การศึกษาผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเพื่อชี้บ่งความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า

ยืนยง เพียรสวัสดิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย
คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
2565

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

การศึกษาผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเพื่อชี้บ่งความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า

ยืนยง เพียรสวัสดิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย
คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
2565
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

STUDY OF THE EFFECT OF DISCOLORATION OF THERMOCHROMIC STICKERS FOR INDICATING HEAT BUILD-UP IN POWER STRIPS

YUENYONG PHIANSAWAT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE MASTER DEGREE OF SCIENCE
IN OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY
FACULTY OF PUBLIC HEALTH
BURAPHA UNIVERSITY
2022

COPYRIGHT OF BURAPHA UNIVERSITY

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ ยืนยง เพียรสวัสดิ์ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์	คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	
.....	..... ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีรัตน์ ล้อมพงศ์)	(รองศาสตราจารย์ ดร.จิตรพรรณ ภูษาภักดีภพ)
	..... กรรมการ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	(รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีรัตน์ ล้อมพงศ์)
.....	..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.นันทพร ภัทรพุทธ)	(รองศาสตราจารย์ ดร.นันทพร ภัทรพุทธ)
	..... กรรมการ
	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรยุทธ เสงี่ยมศักดิ์)

..... คณบดีคณะสาธารณสุขศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. ยุวดี รอดจากภัย)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย ของมหาวิทยาลัยบูรพา

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.นุจรี ไชยมงคล)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

62920263: สาขาวิชา: อาชีวอนามัยและความปลอดภัย; วท.ม. (อาชีวอนามัยและความปลอดภัย)
คำสำคัญ: การเปลี่ยนสี, เทอร์โมโครมิก, ความร้อนสะสม, ปลั๊กพ่วงไฟฟ้า

ยืนยง เพียรสวัสดิ์ : การศึกษาผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเพื่อชี้บ่งความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า. (STUDY OF THE EFFECT OF DISCOLORATION OF THERMOCHROMIC STICKERS FOR INDICATING HEAT BUILD-UP IN POWER STRIPS) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: ศรีรัตน์ ล้อมพงศ์, นันทพร ภัทรพุทธ ปี พ.ศ. 2565.

งานวิจัยทดลองครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า เพื่อทดลองการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิก และเพื่อศึกษาผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า ศึกษาในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน ประเภทละ 3 ยี่ห้อ โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 ขั้นตอนตามวัตถุประสงค์ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณาและสถิติอนุมาน ได้แก่ t-test และ One-way ANOVA

ผลการวิจัยพบว่า ที่ร้อยละ 100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้ามีความร้อนสะสมเฉลี่ยสูงสุดคือ ยี่ห้อ E เท่ากับ 38.60 (SD±0.10) องศาเซลเซียส ผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้น อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 31.54 (SD± 0.2) องศาเซลเซียสและผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและเวลา พบว่าทุกยี่ห้อมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและเวลาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value<0.05) ยกเว้นปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานยี่ห้อ B กับปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐาน ยี่ห้อ E ที่ค่าเฉลี่ยของอุณภูมิไม่มีความแตกต่างกัน

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยในห้องปฏิบัติการ ณ อุณหภูมิห้องที่มีข้อจำกัดในการควบคุมอุณหภูมิในบรรยากาศ ควรพิจารณาทำการศึกษาโดยการควบคุมอุณหภูมิในบรรยากาศเพื่อให้ได้อุณหภูมิของความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ครอบคลุมและนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น เช่น มอเตอร์พัดลม เป็นต้น

62920263: MAJOR: OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY; M.Sc. (OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY)

KEYWORDS: DISCOLORSTION, THERMOCHROMIC, HEAT BUIL-UP, POWER STRIP

YUENYONG PHIANSAWAT : STUDY OF THE EFFECT OF DISCOLORATION OF THERMOCHROMIC STICKERS FOR INDICATING HEAT BUILD-UP IN POWER STRIPS. ADVISORY COMMITTEE: SRIRAT LORMPHONGS, Ph.D., NANTAPORN PHATRABUDDSA, Ph.D. 2022.

The purposes of this experimental research were to study the heat build-up in power strips, to experiment with thermochromic sticker discoloration, and to study the effect of discoloration of thermochromic stickers in power strips. The sample group comprised standard and non-standard power strips 3 brands each type. Data were collected through 3 experiments. Data were analyzed by using descriptive and inferential statistics, including paired sample t-test independent and One-way ANOVA.

The results revealed at 100 percent of the electric current capacity of the power strip. Heat build-up average was the highest for brand E at 38.60 (SD±0.10) degrees Celsius. The results of experiment for thermochromic sticker discoloration using the heater temperature was the average was 31.54 (SD± 0.2). The results of the effect of discoloration for thermochromic stickers by comparing the average temperature and time revealed that all brands decreased significantly (p-value<0.05) except brand B and brand E, which showed the temperature average had no statistically significant difference.

The study experiment in laboratory at room temperature with limited ambient temperature control. Ambient temperature should be considered in order to obtain the heat build-up in power strips that cover and apply to other electrical appliances such as fan motors, etc.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องด้วยความอนุเคราะห์จาก รองศาสตราจารย์ ดร. ศรีรัตน์ ล้อมพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.นันทพร ภัทรพุทธ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้องเหมาะสมในการแก้ไขปัญหา ข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งใจเป็นอย่างยิ่งจึงกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพาที่มอบทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่อนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการในการวิจัยครั้งนี้และนายธนายุทธ ไพศาลอัศวเสนี วิศวกรประจำห้องปฏิบัติการ ที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการเก็บรวบรวมข้อมูลรวมถึงข้อเสนอแนะที่ใช้ในการวิจัยทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา บุพการีและขอบคุณครอบครัวรวมถึงผู้ที่มีส่วนช่วยเหลือสนันสนุนในด้านต่าง ๆ ทุกท่านอันเกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ยืนยง เพียรสวัสดิ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 14

ที่มาและความสำคัญของปัญหา 14

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 16

สมมติฐานของการวิจัย 16

กรอบแนวคิดในการวิจัย 16

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 17

ขอบเขตของการวิจัย 17

ข้อจำกัดของการวิจัย 18

นิยามศัพท์เฉพาะ 18

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 19

แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการเกิดเพลิงไหม้และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 19

แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับกระแสไฟฟ้าโหลดเกินและไฟฟ้าลัดวงจรและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 24

แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับปลั๊กพ่วงไฟฟ้าและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 26

แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับสารเทอร์โมโครมิก (Thermochromic) และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 32

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 37

รูปแบบการวิจัย.....37
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง.....37
เครื่องมือและอุปกรณ์.....37
การสอบเทียบเครื่องมือ.....39
ห้องปฏิบัติการ.....39
สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....40
การศึกษาความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal camera).....40
การทดลองการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นโดยใช้เครื่องทำความร้อน.....43
การศึกษาผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเพื่อชี้บ่งความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน.....45
การวิเคราะห์ข้อมูล.....48
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย.....49
ผลการศึกษาความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal camera).....49
ผลการทดลองการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นโดยใช้เครื่องทำความร้อน.....53
ผลศึกษาผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเพื่อชี้บ่งความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน.....53
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....58
สรุปผลการวิจัย.....58
อภิปรายผลการวิจัย.....60
ข้อเสนอแนะ.....62
บรรณานุกรม.....63

ภาคผนวก 66
ภาคผนวก ก 67
ภาคผนวก ข 70
ประวัติย่อของผู้วิจัย 72

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์อุณหภูมิที่วัดได้ 30

ตารางที่ 2 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ 31

ตารางที่ 3 การเปลี่ยนสีของวัสดุอิเล็กโทรโครมิกที่เป็นออกไซด์ของโลหะ 32

ตารางที่ 4 ผลความร้อนสะสมที่ร้อยละ50 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐาน ยี่ห้อ A B และ C 50

ตารางที่ 5 ผลความร้อนสะสมที่ร้อยละ 75 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐาน ยี่ห้อ A B และ C 50

ตารางที่ 6 ผลความร้อนสะสมที่ร้อยละ100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐาน ยี่ห้อ A B และ C 51

ตารางที่ 7 ผลความร้อนสะสมที่ร้อยละ 50 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐาน ยี่ห้อ D E และ F 51

ตารางที่ 8 ผลความร้อนสะสมที่ร้อยละ 75 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐาน ยี่ห้อ D E และ F 52

ตารางที่ 9 ผลความร้อนสะสมที่ร้อยละ 100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐาน ยี่ห้อ D E และ F 52

ตารางที่ 10 ผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นด้วยเครื่องทำความร้อน 53

ตารางที่ 11 ผลอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน 54

ตารางที่ 12 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน 55

ตารางที่ 13 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและที่ไม่ได้มาตรฐาน 56

ตารางที่ 14 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาได้มาตรฐานยี่ห้อ A ยี่ห้อ B และยี่ห้อ C กับปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐาน.....57

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย 17
ภาพที่ 2 องค์ประกอบของการเกิดเพลิงไหม้ 20
ภาพที่ 3 แผนภูมิแสดงร้อยละของสาเหตุการเกิดอัคคีภัย 22
ภาพที่ 4 กระแสไฟฟ้าเกิน (Overload) 24
ภาพที่ 5 กระแสไฟฟ้าลัดวงจร 25
ภาพที่ 6 ใช้กระแสไฟฟ้าเกินกำลัง 26
ภาพที่ 7 ชนิดของสายไฟตามมาตรฐานมอก.หรือมาตรฐานของ IEC 27
ภาพที่ 8 เต้าเสียบ/หัวปลั๊ก ชนิดของสายไฟตามมาตรฐานมอก. 27
ภาพที่ 9 ส่วนประกอบภายในของปลั๊กพ่วงไฟฟ้า 28
ภาพที่ 10 กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermo camera) 30
ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงสีของเมอร์คิวรี (II) ไอโอไดด์ 34
ภาพที่ 12 กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermo camera) 38
ภาพที่ 13 เครื่องวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า (Power quality meter) 39
ภาพที่ 14 แผนผังการต่อพ่วงเครื่องมือที่ใช้ศึกษาความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า 41
ภาพที่ 15 การต่อพ่วงเครื่องมือและปรับค่าโหลดความต้านทาน 41
ภาพที่ 16 ถ่ายภาพความร้อนสะสมที่ปลั๊กพ่วงไฟฟ้า 42
ภาพที่ 17 สติกเกอร์เทอร์โมโครมิก 44
ภาพที่ 18 การทดลองเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โครมิกเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้น 45
ภาพที่ 19 แผนผังการต่อพ่วงเครื่องมือที่ใช้ศึกษาผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิก 46
ภาพที่ 20 การต่อพ่วงเครื่องมือที่ใช้ศึกษาผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิก 46
ภาพที่ 21 การเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิก 47

ภาพที่ 22 อุณหภูมิที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิก 47

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การเกิดอัคคีภัยถือว่าเป็นภัยพิบัติที่สร้างความเสียหายให้กับชีวิตและทรัพย์สินของมนุษย์เป็นอย่างมากและยังมีแนวโน้มที่จะเกิดสูงขึ้นเรื่อยๆจากสถิติการเกิดอัคคีภัยตั้งแต่ปี 2532-2560 หรือกว่า 30 ปีมานี้ประเทศไทยมีเหตุเพลิงไหม้เกิดขึ้นมากกว่า 58,000 ครั้ง เฉลี่ยปีละ 2,000 ครั้ง หมายความว่าในแต่ละวันจะมีเหตุเพลิงไหม้เกิดขึ้น 5-6 ครั้ง (สำนักสถิติแห่งชาติ, 2561)โดยสาเหตุของการเกิดอัคคีภัยในประเทศไทยส่วนใหญ่เกิดจากการขาดความระมัดระวังในการใช้ไฟฟ้าและความร้อน ซึ่งสาเหตุหลักในการเกิดอัคคีภัยในสถานประกอบประกอบกิจการคือ การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าชำรุดและไม่ได้มาตรฐานเสี่ยงต่อการเกิดความร้อนและประกายไฟ (สถาบันส่งเสริมความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน, 2562)

สาเหตุการเกิดอัคคีภัยจากไฟฟ้ามักจะเกิดจากสายไฟฟ้า อุปกรณ์ไฟฟ้าชำรุด หรือเกิดจากการใช้ไฟฟ้าไม่ถูกวิธีเป็นเหตุให้เกิดกระแสไฟฟ้าลัดวงจร เช่น ตัวอย่างการเกิดอัคคีภัยเมื่อวันที่ 6 เมษายน 2563 เวลาประมาณ 21.30 น. เกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้นที่โรงงานทำไอศครีมแห่งหนึ่งในอำเภอกุดป่อง อำเภอเมือง จังหวัดเลย โดยสาเหตุการเกิดเพลิงไหม้ในครั้งนี้มาจากการเสียบปลั๊กตู้ไอศครีมเพื่อเก็บรักษาความเย็นไม่ให้ไอศครีมละลายกับปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่เสียบไว้เป็นเวลานาน ทำให้เกิดความร้อนและลัดวงจรของอุปกรณ์ไฟฟ้าจึงเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้น (ไทยรัฐออนไลน์, 2563) และจากสถิติในปี 2558 มีการเกิดเพลิงไหม้หรืออัคคีภัยจำนวน 646 ครั้ง ในปี 2559 จำนวน 681 ครั้ง ในปี 2560 จำนวน 783 ครั้ง และในปี 2561 นับตั้งแต่เดือนมกรคมถึงเดือนมีนาคม มีจำนวนการเกิดเหตุทั้งหมด 137 ครั้ง โดยในปี 2558 มีผู้เสียชีวิตจำนวน 14 ราย ในปี 2559 จำนวน 11 ราย ในปี 2560 จำนวน 23 รายและมีอัตราการเกิดเหตุเพลิงไหม้อยู่บ่อยครั้งมากกว่าหลายๆปีก่อนหน้านี้ ซึ่งสาเหตุหลักของการเกิดเพลิงไหม้ส่วนใหญ่มากกว่าร้อยละ 80 เกิดจากไฟฟ้าลัดวงจรจากการเสียบต่อปลั๊กพ่วงต่อกันเป็นทอดๆเป็น 10-20 ราง ซึ่งทำให้เกิดการใช้ไฟฟ้าเกินกำลังและเกิดความร้อนสะสมภายในปลั๊กไฟฟ้าทำให้ปลั๊กพ่วงไฟฟ้าได้รับความเสียหายเป็นต้นเหตุหลักของการเกิดไฟฟ้าลัดวงจร (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ, 2561) ในโรงงานอุตสาหกรรมโดยเฉพาะส่วนของสำนักงานถือว่าเป็นพื้นที่ที่มีการใช้งานปลั๊กพ่วงไฟฟ้าเป็นจำนวนมากและผู้ใช้งานมักขาดการระมัดระวังในการใช้งานจึงมีพฤติกรรมเสี่ยงที่อาจก่อให้เกิดไฟฟ้าลัดวงจรได้ เช่น การใช้งานเกินขนาดพิกัดเสียบปลั๊กทุกช่องทำให้สายไฟเกิดความร้อนสูง การเสียบปลั๊กปล่อย

ไว้นานหลายวันเหล่านี้เป็นการใช้ปลั๊กพ่วงไฟฟ้าแบบผิด ๆ ที่มีความเสี่ยงทำให้เกิดไฟฟ้าลัดวงจรและเพลิงไหม้ (1000 content.com, 2019)

การตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นจึงถือว่ามีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการลดโอกาสของการเกิดอัคคีภัยขึ้นในสถานประกอบกิจการได้เป็นอย่างยิ่ง ซึ่งจุดหรือลักษณะของการพิจารณาในการตรวจสอบนั้นคือความเหมาะสมในการใช้งานและสภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยปริมาณกระแสไฟฟ้าและการเดินสายไฟต้องไม่ทำให้เกิดความร้อนพร้อมทั้งต้องมีการตรวจสอบสภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้าและสายไฟอย่างสม่ำเสมอไม่ให้อยู่ในสภาพที่ชำรุดและนำไปสู่การเกิดอัคคีภัยได้ เช่นไม่เสียบปลั๊กไฟหลายอันกับเต้ารับเพียงอันเดียวและเสียบค้างไว้เป็นเวลานานเพราะจะเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดความร้อนสะสม (Overload) เกิดการลัดวงจรทำให้เกิดเพลิงไหม้ได้ (วิชิต มาลาเวช, 2559) สำหรับมาตรฐานในการตรวจสอบความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้านั้นยังไม่มีมาตรฐานในการตรวจตรวจสอบความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าตามมาตรฐานมอก.2432-2555 ได้กำหนดเพียงอุณหภูมิโดยรอบของการนำปลั๊กพ่วงไฟฟ้าไปใช้เท่านั้น (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2556) เมื่อจะพิจารณาความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้านั้นจะต้องทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิกับอุปกรณ์ที่ลักษณะคล้ายกันและโหลดที่คล้ายกันและดูความแตกต่างกันของอุณหภูมิที่วัดได้หากพบว่ามากกว่า 15 องศาเซลเซียส ถือว่ามีความผิดปกติจะต้องมีการแก้ไขทันที (American national standard, 2011)

สำหรับเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่สามารถวัดค่าความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานคือกล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal camera) อุปกรณ์ชนิดนี้จะสามารถบอกค่าความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าได้ โดยวัดรังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกจากวัตถุและปรับค่าอินฟราเรดที่วัดได้เป็นอุณหภูมิอาศัยกฎของแพลงค์ (Planck’s Law) และกฎของสเตฟานโบลท์สมานน์ (Stefan-Boltzmann’s Law) (เมธินี สงไทย, 2558) หากแต่ผู้ใช้งานจะต้องเป็นผู้ที่มีความรู้ความเข้าใจในการใช้งานและการแปลผล อีกทั้งเครื่องมือชนิดนี้ยังมีราคาสูงทำให้ไม่เป็นที่นิยมในการนำมาตรวจสอบความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า

