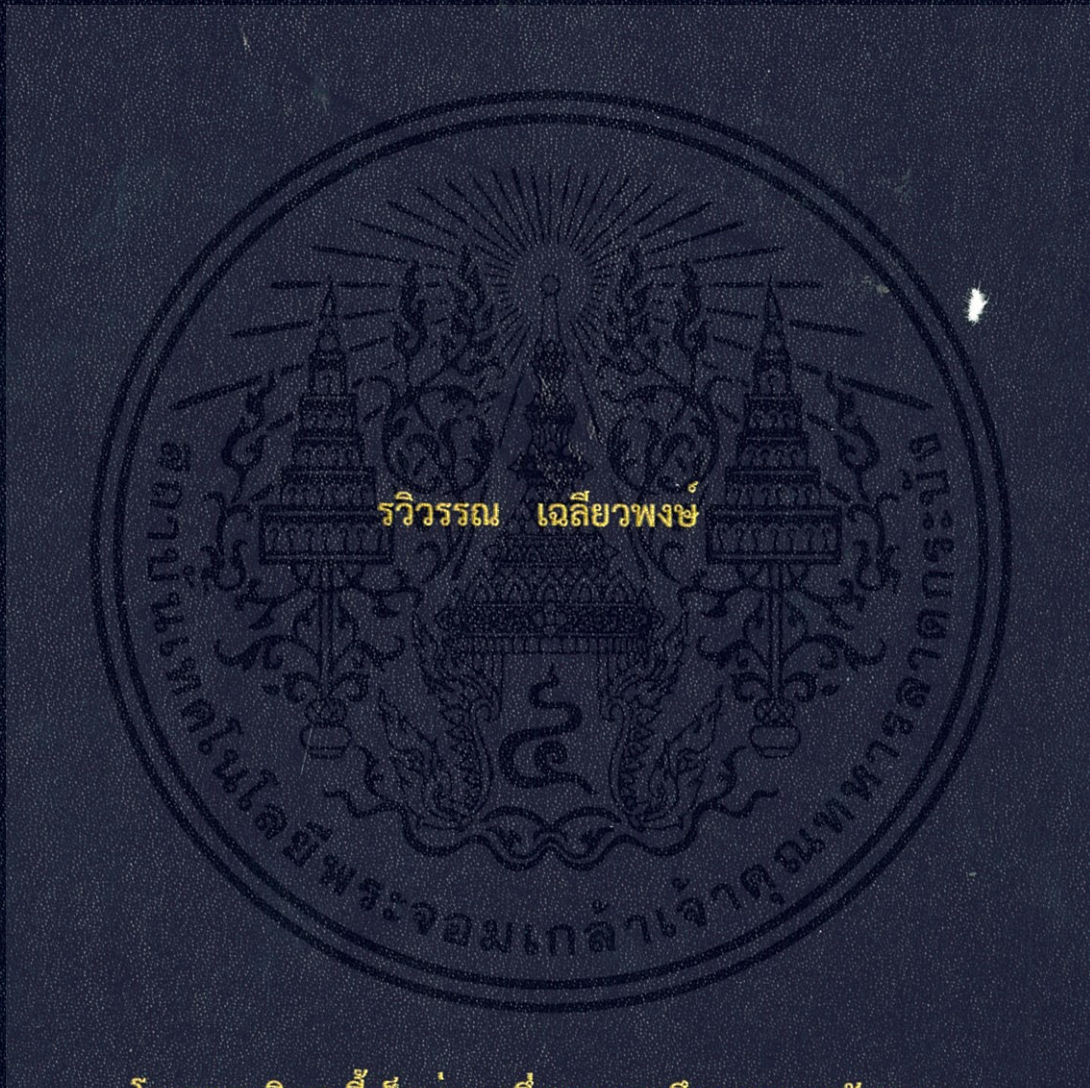


การออกแบบวงจรสำหรับระเหยสารในระบบสุญญากาศ
CIRCUIT DESIGN FOR THERMAL EVAPORATION IN
VACUUM



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การออกแบบวงจรสำหรับระเหยสารในระบบสุญญากาศ
CIRCUIT DESIGN FOR THERMAL EVAPORATION IN
VACUUM



T149030



รวีวรรณ เฉลียวพงษ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**149030**
วัน,เดือน,ปี.....**27 S.ค. 2560**

b. **12 87902**
i.

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIRCUIT DESIGN FOR THERMAL EVAPORATION IN VACUUM



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF
SCIENCE (APPLIED PHYSICS)

DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การออกแบบวงจรสำหรับระเหยสารในระบบสุญญากาศ
 Circuit Design for Thermal Evaporation in Vacuum
 ชื่อนักศึกษา นางสาววิวรรณ เฉลียวพงษ์ รหัสนักศึกษา 55051590
 ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
 ภาควิชา ฟิสิกส์
 ปีการศึกษา 2558
 อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์ยรรยง

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
 ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.สาทราย เล็กชอุ่ม ประธานกรรมการ	
ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข กรรมการ	
ดร.พิศาล สุขวิสูตร กรรมการ	
ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	
ผศ.ดร.บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์ยรรยง กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การออกแบบวงจรสำหรับระเหยสารในระบบสุญญากาศ
ชื่อนักศึกษา	นางสาววิวรรณ เฉลียวพงษ์ รหัสนักศึกษา 55051590
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร.บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์ยรรยง

บทคัดย่อ

ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบวงจรสำหรับระเหยสารด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ และศึกษาเกี่ยวกับลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดัน โดยต้องการที่จะลดต้นทุนในการสั่งซื้ออุปกรณ์จากต่างประเทศ วงจรสำหรับระเหยสารด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศที่ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบสร้างประกอบไปด้วยหม้อแปลงปรับแรงดันไฟฟ้าชนิดแกนหมุน 3000 โวลต์-แอมแปร์ หม้อแปลงไฟฟ้า 3000 โวลต์-แอมแปร์ ขั้วสำหรับการระเหยสาร สายไฟ แหล่งกำเนิดการระเหยสาร เป็นต้น ขั้วสำหรับระเหยสารทำมาจากทองแดง และแหล่งกำเนิดการระเหยสาร 4 รูปแบบ ทำมาจากทั้งสแตน ผู้วิจัยได้ประกอบวงจรเข้ากับแหล่งกำเนิดการระเหยโดยผลการทดลองพบว่าค่ากระแสและแรงดันทุติยภูมิที่แหล่งกำเนิดการระเหยสารยังคงรูปเดิม สำหรับแบบรอยหยักคือ 1.091 โวลต์ 59.63 แอมแปร์ สำหรับแบบขดคือ 3.327 โวลต์ 50.87 แอมแปร์ สำหรับแบบตะกร้าคือ 1.882 โวลต์ 32.93 แอมแปร์ และสำหรับแบบโบ้ทคือ 1.829 โวลต์ 197.17 แอมแปร์ ตามลำดับ เมื่อทำการระเหยทองแดงพบว่าค่ากระแสและแรงดันทุติยภูมิที่ทองแดงเริ่มระเหยสำหรับแบบรอยหยักคือ 0.871 โวลต์ 53.07 แอมแปร์ สำหรับแบบขดคือ 2.623 โวลต์ 47.77 แอมแปร์ สำหรับแบบตะกร้าคือ 1.397 โวลต์ 29.77 แอมแปร์ และสำหรับแบบโบ้ทคือ 1.073 โวลต์ 171.40 แอมแปร์ ตามลำดับ เมื่อทำการระเหยอะลูมิเนียมพบว่าค่ากระแสและแรงดันทุติยภูมิที่อะลูมิเนียมเริ่มระเหยสำหรับแบบรอยหยักคือ 1.113 โวลต์ 55.70 แอมแปร์ สำหรับแบบขดสารเริ่มระเหยคือ 3.327 โวลต์ 52.13 แอมแปร์ สำหรับแบบตะกร้าสารคือ 1.924 โวลต์ 28.63 แอมแปร์ และสำหรับแบบโบ้ทคือ 1.765 โวลต์ 198.37 แอมแปร์ ตามลำดับ ทำให้ทราบได้ว่าวงจรสำหรับระเหยสารที่ได้ทำการออกแบบสามารถใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสูงให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารทั้ง 4 รูปแบบ เพื่อใช้ในการระเหยสารได้ และสามารถนำวงจรที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการปลูกฟิล์มบางที่ความดันสุญญากาศได้

คำสำคัญ: หม้อแปลงปรับแรงดันชนิดแกนหมุน หม้อแปลง ขั้วสำหรับการระเหยสาร แหล่งกำเนิดการระเหยสาร กระแสทุติยภูมิ แรงดันทุติยภูมิ การปลูกฟิล์ม วิธีการระเหยสารด้วยความร้อนในสุญญากาศ

Title	Circuit Design for Thermal Evaporation in Vacuum
Student	Miss Rawiwan Chaleawpong student ID 55051590
Degree	Bachelor of science (Applied Physics)
Department	Physics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2015
Advisor	Assist.Prof.Dr.Nathaporn Promros
Co-advisor	Assist.Prof.Dr.Boonchoat Poasawatyanong

Abstract

I designed the circuit for thermal evaporation in vacuum system and studied its current-voltage characteristics. I would like to reduce the cost of the components of thermal evaporation system when I order for the abroad. This circuit consists of the main components such as wires, 3000VA power variable AC transformer, 3000VA power transformer, the electrode, and the thermal evaporation sources. The electrodes are made from copper and the thermal evaporation sources are made from tungsten. I assemble the circuit with the evaporation source to study about the secondary current and secondary voltage characteristics of the evaporation sources. The electrical results showed the secondary current and secondary voltage of evaporation without copper on the point & loop heater, the coil heater, the basket heater and the boat heater were 59.63 A, 1.091 V, 50.87 A, 3.327 V, 32.93 A, 1.882 V, 197.17 A, and 1.829 V, respectively, and of those with copper were 53.07 A, 0.871 V, 47.77 A, 2.623 V, 29.77 A, 1.397 V, 171.40 A and 1.073 V, respectively, and of those with aluminum were 55.70 A, 1.113 V, 52.13 A, 3.327 V, 28.63 A, 1.924 V, 198.37 A and 1.765 V, respectively. From these results, the designed circuit can be used to be an electrical power source for vacuum thermal evaporation system. It can be applied for deposition of thin film by thermal evaporation method.

Keywords: Variable AC transformer, transformer, electrode, thermal evaporation sources, secondary current, secondary voltage, deposited thin film, vacuum evaporation method.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ได้มอบหมายหัวข้อโครงการพิเศษเรื่องนี้แก่คณะผู้วิจัย สนับสนุนด้านอุปกรณ์และสถานที่ปฏิบัติงาน รวมถึงคำแนะนำ อธิบายชี้แจงความรู้ที่เกี่ยวข้องเพื่อนำไปใช้ประยุกต์ในการปฏิบัติงานอันมีส่วนส่งผลทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผศ.ดร.บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์ยรรยง อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำ อธิบายชี้แจงความรู้ที่เกี่ยวข้องให้แก่ผู้วิจัยเพื่อนำไปใช้ประยุกต์ในการปฏิบัติงาน

รศ.สาทร่ายเล็กชะอุม รศ.วิชิต ศิริโชติ ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข ดร.พิศาล สุขวิสูตร คณาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้สละเวลาอันมีค่าของพวกท่านและให้เกียรติอย่างมากในการเป็นคณะกรรมการสอบวิชาโครงการพิเศษนี้ให้แก่กลุ่มของคณะผู้วิจัยรวมถึงให้คำแนะนำในการปรับปรุงเนื้อหาและเล่มโครงการพิเศษนี้

คณาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้มอบวิชาความรู้ต่างๆด้านฟิสิกส์ให้แก่คณะผู้วิจัยเพื่อนำไปใช้ประกอบวิชาชีพ

นาย พงศภัก สิทธิมาตร และ นางสาว ณัฏฐาทิพย์ ป่าธนู รุ่นพี่ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คอยให้คำแนะนำเพิ่มเติมในการต่อยอดจากโครงงานเดิมของทั้งสองท่านรวมถึงการทำรูปเล่มโครงการพิเศษ

หน่วยงาน AUN/SEED-Net JICA ที่ให้ความอนุเคราะห์ทางด้านงบประมาณในการดำเนินงานวิจัยโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณโรงกลึงศิวิศาลและสเตเบิลอิเล็กทรอนิกส์ฟลายที่สร้างงานคุณภาพและทำให้โครงการพิเศษเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ด้วยงานมีคุณภาพ

รวิวรรณ เฉลียวพงษ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ณ
คำย่อ/สัญลักษณ์	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินการ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การระเหยสาร	4
2.1.1 หลักการระเหยสาร	4
2.1.2 การทำให้เป็นไอโดยความร้อนในสุญญากาศ	4
2.2 หม้อแปลงไฟฟ้า	5
2.2.1 หลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	5
2.2.2 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า	6
2.2.3 ประเภทของหม้อแปลง	8
2.2.4 การคำนวณเพื่อพันหม้อแปลง	11
2.3 ดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์	13
2.3.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์	13
2.3.2 หลักการทำงานเบื้องต้นของดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์	14
2.4 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์	16
2.4.1 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ย่านวัดอัตโนมัติ	16
2.4.2 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ย่านวัดปรับด้วยมือ	16
2.5 แหล่งกำเนิดการระเหยสาร	17
2.5.1 หลักการทำงานของแหล่งกำเนิดการระเหยสาร	17
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	19
3.1 การออกแบบวงจรเพื่อใช้สำหรับระบบระเหยสารด้วยความร้อน	19
3.2 ส่วนประกอบของวงจรเพื่อใช้สำหรับระบบระเหยสารด้วยความร้อน	19
3.2.1 สายไฟ	20
3.2.2 หม้อแปลงปรับแรงดันไฟฟ้าชนิดแกนหมุน	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2.3 หม้อแปลงไฟฟ้า	21
3.2.4 ขั้วสำหรับการระเหยสาร	22
3.2.5 แหล่งกำเนิดการระเหยสาร	26
3.3 การวัดพารามิเตอร์ต่างๆ	28
3.3.1 ดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์	28
3.3.2 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์	28
3.4 การศึกษาลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อน	29
3.4.1 การศึกษาลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนที่มีรูปแบบต่างกัน 4 แบบ	29
3.4.2 การศึกษาลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนที่มีรูปแบบต่างกัน 4 แบบ ที่ใช้ในการระเหยทองแดง	32
3.4.3 การศึกษาลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนที่มีรูปแบบต่างกัน 4 แบบ ที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม	32
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายการทดลอง	33
4.1 การศึกษาลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนที่มีรูปแบบต่างกัน 4 แบบ	33
4.2 การศึกษาลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนที่มีรูปแบบต่างกัน 4 แบบ ที่ใช้ในการระเหยทองแดง	38
4.3 การศึกษาลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนที่มีรูปแบบต่างกัน 4 แบบ ที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม	44
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	50
5.1 สรุปผลการทดลอง	50
5.2 ข้อเสนอแนะ	51
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	
ภาคผนวก ข	
ภาคผนวก ค	
ภาคผนวก ง	
ภาคผนวก จ	
ภาคผนวก ฉ	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินการ	2
ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของสายไฟ	19
ตารางที่ 3.1 แสดงถึงลักษณะเฉพาะของแหล่งกำเนิดการระเหยสารที่ต่างรูปแบบกัน	25
ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบรอยหยัก	32
ตารางที่ 4.2 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบขด	33
ตารางที่ 4.3 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบตะกร้า	35
ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบโบ้ท	36
ตารางที่ 4.5 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบรอยหยักที่ใช้ในการระเหยทองแดง	37
ตารางที่ 4.6 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบขดที่ใช้ในการระเหยทองแดง	39
ตารางที่ 4.7 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบตะกร้าที่ใช้ในการระเหยทองแดง	40
ตารางที่ 4.8 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบโบ้ทที่ใช้ในการระเหยทองแดง	42
ตารางที่ 4.9 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบรอยหยักที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม	43
ตารางที่ 4.10 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบขดที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม	44
ตารางที่ 4.11 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบตะกร้าที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม	46
ตารางที่ 4.12 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบโบ้ทที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม	47
ตารางที่ ก.1 EI-Laminate	53
ตารางที่ ก.2 AWG Wire Size	54
ตารางที่ ค.1 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบรอยหยัก ครั้งที่ 1	60
ตารางที่ ค.2 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบรอยหยัก ครั้งที่ 2	60
ตารางที่ ค.3 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบรอยหยัก ครั้งที่ 3	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการระเหย	4
รูปที่ 2.2 การระเหยสารในสุญญากาศ	4
รูปที่ 2.3 โครงสร้างภายในของหม้อแปลง	5
รูปที่ 2.4 เส้นแรงแม่เหล็กของขดลวดตัวนำ	5
รูปที่ 2.5 แกนเหล็กแบบต่างๆ	6
รูปที่ 2.6 แกนเหล็กรูปตัวอี	7
รูปที่ 2.7 แกนหลักรูปตัวโอ	7
รูปที่ 2.8 ขดลวดตัวนำ	7
รูปที่ 2.9 ฉนวนที่พันอยู่บนขดลวดตัวนำ	8
รูปที่ 2.10 แกนเหล็กแบบคอร์	8
รูปที่ 2.11 แกนเหล็กแบบเซลล์	9
รูปที่ 2.12 แกนเหล็กแบบตัว H	9
รูปที่ 2.12 หม้อแปลง 1 เฟส	10
รูปที่ 2.13 หม้อแปลง 3 เฟส	10
รูปที่ 2.14 หม้อแปลงปรับแรงดันชนิดแกนหมุน	11
รูปที่ 2.15 ไดอะแกรมของหม้อแปลง	11
รูปที่ 2.16 ส่วนประกอบต่างๆ ของแคลมป์มิเตอร์	13
รูปที่ 2.17 ไดอะแกรมของแคลมป์มิเตอร์แบบ Current Transformer	14
รูปที่ 2.18 ไดอะแกรมของแคลมป์มิเตอร์แบบ Hall Device	15
รูปที่ 2.19 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ย่านวัดอัตโนมัติแบบต่างๆ	16
รูปที่ 2.20 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ย่านวัดปรับด้วยมือแบบต่างๆ	16
รูปที่ 2.21 แหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบต่างๆ	17
รูปที่ 3.1 ไดอะแกรมของวงจรเพื่อใช้สำหรับระบบระเหยสารด้วยความร้อนที่ทำการออกแบบ	18
รูปที่ 3.2 วงจรระเหยสารที่ทำการออกแบบสร้าง	18
รูปที่ 3.3 สายไฟที่ทนกระแสสูงสุดได้ 13 แอมแปร์	19
รูปที่ 3.4 สายไฟที่ทนกระแสสูงสุดได้ 321 แอมแปร์	19
รูปที่ 3.5 หม้อแปลงปรับแรงดันไฟฟ้าชนิดแกนหมุนที่ทำการออกแบบ	20
รูปที่ 3.6 ไดอะแกรมของโครงสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าที่ทำการออกแบบสร้าง	20
รูปที่ 3.7 โครงสร้างภายนอกหม้อแปลงไฟฟ้าที่ทำการออกแบบสร้าง	21
รูปที่ 3.8 หม้อแปลงไฟฟ้าที่ทำการออกแบบสร้าง	21
รูปที่ 3.9 ขั้วสำหรับการระเหยสาร	21
รูปที่ 3.10 ส่วนสำหรับยึดจับแหล่งกำเนิดการระเหยสาร	22
รูปที่ 3.11 เสานำกระแสสำหรับต่อส่วนสำหรับหนีบแหล่งกำเนิดการระเหยสาร	23
รูปที่ 3.12 ส่วนที่ต่อระหว่างไฟกระแสสูงและเสานำกระแส	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.13 เทปลอนด้านในภาชนะสุญญากาศ	24
รูปที่ 3.14 เทปลอนด้านนอกภาชนะสุญญากาศ	24
รูปที่ 3.15 แหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบรอยหยักที่ถูกใช้ในงานวิจัย	25
รูปที่ 3.16 แหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบขดที่ถูกใช้ในงานวิจัย	26
รูปที่ 3.17 แหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบตะกร้าที่ถูกใช้ในงานวิจัย	26
รูปที่ 3.18 แหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบโบ๊ทที่ถูกใช้ในงานวิจัย	26
รูปที่ 3.19 ดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์ที่ถูกใช้ในงานวิจัย	27
รูปที่ 3.20 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ที่ถูกใช้ในงานวิจัย	27
รูปที่ 3.21 ไดอะแกรมของการต่อวงจรและการตำแหน่งของการวัดค่าที่ทำการออกแบบ	28
รูปที่ 3.22 วงจรสำหรับระเหยสารด้วยความร้อน	28
รูปที่ 3.23 วงจรสำหรับระเหยสารด้วยความร้อนที่ต่อแคลมป์มิเตอร์และมัลติมิเตอร์	29
รูปที่ 3.24 เปิดแคลมป์มิเตอร์และมัลติมิเตอร์	29
รูปที่ 3.25 แหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบรอยหยักต่อเข้ากับขั้วสำหรับระเหยสาร	30
รูปที่ 3.26 บันทึกค่าแรงดันและกระแส	30
รูปที่ 3.27 แหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบรอยหยักต่อเข้ากับขั้วสำหรับระเหยสารเพื่อทำการ ระเหยทองแดง	31
รูปที่ 3.28 แหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบรอยหยักต่อเข้ากับขั้วสำหรับระเหยสารเพื่อทำการ ระเหยอะลูมิเนียม	31
รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฐมภูมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการ ระเหยสารแบบรอยหยัก	32
รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยภูมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการ ระเหยสารด้วยความร้อนแบบรอยหยัก	33
รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฐมภูมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการ ระเหยสารด้วยความร้อนแบบขด	34
รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยภูมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการ ระเหยสารด้วยความร้อนแบบขด	34
รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฐมภูมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิด การระเหยสารด้วยความร้อนแบบตะกร้า	35
รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยภูมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิด การระเหยสารด้วยความร้อนแบบตะกร้า	35
รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฐมภูมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิด การระเหยสารด้วยความร้อนแบบโบ๊ท	36
รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยภูมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิด การระเหยสารด้วยความร้อนแบบโบ๊ท	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฏุมุมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิด การระเหยสารแบบรอยหยักที่ใช้ในการระเหยทองแดง	38
รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยมุมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิด การระเหยสารด้วยความร้อนแบบรอยหยักที่ใช้ในการระเหยทองแดง	38
รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฏุมุมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิด การระเหยสารด้วยความร้อนแบบขดที่ใช้ในการระเหยทองแดง	39
รูปที่ 4.12 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยมุมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิด การระเหยสารด้วยความร้อนแบบขดที่ใช้ในการระเหยทองแดง	40
รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฏุมุมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิด การระเหยสารด้วยความร้อนแบบตะกร้า	41
รูปที่ 4.14 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยมุมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิด การระเหยสารด้วยความร้อนแบบตะกร้า	41
รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฏุมุมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิด การระเหยสารด้วยความร้อนแบบโบทเพื่อทำการระเหยทองแดง	42
รูปที่ 4.16 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยมุมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิด การระเหยสารด้วยความร้อนแบบโบทเพื่อทำการระเหยทองแดง	42
รูปที่ 4.17 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฏุมุมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิด การระเหยสารด้วยความร้อนแบบรอยหยัก ที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม	43
รูปที่ 4.18 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยมุมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิด การระเหยสารด้วยความร้อนแบบรอยหยักที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม	44
รูปที่ 4.19 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฏุมุมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิด การระเหยสารด้วยความร้อนแบบขดเพื่อทำการระเหยอะลูมิเนียม	45
รูปที่ 4.20 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยมุมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิด การระเหยสารด้วยความร้อนแบบขดเพื่อทำการระเหยอะลูมิเนียม	45
รูปที่ 4.21 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฏุมุมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิด การระเหยสารด้วยความร้อนแบบตะกร้าเพื่อทำการระเหยอะลูมิเนียม	46
รูปที่ 4.22 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยมุมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิด การระเหยสารด้วยความร้อนแบบตะกร้าเพื่อทำการระเหยอะลูมิเนียม	46
รูปที่ 4.23 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฏุมุมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิด การระเหยสารด้วยความร้อนแบบโบทที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม	47
รูปที่ 4.24 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยมุมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิด การระเหยสารด้วยความร้อนแบบโบทที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม	48
รูปที่ ก.1 El-Laminate	53
รูปที่ ฉ.1 ฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านล่าง	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่

รูปที่ ๘.2 ส่วนสำหรับปีครูซีระบบสุญญากาศ

หน้า

81



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ	คำอธิบาย
Ep	ระดับแรงดันไฟฟ้าทางขดลวดปฐมภูมิ
Es	ระดับแรงดันไฟฟ้าทางขดลวดทุติยภูมิ
Np	จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ
Ns	จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ
$\Delta\theta$	อัตราการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก
Ip	กระแสไฟฟ้าทางขดลวดปฐมภูมิ
Is	กระแสไฟฟ้าทางขดลวดทุติยภูมิ
VA	พิกัดกำลังของหม้อแปลง
Ac	พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก
W	ความกว้างขากลางของแกนเหล็ก
T	ความหนาของแกนเหล็กที่ถูกอัดรวมกัน
ts	ความหนาของแกนเหล็กแต่ละแผ่น
n	จำนวนแผ่นของแกนเหล็กที่ถูกอัดรวมกัน
V	ปริมาตรของแกนเหล็ก
M	น้ำหนักของแกนเหล็ก
Di	ความหนาแน่นของแกนเหล็ก
f	ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ
Bm	ความเข้มของสนามแม่เหล็กในวงจรรไฟฟ้าที่ยังไม่อิ่มตัว
Aw	พื้นที่หน้าตัดของขดลวดตัวนำ
Aair	พื้นที่ของหน้าต่างที่พันขดลวด
Awh	พื้นที่ของขดลวดด้านแรงดันสูงหรือปฐมภูมิ
Awl	พื้นที่ของขดลวดด้านแรงดันต่ำหรือทุติยภูมิ
Nl	จำนวนรอบของขดลวดด้านแรงดันต่ำ
Nh	จำนวนรอบของขดลวดด้านแรงดันสูง
Cl	จำนวนรอบของลวดตัวนำหุ้มฉนวนด้านแรงดันต่ำต่อพื้นที่
Ch	จำนวนรอบของลวดตัวนำหุ้มฉนวนด้านแรงดันสูงต่อพื้นที่
At	พื้นที่ของขดลวดทั้งหมด
Ll	ความยาวของขดลวด ตัวนำด้านแรงดันต่ำ
Lh	ความยาวของขดลวดตัวนำด้านแรงดันสูง
dl	เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดตัวนำด้านแรงดันต่ำหุ้มฉนวน
dh	เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดตัวนำด้านแรงดันสูงหุ้มฉนวน
Kl	จำนวนรอบของลวดหุ้มฉนวนด้านแรงดันต่ำต่อความยาว
Kh	จำนวนรอบของลวดหุ้มฉนวนด้านแรงดันสูงต่อความยาว
Wwl	น้ำหนักของลวดตัวนำด้านแรงดันต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์(ต่อ)

คำย่อ	คำอธิบาย
Wwh	น้ำหนักของลวดตัวนำด้านแรงดันสูง
Wkl	น้ำหนักของลวดตัวนำด้านแรงดันต่ำต่อความยาว
Wkh	น้ำหนักของลวดตัวนำด้านแรงดันสูงต่อความยาว
A	ความสูงของแกนเหล็ก
B	ความกว้างของแกนเหล็ก
X	ความกว้างของหน้าต่าง
Y	ความยาวของหน้าต่าง
D	เส้นผ่านศูนย์กลางรู



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในสภาวะปัจจุบันเทคโนโลยีการเคลือบฟิล์มบางในสุญญากาศ อาทิเช่น สปีตเตอริง (Sputtering) และการระเหยสารด้วยความร้อน (Thermal evaporation) ได้ถูกนำมาใช้ในด้านอุตสาหกรรม การวิจัยและด้านการศึกษาอย่างแพร่หลาย สำหรับการเคลือบฟิล์มบางในสุญญากาศ ด้วยวิธีการระเหยสารด้วยความร้อน เป็นการระเหยสารโดยการให้ความร้อนกับสารที่ต้องการเคลือบ จนเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอและไปยึดเกาะที่แผ่นรองรับ (Substrate) ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีที่นิยมใช้ในการเคลือบงานโลหะ เช่น อะลูมิเนียม นิกเกิล เป็นต้น ทั้งนี้เมื่อพิจารณาระบบเคลือบฟิล์มบางในสุญญากาศด้วยวิธีการระเหยสารด้วยความร้อนจะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญ คือ ภาชนะสุญญากาศ (Vacuum chamber) ส่วนระบบสร้างสภาวะสุญญากาศที่ประกอบด้วยเครื่องสูบลูกโรตารี (Rotary pump) เครื่องสูบบแบบแพร่ไอน้ำมัน (Diffusion pump) แผ่นกั้นไอน้ำมัน (Baffle) มาตรวัดความดัน (Pressure gauge) วาล์ว (Valve) และข้อต่อต่างๆ ส่วนการเคลือบประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดการระเหยสารที่ต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีค่ากระแสสูง และแผ่นรองรับ (Substrate)

แหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีค่ากระแสสูงมีความสำคัญต่อระบบการระเหยสารด้วยความร้อนเป็นอย่างมากโดยการจ่ายกระแสให้เพียงพอกับแหล่งกำเนิดการระเหยสาร เนื่องจากกระแสที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารดังกล่าวจะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อนจึงทำให้สารสามารถเกิดการระเหยเมื่อปริมาณความร้อนมีค่าโดยประมาณเทียบเท่ากับจุดหลอมเหลวของสาร ทั้งนี้ผู้วิจัยมีความประสงค์ที่จะออกแบบสร้างวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีค่ากระแสสูง โดยอุปกรณ์ที่สำคัญจะประกอบไปด้วยสายไฟที่สามารถทนกระแสได้สูงกว่า 13 และ 321 แอมแปร์ หม้อแปลงปรับแรงดันไฟฟ้าชนิดแกนหมุน (Variable AC Transformer) ขนาด 3000 โวลต์-แอมแปร์ หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) ขนาด 3000 โวลต์-แอมแปร์ ขั้วสำหรับการระเหยสาร (Electrode for Evaporation) แหล่งกำเนิดการระเหยสาร (Thermal Source) แบบต่างๆ สำหรับในส่วนการวัดใช้แคลมป์มิเตอร์ (Clampmeter) สำหรับการวัดกระแสไฟฟ้าสลับ และดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Multimeter) สำหรับการวัดแรงดันไฟฟ้า

นอกจากนี้ผู้วิจัยมีความคาดหวังที่จะออกแบบวงจรสำหรับการระเหยสารด้วยความร้อนโดยเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ที่เหมาะสมและมีต้นทุนไม่สูงมาก เพื่อลดการสั่งซื้อจากต่างประเทศที่ต้องใช้งบประมาณค่อนข้างสูง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อออกแบบวงจรที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟที่มีค่ากระแสสูงสำหรับระเหยสารด้วยความร้อน
2. เพื่อศึกษาลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันของวงจรระเหยสารด้วยความร้อนด้วยการใช้แหล่งกำเนิดการระเหยสารที่มีรูปแบบต่างกัน
3. เพื่อศึกษาลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันของวงจรระเหยสารด้วยความร้อนที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนที่มีรูปแบบต่างกันในการระเหยทองแดงและอะลูมิเนียม

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยใช้เครื่องปรับแรงดันไฟฟ้า ขนาด 3000 โวลต์-แอมแปร์ หม้อแปลงไฟฟ้า ขนาด 3000 โวลต์-แอมแปร์ ในการออกแบบวงจรที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีค่ากระแสสูง และต้องการใช้วงจรดังกล่าวกับระบบระเหยสารด้วยความร้อนที่ได้ทำการออกแบบสร้างขึ้นมา

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินการ

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินการ

การดำเนินการ	ระยะเวลา								
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
ศึกษาหลักการทํางานและอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีค่ากระแสสูง	←→								
ออกแบบวงจรที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีค่ากระแสสูงสำหรับระบบระเหยสารด้วยความร้อน		←→							
ติดตั้งวงจรที่ได้ออกแบบกับแหล่งกำเนิดการระเหยสาร				←→					
ทดสอบการทํางานของวงจรที่ออกแบบด้วยการระเหยสาร						←→			
ศึกษาลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อน							←→		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้ในการออกแบบและอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีค่ากระแสสูงเพื่อใช้กับแหล่งกำเนิดระเหยสารด้วยความร้อน
2. ได้วงจรที่สามารถใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีค่ากระแสสูงสำหรับระบบระเหยสารด้วยความร้อนที่มีต้นทุนต่ำกว่าการสั่งซื้อจากต่างประเทศ
3. ทราบถึงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อน
4. ทราบถึงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันของวงจรระเหยสารด้วยความร้อนที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนที่มีรูปแบบต่างกันในการระเหยทองแดงและอลูมิเนียม



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบสร้างวงจรที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟที่มีค่ากระแสสูงสำหรับระเหยสารด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ ดังนั้นผู้วิจัยจะขออธิบายหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยโดยเริ่มต้นจากหลักการที่เกี่ยวข้องกับหลักการการระเหยสาร หม้อแปลงไฟฟ้า แคลมป์มิเตอร์ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ แหล่งกำเนิดการระเหยสาร เป็นต้น

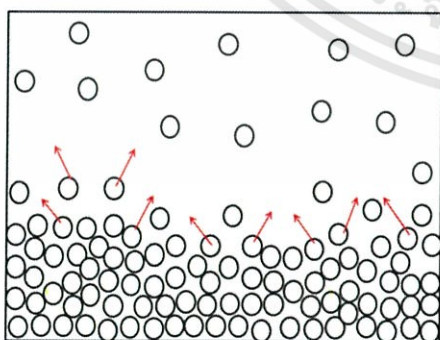
2.1 การระเหยสาร

2.1.1 หลักการระเหยสาร

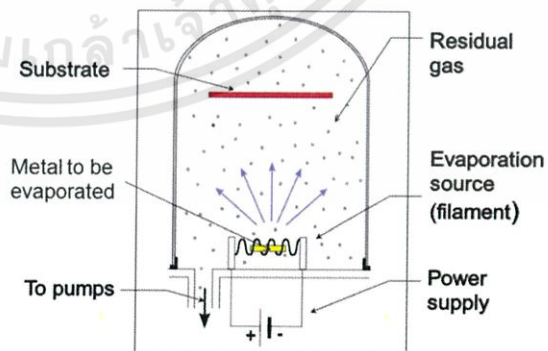
การระเหยคือการที่ของเหลวเปลี่ยนสถานะเป็นไออย่างช้าๆ การระเหยเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณผิวหน้าของของเหลวเท่านั้น การระเหยเกิดขึ้นได้ทุกๆ อุณหภูมิที่ยังมีของเหลวนั้นอยู่ เมื่อเกิดการระเหยพลังงานและอุณหภูมิของของเหลวที่เหลือจะลดลง เพราะโมเลกุลที่กลายเป็นไอเป็นโมเลกุลที่มีพลังงานสูง ส่วนโมเลกุลที่เหลือในของเหลว ส่วนใหญ่มีพลังงานต่ำกว่า ระหว่างที่เกิดการระเหยเมื่อพลังงานและอุณหภูมิของของเหลวลดลง ก็จะมีการถ่ายเทพลังงานจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ของเหลวแทนที่พลังงานที่เสียไปกับโมเลกุลที่กลายเป็นไอ [1] แสดงในรูปที่ 2.1

2.1.2 การทำให้เป็นไอด้วยความร้อนในสุญญากาศ

การทำให้เป็นไอด้วยความร้อนในสุญญากาศ การระเหยเกิดเมื่อโมเลกุลของของเหลวมีพลังงานจลน์สูงมากพอที่จะทำให้อะตอมหลุดออก การระเหยสารด้วยความร้อนในสุญญากาศถูกทำภายในภาชนะสุญญากาศความดันต่ำกว่า 1×10^{-6} ทอร์ สารจะระเหยเมื่อสารมีอุณหภูมิเทียบเท่ากับจุดระเหยเพื่อทำการระเหยสารต้องทำการจ่ายกระแสไปยังแหล่งกำเนิดการระเหยสารให้เพียงพอ พลังงานความร้อนที่นำมาทำการระเหยสารได้จากการเปลี่ยนของพลังงานไฟฟ้าโดยสารที่ระเหยภายในภาชนะสุญญากาศจะเกิดการควบแน่นอนุภาคบนชิ้นงาน [2] แสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 แสดงการระเหย



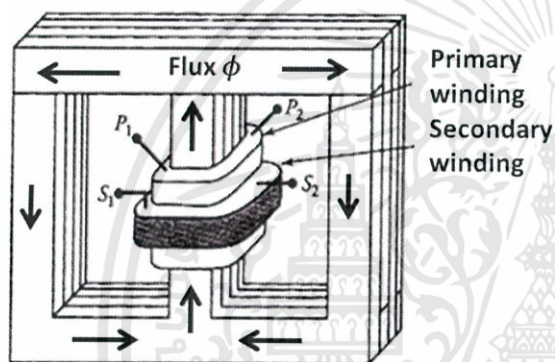
รูปที่ 2.2 การระเหยสารในสุญญากาศ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

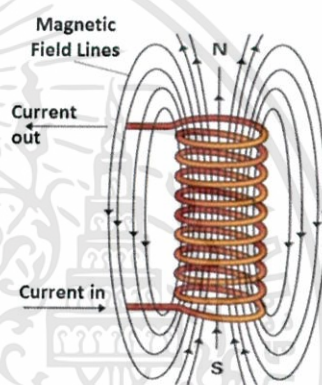
2.2 หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าทำหน้าที่เพิ่ม-ลดแรงดันหรือกระแสไฟฟ้าให้เหมาะกับการใช้งาน โดยขดลวดที่ถูกต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ เรียกว่า ขดลวดปฐมภูมิ ขดลวดที่ถูกต่อเข้ากับโหลด เรียกว่า ขดลวดทุติยภูมิ โดยมีฉนวนกันไม่ให้ขดลวดสัมผัสกัน ดังรูปที่ 2.3

การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้านั้น อาศัยหลักการความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเส้นแรงแม่เหล็กในการสร้างแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำให้กับตัวนำ คือ เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวดตัวนำ ก็จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กรอบๆตัวนำนั้น และถ้ากระแสที่ป้อนมีขนาดและทิศทางที่เปลี่ยนแปลงไปมา ก็จะทำให้สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ถ้าสนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวตัดผ่านตัวนำ ก็จะเกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำขึ้นที่ตัวนำนั้น โดยขนาดของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำจะสัมพันธ์กับ ความเข้มของสนามแม่เหล็ก และความเร็วในการตัดผ่านตัวนำของสนามแม่เหล็ก ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 โครงสร้างภายในของหม้อแปลง [3]



รูปที่ 2.4 เส้นแรงแม่เหล็กของขดลวดตัวนำ [4]

2.2.1 หลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า [5]

การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อป้อนแรงดันไฟสลับเข้าที่ขดปฐมภูมิจะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กชักนำขึ้น ทำให้เกิดแรงดันไฟสลับขึ้นที่ขดทุติยภูมิโดยมีความถี่เท่าเดิม ขดทุติยภูมิจะมีขดลวดขดเดียวหรือหลายขดก็ได้ แรงดันไฟสลับที่เกิดขึ้นที่ขดทุติยภูมิจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของขดลวด ระหว่างขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิ สามารถคำนวณได้ว่าทางขดปฐมภูมิ จะใช้ขดลวดกี่รอบต่อ 1 โวลต์แล้ว ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของขดลวด เมื่อสามารถหาได้ว่าขดลวดกี่รอบต่อโวลต์แล้ว ทางขดทุติยภูมิก็สามารถที่จะพันให้ได้จำนวนรอบตามที่ต้องการถ้าจำนวนรอบของขดปฐมภูมิเท่ากับจำนวนรอบของขดทุติยภูมิ แรงดันไฟสลับที่ออกมาที่ขดทุติยภูมิจะเท่ากับแรงดันไฟสลับที่ป้อนเข้าไปที่ขดปฐมภูมิ

$$\text{จากสมการ} \quad E_p = N_p \times \Delta\phi \quad 2.1$$

$$\text{และ} \quad E_s = N_s \times \Delta\phi \quad 2.2$$

เมื่อนำสมการ (1) มาหารด้วยสมการ (2) จะได้ว่า

$$E_p / E_s = N_p / N_s \quad 2.3$$

$$\text{จะได้ว่า} \quad E_s = E_p \times (N_p / N_s) \quad 2.4$$

ถ้าจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิมากกว่าจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ จะส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าทางขดปฐมภูมิสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าทางขดทุติยภูมิ เรียกว่า Step Down Transformer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิต่ำกว่าจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ จะส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าทางขดปฐมภูมิต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าทางขดทุติยภูมิ เรียกว่า Step Up Transformer

ในทำนองเดียวกันและสมมติว่าไม่มีการสูญเสียใดๆ คือ กำลังไฟฟ้าขาออกเท่ากับกำลังไฟฟ้าขาเข้า

$$\text{จะได้ว่า} \quad I_s \times E_s = I_p \times E_p \quad 2.5$$

$$\text{หรือ} \quad I_s / I_p = E_p / E_s \quad 2.6$$

และเมื่อเทียบสมการ (6) = (3) จะได้ว่า

$$I_s / I_p = N_p / N_s \quad 2.7$$

$$\text{จะได้ว่า} \quad I_s = I_p \times (N_p / N_s) \quad 2.8$$

ถ้าจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิสูงกว่าจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ จะส่งผลให้กระแสทางขดปฐมภูมิต่ำกว่ากระแสทางขดทุติยภูมิ เรียกว่า Step Down Transformer

ถ้าจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิต่ำกว่าจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ จะส่งผลให้กระแสทางขดปฐมภูมิสูงกว่ากระแสทางขดทุติยภูมิ เรียกว่า Step Up Transformer

2.2.2 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า [6]

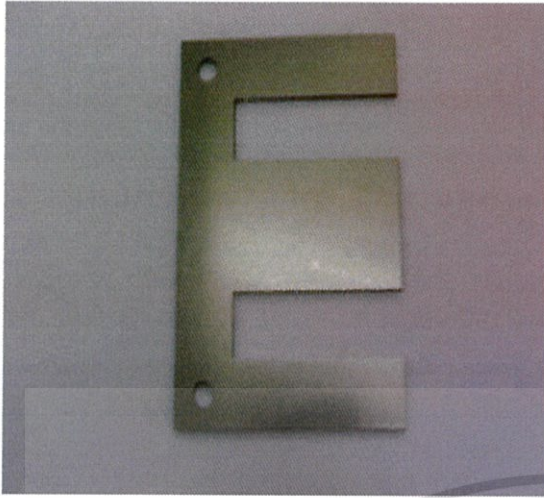
หม้อแปลงไฟฟ้ามีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 3 ส่วน คือ แกนเหล็ก ขดลวดตัวนำ ฉนวน และขั้วต่อสายไฟ เป็นต้น

2.2.2.1 แกนเหล็ก (Core)

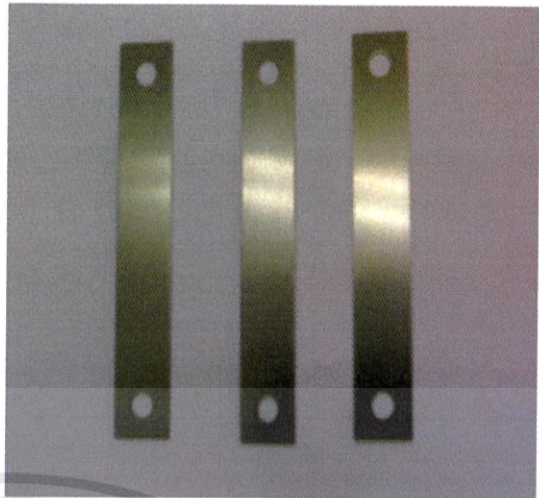
แกนเหล็กมีลักษณะเป็นแผ่นเหล็กบางๆ เคลือบด้วยฉนวนนำมาอัดซ้อนกันเป็นรูปแกนของหม้อแปลงทำหน้าที่เป็นทางเดินสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและให้ขดลวดพันรอบ แผ่นเหล็กที่ใช้ทำแกนหม้อแปลงจะมีส่วนผสมของสารกึ่งตัวนำ-ซิลิกอนเพื่อรักษาความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบขดลวดไว้ แผ่นเหล็กแต่ละชั้นเป็นแผ่นเหล็กบางเรียงต่อกันหลายชั้นทำให้มีความต้านทานสูงและช่วยลดการสูญเสียบนแกนเหล็กที่ส่งผลให้เกิดความร้อนหรือที่เรียกว่ากระแสไหลวนบนแกนเหล็กโดยทำแผ่นเหล็กให้เป็นแผ่นบางหลายแผ่นเรียงซ้อนประกอบขึ้นเป็นแกนหลักของหม้อแปลง



รูปที่ 2.5 แกนเหล็กแบบต่างๆ [7]



รูปที่ 2.6 แกนเหล็กรูปตัวอี



รูปที่ 2.7 แกนเหล็กรูปตัวไอ

2.2.2.2 ขดลวดตัวนำ (Winding)

ขดลวดสำหรับใช้พันหม้อแปลงจะมีทั้งขดลวดทองแดงอาบน้ำยาฉนวน หรือลวดอะลูมิเนียมหุ้มด้วยขดลวดมีทั้งชนิดกลมและเหลี่ยมหรือแบน แต่ลวดอะลูมิเนียมจะสูญเสียกำลังงานมากกว่าลวดทองแดง หม้อแปลงจะมีขดลวด 2 ชุด คือ ขดลวดปฐมภูมิ (Primary Winding) ทำหน้าที่รับแรงเคลื่อนไฟฟ้า และขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Winding) ทำหน้าที่จ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้า



รูปที่ 2.8 ขดลวดตัวนำ [8]

2.2.2.3 ฉนวน (Insulator)

ฉนวน คือ กระจกใสไขว่ๆ ที่วางคั่นไว้ระหว่างชั้นของขดลวดเพื่อป้องกันขดลวดอาบน้ำยาลัดวงจรระหว่างชั้น หรือกระจกแข็ง ไฟเบอร์ แมกคาไลท์ ซึ่งจะกั้นระหว่างขดลวดกับแกนเหล็กไม่ให้รั่วหรือกราวด์ถึงกัน หรือวานิชที่เป็นของเหลวซึ่งเป็นฉนวนใช้อาบลงบนขดลวดแล้วอบด้วยความร้อนให้แห้ง เพื่อป้องกันความชื้นและไม่ให้ขดลวดสั้น ขดลวดจะเกาะกันแน่น ผ้าเทปพันสายก็เป็นฉนวนอีกแบบหนึ่งที่พันบนขดลวดหลังจากพันขดลวดเรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ฆนวนที่พันอยู่บนขดลวดตัวนำ [9]

2.2.2.4 ขั้วต่อสายไฟ (Terminal)

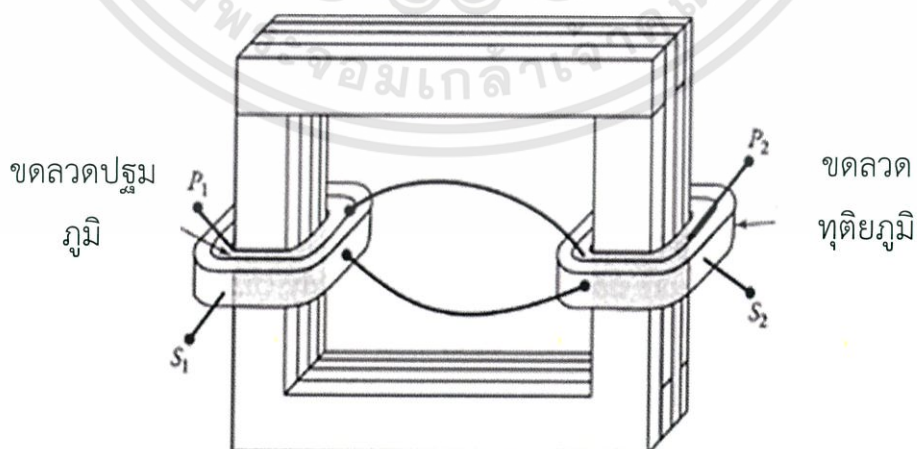
ขั้วต่อสายไฟ ทำหน้าที่เป็นจุดต่อสายไฟกับขดลวด โดยทั่วไปหม้อแปลง ขนาดเล็กจะใช้ ขั้วต่อไฟฟ้าต่อเข้าระหว่างปลายขดลวดกับสายไฟฟ้าภายนอก และถ้าเป็นหม้อแปลงขนาดใหญ่จะใช้ แผ่นทองแดง และบุชซึ่งกระเบื้องเคลือบต่อเข้าระหว่าง ปลายขดลวดกับสายไฟฟ้าภายนอก

2.2.3 ประเภทของหม้อแปลง [10]

สามารถจำแนกประเภทของหม้อแปลงได้ดังนี้

2.2.3.1 จำแนกตามชนิดของแกนเหล็ก

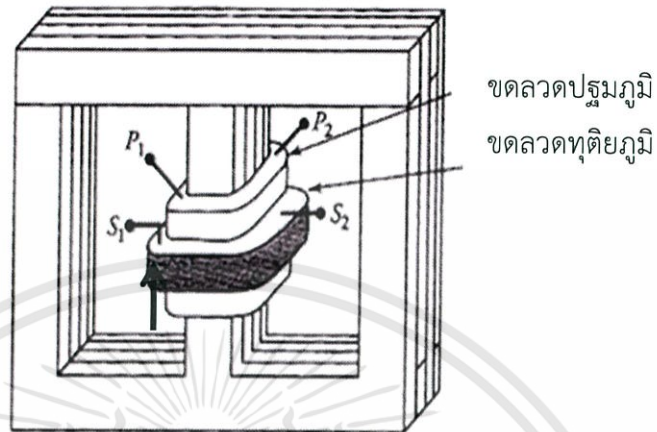
แกนเหล็กแบบคอร์ (Core Type) เป็นแกนเหล็กแผ่นบางๆ มีลักษณะเป็นรูปตัว L สอง ตัวประกบเข้าหากัน หรือเป็นรูปตัว U กับตัว I นำมาประกอบเข้าด้วยกัน มีวงจรมแม่เหล็กเป็นแบบ วงจรเดี่ยวหรือวงจรอนุกรม ซึ่งมีขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิพันอยู่บนแกนเหล็กทั้งสองด้านแยกกัน อยู่คนละข้าง



รูปที่ 2.10 แกนเหล็กแบบคอร์

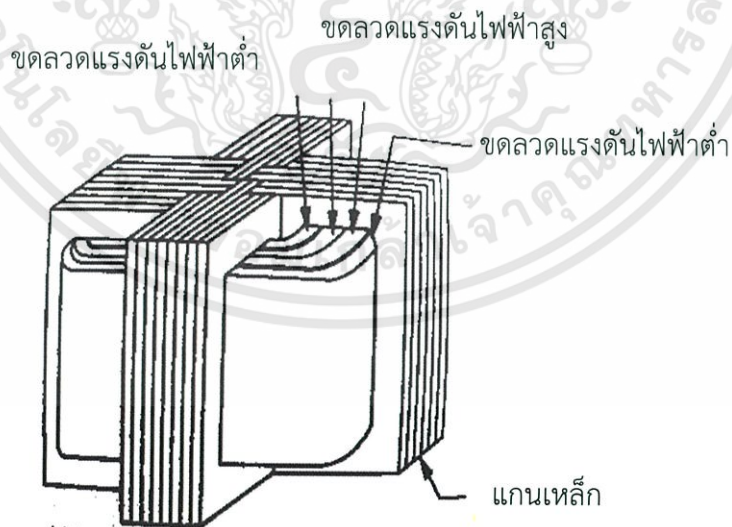
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกนเหล็กแบบเซลล์ (Shell Type) แกนเหล็กแบบนี้มีลักษณะเป็นรูปตัว E กับ I เมื่อประกอบเข้าด้วยกันจะมีวงจรมแม่เหล็ก 2 วง หรือ วงจรมแม่เหล็กแบบขนาน ขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิจะพันอยู่ที่ขากลางของแกนเหล็ก



รูปที่ 2.11 แกนเหล็กแบบเซลล์

แกนเหล็กแบบตัว H หรือแบบกระจาย เป็นการรวมกันระหว่างแกนเหล็กแบบคอร์กับแบบเซลล์หรือรวมตัว L เข้ากับตัว EI มีวงจรมแม่เหล็กล้อมรอบขดลวดหม้อแปลง ขดลวดแรงดันสูงจะพันไว้ระหว่างขดลวดแรงดันต่ำทั้งสองชุด และระหว่างขดลวดแต่ละชุดจะกั้นด้วยฉนวนไฟฟ้า การพันขดลวดหม้อแปลงแบบนี้จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหลน้อยที่สุด



รูปที่ 2.12 แกนเหล็กแบบตัว H

2.2.3.2 จำแนกตามระบบไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าเฟสเดียว (Single Phase Transformer) เป็นหม้อแปลงที่ใช้กับระบบไฟฟ้า 1 เฟส มีขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิอย่างละหนึ่งชุด



รูปที่ 2.12 หม้อแปลง 1 เฟส



รูปที่ 2.13 หม้อแปลง 3 เฟส

หม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟส (Three Phase Transformer) เป็นหม้อแปลงที่ใช้กับระบบไฟฟ้า 3 เฟส มีขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิอย่างละ 3 ชุด ซึ่งต่อเข้าด้วยกันเป็นแบบวาย หรือแบบ เดลตา

2.2.3.3 จำแนกตามพิกัดของแรงดันไฟฟ้าเข้าและออก

หม้อแปลงไฟฟ้าเพิ่ม (Step up Transformer) เป็นหม้อแปลงที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าออกมากกว่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเข้าหม้อแปลง

หม้อแปลงไฟฟ้าลด (Step down Transformer) หม้อแปลงชนิดนี้จะจ่ายแรงดันด้านออกน้อยกว่าแรงดันด้านเข้า

หม้อแปลงไอโซเลติง (Isolating Transformer) หม้อแปลงชนิดนี้จะจ่ายแรงดันไฟฟ้าด้านออกเท่ากับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า

2.2.3.4 จำแนกตามลักษณะของการพันขดลวด

หม้อแปลงแบบแยกขดลวด ซึ่งขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิที่พันอยู่บนแกนเหล็กทั้งสองชุดแยกออกจากกัน โดยไม่มีส่วนหนึ่งส่วนใดของขดลวดต่อถึงกัน เป็นหม้อแปลงที่มีใช้งานโดยทั่วไป

หม้อแปลงแบบใช้ขดลวดชุดเดียวร่วมกัน หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า หม้อแปลงออโต (Auto Transformer) หม้อแปลงแบบนี้มีขดลวดเป็นชุดเดียวที่ทำหน้าที่เป็นทั้งขดปฐมภูมิ และขดลวดทุติยภูมิ จึงทำให้ประหยัดลวดทองแดง และมีราคาถูกกว่าหม้อแปลงไฟฟ้าแบบขดลวด 2 ชุด อัตราส่วนของหม้อแปลงแบบออโตจะต่ำ ซึ่งส่วนมากแล้วจะไม่เกินกว่า 4 : 1 สามารถแปลงแรงดันได้ทั้งลดลงและเพิ่มขึ้น ส่วนมากจะนำไปใช้เพื่อชดเชยแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมของสายเคเบิลที่จ่ายไปยังโหนด ใช้เป็นอุปกรณ์สตาร์ทของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ใช้กับหม้อแปลงของเตาหลอมโลหะ (Furnace Transformer) และใช้เป็นหม้อแปลงกำลังในสถานีไฟฟ้าแรงสูงของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต

2.2.3.5 จำแนกตามตามลักษณะการปรับแรงดันไฟฟ้า

หม้อแปลงแบบมีแทปแยก ซึ่งลักษณะของแทปแยกจะอยู่ทางด้านขดลวดทุติยภูมิ มีให้เลือกใช้งานตามความต้องการ เช่น 6,12,24,48 โวลต์ หรืออาจจะเป็นแบบมีแทปศูนย์อยู่ตรงกลาง เช่น 36-0-36 โวลต์ และ 48-0-48 โวลต์ เป็นต้น ส่วนมากจะนำไปใช้งานกับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก เครื่องขยายเสียง

หม้อแปลงแบบปรับค่าแรงดันไฟฟ้าต่อเนื่อง ซึ่งเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ ชนิดหนึ่ง เรียกว่า หม้อแปลงปรับแรงดันชนิดแกนหมุน ขดลวดจะพันอยู่รอบๆ แกนทอรรอยด์ (Toroid) ที่ ด้านบนของขดลวดจะถูกกดให้แบนเพื่อให้แปรงถ่านสัมผัสกับขดลวดได้ดี



รูปที่ 2.14 หม้อแปลงปรับแรงดันชนิดแกนหมุน

2.2.4 การคำนวณเพื่อพันหม้อแปลง [11]

