การศึกษาแนวทางการเลือกขนาดสายไฟฟ้าสำหรับวงจรย่อยเพื่ออนุรักษ์พลังงาน

A study on selecting wire sizes of sub-circuits for energy conservation

ภาคภูมิ ทิพย์ประเสริฐ[1], สิทธิพร ใหญ่ธนายศ[2], ปรีดา จันทวงษ์[2] ดุสิต งามรุ่งโรจน์[3] และสุเมธ สถิตบุญอนันต์[4]*

นิสิตบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง

วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ[1]

อาจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง

วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ[2]

อาจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์และสังคม

วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ[3]

อาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยชินวัตร[4]

Corresponding author's e-mail: s6503027816025@email.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอแนวทางการอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าผ่านการเลือกขนาดสายไฟฟ้าสำหรับวงจรย่อย โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบของขนาดหน้าตัดตัวนำที่มีต่อกำลังไฟฟ้าสูญเสีย พฤติกรรมทางความร้อน และความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ตลอดอายุโครงการ ผ่านกรณีศึกษาการทดสอบสายไฟฟ้าชนิด IEC01 (THW) ใน 2 รูปแบบ คือ กรณีที่ 1 (ภาระโหลด 22.4 แอมแปร์) และกรณีที่ 2 (ภาระโหลด 29.6 แอมแปร์) บนระยะทางติดตั้ง 20 เมตร (ไป-กลับ 40 เมตร) ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า การเลือกขนาดสายไฟฟ้าที่ใหญ่ขึ้นกว่ามาตรฐานขั้นต่ำเพียงหนึ่งลำดับ สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในวงจรย่อยลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยในกรณีศึกษาที่ 1 สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียได้ 38.94% และกรณีศึกษาที่ 2 ลดลงได้ 39.58% นอกจากด้านพลังงานแล้ว ยังพบว่าอุณหภูมิสะสมที่เปลือกนอกของสายไฟฟ้าลดลงเฉลี่ย 9.1 - 9.8 °C ซึ่งช่วยลดการเสื่อมสภาพของฉนวนไฟฟ้าและเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งาน ในเชิงเศรษฐศาสตร์ ผลการวิเคราะห์พบว่าการลงทุนในส่วนต่างค่าสายไฟฟ้าสำหรับการอนุรักษ์พลังงานนั้นให้ความคุ้มค่าในระดับสูงมาก โดยกรณีศึกษาที่ 2 ให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) สูงถึง 7,546.91 บาท และมีอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) สูงถึง 193.80% โดยทั้งสองกรณีศึกษามีระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ที่รวดเร็วเพียง 5.4 ถึง 6.2 เดือน สรุปผลการวิจัยยืนยันว่า การเลือกขนาดสายไฟฟ้าสำหรับวงจรย่อยโดยใช้หลักการประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficient Sizing) เป็นวิธีการอนุรักษ์พลังงานที่ทำได้ง่าย แต่ให้ผลตอบแทนทางการเงินที่คุ้มค่าและยั่งยืน เหมาะสมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบไฟฟ้าอาคารเพื่อลดต้นทุนการดำเนินงานในระยะยาว

คำสำคัญ: วงจรย่อย, การเลือกขนาดสายไฟฟ้า, การอนุรักษ์พลังงาน, มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV),

อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)

Abstract

This research presents a practical approach to energy conservation in electrical systems through optimal conductor sizing in sub-circuit design. The study systematically evaluates the influence of conductor cross-sectional area (CNA) on power losses, thermal performance, and lifecycle economic feasibility. Experimental case studies were conducted using IEC01 (THW) copper conductors under two load conditions: Case 1 (22.4 A) and Case 2 (29.6 A), with an installation length of 20 m (40 m round-trip conductor length). The results demonstrate that selecting a conductor size one level higher than the minimum requirement specified by electrical standards significantly reduces resistive power losses in branch circuits. Power loss reductions of 38.94% and 39.58% were achieved in Case 1 and Case 2, respectively. In addition to mitigating electrical losses, the average surface temperature of the cable sheath decreased by approximately 9.1–9.8 °C, thereby reducing thermal stress on the insulation, lowering degradation rates, and enhancing operational safety. From an economic perspective, lifecycle cost analysis confirms the financial viability of the proposed Energy Efficient Sizing approach. Case 2 exhibited a maximum Net Present Value (NPV) of 7,546.91 THB and an Internal Rate of Return (IRR) of 193.80%. Both case studies demonstrated short payback periods ranging from 5.4 to 6.2 months, indicating strong investment attractiveness. In conclusion, the findings validate that optimized conductor sizing for branch circuits, based on the Energy Efficient Sizing principle, represents a technically simple yet highly effective energy conservation strategy. The approach offers measurable reductions in energy loss, improved thermal reliability, and favorable economic returns, making it suitable for integration into building electrical system design to achieve sustainable long-term operational cost reduction.

Keywords: Sub-circuit, wire sizing, energy conservation, net present value (NPV), internal rate of return (IRR)

บทนำ

ในปัจจุบันการออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับอาคารและที่อยู่อาศัยส่วนใหญ่ ยังคงยึดถือแนวคิดการออกแบบตามต้นทุนต่ำสุด (Minimum Cost Design) โดยเลือกขนาดสายไฟฟ้าเพียงเพื่อให้ผ่านมาตรฐานความปลอดภัยขั้นต่ำตามที่มาตรฐานกำหนด อย่างไรก็ตามการเลือกขนาดสายไฟฟ้าที่พอดีกับพิกัดกระแส

เกินไปมักนำมาซึ่งต้นทุนแฝงในระยะยาวที่ถูกมองข้าม โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาการเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในรูปของความร้อนสะสมในตัวนำ (Ohmic Loss) ซึ่งไม่เพียงแต่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงาน แต่ยังส่งผลกระทบโดยตรงต่ออุณหภูมิการใช้งานของสายไฟฟ้าและการเสื่อมสภาพของฉนวน

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาแนวทางการเลือกขนาดสายไฟฟ้าสำหรับวงจรย่อยโดยใช้หลักการด้านประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficient Sizing) เป็นตัวตั้ง โดยทำการวิเคราะห์ผ่านการทดสอบจริงใน 3 มิติสำคัญ คือ การลดลงของกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Power Loss Reduction) ซึ่งเป็นผลโดยตรงจากการลดความต้านทานในวงจร, การลดอุณหภูมิสะสมที่ผิวสายไฟฟ้า (Thermal Mitigation) เพื่อยืดอายุการใช้งานและเพิ่มความปลอดภัย และการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน (Economic Viability) ผ่านดัชนีชี้วัดทางการเงิน NPV และ IRR ผลจากการศึกษานี้จะช่วยเปลี่ยนมุมมองจากการพิจารณาเพียงต้นทุนแรกเริ่ม (Initial Cost) ไปสู่การออกแบบที่คำนึงถึงต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน (Life Cycle Cost) เพื่อเป็นแนวทางที่ยั่งยืนสำหรับวิศวกรและผู้ที่เกี่ยวข้องในการเลือกขนาดสายไฟฟ้าสำหรับวงจรย่อยในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายไฟฟ้า IEC01 (THW) ขนาดต่างๆ ภายใต้สภาวะโหลดคงที่ผ่านการทดสอบจริง

2. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบพฤติกรรมทางความร้อน อุณหภูมิผิวฉนวนที่เกิดขึ้นในสภาวะการใช้งานต่อเนื่องผ่านการทดสอบจริง

3. เพื่อประเมินความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) และผลตอบแทนจากการลงทุนในการเลือกขนาดสายไฟฟ้าเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

วิธีดำเนินการวิจัย

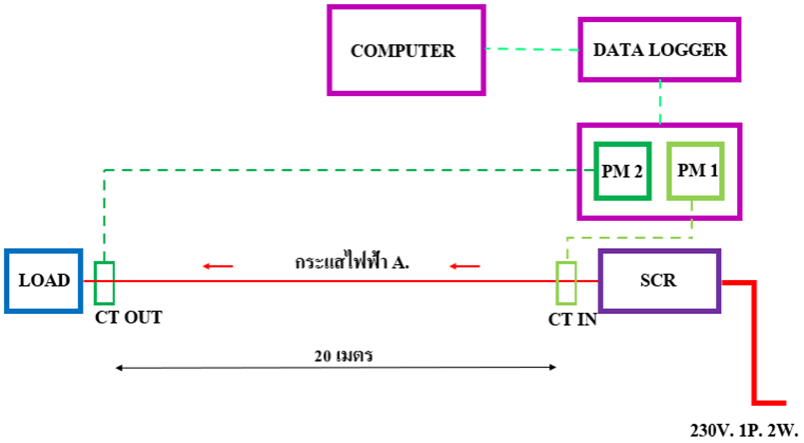
การเตรียมชุดทดสอบและอุปกรณ์

งานวิจัยนี้ดำเนินการทดสอบกับสายไฟฟ้าชนิดแกนเดี่ยวเปลือกฉนวน PVC รหัสชนิด IEC01 (THW) ขนาดหน้าตัดตัวนำ 2.5, 4 และ 6 ตร.มม. โดยกำหนดความยาวสายไฟฟ้าชุดละ 20 เมตร (ระยะไป-กลับรวม 40 เมตร) ติดตั้งภายในรางเดินสายไฟฟ้าตามมาตรฐานการติดตั้งทั่วไป เพื่อให้สอดคล้องกับสภาวะการใช้งานจริงในวงจรย่อย โดยอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

1. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 230V 50Hz พร้อมชุดเครื่องควบคุมกำลังไฟฟ้า (SCR Power Regulator) เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้คงที่กับโหลดฮีตเตอร์ (Load Bank)

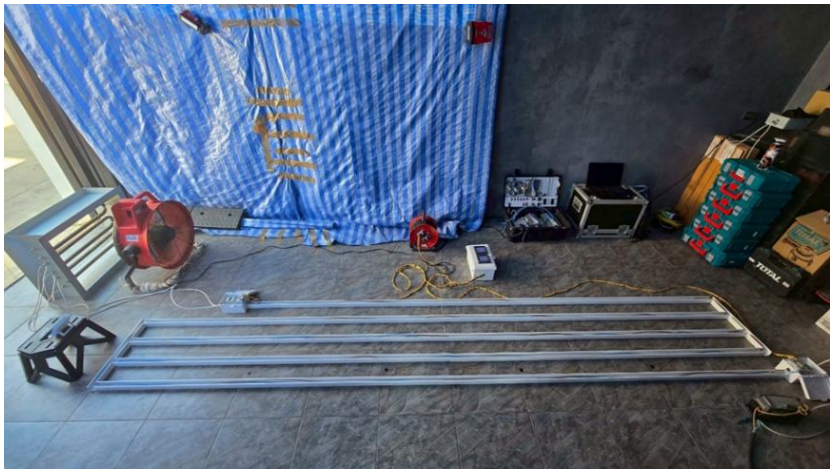
2. ชุดเครื่องวัดและวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า (Power Analyzer) ความแม่นยำร้อยละ ±0.5 เพื่อวัดค่า P, V, I และ Power Factor

3. เครื่องวัดอุณหภูมิดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิแวดล้อมบริเวณพื้นที่ทดสอบ และกล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal Image) สำหรับบันทึกพฤติกรรมความร้อนที่เปลือกนอกของสายไฟฟ้า



รูปที่ 1 ผังการต่อวงจรทดสอบ

ในการดำเนินการทดลอง ผู้วิจัยได้จัดตั้งชุดทดลองเพื่อจำลองสภาวะการใช้งานจริงของสายไฟฟ้าภายใต้ภาระโหลดคงที่ โดยทำการทดลองภายในพื้นที่ปิดเพื่อควบคุมปัจจัยด้านกระแสลมที่อาจส่งผลต่อการระบายความร้อนของสายไฟฟ้า



รูปที่ 2 แสดงการติดตั้งวางตำแหน่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

การกำหนดสภาวะการทดสอบ

การทดสอบได้กำหนดระดับกระแสไฟฟ้าทดสอบที่ร้อยละ 80 ของพิกัดทนกระแสไฟฟ้าของสายไฟฟ้าขนาด 2.5 ตร.มม. และ 4 ตร.มม. ตามที่ผู้ผลิตสายไฟฟ้าได้ระบุไว้ เพื่อต้องการให้สอดคล้องกับการใช้งานสายไฟฟ้าจริง โดยแบ่งตามกรณีศึกษาดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงการปรับตั้งกระแสทดสอบของสายไฟฟ้าตัวอย่างในแต่ละกรณีศึกษา

กรณีศึกษาที่	ขนาดสายไฟฟ้า IEC01 (THW)	ความยาวของสายไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบ (230 โวลต์ 1 เฟส)	ช่วงเวลาที่ทดสอบ	รวมระยะเวลาที่ใช้ทดสอบ
1	2.5 ตร.มม.	20 เมตร	22.4 แอมแปร์	9.00 - 17.00น.	8 ชั่วโมง
	4 ตร.มม.	20 เมตร	22.4 แอมแปร์	9.00 - 17.00น.	8 ชั่วโมง
2	4 ตร.มม.	20 เมตร	29.6 แอมแปร์	9.00 - 17.00น.	8 ชั่วโมง
	6 ตร.มม.	20 เมตร	29.6 แอมแปร์	9.00 - 17.00น.	8 ชั่วโมง

