บทที่ 4

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เครื่องมือและวิธีการทดลอง

4.1 เครื่องกำเนิดไอออนชนิดอิเล็กตรอนออสซิเลชัน

ได้นำเครื่องกำเนิดไอออนที่มีอยู่แล้วในห้องปฏิบัติการมาปรับปรุงใหม่ให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ทั้งนี้ได้คำนึงถึงหลักพื้นฐานเดิมอยู่ และจะต้องใช้กับไฟฟ้าความต่างศักย์ได้สูงมาก ๆ และต้องสามารถทำให้เกิดไอออนบวกหรือโปรตอนออกมาให้มากที่สุด เพื่อจะนำโปรตอนที่ได้ออกมานั้นเข้าสู่ท่อเร่งเพื่อทำการเร่ง

เครื่องกำเนิดไอออนประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วนคือ

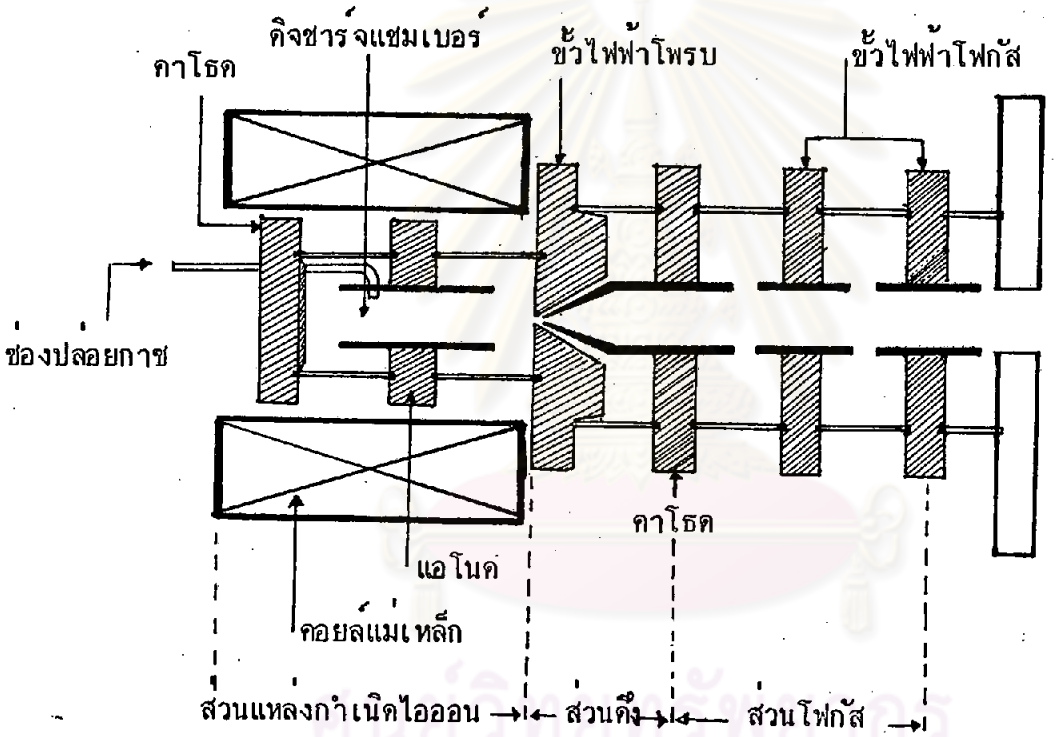
4.1.1 แหล่งกำเนิดไอออน ประกอบด้วยแผ่นอลูมิเนียม และท่ออลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้าต่อเข้ากับท่อแก้วทรงกระบอกทนต่อแรงกระแทกและความร้อนสูงได้ ทั้งนี้สภาพการใช้งานนั้นอาจจะเกิดความร้อนกับระบบได้ แผ่นอลูมิเนียมที่ทำเป็นขั้วไฟฟ้านั้นจะหนา 1 เซนติเมตร และตรงกลางเป็นท่ออลูมิเนียมเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.2 เซนติเมตร ทำหน้าที่เป็นแอโนด และแผ่นอลูมิเนียมอันนอกสุดตรงขั้วจะทำหน้าที่เป็นคาโธด ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งมีหน้าที่ปล่อยอิเล็กตรอนและด้านข้างยังมีรูเล็กสำหรับต่อท่อนำก๊าซจากข้างนอก และท่อนี้ต่อเข้าไปยังท่ออลูมิเนียมที่อยู่ระหว่างขั้วแอโนด

4.1.2 ส่วนดึงไอออนจากแหล่งกำเนิด ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าโพรบ ทำเป็นร่องรูปกรวยให้มีรูเล็ก ๆ เข้าไปยังแหล่งกำเนิดไอออนและร่องรูปกรวยนี้จะเป็นที่สอดให้ขั้วไฟฟ้าโพรบให้ยื่นเข้าไปใกล้ ๆ กับช่องที่เก็บไอออนที่ถูกสร้างขึ้นที่แหล่งกำเนิดไอออน ดังรูปที่ 4.1 เพื่อจะดึงไอออนออกมาให้มากที่สุด

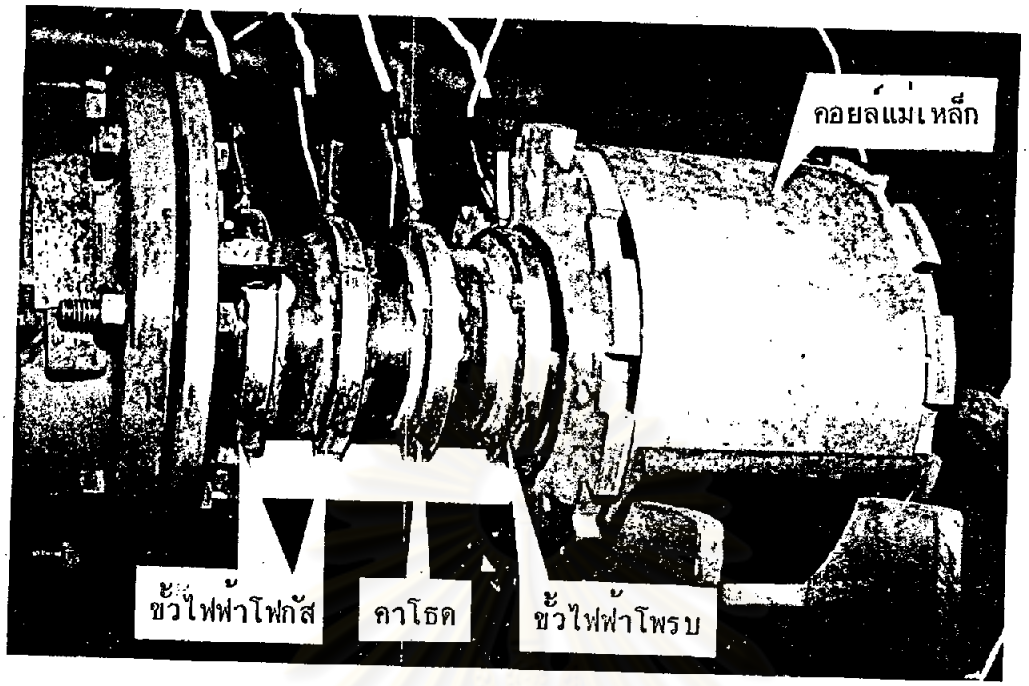
4.1.3 ขั้วไฟฟ้าโฟกัส อยู่ถัดออกมาจากส่วนดึงของไอออนเพื่อทำหน้าที่โฟกัสไอออนให้มีลำขนาดเล็กตามที่ต้องการ ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าที่เป็นอลูมิเนียมโดยตรงกลางเป็นท่อ —

อลูมิเนียมเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.2 เซนติเมตร วางอยู่ในแนวเดียวกันทั้งสองขั้ว โดยขั้วหนึ่งที่อยู่ใกล้กับขั้วไฟฟ้าโพรบทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนด และถัดออกมานอกสุดทำเป็นขั้วไฟฟ้าคาโธด ดังรูปที่ 4.1

4.1.4 คอยล์แม่เหล็ก โดยใช้ลวดทองแดงเบอร์ 12 เอสดับเบิลยูจี (SWG) พันรอบแกนอากาศ โดยเอาแกนตรงกลางนั้นเป็นที่สอดแหล่งกำเนิดไอออน ซึ่งสามารถถอดออกได้ ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงส่วนประกอบของแหล่งกำเนิดไอออน ส่วนดึงไอออน และส่วนโฟกัสไอออน



รูปที่ 4.2 แสดงส่วนต่าง ๆ ของแหล่งกำเนิดไอออนเมื่อใช้งานแล้ว

4.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าความต่างศักย์สูง (high voltage generater)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าความต่างศักย์สูงนี้ได้สร้างขึ้นเพื่อทำการเร่งโปรตอนให้มีค่าพลังงานสูงขึ้น โดยอาศัยหลักการต่อวงจรแบบ Cockcroft & Walton ตามที่ได้กล่าวแล้วในบทที่ 3 ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ

4.2.1 ตัวเก็บประจุ (condenser) มีหน้าที่สำหรับเก็บประจุไฟฟ้า (charge) และถ่ายเทประจุ (discharge) ในวงจร จุดประสงค์ของการทำตัวเก็บประจุก็คือ เพื่อใช้กับไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์สูงถึง 15 - 20 กิโลโวลต์ หลักของการทำตัวเก็บประจุนี้อาศัยทฤษฎีในบทที่ 3 เกี่ยวกับกับเรื่องตัวเก็บประจุ โดยทำจากวัสดุที่หาง่ายภายในประเทศที่สำคัญได้แก่

4.2.1.1 ท่อพี.วี.ซี. (P.V.C.) สีน้ำเงินชนิดหนา 6 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 2.5 นิ้ว ของบริษัทท่อน้ำไทย จำกัด

4.2.1.2 แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ (aluminium foil) ชนิดความหนา 0.016 มิลลิเมตร

4.2.1.3 แผ่นพลาสติก (mila หรือ acetate) ชนิดใสหนาประมาณ 0.7 มิลลิเมตร มีค่าไดอิเล็กตริก (dielectric constant)เท่ากับ 2.26

4.2.1.4 กาวอิพอกซี (epoxy-fix) ชนิดแห้งช้าของบริษัท เซลเลย์ เคมีคอล คอมปานี (Selleys Chemical Company Co.,Ltd.)

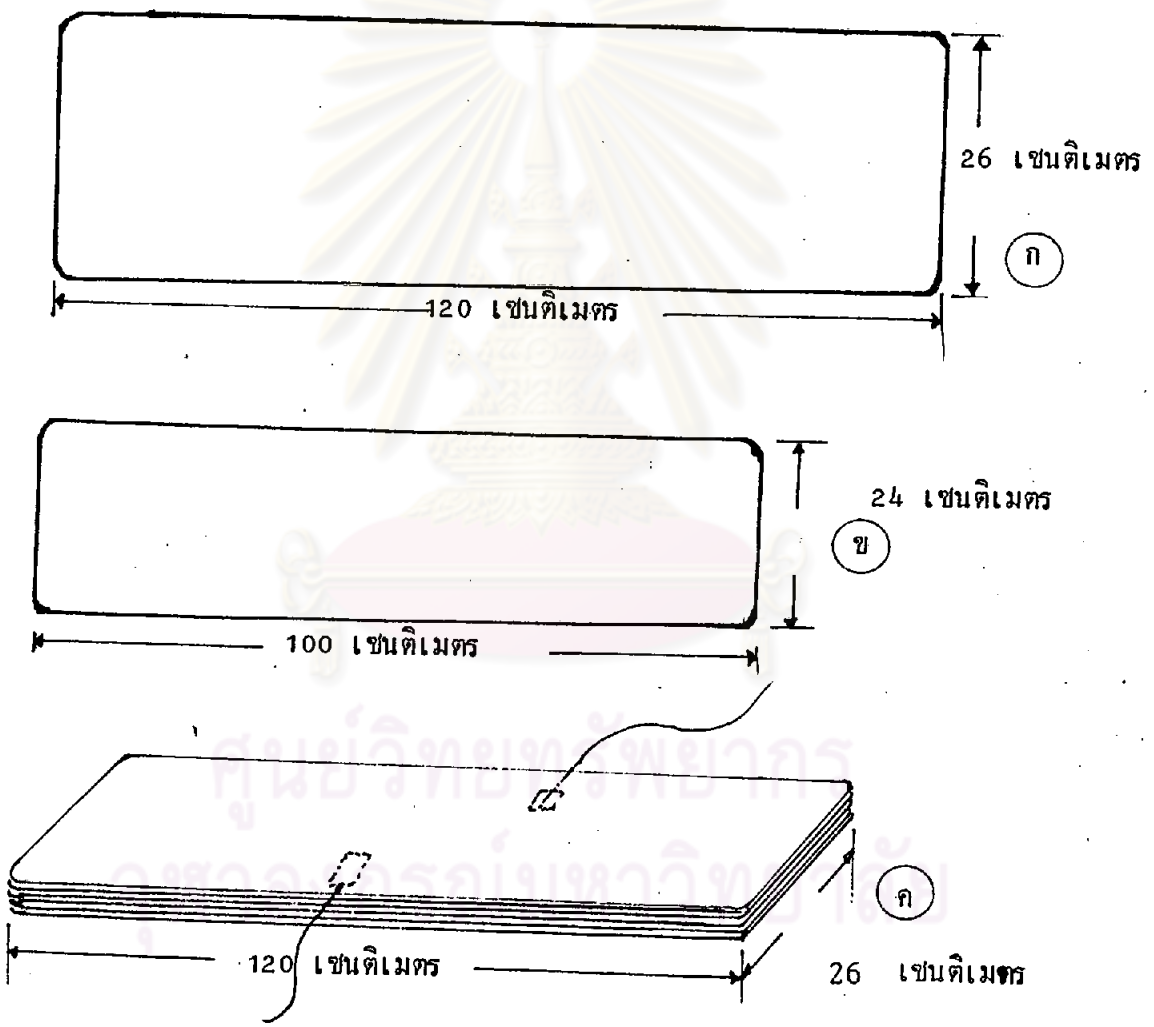
4.2.1.5 น้ำมันหม้อแปลง (oil transformer) ซึ่งเป็นฉนวนที่ดีมาก และสามารถทนแรงดันไฟฟ้าได้ 30 กิโลโวลต์ต่อ 2.5 มิลลิเมตร

