การวิเคราะห์ปัญหาการเสื่อมสภาพของขดลวดสเตอเตอร์ในเครื่องจักรหมุนโดยการทดสอบด้วยวิธี PDC

ANALYSIS OF THE DEGREADED STATOR BARS FOR ROTATING MACHINE BY PDC TESTING

โดย

นายเฉลิมชนม์ หวัง
นายณัฐดนัย แก้วดี
นายณัฐดนัย ศรีชื่น
นายธนภัทร พวงพัตร์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

การวิเคราะห์ปัญหาการเสื่อมสภาพของขดลวดสเตอเตอร์ในเครื่องจักรหมุนโดยการทดสอบด้วยวิธี PDC

ANALYSIS OF THE DEGREADED STATOR BARS FOR ROTATING MACHINE BY PDC TESTING

โดย

นายเฉลิมชนม์ หวัง
นายณัฐดนัย แก้วดี
นายณัฐดนัย ศรีชื่น
นายธนภัทร พวงพัตร์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ANALYSIS OF THE DEGREADED STATOR BARS FOR ROTATING MACHINE BY PDC TESTING

CHALOEMCHON WANG

NUTDANAI KAEWDEE

NUTDANAI SRICHUEN

THANAPAT POUNGPAT

A PAPER SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT’S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2561

การวิเคราะห์ปัญหาการเสื่อมสภาพของขดลวดสเตอเตอร์ในเครื่องจักรหมุนโดยการทดสอบด้วยวิธี PDC

ANALYSIS OF THE DEGREADED STATOR BARS FOR ROTATING MACHINE BY PDC TESTING

โดย

นายเฉลิมชนม์ หวัง

นายณัฐดนัย แก้วดี

นายณัฐดนัย ศรีชื่น

นายธนภัทร พวงพัตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.นรเศรษฐ พัฒนเดช

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2561

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การวิเคราะห์ปัญหาการเสื่อมสภาพของขดลวดสเตอเตอร์ในเครื่องจักรหมุนโดยการทดสอบด้วยวิธี PDC

ผู้จัดทำ

1. นายนายเฉลิมชนม์ หวัง
2. นายนายณัฐดนัย แก้วดี
3. นายณัฐดนัย ศรีชื่น
4. นายธนภัทร พวงพัตร์

.... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.นรเศรษฐ พัฒนเดช)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ปัญหาการเสื่อมสภาพของขดลวดสเตอเตอร์ในเครื่องจักรหมุนโดยการทดสอบด้วยวิธี PDC

นายเฉลิมชนม์ หวัง
นายณัฐดนัย แก้วดี
นายณัฐดนัย ศรีชื่น
นายธนภัทร พวงพัตร์
รศ.ดร.นรเศรษฐ พัฒนเดช อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาการวินิจฉัยฉนวนของเครื่องจักรกลหมุน โดยการวิเคราะห์กระแสโพลาไรซ์และกระแสดีโพลาไรซ์ การทดลองจะแบ่งชนิดของฉนวนของเครื่องจักรกลหมุนเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกคือขดลวดสเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำ ระดับฉนวน คลาส B พิกัด 13.8 กิโลโวลต์ จะทำการศึกษาผลของความร้อน โดยการอบชิ้นงานเพื่อจำลองการใช้งานที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิใช้งานปรกติ, อุณหภูมิสูงสุดตามพิกัดการใช้งานฉนวน และอุณหภูมิที่สูงกว่าพิกัดการใช้งานฉนวน คือ 100, 130 และ 160 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยทำการอบชิ้นงานที่แต่ละอุณหภูมิเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง นอกจากนี้แล้ว ทำการศึกษาปัญหาของฉนวนเนื่องจากผลของสิ่งเปรอะเปื้อนจากผงคาร์บอนและความชื้นจากน้ำ กลุ่มที่สองคือฉนวนของขวดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์ ระดับฉนวน คลาส F พิกัด 6.6 กิโลโวลต์ จะทำการศึกษาผลของความร้อนโดยการอบชิ้นงานเพื่อจำลองการใช้งานที่อุณหภูมิใช้งานปรกติ อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิใช้งานปรกติ และอุณหภูมิที่สูงกว่าพิกัดการใช้งานฉนวน คือ 100, 140, 180 และ 220 ตามลำดับ หลังจากนั้นจะทำการวัดคุณลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของฉนวนด้วยวิธีการวัดกระแสโพลาไรซ์และกระแสดีโพลาไรซ์ ข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์ลักษณะรูปร่างของกระแส ค่าอัตราส่วนประจุไฟฟ้า และค่าแฟกเตอร์พลังงานสูญเปล่าของฉนวน เพื่อนำไปประยุกต์กับการวิเคราะห์ปัญหาของเครื่องจักรกลหมุนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Analysis of the degraded stator insulation for rotating machines by PDC testing

Mr. Chaloemchon Wang
Mr. Nutdanai Kaedee
Mr. Nutdanai Srichuen
Mr. Thanapat Poungpat
Assoc. Prof. Dr. techn. Norasage Pattanadech Advisor

ABSTRACT

This thesis is aimed to study the insulation diagnosis of the insulation of rotating machines by analyzing the polarization and depolarization currents (PDCs). The rotating machine insulation was divided into two groups. The former group was the stator bar insulation of a 13.8 kV hydro generator (class B insulation). The prepared stator bar insulation specimen was undergone thermally stressed at 100°C (the temperature above the normal operation temperature), 130°C (the maximum specific insulation temperature), and 160°C (the temperature above the maximum specific insulation temperature). A test specimen was heated at the given temperature for 6, 12, 24 and 36 hours respectively. Then PDC measurement was performed. Besides, the stator bar problems caused by carbon powder contaminant including high moisture content problem were simulated and the PDC measurement was performed. The latter group was the stator coil insulation of a 6.6 kV (class F insulation) motor. The prepared stator coil insulation specimen was undergone thermally stressed at 100°C (the operation temperature), 140°C (the temperature above the normal operation temperature), 180°C and 220°C (the temperature above the maximum specific insulation temperature). A test specimen was heated at the given temperature for 6, 12, 18 and 24 hours respectively. Then, PDC measurement was performed. The PDC shapes detected including the calculated capacitive ratio and dielectric dissipation factor could be used as a tool for analyzing the rotating machine insulation problems.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้คงไม่สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีหากปราศจากความช่วยเหลือจากหลายท่าน ขอขอบคุณ รศ.ดร. นรเศรษฐ พัฒนเดช อาจารย์ที่ปรึกษา นางสาวณัฐนรี ภูมิพื้นผล และ คุณเพทาย นิ่มสนอง ที่คอยให้คำแนะนำ ให้ความรู้ในด้านการทดสอบฉนวนด้วยวิธีการทดสอบ PDC การใช้เครื่องมือการทดสอบ และชี้แนะแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น รวมไปถึง คุณ ปุณยวีร์ ฉายศิริ ที่คอยกรุณาตรวจแก้ไขปริญญานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ บริษัท ทีไอเอส เอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ เซอร์วิส ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องวัดกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณวีระวุฒิ คำสาสินธุ์ และเจ้าหน้าที่ในเขื่อนโรงไฟฟ้าเขื่อนวชิราลงกรณ์ที่ให้ความรู้ในส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และกระบวนการทำงานภายในโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำอย่างละเอียดในระหว่างการเข้าศึกษาดูงานการซ่อมบำรุง อีกทั้งให้ความอนุเคราะห์ให้แท่งสเตเตอร์จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาใช้เป็นชิ้นทดสอบในการทำโครงงาน

ขอขอบคุณ บริษัท เอเซียมอเตอร์ เซอร์วิส เซ็นเตอร์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้แท่งสเตเตอร์จากมอเตอร์มาใช้ในการจัดทำเป็นชิ้นทดสอบในการทำโครงงาน

ขอขอบคุณบริษัท เมเดนชา จำกัด ที่การสนับสนุนเงินทุนสำหรับการจัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็นในการทำโครงงาน

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกๆท่าน ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับกลุ่มข้าพเจ้าตลอดการศึกษาในระดับปริญญาตรี ทำให้สามารถนำความรู้ต่างๆมาประยุกต์ใช้ในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ พี่ๆและคณาจารย์ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงที่เอื้อเฟื้อสถานที่ร่วมถึงอุปกรณ์ต่างและขอบคุณเพื่อนๆพี่น้องที่ห้องปฏิบัติการที่คอยให้ความช่วยเหลือกลุ่มข้าพเจ้าอย่างดีมาโดยตลอด

สุดท้ายขอขอบคุณครอบครัวของกลุ่มข้าพเจ้าและเพื่อนๆพี่ๆน้องๆที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ ที่ให้การสนับสนุนและค่อยให้กำลังใจเสมอมา ข้าพเจ้าขอมอบคุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ แก่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือตลอดมา

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	XIV
สารบัญตาราง	XXV
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ขอบแขตของการศึกษา	2
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
1.5 แผนการดำเนินงาน	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 สเตเตอร์	5
2.1.1 โครงสเตเตอร์	5
2.1.2 แกนสเตเตอร์	6
2.1.3 ขดลวดสเตเตอร์	7
2.2 ปรากฏการณ์โพลาไรซ์เซชัน	12
2.2.1 ปรากฏการณ์โพลาไรซ์เซชันที่มีต่อคุณสมบัติฉนวน	12
2.2.2 ชนิดการเกิดปรากฏการณ์โพลาไรซ์เซชัน	14
2.3 กระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชัน	17
2.3.1 กระแสโพลาไรซ์เซชัน	17
2.3.2 กระแสดีโพลาไรซ์เซชัน	18
2.4 ดัชนีเชิงขั้ว	19
2.5 แฟคเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริก	21
2.6 เครื่องมือวัด PDC	24
2.6.1 วงจรการวัดกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชัน	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.2 รูปแบบการจำลองลักษณะของฉนวนภายในอุปกรณ์ PDC	25
3.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ	28
3.1.1 การเตรียมชิ้นทดสอบจากเจเนเรเตอร์	28
3.1.2 การเตรียมชิ้นทดสอบจากมอเตอร์	30
3.1.3 การเตรียมชิ้นทดสอบกรณีที่เกิดจากการเสื่อมสภาพจากการเปรอะเปื้อนและความชื้น	32
3.2 การต่อวงจรทดสอบวัดกระแสโพลาไรซ์เซชัน, กระแสดีโพลาไรซ์เซชัน	33
3.2.1 อุปกรณ์การทดสอบ	33
3.2.2 วงจรสำหรับวัดค่ากระแสโพลาไรซ์เซชัน, กระแสดีโพลาไรซ์เซชัน และค่าดัชนีเชิงขั้ว	34
3.3 ออกแบบการทดสอบกระแสโพลาไรซ์เซชัน และ กระแสดีโพลาไรซ์เซชัน	35
3.3.1 การทดสอบเพื่อศึกษาผลของความร้อน ที่มีต่อดัชนีเชิงขั้วของฉนวนของชิ้นทดสอบจากเจเนเรเตอร์	35
3.3.2 การทดสอบปัจจัยการเสื่อมจากสภาวะการเปรอะเปื้อนและความชื้นที่มีต่อดัชนีเชิงขั้วของฉนวน (Polarization Index) ของชิ้นทดสอบจากเจเนเรเตอร์	38
3.3.3 การทดสอบเพื่อศึกษาผลของความร้อน ที่มีต่อดัชนีเชิงขั้วของฉนวนของชิ้นทดสอบจากมอเตอร์	38
บทที่ 4 ผลการทดสอบ	
4.1 การทดสอบวัดกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อน	43
4.1.1 ชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่1	44
4.1.2 ชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่2	46
4.1.3 ชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่3	48
4.1.4 ชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่1	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.5 ชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่2 52

4.1.6 ชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่3 54

4.1.7 ชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่1 56

4.1.8 ชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่2 58

4.1.9 ชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่3 60

4.2 การทดสอบวัดกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน 62

4.2.1 ชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อนของวัตถุทดสอบชิ้นที่1 62

4.2.2 ชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อนของวัตถุทดสอบชิ้นที่2 64

4.2.3 ชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อนของวัตถุทดสอบชิ้นที่3 65

4.3 การวิเคราะห์แฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริก (Dielectric dissipation factor; tanδ) ของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อน 66

4.3.1 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1 66

4.3.2 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2 67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.3 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3	68
4.3.4 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1	69
4.3.5 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2	70
4.3.6 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3	71
4.3.7 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1	72
4.3.8 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2	73
4.3.9 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3	74
4.4 การวิเคราะห์แฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริก (Dielectric dissipation factor; tanδ) ของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน	75
4.4.1 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อนของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.2 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อนของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2 76

4.4.3 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อนของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3 77

4.5 การวิเคราะห์อัตราส่วนค่าความเก็บประจุ (C ratio) ของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อน 78

4.5.1 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1 78

4.5.2 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2 79

4.5.3 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3 80

4.5.4 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1 81

4.5.5 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2 82

4.5.6 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3 83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.5.7 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1 84

4.5.8 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2 85

4.5.9 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3 86

4.6 การวิเคราะห์อัตราส่วนค่าความเก็บประจุ (C ratio) ของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน 87

4.6.1 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อนของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1 87

4.6.2 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อนของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2 88

4.6.3 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อนของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3 89

4.7 การทดสอบวัดกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อน 90

4.7.1 ชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่1 91

4.7.2 ชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2 93

4.7.3 ชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3 95

4.7.4 ชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1 97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.7.5 ชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2 99

4.7.6 ชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3 101

4.7.7 ชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1 103

4.7.8 ชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2 105

4.7.9 ชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3 107

4.7.10 ชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1 109

4.7.11 ชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2 111

4.7.12 ชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3 113

4.8 การวิเคราะห์แฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริก (Dielectric dissipation factor ; tanδ) ของชิ้นทดสอบมอเตอร์ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อน 115

4.8.1 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบ ที่ผ่าน การจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1 115

4.8.2 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบ ที่ผ่าน การจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2 116

4.8.3 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบ ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3 117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.8.4 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1 118

4.8.5 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2 119

4.8.6 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3 120

4.8.7 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1 121

4.8.8 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2 122

4.8.9 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3 123

4.8.10 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1 124

4.8.11 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2 125

4.8.12 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3 126

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.9 การวิเคราะห์อัตราส่วนค่าความเก็บประจุ (C ratio) ของชิ้นทดสอบมอเตอร์ 127

4.9.1 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1 127

4.9.2 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2 128

4.9.3 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3 129

4.9.4 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1 130

4.9.5 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2 131

4.9.6 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3 132

4.9.7 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1 133

4.9.8 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2 134

4.9.9 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3 135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.9.10 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1 136

4.9.11 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2 137

4.9.12 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3 138

4.10 การวิเคราะห์ค่าดัชนีเชิงขั้ว (Polarization Index) ชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ 139

4.10.1 ค่าดัชนีเชิงขั้วของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ 1 139

4.10.2 ค่าดัชนีเชิงขั้วของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ 2 139

4.10.3 ค่าดัชนีเชิงขั้วของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ 3 140

4.10.4 ค่าดัชนีเชิงขั้วของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ 4 140

4.10.5 ค่าดัชนีเชิงขั้วของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ 5 141

4.11 การวิเคราะห์ค่าดัชนีเชิงขั้ว (Polarization Index) ชิ้นทดสอบมอเตอร์ 142

4.11.1 ค่าดัชนีเชิงขั้วของชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ 1 142

4.11.2 ค่าดัชนีเชิงขั้วของชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ 2 143

4.11.3 ค่าดัชนีเชิงขั้วของชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ 3 144

4.11.4 ค่าดัชนีเชิงขั้วของชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ 4 145

4.11.5 ค่าดัชนีเชิงขั้วของชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ 5 145

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 146

เอกสารอ้างอิง 153

ภาคผนวก 155

ภาคผนวก ก PDC-ANALYSER-1MOD User's Guide ALFF Engineering 156

ภาคผนวก ข บทความทางวิชาการ 165

ภาคผนวก ค โปสเตอร์ 170

ประวัติผู้เขียน 172

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เจนเนอเรเตอร์เขื่อนวชิราลงกรณ จ.กาญจนบุรี (ก) สเตเตอร์ (ข) โรเตอร์	5
2.2 โครงสเตเตอร์ของเจนเนอเรเตอร์	6
2.3 แกนสเตเตอร์ของเจนเนอเรเตอร์	6
2.4 ขดลวดสเตเตอร์ของเจนเนอเรเตอร์	7
2.5 การวางขดลวดสเตเตอร์แบบ Random – Wound	7
2.6 แท่งสเตเตอร์แบบคอยล์ (Coil Type)	8
2.7 แท่งสเตเตอร์แบบโรเบล (Roebel Bar Type)	8
2.8 การวางแท่งทองแดงด้วยวิธี Transposition ภายในแท่งสเตเตอร์แบบโรเบล	9
2.9 โครงสร้างของขดลวดสเตเตอร์	10
2.10 โครงสร้างระบบฉนวนในขดลวดสเตเตอร์	10
2.11 พฤติกรรมของประจุสภาวะปกติ	12
2.12 ปรากฏการณ์โพลาไรซ์เซชัน	12
2.13 ปรากฏการณ์ Electronic Polarization	14
2.14 ปรากฏการณ์ Ionic Polarization	14
2.15 ปรากฏการณ์ Dipolar Polarization	15
2.16 ปรากฏการณ์ Hopping Polarization	15
2.17 ปรากฏการณ์ Space Charge Polarization	16
2.18 ระยะเวลาการเกิดปรากฏการณ์โพลาไรซ์เซชั่นแต่ละชนิด	16
2.19 องค์ประกอบของกระแสโพลาไรซ์เซชัน	17
2.20 พฤติกรรมของประจุสภาวะปกติ	19
2.21 การกลับขั้วของโมเลกุลตามสนามไฟฟ้า	19
2.22 วงจรสมมูลของฉนวน	22
2.23 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันที่ป้อนให้กับฉนวน	23
2.24 วงจรวัดกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันของฉนวนทั้ง 2 ตำแหน่ง (ก) ฉนวนระหว่างเฟสกับกราวด์ และ (ข) ฉนวนระหว่างเฟสกับเฟส	25
2.25 รูปการจำลองฉนวนในอุปกรณ์ PDC	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1 แท่งสเตเตอร์ของเจเนอเรเตอร์ ลักษณะรูปเพชรในร่องสล็อตสเตเตอร์ที่นำมาทดสอบ	28
3.2 การตัดแบ่งชิ้นทดสอบจากเจเนอเรเตอร์ และ การปลอกคอนดัคทีฟเทป	29
3.3 การเจาะรูตัวนำ และ การขัดผิวชิ้นทดสอบ	29
3.4 เครื่องอบจำลองความเสื่อมสภาพของฉนวน	30
3.5 แท่งสเตเตอร์ของมอเตอร์ ลักษณะรูปเพชรในร่องสล็อตสเตเตอร์ที่นำมาทดสอบ	30
3.6 การติดแบ่งแท่งตัวนำของมอเตอร์ และ การปลอกคอนดัคทีฟเทป	31
3.7 การตัดแบ่งชิ้นทดสอบจากมอเตอร์	31
3.8 เครื่องอบเพื่อความเสื่อมสภาพของฉนวน	31
3.9 ชิ้นทดสอบที่เสื่อมเนื่องจากเกิดการ ทาผงคาร์บอน	32
3.10 ชิ้นทดสอบที่เสื่อมสภาพเนื่องจากความชื้น	32
3.11 PDC-Analyzer-1MOD	33
3.12 สายไฟที่ใช้ในวงจรทดสอบ	33
3.13 วงจรสำหรับวัดค่ากระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชัน	34
3.14 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการจำลองการเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบจากเจเนเรเตอร์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส	35
3.15 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการจำลองการเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบจากเจเนเรเตอร์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส	36
3.16 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการจำลองการเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบจากเจเนเรเตอร์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส	37
3.17 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการจำลองการเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบจากมอเตอร์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส	39
3.18 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการจำลองการเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบจากมอเตอร์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส	40
3.19 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการจำลองการเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบจากมอเตอร์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส	41
3.20 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการจำลองการเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบจากมอเตอร์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชัน ของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1	45
4.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชัน ของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2	47
4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชัน ของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3	49
4.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชัน ของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1	51
4.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชัน ของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2	53
4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชัน ของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3	55
4.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชัน ของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชัน ของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2	59
4.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชัน ของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3	61
4.10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชัน ของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1	63
4.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชัน ของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2	64
4.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชัน ของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3	65
4.13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบ หลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1	66
4.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบ หลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2	67
4.15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบ หลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1	69
4.17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2	70
4.18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3	71
4.19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1	72
4.20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2	73
4.21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3	74
4.22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1	75
4.23 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2	76
4.24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.25 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมงกับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1	78
4.26 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมงกับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2	79
4.27 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมงกับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3	80
4.28 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมงกับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1	81
4.29 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมงกับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2	82
4.30 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมงกับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3	83
4.31 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมงกับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1	84
4.32 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมงกับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2	85
4.33 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมงกับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.34	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อนกับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1	87
4.35	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อนกับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2	88
4.36	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อนกับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3	89
4.37	กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1	92
4.38	กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2	94
4.39	กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3	96
4.40	กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 140°C เป็น 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.41 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชัน ของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2	100
4.42 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชัน ของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3	102
4.43 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชัน ของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1	104
4.44 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชัน ของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2	106
4.45 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชัน ของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3	108
4.46 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชัน ของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 220°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1	110
4.47 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชัน ของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 220°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2	112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.48 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชัน ของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 220°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3 114

4.49 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบ หลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1 115

4.50 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบ หลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2 116

4.51 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบ หลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3 117

4.52 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบ หลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1 118

4.53 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบ หลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2 119

4.54 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบ หลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3 120

4.55 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบ หลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1 121

4.56 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบ หลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2 122

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.57 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบ หลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3	123
4.58 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบ หลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 220°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1	124
4.59 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบ หลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 220°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2	125
4.60 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบ หลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 220°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3	126
4.61 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1	127
4.62 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2	128
4.63 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3	129
4.64 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1	130
4.65 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2	131

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.66 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3 132

4.67 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1 133

4.68 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2 134

4.69 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3 135

4.72 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 220°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1 136

4.71 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 220°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2 137

4.72 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 220°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3 138

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 การวางแผนจัดลำดับขั้นตอนของการดำเนินงาน	3
2.1 ค่าต่ำสุดที่ยอมรับได้ อ้างอิง Standard IEEE43-2000	19
2.2 เกณฑ์คำแนะนำของค่า P-I Test ที่วัดได้	20
2.3 แรงดันทดสอบดัชนีเชิงขั้วอ้างอิง Standard IEEE43-2000	20
2.4 ค่าของ sinδ กับ tanδ เมื่อมุม δ มีค่าน้อยๆ	23
4.1ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1	44
4.2 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2	46
4.3 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3	48
4.4 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1	50
4.5 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2	52
4.6 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3	54
4.7 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.8 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2	58
4.9 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3	60
4.10 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพ ทางความความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อนของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1	62
4.11 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพ ทางความความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อนของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2	64
4.12 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพ ทางความความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3	65
4.13 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็น 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1	91
4.14 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2	93
4.15 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3	95
4.16 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1	97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.17 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2	99
4.18 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3	101
4.19 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1	103
4.20 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2	105
4.21 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3	107
4.22 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 1	109
4.23 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 2	111
4.24 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของวัตถุทดสอบชิ้นที่ 3	113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันการใช้ไฟฟ้ามีส่วนสำคัญอย่างมากในการดำรงชีวิต เศรษฐกิจ และความมั่นคงของประเทศ ซึ่งในระบบการผลิตนั้นจะต้องมีความมั่นคง เพราะหากเกิดปัญหาจนทำให้ต้องหยุดการผลิตนั้นจะส่งผลเสียเป็นอย่างมาก เช่น กำลังไฟฟ้าในระบบ ไม่เพียงพอต่อความต้องการ เป็นต้น หนึ่งในส่วนประกอบสำคัญของระบบผลิตไฟฟ้า คือ เครื่องจักรกลหมุน (Rotating machine) ซึ่งหากเกิดความเสียหายหรือผิดปกติในขณะที่ทำงานอาจส่งผลต่อการผลิต ความน่าเชื่อถือ ความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน และผู้ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงรวมถึงอาจทำให้ระบบอื่นๆที่เกี่ยวข้องได้รับผลกระทบด้วย ซึ่งหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ทำให้เจนเนอเรเตอร์เกิดความผิดปกติคือ การเสื่อมสภาพของฉนวน เมื่อฉนวนถูกใช้งานเป็นเวลานานก็ย่อมเกิดการเสื่อมสภาพจากการใช้งานเนื่องจาก การได้รับความร้อนขณะใช้งาน ความเครียดสนามไฟฟ้า แรงทางกลขณะใช้งาน ฝุ่นละออง และสิ่งเจือปนต่างๆ ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของฉนวน ฉนวนบริเวณขดลวดอาร์มาเจอร์ซึ่งเป็นหนึ่งในปัญหาฉนวนที่จะเกิดการเสื่อมสภาพ เนื่องจากต้องรับแรงดันและกระแสที่สูงกว่าบริเวณอื่น การเสื่อมสภาพของฉนวนนั้นจะนำไปสู่ผลเสียต่างๆที่ได้กล่าวไปในข้างต้น ดังนั้นหากสามารถประเมินสภาพของฉนวนและวิเคราะห์สาเหตุความผิดปกติของฉนวนได้ก่อนที่จะปัญหาได้ ก็จะทำให้สามารถวางแผนในการซ่อมบำรุงได้ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความผิดพร่องขณะปฏิบัติงาน

ชั้นฉนวนในขดลวดอาร์มาเจอร์ประกอบด้วย Armor Tape, Stress Grading Tape, Conductive Tape, Mica Ground Wall Tape, Mica Turn Tape และ Strand Insulation โดยการทดสอบและวิเคราะห์ฉนวนนั้นมีอยู่หลายวิธีเช่น การทดสอบค่าความต้านทานฉนวน (Insulation Resistance Test) การทดสอบเพื่อหาค่าดัชนีเชิงขั้ว (Polarization Index Test) การทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้า (High Potential Test) และการทดสอบการเกิดดิสชาร์จ-บางส่วน (Partial Discharge Test) เป็นต้น แต่เนื่องด้วยวิธีการทดสอบที่ได้กล่าวมาในข้างต้นนั้น ใช้แรงดันสูงในการทดสอบ ดังนั้นอาจทำให้ฉนวนได้รับความเสียหายจากการทดสอบได้ หรือมีโอกาสที่จะเสื่อมสภาพหลังจากการทดสอบ ดังนั้นหนึ่งในการทดสอบที่จะช่วยรักษาสภาพของฉนวนคือวิธีการวิเคราะห์ฉนวนด้วยวิธีการทดสอบวัดกระแสโพลาไรซ์เซชั่นและกระแสดีโพลาไรซ์เซชั่น โดยจะใช้แรงดันต่ำในการทดสอบ ผู้จัดทำจึงมีความสนใจในวิธีการทดสอบนี้ และจำลองการเสื่อมสภาพของฉนวนจากสาเหตุของความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อศึกษาโครงสร้างและหลักการทำงานของเครื่องจักรกลหมุน

2. เพื่อศึกษาโครงสร้างและส่วนประกอบของฉนวนภายในแท่งสเตเตอร์

3. เพื่อศึกษาหลักการทดสอบค่าดัชนีเชิงขั้ว (Polarization Index), กระแสโพลาไรซ์เซชัน, กระแสดีโพลาไรซ์เซชัน และแฟคเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริก

4. เพื่อศึกษาผลของค่าดัชนีเชิงขั้ว (Polarization Index) ที่มีต่อการฉนวนในแท่ง สเตเตอร์ โดยการวิเคราะห์ค่ากระแสโพลาไรซ์เซชัน และกระแสดีโพลาไรซ์เซชันโดยนำข้อมูลมาเปรียบเทียบประกอบการพิจารณาการเสื่อมสภาพของฉนวนภายในแท่งสเตเตอร์

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาหลักการทำงานและโครงสร้างของเครื่องจักรกลหมุน

2. ศึกษาโครงสร้างและส่วนประกอบของฉนวนภายในแท่งสเตเตอร์

3. วิเคราะห์การเสื่อมสภาพของฉนวนภายในแท่งสเตเตอร์จากเจนเนอเรเตอร์ด้วยวิธีการวัดกระแสโพลาไรซ์เซชัน และกระแสดีโพลาไรซ์เซชันจากเครื่อง PDC-Analyser-1MOD ที่มีสาเหตุเนื่องมาจากค่าดัชนีเชิงขั้ว (Polarization Index) ตั้งแต่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ซึ่งส่งผลต่อการฉนวนด้วยระดับดัชนีเชิงขั้วที่แตกต่างกัน

4. วิเคราะห์การเสื่อมสภาพของฉนวนภายในแท่งสเตเตอร์จากมอเตอร์ด้วยวิธีการวัดกระแสโพลาไรซ์เซชัน และกระแสดีโพลาไรซ์เซชันจากเครื่อง PDC-Analyser-1MOD ที่มีสาเหตุเนื่องมาจากค่าดัชนีเชิงขั้ว (Polarization Index) ตั้งแต่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ซึ่งส่งผลต่อการฉนวนด้วยระดับดัชนีเชิงขั้วที่แตกต่างกัน

1.4 วิธีการดำเนินงาน

- ศึกษาโครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องจักรกลหมุน
- ศึกษาปัญหาและสาเหตุความเสียหายที่เกิดขึ้นกับฉนวน
- ศึกษามาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบ
- ศึกษาหลักการและทฤษฎีของปรากฏการณ์ของการเกิดโพลาไรซ์เซชัน
- ศึกษาการทำงานของเครื่อง PDC-Analyser-1MOD
- ออกแบบวงจรการทดสอบและออกแบบชิ้นทดสอบฉนวนของแท่งสเตเตอร์
- ออกแบบการเสื่อมสภาพของฉนวนตามระดับดัชนีเชิงขั้ว (Polarization Index)
- ทดสอบฉนวนแท่งสเตเตอร์ด้วยวิธีวัดกระแสโพลาไรซ์เซชัน, กระแสดีโพลาไรซ์เซชัน และดัชนีเชิงขั้ว และนำมาวิเคราะห์ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 การวางแผนจัดลำดับขั้นตอนของการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ปี 2561					ปี 2562				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษาทฤษฎี โครงสร้าง และส่วนประกอบ เครื่องจักรกลหมุน และระบบที่เกี่ยวข้อง	- - - ———	- - - ———	- - - ———							
2. ศึกษาปัญหาและสาเหตุความเสียหายที่เกิดขึ้นกับฉนวน			- - - ———	———						
3. ศึกษามาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบ			- - - ———	- - - ———						
4. ศึกษาหลักการและทฤษฎีของปรากฏการณ์โพลาไรซ์-เซชัน และเครื่องมือทดสอบ PDC-Analyzer-1MOD			- - -	- - - ———	- - - ———					
5.ศึกษาและดูงานโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ์ จังหวัดกาญจนบุรี					- - -	- - - ———				
6.ทำการจำลองการเสื่อมสภาพของฉนวน					- - -	- - - ———	———	———		
7.ทำการทดสอบการเสื่อมสภาพของฉนวนด้วย PDC-Analyzer-1MOD						- - - ———	- - - ———	———	———	
8.วิเคราะห์ผลจากการวัดกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันและดัชนีเชิงขั้ว							- - - ———	- - - ———	———	
9.จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์							- - - ———	- - - ———	- - - ———	- - - ———

←- - - - - - - - - - - -→ วางแผน ←———————→ ปฏิบัติงานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้และมีความเข้าใจโครงสร้างและการฉนวนของขดลวดอาร์มาเจอร์ในสเตเตอร์

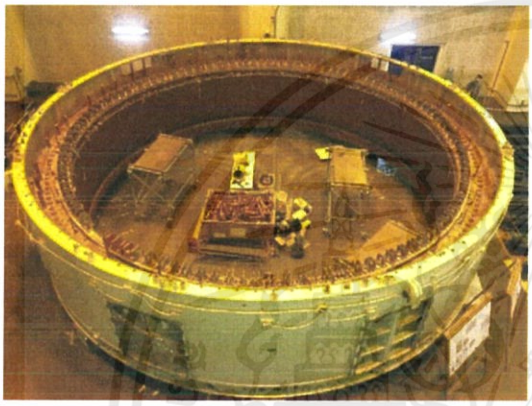
2. มีความรู้และมีความเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีโพลาไรซ์เซชั่นและดีโพลาไรซ์เซชั่น และสามารถใช้งานเครื่องมือวัดได้อย่างถูกต้อง

3. ได้รูปแบบของสาเหตุการเสื่อมสภาพของฉนวนด้วยสาเหตุจากกรณีศึกษา เพื่อนำผลที่ได้ไปประกอบการวิเคราะห์ผลเนื่องจากความเสียหายของเครื่องจักรกลหมุนได้

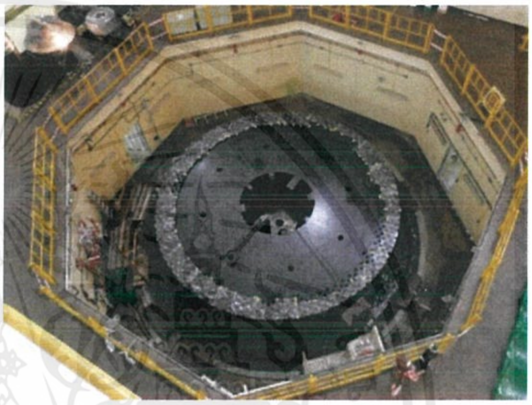
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เครื่องจักรกลหมุนประกอบด้วย เจนเนอเรเตอร์ และมอเตอร์ เจนเนอเรเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าโดยเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า และมอเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับผลิตพลังงานกลโดยเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล โดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก โดยเจนเนอเรเตอร์มีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่กับที่ร์เรียกว่า สเตเตอร์ (Stator) และเป็นโครงสร้างส่วนที่เคลื่อนที่เรียกว่า โรเตอร์ (Rotor) ดังรูปที่ 2.1



(ก)



(ข)

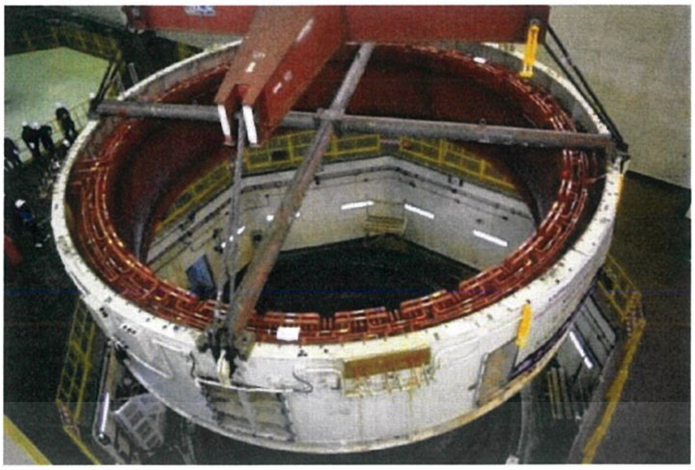
รูปที่ 2.1 เจนเนอเรเตอร์เขื่อนวชิราลงกรณ จ.กาญจนบุรี (ก) สเตเตอร์ (ข) โรเตอร์ [1]

2.1 สเตเตอร์ (Stator) [2,3]

2.1.1 โครงสเตเตอร์ (Stator Frame)

โครงสเตเตอร์ ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการรองรับน้ำหนักแกนสเตเตอร์ รวมไปถึงอุปกรณ์อื่นๆที่อยู่ภายใน โครงสเตเตอร์ทำจากเหล็กหนาเพื่อความแข็งแรง ลดการสั่นสะเทือนและเสียงรบกวน ทนความเครียดจากการงอและการโก่งตัว สมารถรองรับการหดหรือขยายของแกนจากผลของความร้อนและการดึงของสนามแม่เหล็กจากการหมุนของสนามภายในเจนเนอเรเตอร์ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นท่อทางเดินของก๊าซไฮโดรเจนในระบบระบายความร้อนด้วยไฮโดรเจน (Hydrogen-cooling) ของเจนเนอเรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 โครงสเตเตอร์ของเจนเนอเรเตอร์

2.1.2 แกนสเตเตอร์ (Stator Core)

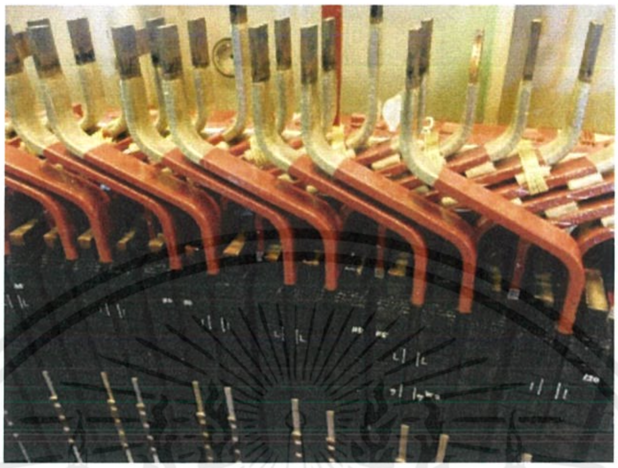
แกนสเตเตอร์ ทำจากแผ่นเหล็กซิลิกอนบางๆเคลือบด้วยฉนวนแกนชิ้นหนึ่งประกอบด้วยหลายๆแผ่นวางซ้อนกันซึ่งมีรูปร่างเป็นวงกลม 360 องศา และจะมีการวางให้ติดกันแต่มีการเยื้องกันแบบสลับฟันปลาของตำแหน่งขอบของแผ่นลามิเนตในแต่ละชั้น ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มความสมบูรณ์ในการประกอบและเพื่อลดการสูญเสียเนื่องมาจากกระแสไหลวน (Eddy Current Loss) และการสูญเสียเนื่องจากฮีสเตอร์รีซีส (Hysteresis Loss) ถูกนำไปติดตั้งกับโครงสเตเตอร์ นอกจากนี้แกนสเตเตอร์จะมีร่องสล็อตสำหรับวางขดลวดอาร์มาเจอร์ และทำหน้าที่เป็นทางเดินของฟลักซ์แม่เหล็ก

รูปที่ 2.3 แกนสเตเตอร์ของเจนเนอเรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ขดลวดสเตเตอร์ (Stator Winding)

ขดลวดสเตเตอร์ในเครื่องจักลหมุนขนาดใหญ่มีลักษณะเป็นขดลวดตัวนำทองแดงถูกพันด้วยชั้นฉนวนวางอยู่ระหว่างร่องสล็อตของแกนเหล็กเป็นส่วนที่รับกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้ามีอยู่ด้วยกันทั้งหมด 3 ชุดได้แก่ เฟส A, เฟส B และเฟส C แต่ละชุดวางห่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้า

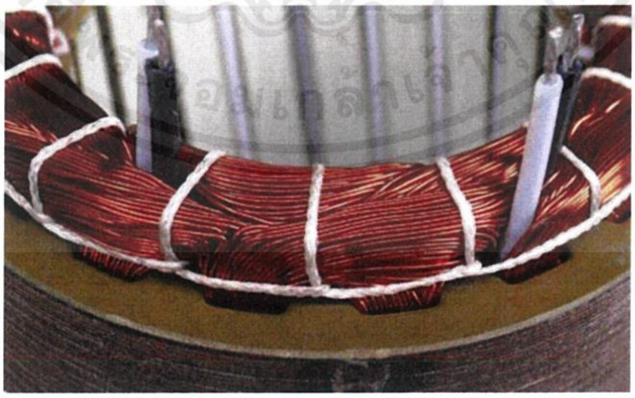


รูปที่ 2.4 ขดลวดสเตเตอร์ของเจนเนอเรเตอร์

ขดลวดสเตเตอร์ สามารถแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ ตามลักษณะการวางในร่องสล็อต ได้แก่

1) การวางขดลวดแบบ Random – Wound [2]

การพันขดลวดแบบนี้จะมีลักษณะเป็นวง เป็นการนำตัวนำทองแดงที่ถูกเคลือบด้วยฉนวนมาพันเป็นวงผ่านร่องสล็อตภายในแกนสเตเตอร์ แสดงดังรูปที่ 2.5 จะสามารถเห็นว่าการพันลักษณะนี้จำนวนรอบของขดลวดมีการวางตัวแบบสุ่มโดยไม่คำนึงถึงระดับแรงดันต่อรอบของขดลวดโดยทั่วไปมักจะใช้กับเครื่องจักรกลที่มีกำลังผลิตต่ำ



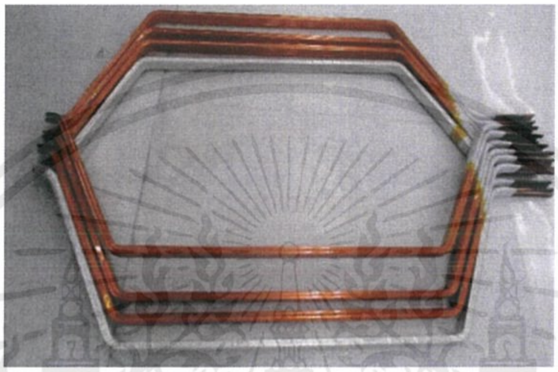
รูปที่ 2.5 การวางขดลวดสเตเตอร์แบบ Random – Wound [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การวางขดลวดแบบ Form – Wound [2]

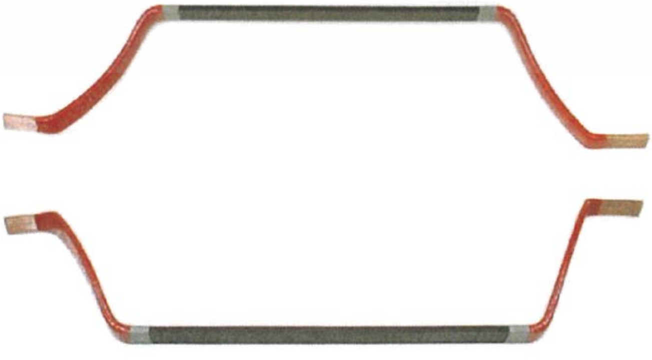
ขดลวดแบบ Form – Wound จะมีลักษณะเป็นแท่งสเตเตอร์ถูกวางตัวอยู่ในร่องสล็อต โดยทั่วไปจะใช้กับเจนเนอเรเตอร์และมอเตอร์ที่มีพิกัดแรงดันสูงกว่า 1000 โวลต์ลักษณะการวางแท่งสเตเตอร์ต้องคำนึงถึงแรงดันต่อรอบให้เหมาะสม รูปแบบของขดลวดแบ่งได้เป็น 2 แบบ ดังนี้

2.1) แท่งสเตเตอร์แบบคอยล์ (Coil Type) ขดลวดที่ผ่านกรรมวิธีของฉนวนเรียบร้อยแล้วถูกนำมาเรียงตัวยาวในลักษณะเป็นเหลี่ยมคล้ายเพชรหรือเรียกว่า Diamond Shape จากนั้นนำมาวางลงไปในร่องสล็อตบนแกนสเตเตอร์ มีรูปร่างลักษณะดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แท่งสเตเตอร์แบบคอยล์ (Coil Type)

2.2) แท่งสเตเตอร์แบบโรเบล (Roebel Bar Type) สำหรับมอเตอร์และเจนเนอเรเตอร์ขนาดใหญ่ที่มีกำลังผลิตสูง ส่งผลให้ขดลวดต้องมีขนาดใหญ่ขึ้นแต่เนื่องจากหากใช้แท่งสเตเตอร์แบบคอยล์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นแทรกลงในร่องสล็อตขนาดเล็กโดยไม่ให้เกิดความเสียหายแก่แท่งสเตเตอร์เป็นเรื่องที่ทำได้ยาก จึงมีการพัฒนาแท่งสเตเตอร์โดยการลดขนาดของทองแดงลงและใช้การพันแบบครึ่งรอบ (Half Coil) ซึ่งถูกเรียกว่าแบบโรเบล (Roebel Bar) ดังรูปที่ 2.6 ถูกนำมาวางลงในร่องสล็อตและเชื่อมต่อกันแบบอนุกรมที่ด้านปลายของตัวแท่งสเตเตอร์ ซึ่งภายในแท่งสเตเตอร์แบบโรเบลยังมีการพันแท่งทองแดงแบบ Transposition ดังรูปที่ 2.7 ทำให้มีขนาดเล็กลงและช่วยลดปัญหาความสูญเสียในแท่งสเตเตอร์จากกระแสไหลวนได้



รูปที่ 2.7 แท่งสเตเตอร์แบบโรเบล (Roebel Bar Type) [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.8 การวางแท่งทองแดงด้วยวิธี Transposition ภายในแท่งสเตเตอร์แบบโรเบล [6]

โครงสร้างขดลวดสเตเตอร์ มีวัสดุสำหรับการฉนวนที่แตกต่างกันไป โดยสามารถแบ่งเป็น 2 ส่วน คือฉนวนของขดลวดส่วนที่อยู่ภายในร่องสล็อต และ ขดลวดส่วนที่อยู่พ้นร่องสล็อต

1) ฉนวนของขดลวดส่วนที่อยู่ภายในร่องสล็อต ประกอบด้วย ฉนวนกราวด์หรือไมกา และชั้นวัสดุตัวนำสำหรับการต้านการเกิดโคโรนา

ข้อดี คือ ชั้นฉนวนกราวด์จะทนต่อความเข้มสนามไฟฟ้าได้สูงกว่าขดลวดสเตเตอร์ที่อยู่พ้นร่องสล็อต และ เป็นส่วนที่ตรงและยาว จะมีความแข็งแรงมากกว่าและมีโอกาสเกิดโพรงอากาศน้อยกว่า เนื่องจากสามารถใช้เครื่องอัดความร้อน (Hot Press) บีบอัดด้วยแรงดันและอบด้วยความร้อนได้ ในกระบวนการนี้จะช่วยให้เรซินมีความสามารถในการแทรกซึมเข้าไปในช่องอากาศได้

ข้อเสีย คือ มีความยืดหยุ่นน้อยกว่าฉนวนของขดลวดสเตเตอร์ที่อยู่พ้นร่องสล็อต

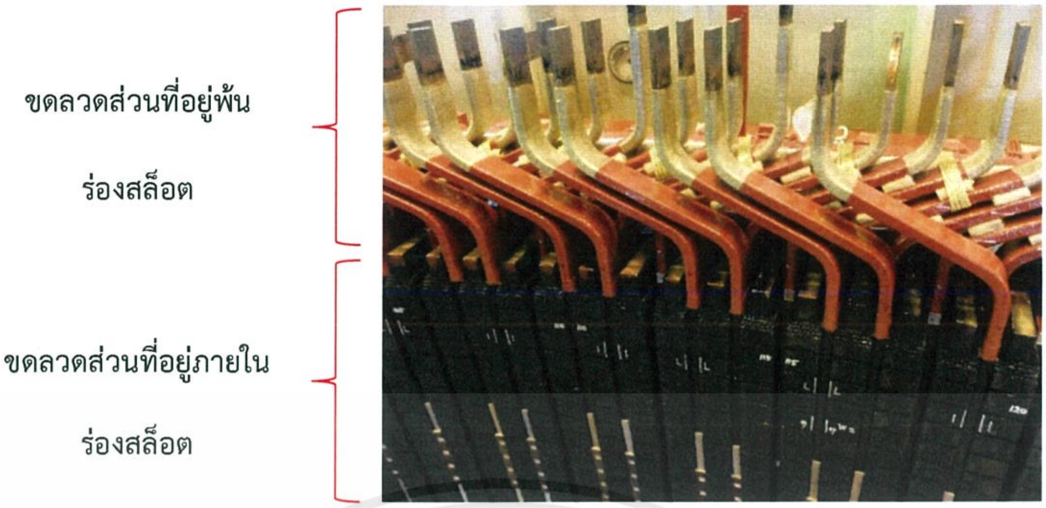
2) ขดลวดส่วนที่อยู่พ้นร่องสล็อต ประกอบด้วยฉนวนชั้นวัสดุกึ่งตัวนำเคลือบสำหรับลดความเครียดทางไฟฟ้าเพื่อป้องกันการเกิดการปล่อยประจุบางส่วนตามผิวฉนวน

ข้อดี คือ มีคุณสมบัติยืดหยุ่นเป็นพิเศษเนื่องจากเป็นส่วนที่ได้รับแรงสั่นสะเทือนจากแรงทางแม่เหล็กไฟฟ้า

ข้อเสีย คือ เป็นส่วนที่มีลักษณะโค้ง จึงไม่สามารถใช้เครื่องอัดความร้อนในการบีบอัดฉนวนได้ จึงมีความบอบบางและมีโอกาสเกิดจุดบกพร่องได้มากกว่า

แต่ในปัจจุบันนี้ในกรรมวิธีการผลิตมีการใช้กระบวนการ Vacuum Pressure Impregnation (VPI) ซึ่งสามารถใช้ได้กับขดลวดทั้งสองส่วน จึงทำให้เกิดความแข็งแรงได้มากขึ้นแสดงดังรูปที่ 2.9

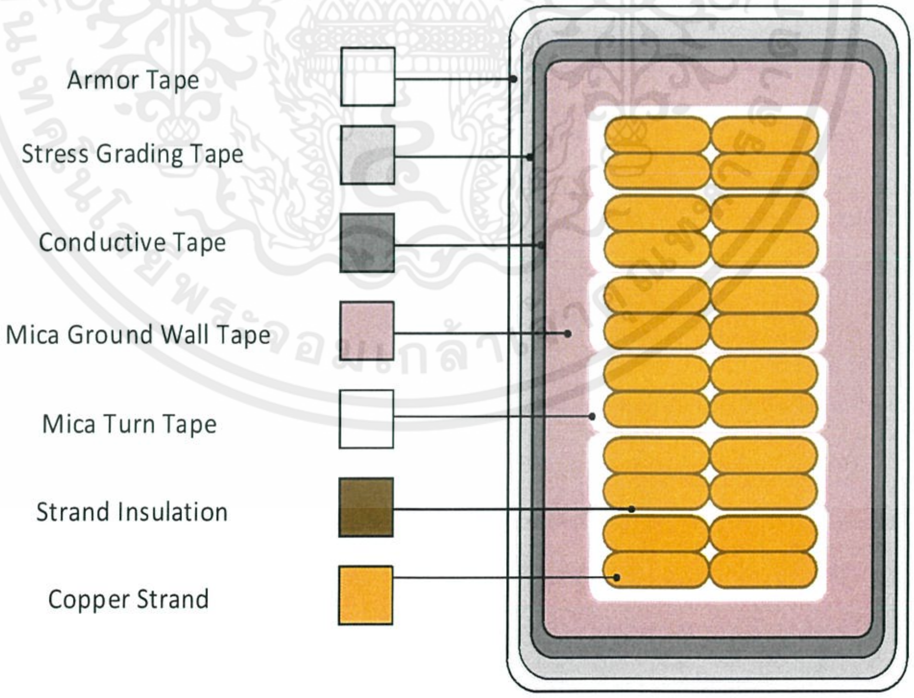
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของขดลวดสเตเตอร์

โครงสร้างระบบฉนวนในขดลวดสเตเตอร์ [2]

ฉนวนในขดลวดสเตเตอร์ประกอบด้วยหลายๆส่วนเข้าด้วยกันซึ่งทุกส่วนจะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการลัดวงจรทางไฟฟ้า และช่วยระบายความร้อนที่เกิดจากความสูญเสียในตัวนำถูกส่งไปยังแผงระบายความร้อน (Heat Sink) และช่วยไม่ให้ตัวนำเกิดการสั่นเนื่องจากแรงทางแม่เหล็ก ส่วนประกอบฉนวนของขดลวดสเตเตอร์ประกอบด้วยส่วนต่างๆดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 โครงสร้างระบบฉนวนในขดลวดสเตเตอร์ [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) Armor Tape

อยู่ชั้นนอกสุดทำหน้าที่ป้องกันรอยขีดข่วนที่เกิดจากเศษฝุ่นด้านนอกหรือแรงดันอากาศที่ขยายตัวผ่าน เจนเนอเรเตอร์

2) Stress Grading Tape

อยู่ต่อจากชั้น conductive tape มีคุณสมบัติช่วยลดระดับแรงดันทำให้มีความรุนแรงน้อยลง โดยใช้กับ กระบวนการ Vacuum Pressure Impregnation (VPI)

3) Conductive Tape

ทำหน้าที่ป้องกันการเกิดโคโรน่า โดยจะทำให้สนามไฟฟ้ารอบๆมีความเป็นระเบียบ (Uniform field) โดยจะช่วยลดในเรื่องของการเกิดดิสชาร์จระหว่างตัวขดลวดกับช่องว่างสล็อต

4) Mica Ground Wall Tape

เป็นองค์ประกอบที่แยกระหว่างตัวนำทองแดงกับกราวด์ที่ตัวโครงสเตเตอร์ มีผลอย่างมากสำหรับอายุการใช้งานในเจนเนอเรเตอร์และมอเตอร์ ปัญหาของชั้นนี้คือจะได้รับผลทั้งจากไฟฟ้า ความร้อน และความเครียดทางกล โดยชั้นนี้ต้องมีค่านำความร้อนที่สูง เพื่อช่วยในการระบายความร้อนออกจากตัวนำทองแดง และต้องไม่มีโพรงอากาศเพราะจะทำให้การระบายความร้อนทำได้ช้าลง

5) Mica Turn Tape

อยู่รอบนอกของชั้น Strand Insulation ทำหน้าที่ป้องกันการช็อตเทิร์นในแต่ละเฟส เนื่องจากมีการพันแบบ random อาจจะทำให้เฟสต่างกันอยู่ติดกัน ซึ่งถ้าชั้นนี้เกิดความเสียหายอาจทำให้มอเตอร์หรือเจนเนอเรเตอร์เกิดการช็อตเฟสได้ อายุการใช้งานของ Mica Turn Tape จะลดลงเมื่อเกิดแรงดัน เสิร์ชขึ้น หรือในบางครั้งอาจเกิดการเจาะทะลุได้ ในปัจจุบันมีความพยายามในการจะรวมชั้น Turn Insulation กับ Strand Insulation เข้าด้วยกันเพื่อลดขนาดของเจนเนอเรเตอร์

