

การสร้างเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิรตซ์
สำหรับกระบวนการพลาสมาของเหลว

INVENTION OF AC 50 HZ POWER SUPPLY FOR SOLUTION PLASMA
PROCESS

นายกรกช ชิตอักษร รหัส 52364841
นางสาวจินดาพร ช่างดี รหัส 52364919

กองคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 5 ส.ค. 2556
เลขทะเบียน..... 16323824
เลขเรียกหนังสือ..... นร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร 11211

2666

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2555



ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ การสร้างเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์
สำหรับกระบวนการพลาสมาของเหลว

ผู้ดำเนินโครงการ นายกรกช ชิตอักษร รหัส 52364841
นางสาวจินดาพร ช่างดี รหัส 52364919

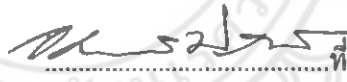
ที่ปรึกษาโครงการ ดร.อิศราวุธ ประเสริฐสังข์

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

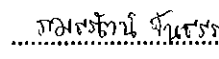
ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม

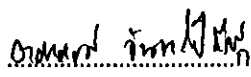
ปีการศึกษา 2555

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี


.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ดร.อิศราวุธ ประเสริฐสังข์)


.....กรรมการ
(ดร.นพวรรณ ไม้ทอง)


.....กรรมการ
(ดร.กมรรัตน์ จันธรรม)


.....กรรมการ
(อาจารย์อภาภรณ์ จันทรปรีกษ์)

ชื่อหัวข้อโครงการงาน	การสร้างเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ สำหรับกระบวนการพลาสมาของเหลว		
ผู้ดำเนินโครงการงาน	นายกรภช	ชิตอักษร	รหัส 52364841
	นางสาวจินดาพร	ช่วงดี	รหัส 52364919
ที่ปรึกษาโครงการงาน	ดร.อิสราวุธ	ประเสริฐสังข์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม		
ปีการศึกษา	2555		

บทคัดย่อ

พลาสมาเป็นสภาวะที่เกิดจากการแตกตัวไอออนของแก๊ส การมีสภาพเป็นไอออนจะมีอิเล็คตรอนอย่างน้อยหนึ่งตัวถูกดึงออกจากโมเลกุลกลายเป็นประจุไฟฟ้าอิสระ ทำให้มีสภาพที่ว่องไวในการเข้าทำปฏิกิริยา ซึ่งพลาสมาสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในของแข็ง ของเหลวและแก๊ส พลาสมาของเหลวประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุทั้งบวกและลบในสัดส่วนที่เท่ากัน ซึ่งปัจจุบันการผลิตพลาสมาของเหลว นั้นต้องใช้เครื่องกำเนิดพลาสมาที่มีความถี่สูง ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะมุ่งเน้นในการสร้างเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ สำหรับใช้ในกระบวนการพลาสมาของเหลว โดยใช้สารตัวทำละลายที่มาทำการทดสอบดังนี้ น้ำกลั่น เอทานอล กรดอะซิติก กรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยมีการปรับค่าความเข้มข้นของสารละลายเพื่อหาสภาวะที่สามารถเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวได้ จากนั้นนำไปประยุกต์ใช้ในการเตรียมโคโดซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ซึ่งมีวิธีการเตรียมโดยการละลายโคโดซานในกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ให้ได้สารละลายโคโดซาน 1 %w/v ในถังปฏิกรณ์พลาสมาของเหลวแบบกะจากนั้นนำไปเตรียมด้วยกระบวนการพลาสมาของเหลว ปรับค่าแรงดันไฟฟ้า 0-15,000 โวลต์ และเวลาที่ใช้ในการเตรียมโคโดซานน้ำหนัโมเลกุลต่ำ อยู่ในช่วง 0-300 นาที

จากการทดลองพบว่าเกิดการเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวในสารละลายที่มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ คือ น้ำและเอทานอล สามารถเกิด สภาวะพลาสมาของเหลวได้ทุกความเข้มข้น แต่สารละลายที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูง คือ กรดอะซิติก กรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ สามารถเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวได้ที่ความเข้มข้นต่ำ ในส่วนของการเตรียมโคโดซานน้ำหนัโมเลกุลต่ำด้วยกระบวนการพลาสมาของเหลว สามารถดำเนินการได้ที่ความเข้มข้นของสารละลายโคโดซานที่ต่ำทำให้ได้ปริมาณโคโดซานที่น้อยมากจึงไม่คุ้มค่าในการลงทุน ดังนั้น เครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ จึงเหมาะสมสำหรับที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตพลาสมาของเหลวในสภาวะของสารที่มีการนำไฟฟ้าต่ำๆ

กิตติกรรมประกาศ

รายงานปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ของ บุคคลหลายท่าน ซึ่งไม่สามารถจะนำมากล่าวได้ทั้งหมด ซึ่งผู้มีพระคุณท่านแรกและผู้ศึกษาใคร่ขอกราบขอบพระคุณคือ ดร.อิศราวุธ ประเสริฐสังข์ ครูผู้สอนที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำตรวจทาน และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอน เพื่อให้การเขียนรายงานปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ที่สุดและขอขอบคุณ คณะอาจารย์ประจำวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยนเรศวรทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้



คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นายกรกช ชิตอักษร

นางสาวจินดาพร ช่วงดี

มีนาคม 2555

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1. ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2. วัตถุประสงค์.....	2
1.3. ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4. สถานที่ในการดำเนินโครงการ.....	2
1.5. ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ.....	2
1.6. ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1. พลาสมา.....	4
2.2. ตัวทำละลาย.....	15
2.4. ไคโตซาน.....	17
2.5. กลไกการลดน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน.....	20
บทที่ 3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
บทที่ 4 วิธีดำเนินงาน.....	23
4.1. อุปกรณ์และสารเคมี.....	23
4.2. วิธีการทดลอง.....	23
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	28
5.1. ผลการสร้างเครื่องพลาสมาเวอร์ชันหลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์.....	28

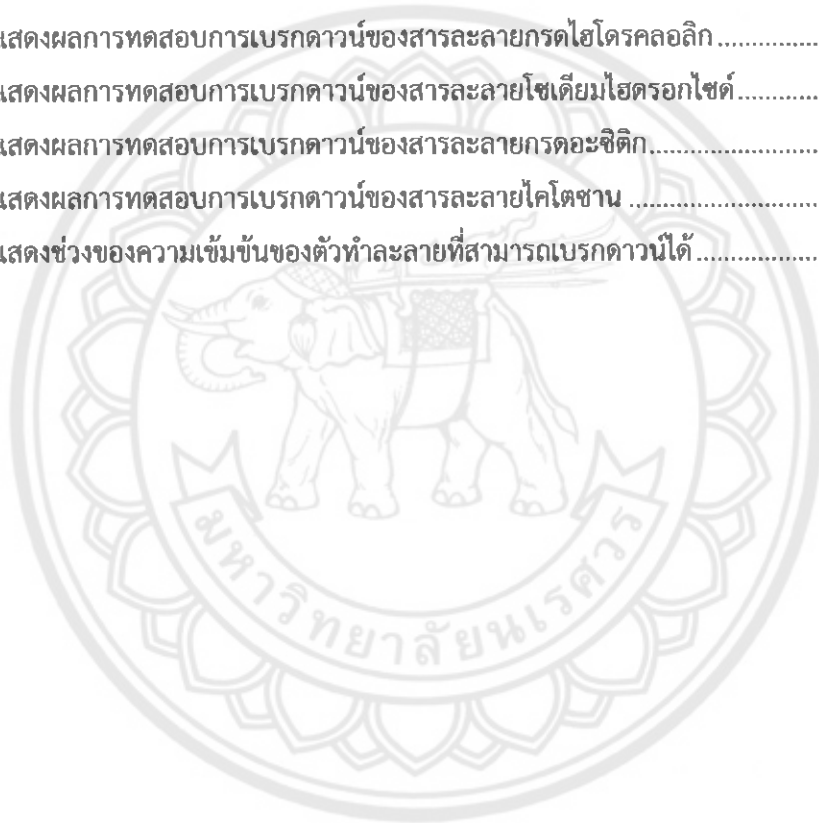
สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 การทดสอบการเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวของตัวทำละลายชนิดต่างๆ.....	28
5.3 การประยุกต์ใช้เครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิรตซ์ สำหรับเตรียมโคโตซาน้ำหนักโมเลกุลต่ำ.....	33
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	35
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	35
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	36
เอกสารอ้างอิง.....	37



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน.....	2
2.1 ประเภทของการชนที่สำคัญในการเกิดพลาสมา.....	5
2.2 การละลายของโคโตซานในสารละลายกรดชนิดต่างๆ.....	18
4.1 แสดงสัญลักษณ์วงจรไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดพลาสมา.....	24
5.1 แสดงผลค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย.....	28
5.2 แสดงผลการทดสอบการเบรกดาวนของสารละลายเอทานอล.....	29
5.3 แสดงผลการทดสอบการเบรกดาวนของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก.....	30
5.4 แสดงผลการทดสอบการเบรกดาวนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	31
5.5 แสดงผลการทดสอบการเบรกดาวนของสารละลายกรดอะซิติก.....	32
5.6 แสดงผลการทดสอบการเบรกดาวนของสารละลายโคโตซาน.....	34
6.1 แสดงช่วงของความเข้มข้นของตัวทำละลายที่สามารถเบรกดาวนได้.....	35



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเคลื่อนที่ของประจุและอิเล็กตรอนในท่อกระแสไฟฟ้าความดันต่ำ.....	6
2.2 โครงแบบการแตกตัวในบริเวณผ่านขนาน.....	7
2.3 คุณลักษณะความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า.....	9
2.4 บริเวณความต่างศักย์ไฟฟ้า - กระแสไฟฟ้าของการปลดปล่อยไฟฟ้ากระแสตรงความดันต่ำ ..	10
2.5 โมเดลของการเกิดพลาสมาของเหลว.....	12
2.6 กระบวนการพลาสมาของเหลว.....	13
2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและ Electric Field ในฉนวนเหลว.....	14
2.8 กลไกการเบรกดาว์นพลาสมาของเหลวในสารที่ไม่มีค่าการนำไฟฟ้า.....	15
2.9 กลไกการเบรกดาว์นพลาสมาของเหลวในสารที่มีค่าการนำไฟฟ้า.....	15
2.10 โครงสร้างทางเคมีของโคโตซาน.....	15
2.11 กลไกการลดหนักโมเลกุลของโคโตซาน.....	17
4.1 ขั้นตอนการทดลอง.....	23
4.2 วงจรไฟฟ้าเครื่องกำเนิดพลาสมาของเหลวกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์.....	24
4.3 การติดตั้งเครื่องกำเนิดพลาสมาของเหลวกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์.....	25
4.4 อุปกรณ์ในการทดลอง.....	26

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

โคโตซานเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติอย่างหนึ่ง ที่พบอยู่ในเปลือกของสัตว์จำพวกกุ้ง ปู และแมลง ซึ่งเป็นสารชีววัสดุที่มีลักษณะโดดเด่นเฉพาะตัว คือ สามารถย่อยสลายตามธรรมชาติ มีความปลอดภัยเมื่อนำมาใช้กับร่างกายโดยไม่เกิดการแพ้และปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม โครงสร้างทางโมเลกุลของโคโตซานเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่เกิดจากการเรียงตัวของหมู่อะมิโน (NH_2) เรียกว่า Poly Amino Glucose หรือ Poly D-glucosamine [1] จากสมบัติที่โดดเด่นดังกล่าวทำให้โคโตซานได้รับความสนใจในการนำมาใช้งานในด้านต่างๆ เป็นอย่างมาก อาทิเช่น กระบวนการผลิตอาหาร เครื่องสำอางค์และใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์ เช่น กระดูกเทียม ผิวหนังเทียม เป็นต้น อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้โคโตซานทางการแพทย์พบว่าน้ำหนักโมเลกุลของโคโตซานสามารถส่งผลต่อคุณสมบัติทางด้านความเข้ากันได้ทางชีวภาพของโคโตซาน ดังจะเห็นได้จากรายงานการศึกษาของ Kittur และคณะ [2] พบว่าโคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่มีน้ำหนักโมเลกุลในช่วง 5000-10000 ดาลตัน มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับโคโตซานน้ำหนักโมเลกุลสูงจากการศึกษาของ Rattanawaraporn และคณะ [3] พบว่าโคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ 10000 ดาลตัน สามารถส่งเสริมการเพิ่มจำนวนของเซลล์ (Proliferation) และการเปลี่ยนแปลงชนิดของเซลล์ (Differentiation) ของเซลล์ต้นกำเนิดที่เตรียมจากไขกระดูกสันหลังได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับโคโตซานโมเลกุลสูง ดังนั้นจากรายงานการศึกษาดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าโคโตซานโมเลกุลต่ำเป็นชีววัสดุที่มีศักยภาพที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานทางการแพทย์ได้

การเตรียมโคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำสามารถเตรียมได้หลายวิธี เช่น การใช้สารเคมี การใช้เอนไซม์ การใช้หมู่ว่องไว และการใช้พลาสมาของเหลว [2, 4-6] การเตรียมโคโตซานด้วยสารเคมีเป็นกระบวนการที่เตรียมง่ายและต้นทุนต่ำ แต่มีข้อเสีย คือ โคโตซานที่เตรียมได้จะเกิดการปนเปื้อนของสารเคมีที่ตกค้าง กระบวนการการใช้เอนไซม์เป็นกระบวนการเตรียมโคโตซานที่มีประสิทธิภาพสูงแต่มีความยุ่งยาก ซับซ้อนและเอนไซม์มีราคาสูง สำหรับกระบวนการการใช้หมู่ว่องไวที่ได้จากสารเคมี อาทิเช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ การลดน้ำหนักโมเลกุลของโคโตซานสามารถเกิดขึ้นได้จากกระบวนการการเสื่อมสภาพ ของโคโตซานด้วยหมู่ว่องไว เช่น หมู่ไฮดรอกซิล ($-\text{OH}$) ข้อเสียของกระบวนการนี้ คือ การกำจัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ออกจากการผลิตภัณฑ์โคโตซานมีความซับซ้อนยุ่งยาก กระบวนการเตรียมโคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำด้วยพลาสมาของเหลวเป็นกระบวนการเตรียมที่มีรายงานโดย Prasertsung I. และคณะ [6] พบว่าสามารถที่จะนำมาใช้เตรียมโคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ข้อดีของกระบวนการนี้ คือ ใช้เวลาในการเตรียมสั้นและไม่มีสารเคมีปนเปื้อน อย่างไรก็ตามเพาเวอร์ซัพพลายที่นำมาใช้ในการผลิตพลาสมาของเหลวในกระบวนการดังกล่าวเป็นชนิดที่มีความถี่สูงซึ่งมีราคาสูงมาก

โดยมีการนำกระบวนการการผลิตพลาสติกด้วยเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายความถี่ต่ำ อาทิ 50 เฮิร์ตซ์ เป็นกระบวนการที่มีรายงานโดย Prasertsung I. และคณะ [7] ว่าสามารถนำมาใช้ในการผลิตพลาสติกได้ ซึ่งข้อดีของกระบวนการนี้ คือ เพาเวอร์ซัพพลายที่ใช้มีราคาถูก จากรายงานดังกล่าว พบว่าการใช้เครื่องเพาเวอร์ซัพพลายความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ สามารถนำมาผลิตพลาสติกได้ประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายความถี่สูง