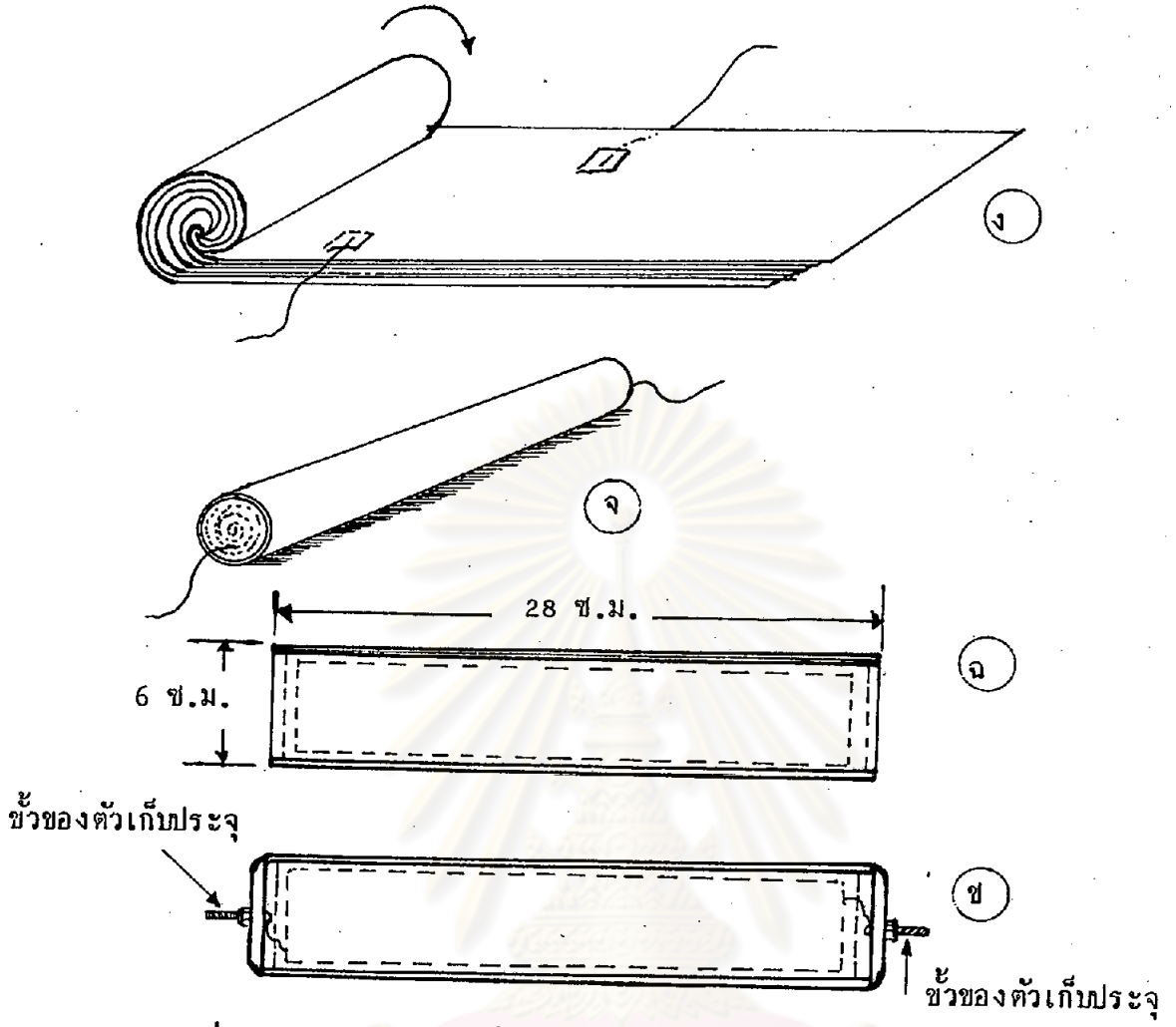
4.2.2 หลักการทำตัวเก็บประจุ

โดยการเอาท่อ P.V.C. มาตัดให้ได้ความยาว 28 เซนติเมตร จำนวน 16 ท่อน แล้วทำความสะอาดทั้งด้านนอกและด้านใน แล้วตากไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส ประมาณ 6 ชั่วโมง แล้วเอาพลาสติกใสมาตัดให้ได้ความยาว 120 เซนติเมตร และกว้าง 26 เซนติเมตร จำนวน 6 แผ่น แล้ววางซ้อนกันไว้ และต่อมาก็เอาแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ที่ตัดไว้ขนาดความกว้าง 24 เซนติเมตร และความยาว 100 เซนติเมตร จำนวน 2 แผ่นแทรกเข้าไประหว่างแผ่นพลาสติก โดยให้แต่ละแผ่นของอลูมิเนียมฟอยล์นั้นคั่นไว้ด้วยจำนวนของแผ่นพลาสติกจำนวน 3 แผ่น และพยายามรีดให้แผ่นอลูมเนียมฟอยล์แนบติดกับแผ่นพลาสติกให้เรียบที่สุด แล้วเอาขั้วไฟฟ้าต่อบนแผ่นอลุมิเนียมฟอยล์ขั้วละแผ่น และให้ขั้วไฟฟ้าที่ต่อให้อยู่คนละข้างของด้านกว้างของอลูมิเนียมฟอยล์ แล้วหลังจากนั้นก็ม้วนทั้งแผ่นพลาสติกและแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ให้เป็นท่อทรงกระบอกโดยที่มีความกระชับมากที่สุดเพื่อให้ช่องว่างภายในมีน้อยที่สุด หลังจากนั้นค่อย ๆ สอดเข้าไปในท่อ P.V.C. ที่ตัดเตรียมไว้แล้ว แล้วหลังจากนั้นก็นำไปทดสอบกับความต่างศักย์ไฟฟ้าขนาด 10 กิโลโวลต์ ดูก่อนว่าเกิดการรั่วระหว่างแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ทั้งสองหรือเปล่า เมื่อทดสอบเสร็จแล้วผลปรากฏว่าไม่รั่วก็นำไปปิดหัวท้ายของขอบของอลูมิเนียมฟอยล์ด้วยกาวอีพอกซี่ทั้งสองข้าง และหลังจากนั้นเมื่ออีพอกซีแห้งแล้วก็ปิดหัวข้างหนึ่งของท่อด้วยพลาสติกและต่อสายขั้วออกมาด้วย และนำไปแช่ในน้ำมันหม้อแปลงทิ้งไว้ 1 คืน แล้วเอามาปิดหัวท้ายอีกข้างหนึ่งโดยต่อสายขั้วออกมาเช่นกัน และทิ้งไว้ 40 ชั่วโมง หลังจากนั้นก็นำไปทดสอบกับศักย์ไฟฟ้าสูงขนาด 15 กิโลโวลต์ขึ้นไป แล้วนำไปวัดค่าความจุของตัวเก็บประจุ และตัวเก็บประจุตัวอื่น ๆ ก็

ทำวิธีเดียวกัน ดังกล่าว

ลักษณะต่างๆของส่วนประกอบของตัวเก็บประจุแสดงดังรูปข้างล่างนี้





รูปที่ 4.3 แสดงการตัดส่วนประกอบของตัวเก็บประจุ

ก. แผ่นพลาสติก

ข. แผ่นอลูมิเนียม

ค. การเอาแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์แทรกเข้าไปในระหว่างแผ่นพลาสติกที่ซ้อนกันอยู่และต่อขั้วไฟฟ้าออกมา

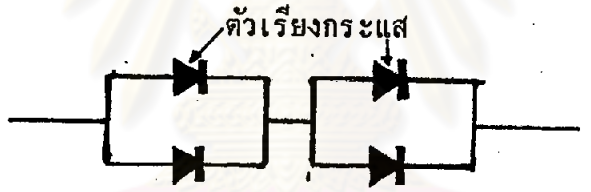
ง. และ จ. การม้วนแผ่นพลาสติกและแผ่นอลูมิเนียม

ฉ. การเอาแผ่นพลาสติกและแผ่นอลูมิเนียมซ้อนกันสอดเข้าไปในท่อพีวีซี

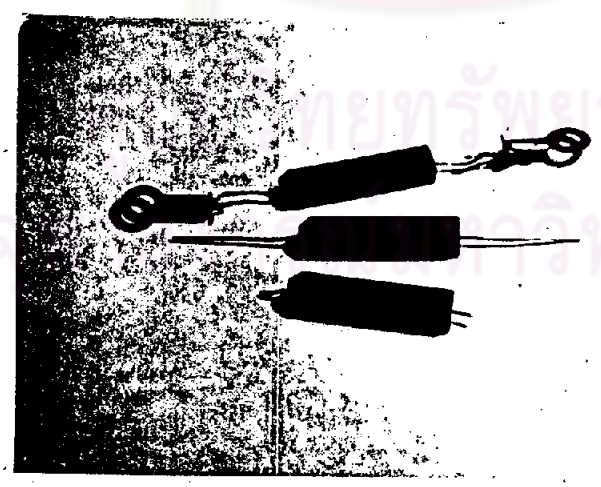
ช. ตัวเก็บประจุที่สมบูรณ์ที่จะนำไปใช้งาน

4.2.3 ตัวเรียงกระแส (diode) ตัวเรียงกระแสที่ใช้นี้เป็นตัวเรียงกระแสชนิดเซมิคอนดัคเตอร์ (semiconductor) ซึ่งใช้ได้ทันที ที่ใช้ในการทำวิจัยนี้เพื่อต่อเข้ากับวงจรร่วมกับตัวเก็บประจุที่สร้างขึ้นเพื่อให้ได้ศักย์ไฟฟ้าลบออกมาเป็นเอาท์พุท ตัวเรียงกระแสที่ใช้นี้ใช้เบอร์ เอชวีที-22 ดีบี (HVT-22DB) ซึ่งเป็นชนิดพี-เอ็นจังชัน สามารถทนศักย์ไฟฟ้าย้อนกลับได้ถึง 12 กิโลโวลต์ และให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ 20 มิลลิแอมแปร์ ดังนั้น จึงใช้แต่ละจุดทั้งหมด 4 ตัว โดยเอาต่ออนุกรมชุดละ 2 ตัว และแต่ละชุดที่ต่ออนุกรมกันก็เอามาต่อกันแบบขนาน จึงสามารถทนศักย์ไฟฟ้าได้ถึง 24 กิโลโวลต์และสามารถให้กระแสไหลผ่านได้ 40 มิลลิแอมแปร์ ลักษณะการต่อของตัวเรียงกระแสแต่ละตัวต่อเข้าด้วยกัน และตัวเรียงกระแสที่เท่ากันของจริงนั้นดูได้จากรูปที่ 4.4ก และลักษณะการต่อตัวเรียงกระแสเข้ากับวงจรเพื่อให้ได้ศักย์ไฟฟ้าสูงดูได้จากรูปที่ 4.4ข

ก.



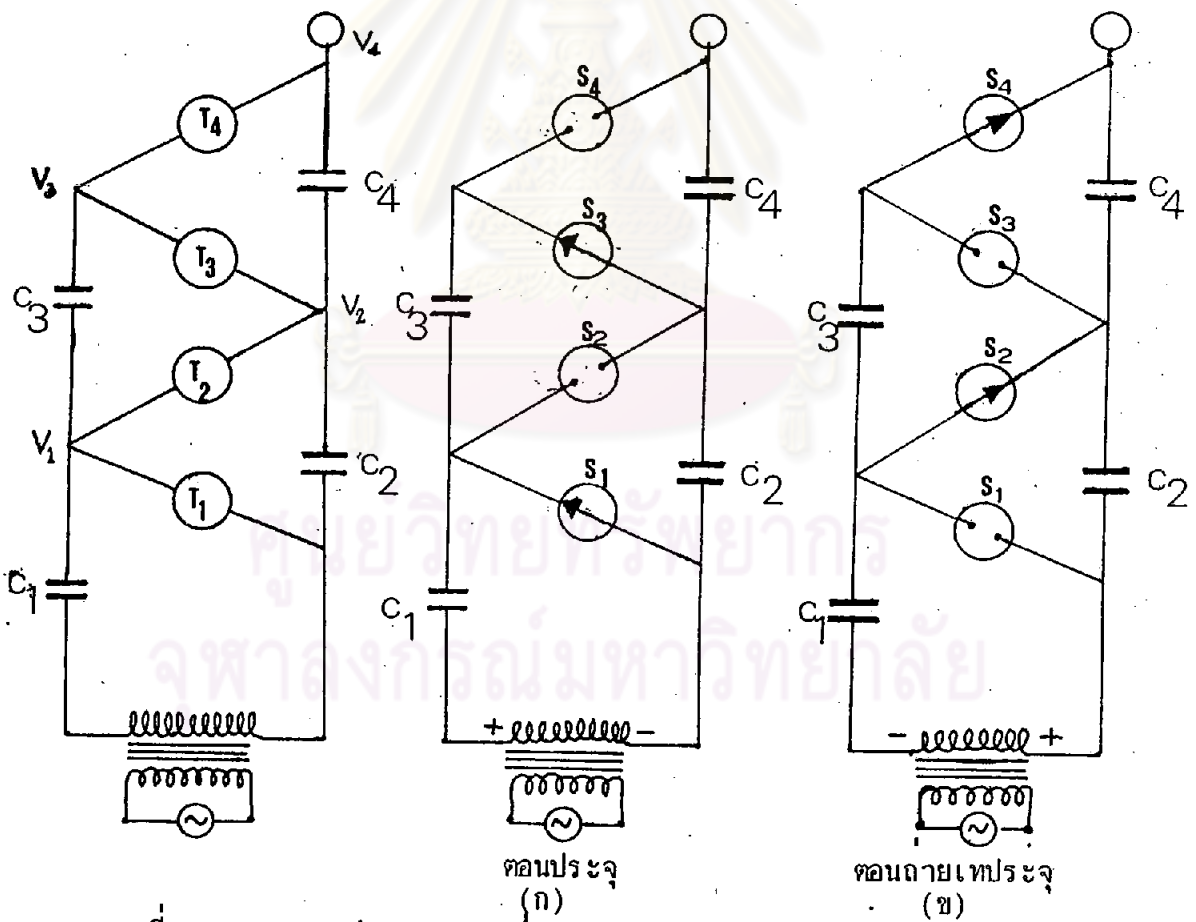
ข.