จากการศึกษาพบว่าเทอร์โมโครมิก (Thermochromic) เป็นสารที่มีคุณสมบัติพิเศษสามารถเปลี่ยนสีได้เมื่ออุณหภูมิของสารเปลี่ยนไป โดยทั่วไปสารเทอร์โมโครมิกมี 2 ประเภท คือ ผลึกเหลว (Liquid crystal) และสารลูโคดาย (Leuco dye)โทนสีที่ปรากฏของผลึกเหลวขึ้นอยู่กับธรรมชาติของโครงสร้างผลึกที่สะท้อนความยาวคลื่นแสงออกไป โดยที่การเปลี่ยนแปลงของผลึกเหลวที่ปรากฏเป็นสีออกมาจะเกิดเฉพาะช่วงที่ผลึกเหลวอยู่ในสถานะนีมาติกเมโซเฟส (Nematic mesophase) เมื่อผลึกเหลวมีอุณหภูมิเปลี่ยนไปจะทำให้ช่องว่างระหว่างชั้นในโครงสร้างผลึกเหลวเกิดการเปลี่ยนแปลงด้วย ทำให้มีการเปลี่ยนความยาวคลื่นแสงโดยทั้งนี้ผลึกเหลวสามารถเปลี่ยนสี

อย่างต่อเนื่องจากสีดำเป็นสารมีสีและเปลี่ยนกลับมาเป็นสีดำอีกครั้งตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ผลึกเหลวมักใช้กับอุปกรณ์ที่ต้องการบอกการเปลี่ยนแปลงด้วยสีอย่างแม่นยำ เช่น อุปกรณ์วัดอุณหภูมิห้อง อุณหภูมิตู้เย็น โดยเมื่อต้องการประยุกต์ใช้ผลึกเหลวกับผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่เปลี่ยนสีได้ตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์, 2553)

ด้วยเหตุผลข้างต้นดังกล่าวนี้ผู้วิจัยเห็นถึงความสำคัญของการป้องกันการเกิดอัคคีภัยที่มีสาเหตุมาจากปลั๊กพ่วงไฟฟ้า จึงมีความสนใจที่จะจัดทำสติกเกอร์จากสารเทอร์โมโครมิกที่มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนสีตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ซึ่งยังไม่เคยมีการศึกษาการทำสติกเกอร์จากสารเทอร์โมโครมิกมาก่อน โดยศึกษาถึงการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเพื่อชี้บ่งความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานโดยกล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal camera)
2. เพื่อจัดทำสติกเกอร์จากสารเทอร์โมโครมิกที่จะนำมาใช้ในการทดลอง
3. เพื่อทดลองการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นโดยเครื่องทำความร้อน
4. เพื่อศึกษาผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเพื่อชี้บ่งความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน

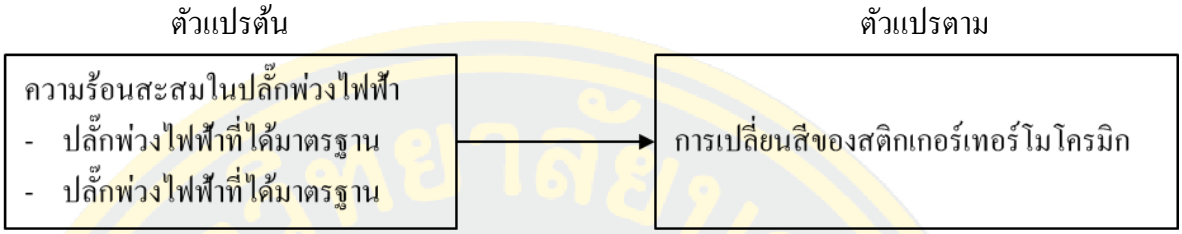
สมมติฐานของการวิจัย

สติกเกอร์เทอร์โมโครมิกสามารถเปลี่ยนสีได้เมื่อเกิดความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน

กรอบแนวคิดในการวิจัย

งานวิจัยนี้จะดำเนินงานภายใต้กรอบแนวความคิดในเรื่องการศึกษาผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเพื่อชี้บ่งความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า โดยจะดำเนินการศึกษาความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานโดยกล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal camera) และทดลองการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้น โดย

เครื่องทำความร้อน นำไปสู่การเปรียบเทียบผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเพื่อชี้บ่งความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า ภายใต้กรอบแนวคิดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. สามารถทราบระดับความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน โดยกล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal camera)
2. สามารถทราบระดับความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ทำให้สติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเปลี่ยนสีได้
3. สามารถทราบระยะเวลาในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกระหว่างปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน
4. สามารถนำผลการศึกษาการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเพื่อชี้บ่งความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้ามาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับป้องกันการเกิดอัคคีภัยที่มีสาเหตุจากปลั๊กพ่วงไฟฟ้า

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยศึกษาความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน โดยกล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal camera) ทดลองการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นโดยเครื่องทำความร้อน รวมถึงศึกษาผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเพื่อชี้บ่งความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่รองรับกำลังไฟฟ้าสูงสุด 2300 วัตต์ ที่ได้มาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) และปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่รองรับกำลังไฟฟ้าสูงสุด 2300 วัตต์ ที่ไม่ได้มาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) ระหว่างเดือนมีนาคม พ.ศ. 2564 ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2564

ข้อจำกัดของการวิจัย

ในการทดลองครั้งนี้ไม่ได้มีการวัดอุณหภูมิในบรรยากาศภายในห้องทดลองขณะทำการทดลอง แต่อย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้มีการปรับอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศภายในห้องทดลองที่ 25 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาในการทดลอง

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. สติกเกอร์เทอร์โมโครมิก หมายถึง สติกเกอร์ที่พิมพ์ด้วยสารเทอร์โมโครมิกที่มีสมบัติเปลี่ยนสีกลับไป-กลับมาจากสีแดงเป็นสีขาวเมื่อเกิดอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงตามชนิดของสารเทอร์โมโครมิก สำหรับในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ใช้สารเทอร์โมโครมิกประเภทลูโคดายในการทดลอง
2. ปลั๊กพ่วงไฟฟ้า หมายถึง ปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) และปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) และมีมาตรฐานรองรับ กำลังไฟฟ้าสูงสุด 2300 วัตต์
3. กำลังไฟฟ้า หมายถึง พลังงานไฟฟ้าที่เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้ในเวลา 1 วินาที มีหน่วยเป็นวัตต์ (W) หรือจูลต่อวินาที
4. กล้องถ่ายภาพความร้อน หมายถึง เครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุ ทำงานโดยอาศัยหลักการแผ่รังสีอินฟราเรดออกจากวัตถุซึ่งเป็นการวัดแบบไม่สัมผัสและไม่ทำลายวัตถุ
5. ความร้อนสะสม หมายถึง ความร้อนที่เกิดจากการต่อพ่วงปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานที่ทำให้ผิวของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าเกิดความร้อน โดยที่ผู้วิจัยมีการวัดความร้อนที่ร้อยละ 50 (1150 วัตต์) ร้อยละ 75 (1725 วัตต์) และร้อยละ 100 (2300 วัตต์)
6. การเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิก หมายถึง ระดับความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่เพิ่มมีผลทำให้สติกเกอร์ที่ติดอยู่ที่ผิวของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าเปลี่ยนสีได้จากสีแดงเป็นสีขาวตามอุณหภูมิที่กำหนด
7. เครื่องวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า หมายถึง อุปกรณ์แสดงค่าทางไฟฟ้าและปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ไปทำให้ทราบค่าทางไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าในกระบวนการทดลอง

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเพื่อชี้บ่งความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า ผู้วิจัยศึกษาข้อมูลจาก หนังสือ วิทยานิพนธ์ งานวิจัย วารสารงานวิจัย และฐานข้อมูลออนไลน์ ที่เกี่ยวข้องโดยมีหัวข้อการทบทวนวรรณกรรม ดังนี้

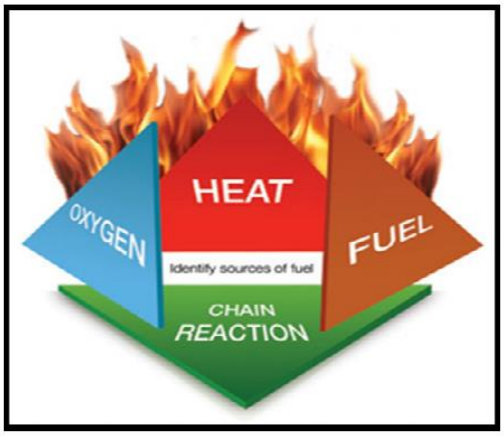
1. แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการเกิดเพลิงไหม้และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับกระแสไฟฟ้าโหลดเกิน (Overload) และไฟฟ้าลัดวงจรและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
3. แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับปลั๊กพ่วงไฟฟ้าและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
   3.1 ส่วนประกอบของปลั๊กพ่วงไฟฟ้า
   3.2 มาตรฐานของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าหรือชุดพ่วงไฟฟ้า
   3.3 การวัดความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า
4. แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับสารเทอร์โมโครมิก (Thermochromic) และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
5. แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับพลาสติกสำหรับการพิมพ์สติกเกอร์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการเกิดเพลิงไหม้และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อัคคีภัย

อัคคีภัย คือ เป็นภัยอันตรายที่เกิดจากไฟที่ขาดการควบคุมจนเกิดการลุกลามต่อเนื่องเป็นเพลิงสร้างความเสียหายให้แกชีวิต ทรัพย์สิน ร่างกายและสิ่งแวดล้อมซึ่งการจะเกิดอัคคีภัยหรือไฟไหม้นั้นจะต้องมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้ (กิจจา จิตรภิรมย์, 2557)

1. เชื้อเพลิง (Fuel) ซึ่งเชื้อเพลิงมีอยู่ 3 สถานะ คือ เชื้อเพลิงแข็ง (Solid fuel) เชื้อเพลิงเหลว (Liquid fuel) และก๊าซ (Gases)
2. ออกซิเจน (Oxygen) โดยทั่วไปจะมีออกซิเจนอยู่ในอากาศประมาณ 21%
3. ความร้อน (Heat)



ภาพที่ 2 องค์ประกอบของการเกิดเพลิงไหม้
ที่มา : กิจจา จิตรภิรมย์ (2557)

การป้องกันไฟ (Fire Prevention)

หลักสำคัญของการป้องกันไฟ (Fire prevention) คือการแยกองค์ประกอบของไฟออกจากกัน เช่น การเก็บวัสดุติดไฟไว้เท่าที่จำเป็นและในสถานที่ที่ห่างจากแหล่งกำเนิดของการติดไฟ การเก็บสารไวไฟไว้ในภาชนะที่เหมาะสม การป้องกันระบบไฟฟ้าลัดวงจร การควบคุมการสูบบุหรี่ให้เป็นที่ การวางระเบียบในการเชื่อมการตัด การเก็บสารเคมีอย่างถูกต้องการจัดให้มีการรักษาความสะอาดในสถานที่ทำงานที่ดี ฯลฯ

การหมั่นตรวจสอบระบบป้องกันอัคคีภัยทุกวัน เพื่อลดโอกาสที่จะเกิดการลุกติดไฟซึ่งจุดมุ่งหมายของการตรวจสอบประจำวันนั้นคือ เพื่อควบคุมและจัดการแหล่งกำเนิดความร้อน และวัสดุติดให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม เป็นต้น

แหล่งที่เกิดเพลิงไหม้ (Ignition Sources)

แหล่งที่เกิดเพลิงไหม้หรือสาเหตุของการเกิดเพลิงนั้นมาจากหลายสาเหตุทั้งที่เกิดจากการตั้งใจหรือเกิดจากความไม่ตั้งใจที่จะทำให้เกิดเพลิงไหม้ขึ้น ซึ่งมีดังต่อไปนี้

1. **ไฟที่เกิดจากกระแสไฟฟ้า (Electric fires)** เกิดจากไฟฟ้าอาร์ค (Arcing) ลัดวงจรเกินโหลด (Overloaded) และอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ สายไฟคุณภาพต่ำากว่ามาตรฐานและการติดตั้งไม่ดีพอ
2. **ไฟที่เกิดจากการสูบบุหรี่ (Smoking)** อัคคีภัยที่เกิดจากการสูบบุหรี่นับเป็นอันดับ 2 ของสาเหตุทั้งหมด จะต้องมีกฎระเบียบควบคุมการสูบบุหรี่ และการจุดไฟไว้อย่างเข้มงวด

3. ไฟที่เกิดจากการเสียดสี (Friction) การเสียดสีที่เกิดจาก Bearing ชำรุดหรือปรับไม่ได้ระดับหรือการขัดตัวของอุปกรณ์ที่หมุนตลอดเวลาอาจก่อให้เกิดอัคคีภัยได้มาก

4. วัสดุที่ร้อนจัดหรือผิวโลหะร้อน (Overheated materials and hot surfaces) ไฟที่เกิดจากเชื้อเพลิงที่สัมผัสกับวัสดุที่ร้อนจัดไม่ว่าจะด้วยการนำการพาหรือแผ่รังสี จากแหล่งความร้อน เช่น หม้อน้ำ ท่อหรือปล่องเตา ท่อไอน้ำ หลอดไฟ ฯลฯ ซึ่งจะต้องป้องกันด้วยระยะห่างการหุ้มฉนวนการปฏิบัติการที่ถูกวิธีและมีอุปกรณ์เครื่องตรวจวัดและสัญญาณ ฯลฯ

5. อัคคีภัยที่เกิดจากการจุดหัวเผา (Brunner flames and combustible sparks) มักจะเกิดกับอุปกรณ์ที่ชำรุดทรุดโทรม หรือขาดการดูแลเอาใจใส่ เช่น หัวตัดแก๊ส หัวจุดในหม้อน้ำหรือเตา และอุปกรณ์ให้ความร้อน โดยมีเชื้อเพลิงและเศษสิ่งของที่ติดไฟได้อยู่ในบริเวณใกล้เคียง

6. ไฟที่ติดขึ้นได้เอง (Spontaneous ignition) เมื่อมีเชื้อเพลิงและออกซิเจน (ในอากาศ) รวมตัวกันอยู่แล้ว หากมีปฏิกิริยาเคมีที่ให้ความร้อนเกิดขึ้น และสะสมจากอุณหภูมิถึงจุดติดไฟ ไฟก็จะเกิดขึ้นเองได้ซึ่งเป็นสิ่งที่ควรระวังมาก คือการเก็บรักษาให้ถูกวิธี และปลอดภัย และไม่มีเชื้อเพลิงในบริเวณใกล้เคียงที่จะให้ไฟลุกลามได้

7. การตัดหรือการเชื่อมโลหะ (Cutting and welding) เครื่องตัดหรือเชื่อมโลหะต้องดูแลอุปกรณ์และถังแก๊สหรือท่อแก๊สไม่ให้รั่วหรือซึมได้รวมทั้งสิ่งแวดล้อมบริเวณทำงานปราศจากไอน้ำมัน หรือเชื้อเพลิงที่จะติดไฟได้

8. การปล่อยปะละเลย วัสดุไวไฟหากเปิดทิ้งไว้โดยไม่ปิดฝาให้มิดชิด หรือวางไว้ในที่ตากแดดจนเกิดความร้อนสูงจะเกิดไอระเหยออกสู่บนบรรยากาศได้ตลอดเวลาและมีโอกาสเกิดอัคคีภัยได้ทุกเวลา

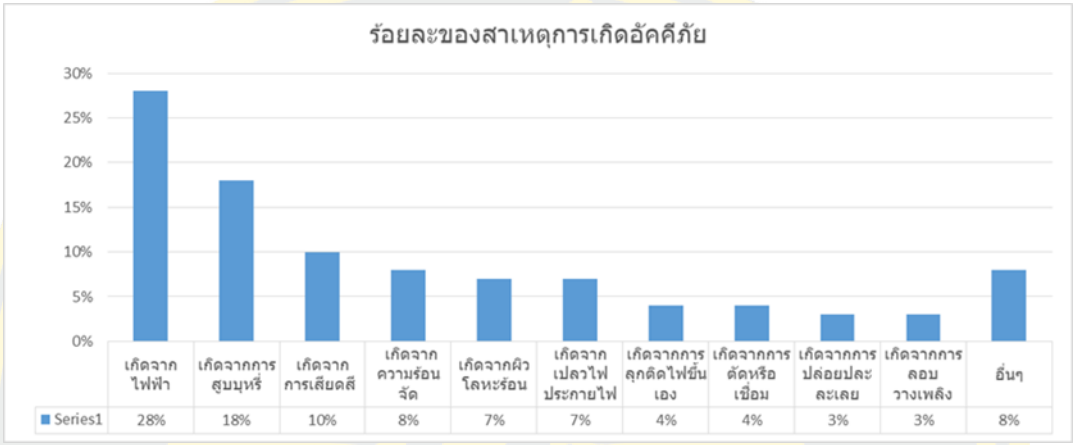
9. การถูกลอบวางเพลิง (Incendiarism) การปิดกั้นบริเวณและรักษาการมีความจำเป็นมากกับวัสดุอุปกรณ์สำคัญ

10. ประกายไฟที่เกิดจากเครื่องจักรกล (Mechanical sparks) การเจียร การขัด ฯลฯ จะต้องระมัดระวังสะเก็ดไฟที่จะก่อให้เกิดอัคคีภัยได้

