บทที่ 3

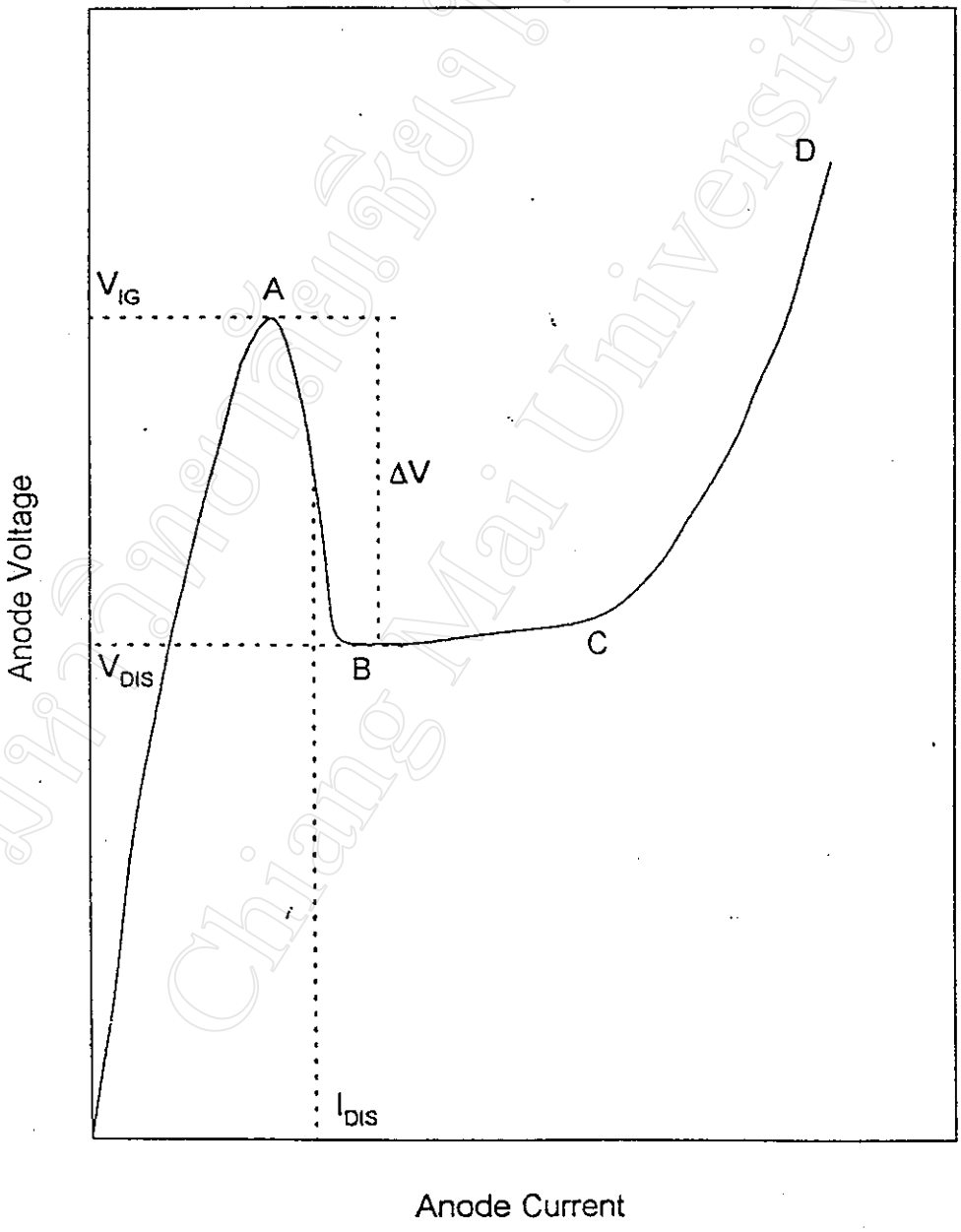
คุณลักษณะในการทำงานของแหล่งกำเนิดไอออน

3.1 คุณลักษณะในการทำงานของแหล่งกำเนิดไอออน

แหล่งกำเนิดไอออนแต่ละชนิดนอกจากจะมีหลักการทำงานที่แตกต่างกันแล้วคุณลักษณะในการทำงานก็มีความแตกต่างกัน คุณลักษณะในการทำงานนอกจากจะบ่งบอกขีดความสามารถของแหล่งกำเนิดไอออนนั้นๆแล้วยังบ่งบอกถึงการนำแหล่งกำเนิดไอออนนั้นไปประยุกต์ใช้ในเครื่องเร่งอนุภาค ทำให้สามารถเลือกแหล่งกำเนิดไอออนรวมไปถึงแหล่งจ่ายพลังงาน(power supply)และระบบควบคุมให้เหมาะสมกับงานที่จะนำไปประยุกต์ใช้ จึงต้องทำความเข้าใจคุณลักษณะในการทำงานของแหล่งกำเนิดไอออนก่อนที่จะนำไปประยุกต์ใช้เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด(Wilson and Brewer, 1973) ในการศึกษาคุณลักษณะในการทำงานของแหล่งกำเนิดไอออนที่ใช้หลักการของกระบวนการแตกตัวโดยการชนของอิเล็กตรอน โดยทั่วไปจะทำการสังเกตุปริมาณพื้นฐาน 2 ปริมาณคือ กระแสดิสชาร์จหรือกระแสแอโนด(discharge or anode current) และกระแสไอออน(ion current) โดยปริมาณทั้งสองจะขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ของแหล่งกำเนิดไอออนได้แก่ แรงดันดิสชาร์จหรือแรงดันแอโนด, กระแสไส้หลอดหรือกำลังที่ใช้เผาไส้หลอด, สนามแม่เหล็ก, ความดันก๊าซหรือความดันดิสชาร์จและศักย์ไฟฟ้าดึงรวมไปถึงศักย์ไฟฟ้าของเลนส์ไฟฟ้า และในกรณีของการสร้างไอออนจากโลหะก็จะมีตัวแปรเพิ่มขึ้นมาอีกคือกระแสเตาเผาหรือกำลังที่ใช้ในการเผาโลหะและอุณหภูมิของเตาเผาวัดโดยเทอร์มอคัปเปิล(thermocouple)

การสังเกตุกระแสดิสชาร์จหรือกระแสแอโนดจะเป็นการศึกษาคุณสมบัติการเกิดดิสชาร์จของแหล่งกำเนิดไอออนซึ่งขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์เหล่านี้ได้แก่ กระแสไส้หลอด,I_{fil} ,แรงดันแอโนด,V_a ,สนามแม่เหล็ก,B และความดันดิสชาร์จ,P_d ในระหว่างแหล่งกำเนิดไอออนทำงานตัวแปรเหล่านี้สามารถเปลี่ยนไปได้ตลอดเวลา การศึกษาสมบัติการดิสชาร์จสำหรับแหล่งกำเนิดไอออนที่ใช้หลักการของแคโทดร้อน สมบัติทางไฟฟ้าที่สำคัญของปรากฏการณ์ดิสชาร์จ(electric discharge) คือการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้า สำหรับระบบการดิสชาร์จอย่างง่ายที่อิเล็กตรอนได้จากวิธีแคโทดร้อน(hot cathode) ชนิดขั้วแคโทดและแอโนดเดียว สามารถแสดงความสัมพันธ์ทั่วไปโดยกราฟที่แสดงในรูปที่ 3.1 (Gabovich, 1972) เมื่อเผาแคโทดให้ร้อน แคโทดจะเริ่มปล่อยอิเล็กตรอน เมื่อเพิ่มแรงดันแอโนด, V_A เข้าไปอิเล็ตรอนอิเล็ตรอนสามารถวิ่งไปถึงแอโนดได้ จะสังเกตุได้จากกระแสแอโนดที่เพิ่มขึ้น กระแสแอโนด, I_A จะเพิ่มขึ้นตามแรงดันแอโนดที่ป้อนเข้าไปดังแสดงในช่วงแรกของเส้นกราฟ แต่ถ้าเพิ่มแรงดันแอโนดไปเรื่อยๆจนถึงจุดๆหนึ่งการดิสชาร์จจะเริ่มเกิดขึ้น(discharge ignition) ณ จุด A เรียกว่า V_{IG} ในช่วงนี้อะตอมของก๊าซจะเริ่มแตกตัวเป็นไอออน หลังจากนั้นแรงดันแอโนดจะลดลง ΔV จนถึงค่าสุดท้ายที่เรียกว่า แรงดันดิสชาร์จ,V_{dis} ดังแสดงในกราฟช่วง AB ในช่วงนี้ระบบจะแสดงสมบัติทางไฟฟ้าที่มีความต้านเป็นลบ(negative resistance) ปรากฏการณ์เช่นนี้จะเห็นได้จำเป็นต้องอาศัยตัวต้านทานภายนอก, R ทำหน้าที่จำกัดกระแสดิสชาร์จ, I_{dis} โดยแรงดันตกคร่อมตัวมันเองเป็น ΔV, $\left(I_{dis} = \Delta V / R\right)$ แรงดัน ΔV อาจแปรค่าในช่วงกว้างมากตั้งแต่ไม่กี่โวลท์จนถึงหลายร้อยโวลท์ขึ้นกับพารามิเตอร์ของระบบและชนิดของแหล่งกำเนิดไอออน

อย่างเช่น กรณีของแหล่งกำเนิดไอออนแบบ Nielsen สังเกตุได้ยากเพราะ ΔV มีค่าต่ำมาก ในช่วงต่อไปของกราฟคือช่วง BC ค่าแรงดันดิสชาร์จจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยขณะที่กระแสดิสชาร์จเพิ่มขึ้นอย่างมากจน จนกระทั่งเมื่อกระแสดิสชาร์จเพิ่มขึ้นจนถึงค่าๆหนึ่งซึ่งมากกว่ากระแสอิ่มตัวของคาโทด



รูปที่ 3.1 กราฟแสดงสมบัติทั่วไปของการดิสชาร์จของระบบ direct heat cathode(Gabovich, 1972)

สมบัติทางไฟฟ้าจะแสดงในช่วง CD ของกราฟ การดิสชาร์จของระบบจะเปลี่ยนไปทำงานใน stimulated mode ครั้งนี้ถ้าเพิ่มแรงดันแอโนดอีก V_{dis} และ I_{dis} จะเพิ่มขึ้นไปพร้อมๆกันอย่างรวดเร็ว

สำหรับกระแสไอออนนั้นขึ้นอยู่กับตัวแปรเป็นจำนวนมากสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มได้ 3 กลุ่ม

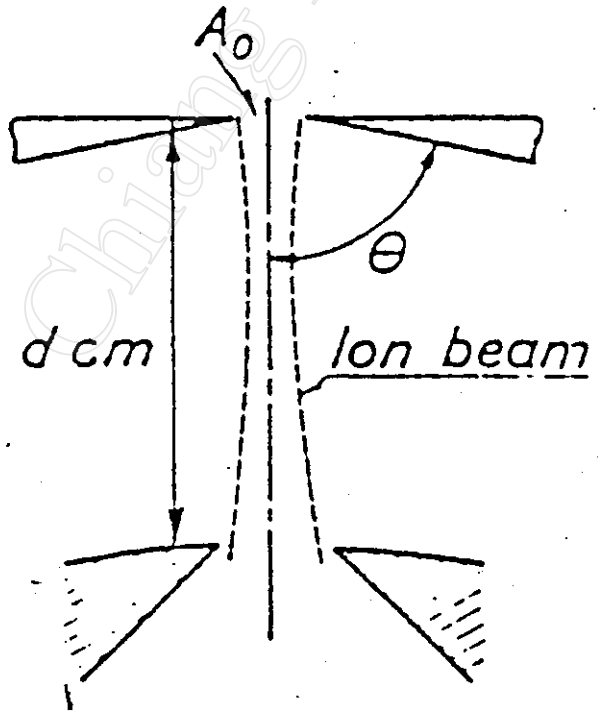
ก. พารามิเตอร์ของแหล่งกำเนิดไอออน(the ion source parameter)ได้แก่ กระแสแอโนด(I_a) ,แรงดันแอโนด(V_a) ,กระแสไส้หลอด(I_{fil}) ,สนามแม่เหล็ก(B) ,ความดันดิสชาร์จ(P_d) และความยาวห้องดิสชาร์จ (l) ในระหว่างแหล่งกำเนิดไอออนกำลังทำงานอยู่ค่าพารามิเตอร์เหล่านี้สามารรถเปลี่ยนไปได้ยกเว้นความยาวห้องดิสชาร์จ และในการทำงานค่าศักย์ไฟฟ้าของเลนส์(lens potential) จะปรับให้ได้ค่ากระแสไอออนสูงสุดโดยจะคงค่าไว้ตลอดการทำงาน ค่าพารามิเตอร์ของแหล่งกำเนิดไอออนมีได้หลายชุดแต่ละชุดจะให้คุณลักษณะในการทำงานเหมือนกัน

ข. พารามิเตอร์ของส่วนเร่ง(acceleration parameter)ได้แก่ ศักย์ไฟฟ้าเร่ง(U_a) ,ระยะห่างอิเล็กโทรดตัวแรก(d) ,พื้นที่ช่องทางออกพลาสมาหรือรูแอโนด(A_0)และมุมช่องทางออก(outlet angle;θ) ดังแสดงในรูปที่ 3.2

