ions) และไอออนโมเลกุล (molecular ions)



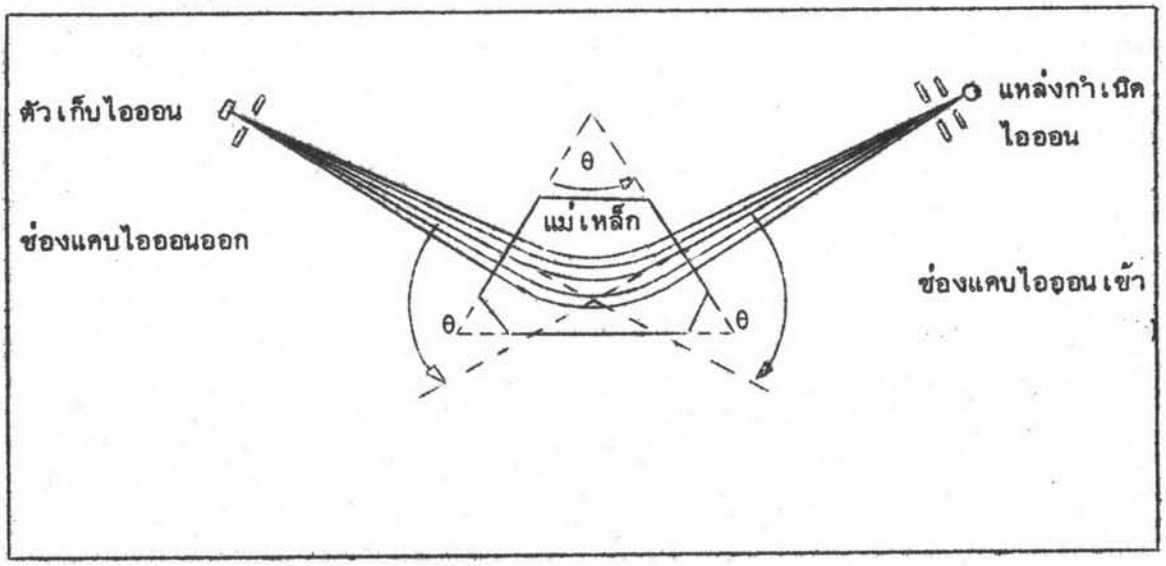

รูปที่ 2.5 เป็นกราฟแสดงความน่าจะเป็นของการเกิดไอออนของภาชะเป็นฟังชั่นของพลังงานของอีเลกตรอนที่ชน[6,7]

แหล่งกำเนิดไอออนชนิดนี้ ลำของอีเลกตรอนจะต้องตั้งได้ฉากกับแนวการเคลื่อนที่ของไอออน บริเวณที่ไอออนเข้าสู่ส่วนเร่งจะต้องเล็ก และกระแสอีเลกตรอนต้องคงที่มีค่าประมาณ 1 มิลลิแอมแปร์ ปริมาณกระแสไอออนจะขึ้นอยู่กับชนิดของภาชะหรือไอ ความกดดัน และความกว้างของช่องแคบที่ทำให้ไอออนเป็นลำขนาน[1,2,4]

## 2.2 ส่วนแยกมวล

ส่วนนี้นับว่าเป็นหัวใจสำคัญของเครื่องแยกสเปกตรัมมวล เพราะเป็นส่วนที่ทำให้คำนวณหาค่ามวลของไอออนได้ ส่วนแยกมวลที่ใช้โดยทั่ว ๆ ไปมีอยู่ 3 วิธีคือ การแยกด้วยแม่เหล็ก (Magnetic analyzer) การแยกด้วยไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic analyzer) และการแยกด้วยเวลาของการเดินทาง (Time - of - flight analyzer) สำหรับวิธีแรกจะกล่าวอย่างละเอียดกว่าวิธีหลังเพราะเป็นวิธีที่ใช้ในการวิจัยนี้ [1]

