

โครงการที่ 820/2562 (วศบ.อุตสาหกรรม)



การพัฒนาระบบพลาสมาเจ็ตสำหรับการแตกตัว
ของพันธะไฮโดรเจนในน้ำตาลฟรุคโตสไซรัป

นายภูเบศ เทพวารินทร์ รหัสนักศึกษา 590612079
นายศุภกฤต เสรีสุชาติ รหัสนักศึกษา 590612094

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ปีการศึกษา 2562

หัวข้อโครงการ	การพัฒนาระบบพลาสติกมาเจลสำหรับการแตกตัวของพันธะไฮโดรเจน ในน้ำตาลฟรุคโตสไซรัป		
โดย	นายภูเบศ	เทพวารินทร์	รหัสนักศึกษา 590612079
	นายศุภกฤต	เสรีสุชาติ	รหัสนักศึกษา 590612094
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.คมกฤต เล็กสกุล		
ปีการศึกษา	2562		

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อนุมัติให้นับ
โครงการนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

กรรมการสอบโครงการ

.....	ประธานกรรมการ
(รศ.ดร.คมกฤต เล็กสกุล)	

.....	กรรมการ
(รศ.ดร.นิวิธ เจริญใจ)	

.....	กรรมการ
(ผศ.ดร.กรกฎ ไยบัวเทศ ทิพย์วงศ์)	

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง “การพัฒนาระบบพลาสมาเจ็ตสำหรับการแตกตัวของพันธะไฮโดรเจนในน้ำตาลฟรุคโตสไซรัป” ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี อันเนื่องมาจากได้รับความร่วมมือและความอนุเคราะห์ช่วยเหลือของบุคคลหลายๆ ท่านดังนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.คมกฤต เล็กสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย ผู้กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนตรวจทาน และแก้ไขจนโครงการวิจัยนี้ได้เสร็จสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.นิวิฐ เจริญใจ ผศ.ดร.กรกฎ ไยบัวเทศ ทิพย์วงศ์ ผศ.ดร.อรรถพล สมุทคุปต์ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และคณะกรรมการสอบโครงการวิจัย ผู้กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนตรวจทาน และแก้ไขจนโครงการวิจัยนี้ได้เสร็จสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ นายณรพนธ์ วิเชียรสาร นักศึกษาปริญญาเอก ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ นายภานุเดช สายนาคนสาร นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้ให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

และขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือในการทำโครงการวิจัย ซึ่งไม่ได้เอ่ยนามถึง มา ณ ที่นี้ ท้ายที่สุด ทางคณะผู้จัดทำโครงการวิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า โครงการวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจในการนำไปศึกษา ค้นคว้า และต่อยอดองค์ความรู้ได้ หากมีส่วนใดที่บกพร่อง หรือ มีความผิดพลาดประการใด ทางคณะผู้จัดทำต้องขออภัยไว้เป็นอย่างสูง และพร้อมน้อมรับข้อเสนอแนะ มา ณ ที่นี้ จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

นายภูเบศ เทพวารินทร์

นายศุภกฤต เสรีสุชาติ

หัวข้อโครงการ	การพัฒนาระบบพลาสมาเจ็ตสำหรับการแตกตัวของพันธะไฮโดรเจน ในน้ำตาลฟรุคโตสไซรัป		
โดย	นายภูเบศ	เทพวารินทร์	รหัสนักศึกษา 590612079
	นายศุภกฤต	เสรีสุชาติ	รหัสนักศึกษา 590612094
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.คมกฤต เล็กสกุล		
ปีการศึกษา	2562		

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีจำนวนของผู้ป่วยในประเทศไทยที่เป็นโรคเบาหวานและเสียชีวิตจำนวนมาก ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกๆ ปีอย่างต่อเนื่อง โดยสาเหตุหลักของการเกิดโรคเบาหวานนั้นคือการรับประทานอาหาร ซึ่งการรับประทานอาหารนั้นเป็นสาเหตุที่หลีกเลี่ยงได้ยากโดยอาหารที่มีรสหวานส่วนใหญ่จะมีองค์ประกอบคือน้ำตาล เมื่อไม่นานมานี้ นักวิทยาศาสตร์ได้คิดค้นน้ำตาลที่ดีต่อสุขภาพ ซึ่งให้ความหวานแต่ไม่มีแคลอรี โดยน้ำตาลที่กล่าวมาคือ น้ำตาลหายากแต่น้ำตาลหายากนั้นยังมีข้อจำกัดในการผลิตซึ่งต้องใช้ระยะเวลาในการผลิตเป็นระยะเวลานาน ซึ่งจากการศึกษาพบว่าพลาสมาสามารถทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะไฮโดรเจนในน้ำตาลฟรุคโตสไซรัปได้ตามทฤษฎี โดยงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นการพัฒนาระบบพลาสมาเจ็ตเพื่อนำพลาสมาที่เกิดขึ้นไปดิสซาร์จลงบนน้ำตาลฟรุคโตสไซรัป และสังเกตการเปลี่ยนแปลงของพันธะไฮโดรเจนในน้ำตาลฟรุคโตสไซรัป ซึ่งหากเกิดการเปลี่ยนแปลงอาจส่งผลให้สามารถช่วยลดระยะเวลาในการผลิตน้ำตาลหายากได้ ทั้งยังสามารถเพิ่มปริมาณการผลิตได้อีกด้วย ซึ่งจากผลการศึกษาวินิจฉัยในครั้งนี้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดและปรับปรุงแก้ไขข้อผิดพลาดต่างๆ ให้ดียิ่งขึ้นได้ในอนาคต เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการทำเครื่องพลาสมาเจ็ตที่เหมาะสมต่อการใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม

Project Title	Developing Plasma Jet System for Breaking Hydrogen Bond in Fructose Syrup		
Name	Phubest	Thepvarin	code 590612079
	Supakit	Sereesuchat	code 590612094
Department	Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University		
Project Advisor	Associate Professor Komgrit Leksakul, D.Eng.		
Academic Year	2019		

ABSTRACT

Nowadays the number of diabetic patient and death in Thailand is increasing. Normally the cause which come from food consumption of people is quite difficult to control along with the flavor of the food. According to our research we observe that many foods in Thailand have sweet flavor which is the cause of diabetic because sweet flavor is come from sugar. The scientist invent a new sugar which is good for health, it still taste a sweet flavor with no calories, also know as Fructose Syrup (rare sugar). However the process of Fructose Syrup has many conditions such as take time to produce and high price. From our research we found that Plasma Jet can breaking Hydrogen bond in Fructose Syrup. This research focus on improving of the system plasma jet which bring the plasma which come from processing of plasma jet discharge on Fructose Syrup. According to observing, the changes of Hydrogen bond in Fructose Syrup if there is any changes of Hydrogen bond in Fructose Syrup it might reduce time and increase the capacity of producing Fructose Syrup. From our research it can reach to improving and adjust any mistake that can be occur, moreover this research can applied to making plasma jet machine which appropriate with the working in industrial.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 เนื้อหาโครงการวิจัย	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 พลาสมา	4
2.2 การเบรกดาวน์ของสถานะก๊าซ	8
2.3 กระบวนการที่เกิดการเบรกดาวน์ของสถานะก๊าซ	12
2.4 สนามไฟฟ้า	12
2.5 วงจรขับหม้อแปลงความถี่สูง	15
2.6 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์	15
2.7 พลาสมาแบบเจ็ตในความดันบรรยากาศโครงสร้างแบบวงแหวน	17
2.8 วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติของพลาสมา	18
2.9 น้ำตาลทรายาก	19
2.10 พันธะไฮโดรเจน	20
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการทำวิจัย	
3.1 ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	23
3.2 วางแผนและออกแบบอุปกรณ์	23
3.3 จัดซื้ออุปกรณ์และชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้อง	25
3.4 ประกอบเครื่องและอุปกรณ์	28
3.5 ทำการทดลองแบบลองผิดลองถูก	29

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.6	ทำการดิสซาร์จลงบนน้ำตาลฟรุคโตสไซรัปและทดสอบด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (NMR)	30
3.7	สรุปผลการดำเนินงาน	30
บทที่ 4	ผลการดำเนินงาน	
4.1	การทดลองครั้งที่ 1	31
4.2	การทดลองครั้งที่ 2	35
4.3	การทดลองครั้งที่ 3	37
4.4	การทดลองครั้งที่ 4	39
4.5	การทดลองครั้งที่ 5	43
4.6	การทดลองครั้งที่ 6	46
4.7	การทดลองครั้งที่ 7	48
4.8	การทดลองครั้งที่ 8	49
4.9	การทดลองครั้งที่ 9	51
4.10	การทดลองครั้งที่ 10	53
4.11	การทดลองครั้งที่ 11	55
4.12	การทดลองครั้งที่ 12	58
4.13	การทดลองครั้งที่ 13	59
4.14	ทำการดิสซาร์จลงบนน้ำตาลฟรุคโตสไซรัป	61
4.15	ผลทดสอบด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (NMR)	62
บทที่ 5	สรุปผลการดำเนินงาน	
5.1	สรุปผลการดำเนินงาน	64
5.2	ปัญหาอุปสรรคและแนวทางแก้ไข	65
5.3	ข้อเสนอแนะ	66
บรรณานุกรม		67
ภาคผนวก		
	ภาคผนวก ก ตารางแสดงค่าความคงทนได้อิเล็กทริก	68
	ภาคผนวก ข ตารางแสดงค่าพลังงานที่ใช้ในการสลายพันธะ	70

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ค ภาพผลทดสอบด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี	72
ประวัติผู้เขียน	75

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 กระบวนการไอออนไนเซชันและพลังงานทั้งหมดของอะตอมอาร์กอนที่ใช้สำหรับทำให้เกิดกระบวนการไอออนไนเซชัน	6
2.2 แรงดันไฟฟ้าต่ำสุดเพื่อทำให้เกิดประกายไฟ (Sparking) ของก๊าซชนิดต่างๆ	11
3.1 อุปกรณ์และชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงชนิดกระแสสลับ	25
3.2 อุปกรณ์และชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับชุดควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ	27
4.1 ค่าไฟฟ้าแรงดันสูงที่ได้จากการพันแกนปฐมภูมิของตัวฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์	33
4.2 ผลการทดลองในแต่ละระดับอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนของการทดลองครั้งที่ 1	35
4.3 ผลการทดลองในแต่ละระดับอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนของการทดลองครั้งที่ 2	36
4.4 ผลการทดลองในแต่ละระดับอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนของการทดลองครั้งที่ 3	38
4.5 ผลการทดลองในแต่ละระดับอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนของการทดลองครั้งที่ 4	41
4.6 ผลการทดลองในแต่ละระดับอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนของการทดลองครั้งที่ 5	44
4.7 ผลการทดลองในแต่ละระดับอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนของการทดลองครั้งที่ 6	46
4.8 ผลการทดลองในแต่ละระดับอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนของการทดลองครั้งที่ 7	49
4.9 ผลการทดลองในแต่ละระดับอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนของการทดลองครั้งที่ 8	50
5.1 ปัญหาอุปสรรคและแนวทางการแก้ไข	65

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1.1 จำนวนผู้ป่วยโรคเบาหวานในประเทศไทยปี 2551 – 2558	1
1.2 โครงสร้างน้ำตาลฟรุคโตสไซรัปและน้ำตาลหายาก (Rare Sugar) (ก) และ (ข)	2
2.1 การเปลี่ยนสถานะของสสารเมื่อได้รับพลังงาน	4
2.2 กระบวนการเกิดพลาสมาจากสถานะก๊าซ	5
2.3 ปฏิกิริยาที่เป็นไปได้เมื่อมีการเกิดการกระตุ้นของก๊าซอาร์กอนที่ทำให้เกิดอนุพันธ์ออกซิเจนที่ว่องไวและอนุพันธ์ไนโตรเจนที่ว่องไว	6
2.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติของพลาสมาที่เกิดขึ้นแบ่งตามอุณหภูมิ	7
2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความดันในการเกิดพลาสมาที่ความดันต่างๆ	8
2.6 วงจรที่ใช้ในการทดลองของ Townsend	8
2.7 กราฟการเบรกดาว์นของก๊าซ	9
2.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง p_d และ V_b ตามกฎของ Paschen	10
2.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง p_d และ V_b ตามกฎของ Paschen ของก๊าซชนิดต่างๆ	11
2.10 อิเล็กโทรด 3 แบบ	13
2.11 การเปรียบเทียบสนามไฟฟ้าของอิเล็กโทรดทั้ง 3 แบบ ที่ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดต่างๆ	13
2.12 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์	16
2.13 การทำงานของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์	16
2.14 โครงสร้างแบบวงแหวน ของพลาสมาแบบเจ็ตที่ความดันบรรยากาศ	18
2.15 กราฟสเปกตรัมจากเครื่อง OES ของพลาสมาเจ็ตที่มีความยาวเปลวพลาสมา 1 cm	19
2.16 โครงสร้างน้ำตาลฟรุคโตสไซรัปและน้ำตาลหายาก (Rare Sugar) (ก) (ข)	20
2.17 เปรียบเทียบจุดเดือดสารประกอบทั้งสามชนิด	21
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	22
3.2 แบบจำลองโปรบอิเล็กโทรดที่ทำการออกแบบ	23
3.3 แบบจำลองห้องปรับความดัน	24
3.4 แบบโครงสร้างที่ใช้ในการประกอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงชนิดกระแสสลับ	29
3.5 แบบโครงสร้างที่ใช้ในการประกอบชุดควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ	29
4.1 โปรบวัดค่าไฟฟ้าแรงดันสูงที่อัตราส่วน 1 : 1,000	32
4.2 มัลติมิเตอร์	32
4.3 ลักษณะทองแดงที่ใช้เป็นขั้วอิเล็กโทรด	34

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
4.4 การต่อวงจรที่ใช้ในการทดลองครั้งที่ 1	34
4.5 ลักษณะชั่ววูบเล็กโหดจากแผ่นทองแดงที่นำมาตัด	36
4.6 ลักษณะการพันขดลวดบริเวณแกนปฐมภูมิและลักษณะการหยอดกาวซิลิโคน	37
4.7 ผลการทดลองครั้งที่ 3	38
4.8 วงจรกำเนิดสัญญาณแบบรวมเข้ากับ NE 555	40
4.9 หลอดแก้วควอตซ์	41
4.10 ผลการทดลองครั้งที่ 4	42
4.11 ชิงค์ระบายความร้อนของ Mosfet IRF630A ที่ได้ทำการเปลี่ยน	42
4.12 ฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน	43
4.13 โปรแกรมเนติพลาสมาของการทดลองครั้งที่ 5	44
4.14 ผลการทดลองครั้งที่ 5	45
4.15 ฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีนที่เกิดการเผาไหม้	46
4.16 ผลการทดลองครั้งที่ 6	47
4.17 ข้อต่อลมที่เกิดการเผาไหม้	47
4.18 โปรแกรมเนติพลาสมาของการทดลองครั้งที่ 7	48
4.19 การทำฉนวนที่ขากราวด์ของตัวฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์	50
4.20 การต่อชุดควบคุมอัตราการไหลก๊าซของการทดลองครั้งที่ 9	52
4.21 ตัวกำเนิดสัญญาณวงจรความถี่พัลส์แบบที่สามารถปรับค่าความถี่และค่าเปอร์เซ็นต์ดีวตี้ ไซเคิลได้ผ่านโมดูลหน้าจอแสดงผลแบบแอลซีดี	53
4.22 โปรแกรมเนติพลาสมาของการทดลองครั้งที่ 10	54
4.23 ข้อต่อลมที่ทำจากซูเปอร์ลีน	56
4.24 โปรแกรมเนติพลาสมาของการทดลองครั้งที่ 11	56
4.25 ผลการทดลองครั้งที่ 11	57
4.26 ผลการทดลองครั้งที่ 12	58
4.27 กราฟแนวโน้มของเปอร์เซ็นต์ดีวตี้ไซเคิลที่ความถี่คงที่ 30 กิโลเฮิร์ตซ์	59
4.28 กราฟแนวโน้มของความถี่ที่เปอร์เซ็นต์ดีวตี้ไซเคิลคงที่ 50 เปอร์เซ็นต์	60
4.29 ผลการทดลองครั้งที่ 13	60
4.30 ทำการดิสซาร์จลงบนน้ำตาลฟรุคโตสไซรัป	61

สารบัญภาพ (ต่อ)

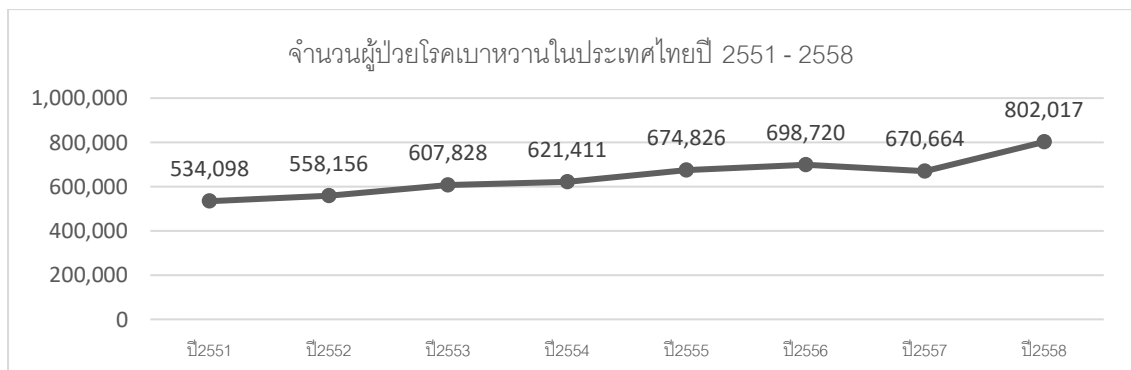
ภาพ	หน้า
4.31 ผลทดสอบด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปีของน้ำตาลฟรุคโตส ไซรัปธรรมดา	62
4.32 ผลทดสอบด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปีของน้ำตาลฟรุค โตสไซรัปที่ได้ทำการดิสซาร์จ	63

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำโครงการ

เนื่องจากปัจจุบันมีผู้ป่วยเป็นโรคเบาหวานจำนวนมากและได้เสียชีวิตในเวลาต่อมา โดยข้อมูลค่าเฉลี่ยของผู้ป่วยโรคเบาหวานในประเทศไทยในแต่ละปีนั้นมีจำนวนเพิ่มขึ้นทุกๆ ปี และมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในภาพ 1.1

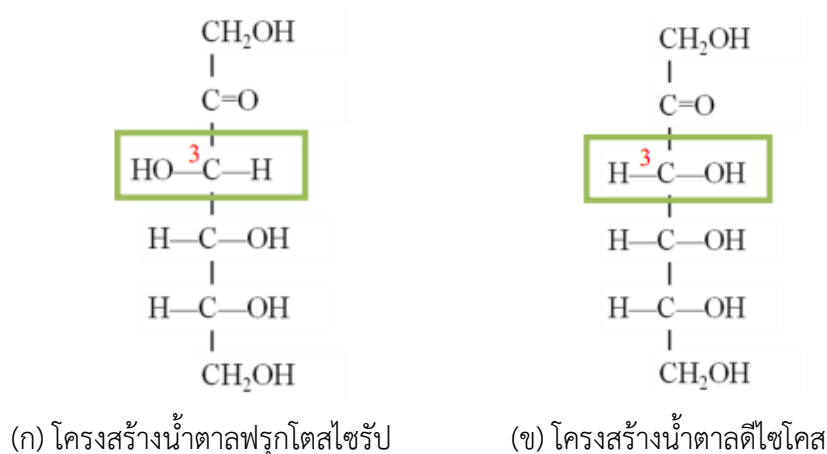


ภาพ 1.1 จำนวนผู้ป่วยโรคเบาหวานในประเทศไทยปี 2551 – 2558

ที่มา : ฐานข้อมูลผู้ป่วยรายบุคคลในหลักประกันสุขภาพถ้วนหน้า

สาเหตุของการเกิดโรคเบาหวานนั้นมีหลายสาเหตุ เช่น กรรมพันธุ์ อายุที่มากขึ้น ความอ้วน การได้รับยาบางชนิด และการรับประทานอาหาร ซึ่งการรับประทานอาหารนั้นเป็นสาเหตุที่หลีกเลี่ยงได้ยากโดยอาหารที่มีรสหวานส่วนใหญ่มองคืประกอบคือน้ำตาลเป็นหลัจึงทำให้น้ำตาลนั้นเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้คนเป็นโรคเบาหวาน นักวิทยาศาสตร์จึงได้พยายามคิดค้นน้ำตาลที่ดีต่อสุขภาพที่ให้ ความหวานแต่ไม่มีแคลอรี โดยน้ำตาลกล่วมาคือ น้ำตาลหายาก (Rare Sugar) ถูกค้นพบโดย มหาวิทยาลัยคาทาคาว่า (Kagawa University) โดยขั้นตอนในการทำน้ำตาลหายากนั้นคือ การนำ น้ำตาลธรรมชาตินั้นมาเปลี่ยนเป็นน้ำตาลหายากโดยใช้เอนไซม์จากจุลินทรีย์ที่แยกมาจากดินใช้เป็น

ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลี่ยนน้ำตาลธรรมชาติเป็นน้ำตาลหายากซึ่งเป็นการทำให้โครงสร้างทางผลึกของน้ำตาลเปลี่ยนไปจากเดิมแสดงดังภาพ 1.2



ภาพ 1.2 โครงสร้างน้ำตาลฟรุกโตสไซรัปและน้ำตาลหายาก (Rare Sugar) (ก) และ (ข)
ที่มา : [https://pharm.tu.ac.th\(2563\)](https://pharm.tu.ac.th(2563))

แต่น้ำตาลหายากนั้นยังมีข้อจำกัดในการผลิตซึ่งต้องใช้เวลาในการผลิตเป็นระยะเวลานานโดยในระยะเวลา 1 วัน จะสามารถผลิตเกล็ดน้ำตาลหายากได้ในปริมาณ 1 กิโลกรัม โดยปัจจุบันน้ำตาลหายากนั้นสามารถผลิตได้ที่มหาวิทยาลัยคาگا (Kagawa University) ประเทศญี่ปุ่นที่เดียวในโลกเท่านั้นจึงทำให้มีการตั้งสมมติฐานที่จะนำเทคโนโลยีพลาสมาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยลดขั้นตอนการผลิตของน้ำตาลหายากในการจับตัวของโครงสร้างทางเคมีของจุลินทรีย์กับน้ำตาล โดยเทคโนโลยีพลาสมาที่จะนำมาใช้นี้คือ ระบบพลาสมาเจ็ตที่ถูกพัฒนามาเพื่อใช้ในการช่วยตัดพันธะไฮโดรเจนในน้ำตาลฟรุกโตสที่เป็นสารตั้งต้นเพื่อให้ได้น้ำตาลหายาก จึงส่งผลให้สามารถช่วยลดระยะเวลาในการผลิตน้ำตาลหายากได้และยังช่วยเพิ่มปริมาณการผลิตน้ำตาลหายากได้

1.2 วัตถุประสงค์

ออกแบบและสร้างระบบเครื่องพลาสมาเจ็ตที่ความดันบรรยากาศเพื่อนำมาใช้ในการแตกตัวของพันธะไฮโดรเจนในน้ำตาลฟรุกโตส

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 สร้างระบบโดยพัฒนาจากวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ร่วมกับวงจรควบคุมความถี่

1.3.2 ทดสอบระบบโดยใช้น้ำตาลฟรุกโตสไซรัป (Fructose Syrup) ที่เป็นน้ำเชื่อมแล้วตรวจการแตกตัวพันธะไฮโดรเจนในน้ำตาลฟรุกโตสไซรัป (Fructose Syrup)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เครื่องพลาสมาเจ็ตที่พัฒนาขึ้นที่ความดันบรรยากาศที่สามารถนำไปประยุกต์ในโครงการอื่นที่จำเป็นต้องใช้ในคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

1.4.2 ได้เครื่องต้นแบบที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการลดระยะเวลาการผลิตน้ำตาลหยาบ