ดังนั้นในการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่มุ่งเน้นในการสร้างเครื่องพลาสติกของเหลวความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ สำหรับนำไปใช้ในการเตรียมโคโตะซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ซึ่งจะสามารถลดต้นทุนจากการใช้เพาเวอร์ซัพพลายเพื่อผลิตพลาสติกที่มีราคาสูง ซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 ศึกษาการสร้างเครื่องกำเนิดพลาสติกกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์
- 1.2.2 ศึกษาสภาวะการเกิดพลาสติกของเหลว
- 1.2.3 ศึกษาการประยุกต์ใช้เครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ สำหรับการเตรียมโคโตะซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการโดยกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาดังต่อไปนี้

1.3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

- 1.3.1.1 ชนิดของตัวทำละลาย
- 1.3.1.2 เวลาที่ในการเตรียมโคโตะซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำในช่วง 0 ถึง 300 นาที
- 1.3.1.3 ความต่างศักย์ของกระบวนการพลาสติกของเหลวในช่วง 0 ถึง 15,000 โวลต์

1.3.2 ตัวแปรควบคุม

- 1.3.2.1 ระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรด
- 1.3.2.2 ความถี่ของเครื่องที่ใช้ผลิตพลาสติกของเหลว
- 1.3.2.3 อุณหภูมิของสารละลายโคโตะซาน
- 1.3.2.4 สารละลายโคโตะซาน 1 %w/v

1.4 สถานที่ในการดำเนินโครงการ

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.5 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

ตั้งแต่เดือน 1 มิถุนายน พ.ศ. 2555 ถึง 31 มกราคม พ.ศ. 2556

1.6 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

	การดำเนินงาน	ช่วงเวลา											
		ม.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.				
1.6.1	วางแผนการดำเนินงาน	←											
1.6.2	ศึกษาค้นคว้าข้อมูลในการทำโครงการ	←	→										
1.6.3	หาแหล่งวัตถุดิบและเครื่องมือเพื่อทดลอง				←	→							
1.6.4	ทำการทดลอง					←	→						
1.6.5	วิเคราะห์ผลการทดลอง								←	→			
1.6.6	สรุปผลการทดลอง								←	→	←	→	
1.6.7	ทำรูปเล่มรายงาน										←	→	←



บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 พลาสมา [7]

พลาสมา (Plasma) ถูกจัดเป็นสถานะที่ 4 ของสสาร เนื่องจากมีสมบัติบางประการที่แตกต่างจากของแข็ง ของเหลวและแก๊ส พลาสมาเกิดจากการแตกตัวของแก๊สที่เป็นกลางกลายเป็นอนุภาคที่มีประจุหรือไอออนกระบวนการนี้เรียกว่า “กระบวนการแตกตัวเป็นไอออน (Ionization)” โดยการแตกตัวจะเกิดขึ้นเมื่อแก๊สถูกกระตุ้นจากพลังงานภายนอก เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน คลื่นไมโครเวฟ และรังสียูวี เป็นต้น การกระตุ้นส่งผลให้อะตอมสูญเสียสภาพความเป็นกลางและเกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอน ปริมาณที่ใกล้เคียงกับประจุบวกส่งผลให้ประจุไฟฟ้าสุทธิของพลาสมาเป็นศูนย์ พลาสมาแสดงพฤติกรรมเหมือนอนุภาคเป็นกลาง (Quasi-Neutral) และมีการอยู่ร่วมกันแบบเป็นกลุ่ม (Collective Behavior)

พลาสมาสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ พลาสมาอุณหภูมิสูงและพลาสมาอุณหภูมิต่ำ พลาสมาอุณหภูมิสูง คือ พลาสมาที่เกิดจากการให้พลังงานสูงแก่แก๊สเพื่อให้แก๊สเกิดการแตกตัวเป็นไอออนซึ่งแก๊สในระบบของพลาสมาประเภทนี้จะเกิดการแตกตัวเกือบสมบูรณ์และระบบประจุสุทธิอยู่ในสภาวะสมดุล เช่น ปฏิกรณ์นิวเคลียร์ โฟอันเครื่องยนต์ เป็นต้น ส่วนพลาสมาอุณหภูมิต่ำ คือ พลาสมาที่เกิดจากการให้พลังงานต่ำแก่แก๊ส ส่งผลให้แก๊สเกิดการแตกตัวไม่สมบูรณ์ไอออนในระบบมีอุณหภูมิต่ำ เช่น ระบบไฟฟ้ากระแสตรงที่ความดันต่ำ การปล่อยประจุด้วยคลื่นความถี่วิทยุ เป็นต้น

2.1.1 การเกิดพลาสมา

การชนกันของอนุภาคสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การชนกันแบบยืดหยุ่น (Elastic Collisions) และการชนกันแบบไม่ยืดหยุ่น (Inelastic Collisions) การชนกันแบบยืดหยุ่น คือ การชนของอนุภาคที่มีการอนุรักษ์พลังงานหรือพลังงานจลน์ก่อนและหลังการชนมีค่าเท่ากัน แต่การชนแบบไม่ยืดหยุ่น คือ การชนที่พลังงานจลน์ก่อนและหลังการชนมีค่าไม่เท่ากัน โดยพลังงานจลน์ก่อนการชนมีค่ามากกว่าพลังงานจลน์หลังการชน ซึ่งอนุภาคที่เกิดการชนนั้นจะเกิดการดูดซับพลังงานและเปลี่ยนสถานะไปสู่สภาวะกระตุ้น

กระบวนการชนกันของอนุภาคที่เกี่ยวข้องกับการเกิดพลาสมา คือ การชนกันระหว่างอนุภาคที่มีประจุ (Charged Particles) และแก๊สที่เป็นกลาง ในขณะที่เกิดการชนอะตอมที่เป็นกลางจะเกิดการดูดซับพลังงานหรือถูกกระตุ้นด้วยอนุภาคที่มีประจุส่งผลให้พลังงานอิเล็กตรอนของอะตอมเพิ่มสูงกว่าสภาวะกระตุ้นและเกิดการสูญเสียพลังงานในรูปการแผ่รังสีกระบวนการดังกล่าวสามารถที่จะอธิบายด้วยฟังก์ชันของการกระจายตัวของแมกซ์เวลล์ - บอลตซ์มานน์ (Maxwell - Boltzmann Distribution) ในทฤษฎีการชนของแต่ละอนุภาคหรือพลาสมา คือ การชนกันของแต่ละอนุภาคจะเกิดปฏิกิริยาแตกพันธะหรือสร้างพันธะใหม่ก็ต่อเมื่อการชนมีทิศทางที่เหมาะสมและมีพลังงานเพียงพอ การชนจึงสามารถก่อให้เกิดได้

ทั้งอิเล็กตรอนไอออนและอะตอมหรือโมเลกุลที่เป็นกลางดังแสดงในตารางที่ 2.1 เช่น ในปฏิกิริยาไอออไนเซชัน (Ionization) ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่ออิเล็กตรอนชนกับอะตอม (A) ที่เป็นกลางอะตอมจะเกิดการแตกตัวปลดปล่อยอิเล็กตรอนและคงเหลือสภาพที่เป็นประจุบวก (A^+) เมื่ออิเล็กตรอนหรือไอออนที่เกิดจากการแตกตัวได้รับพลังงานอิสระในสภาวะที่เหมาะสมจะเกิดการรวมตัวเป็นอะตอมหรือโมเลกุลที่เป็นกลาง (Third Body) ในปฏิกิริยารีคอมบิเนชัน (Recombination) เป็นต้น โดยแก๊สที่อยู่ในบริเวณที่เกิดการชนนั้น เรียกว่าแก๊สลอเรนซ์-เซียน (Lorentzian gas)

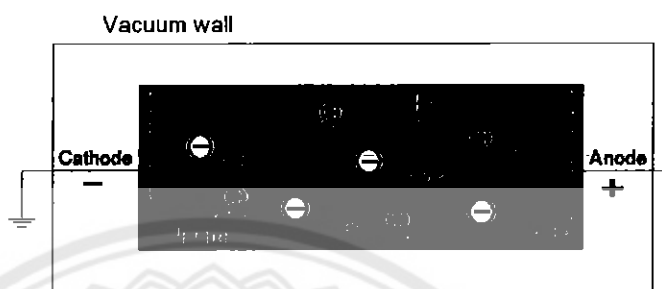
ตารางที่ 2.1 ประเภทของการชนที่สำคัญในการเกิดพลาสมา [7]

Electrons		
$e + A$	$\rightarrow A^+ + e$	Ionization
$e + A$	$\rightarrow e + A^* \rightarrow e + A + h\nu$	Excitation
$e + A^* + B$	$\rightarrow 2e + A + B^+$	Penning ionization
$e + A$	$\rightarrow e + A$	Elastic scattering
$e + AB$	$\rightarrow e + A + B$	Dissociation
$e + AB$	$\rightarrow 2e + A^+ + B$	Dissociative ionization
$e + AB$	$\rightarrow A + B$	Dissociative attachment
Ions		
$A^+ + B$	$\rightarrow A + B^+$	Charge exchange
$A^+ + B$	$\rightarrow A^+ + B$	Elastic scattering
$A^+ + B$	$\rightarrow A^+ + B^+ + e$	Ionization
$A^+ + B$	$\rightarrow A^+ + B^* \rightarrow A^+ + B + h\nu$	Excitation
$A^+ + e + B$	$\rightarrow A + B$	Recombination
$A^+ + BC$	$\rightarrow A^+ + B + C$	Dissociation
$A + BC$	$\rightarrow C + AB$	Chemical reaction

หมายเหตุ A, B และ C แทนโมเลกุลของสารชนิดต่างๆ

การเคลื่อนที่ของอนุภาคภายใต้กระแสไฟฟ้าและการแตกตัวในระบบพลาสมากระแสไฟฟ้าที่ให้แก่ระบบแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Electrical Discharge, DC) และไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Electrical Discharge, AC) รูปที่ 2.1 เป็นการเคลื่อนที่ของประจุและอิเล็กตรอนในระบบไฟฟ้ากระแสตรงความดันต่ำที่กระแสไฟฟ้าไหลในทิศทางเดียวกล่าวคือ กระแสไฟฟ้าไหลจากขั้วแคโทด (Cathode, -) ไปยังขั้วแอโนด (Anode, +) ซึ่งตรงกันข้ามกับทิศทางของสนามไฟฟ้า ทำให้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและประจุสวนทางกัน โดยอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วแอโนด ในขณะที่ประจุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำตามทิศทางของสนามไฟฟ้าไปยังขั้วแคโทด ส่งผลให้ทั้งประจุและอิเล็กตรอนในระบบเกิดการเคลื่อนที่ชนอะตอมที่เป็นกลางด้วยความเร็วคงตัว การเคลื่อนที่ของ

อนุภาคภายใต้ไฟฟ้ากระแสสลับความดันต่ำคล้ายกับไฟฟ้ากระแสตรง ต่างกันที่กรณีไฟฟ้ากระแสตรงไม่มีการสลับขั้วไฟฟ้าหรือไม่มีการเปลี่ยนกระแสและความต่างศักย์ระหว่างขั้ว แต่ไฟฟ้ากระแสสลับมีการสลับขั้วไฟฟ้าหรือมีการเปลี่ยนทิศทางไหลของกระแสหรือความต่างศักย์ระหว่างขั้วบวกและขั้วลบอย่างต่อเนื่องตามความถี่ของกระแส (ความถี่ของกระแส 50 เฮิร์ตซ์)



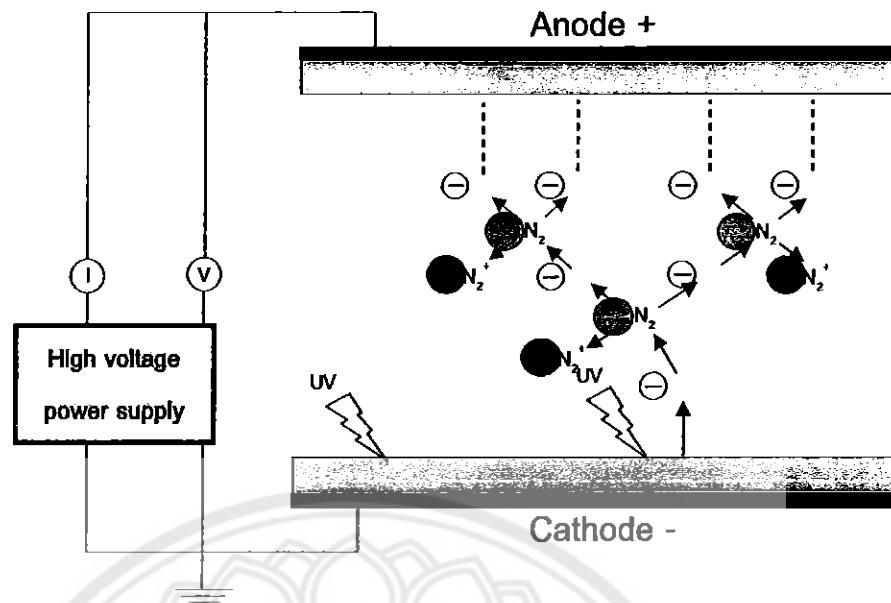
รูปที่ 2.1 การเคลื่อนที่ของประจุและอิเล็กตรอนในท่อกระแสไฟฟ้าความดันต่ำ [7]

จากกระบวนการแตกตัวดังรูปที่ 2.2 พิจารณาว่าเป็นการแตกตัวเนื่องจากแหล่งกำเนิดแสงยูวี และการให้สนามไฟฟ้าแก่ระบบ เมื่อพื้นผิวของขั้วแคโทดดูดซึมแสงยูวีและปลดปล่อยอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าให้เคลื่อนที่ไปยังขั้วแอโนด เกิดการชนกับอะตอมที่เป็นกลางที่อยู่ภายในสนามไฟฟ้าและแตกตัวเป็นอนุภาคที่มีประจุ อิเล็กตรอนที่เกิดจากการแตกตัวนั้นจะเกิดการชนกับอะตอมที่เป็นกลางตัวอื่นและแตกตัวเป็นอนุภาคที่มีประจุเช่นกัน การชนกันและแตกตัวนี้จะเกิดอย่างต่อเนื่องเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ ทำให้ปริมาณอิเล็กตรอนในระบบเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (อิเล็กตรอนถูกผลิตทั้งจากแหล่งกำเนิดแสงยูวีและการชนกันระหว่างอิเล็กตรอนกับอะตอมที่เป็นกลาง) ทั้งนี้การทำให้อะตอมที่เป็นกลางเกิดการแตกตัวเป็นอิเล็กตรอนต้องมีพลังงานเพียงพอและต้องเกิดการชนก่อนอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ถึงขั้วแอโนด

2.1.2 การเกิดอนุภาคที่ถูกกระตุ้นในโกลดิสซาร์ตพลาสมา (Glow Discharge Plasma)