2.2.1 การแยกด้วยแม่เหล็ก ไอออนบวกที่สร้างขึ้นหลังจากเร่งผ่านเข้าในความต่างศักย์ V โวลต์แล้ว ไอออนบวกจะได้รับพลังงานศักย์โดยที่พลังงานศักย์ที่ได้รับจะมีค่าเท่ากับงานที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุบวก ไอออนบวกที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วจะผ่านเข้าไปในบริเวณสนามแม่เหล็กที่คงที่และมีทิศตั้งได้ฉากกับแนวการเคลื่อนที่ของไอออนดังแสดงในรูป 2.6 ไอออนบวกแต่ละตัวถูกแรงกระทำในทิศที่ตั้งได้ฉากทั้งสนามแม่เหล็กและแนวการเคลื่อนที่ของไอออน เพราะฉะนั้นลำของไอออนจะเบนหรือเลี้ยวโค้งเป็นส่วนโค้งของวงกลมรัศมีค่าต่าง ๆ กัน ความสัมพันธ์ของมวลกับสนามแม่เหล็ก ความต่างศักย์ที่เร่ง และรัศมีความโค้งของแนวการเคลื่อนที่ของไอออนหาได้จากสมการ (1.3)




รูปที่ 2.6 แสดงการแยกมวลโดยแม่เหล็ก

ปกติค่ามุมของการเบี่ยงเบนของไอออนเมื่อผ่านส่วนแยกมวลจะให้คงที่ค่าหนึ่งอาจเป็น 60, 90 หรือ 180 องศาก็ได้ นั่นย่อมหมายถึงว่ารัศมีความโค้งของแนวการเคลื่อนที่ของไอออนคงที่ด้วย ทั้งนี้เพื่อให้การโฟกัสไอออนที่มีมวลค่าหนึ่ง ๆ ตกลงบนตัวตรวจวัดได้โดยการแปรเปลี่ยนค่าสนามแม่เหล็ก หรือค่าความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออน จากสมการ (1.3) จะเห็นว่าถ้าเพิ่มค่าสนามแม่เหล็ก ในการโฟกัสไอออนจะทำให้ไอออนที่มีมวลหนักเพิ่มขึ้นตกลงบนตัวตรวจวัด

แต่ถ้าเพิ่มความต่างศักย์ที่ใช้เร่ง ในการโฟกัสไอออนจะทำให้ไอออนที่มีมวลเบาตกลงบนตัวตรวจวัด

เนื่องจากไอออนที่มีมวลต่างกันเมื่อผ่านเข้าสนามแม่เหล็กจะเบี่ยงเบนเป็นส่วนโค้งของวงกลมรัศมีไม่เท่ากัน ดังนั้นไอออนที่มีมวลค่าหนึ่งจะตกลงบนตัวตรวจวัดที่วางไว้ ณ ตำแหน่งรัศมีความโค้งค่าหนึ่งดังรูป 2.6 แต่เพราะช่องแคบผ่านก่อนเข้าสนามแม่เหล็กมีความกว้าง ดังนั้นจะเห็นได้ว่าจากรูปลำของไอออนแผ่ออก (divergent) หลังจากนั้นจึงถูกโฟกัสเมื่อผ่านสนามแม่เหล็กแล้ว

สำหรับทิศทางการโฟกัส (direction - focusing) สามารถหาได้ผู้ที่ทำการหาคือ อาร์.เฮอร์ซอก (R.Herzog) ซึ่งหาโดยอาศัยวิชาทัศนศาสตร์ของไอออน (Ion Optics) ดังสมการ

$$(l_m - g_m)(l_i - g_m) = f_m^2 \qquad (2.1)$$

เมื่อ $l_m$ เป็นระยะทางซึ่งไอออนเดินทางจากช่องแคบของแหล่งกำเนิด (source slit) ถึงบริเวณสนามแม่เหล็ก บางครั้ง $l_m$ เรียกว่าระยะวัตถุ (object distance)

$l_i$ เป็นระยะทางจากบริเวณสนามแม่เหล็กที่ไอออนออกถึงช่องแคบก่อนเข้าตัวตรวจวัด บางครั้งเรียกระยะภาพ (image distance)

