



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ฉนวนหุ้มจุดต่อฟิวส์คัทเอาต์จากยางธรรมชาติ
Fuse Cutout Terminal Insulator from Natural Rubber

โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิริชัย แดงเอม และคณะ

เมษายน 2557

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ฉนวนหุ้มจุดต่อฟิวส์คัทเอาต์จากยางธรรมชาติ

Fuse Cutout Terminal Insulator from Natural Rubber

คณะผู้วิจัย

ผศ.ศิริชัย แดงเอม

นายนิติพงศ์ ปานกลาง

ผศ.ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์

สังกัด

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สนับสนุนโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (มทรธ.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย มทรธ. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ นำเสนอการออกแบบและพัฒนาฉนวนไฟฟ้าสำหรับป้องกันการลัดวงจรบริเวณจุดต่อสายไฟฟ้าของพิวส์คัทเออร์หรือเรียกว่าฉนวนหุ้มจุดต่อพิวส์คัทเออร์ ฉนวนหุ้มจุดต่อพิวส์คัทเออร์พัฒนาจากวัสดุผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางอีพียีเอ็ม รวมถึงใช้สารป้องกันการลามไฟเพื่อเพิ่มคุณสมบัติความทนทานต่อสภาพแวดล้อมและความทนต่อการลามไฟให้กับวัสดุฉนวน วัสดุฉนวนที่ใช้ทำฉนวนหุ้มจุดต่อพิวส์คัทเออร์ผ่านการทดสอบคุณสมบัติทางกลและทางไฟฟ้า ประกอบด้วย การทดสอบสมบัติการรับแรงดึง (ASTM D412), การทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่กำลัง (IEC60243-1) และการทดสอบการทนต่อการลามไฟ (UL94) จากการทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐานพบว่า วัสดุฉนวนมีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยก่อนการบ่มแรง วัสดุฉนวนสามารถรับแรงดึงและมีระยะยืด ณ จุดขาดเท่ากับ 5.62 MPa และ 370.28 % ตามลำดับ หลังจากการบ่มแรงที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 96 ชั่วโมง วัสดุฉนวนรับแรงดึงได้ลดลงเหลือ 3.23 MPa และมีระยะยืด ณ จุดขาดลดลงเหลือ 285.64 % สมบัติการรับแรงดึงที่ลดลงยังคงมีค่ามากกว่า 0.31 MPa และ 240% ตามมาตรฐานที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด การทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของวัสดุฉนวนก่อนการบ่มแรงด้วยรังสียูวี วัสดุฉนวนมีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้า 20.1 kV/mm หลังจากการบ่มแรงด้วยรังสียูวีเป็นเวลา 420 ชั่วโมง ความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของวัสดุฉนวนลดลงเหลือ 17.6 kV/mm หรือลดลง 12.44% นอกจากนี้ หลังจากการขึ้นรูปขึ้นงานฉนวนหุ้มจุดต่อพิวส์คัทเออร์ ฉนวนหุ้มจุดต่อพิวส์คัทเออร์ที่ได้ผ่านการทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าที่ความถี่กำลังในสถานะแห้ง ณ ระดับแรงดัน 40 kV เป็นเวลา 1 นาทีตามมาตรฐาน IEC60243-1 จากการทดสอบฉนวนหุ้มจุดต่อพิวส์คัทเออร์จำนวน 5 ตัวอย่างทดสอบ ฉนวนทุกชิ้นสามารถทนแรงดันไฟฟ้าได้มากกว่า 40 kV ไม่มีฉนวนชิ้นใดเกิดการเบรกดาวน์และเกิดวาบไฟตามผิว ด้วยเหตุนี้ จึงมั่นใจได้ว่าฉนวนหุ้มจุดต่อพิวส์คัทเออร์สามารถนำไปใช้งานในระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้าแรงสูงที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 22 kV และ 33 kV ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ ฉนวนหุ้มจุดต่อพิวส์คัทเออร์ที่ผ่านการทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าและทางกล ผู้วิจัยยังนำฉนวนหุ้มจุดต่อพิวส์คัทเออร์ไปทดสอบติดตั้งใช้งานจริงในระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้าแรงสูง 22 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอธัญบุรีด้วย