11. การหลอมโลหะ (Molten substance) อาจเกิดอัคคีภัยได้จากการแตกสลายของเตาหลอมหรือการรั่วไหลในระหว่างการเคลื่อนย้าย

12. ปฏิกิริยาเคมี (Chemical reaction) ปฏิกิริยาเคมีที่ก่อให้เกิดความร้อนสูง บางครั้งอาจเกิดอย่างรุนแรงหรือระเบิดได้ต้องปฏิบัติให้ถูกวิธีด้วยความระมัดระวัง

13. ประกายไฟจากไฟฟ้าสถิต (Static sparks) ประกายไฟฟ้าที่เกิดจากไฟฟ้าสถิต อาจจุดติดไฟให้กับไอ ฝุ่นละออง หรือเศษผงของวัสดุไวไฟได้ง่าย เช่น เครื่องปั่น เครื่องกวน สายพาน การเติมน้ำมันลงถัง ซึ่งอาจป้องกันได้ด้วยการต่อสายดิน ฯลฯ (Grounding, Bonding, Ionization and Ilumidification) (ศูนย์ป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยเขต 11 สุราษฎร์ธานี)



ภาพที่ 3 แผนภูมิแสดงร้อยละของสาเหตุการเกิดอัคคีภัย
ที่มา : ศูนย์ป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยเขต 11 สุราษฎร์ธานี (สืบค้นเมื่อวันที่ 23 ตุลาคม พ.ศ. 2563)

จากร้อยละสาเหตุการเกิดอัคคีภัยพบว่าเป็นสาเหตุจากไฟฟ้ามากถึงร้อยละ 28 ซึ่งถือว่าเป็นอัตราที่สูงมากโดยมีผลมาจากแหล่งความร้อนจากไฟฟ้ามาจากการเดินสายไฟใกล้กับแหล่งความร้อน สภาพสายไฟฟ้าชำรุดรวมถึงวิธีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าหรือเครื่องใช้ไฟฟ้าไม่ถูกวิธี เช่น การเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าไว้เป็นระยะเวลานาน เสียบปลั๊กไฟหลายอันที่เต้ารับเพียงอันเดียวเพราะจะเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดการลัดวงจรทำให้เกิดเพลิงไหม้ได้ซึ่งในประเทศไทยพบได้บ่อยส่วนหนึ่งมีสาเหตุมาจากอุปกรณ์ไฟฟ้า

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นสาเหตุของการเกิดเพลิงไหม้

1. เตาไฟฟ้า อุปกรณ์เหล่านี้ต้องมีการตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากเมน เช่น ปลั๊กไฟฟ้า หรือ สวิทซ์ เป็นต้น ไม่ควรต่อตรงจากระบบเข้าสู่เตาเพราะหากเกิดการลุกไหม้ขึ้น สามารถตัดกระแสไฟฟ้าได้ทันทีอันตรายที่เกิดขึ้นจากเตาไฟฟ้าส่วนใหญ่จะมาจากการหุงต้ม ซึ่งบางครั้งใช้สารไวไฟประเภทน้ำมันต่างๆการที่มีวัตถุติดไฟได้ เช่น กระดาษ ผ้า วางอยู่ใกล้ๆเพียงพอที่จะให้ความ

ร้อนโดยการนำความร้อนโดดยตรงหรือการแผ่รังสีความร้อน จึงทำให้เกิดการลุกไหม้วัตถุดังกล่าวได้

2. ตู้เย็น อันตรายจากเพลิงไหม้ที่มาจากตู้เย็น มาจากการเสื่อมสภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ภายในตู้ดังกล่าว และอันตรายที่มาจาก Overheating ที่แผงส่งความเย็นและตัวมอเตอร์เองอาจจะเป็นที่สะสมเศษหยากไย่และคราบน้ำมันอันสามารถเป็นเชื้อเพลิงได้ดี

3. หลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำงานของหลอดดังกล่าวต่ำกว่าของโคมไฟฟ้าทั่วไปก็จริง แต่เนื่องจากในช่วงสตาร์ทจะต้องใช้ Voltage สูงมาก จำเป็นต้อง มีอุปกรณ์ เช่น Transformer, Reactors, Capacitors และสวิทซ์ ซึ่งความร้อนที่อุปกรณ์ประกอบ เหล่านี้อาจจะสูงขึ้นได้ โดยเฉพาะบัลลาสท์นั้น ถ้าเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ติดตั้งบนขาไม้ ความร้อนจากบัลลาสท์ที่มีการเสื่อมสภาพภายใน (เช่นจากการเสื่อมสภาพของน้ำยาที่เคลือบขดลวด สำหรับพันรอบแผ่นเหล็กซิลิคอน) ทำให้ขาไม้ลุกไหม้ขึ้นได้

4. วิทยุ – โทรทัศน์ อาจเป็นสาเหตุของเพลิงไหม้ได้จากการที่เปิดทิ้งไว้นานๆจนอุปกรณ์ภายใน เช่น หลอดภาพ หรือ หม้อแปลงเกิดความร้อนสูง และถ้ามีพวกหยากไย่อยู่ภายในก็จะเป็นเชื้อเพลิงทำให้เกิดเพลิงลุกไหม้ได้

5. พัดลม สาเหตุของเพลิงไหม้เนื่องจากพัดลมมักจะเกิดจากการที่เปิดทิ้งไว้นานเกินไปหรือมีวัตถุใด ๆ ไปทำให้การหมุนของใบพัดไม่สะดวก ทำให้มอเตอร์เกิดความร้อน ขดลวดที่อาบน้ำยาเกิดเสื่อมสภาพ เกิดการลัดวงจรของกระแสไฟฟ้าขึ้น พัดลมบางรุ่นสวิทซ์เป็นแบบสไลด์เลื่อนถ้าปิดไม่สุดกระแสไฟฟ้าสามารถเดินผ่านได้ตลอดเวลา อาจเกิดความร้อนสะสมถึง ขั้นลุกไหม้ได้เช่นกัน

6. เตารีด ส่วนใหญ่เป็นปัญหามาจากการตั้งวางไว้ในที่ ๆ ไม่เหมาะสมขณะที่ยังมีความร้อนสูงอยู่ เช่น บนผ้า หรือกระดาษสามารถลุกติดไฟได้ (วิชิต มาลาเวช, 2559)

จากการศึกษาของ พันตำรวจโท อดิชัย กัณหา (2551) เครื่องใช้ไฟฟ้าจะเกิดความร้อนขึ้นระหว่างการทำงานตามปกติหรือเมื่อเกิดภาวะผิดปกติขึ้น ถ้าความร้อนที่เกิดขึ้นเกินขีดจำกัดของอุปกรณ์ไฟฟ้าสามารถก่อให้เกิดการลัดวงจร และเป็นสาเหตุของไฟไหม้ขึ้นบนวัสดุที่ทำจากพลาสติกได้ นอกจากนี้ถ้าเกิดอุณหภูมิสูงมากที่ชิ้นส่วนใดๆ ของเครื่องใช้แล้วผู้ใช้งานสัมผัสโดนจะทำให้เกิดอาการไหม้บริเวณผิวหนังได้ ตัวอย่างเช่น เมื่อเทอร์โมสตัท ควบคุมอุณหภูมิของฮีทเตอร์เกิดการลัดวงจรขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกิน จะทำให้ฮีทเตอร์ทำงานอย่างต่อเนื่องความร้อนที่สูงขึ้นสามารถทำให้ชิ้นส่วนพลาสติกภายในเครื่องใช้เกิดการลุกไหม้ได้ ดังนั้น จึงต้องมีอุปกรณ์ป้องกัน เช่น เทอร์โมฟิวส์ เพื่อจำกัดอุณหภูมิให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยและสอดคล้องกับ วิชิต มาลาเวช (2559) ที่พบว่าบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัยจากไฟฟ้าลัดวงจรได้แก่ เต้ารับ เครื่อง

สำรองไฟ จุดที่มีการเสียบสายชาร์จโทรศัพท์ หรือสายชาร์จของโน๊ตบุ๊ก เบรกเกอร์หลักอาคาร สวิทซ์พัดลมเพดาน และสาย Main breaker เป็นต้น

Zhang, Huang, Chen, and Su (2021) ไฟไหม้เป็นอุบัติเหตุประเภทที่พบบ่อยที่สุด ซึ่งการเกิดเพลิงไหม้จากไฟฟ้าถือเป็นสัดส่วนสูงสุด ทำให้เกิดการบาดเจ็บล้มตายอย่างร้ายแรงและสูญเสียทรัพย์สิน ไฟไหม้จากไฟฟ้าเป็นสาเหตุของไฟไหม้ครั้งแรกในหลายประเทศ สัดส่วนของการเกิดเพลิงไหม้ไฟฟ้าคือ 17%, 16% และ 30% ในเกาหลีใต้ ญี่ปุ่น และจีนตามลำดับ ไฟไหม้จากไฟฟ้าทำให้เกิดการบาดเจ็บและทรัพย์สินเสียหายมากที่สุดในประเทศจีน สาเหตุหลักของการเกิดไฟไหม้คือไฟฟ้าลัดวงจร หน้าสัมผัสหลวม อุปกรณ์ไฟฟ้าร้อนเกินไป และอื่นๆ ในประเทศจีนไฟไหม้จากไฟฟ้าที่เกิดจากความผิดปกติของเต้ารับมีสัดส่วนสูงที่สุด

แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับกระแสไฟฟ้าโหลดเกินและไฟฟ้าลัดวงจรและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กระแสไฟฟ้าไหลเกิน หมายถึง สภาวะของกระแสที่ไหลผ่านตัวนำจนเกินพิกัดที่กำหนดไว้เกิดได้ 2 ลักษณะคือ

1. **กระแสไฟฟ้าเกิน (Overload)** หมายถึง กระแสไหลในวงจรปกติ แต่นำอุปกรณ์ที่เกินกำลังไฟสูงหลาย ๆ ชุดมาต่อในจุดเดียวกัน ทำให้กระแสไหลรวมกันเกินกว่าที่จะทนรับภาระของโหลดได้ เช่น นำเอาอุปกรณ์มาต่อที่จุดต่อเดียวกันของเต้ารับหลายทางแยก (ยงยุทธ รอดสม, 2019)

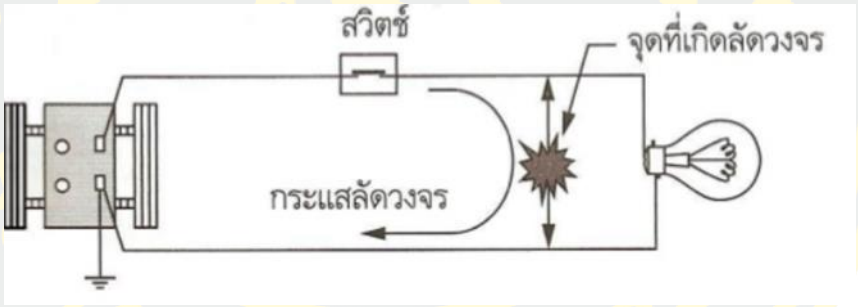
ภาพที่ 4 กระแสไฟฟ้าเกิน (Overload)

ที่มา : http://postnoname.com (สืบค้นเมื่อวันที่ 23 ตุลาคม พ.ศ. 2563)

2. ไฟฟ้าลัดวงจร (Electric shot-circuit) คือ การที่จุด 2 จุดในวงจรไฟฟ้าหรือส่วนของวงจรไฟฟ้าซึ่งมีแรงดันไฟฟ้าต่างกันมาแตะหรือสัมผัสกัน หรือตัวนำซึ่งมีค่าความต้านทานต่ำๆ มาสัมผัสกันระหว่าง 2 จุดนั้น ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลระหว่าง 2 จุดนั้นจำนวนมากจนเกิดการถ่ายเทพลังงานกัน เมื่อเกิดไฟฟ้าลัดวงจรจะมีผลทำให้เกิดความร้อนหรือประกายไฟขึ้นในบริเวณดังกล่าว ซึ่งหากมีสิ่งที่ติดไฟได้อยู่ในบริเวณใกล้ๆก็จะทำให้เกิดเพลิงไหม้ได้ หรือในบางกรณีเมื่อเกิดไฟฟ้าลัดวงจรก็จะมีผลให้ฉนวนของกระแสไฟฟ้าดังกล่าวเสื่อมหรือชำรุดเนื่องจากกระแสไฟฟ้าลัดวงจรมีปริมาณมากกว่าปกติมากเป็นเหตุให้เกิดความร้อนในสายไฟและในบริเวณที่เกิดการลัดวงจรมากกว่าปกติ ถ้าอุปกรณ์ตัดกระแสไฟฟ้า (Breaker) ขัดข้องก็ทำให้เกิดเพลิงไหม้ได้เช่นกัน

สาเหตุของไฟฟ้าลัดวงจร

1. เกิดจากฉนวนสายไฟชำรุดหรือพันเทปจุดต่อสายไฟหรือจุดต่างๆ ในวงจรไม่ดีทำให้สวนของวงจรมาแตะกัน จึงทำให้เกิดไฟฟ้าลัดวงจรขึ้น



ภาพที่ 5 กระแสไฟฟ้าลัดวงจร
ที่มา : http://www.shawpat.com (สืบค้นเมื่อวันที่ 23 ตุลาคม พ.ศ. 2563)

2. เกิดจากการใช้กระแสไฟฟ้าไม่ถูกวิธีเช่น ฉนวน ไฟฟ้าอยู่ใกล้แหล่งที่มีความร้อน ถูกของหนักกดทับ ถูกของ มีคมบาด หรือใช้กระแสไฟฟ้าเกินกำลังที่สายไฟจะรับได้

3. เกิดจากสายไฟฟ้าที่เปลือย (ไม่มีฉนวนหุ้ม) ซึ่งเดินบนฉนวน เช่น ลูกลอกลูกถ้วน แกว่งมาใกล้กันหรือแตะกันหรือมีสิ่งที่เป็นสื่อไฟฟ้ามาแตะระหว่างสายไฟฟ้านั้น

4. เกิดจากสายไฟฟ้าขาดและส่วนหนึ่งที่เป็นตัวนำของสายไฟฟ้า ซึ่งยังมีแรงดันไฟฟ้าไปแตะสายในวงจรอื่นหรือแตะพื้นดินทำให้กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (รัชดาพร สังวร, 2551)

ภาพที่ 6 ใช้กระแสไฟฟ้าเกินกำลัง
ที่มา : https://www.eatonelectriccompany.com (สืบค้นเมื่อวันที่ 23 ตุลาคม พ.ศ. 2563)

จากการศึกษาของ รัชดาพร สังวร (2551) สาเหตุดังกล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่าไฟฟ้าลัดวงจรนั้น อาจเกิดขึ้นได้ทั้งจากการกระทำของมนุษย์เช่น การเดินสายไฟหรือพันเทปจุดต่อสายไฟไม่ดีหรือการใช้ กระแสไฟฟ้าเกินกำลังที่สายไฟจะรับได้ซึ่งอาจเกิดจาก การใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าหลายเครื่องที่ เต้ารับอันเดียวกันหรือ ต่อไฟฟ้าจากจุดเดียวไปใช้หลายๆ จุด ทำให้ฉนวนไฟฟ้า เสื่อมจนเกิดไฟฟ้าลัดวงจรและการศึกษาของ Takano, Fujita, Shigeta, Nakamura, and Ito (2013) สาเหตุที่เป็นไปได้มากที่สุดของการเกิดเพลิงไหม้คือการเผาไหม้บริเวณสายรัดสายไฟและไฟดังกล่าวโดยทั่วไปเริ่มต้นด้วยการลัดวงจรหรือการ Overload ดังนั้นจึงเป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องทราบลักษณะการจุดระเบิดของสายไฟที่มีโหลดเกิน เพื่อปรับปรุงความปลอดภัยจากอัคคีภัย หากต้องการทราบกระแสไฟฟ้าที่จำเป็นสำหรับการจุดไฟของสายไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบเบรกเกอร์วงจร

แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับปลั๊กพ่วงไฟฟ้าและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

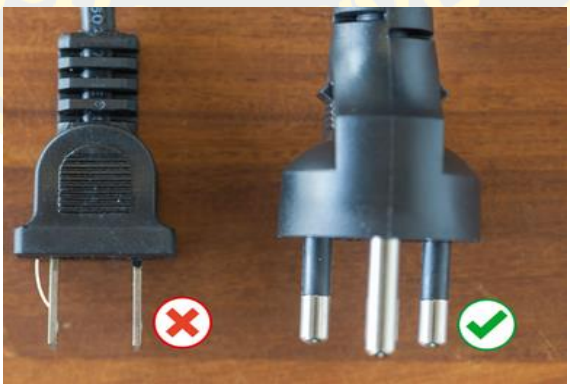
ปลั๊กพ่วงไฟฟ้า (Power strips) ถือเป็นอุปกรณ์สำหรับต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าไปใช้งานทั้งภายในและภายนอกบ้านที่อย่างน้อยก็ต้องมีติดบ้านกันไว้บ้าง 1-2 อันส่วนหนึ่งเป็นเพราะเต้ารับภายในบ้านมักไม่เพียงพอกับการใช้งานจริงหรือตำแหน่งเต้ารับไม่สอดคล้องกับจุดที่ต้องการใช้ เช่น ต่อกับทีวี ไมโครเวฟ เป็นต้น

ส่วนประกอบของปลั๊กพ่วงไฟฟ้า

1. สายไฟ สายไฟที่มีเครื่องหมายมอก. หรือมาตรฐานของ IEC มีสายไฟภายใน 3 เส้น และมีฉนวนหุ้มทั้งสองชั้น เพื่อป้องกันการหักงอหรือถูกของมีคมทำให้สายไฟชำรุด มีความยาวที่เหมาะสมกับการใช้งานอาทิ 3 เมตร หรือ 5 เมตร และควรมีขนาดสายไฟไม่ต่ำกว่า 0.824 ตารางมิลลิเมตรหรือสายเบอร์18 (AWG) เพื่อรองรับโหลดกระแสไฟได้สูงหน่อย หากต้องใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าหลายอย่างในเวลาเดียวกัน (สายไฟที่มีขนาดใหญ่ขึ้น สามารถรองรับกระแสไฟได้ดีกว่า)