กระบวนการเก็บข้อมูลและสถิติที่ใช้

เพื่อให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือและลดความคลาดเคลื่อนจากการวัด ผู้วิจัยได้กำหนดกระบวนการดังนี้

1. การทดสอบระยะยาว: ทำการทดสอบต่อเนื่องเป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อชุดการทดลอง เพื่อให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวทางความร้อน (Thermal Steady State)

2. การทดลองซ้ำ (Replication): ทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้งในสภาวะควบคุมเดียวกัน

3. การวิเคราะห์ทางสถิติ: นำข้อมูลดิบมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: S.D.) เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของข้อมูลก่อนนำไปวิเคราะห์ร้อยละการลดลงของกำลังสูญเสียและมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่รวบรวมได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ตามวัตถุประสงค์ 3 ประเด็นหลัก

1.การลดลงของกำลังไฟฟ้าสูญเสีย: คำนวณจากกำลังไฟฟ้าสูญเสียจากการวัดจริงผ่านเครื่องวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพพลังงาน

2.การลดลงของอุณหภูมิ: วิเคราะห์เปรียบเทียบอุณหภูมิสะสมสูงสุดและอัตราการลดลงของความร้อนเมื่อมีการเพิ่มขนาดสาย

3.ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์: คำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) โดยอ้างอิงอัตราค่าไฟฟ้าฐานปัจจุบันและอายุการใช้งานที่คาดการณ์

ผลการวิจัย

จากการทดสอบเปรียบเทียบการเลือกขนาดสายไฟฟ้าตลอดระยะเวลา 8 ชั่วโมง และการนำข้อมูลที่บันทึกได้มาวิเคราะห์ทางสถิติและเศรษฐศาสตร์ สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

การวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ของข้อมูล

จากการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้งในทุกกรณีศึกษา พบว่าข้อมูลมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) อยู่ในช่วง 0.11 - 0.33 และมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน (CV%) ไม่เกินร้อยละ 0.44 ซึ่งบ่งชี้ว่ากระบวนการทดสอบมีความแม่นยำสูงและข้อมูลมีความนิ่งพอที่จะนำไปใช้สรุปผล ดังสรุปผลในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปผลค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของกำลังไฟฟ้าสูญเสียและอุณหภูมิ

กรณีศึกษา / ตัวแปรที่วัด	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ค่าความเชื่อมั่น (CV%)
กรณีที่ 1 (กระแสทดสอบ 22.4 แอมแปร์)						
P_{loss} สายไฟ 2.5 ตร.มม. (W)	121.00	120.67	120.33	**120.66**	0.33	0.27%
P_{loss} สายไฟ 4 ตร.มม. (W)	73.33	74.00	73.67	**73.67**	0.33	0.44%
T_{surf} สายไฟ 2.5 ตร.มม. (°C)	54.8	54.6	54.7	**54.8**	0.11	0.20%
T_{surf} สายไฟ 4 ตร.มม. (°C)	46.0	45.6	45.6	**45.7**	0.19	0.41%
กรณีที่ 2 (กระแสทดสอบ 29.6 แอมแปร์)						
P_{loss} สายไฟ 4 ตร.มม. (W)	147.00	147.33	147.00	**147.11**	0.19	0.12%
P_{loss} สายไฟ 6 ตร.มม. (W)	88.67	89.00	89.00	**88.88**	0.19	0.21%
T_{surf} สายไฟ 4 ตร.มม. (°C)	54.6	54.4	54.6	**54.5**	0.13	0.23%
T_{surf} สายไฟ 6 ตร.มม. (°C)	44.5	45.0	44.6	**44.7**	0.08	0.17%

ผลการลดลงของกำลังไฟฟ้าสูญเสีย

จากการทดสอบพบว่าการเพิ่มขนาดหน้าตัดตัวนำช่วยลดค่าความต้านทานไฟฟ้าและแรงดันตก (Voltage Drop) ในวงจรได้อย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Power Loss) ลดลงในทุกกรณีศึกษา ดังสรุปผลในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สรุปผลการทดสอบเปรียบเทียบพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า

กรณีศึกษา	ขนาดสาย (ตร.มม.)	กระแสทดสอบ (แอมแปร์)	P_{loss} (วัตต์)	V_{drop} (โวลต์)	% การลดลงของ Ploss
กรณีที่ 1	2.5	22.4	120.66	4.64	**38.94 %**
	4	**22.4**	**73.76**	**2.55**	
กรณีที่ 2	4	29.6	147.11	3.72	**39.58 %**
	6	**29.6**	**88.88**	**1.41**	