6) Strand Insulation

จะอยู่ติดกับตัวนำทองแดง ทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันกระแสไหลชนกันในแต่ละขด เนื่องจากถ้าขดลวดมีขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้เกิดผลของกระแสไหลที่ผิว (skin effect) ทำให้มีผลต่อการไหลของกระแสในตัวนำ ซึ่งทำมาจากโพลีเอสเตอร์โดยจะทำการอบรวมกับตัวนำเพื่อให้เกิดการเคลือบตัวนำเป็นชั้นบางๆมีคุณสมบัติเป็นฉนวนที่นำความร้อนและทนความร้อนได้ดี

7) Copper Strand

ทำหน้าที่เป็นทางเดินของกระแสไฟฟ้าโดยความหนาจะไม่มาก เนื่องจากจะเกิดผลของกระแสไหลที่ผิว (skin effect) โดยจะมีการผ่านความร้อนไปยัง Ground wall

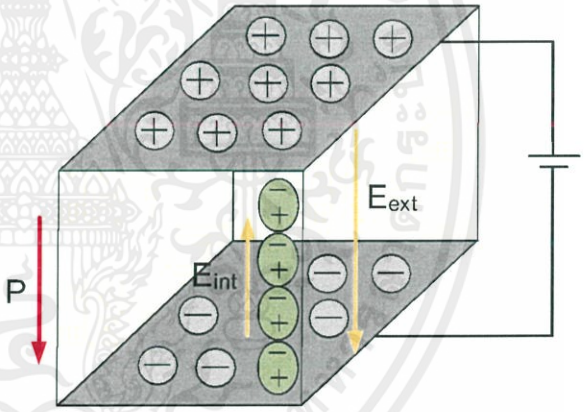
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยส่วนประกอบต่างๆเหล่านี้เป็นเพียงส่วนประกอบเบื้องต้นทั่วไปซึ่งแล้วแต่การออกแบบและเทคนิคของผู้ผลิตที่จะเลือกใช้

2.2 ปรากฏการณ์โพลาไรซ์เซชัน (Polarization) [1,5,8]

ในขณะที่ฉนวนในสภาวะภายใต้สนามไฟฟ้าซึ่งมีทิศทางจากขั้วบวกไปสู่ขั้วลบ กลุ่มหมอกอิเล็กตรอนและประจุบวกภายในอะตอมหรือโมเลกุลของฉนวนจะเกิดการเรียงตัวใหม่ โดยประจุบวกจะเรียงตัวตามทิศทางสนามไฟฟ้าภายนอก และกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนจะเรียงตัวสวนทิศทางสนามไฟฟ้าภายนอก ทำให้โมเลกุลเกิดการหมุนตัวจึงแสดงพฤติกรรมเชิงขั้วออกมาซึ่งอิเล็กตรอนกับประจุบวกจะแยกห่างออกจากกันได้ไม่เกินคุณสมบัติความยืดหยุ่นของพันธะอะตอมนั้นๆ จากการเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลภายในฉนวนทำให้เกิดการสร้างสนามไฟฟ้าภายในฉนวนเกิดขึ้นโดยมีทิศทางสวนทางกับสนามไฟฟ้าภายนอก แต่เนื่องจากสนามไฟฟ้าภายในที่เกิดขึ้นมีค่าไม่เพียงพอที่จะหักล้างสนามไฟฟ้าภายนอกได้ทั้งหมดจึงทำให้สนามไฟฟ้าลัพธ์ที่เกิดขึ้นมีทิศทางเดียวกับกับสนามไฟฟ้าภายนอก เรียกว่า สนามของโพลาไรซ์เซชั่น กล่าวคือยังคงมีประจุคงเหลืออยู่ที่ผิวฉนวน ดังรูปที่ 2.11 และ 2.12

รูปที่ 2.11 พฤติกรรมของประจุสภาวะปกติ [8]



รูปที่ 2.12 ปรากฏการณ์โพลาไรซ์เซชัน [8]

2.2.1 การเกิดปรากฏการณ์โพลาไรซ์เซชันที่มีต่อคุณสมบัติของฉนวน

การเกิดโพลาไรซ์เซชันนั้นจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอภายนอกมากระทำกับวัสดุฉนวนนั้นๆ โดยพิจารณาจากตัวเก็บประจุที่มีสนามไฟฟ้าโดยมีสุญญากาศเป็นฉนวน ความหนาแน่นของสนามไฟฟ้าจะเป็นสัดส่วนกับเวกเตอร์สนามไฟฟ้า และมีค่าเปอร์มิตติวิตี้เป็นค่าคงที่เป็นไปดังสมการ

$$D = \varepsilon_0 E \tag{2.3}$$

สนามไฟฟ้าที่อยู่ภายในสุญญากาศ จะเกิดปรากฏการณ์โพลาไรซ์เซชันในระดับอะตอม ค่าความสามารถยอมรับได้ของไดอิเล็กตริกซึ่งสัมพันธ์กับโพลาไรซ์เซชันจากสนามไฟฟ้า ดังสมการ

$$P = \chi \varepsilon_0 E \tag{2.4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความสามารถยอมรับได้ของไดอิเล็กตริกเท่ากับศูนย์ในสุญญากาศ แต่จะเพิ่มขึ้นเพราะปรากฏการณ์โพลาไรซ์เซชันในฉนวนแข็ง โดยมีความสัมพันธ์กับค่าเปอร์มิตติวิตี้ ดังสมการ

$$\varepsilon = \varepsilon_0(1+\chi) \tag{2.5}$$

โพลาไรซ์เซชันที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางเดียวกันกับทิศทางความเข้มสนามไฟฟ้า โดยความสัมพันธ์ระหว่างโพลาไรซ์เซชันกับความหนาแน่นของสนามไฟฟ้าแสดงได้ดังสมการ

$$D = \varepsilon_0 E + P = \varepsilon_0(1+\chi)E \tag{2.6}$$

จากสมการข้างต้น พบว่าปรากฏการณ์โพลาไรซ์เซชันสามารถคงอยู่ได้โดยปราศจากสนามไฟฟ้าภายนอก โดยกระบวนการดีโพลาไรซ์เซชันนั้นจะทำให้เกิดความหนาแน่นของสนามไฟฟ้า เมื่อกระบวนการทั้งสองต่างกันจะทำให้ค่าคงที่เวลาต่างกันด้วย ส่งผลให้เวลาและความถี่ขึ้นอยู่กับค่าความสามารถยอมรับได้ของค่าไดอิเล็กตริก

คุณสมบิติของฉนวนในโดเมนเวลา ส่งผลกับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าและฟังก์ชันการตอบสนองของฉนวนเพื่อทำให้ครอบคลุมปรากฏการณ์ทางกายภาพของการนำกระแสและการคายกระแสด้วยสมการคณิตศาสตร์ เริ่มต้นด้วยสมการของแม็กซ์เวล สนามไฟฟ้า $E(t)$ สร้างความหนาแน่นกระแส $J(t)$ เป็นผลรวมของกระแสการนำไฟฟ้าและกระแสการกระจัด (Displacement - Current)

$$\nabla \times H(t) = J(t) = \sigma_0 E(t) + \frac{dD(t)}{dt} \tag{2.7}$$

เมื่อ σ_0 คือ ปริมาตรความนำของวัสดุ ดังนั้นการโพลาไรซ์ $P(t)$ ทำให้เกิดการนำกระแสไฟฟ้าสามารถเขียนการกระจัดได้ดังสมการต่อไปนี้

$$J(t) = \sigma_0 E_0 + \varepsilon_0 \varepsilon(\infty)\frac{dE(t)}{dt}\frac{dP(t)}{dt} \tag{2.8}$$

เมื่อสนามไฟฟ้า $E(t)$ ถูกกำหนดโดยฟังก์ชันขั้นบันได $H(t)$ และให้ขนาดของแอมพลิจูด E_0 ด้วยวิธีการรวมกันในโดเมนเวลาจะได้ความหนาแน่นของไฟฟ้าทั้งหมดเป็น $J(t)$

$$J(t) = \sigma_0 E_0 + \varepsilon_0 E_0[\varepsilon(\infty)\delta(t) + f(t)] \tag{2.9}$$

$$\varepsilon(\infty) = 1 + \chi(\infty) \tag{2.10}$$

เมื่อ $\varepsilon(\infty)$ เป็นเปอร์มิตติวิตี้ความถี่สูง

เมื่อ $\delta(t)$ เป็นฟังก์ชันเดลต้าเป็นอนุพันธ์ของฟังก์ชันขั้นบันได $H(t)$

เมื่อ $f(t)$ แสดงถึงฟังก์ชันการตอบสนองของฉนวนบริสุทธิ์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เวลาขึ้นกับค่าความสามารถในการยอมรับได้ของค่าไดอิเล็กตริกหรือค่าเปอร์มิตติมิตี้สัมพัทธ์ ε_r ฟังก์ชัน $f(t)$ เป็นฟังก์ชันลดแบบเชิงเส้น

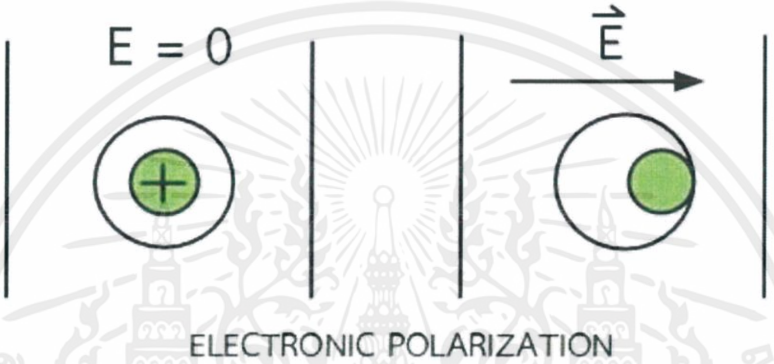
$$f(t) = \frac{d\chi(t)}{dt} = \frac{d\varepsilon_r(t)}{dt} \tag{2.11}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ชนิดการเกิดปรากฏการณ์พาลาไรซ์เซชัน

1) Electronic Polarization หรือ Optical Polarization

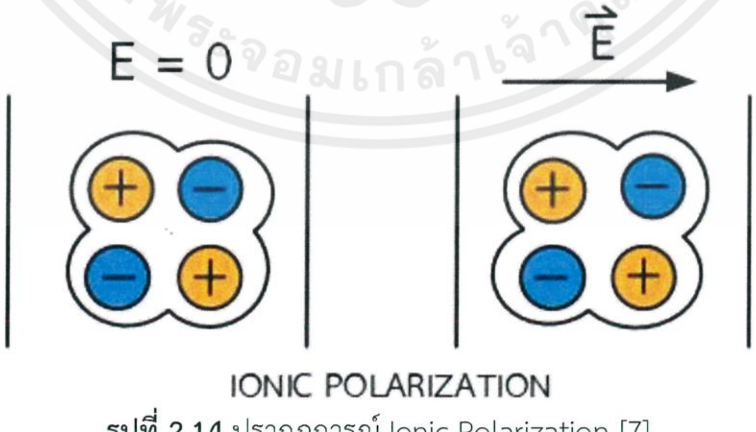
Electronic Polarization คือ กระบวนการเกิดโพลาไรซ์เซชันในระดับอะตอมของฉนวนเมื่อฉนวนอยู่ภายใต้สนามไฟฟ้าภายนอก ประจุบวกและกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนจะเกิดการเรียงตัวใหม่ แต่เนื่องจากแรงจากสนามไฟฟ้าภายนอกนั้นมีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับแรงยึดเหนี่ยวภายในอะตอมทำให้การเรียงตัวหรือการบิดตัวของประจุบวกและกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยส่งผลให้ไม่เกิดการสูญเสียทางไฟฟ้า โดยกระบวนการดังกล่าวเกิดขึ้นภายในเวลาประมาณ 10^{-15} วินาที แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ปรากฏการณ์ Electronic Polarization [7]

2) Ionic Polarization, Vibrational Polarization หรือ Atomic Polarization

Ionic Polarization คือ กระบวนการเกิดโพลาไรซ์เซชันที่เกิดขึ้นกับฉนวนในรูปของโมเลกุลพันธะไอออนิกซึ่งประกอบด้วยไอออนบวกและไอออนลบ เมื่ออยู่ภายใต้สนามไฟฟ้าภายนอกส่งผลให้เกิดการสั่นของโมเลกุลและอาจแตกตัวเป็นโมเลกุลใหม่ได้ โดยกระบวนการดังกล่าวใช้เวลาการเกิดประมาณ 10^{-12} วินาที ซึ่งช้ากว่า Electronic Polarization แสดงดังรูปที่ 2.14

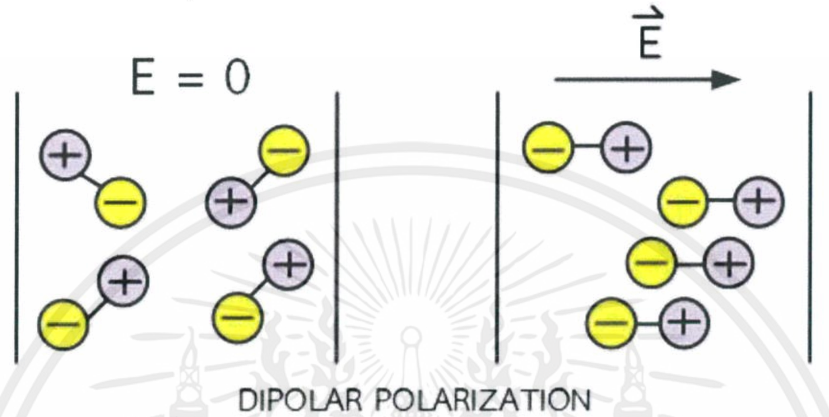


รูปที่ 2.14 ปรากฏการณ์ Ionic Polarization [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) Orientation Polarization หรือ Dipolar Polarization

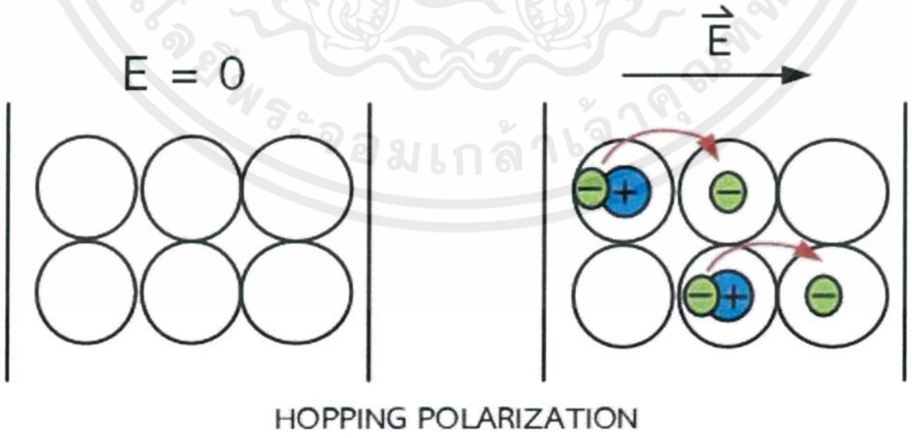
Orientation Polarization คือ กระบวนการโพลาไรซ์เซชันที่เกิดขึ้นกับฉนวนที่มีโมเลกุลแบบเชิงขั้วถาวร (Permanent Dipole) โมเลกุลภายในฉนวนมีการจัดเรียงตัวอย่างกระจัดกระจาย เมื่อมีสนามไฟฟ้าภายนอกมากระทำจะส่งผลให้โมเลกุลมีการจัดเรียงตัวใหม่ตามทิศทางสนามไฟฟ้าภายนอก โดยกระบวนการดังกล่าวใช้เวลาการเกิดประมาณ10^{-8} วินาที ซึ่งช้ากว่า Ionic Polarization แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ปรากฏการณ์ Dipolar Polarization [7]

4) Hopping Polarization

Hopping Polarization คือ กระบวนการโพลาไรซ์เซชันที่เกิดขึ้นกับโมเลกุลที่มีระดับชั้นพลังงาน เมื่อโมเลกุลได้รับสนามไฟฟ้าจากภายนอกส่งผลให้อิเล็กตรอนกระโดดจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งซึ่งมีระดับชั้นพลังงานที่ต่างกันทำให้เกิดช่องว่าง (Hole) เปรียบเสมือนว่าช่องว่างนั้นเคลื่อนที่ตรงกันข้ามกับอิเล็กตรอนจึงทำให้เกิดปรากฏการณ์โพลาไรซ์เซชันโดยกระบวนการดังกล่าวใช้เวลาการเกิดประมาณ 10^{-5} วินาที ซึ่งช้ากว่า Orientation Polarization แสดงดังรูปที่ 2.16

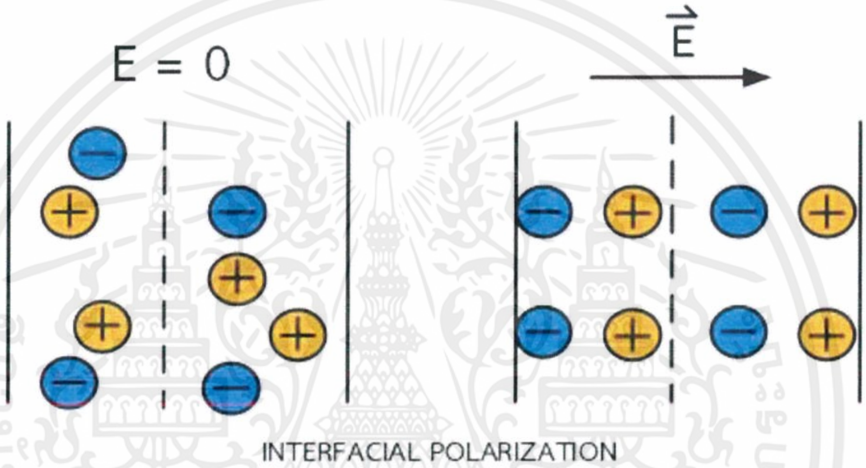


รูปที่ 2.16 ปรากฏการณ์ Hopping Polarization [7]

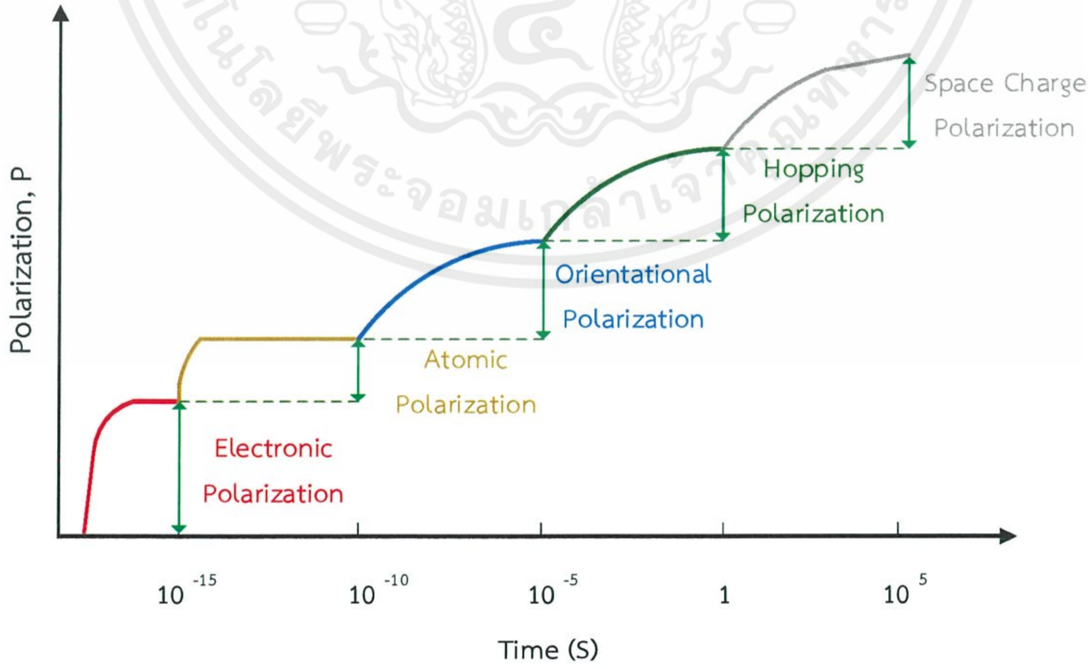
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) Space Charge Polarization หรือ Interfacial Polarization

Space Charge Polarization คือ กระบวนการโพลาไรซ์เซชันที่เกิดขึ้นในสารกึ่งตัวนำและเฟอร์ไรต์ เนื่องจากการแพร่กระจายของไอออนโดยในสภาวะปกติประจุบวกและกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนจะมีการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบเมื่ออยู่ภายใต้สนามไฟฟ้าภายนอกทำให้เกิดการกระจายตัวโดยประจุบวกและกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่แยกออกจากกันและอนุภาคดังกล่าวจะเคลื่อนที่มาสะสมกันบริเวณรอยต่อของฉนวนสองชนิดที่มีค่าเปอร์มิตติวิตี้ โดยบริเวณนี้ถูกเรียกว่า Space Charge Polarization ซึ่งส่งผลให้การกระจายตัวของสนามไฟฟ้าภายในเนื้อฉนวนผิดเพี้ยนไป โดยกระบวนการดังกล่าวใช้เวลาการเกิดประมาณ 10^{-3} วินาที ไปจนถึงชั่วโมง ซึ่งช้ากว่า Hopping - Polarization แสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ปรากฏการณ์ Space Charge Polarization [7]



รูปที่ 2.18 ระยะเวลาการเกิดปรากฏการณ์โพลาไรซ์เซชั่นแต่ละชนิด [7]

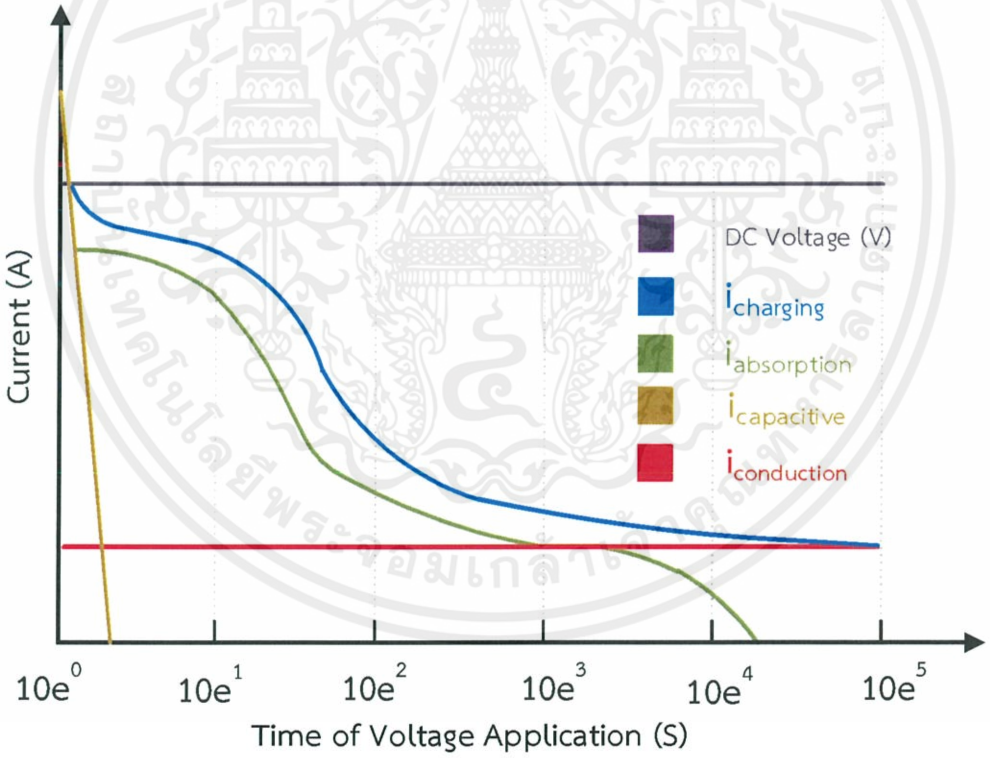
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 กระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชัน (Polarization and Depolarization Current) [1,5,8]

2.3.1 กระแสโพลาไรซ์เซชัน (Polarization current)

เมื่อป้อนแรงดันกระแสตรงให้กับฉนวนของขดลวาดอาร์มาเจอร์ที่สเตเตอร์จะเกิดการโพลาไรซ์ชนิด Interfacial Polarization เป็นหลัก เนื่องจากฉนวนของขดลวดอาร์มาเจอร์ที่สเตเตอร์ประกอบด้วยไมกาผสมเรซินเป็นส่วนใหญ่ เมื่อเกิดการโพลาไรซ์ทำให้เกิดกระแสโพลาไรซ์เซชัน (Polarization- Current, i_{pol}) โดยกระแสโพลาไรซ์เซชันในทางทฤษฎีประกอบด้วย 3 ส่วน

1) กระแสคาปาซิทีฟ (Capacitive Current, i_c) คือกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากผลของตัวเก็บประจุภายในฉนวนซึ่งลดลงอย่างทันทีทันใด
2) กระแสดูดซับ (Absorption Current, i_{ab}) คือกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากกระบวนการโพลาไรซ์เซชันภายในเนื้อฉนวน
3) กระแสการนำไฟฟ้า (Conductance Current, i_{con}) คือกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากค่าความนำไฟฟ้าของวัสดุ



รูปที่ 2.19 องค์ประกอบของกระแสโพลาไรซ์เซชัน [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางปฏิบัติขณะทำการทดสอบนั้นสิ่งเปรอะเปื้อนที่บริเวณผิวฉนวนเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นกระแสโพลาไรซ์เซชันจะประกอบด้วยกระแสรั่วไหลรวมอยู่ด้วยโดยกระแสรั่วไหลเป็นกระแสที่สามารถวัดได้ในทางปฏิบัติ (Practical Conduction Current, $i_{con(practical)}$)

$$i_{pol(practical)} = i_c + i_{ab} + i_{con} + i_l \tag{2.12}$$

$$i_{con(practical)} = i_{con} + i_l \tag{2.13}$$

กระแสโพลาไรซ์เซชันในทางทฤษฎีแสดงได้ดังสมการที่ 2.14

$$i_{pol}(t) = C_0 V_0 [\frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} + \varepsilon\delta(t) + f(t)] \tag{2.14}$$

โดยที่ C_0 คือ ค่าความจุไฟฟ้าทางเรขาคณิต (Geometric Capacitance) ของวัตถุทดสอบ

V_0 คือ แรงดันกระแสตรงที่ใช้ในการทดสอบ

σ_0 คือ ค่าความนำไฟฟ้ากระแสตรงบริสุทธิ์ (Pure DC Conductivity)

ε_0 คือ ค่าเปอร์มิตติวิตี้ของสุญญากาศ (Permittivity of Vacuum)

ε_{inf} คือ ค่าเปอร์มิตติวิตี้สัมพัทธ์ (Relative Permittivity) ที่เวลาเริ่มต้น (ที่ 0 วินาที)

$\delta(t)$ คือ ฟังก์ชันเดลต้า (Delta Function) ที่เกิดขึ้นจากการจ่ายแรงดันรูปขั้นบันไดแบบทันทีทันใดให้กับวัตถุทดสอบที่เวลาเริ่มต้น

$f(t)$ คือ ฟังก์ชันผลตอบสนองของค่าไดอิเล็กทริก (Dielectric Response Function)

จากสมการที่ (2.14) สามารถแบ่งกระแสโพลาไรซ์เซชันออกเป็น 3 เทอม ได้ดังนี้

เทอม $\frac{\sigma}{\varepsilon}$ เป็นเทอมที่ความสัมพันธ์กับค่าความนำไฟฟ้าภายในเนื้อฉนวนและเป็นเทอมที่ไม่ขึ้นกับกระบวนการโพลาไรซ์เซชันของฉนวน เทอม $\frac{\sigma}{\varepsilon}$ จะปรากฏในขณะที่ทำการจ่ายแรงดันให้กับฉนวนเท่านั้นซึ่งในทอมจะเป็นเทอมที่มีความสัมพันธ์กับกระแสการนำไฟฟ้าของฉนวน

$\varepsilon\delta(t)$ เป็นเทอมที่เกิดกระบวนการโพลาไรซ์ที่ใช้ระยะเวลาในการเกิดรวดเร็ว การเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแสจึงรวดเร็ว ไม่สามารถทำการวัดได้ในทางปฏิบัติ

$f(t)$ เป็นเทอมที่มีความสัมพันธ์กับกระบวนการโพลาไรซ์เซชันทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในเนื้อฉนวนยกเว้นกระบวนการโพลาไรซ์เซชันที่ใช้ระยะเวลาในการเกิดรวดเร็วดังที่ได้กล่าวไปในเทอม $\varepsilon\delta(t)$ ซึ่งนี้เทอมนี้จะเป็นเทอมที่มีความสัมพันธ์กับกระแสคาปาซิทีฟและกระแสดูดซับ

2.3.2 กระแสดีโพลาไรซ์เซชัน (Depolarization Current)

หากทำการลัดวงจรของวงจรเพื่อคายประจุลงกราวด์จะทำให้โมเลกุลและประจุไฟฟ้าเกิดการเรียงตัวเข้าสู่ภาวะปกติ กระแสคายประจุ (Discharge Current) ที่วัดได้จะถูกเรียกว่ากระแสดีโพลาไรซ์เซชัน (Depolarization Current, Idepol) โดยกระแสดีโพลาไรซ์ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

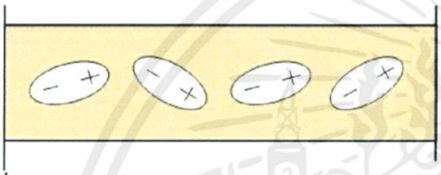
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) กระแสคาปาซิทีฟดิสชาร์จ (Capacitive Discharge Current, $i_{c(discharge)}$) เป็นกระแสเกิดขึ้นและลดลงอย่างทันทีทันใดจะมีลักษณะเหมือนกระแสคาปาซิเตอร์แต่มีขั้วตรงกันข้าม

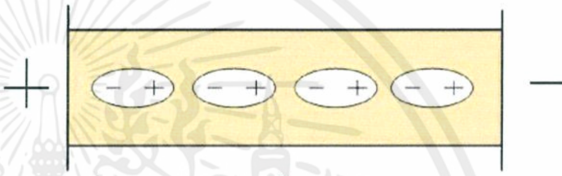
2) กระแสดูดซับดิสชาร์จ (Absorption Discharge Current, $i_{ab(discharge)}$) เป็นกระแสที่มีค่าสูงในช่วงแรกและเมื่อฉนวนคายประจุจะทำให้กระแสลดลงจะเหมือนกับกระแสโพลาไรซ์เซชันแต่มีขั้วตรงกันข้ามและสำหรับกระแสดีโพลาไรซ์เซชันไม่มีส่วนประกอบของกระแสรั่วไหลรวมอยู่ด้วยเพราะว่าหยุดป้อนแรงดันให้กับฉนวน

2.4 ดัชนีเชิงขั้ว (Polarization Index) [9]

การทดสอบสภาพความเป็นฉนวนด้วยวิธีการ Polarization Index (P-I Test) หรือเรียกว่าดัชนีเชิงขั้ว หมายถึง การนำการกลับขั้วของโมเลกุลที่อยู่ภายในเนื้อฉนวนมาพิจารณาซึ่งเกิดจากการจ่ายแรงดันทำให้มีสนามไฟฟ้ามากระทำกับโมเลกุลภายในเนื้อฉนวน ดังรูปที่ 2.20 และ 2.21



รูปที่ 2.20 พฤติกรรมของประจุสภาวะปกติ



รูปที่ 2.21 การกลับขั้วของโมเลกุลตามสนามไฟฟ้า

การหาค่าดัชนีเชิงขั้วหาได้จากการนำค่าความต้านทานฉนวนที่วัดได้ใน 10 นาที นำมาหารด้วยค่าความต้านทานฉนวนที่วัดได้ใน 1 นาที

$$PI = \frac{\text{ค่าความต้านทานที่วัดได้ใน 10 นาที}}{\text{ค่าความต้านทานที่วัดได้ใน 1 นาที}}$$

ค่าต่ำสุดที่ยอมรับได้สำหรับการทดสอบแบบ Polarization Index กำหนดโดยมาตรฐาน ANSI/IEEE 43-2000 อ้างอิงกับชนิดของฉนวนเครื่องจักรดังนี้

ตารางที่ 2.1 ค่าต่ำสุดที่ยอมรับได้ อ้างอิง Standard IEEE43-2000 [10]

Insulation Class	Polarization Index
A	1.5
B	2.0
F	2.0
H	2.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NFPA 70B (National Fire Protection Association) เป็นองค์กรชั้นนำของโลกที่สนับสนุนกิจกรรมด้านการป้องกันอัคคีภัย การป้องกันการซ่อมบำรุงสำหรับระบบไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ และระบบสื่อสาร ให้มีความปลอดภัย เพื่อป้องกันอุปกรณ์เสียหายและผู้ปฏิบัติงานได้รับความบาดเจ็บ ได้มีการแนะนำค่าดัชนีเชิงขั้วไว้ดังนี้

ตารางที่ 2.2 เกณฑ์คำแนะนำของค่า P-I Test ที่วัดได้ [11]

Polarization Index	Insulation Level
Less than 1	DANGEROUS
Less than 1.5	POOR
1.5 a 2.0	QUESTIONABLE
2.0 a 3.0	FAIR
3.0 a 4.0	GOOD
Above 4.0	EXCELLENT

สำหรับแรงดันที่ใช้ในการทดสอบค่าดัชนีเชิงขั้วตามพิกัดแรงดันการใช้งานของมอเตอร์และเจนเนอเรเตอร์กำหนดโดยมาตรฐาน ANSI/IEEE 43-2000 ดังนี้

ตารางที่ 2.3 แรงดันทดสอบดัชนีเชิงขั้วอ้างอิง Standard IEEE43-2000 [10]

Winding rated voltage (V)	Insulation resistance test direct voltage (V)
< 1000	500
1000 - 2500	500 - 1000
2501 - 5000	1000 - 2500
5001 - 12000	2500 - 5000
> 12000	5000 -1 0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 แฟคเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริก [8]

การใช้งานฉนวนในระบบไฟฟ้ากำลังนั้นค่าแฟคเตอร์กำลังสูญเสียไดอิเล็กตริก(tanδ) เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่จะต้องพิจารณาค่าแฟคเตอร์กำลังสูญเสียจะเป็นดัชนีชี้วัดตัวหนึ่งของอายุการใช้งานฉนวนค่าแฟคเตอร์กำลังสูญเสียไดอิเล็กตริกสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

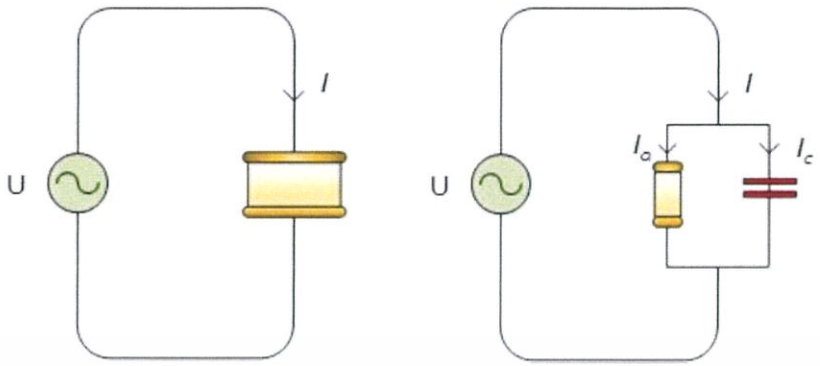
1. ค่าความสูญเสียเนื่องจากการที่ฉนวนไม่ได้เป็นฉนวนบริสุทธิ์เมื่อฉนวนอยู่ภายใต้สนามไฟฟ้ามีผลให้เกิดสภาพนำไฟฟ้าขึ้นมา ทำให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากมีกระแสรั่วไหลผ่านฉนวน

2. ค่าความสูญเสียเนื่องจากพฤติกรรมการมีขั้วฉนวนโดยสภาวะปกตินั้นโมเลกุลของฉนวนจะดำรงอยู่อย่างอิสระเมื่อฉนวนอยู่ภายใต้สนามไฟฟ้าประจุบวกและลบของโมเลกุลจะแยกออกห่างจากกันและประพฤติตัวเสมือนไดโพลที่มีขนาดของประจุเท่ากันแต่มีขั้วตรงกันข้ามแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าจะกระทำต่อไดโพลให้เกิดการปรับทิศทางให้วางตัวอยู่ในแนวของสนามไฟฟ้าในกรณีที่ฉนวนอยู่ภายใต้สนามไฟฟ้ากระแสสลับไดโพลจะต้องเกิดการเรียงตัวสลับที่ไปมาตลอดเวลา ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียในรูปของความร้อน

3. ค่าความสูญเสียเนื่องจากการเกิดดิสชาร์จบางส่วนภายในเนื้อฉนวน การเกิดดิสชาร์จบางส่วน (Partial discharge) ภายในเนื้อฉนวนจะเกิดขึ้นได้ในกรณีที่เนื้อฉนวนไม่ได้เป็นเนื้อเดียวสมบูรณ์ทั้งหมด (Nonhomogeneous) ภายในเนื้อฉนวนอาจจะมีโพรงอากาศหรือวัสดุแปลกปลอมรวมอยู่ด้วยโพรงอากาศหรือวัสดุแปลกปลอมจะมีค่าความจุไฟฟ้าและค่าความคงทนต่อแรงดันเบรกดาวน์ต่ำกว่าเนื้อฉนวนเมื่อฉนวนได้รับแรงดันไฟฟ้ามักจะเกิดการเบรกดาวน์ขึ้นภายในโพรงอากาศหรือวัสดุแปลกปลอมกระแสดิสชาร์จจะอยู่ในโพรงอากาศเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนชนกับผนังโพรงอากาศหรือวัสดุแปลกปลอมกระแสดิสชาร์จจะอยู่ในโพรงอากาศเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนชนกับผนังโพรงเกิดปฏิกิริยาเคมีและความร้อนขึ้น การเกิดดิสชาร์จบางส่วนดังกล่าวภายในเนื้อฉนวนจะทำให้อายุการใช้งานของฉนวนลดลง

พิจารณาวงจรสมมูลของฉนวน อาจจะแบ่งออกเป็น 2 แบบด้วยกันคือ วงจรขนาน RC หรือวงจร อนุกรม RC โดยที่Rแทนค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในฉนวนCแทนคุณสมบัติของฉนวนที่สามารถเก็บประจุและพลังงานไว้ได้ในรูปสนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) วงจรอนุกรม (ข) วงจรขนาน

รูปที่ 2.22 วงจรสมมูลของฉนวน [8]

โดยที่
$$R_p = \frac{1+(\omega C_s R_s)^2}{R_s(\omega C_s)^2} \quad (2.15)$$

$$C_p = \frac{C_s}{1+(\omega C_s R_s)^2} \quad (2.16)$$

ทำนองเดียวกัน
$$R_s = \frac{R_p}{1+(\omega C_p R_p)^2} \quad (2.17)$$

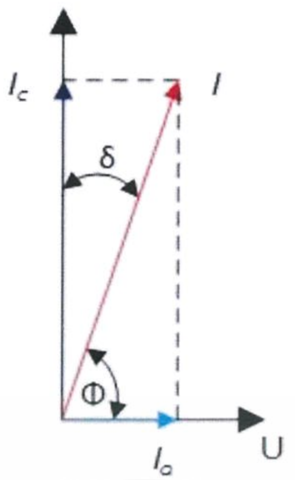
$$C_s = \frac{1+(\omega C_p R_p)^2}{\omega^2 C_p R_p^2} \quad (2.18)$$

เมื่อป้อนแรงดันรูปคลื่นไซน์ให้กับฉนวน
$$U = U_m \sin \omega t \quad (2.19)$$

จะได้
$$I = I_m \sin(\omega t + \Phi) \quad (2.20)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันแสดงดังรูป เมื่อ I_a คือกระแสที่ไหลผ่านตัวทาน และ I_c คือกระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันที่ป้อนให้กับฉนวน [8]

กำหนดให้ δ เป็นมุมระหว่าง I กับ I_c ซึ่งโดยปกติแล้วมุม δ เป็นมุมที่มีค่าน้อย

กำลังสูญเสียคือ
$$P_d = UI\cos\Phi \tag{2.21}$$
$$= UI\sin\delta$$

เพราะว่า sinδ = tanδ เมื่อ δ มีค่าน้อยๆดังแสดงในตารางที่1-3

ดังนั้น
$$P_d = UI\tan\delta \tag{2.22}$$

เรียก tanδ หรือ tgδ ว่า แฟคเตอร์กำลังสูญเสียไดอิเล็กตริก และมุม δ ว่ามุมกำลังสูญเสียไดอิเล็กตริก

ตารางที่ 2.4 ค่าของ sinδ กับ tanδ เมื่อมุม δ มีค่าน้อยๆ [7]

δ	0	1	2	3	4	5	10	15	20
sinδ	0	0.017	0.035	0.052	0.0698	0.0872	0.174	0.259	0.342
tanδ	0	0.017	0.035	0.052	0.0699	0.0875	0.176	0.267	0.363

พิจารณาวงจรสมมูลของฉนวน

วงจรขนาน
$$\tan\delta = \frac{1}{\omega R_p C_p} \tag{2.23}$$

วงจรอนุกรม
$$\tan\delta = \omega R_S C_S \tag{2.24}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แฟคเตอร์กำลังสูญเสียไดอิเล็กตริกสามารถอธิบายในเทอมของค่าเปอร์มิติวิตี้เชิงซ้อนได้ดังนี้

$$\tan\delta = \frac{\varepsilon_r^{*}}{\varepsilon_r^{'}} \tag{2.25}$$

ซึ่งเป็นอัตราส่วนของความสูญเสียที่เกิดขึ้นต่อพลังงานที่เก็บกักได้ของฉนวนภายในระยะเวลาที่กำหนด โดยทั่วไปแล้วการวัดค่าเปอร์มิตติวิตี้ และการวัดค่าแฟคเตอร์กำลังสูญเสียไดอิเล็กตริกของฉนวนนั้น สามารถที่จะทำได้ในช่วงกว้างของความถี่ที่ใช้งาน อย่างไรก็ตามค่าเปอร์มิตติวิตี้ และค่าแฟคเตอร์กำลัง สูญเสียไดอิเล็กตริกที่วัดได้นั้น ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความถี่และพารามิเตอร์อื่นๆ

2.6 เครื่องมือวัด PDC (Polarization and Depolarization current measurement)

การวินิจฉัยฉนวนด้วยอุปกรณ์วัด PDC เป็นวินิจฉัยฉนวนชนิดไม่ทำลายโดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากะพแสตรงขนาดต่ำไปยังฉนวนและทำการวัดกระแสที่ไหลผ่านฉนวน เรียกว่ากระแสโพลาไรซ์เซชัน (Polarization current) และทำการปลดแหล่งจ่าออกทำการวัดกระแสที่ฉนวนปลดปล่อยออกมา เรียกว่ากระแสดีโพลาไรซ์เซชัน (Depolarization Current) ซึ่งเกิดจากปรากฏการณ์พาลาไรซ์เซชันในฉนวน ดังหัวข้อที่ 2.2 และ 2.3 เพื่อนำมาวิเคราะห์ฉนวนผ่านตัวแปรต่างๆจากกระแสไฟฟ้าทั้งสองชนิด

2.6.1 วงจรการวัดกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชัน (Polarization and Depolarization Current)

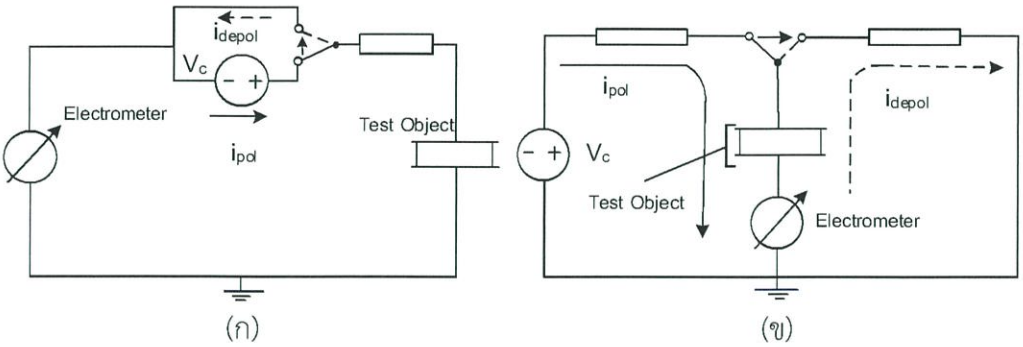
วงจรการวัดกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชัน จะใช้วงจรในการวัดกระแส 2 ตำแหน่ง คือ

1) ฉนวนระหว่างเฟส (Phase to Phase Insulation) จะใช้ในกรณีที่ห้องปฏิบัติการเนื่องจากไม่มีการต่อกราวด์

2) ฉนวนระหว่างเฟสกับกราวด์ (Phase to Ground Insulation) จะใช้สำหรับทดสอบแบบหน้างาน เนื่องจากโครงสร้างของสเตเตอร์เป็นส่วนที่ต่อลงกราวด์

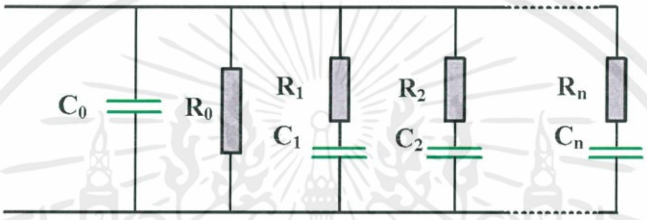
ซึ่งผลการวัดกระแสของทั้งสองบริเวณไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้เนื่องจากทั้งสองบริเวณมีค่าความจุไฟฟ้าแตกต่างกันมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 วงจรวัดกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันของฉนวนทั้ง 2 ตำแหน่ง (ก) ฉนวนระหว่างเฟสกับกราวด์ และ (ข) ฉนวนระหว่างเฟสกับเฟส [12]

2.6.2 รูปแบบการจำลองลักษณะของฉนวนภายในอุปกรณ์ PDC [13,14]



รูปที่ 2.25 รูปการจำลองฉนวนในอุปกรณ์ PDC [13]

ในการทดสอบด้วยอุปกรณ์ PDC ฉนวนไฟฟ้าสามารถจำลองในลักษณะของตัวต้านทานขนานกับตัวเก็บประจุโดยการคำนวนจากลักษณะของกระแสโพลาไรซ์เซชัน และกระแสดีโพลาไรซ์เซชัน สามารถคำนวนได้ค่าความเก็บประจุเชิงเรขาคณิตหรือค่าความเก็บประจุความถี่สูง (C_0, geometrical capacitance) ซึ่งทำการวัดในช่วงเวลาเริ่มจ่ายหรือช่วงที่มีการสับสวิทซ์โดย

$$C_0 = \varepsilon_r C_{vac} \tag{2.26}$$

$$C_{vac}(\Delta t) = \frac{1}{V_0} \cdot \int_0^{\Delta t} i_p(t) \cdot dt \tag{2.27}$$

โดย $\varepsilon_{\inf}$ คือ ค่าเปอร์มิตติวิตี้สัมพัทธ์

C_{vac} คือ ค่าความจุไฟฟ้าของสุญญากาศ (Vacuum capacitance)

Δt คือ เวลาที่เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในช่วงเริ่มจ่ายหรือช่วงที่มีการสับสวิทซ์

V_0 คือ แรงดันกระแสตรงที่ใช้ในการทดสอบ

$i_p(t)$ คือ กระแสที่วัดได้

การคำนวนค่าความต้านกระแสตรง (R_0, Conduction resistance) จากผลของกระแสรั่วไหล (Conduction current) ในการทดสอบ ซึ่งสามารถคำนวนได้การจ่ายกระแสตรงให้กับฉนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเวลานานมากเกินพอจนกระแสที่วัดได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจนเป็นกระแสตรงและนำมาคำนวนโดย

$$R_0 = \frac{V_0}{i_p(\infty)} \tag{2.28}$$

โดย $i_p(\infty)$ คือ กระแสรั่วไหล (Conduction current) จากการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เวลามากเกินพอจนกระแสมีค่าคงที่

ค่าคงที่เวลา (τ_i , time constant) ซึ่งใช้ในการคำนวนส่วนประกอบโพลาไรซ์เซชัน R_i และ C_i โดยใช้ความหนาแน่นกระแสในการคำนวนดังสมการ

$$P(t) = P(\infty)\cdot\left[1-e^{-\frac{t}{\tau_i}}\right] \tag{2.29}$$

โดย $P(t)$ คือ ความหนาแน่นกระแสที่ช่วงเวลาต่างๆ

$P(\infty)$ คือ ความหนาแน่นกระแสที่เวลามากเกินพอ

ส่วนประกอบโพลาไรซ์เซชัน R_i และ C_i เป็นส่วนประกอบที่ได้จากการคำนวนกระแสจากปรากฏการณ์โพลาไรซ์เซชันโดยโดยคำนวนให้เป็นรูปแบบสมการในรูปที่ 2.24 ความต้านทาน R_i คำนวนได้โดย

$$R_i = \frac{V_0}{i_p(\Delta t) - i_p(\infty)} \tag{2.30}$$

โดย $i_p(\Delta t)$ คือ กระแสที่วัดได้ในช่วงที่เวลาเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยหลังจากช่วงเริ่มจ่ายหรือช่วงที่มีการสับสวิทซ์

และค่าความเก็บประจุ C_i คำนวนได้จากการค่าคงที่เวลา (τ_i , time constant) โดย

$$\tau_i = R_i \cdot C_i \tag{2.31}$$

$$\sum_{i=1}^{n} C_i = \frac{1}{V_0}\cdot\int_{\Delta t}^{\infty}\left[i_p(t) - i_p(\infty)\right]\cdot dt \tag{2.32}$$

ทำให้สามารถเขียนกระแสโพลาไรซ์เซชัน (Polarization current) กระแสดีโพลาไรซ์เซชัน (Depolarization Current) และ กระแสรั่วไหลได้

$$i_{pol}(t) = \frac{V_0}{R_0} + \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{V_0}{R_i}e^{-\frac{t}{R_iC_i}}\right) \tag{2.33}$$

$$i_{depol}(t) = -\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{V_0 C_i(t_c)}{R_i}\right)e^{t-t_C / R_iC_i} \tag{2.34}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$i_p(\infty) = i_{pol}(t) + i_{depol}(t) \tag{2.35}$$

และคำนวนแฟคเตอร์อื่นที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ อัตราส่วนค่าความเก็บประจุ (C_{ratio}) และแฟคเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริก ($\tan(\delta)$)

$$C'(\omega) = C_0 + \sum_{i=1}^{n} \frac{C_i}{1+\left(\omega R_i C_i\right)^2} \tag{2.36}$$

$$C''(\omega) = \frac{1}{\omega R_0} + \sum_{i=1}^{n} \frac{\omega R_i C_i^2}{1+\left(\omega R_i C_i\right)^2} \tag{2.37}$$

$$C_{ratio} = \frac{C'(\omega)}{C_0} \tag{2.38}$$

$$\tan(\delta) = \frac{C''(\omega)}{C'(\omega)} \tag{2.39}$$

เมื่อ $C'(\omega)$ คือ ความเก็บประจุจริง (Real capacitance)

$C''(\omega)$ คือ ความเก็บประจุจินตภาพ (Imaginary capacitance)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและออกแบบวิธีการทดลอง

3.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

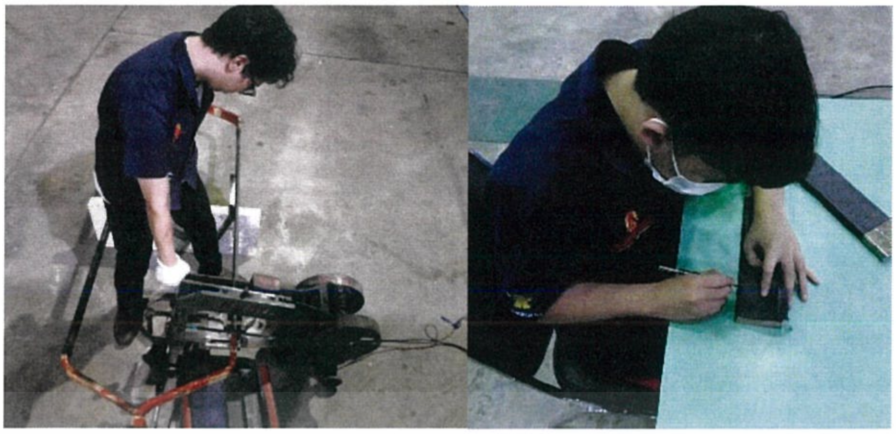
3.1.1 การเตรียมชิ้นทดสอบจากเจนเนอเรเตอร์

ชิ้นทดสอบที่จะนำมาทดสอบนี้ได้นำมาจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำจากเขื่อนวชิราลงกรณ จังหวัดกาญจนบุรี เป็นแท่งของขดลวดสเตเตอร์อยู่ภายในร่องสล็อตชิ้นทดสอบนี้ได้รับการใช้งานมาแล้วเป็นเวลากว่า 30 ปี มีพิกัดแรงดันที่ 13.8 กิโลโวลต์ ระดับชั้นของการฉนวน B สามารถ ทนอุณหภูมิได้ 130 องศาเซลเซียส ส่วนที่ต้องการนำมาทดสอบแล้ววิเคราะห์ฉนวนจะเป็นส่วนที่อยู่ภายในช่องสล็อตโดยนำมาตัดแบ่งออกเป็นทั้งหมด 30 ชิ้น ขนาดความยาวชิ้นละ 30 เซนติเมตร ทำการขัดผิวของตัวนำให้เรียบและปลอกชั้นคอนดัคทีฟเทปให้เรียบร้อย