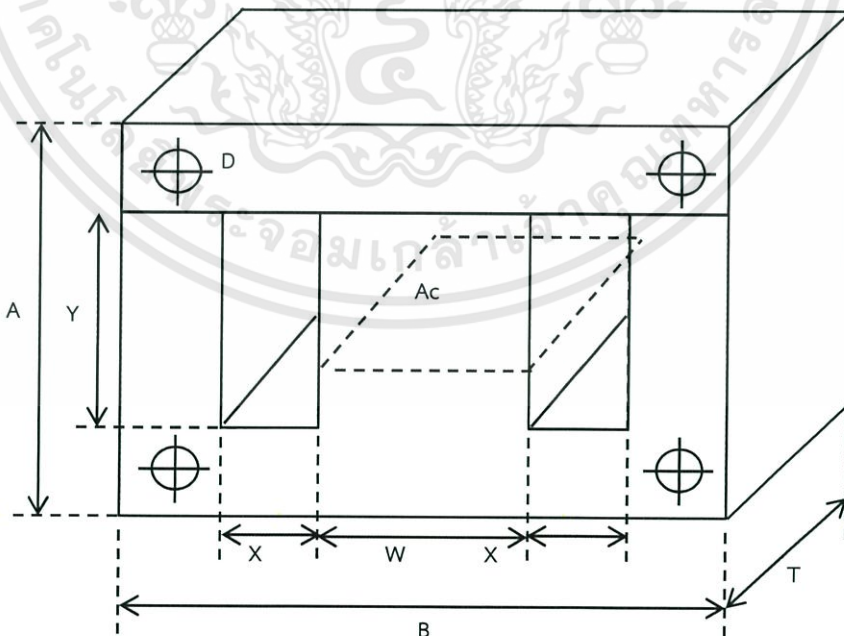
2.2.4.1 การคำนวณพิกัดของหม้อแปลง

จากสมการ $VA = Es \times Is$ (โวลต์-แอมแปร์) 2.9

2.2.4.2 พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก

จากสมการ $Ac = 1.156\sqrt{VA}$ (ตารางเซนติเมตร) 2.10

$Ac = W \times T$ (ตารางเซนติเมตร) 2.11



รูปที่ 2.15 ไดอะแกรมของหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

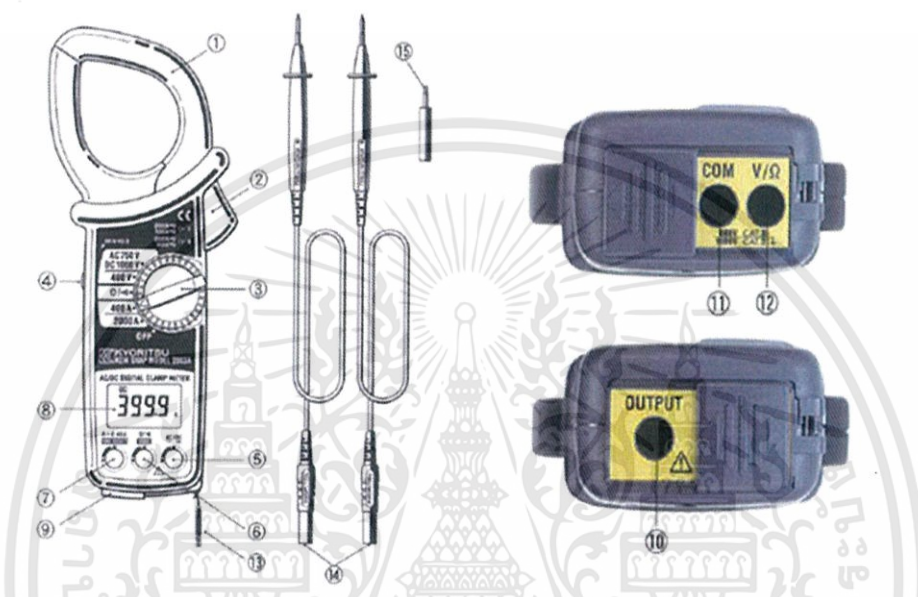
2.2.4.3 ความกว้างขากลางของแกนเหล็ก			
จากสมการ	$W = 0.878(VA)^{1/4}$	(เซนติเมตร)	2.12
2.2.4.4 ความหนาของแกนเหล็กที่ถูกอัดรวมกัน			
จากสมการ	$T = Ac / W$	(เซนติเมตร)	2.13
2.2.4.5 จำนวนแผ่นของแกนเหล็กที่ถูกอัดรวมกัน			
จากสมการ	$n = T / ts$	(แผ่น)	2.14
2.2.4.6 ปริมาตรของแกนเหล็ก			
จากสมการ	$V = ABT - 2(XYT) - 2.096D^3$	(ลูกบาศก์เซนติเมตร)	2.15
2.2.4.7 น้ำหนักของแกนเหล็ก			
จากสมการ	$M = Di \times V$	(กิโลกรัม)	2.16
เมื่อ Di = ความหนาแน่นของแกนเหล็กคือ 0.0076 kg/cm^3			
2.2.4.8 จำนวนรอบของขดลวด			
จากสมการ	$E = (2\pi f N \phi) / \sqrt{2}$	(รอบ)	2.17
	$\phi = Bm \times A$	(เวเบอร์)	2.18
และ Bm = ความเข้มของสนามแม่เหล็กในวงจรรไฟฟ้าที่ยังไม่อิ่มตัวซึ่งเท่ากับ 1 เวเบอร์ต่อตารางเมตร			
2.2.4.9 พื้นที่หน้าตัดของขดลวดตัวนำ			
จากสมการ	$I = VA / E$	(Amperes)	2.19
เลือกใช้พื้นที่หน้าตัด 500 circular mils/Ampere ในการคำนวณ			
จากสมการ	$Aw = 500 \text{ circular mils/Ampere} \times I$	(circular mils)	2.20
2.2.4.10 พื้นที่ของหน้าต่างที่พื้นขดลวด			
จากสมการ	$A_{air} = 0.9XY$	(ตารางเซนติเมตร)	2.21
2.2.4.11 พื้นที่ของขดลวดด้านแรงดันสูงหรือปฐมภูมิ			
จากสมการ	$A_{wh} = Nh/Ch$	(ตารางเซนติเมตร)	2.22
2.2.4.12 พื้นที่ของขดลวดด้านแรงดันต่ำหรือทุติยภูมิ			
จากสมการ	$A_{wl} = Nl/Cl$	(ตารางเซนติเมตร)	2.23
2.2.4.13 พื้นที่ของขดลวดทั้งหมด			
จากสมการ	$A_t = A_{wh} + A_{wl}$	(ตารางเซนติเมตร)	2.24
2.2.4.14 ความยาวของขดลวดตัวนำด้านแรงดันต่ำหรือทุติยภูมิ			
จากสมการ	$LL = 2\{W+T+((2Nl \times Nl \times dl)/(Kl \times Y))\}$	(เซนติเมตร)	2.25
2.2.4.15 ความยาวของขดลวดตัวนำด้านแรงดันสูงหรือปฐมภูมิ			
จากสมการ	$LL = 2Nh\{W+T+((4Nl \times dl)/(Kl \times Y))+((2Nh \times dh)/(Kh \times Y))\}$	(เซนติเมตร)	2.26
2.2.4.16 น้ำหนักของขดลวดตัวนำด้านแรงดันต่ำหรือทุติยภูมิ			
จากสมการ	$W_{wl} = Wk \times LL$	(กิโลกรัม)	2.27
2.2.4.17 น้ำหนักของขดลวดตัวนำด้านแรงดันสูงหรือปฐมภูมิ			
จากสมการ	$W_{wh} = Wkh \times Lh$	(กิโลกรัม)	2.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์ [12]

ดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์ คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่ากระแสไฟตรงและสลับจะใช้วิธีการตรวจจับสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นรอบสายไฟฟ้า แล้วนำสัญญาณที่ตรวจจับได้ไปแปลงเป็นค่าที่สามารถอ่านค่าได้

2.3.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์



รูปที่ 2.16 ส่วนประกอบต่างๆ ของแคลมป์มิเตอร์

ส่วนประกอบของดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์

1. ก้ามปู
2. ปุ่มกดสำหรับเปิดก้ามปู
3. สวิตช์เลือกย่านการวัด
4. ปุ่มกดสำหรับคงค่าที่วัดไว้
5. ปุ่มลือคย่านวัด
6. ไฟ AC/DC
7. ปุ่มกดเลือกโหมด
8. ปุ่มกดปรับศูนย์
9. จอแสดงผล
10. ฝาครอบขั้วต่อย่านวัด
11. ขั้วต่อเอาท์พุท
12. ขั้วคอมมอน
13. ขั้ววัดแรงดันไฟฟ้าและโอห์ม
14. สายคล้องแขน
15. สายวัด

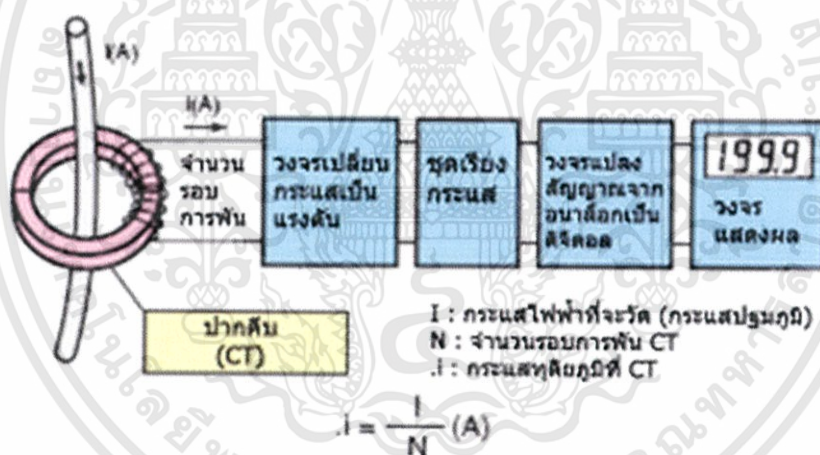
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 หลักการทำงานเบื้องต้นของดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์

ในขณะที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านสายไฟอยู่นั้น รอบๆ สายไฟจะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น ถ้าหากนำเอาขั้วมปูของดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์ไปคล้องกับสายไฟที่ต้องการวัดกระแส ภายในขั้วมปูซึ่งเป็นแกนเหล็กวงกลมและขดลวด จะทำให้ตัวตรวจจับสัญญาณที่อยู่ตรงขั้วมปูแล้วส่งค่าที่ได้ไปแสดงผลที่ภาคแสดงผลของดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์ต่อไป ซึ่งวิธีการตรวจจับมีด้วยกันอยู่หลายวิธี โดยจะอธิบายเฉพาะวิธีที่นิยมใช้กันมากเท่านั้นคือ วิธีตรวจจับโดยใช้ CT (Current Transformer) และวิธีตรวจจับโดยใช้ Hall Device

2.3.2.1 วิธีการตรวจจับโดยใช้ Current Transformer

เมื่อเรานำเอา Clamp Meter คล้องเข้ากับสายไฟในขณะที่มีกระแสไหลอยู่ภายในสายเส้นนั้น สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบๆ สายไฟจะเกิดการเหนี่ยวนำไปตัดกับขดลวดทองแดงที่พันอยู่รอบแกนเหล็กของขั้วมปู ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ และกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่ขดลวดบนแกนเหล็กหลักการดังกล่าวนี้จะคล้ายกับหลักการของการเหนี่ยวนำภายในหม้อแปลงไฟฟ้าโดยกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการเหนี่ยวนำของขดลวดนี้จะถูกส่งผ่านไปยังวงจรเปลี่ยนกระแสให้เป็นแรงดัน และผ่านการลดทอนสัญญาณเพื่อให้ได้สัญญาณขนาดที่พอเหมาะ ในขณะที่สัญญาณที่ได้รับจะเป็นสัญญาณ AC ดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปแสดงผล เราจึงต้องทำการเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณ DC ด้วยวงจร Rectifier แล้วส่งสัญญาณให้ภาค A/D converter เพื่อเปลี่ยนสัญญาณ Analog แรงดันที่ได้จากวงจร Rectifier เป็นสัญญาณดิจิตอล ซึ่งจะถูกส่งต่อไปยังภาคแสดงผลแบบดิจิตอลต่อไป



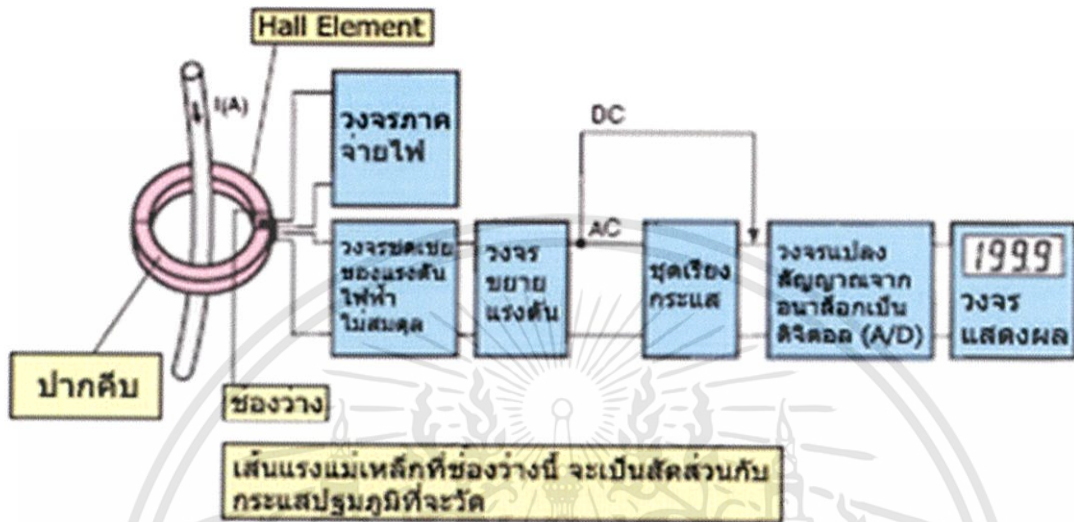
รูปที่ 2.17 โดอะแกรมของแคลมป์มิเตอร์แบบ Current Transformer

2.3.2.2 วิธีตรวจจับด้วย Hall Device

Hall Device จะมีหลักการดังนี้ คือ เมื่อป้อนกระแสไบอัสทางด้าน Input ของ Hall Device และมีความเข้มของสนามแม่เหล็กอยู่ใกล้ Hall Device แล้ว จะมี Output ของ Hall Device ออกมาเป็นแรงดัน โดยแรงดันที่ได้ จะเป็นสัดส่วนกับผลคูณของสนามแม่เหล็ก และกระแสไบอัส

Clamp Meter แบบที่ใช้ตัวตรวจจับแบบ Hall Device นี้จะมี Hall Device อยู่ที่ช่องว่างเล็กๆ (GAP) เมื่อเรานำ Clamp Meter มาวัดกระแสไฟฟ้าแล้ว จะทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กไหลในขั้วมปูเป็นผลให้ Hall Device ส่งแรงดัน Output ออกมา ผ่านวงจรชดเชยสัญญาณ แล้วผ่านวงจรขยายสัญญาณเพื่อให้ได้ขนาดสัญญาณที่พอเหมาะ จากนั้นสัญญาณจะถูกนำไปกรองให้เป็นไฟ DC และส่งต่อไปยังวงจร A/D เพื่อแสดงผลแบบดิจิตอลต่อไป

วิธีการวัดแบบนี้ วงจรชดเชยสัญญาณ (Compensator) จะมีความสำคัญเนื่องจากวิธีการวัดวิธีนี้เมื่อใช้กับไฟกระแสตรงจะเกิดแรงดันไฟที่ไม่สมดุล (Unbalanced Voltage) จากแรงดันไฟออฟเซทของวงจรและอื่นๆ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีวงจรชดเชยเข้าช่วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุณหภูมิจะมีผลกระทบต่อ Hall Device ในขณะที่ใช้วัดไฟกระแสตรง จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณออกจากตำแหน่งศูนย์ได้



รูปที่ 2.18 ไดอะแกรมของแคลมป์มิเตอร์แบบ Hall Device

2.4 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ [13]

ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ คือ อุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า เช่น แรงดัน กระแส กำลังงานไฟฟ้าจริงกำลังงานไฟฟ้ารีแอกทีฟ กำลังไฟฟ้าไฟฟ้าปรากฏ ตัวประกอบกำลังฮาร์โมนิก ค่าพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น

ดิจิตอลมัลติมิเตอร์เป็นมัลติมิเตอร์อีกชนิดหนึ่งที่พัฒนาขึ้นมาจากเทคโนโลยีทางอิเล็กทรอนิกส์และด้านดิจิตอล โดยการรวมเอาดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ ดิจิตอลแอมป์มิเตอร์ และดิจิตอลโอห์มมิเตอร์ เข้าด้วยกัน ใช้การแสดงผลการวัดค่าด้วยตัวเลข ช่วยให้การวัดค่าและการอ่านค่ามีความถูกต้องมากขึ้นและยังช่วยลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการอ่านค่าได้ เกิดความสะดวกในการใช้งาน

ดิจิตอลมัลติมิเตอร์เป็นมัลติมิเตอร์ที่สามารถวัดค่าปริมาณไฟฟ้าได้หลายชนิดเช่นเดียวกับมัลติมิเตอร์ชนิดเข็ม เช่น วัดแรงดันไฟตรง วัดแรงดันไฟสลับ วัดกระแสไฟตรง วัดกระแสไฟสลับ และความต้านทาน เป็นต้น นอกจากนี้ในดิจิตอลมัลติมิเตอร์บางรุ่นยังสามารถวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้าอื่นๆ ได้ เช่น วัดการต่อวงจรแสดงด้วยเสียง วัดอุณหภูมิ วัดความถี่ วัดค่าความจุของตัวเก็บประจุ วัดอัตราการขยายของทรานซิสเตอร์ และวัดขาทรานซิสเตอร์ เป็นต้น

ดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบย่านวัดอัตโนมัติและดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบย่านวัดปรับด้วยมือ

2.4.1 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ย่านวัตต์อัตโนมัติ

ดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบย่านวัตต์อัตโนมัติ ปริมาณไฟฟ้าแต่ละชนิดที่จะวัดค่ามีย่านตั้งวัตต์เพียงย่านเดียว สามารถใช้วัดปริมาณไฟฟ้าตั้งแต่ค่าต่ำๆ ไปจนถึงค่าสูงสุดที่เครื่องสามารถแสดงค่าออกมาได้ ใช้งานได้ง่ายและสะดวกรวดเร็ว



รูปที่ 2.19 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ย่านวัตต์อัตโนมัติแบบต่างๆ [14]

2.4.2 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ย่านวัตต์ปรับด้วยมือ

ดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบย่านวัตต์ปรับด้วยมือ ผู้ใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์จะต้องเป็นผู้ปรับเลือกย่านวัตต์ให้เหมาะสมกับค่าปริมาณไฟฟ้าที่วัด หากปรับค่าไม่ถูกต้องดิจิตอลมัลติมิเตอร์จะไม่สามารถแสดงค่าการวัดออกมาได้ การใช้งานคล้ายมัลติมิเตอร์แบบเข็ม แตกต่างเพียงดิจิตอลมัลติมิเตอร์เมื่อวัดค่าสามารถแสดงค่าปริมาณไฟฟ้าที่วัดได้เป็นตัวเลขออกมาเลย



รูปที่ 2.21 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ย่านวัตต์ปรับด้วยมือแบบต่างๆ [15]

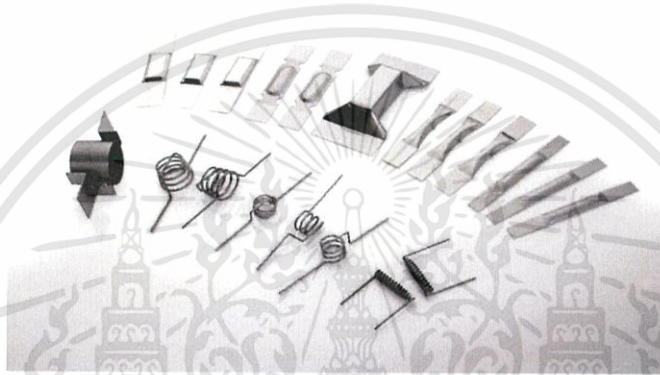
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 แหล่งกำเนิดการระเหยสาร (Evaporation Source)

คือวัสดุที่มีความต้านทานสูง มีจุดหลอมเหลวสูง และสามารถทนความร้อนได้สูง วัสดุที่นิยมนำมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดการระเหยสาร คือทั้งสแตนหรือแทนทาลัม

2.5.1 หลักการทำงานของแหล่งกำเนิดการระเหยสาร [16]

เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านแหล่งกำเนิดการระเหยสารที่มีความต้านทานสูงจะทำให้พลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ความร้อนที่ได้จะแปรผันตรงกับค่าความต้านทานของวัสดุ ถ้าวัสดุมีความต้านทานสูงจะทำให้มีความร้อนสูง แต่หากวัสดุมีความต้านทานต่ำก็จะทำให้ค่าความร้อนต่ำ



รูปที่ 2.22 แหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบต่างๆ [17]

บทที่ 3

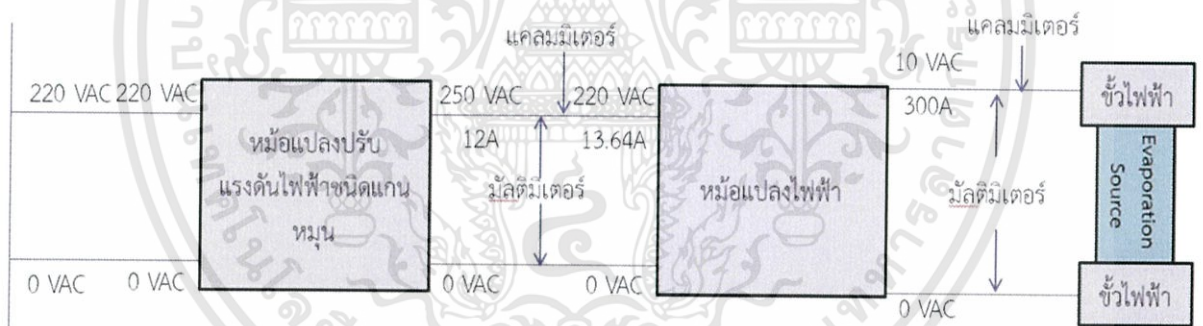
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การออกแบบวงจรเพื่อใช้สำหรับระบบระเหยสารด้วยความร้อน

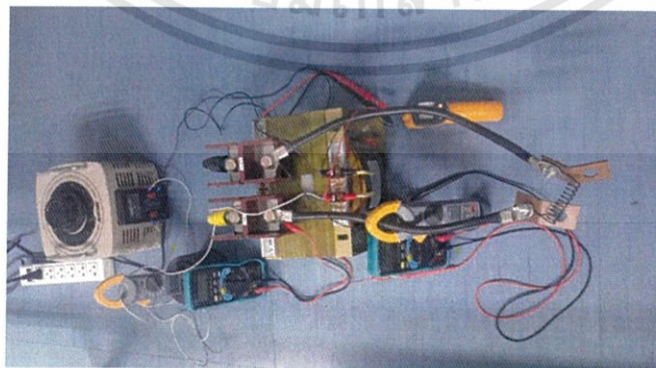
สำหรับระบบระเหยสารด้วยความร้อนจำเป็นต้องใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีค่ากระแสสูงที่เพียงพอให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสาร เนื่องจากกระแสที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารดังกล่าวจะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อนจึงทำให้สารสามารถเกิดการระเหยเมื่อปริมาณความร้อนมีค่าโดยประมาณเทียบเท่ากับจุดหลอมเหลวของสาร ทั้งนี้ผู้วิจัยมีความประสงค์ที่จะออกแบบสร้างวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่สามารถปรับค่ากระแสให้สูงพอที่จะระเหยสารได้โดยวงจรเพื่อใช้สำหรับระบบระเหยสารด้วยความร้อนที่ทำการออกแบบมานั้นมีขนาด 3000 โวลต์-แอมแปร์ โดยสามารถปรับให้กระแสมีค่าสูงสุดประมาณ 300 แอมแปร์ และแรงดันมีค่าสูงสุดประมาณ 10 โวลต์

3.2 ส่วนประกอบของวงจรเพื่อใช้สำหรับระบบระเหยสารด้วยความร้อน

วงจรระเหยสารที่ทำการออกแบบสร้างประกอบไปด้วย สายไฟสำหรับวงจร หม้อแปลงปรับแรงดันไฟฟ้าชนิดแกนหมุน หม้อแปลงไฟฟ้า ขั้วสำหรับการระเหยสาร แหล่งกำเนิดการระเหยสาร ดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ และเครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรด



รูปที่ 3.1 โดอะแกรมของวงจรเพื่อใช้สำหรับระบบระเหยสารด้วยความร้อนที่ทำการออกแบบ



รูปที่ 3.2 วงจรระเหยสารที่ทำการออกแบบสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 สายไฟ

ในวงจรสำหรับระบบระเหยสารด้วยความร้อนนั้นการต่อวงจรในแต่ละช่วงจะต้องการการทวนกระแสของสายไฟที่ต่างกันโดยสายไฟที่เลือกใช้มีคุณสมบัติดังตารางที่ 3.1

Nominal cross section area (mm ²)	Number and diameter of wire (No/mm)	Insulation thickness (mm)	Overall diameter (mm)	Maximum insulation resistance at 70°C (MΩ-km)	Maximum continuous current rating in free air (A)
1	7/0.40	0.8	3.5	0.0135	13
120	37/2.03	1.7	8.4	0.0034	321

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของสายไฟ

3.2.1.1 สายไฟที่ทนกระแสสูงสุดได้ 13 แอมแปร์

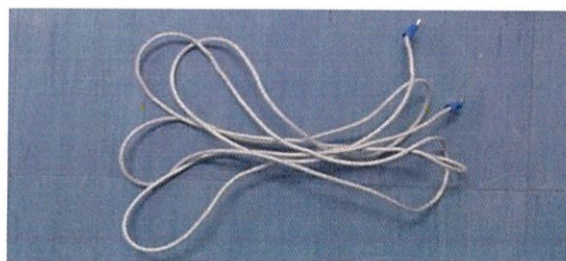
ใช้สำหรับช่วงกระแสจากไฟฟ้าบ้านไปยังหม้อแปลงปรับแรงดันไฟฟ้าชนิดแกนหมุน จากหม้อแปลงปรับแรงดันไฟฟ้าชนิดแกนหมุนไปยังหม้อแปลงไฟฟ้า เนื่องจากกระแสในช่วงนี้จะไม่เกิน 12 แอมแปร์ หรืออาจจะมากกว่านั้นเล็กน้อย ดังนั้นสายไฟที่สามารถทนกระแสสูงสุดได้ 13 แอมแปร์ จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในช่วงกระแสนี้



รูปที่ 3.3 สายไฟที่ทนกระแสสูงสุดได้ 13 แอมแปร์

3.2.1.2 สายไฟที่ทนกระแสสูงสุดได้ 321 แอมแปร์

ใช้สำหรับช่วงกระแสจากหม้อแปลงไฟฟ้าไปยังขั้วระเหยสาร เนื่องจากกระแสจากหม้อแปลงไฟฟ้าสามารถมีค่ากระแสสูงได้ถึง 300 แอมแปร์ หรืออาจจะมากกว่านั้นเล็กน้อยดังนั้นสายไฟที่สามารถทนกระแสสูงสุดได้ 321 แอมแปร์ จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในช่วงกระแสนี้



รูปที่ 3.4 สายไฟที่ทนกระแสสูงสุดได้ 321 แอมแปร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 หม้อแปลงปรับแรงดันไฟฟ้าชนิดแกนหมุน

ในวงจรสำหรับระบบระเหยสารด้วยความร้อนนี้ผู้ทำงานวิจัยได้ออกแบบให้หม้อแปลงปรับแรงดันไฟฟ้าชนิดแกนหมุนสามารถปรับค่าแรงดันได้ตั้งแต่ 0-220 โวลต์ ใช้กระแสไฟฟ้าไม่สูง และสามารถใช้อินพุตไฟฟ้าจากอาคารได้ตามปกติจึงได้เลือกใช้หม้อแปลงปรับแรงดันไฟฟ้าชนิดแกนหมุนที่มีคุณสมบัติดังนี้ ขนาด 3000 โวลต์-แอมแปร์ กระแสสูงสุด 12 แอมแปร์ ระบบไฟฟ้า 1 เฟส ความถี่ 50-60 เฮิรตซ์ อินพุต 220 โวลต์ สามารถปรับค่าแรงดันเอาท์พุตได้ตั้งแต่ 0-250 โวลต์



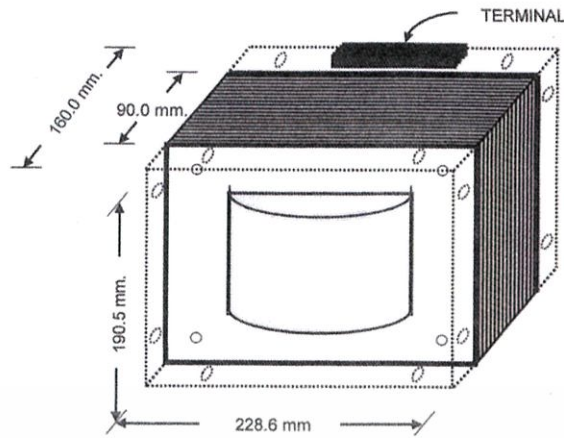
รูปที่ 3.5 หม้อแปลงปรับแรงดันไฟฟ้าชนิดแกนหมุนที่ทำการออกแบบ

3.2.3 หม้อแปลงไฟฟ้า

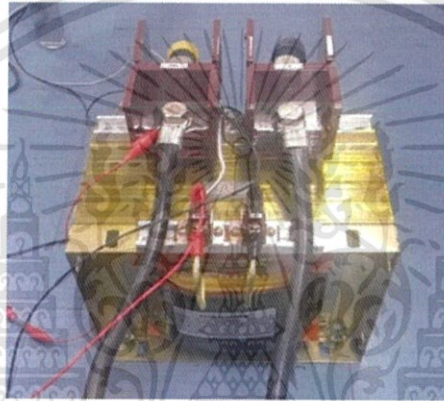
หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้จำเป็นต้องสามารถแปลงกระแสให้สูงมากเพียงพอที่จะทำให้แหล่งกำเนิดการระเหยสารร้อนจนสารสามารถที่จะระเหยได้ ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบให้หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นแบบ step down ที่มีขนาด 3000 โวลต์-แอมแปร์ ขดลวดปฐมภูมิจำนวน 144.3496 รอบ สามารถทนกระแสได้สูงสุด 13.64 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ไฟสลับ และขดลวดทุติยภูมิจำนวน 6.56 รอบ สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 300 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ไฟสลับ ขนาดความกว้าง 228.6 มิลลิเมตร สูง 190.5 มิลลิเมตร ความสูงของ Terminal ประมาณ 75 มิลลิเมตร แกนเหล็กชุบด้วยน้ำยาวานิช รายละเอียดการคำนวณอยู่ในภาคผนวก ข