การสร้างไอออนและอนุภาคที่ถูกกระตุ้นทางเคมี (Active Species) ของโกลดิสซาร์ตพลาสมา เกิดจากการชนกันแบบไม่ยืดหยุ่นของอิเล็กตรอนและอะตอมที่เป็นกลางในสนามไฟฟ้า ส่งผลให้อะตอมถูกกระตุ้นและเกิดการแตกตัวเป็นอนุภาคที่มีประจุ ชิ้นส่วนของโมเลกุลและอนุภาคที่ถูกกระตุ้น

2.1.2.1 ปฏิกิริยาที่เกิดจากการกระทำของอิเล็กตรอน (Electron Based Eactions) ในโกลดิสซาร์ตพลาสมา แบ่งออกเป็น 4 ประเภทดังนี้



รูปที่ 2.2 โคจรแบบการแตกตัวในบริเวณแผ่นขนาน [7]

ก. ไอออไนเซชัน (Ionization)

ปฏิกิริยาไอออไนเซชันเป็นปฏิกิริยาการแตกตัวของอะตอมหรือโมเลกุลที่เป็นกลางด้วยการชนของอิเล็กตรอนที่มีพลังงานเพียงพอ ส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนและคู่อิเล็กตรอน ดังสมการต่อไปนี้



ข. ดีสโซซิเอชัน (Dissociation)

ปฏิกิริยาดีสโซซิเอชัน คือ ปฏิกิริยาการแตกตัวของโมเลกุลที่เกิดการชนกับอิเล็กตรอนที่มีพลังงานเพียงพอ ส่งผลให้โมเลกุลที่ถูกชนเกิดการแตกตัวเป็นอิเล็กตรอนและอะตอมที่สามารถทำปฏิกิริยาได้ ดังสมการต่อไปนี้





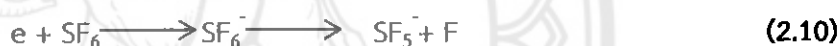
ค. คีลโซซิเอทีฟ ไอออนไนเซชัน (Dissociative Ionization)

ปฏิกิริยาคีลโซซิเอทีฟ ไอออนไนเซชัน คือ ปฏิกิริยาการแตกตัวที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของอิเล็กตรอนที่มีพลังงานเพียงพอ ส่งผลให้เกิดอนุภาคที่ถูกกระตุ้นที่มีพลังงานสูงทั้งไอออน (โฟตอนหรืออะตอมที่มีประจุบวกและอิเล็กตรอน) และอะตอมที่สามารถทำปฏิกิริยาได้ ดังสมการต่อไปนี้



ง. คีลโซซิเอทีฟ แอทแทชเมนต์ (Dissociative Attachment)

ปฏิกิริยาคีลโซซิเอทีฟ แอทแทชเมนต์ คือ ปฏิกิริยาการชนกันของโมเลกุลและอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูง โดยเมื่อเกิดการชนอิเล็กตรอนจะเกิดการยึดเกาะกับโมเลกุลและแตกโมเลกุลนั้นเป็นไอออนและอะตอมที่สามารถทำปฏิกิริยาที่มีพลังงานสูง ดังสมการต่อไปนี้



2.1.2.2 อนุภาคที่ถูกกระตุ้น (Active Species) ในโกลดีสชาร์ตพลาสมาที่เกิดจากอันตรกิริยาของแก๊สและพลาสมาสามารถแบ่งได้ 3 ประเภท ดังนี้

ก. โฟตอน (Photons) โฟตอนเป็นอนุภาคที่ถูกกระตุ้นที่สามารถเกิดได้ทั้งในช่วงโกลดีสชาร์ตพลาสมาและอาร์กพลาสมา (Arc Plasma) บนแถบสเปกตรัมความยาวคลื่นของแม่เหล็กไฟฟ้า โฟตอนบนสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้านี้แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

ก.1 อินฟราเรดโฟตอน (Infrared Photons) เป็นโฟตอนที่มีพลังงานต่ำที่สุด พลังงานอยู่ในช่วง 1.24×10^{-3} - 1.70 อิเล็กตรอนโวลต์ โพรตอนประเภทนี้สามารถเกิดอันตรกิริยากับแก๊สและแผ่รังสีจากพลาสมาในช่วงที่ตามองเห็นได้

ก.2 โฟตอนที่ตามองเห็น (Visible Photons) เป็นโฟตอนที่มีพลังงานอยู่ในช่วง 1.59-3.26 อิเล็กตรอนโวลต์ โพรตอนประเภทนี้สามารถแตกบางพันธะของโมเลกุลและกระตุ้นอะตอมด้วยการสั่นพ้องในส่วนของสเปกตรัมที่ตามองเห็น

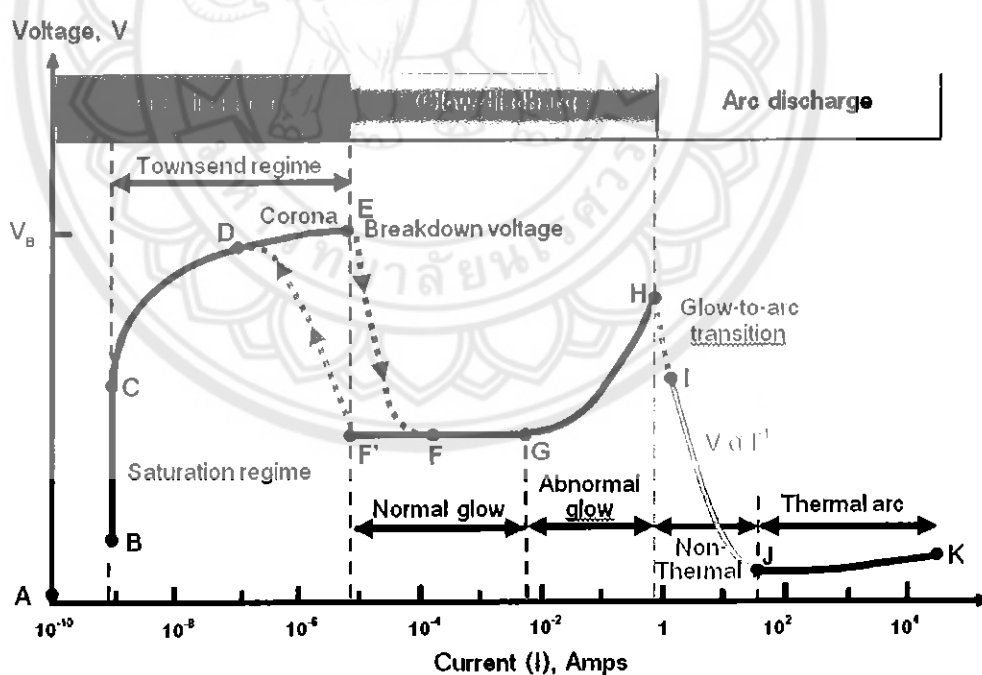
ก.3 อัลตราไวโอเล็ตโฟตอน (Ultraviolet Photons) เป็นโฟตอนที่มีพลังงานมากที่สุด พลังงานอยู่ในช่วง 3.12-95.3 อิเล็กตรอนโวลต์ โฟตอนประเภทนี้สามารถแตกตัวเป็นไอออนกระตุ้นอะตอมให้ตัดโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีสายยาวและแตกพันธะของโมเลกุลให้อยู่ในรูปโมเลกุลที่มีขนาดเล็กกว่า

ข. อนุภาคที่เป็นกลาง (Neutral Species) อนุภาคที่เป็นกลางเป็นอนุภาคที่ถูกกระตุ้นจากการชนกันของอะตอมที่เป็นกลางกับอิเล็กตรอนและเกิดปฏิกิริยาเคมีในระบบพลาสมา อนุภาคประเภทนี้ส่วนใหญ่จะเกิดอันตรกิริยาที่แข็งแกร่งกับพื้นผิววัสดุ อนุภาคที่เป็นกลางในระบบพลาสมาประกอบด้วยอะตอมที่สามารถทำปฏิกิริยาได้ (Reactive Atomic Species) เช่น H, O และ Cl เป็นต้น มอนอเมอร์หรือสายโซ่พอลิเมอร์ขนาดสั้นบนพื้นผิวของวัสดุ โมเลกุลเบา (Light molecular) เช่น CH_2 เป็นต้น โมเลกุลหนัก (Heavy Molecular) ที่อยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนอะตอมที่ถูกกระตุ้น (Excited Atomic) และอนุมูลอิสระ (Free Radicals)

ค. อนุภาคที่มีประจุ (Charged Particles) เกิดจากการชนกันระหว่างอิเล็กตรอนกับอะตอมที่เป็นกลางในระบบพลาสมา อนุภาคที่มีประจุนี้สามารถเป็นได้ทั้งประจุบวกและประจุลบ โดยประจุบวกเกิดจากการแตกตัวเป็นไอออนและแลกเปลี่ยนประจุ แต่ประจุลบเกิดจากการเกาะของอิเล็กตรอนในระบบพลาสมาความดันบรรยากาศ

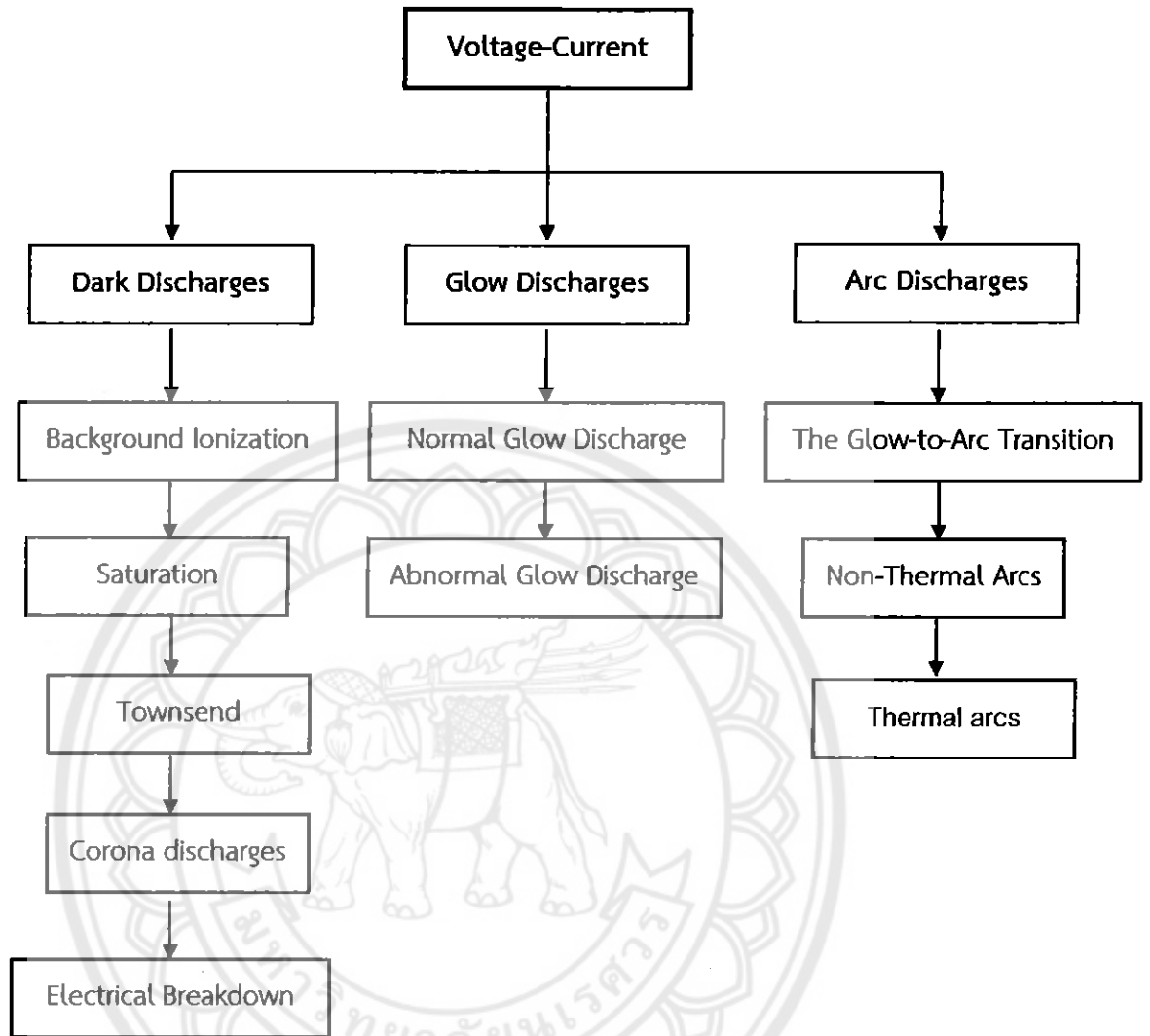
2.1.3 คุณลักษณะความต่างศักย์ไฟฟ้า - กระแสไฟฟ้า (Voltage-current Characteristic)

คุณลักษณะของความต่างศักย์ไฟฟ้า - กระแสไฟฟ้าของการปลดปล่อยไฟฟ้ากระแสตรงความดันต่ำพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 คุณลักษณะความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า [7]

ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง คือ ดาร์กดีสชาร์จ (Dark Discharge) โกลดีสชาร์จ (Glow Discharge) และอาร์กดีสชาร์จ (Arc Discharge) ซึ่งในแต่ละช่วงการปลดปล่อยมีการแบ่งเป็นช่วงย่อยดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 บริเวณความต่างศักย์ไฟฟ้า - กระแสไฟฟ้าของการปลดปล่อยไฟฟ้า กระแสตรงความดันต่ำ [7]

2.1.3.1 ช่วงคาร์กิตีสชาร์ต คาร์กิตีชาร์ตเป็นช่วงที่อนุภาคถูกกระตุ้นด้วยพลังงานต่ำ ทำให้อนุภาคไม่มีพลังงานเพียงพอในการปลดปล่อยแสงที่สามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่า คาร์กิตีสชาร์ต แบ่งเป็น 4 ช่วงย่อย ดังนี้

ก. ช่วงการแตกตัวเป็นไอออนพื้นฐาน (Background ionization) เป็นช่วงที่อะตอมที่เป็นกลางถูกกระตุ้นด้วยการแผ่รังสีรูปแบบต่างๆ ที่มีอยู่ในธรรมชาติ ความต่างศักย์ไฟฟ้าในช่วงนี้จะมีเพิ่มขึ้นสูง

ข. ช่วงอิ่มตัว (Saturation) เป็นช่วงที่ให้พลังงานไฟฟ้าแก่ระบบ ส่งผลให้อิออน (อิเล็กตรอนและอนุภาคที่มีประจุบวก) ที่เกิดจากการแตกตัวด้วยรังสี เคลื่อนที่ออกจากบริเวณที่แตกตัว

โดยอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วแอโนด (ขั้วบวก) และอนุภาคที่มีประจุบวกจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วแคโทด (ขั้วลบ) ช่วงนี้ออออนยังมีพลังงานไม่เพียงพอที่จะก่อให้เกิดการแตกตัวเพิ่มเติม

ค. ช่วงทาวน์เซนด์ (Townsend) เป็นช่วงที่มีการให้พลังงานไฟฟ้าสูงเพียงพอแก่ระบบ ส่งผลให้ออออนมีพลังงานเพียงพอในการชนอะตอมที่เป็นกลางให้เกิดการแตกตัว โดยการแตกตัวนี้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain Reaction) ช่วงนี้ความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นแบบเอ็กโปเนนเชียล (Exponential)

