บทที่ 1

บทนำ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.1 บทนำทั่วไป

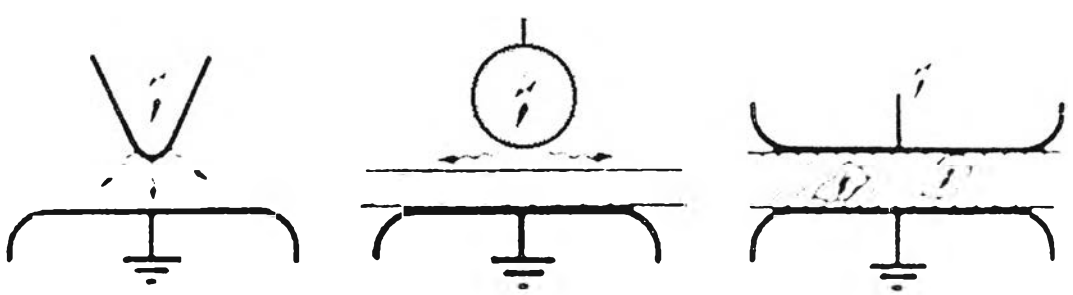
ดีสชาร์จบางส่วน (Partial Discharge, PD) เป็นดีสชาร์จทางไฟฟ้าที่ไม่เชื่อมต่อถึงกันระหว่างขั้วของอุปกรณ์ไฟฟ้า[1] โดยการเกิดสปาร์กในเนื้อฉนวนเพียงบางส่วนตรงบริเวณที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงกว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤต

ดีสชาร์จบางส่วนอาจแบ่งตามลักษณะที่เกิดได้ 3 แบบ[1,2] คือ

1) โคโรนาดีสชาร์จ (Corona discharge) เกิดขึ้นในอากาศตรงบริเวณรอบๆอิเล็กโทรดปลายแหลมหรือขอบคมที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงกว่าบริเวณอื่น เช่น สายตัวนำแรงสูงที่มีขนาดเล็กเกินไป หรือผิวสายตัวนำไม่เรียบพอ ทำให้อากาศรอบๆบริเวณนั้นเกิดไอออไนเซชัน ดังรูปที่ 1.1 ก)

2) ดีสชาร์จตามผิว (Surface discharge) เกิดบริเวณผิวของฉนวนที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าในแนวเดียวกับผิวสูง อาจเกิดรอยกัดกร่อน (tracking) ซึ่งมีสภาพนำไฟฟ้า ดังรูปที่ 1.1 ข)

3) ดีสชาร์จภายใน (Internal discharge) เกิดขึ้นในเนื้อฉนวนที่มีความคงทนไดอิเล็กตริกต่ำหรือมีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงกว่าบริเวณอื่น จึงทำให้เนื้อฉนวนส่วนนี้เกิดเบรกดาวน์ก่อน ดีสชาร์จภายในเกิดขึ้นเนื่องจากมีโพรงอากาศหรือสิ่งแปลกปลอมในเนื้อฉนวนที่เป็นของแข็งหรือของเหลว ตัวอย่างของดีสชาร์จภายในแสดงดังรูปที่ 1.1 ค)



ก) ข) ค)

รูปที่ 1.1 ดีสชาร์จบางส่วนแบบต่างๆ

ก) โคโรนาดีสชาร์จ ข) ดีสชาร์จตามผิว ค) ดีสชาร์จภายใน

ดีสชาร์จบางส่วนอาจทำให้เกิดปรากฏการณ์ต่างๆ เช่น แสง เสียงรบกวน ความร้อน การเปลี่ยนแปลงทางเคมี การแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า พลังงานสูญเสียในฉนวนและกระแสพัลส์ที่ขั้วสายของอุปกรณ์ เป็นต้น[1] ผลของดีสชาร์จบางส่วนหรือ PD อาจก่อให้เกิดคลื่นรบกวนวิทยุ เข้าไปรบกวนระบบสื่อสารได้ และในกรณีที่ PD นั้นเกิดขึ้นภายในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ผลอันนี้จะไปทำลายระบบการฉนวน ทำให้ฉนวนเสื่อมสภาพเร็วขึ้น อายุการใช้งานของอุปกรณ์จะสั้นลง และนำไปสู่การเบรกดาวน์ของฉนวนในที่สุด ดังนั้นเราจึงถือเอา PD เป็นแฟกเตอร์สำคัญที่จะบอกชี้ถึงคุณภาพของการฉนวนอุปกรณ์ การออกแบบอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงจึงต้องป้องกันหรือหลีกเลี่ยงมิให้มี PD เกิดขึ้น โดยการออกแบบลักษณะอุปกรณ์ให้มีความเครียดสนามไฟฟ้าต่ำกว่าค่าวิกฤต หรือเลือกใช้เทคนิคทางการฉนวนที่เหมาะสม แต่อย่างไรก็ตามอุปกรณ์ที่ออกแบบหรือผลิตอาจมี PD เกิดขึ้นได้โดยมิได้ตั้งใจ ซึ่งอาจเกิดจากความบกพร่องของระบบการฉนวนในระหว่างการผลิต หรือคุณภาพของฉนวนไม่ได้ตามที่กำหนด จึงต้องมีการวัดหรือตรวจจับ PD ก่อนนำอุปกรณ์ไปใช้งานว่ามี PD เกินกว่าค่าที่มาตราฐานกำหนดไว้หรือไม่ โดยการวัดด้วยเครื่องตรวจจับดีสชาร์จบางส่วน

เครื่องตรวจจับดีสชาร์จบางส่วน เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับวัดค่าดีสชาร์จบางส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งจัดเป็นวิธีการทดสอบคุณสมบัติการฉนวนของอุปกรณ์แบบไม่ทำลาย และเป็นข้อกำหนดที่สำคัญของมาตราฐานการทดสอบในปัจจุบัน

เครื่องตรวจจับดีสชาร์จบางส่วนแบบดิจิตอลตามข้อกำหนดอย่างต่ำที่มาตรฐานกำหนดไว้จะต้องสามารถแสดงค่าขนาดของประจุที่ปรากฏ(Apparent Charge Magnitude) ของ PDได้[3] นอกจากนั้นแล้วเครื่องตรวจจับ PD แบบดิจิตอลที่ใช้คอมพิวเตอร์เป็นฐานสามารถประมวลผลสัญญาณ PD แบบเวลาจริง เนื่องจากปัจจุบันนี้คอมพิวเตอร์มีสมรรถนะในการคำนวณสูงขึ้นมาก ทำให้สามารถตรวจจับ แสดงผล และบันทึกค่าประจุที่ปรากฏ(q)และมุมเฟสของแรงดันทดสอบ (ϕ) เมื่อเกิด PD รวมทั้งค่าแรงดันทดสอบ(U) ได้ตลอดเวลาที่ทำการทดสอบ ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหารูปแบบของการกระจายที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ PD ได้ เมื่อนำรูปแบบเหล่านี้มาผ่านขั้นตอนการวิเคราะห์ก็จะทำให้ทราบสาเหตุที่ทำให้เกิด PD ในฉนวน[4] อันนำไปสู่กระบวนการแก้ปัญหาความบกพร่องของการฉนวนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงที่เหมาะสมต่อไป

1.2 ที่มาของปัญหา

ปัจจุบันมีโรงงานภายในประเทศสามารถผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงได้แล้วหลายชนิด เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า เคเบิลแรงสูง ลูกถ้วยฉนวน สวิตช์เกียร์ เป็นต้น ซึ่งต้องตรวจสอบวัดค่าดีสชาร์จบางส่วนตามที่มาตรฐานกำหนด การไฟฟ้าต่าง ๆ ที่ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าเหล่านี้ในระบบส่งจ่ายต้องมีการตรวจวัด PD หลังจากการซ่อมบำรุง[5] เมื่อตรวจวัด PD แล้วพบว่ามีค่าเกินกว่าที่มาตรฐาน

ยอมรับได้ก็จะต้องมีการตรวจสอบและวิเคราะห์สาเหตุ ซึ่งอาจเกิดจากความบกพร่องในการออกแบบ ความบกพร่องในกระบวนการผลิต หรือความบกพร่องในการติดตั้งก็ได้ จึงมีความจำเป็นต้องใช้เครื่องวิเคราะห์ดีสชาร์จบางส่วน เครื่องวิเคราะห์ดีสชาร์จบางส่วนที่สั่งซื้อจากต่างประเทศก็มีราคาแพงมาก ทางศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลังจึงได้ทำการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาออกแบบและสร้างเครื่องวิเคราะห์ดีสชาร์จบางส่วนขึ้น โดยได้รับการสนับสนุนด้านเงินทุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

1.3 ประวัติการศึกษาวิจัย

กล่าวได้ว่ามนุษย์รู้จักดีสชาร์จบางส่วนที่เกิดขึ้นภายในฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงหรือบริเวณรอบๆตัวนำมากกว่า 80 ปีแล้ว[1] ซึ่งการศึกษาจะจำกัดเฉพาะเรื่องการวัด หรือตรวจจับ PD โดยการวัดกระแสพัลส์ที่ขั้วของอุปกรณ์ เนื่องจากปัญหาที่เกิดขึ้นสำหรับการวัด PD ที่สำคัญคือ สัญญาณรบกวนจากภายนอก ดังนั้นในราวปี ค.ศ. 1951 B. Koske ได้นำมิเตอร์กึ่งค่ายอด (Quasi-peak RIV meter) ที่ใช้ในการวัด RIV ซึ่งเป็นที่รู้จักกันแพร่หลายในขณะนั้นมาใช้วัด PD ภายในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงชนิดต่าง ๆ โดยการวัด PD ในหน่วย "ไมโครโวลต์" การวัด PD แบบนี้จะไม่มีปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวน [6] และยังคงใช้อยู่จนถึงปัจจุบัน เช่น การวัด PD ภายในหม้อแปลงไฟฟ้าตามมาตรฐาน NEMA (NEMA Publ. No. 107 และ NEMA Publ. No. TR. 1) แต่อย่างไรก็ตามการวัดแบบนี้มีปริมาณที่วัดได้จะมีคุณสมบัติตามลักษณะการตอบสนองการได้ยินของหูมนุษย์ [6] ดังนั้นค่า PD ที่วัดได้โดยมิเตอร์กึ่งค่ายอดจึงไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่า PD ที่เกิดขึ้นที่อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ด้วยเหตุนี้การวัด PD โดยใช้เครื่องตรวจจับ PD จึงเป็นที่นิยมใช้มากกว่ามิเตอร์กึ่งค่ายอด และประกอบกับปัจจุบันวิวัฒนาการทางด้านอิเล็กทรอนิกส์เจริญรุดหน้าไปมาก จึงได้มีการนำกรรมวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์มาใช้ในการลดหรือแยกแยะ PD ออกจากสัญญาณรบกวนต่าง ๆ [6,7]

การวิเคราะห์ PD นั้น เริ่มมีการวินิจฉัย PD ในระบบการฉนวน (insulation diagnostics) มาตั้งแต่ในราวปี 1950[8] โดยใช้วิธีการต่างๆ ตัวอย่างที่สำคัญ เช่น การสังเกต รูปแบบของสัญญาณบนรูปลิสซาจูส์ (Lissajous traces) ซึ่งริเริ่มโดย Kreuger และ Mole การวิเคราะห์สัญญาณจาก tanδ bridges โดย Meyer และ Dakin การวิเคราะห์ลำดับการเกิดของพัลส์โดย Lacoste และ Bartnikas เป็นต้น โดยการวินิจฉัย PD ได้มีควบคู่ไปกับการสังเกตและศึกษาปรากฏการณ์ที่เกิดจาก PD ในแง่มุมต่างๆ เช่น กระบวนการเสื่อมสภาพ (degradation) ของระบบการฉนวน การเกิดทรี (treeing) การศึกษา PD ในโพรง (void) ที่มีรูปทรงต่างๆภายในฉนวน เป็นต้น โดยในปัจจุบันนี้การวิเคราะห์ PD จะเน้นไปที่การศึกษาในด้านลึกในเรื่องกลไกที่เกี่ยวข้อง

กับการเกิด PD และในด้านการสร้างแบบจำลอง (modeling) ที่เหมาะสมสำหรับลักษณะการฉนวนแบบต่างๆ[8]

ในประเทศไทย ได้มีรายงานเกี่ยวกับการพัฒนาออกแบบ และสร้างเครื่องตรวจจับ PD ครั้งแรกในปี พ.ศ. 2525 โดยการออกแบบและประกอบสร้างมิเตอร์กึ่งค่ายอดเพื่อใช้วัด PD ในเทอมของคลื่นรบกวนวิทยุ[9] ในปี พ.ศ. 2527 ได้มีรายงานเกี่ยวกับการศึกษาการเกิดดีสชาร์จบางส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง[2] ในปี พ.ศ. 2533 ได้มีงานวิจัยออกแบบสร้างเครื่องตรวจจับดีสชาร์จบางส่วนสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงเป็นวิทยานิพนธ์[5] และเมื่อไม่นานมานี้คือในปี พ.ศ. 2541 ได้มีการวิจัยเพื่อออกแบบสร้างระบบตรวจหาตำแหน่งที่เกิดดีสชาร์จบางส่วนในสายเคเบิลแรงสูง ซึ่งใช้คอมพิวเตอร์เป็นฐานและใช้ FPGAซึ่งเป็นไอซีดิจิตอลที่สามารถโปรแกรมการทำงานในระดับฮาร์ดแวร์ได้ มาประมวลผลสัญญาณดิจิตอลและควบคุมการทำงานของอุปกรณ์วัด โดยมีการใช้เทคนิคการประมวลผลสัญญาณดิจิตอลในขั้นตอนต่างๆของการตรวจจับและตรวจหาตำแหน่งที่เกิด PD ในสายเคเบิลแรงสูงด้วย[10,11]

1.4 วัตถุประสงค์และขอบข่ายของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องวิเคราะห์ดีสชาร์จบางส่วนแบบดิจิตอลที่ทำงานแบบเวลาจริงโดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์เป็นฐาน ให้มีความสามารถตรวจจับ PD ภายในของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงได้ทุกชนิด โดยการออกแบบให้วงจรส่วนที่ตรวจจับ PD เป็นแบบแถบกว้าง มีคุณสมบัติตามข้อกำหนดของมาตรฐาน IEC และมีความไวได้สูงถึง 1 พิโคคูลอมป์สำหรับวัสดุทดสอบไฟฟ้าแรงสูงทั่วไป เช่น ตัวเก็บประจุ เคเบิลแรงสูง หม้อแปลงแบบแห้ง เป็นต้น เครื่องวิเคราะห์ดีสชาร์จบางส่วนที่ออกแบบสร้างสามารถบันทึกค่าประจุที่ปรากฏ(q) ที่เกิดขึ้นตามมุมเฟสของแรงดัน(ϕ) และค่าแรงดันทดสอบ(U) ได้ตลอดเวลาที่ทำการทดสอบ ซึ่งสามารถนำมาคำนวณเมตริกซ์การกระจายของค่าประจุที่ปรากฏเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ PD เมื่อนำรูปแบบเหล่านี้มาผ่านขั้นตอนการวิเคราะห์และจำแนกประเภทก็จะสามารถบอกสาเหตุที่ทำให้เกิด PD