Abstract

This research presents a design and develop electric insulator of fuse cut-out terminal in using for short circuit prevention that known as fuse cut-out terminal insulator. This insulator has developed from composite material from natural rubber and EPDM rubber, including using anti-flammable substance to increase properties of environmental stability and anti-flammability of insulator material. A material in making fuse cut-out terminal insulator has been tested both mechanical and electric properties, consisting of the tensile property test (ASTM D412), the AC power frequency withstand voltage test (IEC60243-1), and the flammability test (UL94). From the standard feature finds that insulator material has followed the requirements of The Provincial Electricity Authority(PEA). Before aging, insulator material has a tensile and elongation at break of 5.62MPa and 370.28% respectively. After aging with 100°C for 96 hours insulator material decreased it's tensile at 3.23MPa and elongation at break of 285.64%. The tensile property which is decreased as its result is still over 0.31MPa and 240% according to the PEA requirements. The AC power frequency withstand voltage test before UV aging, insulator material is able to endure to voltage of 20.1kV/mm. After UV aging for 420 hours, the withstand voltage of insulator material is decreased to 17.6kV/mm or about 12.44%. In addition, after molding a fuse cut-out terminal insulation by using heat compression process, it is tested for AC power frequency withstand voltage in dry condition at 40 kV for 1 minute that refer to IEC60243-1. From testing results of five insulator samples, no any fuse cut-out terminal insulators were breakdown or flashover. Therefore ensuring that a developed fuse cut-out terminal insulator can be used well in high voltage electrical distribution system at voltage levels of 22kV and 33kV. Moreover, a fuse cut-out insulator which is tested by mechanical and electric properties, the researcher installed this develop insulator in the 22kV high voltage distribution system of PEA at thanyaburi district.

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
2. จุดประสงค์	2
3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
4. ฟิวส์คัทเอาต์	5
5. วัสดุฉนวนและการทดสอบคุณสมบัติ	11
6. การออกแบบรณรงค์จุดต่อฟิวส์คัทเอาต์	15
7. สรุปผลการวิจัย	23
8. ปัญหาและข้อเสนอแนะ	24
9. เอกสารอ้างอิง	24
ภาคผนวก	26

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ฟิวส์คัทเอาต์(Fuse Cutout) เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญและใช้อย่างแพร่หลายในระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้าแรงสูงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค(กฟภ.) และการไฟฟ้านครหลวง(กฟน.) ฟิวส์คัทเอาต์ทำหน้าที่ป้องกันการลัดวงจรทางด้านแรงสูงและทำหน้าที่เป็นสวิตช์ตัดตอนวงจรไฟฟ้าทางด้านไฟฟ้าแรงสูงให้กับหม้อแปลงระบบจำหน่าย เมื่อจำเป็นต้องมีการดับไฟฟ้าเพื่อซ่อมแซมและบำรุงรักษา ฟิวส์คัทเอาต์ที่ใช้งานในปัจจุบัน จะถูกติดตั้งไว้บนคอนสายใกล้บริเวณที่ติดตั้งหม้อแปลงระบบจำหน่ายดังรูปที่ 1 ปัญหานี้เกิดขึ้นกับฟิวส์คัทเอาต์คือการเกิดการลัดวงจรบริเวณจุดต่อสายไฟฟ้า รวมถึงการชำรุดเสียหายของขั้วต่อสายไฟฟ้าบริเวณด้านบนและด้านล่าง เนื่องจากจุดต่อสายไฟฟ้าบริเวณดังกล่าวไม่มีฉนวนป้องกัน จึงทำให้มีโอกาสเกิดการลัดวงจรอันเนื่องมาจากสัตว์ปีกหรือสัตว์เลื้อยคลานได้

โครงการวิจัยนี้ ทำการออกแบบและพัฒนาฉนวนหุ้มจุดต่อฟิวส์คัทเอาต์(Fuse Cutout Terminal Insulator) เพื่อเป็นฉนวนสำหรับป้องกันการลัดวงจรสายไฟฟ้าด้านบนและด้านล่าง ฉนวนหุ้มจุดต่อฟิวส์คัทเอาต์ที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้กับฟิวส์คัทเอาต์เดิมได้โดยไม่ต้องมีการดัดแปลงอุปกรณ์เดิมแต่อย่างใด เมื่อพิจารณาถึงศักยภาพของการผลิตและปริมาณวัตถุดิบจากยางธรรมชาติของประเทศไทย นับตั้งแต่ปี 2534 เป็นต้นมาจนถึงปัจจุบัน ประเทศไทยได้ก้าวขึ้นเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางธรรมชาติเป็นอันดับ 1 ของโลก จากข้อมูลการส่งออกในปี 2553 ของสถาบันวิจัยยาง ประเทศไทยส่งออกผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติรวมทุกประเภทไปขายยังต่างประเทศถึง 2.73 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่าการส่งออกประมาณ 1.5 แสนล้านบาท จากตัวเลขการผลิตและส่งออกยางธรรมชาติของประเทศไทย และคุณสมบัติความเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีของยางธรรมชาติ การพัฒนาฉนวนหุ้มจุดต่อฟิวส์คัทเอาต์จึงใช้ยางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบหลักสำหรับทำฉนวน ทั้งนี้ จากการดำเนินงานภายใต้โครงการวิจัย ผลผลิตจากการวิจัยมีความเป็นไปได้ในการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์ สร้างมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร พัฒนาศักยภาพในการแข่งขันและการพึ่งพาตนเองของสินค้าเกษตรและอุตสาหกรรมภายในประเทศ