ง. ช่วงโคโรนาดิสชาร์จ (Corona Discharge) หรือยูนิโพลารดิสชาร์จ (Unipolar Discharge) เป็นช่วงที่ความเข้มข้นของสนามไฟฟ้าบนพื้นผิวอิเล็กโทรดบริเวณจุดคม (Sharp point) มีค่าสูงช่วงนี้สนามไฟฟ้าจะมีพลังงานสูงกว่าพลังงานการแตกตัวของอะตอมที่เป็นกลาง การเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าจนถึงจุดสูงสุดจะทำให้สนามไฟฟ้าเกิดการสลายตัว (Electrical Breakdown) ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จุดนี้เรียกว่า ความต่างศักย์ไฟฟ้าสลายตัว (Breakdown Voltage)

ช่วงการเปลี่ยนแปลงทั้ง 4 ช่วงดังกล่าวข้างต้นยังคงไม่เกิดการปลดปล่อยแสงที่สามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่า แต่ถ้ากระแสไฟฟ้าและปริมาณแก๊สที่เป็นกลางถูกกระตุ้นสูงเพียงพอที่จะสามารถทำให้เกิดการปลดปล่อยแสงที่มนุษย์สามารถสังเกตเห็นได้

2.1.3.2 ช่วงโกลดิสชาร์จ โกลดิสชาร์จหรือช่วงที่พลาสมาเกิดการเรืองแสง เป็นช่วงที่อนุภาคถูกกระตุ้นด้วยการชนจนกระทั่งอิเล็กตรอนมีพลังงานและความหนาแน่นสูงเพียงพอในการปลดปล่อยแสงที่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า โกลดิสชาร์จแบ่งเป็น 2 ช่วงย่อย ดังนี้

ก. ช่วงนอร์มอลดิสชาร์จ (Normal Glow Discharge) เป็นช่วงที่กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ขณะที่ความต่างศักย์ไฟฟ้ามีค่าคงที่ พลาสมาจะเกิดเพิ่มขึ้นจนกระทั่งปกคลุมทั่วพื้นผิวแคโทด

ข. ช่วงแอบนอร์มอลดิสชาร์จ (Abnormal Glow Discharge) เป็นช่วงที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น เพื่อบังคับให้กระแสไฟฟ้ามีความหนาแน่นบริเวณเหนือพื้นผิวของแคโทด

2.1.3.3 ช่วงอาร์กดิสชาร์จ อาร์กดิสชาร์จเป็นช่วงที่มีการปลดปล่อยแสงสูงมาก กระแสไฟฟ้ามีค่าสูงและมีความเข้ม ในขณะที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วแคโทดมีค่าลดลง อาร์กดิสชาร์จแบ่งเป็น 3 ช่วงย่อย ดังนี้

ก. ช่วงการเปลี่ยนแปลงจากโกลไปยังอาร์ก (The Glow to Arc Transition) เป็นช่วงที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงเป็นความร้อนบนพื้นผิวอิเล็กโทรดและเกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนที่ขั้วแคโทด

ข. ช่วงนอนเทอร์มอลอาร์ก (Non-thermal Arc) เป็นช่วงที่ความต่างศักย์ไฟฟาลดลง ขณะที่กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นช่วงนี้อิเล็กตรอน ออออนและแก๊สจะมีอุณหภูมิไม่เท่ากัน

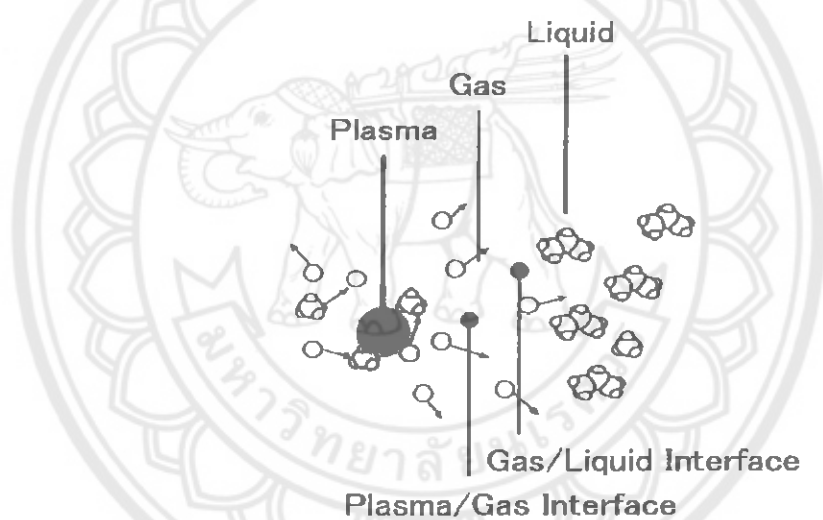
ค. ช่วงเทอร์มอลอาร์ก (Thermal Arc) เป็นบริเวณที่เข้าใกล้สมดุลทางอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamic Equilibrium) ความต่างศักย์ไฟฟ้าจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น อนุภาคที่มีประจุและแก๊สจะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน

2.1.4 การเกิดพลาสมาของเหลว (Solution Plasma) [8]

พลาสมาเป็นสภาวะไอออนที่เกิดจากการแตกตัวของแก๊ส การมีสภาพเป็นไอออนจะมีอิเล็กตรอนอย่างน้อยหนึ่งตัวถูกดึงออกจากโมเลกุลกลายเป็นประจุไฟฟ้าอิสระ ทำให้มีสภาพการนำไฟฟ้าเกิดขึ้น พลาสมาประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุทั้งบวกและลบในสัดส่วนที่เท่ากัน การเคลื่อนที่ของอนุภาคของพลาสมา จะเป็นผลมาจากการชนกันของอนุภาคที่ใกล้เคียงกัน

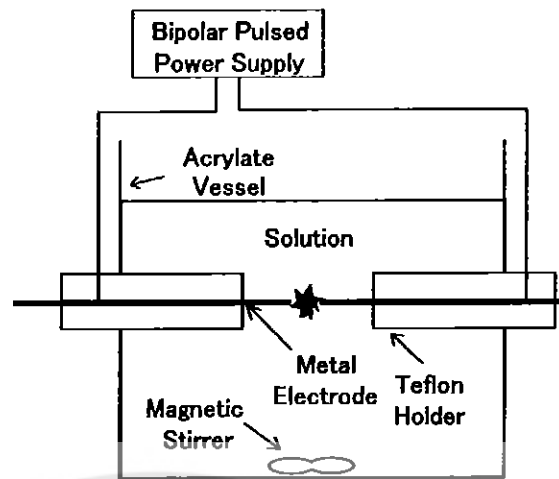
พลาสมาเกิดได้โดยการให้สนามไฟฟ้าปริมาณมาก เมื่อมีพลังงานส่งผ่านไปยังอิเล็กตรอนอิสระมากพอ จะทำให้อิเล็กตรอนอิสระชนกับอะตอม ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอม กลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระ เมื่ออิเล็กตรอนอิสระเพิ่มมากขึ้น ทำให้อิเล็กตรอนชนกับอะตอมมากขึ้น จนทำให้เกิดเป็นสภาวะพลาสมาขึ้น เรียกกระบวนการนี้ว่ากระบวนการแตกตัวเป็นไอออน (Ionization)

การเกิด Solution Plasma เป็นการเกิดพลาสมาในสารละลายหรือของเหลว พลาสมาจะเกิดบริเวณตรงกลางล้อมรอบด้วยชั้นแก๊สและชั้นของเหลวตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โมเดลของการเกิดพลาสมาของเหลว [8]

การเกิดพลาสมาของเหลวเป็นการเกิดพลาสมาในสภาวะของเหลว โดยการให้แรงดันไฟฟ้าที่มากพอที่จะทำให้เกิดพลาสมาขึ้นในสารละลาย แรงดันไฟฟ้าจะถูกป้อนจากเครื่อง Bipolar Pulsed Power Supply ที่มีการให้แรงดันไฟฟ้าสูงถูกเชื่อมต่อเข้ากับอิเล็กโทรดที่หุ้มด้วย Teflon Holder เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าแก่ของเหลวภายในถังปฏิกรณ์พลาสมาทำให้เกิดพลาสมาของเหลวขึ้นโดยมีการปั่นกวนตลอดเวลา การเกิดพลาสมาจะเกิดขึ้นที่บริเวณปลายทั้งสองของอิเล็กโทรด ดังแสดงในรูปที่ 2.6



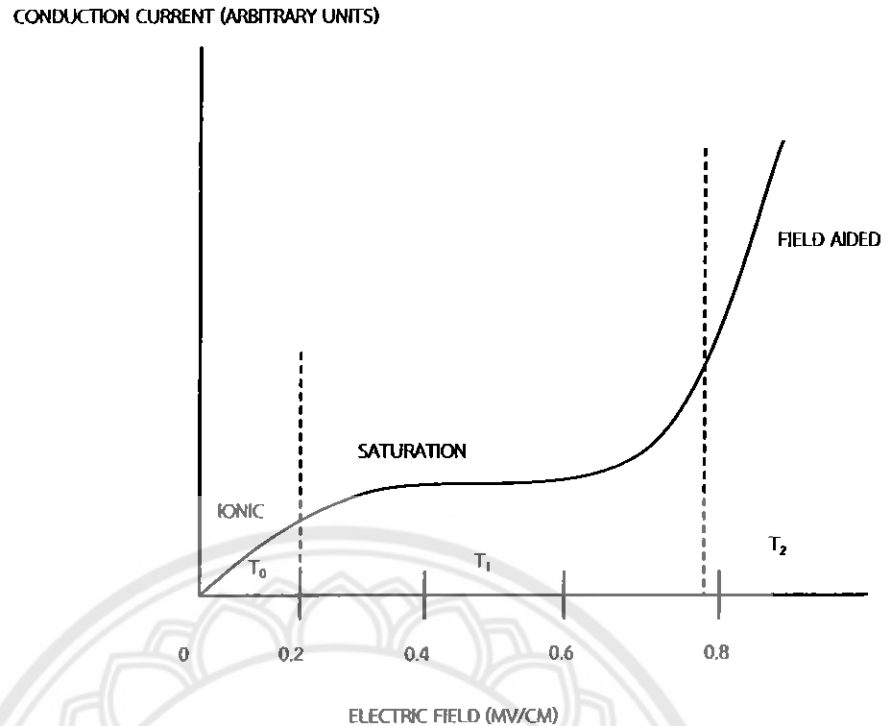
รูปที่ 2.6 กระบวนการพลาสมาของเหลว [8]

ในปัจจุบันกระบวนการพลาสมาของเหลวยังมีการนำมาใช้ไม่แพร่หลายมากนัก เนื่องจากความควบคุมการเกิดพลาสมาทำได้ยาก รวมถึงเครื่องมืออุปกรณ์ในการผลิตมีราคาที่สูง แต่ก็มีมีการนำเอาพลาสมาของเหลวมาประยุกต์ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคในระดับนาโนและใช้ในการปรับหน้าผิวของโลหะ

2.1.5 การเบรกดาว์นพลาสมา (Breakdown) [9]

การเบรกดาว์นเป็นการป้อนแรงดันไฟฟ้าที่ค่าๆ หนึ่งให้กับฉนวน ซึ่งมีค่าเกินความสามารถของฉนวนที่จะทนแรงดันไฟฟ้าหรือทนต่อสนามไฟฟ้านั้นได้ จึงจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านฉนวนอย่างรุนแรงจนกระทั่งฉนวนนั้นไหม้ไหมวจึงเกิดการเบรกดาว์นไปในที่สุด การเบรกดาว์นนั้นขึ้นอยู่กับชนิดหรือฉนวนที่ใช้ในการทำ การเบรกดาว์นโดยจะแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ การเบรกดาว์นในก๊าซ (Breakdown in Gas) การเบรกดาว์นในของเหลว (Breakdown in Liquid) และการเบรกดาว์นในของแข็ง (Breakdown in Solid)

ซึ่งการเบรกดาว์น ในของเหลว คือ การที่สนามไฟฟ้าของอิเล็กโทรดที่อยู่ในของเหลว มีค่าความเข้มสนามไฟฟ้าสูงมาก กระแสที่ไหลผ่านฉนวนเหลวจะไม่สูงขึ้นอย่างรวดเร็วแต่จะเกิดเบรกดาว์น เมื่อเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าถึงจุดๆ หนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.7

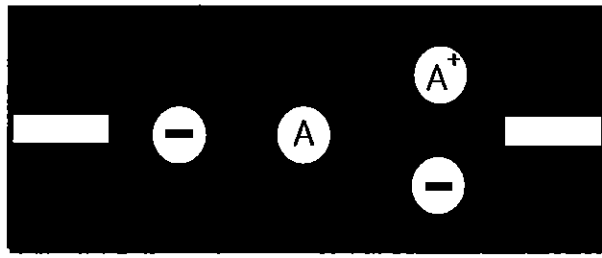


รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและ Electric Field ในฉนวนเหลว [9]

การเบรกดาวนในฉนวนเหลวจะมีกระแสไหลแบ่งได้เป็น 3 ระยะ คือ ระยะ Ionic ในระยะนี้ กระแสมีค่าสูงขึ้น ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ Dissociation ของ Ion ระยะอิ่มตัว Saturation นั้นกระแสจะมีค่าคงที่ เนื่องจากเกิดการสมดุลกันระหว่างขบวนการ Ionization กับ Recombination ของประจุ และระยะสุดท้าย กระแสจะมีค่าสูงขึ้นอย่างมากจนกระทั่ง Breakdown เนื่องจากประจุส่วนเกินถูกเร่งให้เคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้าจนเกิดการแตกตัวเป็นไอออนไปในที่สุด

การเบรกดาวนในของเหลวดังกล่าวมาเป็นเบรกดาวน ในของเหลวที่บริสุทธิ์ อย่างไรก็ตาม การเบรกดาวนในของเหลวยังสามารถเกิดในสารไม่บริสุทธิ์ ซึ่งพอสรุปได้ คือ เกิดจาก Electron เกิดจาก ฟองก๊าซ เกิดจากหยดของเหลวอื่น และเกิดจาก Molecule ของของแข็ง [9]

ซึ่งปัจจัยที่ทำให้เกิดการเบรกดาวนพลาสมาของเหลวขึ้นอยู่กับค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ของสารที่ใช้ในการเบรกดาวน เนื่องจากการเกิดการเบรกดาวนพลาสมาของเหลวเกิดจากการป้อนแรงดันไฟฟ้าที่ค่าหนึ่งให้กับสารละลาย ทำให้ไอเล็กตรอนอิสระเกิดการเคลื่อนที่ไปชนกับ อะตอมที่เป็นกลางจนเกิดการแตกตัวเป็นไอออนและเกิดการเบรกดาวนพลาสมาของเหลวเกิดขึ้น แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 กลไกการเบรกความพลัสมาของเหลวในสารที่ไม่มีค่าการนำไฟฟ้า

แต่เมื่อสารละลายตัวนั้นมีค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) หรือมีความเป็นประจุอยู่ในตัวเอง เมื่ออิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ไปชนกับอะตอมที่มีประจุจะไม่เกิดการแตกตัวเป็นไอออน แต่จะทำให้ อะตอมที่มีประจุนั้นรับอิเล็กตรอนแทนทำให้ไม่เกิดสภาวะพลัสมาของเหลวเกิดขึ้น แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 กลไกการเบรกความพลัสมาของเหลวในสารที่มีค่าการนำไฟฟ้า