1.5 เนื้อหาโครงงานวิจัย

โครงงานวิจัยเล่มนี้ประกอบไปด้วยเนื้อหาจำนวนทั้งหมด 5 บท ซึ่งในบทที่ 1 จะกล่าวถึงที่มาและความสำคัญในการดำเนินโครงงานวิจัย โดยในบทที่ 2 จะกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการดำเนินโครงงานวิจัย ซึ่งบทที่ 3 จะกล่าวถึงขั้นตอนในการดำเนินโครงงานวิจัยรวมถึงวิธีการในการดำเนินโครงงานวิจัยเพื่อนำไปสู่ บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน และทำให้ได้มาซึ่ง บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน

บทที่ 2

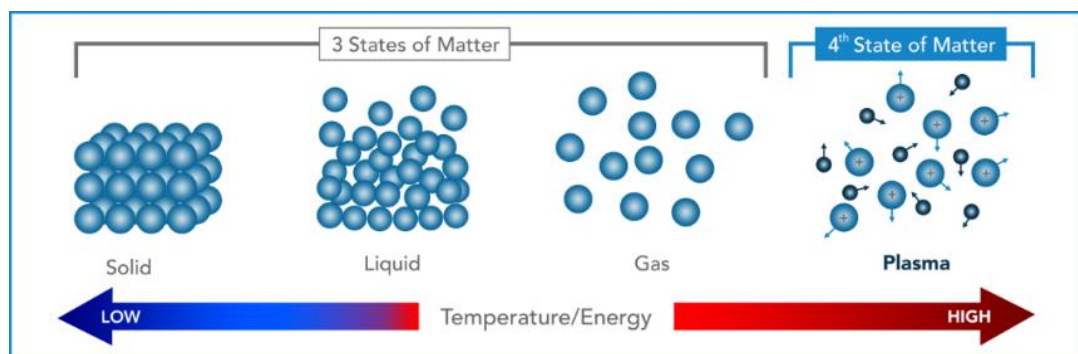
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทที่ 2 นี้จะทำการกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องสำหรับนำมาใช้ในการดำเนินโครงการวิจัยการพัฒนาระบบพลาสมาเจ็ตสำหรับการแตกตัวของพันธะไฮโดรเจนในน้ำตาลฟรุคโตสไซรัป ซึ่งจะกล่าวถึงทฤษฎีที่ใช้ในการดำเนินงาน เช่น ทฤษฎีสสารชนิดที่ 4 พลาสมา รวมไปถึงการวิเคราะห์คุณสมบัติของพลาสมา ทฤษฎีสนามไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งทฤษฎีที่จะใช้ในการดำเนินงานทั้งหมดมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 พลาสมา

2.1.1 คุณสมบัติของพลาสมา

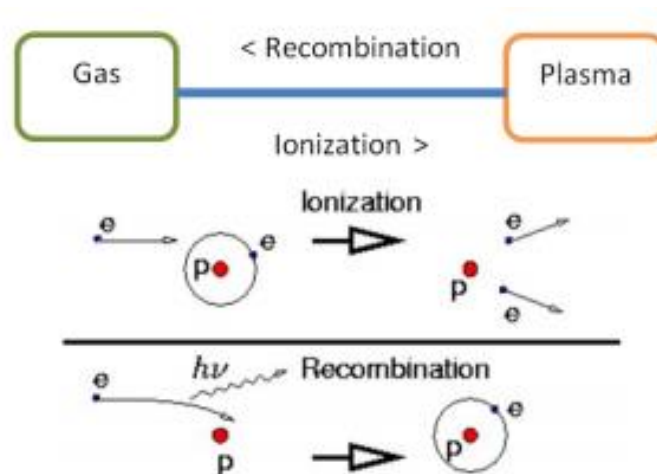
โดยทั่วไปเมื่อสสารได้รับพลังงานที่เหมาะสมจะมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะและคุณสมบัติดัง
ภาพ 2.1



ภาพ 2.1 การเปลี่ยนสถานะของสสารเมื่อได้รับพลังงาน

ที่มา : <http://tetronics.com/assets/plasma-diagram.png>(2563)

ในทางฟิสิกส์สถานะของพลาสมาคือสถานะที่ 4 ของสสาร ถูกค้นพบโดย เซอร์ วิลเลียม ครูกส์ (Sir William Crookes) ในปี ค.ศ. 1879 และในปี ค.ศ. 1928 เออร์วิง แลงเมียร์ (Irving Langmuir) ได้เรียกสถานะที่ 4 ทางฟิสิกส์ว่า พลาสมา (Plasma) พลาสมาประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุบวกและลบจึงปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ และอะตอมที่มีประจุสุทธิเป็นศูนย์เรียกว่า “Quant Neutral” พฤติกรรมทั้งหมดเรียกว่า “Collective Behavior” กระบวนการการเกิดพลาสมาจากสถานะก๊าซลักษณะทั่วไปทำโดยการให้พลังงานที่มีปริมาณมากแก่ก๊าซในการกระตุ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อก๊าซได้รับพลังงานที่มีค่ามากพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอมโดยกระบวนการนี้เรียกว่า “กระบวนการแตกตัวเป็นไอออน” (Ionization) ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกจากกระบวนการที่ได้กล่าวมา อิเล็กตรอนที่มีพลังงานเหลือจากการชนและไอออนบางส่วนสามารถกลับมารวมตัวกลับเป็นอะตอมเดิมและคายพลังงานออกมาในรูปแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและรังสีวิทยุโดยกระบวนการที่ได้กล่าวมาเรียกว่า กระบวนการรวมตัว (Recombination) ดังภาพ 2.2



ภาพ 2.2 กระบวนการเกิดพลาสมาจากสถานะก๊าซ

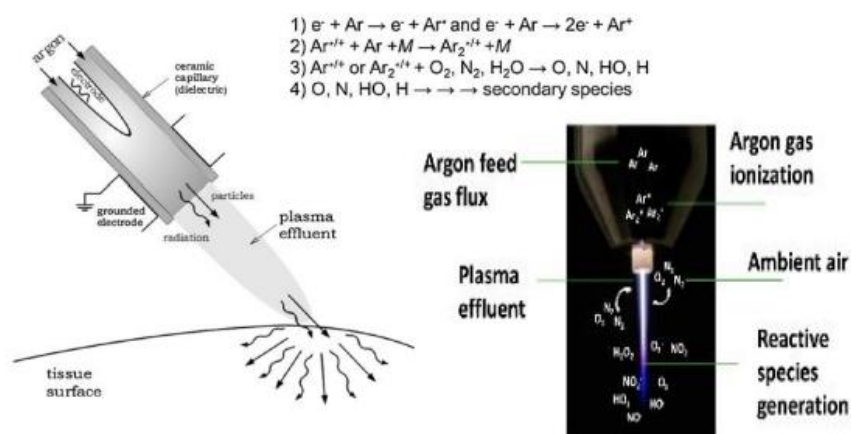
ที่มา : [http://silas.psfc.mit.edu\(2563\)](http://silas.psfc.mit.edu(2563))

2.1.2 พลาสมาทางเคมี

ในทางเคมีพลาสมาประกอบด้วย อนุพันธ์ออกซิเจนและไนโตรเจนที่ว่องไว (Reactive Oxygen and Nitrogen Species : RONS) กระบวนการไอออไนเซชันของก๊าซอาร์กอนที่ทำให้เกิดอนุพันธ์ออกซิเจนที่ว่องไวและอนุพันธ์ไนโตรเจนที่ว่องไวดังตาราง 2.1 และภาพ 2.3

ตาราง 2.1 กระบวนการไอออไนเซชันและพลังงานทั้งหมดของอะตอมอาร์กอนที่ใช้สำหรับทำให้เกิดกระบวนการไอออไนเซชัน

Reaction	Formula	Type	ΔE (eV)
1	$e + Ar \rightarrow e + Ar$	Elastic	0
2	$e + Ar \rightarrow e + Ar_s$	Excitation	11.5
3	$e + Ar^* \rightarrow e + Ar$	Superelastic	-11.5
4	$e + Ar \rightarrow 2e + Ar^+$	Ionization	15.8
5	$e + Ar^* \rightarrow 2e + Ar^+$	Ionization	4.427
6	$Ar^* + Ar^* \rightarrow e + Ar + Ar^+$	Penning Ionization	---
7	$Ar^* + Ar \rightarrow Ar + Ar$	Metastable quenching	---



ภาพ 2.3 ปฏิกริยาที่เป็นไปได้เมื่อมีการเกิดการกระตุ้นของก๊าซอาร์กอนที่ทำให้เกิดอนุพันธ์ออกซิเจนที่ว่องไวและอนุพันธ์ไนโตรเจนที่ว่องไว

ที่มา : [http://cuir.car.chula.ac.th\(2563\)](http://cuir.car.chula.ac.th(2563))

2.1.3 การแบ่งชนิดของพลาสมา

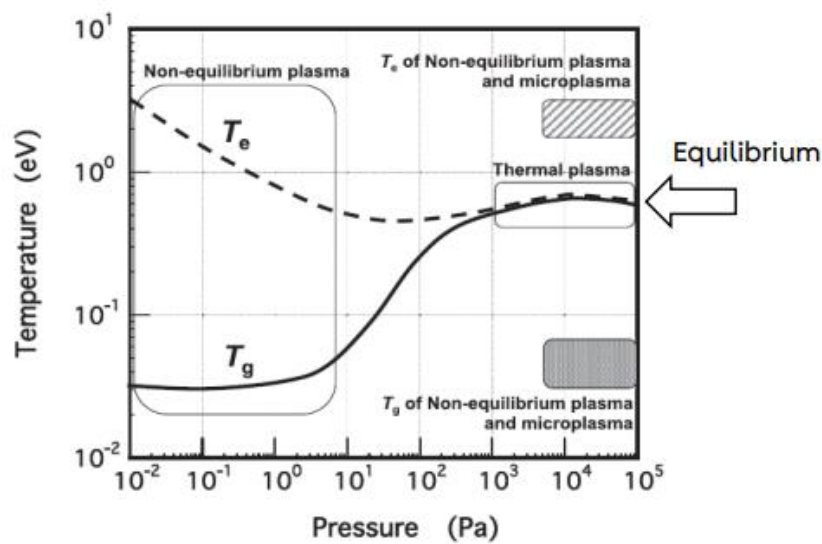
Non-Thermal (NT) Plasmas		Thermal Plasmas
“Cold” Non-Thermal Plasmas	Translational (“Hot NT”) Plasmas	
$T_i \approx T_g \approx 300 \dots 400\text{K}$ $T_i \ll T_e < 10^5\text{ K (10 eV)}$	$T_i \approx T_g \leq 10^4 \dots 10^5\text{ K}$ $T_i \approx T_g \leq 4 \times 10^3\text{ K}$	$T_i \approx T_g \approx T_e$ $T_x < 5 \times 10^3 \dots 10^4\text{K}$

ภาพ 2.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติของพลาสมาที่เกิดขึ้นแบ่งตามอุณหภูมิ

ที่มา : [http://cuir.car.chula.ac.th\(2563\)](http://cuir.car.chula.ac.th(2563))

พลาสมาสามารถแบ่งตามอุณหภูมิออกเป็น 2 แบบ คือ พลาสมาร้อน (Hot Plasma) และพลาสมาเย็น (Cold Plasma) โดยพลาสมาร้อนเกิดจากการให้พลังงานที่มากพอกับก๊าซได้ความดันสุญญากาศทำให้ก๊าซแตกตัวเป็นไอออน (Ionization) อุณหภูมิของอิเล็กตรอนเท่ากับอุณหภูมิของไอออนและอนุภาคที่เป็นกลางอุณหภูมิรวมของพลาสมาที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะสูงตามค่าของพลังงานแต่เพราะมีต้นทุนที่สูง จึงได้มีการพัฒนาพลาสมาแบบเย็นขึ้น โดยพลาสมาแบบเย็นเกิดจากการให้พลังงานกระตุ้นสถานะก๊าซภายใต้ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิห้องที่ทำให้ก๊าซเกิดการแตกตัวบางส่วน ซึ่งทำให้อุณหภูมิของไอออนที่แตกตัว สามารถลดอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิห้อง เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของพลาสมาที่แบ่งตามอุณหภูมิดังภาพ 2.4

โดยทั่วไปอิเล็กตรอนมีมวลน้อยกว่าไอออนประมาณ $10^3 - 10^4$ เท่า อิเล็กตรอนจึงต้องใช้พลังงานสูงมากในการเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความดันสูง และที่ความถี่มากทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานของอิเล็กตรอนและอะตอมของก๊าซเข้าสู่สภาวะสมดุลที่อุณหภูมิของอิเล็กตรอน (T_e) เท่ากับอุณหภูมิของก๊าซ (T_g) ความหนาแน่นของพลาสมาอยู่ในช่วง $10^{16} - 10^{19}$ เราจะเรียกพลาสมาที่เกิดขึ้นนี้ว่าพลาสมาที่สภาวะสมดุล (Equilibrium Plasma) ดังภาพ 2.5 ซึ่งในส่วนทฤษฎีของพลาสมาที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้จะนำไปใช้ในการทำการทดลองแบบลองผิดลองถูก

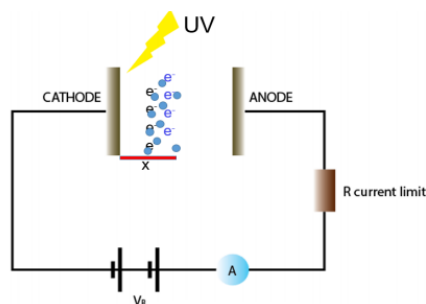


ภาพ 2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความดันในการเกิดพลาสมาที่ความดันต่างๆ

ที่มา : [http://cuir.car.chula.ac.th\(2563\)](http://cuir.car.chula.ac.th(2563))

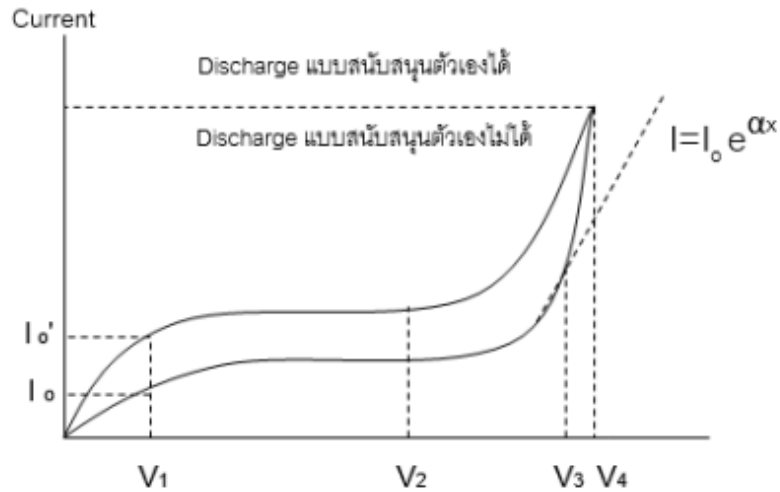
2.2 การเบรกดาวนของสถานะก๊าซ (Breakdown of Gas)

โดยปกติก๊าซมีคุณสมบัติเป็นฉนวนแต่เมื่อมีการป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าไปที่ขั้วอิเล็กโทรดในตัวกลางที่มีสถานะก๊าซ จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านจำนวนมากเกินค่าที่ฉนวนจะทนได้ จึงเปลี่ยนเป็นนำไฟฟ้า เรียกกระบวนการนี้ว่า “การเบรกดาวน” (Breakdown) โดยค่าแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้เกิดกระบวนการเบรกดาวนเรียกว่า “แรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน” (Breakdown Voltage) ซึ่งสามารถอธิบายกลไกการเบรกดาวนได้จากทฤษฎีของ Townsend โดย Townsend ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างอิเล็กโทรดแบบขนานดังภาพ 2.6 เมื่อแสงยูวีทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากขั้วแคโทด และกลุ่มอิเล็กตรอนเหล่านี้จะเคลื่อนที่ไปยังขั้วแอโนดและมีการชนเข้ากับอะตอมก๊าซและเกิดไอออนบวกและอิเล็กตรอนกลุ่มใหม่เกิดขึ้นซึ่งทุกๆ ระยะห่างจากแคโทดเท่ากับ x แสดงดังภาพ 2.7



ภาพ 2.6 วงจรที่ใช้ในการทดลองของ Townsend

ที่มา : [http://cuir.car.chula.ac.th\(2563\)](http://cuir.car.chula.ac.th(2563))



ภาพ 2.7 กราฟการเบรกดาวน์ของก๊าซ

ที่มา : [http://cuir.car.chula.ac.th\(2563\)](http://cuir.car.chula.ac.th(2563))

โดย Townsend อธิบายว่าเมื่อมีการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าในการเบรกดาวน์จนถึง V_3 จะมีการเกิดไอออนในเซชันที่ทำให้ให้อิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นจึงเป็นเหตุให้กระแสเพิ่มขึ้นเป็นแบบ Exponential อยู่ในกระบวนการของ Alpha (α Process) สามารถคำนวณกระแสเฉลี่ยในช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดได้จากสมการ 2.1

$$I = I_0 e^{\alpha x} \quad (2.1)$$

แต่หลังจากเพิ่มแรงดันไฟฟ้ามากกว่า V_3 จะเกิดกระบวนการ Gamma (γ Process) สามารถคำนวณกระแสไฟฟ้าที่สภาวะคงที่จากสมการ 2.2

$$I = \frac{I_0 e^{\alpha x}}{1 - \gamma(e^{\alpha x} - 1)} \quad (2.2)$$

เมื่อ I_0 = กระแสเริ่มต้นที่ขั้วแคโทด

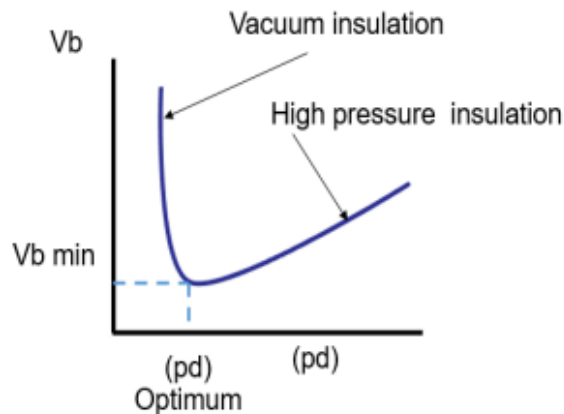
α = สัมประสิทธิ์ไอออนในเซชันตัวแรกของ Townsend

x = ระยะห่างจากแคโทด

γ = สัมประสิทธิ์ไอออนในเซชันตัวที่สองของ Townsend

ในเวลาต่อมา Pascher ได้ทำการศึกษาการเบรกดาว์นของก๊าซในที่ระดับความดันของก๊าซในแต่ละชนิดสามารถคำนวณแรงดันไฟฟ้าเบรกดาว์น (V_b) ได้จากสมการ 2.3 ซึ่งสามารถแสดงได้ดังภาพ 2.8

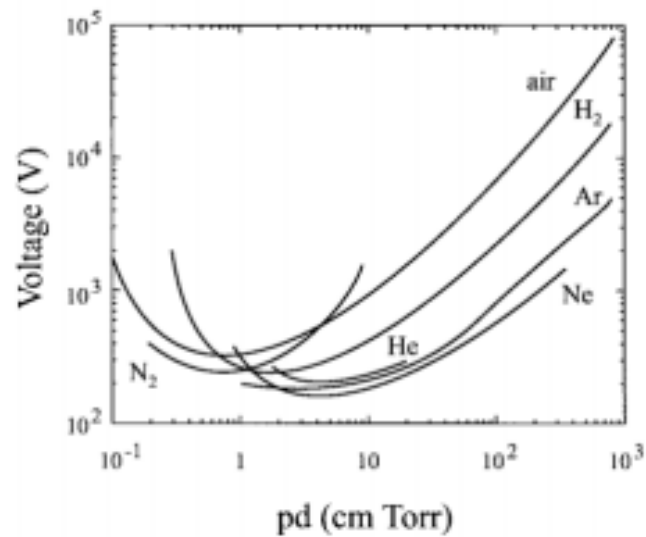
$$V_b = f(pd) \quad (2.3)$$



ภาพ 2.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง pd และ V_b ตามกฎของ Paschen

ที่มา : [http://cuir.car.chula.ac.th\(2563\)](http://cuir.car.chula.ac.th(2563))

Paschen พบว่าก๊าซทุกชนิดจะมีค่า pd ที่เหมาะสมที่สุดซึ่งเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาว์นมีค่าต่ำสุดดังภาพ 2.9 และตาราง 2.2 เมื่อระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดมีค่าเท่ากันจะเห็นได้ว่าทั้งสองข้างของจุดต่ำสุดของกราฟแรงดันไฟฟ้าเบรกดาว์นจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยที่ความดันต่ำและความหนาแน่นของก๊าซต่ำ ทำให้การเกิดไอออนเซชันต่ำที่ความดันสูงความถี่ของการชนมีสูง โดยทฤษฎีการเบรกดาว์นของสถานะก๊าซ (Breakdown of Gas) ที่ได้ทำการกล่าวมานี้จะนำไปใช้ในการทำการทดลองแบบลองผิดลองถูก



ภาพ 2.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง pd และ V_b ตามกฎของ Paschen ของก๊าซชนิดต่างๆ

ที่มา : [http://cuir.car.chula.ac.th\(2563\)](http://cuir.car.chula.ac.th(2563))

ตาราง 2.2 แรงดันไฟฟ้าต่ำสุดเพื่อทำให้เกิดประกายไฟ (Sparking) ของก๊าซชนิดต่างๆ

ก๊าซชนิดต่างๆ	V_b น้อยที่สุด (V)	Pd ที่ V_b น้อยที่สุด (torr-cm)
Air	327	0.567
Argon	137	0.9
H ₂	273	1.15
Helium	156	4.0
CO ₂	420	0.51
N ₂	251	0.67
N ₂ O	418	0.5
O ₂	450	0.7
SO ₂	457	0.33
H ₂ S	414	0.6

2.3 กระบวนการที่เกิดการเบรกดาวน์ของสถานะก๊าซ

2.3.1 การแตกตัวเป็นไอออน

เมื่อก๊าซได้รับพลังงานที่มากพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนวงนอกสุดหลุดออกจากอะตอม กระบวนการที่ทำให้เกิดการแตกหักเป็นไอออนประกอบด้วย 3 กระบวนการ ได้แก่ การแตกตัวเป็นไอออนเนื่องจากการชน (Collision Ionization) การแตกตัวเป็นไอออนจากแสง (Photo Ionization) และการแตกตัวเป็นไอออนทุติยภูมิ (Secondary Ionization)

2.3.2 การเกาะกันของอิเล็กตรอน

เป็นกระบวนการการชนระหว่างอิเล็กตรอนกับอะตอมที่เป็นกลางแล้วกลายเป็นไอออนลบดังสมการ 2.4



เมื่อ E_a = ค่าสมรรถภาพอิเล็กตรอน (Electron Affinity)

K = ค่าพลังงานจลน์ (Kinetic Energy)

2.3.3 การรวมตัวกัน (Recombination)

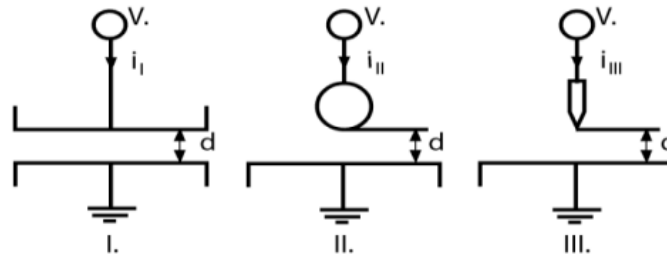
เป็นกระบวนการไอออนบวกและไอออนลบเกิดการรวมตัวกันและทำการคายพลังงานออกมาในรูปของการแผ่รังสี ($h\nu$) ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการ 2.5



2.4 สนามไฟฟ้า (Electrical Field)

บริเวณไฟฟ้าที่เมื่อนำประจุไฟฟ้าเข้าไปวางจะเกิดแรงกระทำกับประจุไฟฟ้า ซึ่งทิศทางของสนามไฟฟ้าสามารถเขียนโดยใช้เส้นแรงไฟฟ้า เมื่ออิเล็กโทรดที่มีรูปร่างต่างกันและจัดระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดเท่ากับ d มิลลิเมตร แล้วป้อนแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วอิเล็กโทรดเท่ากันดังภาพ 2.10 จะได้สนามไฟฟ้าที่แตกต่างกันดังภาพ 2.11 โดยสนามไฟฟ้าที่เกิดกับอิเล็กโทรดที่มีรูปร่างแบบที่ 1. ที่