รูปที่ 1 ตำแหน่งการติดตั้งฟิวส์คัทเอาต์ในระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้า

2. วัตถุประสงค์

1. ออกแบบและพัฒนาหมุดต่อฟิวส์คัทเอาต์ ที่ใช้ยางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบหลักในการทำหมุด
2. ป้องกันการลัดวงจรที่อาจเกิดขึ้นบริเวณฟิวส์คัทเอาต์ อันเนื่องมาจากสัตว์ปีกและสัตว์เลื้อยคลาน รวมถึงเสริมสร้างภาพลักษณ์ความปลอดภัยของระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่มีต่อผู้บริโภค
3. สร้างมูลค่าเพิ่มให้วัตถุดิบทางการเกษตรภายในประเทศ
4. ส่งเสริมและสนับสนุนการสร้างนักวิจัยรุ่นใหม่ในระดับปริญญาโทหรือปริญญาตรี
5. เพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน หน่วยงานของภาครัฐและเอกชน รวมถึงบุคคลที่สนใจ อันจะนำไปสู่การต่อยอดงานวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากปริมาณการผลิตยางธรรมชาติภายในประเทศที่เพิ่มขึ้นทุกปี และยางธรรมชาติถือว่าเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญอันดับต้นๆ ของประเทศ ทำให้เกิดการวิจัยและพัฒนาในการที่จะเพิ่มมูลค่าของยางธรรมชาติ โดยในอดีตที่ผ่านมา มีตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับยางธรรมชาติ สรุปได้พอสังเขปดังนี้

ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ และคณะ[1] นำเสนอวิธีการผลิตและทดสอบหลังคายางพาราจากวัสดุผสมยางธรรมชาติกับซีลียอย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. ศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตวัสดุผสมระหว่างผงซีลียอยไม้และยางธรรมชาติเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์หลังคายางพารา
2. เพื่อทดสอบสมบัติของวัสดุผสมระหว่างผงซีลียอยไม้และยางธรรมชาติเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์หลังคายางพารา ในแง่การใช้งานจริง เช่น สมบัติทางกลเชิงกล ทางกายภาพ ทางความร้อน การทนทานต่อสภาวะอากาศและแสง และสมบัติด้านการติดไฟ
3. เพื่อเพิ่มชนิดของผลิตภัณฑ์จากยางพาราและเพิ่มมูลค่ายางพารา และนำผลงานวิจัยมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สู่ภาคเอกชนที่ต้องการนำไปทดลองผลิตจริง อันจะเป็นแนวทางสนับสนุนการผลิตผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ โดยผ่านกระบวนการวิจัยจากหน่วยงานภาครัฐ

หลังคายางพาราจากวัสดุผสมยางธรรมชาติกับซีลียอยที่ได้มีสมบัติการใช้งานที่ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สมบัติด้านความสามารถในการขึ้นรูป สมบัติเชิงกลและกายภาพ และสมบัติการทนทานต่อสภาวะอากาศ น้ำ และแสง นอกจากนี้ ยังมีเป้าหมายที่จะลดต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์โดยการนำเส้นใยธรรมชาติที่เหลือจากกระบวนการผลิตและแปรรูปไม้มาใช้ร่วมกับยางธรรมชาติ อีกด้วย เพราะราคาของเส้นใยซีลียอยมีราคาถูกกว่าราคายางธรรมชาติถึง 40 เท่าโดยน้ำหนัก งานวิจัยนี้ยังเน้นถึงการศึกษาด้านความเป็นไปได้ใน