รูปที่ 3.6 ไดอะแกรมของโครงสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าที่ทำการออกแบบสร้าง



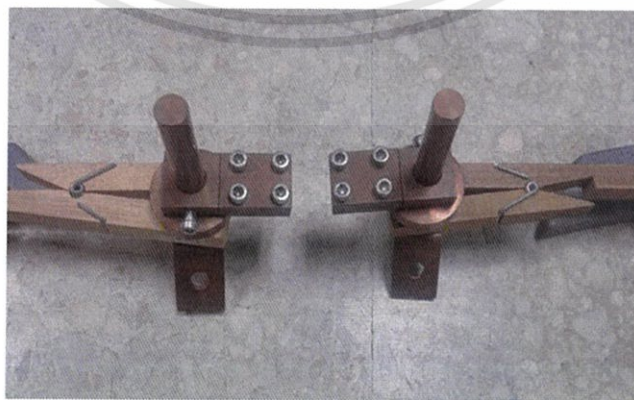
รูปที่ 3.7 โครงสร้างภายนอกหม้อแปลงไฟฟ้าที่ทำการออกแบบสร้าง



รูปที่ 3.8 หม้อแปลงไฟฟ้าที่ทำการออกแบบสร้าง

3.2.4 ขั้วสำหรับการระเหยสาร

ขั้วสำหรับการระเหยสารทำจากทองแดงเนื่องจากมีค่าการต้านการไหลของกระแสต่ำ มีค่าสภาพนำไฟฟ้าสูง สภาพคล่องทางไฟฟ้าสูง โดยขั้วสำหรับการระเหยสารจะประกอบไปด้วย ส่วนสำหรับยึดจับแหล่งกำเนิดการระเหยสาร เสาสำหรับนำกระแส ขั้วต่อสายไฟกระแสสูง และเมื่อนำไปใช้งานในระบบสุญญากาศจำเป็นต้องใช้เทฟลอนแยกขั้วไฟฟ้าและกันการรั่วไหลของระบบสุญญากาศ

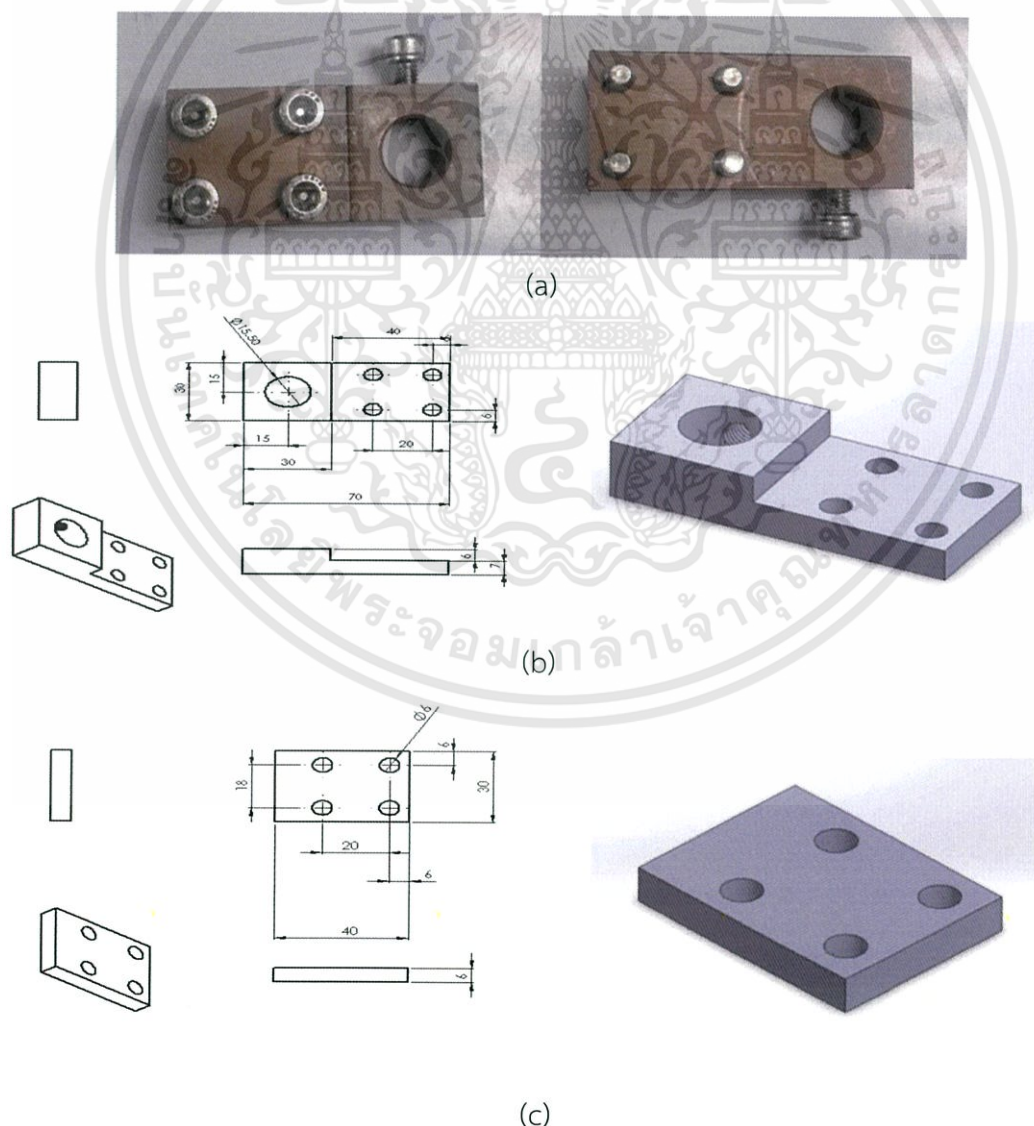


รูปที่ 3.9 ขั้วสำหรับการระเหยสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4.1 ส่วนสำหรับยึดจับแหล่งกำเนิดการระเหยสาร

ถูกออกแบบให้มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า 2 ชั้นประกบกันและใช้วัสดุในการขึ้นรูปที่นำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี คือ ทองแดง เพื่อใช้ในการยึดจับแหล่งกำเนิดการระเหยสารที่มีรูปแบบต่างๆ แสดงในรูปที่ 3.10(a) โดยในส่วนแรกมีลักษณะเหมือนตัว L ที่ชั้นแรกมีความกว้าง 30 มิลลิเมตร ยาว 30 มิลลิเมตรหนา 13 มิลลิเมตร ตรงกลางเจาะรูที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.5 มิลลิเมตร เพื่อใส่เข้ากับเสานำกระแส และด้านข้างเจาะรูทะลุผ่านที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ลักษณะเป็นเกลียวเพื่อจะใช้น็อตทางปลายยึดติดส่วนสำหรับยึดจับแหล่งกำเนิดการระเหยสารกับเสานำกระแสที่ระดับตามเงื่อนไขการทดลอง ส่วนชั้นที่ 2 มีความกว้าง 30 มิลลิเมตร ยาว 40 มิลลิเมตรหนา 7 มิลลิเมตร และทำการเจาะรูทะลุรูที่มุมทั้งสี่โดยแต่ละรูมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร มีลักษณะเป็นเกลียว ซึ่งถูกแสดงในรูปที่ 3.10(b) ส่วนที่สองมีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมที่มีความกว้าง 30 มิลลิเมตร ยาว 40 มิลลิเมตรหนา 6 มิลลิเมตร ในส่วนนี้เราได้เจาะรูสี่รูทะลุผ่านอยู่ตรงมุมทั้งสี่แต่แต่ละรูมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร มีลักษณะเป็นเกลียว เพื่อใช้น็อตทางปลายยึดจับกับแหล่งกำเนิดการระเหยสารทั้งสองส่วน ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.10(c)

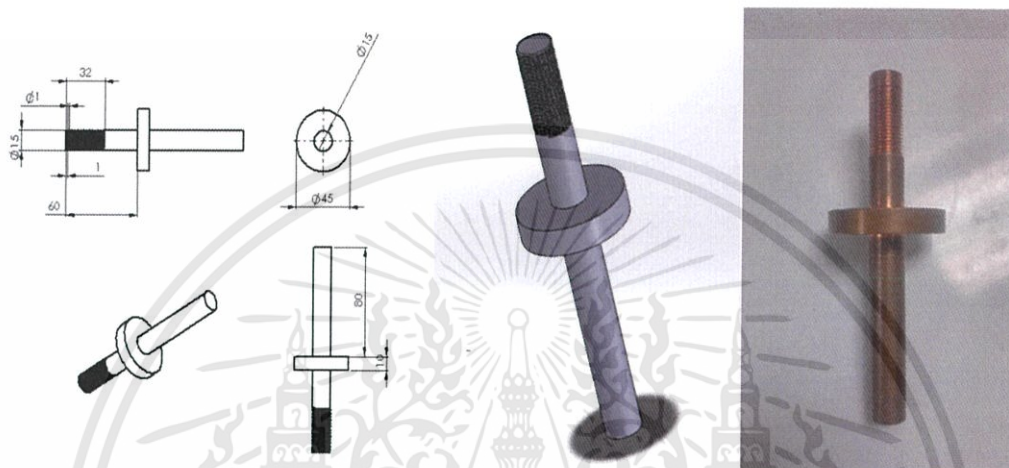


รูปที่ 3.10 ส่วนสำหรับยึดจับแหล่งกำเนิดการระเหยสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4.2 เสาสำหรับระเหยสารด้วยความร้อน

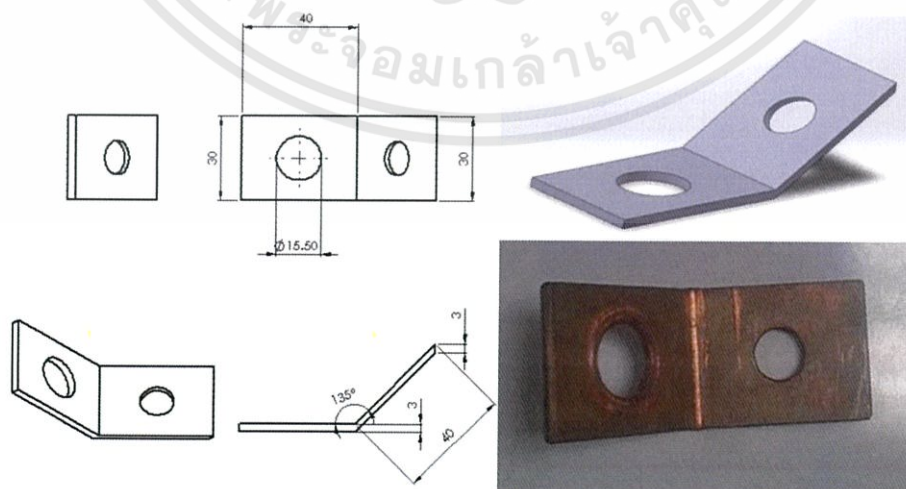
เสาสำหรับระเหยสารด้วยความร้อนถูกออกแบบให้มีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกตันที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร ส่วนด้านล่างที่ยื่นออกมามีเส้นผ่าศูนย์กลาง 45 มิลลิเมตร สูง 90 มิลลิเมตร ถูกใช้ทองแดงเป็นวัสดุในการขึ้นรูป ซึ่งในส่วนนี้จะอยู่ในภาชนะสุญญากาศ ส่วนอีกด้านหนึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร สูง 32 มิลลิเมตร และมีลักษณะเป็นเกลียวเพื่อขันกับน็อตให้ติดกับฝาปิดส่วนด้านล่างของภาชนะสุญญากาศ ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 เสานำกระแสสำหรับต่อส่วนสำหรับหนีบแหล่งกำเนิดการระเหยสาร

3.2.4.3 ขั้วต่อสายไฟกระแสสูง

ขั้วต่อสายไฟกระแสสูงถูกออกแบบมีลักษณะเป็นแผ่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่งอเป็นมุม 135 องศา ถูกใช้ทองแดงเป็นวัสดุในการขึ้นรูป โดยแต่ละฝั่งมีความกว้าง 30 มิลลิเมตร ยาว 40 มิลลิเมตรหนา 3 มิลลิเมตร ตรงกลางเจาะรูที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.5 มิลลิเมตร เพื่อใส่เข้ากับเสานำกระแสและอีกฝั่งเจาะรูที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.12



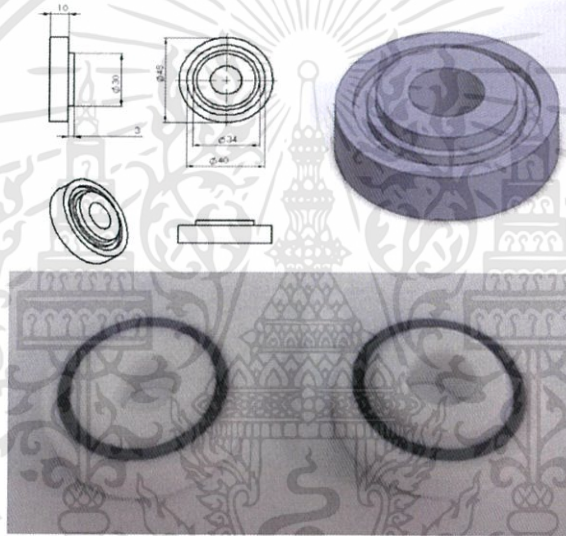
รูปที่ 3.12 ส่วนที่ต่อระหว่างไฟกระแสสูงและเสานำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

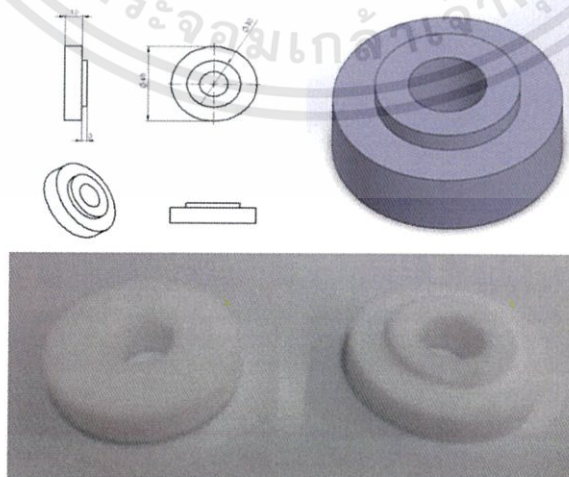
3.2.4.4 เทปลอนแยกขั้วไฟฟ้าและซีลระบบสุญญากาศ

ในส่วนของเทปลอนแยกขั้วไฟฟ้านั้นจะใช้วัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้าในการขึ้นรูป โดยในส่วนแรก เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แยกขั้วไฟฟ้าระหว่างขั้วแอโนดและแคโทดของระบบระเหยสารด้วยความร้อนด้าน ในภาชนะสุญญากาศ ถูกใช้เทปลอนในการขึ้นรูป มีลักษณะเป็นทรงกระบอกกลวงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 48 มิลลิเมตร หนา 10 มิลลิเมตร มีการเจาะร่องทั้งสองด้านเพื่อใส่โอริงโดยร่องมีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน 34 มิลลิเมตร กว้าง 3 มิลลิเมตร ลึก 2 มิลลิเมตร สูงขึ้นไปมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร และเจาะรู 1 รูที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.13

สำหรับเทปลอนแยกขั้วด้านนอกนั้นทำหน้าที่แยกขั้วไฟฟ้าระหว่างขั้วแอโนดและแคโทดที่ บริเวณด้านนอกภาชนะสุญญากาศ ถูกใช้เทปลอนในการขึ้นรูป มีลักษณะเป็นทรงกระบอกกลวงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 48 มิลลิเมตร หนา 10 มิลลิเมตร สูงขึ้นไปมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร และเจาะรู 1 รูที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.13 เทปลอนด้านในภาชนะสุญญากาศ



รูปที่ 3.14 เทปลอนด้านนอกภาชนะสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 แหล่งกำเนิดการระเหยสาร

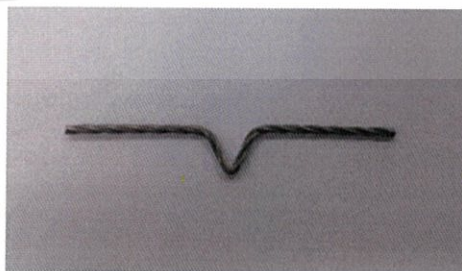
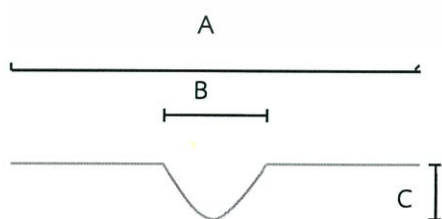
แหล่งกำเนิดการระเหยสารซึ่งเป็นโหนดสำหรับระเหยสาร (Resistive Evaporation) ที่ทำจากทั้งแตนเนื่องจากมีค่าการต้านการไหลของกระแสสูง ทนกระแสต่อกระแส มีจุดหลอมเหลวสูง แหล่งกำเนิดการระเหยสาร ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้มีทั้งหมด 4 รูปแบบ ซึ่งแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงถึงลักษณะเฉพาะของแหล่งกำเนิดการระเหยสารที่ต่างรูปแบบกัน

Evaporation Source	Description	Dimensions (in.)			Power Requirements			
		A	B	C	Volts	Amps	Watts	Temp.
Point & Loop Heaters	Tungsten Coil 3 Wires x 0.030" Diameter	2	0.3	0.25	1.26	64	81	1800°C
Coil heaters	Tungsten Coil 3 Wires x 0.030" Diameter	2	1	0.5	3.60	55	198	1800°C
Basket Heaters	Tungsten Coil 3 Wires x 0.050" Diameter	2	0.35	0.5	2.22	35	78	1800°C
Boat Heaters	Tungsten x 0.010"	4	½	1.5	2.10	196	412	1800°C

3.2.5.1 แหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบรอยหยัก (Point & Loop)

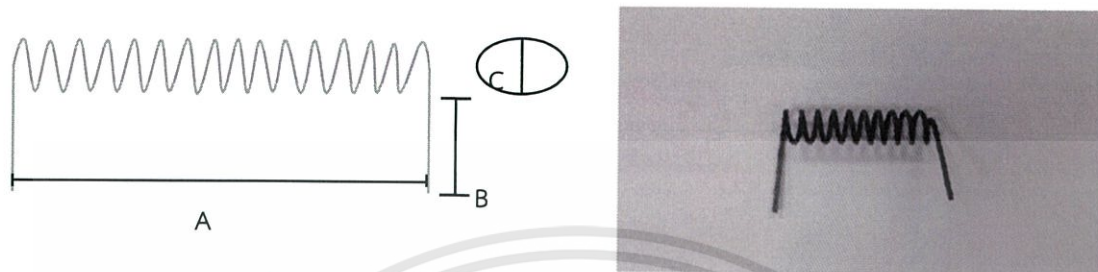
แหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบรอยหยักประกอบด้วยลวดทั้งสแตน 3 เส้น เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.030 นิ้ว ยาว 2 นิ้ว ความกว้างของลูป 0.3 นิ้ว ความสูงจากก้นลูป 0.25 นิ้ว มีลักษณะเฉพาะ คือ ทนต่อแรงดันสูงสุด 1.24 โวลต์ กระแสสูงสุด 64 แอมแปร์ กำลังสูงสุด 81วัตต์ และอุณหภูมิสูงสุด 1800 องศาเซลเซียส แสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบรอยหยักที่ถูกใช้ในงานวิจัย

3.2.5.2 แหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบขด (Coil)

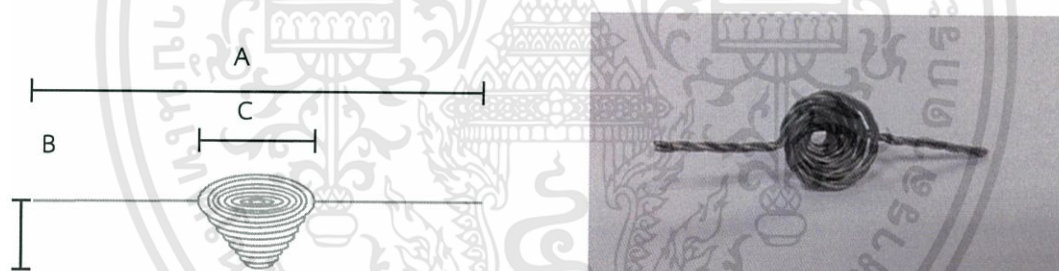
แหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบขดประกอบด้วยลวดทังสเตน 3 เส้น เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.030 นิ้ว ยาว 2 นิ้ว ความกว้างของคอยล์ 0.5 นิ้ว ระยะระหว่างคอยล์ 1 นิ้ว มีลักษณะเฉพาะ คือ ทนต่อแรงดันสูงสุด 2.94 โวลต์ กระแสสูงสุด 54 แอมแปร์ กำลังสูงสุด 159 วัตต์ และอุณหภูมิสูงสุด 1800 องศาเซลเซียส แสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบขดที่ถูกใช้ในงานวิจัย

3.2.5.3 แหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบตะกร้า (Basket)

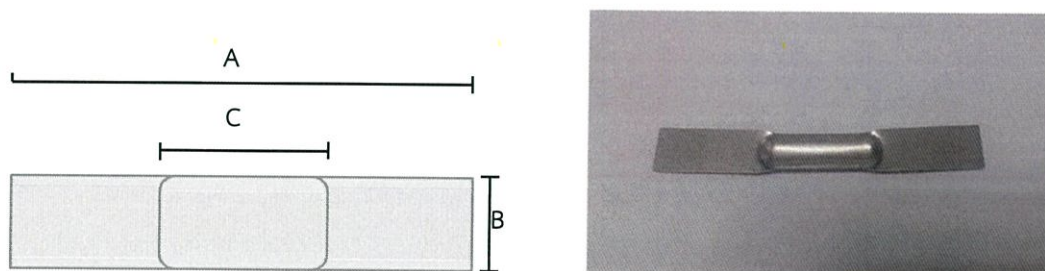
แหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบตะกร้าประกอบด้วยลวดทังสเตน 3 เส้น เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.030 นิ้ว ยาว 2 นิ้ว ความกว้างของตะกร้า 0.5 นิ้ว ความสูงจากก้นตะกร้า 0.35 นิ้ว มีลักษณะเฉพาะ คือ ทนต่อแรงดันสูงสุด 2.22 โวลต์ กระแสสูงสุด 35 แอมแปร์ กำลังสูงสุด 78 วัตต์ อุณหภูมิสูงสุด 1800 องศาเซลเซียส แสดงในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 แหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบตะกร้าที่ถูกใช้ในงานวิจัย

3.2.5.4 แหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบโบ๊ท (Boat)

แหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบโบ๊ทเป็นแผ่นทังสเตนหนา 0.010 นิ้ว ยาว 4 นิ้ว กว้าง 0.5 นิ้ว ความยาวของหลุม 1.5 มีลักษณะเฉพาะ คือ ทนต่อแรงดันสูงสุด 2.10 โวลต์ กระแสสูงสุด 196 แอมแปร์ กำลังสูงสุด 412 วัตต์ อุณหภูมิสูงสุด 1800 องศาเซลเซียส แสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 แหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบโบ๊ทที่ถูกใช้ในงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การวัดพารามิเตอร์ต่างๆ

ค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการวัดสำหรับงานวิจัยนี้จะมีค่าแรงดันปฐมภูมิ แรงดันทุติยภูมิ กระแสปฐมภูมิ กระแสทุติยภูมิ อุดมภูมิ โดยอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการวัดมีดังนี้

3.3.1 ดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์

สำหรับงานวิจัยนี้ดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์ถูกนำมาใช้ในการวัดค่ากระแสไฟฟ้าสลับ โดยที่เราจะใช้ส่วนคล้ายกับขากรรไกรของแคลมป์มิเตอร์คล้องไปยังสายไฟเส้นที่ต้องการวัดและอ่านค่ากระแสไฟฟ้าสลับจากหน้าจอแสดงผล แสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์ที่ถูกใช้ในงานวิจัย

3.3.2 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์

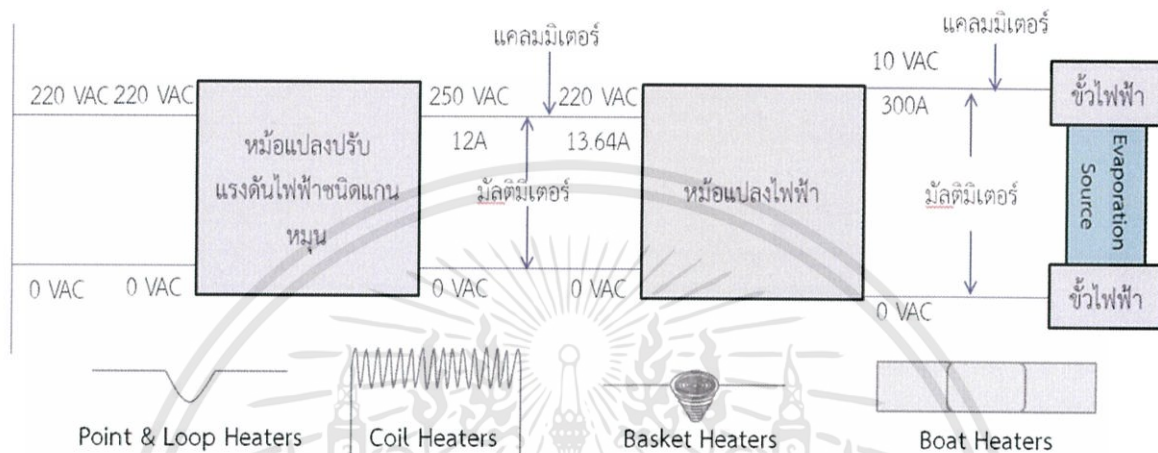
สำหรับงานวิจัยนี้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์แบบย่านวัดอัตโนมัติถูกนำมาใช้ในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า ซึ่งทำให้สะดวกต่อการวัดค่าแรงดันในช่วงต่างๆ โดยที่เราจะใช้การต่อคร่อม (การต่อขนาน) กับอุปกรณ์ที่เราต้องการวัดและอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าจากหน้าจอแสดงผล แสดงในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ที่ถูกใช้ในงานวิจัย

3.4 การศึกษาลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อน

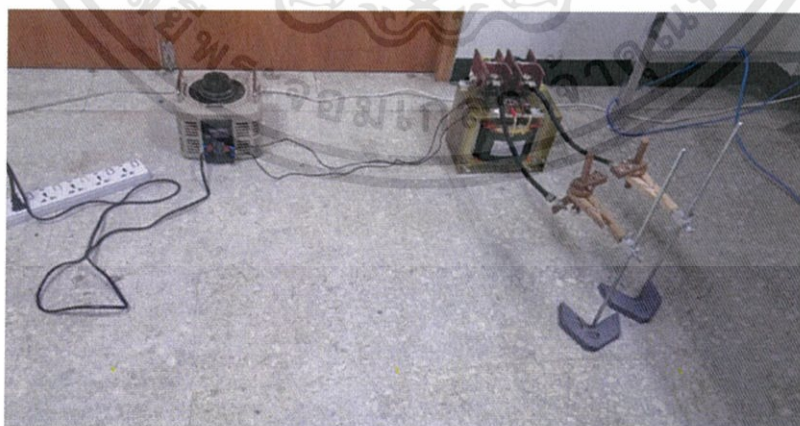
ทำการศึกษาลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารที่มีแบบต่างกัน โดยทำการวัดค่ากระแสปฐมภูมิกับทุติยภูมิด้วยแคลมป์มิเตอร์ และทำการวัดค่าแรงดันปฐมภูมิกับทุติยภูมิด้วยมัลติมิเตอร์มิเตอร์ แสดงในรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 ไดอะแกรมของการต่อวงจรและการตำแหน่งของการวัดค่าที่ทำการออกแบบ

3.4.1 การศึกษาลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนที่มีรูปแบบต่างกัน 4 แบบ

ขั้นตอนที่ 1. ทำการต่อวงจรสำหรับระเหยสารด้วยความร้อนโดยต่อไฟบ้านเข้ากับหม้อแปลงปรับแรงดันไฟฟ้าชนิดแกนหมุนแล้วจึงต่อสายไฟที่ทนกระแสได้ประมาณ 13 แอมแปร์ เข้ากับหม้อแปลงไฟฟ้าจากนั้นต่อสายไฟที่ทนกระแสได้ประมาณ 321 แอมแปร์ เข้ากับขั้วสำหรับระเหยสาร แสดงในรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 วงจรสำหรับระเหยสารด้วยความร้อน