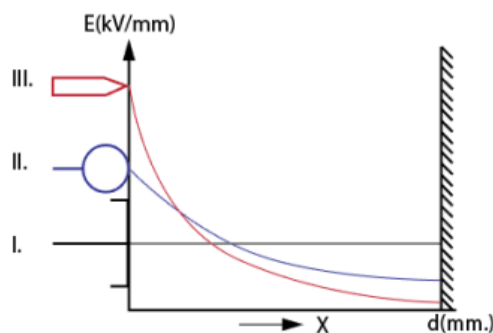
แสดงถึงค่าสนามไฟฟ้าที่เท่ากันทุกจุดในช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดมีค่าเท่ากันเรียกว่าการเกิดสนามไฟฟ้าที่เกิดอิเล็กโทรดแบบนี้ว่า สนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ ทำให้ค่าความเครียดสนามไฟฟ้า (E_{av}) และค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด (E_{max}) มีค่าเท่ากันดังสมการ 2.6



- 1.สนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ
- 2.สนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมออ่อน
- 3.สนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอสูง

ภาพ 2.10 อิเล็กโทรด 3 แบบ

ที่มา : [http://cuir.car.chula.ac.th\(2563\)](http://cuir.car.chula.ac.th(2563))



ภาพ 2.11 การเปรียบเทียบสนามไฟฟ้าของอิเล็กโทรดทั้ง 3 แบบ ที่ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดต่างๆ

ที่มา : [http://cuir.car.chula.ac.th\(2563\)](http://cuir.car.chula.ac.th(2563))

$$E_{max} = E_{av} = \frac{V}{d} \quad (2.6)$$

เมื่อ V = แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับอิเล็กทรอนิกส์

d = ช่องว่างระหว่างอิเล็กทรอนิกส์

โดยสามารถคำนวณความเครียดที่ทำให้เกิดเบรกดาวน (Ed) ดังสมการ 2.7 และ V_b คือ แรงดันไฟฟ้า ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการเบรกดาวนด้วยสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

$$E_b = \frac{V_b}{d} \quad (2.7)$$

ซึ่งการเกิดสนามไฟฟ้ากับอิเล็กทรอนิกส์ที่มีรูปร่างแบบ 2. และ 3. สนามไฟฟ้าแต่ละจุดมีค่าแตกต่างกันจึงเรียกว่าแบบไม่สม่ำเสมอ 2 กรณี ได้แก่

2.4.1 สนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอ

สนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอจะมีรูปร่างทรงกลมซึ่งความเครียดของสนามไฟฟ้าสูงสุดจะเกิดบริเวณพื้นผิวของทรงกลมสามารถคำนวณจากสมการ 2.8

$$E_{max} = \frac{V}{d\eta} \quad (2.8)$$

โดย η คือแฟกเตอร์ของสนามไฟฟ้า (Field Utilization Factor) ที่บอกถึง สนามไฟฟ้าที่มีความสม่ำเสมอมากหรือน้อย และยังสามารถหาความเครียดจากสมการ 2.9

$$E_b = \frac{V_b}{d\eta} \quad (2.9)$$

2.4.2 สนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอสูง

สนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอสูง ค่าความเครียดสนามไฟฟ้า จะสูงที่บริเวณพื้นผิวน้อยที่สุดของอิเล็กทรอนิกส์ นั่นก็คือปลายแหลม ทำให้เกิด โคโรนาพรีดิสชาร์จ (Corona Predischage) และยัง ไม่เกิดบริเวณอื่น เนื่องจากมีค่าความเครียดสนามไฟฟ้าต่ำจึงสามารถเรียกการเกิดนี้ว่า ดิสชาร์จ

บางส่วน (Partial Discharge) ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่วัดได้ก่อนการเกิดเบรกดาวน์เรียกว่า กระแสโคโรนา (Corona Circuit) และสามารถคำนวณความเครียดของสนามไฟฟ้าที่แรงดันเริ่มเกิด E_i ดังสมการ 2.10 ซึ่งทฤษฎีสันนิษฐานไฟฟ้าที่ได้ทำการกล่าวมาทั้งหมดนี้จะนำไปใช้ในการประกอบเครื่องและอุปกรณ์

$$E_i = \frac{V_i}{d\eta} \quad (2.10)$$

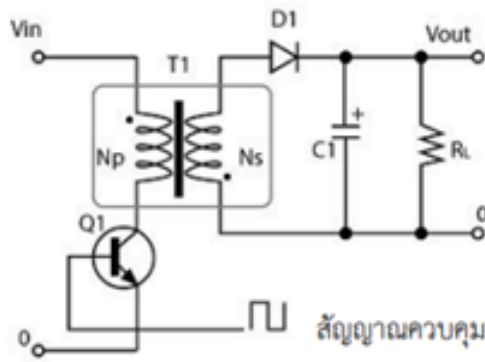
เมื่อ V_i = แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเมื่อจนโคโรนาเริ่มเกิด

2.5 วงจรขับหม้อแปลงความถี่สูง

วงจรขับหม้อแปลงความถี่สูงหรือเรียกว่า “คอนเวอร์เตอร์” (Converter) มีความสามารถเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าขาเข้า (Input) ให้ได้แรงดันไฟฟ้าขาออก (Output) ตามความต้องการ โดยวงจรคอนเวอร์เตอร์มีหลายรูปแบบ ซึ่งมีข้อควรพิจารณาในการเลือกรูปแบบดังนี้ การแยกกันทางวงจรไฟฟ้าระหว่างอินพุตกับเอาต์พุต ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางอินพุตที่ส่งผ่านไปยังขดลวดปฐมภูมิ ค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่านอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ขณะทำงาน และค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ตกคร่อมอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ขณะทำงาน โดยหลักการของวงจรขับหม้อแปลงความถี่สูงที่ได้ทำการกล่าวมานี้จะนำไปใช้ในการประกอบเครื่องและอุปกรณ์

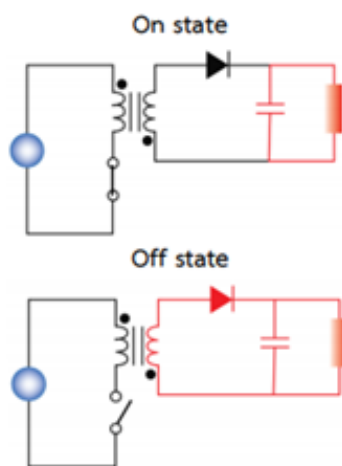
2.6 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ประกอบไปด้วย Q_1 คือ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ (Mosfet) ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ ส่วน T_1 คือ หม้อแปลง ซึ่งถูกกำหนดขดลวดปฐมภูมิ (Primary) และขดลวดทุติยภูมิ (Secondary) ให้มีลักษณะกับเฟสตรงกันอยู่และต่อไดโอด ดังภาพ 2.12



ภาพ 2.12 วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

ที่มา : [http://cuir.car.chula.ac.th\(2563\)](http://cuir.car.chula.ac.th(2563))



ภาพ 2.13 การทำงานของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

ที่มา : [http://cuir.car.chula.ac.th\(2563\)](http://cuir.car.chula.ac.th(2563))

โดยการทำงานของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์เริ่มจาก ภาพ 2.13 ซึ่งเริ่มจาก Q_1 นำกระแสสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมในช่วง T_{on} เปรียบเสมือนการปิดสวิตช์ ทำให้ขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง T_1 ต่อเข้าโดยตรงกับ $+V_{in}$ กระแสไฟฟ้าจึงสามารถไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิเกิดเป็นสนามแม่เหล็กขึ้นไปเหนี่ยวนำขดลวดทุติยภูมิ แต่แรงดันที่เกิดขึ้นต่อกับไดโอดในลักษณะไบแอสกลับ กระแสไฟฟ้าจึงไม่ไหลผ่านโหลด ทำให้พลังงานทั้งหมดกลับไปสะสมภายในหม้อแปลง T_1 ต่อมาเมื่อ Q_1 นำกระแสสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมในช่วง T_{off} เปรียบเสมือนการเปิดสวิตช์ ทำให้สนามแม่เหล็กเกิดการยุบตัวลง และเกิดการกลับเฟสตามกฎของเลนซ์ เกิดการไบแอสตรงที่ไดโอด D_1 พลังงานทั้งหมดที่

ถูกสะสมในหม้อแปลงจะถูกถ่ายเทไปให้ขดลวดทุติยภูมิและเกิดการไหลของกระแสไปยังโหลด วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์สามารถหาค่าแรงดันเอาต์พุต (Output) ดังสมการ 2.11 ซึ่งหลักการของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ที่ได้ทำการกล่าวมานั้นจะนำไปใช้ในการประกอบเครื่องและอุปกรณ์รวมถึงในการทำการทดลองแบบลองผิดลองถูก

$$V_{out} = \frac{t_{ON} \times \left(\frac{N_s}{N_p}\right) (V_{in} - V_{CE(sat)})}{(T - t_{ON})} - V_D \quad (2.11)$$

เมื่อ T = คาบเวลาการทำงานของ Q_1 หน่วยเป็นวินาทีต่อรอบ

t_{ON} = ช่วงเวลาการทำงานของ Q_1 หน่วยเป็นวินาที

N_p = จำนวนรอบของขดไพรมารี หน่วยเป็นรอบ

N_s = จำนวนรอบของขดเซคันดารี หน่วยเป็นรอบ

V_{out} = แรงดันที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ หน่วยเป็นโวลต์

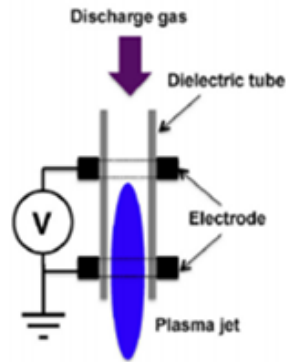
V_{in} = แรงดันที่อินพุตของคอนเวอร์เตอร์ หน่วยเป็นโวลต์

$V_{CE(sat)}$ = แรงดันตกคร่อม Q_1 ขณะนำกระแสที่จุดอิ่มตัว หน่วยเป็นโวลต์

V_D = แรงดันตกคร่อมไดโอด D_1 ขณะนำกระแส หน่วยเป็นโวลต์

2.7 พลาสมาแบบเจ็ตในความดันบรรยากาศโครงสร้างแบบวงแหวน

ระบบที่เปลวพลาสมาปล่อยออกมาที่ปลายโพรบอิเล็กโทรดในพื้นที่เปิดซึ่งมีความยาวของเปลวพลาสมาเป็นหน่วยเซนติเมตร โดยส่วนใหญ่นำมาประยุกต์ใช้ด้านชีวการแพทย์ โครงสร้างแบบวงแหวนดังภาพ 2.14 จะประกอบด้วยขั้วอิเล็กโทรดที่ทำมาจากโลหะวง แหวนจำนวน 2 วงอยู่ด้านนอกของโพรบอิเล็กโทรด เมื่อมีการปล่อยให้ก๊าซเฉื่อย เช่น ก๊าซฮีเลียม และก๊าซอาร์กอนไหลผ่านหลอดไดอิเล็กตริกและมีการป้อนแรงดันไฟฟ้าในหน่วยกิโลโวลต์ จะมีการเกิดเปลวของพลาสมาเย็นออกมาที่อากาศรอบนอก โดยหลักการของพลาสมาแบบเจ็ตในความดันบรรยากาศโครงสร้างแบบวงแหวนนั้นจะนำมาใช้ในการประกอบเครื่องและอุปกรณ์



ภาพ 2.14 โครงสร้างแบบวงแหวน ของพลาสมาแบบเจ็ตที่ความดันบรรยากาศ

ที่มา : [http://cuir.car.chula.ac.th\(2563\)](http://cuir.car.chula.ac.th(2563))

2.8 วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติของพลาสมา

การนำเอาพลาสมาไปประยุกต์ใช้จำเป็นต้องตรวจวิเคราะห์อุณหภูมิของอิเล็กตรอน (T_e) และความหนาแน่นของอิเล็กตรอน (n_e) โดยวิธี Optimal Emission Spectroscopy (OES) โดยพิจารณาจากสเปกตรัมความเข้มของการปล่อยพลังงานของอะตอมที่แสดงถึงอุณหภูมิของอิเล็กตรอน (T_e) และความหนาแน่นของอิเล็กตรอน (n_e) สามารถคำนวณได้จากสมการ Boltzmann-Saha ดังสมการ 2.12

$$KT_e = E_2 - \frac{E_1}{\log(I_1 \lambda_1 g_2 A_2 / I_2 \lambda_2 g_1 A_1)} \quad (2.12)$$

เมื่อ I = ความเข้มเส้นสเปกตรัม

λ = ความยาวคลื่น

g = ตัวถ่วงน้ำหนักทางสถิติ

A = ความน่าจะเป็นในการเกิดการเปลี่ยนสถานะ

E = พลังงานที่ให้ในการกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะ

K = ค่าคงที่ Boltzmann

ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน (n_e) สามารถคำนวณได้จากการใช้อัตราส่วนความเข้มของเส้นสเปกตรัมของอะตอมและของไอออนตามสมการ Boltzmann-Saha ซึ่งการแทนค่าอุณหภูมิของอิเล็กตรอน (T_e) ในหน่วย eV ที่ได้จากสมการ 2.12 ลงในสมการ 2.13 โดยเส้นสเปกตรัมที่ได้จาก

เครื่อง OES จะถูกวัดในช่วงความยาวคลื่น 300 – 850 นาโนเมตร ตัวอย่างสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง OES ดังภาพ 2.15

$$n_e = 2 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right) \left(\frac{A_2}{A_1} \right) \left(\frac{g_2}{g_1} \right) \left[\frac{2\pi m_e K T_e}{h^2} \right]^{\frac{3}{2}} \exp \left[-\frac{E_1 - E_2 + E_i}{K T_e} \right] \quad (2.13)$$

เมื่อ E = พลังงานที่ถูกปล่อยจากชั้นระดับพลังงาน หน่วย อิเล็กตรอนโวลต์

E_i = พลังงานไอออไนเซชันของอะตอมอาร์กอนที่เป็นกลาง

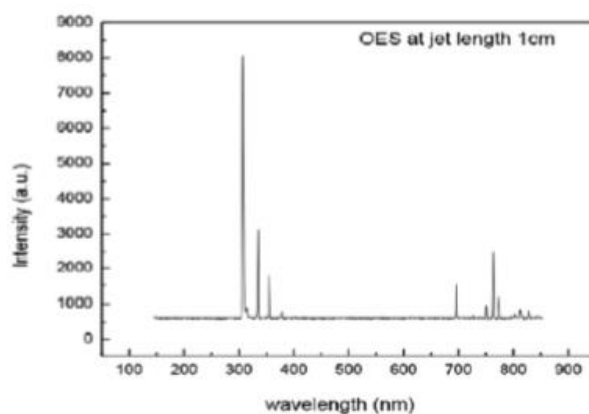
I_1 = ความเข้มของเส้นสเปกตรัม Ar-I

I_2 = ความเข้มของเส้นสเปกตรัม Ar-II

m_e = มวลของอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ 9.1×10^{-31} กิโลกรัม

K = ค่าคงที่ของ Boltzmann มีค่าเท่ากับ 1.38×10^{-23} จูลต่อเคลวิน

h = ค่าคงที่ของ Planck มีค่าเท่ากับ 6.626×10^{-34} จูลวินาที



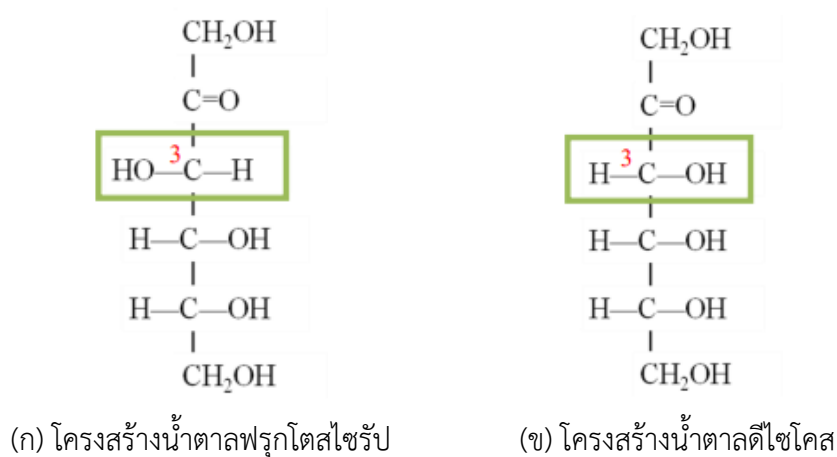
ภาพ 2.15 กราฟสเปกตรัมจากเครื่อง OES ของพลาสมาเจ็ตที่มีความยาวเปลวพลาสมา 1 ซม.

ที่มา : [http://cuir.car.chula.ac.th\(2563\)](http://cuir.car.chula.ac.th(2563))

2.9 น้ำตาลหายาก (Rare Sugar)

น้ำตาลที่สามารถพบได้ในธรรมชาติเพียงปริมาณเล็กน้อย เช่น น้ำตาลดี-ไซโคส (D-Psicose) มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายกับน้ำตาลฟรุคโตสแต่แตกต่างกันที่ทิศทางการวางตัวของหมู่ไฮดรอกซิล

(OH group) ซึ่งจับกับคาร์บอนตำแหน่งที่สามดังภาพ 2.16 โดยปัจจุบันการผลิตน้ำตาลชนิดนี้เพื่อให้ได้ปริมาณมากนั้นอาศัยกระบวนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของน้ำตาลดี-กลูโคส (D-Glucose) ไปเป็นน้ำตาลดี-ไซโคสโดยอาศัยเอนไซม์จากแบคทีเรีย (Microbial and Enzymatic Reaction) ซึ่งน้ำตาลหายากมีผลข้างเคียงของการรับประทานคือก่อให้เกิดอาการท้องเสีย โดยเป็นผลมาจากการเกิดแรงดันออสโมติกในลำไส้ (Enteric Osmotic Pressure) ดังนั้นปริมาณของน้ำตาลดี-ไซโคสสูงสุดที่ไม่ก่อให้เกิดอาการท้องเสียในคน คือ 0.5 - 0.6 กรัมต่อน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัม

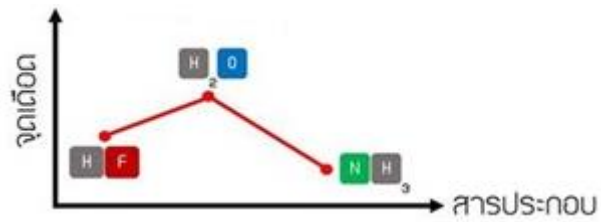


ภาพ 2.16 โครงสร้างน้ำตาลฟรุกโตสไซรัปและน้ำตาลหายาก (Rare Sugar) (ก) (ข)

ที่มา : [https://pharm.tu.ac.th\(2563\)](https://pharm.tu.ac.th(2563))

2.10 พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bond)

พันธะไฮโดรเจน คือ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลในสารประกอบประเภทโคเวเลนต์เป็นการเกิดไฮโดรเจนอะตอมที่สร้างพันธะโคเวเลนต์กับอะตอมที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูงๆ และมีขนาดเล็กที่ทำให้เกิดเป็นแรงยึดเหนี่ยวที่มีแรงดึงดูดสูงมากและแข็งแรงกว่าแรงลอนดอน ได้แก่ F O และ N ทำให้เกิดพันธะโคเวเลนต์มีขั้วชนิดที่มีสภาพขั้วแข็งแรงมาก ทั้งนี้เนื่องจากพันธะที่เกิดขึ้นมีอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะจะถูกดึงเข้ามาใกล้อะตอมของธาตุที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูงมากกว่าทางด้านอะตอมของไฮโดรเจนมาก และอะตอมของธาตุที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูงยังมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว จึงเกิดการดึงดูดกันระหว่างอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวกับอะตอมของไฮโดรเจน ซึ่งมีอำนาจไฟฟ้าบวกสูงของอีกโมเลกุลหนึ่ง ทำให้เกิดเป็นพันธะไฮโดรเจน ซึ่งสารประกอบทั้ง 3 ชนิดที่กล่าวในข้างต้นจะให้จุดเดือดที่ต่างกัันดังภาพ 2.17



ภาพ 2.17 เปรียบเทียบจุดเดือดสารประกอบทั้งสามชนิด

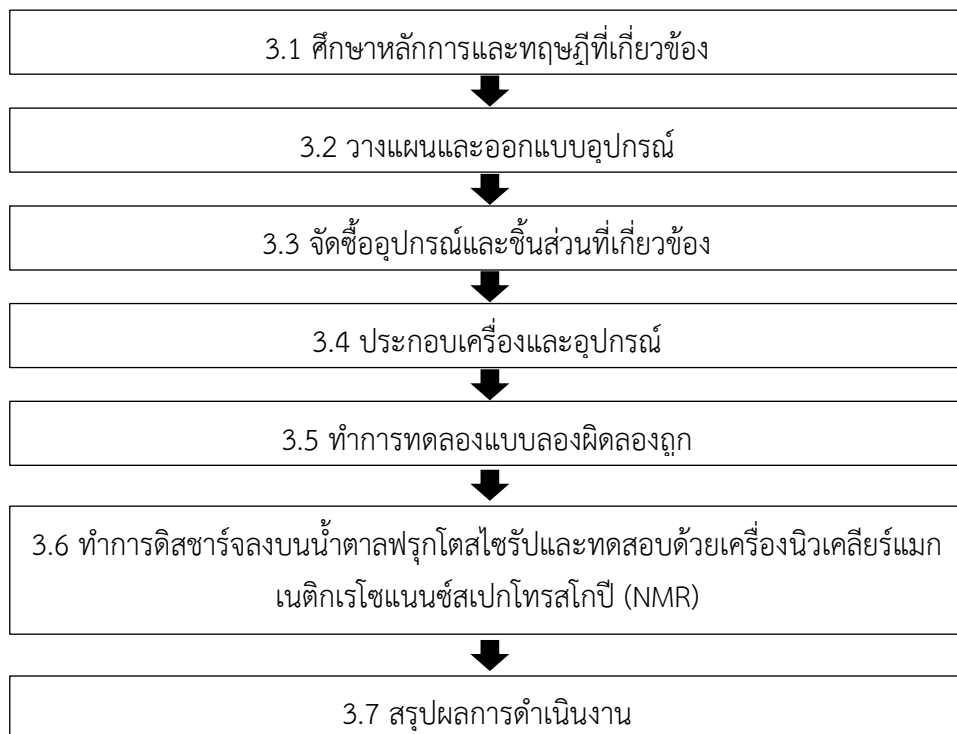
ที่มา : [https://www.truelookpanya.com\(2563\)](https://www.truelookpanya.com(2563))

จากภาพ 2.17 สามารถอธิบายได้ว่า H_2O มีจุดเดือดสูงกว่า HF เพราะ H_2O มีจำนวนพันธะไฮโดรเจนมากกว่า HF ถึง 2 พันธะเพราะมีแรงยึดเหนี่ยวโมเลกุลที่มีแรงดึงดูดสูงกว่าจึงจำเป็นต้องป้อนพลังงานสูงกว่าตามกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสารประกอบอินทรีย์ที่มีผลต่างของค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูงและจำนวนพันธะไฮโดรเจนมากเท่าไรจะส่งผลให้มีแรงดึงดูดมากตาม จึงจำเป็นต้องใช้พลังงานในการแตกตัวของพันธะมากขึ้นตามไปด้วย

บทที่ 3

ระเบียบวิธีการทำวิจัย

ในการศึกษาการพัฒนาระบบพลาสมาเจ็ต ผู้วิจัยเล็งเห็นประโยชน์ที่คาดว่าจะได้จากเครื่องพลาสมาเจ็ตที่พัฒนาขึ้นที่ความดันบรรยากาศที่สามารถนำไปประยุกต์ในโครงการอื่นที่จำเป็นต้องใช้ในคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และได้เครื่องต้นแบบที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการลดระยะเวลาการผลิตน้ำตาลหยาบโดยมีขั้นตอนดังภาพ 3.1