รูปที่ 4.4 ก แสดงการต่อตัวเรียงกระแส
ข. ตัวเรียงกระแสที่ใช้งาน

4.2.4 หม้อแปลงไฟฟ้า (transformer) หม้อแปลงนี้ใช้เป็นอินพุท (input) ของวงจรไฟฟ้าศักย์สูง เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าของนีออน ทรานฟอร์เมอร์ (neon transformer) ชนิด 1969 เบอร์ 89002 (Type 1969 No. 89002) ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ความถี่ 50 รอบต่อวินาที โดยมีอินพุท 230 และเอาท์พุท 15000 โวลต์ ซึ่งผลิตในฮ่องกง โดยมีจำหน่ายมากในประเทศไทย ลักษณะการต่อหม้อแปลงเข้ากับอุปกรณ์เพื่อให้ได้ศักย์ไฟฟ้าความต่างศักย์สูงจะเป็นไปตามรูปที่ 4.5 ซึ่งได้กล่าวละเอียดในบทที่ 3 แล้ว และจะกล่าวอีกครั้งหนึ่งคือ

ลักษณะการต่อวงจรศักย์ไฟฟ้าสูงนี้อาศัยทฤษฎีในบทที่ 3 ตามวงจรของ Cockcroft & Walton โดยการเอาตัวเก็บประจุ ตัวเรียงกระแสและหม้อแปลงต่อกัน ดังรูป 4.5

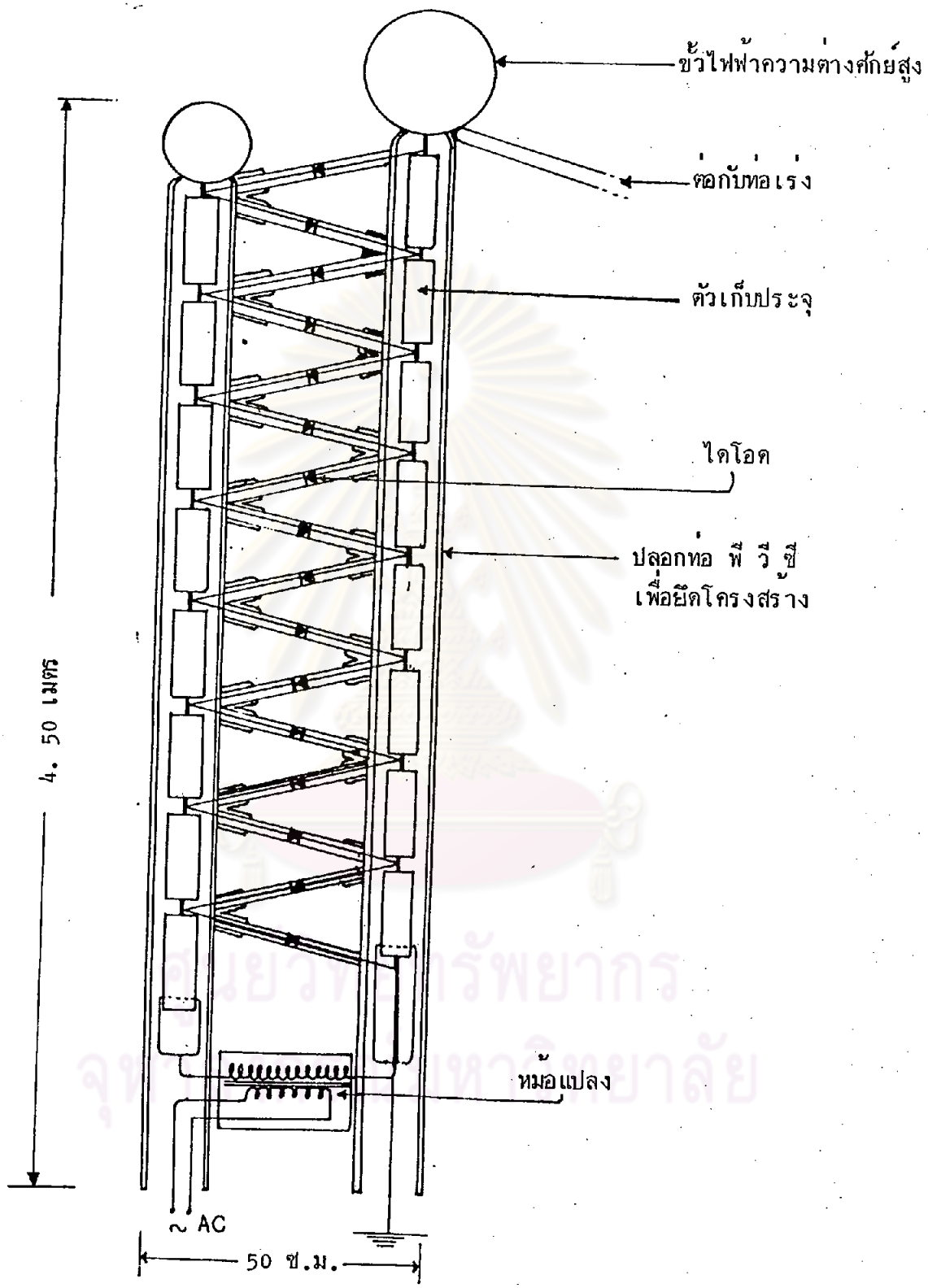


รูปที่ 4.5 แสดงถึงลักษณะการต่อวงจรแบบ Cockcroft-Walton

ลักษณะการทำงานของวงจรโดยตัวเรียงจากรูปที่ 4.5 เมื่อหม้อแปลงปล่อยกระแสไฟฟ้าในครึ่งรอบที่เป็นบวก T_1 ก็จะทำตัวเป็นตัวนำไฟฟ้าให้กระแสไหลได้ ถ้าดูในรูป ก. แล้ว S_1 ก็จะเป็นสวิทช์ที่ปิด (ให้กระแสไหลได้) และตัวเก็บประจุ C_1 ก็จะมีการเก็บประจุได้ V_1 โวลต์ และที่ครึ่งรอบใด ๆ ที่เป็นบวกแล้ว ตัวเก็บประจุ C_1 ก็จะมีการเก็บประจุตลอดเวลา และพอในช่วงที่เป็นครึ่งรอบที่เป็นลบ (-) แล้ว สวิทช์ S_1 และสวิทช์ S_2 ก็จะทำตัวเป็นตัวนำให้กระแสไหลได้ และตัวเก็บประจุ C_1 ก็จะถ่ายเทประจุร่วมกับตัวเก็บประจุ C_2 และขณะเดียวกันตัวเก็บประจุ C_2 ก็จะประจุร่วมกับ C_3 ตลอดการปิดและการเปิดของสวิทช์ S_1 และ S_2 และขณะนี้จะทำให้ V_2 จะมีค่าศักย์ไฟฟ้าเป็น $+ 2V_1$ และ V_4 ก็จะเท่ากับ $+4V_1$ และถ้าเราคิดถึงการทำงานของสวิทช์ T_1 และ T_2 กับตัวเก็บประจุร่วมกันของ C_1 และ C_2 แล้วจะอยู่ในลักษณะของขั้นเดี่ยว (single stage) ซึ่งการแปลงไฟฟ้าลักษณะนี้เรียกว่า ความต่างศักย์สองเท่า (voltage doubler) และถ้าเอาแต่ละขั้นมาต่ออนุกรมกันก็จะทำให้ได้ศักย์ไฟฟ้าออกมาเป็นจำนวนเท่าของศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากหม้อแปลง จำนวนเท่าที่ได้ก็คือจำนวนขั้นนั่นเอง

จากลักษณะการในรูปที่ 4.5 นั้นจะเห็นว่าศักย์ไฟฟ้าที่ได้ออกมาที่ V_4 นั้นเป็นศักย์ไฟฟ้าบวก แต่ถ้าเราต้องการศักย์ไฟฟ้าลบแล้ว ก็ทำโดยการเปลี่ยนทิศทางของสวิทช์ T_1, T_2, T_3 และ T_4 ให้มีทิศทางตรงข้ามกับวิธีแรกก็จะทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่ได้ออกมาเป็นศักย์ไฟฟ้าลบตามต้องการ และก็เทียบลักษณะของสวิทช์ T_1, T_2, T_3 และ T_4 คล้าย ๆ กับตัวเรียงกระแสที่ใช้กับการวิจัยนี้ ทั้งนี้การต่อให้ได้ศักย์ไฟฟ้าลบ (-) สูงนั้นเป็นไปดังรูปที่ 4.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะการต่อวงจรเพื่อให้ได้ศักย์ไฟฟ้าสูงตามลักษณะที่ใช้งานจริง

4.3 แหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบเครื่องเร่งโปรตอน

แหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อไปทำให้เกิดการทำงานของระบบการเร่งโปรตอน

4.3.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าแหล่งกำเนิดไฟฟ้าความต่างศักย์สูง (high voltage) ที่สร้างขึ้นเอง โดยใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ผ่านหม้อแปลงเปลี่ยนค่าได้ (variable transformer or variac) ชื่อโวลเทค (voltac) ชนิดทีเอสบี-10เอ็ม (TSB-10 M) ของบริษัท โยโกยามาอิเล็กตริกเวิร์ค (Yokoyama Electric Work, Co., Ltd) ผ่านหม้อแปลงชนิดแปลงขึ้น (stepup transformer) โดยมีอินพุท 230 โวลต์ เอาท์พุท 15 กิโลโวต์ ชนิดที่ 1523 (T 1523) ของบริษัท สแตนดาร์ดอิเล็กตริกเวิร์ค (Standard Electric Works, Co.,Ltd) และต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าความต่างศักย์สูงที่ทำขึ้นเองชนิดศักย์แบบทวีคูณ (high voltage multiplier) โดยมีอินพุท 15 กิโลโวลต์ และเอาท์พุทที่ขั้วสูงสุด ประมาณ 150 กิโลโวลต์ และต่อเชื่อมกับตัวแบ่งศักย์ (voltage divider) และต่อเข้ากับขั้วไฟฟ้า (electrode) ของท่อเร่งดังรูปที่ 4.7

4.3.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าแหล่งกำเนิดไอออน โดยใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ผ่านเข้าหม้อแปลงเปลี่ยนค่าได้ (variable transformer or variac) ชื่อสไลด์เรคคูเลเตอร์ (slide regulater) ของบริษัทมาตุนากา เอ็มเอฟจี (Matsunaga M.F.G. Co., Ltd) และผ่านเข้าหม้อแปลงชนิดแปลงขึ้น (stepup transformer) โดยมีอินพุท (input) 110 volt และเอาท์พุท (output) 10 กิโลโวลต์ ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ความต่างศักย์ระหว่าง 600 - 3000 โวลต์ ผ่านวงจรบริดจ์เรคติไฟเออร์ (bridge rectifier) เพื่อให้ได้กระแสตรงไปเข้าคาโธดทั้งสอง และแอโนดของแหล่งกำเนิดไอออน ดังรูปที่ 4.7

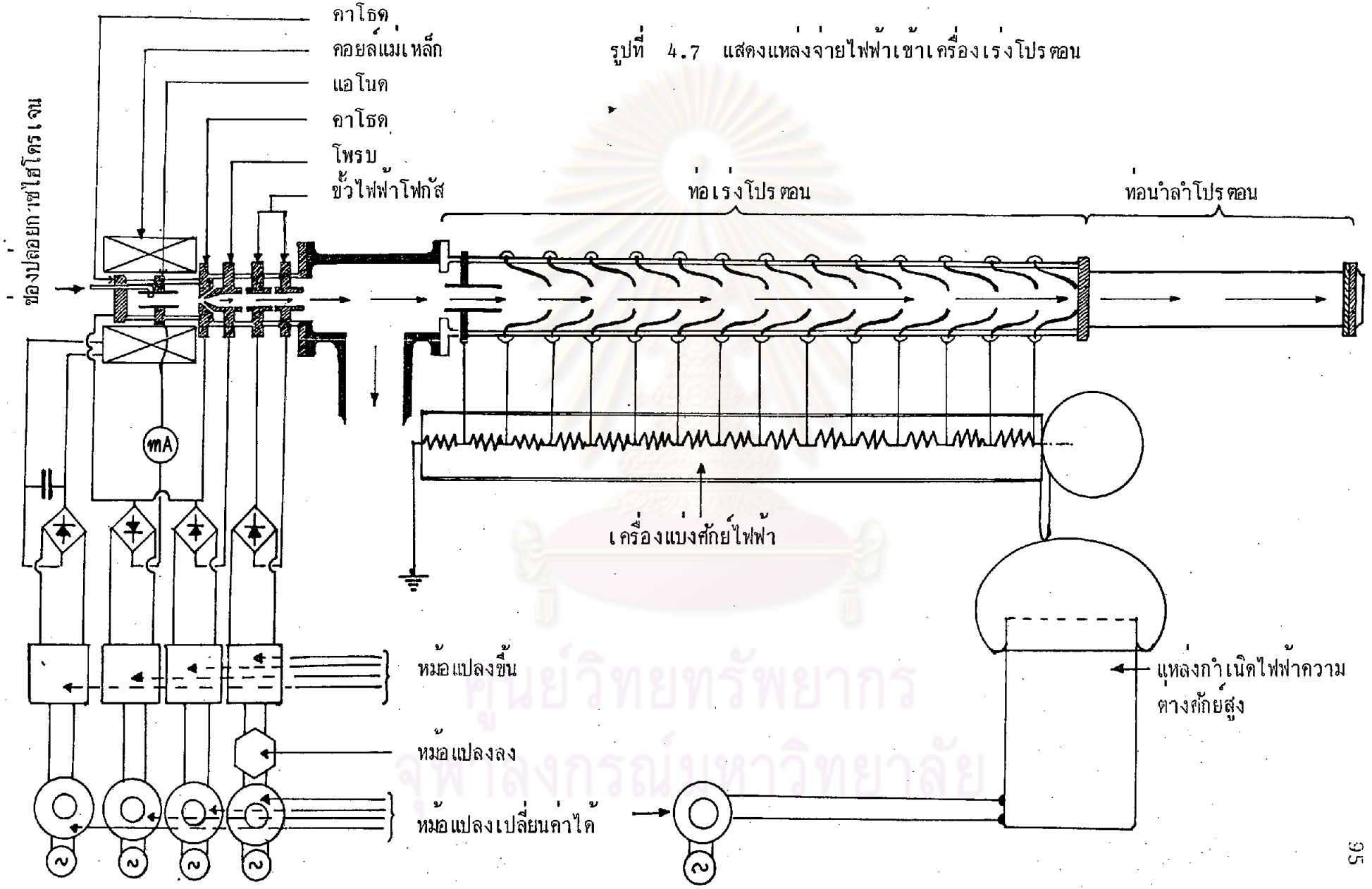
4.3.3 แหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าคอยล์สนามแม่เหล็ก คอยล์สนามแม่เหล็กเป็นส่วนหนึ่งของแหล่งกำเนิดไอออนมีหน้าที่ทำให้มีการไอออนไนซ์ (ionization) เพิ่มมากขึ้น แหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าคอยล์แม่เหล็กโดยใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ผ่านเข้าหม้อแปลงที่เปลี่ยนค่าได้ ชื่อเพาเวอร์สเตท (power-stat) ของบริษัทสุพีเรียอิเล็กตริก (Superior Electric, Co., Ltd) และที่เอาท์พุท (output) ของหม้อแปลงมีวงจรบริดจ์เรคติไฟเออร์