$f_m$ เป็นความยาวโฟกัสซึ่งหาได้จากสมการ

$$f_m = r \csc \theta$$

$r$ เป็นรัศมีความโค้งของแนวการเคลื่อนที่

$\theta$ เป็นมุมที่ไอออนเบี่ยงเบนเมื่อผ่านสนามแม่เหล็ก

สำหรับ $g_m$ หาได้โดยสมการ

$$g_m = f_m \cos\theta \qquad (2.3)$$

ในกรณี $\theta = 90$ องศาจากสมการ (2.1),(2.2) และ (2.3

$$l_m = l_i = r$$

ดังนั้นในเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยซึ่งจะกล่าวในบทที่ 4 จึงใช้ระยะภาพระยะวัตถุและรัศมีความโค้งของแนวการเคลื่อนที่ของไอออนมีค่าเท่ากันหมด[1,3,6]

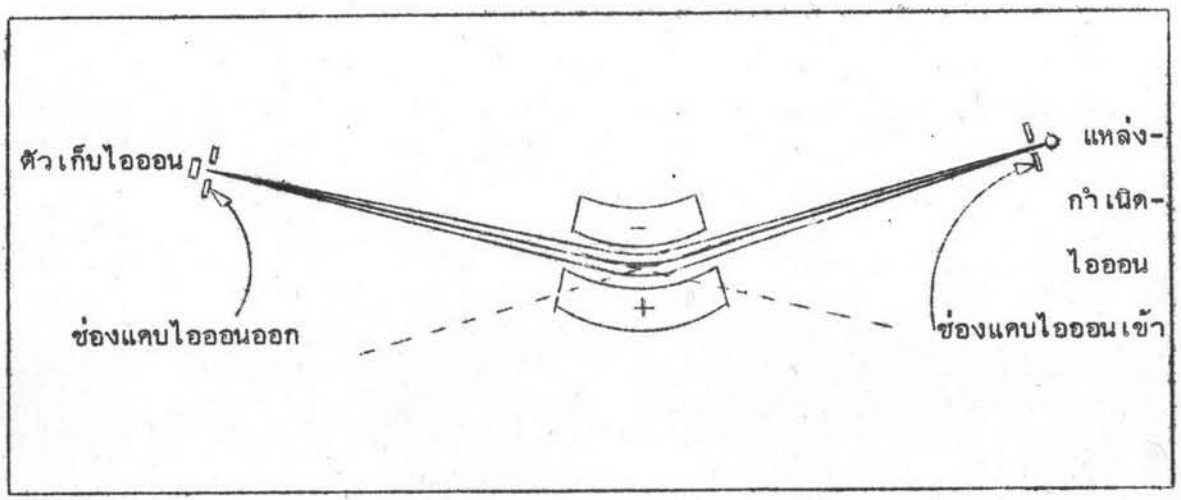
2.2.2 การแยกด้วยไฟฟ้าสถิตย์ ปกติส่วนนี้จะไม่ใช้แยกมวลโดยตรงแต่จะใช้ร่วมกับแม่เหล็ก ในบางกรณีอาจจะใช้แยกความเร็วของไอออน[1]

ไอออนถ้าผ่านเข้าในสนามไฟฟ้าที่คงที่ซึ่งเกิดจากการใส่ความต่างศักย์ที่คงที่เข้ากับแผ่นตัวนำขนานสองแผ่น แนวการเคลื่อนที่ของไอออนจะเป็นส่วนโค้งรูปพาราโบลา แต่ถ้าผ่านเข้าในสนามไฟฟ้าดังรูป 2.7 แนวการเคลื่อนที่ของไอออนจะถือว่าเป็นส่วนโค้งของวงกลม ซึ่งรัศมีหาได้จากสมการ