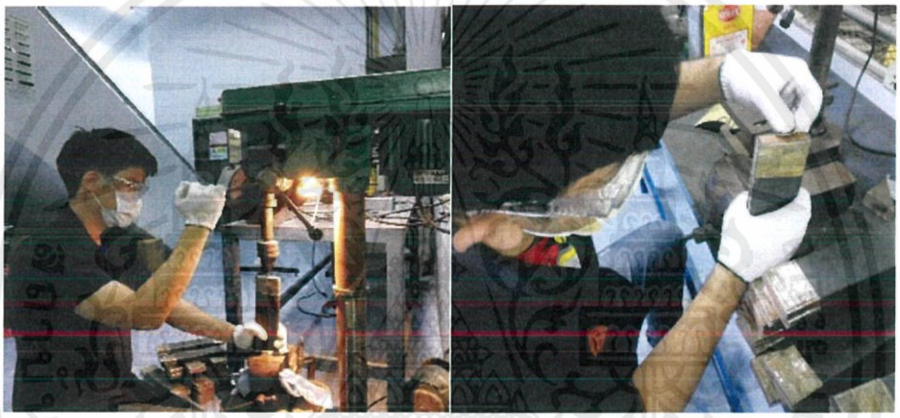
รูปที่ 3.1 แท่งสเตเตอร์ของเจนเนอเรเตอร์ ลักษณะรูปเพชรในร่องสล็อตสเตเตอร์ที่นำมาทดสอบ

นำมาตัดแบ่งออกเป็นทั้งหมด 30 ชิ้น ขนาดความยาวชิ้นละ 30 เซนติเมตร ทำการปลอกชั้นคอนดัคทีฟเทปเพื่อเตรียมใส่การ์ดริงเพื่อลดปัญหากระแสรั่วไหล และทำการเจาะรูที่ปลายตัวนำเพื่อใส่อิเล็กโตรด จากนั้นทำการขัดผิวบริเวณปลายทั้งสองด้านของชิ้นทดสอบให้เรียบ เพื่อลดจุดแหลมที่อาจเป็นเหตุให้เกิดความเครียดสนามไฟฟ้าสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 การตัดแบ่งชิ้นทดสอบจากเจนเนอเรเตอร์ และ การปลอกชั้นคอนดัคทีฟเทป



รูปที่ 3.3 การเจาะรูตัวนำ และ การขัดผิวชิ้นทดสอบ

นำชิ้นทดสอบมาทำการอบที่อุณหภูมิใช้งานของเจนเนอเรเตอร์ (60 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อทำการไล่ความชื้นที่ยังคงค้างอยู่จากวัตถุทดสอบ และทำการวัดค่ากระแสโพลาไรซ์เซชัน, กระแสดีโพลาไรซ์เซชัน, ดัชนีเชิงขั้ว, ค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริก และ อัตราส่วนค่าความเก็บประจุ ของวัตถุทดสอบเพื่อเป็นค่าตั้งต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 เครื่องอบจำลองความเสื่อมสภาพของฉนวน

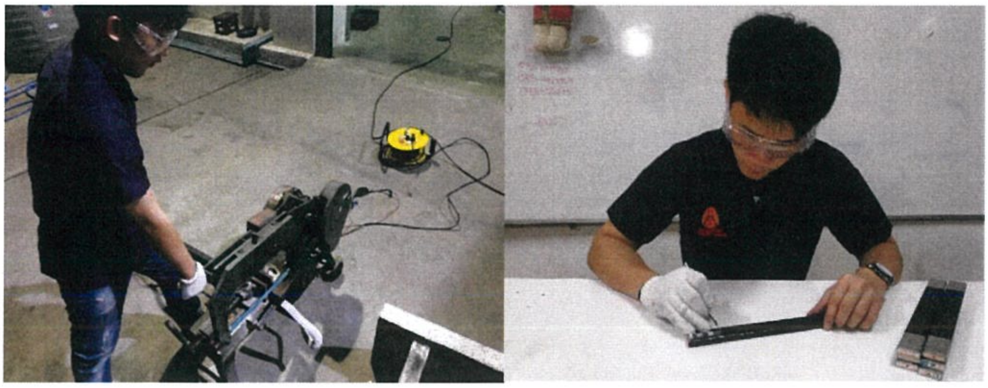
3.1.2 การเตรียมชิ้นทดสอบจากมอเตอร์

ชิ้นทดสอบที่จะนำมาทดสอบนี้ได้นำมาจากบริษัทเอเซียมอเตอร์เซอร์วิสเซ็นเตอร์จำกัด เป็นแท่งของขดลวดสเตเตอร์อยู่ภายในร่องสล็อตของมอเตอร์ ชิ้นทดสอบนี้ยังไม่เคยผ่านการใช้งานมาก่อน มีพิกัดแรงดันที่ 6.6 กิโลโวลต์ ระดับชั้นของการฉนวน F สามารถทนอุณหภูมิได้ 155 องศาเซลเซียส ส่วนที่ต้องการนำมาทดสอบแล้ววิเคราะห์ฉนวนจะเป็นส่วนที่อยู่ภายในร่องสล็อตโดยนำมาตัดแบ่งออกเป็นทั้งหมด 20 ชิ้น ขนาดความยาวชิ้นละ 30 เซนติเมตร ทำการขัดผิวของตัวนำให้เรียบและปลอกชั้นคอนดัคทีฟเทปให้เรียบร้อย

รูปที่ 3.5 แท่งสเตเตอร์ของมอเตอร์ ลักษณะรูปเพชรในร่องสล็อตสเตเตอร์ที่นำมาทดสอบ

นำมาตัดแบ่งออกเป็นทั้งหมด 20 ชิ้น ขนาดความยาวชิ้นละ 30 เซนติเมตร ทำการปลอกชั้นคอนดัคทีฟเทปเพื่อเตรียมใส่การ์ดริงเพื่อลดปัญหากระแสรั่วไหล และทำการเจาะรูปที่ปลายตัวนำเพื่อใส่อิเล็กโตรด จากนั้นทำการขัดผิวบริเวณปลายทั้งสองด้านของชิ้นทดสอบให้เรียบ เพื่อลดจุดแหลมที่อาจเป็นเหตุให้เกิดความเครียดสนามไฟฟ้าสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การติดแบ่งแท่งตัวนำของมอเตอร์ และ การปลอกคอนดัคทีฟเทป

รูปที่ 3.7 การตัดแบ่งชิ้นทดสอบจากมอเตอร์

นำชิ้นทดสอบมาทำการอบที่อุณหภูมิใช้งานของเจนเนอเรเตอร์ (60 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อทำการไล่ความชื้นที่ยังคงค้างอยู่จากวัตถุทดสอบ และทำการวัดค่ากระแสโพลาไรซ์เซชัน, กระแสดีโพลาไรซ์เซชัน ดัชนีเชิงขั้ว, ค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริก และ อัตราส่วนค่าความเก็บประจุ ของวัตถุทดสอบเพื่อเป็นค่าตั้งต้น

รูปที่ 3.8 เครื่องอบเพื่อความเสื่อมสภาพของฉนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การเตรียมชิ้นทดสอบกรณีที่เกิดจากการเสื่อมสภาพจากการเปรอะเปื้อนและความชื้น

นำชิ้นทดสอบที่ได้เตรียมไว้มาจำลองกรณีความเสื่อมในเนื้อฉนวน เนื่องจากการเสื่อมสภาพจากการเปรอะเปื้อนและความชื้น

1. การเตรียมชิ้นทดสอบกรณีที่เสื่อมเนื่องจากความเปรอะเปื้อน ที่เกิดจากผงคาร์บอน

เริ่มจากนำชิ้นทดสอบที่ตัดแบ่งไว้แล้วมาทา ผงคาร์บอน โดยการนำผงคาร์บอนมาทาทั่วบริเวณของคอนดักทีฟเทป โดยจะทำทั้งหมด 3 ชิ้นทดสอบ ดังรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9 ชิ้นทดสอบที่เสื่อมเนื่องจากเกิดการ ทาผงคาร์บอน

2. การเตรียมชิ้นทดสอบกรณีที่เสื่อมเนื่องจากความชื้น ที่เกิดจากการน้ำ

เริ่มจากนำชิ้นทดสอบที่ตัดแบ่งไว้แล้วมา แช่น้ำเป็นระยะเวลา 4 วัน เพื่อให้เกิดความชื้นในเนื้อฉนวน ดังรูปที่ 3.10 โดยจะทำทั้งหมด 3 ชิ้นทดสอบ

รูปที่ 3.10 ชิ้นทดสอบที่เสื่อมสภาพเนื่องจากความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การต่อวงจรทดสอบวัดกระแสโพลาไรซ์เซชัน และกระแสดีโพลาไรซ์เซชัน

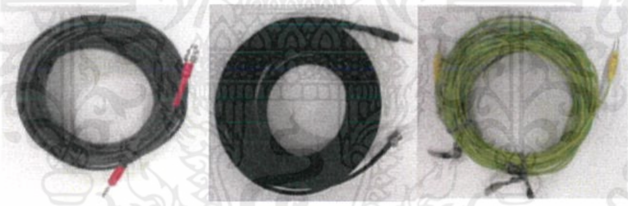
3.2.1 อุปกรณ์การทดสอบ

1. เครื่องมือสำหรับวัดกระแสโพลาไรซ์เซชัน, ดีโพลาไรซ์เซชัน และ ดัชนีเชิงขั้ว (PDC-Analyzer-1MOD)

รูปที่ 3.11 PDC-Analyzer-1MOD

2. สายไฟ

- สายสำหรับจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูงสำหรับ PDC-Analyzer-1MOD
- สายสำหรับวัดกระแสไฟฟ้า
- สายกราวด์



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 3.12 สายไฟที่ใช้ในวงจรทดสอบ

(ก) สายสำหรับจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูงสำหรับ PDC-Analyzer-1MOD

(ข) สายสำหรับวัดกระแสไฟฟ้า (ค) สายกราวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

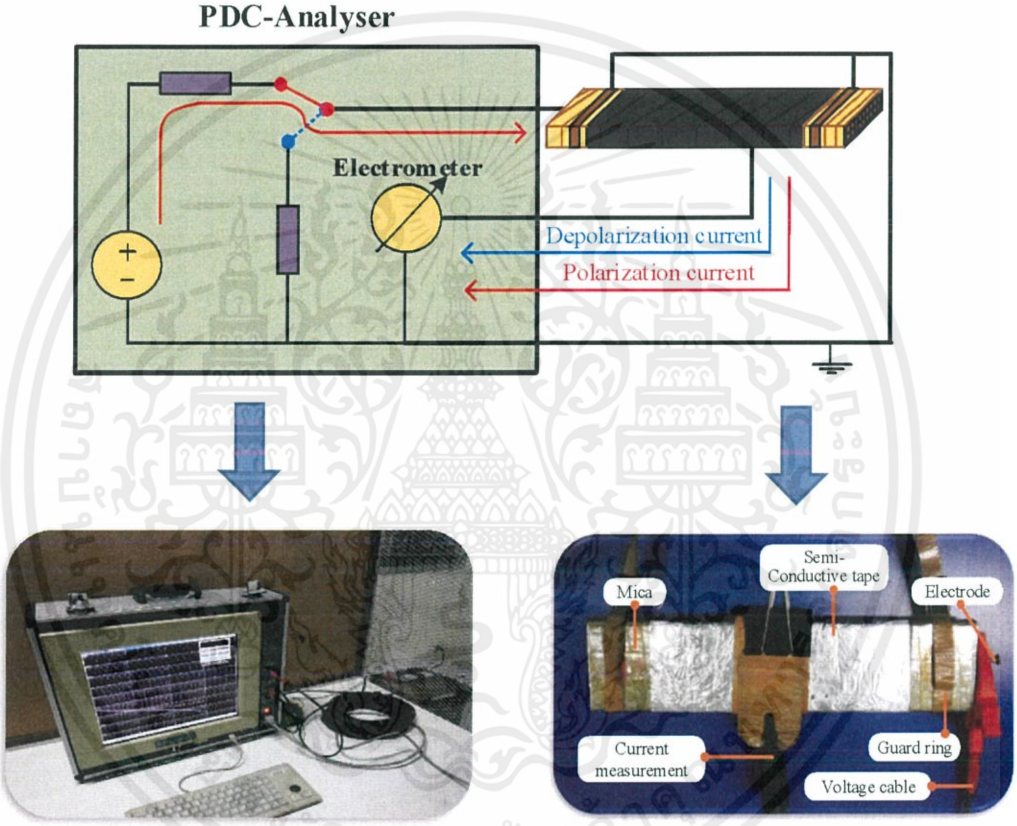
3.2.2 วงจรสำหรับวัดค่ากระแสโพลาไรซ์เซชัน, กระแสดีโพลาไรซ์เซชัน และค่าดัชนีเชิงขั้ว

เป็นวงจรวัดกระแสโพลาไรซ์เซชัน, กระแสดีโพลาไรซ์เซชัน และค่าดัชนีเชิงขั้วของฉนวนระหว่างเฟสแบบมีการ์ดริง (Phase to Phase Insulation with Guard Ring) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สภาพของเนื้อฉนวนที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าดัชนีเชิงขั้ว (Polarization Index) โดยมีการต่อวงจรดังนี้

- สายสำหรับจ่ายแรงดันไฟฟ้า ถูกต่อไปที่ Electrode ที่ปลายชิ้นทดสอบ

- สายสำหรับวัดกระแสไฟฟ้า ถูกต่อไปที่ บริเวณเซมิคอนดักทีฟเทปที่เชื่อมต่อกับฟอยล์ที่พันรอบฉนวน

- สายกราวด์ ถูกต่อไปที่กราวด์ของระบบทดสอบ(กราวด์ของห้องแลป)



รูปที่ 3.13 วงจรสำหรับวัดค่ากระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชัน

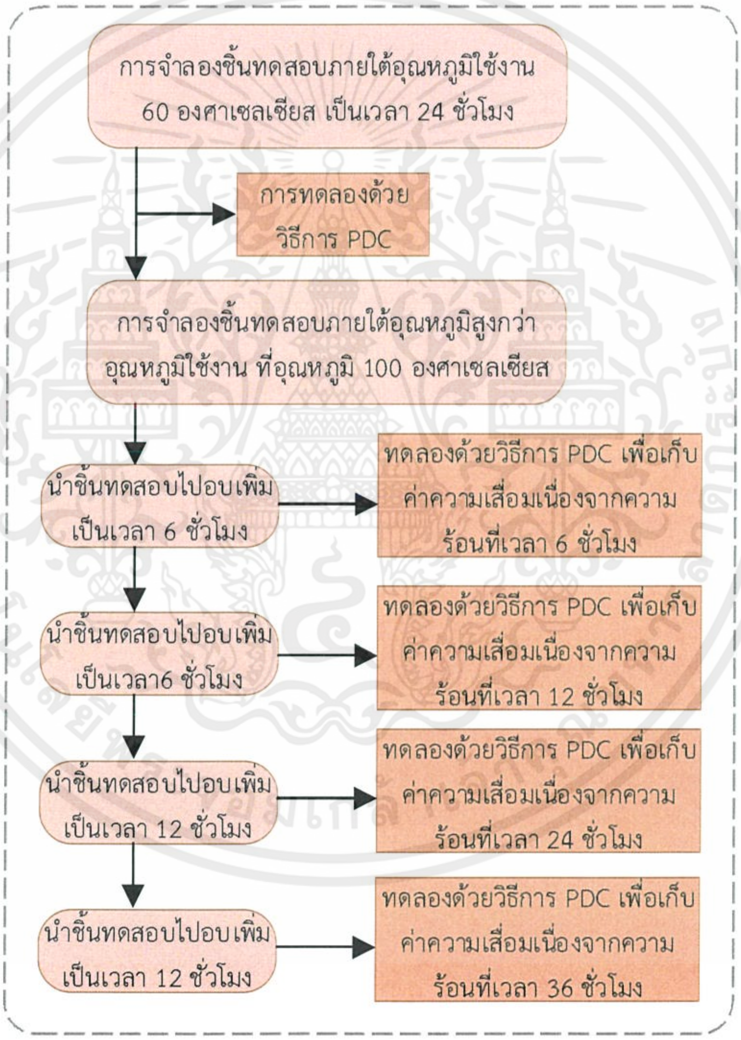
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ออกแบบการทดสอบกระแสโพลาไรซ์เซชัน และ กระแสดีโพลาไรซ์เซชัน

3.3.1 การทดสอบเพื่อศึกษาผลของความร้อน ที่มีต่อดัชนีเชิงขั้วของฉนวน (Polarization Index) ของชิ้นทดสอบจากเจนเนอเรเตอร์

ทดสอบชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองสภาวะความร้อนจากการอบที่สูงกว่าอุณหภูมิใช้งานปกติ, อุณหภูมิพิกัดฉนวน และอุณหภูมิมากกว่าอุณหภูมิพิกัดฉนวน เป็นเวลาต่างๆดังนี้

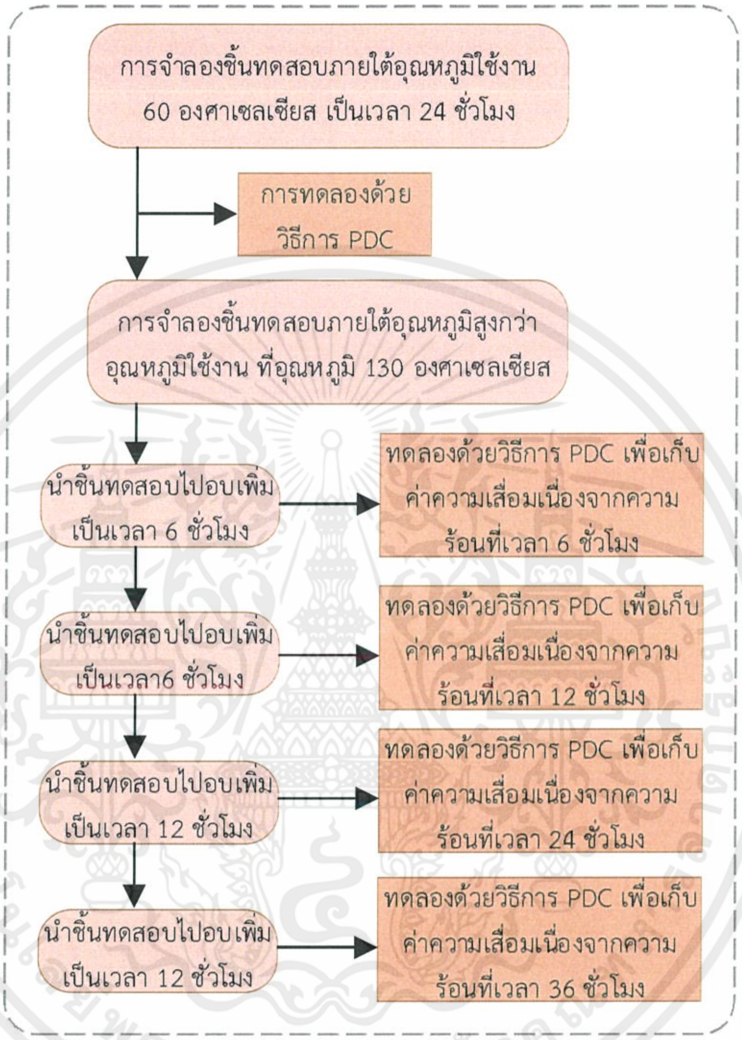
1. นำชิ้นทดสอบจากเจนเนอเรเตอร์ จำนวน 3 ชิ้น อบที่อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิใช้งานปกติคือ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง, 12 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง และ 36 ชั่วโมง โดยทำการทดสอบด้วย PDC ตามลำดับจากนั้นดูแนวโน้มค่าดัชนีเชิงขั้ว (Polarization index), ค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริก และ อัตราส่วนค่าความเก็บประจุ



รูปที่ 3.14 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการจำลองการเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบจากเจนเนอเรเตอร์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

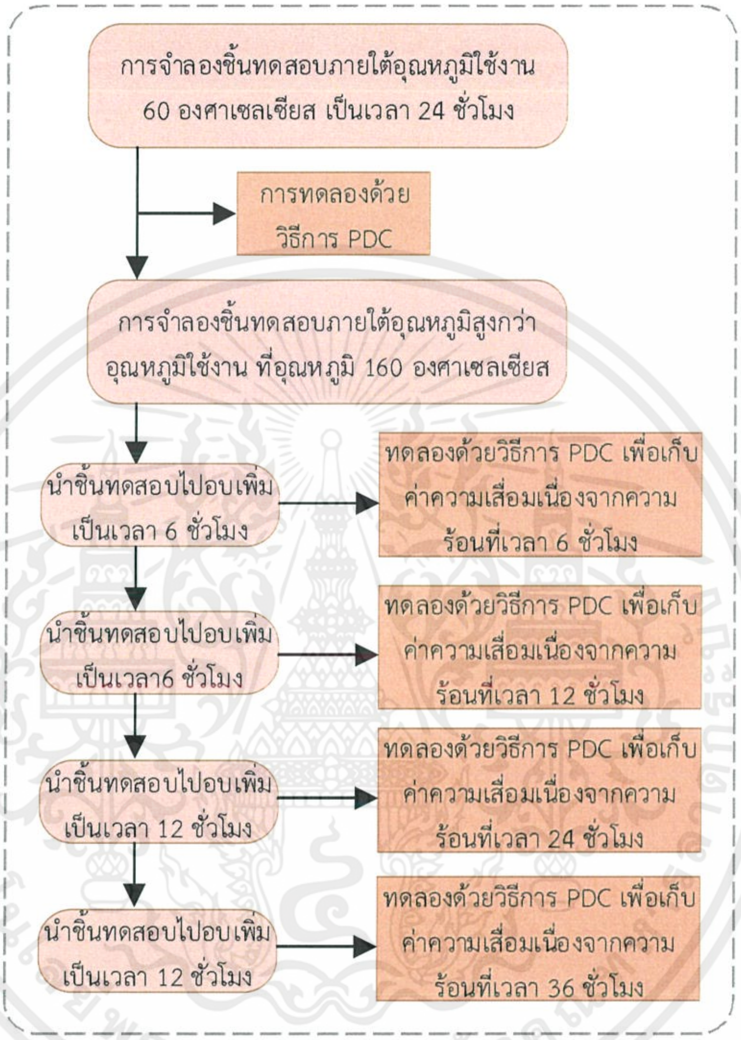
2. นำชิ้นทดสอบชิ้นใหม่จากเจนเนอเรเตอร์จำนวน 3 ชิ้น อบที่อุณหภูมิพิกัดของฉนวนที่ 130 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง, 12 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง และ 36 ชั่วโมง โดยทำการทดสอบด้วย PDC ตามลำดับ จากนั้นดูแนวโน้มค่าดัชนีเชิงขั้ว (Polarization Index), ค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริก และ อัตราส่วนค่าความเก็บประจุ



รูปที่ 3.15 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการจำลองการเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบจากเจนเนอเรเตอร์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำชิ้นทดสอบชิ้นใหม่จากเจนเนอเรเตอร์จำนวน 3 ชิ้นอบที่อุณหภูมิมากกว่าอุณหภูมิพิกัดของฉนวนที่ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง, 12 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง และ 36 ชั่วโมง โดยทำการทดสอบด้วย PDC ตามลำดับ จากนั้นดูแนวโน้มค่าดัชนีเชิงขั้ว (Polarization Index), ค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริก และ อัตราส่วนค่าความเก็บประจุ



รูปที่ 3.16 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการจำลองการเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบจากเจนเนอเรเตอร์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การทดสอบปัจจัยการเสื่อมจากสภาวะการเปรอะเปื้อนและความชื้น ที่มีต่อดัชนีเชิงขั้วของฉนวน (Polarization Index) ของชิ้นทดสอบจากเจนเนอเรเตอร์

ทำการจำลองสภาวะเปรอะเปื้อนที่มีโอกาสเกิดขึ้นกับเจนเนอเรเตอร์ คือ ผงคาร์บอนที่มีโอกาสมาจากแปรงถ่านและ น้ำที่มีโอกาสมาจากระบบคูลลิ่งในเจเนอเรอเตอร์ โดยทำการทดสอบดังนี้

1. นำชิ้นทดสอบจากเจนเนอเรเตอร์จำนวน 3 ชิ้น ที่ผ่านการจำลองสภาวะเปรอะเปื้อนจากผงคาร์บอน มาทำการทดสอบด้วย PDC จากนั้นดูแนวโน้มค่าดัชนีเชิงขั้ว (Polarization index), ค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริก และ อัตราส่วนค่าความเก็บประจุ

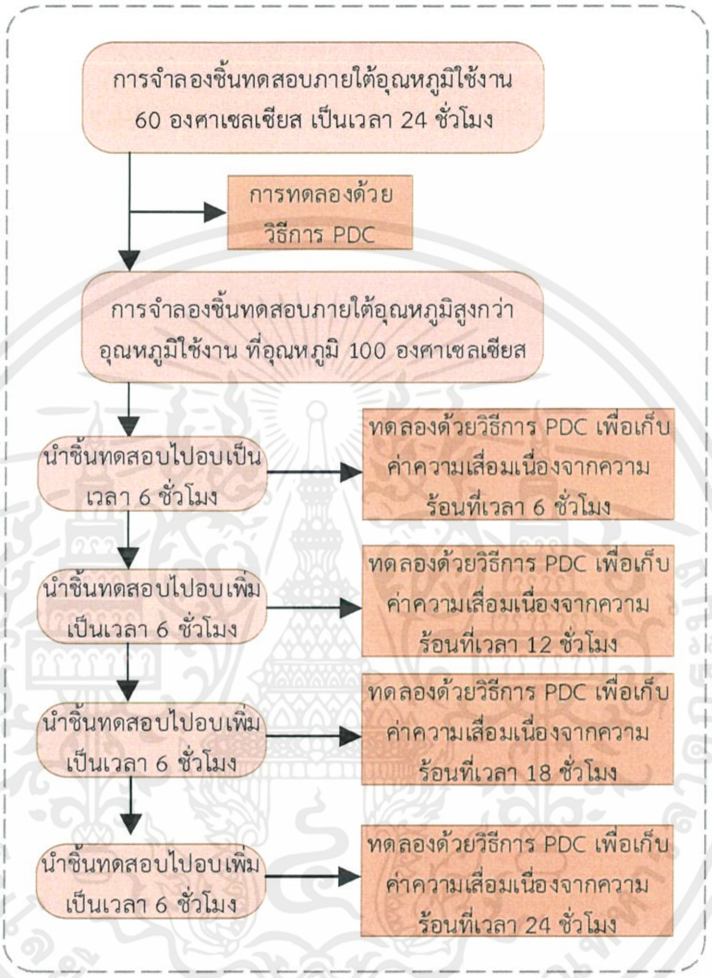
2. นำชิ้นทดสอบจากเจนเนอเรเตอร์ชิ้นใหม่จำนวน 3 ชิ้น ที่ผ่านการจำลองสภาวะการเสื่อมสภาพทางความชื้นที่เกิดจากน้ำ มาทำการทดสอบด้วย PDC จากนั้นดูแนวโน้มค่าดัชนีเชิงขั้ว (Polarization index), ค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริก และ อัตราส่วนค่าความเก็บประจุ

3.3.3 การทดสอบเพื่อศึกษาผลของความร้อน ที่มีต่อดัชนีเชิงขั้วของฉนวน (Polarization Index) ของชิ้นทดสอบจากมอเตอร์

ทดสอบชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองสภาวะความร้อนจากการนำไปอบที่อุณหภูมิใช้งานปกติ, อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิใช้งานปกติ, อุณหภูมิพิกัดฉนวน และอุณหภูมิมากกว่าอุณหภูมิพิกัดฉนวน เป็นเวลาต่างๆดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

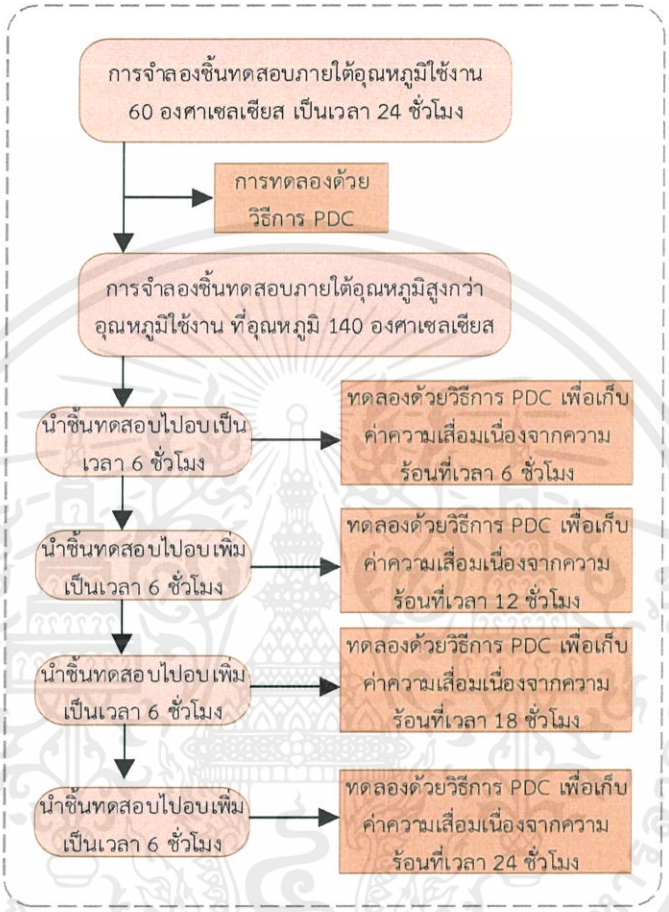
1. นำชิ้นทดสอบจากมอเตอร์จำนวน 3 ชิ้น อบที่อุณหภูมิใช้งานปกติคือ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6ชั่วโมง, 12 ชั่วโมง, 18 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง โดยทำการทดสอบด้วย PDC ตามลำดับจากนั้นดูแนวโน้มค่าดัชนีเชิงขั้ว (Polarization index), ค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริก และ อัตราส่วนค่าความเก็บประจุ



รูปที่ 3.17 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการจำลองการเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบจากมอเตอร์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

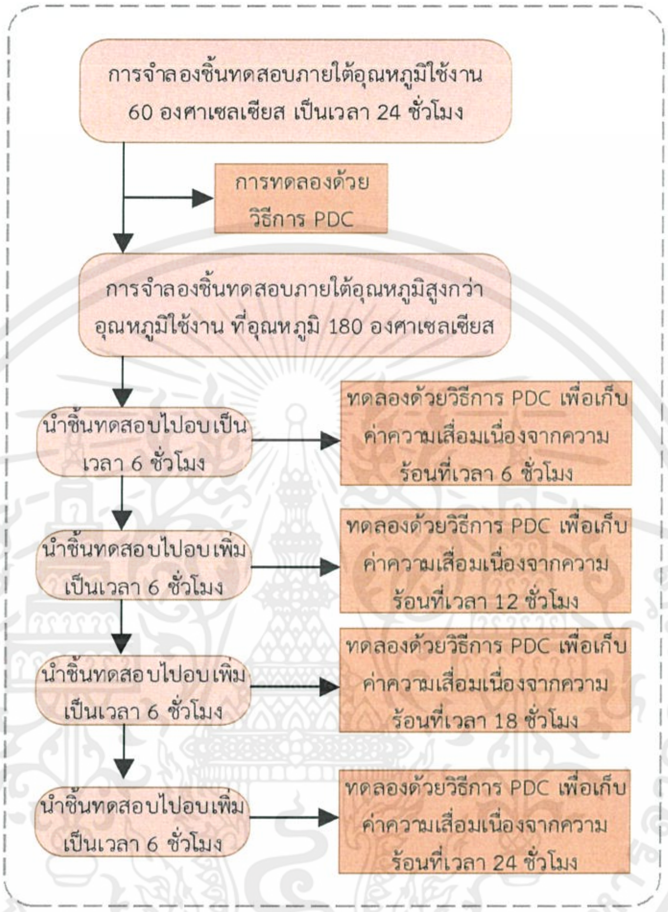
2. นำชิ้นทดสอบชิ้นใหม่จากมอเตอร์จำนวน 3 ชิ้นอบที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิใช้งานปกติคือ 140 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง, 12 ชั่วโมง, 18 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง โดยทำการทดสอบด้วย PDC ตามลำดับจากนั้นดูแนวโน้มค่าดัชนีเชิงขั้ว (Polarization index), ค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริก และ อัตราส่วนค่าความเก็บประจุ



รูปที่ 3.18 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการจำลองการเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบจากมอเตอร์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

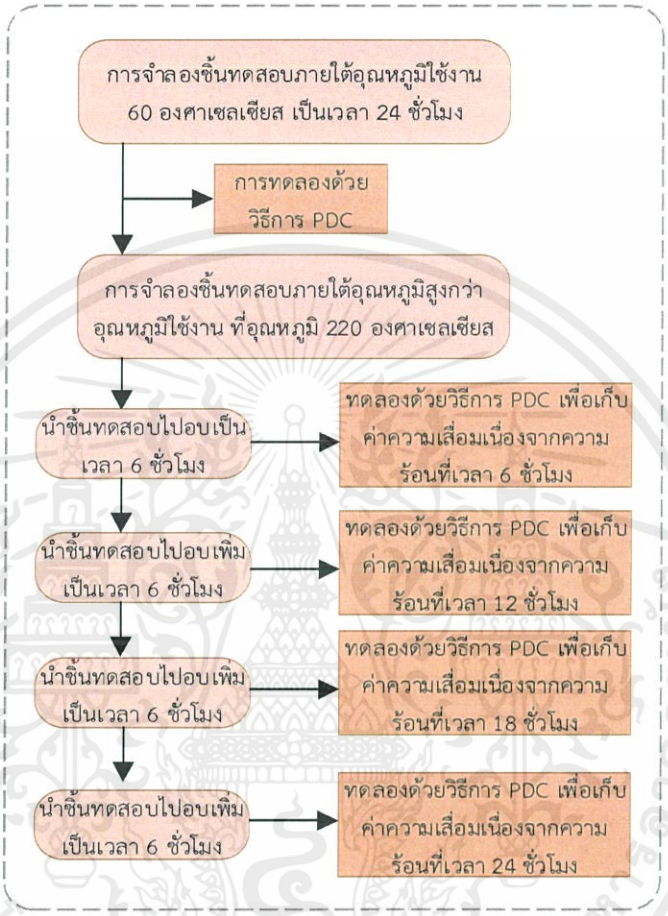
3. นำชิ้นทดสอบชิ้นใหม่จากมอเตอร์จำนวน 3 ชิ้นอบที่อุณหภูมิพิกัดของฉนวนที่ 180 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง, 12 ชั่วโมง, 18 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง โดยทำการทดสอบด้วย PDC ตามลำดับ จากนั้นดูแนวโน้มค่าดัชนีเชิงขั้ว (Polarization Index), ค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริก และ อัตราส่วนค่าความเก็บประจุ



รูปที่ 3.19 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการจำลองการเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบจากมอเตอร์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำชิ้นทดสอบจากมอเตอร์ชิ้นใหม่จำนวน 3 ชิ้น อบที่อุณหภูมิมากกว่าอุณหภูมิพิกัดของฉนวนที่ 220 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง, 12 ชั่วโมง, 18 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง โดยทำการทดสอบด้วย PDC ตามลำดับ จากนั้นดูแนวโน้มค่าดัชนีเชิงขั้ว (Polarization Index), ค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริก และ อัตราส่วนค่าความเก็บประจุ



รูปที่ 3.20 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการจำลองการเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบจากมอเตอร์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

4.1 การทดสอบวัดกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อน

จากการทดสอบวัดค่ากระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันที่กระทำภายในห้องปฏิบัติการที่ทำการควบคุมอุณหภูมิในช่วง 19-25 องศาเซลเซียส และควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 41-50 % โดยการจ่ายแรงดันกระแสตรงขนาด 500 V ซึ่งได้ทำการทดสอบในชิ้นทดสอบทั้งหมดจำนวน 9 ชิ้น ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนอุณหภูมิ 100, 130 และ 160 องศาเซลเซียส เป็นจำนวนอุณหภูมิละ 3 ชิ้นทดสอบ ซึ่งแบ่งเป็นกรณีการทดสอบได้ดังนี้

1. ก่อนทำการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100, 130 และ 160 องศาเซลเซียสเป็นจำนวนอุณหภูมิละ 3 ชิ้นทดสอบ

2. ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง เป็นจำนวน 3 ชิ้นทดสอบ

3. ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง เป็นจำนวน 3 ชิ้นทดสอบ

4. ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง เป็นจำนวน 3 ชิ้นทดสอบ

จากนั้นนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบเพื่อหาแนวโน้มของผลการทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิตามกรณีศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 ชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

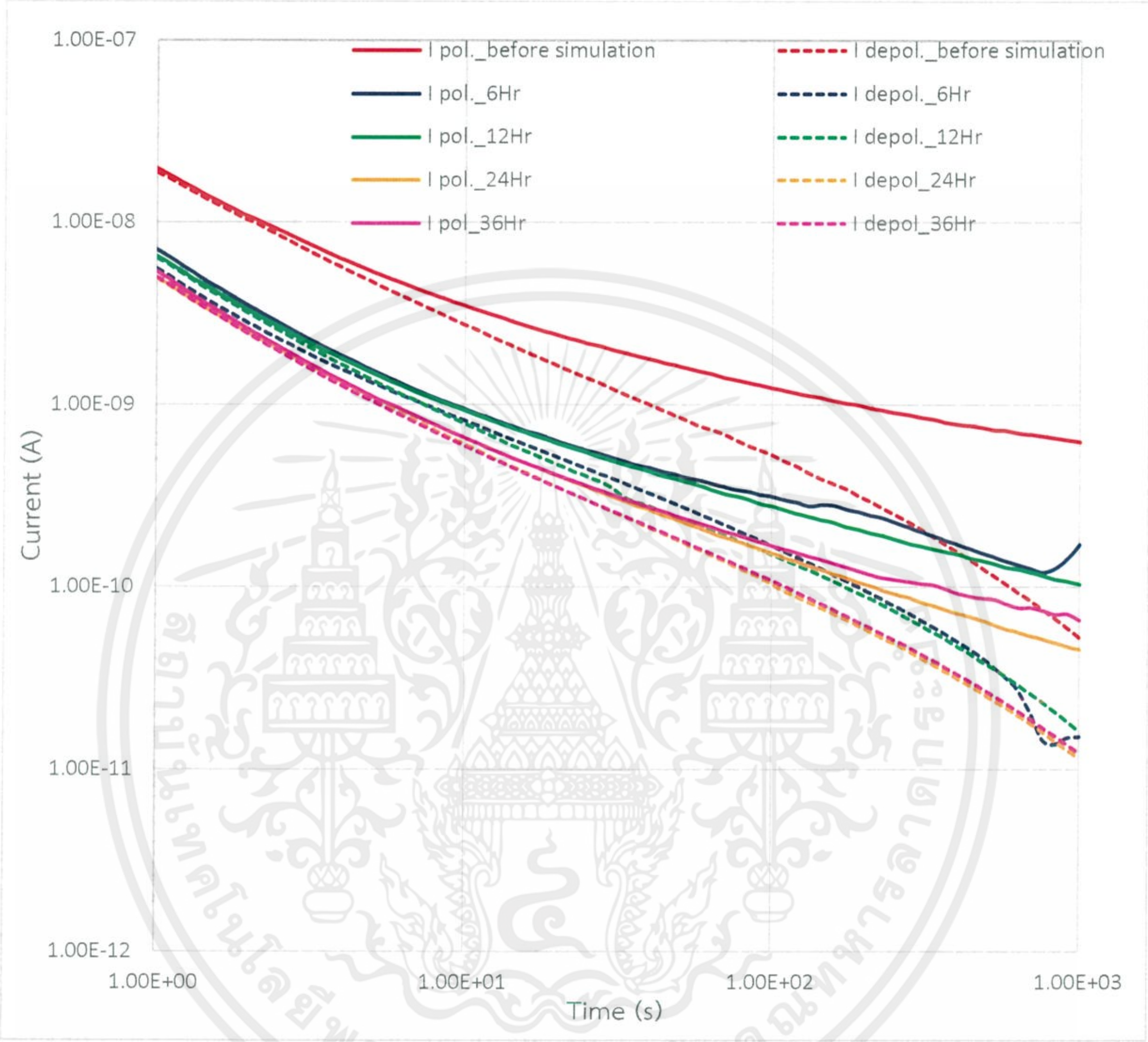
4.1.1.1 การเปรียบเทียบผลของค่าพารามิเตอร์ของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.1 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

พารามิเตอร์ชิ้นทดสอบที่ 1	C (pF)	I_{re} (pA)	T (°C)	%RH	PI
ค่าที่วัดได้ขณะก่อนทำการจำลองความเสื่อมสภาพ	303	-0.7	25.3	44	2.09
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 6 ชม.	275	0.7	22.4	45	2.72
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 12 ชม.	299	0.9	24.0	46	2.72
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 24 ชม.	273	-1.3	21.4	48	3.42
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 36 ชม.	267	-1.9	22.9	48	2.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.2 การเปรียบเทียบผลของกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมงกับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

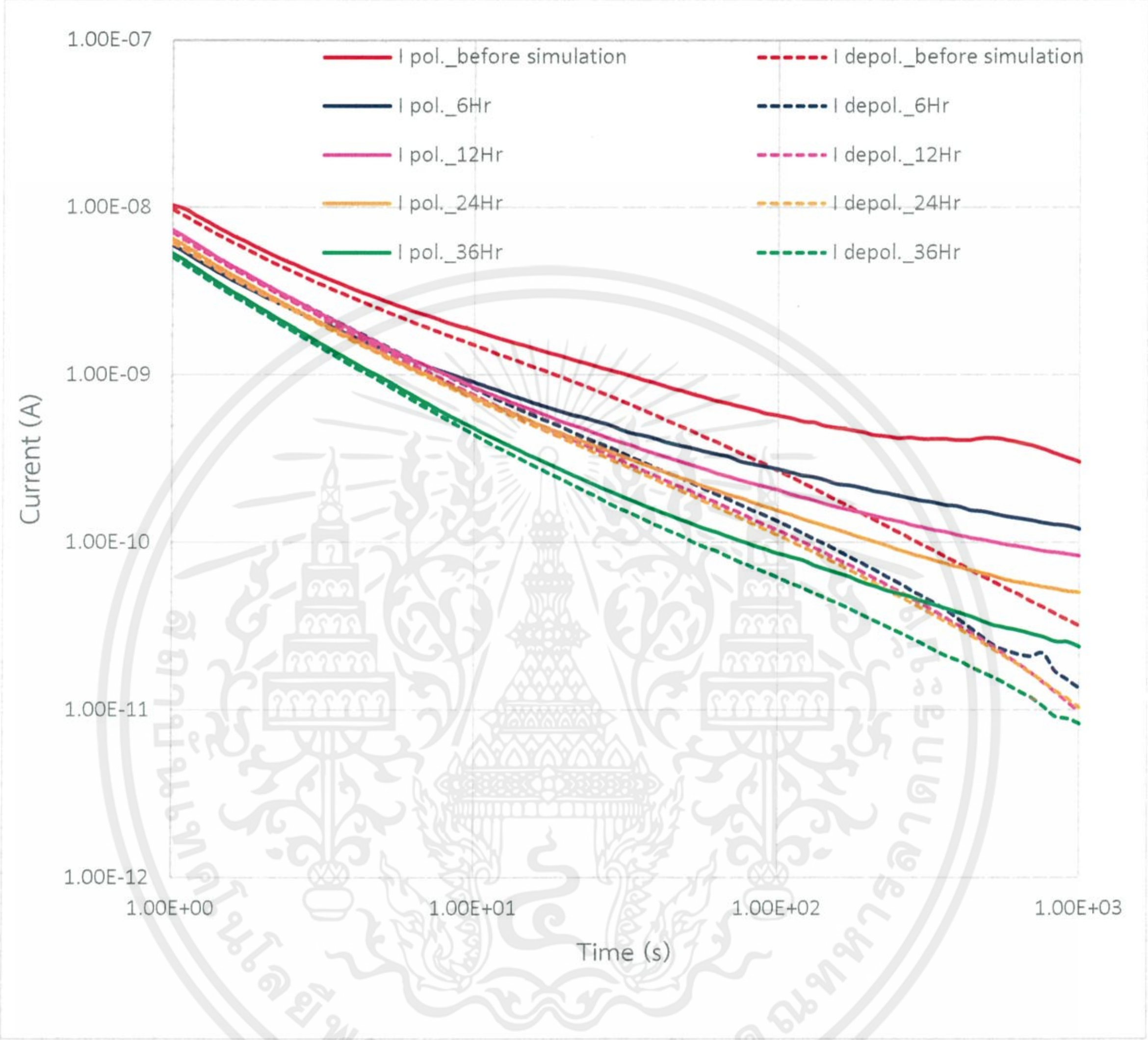
4.1.2.1 การเปรียบเทียบผลของค่าพารามิเตอร์ของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.2 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

พารามิเตอร์ชิ้นทดสอบที่ 2	C (pF)	I_{re} (pA)	T (°C)	%RH	PI
ค่าที่วัดได้ขณะก่อนทำการจำลองความเสื่อมสภาพ	312	-0.9	23.3	41	1.78
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 6 ชม.	342	-4.1	23.6	48	2.35
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 12 ชม.	326	2.8	22.4	46	2.69
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 24 ชม.	312	-10.0	21.3	47	3.39
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 36 ชม.	316	0.0	22.2	47	3.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.2 การเปรียบเทียบผลของกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง



รูปที่ 4.2กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมงกับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

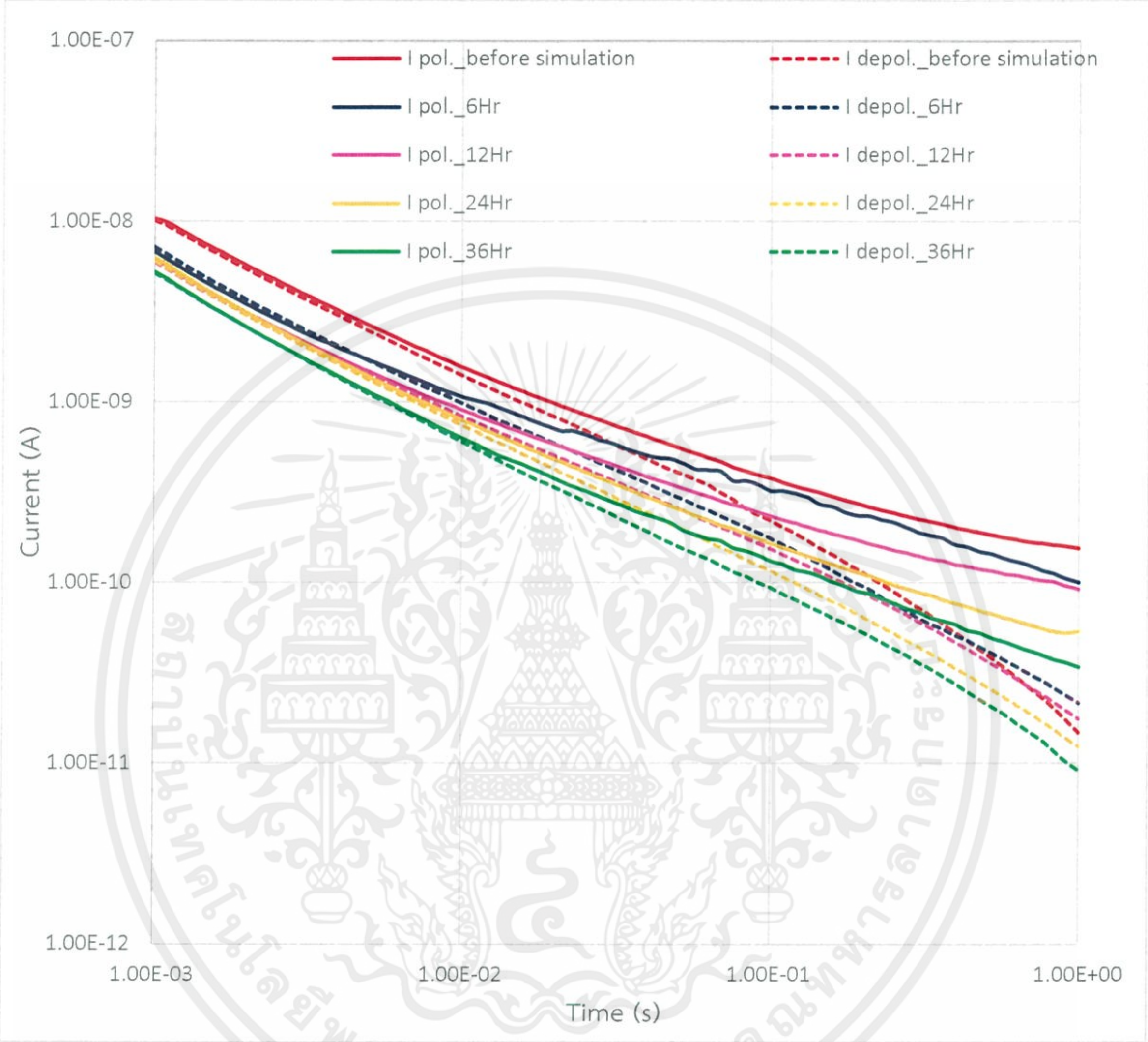
4.1.3.1 การเปรียบเทียบผลของค่าพารามิเตอร์ของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.3 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

พารามิเตอร์ชิ้นทดสอบที่ 3	C (pF)	I_{re} (pA)	T (°C)	%RH	PI
ค่าที่วัดได้ขณะก่อนทำการจำลองความเสื่อมสภาพ	326	-0.4	23.6	41	2.89
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 6 ชม.	326	1.2	24.1	45	3.13
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 12 ชม.	337	-1.0	22.1	47	2.71
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 24 ชม.	324	-0.9	21.3	48	3.49
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 36 ชม.	320	-0.4	24.3	48	3.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.2 การเปรียบเทียบผลของกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมงกับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 ชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

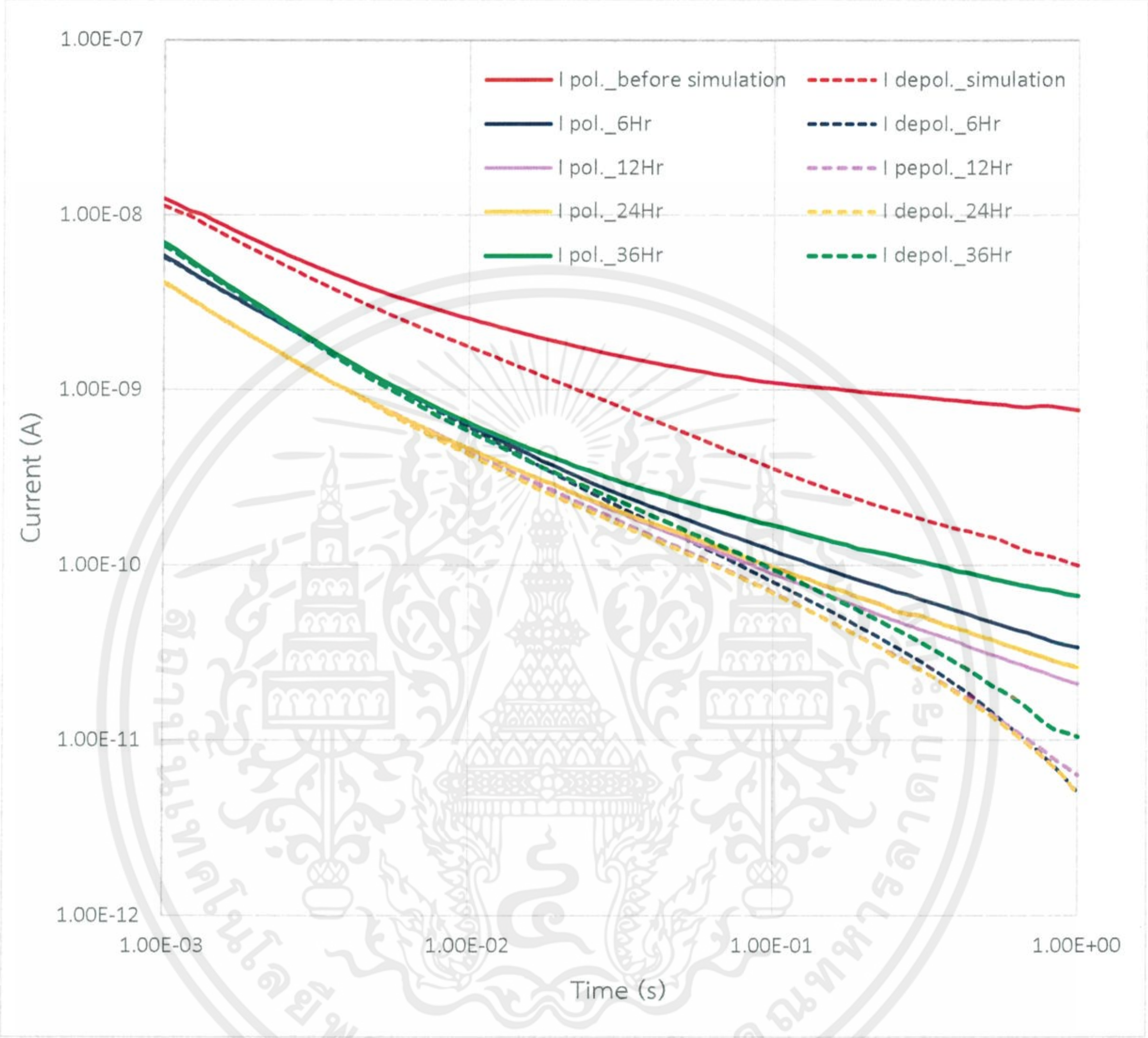
4.1.4.1 การเปรียบเทียบผลของค่าพารามิเตอร์ของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.4 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

พารามิเตอร์ชิ้นทดสอบที่ 1	C (pF)	I_{re} (pA)	T (°C)	%RH	PI
ค่าที่วัดได้ขณะก่อนทำการจำลองความเสื่อมสภาพ	307	1.3	23.3	47	1.55
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 6 ชม.	305	1.3	20.0	46	3.60
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 12 ชม.	299	-1.4	21.7	48	4.23
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 24 ชม.	293	0.9	21.9	46	3.75
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 36 ชม.	295	-0.4	22.4	47	2.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4.2 การเปรียบเทียบผลของกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมงกับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 ชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