เพื่อให้ได้กระแสตรงไปเข้าคอยล์แม่เหล็ก ซึ่งการทดลองจะต้องใช้กระแสตรงอยู่ระหว่าง 0 — 20 แอมแปร์ (Ampere) ดังรูปที่ 4.7

4.3.4 แหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าขั้วไฟฟ้าโพรบ (probe electrode) สร้างขึ้นเองโดยใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ผ่านเข้าหม้อแปลงที่เปลี่ยนค่าได้ชื่อ โวลเตค (Voltac) ชนิด ทีเอสบี-10 เอ็ม (TSB-10 M) ของบริษัทโยโกยามาอิเล็กตริกเวิร์ค (Yokoyama Electic Works, Ltd) และผ่านหม้อแปลงชนิดแปลงขึ้น (step up transformer) โดยมีอินพุท 230 โวลต์ เอาท์พุท 15 กิโลโวลต์ ชนิด ที 1523 (T 1523) ของบริษัท สแตนดาร์ดอิเล็กตริกเวิร์ค (Standard Electric Works, Ltd.) ซึ่งในการทดลองนี้ขั้วไฟฟ้าโพรบต้องการความต่างศักย์ระหว่าง 7,000 ถึง 10,000 โวลต์ ผ่านเข้าวงจรบริดจ์เรคติไฟเออร์ เพื่อให้ได้กระแสตรงไปเข้าขั้วไฟฟ้าโพรบ (probe) นี้ดังรูปที่ 4.7

4.3.5 แหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าส่วนโฟกัส ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ผ่านเข้าหม้อแปลงที่เปลี่ยนค่าได้แบบเดียวกับหม้อแปลงตัวแรกของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าขั้วไฟฟ้าโพรบและจากนี้ผ่านเข้าหม้อแปลงชนิดแปลงลง (step down transformer) โดยมีอินพุท 220 โวลต์ และเอาท์พุท 20 โวลต์ ของบริษัท เลย์โบลด์ (Leybold) ประเทศเยอรมัน เพื่อจะได้วัดค่าความต่างศักย์อย่างละเอียดขึ้นก่อนต่อเข้าหม้อแปลงชนิดแปลงขึ้นอีกที หม้อแปลงชนิดแปลงขึ้นมีอินพุท 110 โวลต์ และเอาท์พุท 64 กิโลโวลต์ เป็นของบริษัทวัตสันและสันส์ (Watson & Sons Ltd) ซึ่งการทดลองนี้ใช้ค่าความต่างศักย์ระหว่าง 0 ถึง 9,000 โวลต์ ผ่านวงจรบริดจ์เร็คติไฟเออร์ เพื่อให้ได้กระแสตรงเข้าขั้วไฟฟ้าการโฟกัส ดังวงจรรูปที่ 4.7

4.3.6 แหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าท่อเร่งโปรตอน แหล่งจ่ายไฟฟ้านี้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่สำคัญมาก ทั้งนี้เป็นศักย์ไฟฟ้าสูงขนาด 150 กิโลโวลต์ แหล่งจ่ายไฟฟ้านี้ใช้ไฟฟ้าอินพุท 220 โวลต์ ผ่านเข้าหม้อแปลงเปลี่ยนค่าได้ (variac) ชื่อโวลเทคชนิดทีเอสบี-10 เอ็ม (TSB-10 M) ของบริษัท โยโกยามา อิเล็กตริกเวิร์ค (Yokoyama Electric Work, Ltd) ผ่านเข้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความต่างศักย์สูงที่สร้างขึ้นเอง โดยมีอินพุท 230 โวลต์และเอาท์พุทประมาณ 150 กิโลโวลต์ ผ่านเข้าตัวแบ่งศักย์ (voltage divider) และผ่านเข้าขั้วไฟฟ้าของท่อเร่งตลอดแนวท่อเร่ง ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงแหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าเครื่องเร่งโปรตอน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 ท่อเร่งอนุภาคแบบท่อตรง (linear accelerating column)

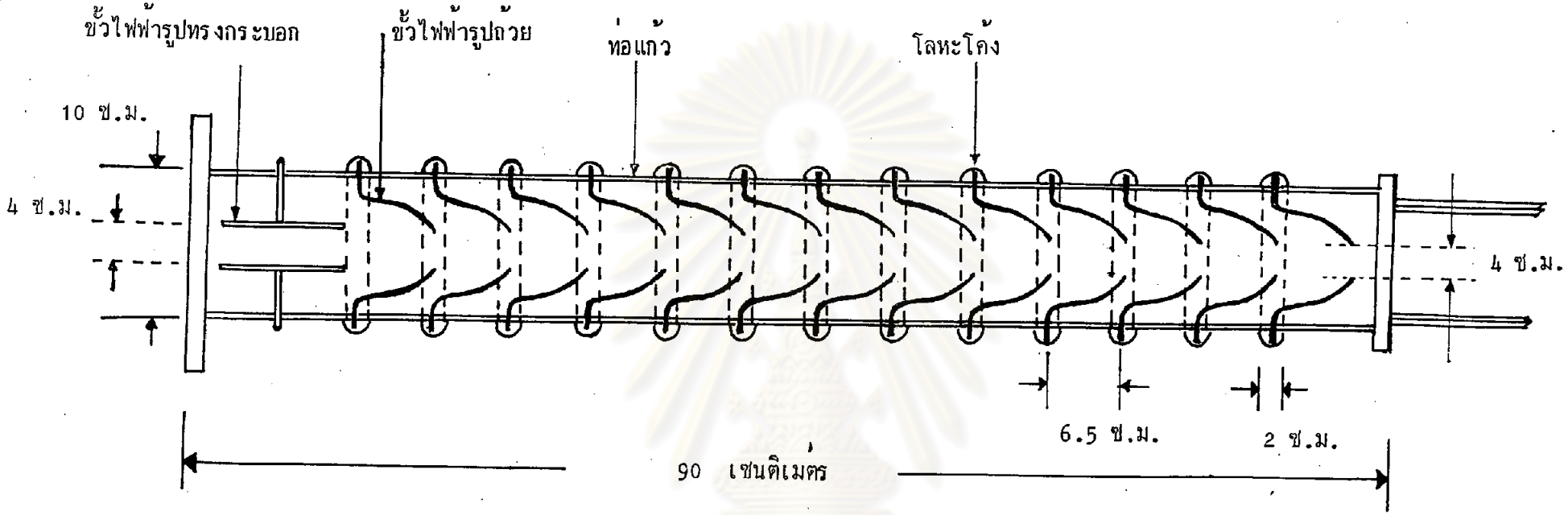
ท่อเร่งที่สร้างขึ้นนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

4.4.1. ส่วนท่อเร่ง (accelerating column)

4.4.2. ส่วนนำลำโปรตอนหรือลำอนุภาค (beam tube)

4.4.1 ส่วนท่อเร่ง ประกอบด้วย ขั้วไฟฟ้า มีลักษณะเป็นรูปกรวยกลมหัวตัดคล้ายกับถ้วย (cup) เป็นโลหะ (stainless steel) ซึ่งมีความหนาประมาณ 0.1 เซนติเมตร ตลอดทั่วทุกพื้นที่ของขั้วไฟฟ้านี้ โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางที่ขอบนอกสุด 7 เซนติเมตร และตรงกลางของขั้วไฟฟ้านี้เจาะรูกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร และที่ขอบนอกของขั้วไฟฟ้านี้เชื่อมติดกับแผ่นโลหะรูปวงแหวน ซึ่งมีรัศมีภายใน 6.8 เซนติเมตร และรัศมีภายนอก 11 เซนติเมตร และมีความหนา 0.2 เซนติเมตร และที่ขอบวงแหวนโลหะนี้มีโลหะต่อออกมายาว 2 เซนติเมตร เพื่อทำหน้าที่เป็นขั้วหรือส่วนที่ต่อกับขั้วไฟฟ้าความต่างศักย์สูงที่ตัวแบ่งศักย์ (voltage divider) แต่ละอันของขั้วไฟฟ้าจะต่อเชื่อมกับท่อแก้วทรงกระบอกทนความร้อนและแรงกระทำเนื่องจากแรงดัน หนาประมาณ 0.2 เซนติเมตร ยาวท่อละ 6.5 เซนติเมตร ด้วยกาวอีพอกซี (epoxy) ขั้วไฟฟ้าและท่อแก้วทรงกระบอกมีทั้งหมด 13 ขั้ว และ 14 ท่อ ตามลำดับ ทั้งหมดต่อเชื่อมอยู่ระหว่างท่อแก้วโดยมีแกนกลางอยู่ในแนวเดียวกัน และสำหรับขั้วไฟฟ้าหนึ่งจะเอาด้านที่เหมือนกันไปในทิศทางเดียวกัน ดังรูปที่ 4.8

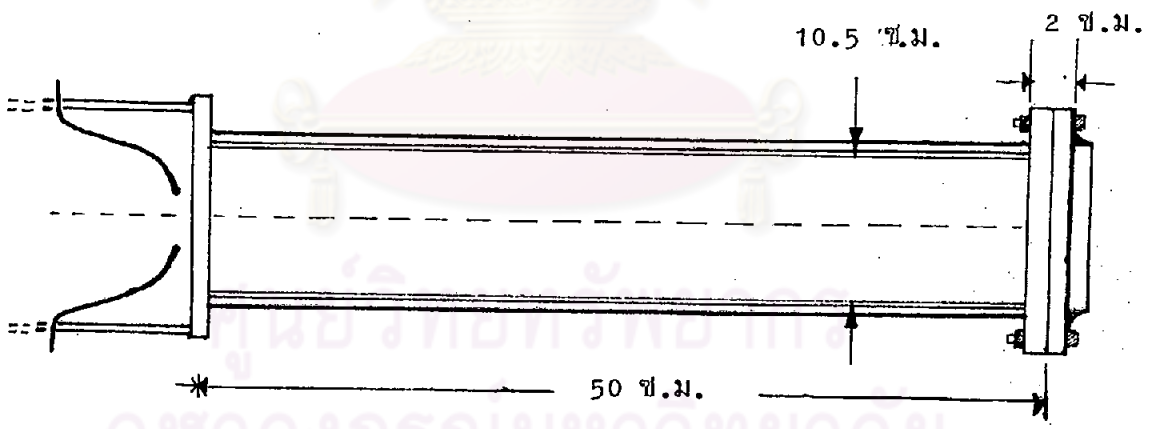
สำหรับขั้วไฟฟ้าอีกอันหนึ่งซึ่งติดอยู่ส่วนท้ายสุดตรงฐานของท่อเร่งก่อนที่จะเชื่อมกับฐานของท่อเร่ง โดยมีท่อแก้วทรงกระบอกเชื่อมอยู่ระหว่างเช่นกันนั้นจะเป็นขั้วไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นแผ่นอลูมิเนียมกลมหนา 1 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 14 เซนติเมตร และตรงกลางมีรูปเป็นรูปวงรีกลมมีท่อลูมิเนียมกลวงที่หนา 0.1 เซนติเมตร รัศมี 4 เซนติเมตร และยาว 10 เซนติเมตรสอดอยู่ตรงกลางนั้น ดังรูปที่ 4.8 และที่ขอบของขั้วไฟฟ้าในท่อเร่งแต่ละขั้วนั้นบริเวณด้านนอกจะมีลักษณะเป็นขอบโลหะโผล่ออกจากผิวท่อแก้วออกไปส่วนนี้จะถูกครอบด้วยวงแหวนโลหะที่มีลักษณะโค้ง โดยที่ขอบด้านในจะสัมผัสกับผิวท่อแก้ว และส่วนโค้งจะหุ้มขอบของขั้วไฟฟ้าตลอดรอบท่อแก้วนี้เพื่อป้องกันการถ่ายเทประจุบางส่วน (partial discharge) ดังรูปที่ 4.8 และตรงบริเวณปลายของท่อเร่งนี้จะเชื่อมกับส่วนนำลำโปรตอน



รูปที่ 4.8 แสดงส่วนประกอบของท่อเร่งบริเวณส่วนเร่งของเครื่องเร่งโปรตอน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