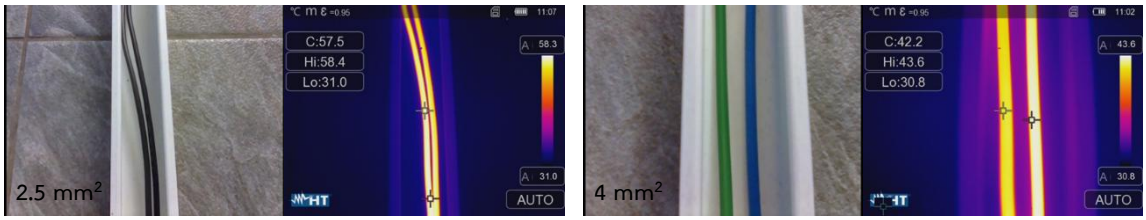
ประสิทธิภาพการลดพลังงาน (Efficiency Enhancement): ในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อเปลี่ยนขนาดสายไฟฟ้าจาก 2.5 ตร.มม. เป็น 4 ตร.มม. พบว่าสามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียลงได้ถึง 38.94% และในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อเปลี่ยนจาก 4 ตร.มม. เป็น 6 ตร.มม. สามารถลดลงได้ถึง 39.58% ซึ่งถือว่าเป็นสัดส่วนที่สูงมากและมีความสอดคล้องกันในทั้งสองกรณีศึกษา แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขนาดหน้าตัดสายไฟฟ้าเพียงหนึ่งลำดับมาตรฐาน (Step) สามารถลดความสูญเสียในสายได้เกือบ 40% ของความสูญเสียเดิม

ผลการลดลงของอุณหภูมิสะสม

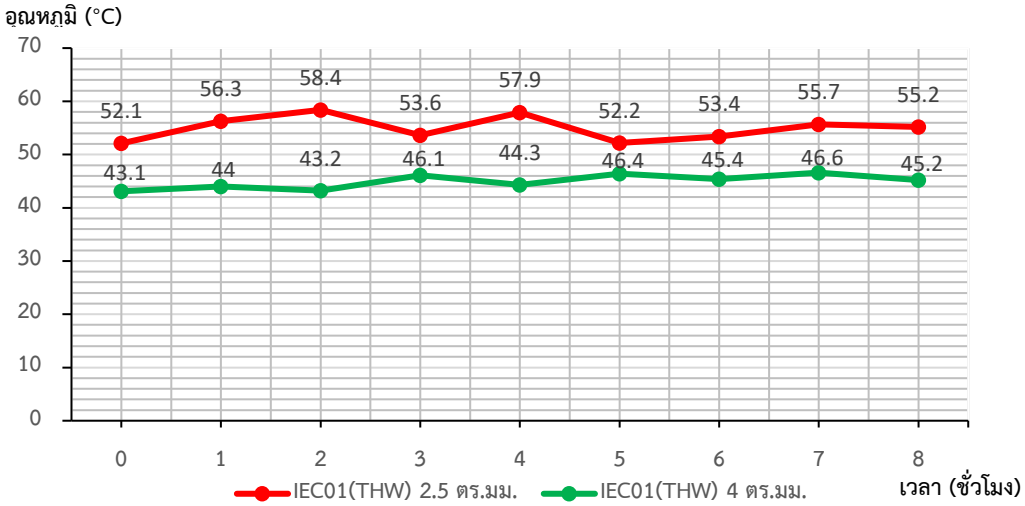
ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขนาดหน้าตัดสายไฟฟ้า (Upsizing) ส่งผลโดยตรงต่อการลดลงของอุณหภูมิสะสม ดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1: เปรียบเทียบสายไฟฟ้าขนาด 2.5 ตร.มม. และ 4 ตร.มม. ที่กระแส 22.4 แอมแปร์

จากการทดลองพบว่าสายไฟฟ้าขนาด 2.5 ตร.มม. มีอุณหภูมิผิวฉนวนเฉลี่ยสูงถึง 54.8 °C ในขณะที่การเปลี่ยนมาใช้สายขนาด 4 ตร.มม. ช่วยให้อุณหภูมิลดลงเหลือเพียง 45.7 °C (ลดลง 9.1 °C)



รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวของสายไฟฟ้าขนาด 2.5 ตร.มม และ 4 ตร.มม. ในกรณีศึกษาที่ 1

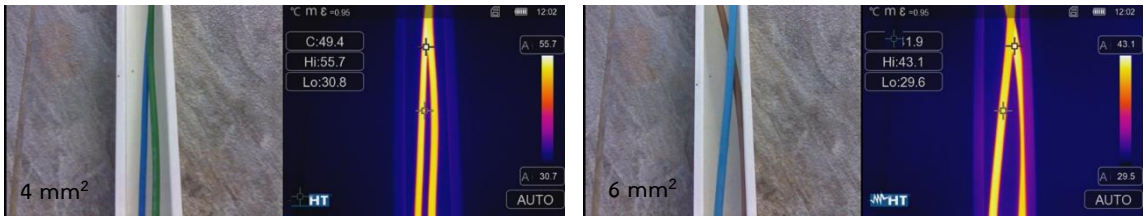


รูปที่ 5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวฉนวนระหว่างสายไฟฟ้าขนาด 2.5 ตร.มม. และ 4 ตร.มม.

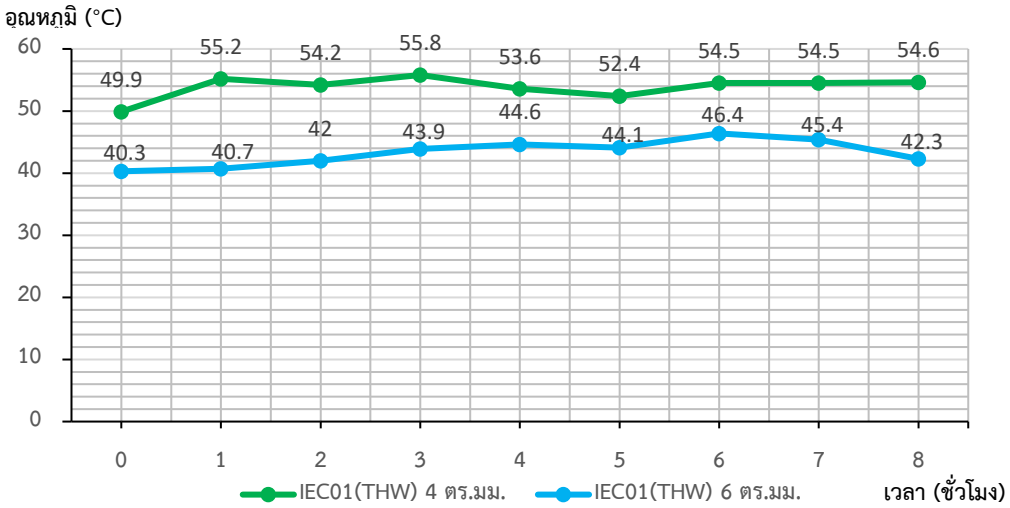
จากรูปที่ 5 จะสังเกตุได้ว่าตลอดระยะเวลาการทดสอบ 8 ชั่วโมง พบว่าในช่วง 2 ชั่วโมงแรก อุณหภูมิของสายทั้งสองขนาดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยสายขนาด 2.5 ตร.มม. มีความชันของกราฟสูงกว่า และเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ชั่วโมงที่ 6 ณ อุณหภูมิเฉลี่ย 54.8 °C ในขณะที่สายขนาด 4 ตร.มม. สามารถรักษาอุณหภูมิให้คงตัวได้ต่ำกว่าถึงร้อยละ 16.6

กรณีศึกษาที่ 2: เปรียบเทียบสายไฟฟ้าขนาด 4 ตร.มม. และ 6 ตร.มม. ที่กระแส 29.6 แอมแปร์

ในกรณีที่พิกัดกระแสสูงขึ้น การใช้สายขนาด 4 ตร.มม. ทำให้อุณหภูมิขยับสูงขึ้นเป็น 54.5 °C แต่เมื่อพิจารณาการใช้สายขนาด 6 ตร.มม. พบว่าอุณหภูมิคงตัวอยู่ที่เพียง 44.7 °C เท่านั้น (ลดลง 9.8 °C) ซึ่งช่วยป้องกันความร้อนไม่ให้เข้าใกล้ขีดจำกัดของฉนวน PVC



รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวของสายไฟฟ้าขนาด 4 ตร.มม. และ 6 ตร.มม. ในกรณีศึกษาที่ 2



รูปที่ 7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวฉนวนระหว่างสายไฟฟ้าขนาด 4 ตร.มม. และ 6 ตร.มม.

จากรูปที่ 7 แสดงแนวโน้มความร้อนสะสมเมื่อใช้กระแสโหลด 29.6 แอมแปร์ โดยพบว่าสายขนาด 4 ตร.มม. มีอุณหภูมิพุ่งสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและคงตัวที่ 54.5 °C ซึ่งถือเป็นภาระความร้อนที่สูงสำหรับฉนวน PVC ในระยะยาว อย่างไรก็ตาม เมื่อเปลี่ยนมาใช้สายขนาด 6 ตร.มม. อุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้กลับต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีอุณหภูมิคงตัวเพียง 44.7 °C ซึ่งช่วยยืดอายุการใช้งานของฉนวนและลดความเสี่ยงจากการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน

ผลความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

เมื่อนำผลต่างของพลังงานที่ประหยัดได้มาคำนวณมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ตลอดอายุการใช้งาน 15 ปี (อ้างอิงอัตราค่าไฟฟ้าและ Ft ปัจจุบัน) พบว่าการเพิ่มขนาดสายไฟฟ้าให้ผลตอบแทนทางการเงินที่โดดเด่นมาก ดังสรุปผลในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สรุปผลการวิเคราะห์ดัชนีชี้วัดทางการเงิน

กรณีศึกษา	ผลประหยัด (บาท/ปี)	เงินลงทุนส่วนเพิ่ม (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	NPV (บาท)	IRR (%)
กรณีที่ 1 (เปลี่ยน 2.5 ตร.มม. เป็น 4 ตร.มม.)	617.45	276.80	0.45 (5.4 เดือน)	6,132.13	223.06%
กรณีที่ 2 (เปลี่ยน 4 ตร.มม. เป็น 6 ตร.มม.)	765.14	394.80	0.52 (6.2 เดือน)	7,546.91	193.80%

หมายเหตุ: คำนวณที่อัตราคิดลด 5% และชั่วโมงการใช้งาน 2,920 ชม./ปี

ผลการวิเคราะห์ยืนยันว่า แม้การเพิ่มขนาดสายจะส่งผลให้ต้นทุนค่าวัสดุในระยะแรกสูงขึ้น แต่ผลประหยัดจากพลังงานที่ลดลงสามารถครอบคลุมเงินลงทุนส่วนเพิ่มได้ในระยะเวลาอันสั้น และยังทำให้สายไฟฟ้ามีความร้อนที่ลดลงส่งผลต่ออายุการใช้งานของสายไฟฟ้าที่ยาวขึ้น โดยเฉพาะในกรณีที่ 2 ที่มีภาระโหลดสูง จะให้ผลตอบแทนสุทธิ (NPV) สูงที่สุด

อภิปรายผล

จากการศึกษาพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้ง 3 มิติ (กำลังไฟฟ้าสูญเสีย, อุณหภูมิ, และความคุ้มค่า) มีความสอดคล้องกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีประเด็นที่น่าสนใจดังนี้

อุณหภูมิกับประสิทธิภาพพลังงาน: การที่อุณหภูมิผิวสายลดลงเฉลี่ยเกือบ 10 องศาเซลเซียส เมื่อเพิ่มขนาดหน้าตัดตัวนำ ไม่ได้ส่งผลดีเพียงแค่ด้านความปลอดภัยและการชะลอการเสื่อมสภาพของฉนวนเท่านั้น แต่ในเชิงวิศวกรรมไฟฟ้า อุณหภูมิที่ลดลงส่งผลให้ค่าความต้านทานจำเพาะของตัวนำทองแดงลดลงด้วย ทำให้ประสิทธิภาพการนำไฟฟ้าดีขึ้นและเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (I^2RLoss) น้อยลงกว่าการคำนวณจากค่าความต้านทานที่อุณหภูมิอ้างอิงเพียงอย่างเดียว

อิทธิพลของปริมาณกระแสไฟฟ้า: ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า ยิ่งวงจรย่อยมีภาระโหลดสูงและต่อเนื่อง (High Continuous Load) เช่น ในกรณีศึกษาที่ 2 (29.6 A) การเพิ่มขนาดสายจะยิ่งให้ผลประหยัดที่ทวีคูณ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าสูญเสียแปรผันตามกำลังสองของกระแสไฟฟ้า ($P \propto I^2$) ซึ่งสอดคล้องกับค่า NPV ที่สูงถึง 7,546.91 บาท

จุดคุ้มทุนเชิงประจักษ์: แม้การเพิ่มขนาดสายไฟฟ้า (Upsizing) จะมีต้นทุนค่าวัสดุส่วนเพิ่ม แต่เมื่อเปรียบเทียบกับ "ต้นทุนการสูญเสียพลังงาน" ตลอดอายุการใช้งาน พบว่าระยะเวลาคืนทุนนั้นสั้นมาก (ต่ำกว่า

1 ปีในกรณีโหลดสูง) ซึ่งเป็นการยืนยันว่ามาตรฐานการออกแบบปัจจุบันที่เน้นเพียงความปลอดภัยขั้นต่ำ (Minimum Standard) อาจไม่ใช่แนวทางที่คุ้มค่าที่สุดในเชิงเศรษฐศาสตร์พลังงาน

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาแนวทางการเลือกขนาดสายไฟฟ้าสำหรับวงจรย่อยในงานวิจัยนี้ สามารถสรุปเป็นแนวทางเพื่อการอนุรักษ์พลังงานได้ดังนี้

การลดพลังงานสูญเสีย: การเพิ่มขนาดสายไฟฟ้าขึ้น 1 ระดับจากพิกัดกระแสที่กำหนด สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายได้อย่างเป็นรูปธรรมตลอดระยะเวลาการใช้งาน

การจัดการด้านความร้อน: การ Upsizing ช่วยลดอุณหภูมิสะสมขณะใช้งานลงได้ประมาณเกือบ 10 องศาเซลเซียส ซึ่งส่งผลดีต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าในระยะยาว

แนวทางการตัดสินใจ: สำหรับวงจรย่อยที่มีลักษณะการใช้งานโหลดต่อเนื่องเกินกว่า 3 ชั่วโมง หรือมีปริมาณโหลดสูงเกินร้อยละ 80 ของพิกัดสายไฟฟ้า ผู้ออกแบบควรพิจารณาเพิ่มขนาดหน้าตัดตัวนำขึ้นอย่างน้อย 1 ระดับ เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าสูงสุดตามหลักการมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการนำแนวทางนี้ไปประยุกต์ใช้ในข้อกำหนดการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน (Green Building) และควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับโหลดประเภท Non-linear Load เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของ Harmonic ที่มีต่อความร้อนและกำลังไฟฟ้าสูญเสียในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณ ดร. สุเมธ สถิตบุญอนันต์ ที่สนับสนุนสถานที่ เครื่องมือวัด และอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าสำหรับการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์สิทธิพร ใหญ่ธนายศ รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา จันทวงษ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุสิต งามรุ่งโรจน์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางในการวิเคราะห์ข้อมูล และตรวจสอบเนื้อหาของบทความวิจัยให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ตลอดจนเจ้าหน้าที่และผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนช่วยให้การทดลองสำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลการวิจัยในบทความนี้จะเป็นประโยชน์ต่อแวดวงวิศวกรรมไฟฟ้าและการอนุรักษ์พลังงานในระดับประเทศต่อไป

เอกสารอ้างอิง

กิตติพงษ์ มั่นคง. 2566. ผลกระทบของอุณหภูมิต่อความต้านทานไฟฟ้าและการสูญเสียพลังงานในระบบส่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ. วารสารวิจัยและนวัตกรรมพลังงาน, 6(1), 12–25.

คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า. 2564. มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย: มาตรฐาน

วสท.022001-22. กรุงเทพฯ: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.).

สมชาย รัตนวิจิตร, วิชัย พละไทย, และ สมศักดิ์ รักเรียน. 2565. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในสถาบันการศึกษา. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล, 16(2), 89–102.

IEEE Power & Energy Society. 2024. Optimization of conductor sizing for energy loss reduction in low-voltage distribution networks. IEEE Transactions on Power Delivery, 39(1), 112–125.

International Electrotechnical Commission. 2023. Electric cables - Calculation of the current rating - Part 3-2: Sections on operating conditions - Economic optimization of power cable size (IEC 60287-3-2:2023). IEC.

National Fire Protection Association. 2023. NFPA 70: National electrical code (2023 ed.). NFPA.

Park, S. J., & Kim, H. G. 2022. Economic assessment of cable sizing based on life cycle cost analysis in industrial power systems. Journal of Electrical Engineering & Technology, 17(4), 2101–2112.

Silva, A. M., & Chen, K. L. 2023. Thermal-electrical modeling of power cables for energy efficient building design. Energy Reports, 9, 450–462.

Thompson, M. R. 2025. Impact of ambient temperature and load profile on the energy efficiency of electrical wiring systems. Applied Energy, 355, Article 122234.

Zhang, L., Wang, Y., & Liu, J. 2021. A comprehensive review on cable ampacity and thermal degradation of insulation materials. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 125, Article 106412.