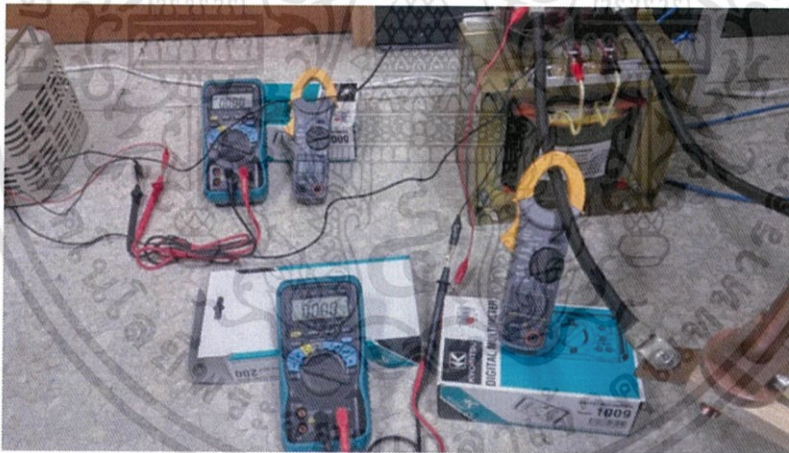
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2. นำมัลติมิเตอร์มาต่อเข้ากับหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าชนิดแกนหมุนสำหรับวัดแรงดันปฐมภูมิ และต่อเข้ากับหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับวัดแรงดันทุติยภูมิ นำแคลมป์มิเตอร์มาคล้องกับสายไฟขาออกจากหม้อแปลงปรับแรงดันชนิดแกนหมุนสำหรับวัดกระแสปฐมภูมิ และมาคล้องกับสายไฟขาออกจากหม้อแปลงสำหรับวัดกระแสทุติยภูมิ แสดงในรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 วงจรสำหรับระเหยสารด้วยความร้อนที่ต่อแคลมป์มิเตอร์และมัลติมิเตอร์

ขั้นตอนที่ 3. เปิดแคลมป์มิเตอร์และมัลติมิเตอร์ แสดงในรูปที่ 3.24



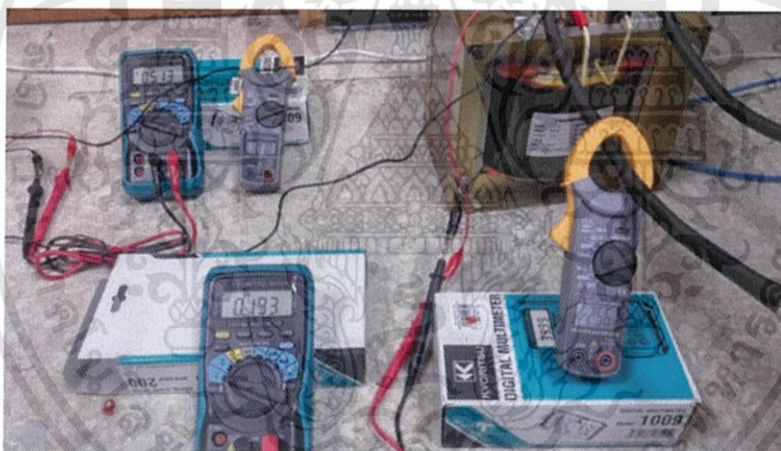
รูปที่ 3.24 เปิดแคลมป์มิเตอร์และมัลติมิเตอร์

ขั้นตอนที่ 4. นำแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบรอยหยักมาต่อเข้ากับขั้วสำหรับระเหยสาร แสดงในรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 แหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบรอยหยักต่อเข้ากับขั้วสำหรับระเหยสาร

ขั้นตอนที่ 5. ทำการหมุนปรับแรงดันของหม้อแปลงปรับแรงดันชนิดแกนหมุนขึ้นครั้งละ 5 โวลต์ และ ทำการบันทึกค่าแรงดันและกระแสปฐมภูมิ และแรงดันและกระแสทุติยภูมิที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อน แสดงดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 บันทึกค่าแรงดันและกระแส

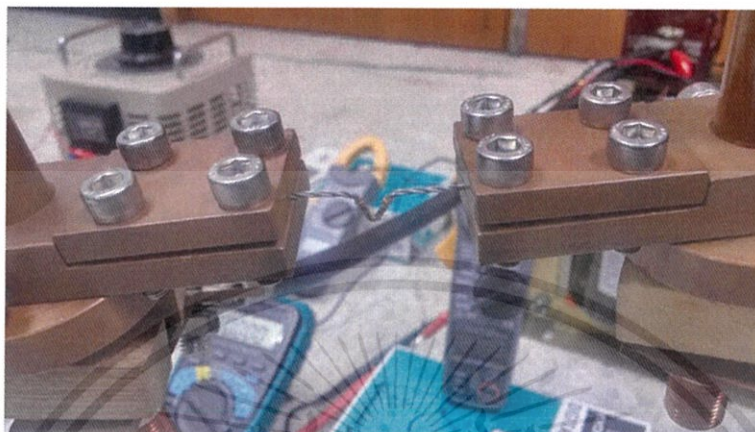
ขั้นตอนที่ 6. ทำการทดลองกับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนที่มีรูปแบบต่างกันอย่างละ 3 ครั้ง

ขั้นตอนที่ 7. พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันปฐมภูมิเฉลี่ยและกระแสปฐมภูมิเฉลี่ย และแรงดันทุติยภูมิเฉลี่ยและกระแสทุติยภูมิเฉลี่ย

ขั้นตอนที่ 8. เปลี่ยนแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนเป็นแบบขด ตะกร้า และโป๊ท ตามลำดับ แล้วทำการทดลองตามขั้นตอนที่กล่าวมา

3.4.2 การศึกษาลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนที่มีรูปแบบต่างกัน 4 แบบ ที่ใช้ในการระเหยทองแดง

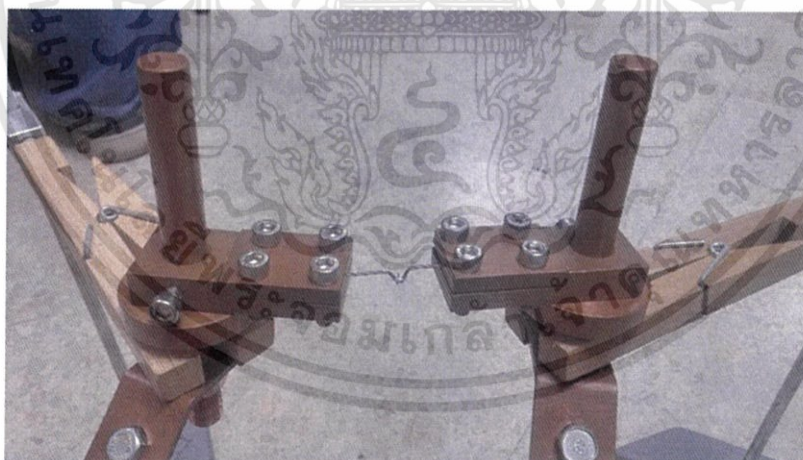
ทำการทดลองตามเงื่อนไขเดิมโดยใช้แหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนที่มีรูปแบบต่างกัน 4 แบบในการระเหยทองแดง แสดงในรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 แหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบรอยหยักต่อเข้ากับขั้วสำหรับระเหยสารเพื่อทำการระเหยทองแดง

3.4.3 การศึกษาลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนที่มีรูปแบบต่างกัน 4 แบบ ที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม

ทำการทดลองตามเงื่อนไขเดิมโดยใช้แหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนที่มีรูปแบบต่างกัน 4 แบบในการระเหยอะลูมิเนียม แสดงในรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 แหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบรอยหยักต่อเข้ากับขั้วสำหรับระเหยสารเพื่อทำการระเหยอะลูมิเนียม

บทที่ 4

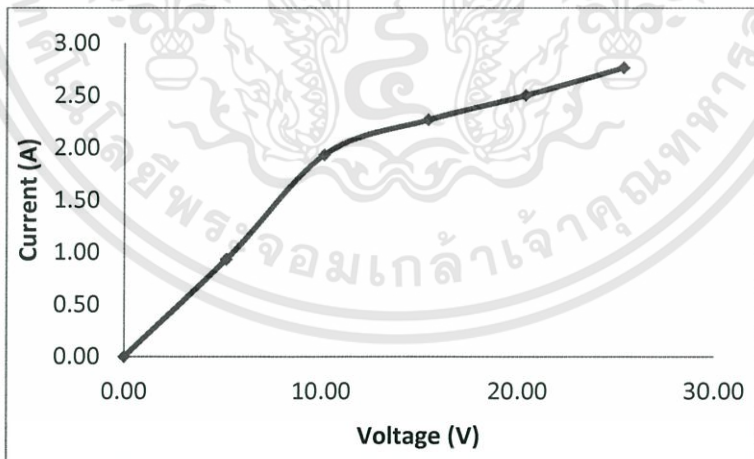
ผลการทดลองและอภิปรายการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ผลการทดลองของการระเหย ตามเงื่อนไขที่ใช้จากระบบที่สร้างขึ้น คือ ลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับวงจรสำหรับระเหยสารด้วยความร้อนซึ่งใช้แหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนทั้งหมด 4 รูปแบบ

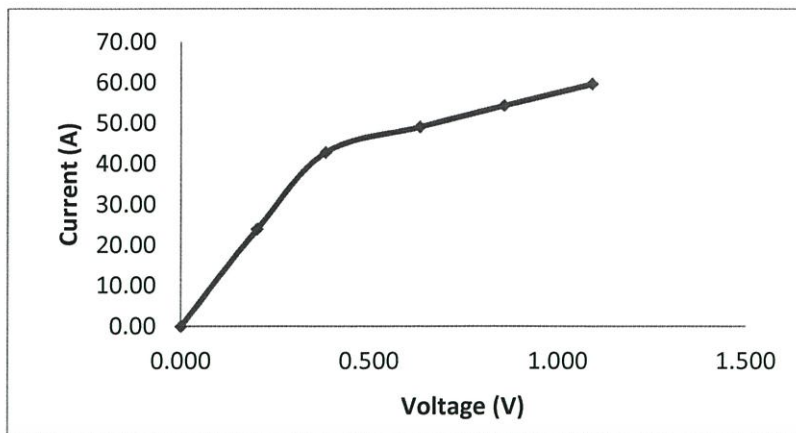
4.1 การศึกษาลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนที่มีรูปแบบต่างกัน 4 แบบ

ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบรอยหยัก

แรงดันปฐมภูมิเฉลี่ย (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิเฉลี่ย (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิเฉลี่ย (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิเฉลี่ย (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.19	0.93	0.200	23.93
10.14	1.93	0.383	42.80
15.49	2.27	0.635	49.07
20.37	2.50	0.857	54.27
25.44	2.77	1.091	59.63



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฐมภูมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบรอยหยัก

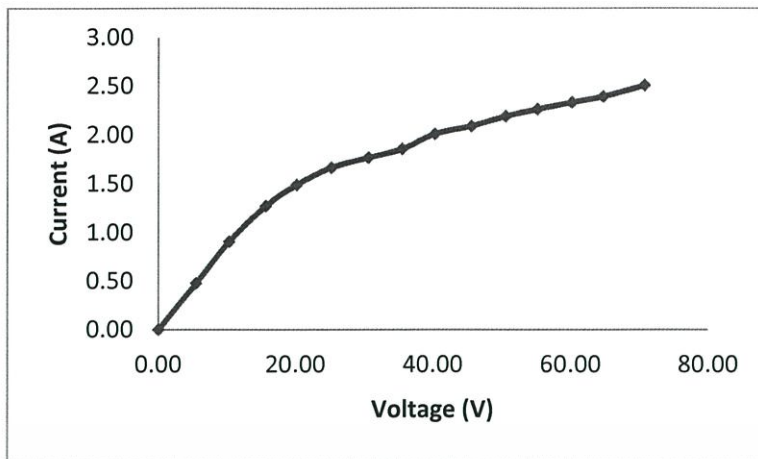


รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยภูมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบบรอยหยัก

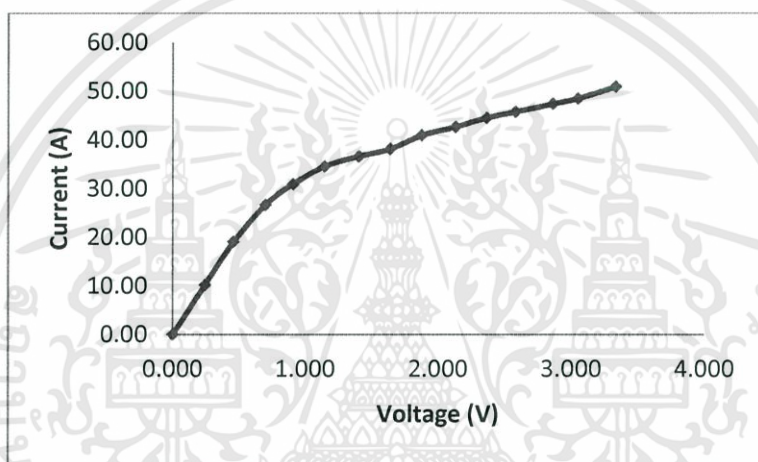
จากกราฟแสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฐมภูมิ กับกราฟแสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยภูมิ พบว่ากราฟทั้งสองมีแนวโน้มที่ตรงกันเมื่อเราเพิ่มแรงดันปฐมภูมิก็จะส่งผลให้กระแสปฐมภูมิ แรงดันทุติยภูมิและกระแสทุติยภูมิเพิ่มขึ้น โดยที่แรงดันปฐมภูมิอยู่ในช่วง 25.44 โวลต์ กระแสปฐมภูมิอยู่ในช่วง 2.77 แอมแปร์ แรงดันทุติยภูมิอยู่ในช่วง 1.091 โวลต์ กระแสทุติยภูมิอยู่ในช่วง 59.63 แอมแปร์ เป็นช่วงที่แหล่งกำเนิดการระเหยสารยังคงรูปเดิม

ตารางที่ 4.2 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบขด

แรงดันปฐมภูมิเฉลี่ย (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิเฉลี่ย (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิเฉลี่ย (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิเฉลี่ย (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.50	0.48	0.244	10.21
10.34	0.91	0.460	19.09
15.69	1.27	0.702	26.71
20.16	1.49	0.908	30.97
25.22	1.67	1.146	34.59
30.55	1.77	1.399	36.64
35.50	1.86	1.636	38.13
40.30	2.01	1.874	40.90
45.63	2.09	2.130	42.63
50.60	2.19	2.367	44.50
55.17	2.26	2.581	45.73
60.17	2.33	2.861	47.37
64.67	2.39	3.045	48.47
70.67	2.51	3.327	50.87



รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฐมภูมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบขด

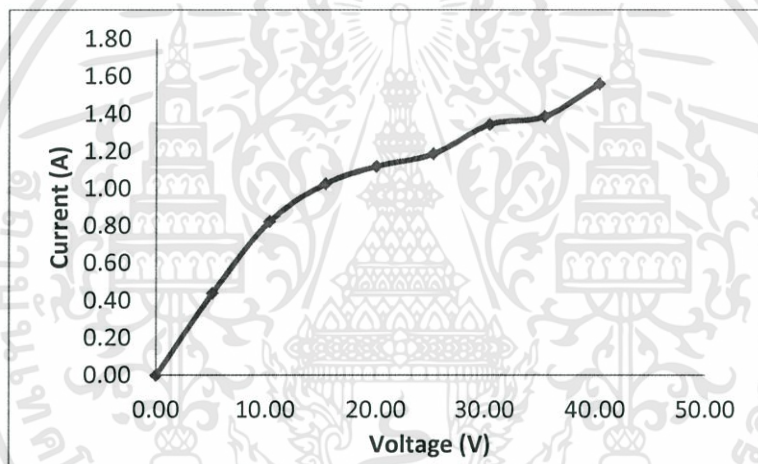


รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยภูมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบขด

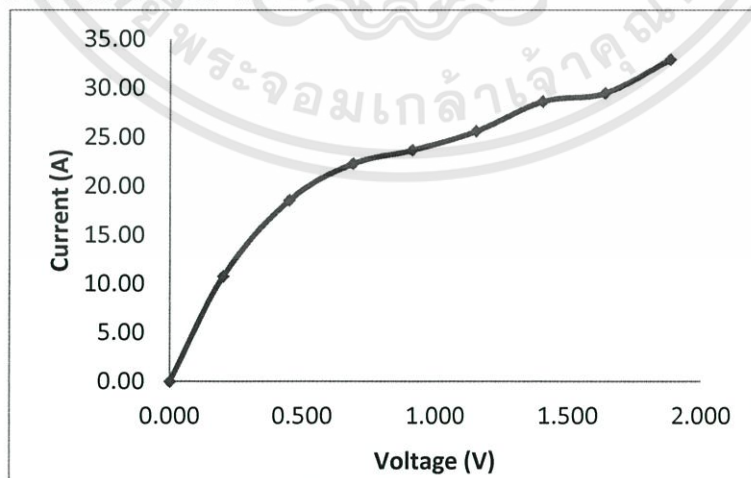
จากกราฟแสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฐมภูมิ กับกราฟแสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยภูมิ พบว่ากราฟทั้งสองมีแนวโน้มที่ตรงกันเมื่อเราเพิ่มแรงดันปฐมภูมิก็จะส่งผลให้กระแสปฐมภูมิ แรงดันทุติยภูมิและกระแสทุติยภูมิเพิ่มขึ้น โดยที่แรงดันปฐมภูมิอยู่ในช่วง 70.67 โวลต์ กระแสปฐมภูมิอยู่ในช่วง 2.51 แอมแปร์ แรงดันทุติยภูมิอยู่ในช่วง 3.327 โวลต์ กระแสทุติยภูมิอยู่ในช่วง 50.87 แอมแปร์ เป็นช่วงที่แหล่งกำเนิดการระเหยสารยังคงรูปเดิม

ตารางที่ 4.3 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบตะกร้า

แรงดันปฐมภูมิเฉลี่ย (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิเฉลี่ย (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิเฉลี่ย (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิเฉลี่ย (โวลต์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.13	0.44	0.202	10.80
10.40	0.82	0.452	18.57
15.45	1.03	0.689	22.30
20.01	1.12	0.910	23.67
25.22	1.19	1.155	25.60
30.45	1.34	1.405	28.63
35.40	1.39	1.637	29.50
40.30	1.56	1.882	32.93



รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฐมภูมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบตะกร้า

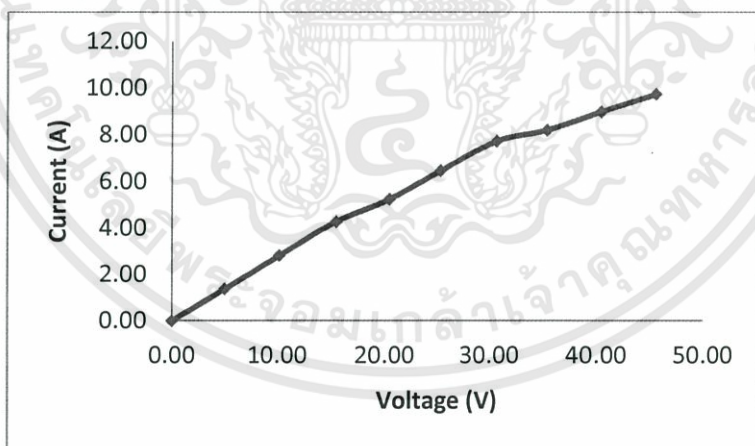


รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยภูมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบตะกร้า

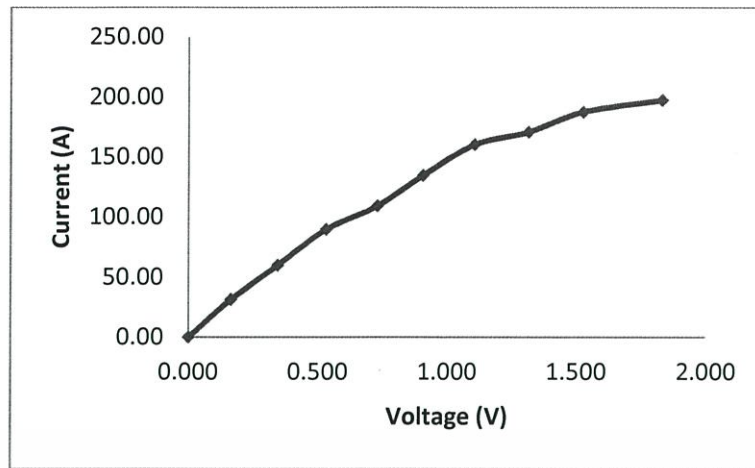
จากกราฟแสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฐมภูมิ กับกราฟแสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยภูมิ พบว่ากราฟทั้งสองมีแนวโน้มที่ตรงกันเมื่อเราเพิ่มแรงดันปฐมภูมิก็จะส่งผลให้กระแสปฐมภูมิ แรงดันทุติยภูมิและกระแสทุติยภูมิเพิ่มขึ้น โดยที่แรงดันปฐมภูมิอยู่ในช่วง 40.30 โวลต์ กระแสปฐมภูมิอยู่ในช่วง 1.56 แอมแปร์ แรงดันทุติยภูมิอยู่ในช่วง 1.882 โวลต์ กระแสทุติยภูมิอยู่ในช่วง 32.93 แอมแปร์ เป็นช่วงที่แหล่งกำเนิดการระเหยสารยังคงรูปเดิม

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบโบ้ท

แรงดันปฐมภูมิเฉลี่ย (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิเฉลี่ย (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิเฉลี่ย (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิเฉลี่ย (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.02	1.37	0.165	31.33
10.21	2.80	0.346	59.83
15.51	4.27	0.533	89.43
20.45	5.24	0.728	109.00
25.32	6.46	0.906	134.60
30.72	7.73	1.106	160.20
35.45	8.20	1.316	170.77
40.40	8.98	1.527	187.40
45.53	9.74	1.829	197.17



รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฐมภูมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบโบ้ท



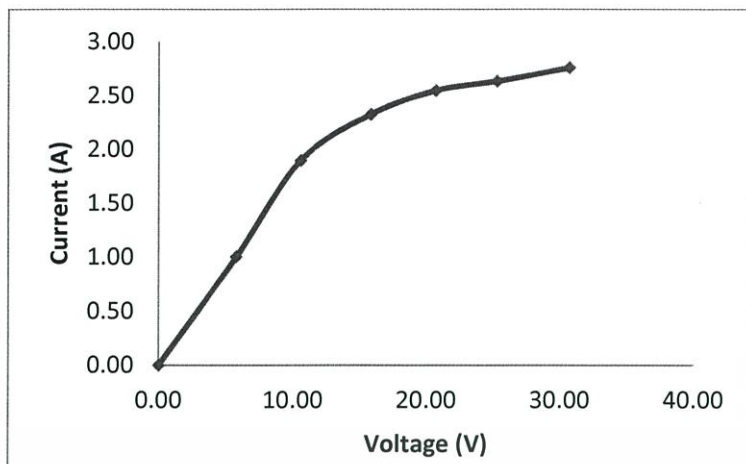
รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยภูมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบโบ๊ท

จากกราฟแสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฐมภูมิ กับกราฟแสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยภูมิ พบว่ากราฟทั้งสองมีแนวโน้มที่ตรงกันเมื่อเราเพิ่มแรงดันปฐมภูมิก็จะส่งผลให้กระแสปฐมภูมิ แรงดันทุติยภูมิและกระแสทุติยภูมิเพิ่มขึ้น โดยที่แรงดันปฐมภูมิอยู่ในช่วง 45.53 โวลต์ กระแสปฐมภูมิอยู่ในช่วง 9.74 แอมแปร์ แรงดันทุติยภูมิอยู่ในช่วง 1.829 โวลต์ กระแสทุติยภูมิอยู่ในช่วง 197.17 แอมแปร์ เป็นช่วงที่แหล่งกำเนิดการระเหยสารยังคงรูปเดิม

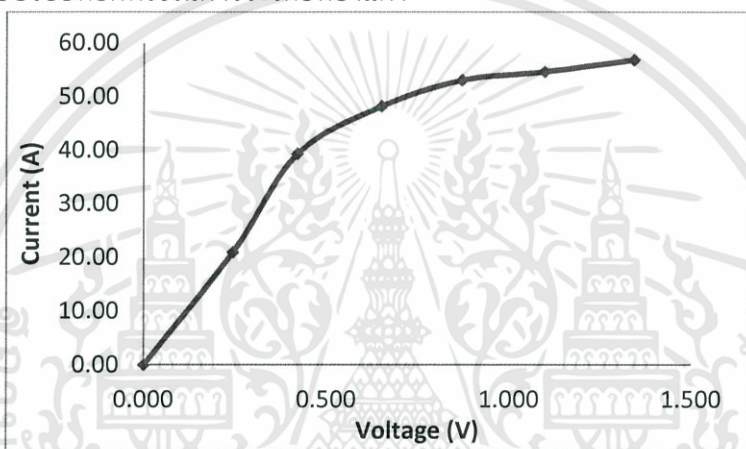
4.2 การศึกษาลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนที่มีรูปแบบต่างกัน 4 แบบ ที่ใช้ในการระเหยทองแดง

ตารางที่ 4.5 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบรอยหยักที่ใช้ในการระเหยทองแดง

แรงดันปฐมภูมิเฉลี่ย (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิเฉลี่ย (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิเฉลี่ย (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิเฉลี่ย (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.78	1.00	0.244	21.00
10.58	1.90	0.419	39.30
15.87	2.33	0.652	48.20
20.70	2.55	0.871	53.07
25.28	2.63	1.097	54.63
30.68	2.76	1.343	56.87



รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฐมภูมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบรอยหยักที่ใช้ในการระเหยทองแดง

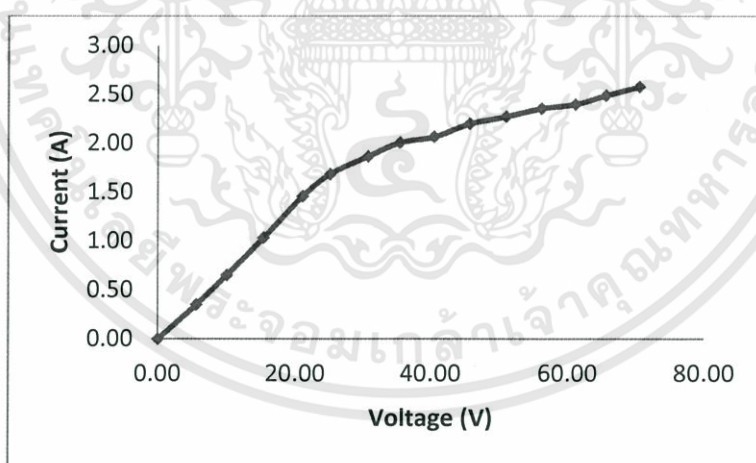


รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยภูมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบรอยหยักที่ใช้ในการระเหยทองแดง

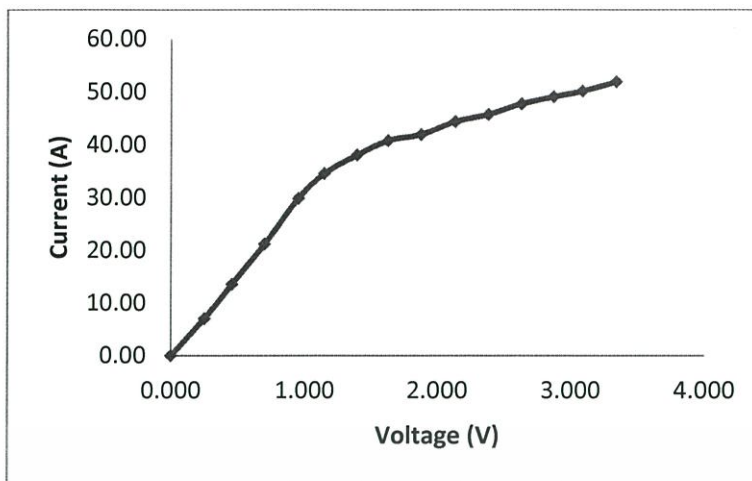
จากกราฟแสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฐมภูมิ กับกราฟแสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยภูมิ พบว่ากราฟทั้งสองมีแนวโน้มที่ตรงกันเมื่อเราเพิ่มแรงดันปฐมภูมิก็จะส่งผลให้กระแสปฐมภูมิ แรงดันทุติยภูมิและกระแสทุติยภูมิเพิ่มขึ้น โดยที่แรงดันปฐมภูมิอยู่ในช่วง 20.70 - 30.68 โวลต์ กระแสปฐมภูมิอยู่ในช่วง 2.55 - 2.76 แอมแปร์ แรงดันทุติยภูมิอยู่ในช่วง 0.871 - 1.343 โวลต์ กระแสทุติยภูมิอยู่ในช่วง 53.07 - 56.87 แอมแปร์ เป็นจุดที่สารเริ่มระเหย โดยจะเห็นได้ว่าแหล่งกำเนิดการระเหยสารชนิดนี้สามารถระเหยสารได้ดีโดยที่ใช้กระแสทุติยภูมิต่ำ

ตารางที่ 4.6 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบชนิดที่ใช้ในการระเหยทองแดง

แรงดันปฐมภูมิเฉลี่ย (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิเฉลี่ย (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิเฉลี่ย (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิเฉลี่ย (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.62	0.35	0.252	7.07
10.01	0.65	0.454	13.57
15.32	1.03	0.695	21.20
21.06	1.46	0.949	29.87
25.14	1.68	1.147	34.53
30.78	1.86	1.396	38.07
35.50	2.00	1.632	40.80
40.47	2.06	1.879	41.97
45.60	2.20	2.130	44.37
50.87	2.27	2.375	45.73
56.07	2.35	2.623	47.77
61.10	2.40	2.865	49.07
65.63	2.49	3.084	50.17
70.53	2.58	3.341	51.93



รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฐมภูมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบชนิดที่ใช้ในการระเหยทองแดง

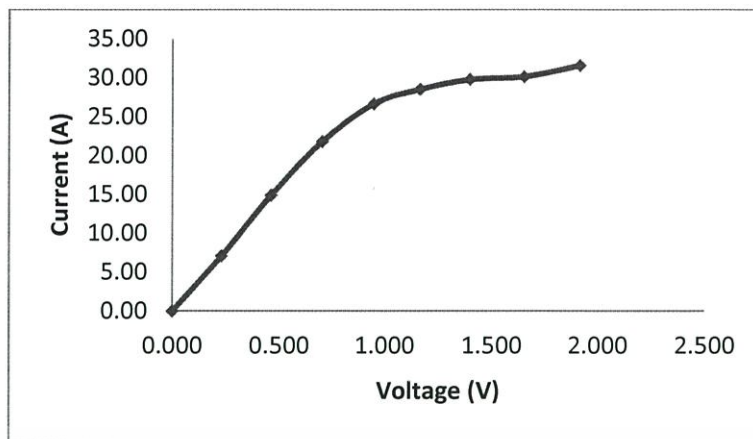


รูปที่ 4.12 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยภูมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบชนิดที่ใช้ในการระเหยทองแดง

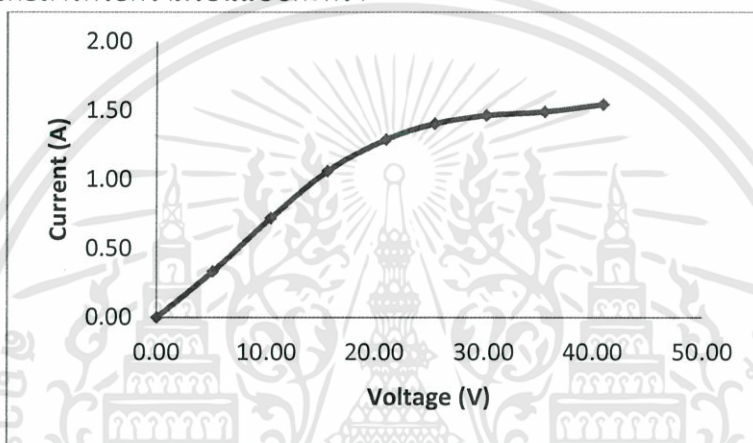
จากกราฟแสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฐมภูมิ กับกราฟแสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยภูมิ พบว่ากราฟทั้งสองมีแนวโน้มที่ตรงกันเมื่อเราเพิ่มแรงดันปฐมภูมิก็จะส่งผลให้กระแสปฐมภูมิ แรงดันทุติยภูมิและกระแสทุติยภูมิเพิ่มขึ้น โดยที่แรงดันปฐมภูมิอยู่ในช่วง 56.07 - 70.53 โวลต์ กระแสปฐมภูมิอยู่ในช่วง 2.35 - 2.58 แอมแปร์ แรงดันทุติยภูมิอยู่ในช่วง 2.623 - 3.347 โวลต์ กระแสทุติยภูมิอยู่ในช่วง 47.77 - 56.87 แอมแปร์ เป็นจุดที่สารเริ่มระเหย โดยจะเห็นได้ว่าแหล่งกำเนิดการระเหยสารชนิดนี้สามารถระเหยสารได้ดีโดยที่ใช้กระแสทุติยภูมิไม่มากนัก

ตารางที่ 4.7 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบตะกร้าที่ใช้ในการระเหยทองแดง

แรงดันปฐมภูมิเฉลี่ย (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิเฉลี่ย (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิเฉลี่ย (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิเฉลี่ย (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.12	0.33	0.230	7.07
10.37	0.72	0.461	14.90
15.60	1.06	0.703	21.80
21.06	1.29	0.948	26.63
25.51	1.40	1.166	28.50
30.21	1.46	1.397	29.77
35.54	1.49	1.652	30.13
40.93	1.54	1.915	31.57



รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฐมภูมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบตะกร้า

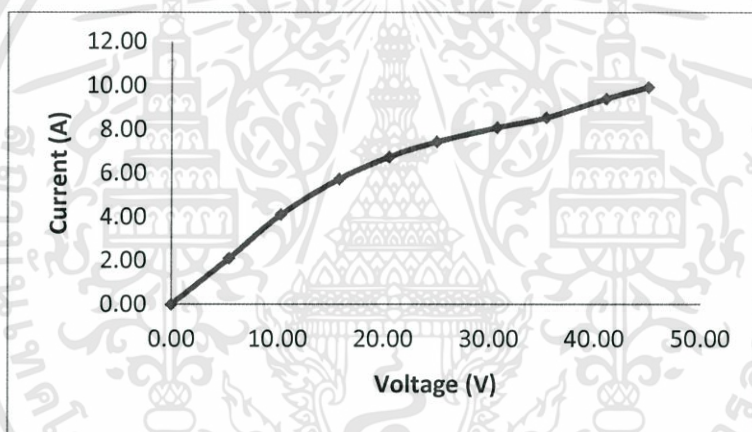


รูปที่ 4.14 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยภูมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบตะกร้า

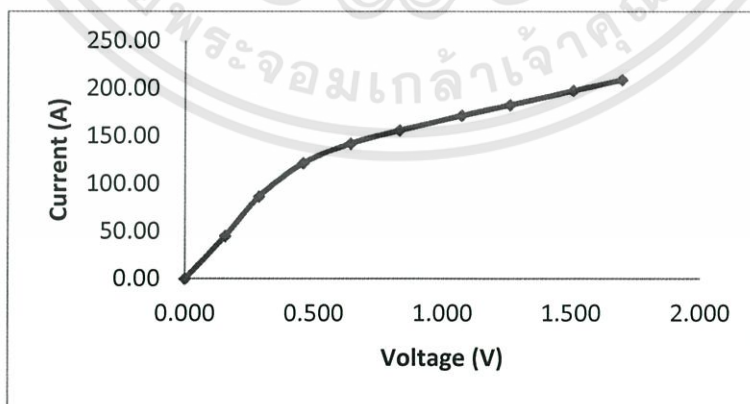
จากกราฟแสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฐมภูมิ กับกราฟแสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยภูมิ พบว่ากราฟทั้งสองมีแนวโน้มที่ตรงกันเมื่อเราเพิ่มแรงดันปฐมภูมิก็จะส่งผลให้กระแสปฐมภูมิ แรงดันทุติยภูมิและกระแสทุติยภูมิเพิ่มขึ้น โดยที่แรงดันปฐมภูมิอยู่ในช่วง 30.21 - 40.93 โวลต์ กระแสปฐมภูมิอยู่ในช่วง 1.46 - 1.54 แอมแปร์ แรงดันทุติยภูมิอยู่ในช่วง 1.397 - 1.915 โวลต์ กระแสทุติยภูมิอยู่ในช่วง 29.77 - 31.57 แอมแปร์ เป็นจุดที่สารเริ่มระเหย โดยจะเห็นได้ว่าแหล่งกำเนิดการระเหยสารชนิดนี้สามารถระเหยสารได้ดีโดยที่ใช้กระแสทุติยภูมิไม่มากนัก

ตารางที่ 4.8 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบโบ้ทที่ใช้ในการระเหยทองแดง

แรงดันปฐมภูมิเฉลี่ย (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิเฉลี่ย (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิเฉลี่ย (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิเฉลี่ย (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.38	2.11	0.154	45.03
10.30	4.11	0.286	86.57
15.83	5.74	0.458	121.50
20.56	6.74	0.642	142.17
25.04	7.44	0.833	155.87
30.78	8.08	1.073	171.40
35.43	8.54	1.262	182.53
41.10	9.40	1.509	197.47
45.07	9.92	1.697	209.00



รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฐมภูมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบโบ้ทเพื่อทำการระเหยทองแดง



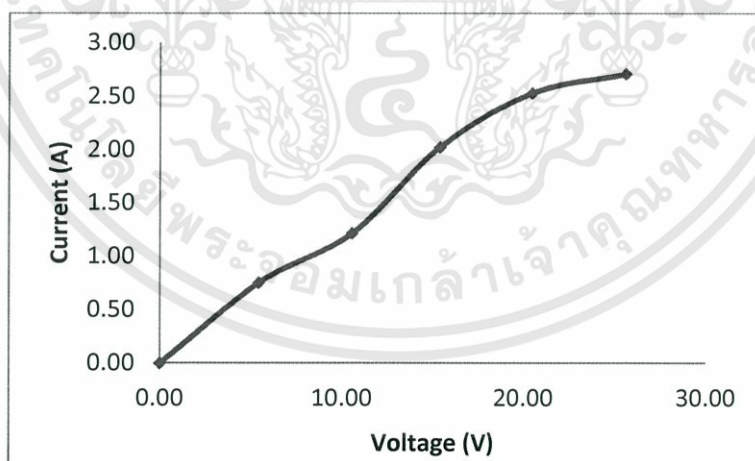
รูปที่ 4.16 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยภูมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบโบ้ทเพื่อทำการระเหยทองแดง

จากกราฟแสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฐมภูมิ กับกราฟแสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยภูมิ พบว่ากราฟทั้งสองมีแนวโน้มที่ตรงกันเมื่อเราเพิ่มแรงดันปฐมภูมิก็จะส่งผลให้กระแสปฐมภูมิ แรงดันทุติยภูมิและกระแสทุติยภูมิเพิ่มขึ้น โดยที่แรงดันปฐมภูมิอยู่ในช่วง 30.78 - 45.07 โวลต์ กระแสปฐมภูมิอยู่ในช่วง 8.08 - 9.92 แอมแปร์ แรงดันทุติยภูมิอยู่ในช่วง 1.073 - 1.697 โวลต์ กระแสทุติยภูมิอยู่ในช่วง 171.40 - 209.00 แอมแปร์ เป็นจุดที่สารเริ่มระเหย โดยจะเห็นได้ว่าแหล่งกำเนิดการระเหยสารชนิดนี้สามารถระเหยสารได้ดีโดยที่ใช้กระแสทุติยภูมิไม่มากนัก

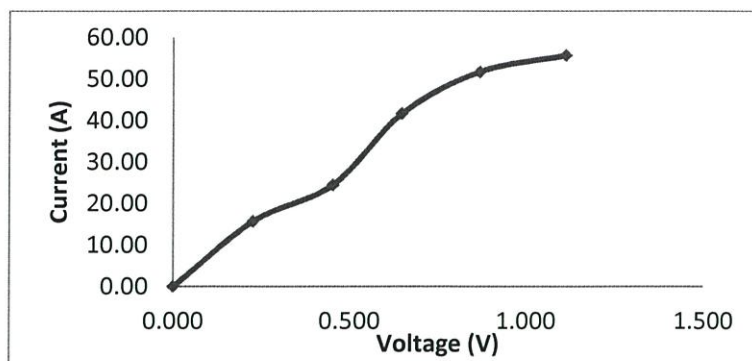
4.3 การศึกษาลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนที่มีรูปแบบต่างกัน 4 แบบ ที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม

ตารางที่ 4.9 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบรอยหยักที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม

แรงดันปฐมภูมิเฉลี่ย (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิเฉลี่ย (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิเฉลี่ย (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิเฉลี่ย (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.45	0.75	0.227	15.67
10.57	1.21	0.454	24.50
15.35	2.02	0.646	41.67
20.47	2.53	0.867	51.70
25.58	2.71	1.113	55.70



รูปที่ 4.17 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฐมภูมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบรอยหยัก ที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม

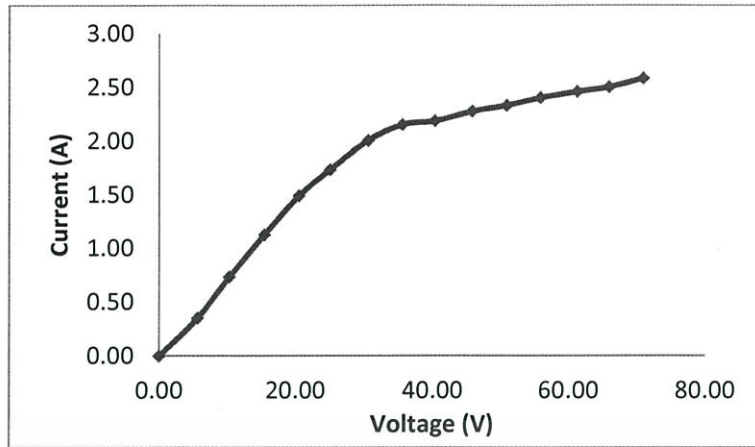


รูปที่ 4.18 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยภูมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบรอยหยักที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม

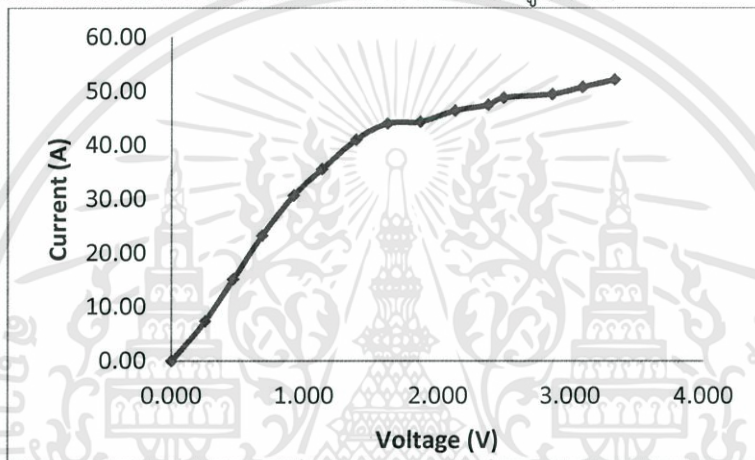
จากกราฟแสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฐมภูมิ กับกราฟแสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยภูมิ พบว่ากราฟทั้งสองมีแนวโน้มที่ตรงกันเมื่อเราเพิ่มแรงดันปฐมภูมิก็จะส่งผลให้กระแสปฐมภูมิ แรงดันทุติยภูมิและกระแสทุติยภูมิเพิ่มขึ้น โดยที่แรงดันปฐมภูมิอยู่ในช่วง 25.58 โวลต์ กระแสปฐมภูมิอยู่ในช่วง 2.71 แอมแปร์ แรงดันทุติยภูมิอยู่ในช่วง 1.113 โวลต์ กระแสทุติยภูมิอยู่ในช่วง 55.70 แอมแปร์ เป็นจุดที่สารเริ่มระเหย โดยจะเห็นได้ว่าแหล่งกำเนิดการระเหยสารชนิดนี้สามารถระเหยสารได้ดีโดยที่ใช้กระแสทุติยภูมิต่ำ

ตารางที่ 4.10 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบขดที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม

แรงดันปฐมภูมิเฉลี่ย (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิเฉลี่ย (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิเฉลี่ย (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิเฉลี่ย (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.57	0.35	0.251	7.37
10.25	0.73	0.463	15.13
15.43	1.13	0.683	23.27
20.53	1.49	0.921	30.67
25.11	1.73	1.135	35.53
30.62	2.01	1.389	41.03
35.56	2.15	1.622	44.00
40.30	2.19	1.864	44.33
45.80	2.28	2.127	46.40
50.87	2.33	2.378	47.47
55.83	2.40	2.495	48.77
61.23	2.46	2.864	49.47
65.87	2.50	3.090	50.77
70.83	2.58	3.327	52.13



รูปที่ 4.19 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฐมภูมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบชดเพื่อทำการระเหยอลูมิเนียม

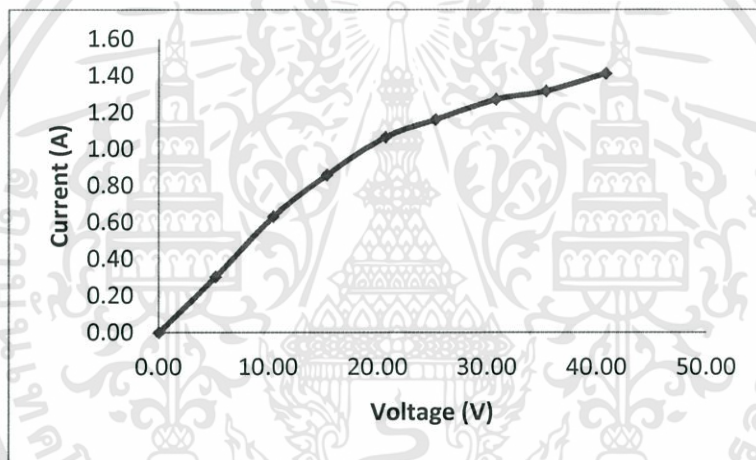


รูปที่ 4.20 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยภูมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบชดเพื่อทำการระเหยอลูมิเนียม

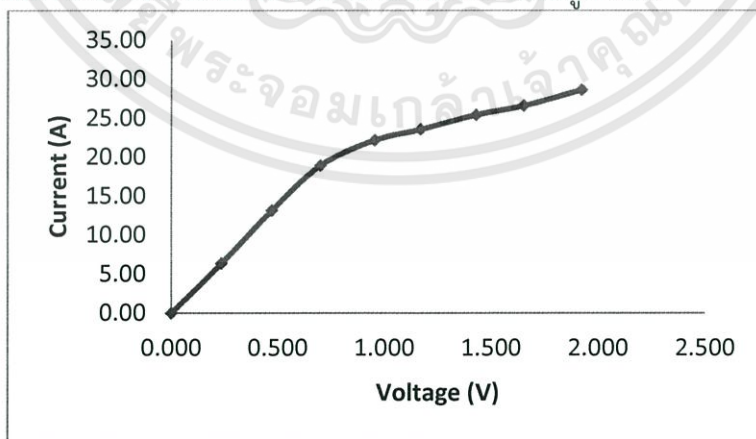
จากกราฟแสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฐมภูมิ กับกราฟแสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยภูมิ พบว่ากราฟทั้งสองมีแนวโน้มที่ตรงกันเมื่อเราเพิ่มแรงดันปฐมภูมิก็จะส่งผลให้กระแสปฐมภูมิ แรงดันทุติยภูมิและกระแสทุติยภูมิเพิ่มขึ้น โดยที่แรงดันปฐมภูมิอยู่ในช่วง 70.83 โวลต์ กระแสปฐมภูมิอยู่ในช่วง 2.58 แอมแปร์ แรงดันทุติยภูมิอยู่ในช่วง 3.327 โวลต์ กระแสทุติยภูมิอยู่ในช่วง 52.13 แอมแปร์ เป็นจุดที่สารเริ่มระเหย โดยจะเห็นได้ว่าแหล่งกำเนิดการระเหยสารชนิดนี้สามารถระเหยสารได้ดีโดยที่ใช้กระแสทุติยภูมิไม่มากนัก

ตารางที่ 4.11 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบตะกร้าที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม

แรงดันปฐมภูมิเฉลี่ย (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิเฉลี่ย (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิเฉลี่ย (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิเฉลี่ย (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.20	0.30	0.235	6.37
10.46	0.63	0.472	13.17
15.37	0.86	0.699	18.90
20.72	1.06	0.954	22.17
25.27	1.16	1.167	23.57
30.78	1.27	1.428	25.43
35.38	1.32	1.651	26.60
40.83	1.41	1.924	28.63



รูปที่ 4.21 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฐมภูมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบตะกร้าเพื่อทำการระเหยอะลูมิเนียม

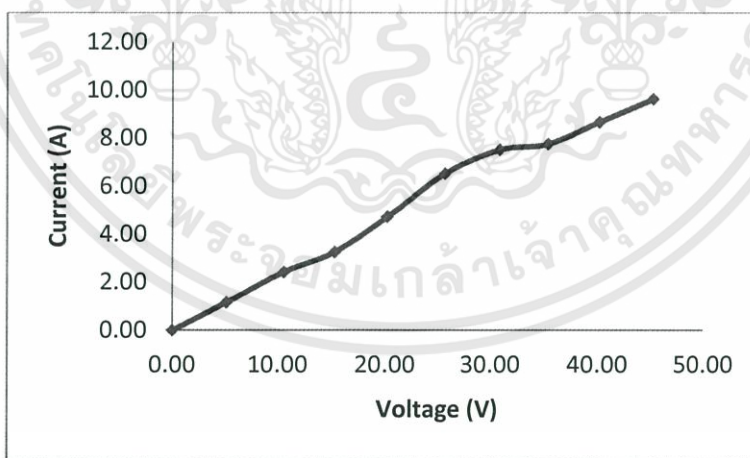


รูปที่ 4.22 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยภูมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบตะกร้าเพื่อทำการระเหยอะลูมิเนียม

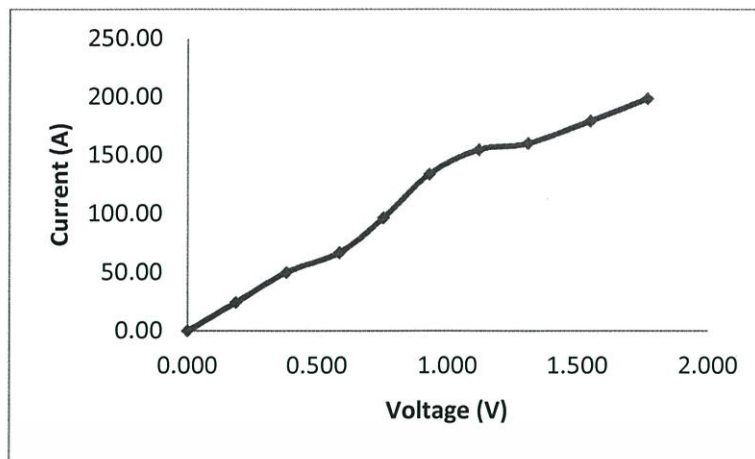
จากกราฟแสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฐมภูมิ กับกราฟแสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยภูมิ พบว่ากราฟทั้งสองมีแนวโน้มที่ตรงกันเมื่อเราเพิ่มแรงดันปฐมภูมิก็จะส่งผลให้กระแสปฐมภูมิ แรงดันทุติยภูมิและกระแสทุติยภูมิเพิ่มขึ้น โดยที่แรงดันปฐมภูมิอยู่ในช่วง 40.83 โวลต์ กระแสปฐมภูมิอยู่ในช่วง 1.41 แอมแปร์ แรงดันทุติยภูมิอยู่ในช่วง 1.924 โวลต์ กระแสทุติยภูมิอยู่ในช่วง 28.63 แอมแปร์ เป็นจุดที่สารเริ่มระเหย โดยจะเห็นได้ว่าแหล่งกำเนิดการระเหยสารชนิดนี้สามารถระเหยสารได้ดีโดยที่ใช้กระแสทุติยภูมิต่ำ

ตารางที่ 4.12 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบโบ้ทที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม

แรงดันปฐมภูมิเฉลี่ย (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิเฉลี่ย (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิเฉลี่ย (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิเฉลี่ย (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.20	1.17	0.187	24.27
10.58	2.42	0.385	50.00
15.34	3.26	0.586	66.83
20.20	4.72	0.752	96.43
25.67	6.52	0.928	133.63
30.90	7.51	1.121	154.63
35.41	7.76	1.312	160.00
40.17	8.67	1.548	179.07
45.20	9.63	1.765	198.37



รูปที่ 4.23 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฐมภูมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบโบ้ทที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม



รูปที่ 4.24 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยภูมิเฉลี่ยที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบโบ๊ทที่ใช้ในการระเหยอลูมิเนียม

จากกราฟแสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันปฐมภูมิ กับกราฟแสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันทุติยภูมิ พบว่ากราฟทั้งสองมีแนวโน้มที่ตรงกันเมื่อเราเพิ่มแรงดันปฐมภูมิก็จะส่งผลให้กระแสปฐมภูมิ แรงดันทุติยภูมิและกระแสทุติยภูมิเพิ่มขึ้น โดยที่แรงดันปฐมภูมิอยู่ในช่วง 45.20 โวลต์ กระแสปฐมภูมิอยู่ในช่วง 9.63 แอมแปร์ แรงดันทุติยภูมิอยู่ในช่วง 1.765 โวลต์ กระแสทุติยภูมิอยู่ในช่วง 198.37 แอมแปร์ เป็นจุดที่สารเริ่มระเหย โดยจะเห็นได้ว่าแหล่งกำเนิดการระเหยสารชนิดนี้สามารถระเหยสารได้ดีโดยที่ใช้กระแสทุติยภูมิสูงมาก

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ผู้ทำการวิจัยได้ออกแบบและสร้างวงจรสำหรับการระเหยสารด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศขึ้นมาโดยวงจรนี้จะประกอบไปด้วยสายไฟที่ทนกระแส 13 แอมแปร์และ 321 แอมแปร์ หม้อแปลงปรับแรงดันไฟฟ้าชนิดแกนหมุน ขนาด 3000 โวลต์-แอมแปร์ หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดขนาด 3000 โวลต์-แอมแปร์ ขั้วสำหรับการระเหยสาร และแหล่งกำเนิดการระเหยสารจากการทดสอบพบว่าสามารถระเหยทองแดงและอลูมิเนียมที่ความดันบรรยากาศได้สำเร็จ

จากการศึกษาลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนที่มีรูปแบบต่างกัน 4 แบบ พบว่ากราฟทั้งสองมีแนวโน้มที่ตรงกันเมื่อเราเพิ่มแรงดันปฐมภูมิก็จะส่งผลให้กระแสปฐมภูมิ แรงดันทุติยภูมิและกระแสทุติยภูมิเพิ่มขึ้น จุดที่แหล่งกำเนิดการระเหยสารแต่ละแบบยังคงรูปเดิมนั้นมีค่ากระแสและแรงดันทุติยภูมิ และแรงดันทุติยภูมิที่แตกต่างกัน โดยแหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบรอยหยักยังคงรูปเดิมที่แรงดันทุติยภูมิ 1.091 โวลต์ กระแสทุติยภูมิ 59.63 แอมแปร์ แหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบขดขึงยังคงรูปเดิมที่แรงดันทุติยภูมิ 3.327 โวลต์ กระแสทุติยภูมิ 50.87 แอมแปร์ แหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบตะกร้ายังคงรูปเดิมที่แรงดันทุติยภูมิ 1.882 โวลต์ กระแสทุติยภูมิ 32.93 แอมแปร์ และแหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบโบ้ยังคงรูปเดิมที่แรงดันทุติยภูมิ 1.829 โวลต์ กระแสทุติยภูมิ 197.17 แอมแปร์ ตามลำดับ

จากการศึกษาลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนที่มีรูปแบบต่างกัน 4 แบบ ที่ใช้ในการระเหยทองแดง พบว่ากราฟทั้งสองมีแนวโน้มที่ตรงกันเมื่อเราเพิ่มแรงดันปฐมภูมิก็จะส่งผลให้กระแสปฐมภูมิ แรงดันทุติยภูมิและกระแสทุติยภูมิเพิ่มขึ้น จุดที่ทองแดงเริ่มระเหยของแหล่งกำเนิดการระเหยสารแต่ละแบบนั้นมีความต้องการค่ากระแสและแรงดันปฐมภูมิ กระแสและแรงดันทุติยภูมิที่แตกต่างกัน โดยแหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบรอยหยักสารเริ่มระเหยที่แรงดันทุติยภูมิ 0.871 โวลต์ กระแสทุติยภูมิ 53.07 แอมแปร์ แหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบขดขึงสารเริ่มระเหยที่ค่าแรงดันทุติยภูมิ 2.623 โวลต์ กระแสทุติยภูมิ 47.77 แอมแปร์ แหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบตะกร้าสารเริ่มระเหยที่แรงดันทุติยภูมิ 1.397 โวลต์ กระแสทุติยภูมิ 29.77 แอมแปร์ และแหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบโบ้สารเริ่มระเหยที่ค่าแรงดันทุติยภูมิ 1.073 โวลต์ กระแสทุติยภูมิ 171.40 แอมแปร์ ตามลำดับ

จากการศึกษาลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนที่มีรูปแบบต่างกัน 4 แบบ ที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม พบว่ากราฟทั้งสองมีแนวโน้มที่ตรงกันเมื่อเราเพิ่มแรงดันปฐมภูมิก็จะส่งผลให้กระแสปฐมภูมิ แรงดันทุติยภูมิและกระแสทุติยภูมิเพิ่มขึ้น จุดที่อะลูมิเนียมเริ่มระเหยของแหล่งกำเนิดการระเหยสารแต่ละแบบนั้นมีความต้องการค่ากระแสและแรงดันปฐมภูมิ กระแสและแรงดันทุติยภูมิที่แตกต่างกัน โดยแหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบรอยหยัก ที่แรงดันทุติยภูมิ 1.113 โวลต์ กระแสทุติยภูมิ 55.70 แอมแปร์ แหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบขดขึงสารเริ่มระเหยที่แรงดันทุติยภูมิ 3.327 โวลต์ กระแสทุติยภูมิ 52.13 แอมแปร์ แหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบตะกร้าสารเริ่มระเหยที่แรงดันทุติยภูมิ 1.924 โวลต์ กระแสทุติยภูมิ

28.63 แอมแปร์ และแหล่งกำเนิดการระเหยสารแบบโบทิสสารเริ่มระเหยที่แรงดันทุติยภูมิ 1.765 โวลต์ กระแสทุติยภูมิ 198.37 แอมแปร์ ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในอนาคตผู้วิจัยจะมีการนำวงจรสำหรับการระเหยสารด้วยความร้อนที่ได้ออกแบบและสร้างมาใช้ในระบบสุญญากาศที่คณะผู้วิจัยอีกคณะได้ทำการออกแบบสร้างขึ้นมา โดยผู้ทำการวิจัยได้ออกแบบสร้างฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านล่างและส่วนสำหรับปิดรูซีลระบบสุญญากาศ

โดยในการประกอบวงจรสำหรับระเหยเข้ากับระบบสุญญากาศนั้นจะนำขั้วสำหรับระเหยสารติดตั้งเข้ากับฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านล่างที่ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบสร้าง ในการทำการระเหยสารในขั้นแรกจะใช้ขั้วสำหรับระเหยสารเพียง 1 คู่เพื่อทดสอบการระเหยสารในระบบสุญญากาศ โดยอีก 2 รูที่เหลือจะถูกปิดด้วยส่วนสำหรับปิดรูซีลระบบสุญญากาศ และในขั้นต่อไปจะใช้ขั้วสำหรับระเหยทั้ง 2 คู่เพื่อทดสอบการระเหยสารแบบผสมในระบบสุญญากาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] พิสิทธ์ราชขมมงคล. (5 ธันวาคม 2558). การระเหย. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก:
<http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/0/286/2/3/gas/gas/data5.htm>
- [2] VAC AERO International INC. (11 ธันวาคม 2558). Evaporation by a hot filament. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: <http://vacaero.com/information-resources/vacuum-pump-practice-with-howard-tring/1409-five-main-reasons-for-using-vacuum-part-5.html>
- [3] Bhag S. Guru, Huseyin R. Hiziroglu. (2000). Electric Machinery and Transformers (3rd ed.). London: Oxford University Press Higher Education Division.
- [4] Tom Hartsfield. (1 มกราคม 2559). Transformer in action. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก:
<http://www.technology.org/2014/02/18/explainer-tesla-coil/>
- [5] บริษัท พีเอสพี เทคโนโลยี จำกัด. (20 ธันวาคม 2558). หลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: <http://www.pspstech.co.th/หลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า/transformer-16777.page>
- [6] Oknation blog. (2 มกราคม 2559). ส่วนประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้า. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก:
<http://www.oknation.net/blog/DasH125/2009/07/10/entry-1>
- [7] Dyne Industries Pty Ltd. (12 มกราคม 2559). Single Phase Transformer. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.dyne.com.au/Power_Transformers
- [8] eBay Inc. (18 มกราคม 2559). Jantzen Coil. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก:
http://www.ebay.ca/sch/sis.html?_nkw=Goertz+Audio+Grade+Alpha+Core+Goertz+0+68mH+16+AWG+Copper+Foil+Coil+Inductor
- [9] Exteen blog. (20 มกราคม 2559). หม้อแปลงไฟฟ้า. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก:
<http://margino.exteen.com/20090826/entry-2>
- [10] วิทยาลัยเทคนิคร้อยเอ็ด. (20 มกราคม 2559). บทที่ 3 หม้อแปลงไฟฟ้า. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก:
http://www.retc.ac.th/v3/kru_pitooon/2/10.doc
- [11] โรงเรียนแลมพ์เทค. (22 มกราคม 2559). การพันขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดเล็ก. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.lampstech.ac.th/webprg/vitsawa/file_ar/a872512.pdf
- [12] บริษัท แสงชัยมิเตอร์ จำกัด. (26 มกราคม 2559). ทำความรู้จักแคลมป์มิเตอร์ ตอนที่ 2. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.sangchaimeter.com/support_detail/ทำความรู้จักแคลมป์มิเตอร์
- [13] Pb All Techno. (27 มกราคม 2559). Digital multimeter. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก:
<http://www.pballtechno.com/category/3/digital-multimeter>
- [14] iCOnstruX.com. (30 มกราคม 2559). Multi-functional Digital Multimeter. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: <http://www.iconstrux.com/Mastech-MS8229-Auto-Range-Multi-Functional-Multimeter#.V03uHPmLTIU>

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- [15] Direct Industry. (30 มกราคม 2559). Digital multimeter. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก:
http://www.directindustry.com/industrial-manufacturer/digital-multimeter-61150-_2.html
- [16] Oxford Vacuum Science Ltd. (31 มกราคม 2559). Resistive Evaporation. [ออนไลน์].
สืบค้นจาก: http://www.oxford-vacuum.com/background/thin_film/evaporation.htm
- [17] JAYU OPTICAL MATERIAL CO.,LTD (31 มกราคม 2559). Vacuum evaporation source.
[ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.jayuindustry.com/e_products/show/?29-vacuum-evaporation-source-29.html



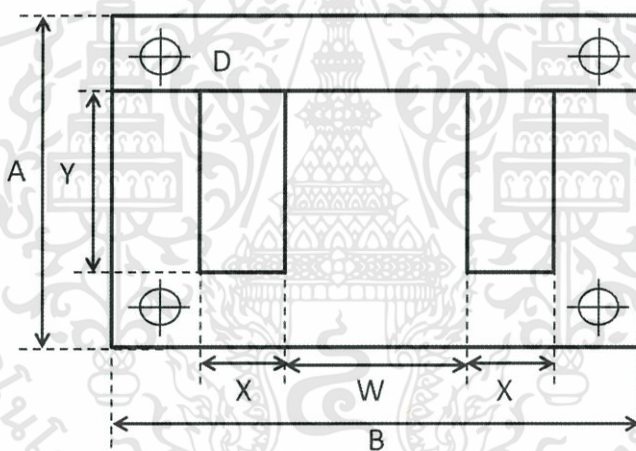


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก.1 มาตรฐานของแกนเหล็กแบบ EI

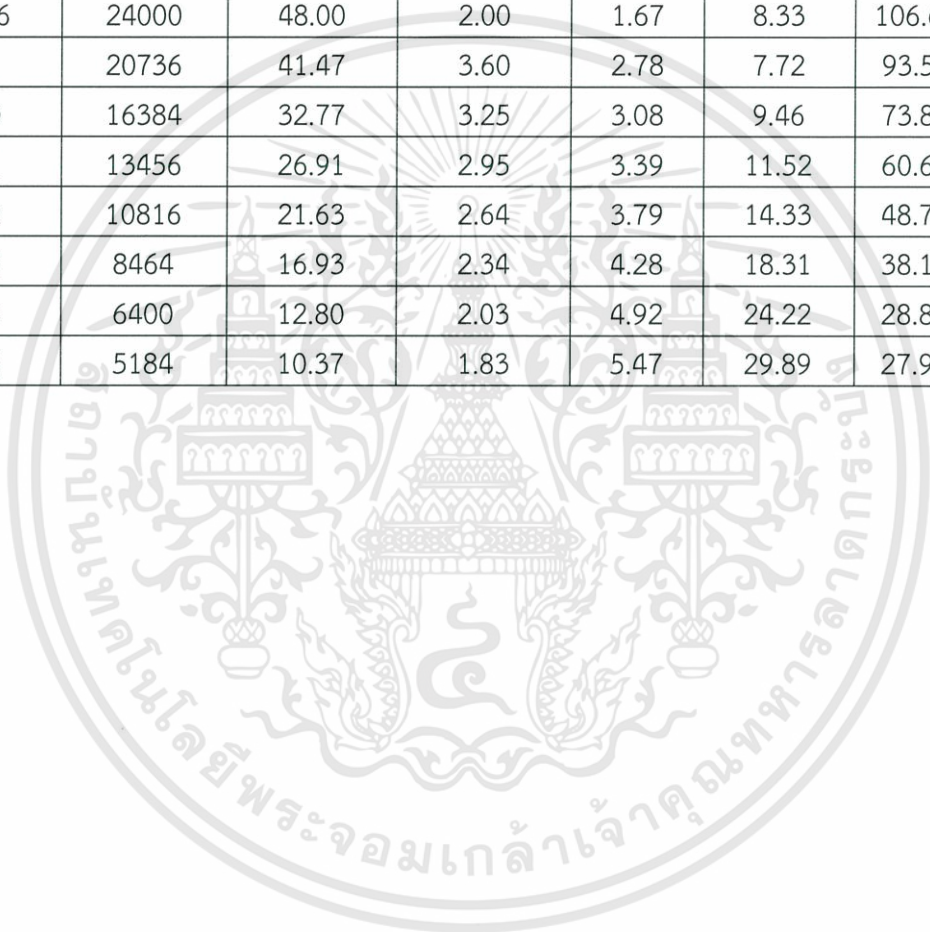
Model	A (mm)	B (mm)	W (mm)	X (mm)	Y (mm)	D (mm)
EI-76.2	63.50	76.20	25.40	12.70	38.10	5
EI-85.5	71.25	85.50	28.50	14.25	42.75	5
EI-96	80.00	96.00	32.00	16.00	48.00	6
EI-114	95.00	114.00	38.00	19.00	57.00	7
EI-133.2	111.00	133.20	44.40	22.20	66.60	7
EI-152.4	127.00	152.40	50.80	25.40	76.20	8
EI-181.2	151.00	181.20	60.40	30.20	90.60	8
EI-190.5	158.75	190.50	63.50	31.75	95.25	9
EI-228.6	190.50	228.60	76.20	38.10	114.3	9.525



รูปที่ ก.1 EI-Laminate

ตารางที่ ก.2 AWG Wire Size

Wire Size (AWG)	Cross Sections (Cir.mil)	Current at 500 cir.mil (Amperes)	Diameter in mm (Bares)	Turns/cm	Turns/Sq.cm	Weight/km
4x8	64000	128.00	4.00	1.25	3.13	284.5024
3x10	60000	120.00	3.00	1.00	3.33	266.7210
3x8	48400	96.00	3.00	1.25	4.17	213.3768
2x10	40000	80.00	2.00	1.00	5.00	177.8140
2x8	32000	64.00	2.00	1.25	6.25	142.2512
2x6	24000	48.00	2.00	1.67	8.33	106.6884
9	20736	41.47	3.60	2.78	7.72	93.5200
10	16384	32.77	3.25	3.08	9.46	73.8100
11	13456	26.91	2.95	3.39	11.52	60.6100
12	10816	21.63	2.64	3.79	14.33	48.7300
13	8464	16.93	2.34	4.28	18.31	38.1300
14	6400	12.80	2.03	4.92	24.22	28.8300
15	5184	10.37	1.83	5.47	29.89	27.9300



ภาคผนวก ข

ข.1 ค่ารวมโวลต์ – แอมแปร์ ของหม้อแปลง (VA)

เราต้องการออกแบบให้หม้อแปลงมีแรงดันไฟฟ้าขาออก 10 โวลต์ และกระแสขาออก 300แอมแปร์ พิกัดกำลังของหม้อแปลงสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 2.9

$$VA = E_s \times I_s$$

$$VA = (10\text{volts}) \times (300\text{Amperes})$$

$$VA = 3000 \text{ Volts-Ampere}$$

ดังนั้นจะได้ว่าพิกัดกำลังของหม้อแปลง คือ 3000 โวลต์-แอมแปร์

ข.2 พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 2.10

$$A_c = 1.156\sqrt{VA}$$

$$A_c = 1.156\sqrt{(3000 \text{ Volts-Ampere})}$$

$$A_c = 63.3167 \text{ cm}^2$$

ดังนั้นจะได้ว่าพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก คือ 63.3167 ตารางเซนติเมตร

ข.3 ความกว้างขากลางของแกนเหล็กสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 2.12

$$W = 0.878(VA)^{1/4}$$

$$W = 0.878 \times (3000\text{Volts-Ampere})^{1/4}$$

$$W = 6.4979 \text{ cm}$$

ดังนั้นจะได้ว่าความกว้างขากลางของแกนเหล็ก คือ 6.4979 เซนติเมตร

เมื่อเทียบความกว้างขากลางของแกนเหล็กกับตารางที่ ก.1 มาตรฐานของแกนเหล็กแบบ EI พบว่าความกว้างขากลางของแกนเหล็กที่มีใกล้เคียงและความเหมาะสมนั้นมีขนาด เท่ากับ 7.62 เซนติเมตร ซึ่งเป็นแกนเหล็กขนาด EI-228.6

ข.4 ความหนาของแกนเหล็กที่ถูกอัดรวมกันสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 2.13

$$T = A_c / W$$

$$T = (63.3167 \text{ cm}^2) / (7.62 \text{ cm})$$

$$T = 8.3093 \text{ cm}$$

ดังนั้นจะได้ว่าความหนาของแกนเหล็กที่ถูกอัดรวมกัน คือ 8.3093 เซนติเมตร

แต่เนื่องจากมาตรฐานขนาดบ๊อบbinตามโรงงานที่สั่งพันหม้อแปลงนั้นมักจะมีความหนาเพิ่มครั้งละ 1 เซนติเมตร ดังนั้น ความหนาของแกนเหล็กที่ถูกอัดรวมกันที่ใกล้เคียงและมีความเหมาะสมนั้นมีขนาด เท่ากับ 9.0 เซนติเมตร

ทำให้จำเป็นต้องคำนวณพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก และพิกัดกำลังของหม้อแปลงที่จะใช้งานจริงอีกครั้ง

ข.5 พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กที่นำมาใช้งานจริงสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 2.11

$$A_c = W \times T$$

$$A_c = (7.62\text{cm}) \times (9.0\text{cm})$$

$$A_c = 68.58 \text{ cm}^2$$

ดังนั้นจะได้ว่าพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก คือ 68.58 ตารางเซนติเมตร

ข.6 พิกัดกำลังของหม้อแปลงที่นำมาใช้งานจริงสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 2.10

$$A_c = 1.156\sqrt{VA}$$

$$VA = A_c^2 / 1.156^2$$

$$VA = (68.58 \text{ cm}^2)^2 / 1.156^2$$

$$VA = 3519.4864 \text{ Volts-Ampere}$$

ดังนั้นจะได้ว่าพิกัดกำลังของหม้อแปลง คือ 3519.4864 โวลต์-แอมแปร์

ข.7 จำนวนแผ่นของแกนเหล็กที่ถูกอัดรวมกันสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 2.14

เนื่องจากต้องการที่จะออกแบบหม้อแปลงที่มีแรงดันต่ำดังนั้นความหนาของแกนเหล็กที่เหมาะสมกับการใช้งานจริงจึง เท่ากับ 0.05 เซนติเมตร

$$n = T / t_s$$

$$n = (9.0\text{cm}) / (0.05\text{cm})$$

$$n = 180 \text{ sheets}$$

ดังนั้นจะได้ว่าจำนวนแผ่นของแกนเหล็กที่ถูกอัดรวมกัน คือ 180 แผ่น

ข.8 ปริมาตรของแกนเหล็กสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 2.15

จากตารางที่ ก.1 มาตรฐานของแกนเหล็กแบบ EI พบว่าแกนเหล็กขนาด EL-228.6

มีความสูงของแกนเหล็ก = 19.05 เซนติเมตร ความกว้างของแกนเหล็ก = 22.86 เซนติเมตร ความกว้างของหน้าต่าง = 3.81 เซนติเมตร ความยาวของหน้าต่าง = 11.43 เซนติเมตร และ เส้นผ่านศูนย์กลางรู = 0.9525 เซนติเมตร

$$V = ABT - 2(XYT) - 2.096D^3$$

$$V = T(AB - 2XY) - 2.096D^3$$

$$V = (9.0\text{cm}) \times \{(19.05\text{cm} \times 22.86\text{cm}) - (2 \times 3.81\text{cm} \times 11.43\text{cm})\} - 2.096(0.9525\text{cm})^3$$

$$V = 3133.6663 \text{ cm}^3$$

ดังนั้นจะได้ว่าปริมาตรของแกนเหล็ก คือ 3133.6663 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ข.9 น้ำหนักของแกนเหล็กสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 2.16

$$M = D_i \times V$$

$$M = (0.0076 \text{ kg/cm}^3) \times (3133.6663 \text{ cm}^3)$$

$$M = 23.8158 \text{ kg}$$

เมื่อ D_i = ความหนาแน่นของแกนเหล็กที่ใช้ คือ 0.0076 kg/cm³

ดังนั้นจะได้ว่าน้ำหนักของแกนเหล็ก คือ 23.8158 กิโลกรัม

ข.10 จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 2.17

$$E = (2\pi f N_p \phi) / \sqrt{2}$$

$$E = (2\pi f \times N_p \times B_m \times A) / \sqrt{2}$$

$$N_p = E\sqrt{2} / (2\pi f \times B_m \times A)$$

$$N_p = 220\sqrt{2} / (2\pi \times (50 \text{ Hz}) \times (1 \text{ Wb/m}^2) \times (0.006858 \text{ m}^2))$$

$$N_p = 144.3496 \text{ turns}$$

เมื่อ B_m = ความเข้มของสนามแม่เหล็กในวงจรไฟฟ้าที่ยังไม่อิ่มตัวซึ่งเท่ากับ 1 เวเบอร์ต่อตารางเมตร ดังนั้นจะได้ว่าจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ คือ 144.3496 รอบ

ข.11 จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 2.17

$$E = (2\pi f N_s \phi) / \sqrt{2}$$

$$E = (2\pi f \times N_s \times B_m \times A) / \sqrt{2}$$

$$N_s = E\sqrt{2} / (2\pi f \times B_m \times A)$$

$$N_s = 10\sqrt{2} / (2\pi \times (50 \text{ Hz}) \times (1 \text{ Wb/m}^2) \times (0.006858 \text{ m}^2))$$

$$N_s = 6.56 \text{ turns}$$

ดังนั้นจะได้ว่าจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ คือ 6.56 รอบ

ข.12 พื้นที่หน้าตัดของขดลวดตัวนำปฐมภูมิสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 2.19

$$I_p = VA / E_p$$

$$I_p = 3000 \text{ Volts-Ampere} / 220 \text{ Volts}$$

$$I_p = 13.636 \text{ Amperes}$$

เลือกใช้พื้นที่หน้าตัด 500 circular mils/Ampere ในการคำนวณ

$$500 \text{ circular mils/Ampere} = A_{wp} / I_p$$

$$A_{wp} = (500 \text{ circular mils/Ampere}) \times 13.636 \text{ Ampere}$$

$$A_{wp} = 6818 \text{ circular mils}$$

ดังนั้นจึงเลือกใช้ขดลวดตัวนำ American wire gauge size 13 (AWG13)

ข.13 พื้นที่หน้าตัดของขดลวดตัวนำทุติยภูมิสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 2.19

$$I_s = VA / E_s$$

$$I_s = 3000 \text{ Volts-Ampere} / 10 \text{ Volts}$$

$$I_s = 300 \text{ Amperes}$$

เลือกใช้พื้นที่หน้าตัด 500 circular mils/Ampere ในการคำนวณ

$$500 \text{ circular mils/Ampere} = A_{ws} / I_s$$

$$A_{ws} = (500 \text{ circular mils/Ampere}) \times 300 \text{ Ampere}$$

$$A_{ws} = 150000 \text{ circular mils}$$

ดังนั้นจึงเลือกใช้ขดลวดตัวนำ American wire gauge size 4x8 จำนวน 3 เส้น

ข.14 พื้นที่ของหน้าต่างที่พันขดลวดสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 2.21

$$A_{air} = 0.9XY$$

$$A_{air} = 0.9 (3.81\text{cm}) \times (11.43\text{cm})$$

$$A_{air} = 39.1935 \text{ cm}^2$$

ดังนั้นจะได้ว่าพื้นที่ของหน้าต่างที่พันขดลวด คือ 39.1935 ตารางเซนติเมตร

ข.15 พื้นที่ของขดลวดด้านแรงดันสูงหรือปฐมภูมิสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 2.22

$$A_{wh} = N_h / C_h$$

$$A_{wh} = (144.3496\text{turns}) / (18.31\text{turns}/\text{cm}^2)$$

$$A_{wh} = 7.8836 \text{ cm}^2$$

จากตารางขดลวดตัวนำพบว่า American wire gauge size 13 มีจำนวนรอบต่อตารางเซนติเมตร คือ 18.31turns/ cm²

ดังนั้นจะได้ว่าพื้นที่ของขดลวดด้านแรงดันสูงหรือปฐมภูมิ คือ 7.8836 ตารางเซนติเมตร

ข.16 พื้นที่ของขดลวดด้านแรงดันต่ำหรือทุติยภูมิสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 2.23

$$A_{wl} = N_l / C_l$$

$$A_{wl} = (6.56\text{turns}) / (3.13/3(\text{turns}/\text{cm}^2))$$

$$A_{wl} = 6.8443 \text{ cm}^2$$

จากตารางขดลวดตัวนำพบว่า American wire gauge size 4x8 จำนวนรอบต่อตารางเซนติเมตร คือ 3.13turns/ cm² และเนื่องจากใช้ขดลวดตัวนำจำนวน 3 เส้น ดังนั้นจำนวนรอบต่อตารางเซนติเมตร ที่ใช้จริงจะเป็น 3.13/3 (turns/ cm²)

ดังนั้นจะได้ว่าพื้นที่ของขดลวดด้านแรงดันต่ำหรือทุติยภูมิ คือ 6.8443 ตารางเซนติเมตร

ข.17 พื้นที่ของขดลวดทั้งหมดสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 2.24

$$A_t = A_{wh} + A_{wl}$$

$$A_t = 7.8836 \text{ cm}^2 + 6.8443 \text{ cm}^2$$

$$A_t = 14.7275 \text{ cm}^2$$

$$A_t = 14.7275 \text{ cm}^2 \times 1.10$$

$$A_t = 16.2003 \text{ cm}^2$$

เพื่อความหนาของกระดาษฉนวนที่รองระหว่างชั้นและระหว่างขดลวดอีกประมาณ 10%

ดังนั้นจะได้ว่าพื้นที่ของขดลวดทั้งหมด คือ 16.2003 ตารางเซนติเมตร

ข.18 ความยาวของขดลวดตัวนำด้านแรงดันต่ำหรือทุติยภูมิสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 2.25

$$L_l = 2\{ W+T+ ((2N_l \times N_l \times d_l) / (K_l \times Y)) \}$$

$$L_l = 2\{ 7.62\text{cm} + 9\text{cm} + ((2 \times 6.56\text{turns} \times 6.56\text{turns} \times 0.4\text{cm}) / (1.25\text{turns}/\text{cm} \times 11.43\text{cm})) \}$$

$$L_l = 38.0592 \text{ cm}$$

$$L_l = 38.0592 \times (1/100000) \text{ km}$$

ดังนั้นจะได้ว่าความยาวของขดลวดตัวนำด้านแรงดันต่ำหรือทุติยภูมิ คือ 38.0592 เซนติเมตร

ข.19 ความยาวของขดลวดตัวนำด้านแรงดันสูงหรือปฐมภูมิสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 2.26

$$L_h = 2N_h \{ W+T+ ((4N_l \times d_l)/(K_l \times Y)) + ((2N_h \times d_h)/(K_h \times Y)) \}$$

$$L_h = 2 \times 144.3496 \text{ turns} \{ 7.62 \text{ cm} + 9 \text{ cm} + ((4 \times 6.56 \text{ turns} \times 0.4 \text{ cm}) / (1.25 \text{ turns/cm} \times 11.43 \text{ cm})) + ((2 \times 144.3496 \text{ turns} \times 0.234 \text{ cm}) / (4.28 \text{ turns/cm} \times 11.43 \text{ cm})) \}$$

$$L_h = 5429.1493 \text{ cm}$$

$$L_h = 5429.1493 \times (1/100000) \text{ km}$$

ดังนั้นจะได้ว่าความยาวของขดลวดตัวนำด้านแรงดันสูงหรือปฐมภูมิ คือ 5429.1493 เซนติเมตร

ข.20 น้ำหนักของลวดตัวนำด้านแรงดันต่ำหรือทุติยภูมิสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 2.27

$$W_{wl} = W_{kl} \times L_l$$

$$W_{wl} = 284.5024 \text{ kg/km} \times 38.0592 \times (1/100000) \text{ km}$$

$$W_{wl} = 0.1083 \text{ kg}$$

ดังนั้นจะได้ว่าน้ำหนักของลวดตัวนำด้านแรงดันต่ำหรือทุติยภูมิ คือ 0.1083 กิโลกรัม

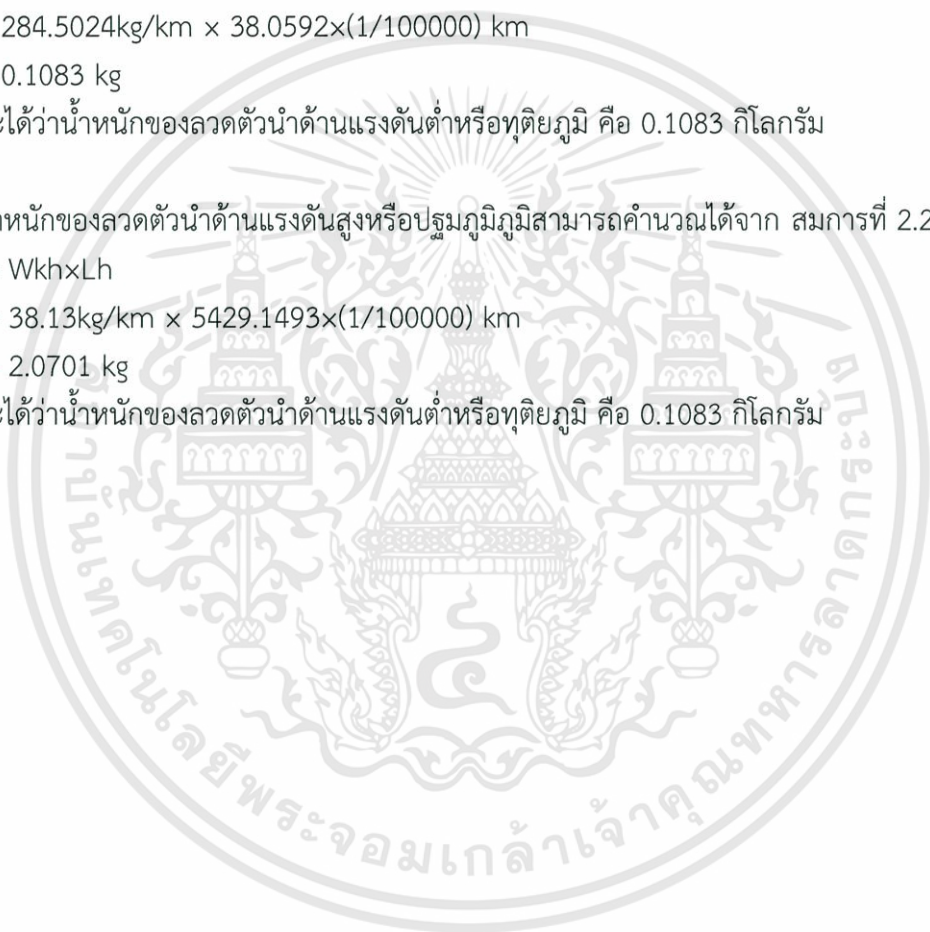
ข.21 น้ำหนักของลวดตัวนำด้านแรงดันสูงหรือปฐมภูมิสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 2.28

$$W_{wh} = W_{kh} \times L_h$$

$$W_{wh} = 38.13 \text{ kg/km} \times 5429.1493 \times (1/100000) \text{ km}$$

$$W_{wh} = 2.0701 \text{ kg}$$

ดังนั้นจะได้ว่าน้ำหนักของลวดตัวนำด้านแรงดันต่ำหรือทุติยภูมิ คือ 0.1083 กิโลกรัม



ภาคผนวก ค

การศึกษาลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนที่มีรูปแบบต่างกัน 4 แบบ

ตารางที่ ค.1 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบรอยหยัก ครั้งที่ 1

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.26	1.00	0.202	24.40
10.03	1.90	0.389	41.90
15.19	2.20	0.623	47.40
20.42	2.50	0.861	54.00
25.86	2.80	1.112	59.30

ตารางที่ ค.2 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบรอยหยัก ครั้งที่ 2

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.13	1.00	0.193	25.60
10.21	2.00	0.339	44.20
15.38	2.40	0.624	51.70
20.43	2.50	0.857	54.80
25.21	2.70	1.080	59.00

ตารางที่ ค.3 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบรอยหยัก ครั้งที่ 3

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.18	0.80	0.206	21.80
10.17	1.90	0.420	42.30
15.91	2.20	0.657	48.10
20.25	2.50	0.853	54.00
25.25	2.80	1.081	60.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบตะกร้า ครั้งที่ 1

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.07	0.45	0.195	10.90
10.34	0.76	0.459	16.80
15.26	0.97	0.687	21.40
20.67	1.10	0.946	22.40
25.39	1.18	1.166	25.50
30.49	1.33	1.408	28.30
35.06	1.39	1.612	29.80
41.20	1.63	1.917	34.40

ตารางที่ ค.5 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบตะกร้า ครั้งที่ 2

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
4.88	0.35	0.175	9.60
10.37	0.77	0.443	17.50
15.51	0.99	0.686	22.20
20.10	1.09	0.906	24.00
25.23	1.15	1.150	25.20
30.42	1.35	1.403	28.80
35.62	1.38	1.650	29.40
39.10	1.52	1.829	32.00

ตารางที่ ค.6 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วย
ความร้อนแบบตะกร้า ครั้งที่ 3

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.45	0.52	0.235	11.90
10.49	0.94	0.455	21.40
15.57	1.12	0.694	23.30
19.27	1.17	0.879	24.60
25.05	1.23	1.150	26.10
30.44	1.35	1.403	28.80
35.52	1.39	1.648	29.30
40.60	1.53	1.899	32.40

ตารางที่ ค.7 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วย
ความร้อนแบบขวด ครั้งที่ 1

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.30	0.46	0.235	9.78
10.55	0.89	0.470	18.75
15.72	1.18	0.707	24.81
20.26	1.35	0.919	28.29
25.48	1.60	1.162	33.21
30.70	1.69	1.410	35.21
35.25	1.77	1.627	36.58
40.40	2.00	1.877	40.30
45.30	2.02	2.118	41.10
50.30	2.11	2.359	42.80
55.00	2.17	2.581	44.20
60.10	2.30	2.825	46.60
64.70	2.43	3.041	49.20
70.50	2.46	3.323	50.00

ตารางที่ ค.8 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบขด ครั้งที่ 2

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.59	0.44	0.250	9.42
10.10	0.85	0.451	17.87
15.68	1.25	0.703	26.13
20.12	1.48	0.908	30.25
25.06	1.51	1.145	31.50
30.44	1.74	1.395	36.30
35.74	1.83	1.648	37.50
40.00	1.91	1.867	39.10
45.80	2.08	2.140	42.50
50.50	2.18	2.362	44.30
55.00	2.29	2.578	45.60
60.00	2.29	2.927	46.50
64.00	2.31	3.065	46.00
70.50	2.52	3.318	51.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.9 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสาร ด้วยความร้อนแบบขด ครั้งที่ 3

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.62	0.53	0.247	11.43
10.36	0.98	0.458	20.66
15.68	1.39	0.695	29.18
20.09	1.64	0.896	34.36
25.13	1.89	1.131	39.07
30.50	1.87	1.393	38.40
35.52	1.97	1.632	40.30
40.50	2.12	1.877	43.30
45.80	2.17	2.133	44.30
51.00	2.28	2.380	46.40
55.50	2.33	2.585	47.40
60.40	2.41	2.830	49.00
65.30	2.44	3.030	50.20
71.00	2.54	3.341	51.50

ตารางที่ ค.10 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสาร ด้วยความร้อนแบบโบ๊ท ครั้งที่ 1

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.01	2.12	0.129	44.30
10.44	4.11	0.290	85.50
15.48	5.31	0.476	110.00
20.10	6.01	0.668	124.70
25.36	7.18	0.867	149.00
30.36	8.18	1.062	169.70
35.27	9.01	1.267	187.30
40.20	9.64	1.481	200.30
45.90	11.01	1.955	212.00

ตารางที่ ค.11 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสาร ด้วยความร้อนแบบโบ้ท ครั้งที่ 2

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.07	1.10	0.178	27.50
10.10	2.60	0.349	56.50
15.66	4.40	0.526	94.30
20.58	5.00	0.749	104.30
25.33	6.20	0.919	130.60
31.01	7.40	1.138	154.00
35.49	7.80	1.341	162.20
40.80	8.80	1.559	183.90
45.30	9.30	1.758	194.50

ตารางที่ ค.12 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสาร ด้วยความร้อนแบบโบ้ท ครั้งที่ 3

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
4.99	0.90	0.187	22.20
10.08	1.70	0.398	37.50
15.38	3.10	0.596	64.00
20.67	4.70	0.768	98.00
25.27	6.00	0.931	124.20
30.80	7.60	1.117	156.90
35.58	7.80	1.340	162.80
40.20	8.50	1.540	178.00
45.40	8.90	1.775	185.00

ภาคผนวก ง

การศึกษาลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนที่มีรูปแบบต่างกัน 4 แบบ ที่ใช้ในการระเหยทองแดง

ตารางที่ ง.1 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบรอยหยักที่ใช้ในการระเหยทองแดง ครั้งที่ 1

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.66	1.10	0.218	23.10
10.61	2.03	0.414	42.00
15.99	2.23	0.660	46.10
21.01	2.51	0.890	53.60
24.72	2.60	1.071	54.70
30.61	2.71	1.323	56.30

ตารางที่ ง.2 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบรอยหยักที่ใช้ในการระเหยทองแดง ครั้งที่ 2

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.90	1.13	0.275	23.40
10.46	1.99	0.409	41.20
15.83	2.50	0.643	51.80
20.89	2.68	0.868	55.10
25.62	2.68	1.111	55.30
30.69	2.75	1.355	56.60

ตารางที่ ง.3 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบรอยหยักที่ใช้ในการระเหยทองแดง ครั้งที่ 3

แรงดันปฐมภูมิเฉลี่ย (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิเฉลี่ย (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิเฉลี่ย (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิเฉลี่ย (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.77	0.78	0.238	16.51
10.67	1.67	0.434	34.70
15.78	2.25	0.652	46.70
20.21	2.45	0.855	50.50
25.50	2.62	1.109	53.90
30.75	2.81	1.350	57.70

ตารางที่ ง.4 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบขดที่ใช้ในการระเหยทองแดง ครั้งที่ 1

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.0000	0.0000	0.000	0.00
5.09	0.31	0.228	6.10
9.97	0.64	0.453	13.60
15.17	1.01	0.691	20.70
20.53	1.39	0.927	28.60
25.14	1.63	1.142	33.50
30.23	1.92	1.377	39.20
35.68	2	1.637	40.90
40	2.12	1.853	43.10
45.7	2.25	2.137	45.40
50.9	2.29	2.375	45.90
56.8	2.34	2.657	47.30
60.6	2.38	2.848	48.10
65.9	2.43	3.098	48.70
69.8	2.5	3.280	50.30

ตารางที่ ง.5 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบชนิดที่ใช้ในการระเหยทองแดง ครั้งที่ 2

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.90	0.38	0.261	7.70
10.07	0.70	0.454	14.50
15.31	1.07	0.691	22.10
21.39	1.49	0.960	30.50
25.92	1.72	1.175	35.40
30.33	1.90	1.381	39.00
35.76	1.99	1.641	40.70
39.90	2.03	1.850	41.20
45.80	2.22	2.139	44.80
51.40	2.32	2.398	47.00
55.60	2.34	2.604	47.70
62.00	2.40	2.905	50.20
65.80	2.49	3.089	50.60
71.20	2.61	3.345	52.60

ตารางที่ ง.6 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบขดที่ใช้ในการระเหยทองแดง ครั้งที่ 3

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.87	0.36	0.266	7.40
10.00	0.61	0.455	12.60
15.49	1.01	0.703	20.80
21.25	1.49	0.960	30.50
24.36	1.70	1.123	34.70
31.77	1.77	1.430	36.00
35.06	2.02	1.617	40.80
41.50	2.04	1.934	41.60
45.30	2.12	2.113	42.90
50.30	2.20	2.351	44.30
55.80	2.38	2.607	48.30
60.70	2.41	2.843	48.90
65.20	2.54	3.065	51.20
70.60	2.62	3.398	52.90

ตารางที่ ง.7 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบตะกร้าที่ใช้ในการระเหยทองแดง ครั้งที่ 1

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.62	0.40	0.251	8.30
10.15	0.73	0.456	15.20
16.09	1.14	0.723	23.50
20.57	1.34	0.931	27.70
25.23	1.49	1.144	30.20
30.41	1.54	1.397	31.20
35.67	1.55	1.655	31.30
40.20	1.55	1.882	31.50

ตารางที่ ง.8 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบตะกร้าที่ใช้ในการระเหยทองแดง ครั้งที่ 2

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
4.85	0.33	0.217	7.00
10.14	0.73	0.449	15.10
15.35	1.05	0.691	21.60
21.30	1.27	0.957	26.30
25.25	1.34	1.158	27.30
30.54	1.45	1.423	29.70
35.10	1.47	1.634	30.10
40.20	1.49	1.877	31.00

ตารางที่ ง.9 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบตะกร้าที่ใช้ในการระเหยทองแดง ครั้งที่ 3

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
4.89	0.27	0.222	5.90
10.82	0.70	0.479	14.40
15.37	0.99	0.695	20.30
21.31	1.26	0.955	25.90
26.06	1.38	1.195	28.00
29.68	1.40	1.372	28.40
35.84	1.45	1.667	29.00
42.40	1.59	1.986	32.20

ตารางที่ ง.10 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบโบทที่ใช้ในการระเหยทองแดง ครั้งที่ 1

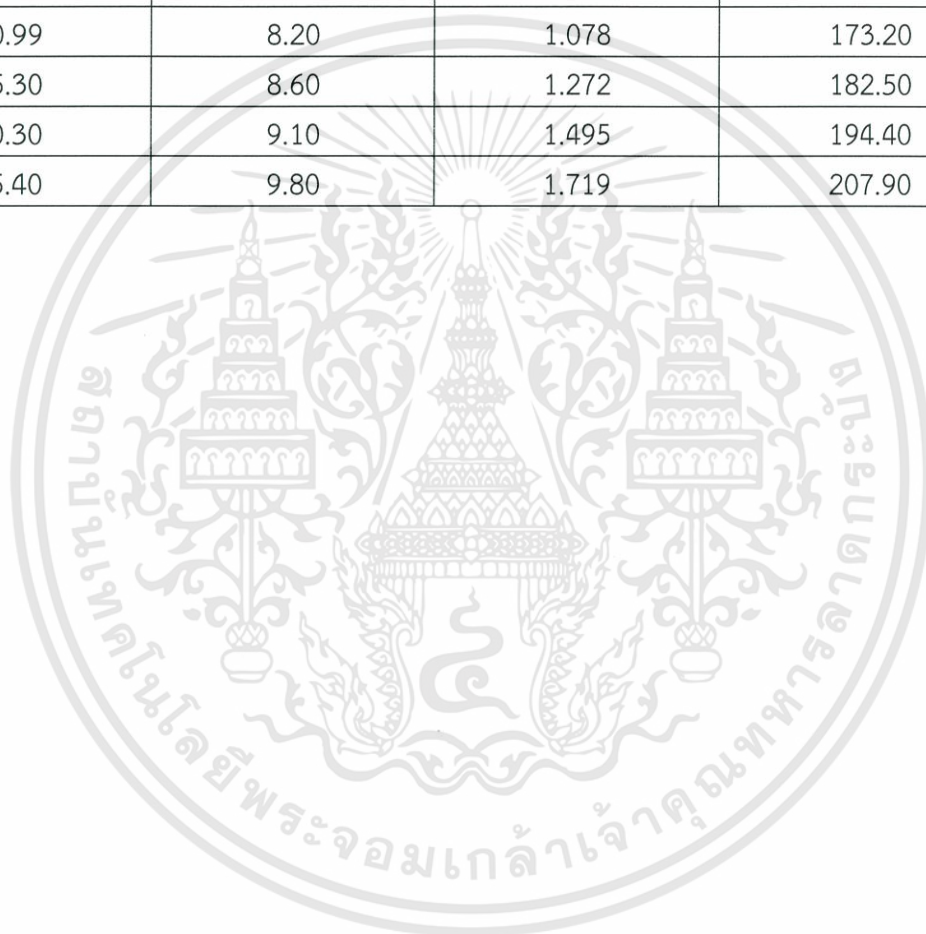
แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.11	2.02	0.147	42.30
10.05	4.14	0.284	85.40
15.64	5.80	0.451	121.30
20.18	6.62	0.634	138.30
25.31	7.38	0.845	154.00
30.29	8.05	1.054	168.20
35.52	8.82	1.278	184.20
41.20	9.53	1.527	198.90
44.90	9.93	1.679	209.30

ตารางที่ ง.11 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบโบทที่ใช้ในการระเหยทองแดง ครั้งที่ 2

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.22	2.02	0.154	42.30
10.78	4.19	0.302	87.90
16.32	5.73	0.480	119.70
21.01	7.11	0.650	148.70
24.28	7.63	0.800	158.00
31.05	8.00	1.087	172.80
35.47	8.21	1.236	180.90
41.80	9.56	1.505	199.10
44.90	10.03	1.693	209.80

ตารางที่ ง.12 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบโบทที่ใช้ในการระเหยทองแดง ครั้งที่ 3

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.81	2.30	0.161	50.50
10.08	4.00	0.271	86.40
15.54	5.70	0.444	123.50
20.48	6.50	0.643	139.50
25.54	7.30	0.853	155.60
30.99	8.20	1.078	173.20
35.30	8.60	1.272	182.50
40.30	9.10	1.495	194.40
45.40	9.80	1.719	207.90



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

การศึกษาลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนที่มีรูปแบบต่างกัน 4 แบบ ที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม

ตารางที่ จ.1 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบรอยหยักที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม ครั้งที่ 1

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.66	1.10	0.218	23.10
10.61	2.03	0.414	42.00
15.99	2.23	0.660	46.10
21.01	2.51	0.890	53.60
24.72	2.60	1.071	54.70
30.61	2.71	1.323	56.30

ตารางที่ จ.2 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบรอยหยักที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม ครั้งที่ 2

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.90	1.13	0.275	23.40
10.46	1.99	0.409	41.20
15.83	2.50	0.643	51.80
20.89	2.68	0.868	55.10
25.62	2.68	1.111	55.30
30.69	2.75	1.355	56.60

ตารางที่ จ.3 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบรอยหยักที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม ครั้งที่ 3

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.77	0.78	0.238	16.51
10.67	1.67	0.434	34.70
15.78	2.25	0.652	46.70
20.21	2.45	0.855	50.50
25.50	2.62	1.109	53.90
30.75	2.81	1.350	57.70

ตารางที่ จ.4 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบขดที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม ครั้งที่ 1

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.0000	0.0000	0.000	0.00
5.09	0.31	0.228	6.10
9.97	0.64	0.453	13.60
15.17	1.01	0.691	20.70
20.53	1.39	0.927	28.60
25.14	1.63	1.142	33.50
30.23	1.92	1.377	39.20
35.68	2	1.637	40.90
40	2.12	1.853	43.10
45.7	2.25	2.137	45.40
50.9	2.29	2.375	45.90
56.8	2.34	2.657	47.30
60.6	2.38	2.848	48.10
65.9	2.43	3.098	48.70
69.8	2.5	3.280	50.30

ตารางที่ จ.5 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบขดที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม ครั้งที่ 2

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.90	0.38	0.261	7.70
10.07	0.70	0.454	14.50
15.31	1.07	0.691	22.10
21.39	1.49	0.960	30.50
25.92	1.72	1.175	35.40
30.33	1.90	1.381	39.00
35.76	1.99	1.641	40.70
39.90	2.03	1.850	41.20
45.80	2.22	2.139	44.80
51.40	2.32	2.398	47.00
55.60	2.34	2.604	47.70
62.00	2.40	2.905	50.20
65.80	2.49	3.089	50.60
71.20	2.61	3.345	52.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.6 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบขดที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม ครั้งที่ 3

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.87	0.36	0.266	7.40
10.00	0.61	0.455	12.60
15.49	1.01	0.703	20.80
21.25	1.49	0.960	30.50
24.36	1.70	1.123	34.70
31.77	1.77	1.430	36.00
35.06	2.02	1.617	40.80
41.50	2.04	1.934	41.60
45.30	2.12	2.113	42.90
50.30	2.20	2.351	44.30
55.80	2.38	2.607	48.30
60.70	2.41	2.843	48.90
65.20	2.54	3.065	51.20
70.60	2.62	3.398	52.90

ตารางที่ จ.7 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบตะกร้าที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม ครั้งที่ 1

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.62	0.40	0.251	8.30
10.15	0.73	0.456	15.20
16.09	1.14	0.723	23.50
20.57	1.34	0.931	27.70
25.23	1.49	1.144	30.20
30.41	1.54	1.397	31.20
35.67	1.55	1.655	31.30
40.20	1.55	1.882	31.50

ตารางที่ จ.8 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบตะกร้าที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม ครั้งที่ 2

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
4.85	0.33	0.217	7.00
10.14	0.73	0.449	15.10
15.35	1.05	0.691	21.60
21.30	1.27	0.957	26.30
25.25	1.34	1.158	27.30
30.54	1.45	1.423	29.70
35.10	1.47	1.634	30.10
40.20	1.49	1.877	31.00

ตารางที่ จ.9 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบตะกร้าที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม ครั้งที่ 3

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
4.89	0.27	0.222	5.90
10.82	0.70	0.479	14.40
15.37	0.99	0.695	20.30
21.31	1.26	0.955	25.90
26.06	1.38	1.195	28.00
29.68	1.40	1.372	28.40
35.84	1.45	1.667	29.00
42.40	1.59	1.986	32.20

ตารางที่ จ.10 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบโบ๊ทที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม ครั้งที่ 1

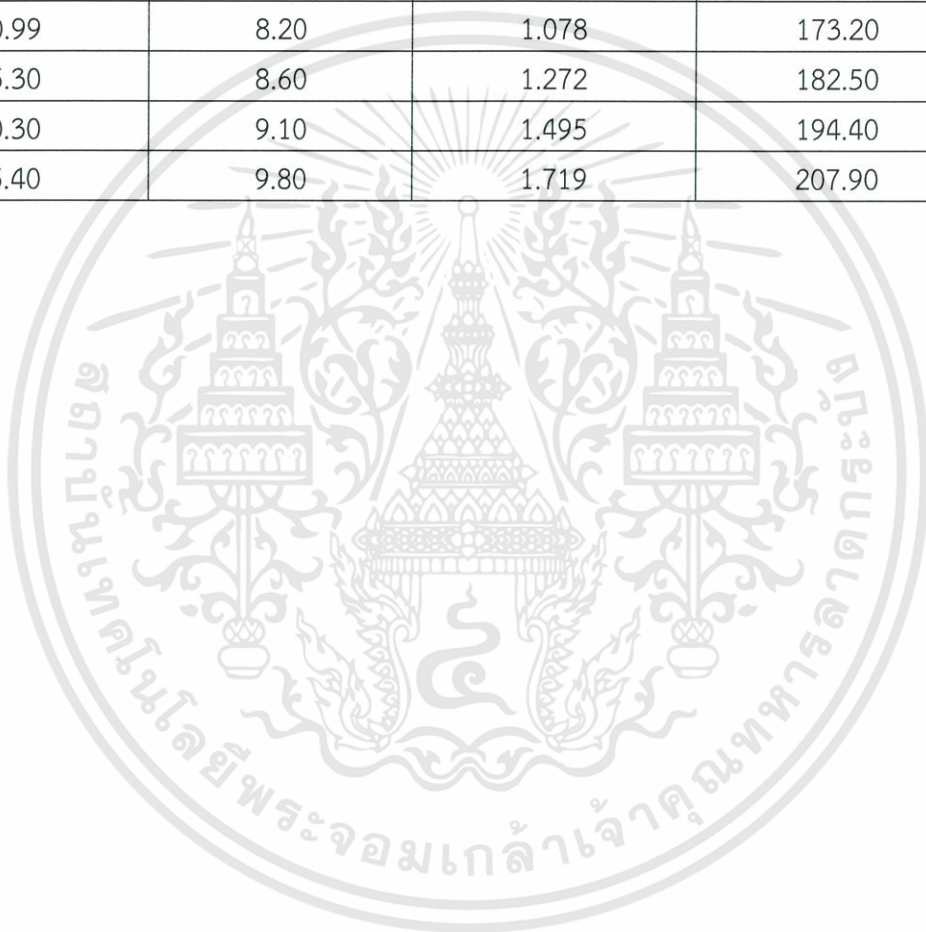
แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.11	2.02	0.147	42.30
10.05	4.14	0.284	85.40
15.64	5.80	0.451	121.30
20.18	6.62	0.634	138.30
25.31	7.38	0.845	154.00
30.29	8.05	1.054	168.20
35.52	8.82	1.278	184.20
41.20	9.53	1.527	198.90
44.90	9.93	1.679	209.30

ตารางที่ จ.11 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบโบ๊ทที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม ครั้งที่ 2

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.22	2.02	0.154	42.30
10.78	4.19	0.302	87.90
16.32	5.73	0.480	119.70
21.01	7.11	0.650	148.70
24.28	7.63	0.800	158.00
31.05	8.00	1.087	172.80
35.47	8.21	1.236	180.90
41.80	9.56	1.505	199.10
44.90	10.03	1.693	209.80

ตารางที่ จ.12 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดการระเหยสารด้วยความร้อนแบบไฟฟ้าที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียม ครั้งที่ 3

แรงดันปฐมภูมิ (โวลต์)	กระแสปฐมภูมิ (แอมแปร์)	แรงดันทุติยภูมิ (โวลต์)	กระแสทุติยภูมิ (แอมแปร์)
0.00	0.00	0.000	0.00
5.81	2.30	0.161	50.50
10.08	4.00	0.271	86.40
15.54	5.70	0.444	123.50
20.48	6.50	0.643	139.50
25.54	7.30	0.853	155.60
30.99	8.20	1.078	173.20
35.30	8.60	1.272	182.50
40.30	9.10	1.495	194.40
45.40	9.80	1.719	207.90

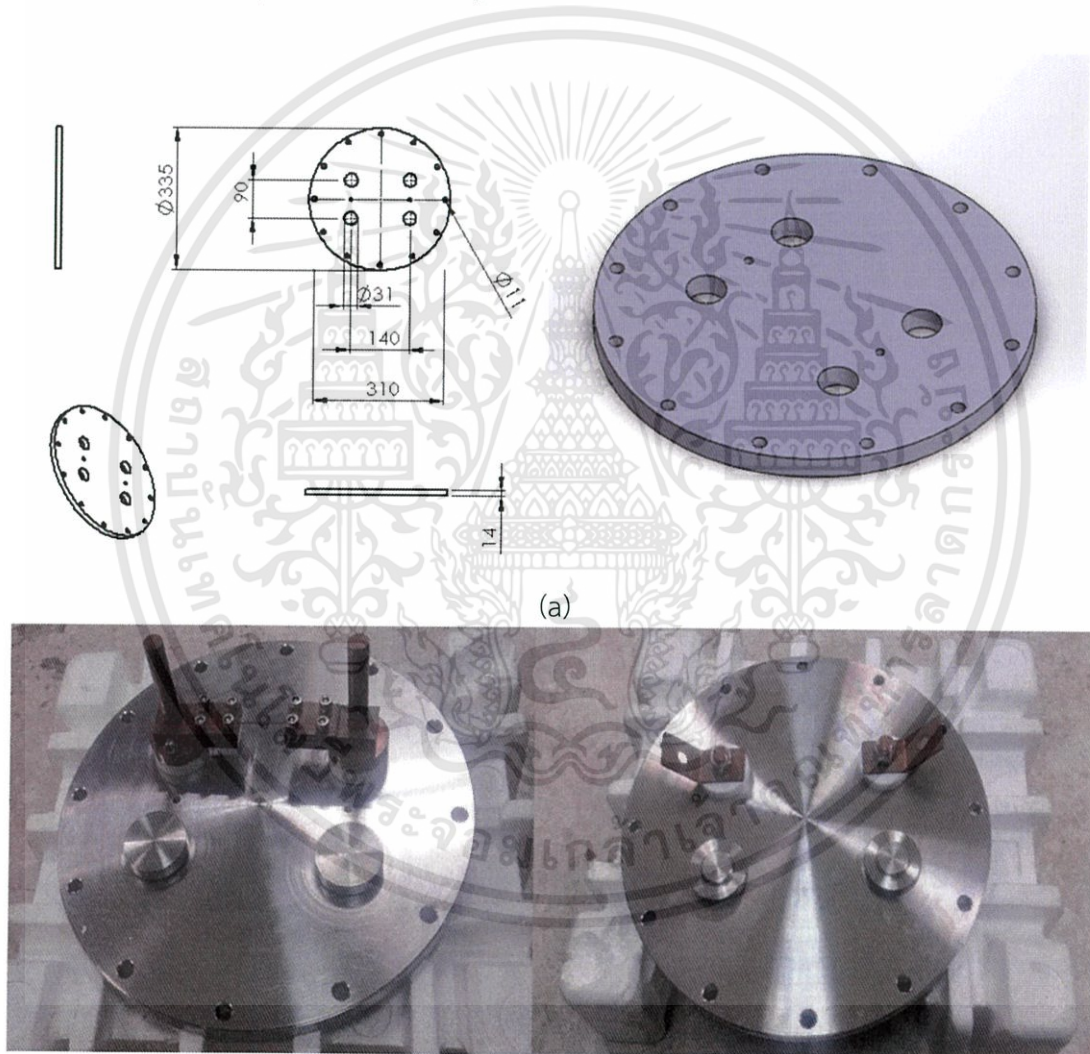


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

ฉ.1 ฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านล่าง

ฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านล่างจะใช้สแตนเลสในการขึ้นรูปเนื่องจากเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงคงทน มีลักษณะเป็นวงกลมที่มีเส้นศูนย์กลาง 335 มิลลิเมตร หนา 14 มิลลิเมตร มีการเจาะรูจำนวนสี่รูซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 31 มิลลิเมตร มีการเจาะรูไม่ทะลุระหว่างรูทั้งสี่จำนวนสองรูโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร และมีรูด้านนอกจำนวน 12 รู ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 มิลลิเมตร สำหรับยึดกับน็อต แสดงในรูปที่ ฉ.1(a) สำหรับรูสี่รูที่ทำการเจาะมีไว้สำหรับใส่ขั้วสำหรับประเหยสาร และส่วนปิดรูซีลระบบสุญญากาศ แสดงในรูปที่ ฉ.1(b)



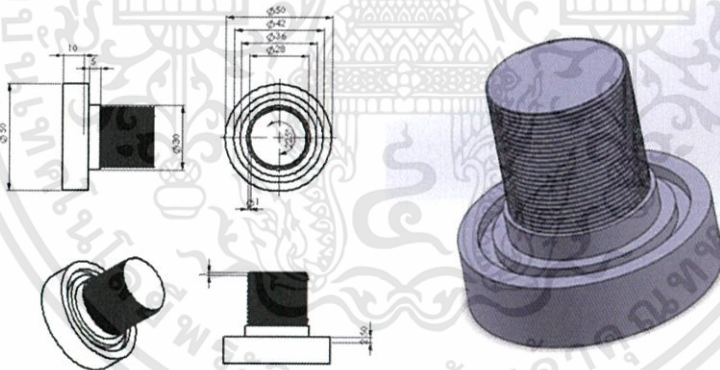
รูปที่ ฉ.1 ฝาปิดภาชนะสุญญากาศด้านล่าง

ฉ.2 ส่วนสำหรับปิดรูซีลระบบสุญญากาศ

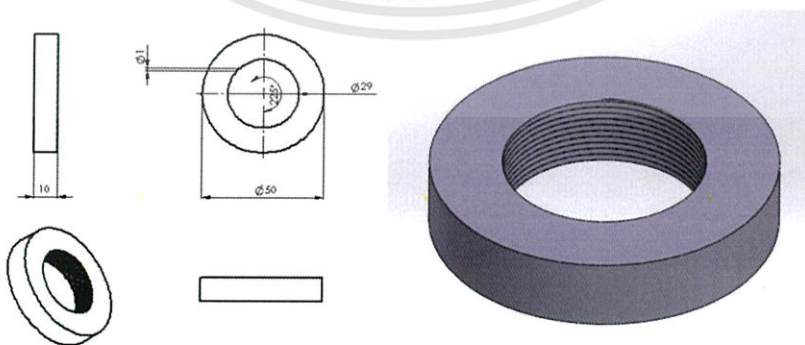
ส่วนสำหรับปิดรูนั้นจะใช้สแตนเลสในการขึ้นรูปเนื่องจากเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงคงทนเพื่อซีลระบบสุญญากาศ โดยจะประกอบไปด้วยน็อตตัวผู้และน็อตตัวเมีย แสดงในรูปที่ ฉ.2(a) ในส่วนของน็อตตัวผู้นั้นจะถูกนำไว้ด้านในภาชนะสุญญากาศมีลักษณะเป็นทรงกระบอกตันเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร หนา 10 มิลลิเมตร มีการเจาะร่องเพื่อใส่โอริงโดยร่องมีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน 36 มิลลิเมตร กว้าง 3 มิลลิเมตร ลึก 2.5 มิลลิเมตร สูงขึ้นไปมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร หนา 5 มิลลิเมตร และสูงขึ้นไปอีกมีลักษณะเป็นเกลียวเส้นผ่านศูนย์กลาง 28 มิลลิเมตร หนา 25 มิลลิเมตร แสดงในรูปที่ ฉ.2(b) และน็อตตัวเมียจะถูกนำไว้นอกภาชนะสุญญากาศมีลักษณะเป็นทรงกระบอกกลวงเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร หนา 10 มิลลิเมตร มีการเจาะรูมีลักษณะเป็นเกลียวมีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน 29 มิลลิเมตร แสดงในรูปที่ ฉ.2(c)



(a)



(b)



(c)

รูปที่ ฉ.2 ส่วนสำหรับปิดรูซีลระบบสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้