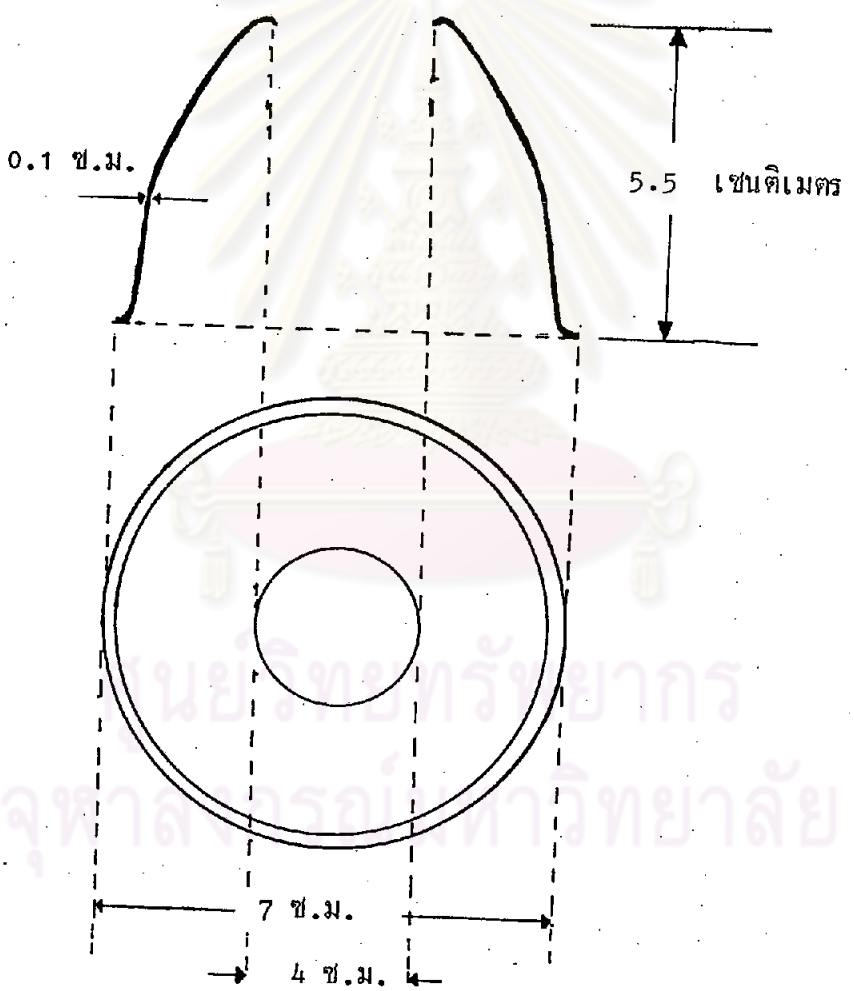
4.4.2 ส่วนนำลำโปรตอน ส่วนนี้เป็นส่วนที่ให้ลำของโปรตอนที่ผ่านจากการเร่งและโฟกัสแล้วเคลื่อนผ่านไปได้ตลอด ส่วนนี้จะเชื่อมกับท่อเร่งตรงปลายท่อเร่งโดยมีแกนกลางร่วมกับท่อเร่ง โดยใช้ท่อแก้วทรงกระบอกหนา 6 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 10.5 มิลลิเมตร โดยใช้กาวอีพอกซีที่เป็นฉนวนไฟฟ้าอย่างดี และต่อจากนั้นก็ใช้วงแหวนพลาสติกเชื่อมต่อกับกระจกอีกครั้งหนึ่ง และต่อจากวงแหวนพลาสติกจะเป็นท่อแก้วทรงกระบอกหนา 6 มิลลิเมตรอีกครั้งหนึ่ง ทั้งนี้เพื่อเสริมความแข็งแรงของท่อแก้วทรงกระบอกด้านในซึ่งมีความหนา 1.5 มิลลิเมตรเท่านั้น โดยให้ผิวของท่อแก้วด้านนอกกับผิวของท่อ พี.วี.ซี. ด้านในแนบกันสนิทกันพอดีและเชื่อมด้วยกาวอีพอกซี (epoxy) ส่วนด้านปลายสุดของส่วนโฟกัสจะยึดด้วยวงแหวนอลูมิเนียมหนา 1 เซนติเมตร 2 อัน อันหนึ่งติดกับท่อ อีกอันหนึ่งปิดเปิดออกได้โดยใช้น็อต และตรงกลางของวงแหวนอลูมิเนียมแผ่นที่ 2 จะมีกระจกหนา 6 มิลลิเมตร เปิดไว้อีกทีหนึ่งโดยประกบไว้โดยใช้กาวอีพอกซีเป็นตัวเชื่อม เพื่อสำหรับมองดูข้างในท่อว่าเกิดการโฟกัสของโปรตอนกับฉากหรือไม่ ลักษณะของท่อนำลำโปรตอนนี้ดูได้จากรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงส่วนท่อนำลำโปรตอน

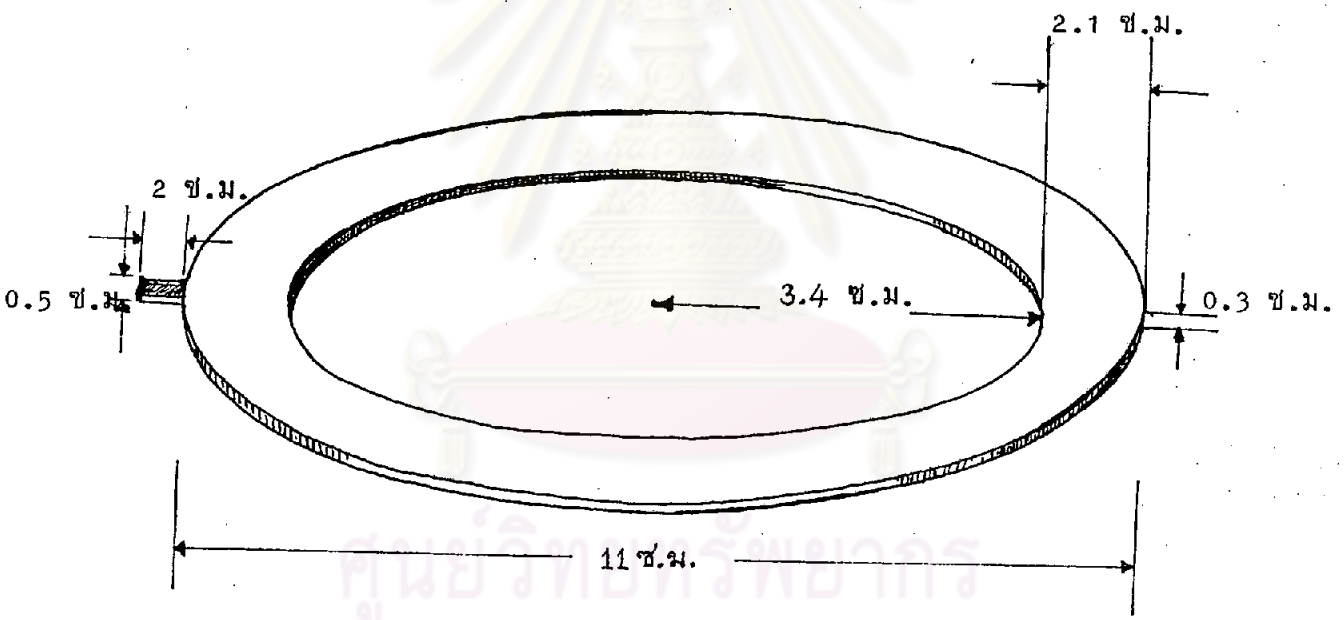
4.5 ส่วนประกอบของท่อเร่งและส่วนนำลำโปรตอนเมื่อแยกออกแล้วมีรายละเอียดดังนี้

4.5.1. ขั้วไฟฟ้า (electrode) ทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าเพื่อให้เกิดสนามภายในท่อเร่งร่วมกับขั้วไฟฟ้าอันถัดไป เมื่อแยกออกให้เห็นชัดเจนจากท่อแก้วแล้วจะมีลักษณะเป็นรูปถ้วยคล้าย ๆ กรวย เป็นโลหะสเตนเลสสตีล (stainless steel) ผิวของโลหะเรียบเป็นมันวาว รัศมีขอบนอกสุด 7 เซนติเมตร และภายใน 4 เซนติเมตร ความหนาตลอดทั่วทุกผิว 0.1 เซนติเมตร ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 รูปแสดงลักษณะขั้วไฟฟ้าของท่อเร่งโปรตอน

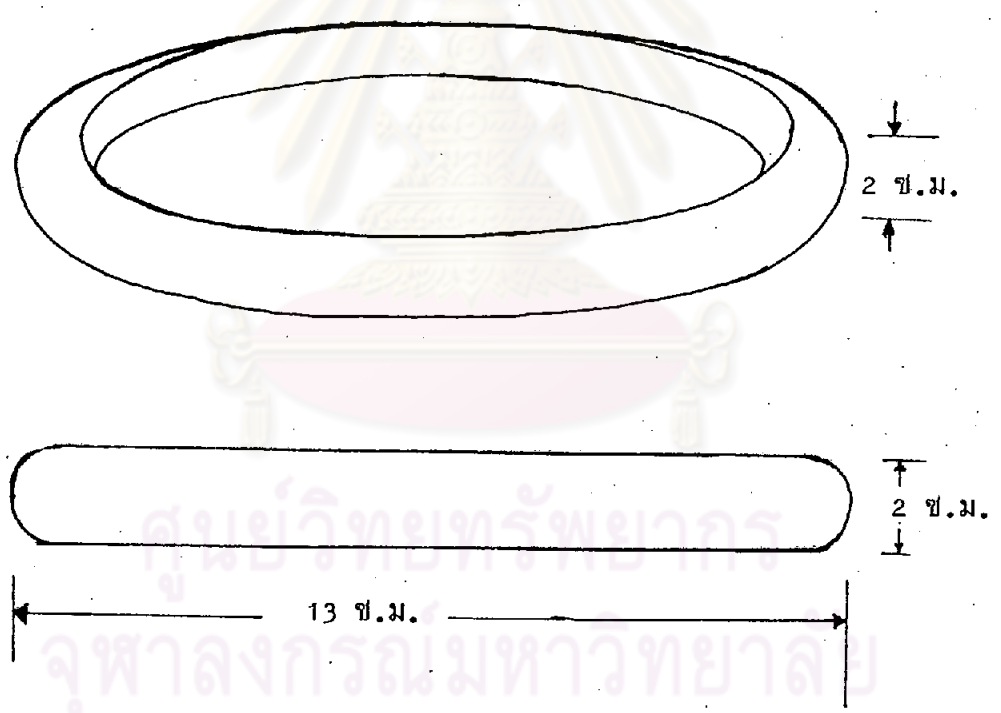
4.5.2 วงแหวนโลหะ ทำหน้าที่ยึดขั้วไฟฟ้าภายในท่อเร่งติดกับท่อแก้วทรงกระบอก เพื่อให้ขั้วไฟฟ้าอยู่ในตำแหน่งตรงกลางของท่อแก้วทรงกระบอก และส่วนหนึ่งของวงแหวนโลหะนี้จะอยู่นอกท่อแก้วอีกทีหนึ่ง ทั้งนี้เพื่อเป็นส่วนที่ท่อแก้ว กาวอิพอกซี จะได้มีพื้นที่ยึดติดมากขึ้น โดยที่รัศมีขอบนอกของวงแหวนโลหะนี้เท่ากับ 5.5 เซนติเมตร รัศมีภายในมีค่าเท่ากับ 3.4 เซนติเมตร และมีขนาดความหนา 0.3 เซนติเมตร และที่ขอบของวงแหวนจะมีโลหะยื่นออกมายาว 2 เซนติเมตร กว้าง 0.5 เซนติเมตร ทำหน้าที่ต่อเชื่อมกับไฟฟ้าศักย์สูงที่ต่อเข้าขั้วไฟฟ้าของท่อเร่ง ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะของวงแหวนที่ยึดระหว่างขั้วไฟฟ้าของท่อเร่งกับท่อแก้ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5.3 โลหะโค้ง ตัวโลหะโค้งนี้สำคัญมากในการทำท่อเร่งในลักษณะที่ขั้วไฟฟ้ายื่นออกมานอกท่อเร่ง ทั้งนี้ขั้วไฟฟ้าเป็นโลหะซึ่งบางส่วนอาจจะมีส่วนที่มีปลายแหลม ซึ่งอาจจะเกิดการดิสชาร์จบางส่วน (discharge) ของไฟฟ้ากับอากาศหรือระหว่างขั้วไฟฟ้าด้วยกันก็ได้ ดังนั้น ตัวโลหะโค้งนี้จะเป็นตัวป้องกันได้อย่างดี ทั้งนี้ผิวของโลหะโค้งนี้จะมีลักษณะเรียบมันวาว ซึ่งจะห่อหุ้มส่วนของขั้วไฟฟ้าที่ยื่นออกมาจากท่อแก้วไว้หมดตลอดรอบท่อแก้ว โดยแต่ละขั้วก็มีวงแหวนโค้ง 1 วงกลมรอบไว้ ขนาดของโลหะโค้งนี้จะมีความกว้าง 2 เซนติเมตร รัศมีขอบนอกเท่ากับ 6.5 เซนติเมตร และรัศมีขอบด้านในเท่ากับรัศมีของท่อแก้วทรงกระบอก ลักษณะของโลหะโค้งนี้ แสดงดังรูปที่ 4.12

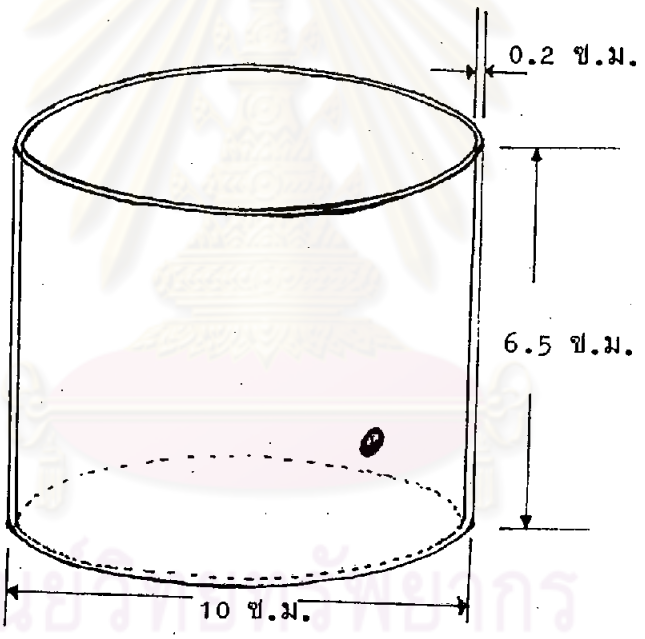


รูปที่ 4.12 แสดงลักษณะของวงแหวนโค้งรอบขั้วไฟฟ้าของท่อเร่ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5.4 ท่อแก้วทรงกระบอก ท่อแก้วนี้เป็นตัวเชื่อมระหว่างขั้วไฟฟ้าของท่อเร่ง

ลักษณะของท่อแก้วนี้จะมีความยาวท่อนละ 6.5 เซนติเมตร หนา 0.2 เซนติเมตร ท่อแก้วทรงกระบอกนี้จะต้องมีความยาวเท่ากับหมดตลอดแนวท่อเร่ง ทั้งนี้เพื่อให้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างท่อแก้วทรงกระบอกแต่ละอันเท่ากัน ซึ่งทำให้สนามไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าแต่ละช่วงมีลักษณะเหมือนกัน ท่อแก้วที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้เป็นท่อแก้วครอบตะเกียง ซึ่งทนความร้อนได้สูงมาก มีลักษณะโปร่งใส ตราผีเสื้อ ซึ่งผลิตในประเทศไทย มีลักษณะดังรูปที่ 4.13

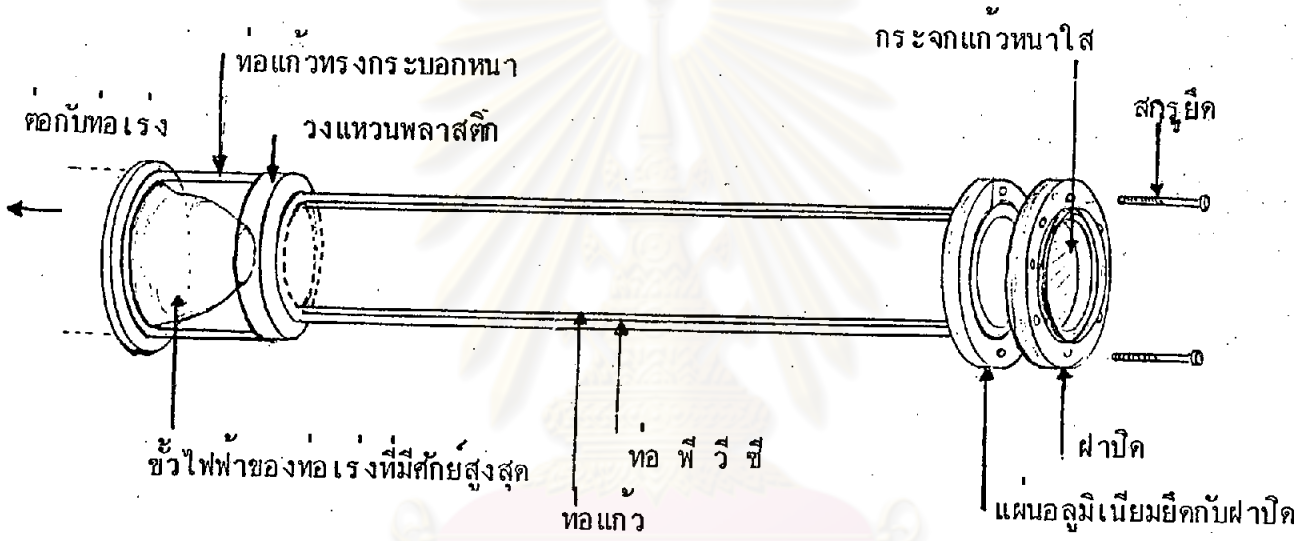


รูปที่ 4.13 แสดงรูปท่อแก้วทรงกระบอก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5.5 ส่วนนำลำโปรตอน

ส่วนนี้จะทำด้วยฉนวนทั้งหมดเพราะว่าส่วนนี้จะใกล้กับขั้วไฟฟ้าศักย์ลบสูงสุดดังนั้นเป็นการป้องกันอันตรายเนื่องจากไฟฟ้าไปในตัวด้วย ส่วนประกอบต่าง ๆ ของส่วนนำลำโปรตอนมีรายละเอียด ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงส่วนต่าง ๆ ที่ยึดติดกันของส่วนนำลำโปรตอน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

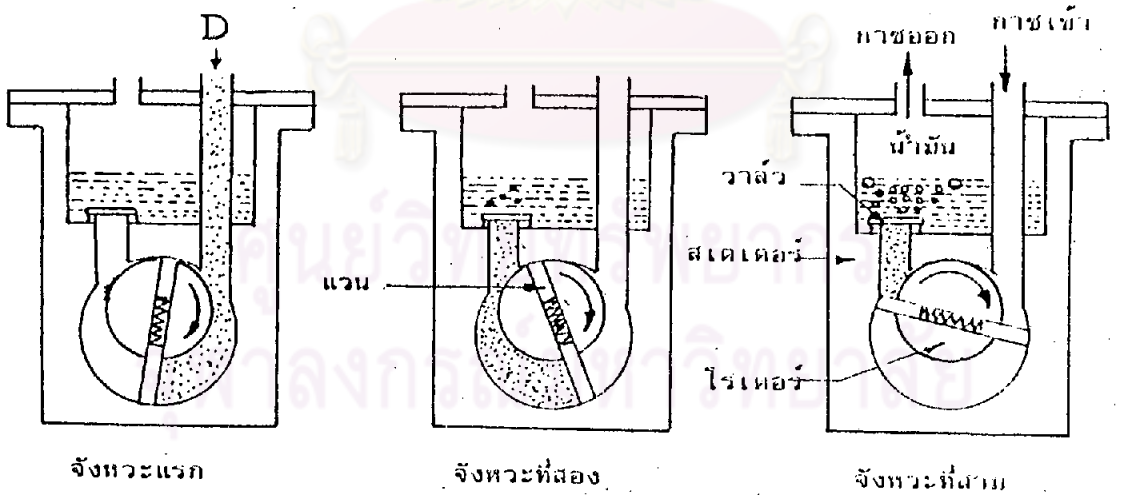
4.6 ระบบสูญญากาศ (vacuum system)

ระบบสูญญากาศประกอบด้วยปั๊มสูบอากาศ 2 ตัวคือ

4.6.1. ปั๊มกลโรตารีแบบเวน (mechanical rotary vane pump)

4.6.2. ปั๊มไอฟุ้งกระจาย (vapor diffusion pump)

4.6.1 ปั๊มกลแบบโรตารีแบบเวน (mechanical rotary vane pump) ประกอบด้วยภาชนะทำด้วยโลหะเป็นรูปทรงกระบอกกลวง เรียกว่า สเตเตอร์ (Stator) ภายในทรงกระบอกกลวงมีแท่งโลหะรูปทรงกระบอกหมุนได้โดยมอเตอร์ไฟฟ้าเรียกว่า โรเตอร์ (rotor) แกนของโรเตอร์อยู่ในตำแหน่งที่ทำให้แตะผิวของสเตเตอร์พอดี บริเวณที่แตะผิวด้านนี้เรียกว่า ทอปซีลโรเตอร์ (top seal rotor) จะถูกเจาะเป็นช่องเพื่อติดเวน (vane) 2 อัน เวน 2 อันนี้จะถูกดันด้วยสปริงให้ติดอยู่กับสเตเตอร์ตลอดเวลาที่โรเตอร์หมุน ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 แสดงปั๊มกลโรตารีแบบเวน

หลักการทำงานของปั๊มกลโรตารีแบบแวนนี้แบ่งออกได้เป็น 3 จังหวะ คือ จังหวะแรก โรเตอร์จะหมุนตามเข็มนาฬิกา ทำให้การดูดอากาศออกจากภาชนะสูญญากาศเข้าตัวปั๊มช่อง D

จังหวะที่ 2 เมื่อโรเตอร์หมุนไปถึงมุม 180° กาซที่ดูดเข้าจะถูกอัดแล้วส่งออกทางลิ้น E ปกติลิ้นนี้จะปิดและมีน้ำมันปั๊มอยู่โดยรอบ กาซที่ดูดออกนี้จะถูกขับออกจากปั๊มนี้จะต้องมีความดันสูงกว่าความดันของบรรยากาศปกติเล็กน้อย

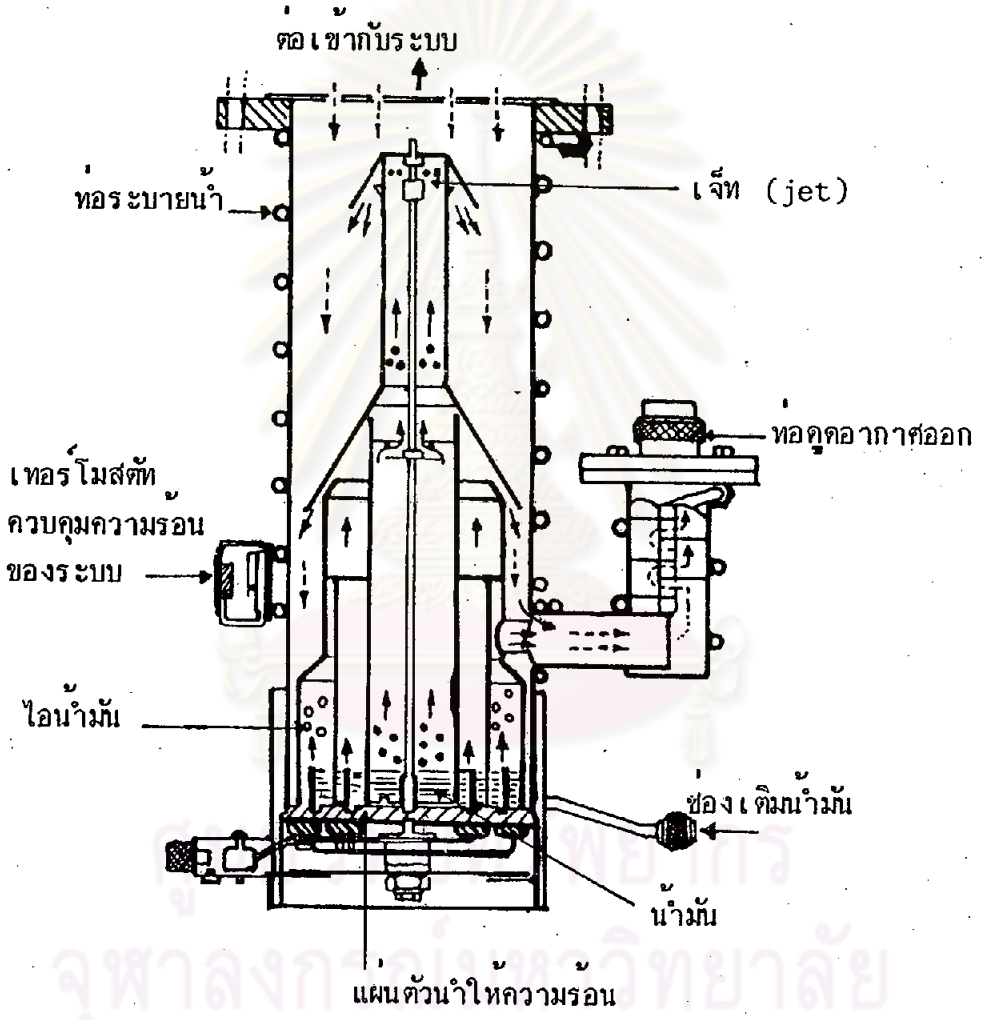
จังหวะที่ 3 กาซที่ถูกอัดและจะถูกส่งออกไปข้างนอกจนเกือบหมดและกาซจากภาชนะสูญญากาศจะถูกแวนดูดเข้าไปยังช่องว่างในสเตเตอร์อีกครั้งหนึ่ง

โรเตอร์จะหมุนเร็วมากจึงสามารถขับอากาศออกจากภาชนะได้เร็วและน้ำมันปั๊มบางส่วนจะเล็ดลอดออกไปบ้างเพื่อเป็นการหล่อลื่น แวนกับผิวสเตเตอร์ การหมุนของโรเตอร์นี้จะอาศัยแรงส่งจากการหมุนของมอเตอร์กำลังโดยใช้สายพานหรือเพลา อาจจะมีจำนวนรอบถึง 350 - 750 รอบต่อนาที

ปั๊มกลโรตารีแบบแวนที่ใช้ในการทดลองนี้ชื่อว่า สปีดิแวคไฮแว็คคิวอัมปั๊ม (speedivac high vacuum pump) แบบสถานะเดียวรุ่น ไอเอสซี 504 บี (single stage model ISC 504 B) อัตราการสูบอากาศออกไป 15 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที และสามารถสูบให้ความดันภายในภาชนะสูญญากาศมีค่าลดลงถึง 5.0×10^{-3} ทอร์ (torr) เมื่อไม่ใช้กาซบัลลาสต์ (gas ballast) และสามารถปั๊มให้ความดันลดลงถึง 3.0×10^{-1} ทอร์ เมื่อใช้กาซบัลลาสต์ อัตราการหมุน 350 รอบต่อนาที เป็นของบริษัท เอ็ดวาร์ด ไฮแว็คคิวอัม (Edward High Vacuum Co.,Ltd) ประเทศอังกฤษ

จากปั๊มกลโรตารีมีท่อต่อเชื่อมระหว่างปั๊มไอฟุ้งกระจายกับระบบทั้งหมด 2 ทาง โดยแต่ละทางนั้นมีลิ้นปิด-เปิดได้เพื่อป้องกันการทะลักของน้ำมันเข้าไปในปั๊มไอฟุ้งกระจาย และระบบทั้งหมดเมื่อเวลาหยุดเครื่อง

4.6.2 ปั๊มไอฟุ้งกระจาย (vapour diffusion pump) เป็นแบบใช้น้ำมัน ส่วนประกอบมีลักษณะตามรูปที่ 4.16 มีลักษณะคล้ายทรงกระบอกซึ่งมีน้ำมันบรรจุอยู่ ส่วนที่อยู่ใต้สุดเป็นตัวให้ความร้อน (heater) บริเวณตรงกลางของภาชนะนี้จะมีท่อโลหะกลวงเป็นชั้น ๆ เรียกว่า เจท (Jet) ทำหน้าที่เปลี่ยนทิศทางของไอน้ำมัน และถัดจากเจทขึ้นไปบนสุดก็เป็นแผงของแผ่นโลหะทำมุม 45° กับแนวดิ่งเพื่อเปลี่ยนทิศทางของไอน้ำมันเช่นกัน



รูปที่ 4.16 ลักษณะภายในและการทำงานของปั๊มไอฟุ้งกระจาย

และรอบ ๆ ของท่อทรงกระบอกด้านนอกสุดมีโลหะวนรอบ ๆ ไว้เพื่อให้น้ำไหลเพื่อระบายความร้อนจากไอฟุ้งกระจาย และข้างท่อทรงกระบอกทรงกลมนี้จะมีท่อดูดอากาศต่อไปยัง