ค. มวลของไอออนและศักย์ไฟฟ้าของเลนส์(U_l)

$$U_l = \alpha U_a$$ เมื่อ α คือค่าคงที่ขึ้นกับรูปร่างอิเล็กโทรด

สำหรับระยะห่างอิเล็กโทรด,d น้อยๆและช่องทางออก,A_0 ใหญ่ๆจะให้ค่า α สูงอย่างเช่นกรณีของแหล่งกำเนิดไอออนแบบ Nielsen ค่า α อยู่ระหว่าง 0.7-0.8 เพราะว่าระยะ d น้อยๆและพื้นที่ A_0 มากๆจะให้ค่ากระแสไอออนที่ออกมาสูงแต่ลำไอออนมีลักษณะบานมากดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ศักย์ไฟฟ้าของเลนส์มากขึ้นเพื่อปรับโฟกัสลำอนุภาคให้ได้ตามที่ต้องการ



รูปที่ 3.2 แสดงพารามิเตอร์ของส่วนเร่งที่มีผลต่อกระแสไอออน(Nielsen, 1957)

3.2 ชุดทดสอบแหล่งกำเนิดไอออน

3.2.1 ชุดทดสอบการดิสชาร์จ

ในช่วงแรกเป็นการทดสอบคุณสมบัติการเกิดการดิสชาร์จของแหล่งกำเนิดไอออน ดังนั้นจะไม่มีการติดตั้งแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงให้กับแหล่งกำเนิดไอออน ชุดทดสอบประกอบไปด้วยส่วนต่างๆดังนี้

(i). แหล่งกำเนิดไอออนแบบ Nielsen พร้อมชุดดึงไอออน(Einzel lens) ดังแสดงในรูปที่ 3.3

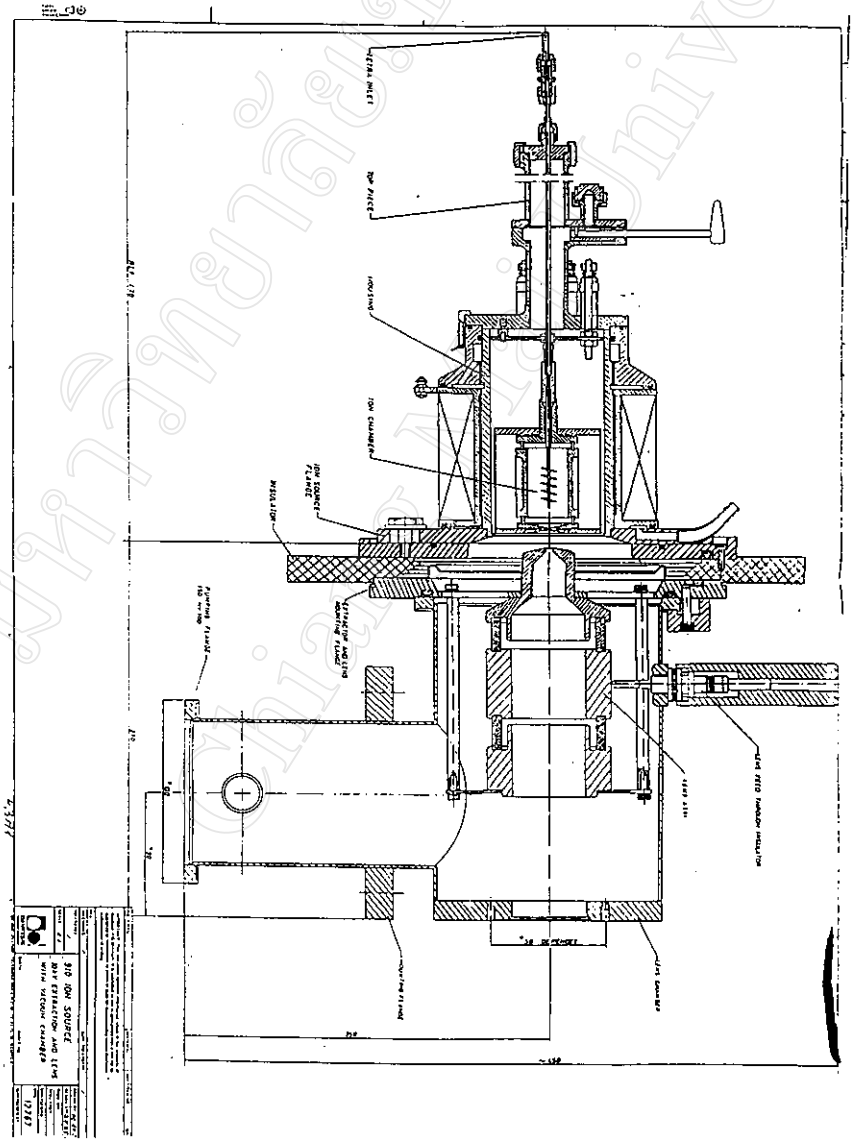
(ii). แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งมีทั้งหมด 4 ตัวได้แก่