$$r = \frac{2V}{E} \qquad (2.4)$$

$V$ = เป็นความต่างศักย์ที่ใช้เร่งไอออนก่อนผ่านเข้าในสนามไฟฟ้า

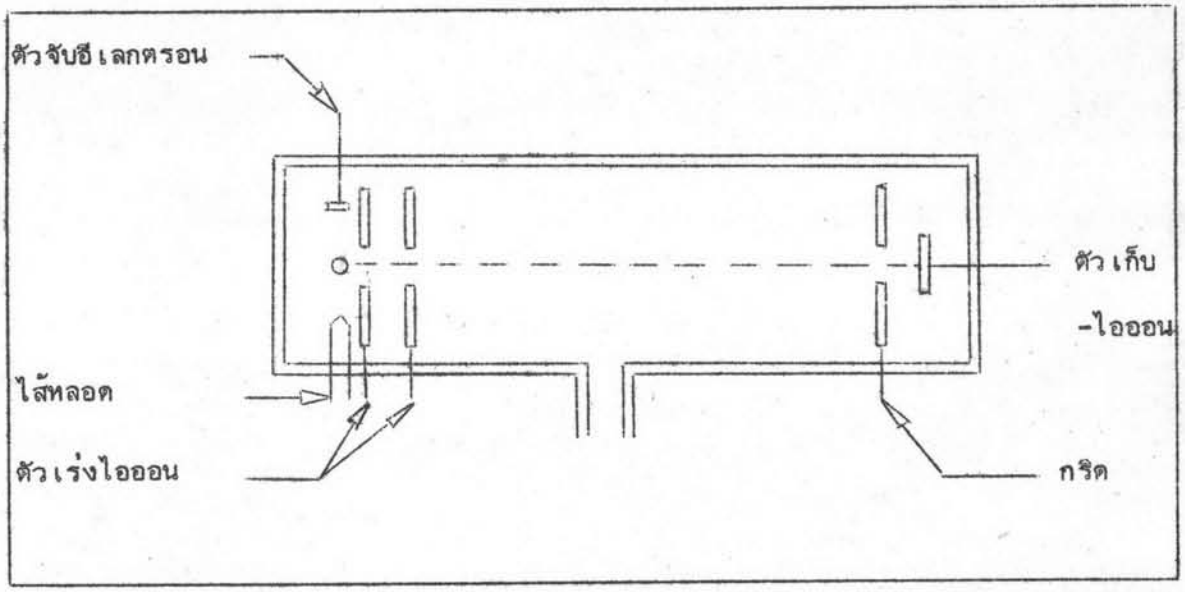
$E$ = เป็นสนามไฟฟ้าที่เบี่ยงเบนลำไอออน




รูปที่ 2.7 แสดงการโฟกัสลำไอออนโดยสนามไฟฟ้าสถิตย์

2.2.3 การแยกด้วยเวลาของการเดินทาง การแยกโดยวิธีนี้อาศัยจากสมมติฐานที่ว่าไอออนทุกตัวที่มีพลังงานจลน์เท่ากัน ถ้ามวลต่างกันความเร็วของไอออนจะต่างกันด้วย ถ้าระยะทางในการเคลื่อนที่ของไอออนคงที่เพราะฉะนั้นเวลาที่ไอออนเดินทางจะไม่เท่ากัน โดยเวลาของการเดินทางจะแปรผันตามมวล กล่าวคือไอออนที่มีมวลเบากว่าจะเดินทางถึงตัวตรวจวัดเร็วกว่าไอออนที่มีมวลหนัก เมื่อทราบเวลาที่ใช้ในการเดินทางของไอออนแต่ละตัว จะทำให้ทราบมวลของไอออนได้ ลักษณะของเครื่องมือดังแสดงในรูป 2.8