ปั๊มโรตารี่เพื่อเป็นการดูดอากาศออกมา ดังรูปที่ 4.16

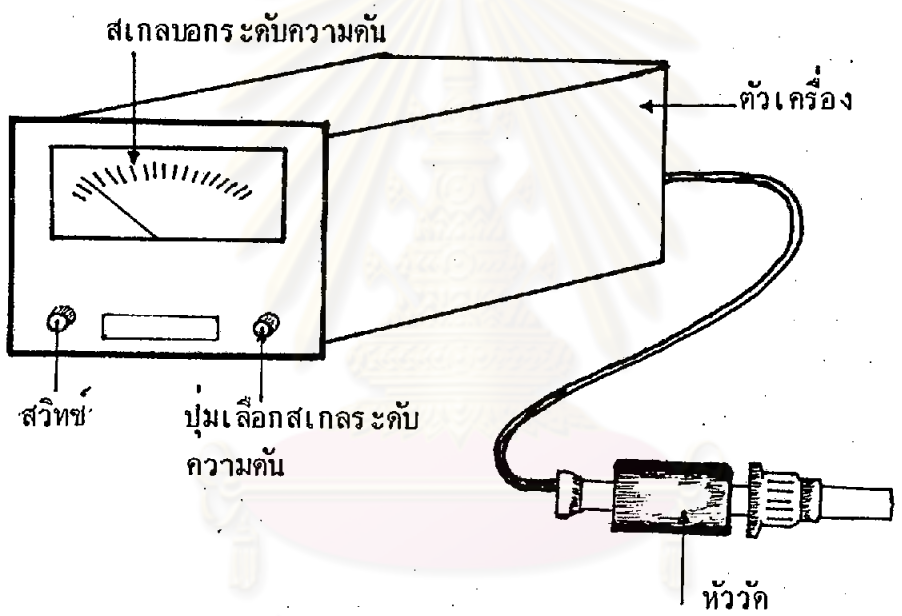
หลักการทำงานของปั๊มไอฟุ้งกระจาย คือ ช่วยเพิ่มการดูดอากาศของปั๊มกลโรตารี่ได้ดียิ่งขึ้น คือในขณะที่ปั๊มกลโรตารีดูดอากาศออกแต่ความสามารถยังไม่ทำให้ความดันของอากาศในระบบลดลงตามที่ต้องการ หรือยังเหลืออากาศอยู่ในระบบอีกมาก จึงมีโมเลกุลของอากาศกระจายอยู่ในระบบอีกมาก

ในขณะที่น้ำมันถูกต้มให้เดือดด้วยตัวให้ความร้อนและกลายเป็นไอ ในน้ำมันที่ฟุ้งกระจายจะแสดงเป็นลูกศร ในรูปที่ 4.16 ซึ่งมีน้ำหนักเบามากจะพามวลอากาศและสิ่งต่าง ๆ ขึ้นไปกับไอน้ำมันนี้ภายในเจ็ท และเมื่อเปรียบเทียบกับระดับความดันภายนอกเจ็ทและเหนือเจ็ทก็จะทำให้ไอน้ำมันนั้นเปลี่ยนทิศทางโดยเจ็ทที่ขวางกั้นอยู่ให้มีทิศทางกลับลงมาตามลูกศร ไอน้ำมันก็จะพาโมเลกุลของอากาศมาด้วย และทำให้ความดันลดลง ความดันจากข้างบนที่สูงกว่าก็จะดันลงมาทำให้อากาศที่ลงมาถูกดูดออกไปตามท่อที่ต่อกับปั๊มกลโรตารี การพาอากาศลงมาของไอน้ำมันจะพามาเป็นจังหวะ และไอน้ำมันก็จะถูกความเย็นของน้ำรอบ ๆ ท่อดังกล่าวให้ความเย็นและเมื่อมีอุณหภูมิต่ำลงก็จะตกลงมาอีก และก็จะถูกต้มอีกเป็นอย่างนี้เรื่อย ๆ ไป จนกระทั่งจำนวนโมเลกุลของอากาศลดลงเรื่อย ๆ และในระบบปั๊มที่ใช้ในการทดลองนี้ใช้ระบบความเย็นจากเครื่องทำความเย็น (refrigerator) ช่วยเสริมความเย็นอย่างรวดเร็วให้กับเชฟรอนแบฟเฟิล (chevron baffle) เพื่อจะให้เวลาในการปั๊มอากาศให้มีความดันลดลงน้อย

ปั๊มไอฟุ้งกระจายที่ใช้ในการทดลองนี้ ชื่อ สปีดิแวคออยล์ดิฟฟิวชันปั๊ม (Speedivac oil diffusion pump) แบบเอฟ 603 (F 603) เมื่อมีเชฟว์รอนแบฟเฟิล (chevron baffle) อัตราการปั๊มจะได้ 600 ลิตรต่อนาที และเมื่อไม่มีเชฟว์รอนแบฟเฟิลจะมีอัตราการปั๊มได้ 300 - 500 ลิตรต่อนาที ความดันปั๊มได้ที่จะลดลงได้ 3×10^{-7} ทอร์ ความดันท้าย (back pressure) เท่ากับ 0.35 ทอร์ ใช้ไฟฟ้า 300 วัตต์ น้ำมันที่ใช้เป็น ซิลิโคน (Silicone 704)

4.7 เกจเพ็นนิ่ง (penning-gauge)

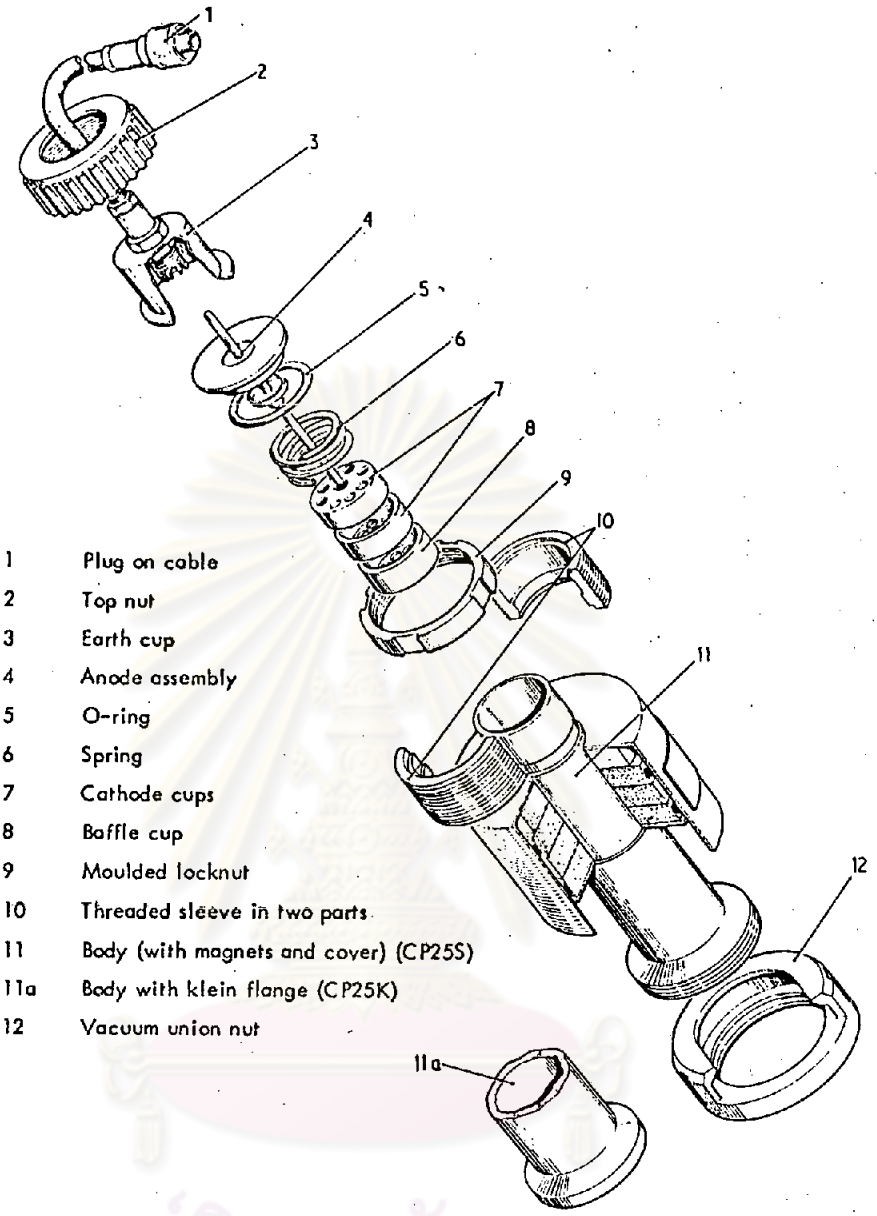
เครื่องมือนี้ใช้วัดความดันของกาซ เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เกจฟิลิปไอออนไนเซชัน (philips ionization gauge) หรือเกจขั้วคาโธดเย็นไอออนไนเซชัน (cold cathode ionization gauge) เครื่องมือนี้ประกอบด้วยวงจรอิเล็กโทรนิคส์ และมาตรวัดอยู่ในเครื่องเดียวกัน และมีหัววัดติดอยู่ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 แสดงเกจเพ็นนิง

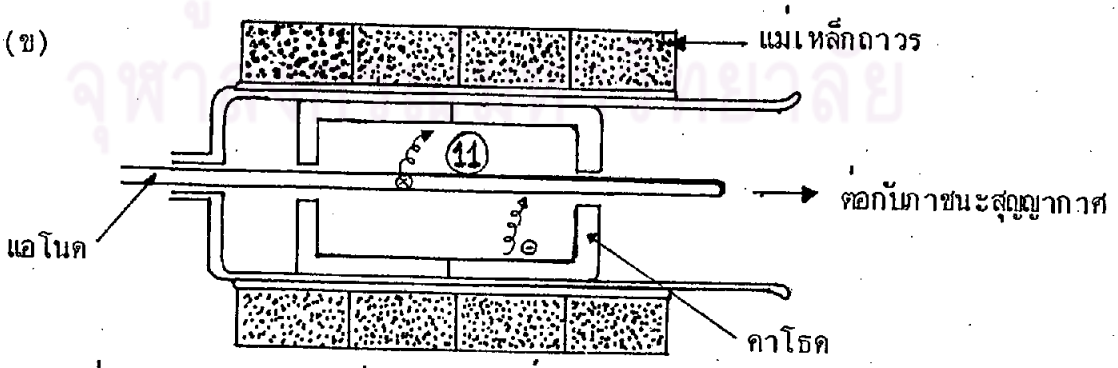
หัววัดเกจเพ็นนิ่งประกอบด้วยขั้วคาโธดเป็นโลหะไทเทเนียมรูปทรงกระบอกกลวงภายในมีขั้วแอโนดซ้อนกันอยู่ ศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วมีค่าประมาณ 2 กิโลโวลต์ รอบนอกทรงกระบอกเป็นแม่เหล็กถาวรขนาด 400 เกาส์ (Gauss) ดังรูปที่ 4.18 ก

(ก)



1 Plug on cable
2 Top nut
3 Earth cup
4 Anode assembly
5 O-ring
6 Spring
7 Cathode cups
8 Baffle cup
9 Moulded locknut
10 Threaded sleeve in two parts
11 Body (with magnets and cover) (CP25S)
11a Body with klein flange (CP25K)
12 Vacuum union nut

(ข)



รูปที่ 4.18 ก. แสดงส่วนประกอบภายในของหัววัดเกจเพ็นนิง

ข. แสดงการทำงานของหัววัดเกจเพ็นนิง

หลักการทำงานของหัววัดสูญญากาศ จากรูปที่ 4.18 ข. สนามไฟฟ้าระหว่างขั้วคาโธดเย็น (ขั้วที่ไม่ต้องเผาให้ร้อนเพื่อปล่อยอิเล็กตรอน) จะทำให้การแตกตัวอิเล็กตรอนที่เกิดจากการแตกตัวของกาซเนื่องจากสนามไฟฟ้านี้ จะถูกเร่งไปยังขั้วแอโนดโดยวิถีโคจรเป็นรูปเกลียว (helical) และจะถูกบังคับให้วิ่งกลับไปกลับมาระหว่างขั้วคาโธดกับขั้วแอโนด โดยสนามแม่เหล็กจนกระทั่งถูกจับไว้โดยขั้วแอโนด ส่วนไอออนบวกประจุบวกจะวิ่งไปปะทะกับขั้วคาโธด แล้วปลดปล่อยอิเล็กตรอนทุติยภูมิและอะตอมเป็นกลาง และทำให้อะตอมเป็นกลางได้ อะตอมไทเทเนียมที่ใช้ทำขั้วคาโธดนี้จะมีสมบัติทำหน้าที่ดูดกลืนกาซได้ดี เนื่องจากไอออนประจุบวกที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนโมเลกุลของกาซที่มีอยู่ ดังนั้นจึงขึ้นอยู่กับความดันของกาซ (17)

เกจเพ็นนิงที่ใช้ในการวัดระบบสูญญากาศนี้เป็นของบริษัท เอ็ดวาร์ด (Edwards) ซึ่งสามารถวัดระบบสูญญากาศได้ต่ำขนาด 1×10^{-7} มิลลิบาร์ (m bar) ซึ่งส่วนประกอบอย่างละเอียดแสดงดังรูป 4.18 ก. ซึ่งนำหัววัดไปติดตั้งไว้ตรงเชฟว์รอนแบฟเฟิล (Chevron baffle)

วิธีการใช้เกจเพ็นนิ่งนี้ก่อนใช้จะต้องเปิดระบบสูญญากาศให้นานพอสมควรก่อนแล้วจึงเปิดสวิทช์ของเกจ และดูเข็มของเกจว่าในช่วงที่ 1 เข็มเต็มสเกลหรือไม่ ถ้าเต็มสเกลแล้วให้หมุนปุ่มเลือกไปช่วงที่ 2 และช่วงที่ 3 ตามลำดับ ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงระดับความดันเรียงตามลำดับเป็นสำคัญ

4.8 เครื่องมือสำหรับแบ่งศักย์ไฟฟ้าเข้าขั้วไฟฟ้าของท่อเร่ง

เครื่องมือสำหรับแบ่งศักย์ไฟฟ้าเข้าขั้วไฟฟ้า (electrode) ของท่อเร่งนั้นจะทำหน้าที่เป็นตัวแบ่งศักย์ไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าศักย์สูงเข้าขั้วไฟฟ้าของท่อเร่งโดยให้ค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้าของท่อเร่งเท่ากันหมดตลอดท่อเร่ง ทั้งนี้เพื่อให้เกิดสนามไฟฟ้าภายในท่อเร่งสม่ำเสมอ

หลักการทำเครื่องมือสำหรับแบ่งศักย์ไฟฟ้านี้ต้องคำนึงถึงการสูญเสียค่าของพลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่สำคัญคือ

1. ท่อ พี.วี.ซี. (P.V.C.) ชนิดหนาเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.7 เซนติเมตร ยาว 1 เมตร และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว และ 0.7 นิ้ว ยาว 1 เมตร