ก. แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับไส้หลอด ขนาด 50 แอมป์ 25 โวลท์

ข. แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับเตาเผา ขนาด 50 แอมป์ 25 โวลท์

ค. แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับแอโนด ขนาด 6 แอมป์ 300 โวลท์

ง. แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับขดลวดแม่เหล็ก ขนาด 6 แอมป์ 300 โวลท์



รูปที่ 3.3 แสดง schematic ของแหล่งกำเนิดไอออนแบบ Nielsen(Danfysik ion source model.910)

(iii). หม้อแปลงแยกกันทางไฟฟ้า(isolation transformer) ขนาด 3 กิโลวัตต์ ซึ่งจะเป็นตัวจ่ายไฟให้กับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าทุกตัวของแหล่งกำเนิดไอออน

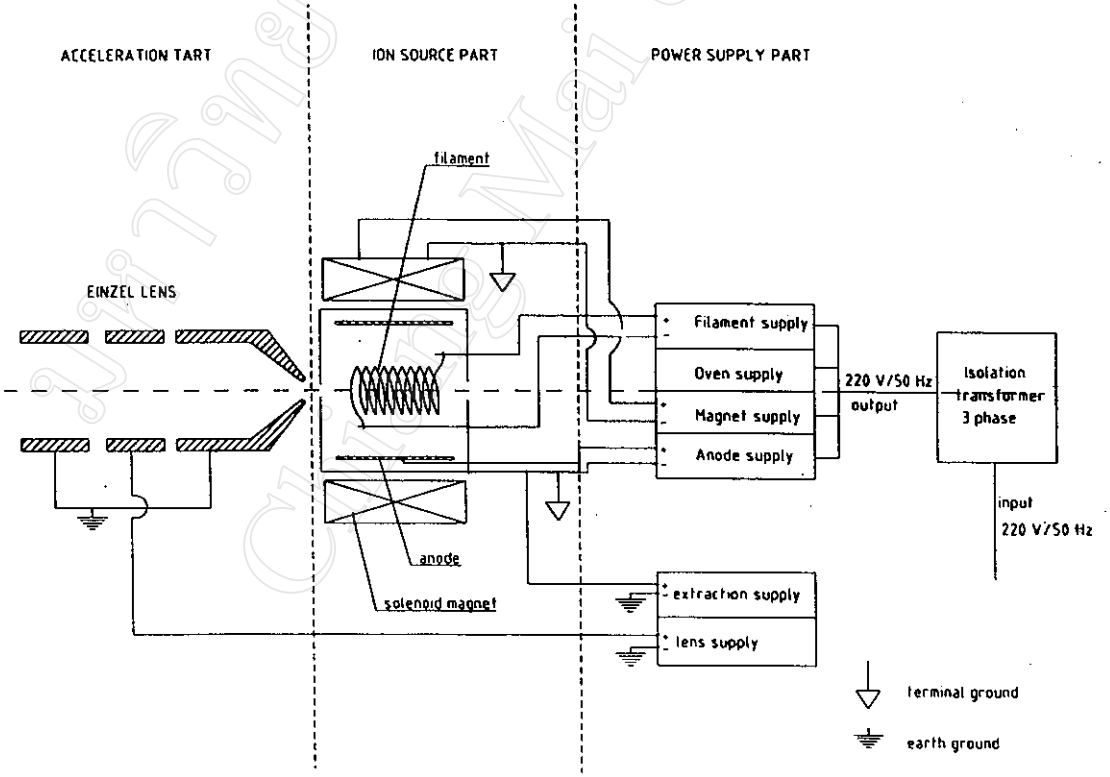
(iv). ระบบหล่อเย็น สำหรับหล่อเย็นให้กับแหล่งกำเนิดไอออนระหว่างทำงานซึ่งใช้น้ำหล่อเย็นธรรมดารักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 10-18 องศาเซลเซียส

(v). ระบบจ่ายก๊าซ ใช้วาล์วแบบเข็ม(needle valve)