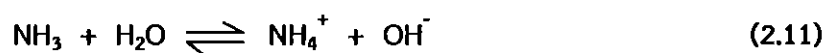
2.2 ตัวทำละลาย [10]

ตัวทำละลายเป็นของเหลวที่สามารถละลายตัวถูกละลายที่เป็นของแข็ง ของเหลวหรือก๊าซได้เป็น สารละลายซึ่งชนิดของตัวทำละลายแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดตัวทำละลายที่เป็นสารอนินทรีย์และตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์

2.2.1 ตัวทำละลายที่เป็นสารอนินทรีย์

ตัวทำละลายที่เป็นสารอนินทรีย์จะเป็นสารจำพวกน้ำ ซึ่งน้ำเป็นตัวทำละลายแอมโฟโพรติก (Amphiprotic Solvents) คือ สามารถให้หรือรับโปรตอนได้ซึ่งเป็นที่ตั้งกรดหรือตั้งเบสขึ้นอยู่กับตัวถูกละลาย

ในกรณีที่น้ำเป็นตัวให้โปรตอน



ในกรณีที่น้ำเป็นตัวรับโปรตอน

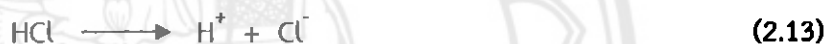


2.2.2 ตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์

ตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น เมทานอล เอทิลแอลกอฮอล์หรือเอทานอล กรดหรือเบสอินทรีย์ เป็นต้น สารละลายเมทานอลและเอทานอลเป็นตัวทำละลายแอมโฟโปรติก (Amphiprotic Solvents) เช่นเดียวกับน้ำ ส่วนตัวทำละลายที่เป็นกรดอินทรีย์เป็นตัวทำละลายที่เกิดการแตกตัวแล้วให้ไฮโดรเจนไอออนและตัวละลายที่เป็นเบสอินทรีย์เป็นตัวทำละลายที่เกิดการแตกตัวแล้วให้ไฮดรอกไซด์ไอออน ซึ่งเป็นผลทำให้ตัวทำละลายที่เป็นกรดและเบสอินทรีย์มีสมบัติในการนำไฟฟ้า

2.2.2.1 การแตกตัวของตัวทำละลายกรดแก่และเบสแก่

การแตกตัวของกรดแก่และเบสแก่จะแตกตัวได้หมด หมายถึง การแตกตัวของกรดแก่และเบสแก่ โดยแตกตัวเป็นไอออนได้หมดในตัวทำละลายซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำ



2.2.2.2 การแตกตัวของตัวทำละลายกรดอ่อน

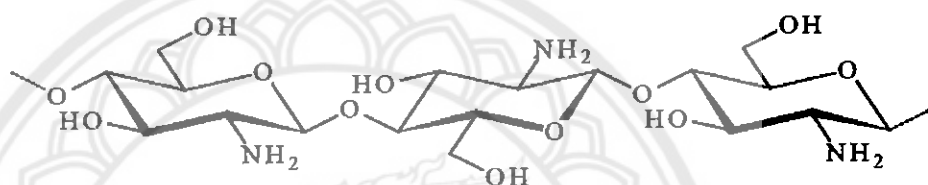
ตัวทำละลายกรดอ่อน เช่น กรดแอสติก (CH_3COOH) เมื่อละลายน้ำจะทำให้นำไฟฟ้าน้อยกว่าตัวทำละลายที่เป็นกรดแก่ทั้งนี้เพราะกรดแอสติกแตกตัวเป็นไอออนได้เพียงบางส่วน



2.3 ไคโตซาน

2.3.1 ลักษณะโครงสร้างของไคโตซาน

ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติของ poly- $\beta(1,4)$ -2-amino-2-deoxy-D-glucose หรือ poly- $\beta(1,4)$ -2-amino-2-deoxy-D-Glucan บางครั้งเรียกไคโตซานว่า Deacetylated Chitin ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของไคตินที่มีการกำจัดหมู่อะซิetyl ทำให้โครงสร้างทางเคมีเปลี่ยนไป โดยที่หมู่อะซิทาไมด์ ($-\text{NHCOCH}_3$) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ของไคตินเปลี่ยนเป็นหมู่เอมิโนอิสระ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ที่สามารถรับโปรตอนและทำให้พอลิเมอร์ที่ได้มีประจุเป็นบวก ไคโตซานไม่มีกลิ่น ไม่มีความเป็นพิษ สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ มีสีขาว มีความสามารถเข้ากันได้กับสิ่งมีชีวิตและมีสมบัติในการดูดซับสารอื่น จึงมีการนำไคโตซานมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆอย่างแพร่หลาย [1]



รูปที่ 2.10 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน [1]

2.3.2 สมบัติทางกายภาพของไคโตซาน

การเปลี่ยนจากไคตินเป็นไคโตซานสามารถบ่งชี้ได้จากระดับการกำจัดหมู่อะซิetyl (Degree of Deacetylation) เนื่องจากไคโตซานเป็นสารพอลิเมอร์ระหว่าง 2 โมโนเมอร์ของ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ถ้าสัดส่วนที่อยู่ร่วมกันของโมโนเมอร์ตัวแรกมากกว่า คือ มีการกำจัดหมู่อะซิetylต่ำจะแสดงคุณสมบัติเด่นของไคติน แต่ถ้าโมโนเมอร์ตัวที่สองมากกว่า แสดงถึงการกำจัดหมู่อะซิetylสูงจะแสดงคุณสมบัติเด่นของไคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานจะอยู่ในช่วง $1 \times 10^5 - 1.2 \times 10^6$ ดาลตัน ขึ้นอยู่กับขั้นตอนการผลิต [1] โดยที่ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงส่งผลให้ความหนืดมีค่าสูงขึ้น [11]

ไคโตซานเป็นพอลิอิเล็กโทรไลต์ประเภทบวก (Cationic Polyelectrolyte) เนื่องจากไคโตซานละลายในสารละลายที่มีสภาวะเป็นกรด ส่งผลให้หมู่เอมิโนอิสระในสายโซ่โมเลกุลรับโปรตอนแล้วเปลี่ยนไปอยู่ในรูป $-\text{NH}_3^+$ ทำให้สายโซ่โมเลกุลของไคโตซานมีประจุบวก รูปแบบโมเลกุลของไคโตซานเมื่อละลายในสารละลายสามารถบ่งชี้ได้โดยค่า Mark - Houwink Exponent (ค่า a) ถ้าค่า a มีค่าประมาณ 0.5-0.8 และ 1.8 สามารถบ่งชี้ได้ว่าพอลิเมอร์มีลักษณะขดตัวเป็นวงกลม (Sphere) มีลักษณะเป็น Random Coil และมีลักษณะเป็นแท่ง (Rod) ตามลำดับ รูปแบบโมเลกุลของไคโตซานที่แตกต่างกันในสารละลายขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไอออน ความเป็นกรดต่าง อุณหภูมิ ความเข้มข้นของยูเรีย น้ำหนักโมเลกุล และระดับการกำจัดหมู่อะซิetylของไคโตซาน [1]

โคโตซานไม่สามารถละลายน้ำ ด่าง และตัวทำละลายอินทรีย์ได้ เนื่องจากมีโครงสร้างเป็นผลึกอยู่มาก แต่โคโตซานมีหมู่อะมิโนอิสระ ($-NH_3^+$) ซึ่งมีสมบัติเป็นประจุบวกที่สภาวะเป็นกรด ดังนั้นโคโตซานจึงสามารถละลายได้ในสายละลายที่เป็นกรดอินทรีย์หลายชนิด โดยที่กรดอะซิติก และกรดฟอร์มิกเป็นกรดที่นิยมนำมาใช้ในการละลายโคโตซาน นอกจากนี้กรดอินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก และกรดฟอสฟอริกสามารถละลายโคโตซานได้ภายใต้การบั่นทอนที่อุณหภูมิปานกลาง ทั้งนี้อาจมีตะกอนขาวคล้ายเจลเกิดขึ้นและพบว่าโคโตซานไม่ละลายในกรดซัลฟูริก โคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีความเหนียวใสเมื่อละลายในกรดอินทรีย์ที่เป็นกรดอ่อนและมีพฤติกรรมแบบนอนนิวตันเนียน (Non-newtonian) [1]

สุวลี จันทร์กระจ่าง [12] ศึกษาความสามารถในการละลายของโคโตซานในการละลายในกรดชนิดต่างๆ ที่มีระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน คือ ร้อยละ 1 5 และ 10 พบว่าโคโตซานสามารถละลายได้ดีใน กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก กรดแลกติก และกรดมาลิกในทุกะดับความเข้มข้นของกรดที่ทำการศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การละลายของโคโตซานในสารละลายกรดชนิดต่างๆ (1 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ของสารละลายกรด) [12]

Acid concentration	1%	5%	10%
Acetic	+	+	+
Citric	-		
Formic	+	+	+
Lactic	+	+	+
Malic	+	+	+
Tartaric	-		+
Hydrochloric	+	-	-

+: ละลาย, -: ไม่ละลาย

ความหนืดของสารละลายโคโตซานขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ระดับการกำจัดหมู่เอซิติล น้ำหนักโมเลกุล โครงสร้างโมเลกุล อัตราส่วนระหว่างโคโตซาน ความเข้มข้นของอ็อกอน ความเป็นกรดต่าง และอุณหภูมิ [1, 11] โดยทั่วไปแล้วความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันชนิดของกรดที่ใช้และการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดต่างของสารละลายพอลิเมอร์ส่งผลให้ค่าความหนืดแตกต่างกัน ความหนืดของโคโตซานในกรดอะซิติกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมีความเป็นกรดต่างลดลง ในขณะที่ความหนืดของโคโตซานในสารละลาย กรดไฮโดรคลอริกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเป็นกรดเป็นต่างของสารละลายเพิ่มขึ้น [1] โคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงหรือมีความเข้มข้นของสารละลายในโคโตซานสูงส่งผลให้มีความหนืดสูงเช่นกัน [11] นอกจากนี้ยังมีการศึกษา

พบว่าความเข้มข้นของสารละลายต่างและเวลาในการกำจัดหมู่อะซิทธิลที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ความหนืดของสารละลายไคโตซานมีค่าลดลง [1]

2.3.3 สมบัติทางเคมีและการประยุกต์ใช้งานของไคโตซาน

ไคโตซานมีคุณสมบัติทางเคมีหลายอย่าง เช่น คุณสมบัติในการจับน้ำ จับไขมัน สมบัติในการเป็นตัวทำอิมัลชัน การเกิดเจล การเกิดแผ่นฟิล์ม และคุณสมบัติในการเป็นสารตกตะกอน โดยจะกล่าวถึงสมบัติทางเคมีและสมบัติเชิงหน้าที่ซึ่งมีความเกี่ยวเนื่องกันดังนี้

การเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุล (Intermolecular Properties) เช่น การเกิดฟิล์มเป็นสมบัติที่เกิดจากพันธะหรือการประสานตัวระหว่างโมเลกุลหรืออนุภาค สมบัติทางเคมีในข้อนี้ ส่งผลให้สามารถทำการขึ้นรูปไคโตซานในรูปของฟิล์มหรือเมมเบรนได้ โดยการนำไคโตซานมาละลายในกรดเจือจาง เช่น กรดอะซิทธิลจะได้สารละลายชั้นหนืดซึ่งใช้ในการขึ้นรูปเป็นฟิล์มหรือเมมเบรน

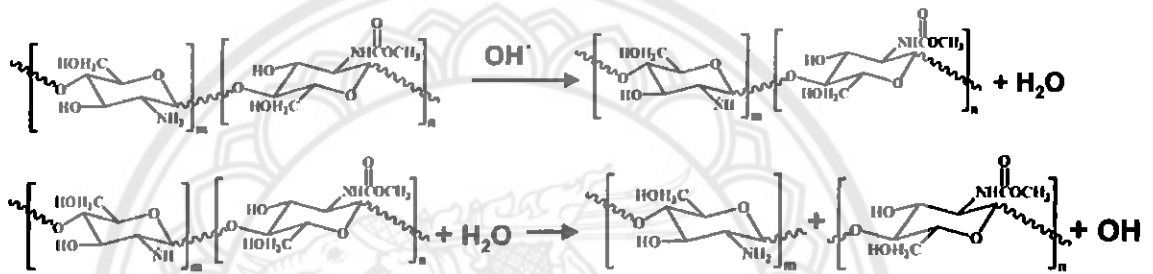
ไคโตซานมีสมบัติในการทำปฏิกิริยาระหว่างเฟส เช่น ความสามารถในการจับไขมัน (Fat Binding Capacity) จากการศึกษาของ Cho และคณะ [13] พบว่าความสามารถในการจับไขมันของไคตินส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกัน โดยอยู่ในช่วง 316-320 %w/w แต่ไคโตซานมีความสามารถในการจับไขมันแตกต่างจากไคติน โดยจะอยู่ช่วง 314-535 %w/w จากการศึกษาของ Rodriguez และคณะ [14] ซึ่งจากการได้ศึกษาการเกิดอิมัลชันระหว่างของน้ำมันเมล็ดทานตะวันกับสารละลายไคโตซานซึ่งมีระดับการกำจัดหมู่อะซิทธิลระหว่างร้อยละ 75-95 และเตรียมสารละลายไคโตซานในกรดไฮโดรคลอริกที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน พบว่าสามารถเกิดอิมัลชันแบบน้ำในน้ำมันในน้ำ (Water/Oil/Water)

ไคโตซานสามารถถูกไฮโดรไลซ์ได้ด้วยกรดหรือด่าง ภายใต้สภาวะของกรดหรือด่างกลุ่มอะซิทธิลในไคโตซานจะถูกปล่อยออกมาในรูปของกลุ่ม N-acetyl ที่ตำแหน่ง C2 เหลือเพียงกลุ่ม เอมีน (NH_2) โดยเฉพาะสภาวะกรด พอลิเมอร์ของไคโตซานอาจถูกตัดที่พันธะ Glycosidic ทำให้ขนาดของพอลิเมอร์เล็กลง ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ เช่น ชนิดของกรด เวลา อุณหภูมิ ชนิดของพันธะของสายโซ่โมเลกุล ชนิดของพอลิเมอร์ โดยไคตินจะสามารถต้านทานการย่อยสลายได้ดีกว่าไคโตซาน ในขณะที่เดียวกันการย่อยสลายไคโตซานโดยด่างจะเริ่มจากปลายสุดของสายโซ่โมเลกุล การย่อยสลายแบบนี้เรียกอีกอย่างว่า Peeling Reaction และไคโตซานยังถูกทำให้ย่อยสลายด้วยเอนไซม์หลายชนิด เช่น ไลโซไซม์ (Lysozyme) ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ ความเข้มข้นของอ็อกซิจินและความเป็นกรดต่างที่เหมาะสม ปริมาณ N-acetylation ยิ่งมากยิ่งเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวได้เร็ว ปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้การจับตัวเป็นผลึกของไคโตซานลดลงและสลายการจับตัวของพอลิเมอร์ อีกทั้งไคโตซานยังเป็นตัวสร้างตะกอนและตัวตกตะกอนที่ดี เนื่องจากโครงสร้างของไคโตซานมีโครงสร้างของหมู่เอมีนจำนวนมากซึ่งสามารถแตกตัวเป็นประจุบวกและจับกับสารที่มีประจุลบได้ มีการนำไคตินและไคโตซานไปใช้ในการกำจัดโลหะหนัก เนื่องจากโครงสร้างของไคโตซานมีหมู่ซึ่งเป็นประจุยื่นออกมาจากโครงสร้าง ดังนั้นไคโตซานจึงมีสมบัติในการจับโลหะหนักได้ [1]