005209




รูปที่ 2.8 แสดงไดอะแกรมของเครื่องแยกมวลด้วยเวลาของการเดินทาง

2.3 ตัวตรวจวัด

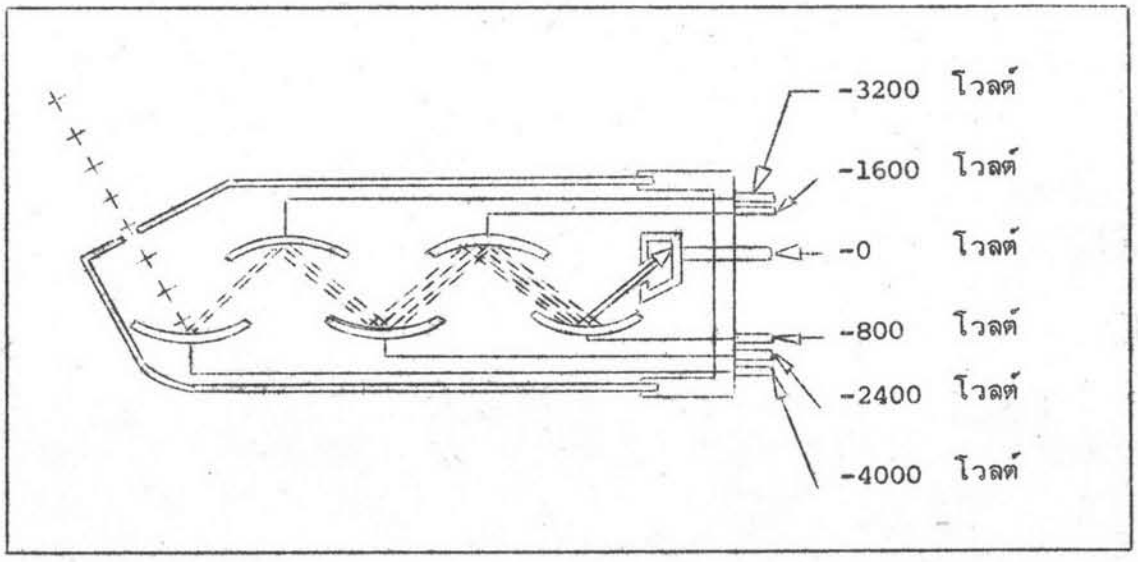
เป็นที่ทราบในบทที่ 1 หัวข้อ 1.2 แล้วว่าการกำหนดชื่อของเครื่องมือจะกำหนดจากตัวตรวจวัด ในการศึกษาสเปกตรัมมวลตัวตรวจวัดที่ใช้มีหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้มากมีดังนี้

2.3.1 แผ่นฟิล์มถ่ายรูป เป็นตัวตรวจวัดที่ใช้ตรวจวัดไอออนเป็นครั้งแรกในวิชาสเปกตรัมมวล ตัวตรวจวัดชนิดนี้ทำให้ทราบมวลแน่นอนแต่ไม่เหมาะสมที่จะใช้หาความอุดมของไอโซโทป

ในการวัดต้องสอดแผ่นฟิล์มไว้ในระบบสูญญากาศ ไอออนหลังจากผ่านส่วนแยกมวลแล้วจะตกลงบนส่วนนี้ ผลทำให้เกิดรอยบนแผ่นฟิล์มทำให้ทราบรัศมีความโค้งของการเคลื่อนที่ไอออนแต่ละตัว และนำไปคำนวณหาค่ามวลของไอออนได้

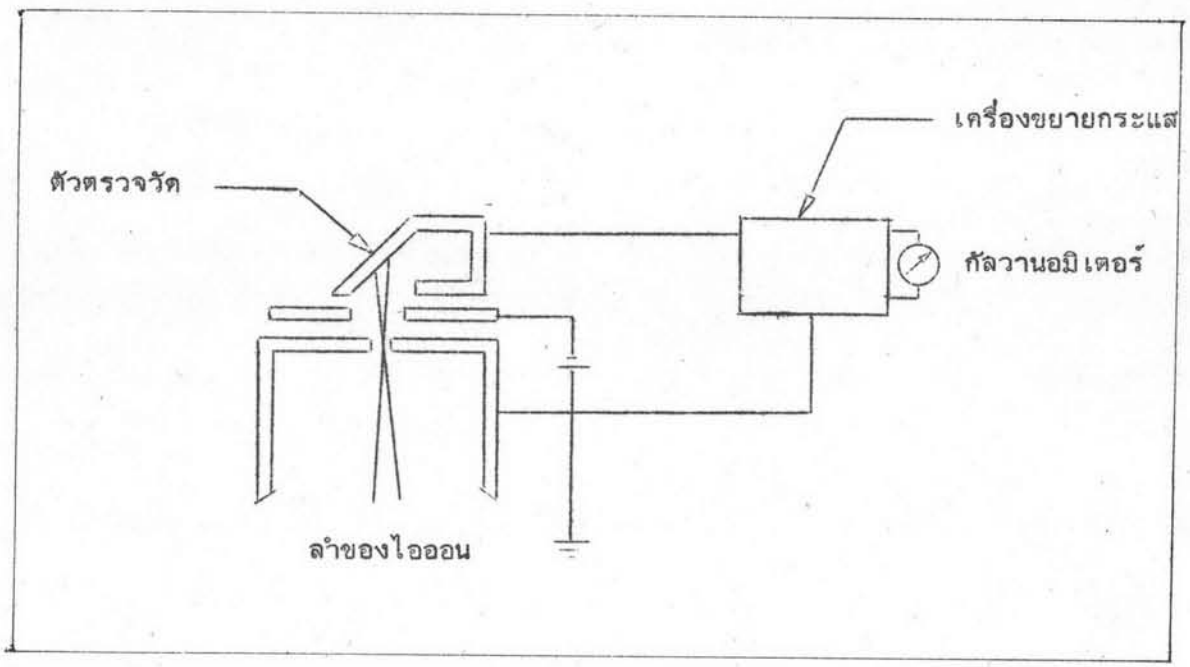
2.3.2 อีเลกตรอนทวีคูณ (Electron multipliers) ตัวตรวจวัดชนิดนี้มีความไวสูง และมีการตอบสนองที่รวดเร็ว