ภาพที่ 7 ชนิดของสายไฟตามมาตรฐานมอก.หรือมาตรฐานของ IEC
ที่มา: https://www.baanlaesuan.com (สืบค้นเมื่อวันที่ 29 ตุลาคม พ.ศ. 2563)

2. เต้าเสียบ/หัวปลั๊ก ขากลมแทนขาแบน เพราะเป็นมาตรฐานมอก. ของประเทศไทย และมีฉนวนหุ้มที่โคนขาปลั๊กทั้งสองขา เพื่อป้องกันไม่ให้นิ้วสัมผัสขาปลั๊กที่มีไฟ



ภาพที่ 8 เต้าเสียบ/หัวปลั๊ก ชนิดของสายไฟตามมาตรฐานมอก.
ที่มา: https://www.baanlaesuan.com (สืบค้นเมื่อวันที่ 29 ตุลาคม พ.ศ. 2563)

3. เต้ารับ ขาเต้ารับซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของแผงวงจรภายในควรทำจากทองเหลืองหรือทองแดง เพราะนำไฟฟ้าได้ดีกว่าเหล็กชุบสีหรือโลหะอื่นๆ ซึ่งใช้ไปไม่นาน ขาเสียบมักจะหลวมอาจเกิดการอาร์คขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ปลั๊กพ่วงไหม้ได้ ส่วนบ้านที่มีเด็กเล็กควรใช้เต้ารับแบบมีม่านนิรภัย (Safety shutter) เพื่อป้องกันเด็กเอานิ้วมือแหย่รูปลั๊กพ่วงไฟฟ้าขณะใช้งาน

4. รางปลั๊กพ่วงไฟฟ้า ควรทำจากวัสดุคุณภาพสูงมีคุณสมบัติไม่ลามไฟ เช่น พลาสติก ABS, AVC หรือ PC ซึ่งทนความร้อนและแรงกระแทกได้ดีกว่าพลาสติก PVC ช่วยลดความเสี่ยงการเกิดเพลิงไหม้กรณีเกิดความร้อนสูง

5. ระบบไฟฟ้า ปลั๊กพ่วงที่ดีต้องบอกพิกัดไฟสูงสุดที่สามารถรองรับได้ เช่น 220V 2500W 10A หมายความว่า แรงดันไฟฟ้าของประเทศไทยกำหนดให้ใช้งานระหว่าง 220 – 250โวล์ต ใช้กำลังไฟสูงสุดไม่เกิน 2500 วัตต์ และทนกระแสไฟได้สูงสุด 10 แอมแปร์ที่สำคัญต้องมีระบบฟิวส์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ตัดกระแสไฟฟ้าเกิน

ภาพที่ 9 ส่วนประกอบภายในของปลั๊กพ่วงไฟฟ้า
ที่มา: https://www.baanlaesuan.com (สืบค้นเมื่อวันที่ 29 ตุลาคม พ.ศ. 2563)

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าหรือชุดต่อพ่วงไฟฟ้า

ปลั๊กพ่วงไฟฟ้าหรือชุดต่อพ่วงไฟฟ้าเป็นผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย หากคุณภาพไม่ดีพออาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้งานจึงกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเต้าเสียบและเต้ารับสำหรับใช้ในที่อยู่อาศัยและงานทั่วไปที่มีจุดประสงค์คล้ายกัน : ชุดสายพ่วง

1. ชุดสายพ่วงควรเหมาะสำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิโดยรอบตามปกติไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิเฉลี่ย 24 ชั่วโมงไม่เกิน 35 องศาเซลเซียส และมีขีดจำกัดล่างของอุณหภูมิอากาศโดยรอบ -5 องศาเซลเซียส

2. ชุดสายพ่วงชนิดมีล้อม้วนสาย เมื่ออุณหภูมิชุดสายพ่วงอยู่ในภาวะคงตัว อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆของฉนวนสายไฟฟ้าอ่อนที่จุดใดๆ ต้องไม่เกิน 35 องศาเซลเซียส สำหรับฉนวนยาง 45 องศาเซลเซียส สำหรับฉนวนพอลิไวนิลคลอไรด์ อุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงสุดของส่วนประกอบและวัสดุฉนวนต้องไม่เกิน 75 องศาเซลเซียส (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2556)

การวัดความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า

การวัดค่าความร้อนจะวัดตามเส้นทางการไหลของกระแสไฟฟ้าแล้วนำผลที่ได้จากการวัดมาเปรียบเทียบค่าและสรุปผลในเบื้องต้นความร้อนที่สูงกว่าปกติก็ต้องมีการตรวจสอบในรายละเอียดต่อไปการวัดค่าความร้อนจะใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนเทอร์โมสแกน เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิที่ผิวของวัสดุแบบไม่สัมผัสและไม่ทำลายวัตถุโดยวัดรังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกจากวัตถุและปรับค่าอินฟราเรดที่วัดได้เป็นอุณหภูมิอาศัยกฎของแพลงค์ (Planck's Law) และกฎของสเตฟานโบลท์สมานน์ (Stefan-Boltzmann's Law) กล้องถ่ายภาพความมีส่วนประกอบหลักได้แก่ เลนส์ ตัวตรวจจับ และส่วนแสดงผลโดยจะแสดงผลออกมาในรูปแบบเฉดสีและตัวเลข โดยเฉดสีโทนสว่างจะมีอุณหภูมิสูงและโทนเข้มจะมีอุณหภูมิต่ำ (เมธินี สงไทย, 2558) กล้องอินฟราเรดสามารถตรวจหาจุดร้อนและอุณหภูมิของแต่ละจุด ที่ปรากฏในภาพถ่ายความร้อนซึ่งสามารถประยุกต์ใช้งานได้กับการตรวจสอบด้านไฟฟ้าเครื่องกลและอาคารต่างๆการใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนในการบำรุงรักษาเชิงป้องกันสามารถลดความสูญเสียของพลังงานยืดอายุการใช้งานของเครื่องจักรรวมทั้งอุปกรณ์และป้องกันอัคคีภัยได้

ภาพที่ 10 กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermo camera)
ที่มา : ยืนยง เพียรสวัสดิ์ (วันที่ 18 กันยายน พ.ศ.2564)

การวิเคราะห์ผลเมื่อวัดอุณหภูมิได้แล้วนำผลมาวิเคราะห์เพื่อดูว่ามีค่าความร้อนที่วัดได้อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้หรือต้องมีการซ่อมแซมมีวิธีการวิเคราะห์ผล 2 วิธี คือวิธี Delta-T และวิธี Standard base temperature

1. วิธี Delta-T คือค่าความต่างของอุณหภูมิใช้เปรียบเทียบอุณหภูมิกับจุดใกล้เคียงที่อยู่ในสภาพปกติค่าอุณหภูมิที่แตกต่างสามารถนำมาวิเคราะห์ดังต่อไปนี้ (ดังตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์อุณหภูมิที่วัดได้

อุณหภูมิที่วัดได้ (°C)	**ความหมาย**
	ระบบแรงดันต่ำ
ไม่เกิน 10	ควรมีการตรวจซ้ำในโอกาสต่อไป
10-20	ตรวจซ้ำในลำดับต้นๆ ในโปรแกรมตรวจครั้งต่อไป
20-30	ต้องมีการบำรุงรักษาโดยพิจารณาความสำคัญของอุปกรณ์
เกิน 30	ต้องมีการบำรุงรักษาโดยด่วนที่สุด
	ระบบแรงดันสูง
ไม่เกิน 10	ควรมีการตรวจซ้ำในโอกาสต่อไป
10-20	ตรวจซ้ำในลำดับต้นๆ ในโปรแกรมตรวจครั้งต่อไป
20-40	ต้องมีการบำรุงรักษาโดยพิจารณาความสำคัญของอุปกรณ์
เกิน 40	ต้องมีการบำรุงรักษาโดยด่วนที่สุด

ที่มา : วิชิต มาลาเวช (2559)

2. วิธี Standard base temperature เป็นการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่วัดได้กับอุณหภูมิมาตรฐานที่ทราบค่าแล้ว เช่น สายไฟ PVC มีค่ากระแสไฟฟ้าไหลเต็มพิกัดอุณหภูมิที่ฉนวนจะทนความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส ถ้าค่าที่วัดได้เกินกว่านี้แสดงว่าผิดปกติ เป็นต้น (วิชิต มาลาเวช, 2559)

3. การสำรวจความร้อนและการดำเนินการที่แนะนำตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (American national standard, 2011) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ

อุณหภูมิที่แตกต่าง (ΔT) เปรียบเทียบกับอุปกรณ์ที่ลักษณะคล้ายกันและโหลดที่คล้ายกัน	**อุณหภูมิที่แตกต่าง (ΔT) เปรียบเทียบกับอุปกรณ์และอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม**	**ข้อเสนอแนะในการดำเนินการแก้ไข**
1º C – 3º C	1º C – 10º C	ตรวจสอบตามแผน
4º C – 15º	11º C – 20º C	บำรุงรักษาตามแผน
-	21º C – 40º C	ตรวจติดตามวางแผนแก้ไข
>15º C	>40º C	แก้ไขทันที

ที่มา : American national standard (2011)

วิธีการวัดค่าความร้อนทั้ง 3 วิธีจะมีการปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานเพื่อตรวจสอบสภาวะผิดปกติของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นๆหากพิจารณาค่ามาตรฐานที่จะนำมาปรับใช้กับการตรวจวัดค่าความร้อนสะสมของปลั๊กพ่วง (Power strips) แล้ววิธีการที่เหมาะสมคือการตรวจสอบอุณหภูมิที่แตกต่าง (ΔT) เปรียบเทียบกับอุปกรณ์ที่ลักษณะคล้ายกันและโหลดที่คล้ายกันตามตารางที่ 2 การเพิ่มของอุณหภูมิตาม Standard for Maintenance Testing Specifications for Electrical Power Equipment and Systems (American national standard, 2011) จะมีความเหมาะสมกว่าเพราะเนื่องจากมอก.2432-2555 ไม่ได้มีการกำหนดมาตรฐานของอุณหภูมิปลั๊กพ่วงไว้กำหนดเพียงแค่อุณหภูมิโดยรอบตามปกติเท่านั้น

Kostic, Hadziefendic, Tasic, and Kostic (2021) อินฟราเรดความร้อน (IRT) ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางสำหรับการวินิจฉัยความผิดพลาดของอุปกรณ์ไฟฟ้า เป็นประโยชน์กับเกณฑ์หลายประการ IRT เป็นเทคนิคที่ไม่สัมผัสและไม่ทำลายล้าง ไม่ได้รับผลกระทบจากรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าและสามารถตรวจสอบพื้นผิวขนาดใหญ่ได้ สามารถระบุตำแหน่งจุดร้อน เส้น หรือพื้นผิวได้ทันที

โดยให้ข้อมูลโดยนักถ่ายภาพความร้อนที่มีประสบการณ์สามารถประเมินความรุนแรงของปัญหาได้ IRT ช่วยให้สามารถวัดอุณหภูมิในสถานที่ที่ไม่สามารถเข้าถึงได้หรือเป็นอันตราย (สามารถทำได้จากระยะทางที่ปลอดภัย) การตรวจสอบจะดำเนินการโดยไม่ต้องปิดอุปกรณ์ เพื่อตรวจจับจุดร้อน การตรวจสอบควรดำเนินการภายใต้ระบบโหลดเต็มพิกัด

แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับสารเทอร์โมโครมิก (Thermochromic) และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วัสดุโครมิก (Chromic materials)

วัสดุโครมิก คือ วัสดุที่มีสมบัติเปลี่ยนสีกลับไป-กลับมาเมื่อสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลง ไปแบ่งวัสดุโครมิกตามกลไกการเปลี่ยนสีได้หลายชนิด เช่น ฮาโลโครมิก (Halochromism) คือ วัสดุเปลี่ยนสีเมื่อความเป็นกรด-ด่างเปลี่ยนแปลงไป เพียโซโครมิก (Piezochromism) คือ วัสดุเปลี่ยนสีเนื่องจากแรงอัดทางกล โซลวาโตโครมิก (Solvatochromism) คือ วัสดุเปลี่ยนสีเนื่องจากเปลี่ยนสภาพขั้วในตัวทำละลายฮาโลโซลวาโตโครมิก (Halosolvatochromism) คือ วัสดุเปลี่ยนสีเนื่องจากความแรงของไอออน (Ionic strength) เปลี่ยนสีโดยไม่มีการเปลี่ยนโครงสร้างไอโอโนโครมิก (Ionochromism) คือ วัสดุเปลี่ยนสีเนื่องจากการผสมไอออน อิเล็กโทรโครมิก (Electrochromism) คือ วัสดุเปลี่ยนสีที่เกิดจากกระแสไฟฟ้า (ภาณุมาศ ชูพูล, 2559) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปลี่ยนสีของวัสดุอิเล็กโทรโครมิกที่เป็นออกไซด์ของโลหะ

Metal	Oxidized form	Reduced form
Cobalt	Pale yellow	Dark brown
Copper	Black	Red-brown
Iridium	Colorless	Blue-grey
Manganese	Dark brown	Pale yellow
Molybdenum	Colorless	Intense blue
Nickel	Brown-black	Colorless
Tantalum	Colorless	Very pale blue
Tungsten	Very pale yellow	Intense blue
Vanadium	Brown-yellow	Very pale blue

ที่มา : ภาณุมาศ ชูพูล (2559)

วัสดุเทอร์โมโครมิก (Thermochromic material)

วัสดุโครมิก (Chromic) หรือ โครมิซึม(Chromism) เป็นปรากฏการณ์หรือกระบวนการที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของสารทั้งจากไม่มีสีเป็นมีสีหรือจากสีหนึ่งเป็นอีกสีหนึ่งเมื่อถูกกระตุ้นโดยสิ่งเร้าภายนอกประเภทต่าง ๆ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีนี้มักจะไม่เกิดขึ้นอย่างถาวรแต่สามารถผันกลับได้ ปัจจุบันพบสารที่มีสมบัติโครมิกมากมายทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือถูกสังเคราะห์ขึ้นโดยเฉพาะเพื่อให้มีสมบัติตามที่ต้องการสารดังกล่าวนี้เป็นได้ทั้งสารประกอบอินทรีย์สารประกอบอนินทรีย์มีการเปลี่ยนสีและโครงสร้างของวัสดุเทอร์โมโครมิกมีดังต่อไปนี้

วัสดุอินทรีย์และอนินทรีย์ มีความสามารถในการแสดงสมบัติเทอร์โมโครมิกได้โดยสามารถตอบสนองต่ออุณหภูมิสารที่สามารถเกิดปรากฏการณ์เทอร์โมโครมิกที่หลากหลาย เช่น

- วาเนเดียมไดออกไซด์ (Vanadium dioxide)
- โครเมียม (III) ออกไซด์ (Chromium (III) oxide)
- อะลูมิเนียม(III) ออกไซด์(Aluminium (III) oxide) ในอัตราส่วน 1:9
- นิเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate)
- คิวปรัสเมอร์คิวรีไอโอไดด์ (Cuprous mercury iodide)
- ซิลเวอร์เมอร์คิวรีไอโอไดด์ (Silver mercury iodide)
- บิส (ไดเอทิลแอมโมเนียม) เตตราคลอโรคิวเปรต (Bis (Diethylammonium) Tetrachlorocuprate) และบิส (ไดเมทิลแอมโมเนียม) เตตราคลอโรนิเกิลเลต (Bis(Dimethylammonium) Tetrachloronickelate) เป็นต้น

การเปลี่ยนแปลงสีของสารประกอบอนินทรีย์เหล่านี้จะเกิดผ่านการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในออบิทัล d และ f หรือการถ่ายโอนประจุแล้วเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงแสงที่มองเห็นการเกิดเทอร์โมโครมิกในสารอนินทรีย์และสารโลหะอินทรีย์ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างได้แก่

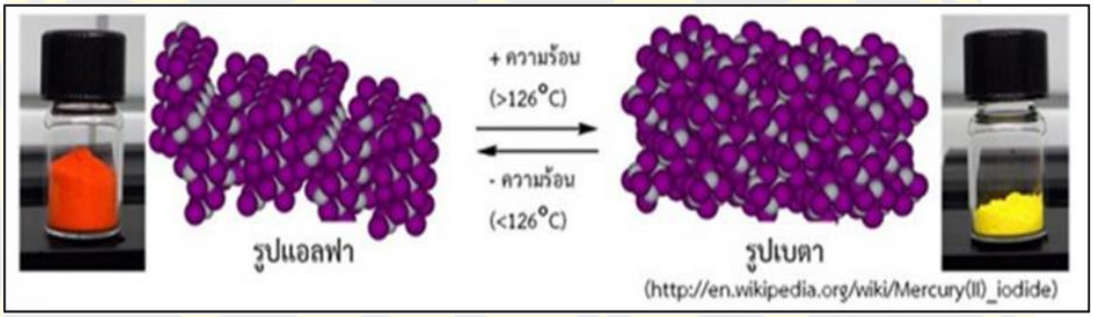
1. การเปลี่ยนโครงสร้างผลึกของวาเนเดียมไดออกไซด์จากโครงสร้างโมโนคลีนิกเป็นโครงสร้างรูไทล์เมื่อถูกกระตุ้นด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 68 องศาเซลเซียส มอร์คิวรี (II) ไอโอไดด์ (Mercury (II) iodide) จะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากรูปผลึกแอลฟา (สีแดง) เป็นรูปเบตา (สีเหลือง) นอกจากนี้การเปลี่ยนเฟส หรือโครงสร้างผลึก $Cu_2 HgI_4$ มีสีแดง ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เปลี่ยนเป็นสีดำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส หรือ $Cr_2 O_3$- Al_2O_3 มีสีแดงที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสและมีสีเทาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เนื่องจากรูปผลึกที่ต่างกัน