2.4 กลไกการลดน้ำหนักโมเลกุลของโคโตซานด้วยกระบวนการพลาสมาของเหลว [6]

การลดน้ำหนักโมเลกุลของโคโตซานด้วยกระบวนการพลาสมาของเหลว เกิดจากหมู่ว่องไวที่เกิดขึ้น โดยการบวนการพลาสมาของเหลว อาทิเช่น Hydroxyl เข้าไปทำปฏิกิริยากับโคโตซานทำให้สายโซ่ของโคโตซานเกิดการแตกหักและลดสั้นลง โดยหมู่ว่อง Hydroxyl เกิดจากหมู่ว่องไว Oxygen ทำปฏิกิริยากับน้ำ

หมู่ว่องไวไฮดรอกซิลจะเข้าไปทำลายการเชื่อมต่อของสายโซ่ β -1-4glycosidic ของโคโตซาน จึงทำให้ไฮโดรเจนในหมู่อะมิโนหลุดออกไปพร้อมกับหมู่ว่องไวไฮดรอกซิลเป็นน้ำและทำให้สารโคโตซานมีประจุซึ่งว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา เมื่อสารโคโตซานทำปฏิกิริยากับน้ำ ไฮโดรเจนในน้ำจะกลับมารวมในหมู่อะมิโนดังเดิมและทำให้น้ำหนักโมเลกุลของโคโตซานลดลงแสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 กลไกการลดน้ำหนักโมเลกุลของโคโตซาน [6]

บทที่ 3 เอกสารที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ. 2003 Farooqahamed S. Kittur และคณะ [15] ได้ทำการศึกษาการเตรียมโคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำด้วยเอนไซม์ Pectinase ซึ่งเอนไซม์นั้น Pectinase จะได้จากเชื้อรา *Aspergillus Niger* สภาวะการเตรียมโคโตซานที่ใช้ AcOH 1 %w/v NaOH 1 โมล อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และน้ำกลั่น สภาวะที่ใช้ในการเตรียมโคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ คือ สารละลาย Sodium Pectate ร้อยละ 0.25 (ละลายใน AcOH 0.1 โมล pH 3) โคโตซาน 1 %w/v (AcOH 1 %w/v pH 3) อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 1 ชั่วโมง จากการวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลของโคโตซานโดยใช้เครื่อง CP-MAS CNMR แสดงให้เห็นว่าโคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่เตรียมได้นั้นมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 5000-20000 ดาลตัน จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของโคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำด้วยเครื่อง FT-IR และ X-Ray Diffraction ซึ่งพบว่าโครงสร้างของโคโตซานไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ในปี ค.ศ. 2007 Acharya B และคณะ [16] ได้ศึกษาการเตรียมโคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำด้วยเอนไซม์ Pronase ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา คือ เวลาที่ใช้ในการเตรียมโคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ สภาวะของการเตรียมโคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำด้วยเอนไซม์ Pronase คือ สารละลายโคโตซาน 1 %w/v อัตราส่วนของสารละลายโคโตซานต่อเอนไซม์ Pronase 100:1 w/w เวลาที่ใช้ 1-5 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จากการวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลโดยใช้ FT-IR Spectroscopy พบว่าโคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ได้จะมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 9.5-8.5 กิโลดาลตัน

ในปี ค.ศ. 2008 Takai O. และคณะ [8] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการนำกระบวนการพลาสมาของเหลวมาประยุกต์ใช้งานในการสังเคราะห์อนุภาคระดับนาโนและการแก้ไขปัญหามลพิษของโลหะ โดยการสังเคราะห์อนุภาคระดับนาโนจะใช้สารละลาย H_{AuCl}₄ โดยมีเติม KCl และเจลาตินเป็นสารนำไฟฟ้า จากการศึกษาพบว่าลักษณะสีคอลลอยด์ของทองเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาจากสีเหลืองกลายเป็นสีแดงเข้ม การวิเคราะห์โดยใช้ Transmission Electron Microscopy (TEM) พบว่าอนุภาคของทองในระดับนาโนที่ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.5 ± 3.6 นาโนเมตร ซึ่งผลจากการปรับปรุงพื้นผิวของแผ่นอลูมิเนียม พบว่าเกิดปรับปรุงพื้นผิวที่ความต่างศักย์ในช่วง 0-150 โวลต์ เมื่อค่าความต่างศักย์เพิ่มขึ้นถึง 175 โวลต์ การปรับปรุงพื้นผิวของโลหะจะมีค่าสูงขึ้นและเริ่มมี Microarc เกิดขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า การเพิ่มค่าความต่างศักย์ (Conductivity) 200-250 โวลต์ จะทำให้พื้นที่ทั้งหมดเกิดการปกคลุมด้วย Microarc จากการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้พลาสมาของเหลวนี้มีแนวโน้มที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

ในปี ค.ศ. 2008 Peniche C. และคณะ [17] ได้รายงานคุณสมบัติและการประยุกต์ใช้งานของ ไคตินและไคโตซาน ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติอย่างหนึ่ง ที่พบอยู่ในเปลือกของสัตว์จำพวก กุ้ง ปู และแมลง ซึ่งเป็นสารชีววัสดุที่มีลักษณะโดดเด่นเฉพาะตัว คือ สามารถย่อยสลายตามธรรมชาติ มีความปลอดภัยเมื่อนำมาใช้กับร่างกายโดยไม่เกิดอาการแพ้และปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม จากการศึกษาดังกล่าวสามารถนำไคโตซานไปประยุกต์ใช้ในด้านการศึกษา เช่น ใช้ในการทำเส้นไหมที่ใช้เย็บแผลสด ด้านการเกษตรนำไคโตซานไปช่วยให้พืชผลมีผลผลิตเพิ่มขึ้น ด้านอุตสาหกรรมอาหารใช้ไคโตซานในการเป็นสารเติมแต่งรสและด้านเครื่องสำอางค์นั้น ไคโตซานจะช่วยทำให้ผิวมีความชุ่มชื้นและดูอ่อนวัย

ในปี ค.ศ. 2009 Shih-Bin Lin และคณะ [18] ได้ศึกษาการเตรียมไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ด้วยเอนไซม์ ตัวแปรที่ศึกษา คือ ชนิดเอนไซม์มีดังต่อไปนี้ Cellulase, Lysozyme และ Chitinase ความเข้มข้นของสารละลายไคโตซาน 2.2 %w/v อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบว่าการเตรียมไคโตซานโมเลกุลต่ำที่เตรียมโดยการใช้ Lysozyme กับร้อยละ 92 Deacetylated ของสารไคโตซานทำให้ได้ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลสูง แต่จากการเตรียมไคโตซานโมเลกุลต่ำโดยใช้เอนไซม์ Chitinase พบว่าความหนืดของสารไคโตซานนั้นลดลง ทำให้ได้ไคโตซานที่น้ำหนักโมเลกุลต่ำ

ในปี ค.ศ. 2011 Prasertsung I. และคณะ [6] ได้ศึกษาการเตรียมไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ด้วยพลาสมาของเหลว ตัวแปรที่ศึกษา คือ เวลาที่ใช้ในการเตรียมในช่วง 0-300 นาที สภาพของพลาสมาที่ใช้ คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 1.6 กิโลโวลต์, Pulse Width 2 μ s, ระยะห่างของอิเล็กโทรด 0.2 มิลลิเมตร อุณหภูมิของสารละลายอยู่ในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของสารละลายไคโตซาน 1 %w/v จากการศึกษาการเตรียมไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำพบว่าสารละลายไคโตซานที่ผ่านการ Treat ด้วยกระบวนการพลาสมาของเหลวเป็นเวลา 15-60 นาที ค่าความหนืดของไคโตซานลดลงอย่างมีนัยสำคัญและจะเริ่มคงที่เมื่อ 180 นาทีขึ้นไป จากการวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานโดยเครื่อง Gel Permeation Chromatography (GPC) พบว่าน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานลดลง และการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีโดยใช้ Fourier Transfer Infrared Spectrometer (FT-IR) พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างไคโตซานที่ผ่านการ Treat ด้วยพลาสมาของเหลว

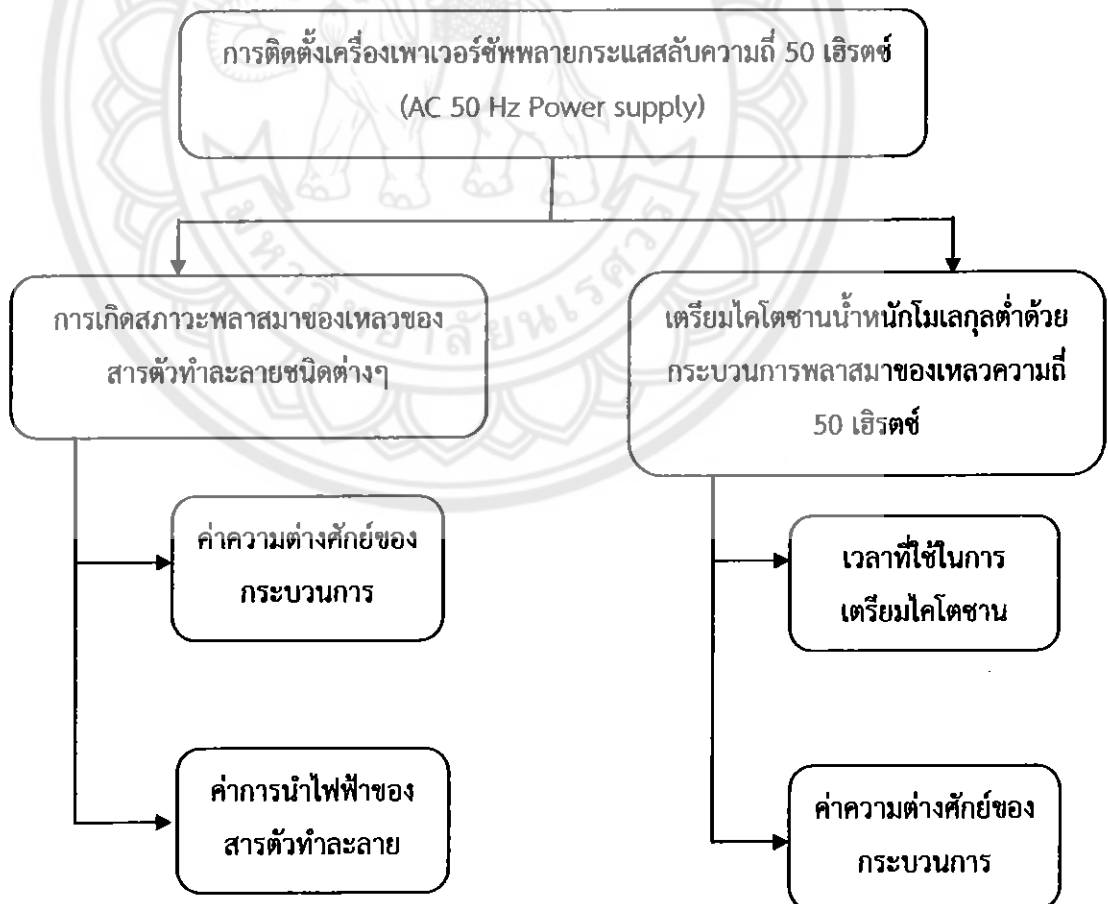
จากรายงานวิจัยข้างต้นสามารถที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการทดลอง เช่น จากงานวิจัยของ Prasertsung และคณะ [6] พบว่าสามารถเตรียมไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำด้วยกระบวนการพลาสมาของเหลว แต่เครื่องพลาสมาหลายชนิดที่ใช้นั้นมีความถี่สูงและราคาสูงมาก จึงได้เกิดโครงการสร้างเครื่องพลาสมาหลายกระแสด้านความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ สำหรับกระบวนการพลาสมาของเหลวขึ้น โดยมีการนำไปประยุกต์ใช้ในการเตรียมไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำอีกด้วย

บทที่ 4 วิธีดำเนินการทดลอง

4.1 อุปกรณ์และสารเคมี

- 4.1.1 เครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์
- 4.1.2 ถังปฏิกรณ์พลาสมาของเหลวแบบกะ
- 4.1.3 ไคโตซาน
- 4.1.4 กรดอะซิติก
- 4.1.5 กรดไฮโดรคลอริก
- 4.1.6 โซเดียมไฮดรอกไซด์
- 4.1.7 เอทานอล

4.2 วิธีการทดลอง



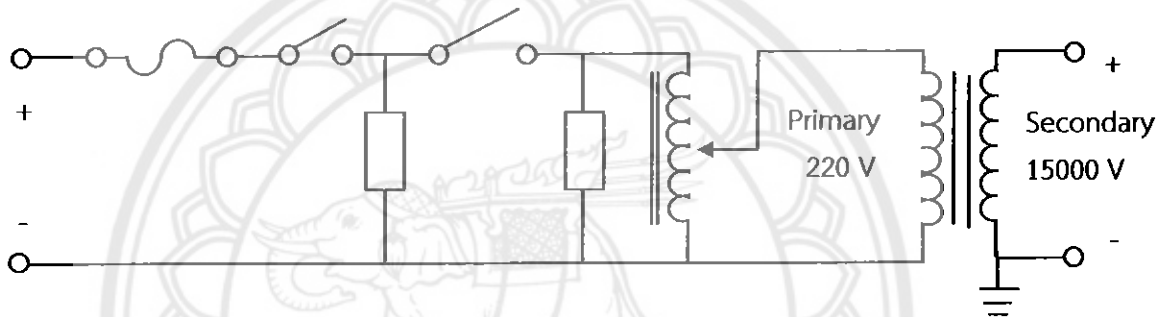
รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการทดลอง

4.2.1 การติดตั้งเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์

การติดตั้งเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ซึ่งจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือเครื่องกำเนิดพลาสมาของเหลวกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ และถังปฏิกรณ์พลาสมาของเหลวแบบกะ

4.2.1.1 การสร้างเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์

เครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ประกอบด้วยหม้อแปลงแบบปรับค่าได้ (Variac) และหม้อแปลงเพิ่มแรงดันไฟฟ้า (Transformer Step up) ซึ่งสามารถเพิ่มแรงดันไฟฟ้าได้สูง 68 เท่าโดยจะทำการแปลงแรงดันไฟฟ้าจาก 220 โวลต์ กระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 2 แอมป์ เป็นแรงดันไฟฟ้า 15,000 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 30 มิลลิแอมป์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ การต่อวงจรของเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ แสดงดังรูปที่ 4.2