ภาพ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

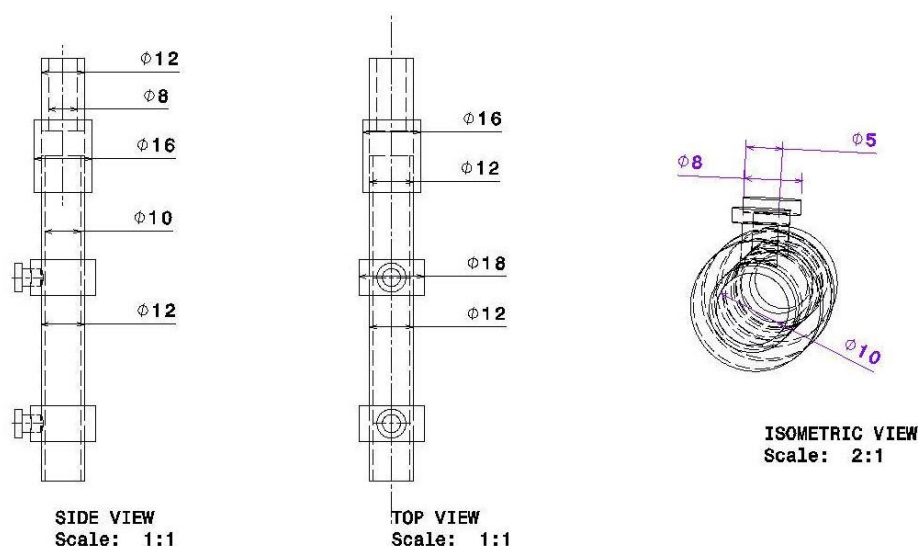
3.1 ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทำการศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการทำโครงงานวิจัย โดยหลักการและทฤษฎีที่ได้ศึกษานั้นมีดังนี้ พลาสมา การเบรกดาวน์ของสถานะก๊าซ (Breakdown of Gas) สนามไฟฟ้า (Electrical Field) วงจรขับหม้อแปลงความถี่สูง พลาสมาแบบเจ็ตในความดันบรรยากาศโครงสร้างแบบวงแหวน วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติของพลาสมา น้ำตาลหายาก (Rare Sugar) พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bond) เป็นต้น

3.2 วางแผนและออกแบบอุปกรณ์

3.2.1 วางแผนและออกแบบโปรบิเล็กโทรด

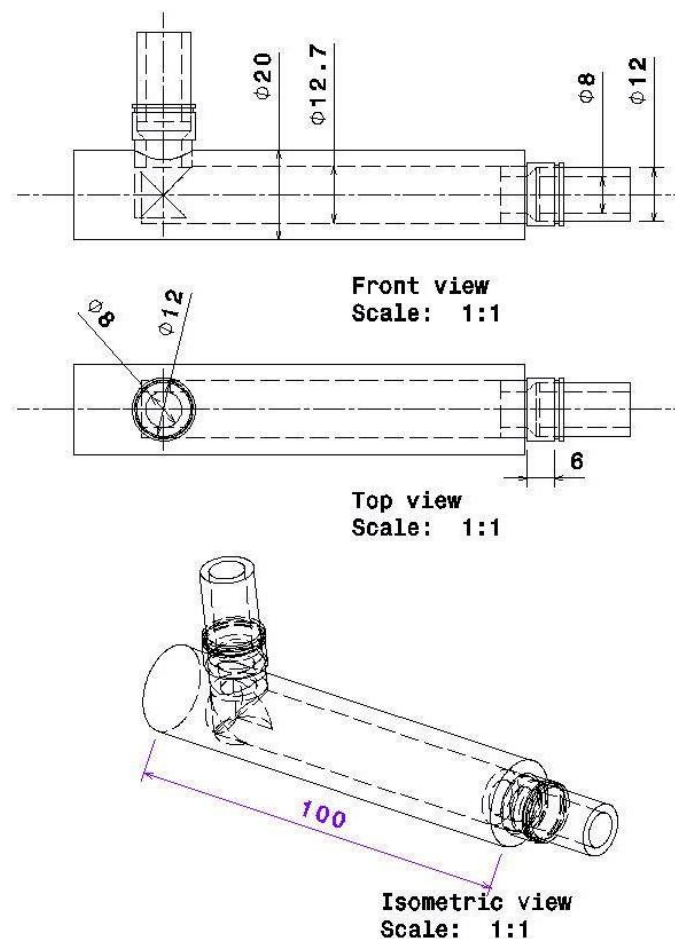
ทำการออกแบบโปรบิเล็กโทรดที่ใช้ในการควบคุมและกำหนดทิศทางของพลาสมาที่เกิดขึ้น โดยใช้โปรแกรม CATIA ในการออกแบบ โดยมีโครงสร้างดังภาพ 3.2 ซึ่งโปรบิเล็กโทรดจะทำการต่อเข้ากับท่อลมพวย โดยวัสดุที่ใช้ในการทำโปรบิเล็กโทรดจะต้องเป็นวัสดุที่เกิดออกซิเดชัน (Oxidation) ได้ยากเนื่องจากวัสดุในท้องตลาดส่วนใหญ่เป็นวัสดุที่ชุบด้วยทองเหลืองทำให้สามารถเกิดออกซิเดชันได้ง่ายซึ่งจะส่งผลต่อพลาสมาที่เกิดขึ้น ดังนั้นวัสดุที่ใช้ในการทำโปรบิเล็กโทรดของโครงงานวิจัยนี้จะประกอบไปด้วย ข้อต่อลมสแตนเลส น็อตสแตนเลส และหลอดแก้วควอตซ์ เนื่องจากการเกิดพลาสมาจะทำให้มีความร้อนสะสมในหลอดแก้ว ซึ่งหลอดแก้วตามท้องตลาดทั่วไปจะเป็นหลอดแก้วซิลิกา (Silica Glass Tube) ทำให้ไม่สามารถทนต่อความร้อนสะสมได้ดีเท่าที่ควร โดยความร้อนสะสมที่เกิดขึ้นจะส่งผลให้เกิดการแตกของหลอดแก้วได้บ่อยครั้งหากนำหลอดแก้วซิลิกามาใช้ในการทดลอง



ภาพ 3.2 แบบจำลองโปรบิเล็กโทรดที่ทำการออกแบบ

3.2.2 วางแผนและออกแบบห้องปรับความดัน

ทำการออกแบบห้องปรับความดันผ่านโปรแกรม CATIA เพื่อใช้สำหรับลดระดับความดันให้เหมาะสมและป้องกันการเกิดการรั่วซึมของแก๊ส โดยห้องปรับความดันจะใช้เพื่อพักแก๊สก่อนส่งต่อไปยังโพรบอิเล็กโทรด ซึ่งวัสดุที่ใช้ในการสร้างห้องปรับความดันจะต้องเป็นวัสดุที่เกิดออกซิเดชัน (Oxidation) ได้ยากเหมือนกับโพรบอิเล็กโทรดโดยจะใช้วัสดุสแตนเลสในการสร้างห้องปรับความดันตามที่ได้ออกแบบดังภาพ 3.3



ภาพ 3.3 แบบจำลองห้องปรับความดัน

3.3 จัดซื้ออุปกรณ์และชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้อง

3.3.1 ทำการจัดซื้ออุปกรณ์และชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงชนิด กระแสสลับ ดังตาราง 3.1

ตาราง 3.1 อุปกรณ์และชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงชนิด กระแสสลับ

ภาพอุปกรณ์	ชื่ออุปกรณ์
	แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำปรับค่าได้
	หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงกระแสสลับ

ตาราง 3.1 อุปกรณ์และชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงชนิดกระแสสลับ (ต่อ)

ภาพอุปกรณ์	ชื่ออุปกรณ์
	หน้าจอแอลซีดี
	ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino Mega 2560)
	Mosfet IRF630A
	วงจรกำเนิดความถี่

3.3.2 จัดซื้ออุปกรณ์และชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับชุดควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ ดังตาราง 3.2

ตาราง 3.2 อุปกรณ์และชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับชุดควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ

ภาพอุปกรณ์	ชื่ออุปกรณ์
	สกรูสแตนเลส
	สายลมพียู
	ท่อทองแดง

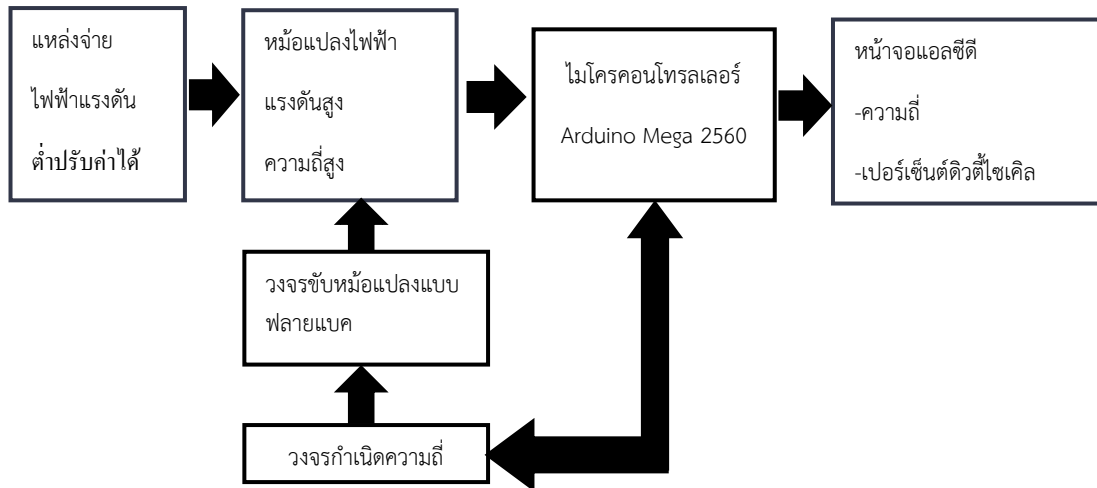
ตาราง 3.2 อุปกรณ์และชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับชุดควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ (ต่อ)

ภาพอุปกรณ์	ชื่ออุปกรณ์
	ข้อต่อลมตรงแบบเกลียวนอก
	หลอดโพรซีลิเกต

3.4 ประกอบเครื่องและอุปกรณ์

3.4.1 ประกอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงชนิดกระแสสลับ

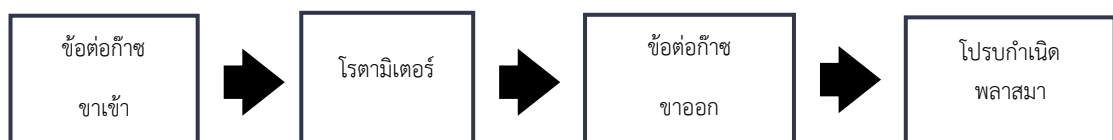
ทำการประกอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงชนิดกระแสสลับ โดยประกอบตามโครงสร้างที่ได้ออกแบบไว้ดังภาพ 3.4



ภาพ 3.4 แบบโครงสร้างที่ใช้ในการประกอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงชนิดกระแสสลับ

3.4.2 ประกอบชุดควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ

ทำการประกอบประกอบชุดควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ โดยประกอบตามโครงสร้างที่ได้ออกแบบไว้ดังภาพ 3.5



ภาพ 3.5 แบบโครงสร้างที่ใช้ในการประกอบชุดควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ

3.5 ทำการทดลองแบบลองผิดลองถูก

เมื่อทำการประกอบเครื่องพลาสมาเจ็ตสำเร็จทางกลุ่มผู้จัดทำได้ทำการทดลองแบบลองผิดลองถูก เพื่อหาระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 2 ขั้ว ที่โพรบกำเนิดพลาสมา โดยได้ทำการหาระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 2 ขั้ว ซึ่งระยะห่างนั้นมีผลต่อการเกิดพลาสมาเจ็ตที่ปลายโพรบกำเนิดพลาสมา โดยทำการหาว่าที่ระยะใดสามารถทำให้เกิดพลาสมาเจ็ตที่ปลายโพรบกำเนิดพลาสมาได้ เพื่อที่จะนำพลาสมาเจ็ตที่เกิดขึ้นนี้ไปทำการดิสชาร์จลงบนน้ำตาลฟรุ๊กโตสไซรัป ซึ่งสามารถดูผลการทดลองได้ในบทที่ 4

3.6 ทำการดิสซาร์จลงบนน้ำตาลฟรุคโตสไשרป์และทดสอบด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (NMR)

หลังจากที่ทำการทดลองแบบลองผิดลองถูกในขั้นตอนก่อนหน้านี้จนได้พลาสมาเจ็ตที่มีความเสถียรแล้วนั้น จึงได้นำมาใช้ในการทดลองดิสซาร์จลงบนน้ำตาลฟรุคโตสไשרป์ และนำน้ำตาลฟรุคโตสไשרป์ที่ทำการทดลองดิสซาร์จแล้วไปทดสอบด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (NMR) เพื่อหาการแตกตัวของพันธะไฮโดรเจนในน้ำตาลฟรุคโตสไשרป์ว่าเกิดการแตกในลักษณะไหนแบบใด ซึ่งสามารถดูผลการแตกตัวของพันธะไฮโดรเจนในน้ำตาลฟรุคโตสไשרป์ได้ใน บทที่ 4

3.7 สรุปผลการดำเนินงาน

หลังจากที่ได้ทำการดิสซาร์จลงบนน้ำตาลฟรุคโตสไשרป์และทดสอบด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (NMR) แล้วนั้นจึงจะทำการสรุปผลการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ โดยจะทำการวิเคราะห์ผลจากการทดสอบด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (NMR) ว่าในการทดลองดิสซาร์จลงบนน้ำตาลฟรุคโตสไשרป์ของระบบพลาสมาเจ็ตที่พัฒนาขึ้นจากการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะไฮโดรเจนในน้ำตาลฟรุคโตสไשרป์อย่างไร เพื่อทำการสรุปผลการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ว่าสามารถนำระบบพลาสมาเจ็ตที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้ในการลดระยะเวลาการผลิตน้ำตาลหายากได้หรือไม่ โดยจะทำการสรุปผลการดำเนินงานในบทที่ 5 และหลังจากที่ทำการสรุปผลการดำเนินงานแล้วนั้นจึงจัดทำเล่มรายงานโครงงานวิจัยที่สมบูรณ์

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

จากการที่ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาข้อมูลสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบพลาสมาเจ็ตเพื่อนำมาใช้ในการทดลองดิสชาร์จลงบนน้ำตาลฟรุคโตสไซรัป โดยเครื่องพลาสมาเจ็ตที่ได้นำมาใช้นั้นมาจากการทำการทดลองแบบลองผิดลองถูก เพื่อนำไปใช้ในการทดลองดิสชาร์จลงบนน้ำตาลฟรุคโตสไซรัปและนำไปวิเคราะห์โครงสร้างของน้ำตาลฟรุคโตสไซรัปด้วยการทดสอบของเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (NMR) ในท้ายที่สุด ซึ่งในบทนี้จะแสดงผลการดำเนินงานและปัญหาที่พบระหว่างการดำเนินงานรวมถึงวิธีการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ระหว่างการทดลองพัฒนาระบบพลาสมาเจ็ต

4.1 การทดลองครั้งที่ 1

ผู้วิจัยได้ทำการประกอบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงชนิดกระแสสลับตามที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ 3 และได้ทำการวัดค่าไฟฟ้าแรงดันสูง โดยใช้โปรบวัดค่าไฟฟ้าแรงดันสูงที่อัตราส่วน 1 : 1,000 กับ มัลติมิเตอร์ (Multimeter) ดังภาพ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ เพื่อใช้ในการอ่านค่าไฟฟ้าแรงดันสูงที่เกิดขึ้นจากวงจร ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลง โดยขึ้นอยู่กับจำนวนรอบที่ใช้ในการพันแกนปฏิกิริยาของตัวฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) ซึ่งได้ทำการวัดค่าไฟฟ้าแรงดันสูงมา 3 ค่าดังตาราง 4.1



ภาพ 4.1 โพรบวัดค่าไฟฟ้าแรงดันสูงที่อัตราส่วน 1 : 1,000



ภาพ 4.2 มัลติมิเตอร์

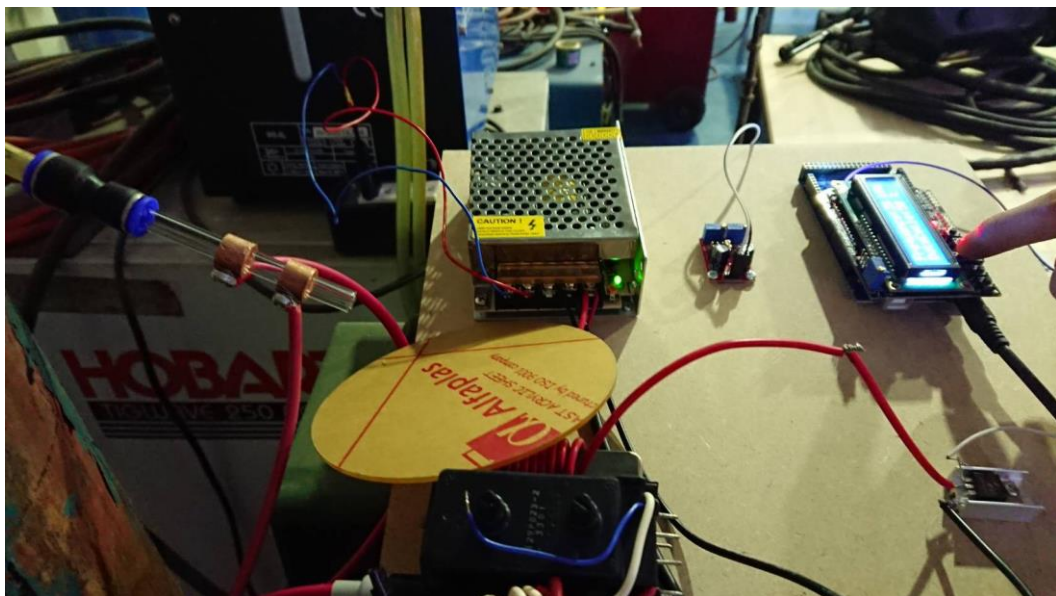
ตาราง 4.1 ค่าไฟฟ้าแรงดันสูงที่ได้จากการพันแกนปฐมภูมิของตัวฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

จำนวนรอบที่พันแกนปฐมภูมิ (รอบ)	V_{in} (V)	V_{out} (V)
4	12	800
8	12	1,200
10	12	1,600

จากการวัดค่าไฟฟ้าแรงดันสูงที่ได้จากการพันแกนปฐมภูมิของตัวฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ทำให้ทราบว่าจำนวนรอบที่พันแกนปฐมภูมิแปรผันตรงกับค่าแรงดันไฟฟ้าไหลออก (V_{out}) ดังนั้นจำนวนรอบที่พันแกนปฐมภูมิที่เหมาะสมกับการที่จะนำมาใช้ในการทดลองนั้น คือ จำนวนรอบที่พันแกนปฐมภูมิ 10 รอบ เพราะให้ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงที่สุด คือ 1,600 โวลต์ และเป็นจำนวนรอบที่สามารถพันได้สูงสุดตามขนาดของแกนปฐมภูมิของตัวฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ จากนั้นจึงได้นำไปทำการทดลองต่อวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงชนิดกระแสสลับและชุดควบคุมอัตราการไหลของก๊าซตามที่ได้กล่าวไปในบทที่ 3 โดยใช้ขั้วอิเล็กโทรดที่ทำจากทองแดงแบบเพลตตันที่มีความยาว 1 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.3 เซนติเมตร มาทำการเจาะรูขนาด 8.2 มิลลิเมตร ให้เป็นลักษณะคล้ายแหวน จำนวน 2 อัน แล้วจึงนำไปประกอบเข้ากับหลอดโบโรซิลิเกต (Borosilicate Glass Tube) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร โดยทำการเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ที่ด้านข้างแล้วจึงทำเกลียวเพื่อที่จะใช้สกรูที่เป็นสแตนเลสเป็นตัวยึดกับหลอดโบโรซิลิเกต (Borosilicate Glass Tube) ดังภาพ 4.3 เป็นขั้วอิเล็กโทรดที่ใช้ในการทดลองครั้งที่ 1 นี้ได้ทำการใส่ขั้วอิเล็กโทรดขั้วบวกเข้าไปที่หลอดโบโรซิลิเกต (Borosilicate Glass Tube) ก่อนแล้วจึงใส่ขั้วอิเล็กโทรดขั้วกราวด์ซึ่งขั้วอิเล็กโทรดขั้วกราวด์จะอยู่ที่ฝั่งปลายหลอดโบโรซิลิเกต (Borosilicate Glass Tube) ดังภาพ 4.4



ภาพ 4.3 ลักษณะทองแดงที่ใช้เป็นขั้วอิเล็กโทรด



ภาพ 4.4 การต่อวงจรที่ใช้ในการทดลองครั้งที่ 1

ทำการทดลองครั้งที่ 1 โดยอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนที่ใช้ทั้งหมดมี 3 ระดับ เพื่อทดสอบการเกิดในแต่ละระดับของอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน ซึ่งได้ผลการทดลองดังตาราง 4.2

ตาราง 4.2 ผลการทดลองในแต่ละระดับอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนของการทดลองครั้งที่ 1

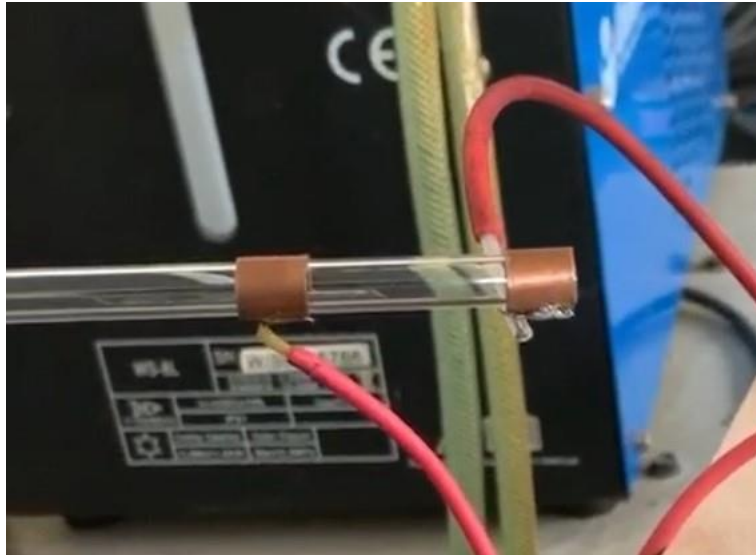
อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน (ลิตรต่อนาที)	ผลการทดลอง
5	ไม่เกิดการอาร์ค
10	ไม่เกิดการอาร์ค
15	ไม่เกิดการอาร์ค

4.1.1 ปัญหาที่พบจากการทดลองครั้งที่ 1

จากผลการทดลองครั้งที่ 1 พบว่ายังไม่เกิดการอาร์ค (Electric Arc) ของขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 2 ขั้ว ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากลักษณะของทองแดงที่ทำขึ้นเพื่อนำมาสวมหลอดโบโรซิลิเกต (Borosilicate Glass Tube) นั้นยังไม่แนบกับหลอดโบโรซิลิเกตจึงทำให้เกิดสนามไฟฟ้าภายในหลอดโบโรซิลิเกต (Borosilicate Glass Tube) ได้ยาก

4.2 การทดลองครั้งที่ 2

จากที่ได้ทำการทดลองครั้งที่ 1 นั้นทำให้พบว่าลักษณะของทองแดงที่นำมาเป็นขั้วอิเล็กโทรดของทั้ง 2 ขั้ว นั้นยังไม่แนบกับหลอดโบโรซิลิเกต (Borosilicate Glass Tube) เท่าที่ควรทำให้เกิดสนามไฟฟ้าภายในหลอดโบโรซิลิเกต (Borosilicate Glass Tube) ได้ยาก ผู้วิจัยจึงได้ทำการเปลี่ยนทองแดงที่ขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 2 ขั้ว โดยการนำแผ่นทองแดงความหนา 0.5 มิลลิเมตร มาทำการตัด โดยทำการตัดแผ่นทองแดงให้เป็นทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน 8 มิลลิเมตร และมีขนาดความสูง 1.5 เซนติเมตร เพื่อที่จะนำมาทำเป็นแหวนสวมกับหลอดโบโรซิลิเกต (Borosilicate Glass Tube) และใช้เป็นขั้วอิเล็กโทรด ดังภาพ 4.5