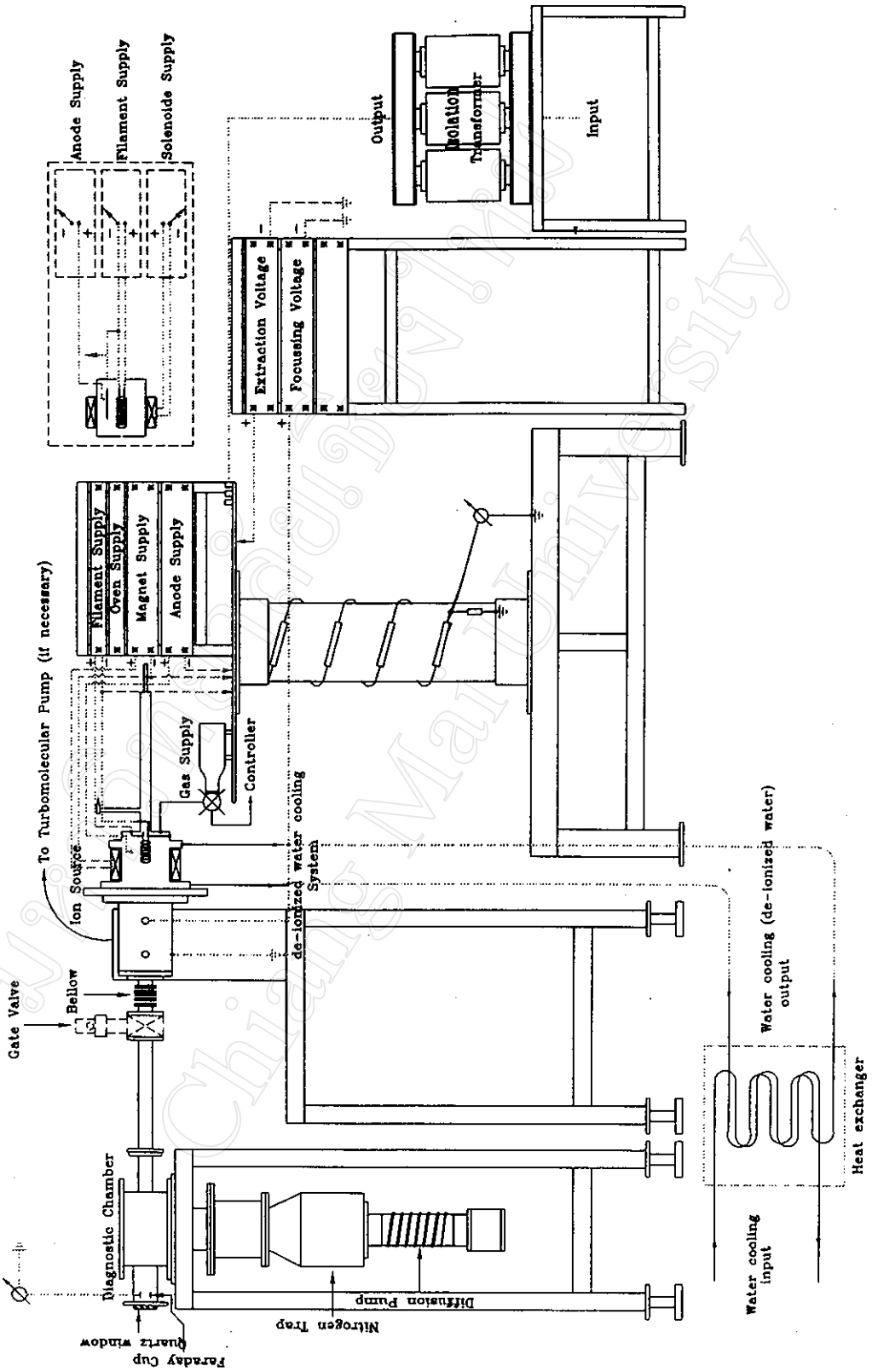
(vi). ปั๊มสูญญากาศ 2 ตัว ได้แก่ diffusion pump ขนาด 600 l/s และturbomolecular pump ขนาด 300 l/s

(vii). ระบบวัดสูญญากาศ

ในรูปที่ 3.4 แสดงภาคจ่ายไฟให้กับแหล่งกำเนิดไอออนแบบ Nielsen พร้อมระบบดึงไอออน(Einzel lens) และรูปที่ 3.5 แสดง schematic ของชุดทดสอบแหล่งกำเนิดไอออนแบบ Nielsen



รูปที่ 3.4 แสดงภาคจ่ายไฟของแหล่งกำเนิดไอออนแบบ Nielsen



รูปที่ 3.5 แสดง schematic ของชุดทดสอบแหล่งกำเนิดไอออนแบบ Nielsen

3.2.2 ชุดทดสอบการวัดกระแสไอออน

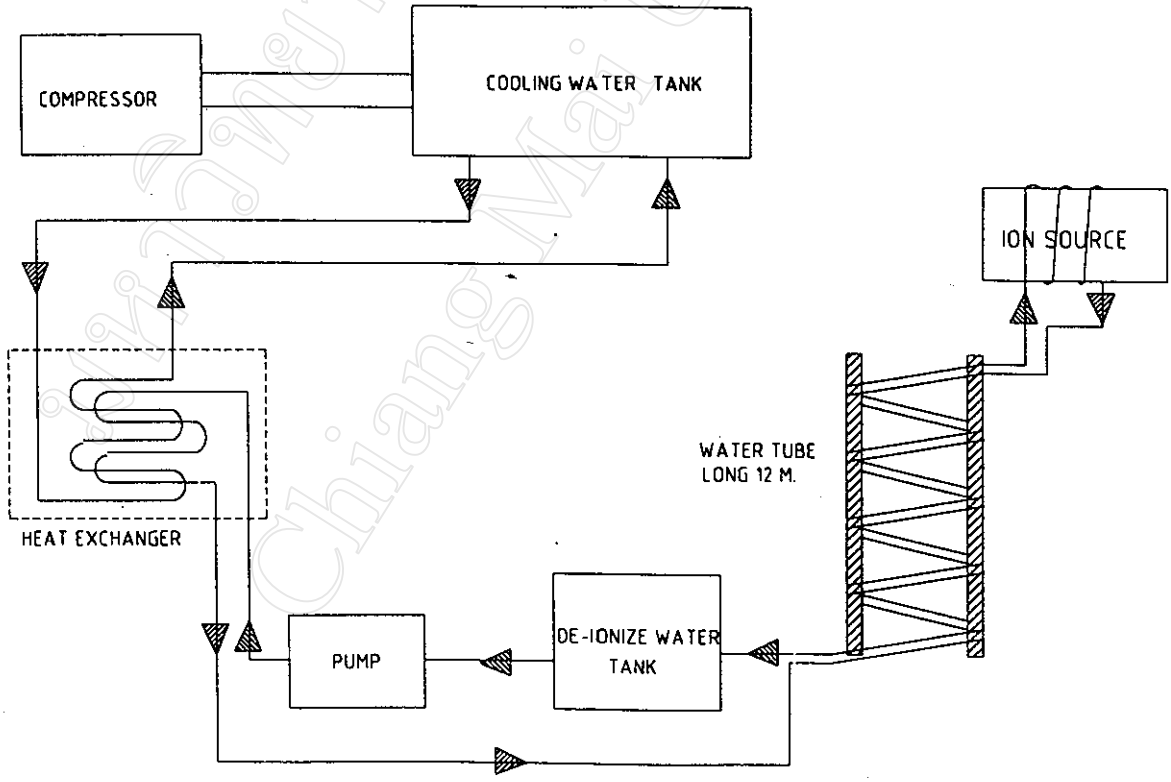
หลังจากทดสอบคุณสมบัติการดิสชาร์จของแหล่งกำเนิดไอออน สามารถสร้างการดิสชาร์จและพลาสมาที่มีความเสถียรและทราบถึงอิทธิพลของพารามิเตอร์ๆต่อการดิสชาร์จแล้ว ต่อไปก็ทำการศึกษาคุณลักษณะในการทำงานของแหล่งกำเนิดไอออนจากการวัดกระแสไอออนโดยอาศัยฟาราเดย์คัพอย่างง่าย (simple faraday cup) ชุดทดสอบจะมีการเปลี่ยนแปลงและเพิ่มเติมดังนี้

(i). ภาคจ่ายไฟแรงดันสูง 2 ตัว

-แหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงขนาด 30 กิโลโวลท์ 15 มิลลิแอมป์ สำหรับจ่ายให้กับแหล่งกำเนิดไอออนเพื่อดึงไอออนออกจากพลาสมา

-แหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงขนาด 30 กิโลโวลท์ 15 มิลลิแอมป์ สำหรับเลนส์ไฟฟ้า

(ii). ระบบหล่อเย็น จะเปลี่ยนจากน้ำธรรมดามาเป็นน้ำบริสุทธิ์(de-ionize water)ซึ่งไม่นำไฟฟ้าโดยแลกเปลี่ยนความร้อนผ่านชุดแลกเปลี่ยนความร้อน(heat exchange) ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงระบบหล่อเย็นสำหรับแหล่งกำเนิดไอออน

3.2.3 ชุดทดสอบการวิเคราะห์มวลไอออน

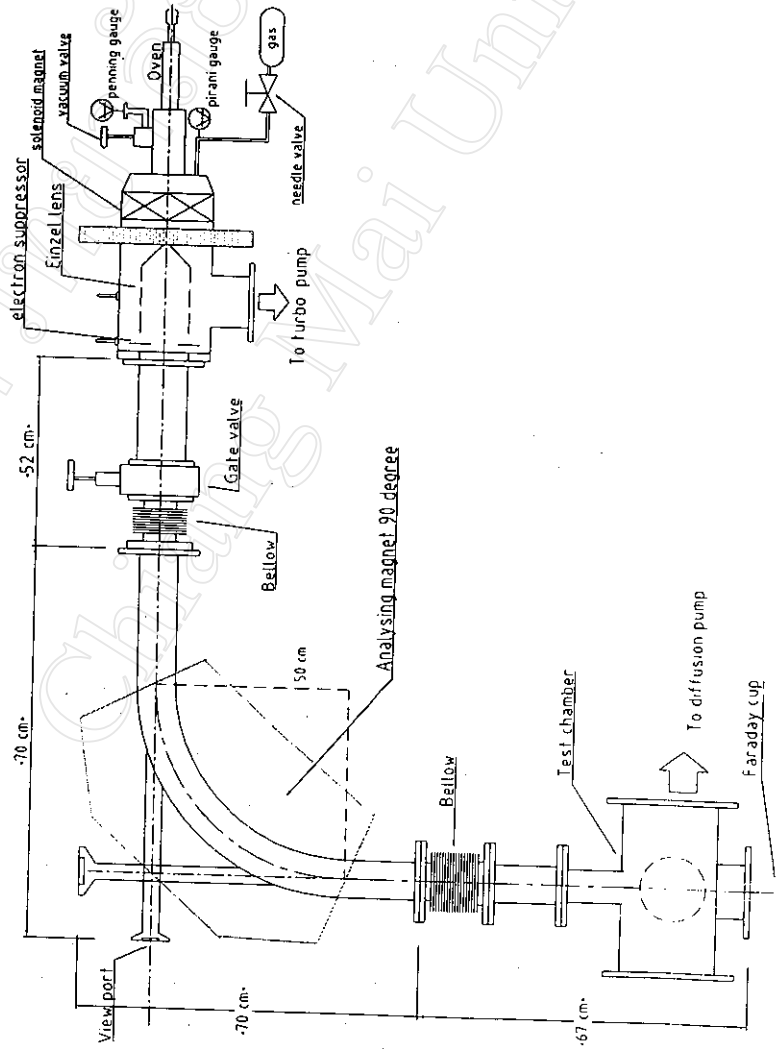
เมื่อศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆตามหัวข้อ 3.1 จนได้กระแสไอออนตามที่ต้องการและแหล่งกำเนิดไอออนทำงานมีความเสถียร ขั้นต่อมาจะทำการแยกไอออนโดยอาศัยแม่เหล็กวิเคราะห์มวล (analyzing magnet) แบบเลี้ยวเบน 90 องศา ดังนั้นชุดทดสอบที่เพิ่มเติมเข้าไปมีดังนี้

(i). แม่เหล็กวิเคราะห์มวลแบบเลี้ยวเบน 90 องศา

(ii). แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับแม่เหล็ก

(iii). ระบบหล่อเย็นให้กับแม่เหล็กและแหล่งจ่ายกำลัง ซึ่งต้องแยกออกจากชุดของแหล่งกำเนิดไอออนและของปั๊มสูญญากาศ เพราะแม่เหล็กต้องการน้ำค่อนข้างเย็น

ในรูปที่ 3.7 แสดงschematic ของชุดทดสอบแหล่งกำเนิดไอออนที่ประกอบแม่เหล็กวิเคราะห์มวล และรูปที่ 3.8 แสดงรูปถ่ายของชุดทดสอบทั้งหมด



รูปที่ 3.7 แสดง schematic ของแหล่งกำเนิดไอออนที่ประกอบแม่เหล็กวิเคราะห์มวล

รูปที่ 3.7 แสดงรูปถ่ายของชุดทดสอบทั้งหมด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University