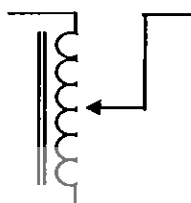
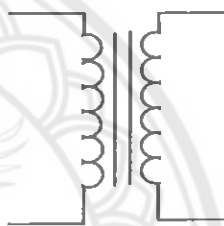
รูปที่ 4.2 วงจรไฟฟ้าเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์

หมายเหตุ

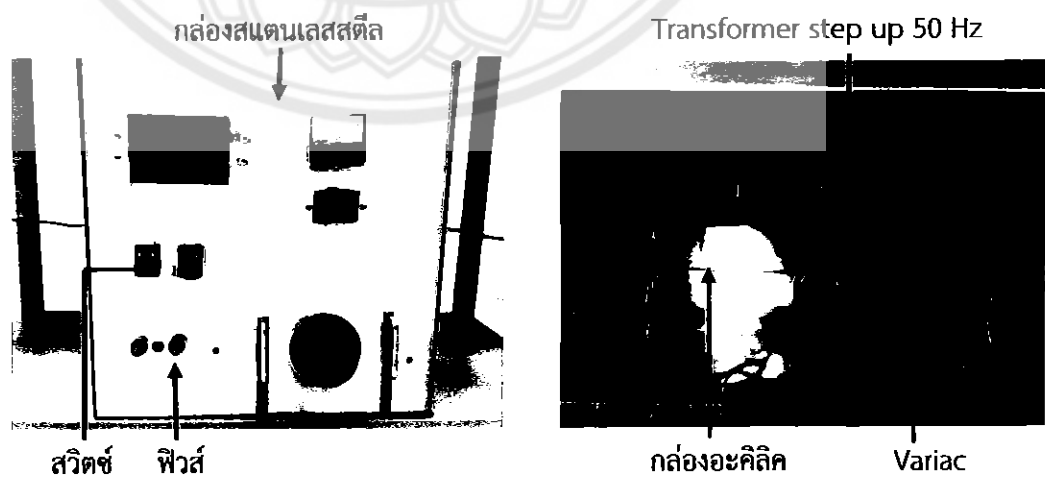
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงวงจรไฟฟ้าของเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์

ชื่อ	สัญลักษณ์
สายไฟ	—
สวิตช์	
ฟิวส์	
ตัวต้านทาน	
สายดิน	

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ตารางแสดงสัญลักษณ์วงจรไฟฟ้าของเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับ ความถี่ 50 เฮิรตซ์

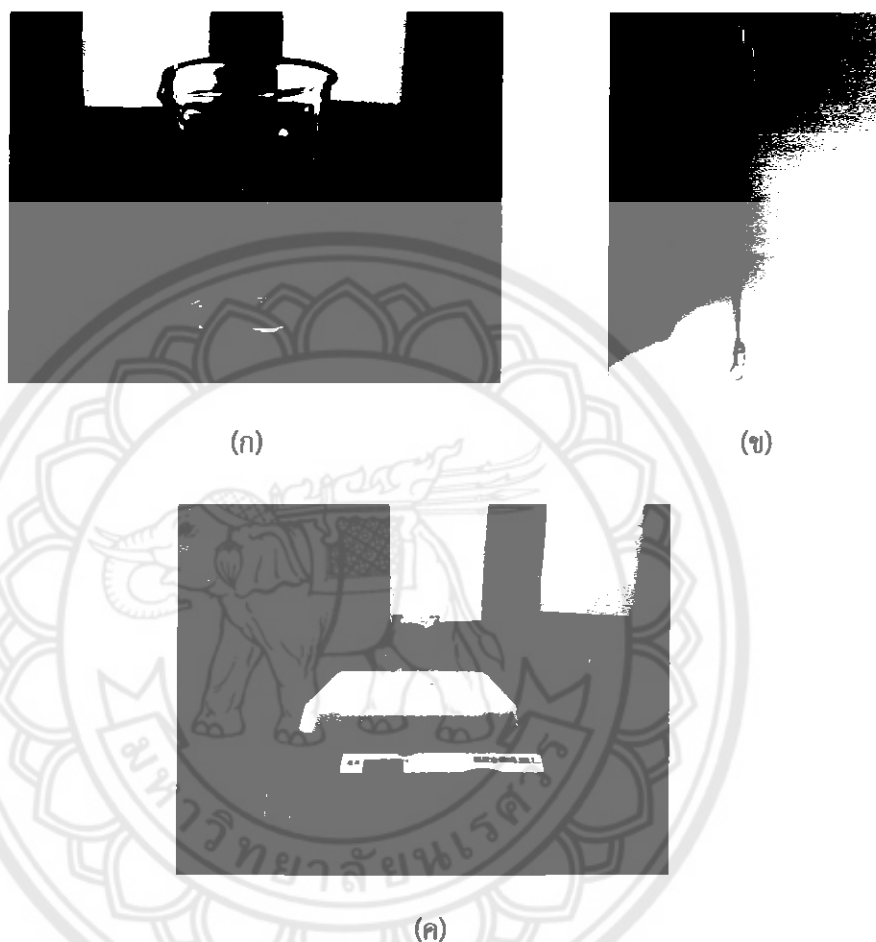
ชื่อ	สัญลักษณ์
หม้อแปลงปรับค่า (Variac)	
หม้อแปลงเพิ่มแรงดันไฟฟ้า (Transformer Step up)	

หม้อแปลงแบบปรับค่าได้ (Variac) และหม้อแปลงเพิ่มแรงดันไฟฟ้า (Transformer Step up) ถูกจัดวางลงในกล่องที่ทำด้วยสแตนเลสสตีลที่เจาะรูด้านข้างเพื่อให้สายไฟเชื่อมต่อกับถังปฏิกรณ์พลาสมาแบบกะ โดยที่หม้อแปลงเพิ่มแรงดันไฟฟ้าถูกจัดวางลงในกล่องที่ทำจากแผ่นอะคริลิกเพื่อเป็นฉนวนป้องกันแรงดันไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงการติดตั้งเครื่องกำเนิดพลาสมาของแหล่งกระแสสลับความถี่ 50 เฮิรตซ์

4.2.1.2 การสร้างดังปฏิกรณ์พลาสมาแบบกะ ดังปฏิกรณ์พลาสมาแบบกะประกอบด้วย ปีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ที่มีทั้งสแตนอิลเล็กโทรดทั้งสองข้างโดยที่ทั้งสแตนอิลเล็กโทรดถูกหุ้มด้วย เซรามิกหิวบ์และจุกยาง ตามลำดับ ดังปฏิกรณ์พลาสมาเหลวจะถูกวางอยู่บน Magnetic Stirrer เพื่อ ทำการปั่นกววน แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 (ก) ปีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตรเจาะรู (ข) Tungsten Electrode ถูกหุ้มด้วย Ceramic Cover และจุกยาง (ค) ดังปฏิกรณ์พลาสมาเหลว

4.2.3 สภาวะการเกิดพลาสมาของเหลวของสารตัวทำละลายชนิดต่างๆ ด้วยกระบวนการ พลาสมาของเหลวกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์

เตรียมสารตัวทำละลายชนิดต่างๆ คือ น้ำกลั่น เอทานอล (Ethanol) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) และกรดอะซิติก (CH_3COOH) นำไป Treat ด้วยกระบวนการ พลาสมาของเหลวที่ความถี่ของเครื่องกำเนิดพลาสมา 50 เฮิร์ตซ์ ปรับค่าแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในช่วง 0-15000 โวลต์ ควบคุมระยะห่างของ Tungsten Electrode ที่ 0.2 มิลลิเมตร ทาสภาวะการเกิดการ เบรกดาวนซ์ของของเหลวและวัดค่าการนำไฟฟ้า

4.2.4 การเตรียมโคโตนาน้ำหนักโมเลกุลต่ำด้วยกระบวนการพลาสมาของเหลว กระแสสลับ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์

ละลายโคโตนานในกรดอะซิติกความเข้มข้น 1 โมลาร์ ให้ได้สารละลายโคโตนานที่มีความเข้มข้น 1 %w/v ในถังปฏิกรณ์พลาสมาของเหลวแบบกะ จากนั้นนำไป Treat ด้วยกระบวนการพลาสมาของเหลวความถี่ของเครื่องกำเนิดพลาสมา 50 เฮิร์ตซ์ ปรับค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0-15,000 โวลต์ ควบคุมระยะห่างของ Tungsten Electrode ที่ 0.2 มิลลิเมตร อุณหภูมิของสารละลายอยู่ในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการเตรียมโคโตนาน้ำหนักโมเลกุลต่ำอยู่ในช่วง 0-300 นาที



บทที่ 5

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

5.1 ผลการสร้างเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์

เครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ สำหรับกระบวนการพลาสมาของเหลว ประกอบด้วยหม้อแปลงแบบปรับค่าได้ (Variac) ใช้ในการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้าในจะอยู่ในช่วง 0-220 โวลต์ และหม้อแปลงแบบเพิ่มแรงดันไฟฟ้า (Transformer Step Up) ซึ่งหม้อแปลงแบบเพิ่มแรงดันไฟฟ้าสามารถเพิ่มแรงดันไฟฟ้าได้สูงสุดถึง 68 เท่าโดยจะทำการแปลงจากแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ กระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 2 แอมป์ ให้เป็นแรงดันไฟฟ้า 15,000 โวลต์ กระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 30 มิลลิแอมป์ จากการทดสอบเครื่องพบว่าเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ สามารถผลิตพลาสมาของเหลวได้โดยที่พลาสมาของเหลวที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นแบบอาร์กดีสชาร์ตซึ่งมีการปลดปล่อยแสงสูงมาก ทำให้เห็นลักษณะการเกิดพลาสมาเป็นแสงสีขาวและอุณหภูมิของสารที่ทำการเตรียมมีอุณหภูมิสูงขึ้น [7]

5.2 การทดสอบการเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวด้วยเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ภายใต้สภาวะของตัวทำละลายชนิดต่างๆ

การทดสอบการเกิดสภาวะพลาสมาของของเหลวด้วยเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ภายใต้สภาวะของตัวทำละลายที่จะต้องการศึกษา คือ น้ำกลั่น เอทานอล (Ethanol) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) และกรดอะซิติก (CH_3COOH) โดยทำการวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย แสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงผลค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย

สารเคมี	Conductivity ($\mu\text{s}/\text{cm}$)
H_2O	3
Ethanol 100 % v/v	1
HCl 0.25 M	7146
NaOH 1 %w/v	6785
CH_3COOH 0.5 M	938

จากการทดลองพบว่าน้ำและเอทานอลเป็นสารที่มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ กรดไฮโดรคลอริก กรดอะซิติก และโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูง จึงแบ่งการทดสอบการเกิดสภาวะ

พลาสมาของเหลวด้วยเครื่องเพาเวอร์ซีพหลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ซึ่งเป็นสารละลายที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงและสารที่มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ

5.2.1 การทดสอบการเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวของสารละลายที่มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำด้วยเครื่องเพาเวอร์ซีพหลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์

การเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวของสารละลายที่มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำด้วยเครื่องกำเนิดพลาสมาของเหลวกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ แบ่งออกเป็น 2 สารละลาย คือ น้ำและสารละลายเอทานอล

5.2.1.1 การทดสอบการเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวของน้ำด้วยเครื่องเพาเวอร์ซีพหลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์

การเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวของเครื่องเพาเวอร์ซีพหลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ โดยจะทำการวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำพบว่าค่าการนำไฟฟ้าของน้ำกลั่นเท่ากับ $3 \mu\text{s}/\text{cm}$ และนำน้ำกลั่นไปทำการเบรกดาว์นพบว่าน้ำกลั่นสามารถเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวได้ที่แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 12.27 กิโลโวลต์

5.2.1.2 การทดสอบการเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวของสารละลายเอทานอลด้วยเครื่องเพาเวอร์ซีพหลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์

การทดสอบการเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวของสารละลายเอทานอลด้วยเครื่องเพาเวอร์ซีพหลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ โดยทำการทดสอบการเบรกดาว์นและทำการวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้น 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 %v/v ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการทดสอบการเบรกดาว์นและค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายเอทานอล

สารละลายเอทานอล (%v/v)	Breakdown (kV)		Conductivity ($\mu\text{s}/\text{cm}$)
	Primary	Secondary	
100	0.08	5.45	1
90	0.10	6.82	2
80	0.10	6.82	2
70	0.11	7.50	2
60	0.11	7.50	2
50	0.11	7.50	2
40	0.11	7.50	2
30	0.11	7.50	3
20	0.12	8.18	3
10	0.13	8.86	3

จากการทดลองพบว่าเอทานอลที่ความเข้มข้น 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 %v/v สามารถเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวได้ทุกความเข้มข้น

5.2.2 การเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวของสารละลายที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงด้วยเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์

การเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวของสารละลายที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงด้วยเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 สารละลาย คือ กรดไฮโดรคลอริก โขเดียมไฮดรอกไซด์ และกรดอะซิติก

5.2.2.1 การเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกด้วยเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์

การทดสอบการเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกด้วยเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ทำได้โดยการนำเอาสารละลายกรดไฮโดรคลอริกนำมาทำการทดสอบการเบรกดาวน์ และทำการวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 แสดงผลการทดสอบการเบรกดาวน์และค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (M)	Breakdown (kV)		Conductivity ($\mu\text{s}/\text{cm}$)
	Primary	Secondary	
0.25	ไม่เกิด	ไม่เกิด	7146
3.75×10^{-3}	ไม่เกิด	ไม่เกิด	1062
1.78×10^{-3}	ไม่เกิด	ไม่เกิด	558
8.92×10^{-4}	ไม่เกิด	ไม่เกิด	378
4.46×10^{-4}	ไม่เกิด	ไม่เกิด	287
2.23×10^{-4}	ไม่เกิด	ไม่เกิด	233
5.10×10^{-5}	0.22	15	19

จากการทดสอบพบว่าสารละลายกรดไฮโดรคลอริกไม่สามารถเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวได้เมื่อสารละลายมีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงขึ้น คือ ที่ความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรคลอริก $0.25-2.23 \times 10^{-4}$ โมลาร์ และค่าการนำไฟฟ้าที่ได้ คือ 7146-233 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ตามลำดับ แต่สารละลายกรดไฮโดรคลอริกสามารถเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวได้เมื่อสารละลายมีค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ที่ต่ำ คือ ความเข้มข้น 5.10×10^{-5} โมลาร์ ค่าการนำไฟฟ้า 19 $\mu\text{s}/\text{cm}$

5.2.2.2 การทดสอบการเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์

การทดสอบการเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ โดยการนำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำการทดสอบการเบรกดาวน์ และทำการวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 แสดงผลการทดสอบการเบรกดาวน์และค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (%w/v)	Breakdown (kV)		Conductivity ($\mu\text{s/cm}$)
	Primary	Secondary	
1	ไม่เกิด	ไม่เกิด	6785
0.02	ไม่เกิด	ไม่เกิด	819
7.00×10^{-3}	ไม่เกิด	ไม่เกิด	471
3.50×10^{-3}	ไม่เกิด	ไม่เกิด	236
1.75×10^{-3}	ไม่เกิด	ไม่เกิด	124
8.75×10^{-4}	ไม่เกิด	ไม่เกิด	61
4.38×10^{-4}	ไม่เกิด	ไม่เกิด	30
2.19×10^{-4}	ไม่เกิด	ไม่เกิด	15
7.14×10^{-5}	ไม่เกิด	ไม่เกิด	10
4.29×10^{-5}	0.10	6.82	4

จากการทดสอบพบว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ไม่สามารถเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวได้เมื่อสารละลายมีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงขึ้น คือ ที่ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ $1-7.14 \times 10^{-5}$ %w/v และค่าการนำไฟฟ้า 6,785-10 $\mu\text{s/cm}$ ตามลำดับ แต่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวได้เมื่อสารละลายนั้นมีค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ที่ต่ำ คือ ความเข้มข้น 4.29×10^{-5} %w/v จะมีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ที่ 4 $\mu\text{s/cm}$

5.2.2.3 การทดสอบการเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวของสารละลายกรดอะซิติกด้วยเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์

การทดสอบการเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวของสารละลายกรดอะซิติกด้วยเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ โดยการนำสารละลายกรดอะซิติกทำการทดสอบการเบรกดาวน์ และทำการวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 แสดงผลการทดสอบการเบรกดาวน์และค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายกรดอะซิติก

สารละลายกรดอะซิติก (M)	Breakdown (KV)		Conductivity ($\mu\text{s/cm}$)
	Primary	Secondary	
0.50	ไม่เกิด	ไม่เกิด	938
0.25	ไม่เกิด	ไม่เกิด	720
0.13	ไม่เกิด	ไม่เกิด	597
0.06	ไม่เกิด	ไม่เกิด	499
0.03	ไม่เกิด	ไม่เกิด	413
0.02	ไม่เกิด	ไม่เกิด	344
7.81×10^{-3}	ไม่เกิด	ไม่เกิด	284
3.91×10^{-3}	ไม่เกิด	ไม่เกิด	235
1.95×10^{-3}	ไม่เกิด	ไม่เกิด	190
1.22×10^{-5}	0.22	15.00	25

จากการทดสอบพบว่าสารละลายกรดอะซิติกไม่สามารถเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวได้เมื่อสารละลายมีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงขึ้น คือ ที่ความเข้มข้นสารละลายกรดอะซิติก $0.5-1.95 \times 10^{-3}$ โมลาร์ และค่าการนำไฟฟ้า 938-25 $\mu\text{s/cm}$ ตามลำดับ แต่สารละลายกรดอะซิติกสามารถเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวได้เมื่อสารละลายนั้นมีค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ที่ต่ำ คือ ความเข้มข้น 1.22×10^{-5} โมลาร์ จะมีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ที่ 25 $\mu\text{s/cm}$

จากการทดสอบการเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวของตัวทำละลายชนิดต่างๆ ด้วยเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ พบว่าเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ สามารถเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวได้ที่สารที่มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ โดยที่น้ำกลั่นและเอทานอลเป็นสารที่มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำจึงสามารถเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวได้ทุกค่าความเข้มข้น แต่กรดไฮโดรคลอริก กรดอะซิติกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นสารที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงจึงทำให้ไม่สามารถเกิดการเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวได้จะต้องทำการเจือจางสารละลายให้ความเข้มข้นของสารละลายลดลง ซึ่งการลดลงของความเข้มข้นของสารละลายจะส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าของสารลดลงด้วย เมื่อค่าการนำไฟฟ้าลดลงจะทำให้สามารถเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวได้ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายมีผลต่อการเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย

ของ E.I Asinovskii และคณะ [19] ซึ่งรายงานว่า การเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวเกิดจากการป้อนแรงดันไฟฟ้าที่ค่าค่าหนึ่งให้กับสารละลาย ทำให้อิเล็กตรอนอิสระเกิดการเคลื่อนที่ไปชนกับอะตอมที่เป็นกลางจนเกิดการแตกตัวเป็นไอออนและเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวเกิดขึ้น แต่เมื่อสารละลายนั้นมีค่าการนำไฟฟ้าหรือมีความเป็นประจวบอยู่ในตัวเอง เมื่ออิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ไปชนกับอะตอมที่มีประจุจะไม่เกิดการแตกตัวเป็นไอออน แต่จะทำให้อะตอมที่มีประจุนั้นรับอิเล็กตรอนแทนทำให้ไม่เกิดสภาวะพลาสมาของเหลวเกิดขึ้น และสาเหตุอีกประการที่ทำให้เครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ไม่สามารถเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวที่สารที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงได้ ก็คือ ความถี่ของเครื่องเพาเวอร์ซัพพลาย ซึ่งจากงานวิจัยของ Prasertsung I. และคณะ [6] สามารถเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวที่สารที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงได้ โดยใช้เครื่องเพาเวอร์ซัพพลายที่มีความถี่สูง ซึ่งความถี่ของเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายสูงส่งผลให้การสลับขั้วของสนามไฟฟ้าสูงและสามารถเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวในสารที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงได้ง่ายกว่าเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายที่มีความถี่ต่ำ

5.3 การประยุกต์ใช้เครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ สำหรับการเตรียมโคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

การประยุกต์ใช้เครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ สำหรับการเตรียมโคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ทำได้โดยการเตรียมสารละลายโคโตซานในกรดอะซิติกที่มีความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ จากการทดลองพบว่าสารละลายกรดอะซิติกที่มีความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ สามารถละลายโคโตซานได้ในเวลา 24 ชั่วโมง และค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายโคโตซานที่ได้เป็น 938 $\mu\text{s}/\text{cm}$ เมื่อนำสารละลายโคโตซานทำการ Treat ด้วยกระบวนการพลาสมาของเหลวโดยปรับค่าแรงดันไฟฟ้าจนถึงค่าสูงสุดคือ 15,000 โวลต์ พบว่าไม่สามารถเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวได้เนื่องจากสารละลายโคโตซานมีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น จากนั้นจึงเจือจางสารละลายโคโตซานให้มีค่าความเข้มข้นลดลงและทำการทดสอบการเบรกดาว์น แสดงดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 แสดงผลการทดสอบการเบรกดาว์นและค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายโคโตซาน

สารละลายโคโตซาน (%w/v)	Breakdown (kV)		Conductivity ($\mu\text{s}/\text{cm}$)
	Primary	Secondary	
1	ไม่เกิด	ไม่เกิด	645
0.5	ไม่เกิด	ไม่เกิด	482
0.25	ไม่เกิด	ไม่เกิด	376
0.125	ไม่เกิด	ไม่เกิด	312
0.062	ไม่เกิด	ไม่เกิด	264
0.031	ไม่เกิด	ไม่เกิด	211

ตารางที่ 5.5 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบการเบรกดาวน์และค่าการนำไฟฟ้าของ
สารละลายโคโตซาน

สารละลายโคโตซาน (M)	Breakdown (kV)		Conductivity ($\mu\text{s}/\text{cm}$)
	Primary	Secondary	
0.016	ไม่เกิด	ไม่เกิด	175
7.81×10^{-3}	ไม่เกิด	ไม่เกิด	132
3.91×10^{-3}	ไม่เกิด	ไม่เกิด	78
1.95×10^{-3}	0.22	15.0	24

จากการทดสอบพบว่าเมื่อทำการลดความเข้มข้นของสารละลายโคโตซานลงจนถึง 1.95×10^{-3} %w/v มีค่าการนำไฟฟ้า 24 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ซึ่งสามารถเกิดสถานะพลาสมาของเหลวได้ แต่เนื่องจากสารละลายโคโตซานได้ถูกเจือจางจนมีความเข้มข้นของสารละลายโคโตซานน้อยมาก ทำให้โคโตซานที่ได้มีปริมาณน้อยมากเช่นเดียวกัน ดังนั้นการเตรียมโคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำด้วยกระบวนการพลาสมาของเหลวกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ จึงไม่คุ้มค่าในการลงทุน



บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาการสร้างเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิรตซ์ พบว่าเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิรตซ์ สามารถปรับค่าแรงดันไฟฟ้าได้สูงสุดถึง 68 เหวา และสามารถผลิตพลาสมาของเหลวได้ จากนั้นทำการทดสอบหาการเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวในตัวทำละลายชนิดต่างๆ คือ น้ำ เอทานอล กรดอะซิติก กรดไฮโดรคลอริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าเครื่องกำเนิดพลาสมากระแสสลับความถี่ 50 เฮิรตซ์ สามารถเกิดสภาวะพลาสมาได้ในสารที่มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำๆ ซึ่งจากการทดลองสามารถสรุปช่วงของความเข้มข้นและค่าการนำไฟฟ้าของตัวทำละลายที่สภาวะพลาสมาของเหลวดังแสดงในตารางที่ 6.1 ในส่วนของการประยุกต์ใช้เครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิรตซ์ สำหรับเตรียมโคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะต้องใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลาย ซึ่งกรดอะซิติกนั้นมีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงมากทำให้ไม่สามารถเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวขึ้นได้ จึงทำการลดความเข้มข้นของสารละลายโคโตซานลง จนสามารถเกิดสภาวะพลาสมาของเหลวได้แต่เนื่องจากสารละลายโคโตซานได้ถูกเจือจางจนความเข้มข้นของสารละลายโคโตซานน้อยมาก ทำให้โคโตซานที่ได้มีปริมาณน้อยมาเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงไม่คุ้มค่าในการลงทุน แต่อย่างไรก็ตามเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิรตซ์ สามารถที่จะผลิตพลาสมาของเหลวได้อย่างมีประสิทธิภาพใกล้เคียงเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายที่มีความถี่สูง ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในสภาวะของสารที่มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำต่อไป

ตารางที่ 6.1 แสดงช่วงของความเข้มข้นของตัวทำละลาย 5 ชนิดที่สามารถเกิดสภาวะพลาสมาของเหลว

ตัวทำละลาย	ช่วงของความเข้มข้นที่สามารถเกิดสภาวะพลาสมาของเหลว	Conductivity ($\mu\text{s}/\text{cm}$)
H ₂ O	เบรกดาวน์ได้	3
Ethanol	เบรกดาวน์ได้ทุกความเข้มข้น	1-3
HCl	$\leq 5.10 \times 10^{-5}$ โมลาร์	19
NaOH	$\leq 4.29 \times 10^{-3}$ โมลาร์	4
Acetic	$\leq 1.22 \times 10^{-5}$ โมลาร์	25

6.2 ข้อเสนอแนะ

การสร้างเครื่องเพาเวอร์ซัพพลายกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ สำหรับกระบวนการพลาสมาของเหลว จากการทดลองพบว่าสามารถที่จะเกิดการเบรกดาวนั้ตัวทำลายที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่ต่ำๆ อาทิเช่น น้ำ เอทานอล เป็นต้นจากการวิจัยครั้งนี้มีข้อเสนอแนะ คือ เครื่องสามารถที่จะเกิดการเบรกดาวนั้ของเหลวได้ที่สารที่มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ ดังนั้นการเบรกดาวนั้พลาสมาของเหลวด้วยเครื่องกำเนิดพลาสมาของเหลวกระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ จึงเหมาะสำหรับในการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบที่มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ เช่น การเตรียมไบโอดีเซลด้วยพลาสมาของเหลว



เอกสารอ้างอิง

- [1] ภาวดี เมธะคานนท์, อศิรา เพ็ญฟูชาติ และก้องเกียรติ คงสุวรรณ. (2542). ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไคติน-ไคโตซาน. (ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: Chitin-Chitosan Technical Note.
- [2] Kittur, F. S., Vishu Kumar, A. B., & Tharanathan, R. N. (2003). Low molecular weight chitosans-preparation by depolymerization with *Aspergillus niger* pectinase, and characterization. *Carbohydrate Research*. 338, 1283–1290.
- [3] Ratanavaraporn, J., Kanokpanont, S., Tabata, Y., & Damrongsakkul, S. (2009). Growth and osteogenic differentiation of adipose-derived and bone marrow-derived stem cells on chitosan and chitooligosaccharide films. *Carbohydrate Polymers*. 78, 873–878.
- [4] Chang, K. L. B., Tai, M. C., Cheng, F. H. (2001). Kinetics and products of the degradation of chitosan by hydrogen peroxide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49, 4845–4851.
- [5] Xie, Y., Hu, J., Wei, Y., & Hong, X. (2009). Preparation of chitooligosaccharides by the enzymatic hydrolysis of chitosan. *Polymer Degradation and Stability*. 94, 1895–1899.
- [6] Prasertsung, I., Damrongsakkul, S., Terashima, C., Saito, N., Takai, O. (2011). Preparation of low molecular weight chitosan using solution plasma system. *Carbohydrate Polymers*. Xxx, xxx–xxx.
- [7] Prasertsung, I., R. Mongkolnavin, S. Damrongsakkul, C.S. Wong. (2010). Surface modification of dehydrothermal crosslinked gelatin film using a 50 Hz oxygen glow discharge. *Surface & Coatings Technology*. 205, S133–S138
- [8] Takai O. (2008). Solution plasma processing (SPP). *Pure and Applied Chemistry*. 80, 2003–2011.
- [9] J.Gerhold, M. Hubmann, E. Telser. (1994). Gap size effect on liquid helium breakdown. *Cryogenics*. 34, 579–586.
- [10] นิรันดร์ สุวรรณ์. (2550). เคมี ม.5 เล่ม 2. (ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: พ.ศ. พัฒนา.
- [11] Muzzarelli, R. A. A. (1977). Chitin. *Carbohydr Polym*. 3, 53-75.
- [12] Lertsutthiwong, P., Chandkrachang, S., Nazhad, M.M. and Stevens, W.F. (2002). Chitosan as a dry strength agent for paper. *Appita Journal*. 55(3), 208-212.
- [13] Cho, YI, No, H.K. and Meyers, S.P. (1998). Physicochemical characteristics and functional properties of various commercial chitin and chitin-chitosan product. *J. Agric. Food Chem*. 46, 3839-3843.

- [14] Rodriguez, M.A., Albertengo, L.A. and Agullo, E. (2002). Emulsification capacity of chitosan. *Carbohydrate Polym.* 48, 271-276
- [15] Farooqahamed S. Kittur, Acharya B. Vishu Kumar, Rudrapatnam N. Tharanathan. (2003). Low molecular weight chitosans preparation by Depolymerization with *Aspergillus niger* pectinase, and characterization. *Carbohydrate Research.* 338, 1283-1290.
- [16] Acharya B. Vishu Kumar, Mandyam C. Varadaraj, Lalitha R. Gowda, Rudrapatnam N. Tharanathan. (2007). Low molecular weight chitosans Preparation with the aid of pronase, characterization and their bactericidal activity towards *Bacillus cereus* and *Escherichia coli*. *Biochimica et Biophysica Acta.* 1770, 495-505.
- [17] Peniche, C., Argüelles-Monal, W., Goycoolea, F.M. (2008). Chitin and Chitosan: Major Sources, Properties and Applications. *Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources.* 80, 517-542.
- [18] Shih-Bin Lin, Yi-Chun Lin, Hui-Huang Chen. (2009). Low molecular weight chitosan prepared with the aid of cellulase, lysozyme and chitinase Characterisation and antibacterial activity. *Food Chemistry.* 116, 47-53.
- [19] E.I Asinovskii, V.V, Markovets. (2003). The limiting electric conductivity of plasma. *Physics Letters.* 319, 510-513