การทำงานอาศัยหลักการที่ว่าไอออนที่มีพลังงานเมื่อตกกระทบผิวโลหะของคาโทดจะเป็นเหตุให้อีเลกตรอนทุติยภูมิปลดปล่อยออกจำนวนหนึ่ง อีเลกตรอนจำนวนนี้จะถูกเร่งให้ตกกระทบกับขั้วไฟฟ้าอันอื่น ๆ ทำให้อีเลกตรอนที่หลุดเพิ่มจำนวนขึ้น ถ้าทำต่อไปประมาณ 10 ครั้งหรือมากกว่า และผลสุดท้ายไปตกกระทบบนอาโนด ดังนั้นจะมีกระแสอีเลกตรอนค่ามากซึ่งจะแทนไอออนบวกที่ตกบนตัวตรวจวัดคาโทดได้ ตัวตรวจวัดแบบนี้มีลักษณะดังรูป 2.9 [1,4,6]




รูปที่ 2.9 แสดงไดอะแกรมของตัวตรวจวัดแบบอีเลกตรอนทวีคูณ

2.3.3 อีเลกโตรมิเตอร์ (Electrometer) เป็นตัวตรวจวัดที่ใช้ในการวิจัยนี้ซึ่งประกอบด้วยถ้วยฟาราเดย์ (Faraday cup) หรือแผ่นตัวเก็บ (collector plate) ซึ่งวางอยู่ที่ตำแหน่งระนาบภาพ (plane image) ของเครื่องแยกสเปกตรัมมวล จากถ้วยฟาราเดย์ต่อเข้ากับอีเลกโตรมิเตอร์ ดังแสดงในรูป 2.10




รูปที่ 2.10 แสดงไดอะแกรมการต่ออีเล็กโตรมิเตอร์กับถ้วยฟาราเดย์

การทำงานของตัวตรวจวัดนี้ มีแนวคิดเบื้องต้นคือจะวัดความต่างศักย์ตกคล่อมความต้านทานสูงที่ต่ออยู่ระหว่างถ้วยฟาราเดย์และดิน นั่นก็คือเมื่อกระแสไอออนที่มีค่าน้อยมาก ซึ่งเกิดจากไอออนตกบนถ้วยฟาราเดย์ แล้วทำการขยายกระแสจนได้สัญญาณ ซึ่งสามารถขับให้เข็มของกัลวานอมิเตอร์ กระดิกและบันทึกค่า หลังจากนั้นนำค่าที่ได้จากการบันทึกไปเขียนกราฟได้ยอด จากยอดจะทำให้ทราบมวลของไอออนและความอุดมสัมพัทธ์ (relative abundance) ได้

2.3.4 อีเลกโตรมิเตอร์โดยการสั่นของลิ้น (Vibrating reed electrometer) ตัวตรวจวัดชนิดนี้มีหลักการทำงานคือ เมื่อได้รับสัญญาณกระแสตรงจากตัวเก็บไอออนแล้ว ไอออนจะถูกประจุอยู่ในตัวเก็บประจุที่สั่น การสั่นของตัวเก็บประจุจะทำให้ความจุเปลี่ยนตลอดเวลาทำให้ได้รับสัญญาณกระแสสลับ นำสัญญาณกระแสสลับไปขยาย สัญญาณที่ขยายแล้วนำไปบังคับระบบตัวบันทึก หรืออาจจะอ่านจากมิเตอร์โดยตรงก็ได้ ในการวัดด้วยตัวตรวจวัดชนิดนี้สามารถวัดกระแสไอออนได้ละเอียดถึง $10^{-18}$ แอมแปร์