ภาพ 4.5 ลักษณะขั้วอิเล็กโทรดจากแผ่นทองแดงที่นำมาตัด

ทำการทดลองครั้งที่ 2 โดยได้ทำการใส่ขั้วอิเล็กโทรดขั้วบวกเข้าไปที่หลอดโบโรซิลิเกต (Borosilicate Glass Tube) ก่อนแล้วจึงใส่ขั้วอิเล็กโทรดขั้วกราวด์ ซึ่งขั้วอิเล็กโทรดขั้วกราวด์จะอยู่ที่ฝั่งปลายหลอดโบโรซิลิเกต (Borosilicate Glass Tube) และอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนที่ใช้ทั้งหมดมี 3 ระดับ เพื่อทดสอบการเกิดในแต่ละระดับของอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน ซึ่งได้ผลการทดลองดังตาราง 4.3

ตาราง 4.3 ผลการทดลองในแต่ละระดับอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนของการทดลองครั้งที่ 2

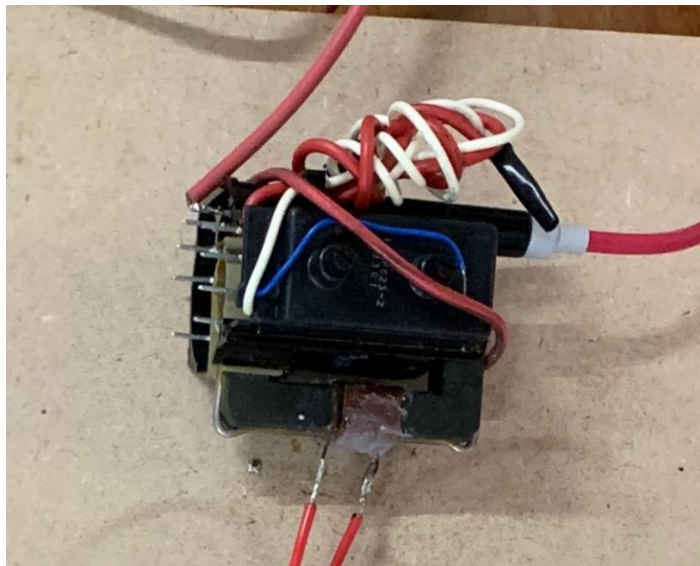
อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน (ลิตรต่อนาที)	ผลการทดลอง
5	ไม่เกิดการอาร์ค
10	ไม่เกิดการอาร์ค
15	ไม่เกิดการอาร์ค

4.2.1 ปัญหาที่พบจากการทดลองครั้งที่ 2

จากผลการทดลองครั้งที่ 2 พบว่ายังไม่เกิดการอาร์ค (Electric Arc) ของขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 2 ขั้ว ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุที่มาจากค่าแรงดันไฟฟ้า (V_{out}) ที่ออกมาจากวงจรนั้นยังมีค่าไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าภายในหลอดโบโรซิลิเกต (Borosilicate Glass Tube) และการเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ของขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 2 ขั้ว

4.3 การทดลองครั้งที่ 3

จากการทดลองครั้งที่ 2 พบว่ายังไม่เกิดการอาร์ค (Electric Arc) ของขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 2 ขั้ว เนื่องจากปัญหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่ไม่เพียงพอจึงทำให้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการเพิ่มค่าแรงดันไฟฟ้าในวงจรเพิ่มและพบว่ามีฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) ยี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น 334B07403 ซึ่งสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตได้มากกว่า 8 กิโลโวลต์ โดยอ้างอิงจากงานวิจัยการออกแบบแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต้นแบบของคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จึงทำให้ผู้วิจัยได้ทำการหาและจัดซื้อฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) ยี่ห้อและรุ่นดังกล่าวมาเพื่อใช้ในการทดลองครั้งที่ 3 โดยได้นำฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) ยี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น 334B07403 ที่ได้ทำการจัดซื้อมานั้นมาทำการพันขดลวด โดยขดลวดที่ใช้ในการพันนั้นเป็นเส้นลวดทองแดงอาบน้ำมันยาขนาด 0.2 มิลลิเมตร ใช้ทั้งหมด 9 เส้น ในการทำขดลวด ซึ่งจำนวนรอบที่ใช้ในการพันรอบแกนปฐุมภูมินั้นได้ทำการอ้างอิงตามเล่มวิจัยของคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยทำการพันขดลวดรอบแกนปฐุมภูมิเป็นจำนวน 16 รอบ และหยุดด้วยกาวซิลิโคนบริเวณที่พันขดลวดรอบแกนปฐุมภูมิ ดังภาพ 4.6



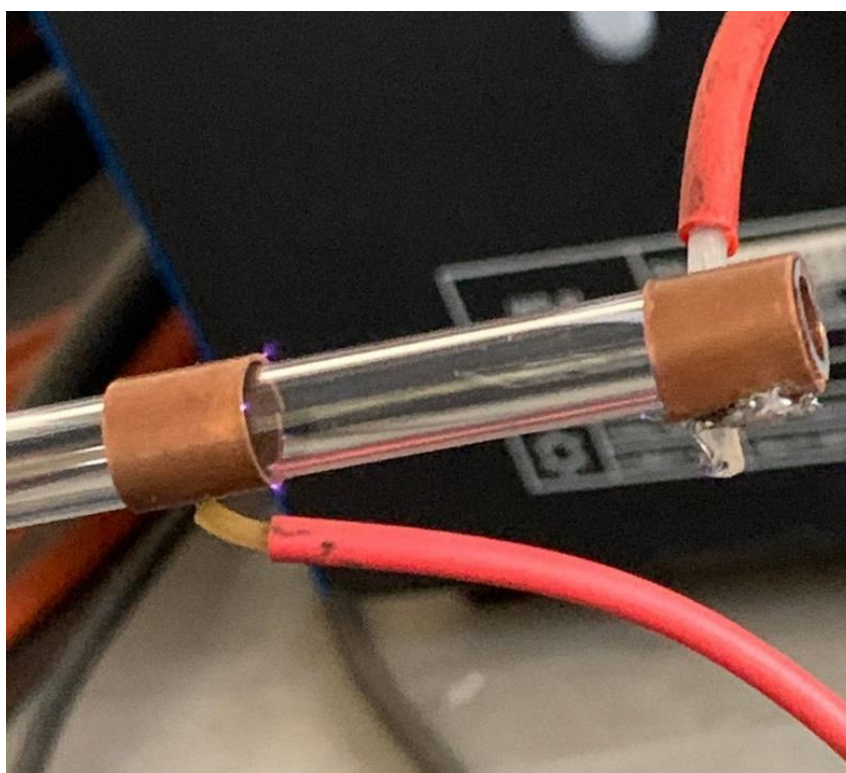
ภาพ 4.6 ลักษณะการพันขดลวดบริเวณแกนปฐุมภูมิและลักษณะการหยุดกาวซิลิโคน

เมื่อกาวซิลิโคนแห้ง จึงได้ทำการวัดค่าแรงดันทางไฟฟ้า โดยใช้โปรบวัดค่าไฟฟ้าแรงดันสูงที่อัตราส่วน 1 : 1,000 กับ มัลติมิเตอร์ (Multimeter) พบว่ามีค่าแรงดันทางไฟฟ้าของวงจรอยู่ที่ 2.7 กิโลโวลต์ ซึ่งไม่ตรงตามเล่มวิจัยของคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จึงได้ทำการทดลองครั้งที่ 3 โดยได้ทำการใส่ขั้วอิเล็กโทรดขั้วบวกเข้าไปที่

หลอดโบโรซิลิเกต (Borosilicate Glass Tube) ก่อนแล้วจึงใส่ขั้วอิเล็กโทรดชั่วคราว ซึ่งขั้วอิเล็กโทรดชั่วคราวจะอยู่ที่ฝั่งปลายหลอดโบโรซิลิเกต (Borosilicate Glass Tube) และอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนที่ใช้ทั้งหมดมี 3 ระดับ เพื่อทดสอบการเกิดในแต่ละระดับของอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน ซึ่งได้ผลการทดลองดังตาราง 4.4 โดยจากการทดลองครั้งที่ 3 พบว่าเริ่มเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดแต่เป็นการอาร์ค (Electric Arc) นอกหลอดโบโรซิลิเกต (Borosilicate Glass Tube) ซึ่งเป็นการอาร์ค (Electric Arc) ในปริมาณที่ต่ำ ดังภาพ 4.7

ตาราง 4.4 ผลการทดลองในแต่ละระดับอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนของการทดลองครั้งที่ 3

อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน (ลิตรต่อนาที)	ผลการทดลอง
5	เริ่มเกิดการอาร์ค
10	เริ่มเกิดการอาร์ค
15	เริ่มเกิดการอาร์ค



ภาพ 4.7 ผลการทดลองครั้งที่ 3

4.3.1 ปัญหาที่พบจากการทดลองครั้งที่ 3

จากผลการทดลองครั้งที่ 3 พบว่าเริ่มเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ระหว่างขั้วอิเล็กทรอนิกส์แต่เป็นการอาร์ค (Electric Arc) นอกหลอดโบโรซิลิเกต (Borosilicate Glass Tube) และเป็นการอาร์ค (Electric Arc) ในปริมาณที่ต่ำเพราะค่าแรงดันไฟฟ้า (V_{out}) ที่วงจรสามารถสร้างได้นั้นน้อยเกินไปจึงทำให้เกิดสนามไฟฟ้าภายในหลอดโบโรซิลิเกต (Borosilicate Glass Tube) เนื่องจากค่าความคงทนไดอิเล็กทริก (Dielectric Strength) ของหลอดโบโรซิลิเกต (Borosilicate Glass Tube) นั้นมีค่าสูงกว่าแรงดันไฟฟ้า (V_{out}) ที่วงจรสามารถสร้างได้ จึงจำเป็นต้องใช้ค่าแรงดันทางไฟฟ้าที่สูงขึ้นเพื่อให้เกิดการอาร์ค (Electric Arc) ในปริมาณที่สูงขึ้นรวมถึงเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ภายในหลอดโบโรซิลิเกต (Borosilicate Glass Tube) และนอกจากนี้ทางผู้วิจัยพบว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino Mega 2560) ที่ใช้ควบคุมความถี่และเปอร์เซ็นต์ดีวตี้ไซเคิลนั้นไม่สามารถสั่งการควบคุมวงจรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถทำได้นั้นอยู่ในปริมาณที่ต่ำกว่าที่ควรจะเป็น

4.4 การทดลองครั้งที่ 4

จากการทดลองครั้งที่ 3 ที่พบว่าเริ่มเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ระหว่างขั้วอิเล็กทรอนิกส์แต่เป็นการอาร์ค (Electric Arc) ในปริมาณที่ต่ำ ซึ่งลักษณะที่เริ่มเกิดการอาร์ค (Electric Arc) นั้นพบว่าการเกิดภายนอกหลอดโบโรซิลิเกต (Borosilicate Glass Tube) เนื่องมาจากปัจจัยของค่าความคงทนไดอิเล็กทริก (Dielectric Strength) ของหลอดโบโรซิลิเกต (Borosilicate Glass Tube) และปัจจัยของวงจรที่ใช้ในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino Mega 2560) ที่ใช้ควบคุมความถี่และเปอร์เซ็นต์ดีวตี้ไซเคิลนั้นไม่สามารถสั่งการควบคุมวงจรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการแก้ไขปัญหาโดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวปรับความถี่และเปอร์เซ็นต์ดีวตี้ไซเคิล ซึ่งจากเดิมที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino Mega 2560) ทำการเปลี่ยนเป็นวงจรกำเนิดสัญญาณแบบรวมเข้ากับ NE 555 ดังภาพ 4.8



ภาพ 4.8 วงจรกำเนิดสัญญาณแบบรวมเข้ากับ NE 555

จากนั้นได้ทำการปรับค่าความถี่และค่าเปอร์เซ็นต์ดีวตีไซเคิลของวงจรกำเนิดสัญญาณแบบรวมเข้ากับ NE 555 ซึ่งได้ทำการวัดค่าไฟฟ้าแรงดันสูง โดยใช้โปรบวัดค่าไฟฟ้าแรงดันสูงที่อัตราส่วน 1 : 1,000 กับ มัลติมิเตอร์ (Multimeter) ซึ่งผลจากการปรับค่าความถี่และค่าเปอร์เซ็นต์ดีวตีไซเคิลนั้นทำให้ได้ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงที่สุดอยู่ที่ 28 กิโลโวลต์ จึงทำให้ต้องเปลี่ยนแปลงแบบโครงสร้างที่ใช้ในการประกอบชุดควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ โดยทำการเปลี่ยนในส่วนของโปรบกำเนิดพลาสมาจากเดิมที่ใช้คือ หลอดโบโรซิลิเกต (Borosilicate Glass Tube) ทำการเปลี่ยนเป็นหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) โดยใช้หลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) ขนาดเดียวกันกับหลอดโบโรซิลิเกต (Borosilicate Glass Tube) ซึ่งสาเหตุที่เลือกใช้หลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) เพราะเนื่องจากค่าแรงดันไฟฟ้าที่สูงมากจะทำให้โปรบกำเนิดพลาสมาได้รับความร้อนจากการอาร์ค (Electric Arc) ของขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้ว โดยเป็นความร้อนสะสมในปริมาณที่สูงมากจึงจำเป็นต้องใช้โปรบกำเนิดพลาสมาที่สามารถทนความร้อนได้สูงมากกว่าเดิม ซึ่งหลอดโบโรซิลิเกต (Borosilicate Glass Tube) ไม่สามารถทนความร้อนได้ดีเท่ากับหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) และเพื่อเป็นการลดค่าความคงทนไดอิเล็กทริก (Dielectric Strength) ในส่วนของโปรบกำเนิดพลาสมาจึงเลือกใช้หลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) เพราะมีค่าความคงทนไดอิเล็กทริก (Dielectric Strength) ต่ำกว่าหลอดโบโรซิลิเกต (Borosilicate Glass Tube) มาก ซึ่งลักษณะของหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) นั้นมีลักษณะดังภาพ 4.9

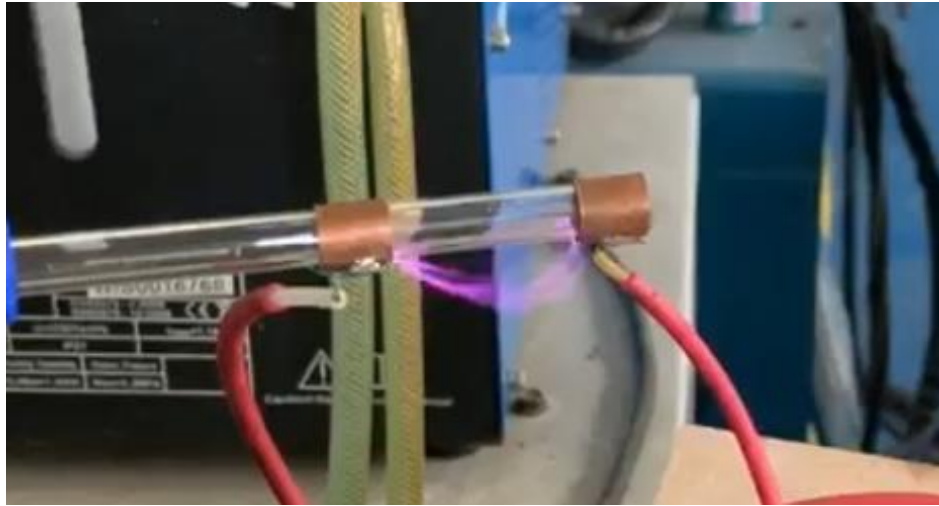


ภาพ 4.9 หลอดแก้วควอตซ์

โดยได้ทำการใส่ขั้วอิเล็กโทรดขั้วบวกเข้าไปก่อนแล้วจึงได้ใส่ขั้วอิเล็กโทรดขั้วกรวดเข้าไปที่หลังซึ่งขั้วอิเล็กโทรดขั้วกรวดจะอยู่ที่ฝั่งปลายหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) โดยอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนที่ใช้ทั้งหมดมี 3 ระดับ เพื่อทดสอบการเกิดในแต่ละระดับของอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน ซึ่งได้ผลการทดลองดังตาราง 4.5 และทำให้ได้ผลการทดลองดังภาพ 4.10

ตาราง 4.5 ผลการทดลองในแต่ละระดับอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนของการทดลองครั้งที่ 4

อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน (ลิตรต่อนาที)	ผลการทดลอง
5	เกิดการอาร์ค
10	เกิดการอาร์ค
15	เกิดการอาร์ค



ภาพ 4.10 ผลการทดลองครั้งที่ 4

จากภาพ 4.10 จะเห็นได้ว่าการอาร์ค (Electric Arc) ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดในปริมาณที่สูงกว่าการทดลองครั้งที่ 3 แต่ยังเป็นเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ภายนอกโพรบกำเนดพลาสมา

4.4.1 ปัญหาที่พบจากการทดลองครั้งที่ 4

จากผลการทดลองครั้งที่ 4 พบว่าการอาร์ค (Electric Arc) ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดแต่เป็นการอาร์ค (Electric Arc) ภายนอกหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) เนื่องจากอิเล็กตรอนวิ่งในตัวกลางที่เป็นอากาศไปหาขั้วอิเล็กโทรดชั่วคราวได้ง่ายกว่าการวิ่งภายในหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) ที่มีตัวกลางเป็นก๊าซอาร์กอน และนอกจากนี้ซึ่งระบายความร้อนของ Mosfet IRF630A ที่ใช้อยู่นั้นมีขนาดเล็กเกินไปทำให้ระบายความร้อนได้ไม่ดี ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ Mosfet IRF630A หลังจากการทดลองครั้งที่ 4 นี้เสีย โดยทางผู้วิจัยจึงได้ทำการจัดหา Mosfet IRF630A และเปลี่ยนซึ่งระบายความร้อนของ Mosfet IRF630A ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นดังภาพ 4.11



ภาพ 4.11 ซึ่งระบายความร้อนของ Mosfet IRF630A ที่ได้ทำการเปลี่ยน

4.5 การทดลองครั้งที่ 5

จากการทดลองครั้งที่ 4 พบว่าเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดแต่เป็นการอาร์ค (Electric Arc) ภายนอกหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบฉนวนที่มีน้ำหนักเบาและมีค่าความคงทนไดอิเล็กทริก (Dielectric Strength) สูงและสามารถทนความร้อนได้จึงทำให้เลือกใช้ฉนวนเป็นซูเปอร์ลีน (Superlene) โดยได้ทำการออกแบบเป็นวงกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร โดยเจาะรูตรงกลางให้มีขนาด 8 มิลลิเมตร และมีความหนา 1 เซนติเมตร ซึ่งมีลักษณะดังภาพ 4.12



ภาพ 4.12 ฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน

หลังจากนั้นนำฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) ที่ได้ทำการออกแบบมาแล้วนำมาสวมใส่กับหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) โดยให้ฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) นั้นอยู่ที่กึ่งกลางระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้ว เพื่อเพิ่มระยะให้สามารถเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ในอากาศได้ยากขึ้นดังภาพ 4.13 โดยทำการเว้นระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรดขั้วบนให้ห่างจากฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) เพื่อไม่ให้เกิดการอาร์ค (Electric Arc) ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 2 ขั้ว ในลักษณะการอาร์ค (Electric Arc) แบบข้ามฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) แล้วจึงทำการทดลอง โดยทำการใส่ขั้วอิเล็กโทรดขั้วบนเข้าไปที่หลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) ก่อนแล้วจึงใส่ขั้วอิเล็กโทรดขั้วกราวด์ ซึ่งขั้วอิเล็กโทรดขั้วกราวด์จะอยู่ที่ฝั่งปลายหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) โดยอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนที่ใช้ทั้งหมดมี 3 ระดับ เพื่อทดสอบการเกิดในแต่ละระดับของอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน ซึ่งได้ผลการทดลองดังตาราง 4.6

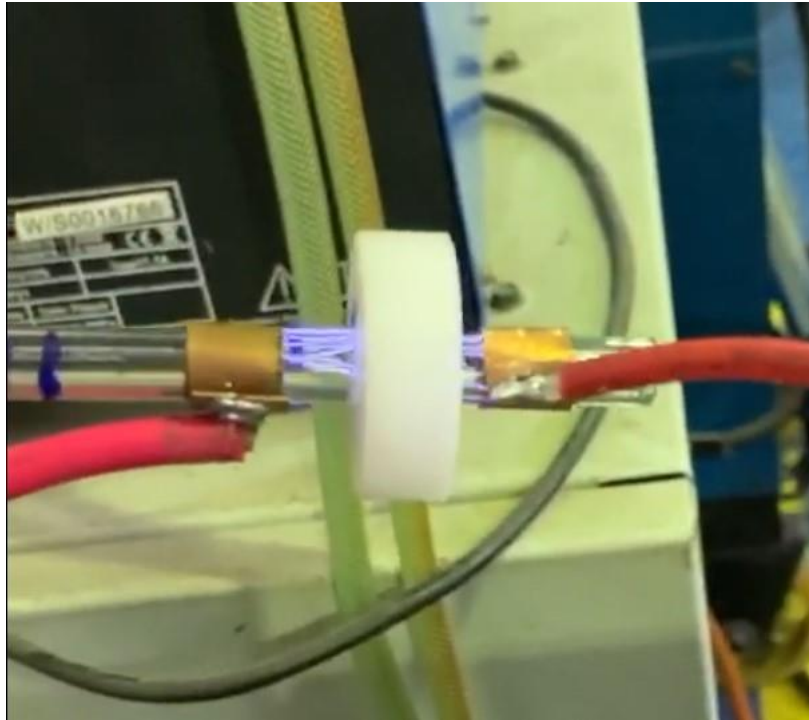


ภาพ 4.13 โพรบก้านนิตพลาสมาของการทดลองครั้งที่ 5

ตาราง 4.6 ผลการทดลองในแต่ละระดับอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนของการทดลองครั้งที่ 5

อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน (ลิตรต่อนาที)	ผลการทดลอง
5	เกิดการอาร์ค
10	เกิดการอาร์ค
15	เกิดการอาร์ค

จากการทดลองครั้งที่ 5 พบว่าเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ภายในอากาศระหว่างหัวอิเล็กโทรดทั้ง 2 หัว โดยเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ในลักษณะแบบลอดผ่านฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) ดังภาพ 4.14



ภาพ 4.14 ผลการทดลองครั้งที่ 5

4.5.1 ปัญหาที่พบจากการทดลองครั้งที่ 5

จากผลการทดลองครั้งที่ 5 พบว่าเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ภายในอากาศระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 2 ขั้ว โดยเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ในลักษณะแบบลอดผ่านฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlens) ซึ่งสาเหตุมาจากฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlens) มีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในที่เจาะไว้สำหรับใช้สวมกับหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) มีขนาดใหญ่กว่าจึงไม่พอดีกับหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) จึงทำให้เกิดการอาร์ค (Electric Arc) ภายในอากาศระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 2 ขั้ว ในลักษณะแบบลอดผ่านฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlens) ได้ และนอกจากการเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ในลักษณะแบบลอดผ่านนี้ยังทำให้ฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlens) นั้นเกิดการเผาไหม้ระหว่างทำการทดลองดังภาพ 4.15 ซึ่งการเผาไหม้นี้ทำให้ฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlens) เกิดการละลายติดกับหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) และไม่สามารถนำฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlens) ที่เกิดการเผาไหม้แล้วมาใช้งานต่อได้เพราะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เจาะไว้สำหรับสวมกับหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) ให้พอดีนั้นจะมีขนาดกว้างขึ้นกว่าเดิม โดยสาเหตุการเผาไหม้และการเกิดการละลายของฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlens) เป็นผลเนื่องมาจากการเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 2 ขั้ว ในอากาศที่ลอดผ่านได้ระหว่างซูเปอร์ลีน (Superlens) กับหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube)



ภาพ 4.15 ฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีนที่เกิดการเผาไหม้

4.6 การทดลองครั้งที่ 6

จากการทดลองครั้งที่ 5 ที่พบว่าเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ภายในอากาศระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 2 ขั้ว โดยเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ในลักษณะแบบลอดผ่านฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) ซึ่งสาเหตุมาจากฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) มีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในที่เจาะไว้สำหรับใช้สวมกับหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) มีขนาดใหญ่กว่าจึงไม่พอดีกับหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) จึงทำให้ผู้วิจัยแก้ปัญหาโดยการเลื่อนขั้วอิเล็กโทรดขั้วบวกที่อยู่ด้านในไปใกล้กับบริเวณข้อต่อลมและทำการทดลองครั้งที่ 6 โดยอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนที่ใช้ทั้งหมดมี 3 ระดับ เพื่อทดสอบการเกิดในแต่ละระดับของอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน ซึ่งได้ผลการทดลองดังตาราง 4.7 พบว่าเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ภายในหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) แต่เป็นการเกิดระหว่างขั้วอิเล็กโทรดขั้วบวกกับข้อต่อลมและเกิดเป็นพลาสมาเจ็ตที่ปลายโพรบก้านนิดพลาสมาดังภาพ 4.16

ตาราง 4.7 ผลการทดลองในแต่ละระดับอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนของการทดลองครั้งที่ 6

อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน (ลิตรต่อนาที)	ผลการทดลอง
5	เกิดการอาร์คภายใน
10	เกิดการอาร์คภายใน
15	เกิดการอาร์คภายใน



ภาพ 4.16 ผลการทดลองครั้งที่ 6

4.6.1 ปัญหาที่พบจากการทดลองครั้งที่ 6

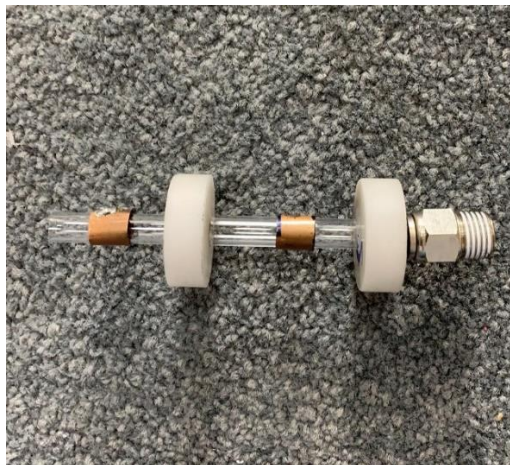
จากผลการทดลองครั้งที่ 6 พบว่าเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดขั้วบวกกับข้อต่อลมและเกิดเป็นพลาสมาเจ็ต ซึ่งจากการที่ขั้วอิเล็กโทรดขั้วบวกกับข้อต่อลมเกิดการอาร์ค (Electric Arc) กันส่งผลให้ข้อต่อลมเกิดการเผาไหม้ของตัวพลาสติกดังภาพ 4.17 เนื่องจากค่าแรงดันทางไฟฟ้าที่สูงมากจึงทำให้เกิดความร้อน ซึ่งทำให้พลาสติกที่ตัวของข้อต่อลมเกิดการเผาไหม้และละลาย



ภาพ 4.17 ข้อต่อลมที่เกิดการเผาไหม้

4.7 การทดลองครั้งที่ 7

จากการทดลองครั้งที่ 6 พบว่าเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดขั้วบวกกับขั้วต่อลมและเกิดเป็นพลาสมาเจ็ต ผู้วิจัยได้ทำการแก้ปัญหาโดยการเพิ่มฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) รวมมีฉนวนกันทั้งหมด 2 ตัว โดยทำการใส่ไว้ที่หลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) ที่เป็นโพรบกำเนิดพลาสมา โดยตัวที่หนึ่งมีระยะชิดกับขั้วต่อลมแล้วจึงใส่ขั้วอิเล็กโทรดขั้วบวก ซึ่งขั้วอิเล็กโทรดขั้วบวกที่นำมาใส่นั้นทำการเว้นระยะห่างจากฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) บริเวณขั้วต่อลมเพื่อไม่ให้เกิดการอาร์ค (Electric Arc) ระหว่างขั้วต่อลมกับขั้วอิเล็กโทรดขั้วบวกในลักษณะแบบข้ามฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) แล้วจึงทำการสวมใส่ฉนวนตัวที่สองที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) อีกตัวโดยทำหน้าที่เป็นฉนวนกันระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 2 ขั้ว เพื่อไม่ให้เกิดการอาร์ค (Electric Arc) ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 2 ขั้ว ในลักษณะการเกิดการอาร์ค (Electric Arc) แบบภายนอกหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) ซึ่งหลังจากทำการสวมใส่ฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) ทั้ง 2 ตัว และขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 2 ขั้ว ที่หลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) ที่เป็นโพรบกำเนิดพลาสมาจะได้โพรบกำเนิดพลาสมาดังภาพ 4.18



ภาพ 4.18 โพรบกำเนิดพลาสมาของการทดลองครั้งที่ 7

หลังจากได้โพรบกำเนิดพลาสมาดังภาพ 4.18 แล้วผู้วิจัยได้ทำการทดลองครั้งที่ 7 โดยมีอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนที่ใช้ทั้งหมดมี 3 ระดับ เพื่อทดสอบการเกิดในแต่ละระดับของอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน ซึ่งได้ผลการทดลองดังตาราง 4.8 พบว่าในระยะที่ขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 2 ขั้ว ไม่เกิดการอาร์ค (Electric Arc) ในลักษณะแบบข้ามฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) แล้วนั้นจะทำให้เกิดการอาร์ค (Electric Arc) บริเวณขากราวด์ของตัวฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) แทน ซึ่งบริเวณโพรบกำเนิดพลาสมาพบว่าไม่เกิดการอาร์ค (Electric Arc)

ตาราง 4.8 ผลการทดลองในแต่ละระดับอัตราการใช้ของก๊าซอาร์กอนของการทดลองครั้งที่ 7

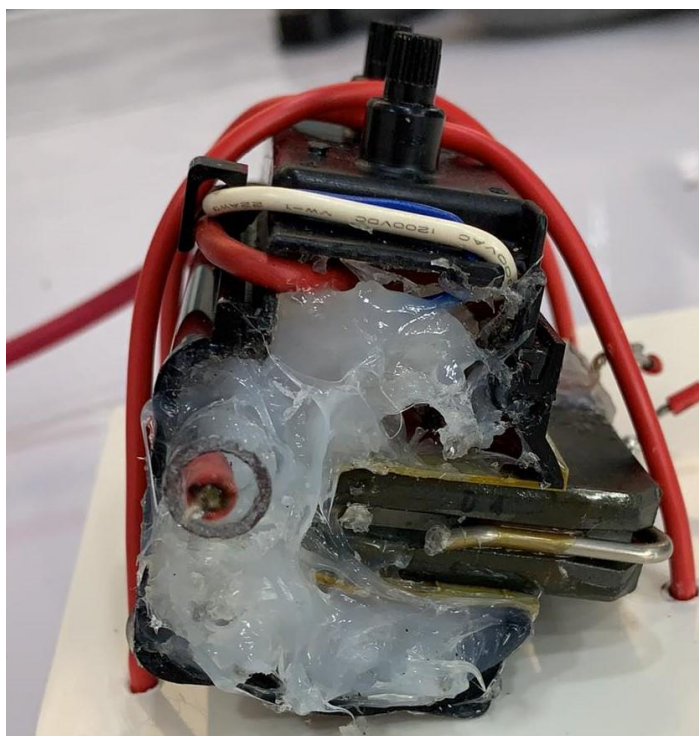
อัตราการใช้ของก๊าซอาร์กอน (ลิตรต่อนาที)	ผลการทดลอง
5	เกิดการอาร์คบริเวณขากรวด
10	เกิดการอาร์คบริเวณขากรวด
15	เกิดการอาร์คบริเวณขากรวด

4.7.1 ปัญหาที่พบจากการทดลองครั้งที่ 7

จากผลการทดลองครั้งที่ 7 นั้นเกิดการอาร์ค (Electric Arc) บริเวณขากรวดของตัวฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) ซึ่งเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ในลักษณะการอาร์ค (Electric Arc) กับขาคู่อื่นของตัวฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ไม่เกิดการอาร์ค (Electric Arc) บริเวณที่เป็นโพรบกำเนิดพลาสมาเพราะเกิดการแบ่งค่าแรงดันทางไฟฟ้ามาที่ขากรวด

4.8 การทดลองครั้งที่ 8

จากการทดลองครั้งที่ 7 ที่พบปัญหาเกิดการอาร์ค (Electric Arc) บริเวณขากรวดของตัวฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) ซึ่งเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ในลักษณะการอาร์ค (Electric Arc) กับขาคู่อื่นของตัวฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) ผู้วิจัยจึงได้หาวิธีการที่จะแก้ไขปัญหาดังกล่าวเพื่อไม่ให้เกิดการอาร์ค (Electric Arc) กับขาคู่อื่นของตัวฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) โดยได้ทำการตัดหลอดโบโรซิลิเกต (Borosilicate Glass Tube) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ให้มีความยาว 3 เซนติเมตร แล้วนำมาสวมบริเวณที่เป็นขากรวดของตัวฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) เพราะเนื่องจากหลอดโบโรซิลิเกต (Borosilicate Glass Tube) นั้นมีค่าความคงทนไดอิเล็กทริก (Dielectric Strength) สูงทำให้สามารถนำมาเป็นฉนวนบริเวณขากรวดของตัวฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) ได้ โดยได้ทำการยึดขากรวดเข้ากับตัวฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) ผ่านกาวซิลิโคน เนื่องจากกาวซิลิโคนมีค่าความคงทนไดอิเล็กทริก (Dielectric Strength) สูงกว่ากาวธรรมดา ซึ่งจากการทำฉนวนที่ขากรวดของตัวฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) ดังกล่าวจะได้ฉนวนที่ขากรวดของตัวฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) ดังภาพ 4.19



ภาพ 4.19 การทำฉนวนที่ขากราวด์ของตัวฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

จากนั้นจึงได้ทำการทดลองโดยใช้โพรบก้านนิดพลาสมาแบบเดียวกันกับการทดลองครั้งที่ 7 โดยอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนที่ใช้ทั้งหมดมี 3 ระดับ เพื่อทดสอบการเกิดในแต่ละระดับของอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน ซึ่งได้ผลการทดลองดังตาราง 4.9 ซึ่งจากการทดลองครั้งที่ 8 พบว่าเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ของขั้วอิเล็กโทรดขั้วบวกกับตัวข้อต่อลม โดยเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ในลักษณะแบบลอดผ่านฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) แล้วอาร์ค (Electric Arc) กับตัวข้อต่อลมเกิดเป็นพลาสมาเจ็ตที่ปลายโพรบก้านนิดพลาสมา

ตาราง 4.9 ผลการทดลองในแต่ละระดับอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนของการทดลองครั้งที่ 8

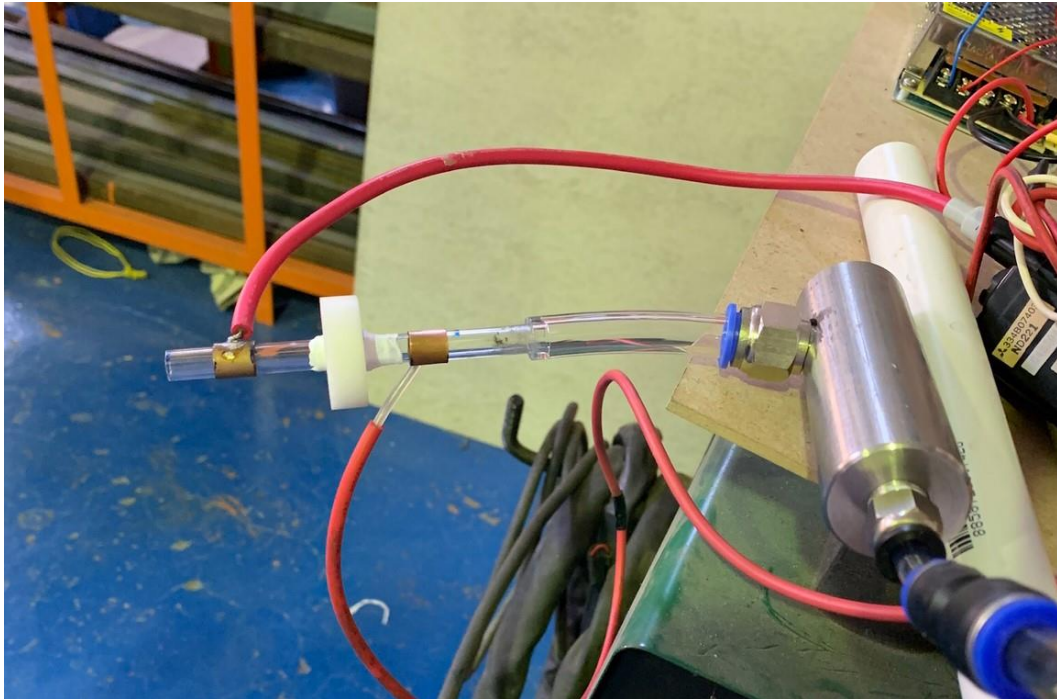
อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน (ลิตรต่อนาที)	ผลการทดลอง
5	เกิดการอาร์คภายใน
10	เกิดการอาร์คภายใน
15	เกิดการอาร์คภายใน

4.8.1 ปัญหาที่พบจากการทดลองครั้งที่ 8

จากผลการทดลองครั้งที่ 8 พบว่าเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ของขั้วอิเล็กโทรดขั้วบวกกับตัวข้อต่อลม โดยเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ในลักษณะแบบลอดผ่านฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) แล้วอาร์ค (Electric Arc) กับตัวข้อต่อลมเกิดเป็นพลาสมาเจ็ตที่ปลายโพรบก้านนิโคพลาสติก ซึ่งสาเหตุมาจากค่าแรงดันทางไฟฟ้าที่สูงและฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) นั้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในที่เจาะเพื่อนำมาสวมกับหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) มีขนาดไม่พอดีกัน โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในที่เจาะของฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) นั้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งเป็นค่าที่คลาดเคลื่อนจากการเจาะซูเปอร์ลีน (Superlene) โดยคลาดเคลื่อนประมาณ 0.005 มิลลิเมตร จึงทำให้อิเล็กตรอนสามารถวิ่งผ่านไปยังตัวข้อต่อลมและเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ได้ ซึ่งเมื่อทำการแก้ไขปัญหาโดยการเลื่อนขั้วอิเล็กโทรดขั้วบวกให้ห่างจากฝั่งตัวข้อต่อลมผู้วิจัยพบว่าขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 2 ขั้ว เกิดการอาร์ค (Electric Arc) กันภายนอกหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) โดยเกิดในลักษณะแบบอ้อมฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene)

4.9 การทดลองครั้งที่ 9

จากการทดลองครั้งที่ 8 พบว่าเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ของขั้วอิเล็กโทรดขั้วบวกกับตัวข้อต่อลม โดยเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ในลักษณะแบบลอดผ่านฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) แล้วอาร์ค (Electric Arc) กับตัวข้อต่อลมเกิดเป็นพลาสมาเจ็ตที่ปลายโพรบก้านนิโคพลาสติก ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการแก้ไขปัญหามาโดยการเปลี่ยนแปลงแบบโครงสร้างที่ใช้ในการประกอบชุดควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ ซึ่งได้ทำการเปลี่ยนในส่วนของตัวข้อต่อลมที่ใช้ต่อเพื่อเชื่อมระหว่างสายลมพียู (Polyurethane Tube) เข้ากับหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) โดยทำการต่อหลอดแก้วควอตซ์เข้ากับสายลมพียู (Polyurethane Tube) ขนาด 8×12 โดยตรงแทนดังภาพ 4.20



ภาพ 4.20 การต่อชุดควบคุมอัตราการไหลก๊าซของการทดลองครั้งที่ 9

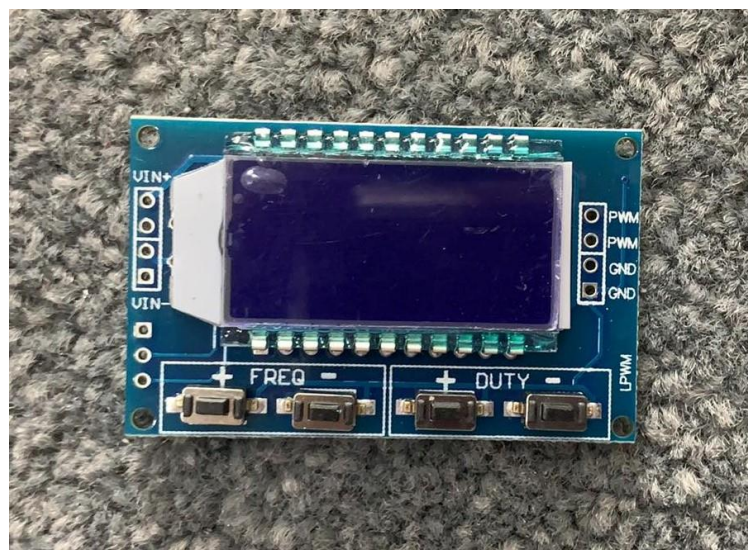
จากนั้นจึงได้ทำการทดลองครั้งที่ 9 ซึ่งในการทดลองครั้งที่ 9 นี้ได้ใช้โปรבק้าเนดพลาสติกแบบเดียวกันกับการทดลองครั้งที่ 7 แต่ได้นำฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) บริเวณที่ใช้กันระหว่างตัวข้อต่อลมกับหัวอิเล็กโทรดหัวบวออกและได้ใช้เทปพันเกลียวพันบริเวณรอบรูที่เจาะของซูเปอร์ลีน (Superlene) ซึ่งเป็นรูที่เจาะไว้สำหรับสวมหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) เพื่อไม่ให้เกิดช่องว่างระหว่างซูเปอร์ลีน (Superlene) กับหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) โดยอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนที่ใช้นั้นอยู่ที่ 15 ลิตรต่อนาที ซึ่งจากการทดลองพบว่าไม่เกิดสนามไฟฟ้าภายในหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) ตามที่ต้องการ

4.9.1 ปัญหาที่พบจากการทดลองครั้งที่ 9

จากผลการทดลองครั้งที่ 9 พบว่าไม่เกิดสนามไฟฟ้าภายในหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) เนื่องจากเส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) มีขนาดอาจไม่สัมพันธ์กันกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่วงจรสามารถผลิตได้ โดยหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) ที่ใช้อยู่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ซึ่งขนาดของหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) ยิ่งมากก็จำเป็นต้องใช้ที่ต้องใช้ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงตามด้วย โดยมีสมมุติฐานว่าค่าแรงดันไฟฟ้าที่วงจรสามารถผลิตได้ อาจไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าภายในหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตรได้

4.10 การทดลองครั้งที่ 10

จากการทดลองครั้งที่ 9 พบว่าไม่เกิดการอาร์ค (Electric Arc) ของขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 2 ขั้ว ผู้วิจัยจึงได้ทำการเปลี่ยนแปลงแบบโครงสร้างที่ใช้ในการประกอบชุดควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ ซึ่งได้ทำการเปลี่ยนในส่วนของหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) โดยทำการลดขนาดของหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) ที่ใช้ในการทดลองลงเป็นขนาด 4.2 มิลลิเมตร ที่ความยาว 10 เซนติเมตร โดยเป็นความยาวเดียวกันกับหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) ขนาด 8 มิลลิเมตร สาเหตุที่ลดขนาดของหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) ลงนั้นเพื่อให้สัมพันธ์กันกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่วงจรสามารถผลิตได้ และนอกจากนี้ได้ทำการเปลี่ยนวงจรกำเนิดสัญญาณแบบรวมเข้ากับ IC 555 เป็นตัวกำเนิดสัญญาณวงจรความถี่พัลส์แบบที่สามารถปรับค่าความถี่และค่าเปอร์เซ็นต์ดิวตีไซเคิลได้ผ่านโมดูลหน้าจอแสดงผลแบบแอลซีดีดังภาพ 4.21



ภาพ 4.21 ตัวกำเนิดสัญญาณวงจรความถี่พัลส์แบบที่สามารถปรับค่าความถี่และค่าเปอร์เซ็นต์ดิวตีไซเคิลได้ผ่านโมดูลหน้าจอแสดงผลแบบแอลซีดี

เนื่องจากวงจรกำเนิดสัญญาณแบบรวมเข้ากับ IC 555 ในการปรับค่าความถี่และเปอร์เซ็นต์ดิวตีไซเคิลนั้นไม่มีหน้าจอแสดงผลค่าความถี่และเปอร์เซ็นต์ดิวตีไซเคิลที่ทำการปรับ ซึ่งทำให้ยากต่อการปรับค่าเพื่อลดแรงดันไฟฟ้าในวงจรหรือเพิ่มแรงดันไฟฟ้าในวงจร โดยหลังจากที่ทำการเปลี่ยนตัวกำเนิดสัญญาณวงจรความถี่พัลส์แบบที่สามารถปรับค่าความถี่และค่าเปอร์เซ็นต์ดิวตีไซเคิลได้ผ่านโมดูลหน้าจอแสดงผลแบบแอลซีดีได้ทำวัดค่าแรงดันไฟฟ้าของวงจร โดยใช้โปรบวัดค่าไฟฟ้าแรงดันสูงที่อัตราส่วน 1 : 1,000 กับ มัลติมิเตอร์ (Multimeter) พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ตัวกำเนิดสัญญาณวงจรความถี่พัลส์แบบที่สามารถปรับค่าความถี่และค่าเปอร์เซ็นต์ดิวตีไซเคิลได้ผ่านโมดูลหน้า

จอแสดงผลแบบแอลซีดีสามารถผลิตได้มีค่าอยู่ที่ประมาณ 12 กิโลโวลต์ โดยใช้ความถี่ 93 กิโลเฮิรตซ์ และเปอร์เซ็นต์ดีวีซีไอเคิล 75 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ในการทดลองครั้งที่ 10 จึงใช้ค่าแรงดันไฟฟ้าในการทดลองอยู่ที่ 12 กิโลโวลต์ เพื่อให้ค่าแรงดันไฟฟ้าของวงจรมีค่ามากกว่าค่าความคงทนไดอิเล็กทริก (Dielectric Strength) ของหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) โดยในการทดลองครั้งที่ 10 ได้ทำการต่อหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) ขนาด 4 มิลลิเมตร เข้ากับข้อต่อลมที่เป็นตัวเชื่อมกับห้องพักก๊าซจากนั้นได้ทำการเปลี่ยนขนาดความยาวของทองแดงที่ใช้เป็นขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 2 ขั้ว เป็นความยาว 1 เซนติเมตร นอกจากนี้ยังได้ทำฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) ใหม่ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ทำการเจาะรูอยู่ที่ 4 มิลลิเมตร และมีความหนาเท่ากับขนาดหน้าตัดเท่าเดิม เพื่อใช้สวมกับหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) โดยจะทำการสวมฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) เป็นจำนวนทั้งหมด 2 ตัว จากนั้นจึงได้ทำการประกอบโปรบกำเหนิดพลาสมา โดยทำการสวมฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) ตัวแรกเข้าไปก่อนแล้วจึงทำการสวมขั้วอิเล็กโทรด ขั้วบวกหลังจากนั้นทำการสวมฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) ตัวที่สอง ซึ่งเป็นตัวกั้นระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 2 ขั้ว จากนั้นจึงทำการสวมขั้วอิเล็กโทรดขั้วกราวด์เป็นลำดับสุดท้าย ซึ่งขั้วอิเล็กโทรดขั้วกราวด์จะอยู่ที่ฝั่งปลายของหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) จึงทำให้ได้โปรบกำเหนิดพลาสมาดังภาพ 4.22 และทำการทดลองครั้งที่ 10 โดยอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนที่ใช้นั้น อยู่ที่ 15 ลิตรต่อนาที



ภาพ 4.22 โปรบกำเหนิดพลาสมาของการทดลองครั้งที่ 10

จากการทดลองครั้งที่ 10 พบว่าในระยะที่ขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 2 ขั้ว อยู่ห่างกันจนไม่สามารถเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ในลักษณะแบบอ้อมฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) ได้นั้นพบว่า