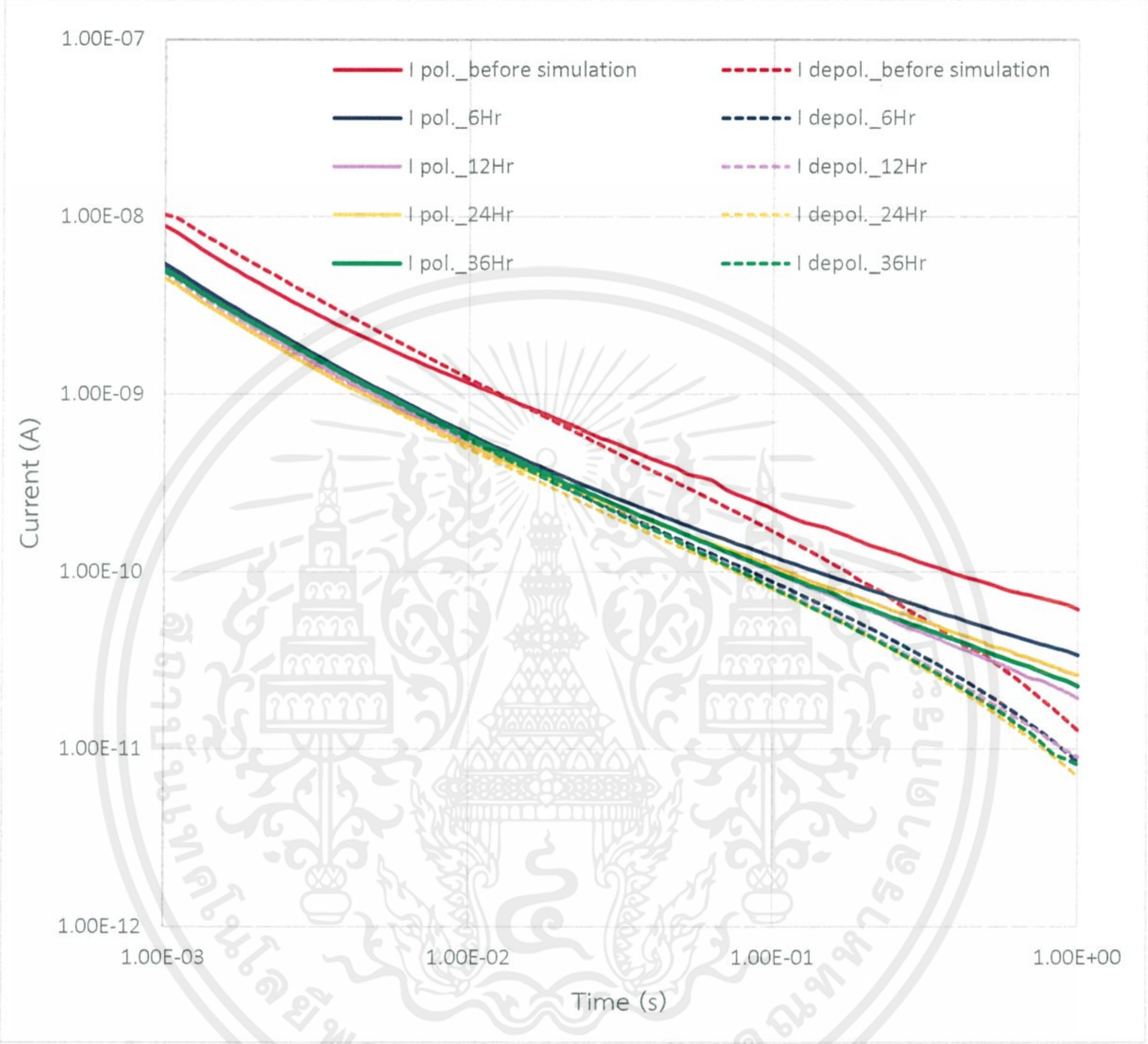
4.1.5.1 การเปรียบเทียบผลของค่าพารามิเตอร์ของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.5 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

พารามิเตอร์ชิ้นทดสอบที่ 2	C (pF)	I_{re} (pA)	T (°C)	%RH	PI
ค่าที่วัดได้ขณะก่อนทำการจำลองความเสื่อมสภาพ	308	-4.8	23.5	44	4.03
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 6 ชม.	281	-1.3	21.2	46	3.60
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 12 ชม.	270	-1.2	21.5	48	4.76
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 24 ชม.	274	1.6	22.8	45	3.99
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 36 ชม.	266	-1.3	23.4	42	4.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5.2 การเปรียบเทียบผลของกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมงกับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6 ชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

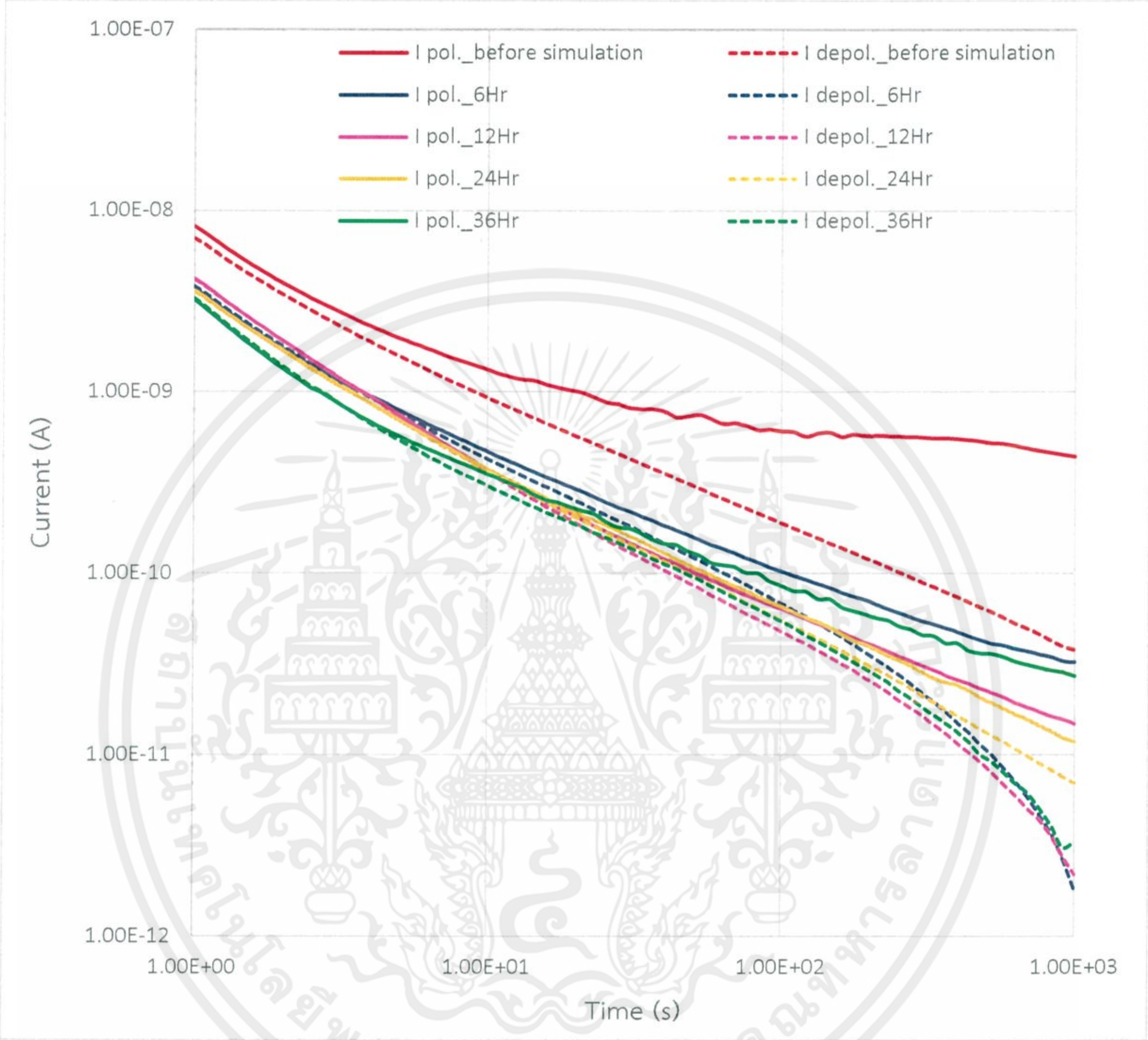
4.1.6.1 การเปรียบเทียบผลของค่าพารามิเตอร์ของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.6 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

พารามิเตอร์ชิ้นทดสอบที่ 3	C (pF)	I_{re} (pA)	T (˚C)	%RH	PI
ค่าที่วัดได้ขณะก่อนทำการจำลองความเสื่อมสภาพ	312	-5.4	24	44	1.36
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 6 ชม.	283	0	20.3	45	3.50
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 12 ชม.	270	-0.8	21.6	49	4.16
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 24 ชม.	276	-0.7	23.5	47	5.09
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 36 ชม.	266	-0.7	23.4	45	3.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6.2 การเปรียบเทียบผลของกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมงกับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.7 ชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

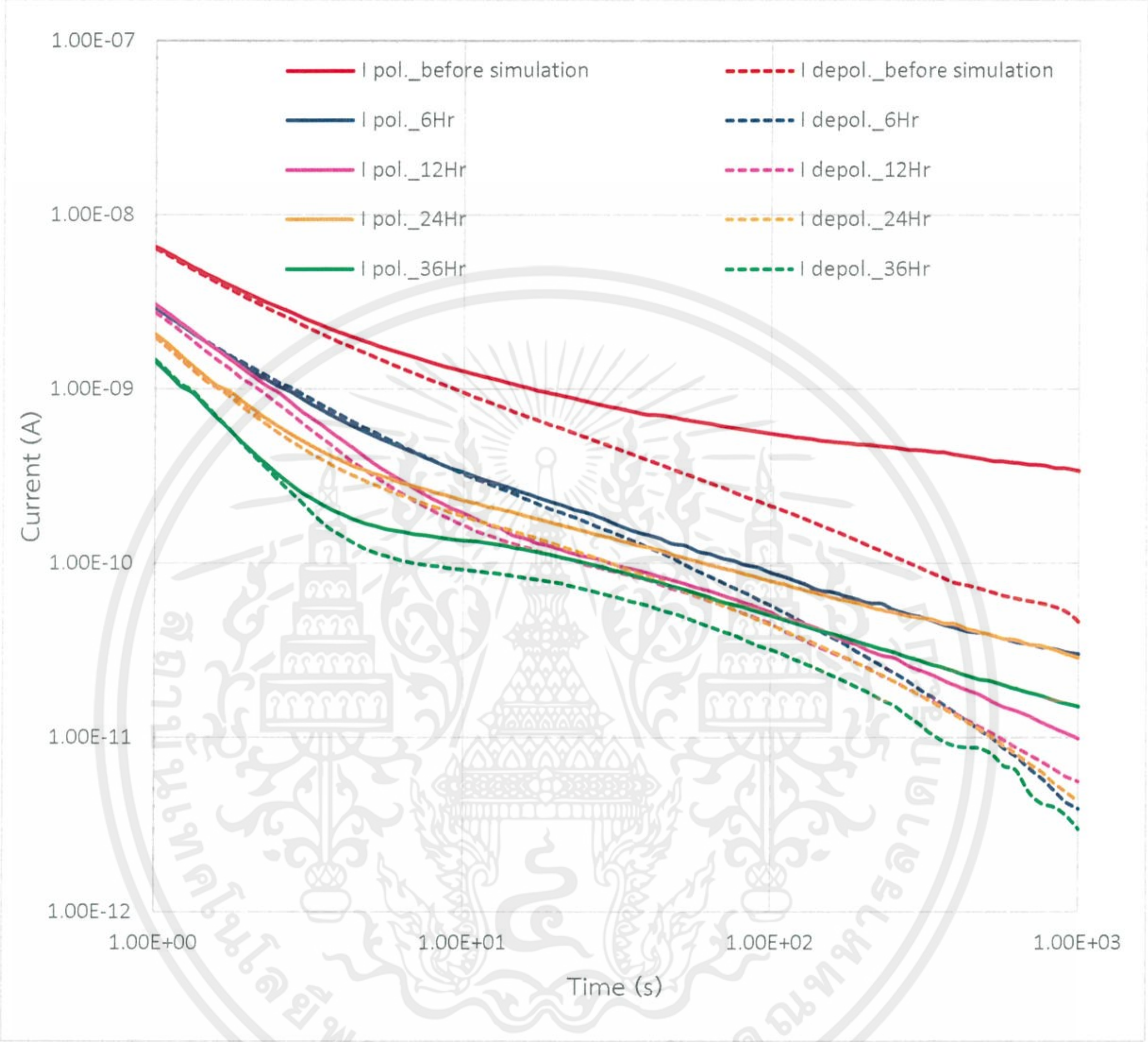
4.1.7.1 การเปรียบเทียบผลของค่าพารามิเตอร์ของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.7 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

พารามิเตอร์ชิ้นทดสอบที่ 1	C (pF)	I_{re} (pA)	T (°C)	%RH	PI
ค่าที่วัดได้ขณะก่อนทำการจำลองความเสื่อมสภาพ	267	3.8	24.8	48	1.62
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 6 ชม.	240	-5.7	21.4	50	3.73
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 12 ชม.	226	-2.3	21.8	47	4.61
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 24 ชม.	214	-1.5	22.0	46	3.82
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 36 ชม.	225	-0.1	20.9	45	3.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.7.2 การเปรียบเทียบผลของกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.8 ชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

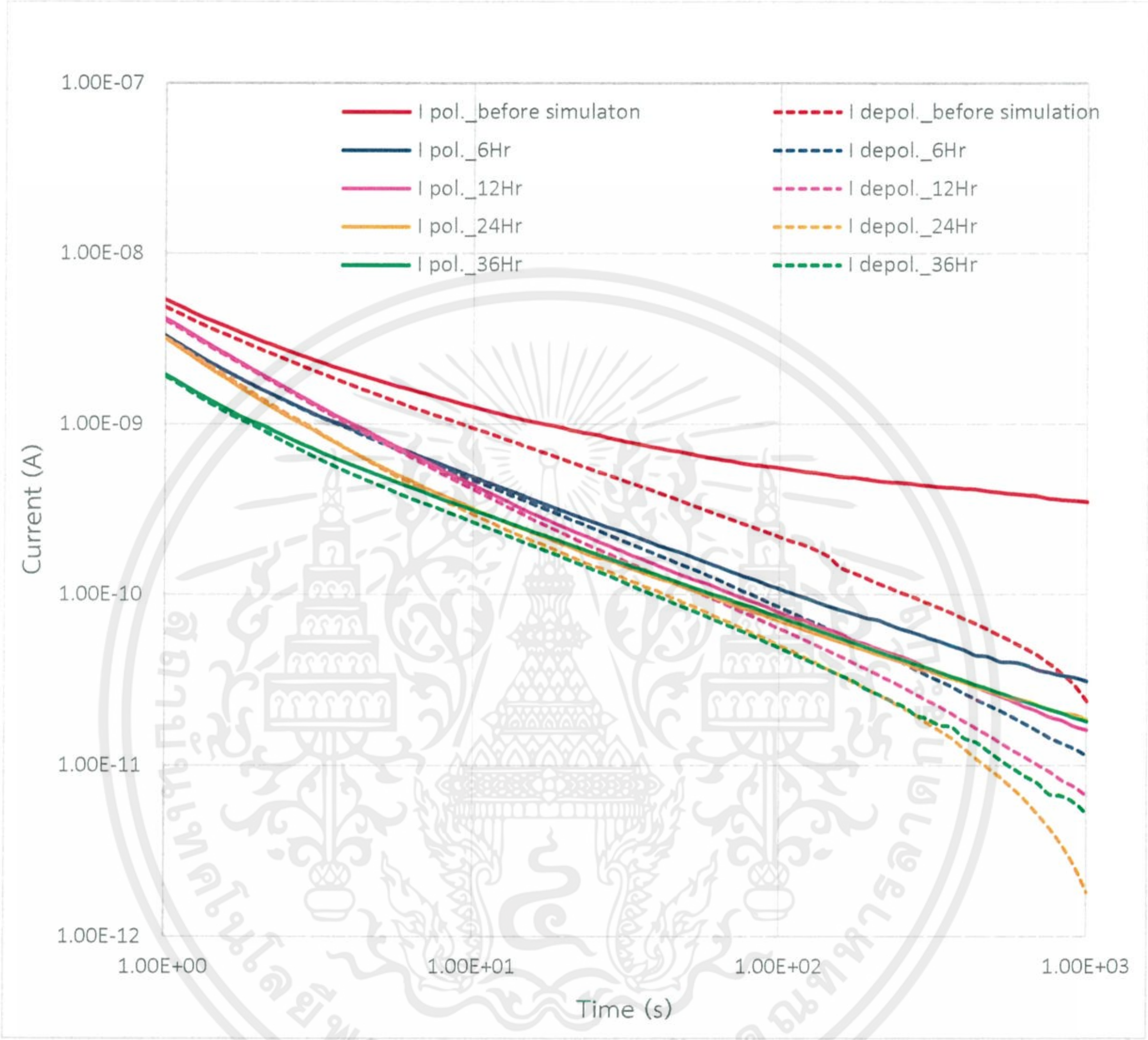
4.1.8.1 การเปรียบเทียบผลของค่าพารามิเตอร์ของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.8 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

พารามิเตอร์ชิ้นทดสอบที่ 2	C (pF)	I_{re} (pA)	T (°C)	%RH	PI
ค่าที่วัดได้ขณะก่อนทำการจำลองความเสื่อมสภาพ	262	-4.4	24.8	49	1.68
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 6 ชม.	232	-4.7	21.9	48	3.05
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 12 ชม.	221	-0.9	22.1	47	4.41
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 24 ชม.	216	-0.6	21.9	47	3.98
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 36 ชม.	201	-3.7	21.6	47	3.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.8.2 การเปรียบเทียบผลของกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมงกับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.9 ชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

4.1.9.1 การเปรียบเทียบผลของค่าพารามิเตอร์ของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง

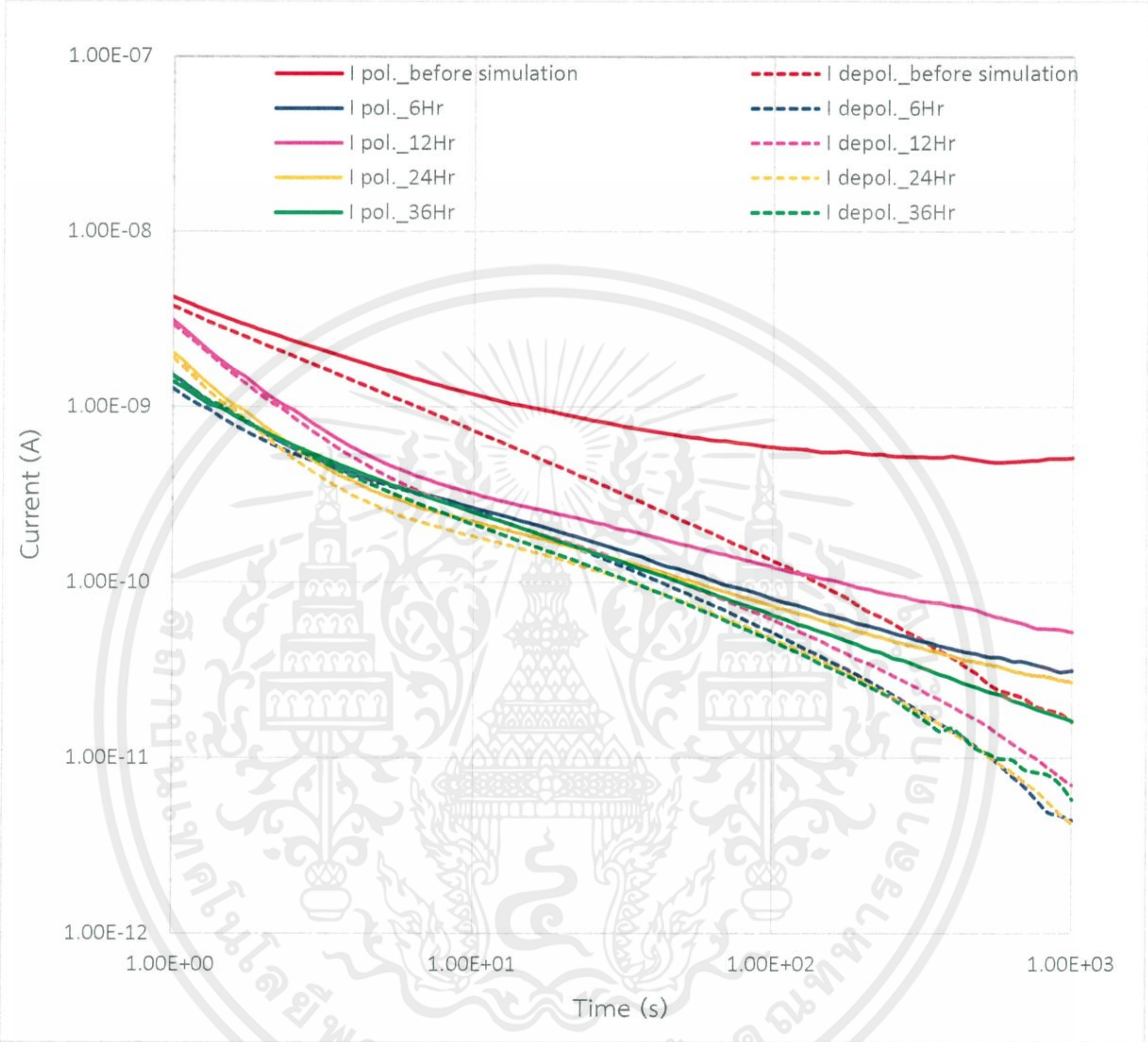
ตารางที่ 4.9 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

พารามิเตอร์ชิ้นทดสอบที่ 3	C (pF)	I_{re} (pA)	T (°C)	%RH	PI
ค่าที่วัดได้ขณะก่อนทำการจำลองความเสื่อมสภาพ	281	1.0	21.1	47	1.34
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 6 ชม.	232	-5.3	21.4	47	2.81
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 12 ชม.	218	-2.0	21.6	46	3.15
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 24 ชม.	214	-1.7	22.5	46	3.75
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 36 ชม.	232	0.5	21.4	47	3.95

พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.9.2 การเปรียบเทียบผลของกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมงกับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบวัดกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน

ทำการวัดค่ากระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันที่กระทำภายในห้องปฏิบัติการที่ทำการควบคุมอุณหภูมิในช่วง 19-25 องศาเซลเซียส และควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 41-50 % โดยการจ่ายแรงกระแสตรงขนาด 500V ซึ่งได้ทำการทดสอบในชิ้นทดสอบจำนวน 3 ชิ้น ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน ซึ่งแบ่งเป็นกรณีการทดสอบได้ดังนี้

1. ก่อนทำการจำลองการเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน

2 หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน

จากนั้นนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบเพื่อหาแนวโน้มของผลการทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน

4.2.1 ชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อนของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

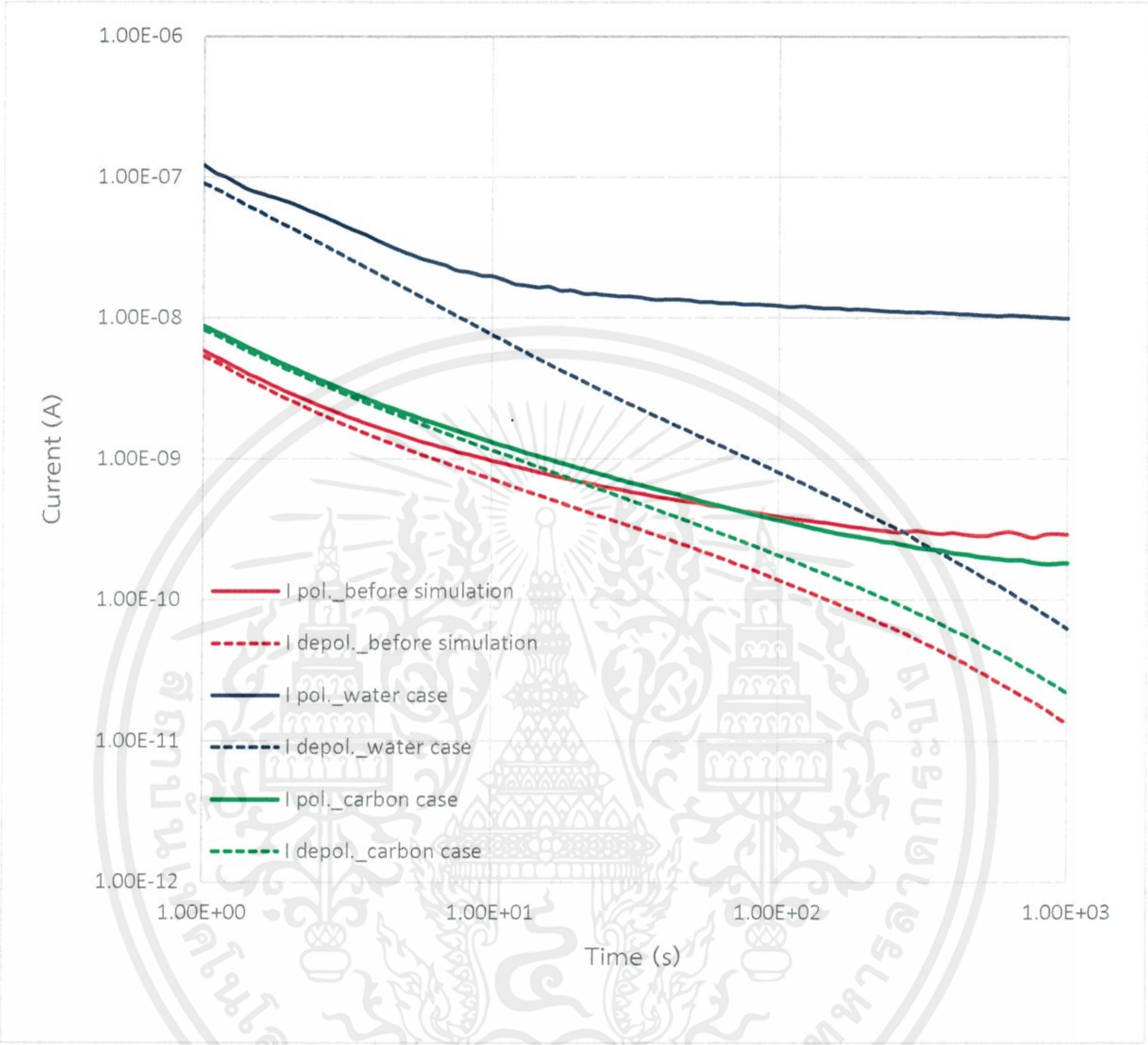
4.2.1.1 การเปรียบเทียบผลของค่าพารามิเตอร์ของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน

ตารางที่ 4.10 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อนของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

พารามิเตอร์ชิ้นทดสอบที่ 1	C (pF)	I_{re} (pA)	T (°C)	%RH	PI
ค่าที่วัดได้ขณะก่อนทำการจำลองความเสื่อมสภาพ	325	2.2	23.0	43	1.57
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความชื้น	855	11.3	24.4	45	1.20
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากสิ่งเปรอะเปื้อน	342	0.5	22.2	47	2.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.2 การเปรียบเทียบผลของกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางทางความความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

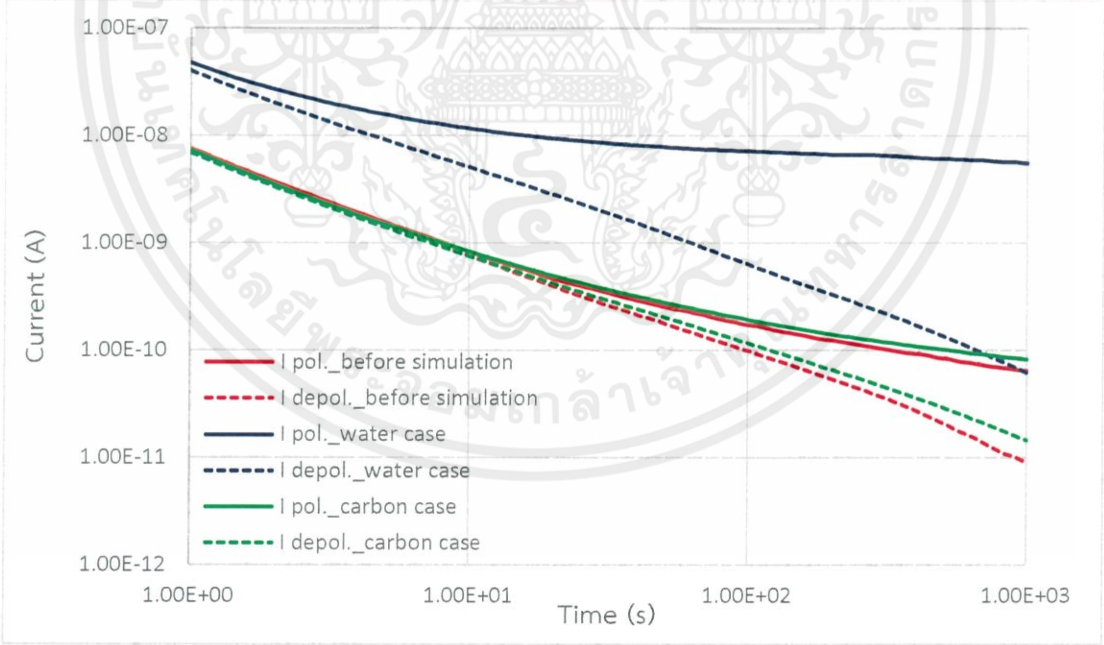
4.2.2 ชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อนของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

4.2.2.1 การเปรียบเทียบผลของค่าพารามิเตอร์ของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน

ตารางที่ 4.11 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อนของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

พารามิเตอร์ชิ้นทดสอบที่ 2	C (pF)	I_{re} (pA)	T (˚C)	%RH	PI
ค่าที่วัดได้ขณะก่อนทำการจำลองความเสื่อมสภาพ	242	-11.6	23.6	43	2.83
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความชื้น	564	3.6	24.4	45	1.27
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากสิ่งเปรอะเปื้อน	253	-0.7	22.1	48	2.53

4.2.2.2 การเปรียบเทียบผลของกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางทางความความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

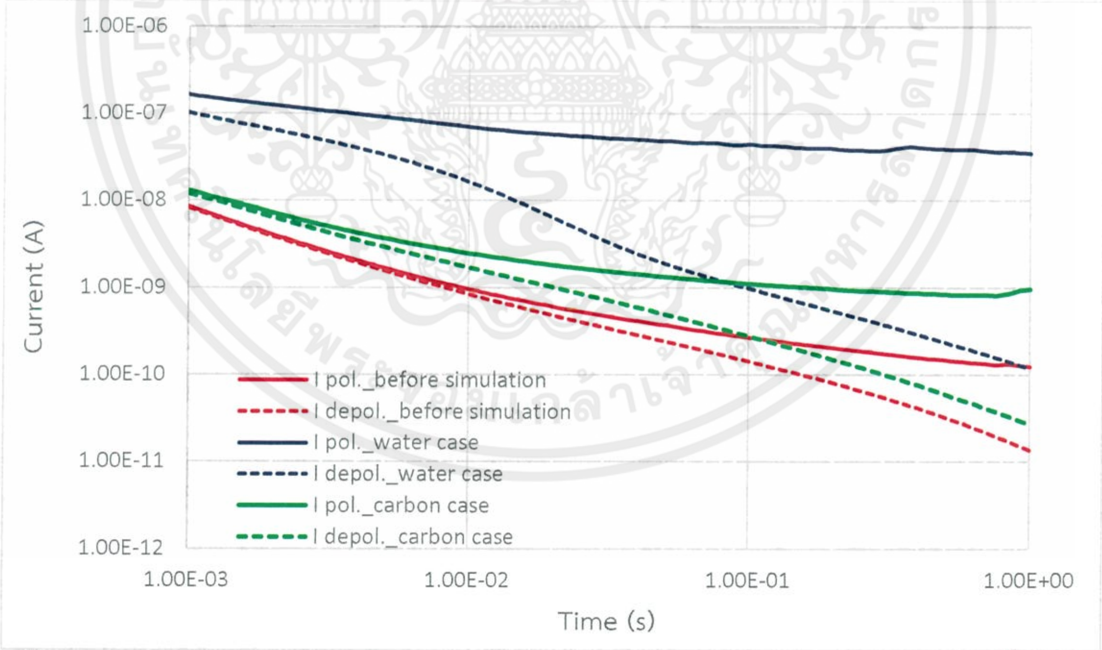
4.2.3 ชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อนของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

4.2.3.1 การเปรียบเทียบผลของค่าพารามิเตอร์ของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน

ตารางที่ 4.12 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อนของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

พารามิเตอร์ชิ้นทดสอบที่ 3	C (pF)	I_{re} (pA)	T (°C)	%RH	PI
ค่าที่วัดได้ขณะก่อนทำการจำลองความเสื่อมสภาพ	325	-8.1	23.1	43	2.35
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความชื้น	1019	0.0	25.3	46	1.22
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากสิ่งเปรอะเปื้อน	335	-0.7	22.3	48	1.53

4.2.3.2 การเปรียบเทียบผลของกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางทางความความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

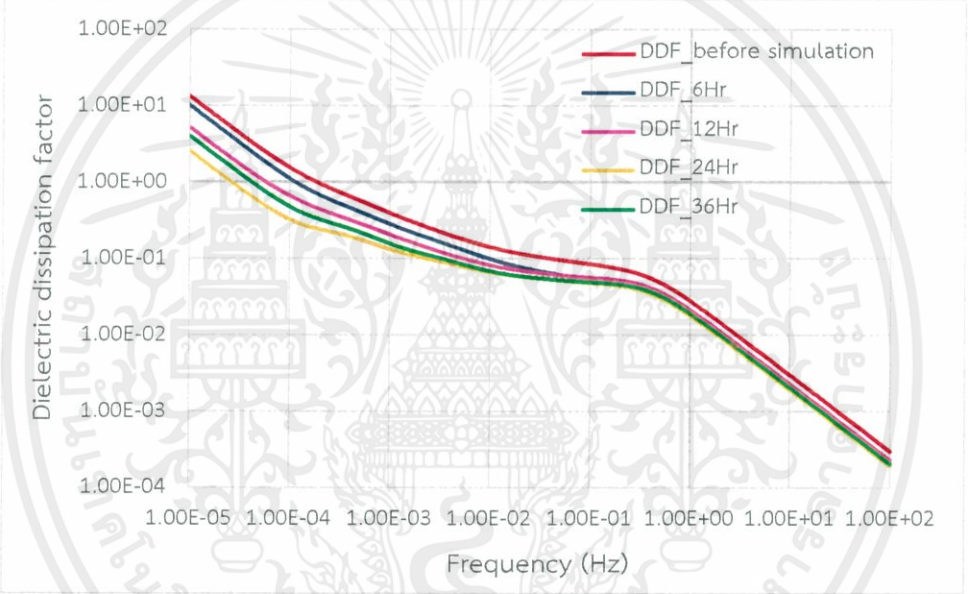
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การวิเคราะห์แฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริก (Dielectric dissipation factor; tanδ) ของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อน

ทำการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100, 130 และ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6,12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของแต่ละชิ้นทดสอบ

4.3.1 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6,12, 24 และ 36 ชั่วโมง

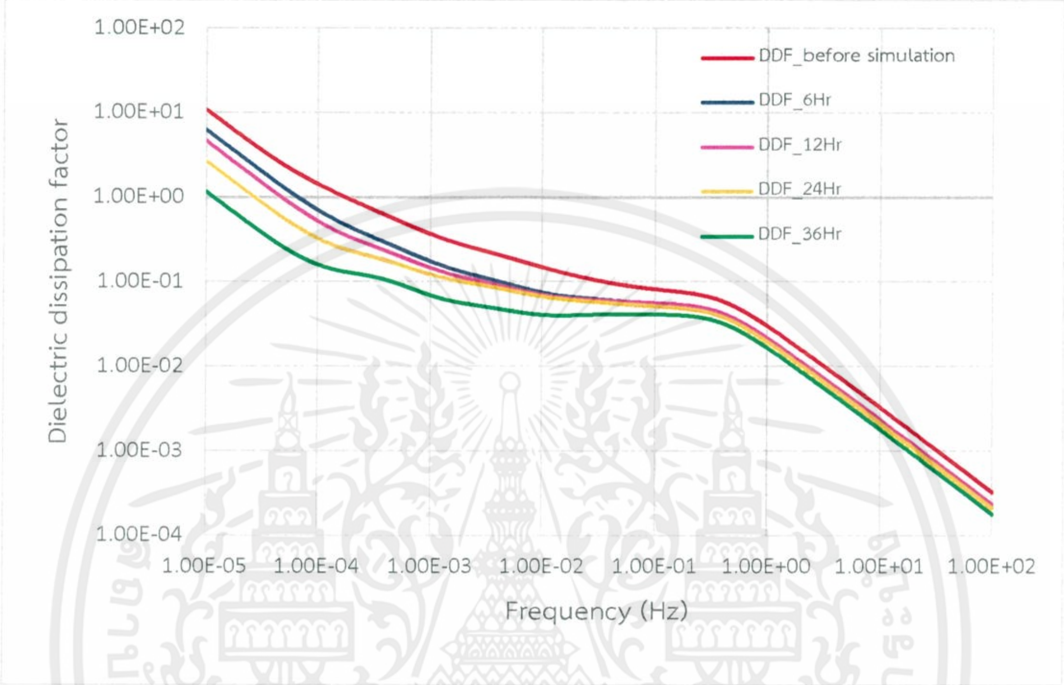


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมงของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6,12, 24 และ 36 ชั่วโมง

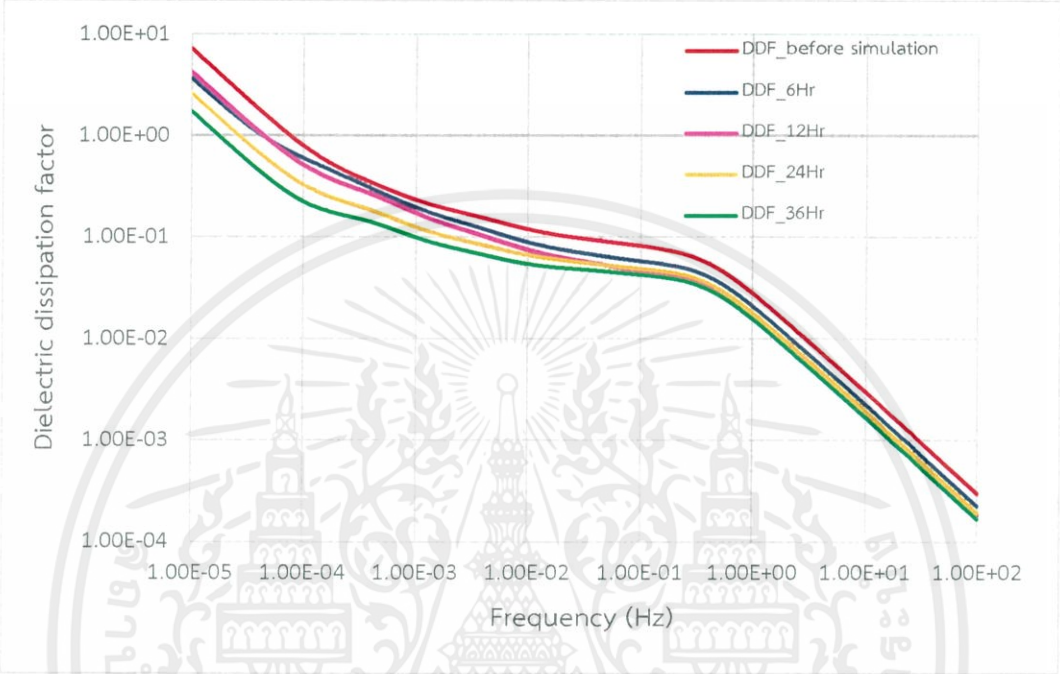


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6,12, 24 และ 36 ชั่วโมง

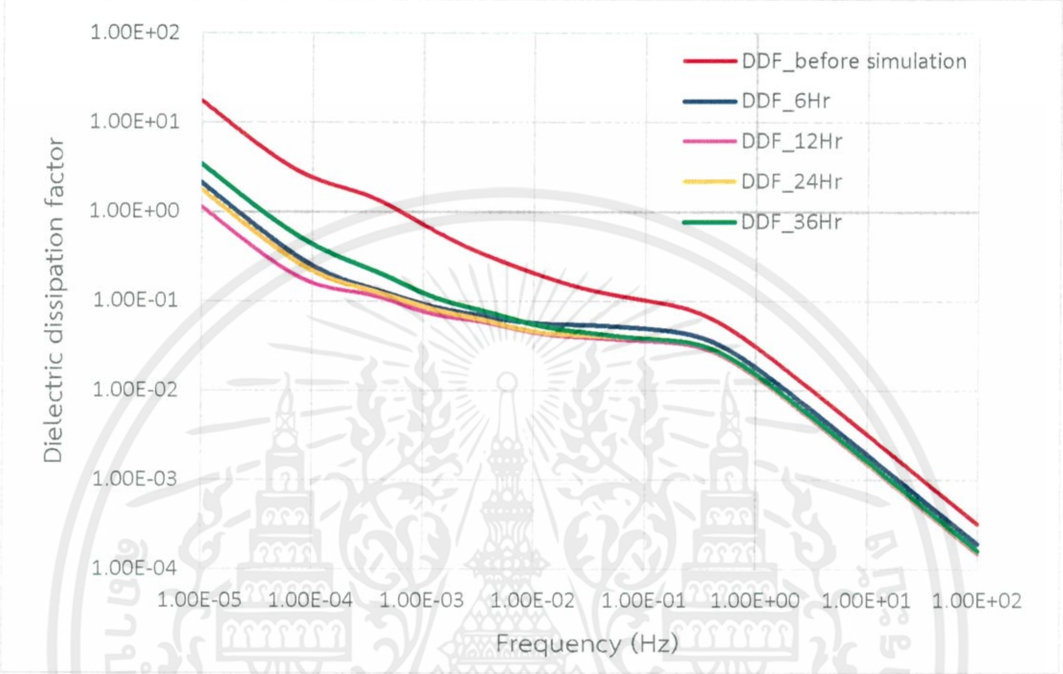


รูปที่ 4.15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 6,12, 24 และ 36 ชั่วโมง

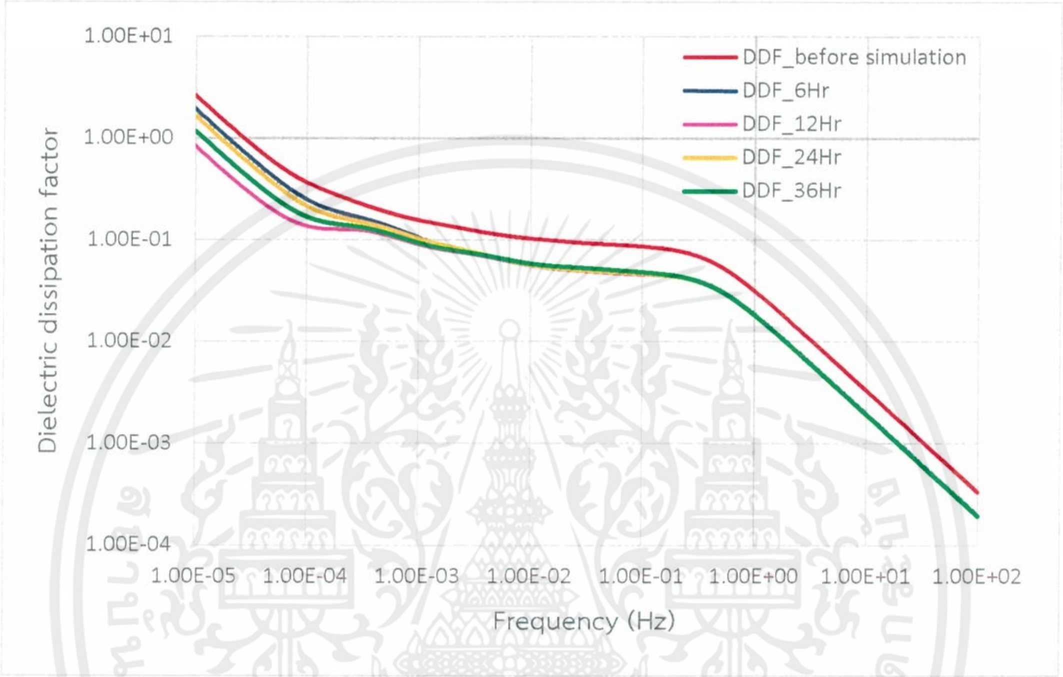


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 130˚C เป็นเวลา 6,12, 24 และ 36 ชั่วโมง

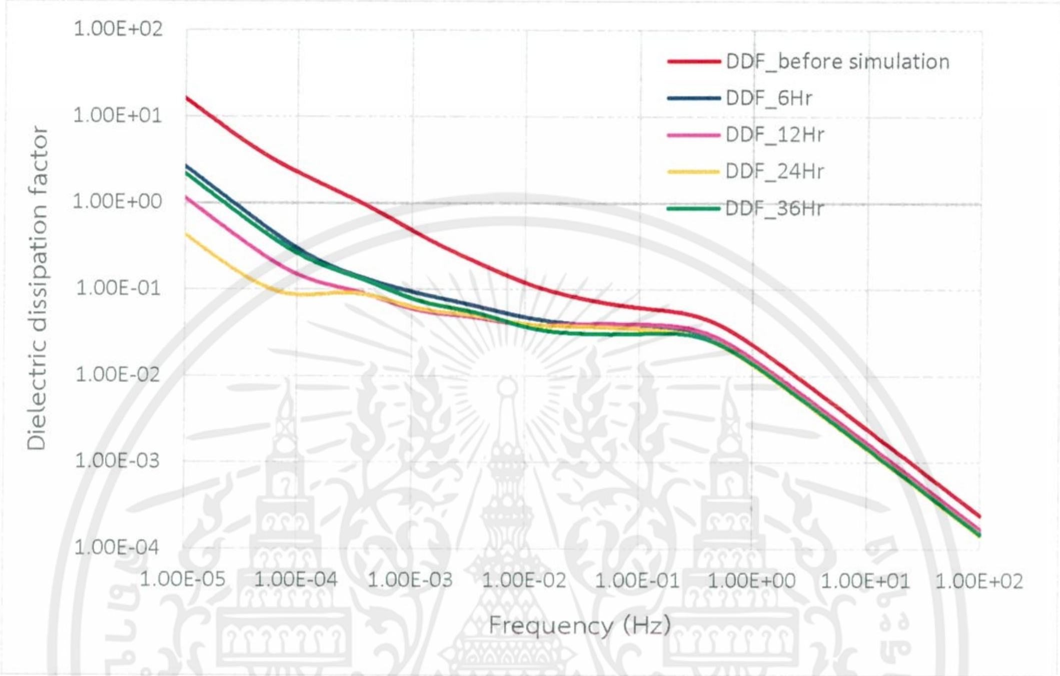


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 130˚C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.6 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมงของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 6,12, 24 และ 36 ชั่วโมง

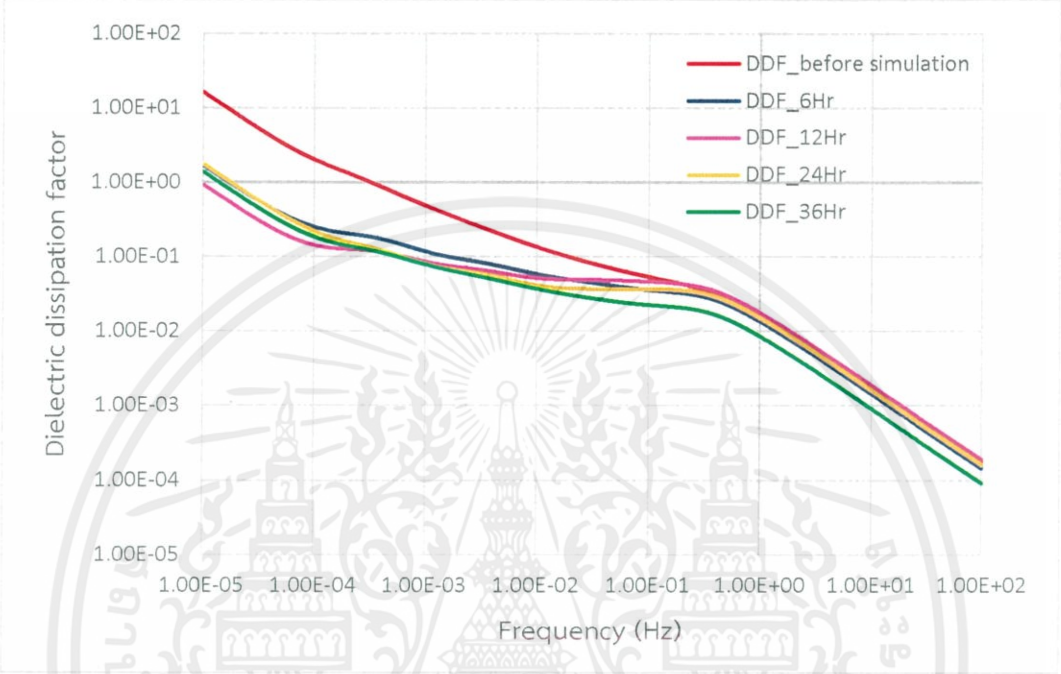


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.7 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 6,12, 24 และ 36 ชั่วโมง

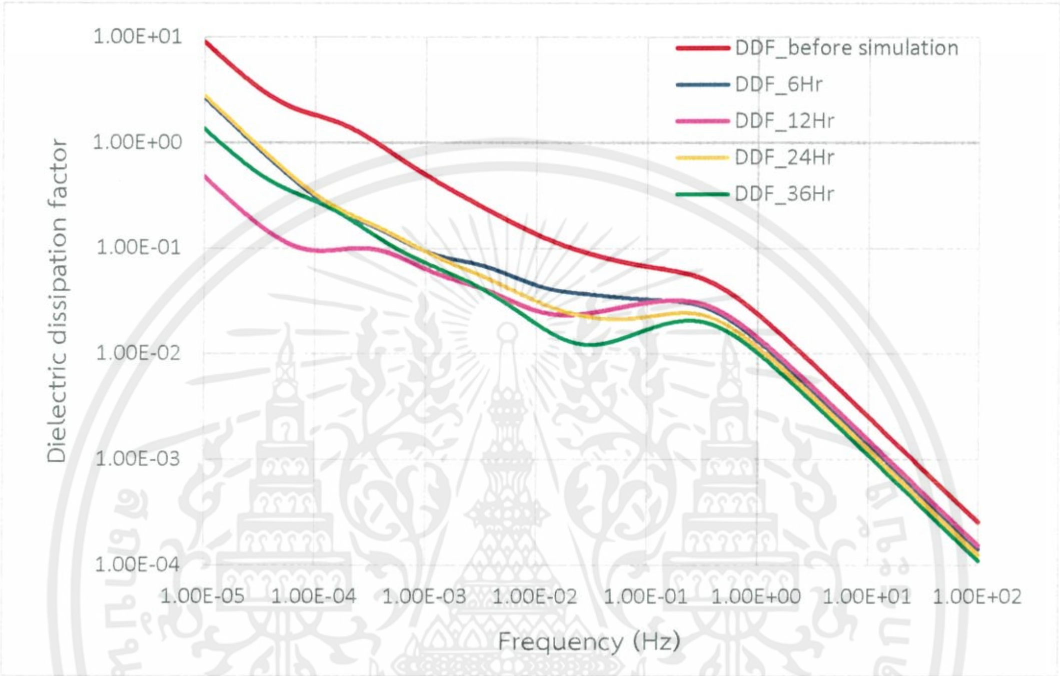


รูปที่ 4.19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.8 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 6,12, 24 และ 36 ชั่วโมง

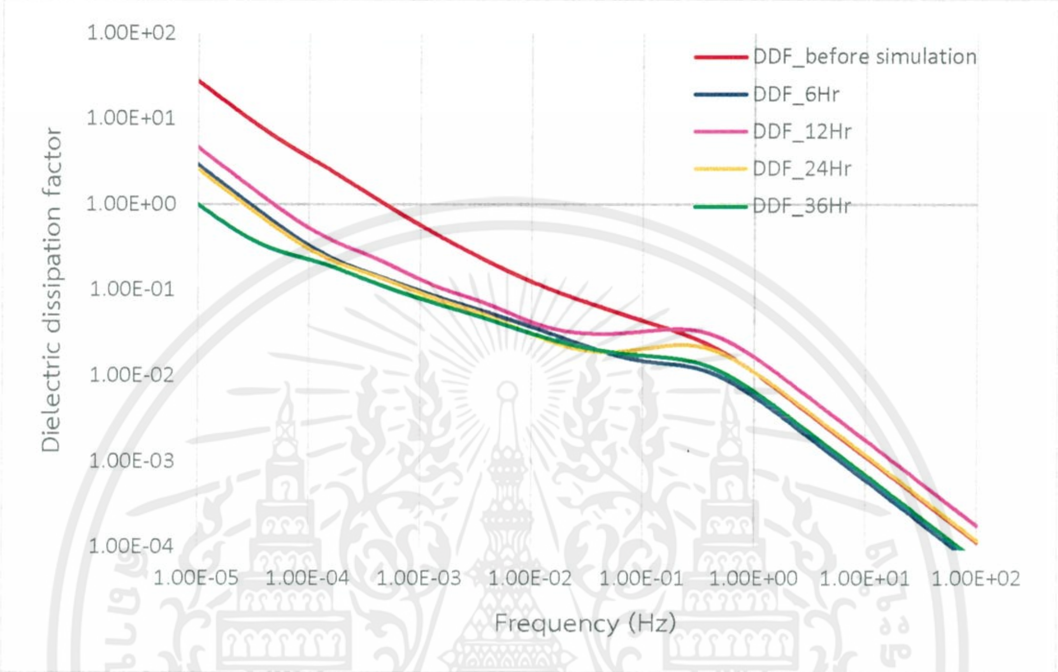


รูปที่ 4.20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.9 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมงของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 6,12, 24 และ 36 ชั่วโมง



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

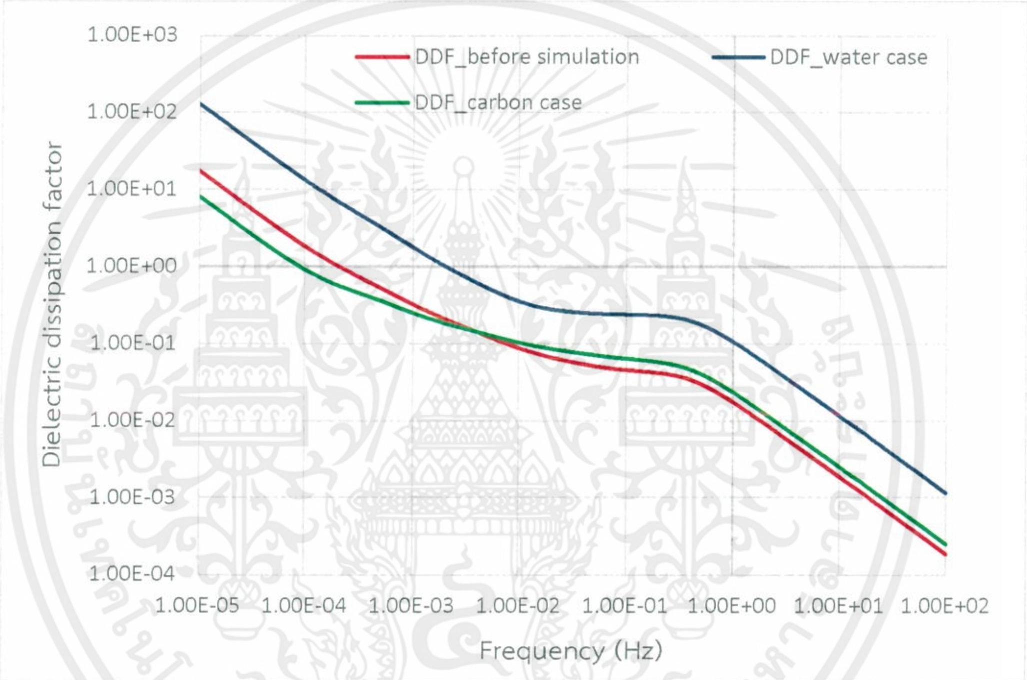
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การวิเคราะห์แฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริก (Dielectric dissipation factor; tanδ) ของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน

ทำการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อนของแต่ละชิ้นทดสอบ

4.4.1 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อนของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน

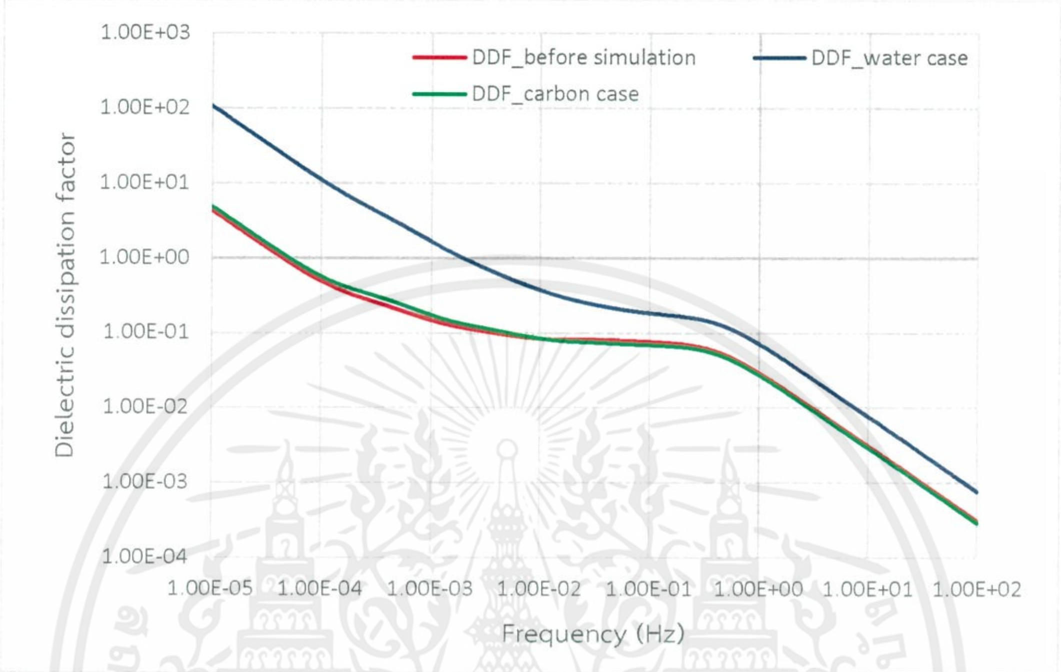


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อนของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน

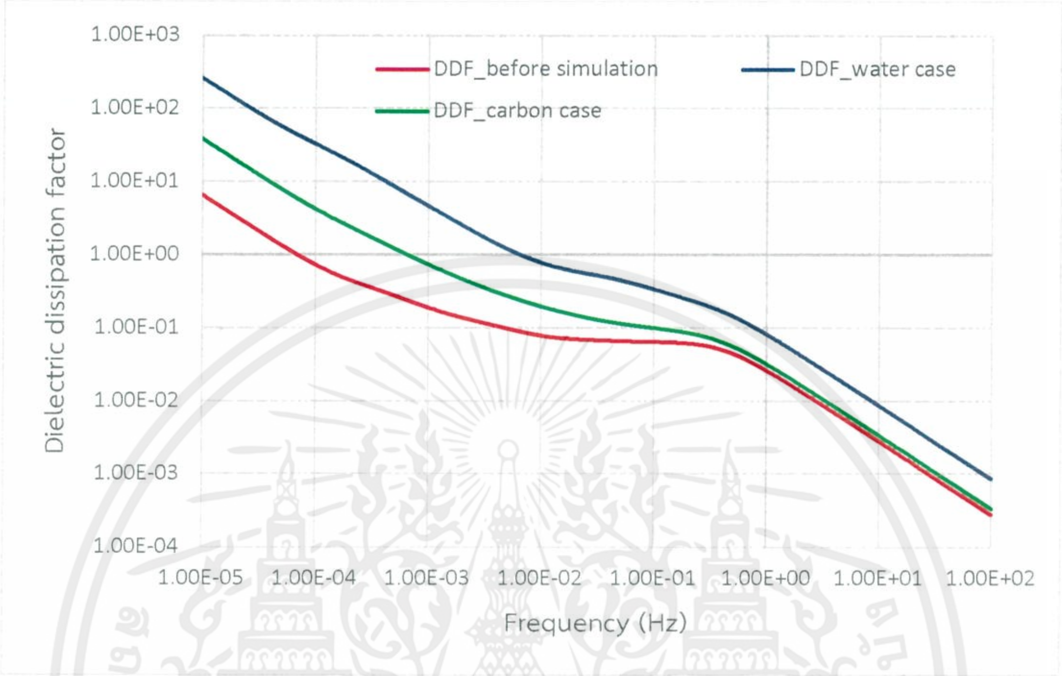


รูปที่ 4.23 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อนของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

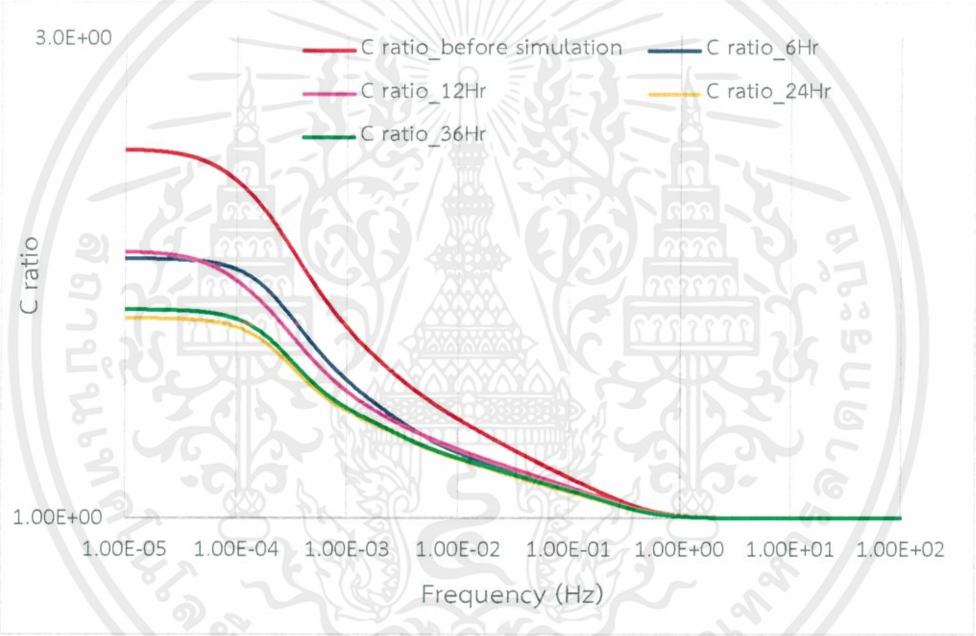
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การวิเคราะห์อัตราส่วนค่าความเก็บประจุ (C ratio) ของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อน

ทำการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100, 130 และ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6,12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของแต่ละชิ้นทดสอบ

4.5.1 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง

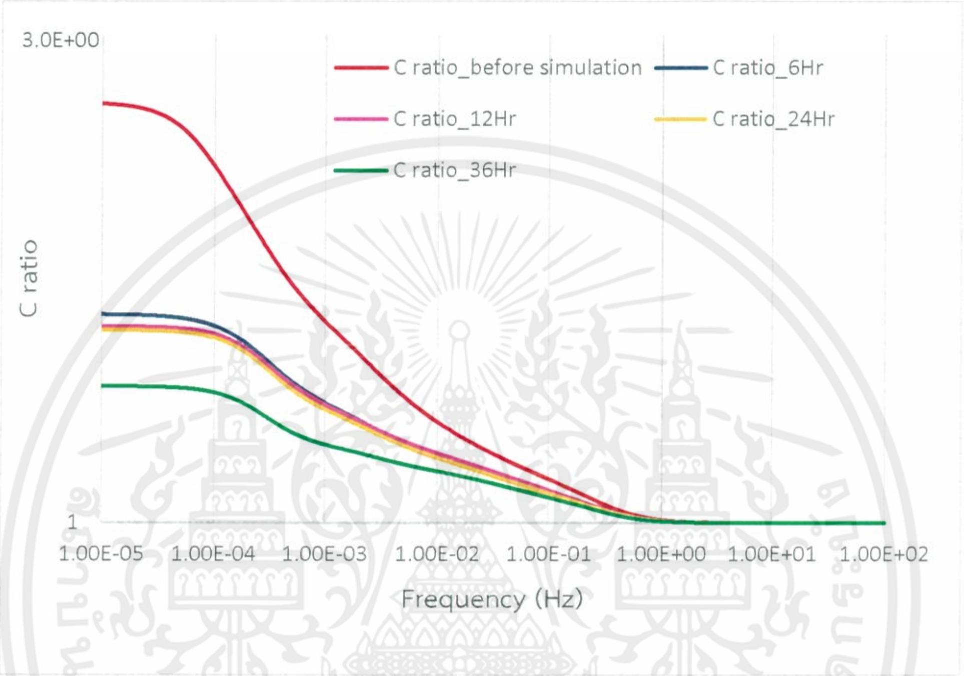


รูปที่ 4.25 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6,12, 24 และ 36 ชั่วโมง

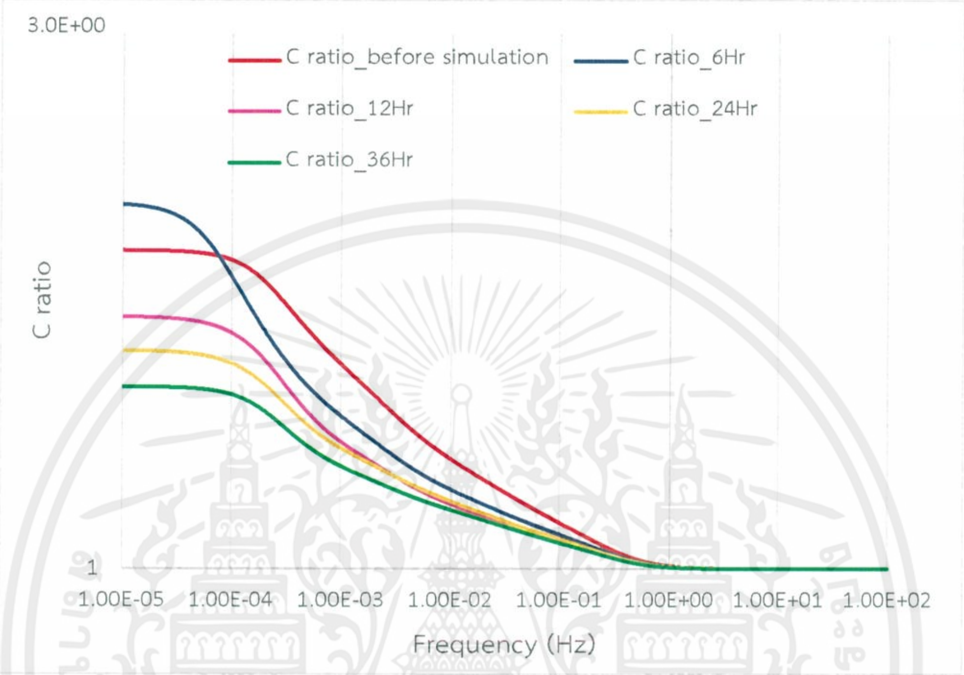


รูปที่ 4.26 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6,12, 24 และ 36 ชั่วโมง

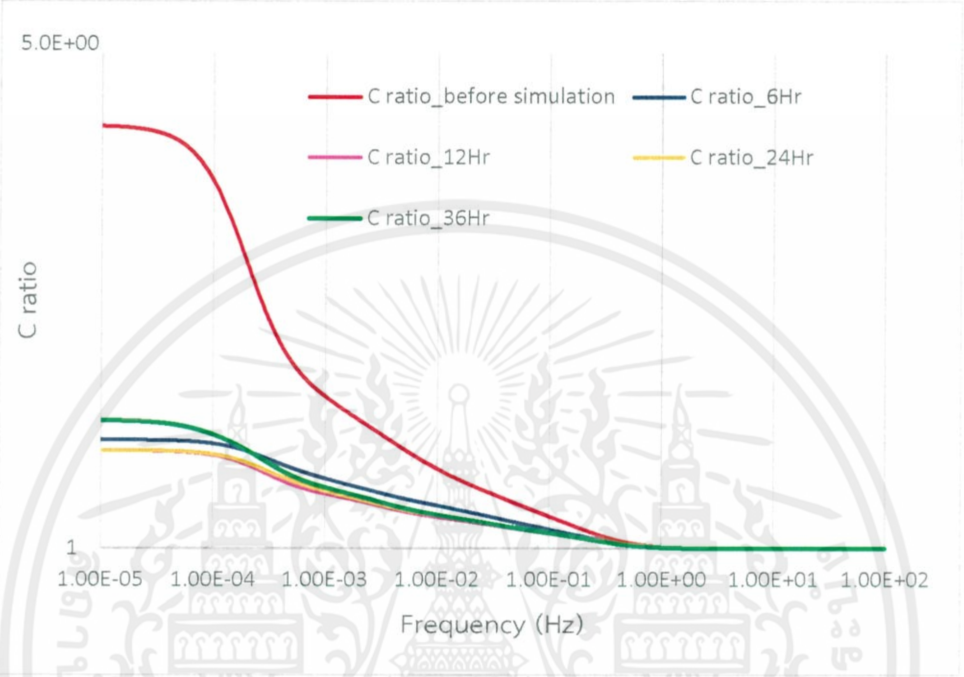


รูปที่ 4.27 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.4 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 6,12, 24 และ 36 ชั่วโมง

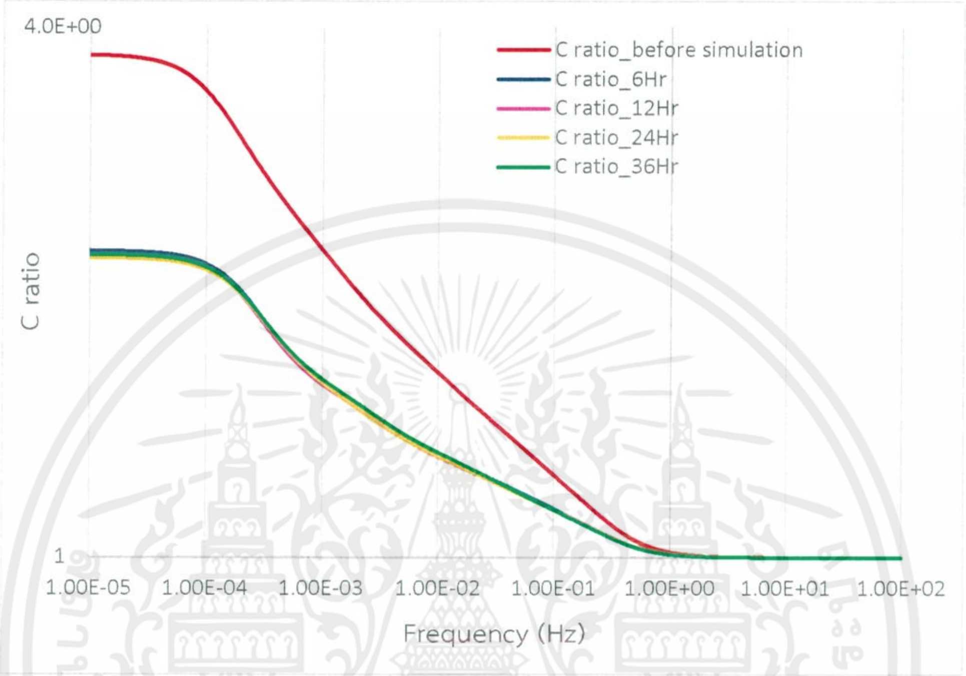


รูปที่ 4.28 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.5 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 6,12, 24 และ 36 ชั่วโมง

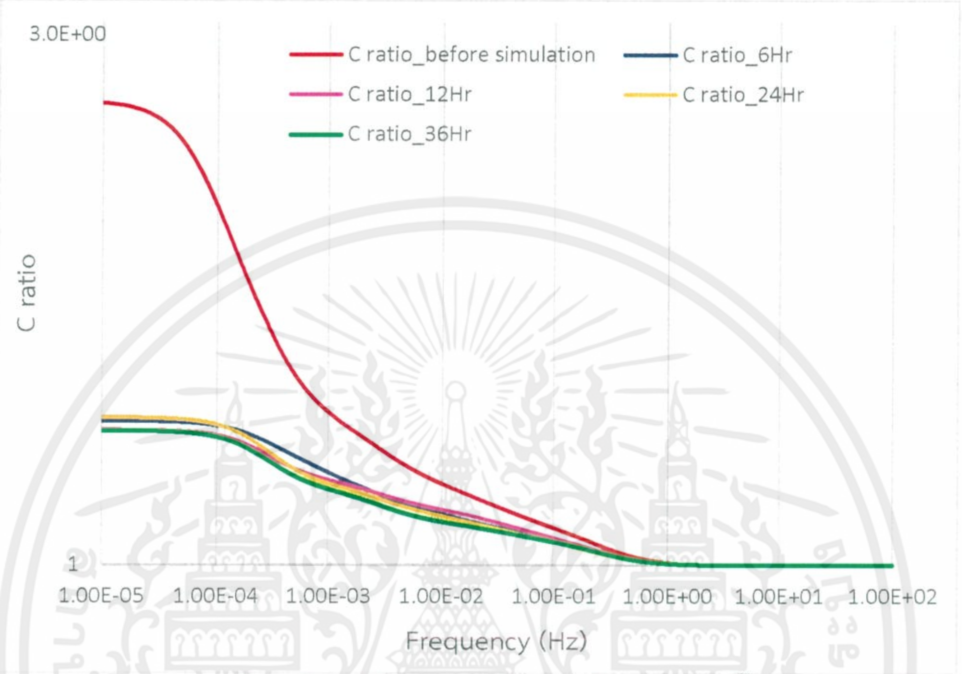


รูปที่ 4.29 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.6 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง

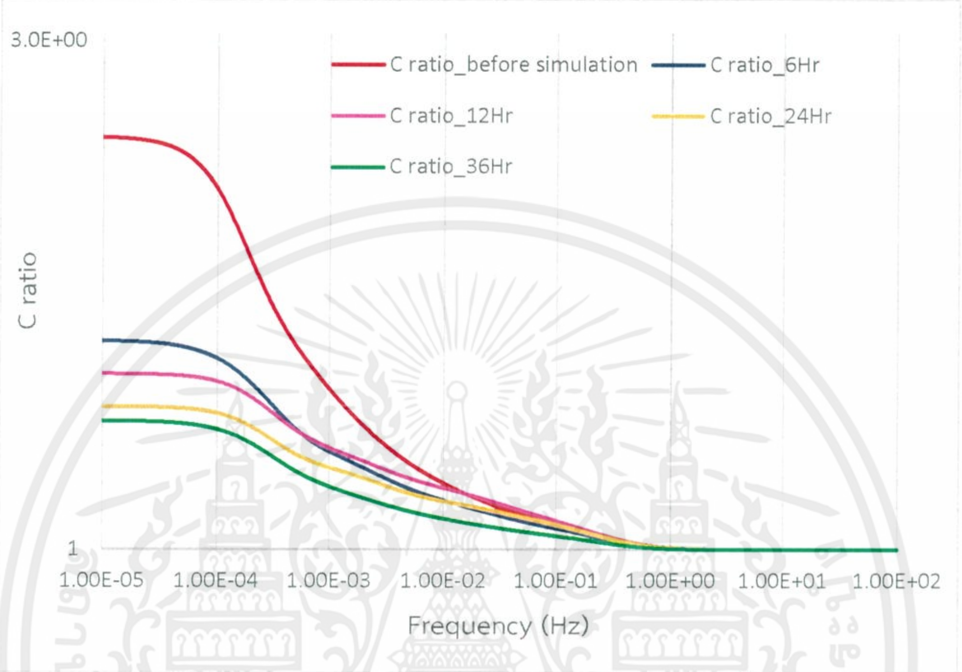


รูปที่ 4.30 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.7 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง

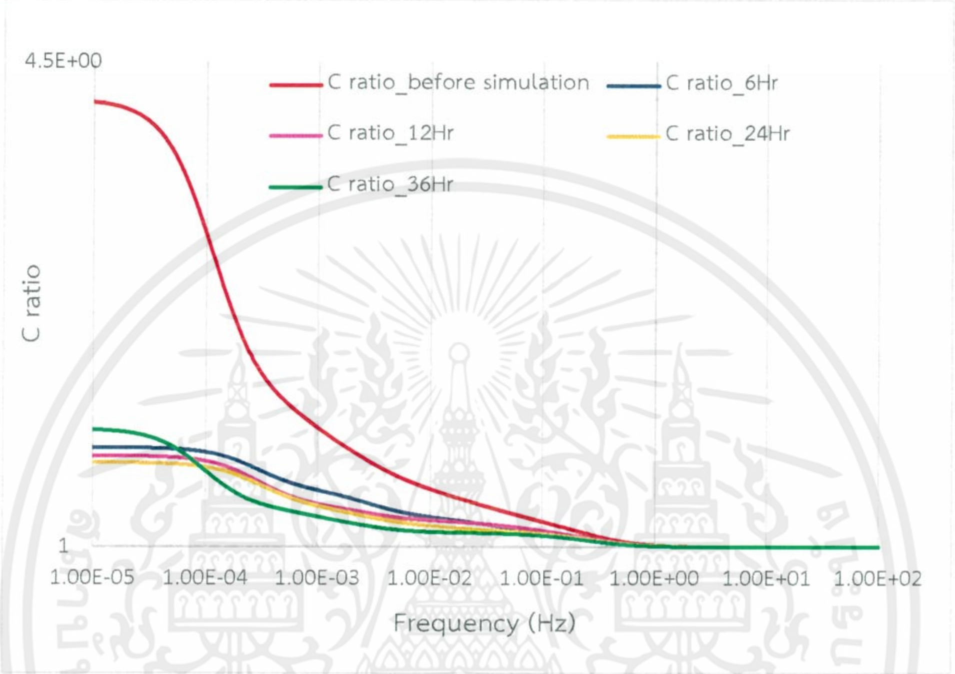


รูปที่ 4.31 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.8 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง

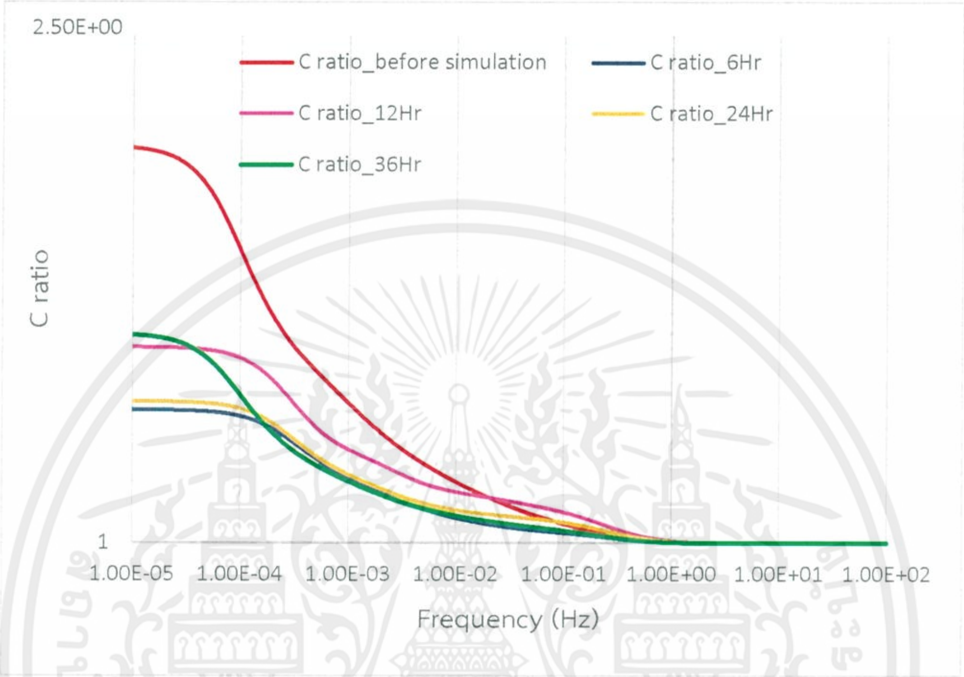


รูปที่ 4.32 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.9 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง



รูปที่ 4.33 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

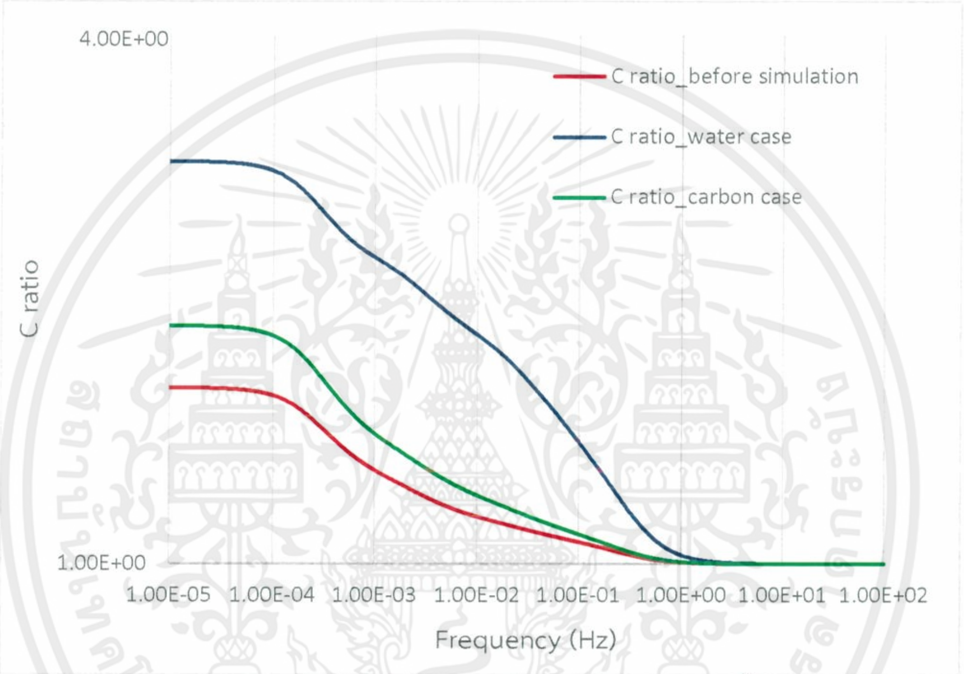
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การวิเคราะห์อัตราส่วนค่าความเก็บประจุ (C ratio) ของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน

ทำการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน ของแต่ละชิ้นทดสอบ

4.6.1 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อนของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน

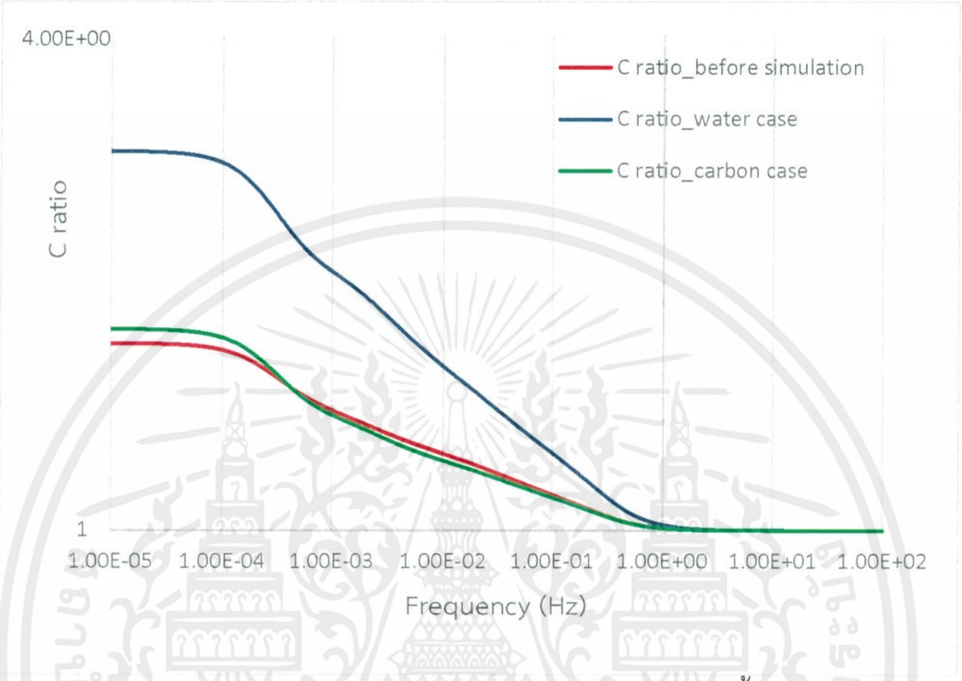


รูปที่ 4.34 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อนกับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.2 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อนของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน

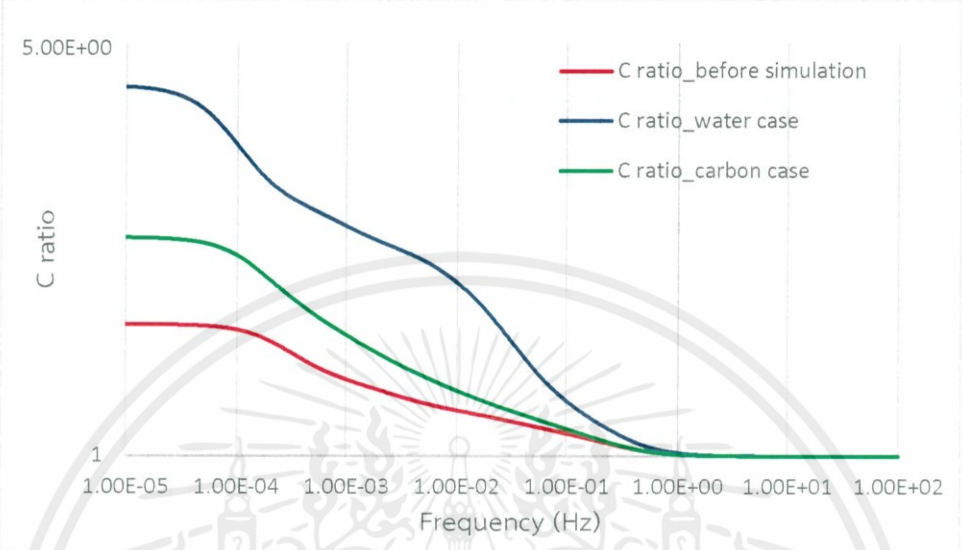


รูปที่ 4.35 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อนกับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.3 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อนของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน



รูปที่ 4.36 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อนกับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การทดสอบวัดกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อน

จากการทดสอบวัดค่ากระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันที่กระทำภายในห้องปฏิบัติการที่ทำการควบคุมอุณหภูมิในช่วง 19-25 องศาเซลเซียส และควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 41-50 % โดยการจ่ายแรงกระแสตรงขนาด 500V ซึ่งได้ทำการทดสอบในชิ้นทดสอบจำนวน 12 ชิ้น ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนอุณหภูมิ 100, 140, 180 และ 220 องศาเซลเซียส เป็นจำนวนอุณหภูมิละ 3 ชิ้นทดสอบ ซึ่งแบ่งเป็นกรณีการทดสอบได้ดังนี้

1. ก่อนทำการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100, 140, 180 และ 220 องศาเซลเซียสเป็นจำนวนอุณหภูมิละ 3 ชิ้นทดสอบ

2 .ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง เป็นจำนวน 3 ชิ้นทดสอบ

3. ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง เป็นจำนวน 3 ชิ้นทดสอบ

4. ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง เป็นจำนวน 3 ชิ้นทดสอบ

5. ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง เป็นจำนวน 3 ชิ้นทดสอบ

จากนั้นนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบเพื่อหาแนวโน้มของผลการทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิตามกรณีศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.1 ชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

4.7.1.1 การเปรียบเทียบผลของค่าพารามิเตอร์ของชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

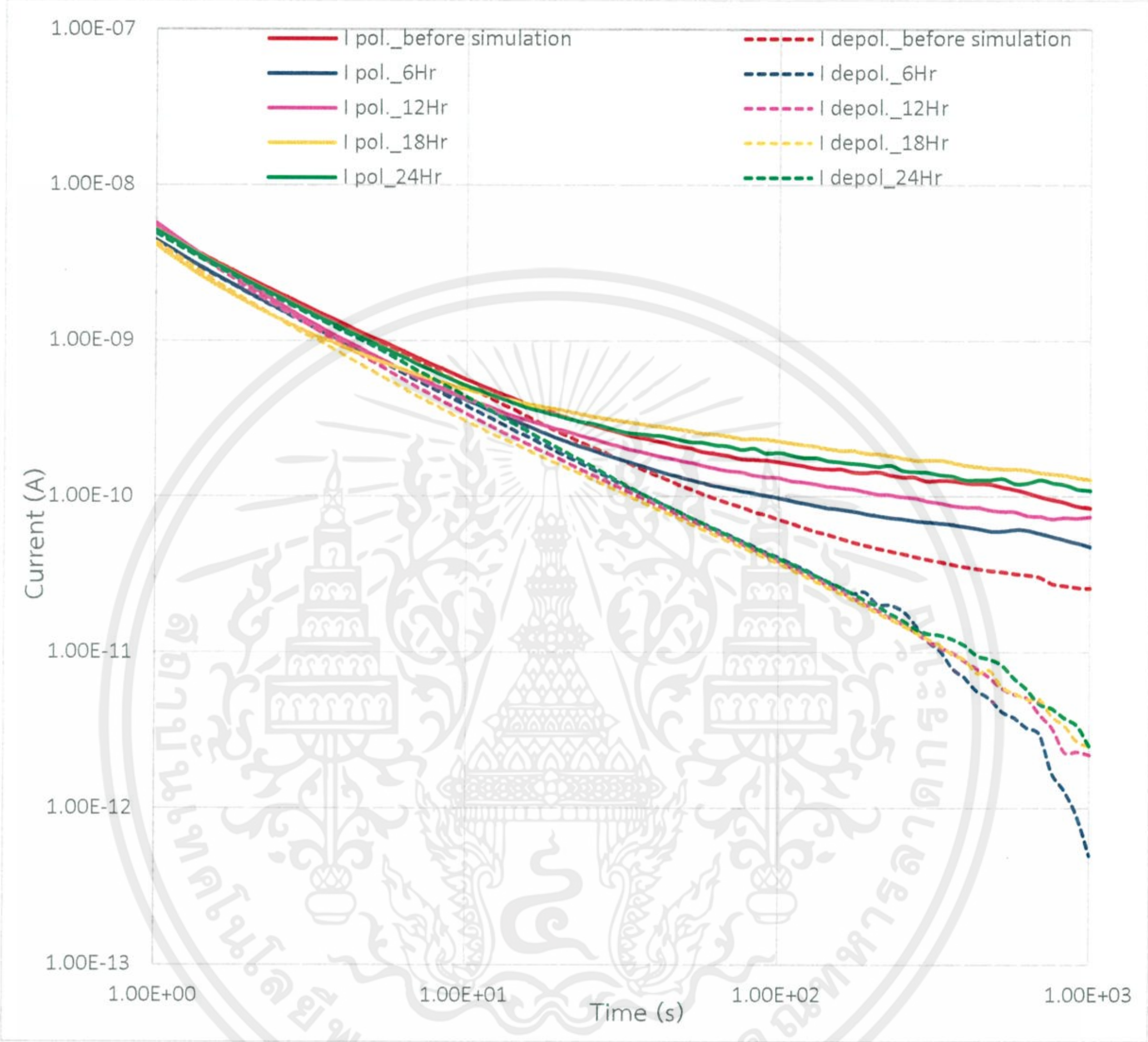
ตารางที่ 4.13 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

พารามิเตอร์ชิ้นทดสอบที่ 1	C (pF)	I_{re} (pA)	T (˚C)	%RH	PI
ค่าที่วัดได้ขณะก่อนทำการจำลองความเสื่อมสภาพ	185	39.3	22.8	46	1.71
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 6 ชม.	184	6.8	22.3	44	1.92
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 12 ชม.	184	-0.4	22.0	46	1.90
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 18 ชม.	192	0.1	22.0	44	1.68
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 24 ชม.	183	-0.4	24.3	43	1.71

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.1.2 การเปรียบเทียบผลของกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.37 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมงกับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.2 ชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

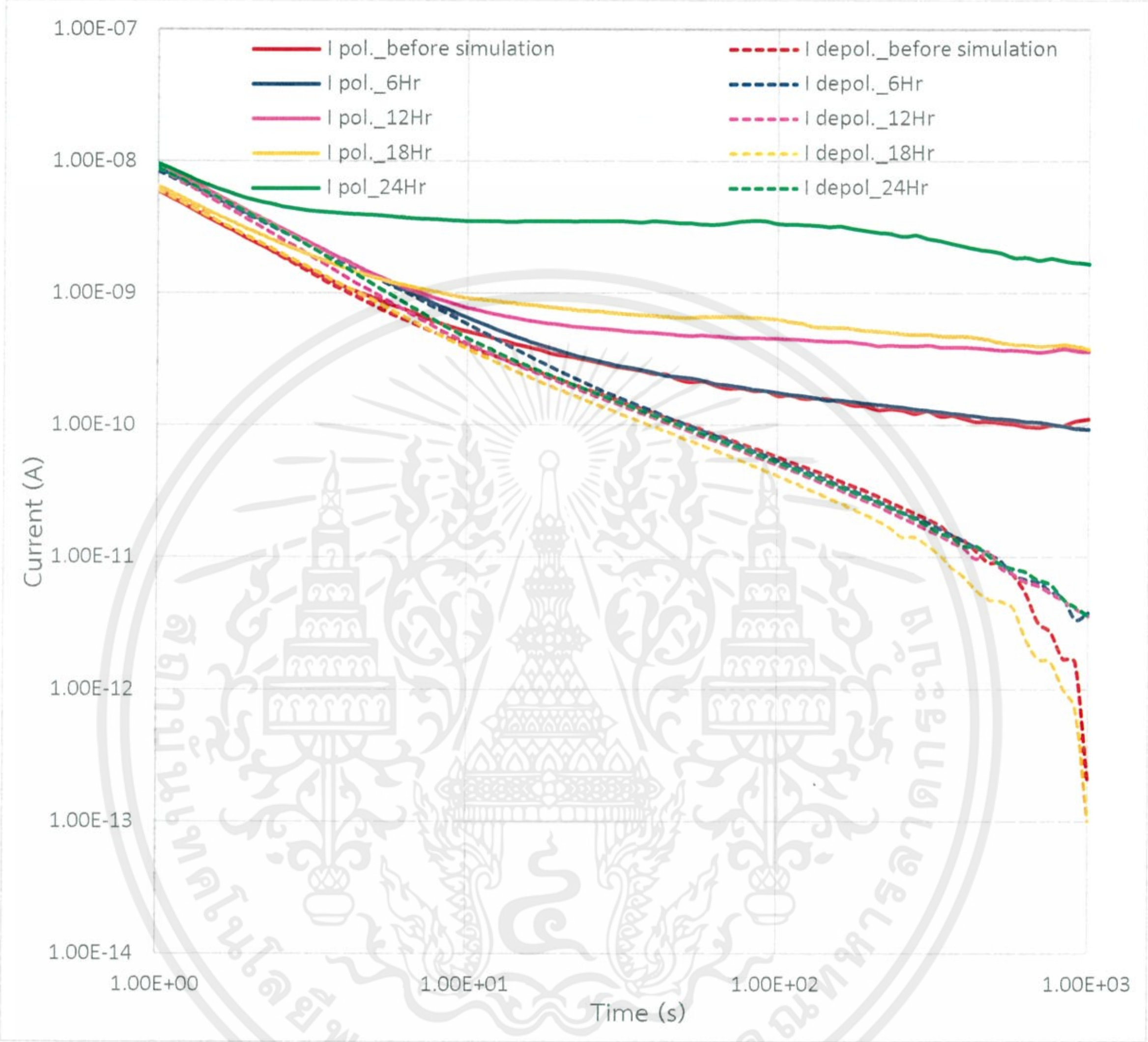
4.7.2.1 การเปรียบเทียบผลของค่าพารามิเตอร์ของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.14 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

พารามิเตอร์ชิ้นทดสอบที่ 2	C (pF)	I_{re} (pA)	T (°C)	%RH	PI
ค่าที่วัดได้ขณะก่อนทำการจำลองความเสื่อมสภาพ	188	7.4	24.5	46	2.01
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 6 ชม.	194	0.3	21.8	45	1.87
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 12 ชม.	185	0.2	22.5	42	1.27
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 18 ชม.	188	-0.1	21.8	43	1.60
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 24 ชม.	193	-0.2	23.1	41	1.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.2.2 การเปรียบเทียบผลของกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.38 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.3 ชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

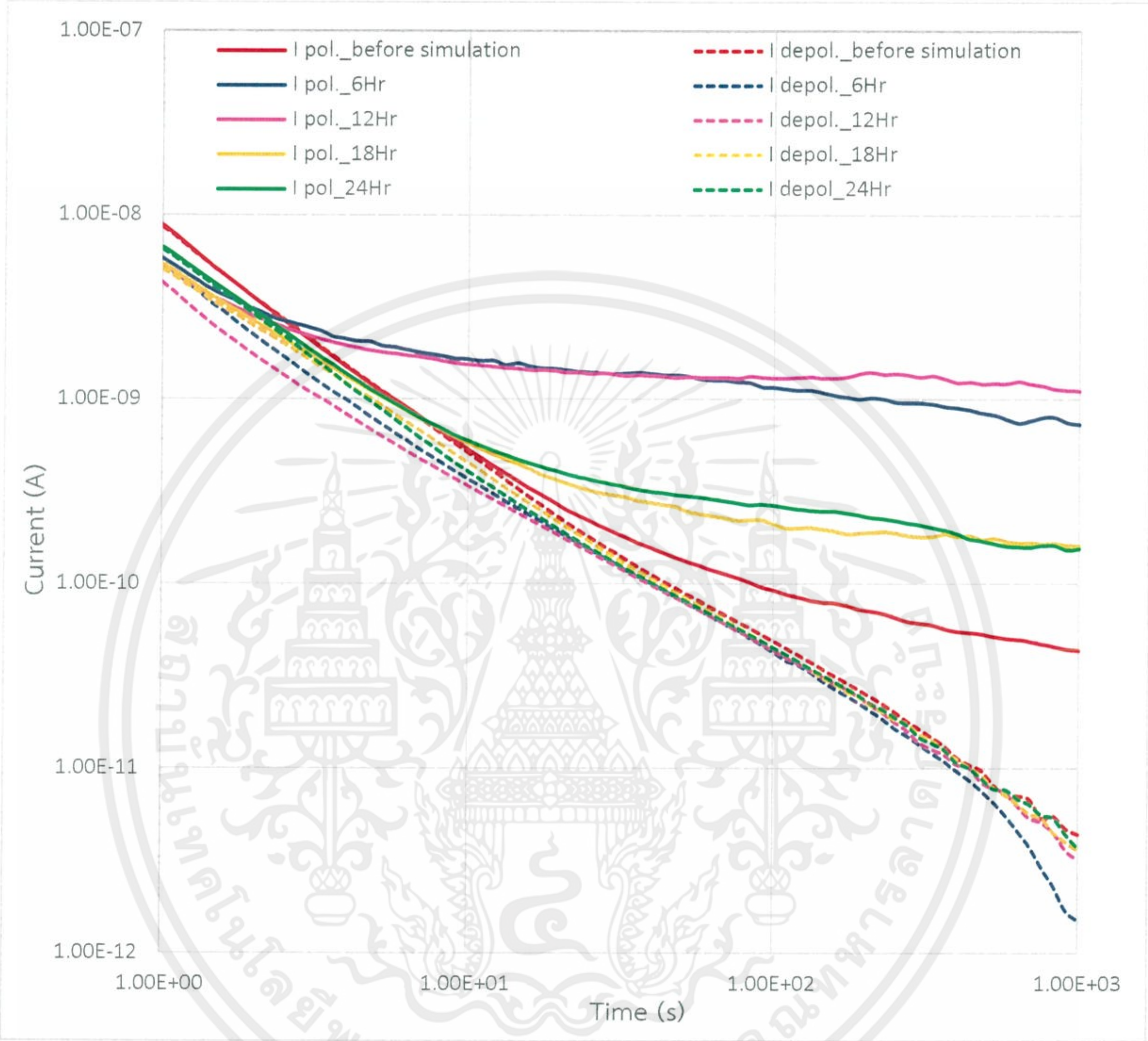
4.7.3.1 การเปรียบเทียบผลของค่าพารามิเตอร์ของชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.15 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

พารามิเตอร์ชิ้นทดสอบที่ 3	C (pF)	I_{re} (pA)	T (°C)	%RH	PI
ค่าที่วัดได้ขณะก่อนทำการจำลองความเสื่อมสภาพ	185	0.2	21.9	45	2.13
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 6 ชม.	170	5.2	22.9	48	1.67
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 12 ชม.	186	1.9	22.2	47	1.06
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 18 ชม.	178	-0.9	22.4	43	1.39
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 24 ชม.	189	-0.4	22.9	41	1.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.3.2 การเปรียบเทียบผลของกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.39 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.4 ชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

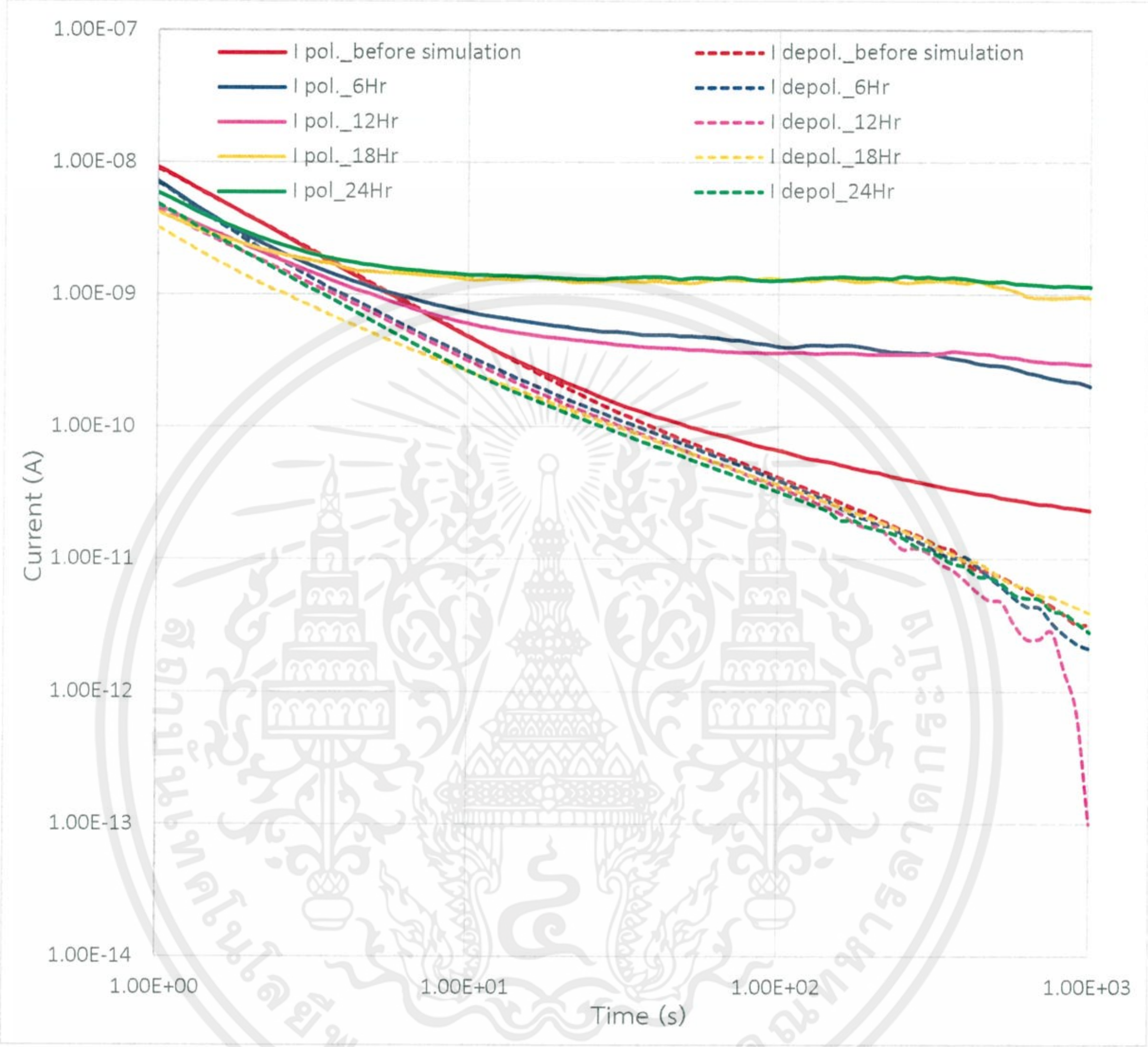
4.7.4.1 การเปรียบเทียบผลของค่าพารามิเตอร์ของชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.16 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

พารามิเตอร์ชิ้นทดสอบที่ 1	C (pF)	I_{re} (pA)	T (˚C)	%RH	PI
ค่าที่วัดได้ขณะก่อนทำการจำลองความเสื่อมสภาพ	191	0.0	22.5	44	2.87
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 6 ชม.	193	2.6	46	46	1.72
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 12 ชม.	191	-3.2	21.6	45	1.14
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 18 ชม.	191	0.9	23.6	44	1.23
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 24 ชม.	185	0.9	22.6	44	1.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.4.4 การเปรียบเทียบผลของกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.40 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.5 ชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

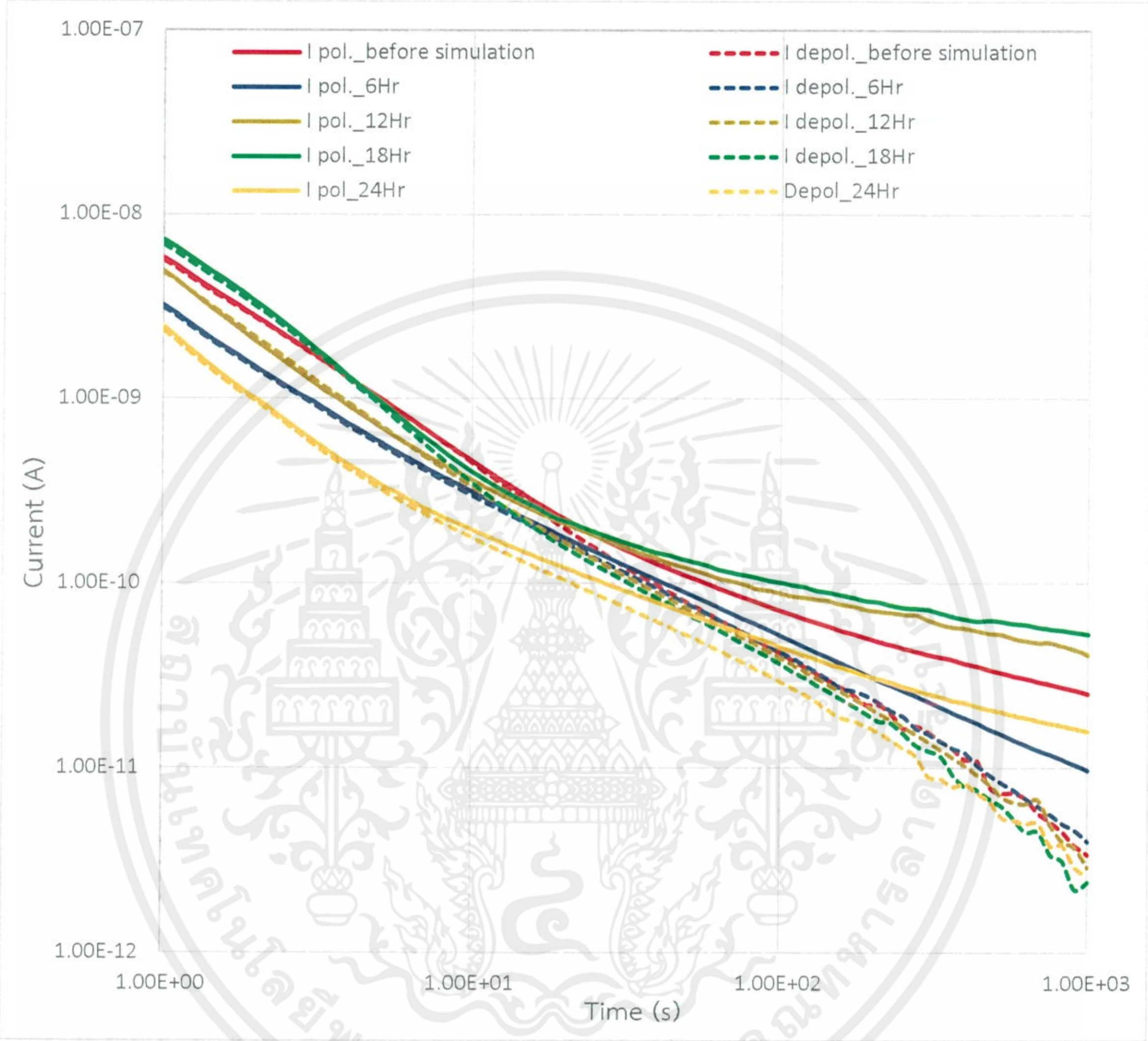
4.7.5.1 การเปรียบเทียบผลของค่าพารามิเตอร์ของชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.17 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

พารามิเตอร์ชิ้นทดสอบที่ 2	C (pF)	I_{re} (pA)	T (°C)	%RH	PI
ค่าที่วัดได้ขณะก่อนทำการจำลองความเสื่อมสภาพ	170	1.3	21.9	46	2.90
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 6 ชม.	177	-0.2	22.0	45	5.18
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 12 ชม.	172	-1.5	22.8	46	2.10
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 18 ชม.	168	-0.7	22.6	44	1.94
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 24 ชม.	172	-0.3	21.6	47	2.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.5.2 การเปรียบเทียบผลของกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.41 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.6 ชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

4.4.6.1 การเปรียบเทียบผลของค่าพารามิเตอร์ของชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

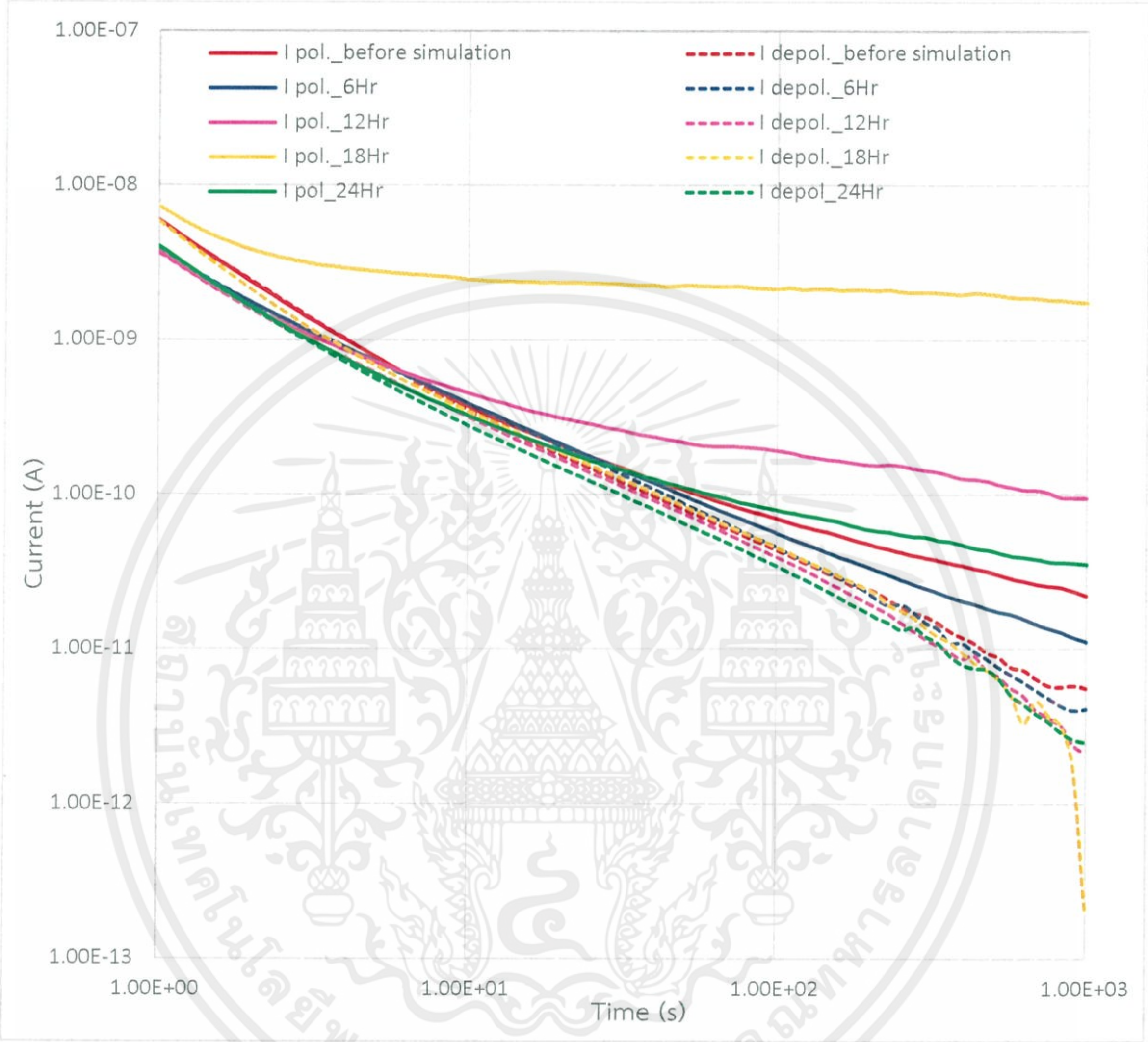
ตารางที่ 4.18 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

พารามิเตอร์ชิ้นทดสอบที่ 3	C (pF)	I_{re} (pA)	T (°C)	%RH	PI
ค่าที่วัดได้ขณะก่อนทำการจำลองความเสื่อมสภาพ	166	0.5	21.9	49	3.02
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 6 ชม.	158	0.5	21.8	45	4.86
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 12 ชม.	162	-1.3	22.0	47	1.84
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 18 ชม.	167	-2.1	22.1	46	1.16
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 24 ชม.	161	-0.3	21.6	48	2.38

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.6.2 การเปรียบเทียบผลของกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.42 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.7 ชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

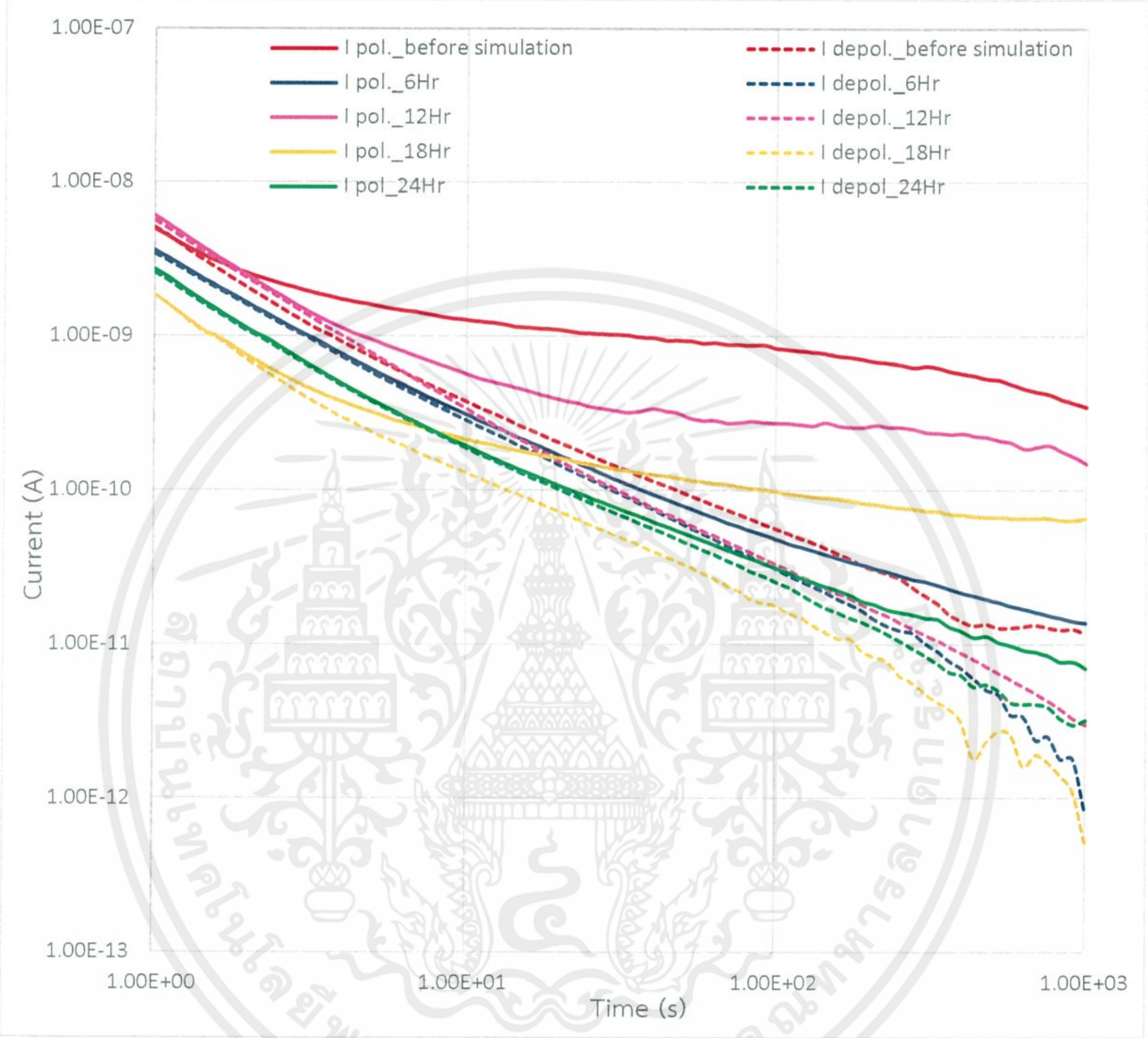
4.7.7.1 การเปรียบเทียบผลของค่าพารามิเตอร์ของชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.19 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

พารามิเตอร์ชิ้นทดสอบที่ 1	C (pF)	I_{re} (pA)	T (°C)	%RH	PI
ค่าที่วัดได้ขณะก่อนทำการจำลองความเสื่อมสภาพ	187	20.1	22.0	48	1.89
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 6 ชม.	183	-0.4	23.4	44	3.7
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 12 ชม.	191	0.2	21.9	46	1.44
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 18 ชม.	183	1.7	21.9	46	1.64
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 24 ชม.	184	-1.2	22.4	46	4.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.7.2 การเปรียบเทียบผลของกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.43 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.8 ชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

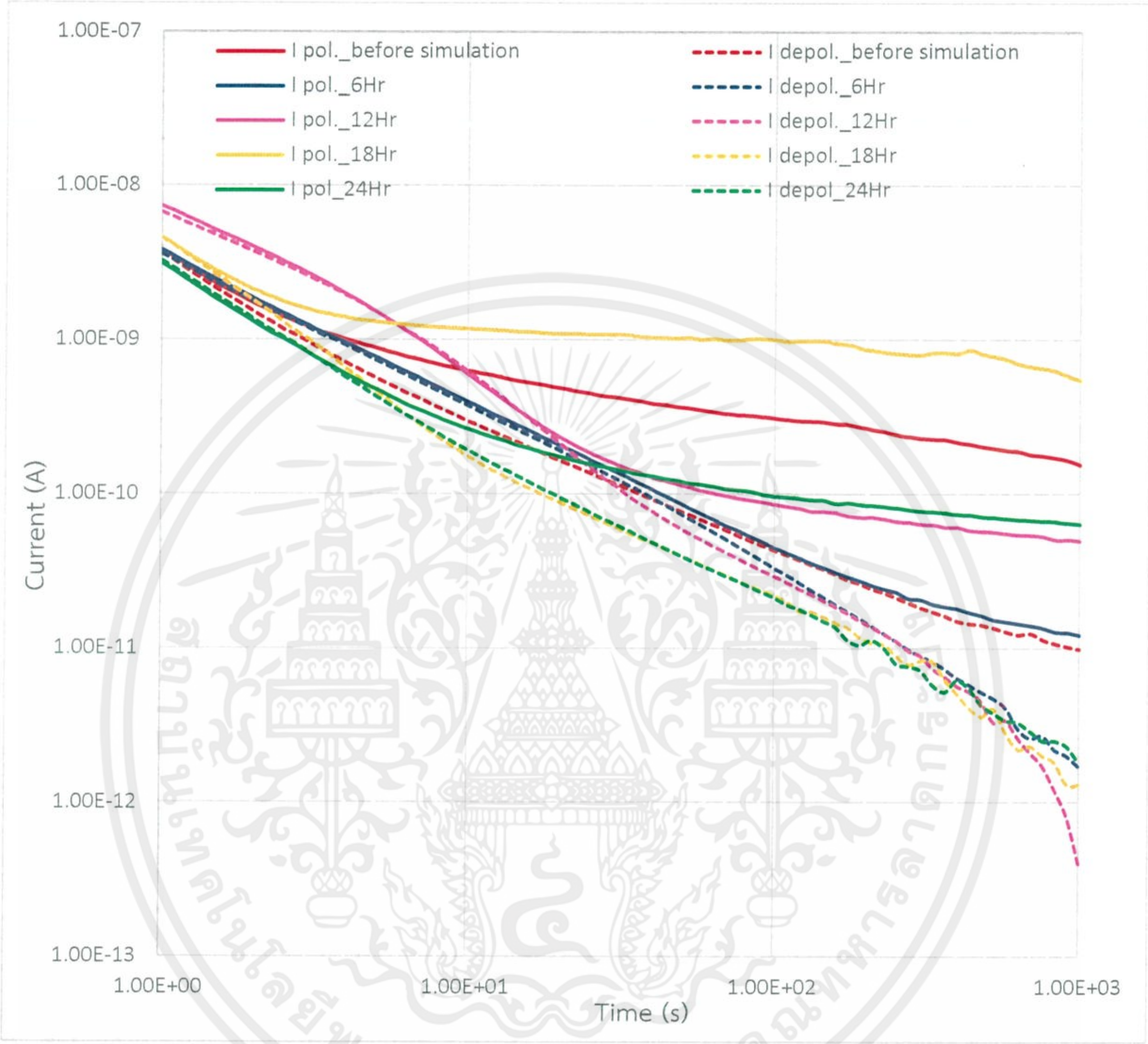
4.7.8.1 การเปรียบเทียบผลของค่าพารามิเตอร์ของชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.20 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

พารามิเตอร์ชิ้นทดสอบที่ 2	C (pF)	I_{re} (pA)	T (°C)	%RH	PI
ค่าที่วัดได้ขณะก่อนทำการจำลองความเสื่อมสภาพ	186	13.3	20.6	46	1.81
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 6 ชม.	183	-0.4	23.4	44	4.55
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 12 ชม.	190	-1.1	23.4	46	1.78
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 18 ชม.	187	-4.4	22.4	46	1.38
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 24 ชม.	176	0.3	22.6	41	1.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.8.2 การเปรียบเทียบผลของกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.44 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.9 ชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

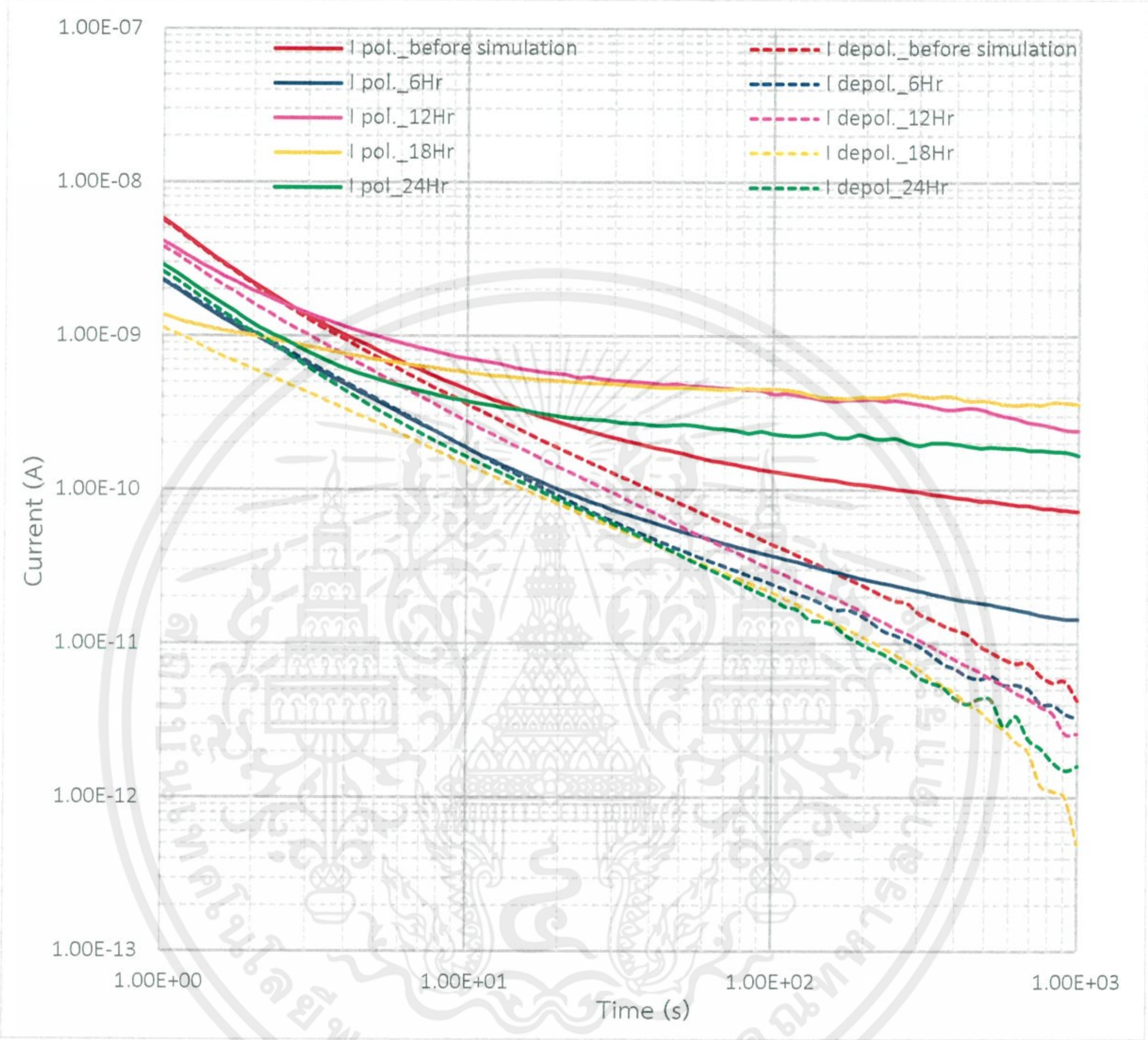
4.7.9.1 การเปรียบเทียบผลของค่าพารามิเตอร์ของชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.21 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

พารามิเตอร์ชิ้นทดสอบที่ 3	C (pF)	I_{re} (pA)	T (˚C)	%RH	PI
ค่าที่วัดได้ขณะก่อนทำการจำลองความเสื่อมสภาพ	195	2.6	21.1	47	1.86
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 6 ชม.	190	-0.2	22.6	43	2.59
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 12 ชม.	193	-0.6	22.5	46	1.54
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 18 ชม.	188	-0.2	22.0	45	1.25
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 24 ชม.	184	-0.9	22.8	45	1.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.9.2 การเปรียบเทียบผลของกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.45 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมงกับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.10 ชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

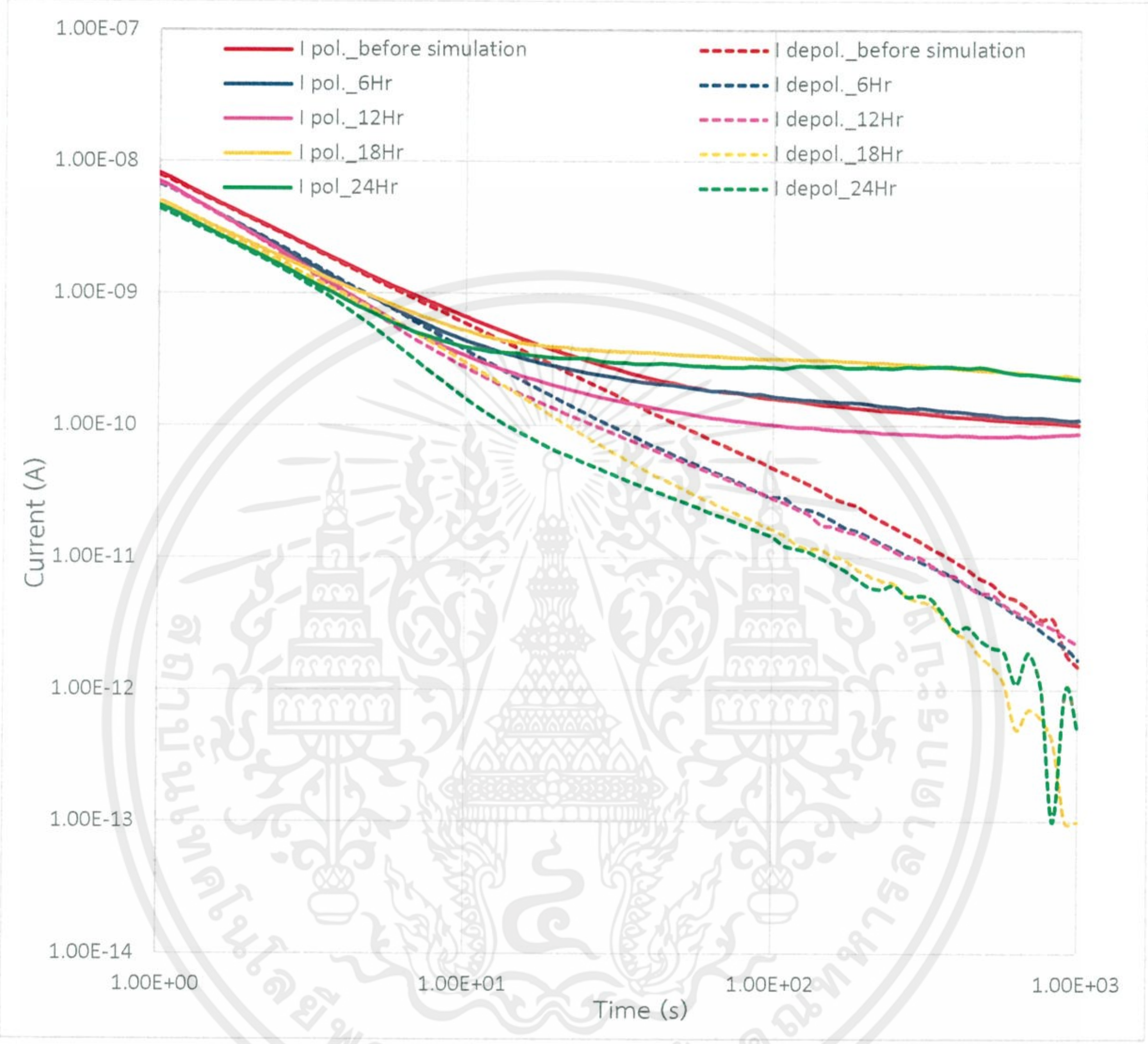
4.7.10.1 การเปรียบเทียบผลของค่าพารามิเตอร์ของชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.22 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

พารามิเตอร์ชิ้นทดสอบที่ 1	C (pF)	I_{re} (pA)	T (°C)	%RH	PI
ค่าที่วัดได้ขณะก่อนทำการจำลองความเสื่อมสภาพ	186	3.8	20.9	45	1.64
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 6 ชม.	186	-0.6	22.3	47	1.54
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 12 ชม.	186	-0.3	21.6	48	1.36
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 18 ชม.	155	-2.1	21.6	45	1.31
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 24 ชม.	161	0.5	24.0	45	1.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.10.2 การเปรียบเทียบผลของกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.46 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 220°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมงกับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.11 ชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

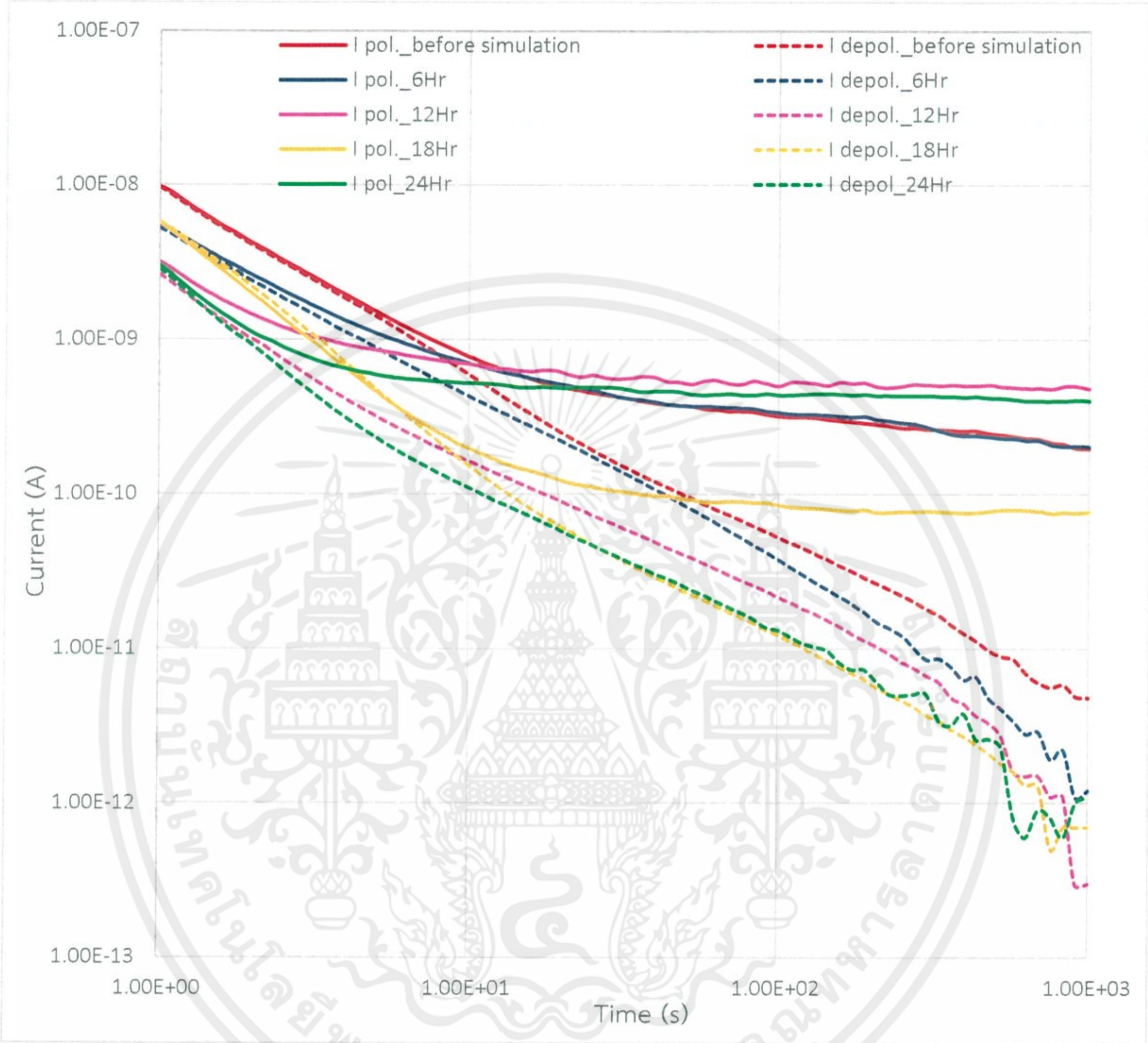
4.7.11.1 การเปรียบเทียบผลของค่าพารามิเตอร์ของชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.23 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

พารามิเตอร์ชิ้นทดสอบที่ 2	C (pF)	I_{re} (pA)	T (°C)	%RH	PI
ค่าที่วัดได้ขณะก่อนทำการจำลองความเสื่อมสภาพ	187	1.7	21.2	46	1.47
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 6 ชม.	187	1.1	21.3	45	1.57
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 12 ชม.	171	1.0	22.3	45	1.08
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 18 ชม.	164	1.0	22.8	45	1.09
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 24 ชม.	163	1.1	23.5	45	1.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.11.2 การเปรียบเทียบผลของกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.47 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 220°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.12 ชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียสของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

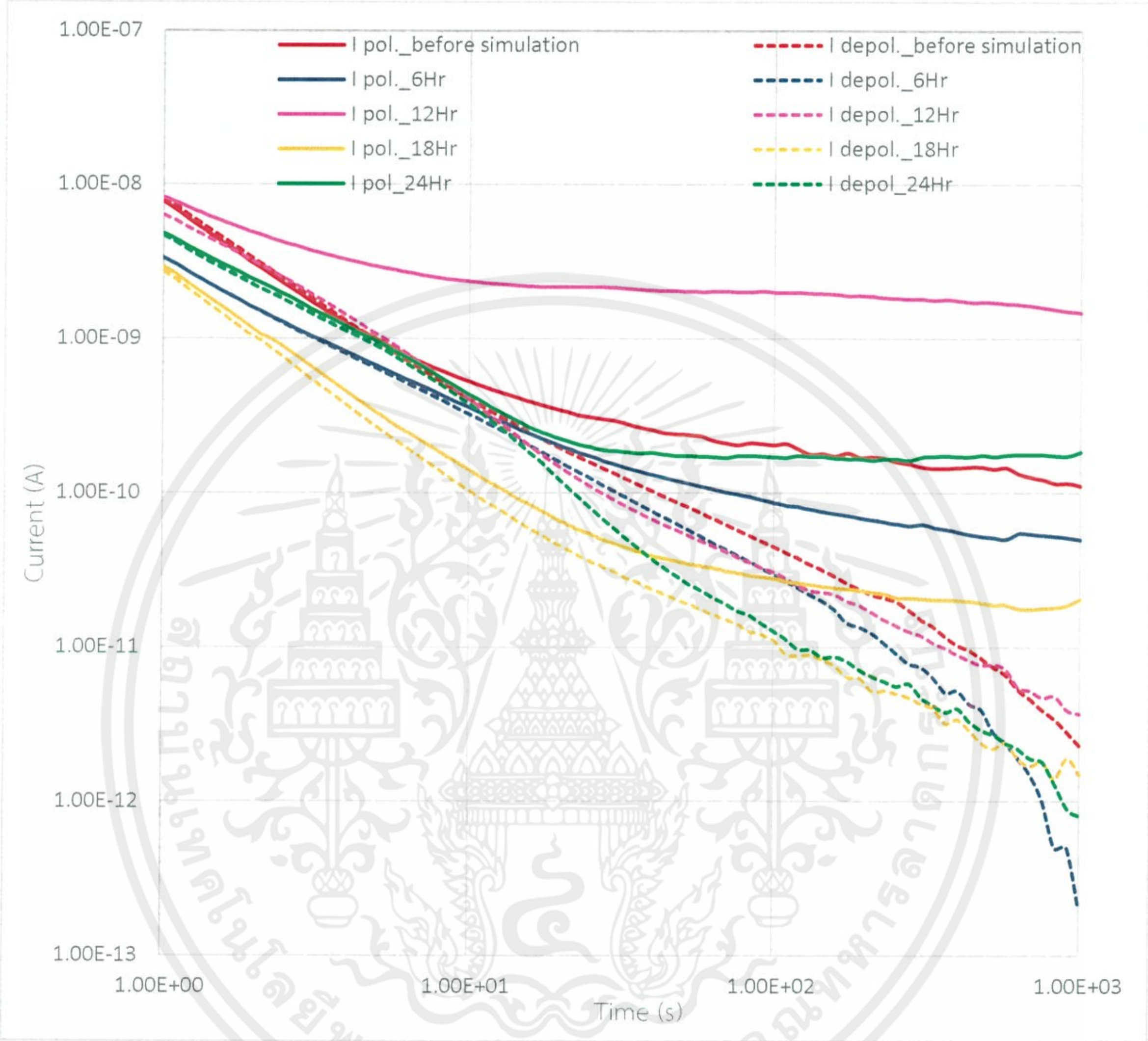
4.7.12.1 การเปรียบเทียบผลของค่าพารามิเตอร์ของชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.24 ค่าความจุไฟฟ้า (C), กระแสคงค้าง (I_{re}), อุณหภูมิ (T), ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) และค่าดัชนีเชิงขั้ว (PI) ของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

พารามิเตอร์ชิ้นทดสอบที่ 3	C (pF)	I_{re} (pA)	T (˚C)	%RH	PI
ค่าที่วัดได้ขณะก่อนทำการจำลองความเสื่อมสภาพ	188	2.1	21.8	49	1.53
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 6 ชม.	175	1.0	21.1	47	2.01
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 12 ชม.	169	2.8	21.5	47	1.20
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 18 ชม.	161	-0.6	22.4	47	1.54
ค่าที่วัดได้หลังทำการจำลองความเสื่อมสภาพเป็นเวลา 24 ชม.	160	1.0	22.3	45	0.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.12.2 การเปรียบเทียบผลของกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.48 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสโพลาไรซ์เซชันและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 220°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมงกับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

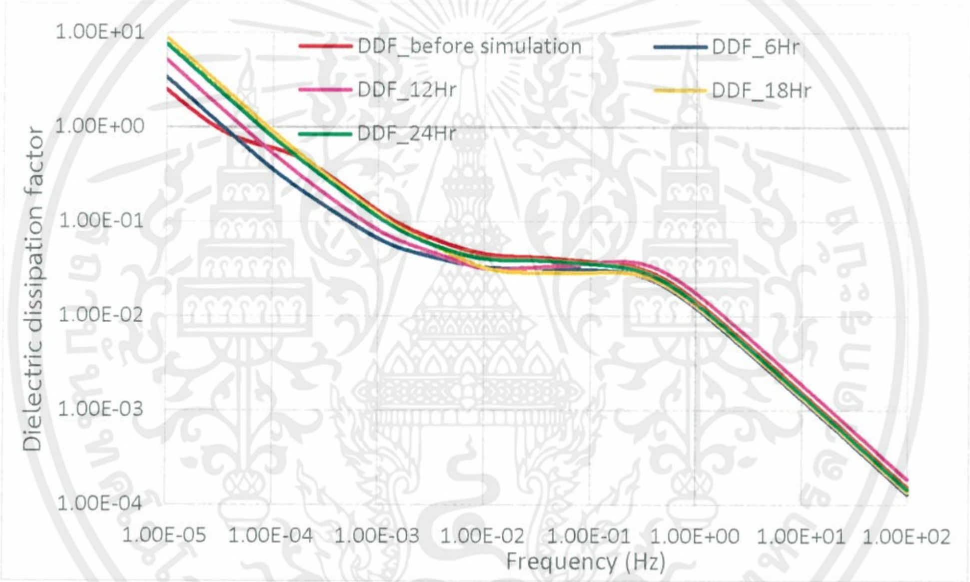
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 การวิเคราะห์แฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริก (Dielectric dissipation factor ; tan$\boldsymbol{\delta}$)ของชิ้นทดสอบมอเตอร์ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อน

ทำการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100, 140, 180 และ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของแต่ละชิ้นทดสอบ

4.8.1 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

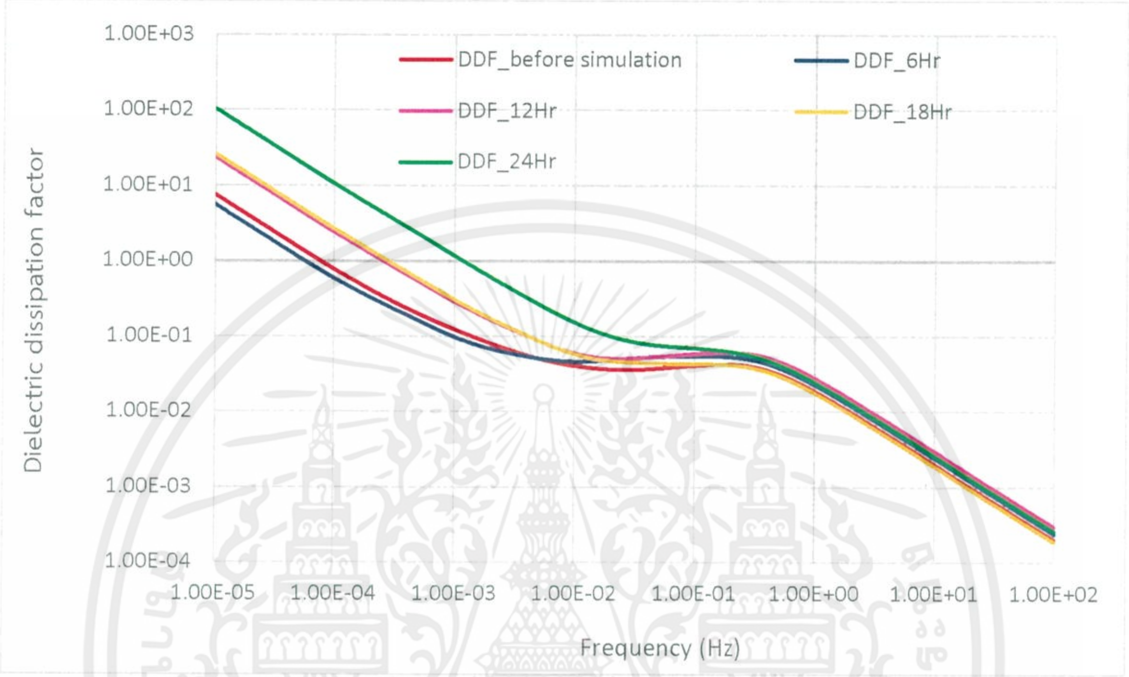


รูปที่ 4.49 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.2 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

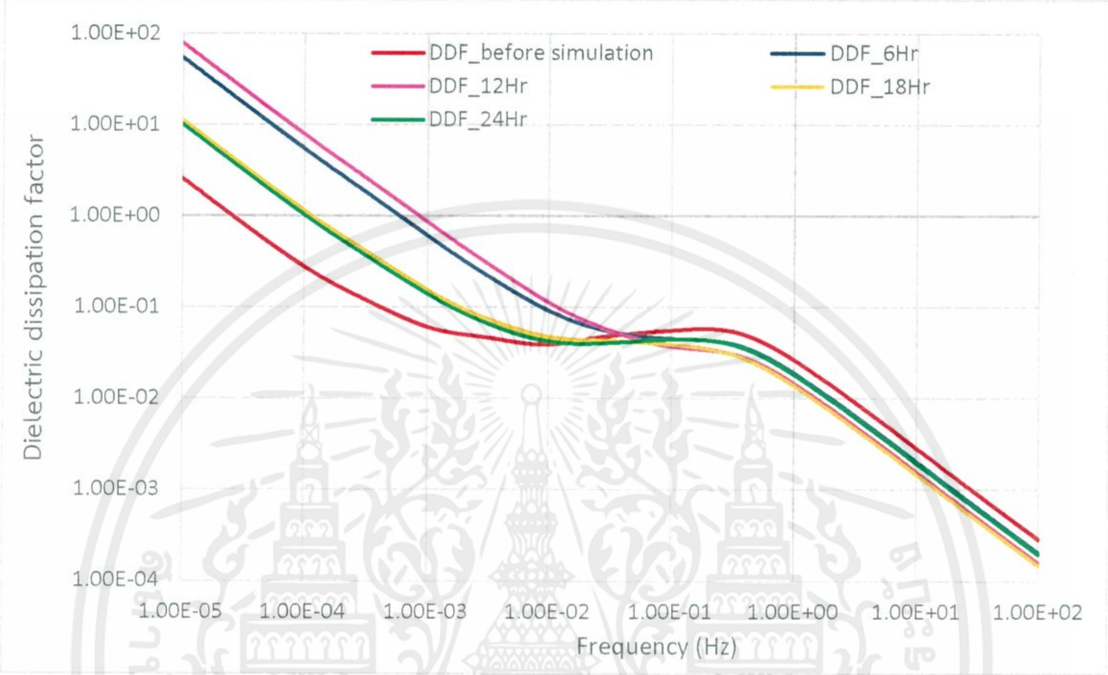


รูปที่ 4.50 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.3 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

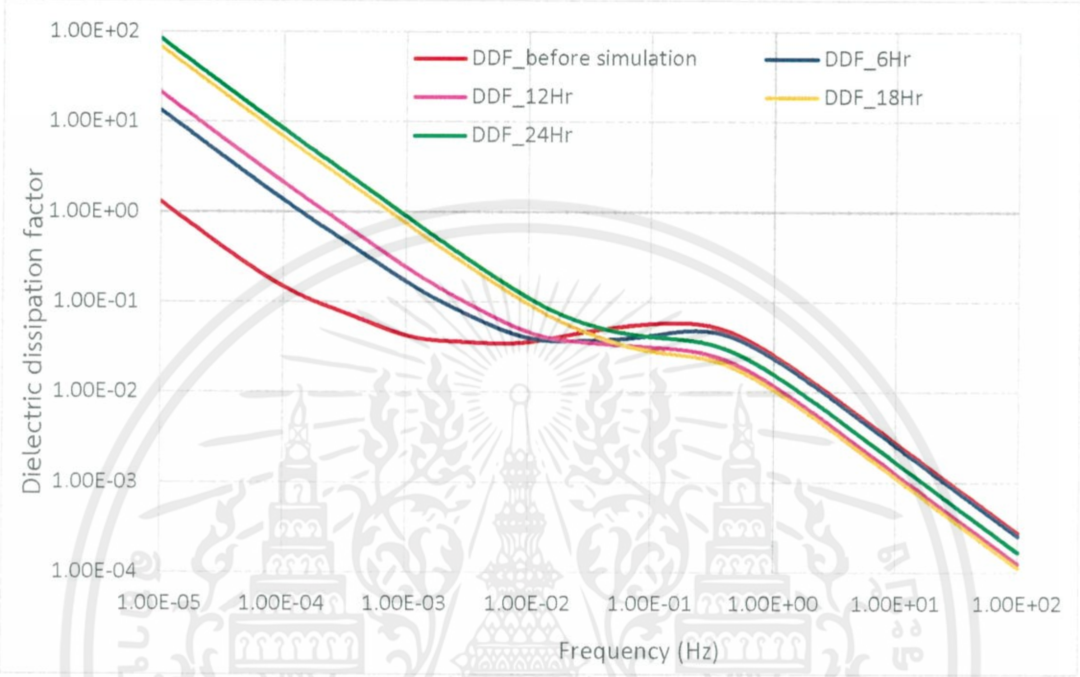


รูปที่ 4.51 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.4 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

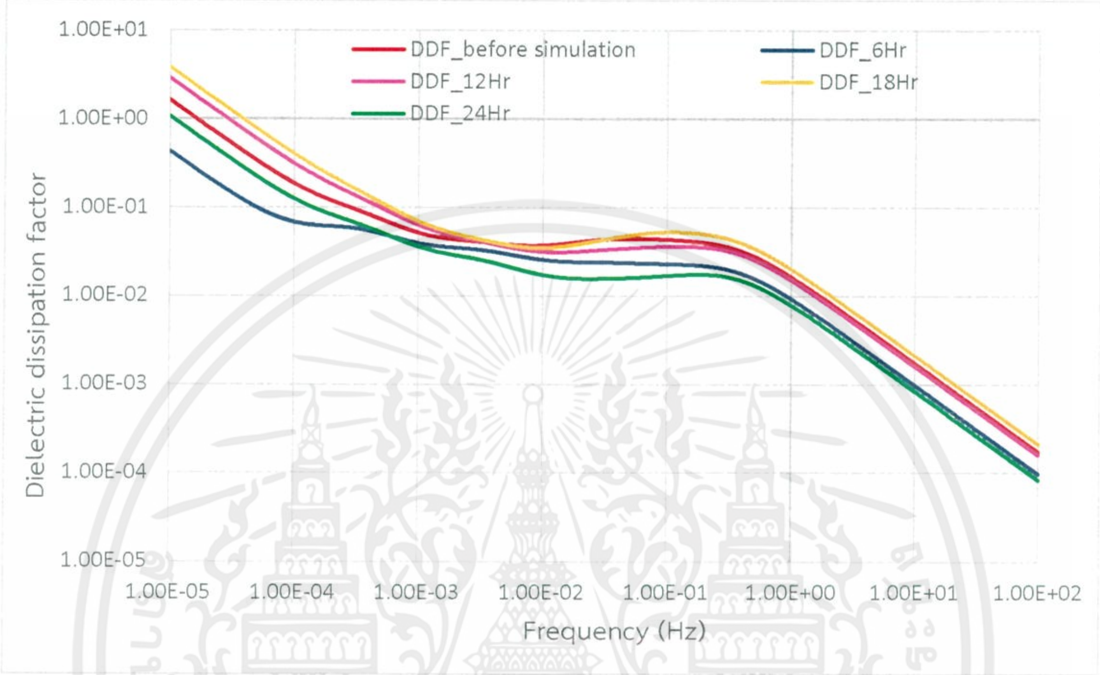


รูปที่ 4.52 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.5 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

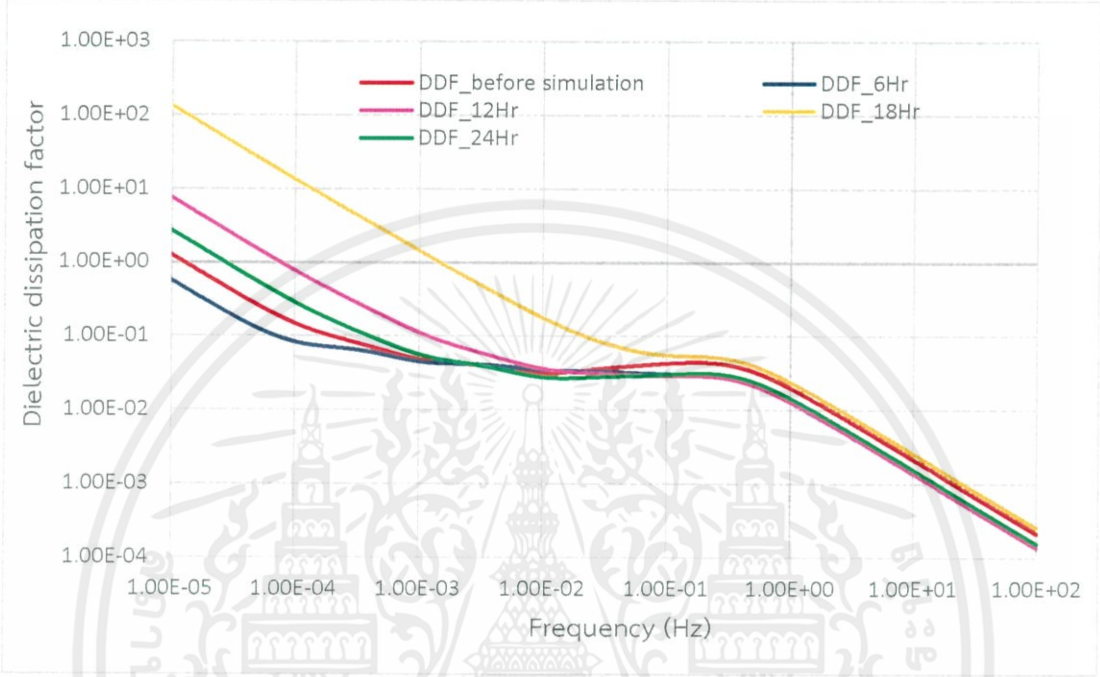


รูปที่ 4.53 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.6 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

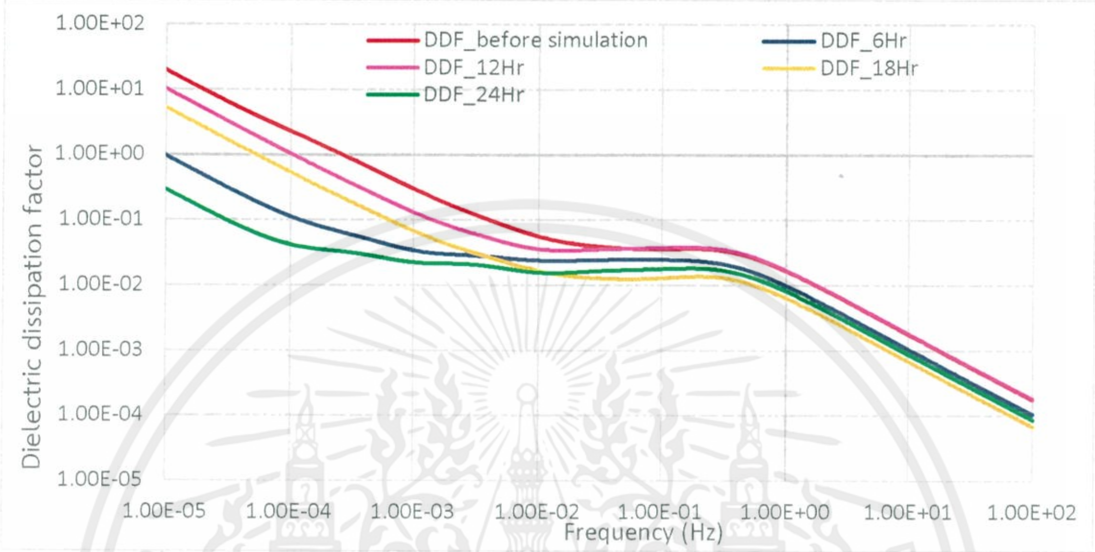


รูปที่ 4.54 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.7 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

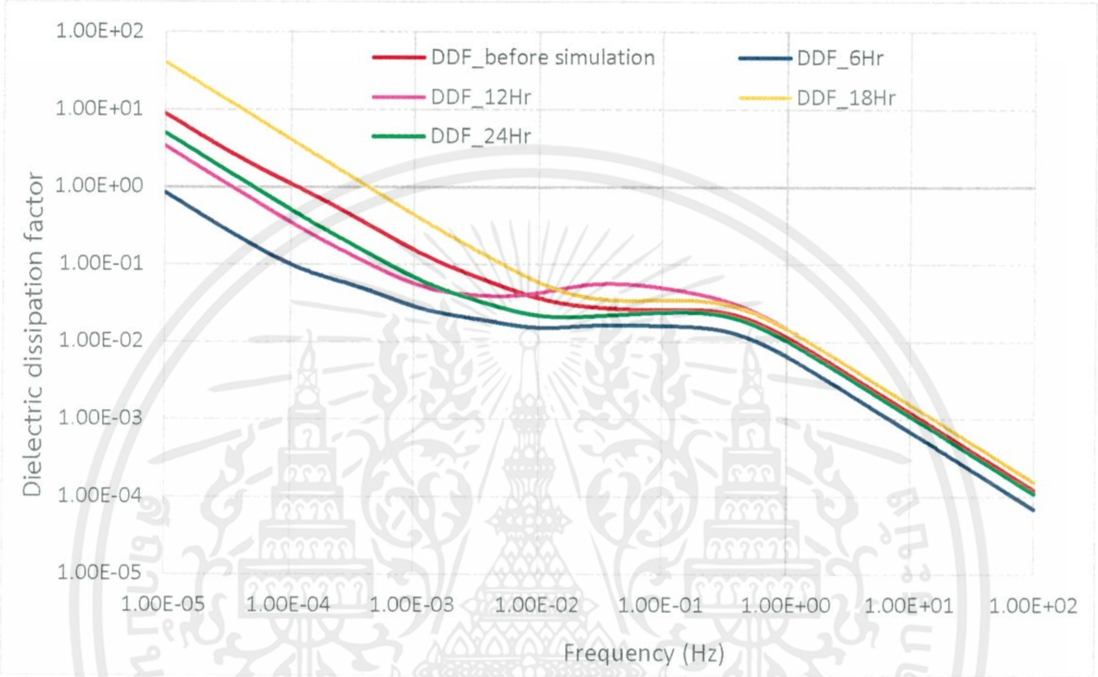


รูปที่ 4.55 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.8 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

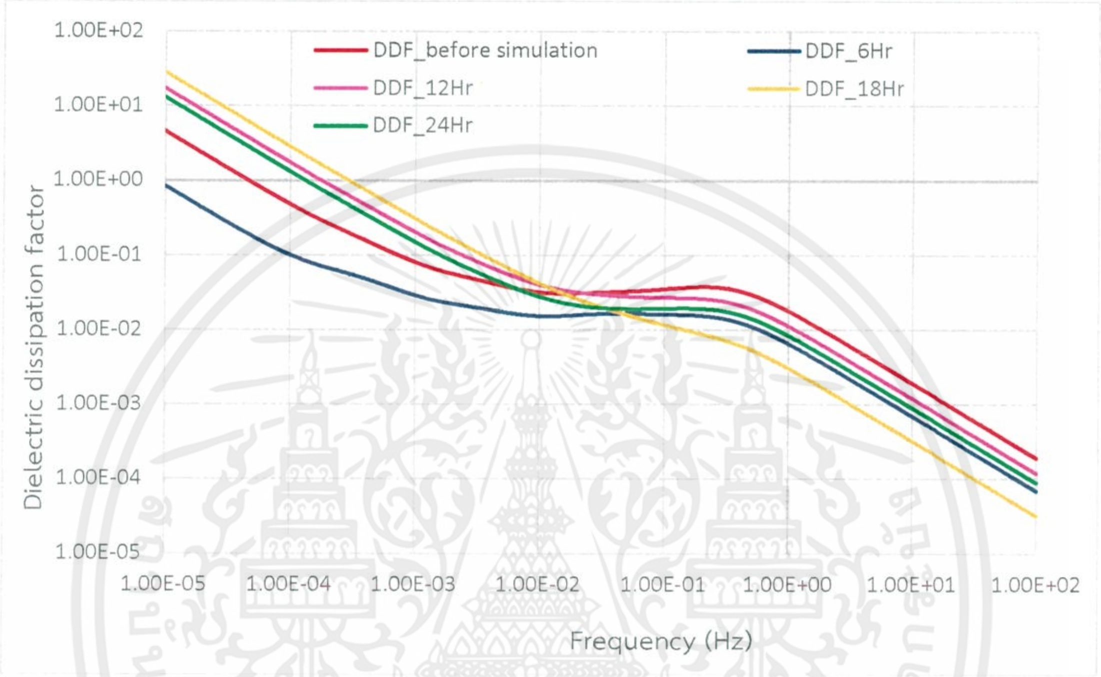


รูปที่ 4.56 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.9 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

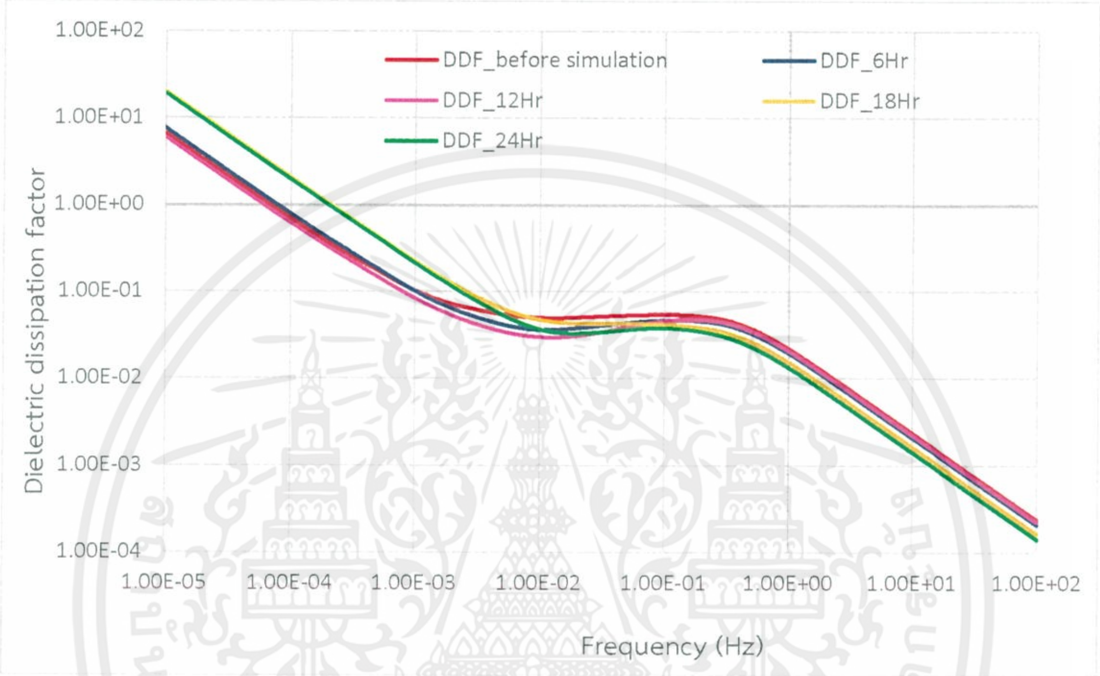


รูปที่ 4.57 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.10 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 220°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

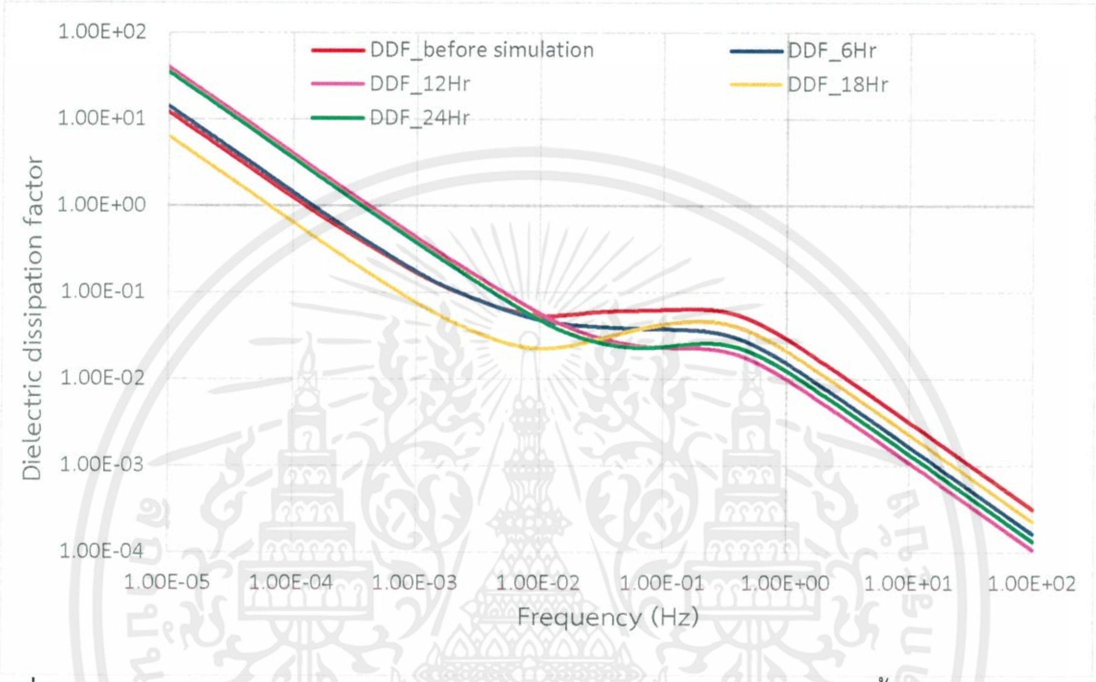


รูปที่ 4.58 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 220°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.11 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมงของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 220°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

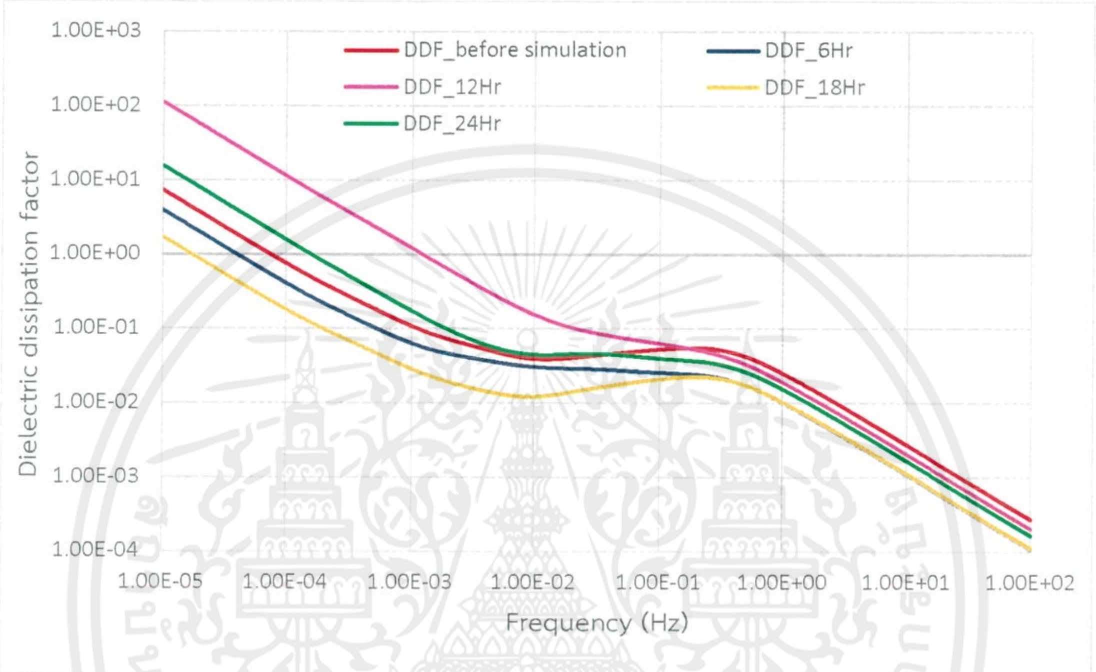


รูปที่ 4.59 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 220°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.12 การเปรียบเทียบแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 220°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.60 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 220°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

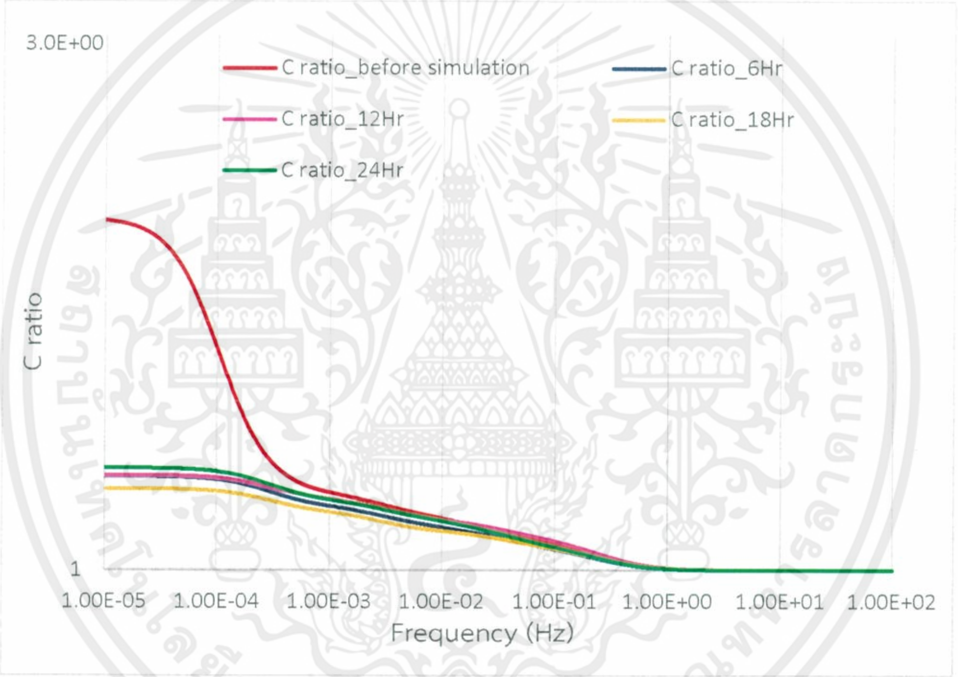
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 การวิเคราะห์อัตราส่วนค่าความเก็บประจุ (C ratio) ของชิ้นทดสอบมอเตอร์

ทำการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100, 140, 180 และ 220 เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมงของแต่ละชิ้นทดสอบ

4.9.1 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

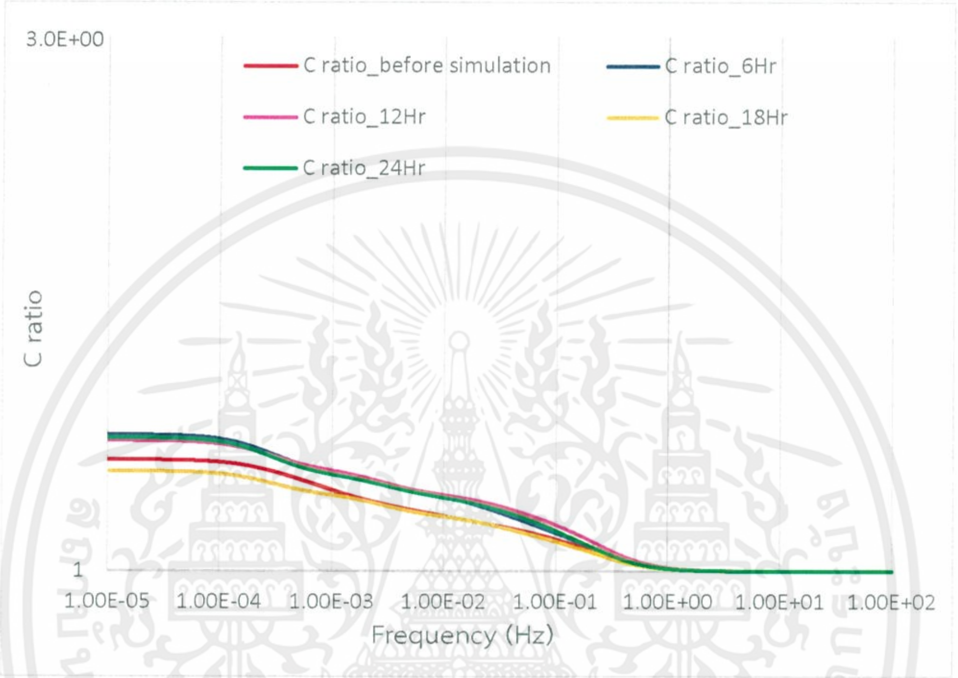


รูปที่ 4.61 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.2 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

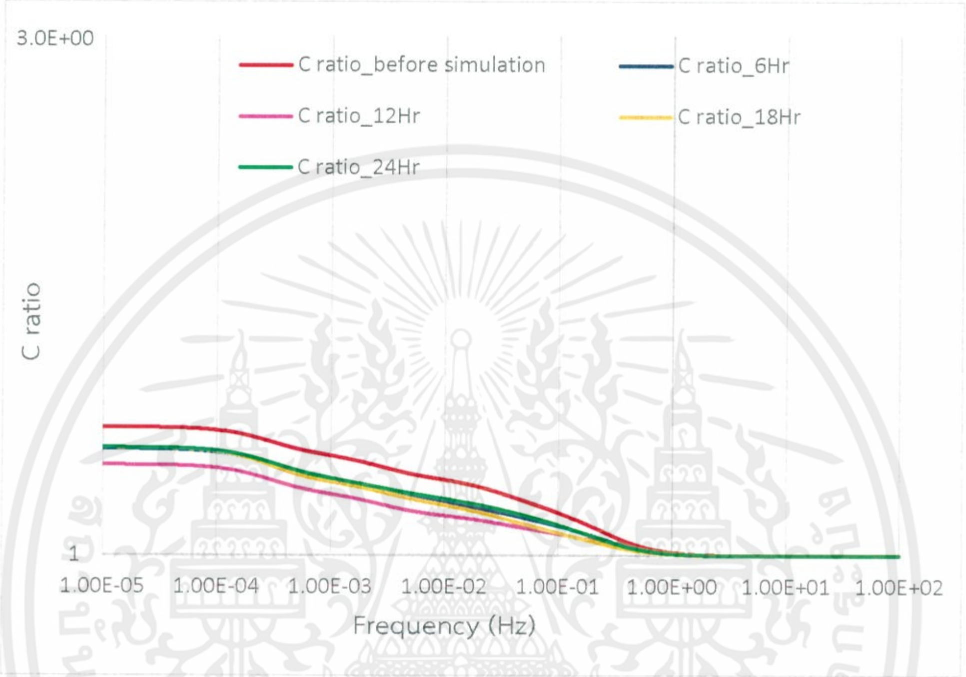


รูปที่ 4.62 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.3 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

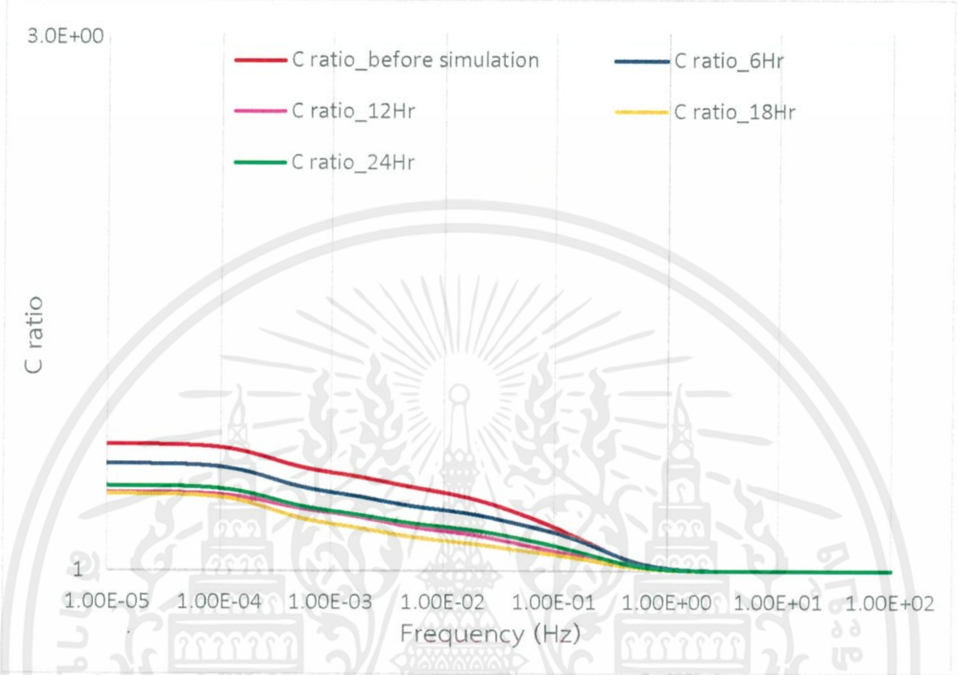


รูปที่ 4.63 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.4 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

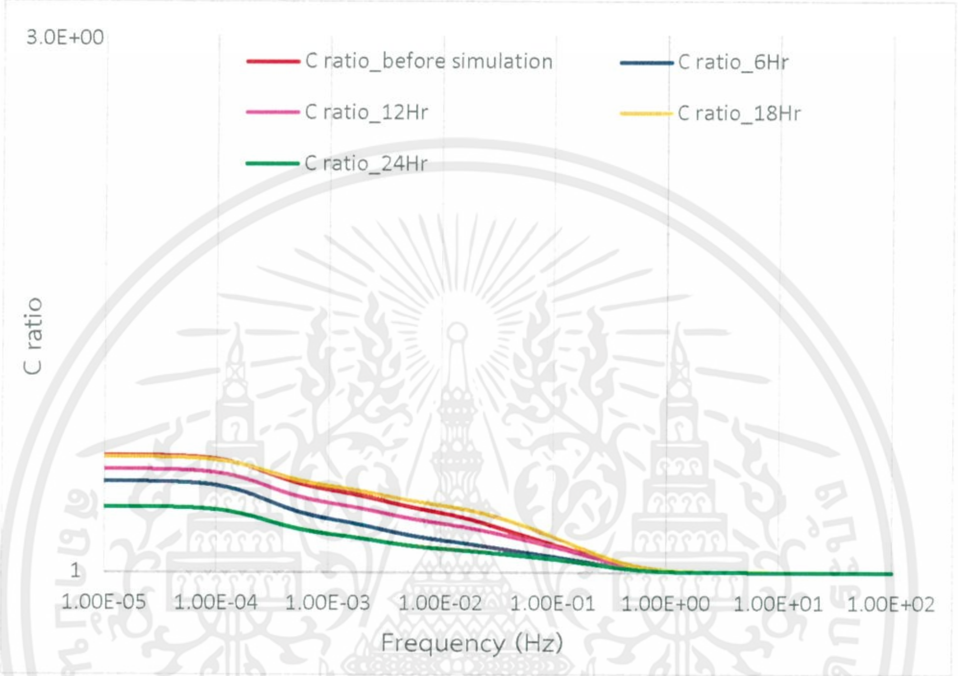


รูปที่ 4.64 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.5 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

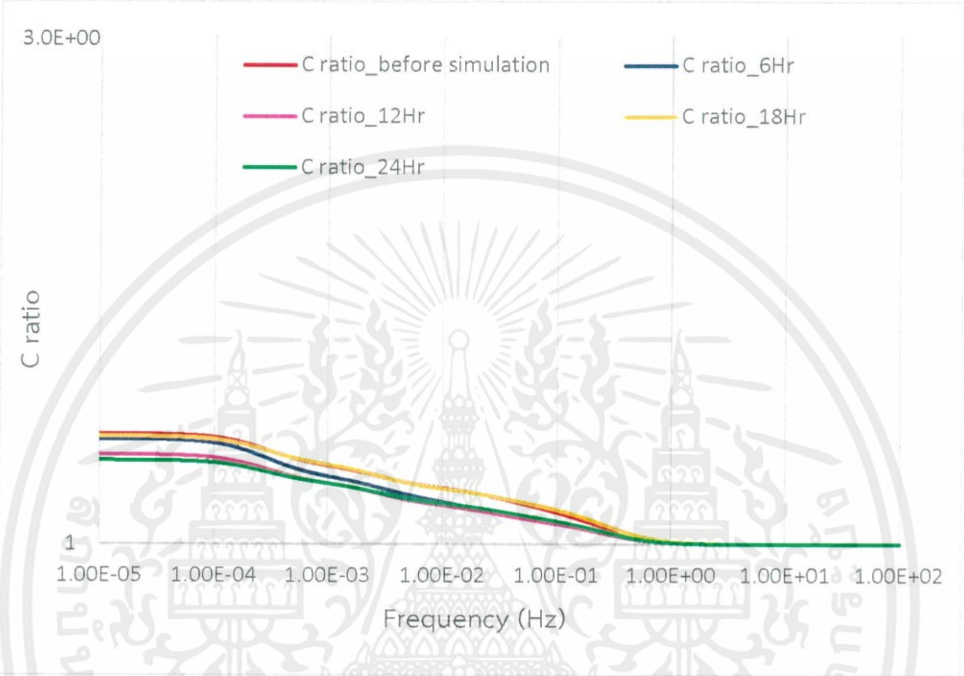


รูปที่ 4.65 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.6 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

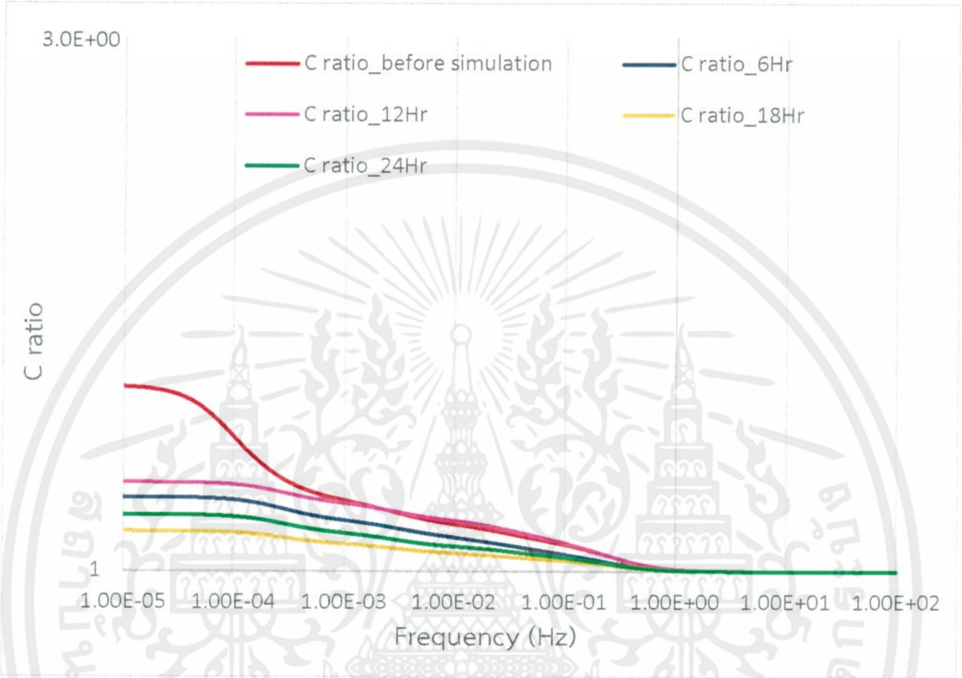


รูปที่ 4.66 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.7 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

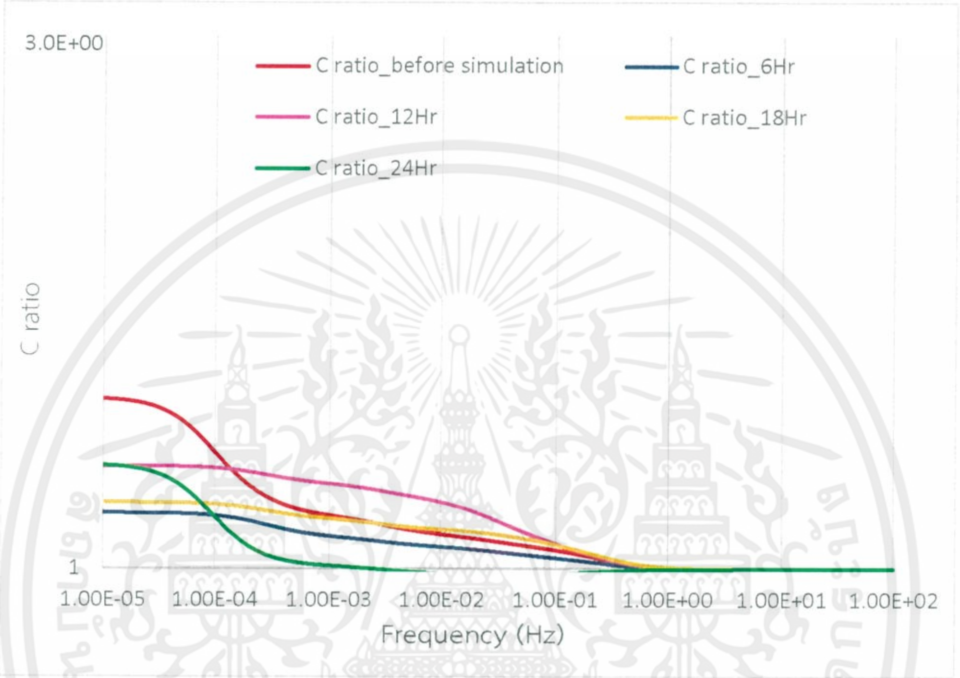


รูปที่ 4.67 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.8 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

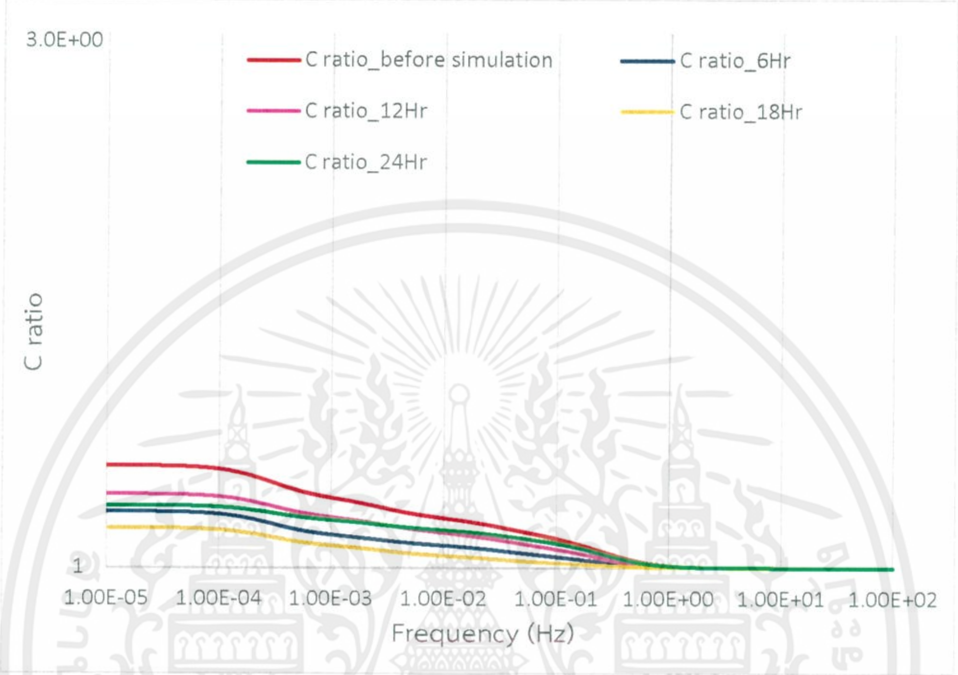


รูปที่ 4.68 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.9 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

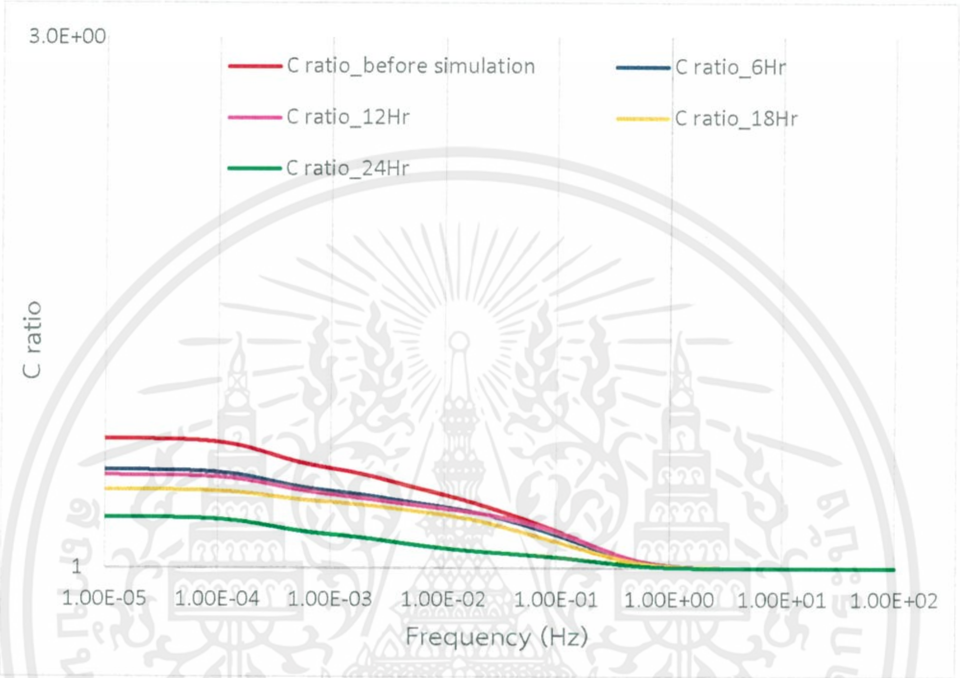


รูปที่ 4.69 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.10 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมงของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 220°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

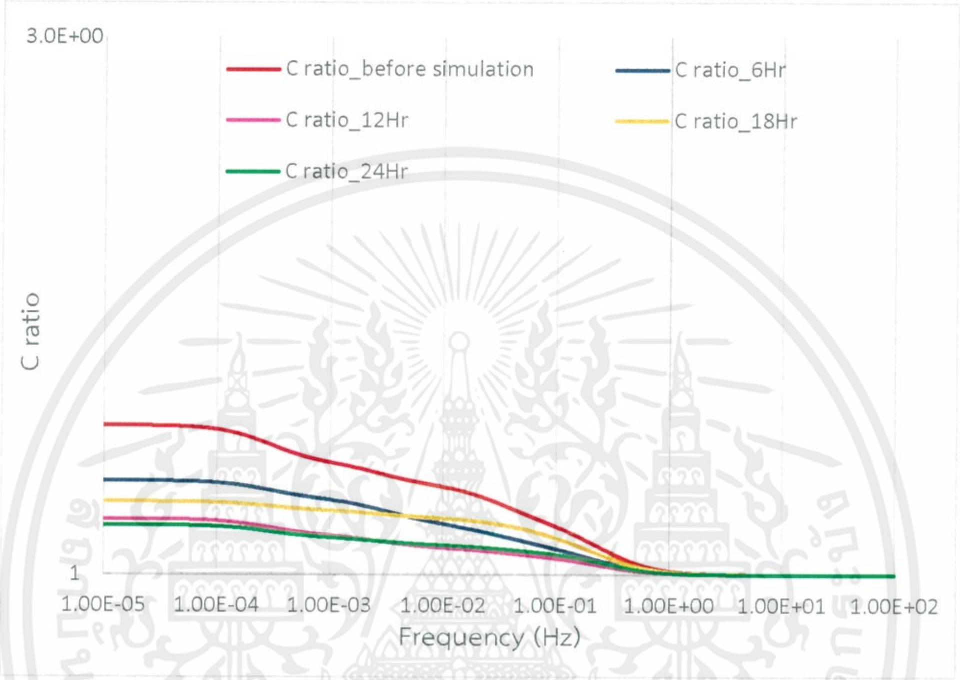


รูปที่ 4.72 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 220°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.11 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 220°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

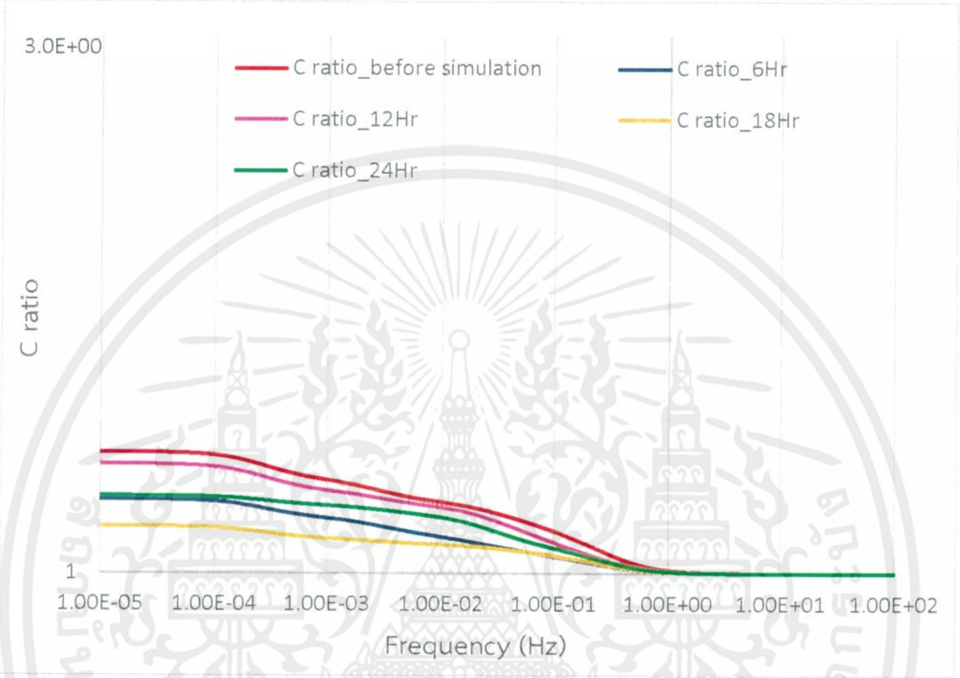


รูปที่ 4.71 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 220°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.12 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจำลองความเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 220°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.72 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 220°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง กับชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพของชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10 การวิเคราะห์ค่าดัชนีเชิงขั้ว (Polarization Index) ของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์

ทำการจัดกลุ่มค่าดัชนีเชิงขั้ว 1, 2, 3, 4 และ 5 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน 30 เปอร์เซ็นต์ ที่มีสาเหตุเนื่องมาจากก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพตามกรณีต่างๆดังนี้

1. ก่อนและหลังจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง

2. ก่อนและหลังจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง

3. ก่อนและหลังจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง

4 .ก่อนและหลังหลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความชื้น

5. ก่อนและหลังหลังการจำลองการเสื่อมสภาพเนื่องมาจากสิ่งเปรอะเปื้อน

4.10.1 ค่าดัชนีเชิงขั้วของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ 1

ค่าดัชนีเชิงขั้วเท่ากับ 1 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน 30 เปอร์เซ็นต์ (ค่าดัชนีเชิงขั้วระหว่าง 0.7 ถึง 1.3) ประกอบด้วย

1. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความชื้นของชิ้นทดสอบที่ 1 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 1.20
2. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความชื้นของชิ้นทดสอบที่ 2 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 1.27
3. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความชื้นของชิ้นทดสอบที่ 3 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 1.22

4.10.2 ค่าดัชนีเชิงขั้วของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ 2

ค่าดัชนีเชิงขั้วเท่ากับ 2 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน 30 เปอร์เซ็นต์ (ค่าดัชนีเชิงขั้วระหว่าง 1.7 ถึง 2.3) ประกอบด้วย

1. ก่อนการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหัภูมิ 100 องศาเซลเซียส ของชิ้นทดสอบที่ 1 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 2.09

2. ก่อนการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ของชิ้นทดสอบที่ 2 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 1.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10.3 ค่าดัชนีเชิงขั้วของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ 3

ค่าดัชนีเชิงขั้วเท่ากับ 3 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน 30 เปอร์เซ็นต์ (ค่าดัชนีเชิงขั้วระหว่าง 2.7 ถึง 3.3) ประกอบด้วย

1. ก่อนการจำลองการเสื่อมสภาพทางความชื้นของชิ้นทดสอบที่ 2 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 2.83

2. ก่อนการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ของชิ้นทดสอบที่ 3 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 2.89

3. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 1 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 2.72

4. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 3 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 3.13

5. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 1 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 2.72

6. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 3 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 2.71

7. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 3 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 3.25

8. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 2 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 3.05

9. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 3 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 2.81

10. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 3 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 3.15

11. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 2 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 3.23

4.10.4 ค่าดัชนีเชิงขั้วของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ 4

ค่าดัชนีเชิงขั้วเท่ากับ 4 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน 30 เปอร์เซ็นต์ (ค่าดัชนีเชิงขั้วระหว่าง 3.7 ถึง 4.3) ประกอบด้วย

1. ก่อนการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ของชิ้นทดสอบที่ 2 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 4.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 3 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 3.83

3. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 1 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 4.23

4. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 3 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 4.16

5. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 1 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 3.75

6. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 2 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 3.99

7. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 1 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 3.73

8. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 1 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 3.82

9. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 2 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 3.98

10. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 3 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 3.75

11. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 1 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 3.97

12. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 3 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 3.95

4.10.5 ค่าดัชนีเชิงขั้วของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ 5

ค่าดัชนีเชิงขั้วเท่ากับ 5 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน 30 เปอร์เซ็นต์ (ค่าดัชนีเชิงขั้วระหว่าง 4.7 ถึง 5.3) ประกอบด้วย

1. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 2 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 4.76

2. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 3 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 5.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.11 การวิเคราะห์ค่าดัชนีเชิงขั้ว (Polarization Index) ของชิ้นทดสอบมอเตอร์

ทำการจัดกลุ่มค่าดัชนีเชิงขั้ว 1, 2, 3, 4 และ 5 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน 30 เปอร์เซ็นต์ ที่มีสาเหตุเนื่องมาจากก่อนและหลังจำลองความเสื่อมสภาพตามกรณีต่างๆดังนี้

1. ก่อนและหลังจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

2. ก่อนและหลังจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

3. ก่อนและหลังจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

4. ก่อนและหลังจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

4.11.1 ค่าดัชนีเชิงขั้วของชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ 1

ค่าดัชนีเชิงขั้วเท่ากับ 1 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน 30 เปอร์เซ็นต์ (ค่าดัชนีเชิงขั้วระหว่าง 0.7 ถึง 1.3) ประกอบด้วย

1. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 2 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 1.27
2. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 3 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 1.06
3. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 1 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 1.14
4. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 1 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 1.23
5. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 3 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 1.16
6. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 1 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 1.10
7. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 3 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 1.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 2 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 1.08

9. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 3 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 1.20

10. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 1 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 1.09

11. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 1 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 1.10

12. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 2 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 1.07

13. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 3 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 0.96

4.11.2 ค่าดัชนีเชิงขั้วของชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ 2

ค่าดัชนีเชิงขั้วเท่ากับ 2 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน 30 เปอร์เซ็นต์ (ค่าดัชนีเชิงขั้วระหว่าง 1.7 ถึง 2.3) ประกอบด้วย

1. ก่อนการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ของชิ้นทดสอบที่ 1 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 1.71

2. ก่อนการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ของชิ้นทดสอบที่ 2 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 2.01

3. ก่อนการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ของชิ้นทดสอบที่ 3 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 2.13

4. ก่อนการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ของชิ้นทดสอบที่ 1 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 1.89

5. ก่อนการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ของชิ้นทดสอบที่ 2 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 1.81

6. ก่อนการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ของชิ้นทดสอบที่ 3 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 1.86

7. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 1 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 1.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 2 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 1.87

9. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 1 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 1.90

10. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 1 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 1.71

11. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 2 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 1.81

12. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 3 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 1.77

13. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 1 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 1.72

14. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 2 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 2.1

15. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 3 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 1.84

16. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 2 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 1.94

17. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 2 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 1.78

18. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 3 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 2.01

4.11.3 ค่าดัชนีเชิงขั้วของชิ้นทดสอบเจนมอเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ 3

ค่าดัชนีเชิงขั้วเท่ากับ 3 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน 30 เปอร์เซ็นต์ (ค่าดัชนีเชิงขั้วระหว่าง 2.7 ถึง 3.3) ประกอบด้วย

1. ก่อนการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ของชิ้นทดสอบที่ 1 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 2.87

2. ก่อนการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ของชิ้นทดสอบที่ 2 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 2.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ก่อนการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ของชิ้นทดสอบที่ 3 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 3.02

4. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 2 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 2.93

4.11.4 ค่าดัชนีเชิงขั้วของชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ 4

ค่าดัชนีเชิงขั้วเท่ากับ 4 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน 30 เปอร์เซ็นต์ (ค่าดัชนีเชิงขั้วระหว่าง 3.7 ถึง 4.3) ประกอบด้วย

1. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 1 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 3.70

2. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 1 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 4.09

4.11.5 ค่าดัชนีเชิงขั้วของชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ 5

ค่าดัชนีเชิงขั้วเท่ากับ 5 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน 30 เปอร์เซ็นต์ (ค่าดัชนีเชิงขั้วระหว่าง 4.7 ถึง 5.3) ประกอบด้วย

1. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 2 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 5.18

2. หลังการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ของชิ้นทดสอบที่ 3 ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่า 4.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ 4.1 การทดสอบวัดกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อน

• กรณีชิ้นทดสอบเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน ในการจำลองความเสื่อมสภาพโดยการอบชิ้นทดสอบ 3 ชิ้นจนเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมงตามลำดับ พบว่ากระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันในช่วงเริ่มต้นของชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพมีค่าสูงกว่ากระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพและมีค่าลดลงตามเวลาที่ใช้ในการอบ โดยค่าดัชนีเชิงขั้วหลังการจำลองความเสื่อมสภาพมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาที่อบ

• กรณีชิ้นทดสอบเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน ในการจำลองความเสื่อมสภาพโดยการอบชิ้นทดสอบ 3 ชิ้นจนเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมงตามลำดับ พบว่ากระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันในช่วงเริ่มต้นของชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพมีค่าสูงกว่ากระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพและมีค่าลดลงตามเวลาที่ใช้ในการอบแต่เมื่ออบที่ 36 ชั่วโมงกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม โดยค่าดัชนีเชิงขั้วหลังการจำลองความเสื่อมสภาพมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาที่อบแต่การอบที่ 36 ชั่วโมงค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่าลดลง

• กรณีชิ้นทดสอบเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน ในการจำลองความเสื่อมสภาพโดยการอบชิ้นทดสอบ 3 ชิ้นจนเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมงตามลำดับ พบว่ากระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันในช่วงเริ่มต้นของชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพมีค่าสูงกว่ากระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพและค่าลดลงตามเวลาที่ใช้ในการอบแต่เมื่ออบที่ 12 ชั่วโมงกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมและลดลงต่อไปตามเวลาที่อบ โดยค่าดัชนีเชิงขั้วหลังการจำลองความเสื่อมสภาพมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาที่อบแต่การอบที่ 24 ชั่วโมงค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่าลดลงและเพิ่มขึ้นในการอบที่ 36 ชั่วโมงมีค่าไม่เป็นแนวโน้ม

จากผลการทดลองที่ 4.2 การทดสอบวัดกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน

• กรณีชิ้นทดสอบเสื่อมสภาพเนื่องจากความชื้น ในการจำลองความเสื่อมสภาพโดยการแช่ชิ้นทดสอบ 3 ชิ้นในน้ำจนเสื่อมสภาพ พบว่ากระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันก่อนจำลองความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสื่อมสภาพมีค่าต่ำกว่ากระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพ โดยค่าดัชนีเชิงขั้วหลังการจำลองความเสื่อมสภาพมีค่าลดลงจากเดิมและมีค่าใกล้เคียงกับ 1

• กรณีชิ้นทดสอบเสื่อมสภาพเนื่องจากสิ่งเปรอะเปื้อน ในการจำลองความเสื่อมสภาพโดยการทาผงคาร์บอนบนชิ้นทดสอบ 3 ชิ้นจนเสื่อมสภาพ พบว่ากระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันก่อนจำลองความเสื่อมสภาพมีค่าต่ำกว่ากระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพ โดยค่าดัชนีเชิงขั้วหลังการจำลองความเสื่อมสภาพมีค่าลดลงจากเดิมไปและมีค่าใกล้เคียงกับ 2

จากผลการทดลองที่ 4.3 การวิเคราะห์แฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์

• กรณีชิ้นทดสอบเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง พบว่าในช่วงความถี่ต่ำกว่า 1 mHz แฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพจากความร้อนมีค่าต่ำกว่าของชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพและมีค่าลดลงตามเวลาที่ใช้ในการอบ และช่วงของความถี่สูงกว่า 1Hz แฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพจากความร้อนมีค่าต่ำกว่าของชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ

• กรณีชิ้นทดสอบเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง พบว่าในช่วงความถี่ต่ำกว่า 1 mHz แฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพจากความร้อนมีค่าต่ำกว่าของชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพและมีค่าลดลงตามเวลาที่ใช้ในการอบแต่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และช่วงของความถี่สูงกว่า 1Hz แฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพจากความร้อนมีต่ำกว่าของชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ

• กรณีชิ้นทดสอบเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง พบว่าในช่วงความถี่ต่ำกว่า 1 mHz แฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพจากความร้อนมีค่าต่ำกว่าของชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพและมีค่าลดลงตามเวลาที่ใช้ในการอบแต่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออบเป็นเวลา 24 ชั่วโมงและมีค่าลดลงเมื่ออบที่ 36 ชั่วโมง และช่วงของความถี่สูงกว่า 1Hz แฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพจากความร้อนมีต่ำกว่าของชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพแต่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออบเป็นเวลา 12 ชั่วโมงและมีค่าลดลงเมื่ออบเพิ่มขึ้น

จากผลการทดลองที่ 4.4 การวิเคราะห์แฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• กรณีชิ้นทดสอบเสื่อมสภาพเนื่องจากความชื้น ในการจำลองความเสื่อมสภาพโดยการแช่ชิ้นทดสอบ 3 ชิ้นในน้ำจนเสื่อมสภาพ พบว่าในช่วงความถี่ต่ำกว่า 1 mHz แฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพจากความชื้นมีค่าสูงกว่าของชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ และช่วงของความถี่สูงกว่า 1Hz แฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพจากความชื้นมีค่าสูงกว่าของชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ

• กรณีชิ้นทดสอบเสื่อมสภาพเนื่องจากสิ่งเปรอะเปื้อน ในการจำลองความเสื่อมสภาพโดยการทาผงคาร์บอนบนชิ้นทดสอบ 3 ชิ้นจนเสื่อมสภาพ พบว่าช่วงของความถี่สูงกว่า 1Hz แฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพจากสิ่งเปรอะเปื้อนมีค่าสูงกว่าของชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ

จากการทดลองที่ 4.5 การวิเคราะห์อัตราส่วนค่าความเก็บประจุ (C ratio) ของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์

• กรณีชิ้นทดสอบเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง พบว่าในช่วงความถี่ต่ำกว่า 1 mHz อัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพจากความร้อนมีต่ำกว่าของชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพและมีค่าลดลงตามเวลาที่ใช้ในการอบ และช่วงของความถี่สูง 1 Hz อัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบมีค่าเท่ากัน

• กรณีชิ้นทดสอบเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง พบว่าในช่วงความถี่ต่ำกว่า 1 mHz อัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพจากความร้อนมีต่ำกว่าของชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพและหลังการอบมีค่าใกล้เคียงกันและช่วงของความถี่สูง 1 Hz อัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบมีค่าเท่ากัน

• กรณีชิ้นทดสอบเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 6, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง พบว่าในช่วงความถี่ต่ำกว่า 1 mHz อัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพจากความร้อนมีต่ำกว่าของชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพและมีค่าลดลงตามเวลาที่ใช้ในการอบแต่เมื่ออบที่ 36 ชั่วโมงมีค่าเพิ่มขึ้น และช่วงของความถี่สูง 1 Hz อัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบมีค่าเท่ากัน

จากการทดลองที่ 4.6 การวิเคราะห์อัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความทางความชื้นและสิ่งเปรอะเปื้อน

• กรณีชิ้นทดสอบเสื่อมสภาพเนื่องจากความชื้น ในการจำลองความเสื่อมสภาพโดยการแช่ชิ้นทดสอบ 3 ชิ้นในน้ำจนเสื่อมสภาพ พบว่าในช่วงความถี่ต่ำกว่า 1 mHz อัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพจากความชื้นมีค่าต่ำกว่าของชิ้นทดสอบก่อนจำลองความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสื่อมสภาพและมีค่าลดลงตามเวลาที่ใช้ในการอบ และช่วงของความถี่สูง 1 Hz อัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบมีค่าเท่ากัน

• กรณีชิ้นทดสอบเสื่อมสภาพเนื่องจากสิ่งเปรอะเปื้อน ในการจำลองความเสื่อมสภาพโดยการทาผงคาร์บอนบนชิ้นทดสอบ 3 ชิ้นจนเสื่อมสภาพ พบว่าในช่วงความถี่ต่ำกว่า 1 mHz อัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพจากสิ่งเปรอะเปื้อนมีค่าต่ำกว่าของชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพและมีค่าลดลงตามเวลาที่ใช้ในการอบ และช่วงของความถี่สูง 1 Hz อัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบมีค่าเท่ากัน

จากการทดลองที่ 4.7 การทดสอบวัดกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบมอเตอร์ที่ผ่านการจำลองการเสื่อมสภาพทางความร้อน

• กรณีชิ้นทดสอบเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน ในการจำลองความเสื่อมสภาพโดยการอบชิ้นทดสอบ 3 ชิ้นจนเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ พบว่ากระแสโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงไม่เป็นแนวโน้มแต่ในช่วงการทดสอบที่เวลามากกระแสดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบก่อนและหลังการจำลองความเสื่อมสภาพมีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่าดัชนีเชิงขั้วหลังการจำลองความเสื่อมสภาพมีค่ามีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงไม่เป็นแนวโน้ม

• กรณีชิ้นทดสอบเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน ในการจำลองความเสื่อมสภาพโดยการอบชิ้นทดสอบ 3 ชิ้นจนเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ พบว่ากระแสโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพมีค่าลดลงจากชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพเมื่ออบเป็นเวลา 6 ชั่วโมง และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออบเป็นเวลา 12 และ 18 ชั่วโมงและลดลงอีกครั้งเมื่ออบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แต่ในช่วงการทดสอบที่เวลามากกระแสดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบก่อนและหลังการจำลองความเสื่อมสภาพมีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่าดัชนีเชิงขั้วหลังการจำลองความเสื่อมสภาพมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออบชิ้นทดสอบเป็นเวลา 6 ชั่วโมงและมีค่าลดลงตามเวลาที่ใช้ในการอบแต่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

• กรณีชิ้นทดสอบเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน ในการจำลองความเสื่อมสภาพโดยการอบชิ้นทดสอบ 3 ชิ้นจนเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ พบว่ากระแสโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงไม่เป็นแนวโน้มและกระแสดีโพลาไรซ์เซชันในช่วงเวลามากของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพมีค่าน้อยกว่ากระแสดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ และมีค่าลดลงตามเวลาที่ใช้ในการอบ โดยค่าดัชนีเชิงขั้วหลังการจำลองความเสื่อมสภาพมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออบเป็นเวลา 6 ชั่วโมงและมีแนวโน้มลดลงตามเวลาที่ใช้ในการอบเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• กรณีชิ้นทดสอบเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน ในการจำลองความเสื่อมสภาพโดยการอบชิ้นทดสอบ 3 ชิ้นจนเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิ 220°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ พบว่ากระแสโพลาไรซ์เซชันในช่วงเวลามากของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพมีลักษณะเป็นเส้นตรงที่มีค่าคงที่มากขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการอบ และกระแสดีโพลาไรซ์เซชันในช่วงเวลามากของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพมีค่าน้อยกว่ากระแสดีโพลาไรซ์เซชันของชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพและมีค่าลดลงตามเวลาที่ใช้ในการอบ โดยค่าดัชนีเชิงขั้วหลังการจำลองความเสื่อมสภาพมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออบเป็นเวลา 6 ชั่วโมงและมีแนวโน้มลดลงตามเวลาที่ใช้ในการอบเพิ่มขึ้น

จากการทดลองที่ 4.8 การวิเคราะห์แฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบมอเตอร์

• กรณีชิ้นทดสอบเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง พบว่าในช่วงความถี่ต่ำกว่า 1 mHz แฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพจากความร้อนมีค่าต่ำกว่าของชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ และช่วงของความถี่สูงกว่า 1Hz แฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพจากความร้อนมีต่ำกว่าของชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ

• กรณีชิ้นทดสอบเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง พบว่าในช่วงความถี่ต่ำกว่า 1 mHz แฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพจากความร้อนมีแนวโน้มในการเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการอบ และช่วงของความถี่สูงกว่า 1Hz แฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพจากความร้อนมีต่ำกว่าของชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพแต่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออบเป็นเวลา 18 ชั่วโมงและมีค่าลดลงเมื่ออบเพิ่มขึ้น

• กรณีชิ้นทดสอบเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง พบว่าในช่วงความถี่ต่ำกว่า 1 mHz แฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพจากความร้อนมีค่าต่ำกว่าของชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพแต่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออบเป็นเวลา 12 ชั่วโมง และช่วงของความถี่สูงกว่า 1Hz แฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพจากความร้อนมีต่ำกว่าของชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ

• กรณีชิ้นทดสอบเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 220°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง พบว่าในช่วงความถี่ต่ำกว่า 1 mHz แฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพจากความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงไม่เป็นแนวโน้มแต่เมื่ออบเป็นเวลา 18 และ 24 ชั่วโมงแฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกมีค่าสูง และช่วงของความถี่สูงกว่า 1Hz แฟกเตอร์ความสูญเสียไดอิเล็กตริกของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพจากความร้อนมีต่ำกว่าของชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองที่ 4.9 การวิเคราะห์อัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบมอเตอร์

• กรณีชิ้นทดสอบเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง พบว่าในช่วงความถี่ต่ำกว่า 1 mHz อัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพจากความร้อนมีค่าต่ำกว่าของชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพ และช่วงของความถี่สูง 1Hz อัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบมีค่าเท่ากัน

• กรณีชิ้นทดสอบเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง พบว่าในช่วงความถี่ต่ำกว่า 1 mHz อัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพจากความร้อนมีค่าต่ำกว่าของชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพและมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้เวลาในการอบเพิ่มขึ้น และช่วงของความถี่สูง 1Hz อัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบมีค่าเท่ากัน

• กรณีชิ้นทดสอบเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง พบว่าในช่วงความถี่ต่ำกว่า 1 mHz อัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพจากความร้อนมีค่าต่ำกว่าของชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพแต่มีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงไม่เป็นแนวโน้มแนว และช่วงของความถี่สูง 1Hz อัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบมีค่าเท่ากัน

• กรณีชิ้นทดสอบเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิ 220°C เป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง พบว่าในช่วงความถี่ต่ำกว่า 1 mHz อัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพจากความร้อนมีค่าต่ำกว่าของชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพแต่มีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงไม่เป็นแนวโน้มแนว และช่วงของความถี่สูง 1Hz อัตราส่วนค่าความเก็บประจุของชิ้นทดสอบมีค่าเท่ากัน

จากการทดลองที่ 4.10 การวิเคราะห์ค่าดัชนีเชิงขั้วของชิ้นทดสอบเจนเนอเรเตอร์

จากการวิเคราะห์ดัชนีเชิงขั้ว พบว่าชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความชื้นมีค่าดัชนีเชิงขั้วเท่ากับ 1 ชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพมีค่าดัชนีเชิงขั้วเท่ากับ 2 ชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพและชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่ 100°C เป็นเวลา 6 และ 12 ชั่วโมง และชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่ 160°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมงมีค่าดัชนีเชิงขั้วเท่ากับ 3 ชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่ 100°C เป็นเวลา 36 ชั่วโมง และชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่ 130°C เป็นเวลา 12 และ 24 ชั่วโมง และชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่ 160°C เป็นเวลา 24 และ 36 ชั่วโมงมีค่าดัชนีเชิงขั้วเท่ากับ 4 และชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่ 130°C เป็นเวลา 12 และ 24 ชั่วโมงบางชิ้นมีค่าดัชนีกลับขั้วเท่ากับ 5 แสดงให้เห็นว่าการจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความชื้นส่งผลให้ดัชนีเชิงขั้วมีค่าลดลงเท่ากับ 1 การจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่ 100°C ส่งผลให้ค่าดัชนีเชิงขั้วมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และการจำลองความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่ 130°C และ 160°C เป็นเวลานาน ส่งผลให้ดัชนีเชิงขั้วมีมีค่าเพิ่มขึ้นมากเป็น 4 และ 5 ซึ่งเป็นการทดสอบที่อุณหภูมิพิกัดฉนวนและอุณหภูมิสูงกว่าพิกัดฉนวนเป็นเวลานานและมีโอกาสทำให้ฉนวนมีความเสื่อมสภาพแม้ดัชนีเชิงขั้วมีค่าเกินที่ยอมรับได้ซึ่งแสดงว่าฉนวนมีประสิทธิภาพดีตามมาตรฐาน IEEE43-2000

จากการทดลองที่ 4.11 การวิเคราะห์ค่าดัชนีเชิงขั้วของชิ้นทดสอบมอเตอร์

จากการวิเคราะห์ดัชนีเชิงขั้ว พบว่าชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่ 100°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่ 140°C เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่ 220°C เป็นเวลา 12 และ 24 ชั่วโมง มีค่าดัชนีเชิงขั้วเท่ากับ 1 ชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพและชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่ 100°C เป็นเวลา 6 และ 24 ชั่วโมง และชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่ 140°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง มีค่าดัชนีเชิงขั้วเท่ากับ 2 ชิ้นทดสอบก่อนจำลองความเสื่อมสภาพและชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่ 140°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีค่าดัชนีเชิงขั้วเท่ากับ 3 ชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่ 180°C เป็นเวลา 6 และ 24 ชั่วโมง มีค่าดัชนีเชิงขั้วเท่ากับ 4 ชิ้นทดสอบหลังจำลองความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่ 140°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง มีค่าดัชนีเชิงขั้วเท่ากับ 5 ซึ่งมีลักษณะไม่เป็นแนวโน้มทำให้สามารถประเมินสภาพฉนวนจากการเสื่อมสภาพด้วยความร้อนได้ยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] เธียรแสงเพ็ญ ช่อผูกและคณะ, “การวินิจฉัยฉนวนของเครื่องจักรกลหมุนด้วยวิธีวัดกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชัน”. **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2560.