2. การลดช่องว่างพลังงานเมื่อถูกกระตุ้นด้วยความร้อนในสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิงค์

ออกไซด์ (ZnO) จะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อินเดียมออกไซด์ (In_2O_3) จะเปลี่ยนสีจากสี เหลืองเป็นสีน้ำตาลเหลืองเมื่อได้รับความร้อน

3. การเปลี่ยนแปลงของลิแกนด์ เช่น $(Et_2\ NH_2)_2CuCl_4$มีสีเขียวใสที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีสีเหลืองที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส

4. การเปลี่ยนค่าโคออดิเนชั่นนัมเบอร์ (Coordination number) เช่น Isopropanolic $CoCl_2$โครงสร้างผลึกเป็น Octahedral มีสีชมพูที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส โครงสร้างผลึกเป็น Tetrahedral ซึ่งมีค่าโคออดิเนชันนัมเบอร์ต่างกัน (วิทยา พรหมมินทร์, 2558)



ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงสีของเมอร์คิวรี (II) ไอโอไดด์
ที่มา : วิทยา พรหมมินทร์ (2558)

จากการศึกษาของณรัฐ ข้องม่วง (2554) พบว่าการใช้สีที่มีส่วนผสมของสารเทอร์โมโครมิกสีดำเคลือบลงบนหลังคาสีขาวแต่เมื่ออุณหภูมิใกล้เคียงและสูงกว่า 32 องศาเซลเซียส (Colorless phase) สีเทอร์โมโครมิกจะเริ่มมีการเปลี่ยนเป็นสีใสจนเห็นพื้นสีขาวด้านล่าง อุณหภูมิสูงสุดผิวบนของหลังคาที่ใช้สีเทอร์โมโครมิกจึงใกล้เคียงกับหลังคาที่ทาสีขาวโดยมีค่าความต่างกัน 0.93 องศาเซลเซียส และมีอุณภูมิต่ำกว่าหลังคาที่ไม่เคลือบสี 3.42 องศาเซลเซียส สำหรับการทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้สารเทอร์โมโครมิกประเภท ลูโคดาย เป็นสารอีกประเภทที่มีสมบัติพิเศษสามารถเปลี่ยนสีเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของสารลูโคดายสามารถเปลี่ยนแปลงได้ 2 แบบ แบบหนึ่งมีสี ส่วนอีกแบบจะไม่มีสีขณะที่สารยังมีอุณหภูมิต่ำ สารลูโคดายจะแสดงสีเฉพาะตัวปรากฏออกมา แต่เมื่ออุณหภูมิของสารเพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่ง สีของสารจะหายไปกลายเป็นสารที่มีลักษณะขาวหรือใสไม่มีสีโดยการใช้งานไม่สามารถนำไปทาหรือเคลือบกับวัสดุโดยตรงต้องนำไปผสมสารอื่นที่ทำหน้าที่ยึดเกาะบนผิววัสดุ

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวกับพลาสติกสำหรับการพิมพ์สติกเกอร์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พลาสติกสำหรับการพิมพ์สติกเกอร์แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ เทอร์โมเซตพลาสติก และเทอร์โมพลาสติก

เทอร์โมเซตพลาสติก (Thermoset plastic)

เป็นพลาสติกที่มีคุณสมบัติพิเศษคือทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและทนปฏิกิริยาเคมีได้ดีเกิดคราบและรอยเปื้อนได้ยากพลาสติกแบบนี้ เมื่อหลอมตัวเป็นรูปแบบใดจะเป็นรูปแบบนั้นอย่างถาวรหมายความว่าจะเอามาหลอมให้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ไม่ได้ กล่าวคือเกิดการเชื่อมต่อข้ามไปมาระหว่างสายโซ่ของโมเลกุลพอลิเมอร์(Cross linking among polymer chains) เหตุนี้หลังจากพลาสติกเย็นจนแข็งตัวแล้วจะไม่สามารถทำให้อ่อนได้อีกโดยใช้ความร้อนแต่จะสลายตัวทันทีเมื่ออุณหภูมิสูงถึงระดับ การทำพลาสติกชนิดนี้เป็นรูปลักษณะต่างๆต้องใช้ความร้อนสูงและโดยมากต้องการแลนด์ด้วยเช่น เมลามีน พอลิยูริเทน พอลิฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์

เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)

เป็นพลาสติกอ่อนตัวเมื่อได้รับความร้อนขึ้นรูปได้หลายครั้งโดยสมบัติของพลาสติกไม่เปลี่ยนแปลงเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบเส้น และแบบกิ่งเช่น พอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน พอลิสไตรีน เป็นต้น

1. **พอลิโพรพิลีน (Polypropylene)** เป็นพลาสติกที่มีโครงสร้างอยู่ในกลุ่มของพอลิโอลิฟีนเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนพลาสติกชนิดนี้มีคุณสมบัติหลายประการ เช่น ความเหนียว ความทนทานต่อสารเคมี ความต้านทานต่อการขีดข่วนและการคงรูป อย่างไรก็ตามในอุตสาหกรรมการใช้งานของพอลิโพรพิลีน ในหลายประเภทจำเป็นต้องมีการใช้คุณสมบัติการยึดติดที่ดี ตัวอย่างเช่น การเกาะติดกับหมึกพิมพ์หรือสารเคลือบ ซึ่งการยึดติดที่ดีจะถูกกำหนดได้จากความเป็นขั่วของผิวหน้าพลาสติกโดยทั่วไปพอลิโรพิลีนมีคุณสมบัติการยึดเกาะต่ำเนื่องจากมีโครงสร้างไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้วเป็นหลังและพลังงานผิวต่ำ

2. **พอลิเอทิลีน (Polyethylene)** มีสีขาวขุ่นโปร่งแสงมีความลื่นมันในตัวเมื่อมีการสัมผัสหยุ่นตัวได้ ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่ติดแม่พิมพ์ มีความเหนียวทนความร้อนไม่ได้มากนัก แต่ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีเป็นฉนวนไฟฟ้า ใส่สีผสมได้ง่ายมีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำจึงลอยน้ำได้เมื่อความหนาแน่นสูงขึ้นจะทำให้มีความแข็งแรงและความเหนียวเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิหลอมตัวสูง เหมาะสำหรับการห่อหุ้มสายไฟสามารถทนกรดได้ ทนด่างได้ดี จึงเหมาะสมสำหรับทำภาชนะใส่สารเคมีที่ไม่ร้อน แต่ไม่ควรใช้กับสารละลายบางชนิดที่ร้อนระดับ 100 องศาเซลเซียส ขึ้นไป ได้แก่ น้ำมันเบนซิน โทลูอีน และกรดและสามารถใช้ในอุณหภูมิที่ต่ำได้ถึง -73 องศาเซลเซียส (ไกรพ เจริญโสภา, 2551)

สำหรับการทดลองผู้วิจัยได้ใช้พอลิเอทิลีน (Polyethylene) ในการนำมาทำสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเนื่องจากสามารถใส่สีผสมได้ง่ายมีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำจึงลอยน้ำได้เมื่อความหนาแน่นสูงขึ้นจะทำให้มีความแข็งแรงและความเหนียวเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิหลอมตัวสูง เหมาะสำหรับการห่อหุ้มสายไฟสามารถทนกรดได้ ทนด่างได้ดี

จากการศึกษาของ ไกรพ เจริญโสภา (2551) คุณสมบัติของพลาสติกที่จะนำมาพิมพ์สติกเกอร์นั้นระหว่างเทอร์โมเซตพลาสติก (Thermoset plastic) กับเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) พบว่าพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติกมีความเหมาะสมกว่าในการนำมาพิมพ์สติกเกอร์เนื่องจากมีความไวในการสัมผัสความร้อนโดยเฉพาะอย่างยิ่ง พอลิเอทิลีน (PE) ที่มีคุณสมบัติ มีความเหนียว ทนความร้อนไม่ได้มากนัก แต่ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีเป็นฉนวนไฟฟ้า ใส่สีผสมได้ง่ายมีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำจึงลอยน้ำได้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

รูปแบบการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยทดลอง (Experimental research) เพื่อศึกษาผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเพื่อชี้บ่งความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า ซึ่งได้กำหนดขั้นตอนในการศึกษาไว้ดังต่อไปนี้

1. การศึกษาความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal camera)
2. การทดลองการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นโดยใช้เครื่องทำความร้อน
3. การศึกษาผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเพื่อชี้บ่งความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีการเลือกแบบเฉพาะเจาะจงซึ่งมีการใช้ปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานรองรับกำลังไฟฟ้าสูงสุด 2300 วัตต์ ทั้งหมด 3 ยี่ห้อ ได้แก่ ยี่ห้อ A B และ C ยี่ห้อละ 2 ชิ้น และปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐาน รองรับกำลังไฟฟ้าสูงสุด 2300 วัตต์ ทั้งหมด 3 ยี่ห้อ ได้แก่ ยี่ห้อ D E และ F ยี่ห้อละ 2 ชิ้น โดยปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานที่ใช้ในการทดลองจะเป็นปลั๊กพ่วงไฟฟ้าสภาพใหม่ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานมาก่อน

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal camera) กล้องถ่ายภาพความร้อนช่วงวัดอุณหภูมิ -20 ถึง +650 องศาเซลเซียส ความละเอียด 240x180 พิกเซล ความไว $\leq$ 0.05 °C
2. Load switch
3. Junction box
4. เครื่องวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า (Power quality meter: MI 2892)
5. โหลดความต้านทานปรับค่าได้ 3 เฟส 8A 380V

6. แท่งเทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) ขนาด 200 องศาเซลเซียส
7. แผ่นทำความร้อน 8 x 1.8 ซม.
8. แบตเตอรี่ 12v 7ah
9. กล่องอะคิลิกใสขนาด 30x30x30 ซม.
10. กล้องบันทึกภาพและวีดีโอ
11. ถังดับเพลิงชนิดคาร์บอนไดออกไซด์
12. ถุงมือกันไฟฟ้า Class 00
13. รองเท้านิรภัยป้องกันกำลังไฟฟ้า
14. แบบบันทึกผลความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า (รายละเอียดในภาคผนวก ก.)
15. แบบบันทึกผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า (รายละเอียดในภาคผนวก ก.)
16. Easy resin part A+B
17. นาฬิกาจับเวลา

ภาพที่ 12 กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermo camera)
ที่มา : https://www.metermanthailand.com (สืบค้นเมื่อวันที่ 2 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563)

ภาพที่ 13 เครื่องวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า (Power quality meter)
ที่มา : https://www.metermanthailand.com (สืบค้นเมื่อวันที่ 2 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563)

การสอบเทียบเครื่องมือ

งานวิจัยนี้มีการสอบเทียบเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ทั้งหมด 3 เครื่องมือได้แก่

1. กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal camera) สอบเทียบระดับมาตรฐานขั้นรอง (Secondary standard) ภายในศูนย์สอบเทียบเอกชน เมื่อวันที่ 31 พฤษภาคม พ.ศ.2563
2. โหลดความต้านทานปรับค่าได้ สอบเทียบระดับการใช้งาน (Working standard)
3. แท่งเทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) สอบเทียบระดับการใช้งาน (Working standard) โดยการปรับค่า 0 องศาเซลเซียส
4. เครื่องวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า (Power quality meter) สอบเทียบระดับการใช้งาน (Working standard)

ห้องปฏิบัติการ

ผู้วิจัยทำการศึกษาทดลองภายในห้องปฏิบัติการในของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่มีการปรับอุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียสในขณะที่ทำการทดลองและทำการทดลองระหว่างวันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2564 ถึง 16 ตุลาคม พ.ศ. 2564

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

การศึกษาในครั้งนี้จะใช้สารเทอร์โมโครมิกโดยจะพิจารณาคุณสมบัติของสารเทอร์โมโครมิกที่มีการเปลี่ยนสีที่อุณภูมิของความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า จากการศึกษาความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าโดยใช้ค่าเฉลี่ยความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า เลือกใช้สารเทอร์โมโครมิกประเภทลูโคดายที่มีคุณสมบัติเปลี่ยนสีจากสีแดงเป็นสีขาวได้ที่ 31 องศาเซลเซียส

ความปลอดภัยในการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ซึ่งมีความเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายกับผู้ทำการวิจัยในด้านของการถูกไฟฟ้าช็อตไฟฟ้าดูด การเกิดอัคคีภัยจากไฟฟ้าลัดวงจร เป็นต้น ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการจัดเตรียมมาตรการด้านความปลอดภัยดังต่อไปนี้

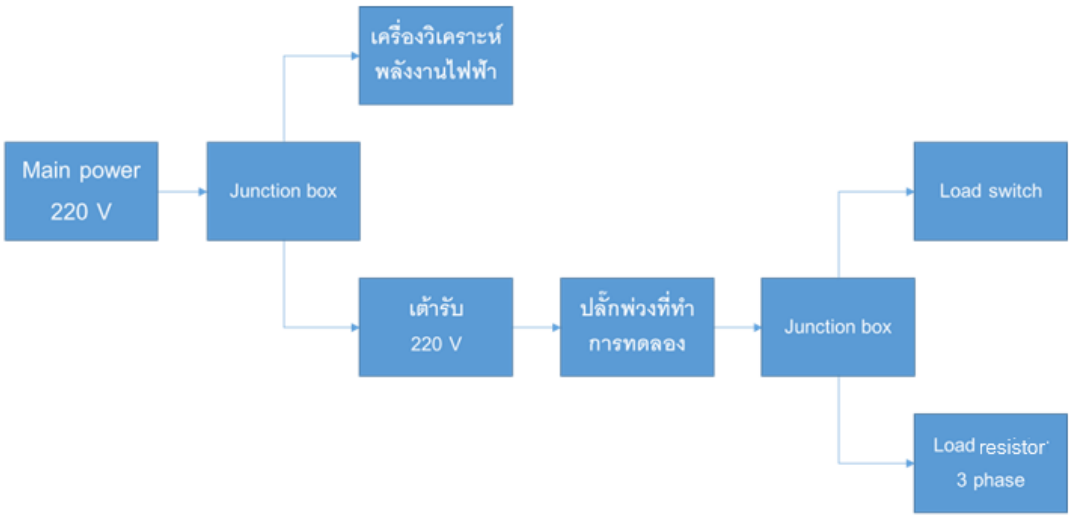
1. อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล ได้แก่ ถุงมือกันไฟฟ้า Class 00 และรองเท้านิรภัยป้องกันกำลังไฟฟ้า
2. อุปกรณ์ป้องกันการเกิดอัคคีภัยจากการที่กระแสไฟฟ้าลัดวงจร ได้แก่ ถังดับเพลิงชนิดคาร์บอนไดออกไซด์
3. มีเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการควบคุมดูแลตลอดการศึกษาทดลอง

การศึกษาความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal camera)

งานวิจัยนี้ศึกษาความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน ทำการศึกษาในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐาน ได้แก่ ยี่ห้อ A B และ C และปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐาน ได้แก่ ยี่ห้อ D E และ F โดยทำการศึกษาความร้อนสะสมที่ร้อยละ 50 ร้อยละ 75 และร้อยละ100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ 2300 วัตต์

1. การศึกษาความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน ที่ร้อยละ 50 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ 2300 วัตต์ โดยมีขั้นตอนในการศึกษาดังต่อไปนี้

1.1 ต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า ได้แก่ เครื่องวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า โหลดความต้านทานปรับค่าได้ 3 เฟส Load switch, Junction box และปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ทำการศึกษา ยี่ห้อ A B C D E และ F ตามภาพที่ 14



ภาพที่ 14 แผนผังการต่อพ่วงเครื่องมือที่ใช้ศึกษาความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า
ที่มา : ยืนยง เพียรสวัสดิ์ (วันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2564)

1.2 ปรับค่าโหลดความต้านทานที่ ร้อยละ 50 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ 2300 วัตต์

ภาพที่ 15 การต่อพ่วงเครื่องมือและปรับค่าโหลดความต้านทาน
ที่มา : ยืนยง เพียรสวัสดิ์ (วันที่ 19 พฤษภาคม พ.ศ. 2564)

1.3 ตรวจสอบความร้อนสะสมที่ผิวของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal camera) และบันทึกค่าลงในแบบบันทึกผลความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า

ภาพที่ 16 ถ่ายภาพความร้อนสะสมที่ปลั๊กพ่วงไฟฟ้า
ที่มา : ยืนยง เพียรสวัสดิ์ (วันที่ 19 พฤษภาคม พ.ศ. 2564)

1.4 ทำการศึกษาความร้อนสะสมซ้ำในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า ยี่ห้อ A B C D E และ F ที่ ร้อยละ 50 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ 2300 วัตต์ ยี่ห้อละ 3 ครั้ง

2. การศึกษาความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน ที่ร้อยละ 75 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ 2300 วัตต์ โดยมีขั้นตอนในการศึกษาดังต่อไปนี้

2.1 ต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า ได้แก่ เครื่องวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า โหลดความต้านทานปรับค่าได้ 3 เฟส Load switch, Junction box และปลั๊กพ่วงไฟฟ้า ที่ทำการศึกษา ยี่ห้อ A B C D E และ F ตามภาพที่ 15