เกิดการอาร์ค (Electric Arc) ของขั้วอิเล็กโทรดขั้วบวกกับข้อต่อลมที่เป็นตัวเชื่อมกับห้องพักก๊าซ โดยมีลักษณะการอาร์ค (Electric Arc) แบบลอดผ่านฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) และเกิดเป็นพลาสมาเจ็ตที่ปลายโพรบก้านนิคพลาสมา

4.10.1 ปัญหาที่พบจากการทดลองครั้งที่ 10

จากผลการทดลองครั้งที่ 10 พบว่าเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ของขั้วอิเล็กโทรดขั้วบวกกับข้อต่อลมที่เป็นตัวเชื่อมกับห้องพักก๊าซ โดยมีลักษณะการอาร์ค (Electric Arc) แบบลอดผ่านฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) และเกิดเป็นพลาสมาเจ็ตที่ปลายโพรบก้านนิคพลาสมา ซึ่งสาเหตุมาจากขนาดฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) นั้นไม่พอดีกับหน้าตัดหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) ทำให้เมื่อสวมฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) ไปแล้วนั้นซูเปอร์ลีน (Superlene) ไม่แนบกับหน้าตัดหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) จึงทำให้สามารถเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ของขั้วอิเล็กโทรดขั้วบวกกับข้อต่อลมที่เป็นตัวเชื่อมกับห้องพักก๊าซได้

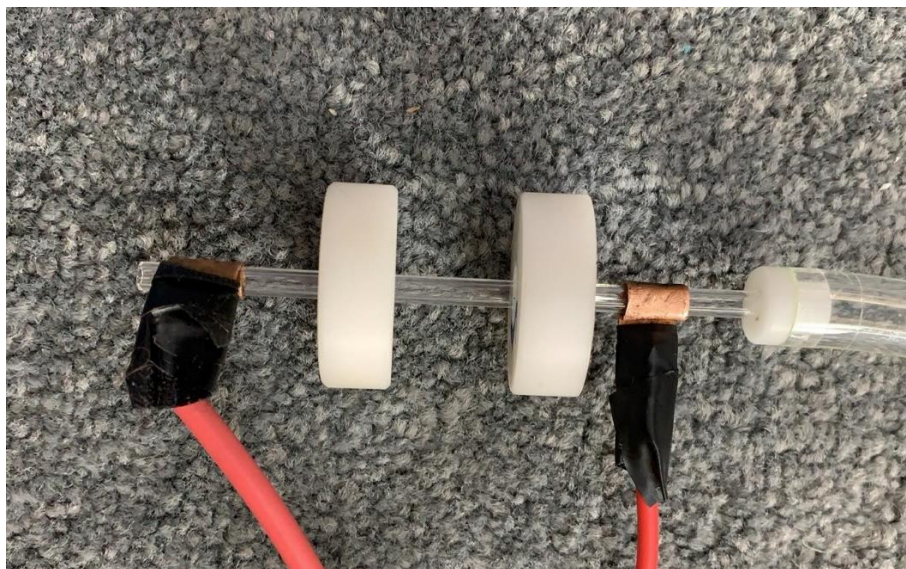
4.11 การทดลองครั้งที่ 11

จากการทดลองครั้งที่ 10 พบว่าเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ของขั้วอิเล็กโทรดขั้วบวกกับข้อต่อลมที่เป็นตัวเชื่อมกับห้องพักก๊าซ ซึ่งผู้วิจัยจึงได้ทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการเปลี่ยนแปลงแบบโครงสร้างที่ใช้ในการประกอบชุดควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ โดยการเปลี่ยนหัวข้อต่อลมที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างห้องพักก๊าซกับหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) จากเดิมที่ทำการต่อหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) เข้ากับตัวข้อต่อลมโดยตรงเป็นการต่อข้อต่อลมเข้ากับสายลมพียู (Polyurethane Tube) ขนาด 8×12 แทน จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการออกแบบหัวข้อต่อที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างสายลมพียู (Polyurethane Tube) ให้เข้ากับหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) โดยหัวข้อต่อดังกล่าวเป็นหัวข้อต่อที่ทำขึ้นจากซูเปอร์ลีน (Superlene) ซึ่งมีขนาดหน้าตัด 8 มิลลิเมตร ความหนาของหัวข้อต่อลมที่ทำขึ้นจากซูเปอร์ลีน (Superlene) คือ 3 เซนติเมตร โดยทำการเจาะรูตรงกลางให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร และทำการเจาะรูตรงกลางที่หน้าตัดอีกด้านของซูเปอร์ลีน (Superlene) โดยทำการเจาะรูตรงกลางให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นการเจาะแบบไม่ทะลุ โดยมีขนาดความหนา 2 เซนติเมตร และทำการลอกผิวข้อต่อลมซูเปอร์ลีน (Superlene) ด้านหน้าตัดที่เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร โดยทำการลอกผิวข้อต่อลมซูเปอร์ลีน (Superlene) ออก 2 มิลลิเมตร ที่ความหนา 2 เซนติเมตร เพื่อให้ข้อต่อลมซูเปอร์ลีน (Superlene) สามารถสวมเข้ากับสายลมพียู (Polyurethane Tube) ขนาด 8×12 ได้ ซึ่งจากการออกแบบข้อต่อลมที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) ดังกล่าวจะได้ข้อต่อลมซูเปอร์ลีน (Superlene) ดังภาพ 4.23



ภาพ 4.23 ข้อต่อลมที่ทำจากซูเปอร์ลีน

จากนั้นได้ทำการทดลองครั้งที่ 11 โดยทำการประกอบโพรบก้านนิดพลาสดังนี้ นำหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) ขนาด 4 มิลลิเมตร ต่อเข้ากับข้อต่อลมที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) โดยนำหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) ใส่เข้าไปที่ขนาดความหนา 3 เซนติเมตร ของข้อต่อลมที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) โดยข้อต่อลมที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างสายลมพียู (Polyurethane Tube) ขนาด 8×12 เข้ากับหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) จากนั้นจึงได้ทำการสวมขั้วอิเล็กทรอนิกส์เข้ากับหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) แล้วจึงทำการสวมฉนวนกันขั้วอิเล็กทรอนิกส์ทั้ง 2 ขั้ว ที่ทำขึ้นจากซูเปอร์ลีน (Superlene) ซึ่งได้ทำการสวมฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) เป็นจำนวน 2 ตัว เพื่อไม่ให้เกิดช่องว่างระหว่างฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) กับหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) จากนั้นได้ทำการสวมขั้วอิเล็กทรอนิกส์กราวด์เข้ากับหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) ซึ่งจะทำได้โพรบก้านนิดพลาสมาดังภาพ 4.24



ภาพ 4.24 โพรบก้านนิดพลาสมาของการทดลองครั้งที่ 11

ทำการทดลองครั้งที่ 11 โดยให้ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 2 ขั้ว ห่างกันจนไม่สามารถเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ของขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 2 ขั้ว ในลักษณะแบบอ้อมฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) ได้ ซึ่งอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนที่ใช้นั้นอยู่ที่ 15 ลิตรต่อนาที หลังจากนั้นได้ทำการทดลองครั้งที่ 11 ซึ่งพบว่าจากการทดลองเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ด้านในหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) ซึ่งสาเหตุที่เกิดขึ้นเกิดจากการอาร์ค (Electric Arc) ของขั้วอิเล็กโทรดขั้วบวกกับขั้วอิเล็กโทรดขั้วกราวด์ โดยเป็นการอาร์ค (Electric Arc) ในลักษณะแบบอ้อมเข้าทางช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างข้อต่อลมที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) กับสายลมพียู (Polyurethane Tube) และเกิดเป็นพลาสมาเจ็ตที่ปลายโพรบก้านนิดพลาสมา ดังภาพ 4.25



ภาพ 4.25 ผลการทดลองครั้งที่ 11

4.11.1 ปัญหาที่พบจากการทดลองครั้งที่ 11

จากผลการทดลองครั้งที่ 11 พบว่าเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ด้านในหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) ของขั้วอิเล็กโทรดขั้วบวกกับขั้วอิเล็กโทรดขั้วกราวด์ โดยเป็นการอาร์ค (Electric Arc) ในลักษณะแบบอ้อมเข้าทางช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างข้อต่อลมที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) กับสายลมพียู (Polyurethane Tube) และเกิดเป็นพลาสมาเจ็ตที่ปลายโพรบก้านนิดพลาสมานั้น ซึ่งหากเกิดการอาร์ค (Electric Arc) เป็นระยะเวลานานติดต่อกันจะทำให้เกิดการเผาไหม้และละลายของซูเปอร์ลีน (Superlene) ที่ทำหน้าที่เป็นข้อต่อลมนอกจากนี้จะส่งผลทำให้เกิดรอยรั่วที่ข้อต่อลมที่ทำขึ้นจากซูเปอร์ลีน (Superlene) ได้

4.12 การทดลองครั้งที่ 12

จากการทดลองครั้งที่ 11 ที่พบปัญหาเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ด้านในหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) ของขั้วอิเล็กโทรดขั้วบวกกับขั้วอิเล็กโทรดขั้วกราวด์ โดยเป็นการอาร์ค (Electric Arc) ในลักษณะแบบอ้อมเข้าทางช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างข้อต่อลมที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) กับสายลมพียู (Polyurethane Tube) และเกิดเป็นพลาสมาเจ็ตที่ปลายโพรบกำเนิดพลาสมานั้น ซึ่งทำให้ผู้วิจัยได้หาวิธีแก้ปัญหาโดยการนำกาชิลิโคนมาใช้อุดตามรอยต่อระหว่างข้อต่อลมที่ทำขึ้นจากซูเปอร์ลีน (Superlene) กับสายลมพียู (Polyurethane Tube) จากนั้นได้ทำการประกอบโพรบกำเนิดพลาสมาในลักษณะแบบเดียวกันกับการทดลองครั้งที่ 11 แต่ได้ทำการเปลี่ยนตำแหน่งฉนวนกันที่ทำขึ้นจากซูเปอร์ลีน (Superlene) โดยได้ทำการย้ายฉนวนที่ทำขึ้นจากซูเปอร์ลีน (Superlene) จำนวน 1 ตัว ไปยังบริเวณที่ติดกับข้อต่อลมที่ทำขึ้นจากซูเปอร์ลีน (Superlene) เพื่อทำหน้าที่กันระหว่างข้อต่อลมซูเปอร์ลีน (Superlene) กับขั้วอิเล็กโทรดขั้วบวกเพื่อไม่ให้เกิดการอาร์ค (Electric Arc) ในลักษณะแบบลอดผ่านช่องข้อต่อลมซูเปอร์ลีน (Superlene) กับหลอดแก้วควอตซ์ (Quartz Glass Tube) จากนั้นจึงได้ทำการทดลองครั้งที่ 12 โดยให้ขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 2 ขั้ว มีระยะห่างกันจนไม่สามารถเกิดการอาร์ค (Electric Arc) ในลักษณะแบบอ้อมฉนวนที่ทำขึ้นจากซูเปอร์ลีน (Superlene) ได้ ซึ่งอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนที่ใช้นั้นอยู่ที่ 15 ลิตรต่อนาที จากนั้นจึงได้ทำการทดลอง ซึ่งจากการทดลองพบว่า เกิดพลาสมาเจ็ตที่ปลายโพรบกำเนิดพลาสมาดังภาพ 4.26



ภาพ 4.26 ผลการทดลองครั้งที่ 12

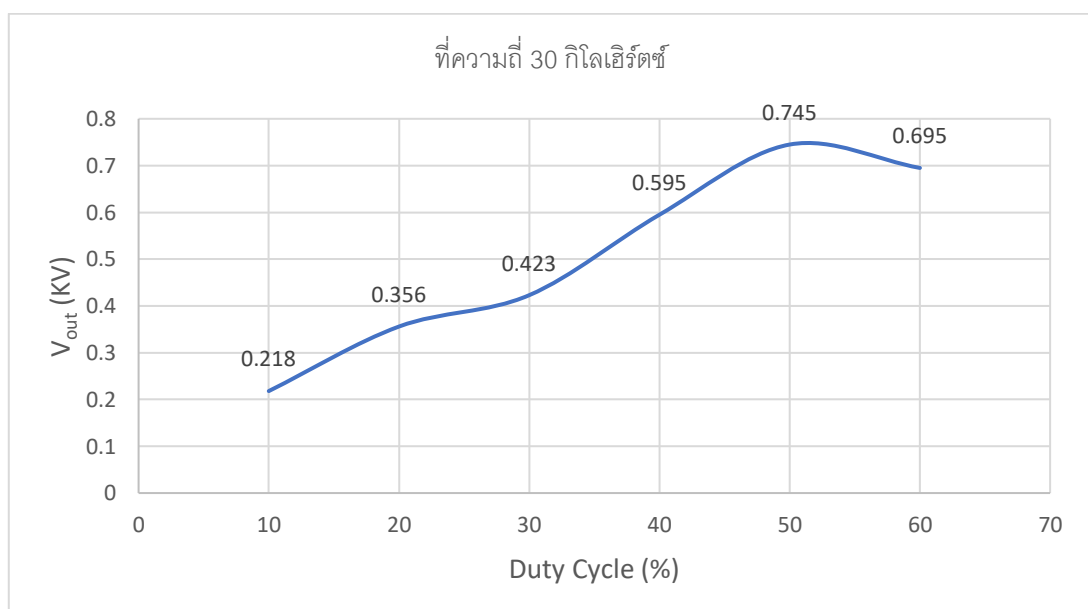
4.12.1 ปัญหาที่พบจากการทดลองครั้งที่ 12

จากผลการทดลองครั้งที่ 12 พบว่าพลาสมาเจ็ตที่เกิดขึ้นบริเวณปลายโพรบพลาสมานั้นมีปริมาณที่น้อยมากเมื่อมองด้วยตาเปล่าและนอกจากนี้ยังไม่สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยตาเปล่าว่าเป็น

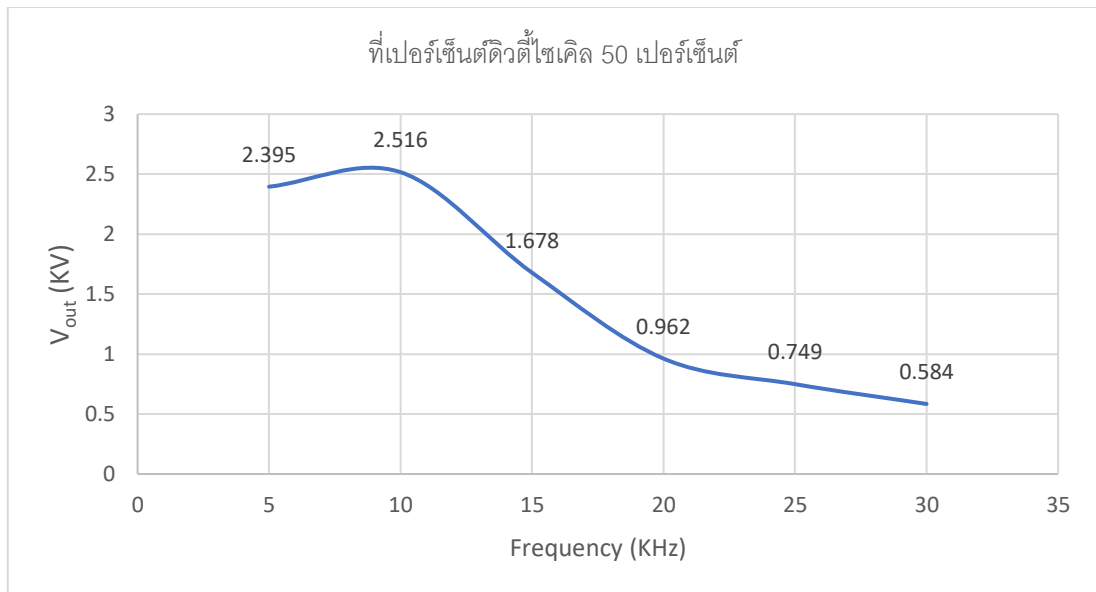
การเกิดพลาสมาจากการอาร์ค (Electric Arc) ของขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 2 ขั้ว ในลักษณะแบบใด ซึ่งทำให้ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบวัดค่าแรงดันทางไฟฟ้าของวงจรอีกครั้ง โดยใช้โปรบวัดค่าไฟฟ้าแรงดันสูงที่อัตราส่วน 1 : 1,000 กับ มัลติมิเตอร์ (Multimeter) ซึ่งจากการตรวจสอบวัดค่าแรงดันทางไฟฟ้าของวงจรนั้นพบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าของวงจรที่ได้ทำการปรับไว้ประมาณ 12 กิโลโวลต์ ที่ความถี่ของวงจร 93 กิโลเฮิร์ตซ์ และเปอร์เซ็นต์ดีวตี้ไซเคิล 75 เปอร์เซ็นต์ นั้นมีค่าลดลงเหลือ 4 กิโลโวลต์เท่านั้นจึงทำให้ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบอุปกรณ์ในวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงชนิดกระแสสลับและพบว่าอุปกรณ์ในวงจรที่เสียนั้นคือตัวฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter)

4.13 การทดลองครั้งที่ 13

จากผลการทดลองครั้งที่ 12 หลังจากได้ทำการตรวจสอบอุปกรณ์ในวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงชนิดกระแสสลับและพบว่าอุปกรณ์ในวงจรที่เสียนั้นคือตัวฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการจัดหาตัวฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) ตัวใหม่มาเปลี่ยนแทนตัวฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) ที่ได้เสียไปและได้ทำการพันขดลวด โดยเป็นการพันขดลวดรอบแกนปฐมนุ่มเหมือนกับตัวฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) ที่ได้เสียไปและทำการทดลองครั้งที่ 13 โดยได้เปลี่ยนความถี่ที่ใช้เป็น 30 กิโลเฮิร์ตซ์ และมีเปอร์เซ็นต์ดีวตี้ไซเคิลอยู่ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยความถี่และเปอร์เซ็นต์ดีวตี้ไซเคิลดังกล่าวนี้ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลเพื่อหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง โดยผลแนวโน้มของกราฟความถี่และเปอร์เซ็นต์ดีวตี้ไซเคิลที่เหมาะสมนั้นแสดงดังภาพ 4.27 และ 4.28

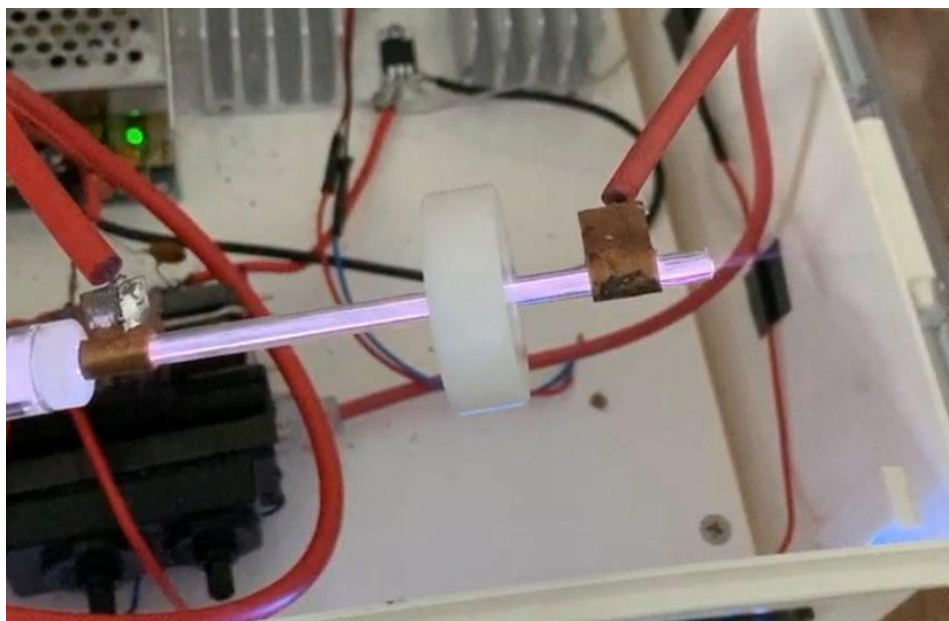


ภาพ 4.27 กราฟแนวโน้มของเปอร์เซ็นต์ดีวตี้ไซเคิลที่เหมาะสมที่ความถี่คงที่ 30 กิโลเฮิร์ตซ์



ภาพ 4.28 กราฟแนวโน้มของความถี่ที่เปอร์เซ็นต์ดีวีดีไซเคิลคงที่ 50 เปอร์เซ็นต์

เพื่อไม่ให้แรงดันทางไฟฟ้านั้นสูงจนเกินไปและนอกจากนี้ได้ทำการประกอบโปรบกำเนิดพลาสมาใหม่ โดยได้ทำการสวมใส่ขั้วอิเล็กโทรดชั่วคราวเข้าไปก่อนและใส่ฉนวนที่ทำจากซูเปอร์ลีน (Superlene) ในลำดับถัดมาแล้วจึงใส่ขั้วอิเล็กโทรดชั่วคราวในลำดับสุดท้าย ซึ่งขั้วอิเล็กโทรดชั่วคราวจะอยู่ที่ปลายโปรบกำเนิดพลาสมา ซึ่งเมื่อประกอบโปรบกำเนิดพลาสมาเสร็จแล้วนั้นจึงได้ทำการทดลองและได้ผลการทดลองดังภาพ 4.29



ภาพ 4.29 ผลการทดลองครั้งที่ 13

จากผลการทดลองครั้งที่ 13 ทำให้ได้พลาสมาเจ็ตตามที่ต้องการ โดยพลาสมาเจ็ตที่เกิดบริเวณของปลายโพรบก้าเนดพลาสมานั้นมีความเสถียรมาก กล่าวคือได้เกิดพลาสมาเจ็ตแบบสม่ำเสมอและไม่เกิดการอาร์คข้ามฉนวนกันระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 2 ขั้ว จึงทำให้สามารถนำพลาสมาเจ็ตที่เกิดขึ้นนี้ไปใช้ในการดิสชาร์จลงบนน้ำตาลฟรุคโตสไซรัปได้ในการทดลองลำดับถัดไป

4.14 ทำการดิสชาร์จลงบนน้ำตาลฟรุคโตสไซรัป

จากผลการทดลองครั้งที่ 13 นั้นได้เกิดพลาสมาเจ็ตที่ปลายโพรบก้าเนดพลาสมา โดยเป็นพลาสมาเจ็ตที่มีความเสถียรผู้วิจัยจึงได้นำพลาสมาเจ็ตที่เกิดขึ้นนั้นมาดำเนินการทำการดิสชาร์จลงบนน้ำตาลฟรุคโตสไซรัปดังภาพ 4.30

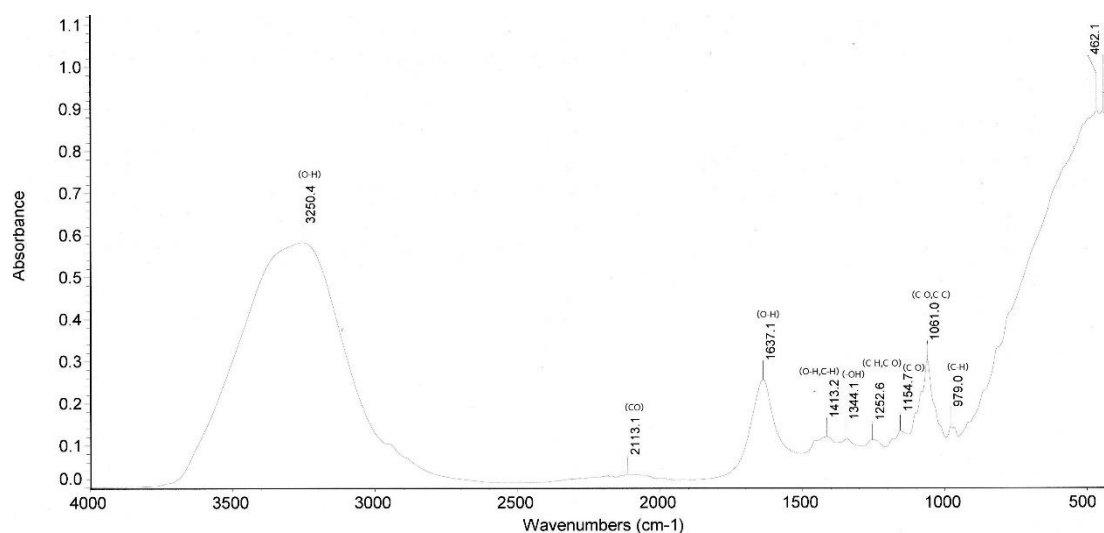


ภาพ 4.30 ทำการดิสชาร์จลงบนน้ำตาลฟรุคโตสไซรัป

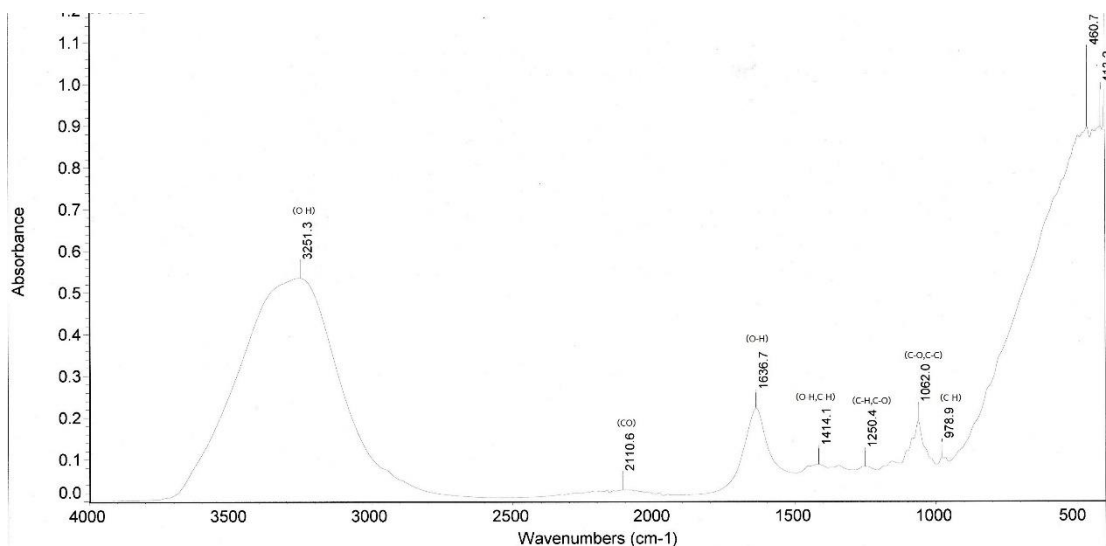
โดยปริมาณน้ำตาลฟรุคโตสไซรัปที่ใช้นั้นอยู่ที่ 15 มิลลิลิตร และเวลาที่ใช้สำหรับทำการดิสชาร์จลงบนน้ำตาลฟรุคโตสไซรัปนั้นคือ 20 นาที ซึ่งปริมาณและเวลาที่ใช้้นั้นผู้วิจัยได้อ้างอิงจากงานวิจัยในอดีต

4.15 ผลทดสอบด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (NMR)

หลังจากทำการดิสซาร์จลงบนน้ำตาลฟรุคโตสไครป์แล้วนั้นทางผู้วิจัยจึงได้ส่งตัวอย่างน้ำตาลฟรุคโตสไครป์ที่ได้ทำการดิสซาร์จแล้วและน้ำตาลฟรุคโตสไครป์ธรรมดาไปทำการตรวจสอบด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (NMR) ซึ่งจากผลการตรวจสอบทำให้ได้ทราบว่าน้ำตาลฟรุคโตสไครป์ที่ได้ทำการดิสซาร์จแล้วนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงของพันธะไฮโดรเจนบางส่วน โดยมีความแตกต่างจากน้ำตาลฟรุคโตสไครป์ธรรมดา ซึ่งผลการทดสอบด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (NMR) ของน้ำตาลฟรุคโตสไครป์ของทั้ง 2 ตัวอย่าง นั้นมีลักษณะดังภาพ 4.31 และ 4.32



ภาพ 4.31 ผลทดสอบด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปีของน้ำตาลฟรุคโตสไครป์ธรรมดา



ภาพ 4.32 ผลทดสอบด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปีของน้ำตาลฟรุคโตสไซรัปที่ได้ทำการดิสซาร์จ

จากผลทดสอบด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (NMR) ของน้ำตาลฟรุคโตสไซรัปทั้ง 2 ตัวอย่าง นั้นพบว่าผลของน้ำตาลฟรุคโตสไซรัปที่ได้ทำการดิสซาร์จแตกต่างจากผลของน้ำตาลฟรุคโตสไซรัปธรรมดา โดยพบว่าการแตกตัวของคู่พันธะไฮโดรเจนในน้ำตาลฟรุคโตสไซรัปที่ได้ทำการดิสซาร์จอย่างเห็นได้ชัดอยู่ 1 คู่พันธะ ได้แก่ (-OH) ซึ่งมีปริมาณลดลงจากเดิมอย่างเห็นได้ชัด โดยสังเกตได้จากพีคของ (-OH) ที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเนื่องจากการแตกตัวหลังจากได้รับพลังงานผ่านการดิสซาร์จและนอกจากนี้คู่พันธะไฮโดรเจนอื่นๆ ก็เกิดการแตกตัวด้วยเช่นกันแต่เกิดในปริมาณน้อย ซึ่งคู่พันธะไฮโดรเจนที่เกิดการแตกตัวมีดังนี้ (O-H) , (C-H,C-O) , (C-H) ซึ่งคู่พันธะที่กล่าวมานั้นมีค่าพีคหลังจากเกิดการแตกตัวของพันธะไฮโดรเจนลดลงตามลำดับที่ได้กล่าวไปก่อนหน้านี้ (1,636.7) , (1,250.4) , (978.9) โดยมีค่าพีคก่อนเกิดการแตกตัวของพันธะไฮโดรเจนตามลำดับที่ได้กล่าวไปก่อนหน้านี้ (1,637.1) , (1,252.6) , (979)

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงาน

ในบทนี้จะทำการสรุปผลการดำเนินงานที่ได้จากการศึกษาและทำการทดลองของผู้วิจัย โดยจะกล่าวถึงการวิเคราะห์เพื่อสรุปผลการดำเนินงาน ซึ่งจะกล่าวถึงปัจจัยที่มีผลต่อการดำเนินงานและส่งผลให้เกิดปัญหาในการดำเนินงาน รวมถึงปัญหาอุปสรรคและวิธีการแก้ไขปัญหาต่างๆ ในการดำเนินงานที่ได้นำมาใช้ตลอดระยะเวลาในการดำเนินงานของการทดลองทั้งหมด นอกจากนี้จะกล่าวถึงข้อเสนอแนะในการวิจัย เพื่อสามารถที่จะนำเอางานวิจัยนี้ไปวิจัยต่อยอดเพื่อให้ได้ระบบพลาสมาเจ็ตที่สมบูรณ์ได้ในอนาคต

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากผลการดำเนินการพัฒนาระบบพลาสมาเจ็ตของผู้วิจัยนั้นทำให้สามารถพัฒนาระบบพลาสมาเจ็ตได้ตามที่ต้องการ โดยสามารถใช้วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) ที่ออกแบบขึ้นมาเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงชนิดกระแสสลับ ซึ่งมีค่าความถี่ที่ใช้เป็น 30 กิโลเฮิร์ตซ์ และมีเปอร์เซ็นต์ดีวีทีไอเคิลที่ใช้อยู่ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยสามารถควบคุมความถี่และเปอร์เซ็นต์ดีวีทีไอเคิลในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) ที่ได้ทำการออกแบบผ่านโมดูลหน้าจอแสดงผลแบบแอลซีดี จึงทำให้พลาสมาเจ็ตที่เกิดบริเวณของปลายโพรบก้านพลาสมานั้นมีความเสถียรมาก โดยเกิดพลาสมาเจ็ตแบบสม่ำเสมอและไม่เกิดการอาร์คข้ามฉนวนกั้นระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 2 ขั้ว จึงทำให้สามารถนำพลาสมาเจ็ตที่เกิดขึ้นนี้ไปใช้ในการดิสชาร์จลงบนน้ำตาลฟรุคโตสไซรัปได้ ซึ่งจากผลการทดลองดิสชาร์จลงบนน้ำตาลฟรุคโตสไซรัปและทดสอบด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (NMR) นั้นพบว่าผลทดสอบด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (NMR) ของน้ำตาลฟรุคโตสไซรัปทั้ง 2 ตัวอย่าง นั้นมีความแตกต่างกัน โดยพบว่าการแตกตัวของคู่พันธะไฮโดรเจนในน้ำตาลฟรุคโตสไซรัปที่ได้ทำการดิสชาร์จซึ่งคู่พันธะไฮโดรเจนที่ได้เกิดการแตกตัวนั้นได้แก่ (-OH) , (O-H) , (C-H,C-O) , (C-H) โดยคู่พันธะไฮโดรเจนที่ได้กล่าวมานั้นมีค่าพีคที่ลดลงจากเดิมเพราะเกิดการแตกตัวของพันธะไฮโดรเจน ซึ่งสาเหตุ

ที่ทำให้เกิดการแตกตัวนั้นมาจากการได้รับพลังงานผ่านการดิสชาร์จ ซึ่งคู่พันธะไฮโดรเจนที่เกิดการแตกตัวตามที่ได้กล่าวไปนั้นมีค่าพลังงานที่ใช้ในการสลายพันธะต่ำจึงเกิดการแตกตัวได้ง่ายกว่าพันธะที่มีค่าพลังงานที่ใช้ในการสลายพันธะสูงดังนั้นจากผลการทดลองจึงสามารถสรุปได้ว่าระบบพลาสมาเจ็ตที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นเพื่อนำมาประยุกต์ใช้นั้นสามารถทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะไฮโดรเจนในน้ำตาลฟรุคโตสไซรัปได้ส่งผลให้คู่พันธะไฮโดรเจนในน้ำตาลฟรุคโตสไซรัปมีปริมาณลดลง ซึ่งทำให้สามารถช่วยลดระยะเวลาในการผลิตน้ำตาลหายาก (Rare Sugar) และนอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานอื่นๆ ได้อีกด้วย เช่น การผลิตโอโซนเพื่อฆ่าเชื้อโรคในอากาศ เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามระบบพลาสมาเจ็ตที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นนี้จำเป็นต้องมีการพัฒนาและศึกษาเพิ่มเติม เพื่อให้ได้ระบบพลาสมาเจ็ตที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

5.2 ปัญหาอุปสรรคและแนวทางการแก้ไข

ปัญหาอุปสรรคที่พบและวิธีการดำเนินการแก้ไขปัญหาสามารถสรุปได้ดังตาราง 5.1

ตาราง 5.1 ปัญหาอุปสรรคและแนวทางการแก้ไข

ปัญหาและอุปสรรค	แนวทางการแก้ไข
5.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดทำโครงงานวิจัยหาซื้อได้ยากในท้องตลาดทั่วไป	ทำการสั่งซื้ออุปกรณ์ผ่านระบบ E-Commerce
5.2.2 ต้องใช้ทักษะและความรู้ด้านวงจรไฟฟ้าในระดับสูง	ทำการศึกษาและหาข้อมูลจากผู้ที่มีทักษะและความรู้ด้านวงจรไฟฟ้า
5.2.3 อุปกรณ์ที่สั่งซื้อมีระยะเวลาในการจัดส่งนาน	ปรับเปลี่ยนแผนการดำเนินงานตามสถานการณ์อยู่ตลอดเวลา
5.2.4 ในการสั่งทำชิ้นส่วนต่างๆ เพื่อนำมาใช้ในการทดลองนั้น หากสั่งทำชิ้นส่วนคนละทีแล้วนำมาประกอบกันจะพบว่ามีขนาดไม่เท่ากันเนื่องจากเครื่องจักรที่ใช้ในการทำชิ้นส่วนแต่ละทีนั้นมีค่าความผิดพลาดของเครื่องจักรไม่เท่ากัน	สั่งทำชิ้นส่วนต่างๆ จากที่เดียวกันทั้งหมดเพื่อให้เกิดค่าความผิดพลาดของชิ้นงานน้อยที่สุด

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 การศึกษาและทดลองเพิ่มเติมในอนาคต ควรใช้วงจรอื่นแทนตัวฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) เนื่องจากตัวฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) นั้นหากเกิดการเสียหายขึ้นไม่สามารถทำการเปลี่ยนตัวฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) ได้ทันทีเพราะหากเป็นวงจรที่ต้องใช้ตัวฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback Converter) แบบเจาะจงยี่ห้อและรุ่นนั้นจะทำให้ยากต่อการหาซื้อตามท้องตลาดในปัจจุบัน

5.3.2 ในการทดลองการอาร์ค (Electric Arc) ของวงจรนั้นควรทำในพื้นที่เปิด โดยมีอากาศถ่ายเทที่ดีและสวมหน้ากากกันแก๊สพิษเพราะเนื่องจากการอาร์ค (Electric Arc) จะทำให้เกิดก๊าซโอโซนหากทำการสูดดมเข้าไปจะทำให้เกิดอาการเวียนศีรษะหรือหากสูดดมเข้าไปในปริมาณมากอาจทำให้เป็นลมได้

บรรณานุกรม

ณัฐนพิณช์ จรูญศักดิ์. “การพัฒนาเครื่องพลาสมาเย็นแบบเจ็ดที่ความดันบรรยากาศสำหรับการทำให้เลือดแข็งตัว.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมชีวเวช คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์, 2554.

Izumori, K. (No. date). Establishment of product methods of rare sugars. [Online]. แหล่งที่มา <http://www.kagawa-is.jp> [2009, July 2].

Rare Sugar Research Center, Kagawa University. (2003). Outline of research. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.rare-sugar.com> [2009, July 3].

Sellman, S. (2003). Xylitol-all natural sweetener xylitol-our sweet salvation. [Online]. แหล่งที่มา <http://www.angelfire.com> [2009, July 3].

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงค่าความคงทนได้อิเล็กทริก

ตาราง ก-1 แสดงค่าความคงทนไดอิเล็กทริกของตัวกลางทางไฟฟ้าชนิดต่างๆ

Sunstance	Dielectric Strength (MV/m)
Helium (relative to nitrogen)	0.15
Air	3
Sulfur hexafluoride (uniform electric field)	7
Sulfur hexafluoride (non-uniform electric field)	9
Alumina	13.4
Window glass	9.8 - 13.8
Borosilicate glass	20 - 40
Silicone oil, mineral oil	10 - 15
Benzene	163
Polystyrene	19.7
Polyethylene	19 - 160
Neoprene rubber	15.7 - 26.7
Distilled water	65 - 70
High vacuum (field emission limited)	20 - 40 (depends on electrode shape)
Fused silica	47 - 67
Waxed paper	40 - 60
PTFE (Teflon, extruded)	19.7
PTFE (Teflon, insulating film)	60 - 173
PEEK (Polyether ether ketone)	23
Mica	118
Diamond	2,000
PZT	10 - 25

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงค่าพลังงานที่ใช้ในการสลายพันธะ

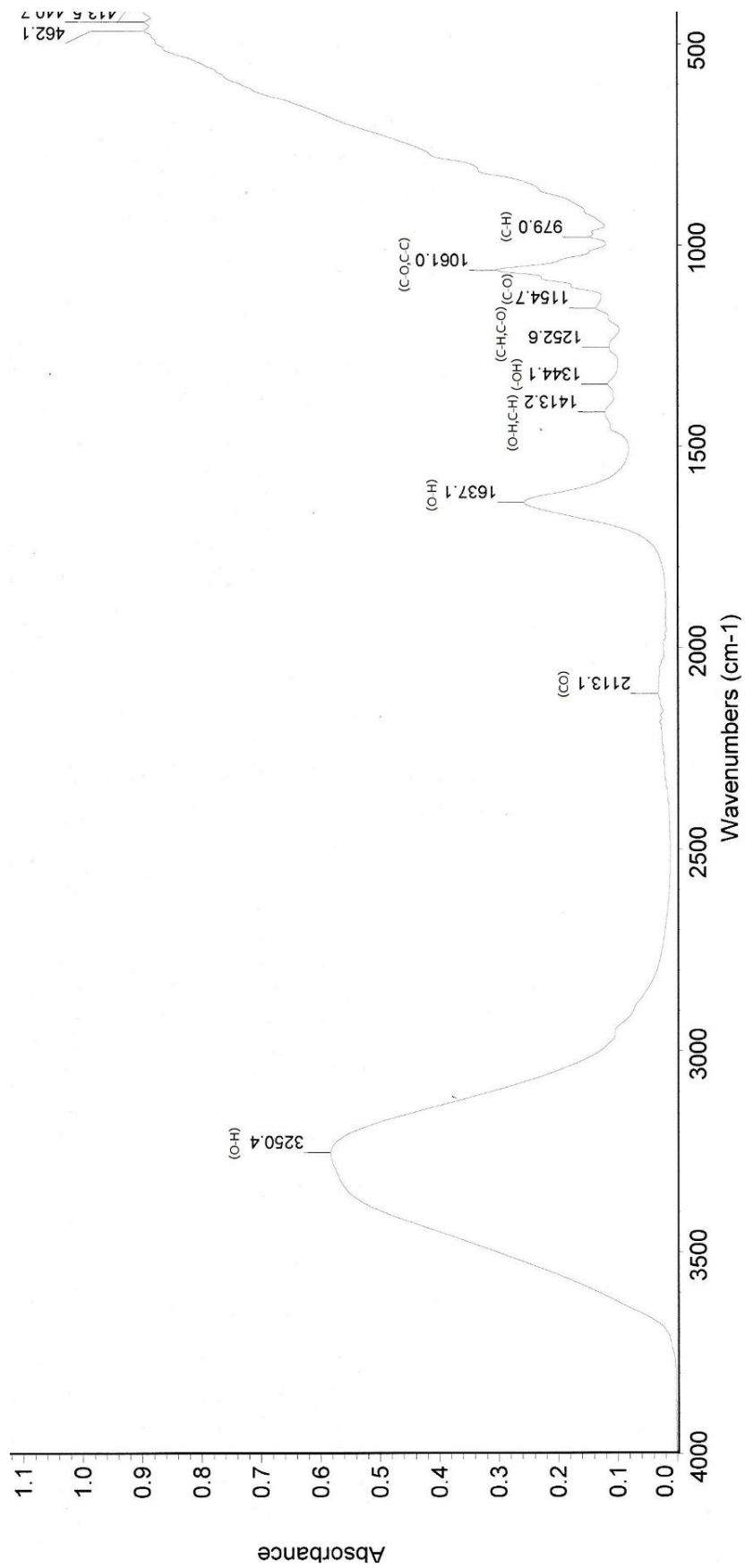
ตาราง ข-1 แสดงค่าพลังงานที่ใช้ในการสลายพันธะไฮโดรเจนชนิดต่างๆ

Single Bonds	Average Bond Energies (kJ/mol)
H-H	432
H-F	565
H-Cl	427
H-Br	363
H-I	295
C-H	413
N-H	391
O-H	467
S-H	347
Si-H	393

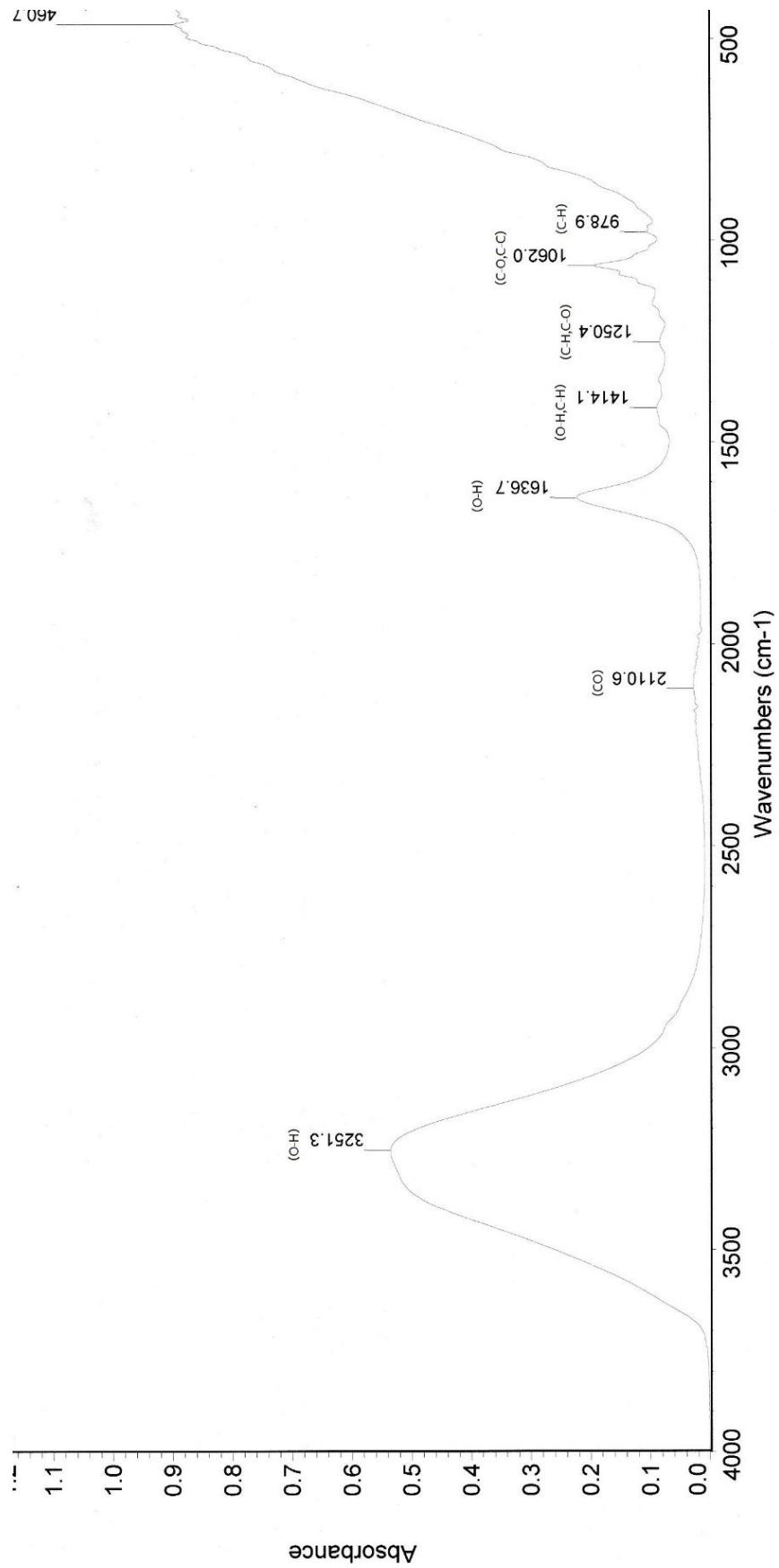
ภาคผนวก ค

ภาพผลทดสอบด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี

ภาพ ค-1 ผลทดสอบด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปีของน้ำตาลฟรุคโตส
ไฮโดรเจน



ภาพ ค-2 ผลทดสอบด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปีของน้ำตาลฟรุกโตสไซรัปที่ได้ทำการดิสซอร์จ



ประวัติผู้เขียน

ชื่อสกุล : นายภูเบศ เทพวารินทร์

รหัสนักศึกษา : 590612079

วัน เดือน ปี เกิด : 23 ตุลาคม 2540

ประวัติการศึกษา: กำลังศึกษาระดับอุดมศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย

โรงเรียนนวมินทราชินูทิศ บดินทรเดชา จังหวัดกรุงเทพมหานคร
สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนนวมินทราชินูทิศ บดินทรเดชา จังหวัดกรุงเทพมหานคร

ที่อยู่ปัจจุบัน : 477/208 เทพลีลาคอนโดทาวน์ ซอยลาดพร้าว 94 แขวงพลับพลา
เขตพลับพลา จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10310

E-mail : phubest@windowslive.com



ชื่อสกุล : นายศุภกฤต เสรีสุชาติ

รหัสนักศึกษา : 590612094

วัน เดือน ปี เกิด : 2 ตุลาคม 2540

ประวัติการศึกษา: กำลังศึกษาระดับอุดมศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนช่องฟ้าซินเชิงวานิชบำรุง
จังหวัดเชียงใหม่

สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนช่องฟ้าซินเชิงวานิชบำรุง
จังหวัดเชียงใหม่

ที่อยู่ปัจจุบัน : 99/126 หมู่ 3 ตำบลท่าศาลา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50000

E-mail : Suprakit0s@gmail.com