[2] Greg C. Stone, Edward A. Boulter Ian Culbert and Hussein Dhirani, **Electrical Insulation for Rotating Machines**, 2nd Ed., Wiley-IEEE Press, 2014.

[3] Geoff Klempner and Isidor Kerszenbaum, **Operation and Maintenance of Large Turbo-Generators**, 1st Ed., Wiley-IEEE Press, 2004.

[4] Cen-ping. “Electric Motor Components”
[Online]. Available : http://www.cen-ping.com/bldc%20stators.htm

[5] ชินปกรณ์ ชลศิริพงษ์, “การวิเคราะห์ฉนวนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยวิธีวัดกระแสโพลาไรซ์เซชันและดีโพลาไรซ์เซชัน”, ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2559.

[6] Partzsch. “Transposition”
[Online]. Available : https://en.partzsch.de/stator-windings

[7] IPS INTEGRATED POWER SERVICES. “Stator Winding Insulation”
[Online]. Available : http://www.ips.us/megaseal/engineering/

[8] นรเศรษฐ พัฒนเดช, **วัสดุวิศวกรรมไฟฟ้า**, พิมพ์ครั้งที่ 3, ห้างหุ้นส่วนจำกัด มีน เซอร์วิส ซัพพลาย, 2557

[9] Angsana Ittharong. “Polarization Index”
[Online]. Available : http://eitprblog.blogspot.com/2014/03/blog-post_12.html

[10] IEEE Standard 43-2000, IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery

[11] NFPA 70B, **Recommended Practice for Electrical Equipment Maintenance**

[12] PDC-Analyser-1MOD User’s Guide, ALFF Engineering.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[13] E.Kuffel, W.S.Zaengl and J.Kuffel, **High Voltage Engineering: Fundamentals**, 2nd Ed., Butterworth-Heinemann, 2000.

[14] A. Küchler, **High voltage engineering fundamentals-technology-applications** Springer publisher Berlin Heidelberg, 2018

[15] IEEE std. 43. **IEEE Recommended Practice for testing Insulation Resistance of Electric Machinery**, 2013

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

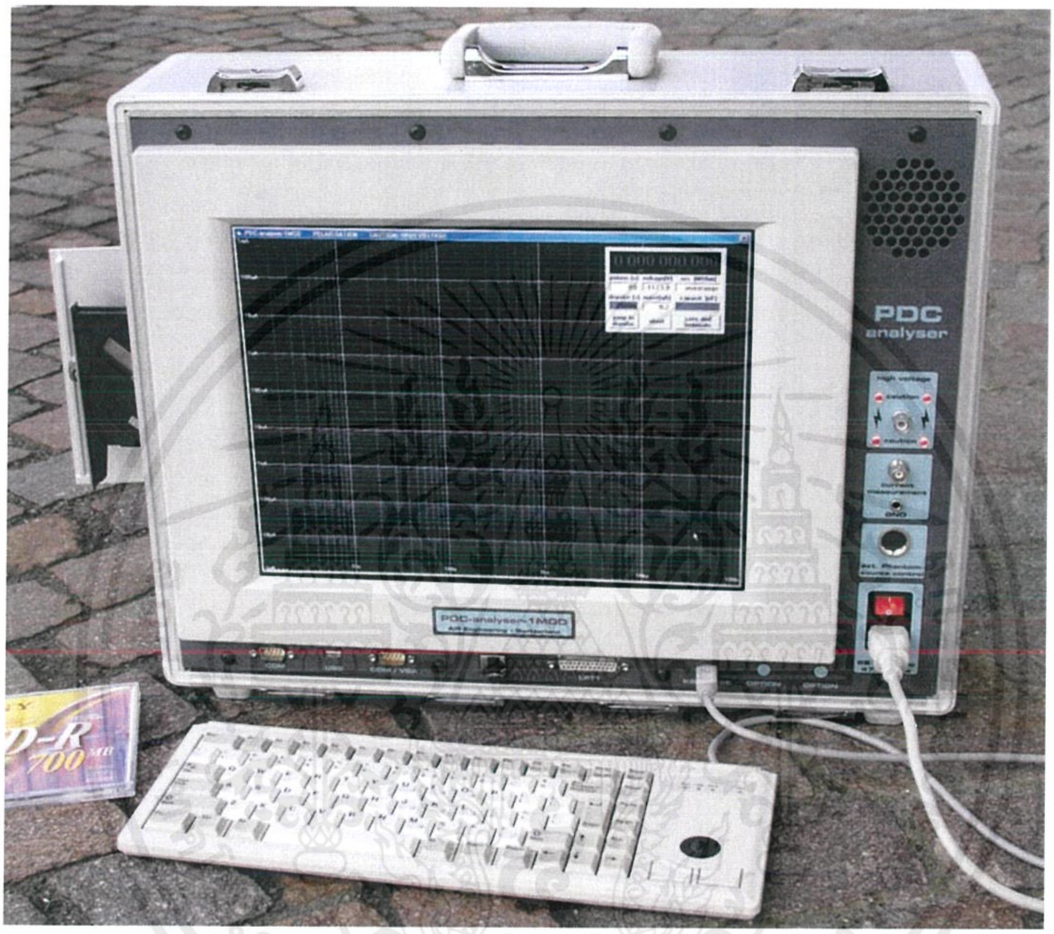
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

PDC-ANALYSER-1MOD User's Guide ALFF Engineering

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PDC-ANALYSER-1MOD



User's Guide

ALFF Engineering
Gomweg 7
CH 8915 Hausen am Albis
Switzerland
phone: +41 44 77 66 77 6
fax: +41 44 77 66 77 7
email: info@alff-engineering.ch
web: www.alff-engineering.ch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Caution

The PDC-ANALYSER-1MOD contains an externally accessible high voltage source producing up to 2 kV and up to 5mA (internal current limit).

The instrument must be operated only by skilled persons.

The operators are responsible for protecting the test site against the hazards related to high voltages. All the elements of a test setup, which are connected to this high voltage source or which could be set under voltage by any insulation breakdown, must be protected against being contacted by the operator or by any other person as long as the mains power is supplied to the instrument.

Also, the PDC-ANALYSER-1MOD must be stored and operated in a mechanically secured position and all the cables connected to it must be protected against making anyone fall over them or accidentally pull on them.

Content

1 Hardware	3
2 Measuring program	3
3 Evaluation program	4
4 Performing a measurement	4
5 Specifications	7
Appendix A	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Copyright © ALFF Engineering / Switzerland

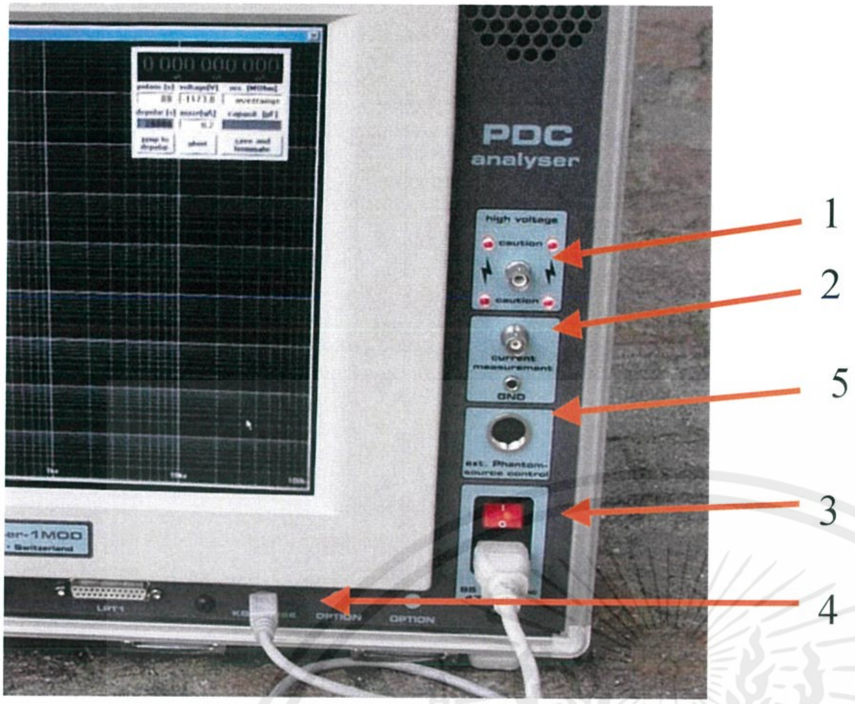


Figure 1: The connections of the **PDC-ANALYSER-1MOD**.

1 Hardware

Please connect the keyboard to jack "4" before turning on the **PDC-ANALYSER-1MOD**.

Use switch "3" to turn on the instrument.

The high voltage cable, which has a SHV plug, is connected to jack "1" and the current sensing cable with the BNC plug is connected to the jack "2" labelled "current measurement".

Plug "5" is for connecting the optional PDC-Phantom-1000XE voltage source, see separate instruction sheet.

For an accurate measurement, a warm-up time period of 60 min is recommended.

2 Measuring program

To perform a measurement with the **PDC-ANALYSER-1MOD**, start "PDC Measurement" by double clicking on this icons on the desktop of the instrument.

On the first window after invoking the program, the measuring parameters can be set:

- The name of directory, where the generated files will be saved.
- The name prefix for generated files (see Appendix A).
- The temperature value (important for the evaluation).
- The test voltage.
- The duration of an initial delay period before the measurement.
- The duration of the polarisation.
- The duration of the depolarisation.
- The description of the test object (only for information).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Copyright © ALFF Engineering / Switzerland

After the desired measuring parameters have been set, the measurement can be started by clicking "start measurements".

A new display appears and the instrument is internally initialised (this takes about seven seconds).

Then the first delay duration is counted down and the current from the current sensing cable is displayed. The measurement can be aborted anytime by pressing ALT-F4. The delay duration can be prematurely cancelled by pressing "jump to measurements".

Caution: As soon as the delay duration has been counted down or brought to end by pressing "jump to measurements", the high voltage source is turned on.

Now the polarisation takes place and the polarisation duration is counted down. During this period, the high voltage is indicated with four red lamps around the high voltage SHV jack "1". The polarisation period can be automatically jumped over by setting the polarisation duration to zero on the setup screen. The measurement program can be aborted anytime by pressing ALT-F4. If the accumulated data should be stored, click on "save and terminate" to terminate the program.

After the polarisation duration has been counted down, the high voltage source is set to exactly zero volts and the depolarisation duration is started. Still, the measurement program can be aborted anytime by pressing ALT-F4, but all the data will be lost. If the accumulated data should be stored, click on "save and terminate".

3 Evaluation program

The measured polarisation and depolarisation currents can be evaluated with the *PDC-Evaluation* program. The basic version of this program permits the determination of the resistance, polarisation index (PI), recovery voltage and derived polarisation spectrum in the time domain and the complex capacitance $\underline{C} = C'(\omega) - jC''(\omega)$ and the derived $\tan\delta(\omega)$ in the frequency domain. For more information, see the User's Guide of *PDC-Evaluation* program.

4 Performing a measurement

To perform an accurate measurement, it is important to connect the test object to be investigated as long as possible to **PDC-ANALYSER-1MOD** before starting the measurement, because both the high voltage supply and the current sense input are normally short circuited to ground. Thus, the capacitances of the test object are well discharged.

Now, a 3-phase power transformer is taken as an example of a test object.

The transformer must be connected to the **PDC-ANALYSER-1MOD** as a capacitor (see figure 2). To obtain such an arrangement, all the high voltage bushings could be connected together, the high voltage windings behave as a first electrode of the capacitor under investigation. The second electrode of the capacitor is formed by connecting all the "low" voltage bushings together. The relaxation currents are sensed from the low voltage windings to ground. During the measurement the tank of transformer must be grounded (see figure 3).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

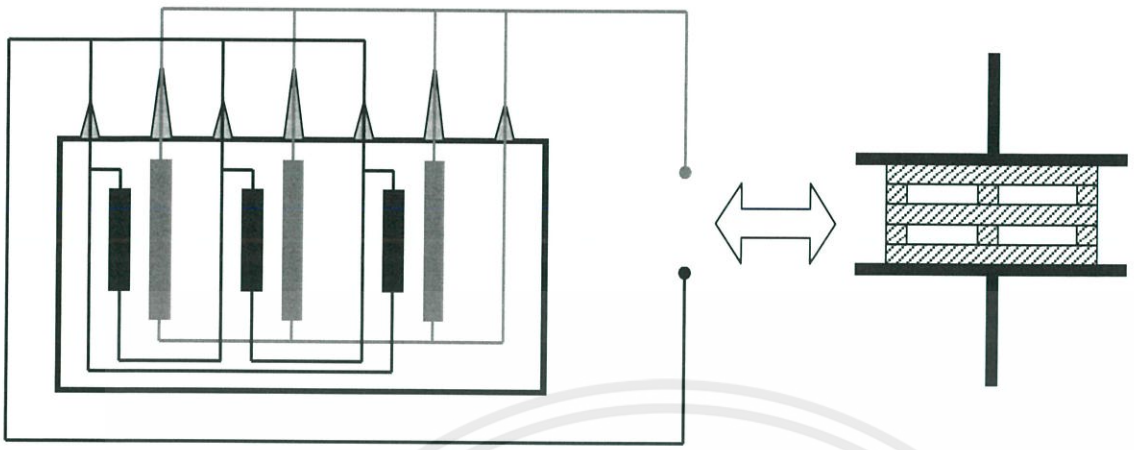


Figure 2: How to connect a power transformer as capacitor for the dielectric investigation of the main insulation.

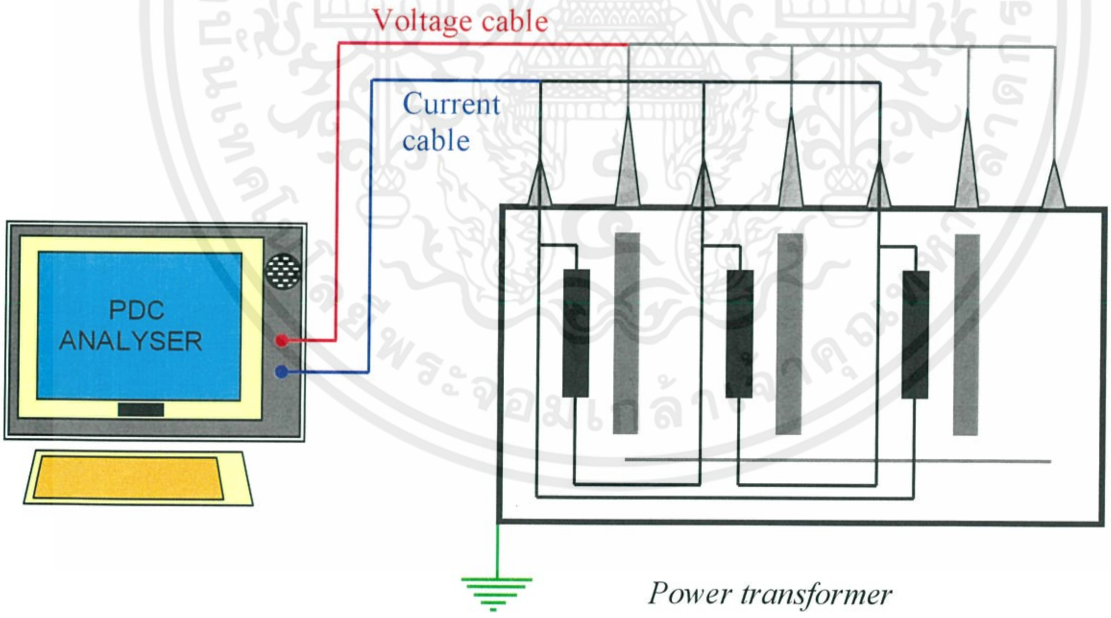


Figure 3: Connection of a power transformer to **PDC-ANALYSER-1MOD**.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Copyright © ALFF Engineering / Switzerland

For an accurate measurement, it is necessary to determine the initial condition of the test object before any application of excitation voltage.

The initial condition (or charging state) of a test object can be determined by monitoring the initial current which flows through it. For visualisation of this current, it is sufficient to start a current measurement with a polarisation duration of zero seconds. It is important, that the initial current is low and at least in a steady state. In case of a high, but constant amplitude of initial current, this current can be considered as an "offset" for the evaluation: it can be subtracted from the measurements.

Before starting the main measurement, it is recommended to carry out control measurements with a short charging duration e.g. 5 seconds to control the whole setup. Verify the amplitudes of measured currents and the value of the capacitance. Such a short control measurement will not affect the main measurement, because the relaxation currents induced by a short charging duration can be neglected after a few minutes of waiting time.

The main measurement can be performed after the *control* measurement by choosing adequate values for the charging voltage amplitude and for the duration of polarisation and depolarisation.

For new power transformers, a charging voltage amplitude of up to 500 V is recommended. Used transformers are less sensitive to the non-linear effects due to their high conductivity of oil. So, for used transformers the excitation voltage can be increased up to 1'000 V. In general, a polarisation duration of 5'000 to 7'000 seconds is sufficient to assess the insulation quality of a power transformer, the same duration is also recommended for the depolarisation duration.

In general, it is important to avoid non-linear effects by keeping the amplitude of the applied excitation voltages as low as possible. It is also recommended to keep the discharge periods between the successive dc voltage applications long enough to avoid any superposition of dielectric responses.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Copyright © ALFF Engineering / Switzerland

5 Specifications

Electrical Insulation Diagnostic System **PDC-ANALYSER-1MOD**

Current measurement

range	±1 mA
resolution (current display when measuring)	1 pA
resolution (recorded data)	0.1 pA
accuracy	0.5 % of the measured value ±1 pA after 1 hour warming up
impedance	10 kΩ
protection	up to 100 mA respectively 1kV for 50ms
noise suppression	up to 10 μA eff at 50 / 60 Hz mains frequency
filtering (current display when measuring)	mean value in 1 s intervals
filtering (recorded data)	mean value in intervals increasing proportionally with the time from the voltage source switching moment

Voltage source

voltage range when switched on	+30 ... +2000 V
maximum current sourcing when switched on	<+5 mA
impedance when switched on	< 20 kΩ
impedance when switched to zero	< 0.2 Ω
current limiting when switching cap. loads	< ±100 mA for 20 ms

Capacitance measurement

the load capacitance is indirectly measured by computing the ratio charge to voltage when the voltage source is switched off for measuring of the depolarisation current. However the current measurement is not impaired by a load capacitance depassing the range listed below.

	source voltage			
	2 kV	1 kV	500 V	100 V
accuracy	±2 % ±5 pF	±2 % ±10 pF	±2 % ±20 pF	±2 % ±100 pF
maximum load capacitance	25 nF	50 nF	100 nF	500 nF

Computer

display	15" TFT, 262'144 colours, resolution 1024 x 786 pixels
processor	Intel Pentium III 1 GHz
memory	SDRAM 256 MB
hard disk	40 GB
standard interfaces	DVD+/-RW, 3½" Floppy, 2 x PCMCIA, parallel and serial ports, Ethernet
options	additional serial ports, Audio in/out, external monitor out

Software

operating system	windows XP home SP2
measuring and control program	installed ready to use, outputs for each measurement one file with polarisation data, one file with depolarisation data and one file with general measurement descriptions
standard evaluation software	installed ready to use, easy to use, extensive possibilities to postprocess, to display, to print and to export the measured data, computation of the complex capacitance in function of frequency, computation of a lumped equivalent circuit of the measured insulation, computation of recovery voltages and the derived "polarisation spectrum", computation of polarisation indexes and of insulation resistances according to all known standards and definitions
advanced evaluation software	quality assessment of oil-paper insulation systems, quantitative determination of moisture content in pressboard and of oil conductivity for power transformers

Miscellaneous

weight	17.3 kg
power supply	90 ... 260 V, 47 ... 63 Hz, <160 VA
size	514 × 185 × 428 (width × depth × height in mm)
temperature (use)	0 ... 35 °C
temperature (stock)	-10 ... 50 °C
pressure	70 ... 106 kPa
humidity	5 ... 80 % non condensing
acceleration	< 2 g
length of standard measurement cables	15 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าจะมีการแก้ไขหรือไม่ ห้ามดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Copyright © ALFF Engineering / Switzerland

Appendix A

The **PDC-ANALYSER-1MOD** generates 3 files for each measurement.

These files are stored in the directory as entered during setup.

The polarisation current data are registered in a *p.dat file. The depolarisation current data are registered in a *d.dat file. Information about the measurement are registered in a *c.txt file.

The name of each generated file is composed of 3 different parts.

Example: The name of a file could be **testa14p.dat**

testa: is a name prefix, which identifies a measurement series.

14: is a number between 01 to 99, which identifies a single measurement in a measurement series with a given name prefix (in this example, testa). This number increments automatically for each further measurement performed in this series.

p: indicates the type of the file, in this example, polarisation current data file.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่อนุญาตให้แก้ไข ตัดทอน หรือดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

บทความทางวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Polarization and Depolarization Current Characteristics of Thermally Stressed Stator Bars

N. Pattanadech
Electrical Engineering Dpt.,
Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
norasage.pa@kmitl.ac.th

N. Srichuen
Electrical Engineering Dpt.,
Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
nutdanai_suan@hotmail.com

C. Wang
Electrical Engineering Dpt.,
Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
chaloemchon.wg@gmail.com

N. Kaewdee
Electrical Engineering Dpt.,
Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
nutdanainew1122@gmail.com

T. Poungpat
Electrical Engineering Dpt.,
Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
max36571@gmail.com

C. Raphephat
Electrical Engineering Dpt.,
Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
59010214@kmitl.ac.th

N. Phumipunepon
Electrical Engineering Dpt.,
Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
natnaree.nuta@gmail.com

A. Kunakorn
Electrical Engineering Dpt.,
Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
anantawat.ku@kmitl

Abstract— **Polarization and depolarization current (PDC) measurement was used in this research to investigate the insulation integrity of stator bars. This method is non-destructive testing. This paper presents the PDC analysis of thermally stressed stator bars divided into two main groups. The first group was heated at 100 °C and the second group was heated at 130 °C for 36 hours. After 12, 24 and 36 hours of heating process, PDC measurement of each test specimen was performed. PDC test results including capacitance ratio and dielectric dissipation factor were analyzed and reported.**

Keywords—polarization index, polarization and depolarization current, stator winding, thermally stressed stator bars, capacitance ratio, dielectric dissipation factor

I. INTRODUCTION

In the industrial, reliability of a rotating machine is essential. Motors need to be inspected regularly, and other maintenance activities need to be performed to ensure efficient operation. Whenever a problem occurs, it should be corrected immediately to avoid further loss.

The most common cause of rotating machine failure is failure in the winding insulation. The main factor related to the degradation of the winding insulation is thermal stress. The thermal stress can be caused by inadequate power source capacity, bad cooling system, a high temperature operating environment, or an excessive current. High temperature causes a chemical reaction that makes winding insulation material brittle. The fluctuation of the working temperature stresses on ground wall insulation due to the different thermal expansion of copper wire and insulation material [1].

Nowadays, there are many methods to investigate the insulation. One of the most common diagnostic methods is the polarization index (PI). It has been regarded as a useful tool in evaluating the rotating machine windings. The PI is a ratio of the insulation resistance measured at ten minutes after applied the test voltage to the insulation resistance measured at one minute by which the testing detail is in IEEE Standard No. 43- 2000 [2]. However, PI can only detect problems caused by conduction mechanisms (conductive contaminants, and moisture) but not problems caused by polarization mechanisms such as thermal aging, chemical reaction, and partial discharge [3].

The polarization and depolarization current (PDC) method, which is a non-destructive method, is used to investigate the stator bar insulation in this paper. The PDC method will measure the charging current and discharging current. This method may be able to identify problems caused by polarization and conduction mechanisms. Besides, the insulation resistance, polarization index, capacitance ratio (C ratio), and dielectric dissipation factor (tanδ) were calculated to diagnose the characteristic of stator bar insulation.

II. POLARIZATION AND DEPOLARIZATION CURRENT

The voltage of the unit step voltage is zero before charging. The input DC voltage is applied as fast as possible to test specimen for charging time t_C ($0 \leq t \leq t_C$) and polarization current (i_{pol}) occurs at the same time. Then, after charging time the test specimen is short-circuited and depolarization current is measured. The function of unit step voltage (U(t)) is expressed as follow [3-8]:

$$U(t) = \begin{cases} 0 & 0 < t \\ U_0 & 0 \leq t \leq t_C \\ 0 & t_C \leq t \end{cases} \quad (1)$$

The model of dielectric material can be represented by parallel R_iC_i elements [9-11] in Fig. 1. The R_i elements represent the energy dissipated element and the C_i elements represent the energy storage element. These R_iC_i elements are calculated by curve fitting the discharging current.

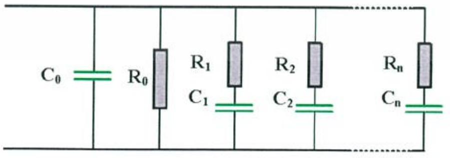


Fig. 1. Equivalent circuit of a linear dielectric model.

When applied input DC voltage to test specimen, the polarization current (i_{pol}) is built up. The polarization current in (2) consists of two terms, current (U_0/R_0 component) caused by conduction phenomena (including surface leakage and bulk conductivity), and the absorption current caused by polarization phenomena. The polarization current is given by the following equation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

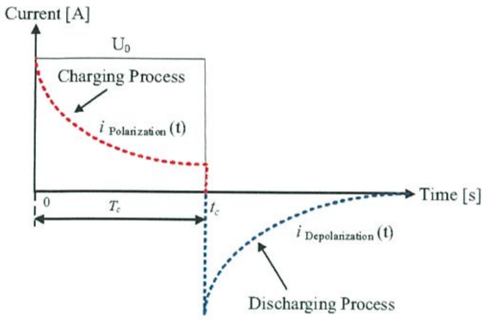


Fig. 2. Polarization and depolarization current.

$$i_{pol}(t) = \frac{U_0}{R_0} + \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{U_0}{R_i}e^{-\frac{t}{R_iC_i}}\right) \qquad (2)$$

Where R_0 is the resistance related to conduction current and the C_0 is geometric capacitance of test object.

When disconnecting the step voltage source, the test specimen is short-circuited and depolarization or discharge current (i_{depol}) is measured. The depolarization current consists of only absorption current. The depolarization current can be defined as

$$i_{depol}(t) = -\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{U_0 C_i(t_c)}{R_i}\right)e^{-\frac{t-t_C}{R_iC_i}}. \qquad (3)$$

The complex capacitance and dielectric dissipation factor are described in [10]. The real capacitance C' and imaginary capacitance C'' part of the complex capacitance are given as

$$C'(\omega) = C_0 + \sum_{i=1}^{n}\frac{C_i}{1+(\omega R_i C_i)^2} \qquad (4)$$

$$C''(\omega) = \frac{1}{\omega R_0} + \sum_{i=1}^{n}\frac{\omega R_i C_i^2}{1+(\omega R_i C_i)^2}. \qquad (5)$$

Capacitance ratio can be written as

$$C_{ratio} = \frac{C'(\omega)}{C_0}. \qquad (6)$$

Finally, the dielectric dissipation factor (tanδ) can be written as

$$\tan(\delta) = \frac{C''(\omega)}{C'(\omega)}. \qquad (7)$$

III. Experimental Details

The polarization and depolarization current testing was performed for studying thermally stressed stator bar by using PDC-Analyzer-1MOD.

A. *Test object*

The stator bars were obtained from a 13.8 kV, 96.6 MVA hydrogenerator which has been operated for 30 years. The insulation of the stator bar can withstand 130 °C and the operating temperature is 60 °C. The test objects were prepared by cutting the full stator bar to be a stator bar specimen with 30 centimeter long. Then, the conductive tape with 5 centimeters at both ends of the test specimen were removed and replaced with the guard rings [6]. The conductors were soldered by silver conductive paint.

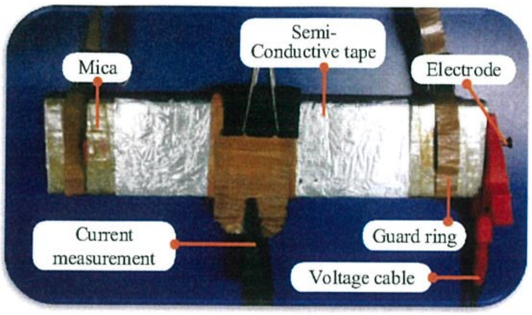


Fig. 3. Prepared test specimen

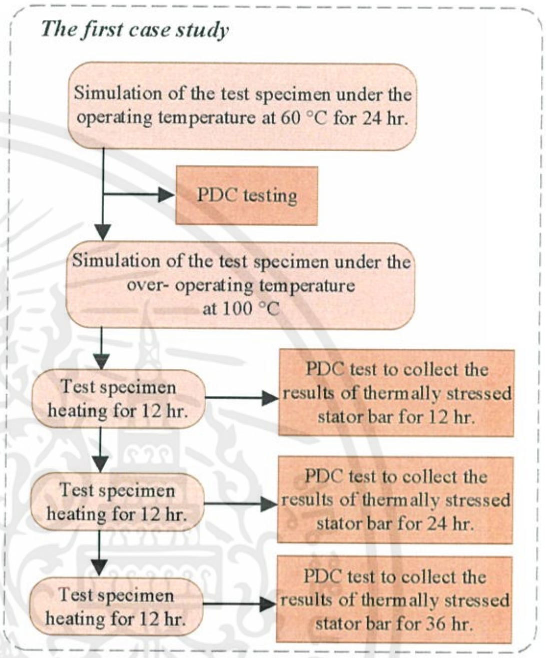


Fig. 4. Diagram of PDC measurement process for 100 °C thermally stressed stator bars.

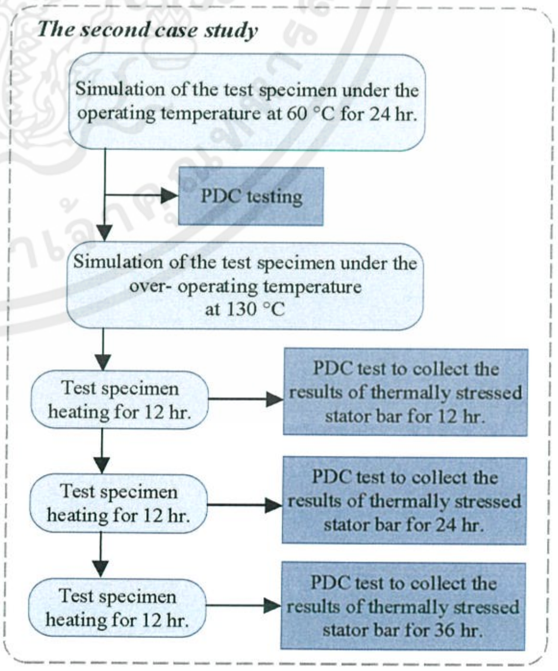


Fig. 5. Diagram of PDC measurement process for 130 °C thermally stressed stator bar.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B. Case studies

In this research, six test specimens were divided into two case studies. Before simulating, all test specimens were heated at 60 °C (the operating temperature) for 24 hours and measured PDC by PDC-Analyser-1MOD as referent data.

The first case study simulated the stator bars which operated higher temperature than common operating. Three test specimens were heated at 100 °C for for 36 hours. After 12, 24 and 36 hours of heating process, PDC measurement of each test specimen was performed following the diagram in Fig.4.

The second case study simulated the stator bars which operated at the rated temperature of insulation. Three test specimens were heated at 130 °C for for 36 hours. After 12, 24 and 36 hours of heating process, PDC measurement of each test specimen was performed following the diagram in Fig.5.

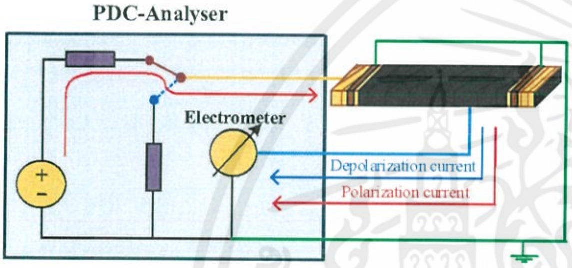


Fig. 6. Diagram of PDC measurement circuit.

C. PDC measurement

The diagram of the PDC measurement circuit is shown in Fig. 6. The yellow wire provides the DC voltage to the electrode. The blue wire is the current measurement that used to measure the polarization and depolarization current. The green wire is the ground wire which is connected to the guard rings and the ground potential.

In this experiment, a step DC voltage of 500V was applied to the test specimen for 1,100 seconds to record the polarization current measurements by PDC-Analyser 1-mod Then, the DC voltage is removed from the test specimen for 1100 seconds and the depolarization current is recorded. The software inverts the discharge current and shows both of the charge and discharge currents in the same plot.

IV. Experimental result

A. The stator bars heated at 100 °C

The comparison of the dielectric response of the 30-year in-service stator bar heated at 60 °C (the operating temperature) for 24 hours and those of the thermally degraded stator bars heated at 100 °C for three periods is demonstrated in Fig. 7. Fig. 7a shows the polarization and depolarization currents. The polarization and depolarization currents of the thermally stressed bars decrease according to the longer time heating. It is obviously seen that PDC shapes, DDF, and C ratio decrease after the first period and do not change their values in the second period. However, when to continue heating the test specimens in the third period, PDC shape, DDF, and C ratio additionally decrease.

For the conduction current, it can be calculated by the difference value between the polarization current and the depolarization current. The conduction current of the heated stator bar with 60 °C operating temperature for 24 hours is the most. For the thermally stressed stator bar heated 100 °C after 12, 24, and 36 hours, the conduction currents decrease respectively.

The PI can be calculated from the ratio of the polarization current at ten minutes to the polarization current at one minute. The PI value of the heated stator bar with 60 °C operating temperature for 24 hours is 1.78 and the PI values of the 100 °C thermally stressed stator bar after 12, 24, and 36 hours are 2.69, 3.39 and 3.67 respectively.

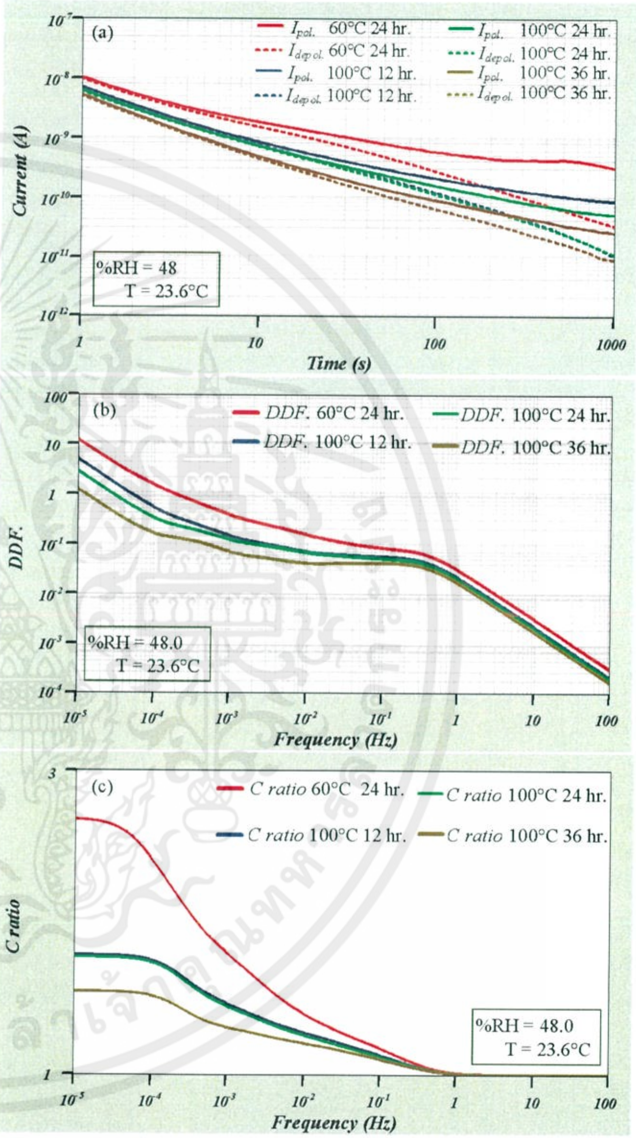


Fig. 7. Comparison results of the 30-year in-service stator bar heated at 60 °C (the operating temperature) for 24 hours and those of the thermally degraded stator bars at 100 °C for three periods of heating (a) polarization and depolarization currents (b) dielectric dissipation factor (DDF) and (c) C ratio

B. The stator bars heated at 130 °C

The comparison of the dielectric response of the heated stator bar with 60 °C operating temperature for 24 hours and those of the thermally degraded stator bars at 130 °C for 3 periods of heating is shown in Fig. 8. The PI value of the heated stator bar with 60 °C operating temperature for 24 hours is 1.36 and the PI values of the 130 °C thermally

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

stressed stator bar for 12, 24, and 36 hours are 4.16, 5.09 and 3.23 respectively.

Fig. 8a shows the polarization and depolarization currents that decrease after heated the stator bar for the first period and then do not change the values in the second and third period. Similarly, the dielectric dissipation factor in Fig. 8b and the capacitive ratio values in Fig. 8c decrease after heated the stator bar for the first period (12 hours) and then they do not change the values for the second period (24 hours) and third period (36 hours).

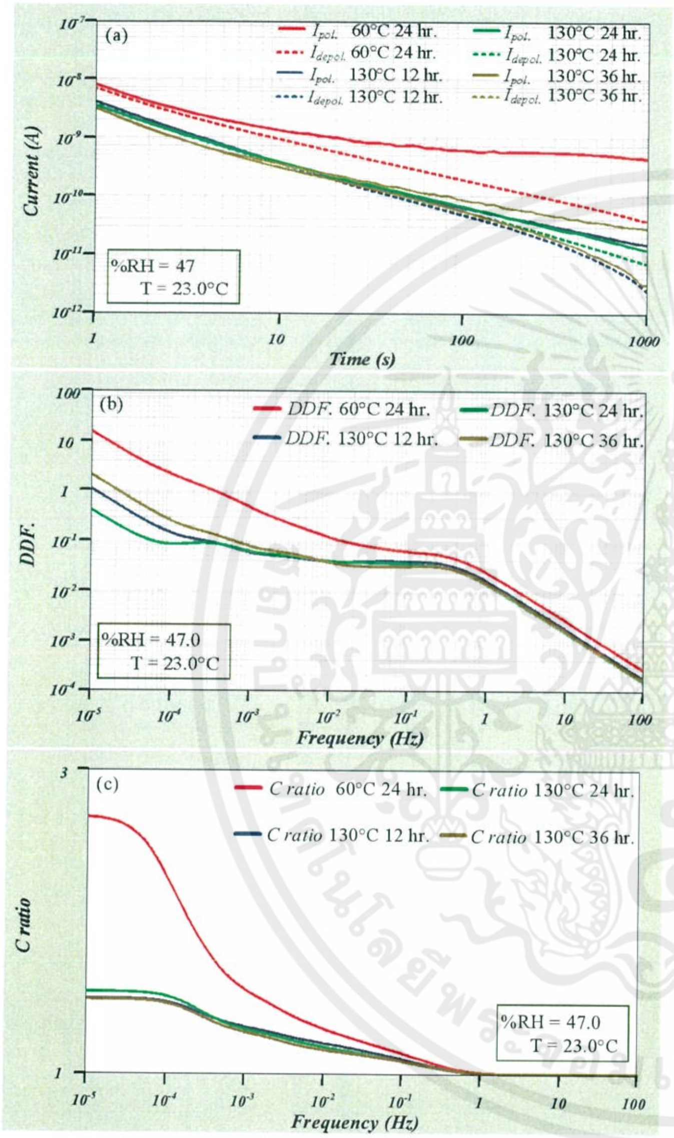


Fig. 8. Comparison results of the 30-year in-service stator bar heated at 60 °C (the operating temperature) for 24 hours and those of the thermally degraded stator bars at 130 °C for three periods (a)polarization and depolarization currents (b)dielectric dissipation factor (DDF) and (c) C ratio

V. Conclusion

In this paper, PDC measurement was performed with the 30-year in-service stator bar and the simulated thermal degradation stator bars. It was found that PDC test results in time domain especially in the shape of PDCs are useful for preliminary analysis in addition to the dielectric dissipation factor and the capacitive ratio. From the test result, PDC shapes, the capacitance ratio and dielectric dissipation factor magnitudes of thermally stressed stator bars decrease compared with those of the stator bar operated in normal temperature. If the stator bar undergoes enough thermally stressed and quite a long time, PDC shapes, the capacitance ratio and dielectric dissipation factor magnitudes will not change anymore. For the PI value, the results show the more intensity of thermally stressed condition, the more PI value is. From the IEEE Standard No. 43- 2000[2], the PI criteria should be more than 2 for a good condition of the tested insulation. This may be summarized that the polarization index may not sensitive to the thermally stressed condition of the stator bar.

Acknowledgment

This research is kindly endowed by Meidensha Corporation, TIS Engineering and Service Co., Ltd., Electricity Generating Authority of Thailand Hydro Power Plant Vajiralongkorn Dam and Asia Motor service Center CO., LTD, Thailand.

References

[1] Greg C. Stone, Edward A. Boulter Ian Culbert and Hussein Dhirani, "Electrical Insulation for Rotating Machines," 1st Ed., Wiley-IEEE Press, 2004.

[2] IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery, IEEE Std 43-2000, 2000.

[3] S. A. Bhumiwat, "Insulation resistance and polarization of rotating machines," 2011 Electrical Insulation Conference (EIC)., Annapolis, MD, USA, 5-8 June 2011, pp. 249 – 253.

[4] T.K. Saha, P. Purkait, "Investigating Some Important Parameters of the PDC Measurement Technique for the Insulation Condition Assessment of Power Transformer," The Sixth International Power Engineering Conference(IPEC2003), Singapore, 27-29 November 2003.

[5] C. Sumereder, M. Muhr, R. Woschitz, "PDC Measurements at Generator Bars," Proceedings of the XIVth International Symposium on High Voltage Engineering, Tsinghua University, Beijing, China, August 25-29, 2005.

[6] N. Phumipunepon, P. Chaisiri, K. Thungsook, N. Pattanadech, "Polarization and Depolarization Current Characteristics of Degradation Stator Insulation of A Rotating Machine," 2018 Condition Monitoring and Diagnosis (CMD), Perth, WA, Australia, 23-26 Sept. 2018, pp. 1-4.

[7] Chen Zixuan, Li Chunmao, "Impact of humidity on polarization and depolarization current of rotating machines insulation," 2016 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE), Chengdu, China, 19-22 Sept. 2016, pp. 1-4.

[8] W. S. Zaengl, "Dielectric Spectroscopy in Time and Frequency Domain for HV Power Equipment, Part I: Theoretical Considerations," IEEE Electrical Insulation Magazine, vol. 19, no. 5, 2003, pp. 5-19.

[9] Mahdi Shadmand, Hassan Moazami Goudarzi, Sedigheh Kazemi, " PDC characteristics of modern stator insulation systems," 2015 IEEE 11th International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials (ICPADM), Sydney, NSW, Australia, 19-22 July 2015, pp. 1015 – 1018.

[10] A. Küchler, "High voltage engineering fundamentals-technology-applications" Springer publisher Berlin Heidelberg, pp. 278-280, 2018

[11] E.Kuffel, W.S.Zaengl, J.Kuffel, "High Voltage Engineering: Fundamentals," 2nd Ed., Butterworth-Heinemann, 2000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

โปสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

171

KMITL ENGINEERING PROJECT DAY 2019

Department of Electrical Engineering
(Electrical Engineering)

PW 6112

Analysis of the degraded stator bars for rotating machine by PDC testing

Chaloemchon Wang, Nutdanai Keawdee, Nutdanai Srichuen,
Thanapat Poungpat and Norasage Pattanadech

Abstract

This paper presents the PDC analysis of the thermal stressed stator bar. In the experiment, test objects were divided into two main groups. The first group is stator bars from generator (insulation class B) were prepared into 3 different temperature conditions, which are over-operated temperature (100°C), rated insulation temperature (130°C) and over rated insulation temperature (160°C). With each temperature conditions were heated at 6, 12, 24 and 36 hours. The second group is stator bars from motor (insulation class F) were prepared into 3 different temperature conditions which are over-operated temperature (140°C) and over rated insulation temperature (180 °C and 220 °C). With each temperature conditions were heated at 6, 12 and 24 hours. Polarization index, polarization and depolarization current, capacitive ratio (C ratio) and dielectric dissipation factor (tanδ) of thermal stressed bars are analyzed. It was clearly seen that the result from PDC measurement especially can be used for evaluating the thermal stress condition of stator bar.

Introduction

One of the reasons that cause machine deterioration is thermal stress. Thermal stress occurs due to a number of factors. For example, it can occurs when an machine operates in a high temperature environment or supports overload that causes the degraded rotating machine insulation and leads to failure. In this paper, several condition testing of insulation are proposed i.e. polarization and depolarization current, polarization index, c ratio and dielectric dissipation factor (tanδ) to analyze insulation.

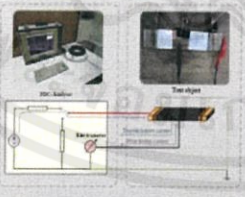
Methodology

1. The test object is prepared by cutting stator winding to 30 centimeters, removing the conductive tape 5 centimeter at both side.

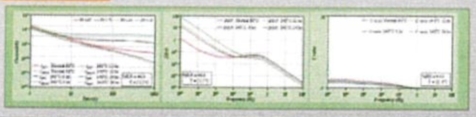
2. The stator bars from motor are heated at 140, 180 and 220 °C for 6, 12, and 24 hours respectively.

3. The stator bars from generator are heated at 100, 130 and 160 °C for 6, 12, 24 and 36 hours respectively.

4. The test object is investigated by PDC measurement.



Results



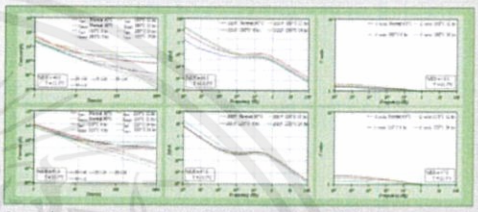


Fig.1 shows the comparison of polarization current, depolarization current, dielectric dissipation factor and c ratio of the thermal stressed stator bars from motor.

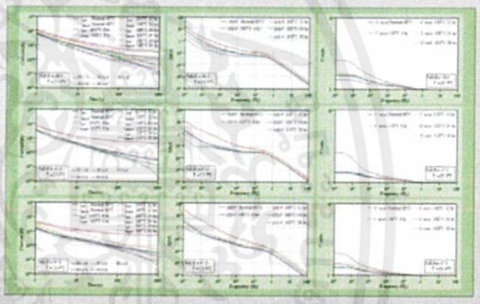


Fig2. shows the comparison of polarization current, depolarization current, dielectric dissipation factor and c ratio of the thermal stressed stator bars from generator.

Conclusion

The test result, the capacitance ratio in very low-frequency range of stator bar from generator and stator bars from motor decreased for all thermal stress conditions.
For dielectric dissipation factor magnitudes in very low-frequency range, all thermal stress conditions of stator bar from generator decreased but all thermal stressed conditions of stator bar from motor tended to increase. However stator bars were heated at various thermal stress conditions, we found that the polarization index didn't depend on the heated duration of the test object. That can be summarized, the capacitance ratio and dielectric factor were clearly seen different the thermal stress condition of the test object, but the polarization index couldn't found it.

References

[1] Greg C. Stone, Edward A. Boulter Ian Culbert and Hussein Dhirani, "Electrical Insulation for Rotating Machines," 1st Ed., Wiley-IEEE Press, 2004.

Acknowledgement

This research is kindly endowed by Meidensha Corporation, TIS Engineering and Service Co., Ltd., Electricity Generating Authority of Thailand Hydro Power Plant Vajiralongkorn Dam and Asia Motor service Center CO., LTD, Thailand.

ENGINEERS LADKRABANG

E-mail: norasage@yahoo.com, Max36571@gmail.com, Chaloemchon.Wg@gmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายเฉลิมชนม์ หวัง
วัน เดือน ปีเกิด 5 ธันวาคม 2538
ที่อยู่ 5/83 ซอยลาซาล10 ถนนบางนา แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร 10260
ประวัติการศึกษา 2561 วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อ-นามสกุล นายณัฐดนัย แก้วดี
วัน เดือน ปีเกิด 3 พฤษภาคม 2539
ที่อยู่ 1/57 หมู่ที่ 4 ตำบลแสนตอ อำเภอน้ำปาด จังหวัดอุตรดิตถ์ 53110
ประวัติการศึกษา 2561 วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อ-นามสกุล นายณัฐดนัย ศรีชื่น
วัน เดือน ปีเกิด 18 ธันวาคม 2539
ที่อยู่ 15 ซอยเอกชัย94 เขตบางบอน แขวงบางบอน กรุงเทพมหานคร 10150
ประวัติการศึกษา 2561 วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อ-นามสกุล นายธนภัทร พวงพัตร์
วัน เดือน ปีเกิด 29 มีนาคม 2540
ที่อยู่ 437/169 หมู่ที่ 4 ซอยพหลโยธิน50 แขวงคลองถนน เขตสายไหม กรุงเทพมหานคร 10220
ประวัติการศึกษา 2561 วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้