2.2 ปรับค่าโหลดความต้านทานที่ ร้อยละ 75 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ 2300 วัตต์

2.3 ตรวจสอบความร้อนสะสมที่ผิวของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal camera) และบันทึกค่าลงในแบบบันทึกผลความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า

2.4 ทำการศึกษาความร้อนสะสมซ้ำในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า ยี่ห้อ A B C D E และ F ที่ ร้อยละ 75 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ 2300 วัตต์ ยี่ห้อละ 3 ครั้ง

3. การศึกษาความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน ที่ร้อยละ 100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ 2300 วัตต์ โดยมีขั้นตอนในการศึกษาดังต่อไปนี้

3.1 ต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า ได้แก่ เครื่องวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า โหลดความต้านทานปรับค่าได้ 3 เฟส Load switch, Junction box และปลั๊กพ่วงไฟฟ้า ที่ทำการศึกษา ยี่ห้อ A B C D E และ F ตามภาพที่ 15

3.2 ปรับค่าโหลดความต้านทานที่ ร้อยละ 100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ 2300 วัตต์

3.3 ตรวจสอบความร้อนสะสมที่ผิวของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal camera) และบันทึกค่าลงในแบบบันทึกผลความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า

3.4 ทำการศึกษาความร้อนสะสมซ้ำในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า ยี่ห้อ A B C D E และ F ที่ ร้อยละ 100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ 2300 วัตต์ ยี่ห้อละ 3 ครั้ง

การทดลองการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นโดยใช้เครื่องทำความร้อน

งานวิจัยนี้ทดลองการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นโดยมีขั้นตอนดำเนินการทั้งหมด 2 ขั้นตอน ได้แก่ การพิมพ์สติกเกอร์เทอร์โมโครมิกและการทดลองการเปลี่ยนของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นโดยเครื่องทำความร้อน

การพิมพ์สติกเกอร์เทอร์โมโครมิก

การพิมพ์สติกเกอร์เทอร์โมโครมิกผู้วิจัยจะพิจารณาคุณสมบัติของสารเทอร์โมโครมิกที่มีการเปลี่ยนสีที่อุณภูมิของความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ปลั๊กพ่วงไฟฟ้าจะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายร้อยละ 100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานที่ 2300 วัตต์ ขั้นตอนการพิมพ์สติกเกอร์เทอร์โมโครมิกมีดังต่อไปนี้

1. ผสมสารเทอร์โมโครมิกลงในเรซินในอัตราส่วน 3:10 เพื่อใช้สำหรับพิมพ์สติกเกอร์เทอร์โมโครมิก (ณรัฐ ข้องม่วง, 2554)
2. พิมพ์หมึกที่ผสมสารเทอร์โมโครมิกลงบนสติกเกอร์วัสดุเทอร์โมพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน (PE) (ไกรพ เจริญโสภา, 2551)

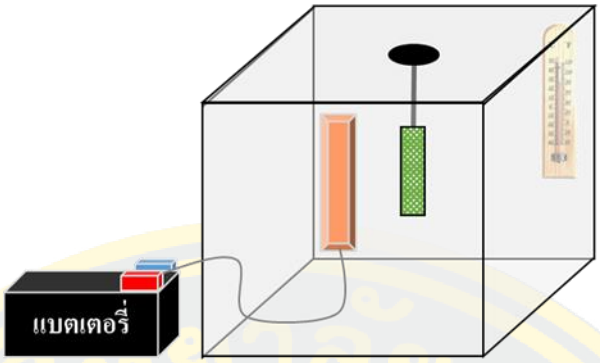
3. รอให้สติกเกอร์เทอร์โมโครมิกแห้งและตัดตามขนาดของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง

ภาพที่ 17 สติกเกอร์เทอร์โมโครมิก
ที่มา : ยืนยง เพียรสวัสดิ์ (วันที่ 18 กันยายน พ.ศ. 2564)

ทดลองการเปลี่ยนของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้น

การทดลองการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นโดยเครื่องทำความร้อน เป็นการทดลองประสิทธิภาพของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในการเปลี่ยนสีตามอุณหภูมิที่กำหนด มีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

1. เตรียมกล่องอะคิลิกใสขนาด 30X30X30 ซม.สำหรับทดลองการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิก
2. นำแผ่นทำความร้อน 8X1.8 ซม.ใส่เข้าไปในกล่องอะคิลิกใสเพื่อให้ความร้อนเพื่อทดลองการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกและต่อเข้ากับแบตเตอรี่ขนาด 12 V 7 ah
3. ติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ในกล่องอะคิลิกใสเพื่อตรวจสอบอุณหภูมิที่ทำให้สติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเปลี่ยนสี
4. สังเกตอุณหภูมิที่สติกเกอร์เทอรโมโครมิกเปลี่ยนสีจากเทอร์โมมิเตอร์
5. ทดลองการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นซ้ำ 5 ครั้ง ดังภาพที่ 18



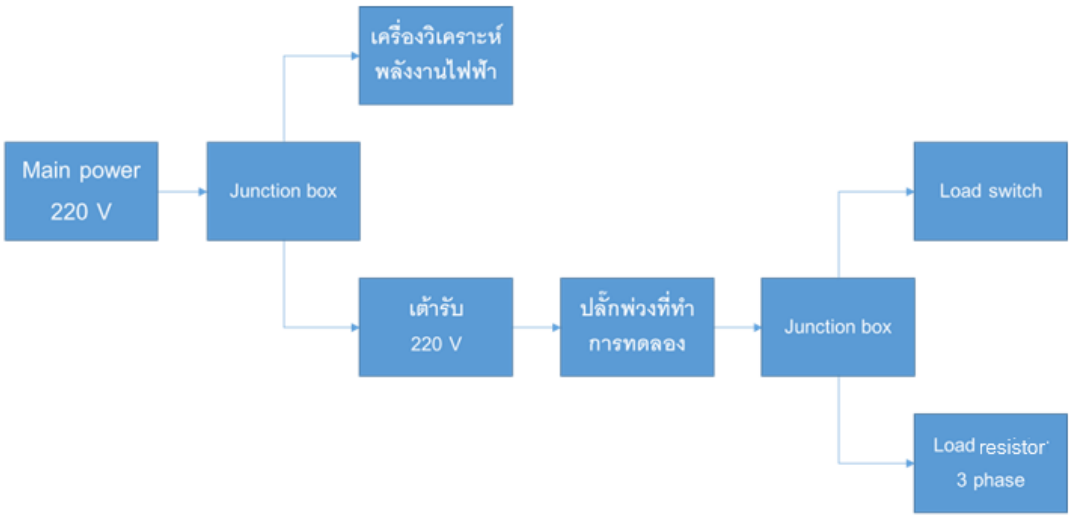
ภาพที่ 18 การทดลองเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โครมิกเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้น
ที่มา : ยืนยง เพียรสวัสดิ์ วันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2564

การศึกษาผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเพื่อชี้บ่งความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน

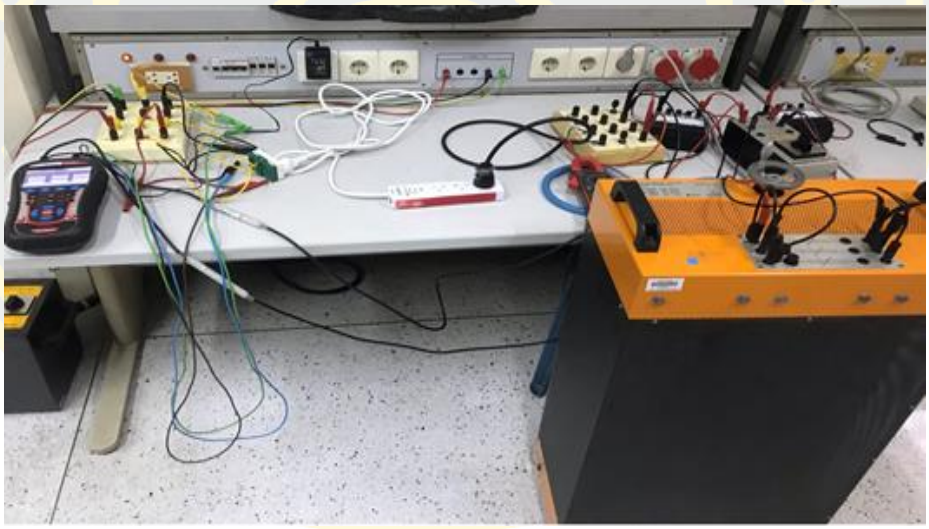
หลังจากการศึกษาความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน และการทดลองการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นด้วยเครื่องทำความร้อน ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเพื่อชี้บ่งความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้รับมาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานโดยทำการศึกษาในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐาน ได้แก่ ยี่ห้อ A B และ C และปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐาน ได้แก่ ยี่ห้อ D E และ F ทำการศึกษาที่ ร้อยละ 100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ 2300 วัตต์

1. การศึกษาผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเพื่อชี้บ่งความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน ที่ร้อยละ 100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ 2300 วัตต์ โดยมีขั้นตอนในการศึกษาดังต่อไปนี้

1.1 ต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า ได้แก่ เครื่องวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า โหลดความต้านทานปรับค่าได้ 3 เฟส Load switch, Junction box และปลั๊กพ่วงไฟฟ้า ที่ทำการศึกษา ยี่ห้อ A B C D E และ F ตามภาพที่ 19



ภาพที่ 19 แผนผังการต่อพ่วงเครื่องมือที่ใช้ศึกษาผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิก
ที่มา : ยืนยง เพียรสวัสดิ์ (วันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2564)

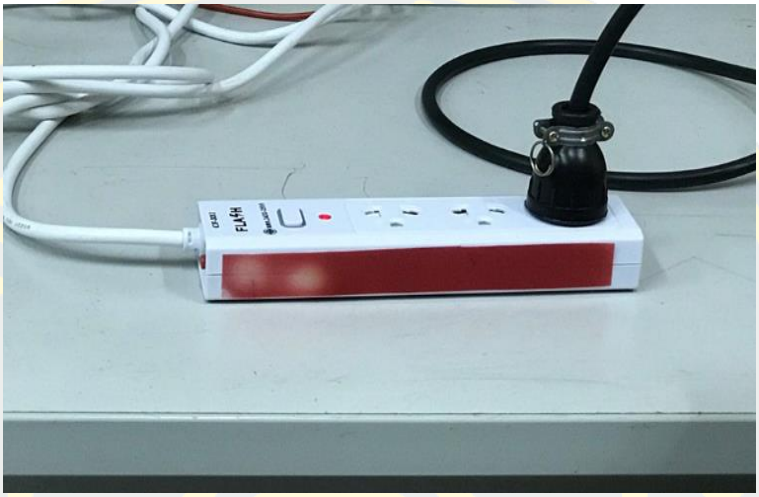


ภาพที่ 20 การต่อพ่วงเครื่องมือที่ใช้ศึกษาผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิก
ที่มา : ยืนยง เพียรสวัสดิ์ (วันที่ 18 กันยายน พ.ศ. 2564

1.2 ติดสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกด้านข้างของปลั๊กพ่วงไฟฟ้า ยี่ห้อ A B C D E และ F ตามขนาดความยาวของปลั๊กพ่วงไฟฟ้า ดังภาพที่ 20 และภาพที่ 21

1.3 ปรับค่าโหลดความต้านทานที่ ร้อยละ 100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ 2300 วัตต์

1.4 ตรวจสอบอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกที่ผิวของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal camera) และบันทึกค่าลงในแบบบันทึกผลการเปลี่ยนของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิก ดังภาพที่ 22



ภาพที่ 21 การเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิก
ที่มา : ยืนยง เพียรสวัสดิ์ (วันที่ 18 กันยายน พ.ศ. 2564)

ภาพที่ 22 อุณหภูมิที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิก
ที่มา : ยืนยง เพียรสวัสดิ์ (วันที่ 18 กันยายน พ.ศ. 2564)

1.5 ทำการศึกษาผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกซ้ำในปลั๊กพ่วงไฟฟ้ายี่ห้อ A B C D E และ F ที่ ร้อยละ 100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ 2300 วัตต์ ยี่ห้อละ 3 ครั้ง ดังภาพที่ 22

การวิเคราะห์ข้อมูล

การประมวลผลและคำนวนค่าสถิติต่างๆ มีการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป ซึ่งรายละเอียดดังนี้

1. สถิติเชิงพรรณาได้แก่ ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่ออธิบายเกี่ยวกับความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน การทดลองการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้น และการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเพื่อชี้บ่งความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน
2. สถิติเชิงอนุมาน ได้แก่ T - test independent และ One-way ANOVA สำหรับเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์โครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานกับปลั๊กพ่วงที่ไม่ได้มาตรฐาน

บทที่ 4
ผลการดำเนินงานวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยทดลอง (Experimental research) เพื่อศึกษาผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเพื่อชี้บ่งความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า ซึ่งได้กำหนดขั้นตอนในการศึกษาไว้ 3 ขั้นตอนมีผลการทดลองดังต่อไปนี้

1. ผลการศึกษาความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal camera)
2. ผลการทดลองการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นโดยใช้เครื่องทำความร้อน
3. ผลการศึกษาผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเพื่อชี้บ่งความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน

ผลการศึกษาความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal camera)

งานวิจัยนี้ศึกษาความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน ทำให้เกิดความร้อนสะสมขึ้นในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า โดยทำการศึกษาในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐาน ได้แก่ ยี่ห้อ A B และ C และปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐาน ได้แก่ ยี่ห้อ D E และ F โดยทำการศึกษาความร้อนสะสมที่ร้อยละ 50 ร้อยละ 75 และร้อยละ 100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ 2300 วัตต์ มีผลการทดลองดังต่อไปนี้

ผลการศึกษาความร้อนสะสมที่ร้อยละ 50 ร้อยละ 75 และร้อยละ 100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานที่ 2300 วัตต์

ผลการทดลองความร้อนสะสมที่ร้อยละ 50 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐาน ยี่ห้อ A B และC พบว่าอุณหภูมิความร้อนสะสมเฉลี่ยที่ยี่ห้อ C เท่ากับ 28.70 (SD±0.20) องศาเซลเซียส ยี่ห้อ A เท่ากับ 28.63 (SD±0.38) องศาเซลเซียส และยี่ห้อ B เท่ากับ 28.47 (SD±0.06) องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลความร้อนสะสมที่ร้อยละ50 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐาน ยี่ห้อ A B และ C

ยี่ห้อ	อุณหภูมิความร้อนสะสม (°C)			$\bar{X}$	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ยี่ห้อ A	28.2	28.8	28.9	28.63	0.38
ยี่ห้อ B	28.4	28.5	28.5	28.47	0.06
ยี่ห้อ C	28.5	28.7	28.9	28.70	0.20

ผลการทดลองความร้อนสะสมที่ร้อยละ 75 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐาน ยี่ห้อ A B และC พบว่าอุณหภูมิความร้อนสะสมเฉลี่ยที่ยี่ห้อ C เท่ากับ 29.65 (SD±0.10) องศาเซลเซียส ยี่ห้อ A เท่ากับ 29.43 (SD±0.30) องศาเซลเซียส และยี่ห้อ B เท่ากับ 28.93 (SD±0.25) องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลความร้อนสะสมที่ร้อยละ 75 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐาน ยี่ห้อ A B และ C

ยี่ห้อ	อุณหภูมิความร้อนสะสม (°C)			$\bar{X}$	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ยี่ห้อ A	29.1	29.5	29.7	29.43	0.30
ยี่ห้อ B	28.7	28.9	29.2	28.93	0.25
ยี่ห้อ C	29.6	29.5	29.7	29.65	0.10

ผลการทดลองความร้อนสะสมที่ร้อยละ 100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐาน ยี่ห้อ A B และC พบว่าอุณหภูมิความร้อนสะสมเฉลี่ยที่ยี่ห้อ C เท่ากับ 32.30 (SD±0.40) องศาเซลเซียส ยี่ห้อ A เท่ากับ 31.30 (SD±0.10) องศาเซลเซียส และยี่ห้อ B เท่ากับ 30.17 (SD±0.40) องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลความร้อนสะสมที่ร้อยละ100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐาน ยี่ห้อ A B และ C

ยี่ห้อ	อุณหภูมิความร้อนสะสม (°C)			$\bar{X}$	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ยี่ห้อ A	31.2	31.4	31.3	31.30	0.10
ยี่ห้อ B	29.8	30.1	30.6	30.17	0.40
ยี่ห้อ C	31.9	32.2	32.7	32.30	0.40

ผลการศึกษาความร้อนสะสมที่ร้อยละ 50 ร้อยละ 75 และร้อยละ 100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐานที่ 2300 วัตต์

ผลการทดลองความร้อนสะสมที่ร้อยละ 50 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐาน ยี่ห้อ D E และF พบว่าอุณหภูมิความร้อนสะสมเฉลี่ยที่ยี่ห้อ E เท่ากับ 28.57 (SD±0.12) องศาเซลเซียส ยี่ห้อ F เท่ากับ 28.50 (SD±0.10) องศาเซลเซียส และยี่ห้อ D เท่ากับ 28.47 (SD±0.12) องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลความร้อนสะสมที่ร้อยละ 50 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐาน ยี่ห้อ D E และ F

ยี่ห้อ	อุณหภูมิความร้อนสะสม (°C)			$\bar{X}$	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ยี่ห้อ D	28.4	28.4	28.6	28.47	0.12
ยี่ห้อ E	28.5	28.5	28.7	28.57	0.12
ยี่ห้อ F	28.4	28.5	28.6	28.50	0.10

ผลการทดลองความร้อนสะสมที่ร้อยละ 75 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐาน ยี่ห้อ D E และF พบว่าอุณหภูมิความร้อนสะสมเฉลี่ยที่ยี่ห้อ E

เท่ากับ 32.27 (SD±0.15) องศาเซลเซียส ยี่ห้อ F เท่ากับ 31.07 (SD±0.84) องศาเซลเซียส และยี่ห้อ D เท่ากับ 29.23 (SD±0.76) องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลความร้อนสะสมที่ร้อยละ 75 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐาน ยี่ห้อ D E และ F

ยี่ห้อ	อุณหภูมิความร้อนสะสม (°C)			$\bar{X}$	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ยี่ห้อ D	28.7	28.9	30.1	29.23	0.76
ยี่ห้อ E	32.3	32.1	32.4	32.27	0.15
ยี่ห้อ F	30.1	31.6	31.5	31.07	0.84

ผลการทดลองความร้อนสะสมที่ร้อยละ 100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐาน ยี่ห้อ D E และF พบว่าอุณหภูมิความร้อนสะสมเฉลี่ยที่ยี่ห้อ E เท่ากับ 38.60 (SD±0.10) องศาเซลเซียส ยี่ห้อ F เท่ากับ 33.20 (SD±0.17) องศาเซลเซียส และยี่ห้อ D เท่ากับ 30.90 (SD±0.20) องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลความร้อนสะสมที่ร้อยละ 100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐาน ยี่ห้อ D E และ F

ยี่ห้อ	อุณหภูมิความร้อนสะสม (°C)			$\bar{X}$	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ยี่ห้อ D	30.7	30.9	31.1	30.90	0.20
ยี่ห้อ E	38.7	38.5	38.6	38.60	0.10
ยี่ห้อ F	33.1	33.1	33.4	33.20	0.17

ผลการทดลองการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นโดยใช้เครื่องทำความร้อน

การทดลองการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นโดยเครื่องทำความร้อน เป็นการทดลองประสิทธิภาพของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในการเปลี่ยนสีตามอุณหภูมิที่กำหนด

ผลการทดลองการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกพบว่ามีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 31.9 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 31.2 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 31.54 (SD± 0.2) องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นด้วยเครื่องทำความร้อน

จำนวน	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	$\bar{X}$	SD
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							
	31.4	31.2	31.5	31.9	31.7	31.54	0.24

ผลศึกษาผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเพื่อชี้บ่งความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน

งานวิจัยนี้ศึกษาความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานทำให้เกิดความร้อนสะสมขึ้นในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า โดยทำการศึกษาในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐาน ได้แก่ ยี่ห้อ A B และ C และปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐาน ได้แก่ ยี่ห้อ D E และ F โดยทำการศึกษาผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเพื่อชี้บ่งความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าเปรียบเทียบอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์โครมิกระหว่างปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานกับปลั๊กพ่วงที่ไม่ได้มาตรฐาน ร้อยละ 100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ 2300 วัตต์

ผลอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน

จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิสูงสุดที่ทำให้สติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเปลี่ยนสีในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าคือยี่ห้อ F อุณหภูมิเฉลี่ย 40.17 (SD±0.21) องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดที่ทำให้สติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเปลี่ยนสีคือ ยี่ห้อ B อุณหภูมิเฉลี่ย 30.07 (SD±0.51) องศาเซลเซียส และพบว่าเวลาที่สูงที่สุดที่ทำให้สติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเปลี่ยนสีในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าคือยี่ห้อ B เวลาเฉลี่ย 10.29 (SD±0.21) นาที และเวลาที่ต่ำที่สุดที่ทำให้สติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเปลี่ยนสีในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าคือยี่ห้อ F เวลาเฉลี่ย 2.38 (SD±0.13) นาที ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ผลอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน

จำนวน	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	$\bar{X}$	SD
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)					
ยี่ห้อ A	36.7	36.4	37.1	36.73	0.35
ยี่ห้อ B	29.5	30.2	30.5	30.07	0.51
ยี่ห้อ C	36.4	35.9	35.7	36.00	0.36
ยี่ห้อ D	38.6	39.1	39.3	39.00	0.36
ยี่ห้อ E	30.3	32.2	32.5	31.67	1.19
ยี่ห้อ F	39.9	40.2	40.4	40.17	0.25
เวลา (นาที)					
ยี่ห้อ A	3.45	3.55	3.26	3.42	0.15
ยี่ห้อ B	10.05	10.43	10.4	10.29	0.21
ยี่ห้อ C	4.50	4.23	4.25	4.32	0.15
ยี่ห้อ D	7.12	7.09	7.11	7.10	0.02
ยี่ห้อ E	3.10	3.15	3.22	3.16	0.06
ยี่ห้อ F	2.55	2.34	2.25	2.38	0.15

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานกับฟลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐานที่ร้อยละ 100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้า

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน พบว่าอุณหภูมิของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานไม่มีความแตกต่างกันและเวลาของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน

คุณลักษณะ	จำนวน (n)	$\bar{X}$	SD	F-test	p-value
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)					
ที่ได้มาตรฐาน	9	34.27	3.19	1.245	0.281
ไม่ได้มาตรฐาน	9	36.94	4.04		
เวลา (นาที)					
ที่ได้มาตรฐาน	9	6.01	3.24	3.921	0.065
ไม่ได้มาตรฐาน	9	4.21	2.20		

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานที่ร้อยละ 100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้า

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐาน พบว่าค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ($p\text{-value}<0.001$) ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและที่ไม่ได้มาตรฐาน

ปลั๊กพ่วงไฟฟ้า	คุณลักษณะ	$\bar{X}$±SD	F-test	p-value
ที่ได้มาตรฐาน	**อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)**			
	ยี่ห้อ A (n=3)	36.73±0.35	232.800	<0.001
	ยี่ห้อ B (n=3)	30.07±0.51		
	ยี่ห้อ C (n=3)	36.00±0.36		
	เวลา (นาที)			
	ยี่ห้อ A (n=3)	3.42±0.15	1410.627	<0.001
	ยี่ห้อ B (n=3)	10.29±0.21		
	ยี่ห้อ C (n=3)	4.32±0.15		
ไม่ได้มาตรฐาน	**อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)**			
	ยี่ห้อ D (n=3)	39.00±0.36	118.196	<0.001
	ยี่ห้อ E (n=3)	31.67±1.19		
	ยี่ห้อ F (n=3)	40.17±0.25		
	เวลา (นาที)			
	ยี่ห้อ D (n=3)	7.10±0.02	2234.583	<0.001
	ยี่ห้อ E (n=3)	3.16±0.06		
	ยี่ห้อ F (n=3)	2.38±0.15		

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาได้มาตรฐานยี่ห้อ A ยี่ห้อ B และยี่ห้อ C กับปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐานที่ร้อยละ 100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้า

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานกับปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐาน พบว่าทุกยี่ห้อมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและเวลาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p-value<0.05) ยกเว้นปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานยี่ห้อ B กับปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐาน ยี่ห้อ E ที่ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าไม่มีความแตกต่างกัน ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาได้มาตรฐานยี่ห้อ A ยี่ห้อ B และยี่ห้อ C กับปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐาน

คุณลักษณะ	ปลั๊กพ่วงไฟฟ้า		F-test	p-value
	ที่ได้มาตรฐาน ($\bar{X}$±SD)	ที่ไม่ได้มาตรฐาน($\bar{X}$±SD)		
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ยี่ห้อ A (36.73±0.35)	ยี่ห้อ D (39.00±0.36)	60.842	0.001
		ยี่ห้อ E (31.67±1.19)	49.793	0.002
		ยี่ห้อ F (40.17±0.25)	189.446	<0.001
	ยี่ห้อ B (30.07±0.51)	ยี่ห้อ D (39.00±0.36)	608.678	<0.001
		ยี่ห้อ E (31.67±1.19)	4.553	0.100
		ยี่ห้อ F (40.17±0.25)	936.827	<0.001
	ยี่ห้อ C (36.00±0.36)	ยี่ห้อ D (39.00±0.36)	103.846	0.001
		ยี่ห้อ E (31.67±1.19)	36.266	0.004
		ยี่ห้อ F (40.17±0.25)	269.397	<0.001
เวลา (นาที)	ยี่ห้อ A (3.42±0.15)	ยี่ห้อ D (7.10±0.02)	1859.021	<0.001
		ยี่ห้อ E (3.16±0.06)	8.212	0.046
		ยี่ห้อ F (2.38±0.15)	71.471	0.001
	ยี่ห้อ B (10.29±0.21)	ยี่ห้อ D (7.10±0.02)	679.001	<0.001
		ยี่ห้อ E (3.16±0.06)	3165.664	<0.001
		ยี่ห้อ F (2.38±0.15)	2749.208	<0.001
	ยี่ห้อ C (4.32±0.15)	ยี่ห้อ D (7.10±0.02)	1013.930	<0.001
		ยี่ห้อ E (3.16±0.06)	156.346	<0.001
		ยี่ห้อ F (2.38±0.15)	255.392	<0.001

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเพื่อชี้บ่งความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า เป็นการวิจัยทดลองทำการศึกษาในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐาน รองรับกำลังไฟฟ้าสูงสุด 2300 วัตต์ ทั้งหมด 3 ยี่ห้อ ได้แก่ ยี่ห้อ A B และ C ยี่ห้อละ 2 ชิ้น และปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐาน รองรับกำลังไฟฟ้าสูงสุด 2300 วัตต์ ทั้งหมด 3 ยี่ห้อ ได้แก่ ยี่ห้อ D E และ F ยี่ห้อละ 2 ชิ้น โดยการเก็บข้อมูลจากการทดลองศึกษาความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal camera) โดยทำการทดลองเก็บค่าความร้อนสะสมที่ ร้อยละ 50 ร้อยละ 75 และร้อยละ 100 ทำซ้ำอย่างละ 3 ครั้ง และนำค่าเฉลี่ยมาเลือกสารเทอร์โมโครมิกที่เหมาะสม เพื่อทดลองการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นโดยใช้เครื่องทำความร้อน ทำการทดลองการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์โมโครมิกซ้ำ 5 ครั้ง และศึกษาผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเพื่อชี้บ่งความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน เพื่อนำผลค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกมาทำการเปรียบเทียบระหว่างปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งสรุปและอภิปรายผลการศึกษาได้ดังต่อไปนี้

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเพื่อชี้บ่งความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า ได้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

ผลการศึกษาความร้อนสะสมที่ร้อยละ 50 ร้อยละ 75 และร้อยละ 100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานที่ 2300 วัตต์

1. ผลความร้อนสะสมที่ร้อยละ 50 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานพบว่าปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐาน มีอุณหภูมิความร้อนสะสมเฉลี่ยที่ยี่ห้อ C เท่ากับ 28.70 (SD±0.20) องศาเซลเซียส ยี่ห้อ A เท่ากับ 28.63 (SD±0.38) องศาเซลเซียสและยี่ห้อ B เท่ากับ 28.47 (SD±0.06) องศาเซลเซียส และปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐานมีอุณหภูมิความร้อนสะสมเฉลี่ยที่ยี่ห้อ E เท่ากับ 28.57 (SD±0.12) องศาเซลเซียส ยี่ห้อ F เท่ากับ 28.50 (SD±0.10) องศาเซลเซียส และยี่ห้อ D เท่ากับ 28.47 (SD±0.12) องศาเซลเซียส

2. ผลความร้อนสะสมที่ร้อยละ 75 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานพบว่าปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานมีอุณหภูมิความร้อนสะสมเฉลี่ยที่ยี่ห้อ C เท่ากับ 29.65 (SD±0.10) องศาเซลเซียส ยี่ห้อ A เท่ากับ 29.43 (SD±0.30) องศาเซลเซียส และยี่ห้อ B เท่ากับ 28.93 (SD±0.25) องศาเซลเซียสและปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐานมีอุณหภูมิความร้อนสะสมเฉลี่ยที่ยี่ห้อ E เท่ากับ 32.27 (SD±0.15) องศาเซลเซียส ยี่ห้อ F เท่ากับ 31.07 (SD±0.84) องศาเซลเซียสและยี่ห้อ D เท่ากับ 29.23 (SD±0.76) องศาเซลเซียส

3. ผลความร้อนสะสมที่ร้อยละ 100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานพบว่าปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานมีอุณหภูมิความร้อนสะสมเฉลี่ยที่ยี่ห้อ C เท่ากับ 32.30 (SD±0.40) องศาเซลเซียส ยี่ห้อ A เท่ากับ 31.30 (SD±0.10) องศาเซลเซียส และยี่ห้อ B เท่ากับ 30.17 (SD±0.40) องศาเซลเซียสและปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐานมีอุณหภูมิความร้อนสะสมเฉลี่ยที่ยี่ห้อ E เท่ากับ 38.60 (SD±0.10) องศาเซลเซียส ยี่ห้อ F เท่ากับ 33.20 (SD±0.17) องศาเซลเซียสและยี่ห้อ D เท่ากับ 30.90 (SD±0.20) องศาเซลเซียส

ผลการทดลองการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นด้วยเครื่องทำความร้อน

จากผลการทดลองการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกพบว่ามีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 31.9 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 31.2 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 31.54 (SD± 0.2) องศาเซลเซียส

ผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเพื่อชี้บ่งความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานที่ร้อยละ 100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้า

1. ผลอุณหภูมิและเวลาที่ทำให้สติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเปลี่ยนสีในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิสูงสุดที่ทำให้สติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเปลี่ยนสีในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าคือยี่ห้อ F อุณหภูมิเฉลี่ย 40.17 (SD±0.21) องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดที่ทำให้สติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเปลี่ยนสีคือ ยี่ห้อ B อุณหภูมิเฉลี่ย 30.07 (SD±0.51) องศาเซลเซียส และพบว่าเวลาที่สูงที่สุดที่ทำให้สติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเปลี่ยนสีในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าคือยี่ห้อ B เวลาเฉลี่ย 10.29 (SD±0.21) นาที และเวลาที่ต่ำที่สุดที่ทำให้สติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเปลี่ยนสีในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าคือยี่ห้อ F เวลาเฉลี่ย 2.38 (SD±0.13) นาที

2. ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โม-โครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานกับฟลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐานที่ร้อยละ 100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้า พบว่าอุณหภูมิของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานไม่มีความแตกต่างกันและเวลาของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน

3. ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอุณภูมิและเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานที่ร้อยละ 100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้า พบว่าค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 (p-value<0.001)

4. ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอุณภูมิและเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาได้มาตรฐานยี่ห้อ A ยี่ห้อ B และยี่ห้อ C กับปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐานที่ร้อยละ 100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้า พบว่าทุกยี่ห้อมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและเวลาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p-value<0.05) ยกเว้นปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานยี่ห้อ B กับปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐาน ยี่ห้อ E ที่ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า ไม่มีความแตกต่างกัน

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาความร้อนสะสมที่ร้อยละ 50 ร้อยละ 75 และร้อยละ 100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานที่ 2300 วัตต์

จากการศึกษาผลความร้อนสะสมที่ร้อยละ 50 ร้อยละ 75 และร้อยละ 100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ 2300 วัตต์ พบว่าปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐานยี่ห้อ E เป็นปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่มีความร้อนสะสมสูงที่สุดทุกความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าร้อยละ 50 เท่ากับ 28.57 (SD±0.12) องศาเซลเซียส ร้อยละ 75 เท่ากับ 32.27 (SD±0.15) องศาเซลเซียสร้อยละ100 เท่ากับ 38.60 (SD±0.10) องศาเซลเซียส ซึ่งตรงกับข้อมูลของปลั๊กพ่วงยี่ห้อ E ที่ไม่ได้มาตรฐานและได้รับรองเฉพาะสายไฟเท่านั้นที่สามารถทนความร้อนได้ 70 องศาเซลเซียส (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2532) และความร้อนสะสมที่ร้อยละ 50 ร้อยละ75 และร้อยละ100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ 2300 วัตต์ ปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานที่ได้มาตรฐาน ยี่ห้อ B เป็นปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่มีความร้อนสะสมต่ำที่สุดทุกความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าร้อยละ 50 เท่ากับ 28.47

(SD±0.06) องศาเซลเซียส ร้อยละ 75 เท่ากับ 28.93 (SD±0.25) องศาเซลเซียส และร้อยละ 100 เท่ากับ 30.17 (SD±0.40) องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติของฉนวนปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ทำมาจากยางสังเคราะห์เทียม (Synthesis Rubber: SR) ที่มีคุณสมบัติการเป็นฉนวนและทนความร้อนได้สูงถึง 80 องศาเซลเซียส (บริษัท โอ เอ็ม พี ซี รับเบอร์ จำกัด, 2014)

ผลการทดลองการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นด้วยเครื่องทำความร้อน

ผลการทดลองการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกพบว่ามีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 31.9 องศาเซลเซียล อุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 31.2 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 31.54 (SD± 0.24) องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ณรัฐ ข้องม่วง (2554) พบว่าการใช้สีที่มีส่วนผสมของสารเทอร์โมโครมิกสีดำเคลือบลงบนหลังคาสีขาวแต่เมื่ออุณหภูมิใกล้เคียงและสูงกว่า 32 องศาเซลเซียส (Colorless phase) สีเทอร์โมโครมิกจะเริ่มมีการเปลี่ยนเป็นสีใสจนเห็นพื้นสีขาวด้านล่าง อุณหภูมิสูงสุดผิวบนของหลังคาที่ใช้สีเทอร์โมโครมิกจึงใกล้เคียงกับหลังคาที่ทาสีขาวโดยมีค่าความต่างกัน 0.93 องศาเซลเซียส และมีอุณภูมิต่ำกว่าหลังคาที่ไม่เคลือบสี 3.42 องศาเซลเซียส

ผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเพื่อชี้บ่งความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานที่ร้อยละ 100 ของความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้า

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน พบว่าค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและเวลาของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานไม่มีความแตกต่างกัน เนื่องจากอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกไม่มีการกระจายของข้อมูลทำให้ผู้วิจัยดำเนินการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โม-โครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าในกลุ่มเดียวกันได้แก่ปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐาน 3 ยี่ห้อ และปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐาน 3 ยี่ห้อ พบว่าปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานมีอุณหภูมิและเวลามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 (p-value<0.001) และพบว่าปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐานมีอุณหภูมิและเวลามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 (p-value<0.001) ดังนั้นผู้วิจัยจึงดำเนินการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานยี่ห้อ A ยี่ห้อ B และยี่ห้อC กับปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐานในแต่ละยี่ห้อ พบว่าทุกยี่ห้ออุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

(p-value<0.05) ยกเว้นปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานยี่ห้อ B กับปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐานยี่ห้อ E ที่อุณหภูมิที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้ายี่ห้อ B กับยี่ห้อ E ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ผลเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้ายี่ห้อ B กับ ยี่ห้อ E มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p-value<0.05) เนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุที่ทำมาเป็นฉนวนของปลั๊กพ่วงยี่ห้อ B ทำมาจากยางสังเคราะห์เทียม (Synthesis Rubber: SR) ที่มีคุณสมบัติการเป็นฉนวนและทนความร้อน (บริษัท โอ เอ็ม พี ซี รับเบอร์ จำกัด, 2014) ทำให้อุณหภูมิที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าไม่แตกต่างกันเพราะคุณสมบัติของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกจะเปลี่ยนสีอยู่ที่อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 31.54 องศาเซลเซียส แต่ต้องใช้เวลาในการสะสมความร้อนมากเนื่องจากยางสังเคราะห์เทียม (Synthesis Rubber: SR) เป็นฉนวนและทนความร้อนส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้ายี่ห้อ B กับ ยี่ห้อ E จึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับ 0.05 (p-value<0.05)

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งนี้

1. การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยในห้องทดลอง ณ อุณหภูมิห้องที่มีข้อจำกัดในการควบคุมเรื่องของอุณหภูมิในบรรยากาศ ดังนั้นผู้ใช้งานควรพิจารณาสถานที่การนำไปใช้งานอย่างเหมาะสม เช่น ในสำนักงาน ในบ้านหรือคอนโดมิเนียม เป็นต้น และไม่เหมาะสมในการไปใช้กลางแจ้ง
2. ผลการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ทำการศึกษาในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน ที่ความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าที่ 2300 วัตต์ เพื่อเป็นต้นแบบในการศึกษาในอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ ต่อไป

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรพิจารณาในการควบคุมอุณหภูมิในบรรยากาศ ปลั๊กพ่วงไฟฟ้าเพื่อให้ได้อุณหภูมิที่เกิดจากการสะสมของปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ครอบคลุม
2. ควรขยายผลการศึกษาในปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าอื่นๆ
3. ควรจะนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นที่หากเกิดความผิดปกติจะเกิดความร้อนสะสมได้เช่น มอเตอร์พัดลม เป็นต้น

มหาวิทยาลัยบูรพา
BURAPHA UNIVERSITY

บรรณานุกรม

กิจจา จิตรภิรมย์. (2557). ความรู้พื้นฐานกี่ยวกับอัคคีภัย. *วารสารก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์,* 14(1), *4-5.*

ไกรพ เจริญโสภา. (2551). *การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะน้ำหนักสีของงานพิมพ์เฟล็กโซกราฟีบนสติกเกอร์ชนิดกระดาษและพลาสติก*. (วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ณรัฐ ข้องม่วง. (2554). *ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของหลังคาอาคารสีขาวที่เคลือบสีเทอร์โมโครมิก*. (วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ไทยรัฐออนไลน์. (2563). ไฟไหม้โรงงานไอศกรีมกลางดึกวอดเหลือแต่ซากคาดไฟฟ้าลัดวงจร. วันที่ค้นข้อมูล 16 พฤศจิกายน 2563, เข้าถึงได้จาก https://www.thairath.co.th/tags/ไฟไหม้.

บริษัท โอ เอ็ม พี ซี รับเบอร์ จำกัด. (2014). คุณสมบัติของยางแต่ละชนิด.วันที่ค้นข้อมูล 6 ตุลาคม 2564, เข้าถึงได้จาก http://www.opmcrubber.com.

บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์. (2553). หมึกเปลี่ยนสีได้ตามอุณหภูมิ. *ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ*, 22-25.

พันตำรวจโท อดิชัย กัณหา. (2551). *การวิเคราะห์การเกิดเพลิงไหม้จากการใช้งานในสภาวะผิดปกติของเครื่องใช้พัดลมไฟฟ้าตั้งโต๊ะ*. (วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศิลปากร, กรุงเทพฯ.

ภาณุมาศ ชูพูล. (2559). *การสังเคราะห์อนุภาคโฟโตขเทอร์โมโครมิก ทังสเตนไตรออกไซด์และโมลิบดินัมไตรออกไซด์ที่มีขนาดระดับนาโนเมตร*. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

เมธินี สงไทย. (2558). *การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย ความร้อนของวัสดุด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน*. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

ยงยุทธ รอดสม. (2019). ไฟฟ้าเบื้องต้น.วันที่สืบค้นข้อมูล 16 พฤศจิกายน 2563,เข้าถึงได้จาก https://sites.google.com/site/nasicyongyut/krasae-fifa-hil-kein-over-current.

รัชดาพร สังวร. (2551). ความรับผิดเพื่อละเมิด กรณีไฟฟ้าลัดวงจร.วันที่ค้นข้อมูล 23 ธันวาคม 2563, เข้าถึงได้จาก https://www.bu.ac.th/knowledgecenter/epaper/jan_june*2009*/pdf/Ratchadaporn.pdf.

วิชิต มาลาเวช. (2559). การศึกษาและวิเคราะห์ระบบป้องกันอัคคีภัยและไฟฟ้าลัดวงจรในอาคาร กรณีศึกษา : มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช, นครศรีธรรมราช.

วิทยา พรหมมินทร์. (2558). *การสังเคราะห์เม็ดสีเทอร์โมโครมิระดับนาโนของวาเนเดียมไดออกไซด์เจือทังสเตนไตรออกไซด์และซิงค์ออกไซด์*. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

ศูนย์ป้องกันและบรรเทาสาธารณะภัยเขต 11 สุราษฎร์ธานี. เอกสารประกอบการอบรมวิชาป้องกันและระงับอัคคีภัย.

สถาบันส่งเสริมความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน. (2562). สาเหตุของการเกิดอัคคีภัย. วันที่สืบค้นข้อมูล 10 พฤศจิกายน 2563, เข้าถึงได้จาก http://stemforlife.ipst.ac.th/*2016/06/27*/short-circuit/.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2556). *มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.2432-2555 เรื่อง เต้าเสียบและเต้ารับสำหรับใช้ในที่อยู่อาศัยและงานทั่วไปที่มีจุดประสงค์คล้ายกัน : ชุดสายพ่วง*. ฉบับประกาศและงานทั่วไป เล่ม 130 ตอนพิเศษ 5ง.

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ. (2561). บอกเลยว่าไฟ (ไม่) ไหม้. วันที่ค้นข้อมูล 12 ตุลาคม 2563, เข้าถึงได้จาก http://stemforlife.ipst.ac.th/*2016/06/27*/short-circuit/.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2532). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่อง สายไฟฟ้าทองแดงหุ้มด้วยโพลิไวนิลคลอไรด์*. In.

สำนักสถิติแห่งชาติ. (2561). สถิติการเกิดอัคคีภัยตั้งแต่ปี 2532-2560**.** วันที่ค้นข้อมูล 12 ตุลาคม 2563, เข้าถึงได้จาก http://www.nso.go.th/sites/*2014*.

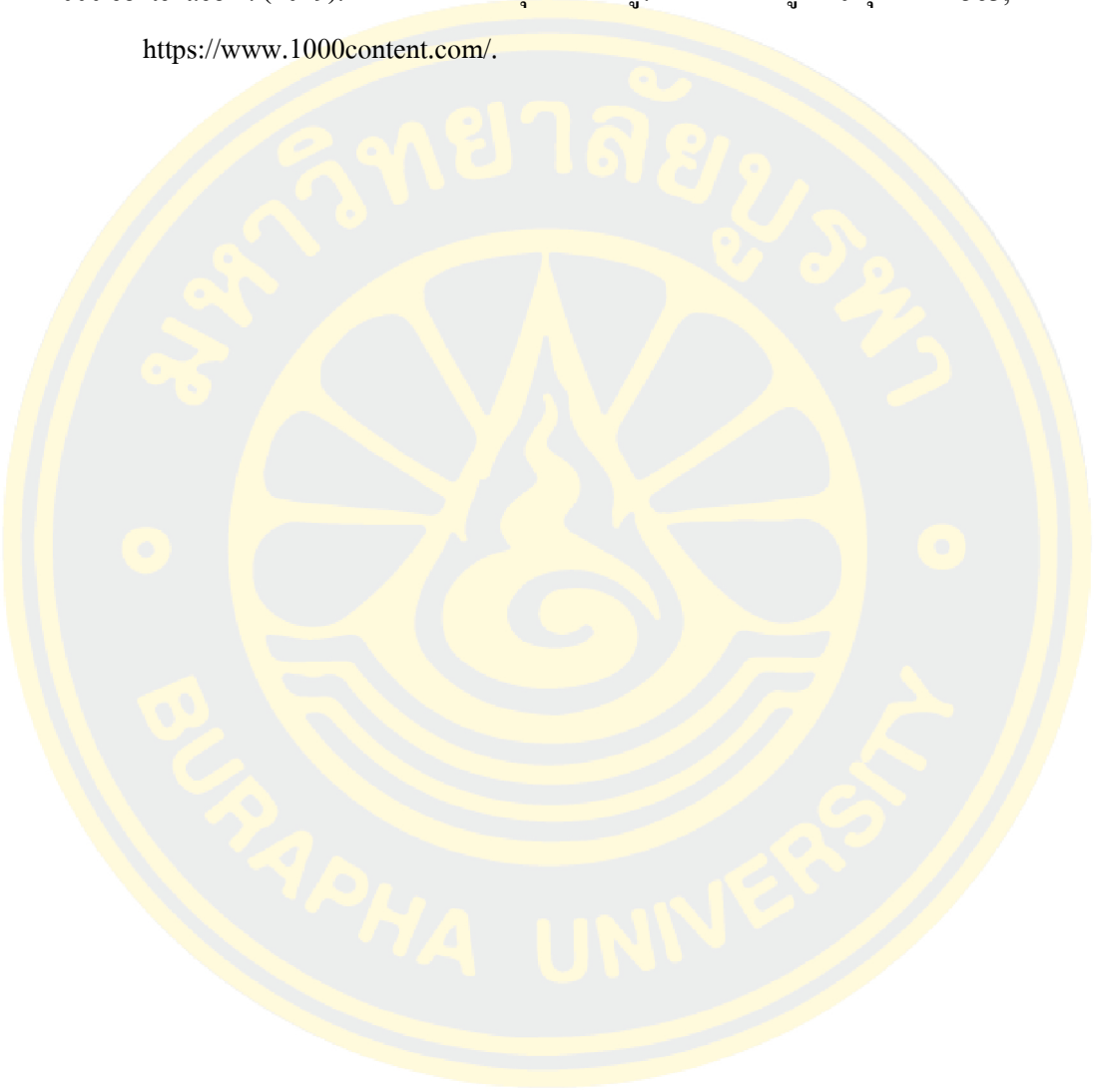
American national standard. (2011). *Standard for maintenance testing specifications for electrical power equipment and system*. In. 3050 Old Centre Ave., Suite 102 Portage, MI 49024: InterNational Electrical Testing Association.

Kostic, N., Hadziefendic, N., Tasic, D., & Kostic, M. (2021). Improved measurement accuracy of industrial-commercial thermal imagers when inspecting low-voltage electrical installations. *Measurement,* 185, 109934. doi:https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109934

Takano, Y., Fujita, O., Shigeta, N., Nakamura, Y., & Ito, H. (2013). Ignition limits of short-term overloaded electric wires in microgravity. *Proceedings of the Combustion Institute,* 34(2), 2665-2673. doi:https://doi.org/10.1016/j.proci.2012.06.064

Zhang, J., Huang, L., Chen, T., & Su, G. (2021). Simulation based analysis of electrical fire risks caused by poor electric contact between plug and receptacle. *Fire Safety Journal,* 126, 103434. doi:https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2021.103434

1000 content.com. (2019). เรื่องปลั๊กไฟที่ทุกคนควรรู้. วันที่ค้นข้อมูล 10 ตุลาคม 2563, เข้าถึงได้จาก https://www.1000content.com/.



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แบบบันทึกข้อมูลการทดลอง

แบบบันทึกผลความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า

ลำดับ	ร้อยละกระแสไฟฟ้า	ครั้งที่	ค่าความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า (°C)						หมายเหตุ
			ยี่ห้อ A	ยี่ห้อ B	ยี่ห้อ C	ยี่ห้อ D	ยี่ห้อ E	ยี่ห้อ F	
1	ร้อยละ 50 (1150 วัตต์)	1							
2		2							
3		3							
1	ร้อยละ 75 (1725 วัตต์)	1							
2		2							
3		3							
1	ร้อยละ 100 (วัตต์)	1							
2		2							
3		3							

แบบบันทึกผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอรโมโครมิกในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า

ลำดับ	ร้อยละกระแสไฟฟ้า	ครั้งที่	ปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ได้มาตรฐาน						หมายเหตุ
			ยี่ห้อ A		ยี่ห้อ B		ยี่ห้อ C		
			อุณหภูมิ (ºC)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (ºC)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (ºC)	เวลา (นาที)	
1	ร้อยละ 50 (1150 วัตต์)	1							
2		2							
3		3							
1	ร้อยละ 75 (1725 วัตต์)	1							
2		2							
3		3							
1	ร้อยละ 100 (วัตต์)	1							
2		2							
3		3							

ลำดับ	ร้อยละกระแสไฟฟ้า	ครั้งที่	ปลั๊กพ่วงไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐาน						หมายเหตุ
			ยี่ห้อ D		ยี่ห้อ E		ยี่ห้อ F		
			อุณหภูมิ (ºC)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (ºC)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (ºC)	เวลา (นาที)	
1	ร้อยละ 50 (1150 วัตต์)	1							
2		2							
3		3							
1	ร้อยละ 75 (1725 วัตต์)	1							
2		2							
3		3							
1	ร้อยละ 100 (วัตต์)	1							
2		2							
3		3							

ภาคผนวก ข

หนังสือรับรองการพิจารณาจริยธรรมในมนุษย์

หนังสือรับรองการพิจารณาจริยธรรมในมนุษย์ มหาวิทยาลัยบูรพา

บันทึกข้อความ

ส่วนงาน สำนักงานอธิการบดี กองบริหารการวิจัยและนวัตกรรม โทร. ๒๖๒๐
ที่ อว ๘๘๐๐/๐๒๓๗๕ **วันที่** ๓ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๖๔
เรื่อง ขอแจ้งรับรองโครงการวิจัยที่ส่งมาขอรับการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยบูรพา

เรียน นายยินยง เพียรสวัสดิ์ (นิสิตระดับบัณฑิตศึกษา คณะสาธารณสุขศาสตร์ตร์)

ตามที่ท่าน ได้ส่งเอกสารโครงการวิจัยเพื่อขอรับการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ ในหัวข้อโครงการวิจัย เรื่อง **การศึกษาผลการเปลี่ยนสีของสติกเกอร์เทอร์โมโครมิกเพื่อชี้บ่งความร้อนสะสมในปลั๊กพ่วงไฟฟ้า** นั้น

บัดนี้ คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยบูรพา ได้พิจารณาตามวิธีดำเนินการมาตรฐาน (Standard Operating Procedures, SOP) ฉบับที่ ๓.๑ พ.ศ. ๒๕๖๒ ที่ได้ประกาศใช้เมื่อวันที่ ๑ ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๖๒ แล้วว่า โครงการวิจัยดังกล่าวไม่ได้ทำการศึกษาวิจัยในมนุษย์ จึงเห็นสมควรให้ดำเนินการวิจัยได้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ แพทย์หญิงรมร แย้มประชุม)
ประธานคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยบูรพา
สำหรับโครงการวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษา และระดับปริญญาตรี
ชุดที่ ๓ (กลุ่มคลินิก/ วิทยาศาสตร์สุขภาพ/ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	ยืนยง เพียรสวัสดิ์
วัน เดือน ปี เกิด	5 ตุลาคม 2536
สถานที่เกิด	จังหวัดระยอง
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	69 หมู่1 ตำบลนิคมพัฒนา อำเภอนิคมพัฒนา จังหวัดระยอง 21180
ตำแหน่งและประวัติการทำงาน	2562 เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงาน ระดับวิชาชีพ บริษัท บริดจสโตน สเปเชียลตี้ ไทร์ แมนูแฟคเจอริ่ง (ประเทศไทย) จำกัด 2561 เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงาน ระดับวิชาชีพ บริษัท แคทเธอร์พิลลาร์ (ประเทศไทย) จำกัด 2559 เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงาน ระดับวิชาชีพ บริษัท เอสอีดับบลิวเอส-คอมโพเนนท์ (ประเทศไทย) จำกัด
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี สาขาวิชาสุขศาสตร์อุตสาหกรรมและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
รางวัลหรือทุนการศึกษา	ทุนอุดหนุนการวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา ปี 2564