2. กระดาษฉนวนชนิดอย่างดีทนแรงดันไฟฟ้าได้สูง

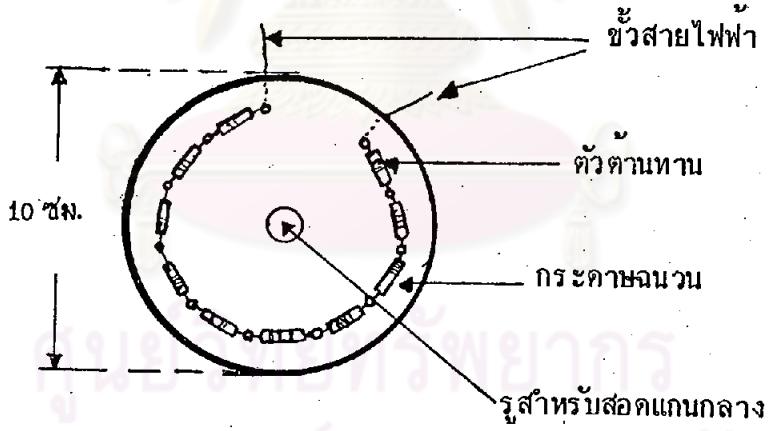
3. น้ำมันหม้อแปลง

4. ความต้านทานชนิดคาร์บอน (carbon) ขนาด 10 เมกกะโอห์ม 1 วัตต์ 160 ตัว

5. แผ่นพลาสติก

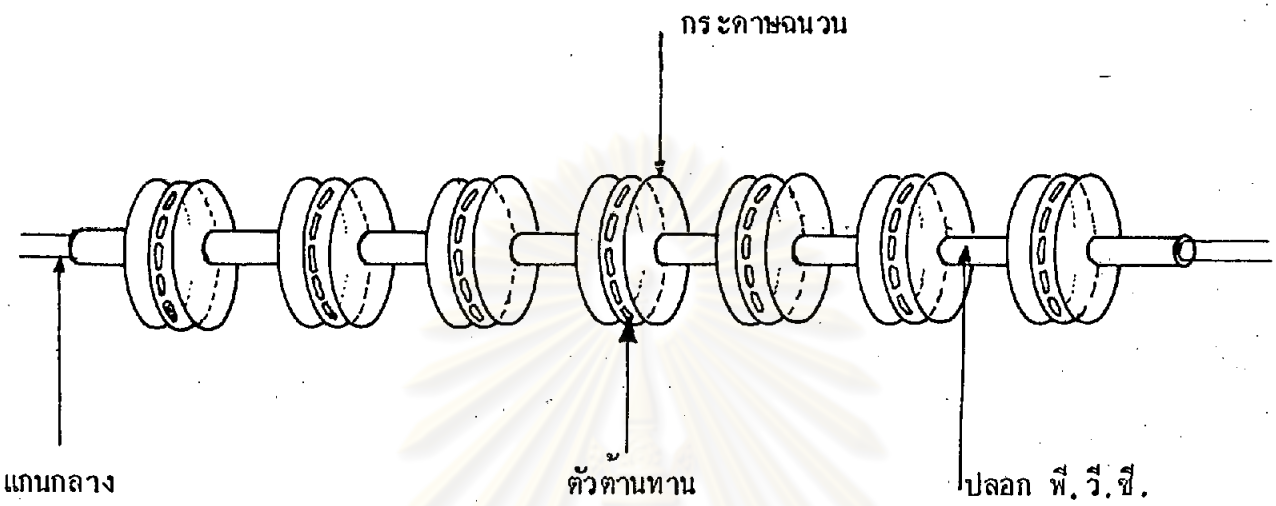
<u>วิธีการทำ</u>

ใช้กระดาษฉนวนตัดเป็นวงกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร เจาะรูไว้ดังรูปที่ 4.19 เพื่อใส่ขาของความต้านทานจำนวน 10 ตัว ต่อ 1 แผ่น จำนวนทั้งหมด 16 แผ่น และแต่ละตัวเชื่อมต่อกันไว้ แล้วเอากระดาษฉนวนที่มีตัวต้านทานอยู่รอบ ๆ นั้นสอดเข้าไปใน



รูปที่ 4.19 แสดงการต่อความต้านทานลงบนกระดาษฉนวน

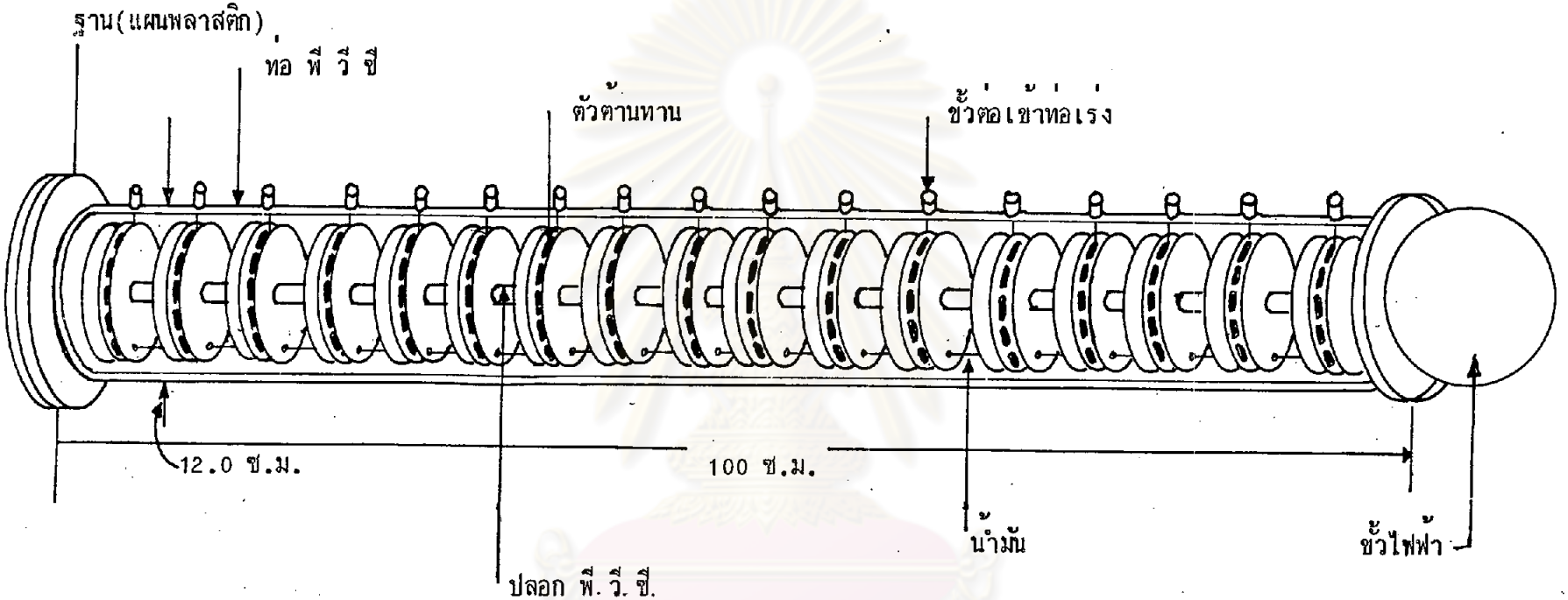
ท่อ พี.วี.ซี. โดยสอดเข้ารูตรงกลางของกระดาษฉนวนแล้วประกอบด้วยกระดาษฉนวนขนาดเท่ากันทั้งสองข้าง ข้างละ 1 แผ่น แล้วดันด้วยท่อ พี.วี.ซี. ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 1 นิ้ว เป็นช่วง ๆ ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเลื่อนมาชิดกันของแต่ละช่วง ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 แสดงการต่อตัวต้านทาน กระดาษฉนวนและท่อแกนกลางเข้าด้วยกัน

หลังจากนั้นก็ต่อแต่ละช่วงเข้าด้วยกันและใช้ลวดทองแดงต่อแต่ละช่วงออกมาเพื่อทำเป็นขั้วไฟฟ้าภายนอกสำหรับต่อเข้าท่อเร่ง เสร็จแล้วก็เอาส่วนประกอบทั้งหมดของตัวต้านทานและกระดาษฉนวนสอดเข้าไปในท่อ พี.วี.ซี. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.7 เซนติเมตร แล้วปิดหัวท้ายด้วยแผ่นพลาสติกหนา และทำการใส่น้ำมันหม้อแปลงเข้าไปให้เต็มก่อนที่จะปิดให้สนิท

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.21 แสดงการประกอบเครื่องแบ่งศักย์ไฟฟ้าที่สมบูรณ์แล้ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.9 วิธีการทดลอง

ในการทดลองดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.9.1 เตรียมเครื่องมือ ตรวจดูความเรียบร้อยส่วนต่าง ๆ ก่อนที่จะเดินเครื่องปั๊มกลโรตารี่และปั๊มไอฟุ้งกระจาย

4.9.2 เดินเครื่องสูบอากาศ โดยเริ่มเดินเครื่องปั๊มกลโรตารี่ก่อนสูบอากาศออกจากส่วนบนของเชฟร์รอนแบฟเฟิล (chevron baffle) ซึ่งต่อกับเครื่องกำเนิดไอออนเป็นเวลาประมาณ 20 ถึง 30 นาที จากนี้ปิดลิ้นท่อสูบอากาศเข้าปั๊มกลโรตารี่ที่ต่อส่วนบนของเชฟร์รอนแบฟเฟิล และเปิดลิ้นท่อสูบอากาศเข้าปั๊มกลโรตารี่ที่ต่อกับส่วนล่างของปั๊มไอฟุ้งกระจาย จากนั้นก็เปิดน้ำผ่านปั๊มไอฟุ้งกระจายพร้อมทั้งเปิดสวิทช์เข้ากับตัวให้ความร้อน (heater) ของปั๊มไอฟุ้งกระจายแล้วเปิดสวิทช์เครื่องทำความเย็นให้กับเชฟร์รอนแบฟเฟิล ปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที ความดันจะลดลง 2×10^{-6} มิลลิบาร์ จึงเปิดลิ้นผีเสื้อ (butterfly valve) ซึ่งกั้นระหว่างส่วนบนและส่วนล่างต่อกับปั๊มไอฟุ้งกระจาย ปล่อยเครื่องเดินไปอีกประมาณ 20 นาที ถึง 30 นาที ความดันจะลดลงในระดับที่ทดลองได้

4.9.3 ปล่อยกาซไฮโดรเจนเข้าแหล่งกำเนิดไอออน

4.9.4 จ่ายไฟฟ้าเข้าเครื่องกำเนิดไอออน โดยจ่ายไฟฟ้าเข้าคอยล์สนามแม่เหล็ก จ่ายไฟฟ้าเข้าคาโธด และแอโนดของแหล่งกำเนิดไอออนจ่ายไฟฟ้าเข้าขั้วไฟฟ้าโพรบและจ่ายไฟฟ้าเข้าขั้วไฟฟ้าโฟกัสตามลำดับ แล้วเริ่มจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบท่อเร่งโดยเพิ่มทีละน้อยเรื่อยไปจนกระทั่งเห็นจุดของลำโปรตอนปรากฏที่ฉากที่วางไว้ที่ส่วนนำลำโปรตอน แล้วก็ต้องมีการปรับค่าความต่างศักย์ของขั้วไฟฟ้าโพรบ ขั้วไฟฟ้าโฟกัส เพื่อให้ได้ลำอนุภาคโปรตอนที่เป็นลำขนาดเล็กเกือบเป็นจุด เมื่อปรับค่าต่าง ๆ เรียบร้อยแล้วก็เริ่มเพิ่มค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับท่อเร่งจนมีค่าสูงสุดประมาณ 150 กิโลโวลต์ แล้วดูว่าจุดของลำโปรตอนเป็นอย่างไร เมื่อยังไม่อยู่ตำแหน่งตรงกลางฉากก็ต้องมีการปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าโพรบ ขั้วไฟฟ้าโฟกัสและควบคุมกระแสวงจรภายนอกของแหล่งกำเนิดไอออนให้คงที่ประมาณ 5 มิลลิแอมแปร์ และต่อไปถ้าต้องการเปลี่ยนฉากที่วางขวางกั้นลำโปรตอนเป็นอย่างอื่น เช่น ควอทซ์, สารประกอบโบรอน, ฟาราเดย์คัพคอเร็คเตอร์ (Faraday's cup collector) ต้องปิดระบบจ่ายไฟฟ้าเข้าเครื่องเร่งให้หมดทุกส่วนโดยเริ่มจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าท่อเร่ง

ขั้วไฟฟ้าโฟกัส ขั้วไฟฟ้าโพรบ แหล่งกำเนิดไอออน และปิดท่อกาซไฮโดรเจน ตามลำดับ และหลังจากนั้นทำการปิดลิ้นผีเสื้อ แล้วเปิดให้อากาศเข้าส่วนบนของเชฟจ์รอนบัฟเฟิล (chevron baffle) จากนั้นก็เปิดส่วนปลายสุดของท่อเร่งตรงส่วนท่อนำลำโปรตอน แล้วเอาฉากออก จากนั้นก็นำตัวอย่างการทดลองวางไว้แทน เพื่อทำการทดลองซึ่งจะกล่าวต่อไป ในการปิดเปิดท่อเร่งนี้ต้องทำเวลาอันรวดเร็ว และหลังจากนั้นก็ปิดปลายสุดของท่อนำลำโปรตอน และที่ตำแหน่งปล่อยอากาศเข้าตอนแรกให้หมดทุกส่วน และก็ปิดลิ้นของท่อสูบอากาศที่ต่อระหว่างปั๊มโรตารีกับส่วนล่างของปั๊มไอฟุ้งกระจายระยะหนึ่ง แล้วก็ค่อยเปิดลิ้นของท่อสูบอากาศเข้าปั๊มกลโรตารีที่ต่อกับส่วนบนของเชฟจ์รอนแบฟเฟิล ใช้เวลาประมาณ 1 – 2 นาที แล้วทำการปิดลิ้นที่ต่อระหว่างปั๊มกลโรตารีกับส่วนล่างของปั๊มไอฟุ้งกระจายเหมือนเดิม จากนั้นก็ปฏิบัติตามข้อ 4.9.2, 4.9.3 แล้วก็สามารถทดลองตามที่ต้องการได้

4.9.5 การปิดเครื่อง เมื่อทดลองเสร็จแล้วก็ปิดไฟฟ้าเข้าระบบท่อเร่งไฟฟ้าโพรบ ขั้วไฟฟ้าโฟกัส และแหล่งกำเนิดไอออน ตามลำดับ แล้วทำการปิดไฟฟ้าที่จ่ายให้เครื่องทำความร้อนเข้าปั๊มไอฟุ้งกระจาย และเครื่องทำความเย็น ตามลำดับ แล้วทำการปิดลิ้นทุกตัว และปล่อยเครื่องเดินต่อไปอีก 30 นาที จึงปิดปั๊มโรตารี และน้ำสำหรับระบายความร้อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย