

การวิเคราะห์ค่ากระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน IEC60909 ของ
โรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลาง
Short Circuit Analysis According to IEC60909 Standard
of Medium Size Factory

บวรพงศ์ รัตนไทยนันท์

โกศีย์ สันติกรโยธิน

เพชร นันทวัฒน์

วิชากร เสงศรีวิษ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีปทุม 2410/2 อ.พหลโยธิน แขวงสามนฤมิต เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
E-mail: petch.na@spu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นกรณีศึกษาการคำนวณค่ากระแสลัดวงจรเพื่อนำผลลัพธ์ที่สูงสุดมาวิเคราะห์ถึงความปลอดภัยหากเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวขึ้น มีการคำนวณในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลาง ผลลัพธ์จากการคำนวณค่ากระแสลัดวงจรมีการใช้ตัวแปรของแรงดันระบบจำหน่ายที่ 416 V ค่าประกอบแรงดัน (C) เท่ากับ 1.1 ขนาดกำลังงานพิกัดหม้อแปลง 500 kVA (ใช้ค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงตามมาตรฐานการทดสอบของ IEC) โดยทำการคำนวณค่ากระแสลัดวงจรในระบบไฟฟ้าแรงดันประเภท สามเฟสสามลวด สายถึงสาย และสายถึงดิน ผลลัพธ์จากการคำนวณที่จุดแรกคือค่ากระแสลัดวงจรที่จ่ายไปประธาน (MDB) ซึ่งมีระยะห่างจากหม้อแปลง 5 เมตร (ขนาดสาย IEC01 2x300 Sq.mm) พบว่าค่ากระแสลัดวงจรแบบสายถึงดินนั้นมีค่าสูงสุด (18.42 kA) และการคำนวณที่แผงวงจรรองที่มีระยะห่างออกไปจากตู้จ่ายไฟประธาน (MDB) ผลลัพธ์ของการคำนวณค่ากระแสลัดวงจรทั้งหมดพบว่าค่ากระแสลัดวงจรแบบสามเฟสสามลวดให้ค่าที่สูงที่สุด สุกหัยผลลัพธ์ของค่ากระแสลัดวงจรจะนำมาเปรียบเทียบกับที่ความทนทานต่อกระแสลัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Ic) โดยความเหมาะสมของค่าดังกล่าวไม่ควรต่ำกว่า 125% ของกระแสลัดวงจรสูงสุด

คำสำคัญ: กระแสลัดวงจร อิมพีแดนซ์ เซอร์กิตเบรกเกอร์ ตู้จ่ายไฟประธาน(MDB) แผงวงจรรอง

ABSTRACT

This paper presents a case study of short-circuit calculation results of a medium size industry plant. The system parameters compose of line-voltage 416 V, voltage factor (C) 1.1 and transformer of 500 kVA which has a percent impedance (%Z) comply with IEC-Standard. Types of short-circuit on low voltage side

2409

included three-phase, line-to-line, and single line-to-ground fault. The results demonstrate that the maximum short-circuit current is 18.42 kA of single line-to-ground fault at the main distribution board (MDB) point. Distance from MDB to the transformer is 5 m with conductor size of IEC01 2x300 Sq.mm. The short-circuit calculation at any point far away from the MDB finds out three-phase fault given the highest current. Finally, all result of high short-circuit current are checked and compare with the interrupting current (Ic) of the circuit breaker (CB). To ensure that CBs and components are able to withstand without damage. The interrupting operating current should not less than 125% of maximum short-circuit current.

KEYWORDS: short-circuit current, percent impedance, circuit breaker, main distribution board

1. บทนำ

ในปัจจุบันพบว่าวิเคราะห์ค่ากระแสลัดวงจรนั้นมีการดำเนินงานในหลายมิติตั้งแต่ระบบไฟฟ้าแรงสูง ระบบไฟฟ้าแรงดันปานกลาง และระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำที่มีการใช้งานในอาคารขึ้นเรือนรวมไปถึงโรงงานอุตสาหกรรม การวิเคราะห์กระแสลัดวงจรของงานวิจัยต่างมีจุดประสงค์ที่เลือกขนาดอุปกรณ์ป้องกันและการปรับตั้งอุปกรณ์ป้องกัน เมื่อเกิดการลัดวงจรในระบบไฟฟ้าแล้วนั้นอุปกรณ์ป้องกันดังกล่าวต้องไม่เกิดความเสียหายและทำหน้าที่ลัดวงจรที่เกิดการลัดวงจรให้เร็วที่สุด หากแต่อุปกรณ์ป้องกันดังกล่าวเกิดความเสียหายอาจจะส่งผลกระทบต่อภารกิจที่สำคัญซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากการเกิดลัดวงจรในระบบไฟฟ้า

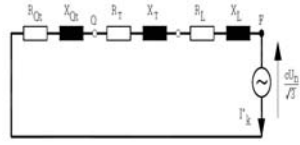
การศึกษาวิเคราะห์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ากระแสลัดวงจรที่มีกระแสสูงซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลแอมแปร์ (kA) ทำให้เกิดความเครียดทางความร้อนและความเครียดทางกลอย่างส่งผลให้มันล้มตัวของอุปกรณ์ป้องกันเกิดความเสียหาย[1] โดยค่ากระแสลัดวงจรจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอิมพีแดนซ์ที่ประกอบไปด้วย อิมพีแดนซ์ของระบบจำหน่าย อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า และอิมพีแดนซ์ของสายไฟฟ้าด้วย[2] ทั้งนี้การคำนวณค่ากระแสลัดวงจรนั้นมีมาตรฐานสากลเพื่อให้เป็นแนวทางในการดำเนินงาน มาตรฐาน IEC60909 และ IEEE51 โดยการคำนวณจากมาตรฐาน IEC60909[3] จะให้ค่ากระแสลัดวงจรที่สูงกว่า 10-10%[4] นอกจากนี้ยังพบงานวิจัยและบทความที่มีการนำเสนอถึงการวิเคราะห์กระแสลัดวงจรเพื่อการเลือกขนาดอุปกรณ์ป้องกันและปรับตั้งอุปกรณ์ป้องกันจากการคำนวณค่ากระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน IEC60909[5] การคำนวณค่ากระแสลัดวงจรเพื่อการออกแบบระบบไฟฟ้าของเรือเดินสมุทรที่มีความปลอดภัยจากการเกิดไฟฟ้าลัดวงจร[6] การคำนวณค่ากระแสลัดวงจรเพื่อหาตำแหน่งของการเกิดลัดวงจรในระบบสายส่ง[7] และกระแสลัดวงจรของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งไหลมอดอร์ดังกล่าวถือได้ว่าเป็นโหลดทางไฟฟ้าหลักของโรงงานอุตสาหกรรมอีกด้วย[8]

จากบทความนี้ได้มีการศึกษาแล้วดังกล่าวทำให้เห็นถึงความสำคัญของการเลือกขนาดที่ความทนทานต่อกระแสลัดวงจรเช่นในสถานีไฟฟ้าจ่าย การเกิดลัดวงจรในสายส่ง ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้โหลดประเภทมอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นหลัก แม้กระทั่งเรือเดินทะเลที่มีการใช้ไฟฟ้าภายใน ดังนั้นบทความฉบับนี้จึงตระหนักถึงความสำคัญของการเกิดลัดวงจรในระบบไฟฟ้าโดยมีแนวคิดที่จะคำนวณค่ากระแสลัดวงจรตามมาตรฐาน IEC60909 เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความทนทานต่อกระแสลัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีการ

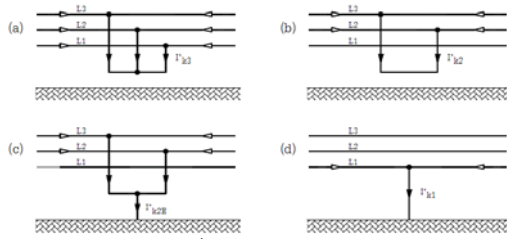
คิดสิ่งเดิมในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลาง เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายของอุปกรณ์ป้องกันหากเกิดการลัดวงจรที่ส่งผลถึงความเครียดทางความร้อนและความเครียดทางกลของกระแสลัดวงจรจนเป็นสาเหตุของการเกิดอัคคีภัยในที่สุด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเกิดลัดวงจรในระบบไฟฟ้าหมายถึงการที่มีกระแสที่เกินถึงถึงกันของ 2 ตัวนำขึ้นไปที่มีระดับแรงดันหรือมุมเฟสที่ต่างกัน เมื่อเกิดลัดวงจรจะเหลือเพียงเคอิมที่แคบของระบบจำหน่าย อิมที่แคบของหม้อแปลง และอิมที่แคบของสายไฟฟ้าที่ตัวนำสามารถนำรวมกันเป็นวงรวมมัลติที่แคบซึ่งลัดวงจรดังกล่าวที่ 1ก. อิมที่แคบที่ลดลงเป็นผลทำให้กระแสที่ไหลผ่านมีปริมาณสูง นอกจากนี้ยังมีประเภทของการเกิดลัดวงจรแต่ละประเภทดังภาพที่ 1ข. ที่สามารถคำนวณได้ตามสมการดังนี้[1]



ภาพที่ 1ก วงจรสมมูลของการเกิดลัดวงจร



ภาพที่ 1ข ประเภทของการเกิดลัดวงจร

ค่ากระแสลัดวงจรประเภทสามเฟสสมดุล $I_{k3}^- = \frac{C}{\sqrt{3}} \times \frac{U_n}{Z_k}$ (1)

ค่ากระแสลัดวงจรแบบสายถึงสาย $I_{k2}^- = \frac{\sqrt{3}}{2} \times I_{k3}^-$ (2)

ค่ากระแสลัดวงจรแบบสายถึงดิน $I_{k1}^- = \frac{\sqrt{3}}{2Z_k + Z_0} \times CU_n$ (3)

โดยที่

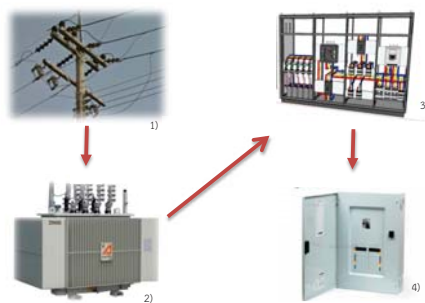
U_n = แรงดันของระบบทางคั่นแรงต่ำ

C = Voltage factor

Z_k = ผลรวมอิมที่แคบขั้วคั่นบวกและขั้วลบ (ระบบจำหน่าย Z_{QT} +หม้อแปลง Z_T +สายตัวนำ Z_L)

Z_0 = ผลรวมอิมที่แคบขั้วคั่น (กำหนดให้ $Z_{(0)L} = 4R_L + j3X_L$ และ $Z_{(0)T} = R_T + j0.95X_{(0)T}$)

3. วิธีดำเนินการ



ภาพที่ 2 กรอบแนวคิดในการดำเนินงาน

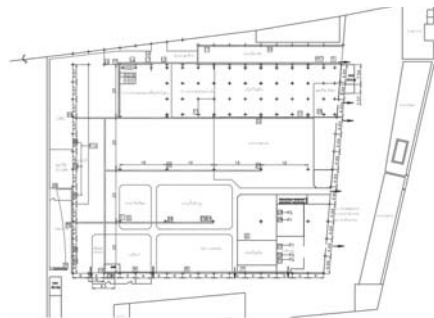
จากภาพที่ 2 กรอบแนวคิดของการวิจัยซึ่งมีการดำเนินงานดังต่อไปนี้ 1) การศึกษาในส่วนของระบบจำหน่ายโดยมีตัวแปรที่สำคัญคือระดับแรงดันไฟฟ้า (การไฟฟ้าแรงหลวง 416-240V การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 400-

230V) 2) การสำรวจระบบไฟฟ้าของสถานที่ทำการศึกษาโดยทำการสำรวจในส่วนของขนาดหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมีผลต่อค่าอิมพีแดนซ์ นำค่าขนาดกำลังงานที่คิดมาเทียบตารางมาตรฐานการกักหน้อแปลงของ IEC โดยมีค่า% อิมพีแดนซ์ที่ 4-6% และทำการวิเคราะห์ความยาวของหม้อแปลงมาซึ่ง MDB ซึ่งมีผลต่อค่าอิมพีแดนซ์ในส่วนของสายตัวนำประธาน 3) การสำรวจระยะในส่วนต่างๆ ทำการศึกษาจากแผนผังของสถานที่ทำการศึกษา ซึ่งมีผลต่ออิมพีแดนซ์ของสายตัวนำที่มีการขึ้นจากตู้จ่ายไฟประธาน ไปยังแผงวงจรร้อยในส่วนต่างๆ หลังจากที่ได้ค่าอิมพีแดนซ์ของระบบไฟฟ้า อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง อิมพีแดนซ์ของสายตัวนำประธาน และอิมพีแดนซ์ของสายประธานซึ่งแผงวงจรร้อยแล้ว สามารถนำค่าอิมพีแดนซ์ทั้งหมดมาคำนวณค่ากระแสลัดวงจรได้โดยทำการคำนวณของการเกิดการลัดวงจรประเภทสามเฟสสมดุลสมการ (1) ประเภทสายถึงสายดังสมการ (2) และประเภทสายถึงดินดังสมการ (3) ทำการคำนวณค่ากระแสลัดวงจรที่MDB และแผงวงจรร้อย 4) หลังจากได้ผลลัพธ์ของค่ากระแสลัดวงจรทั้ง 3 ประเภททั้งใน MDB และแผงวงจรร้อยมาเปรียบเทียบกับความทนทานต่อกระแสลัดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Ic) ในแต่ละจุด ถ้าพบว่าค่า Ic มีค่าต่ำกว่า 125% ของกระแสลัดวงจรจะมีการจัดทำข้อเสนอแนะเพื่อการปรับเปลี่ยนขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ให้ค่า Ic ที่เหมาะสม

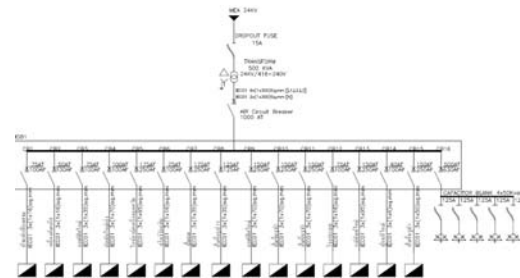
4. ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ส่วนพื้นที่ศึกษา

- ระบบจำหน่ายที่ระดับแรงดันปานกลาง 24 kV ทางด้านแรงดันต่ำ 416 V จะได้อิมพีแดนซ์ของระบบจำหน่าย = 0.382 mΩ
- หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 500 kVA ตามตารางมาตรฐานการผลิตของ IEC จะมีค่าอิมพีแดนซ์ถ้าตัวบวก, ลบ = 13.84 mΩ และอิมพีแดนซ์ถ้าตัวศูนย์ = 13.14 mΩ
- สายไฟฟ้าตัวนำประธานขนาด 2 x 300 Sq.mm ความยาว 5 m และสายไฟฟ้าตัวนำที่ขึ้นจากตู้จ่ายไฟประธาน (MDB) ไปยังแผงวงจรร้อย ขนาด 6, 16, 25, 35, 50, 70 และ 90 Sq.mm ที่ความยาวตั้งแต่ 2 ถึง 100 m



ก. แผนผังโรงงานอุตสาหกรรม



ข. แผนผังเส้นเดียว

ภาพที่ 3 แผนผังของโรงงานอุตสาหกรรมและแผนผังเส้นเดียว

4.2 ข้อมูลที่นำมาใช้เพื่อการดำเนินงาน

โดยข้อมูลที่ได้นำมาใช้จากหัวข้อที่ 4.1 สามารถศึกษาได้จากแผนผังเส้นเดียวเพื่อทราบข้อมูลในส่วน of ระบบจำหน่าย ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า ขนาดสายไฟฟ้าตัวนำประธาน และขนาดสายไฟฟ้าตัวนำที่ขึ้นนอกจากนี้ยังมีการนำแผนผังการบอกระยะของโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้เพื่อการบอกระยะจากตู้จ่ายไฟประธาน (MDB) ไปยังแผงวงจรร้อยซึ่งคืออย่างของแผนผังเส้นเดียวและแผนผังที่ใช้บอกระยะแสดงดังภาพที่ 3

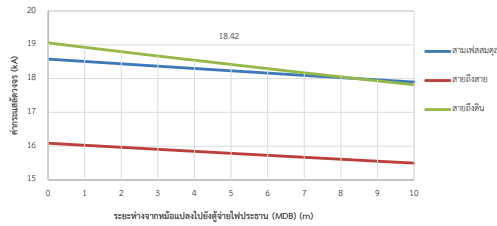
4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการคำนวณค่ากระแสลัดวงจรที่ตู้จ่ายไฟไปประธาน (MDB) ซึ่งประกอบไปด้วยอินพีแดนซ์ของระบบจำหน่าย อินพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า และอินพีแดนซ์ของสายป้อน หลังจากนั้นทำการคำนวณค่ากระแสลัดวงจรที่แผงจอร์ย้อยในแต่ละจุดซึ่งมีส่วนประกอบอินพีแดนซ์ที่คล้ายกันกับการคำนวณที่ตู้จ่ายไฟไปประธาน แต่มีการเพิ่มอินพีแดนซ์ของสายป้อนเข้ามา โดยอินพีแดนซ์ของสายป้อนนั้นขึ้นอยู่กับขนาดและความยาว

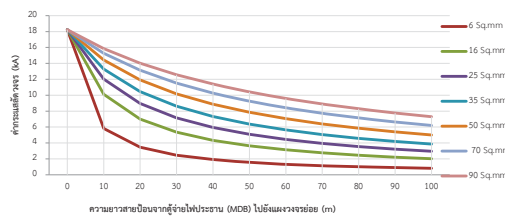
4.4 ผลการวิเคราะห์ค่ากระแสลัดวงจร

ทำการคำนวณค่ากระแสลัดวงจรที่ตู้จ่ายไฟไปประธานด้วยขนาดสาย 2 x 300 Sq.mm ความยาว 5 m ดังแสดงภาพที่ 4 จะได้ค่ากระแสลัดวงจรเท่ากับ 18.42 kA ประเภทการเกิดลัดวงจรแบบสายถึงดิน และจากการคำนวณที่แผงจอร์ย้อยทั้งหมดตามขนาดสายป้อนที่มีการกล่าวไปในหัวข้อที่ 4.1 พบว่าการเกิดลัดวงจรที่แผงจอร์ย้อยทั้งหมดนั้น การเกิดลัดวงจรประเภทสายเฟสชนดินให้ผลลัพธ์ที่สูงที่สุดจึงทำการคำนวณแสดงภาพที่ 5

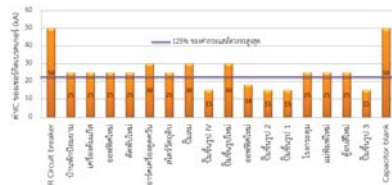
จากภาพที่ 5 เมื่อทราบขนาดของสายป้อนและความยาวสายป้อนสามารถนำมาหาค่ากระแสลัดวงจรได้หลังจากที่ทราบค่ากระแสลัดวงจรในแต่ละส่วนแล้วนั้นสามารถนำค่ากระแสลัดวงจรไปคูณด้วย 125% และนำไปเปรียบเทียบกับค่า I_c ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ได้ดังแสดงภาพที่ 6 - ภาพที่ 9



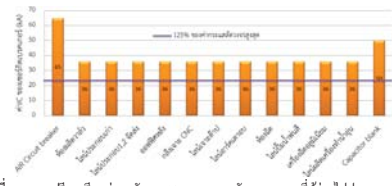
ภาพที่ 4 กราฟแสดงค่ากระแสลัดวงจรที่ตู้จ่ายไฟไปประธาน (MDB)



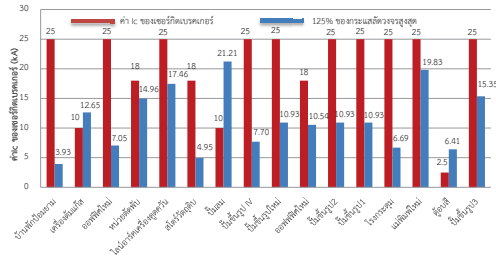
ภาพที่ 5 กราฟแสดงค่ากระแสลัดวงจรตามความยาวสายป้อนในแต่ละขนาด



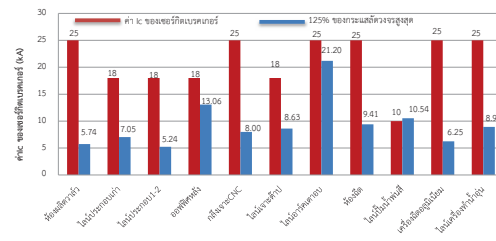
ภาพที่ 6 ผลการเปรียบเทียบค่า I_c กับ 125% ของกระแสลัดวงจรสูงสุดที่ตู้จ่ายไฟไปประธาน (MDB1)



ภาพที่ 7 ผลการเปรียบเทียบค่า I_c กับ 125% ของกระแสลัดวงจรสูงสุดที่ตู้จ่ายไฟไปประธาน (MDB2)



ภาพที่ 8 ผลการเปรียบเทียบค่า Ic กับ 125% ของกระแสตัวจรสูงสุดที่แรงจรรย้อย (ป้อนจาก MDB1)



ภาพที่ 9 ผลการเปรียบเทียบค่า Ic กับ 125% ของกระแสตัวจรสูงสุดที่แรงจรรย้อย (ป้อนจาก MDB2)

4.5 ข้อสรุปเชิงแนะนำ

ผลการคำนวณค่ากระแสตัวจรดังกล่าวเป็นการคำนวณจากการใช้ค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงตามตารางมาตรฐานการผลิต ซึ่งค่าอิมพีแดนซ์จริงอาจมีความคลาดเคลื่อนไปจากตารางดังกล่าวซึ่งทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณในส่วนของการคำนวณงานคลาดเคลื่อนไปด้วย

- การเกิดตัวจรในอิติด

การวิเคราะห์ค่ากระแสตัวจรดังกล่าวไม่ได้มีการทราบถึงประวัติการเกิดตัวจรของระบบไฟฟ้าที่โรงงานที่ได้ทำการศึกษา ซึ่งหากเคยเกิดการตัวจรมาแล้วค่า Ic ของเซอร์กิตเบรกเกอร์อาจจะเหลือเพียงแค่ 50-75% (ในกรณีที่เซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่า Ics < 100% Icu)

- การเลือกค่า Ics เพื่อป้องกันการตัวจรดังต่อไปนี้จากครั้งแรก

หากทำการเปลี่ยนขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ให้มีค่า Ic สอดคล้องกับค่ากระแสตัวจร คำนวณได้ทำ ข้อสรุปเชิงแนะนำดังกล่าว ควรพิจารณาว่า Ics ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีค่า Ics = 100% Icu เพื่อความปลอดภัยหากเกิดการตัวจรครั้งต่อไป

ตารางที่ 1 ข้อสรุปเชิงแนะนำในส่วนของผู้จ่ายไปประธาน (MDB1)

ค่า Ic ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ผู้จ่ายไปประธาน (MDB1)		
ชื่อเซอร์กิตเบรกเกอร์	ค่า Ic เดิมที่มีการติดตั้ง (kA)	ค่า Ic ที่เหมาะสม (kA)
1.บัสบาร์รูป IV	15	ไม่ต่ำกว่า 23.03
2.ออตทิคใหม่	18	
3.บัสบาร์รูป 1	15	
4.บัสบาร์รูป 2	15	
5.บัสบาร์รูป 3	15	

ตารางที่ 2 ข้อสรุปเชิงแนะนำในส่วนของแรงจรรย้อย

ค่า Ic ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่แรงจรรย้อย		
ชื่อเซอร์กิตเบรกเกอร์	ค่า Ic เดิมที่มีการติดตั้ง (kA)	ค่า Ic ที่เหมาะสม (kA)
1.เครื่องหม้อแกง	10	ไม่ต่ำกว่า 12.65
2.ปั๊มลม	10	ไม่ต่ำกว่า 21.21
3.ตู้อบสี	2.5	ไม่ต่ำกว่า 6.41
4.โถปั่นน้ำพริก	10	ไม่ต่ำกว่า 10.54

5. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

- ความคลาดเคลื่อนจากอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า

5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

- ค้นหาของหม้อแปลงไฟฟ้า

หากมีการนำค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้าจากแผ่นป้ายตามผู้ผลิตมาคำนวณจะทำให้ค่ากระแสตัวจรมีความถูกต้องและแม่นยำกว่าการใช้ตารางอิมพีแดนซ์ที่มาจากมาตรฐานการผลิต

- โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการคำนวณ

ในปัจจุบันมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์หลายโปรแกรมที่สามารถทำการคำนวณค่ากระแสตัวจรได้โดยใช้อินพุตของระบบจำหน่าย ขนาดของหม้อแปลง และสายไฟฟ้าค่านำซึ่งมีความถูกต้องแม่นยำและสะดวกต่อการวิเคราะห์

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ “การคำนวณกระแสลัดวงจร” การออกแบบระบบไฟฟ้า (Electrical system design) ฉบับปรับปรุง ครั้งที่: 2557 ตามมาตรฐาน วสท. 2556
- [2] ดิอิชย์ ทองนิล “การคำนวณกระแสลัดวงจร” การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้า(ปรับปรุงครั้งที่) พฤษภาคม 2559. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
- [3] IEC 60909-0:2016 Short-circuit currents in three-phase a.c. systems - Part 0: Calculation of currents
- [4] วรเวช บัณฑิตจ่าง, นิศย์ เพ็ชรวิวัฒน์ “การศึกษาความแตกต่างของกระแสลัดวงจรตาม IEC60909 กับ IEEE551 และผลกระทบต่อระบบป้องกันในสถานีไฟฟ้าย่อย” 2558 การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยศรีปทุม (SPU Conference) บทความวิชาการ
- [5] อริยะ เมธเศรษฐ์ “การวิเคราะห์กระแสลัดวงจรเพื่อใช้ปรับตั้งและเลือกค่าพิกัดของอุปกรณ์ป้องกัน” 2544 สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ วิทยานิพนธ์
- [6] Angjuang Adi Panji, Hardika Raditya A, Triyan Indrawan “Short-Circuit Current Calculation Application for Marine and Mobile Offshore Installation Based on IEC-61363 Standard.” 2016 10th International Conference On Marine Technology MARTEC.
- [7] สำริง อินทาม่า “การคำนวณค่าแรงลัดวงจรของสายส่งแบบวงจรมานในระบบไฟฟ้ากำลัง” 2541 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยานิพนธ์
- [8] วิมลก สุวรรณเวช “การประมาณค่ากระแสลัดวงจรเนื่องจากกลุ่มขมอมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยใช้แบบจำลองการรวมกลุ่ม” 2547 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยานิพนธ์