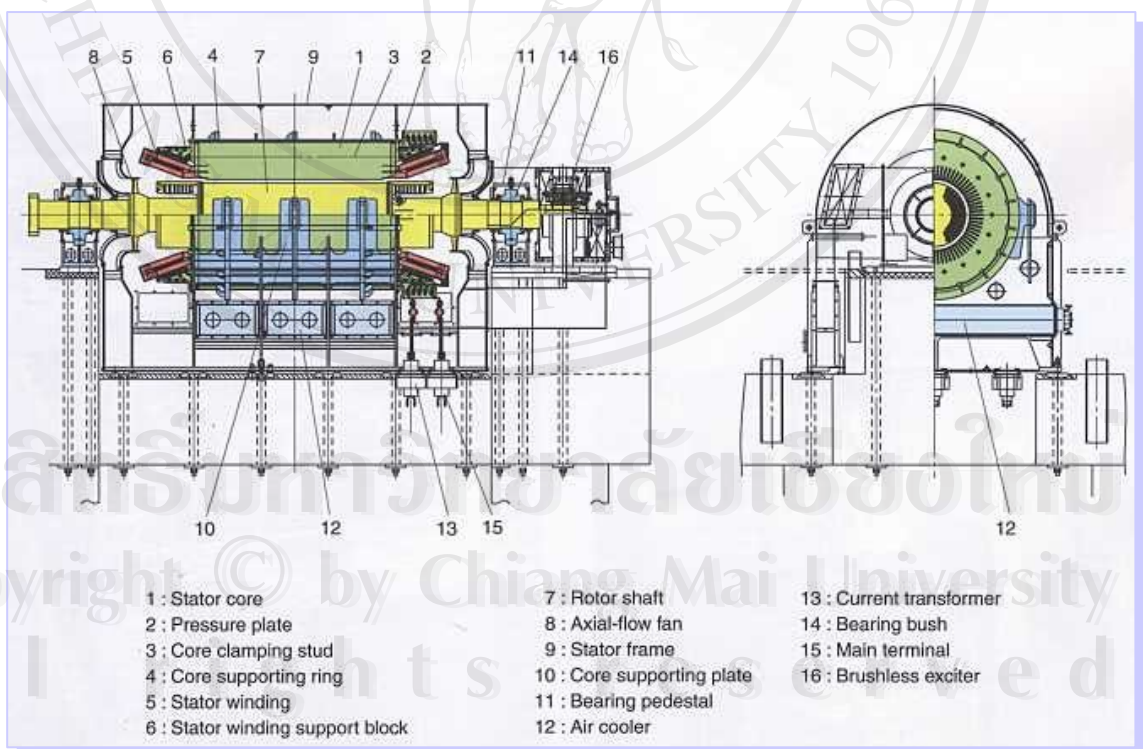


บทที่ 3

ระบบฉนวนของขดลวดสเตเตอร์และการเกิดจุดบกพร่องในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

3.1 ระบบฉนวนของขดลวดสเตเตอร์ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ฉนวนที่นำมาใช้งานในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีโครงสร้างแสดงตามรูปที่ 3.1 ซึ่งเป็นเครื่องจักรกลหมุนชนิดหนึ่ง เมื่อใช้งานอุปกรณ์นั้นเป็นเวลานานจะทำให้ระบบฉนวนเสื่อมสภาพลง ซึ่งสภาพของฉนวนก็จะไปจำกัดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ ระบบฉนวนในเครื่องจักรกลหมุน ในระยะเริ่มแรกนั้นจะเป็นระบบฉนวนแบบเทอร์โมพลาสติก ซึ่งจะใช้ออสฟัลต์ และเซลลูล์ซ เป็นตัวประสานไม่ก้ำ ทำให้ระบบฉนวนประเภทนี้ถูกจำกัดการใช้ที่อุณหภูมิแวดล้อมไม่เกิน 130 องศาเซลเซียส แต่ในปัจจุบันระบบฉนวนเปลี่ยนเป็นแบบเทอร์โมเซตติง ซึ่งจะใช้โพลีเอสเตอร์ และอีพ็อกซีเรซิน เป็นตัวประสานไม่ก้ำทำให้ฉนวนมีความแข็งแรงและทนอุณหภูมิแวดล้อมได้สูงกว่าถึง 155 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า[Fuji electric, Air cooled turbo-generator]

3.1.1 ระดับชั้นฉนวน

การแบ่งระดับชั้นฉนวนนั้นจะใช้อุณหภูมิแวดล้อมที่ฉนวนสามารถทนได้เป็นเกณฑ์ในการแบ่ง ฉนวนแต่ละชนิดจะสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิแวดล้อมเท่าไรนั้นทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาทำเป็นฉนวนนั่นเอง การแบ่งระดับชั้นฉนวนแบ่งได้ดังต่อไปนี้

1) ฉนวน ระดับชั้น A

ฉนวนระดับชั้นนี้จะใช้งานที่อุณหภูมิแวดล้อมไม่เกิน 105 องศาเซลเซียส วัสดุที่นำมาใช้ทำฉนวนประเภทนี้ได้แก่ ฝ้าย ไหม กระดาษเซลลูโลส และ ลินิน

2) ฉนวน ระดับชั้น B

ฉนวนระดับชั้นนี้ใช้งานที่อุณหภูมิแวดล้อมไม่เกิน 130 องศาเซลเซียส วัสดุที่นำมาทำฉนวนได้แก่ ไมก้า ไฟเบอร์กลาส โยหินโดยจะใช้เซลแล็ค แอสฟัลต์ และ โพลีเอสเตอร์เรซินเป็นตัวยึดประสาน

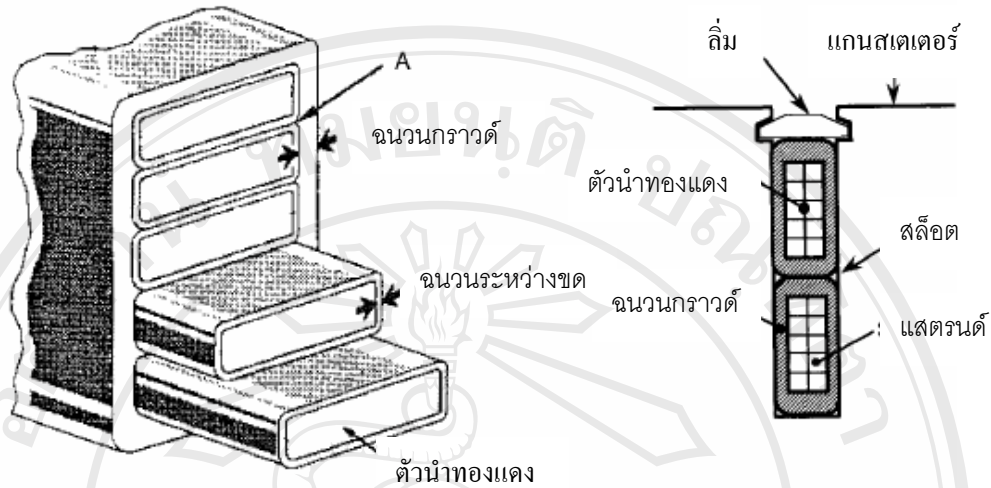
3) ฉนวน ระดับชั้น F

ฉนวนระดับชั้นนี้ใช้งานที่อุณหภูมิแวดล้อมไม่เกิน 155 องศาเซลเซียส วัสดุที่นำมาทำฉนวนได้แก่ ไมก้า ไฟเบอร์กลาสและโยหินเช่นเดียวกันกับระดับชั้น B แต่วัสดุที่ใช้เป็นตัวยึดประสานจะใช้ อีพ็อกซี่เรซิน

4) ฉนวน ระดับชั้น H

ฉนวนระดับชั้นนี้ใช้งานที่อุณหภูมิแวดล้อมไม่เกิน 180 องศาเซลเซียส วัสดุที่นำมาทำฉนวนได้แก่ อีลาสโตเมอร์ซิลิโคน ไมก้า ไฟเบอร์กลาส และโยหินวัสดุที่ใช้เป็นตัวยึดประสานคือ เรซินซิลิโคน

3.2 โครงสร้างระบบฉนวน



รูปที่ 3.2 โครงสร้างระบบฉนวนของขดลวดสเตเตอร์ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า[10]

ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าฉนวนนับเป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญมาก อายุการใช้งานจะนานหรือไม่ขึ้นอยู่กับสภาพของฉนวน ระบบฉนวนในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากรูปที่ 3.2 ขดลวดสเตเตอร์จะประกอบด้วยขดลวดโลหะทองแดงหลายๆขดซึ่งระหว่างขดลวดทองแดงแต่ละขดจะหุ้มด้วยฉนวนที่เรียกว่า ฉนวนสแตนด์ ในขดลวดสเตเตอร์จะประกอบด้วยขดลวดทองแดงหลายๆขดมารวมกันและหุ้มด้วยฉนวนที่เรียกว่า ฉนวนกราวด์ ประเภทของวัสดุที่นำมาใช้ทำฉนวนแต่ละชั้นมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้งานดังนี้

- 1) ฉนวนสแตนด์ คือชั้นของฉนวนที่หุ้มขดลวดโลหะทองแดง แต่เดิมนั้นฉนวนชั้นนี้จะทำจากวัสดุแร่ใยหิน แต่เนื่องจากต้องการเพิ่มเนื้อที่สำหรับขดลวดโลหะทองแดงเพื่อให้สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากขึ้น จึงเปลี่ยนมาใช้วัสดุประเภทแก้วโพลีเอสเตอร์แทน และจะนำไปอบก่อนที่จะพันด้วยฉนวนกราวด์
- 2) ฉนวนกราวด์ จะเป็นชั้นฉนวนหลักซึ่งทำหน้าที่เป็นฉนวนระหว่างแท่งโลหะตัวนำกับแกนเหล็กสเตเตอร์ วัสดุที่นำมาใช้ทำฉนวนประเภทนี้มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะการนำไปใช้งาน วัสดุที่ใช้ทำเป็นฉนวนกราวด์มีหลายประเภทดังนี้

3) ผ้าลินินขาวชุบน้ำมัน

ฉนวนชนิดนี้จัดเป็นฉนวนระดับชั้น A มีข้อจำกัดคือ จะใช้กับแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำกว่า 2300 โวลต์ เนื่องจากไม่มีส่วนผสมของไมก้าและการถ่ายเทความร้อนไม่ดี

4) ไมก้าประสานด้วยเซลลูล์

ฉนวนชนิดนี้เป็นฉนวนระดับชั้น B และเป็นชนิดเทอร์โมพลาสติก ฉนวนชนิดนี้จะใช้เซลลูล์เป็นตัวยึดประสานแผ่นไมก้าโดยอาศัยความร้อน แต่เนื่องจากเซลลูล์เป็นสารที่ระเหยได้ง่าย ดังนั้นในระหว่างกรรมวิธีประสานแผ่นไมก้าโดยอาศัยความร้อนนั้น จะทำให้เกิดโพรงอากาศในเนื้อฉนวนได้มาก กลายเป็นจุดอ่อนทำให้เกิดการปล่อยประจุบางส่วนได้ง่าย

5) เทปไมก้าประสานด้วยเอสฟัลด์

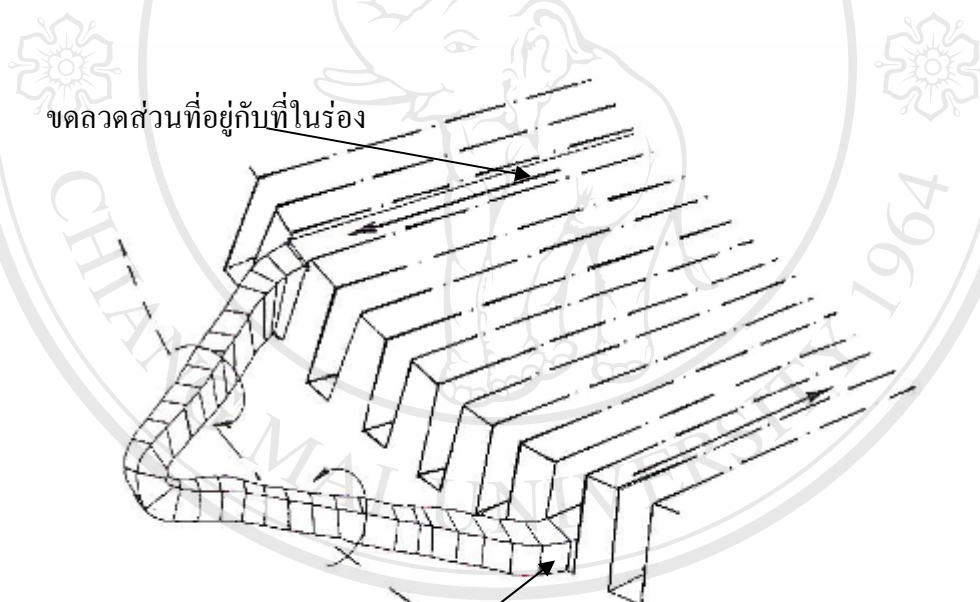
ฉนวนชนิดนี้เป็นฉนวนแบบเทอร์โมพลาสติกระดับชั้น B เหมือนกับเซลลูล์ ไมก้าโฟเลียมแต่เปลี่ยนตัวยึดประสานแผ่นไมก้าจากเดิมที่ใช้เซลลูล์ให้มาเป็นเอสฟัลด์แทน กรรมวิธีในการผลิตนั้นจะใช้ถังที่เป็นสุญญากาศซึ่งบรรจุคลวดสเตเตอร์ที่พันด้วยเทปไมก้า แล้วปล่อยเอสฟัลด์ร้อนให้แทรกซึมเข้าไปในช่องว่างอากาศเพื่อลดโพรงอากาศให้เหลือน้อยที่สุด และจะใช้แรงดันอัดเข้าไปด้วยเพื่อให้เอสฟัลด์สามารถแทรกซึมเข้าไปในระหว่างเทปไมก้าได้มากขึ้น ฉนวนประเภทนี้จะมีคุณภาพดีแต่จะเสื่อมสภาพได้ง่ายหากนำไปใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่มีความชื้นสูง และมีการสั่นสะเทือน ฉนวนประเภทนี้ทนความร้อนได้ไม่ดีนักจึงถูกจำกัดให้ใช้เป็นฉนวน ระดับชั้น B ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ฉนวนเทปชนิดต่างๆ

3.3 โครงสร้างขดลวดสเตเตอร์

โครงสร้างขดลวดสเตเตอร์จะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นส่วนหนึ่งของขดลวดสเตเตอร์ที่อยู่ในสล๊อตและส่วนที่สองเป็นส่วนหนึ่งของขดลวดส่วนที่อยู่กับที่บริเวณส่วนพื้นร่อง ซึ่งเป็นส่วนที่พื้นออกมาจากสล๊อต ดังรูปที่ 3.4 ฉนวนทั้งสองบริเวณจะใช้วัสดุค่อนข้างจะแตกต่างกัน ฉนวนที่อยู่ในร่องสล๊อตจะมีโพรงอากาศน้อยและมีความแข็งแรงมากกว่าฉนวนบริเวณส่วนพื้นร่อง เนื่องจากฉนวนในบริเวณสล๊อตซึ่งเป็นส่วนตรงในกรรมวิธีการผลิตจะใช้เครื่องอัดความร้อน บีบอัดด้วยแรงดันและ อบด้วยความร้อน ทำให้เรซินแทรกซึมในช่องว่างอากาศได้มากกว่าฉนวนบริเวณส่วนพื้นร่องซึ่งมีลักษณะโค้งทำให้ไม่สามารถใช้เครื่องอัดความร้อนบีบอัดได้ ฉนวนบริเวณนี้จึงเป็นส่วนที่บอบบางและมีจุดบกพร่องมากกว่า



ขดลวดส่วนที่อยู่กับที่บริเวณส่วนพื้น

รูปที่ 3.4 ขดลวดส่วนที่อยู่กับที่[10]

- 1) ระบบฉนวนขดลวดส่วนที่อยู่กับที่ในร่องสล๊อต ฉนวนของขดลวดส่วนที่อยู่กับที่ที่อยู่ในร่องสล๊อตจะประกอบด้วยชั้นฉนวนกราวด์ และชั้นวัสดุกึ่งตัวนำด้านการเกิด

โคโรนา ชั้นฉนวนกรวดจะทนความชื้นสนามไฟฟ้าได้สูงแต่มีความยืดหยุ่นน้อยกว่า ฉนวนที่ใช้พันบริเวณส่วนพันร่อง

2) ระบบฉนวนขดลวดส่วนที่อยู่กับที่บริเวณส่วนพันร่อง ฉนวนของขดลวด บริเวณส่วนพันร่องควรใช้ฉนวนซึ่งมีความยืดหยุ่นเป็นพิเศษเนื่องจากบริเวณส่วนนี้เป็น ส่วนที่ได้รับแรงสั่นสะเทือนเนื่องจากแรงแม่เหล็กไฟฟ้า และการที่ฉนวนมีความยืดหยุ่นจะ ทำให้สะดวกในการติดตั้งขดลวดด้วย นอกจากนี้ฉนวนบริเวณนี้จะพันหุ้มด้วยชั้นเทป เคลือบลดความเครียดเพื่อป้องกันการเกิดการปล่อยประจุบางส่วนตามผิวฉนวน

3.4 ประวัติการศึกษาจุดบกพร่องของฉนวนในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยการทดสอบการ ปล่อยประจุบางส่วน

การประเมินสภาพฉนวนโดยการทดสอบการปล่อยประจุบางส่วนเป็นวิธีการที่ ได้ผลดี และได้รับความนิยมมานานวิธีการหนึ่ง การประเมินสภาพฉนวนเพื่อให้ได้ผลที่ แม่นยำเชื่อถือได้ต้องอาศัยปัจจัยอื่น ๆ มาร่วมในการวิเคราะห์ การทดสอบฉนวนนอกจากจะ ดูแนวโน้ม การเปลี่ยนแปลงของสภาพฉนวนแล้ว การทราบถึงตำแหน่งและสาเหตุที่ เกิดการปล่อยประจุบางส่วนในฉนวนได้ ก็จะเป็นส่วนช่วยเสริมให้การประเมินสภาพ ฉนวนมีความแม่นยำยิ่งขึ้น ราวปี ค.ศ. 1950 Kreuger และ Mole[24] ได้ศึกษาเพื่อหาวิธี วิเคราะห์หาตำแหน่งของจุดบกพร่องโดยใช้การสังเกตรูปแบบของสัญญาณบนรูป ลิสซาจูส์ (Lissajous Traces) ซึ่ง การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ต้องอาศัยผู้วิเคราะห์ที่มี ประสบการณ์สูง ในเวลาต่อมาการวิเคราะห์ หาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการเปรียบเทียบ ระหว่างการเกิดพัลส์ชั่วบวก และพัลส์ชั่วลบ ใน ช่วงไซเคิลลบและไซเคิลบวกของ แรงดันตามลำดับ[25,26,27,28] การวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคดังกล่าวเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมและมีประโยชน์ในการวิเคราะห์หาตำแหน่งของจุดบกพร่อง แต่ผู้วิเคราะห์ จะต้องมีความชำนาญสูงเช่นเดียวกัน และข้อมูลที่ได้ในบางครั้งมีลักษณะกำกวมทำให้ไม่ สามารถวิเคราะห์ได้ เนื่องจากข้อมูลที่ทำการวิเคราะห์มีเพียงรูปแบบเดียวคือรูปแบบที่ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของการเกิดพัลส์และขนาดของพัลส์ เปรียบเทียบกัน ระหว่างไซเคิลบวกและไซเคิลลบเท่านั้น แต่หลังจากที่มีการนำเอาไมโคร โปรเซสเซอร์ทำให้เครื่องมือตรวจจับการปล่อยประจุบางส่วนมีศักยภาพมากขึ้น การเก็บข้อมูลมีความละเอียดมากยิ่งขึ้น และสามารถวัดมุมเฟสทางไฟฟ้าที่เกิดการปล่อยประจุบางส่วนได้ จึงทำ

ให้ได้ข้อมูลที่มีประโยชน์ต่อการนำมาวิเคราะห์มาก ข้อมูลรูปแบบใหม่จะบันทึกค่าประจุที่ปรากฏ (q) ที่เกิดขึ้นตามมุมเฟส (ϕ) และค่าแรงดันทดสอบ (U) ด้วยการพัฒนาทางเทคโนโลยีของเครื่องตรวจจับการปล่อยประจุบางส่วนนี้เองทำให้ได้รูปแบบการกระจายข้อมูลหลากหลายรูปแบบ เป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์มากยิ่งขึ้น[29] จึงทำให้ในปัจจุบันมีนักวิจัยทำการศึกษาวิจัยเพื่อหารูปแบบเฉพาะของการเกิดการปล่อยประจุบางส่วนในฉนวนแต่ละตำแหน่งโดยใช้เทคนิคต่างๆมากมาย[30,31,32]

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการตรวจจับการปล่อยประจุบางส่วนในเมืองไทยเมื่อปี พ.ศ. 2542 ได้มีงานวิจัยพัฒนาและออกแบบสร้างเครื่องวิเคราะห์การปล่อยประจุบางส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงซึ่งใช้คอมพิวเตอร์เป็นฐานได้สำเร็จ ซึ่งสามารถคำนวณเมตริกซ์การกระจายของค่าประจุที่ปรากฏ แล้วนำรูปแบบเหล่านี้มาทำการวิเคราะห์และจำแนกประเภทของความบกพร่องที่เกิดในอุปกรณ์แรงสูงได้ [5] และในปี พ.ศ. 2544 ได้มีการศึกษาการรู้จำรูปแบบของการเกิดการปล่อยประจุบางส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงด้วยเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นมาโดยใช้นิวทรอลเน็ตเวิร์ค [6] ซึ่งให้ผลการจำแนกเป็นที่น่าพอใจ แต่สำหรับการศึกษาและจำแนกจุดบกพร่องในฉนวนของเครื่องจักรกลหมุนด้วยรูปแบบการเก็บข้อมูลซึ่งใช้คอมพิวเตอร์เป็นฐาน ในเมืองไทยนั้นยังไม่ได้มีการศึกษา

3.5 ตำแหน่งจุดบกพร่องของฉนวนที่พบในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ตำแหน่งจุดบกพร่องที่อาจเกิดการปล่อยประจุบางส่วนที่พบในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีอยู่ทั้งหมด 3 ตำแหน่ง แต่ละตำแหน่งจุดบกพร่องที่เกิดการปล่อยประจุบางส่วนจะมีผลต่อการเสื่อมสภาพและความรุนแรงต่อฉนวนต่างกันไป ดังนั้นการรู้ตำแหน่งที่เกิดการปล่อยประจุบางส่วนที่คาดว่าจะเป็นจุดบกพร่องจะทำให้การประเมินสภาพฉนวนน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น และยังทำให้สามารถวางแผนการนำอุปกรณ์เข้าใช้งานและบำรุงรักษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตำแหน่งจุดบกพร่องที่อาจเกิดการปล่อยประจุบางส่วนมี 3 ตำแหน่งคือ ในเนื้อฉนวนของขดลวดส่วนที่อยู่กับที่ บริเวณสล็อตและบริเวณส่วนพันร่อง (ดังสรุปไว้ในตารางที่ 3.1) ปัจจุบันเทคโนโลยีมีการพัฒนาระบบฉนวนทั้งในเรื่องของชนิดวัสดุที่ใช้และกรรมวิธีในการผลิตมีความเจริญก้าวหน้าไปมาก การเกิดจุดบกพร่องภายในเนื้อฉนวนของขดลวดส่วนที่อยู่กับที่ระหว่างกระบวนการผลิตมีน้อยมาก

จุดบกพร่องที่พบและทำให้เกิดความเสียหายมากที่สุดจะพบบริเวณสล๊อต รองลงมาคือ บริเวณส่วนพื้นร่อง

ตารางที่ 3.1 ตำแหน่งการเกิดการปล่อยประจุบางส่วนในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า[10]

ตำแหน่ง	ภาพแสดงตำแหน่งที่เกิดการปล่อยประจุบางส่วน	สาเหตุ
1. ในขดลวดสเตเตอร์		• ความร้อนทำให้ความแข็งแรงของวัสดุประสานฉนวนกับขดลวดลดลง และเมื่อได้รับความร้อนสูง อัตราการขยายตัวที่แตกต่างกันของฉนวนและขดลวดตัวนำทำให้ฉนวนหลุดล่อนออกจากผิวตัวนำ • ความร้อนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่นการสลายตัวของโมเลกุล ทำให้ความแข็งแรงระหว่างชั้นไมก้าและอีพ็อกซีลดลงจนเกิดรอยแยก • โพรงอากาศเป็นความบกพร่องในฉนวนที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิต • ความร้อนทำให้ อีพ็อกซีเปราะและเมื่อได้รับความเครียดทางกลทำให้เกิดรอยแตกในเนื้อฉนวน
2. ระหว่างผิวฉนวนและสล๊อต		• ชั้นวัสดุกึ่งตัวนำหลุดล่อนหรือชำรุดเนื่องจากการขัดสีระหว่างผิวฉนวนกับสล๊อต
3. บริเวณส่วนพื้นร่อง		• เกิดจากความสกปรกที่ผิวฉนวนบริเวณส่วนพื้นร่อง ผิวฉนวนที่สกปรกและชื้นจะนำกระแสไฟฟ้าได้ ทำให้ไม่มีแรงดันตกคร่อมแต่แรงดันที่เหลือจะไปตกคร่อมบริเวณที่แห้งทำให้ความเข้มสนามไฟฟ้าบริเวณนั้นสูงจนเกิดการปล่อยประจุบางส่วน

3.6 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเสื่อมสภาพของฉนวน

เอกสาร IEC Pub. 505 แบ่งปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเสื่อมสภาพฉนวนไว้ 4 ประเภทดังนี้

1) การเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน

ในฉนวนสารส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งความร้อนจะมีอิทธิพลต่ออายุการใช้งานของฉนวนมาก จากสมการของอาร์เรเนียสสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุของฉนวนและอุณหภูมิได้ตามสมการที่ 3.1

$$L = A \exp(B/T) \quad (3.1)$$

เมื่อ L คืออายุของฉนวน

A และ B คือค่าคงที่

T คืออุณหภูมิมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

จากสมการที่ 3.1 พบว่าเมื่ออุณหภูมิของฉนวนสูงขึ้นจะทำให้อายุการใช้งานของฉนวนต่ำลง จากการนำสมการของอาร์เรเนียสไปใช้ประมาณค่าอายุการใช้งานของฉนวนระดับชั้น B ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจะมีอายุการใช้งานประมาณครึ่งหนึ่งของอุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส

2) การเสื่อมสภาพเนื่องจากไฟฟ้า

การเสื่อมสภาพเนื่องจากไฟฟ้ามักจะอยู่ในรูปแบบของการเกิดการปล่อยประจุบางส่วน ซึ่งการปล่อยประจุบางส่วนในบริเวณโพรงอากาศแคบๆ แต่เกิดต่อเนื่องกันเป็นเวลานานก็จะทำให้เกิดความร้อนสะสมที่บริเวณนั้น ผลของความร้อนจะทำให้ฉนวนเกิดการลุกลาม หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีและเสื่อมสภาพในที่สุด

3) การเสื่อมสภาพเนื่องจากสภาวะแวดล้อม

การเสื่อมสภาพจากสาเหตุนี้สืบเนื่องมาจากสิ่งแวดล้อมที่ใช้งานของอุปกรณ์ฉนวนที่ใช้งานในที่ชื้นและมีฝุ่นละอองสกปรกเป็นคราบน้ำมัน ความชื้นจะเป็นอันตรายกับฉนวนประเภทเทอร์โมพลาสติกหรือโพลีเอสเตอร์ซึ่งจะทำให้เกิดรอยแตกบริเวณปลายร่องสลีต ส่วนน้ำมันนั้นจะไปละลายพันธะที่ใช้ยึดฉนวนทำให้ฉนวนเกิดรอยแตกได้เช่นเดียวกัน ผลของคราบน้ำมันร่วมกับฝุ่นละอองมักจะส่งผลทางอ้อมคือ คราบน้ำมันและฝุ่นละอองจะไปอุดตันท่อระบายอากาศทำให้การระบายอากาศไม่ดีพอเกิดความร้อนสะสมและทำให้ฉนวนเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่สะสมนั้น

4) การเสื่อมสภาพเนื่องจากผลทางกล

ในระหว่างการใช้งานอุปกรณ์ตามปกตินั้น ขดลวดส่วนที่อยู่กับที่จะได้รับแรงทางแม่เหล็กไฟฟ้า ในกรณีที่ขดลวดส่วนที่อยู่กับที่หุ้มแรงแม่เหล็กไฟฟ้าจะทำให้ขดลวดส่วนที่อยู่กับที่ลั่นและทำให้ฉนวนบริเวณปลายร่องสลิตถูกขัดสีและเกิดรอยแตกได้



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright © by Chiang Mai University
 All rights reserved