การผลิตผลิตภัณฑ์ (จริง) จากของผสมยางธรรมชาติและซีลีออยไม้ โดยมีเป้าหมายที่ต้องการจะทราบถึง การเลือกใช้เส้นใยธรรมชาติที่เหมาะสมกับการใช้งานแต่ละประเภท อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างยางธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติ การปรับปรุงผิวของผงซีลีออย รวมไปถึงกลไกการยึดเกาะของคู่วัสดุและวิธีการ ทดสอบสมบัติต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ภายหลังการผลิต สำหรับกระบวนการผลิตโดยจะเน้นเฉพาะกับ กระบวนการผลิตแบบอัดขึ้นรูปด้วยความดัน (Compression Moulding)

จากโครงการวิจัยดังกล่าวทำให้เราได้วัสดุผสมยางธรรมชาติกับซีลีออยไม้ที่เหมาะสมเพื่อผลิตเป็น ผลิตภัณฑ์หลังคายางพาราในเบื้องต้น และผลการทดสอบของวัสดุผสมระหว่างผงซีลีออยไม้และยางธรรมชาติ เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์หลังคายางพาราในแง่การใช้งานจริง เช่น สมบัติทางการไหลเชิงกล ทางกายภาพ ทางความร้อน การทนทานต่อสภาวะอากาศและแสง และสมบัติด้านการติดไฟ และที่สำคัญงานวิจัย ชี้ให้เห็นว่าได้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์หลังคายางพาราผสมซีลีออยไม้ ซึ่งเป็นทางเลือกใหม่ของผู้บริโภคสินค้าใหม่ จากยางพารา และสามารถเพิ่มมูลค่าคายางพารา ผงซีลีออยไม้ยางพารา และนำผลงานวิจัยมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สู่ภาคเอกชนที่ต้องการนำไปทดลองผลิตจริง อันจะเป็นแนวทางสนับสนุนการผลิตผลิตภัณฑ์จากยาง ธรรมชาติ โดยผ่านกระบวนการวิจัยจากหน่วยงานภาครัฐ

วิภา เสวตกนิษฐ์[2] นำเสนอการผลิตท่อน้ำหยดใช้ในสวนจากวัตถุดิบยางธรรมชาติ เนื่องจากการ ทำสวนขนาดใหญ่ เช่น สวนทุเรียน สวนเงาะ สวนลิ้นจี่ และสวนผักอนานัย เป็นต้น จะต้องควบคุมการให้น้ำ แก่พืช จะช่วยให้พืชออกผลตามต้องการได้ วิธีการหนึ่งที่จะควบคุมการให้น้ำก็คือ การใช้ท่อน้ำหยด งาน วิจัยชิ้นนี้ นำเสนอการผลิตท่อน้ำหยดที่ใช้ยางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบ (ข้อเสียคือทนทานการ เสื่อมสภาพน้อยกว่ายางสังเคราะห์ อี พี ดี เอ็ม) การขึ้นรูปท่อน้ำหยดจะใช้สารตัวเติมในปริมาณต่าง ๆ เช่น china clay 50 phr + CaCO₃ 50 phr + เขม่าดำ N330 50 phr หรือเขม่าดำ 50 phr + silica 30 phr หรือ CaCO₃ 100 phr + เขม่าดำ 50 phr หรือ Silica 50 phr + PEG 5 phr โดยมีส่วนผสมอื่น ๆ ได้แก่ ZnO 5 phr stearic acid 2 phr สารกันเสื่อม 1 phr สารเร่ง CBS 0.6 phr กำมะถัน 2 phr น้ำมันผสมยาง 2.5 phr มีสารตัวเติมยางรีเคลมขนาด 20 - 30 เมช ในปริมาณ 70 - 80 ส่วนต่อยาง 100 ส่วน บดผสมยางและสาร เคมีด้วยเครื่องบดผสมยาง ขึ้นรูปท่อน้ำหยดด้วยเครื่องเอ็กทูดเดอร์ อบให้ท่อน้ำหยดคงรูปโดยใช้หม้อต้มไอน้ำ นาน 1 ชม. อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส

วิภา เสวตกนิษฐ์[3] นำเสนอการผลิตฝาจุกยางสำหรับขวดยาที่บรรจุยาชนิดเหลว ตามมาตรฐาน ของ ISO 8362 - 21928 (E) โดยมีความแข็งประมาณ 40 - 45 Shore A ฝาจุกยางแต่ละชุดของการผลิตมี ค่าความแข็งผิดพลาดได้ 5 หน่วย มีความเหนียวบิดขาดได้สนิท ยาไม่รั่ว และใช้เข็มฉีดยาเจาะฝาขวดยา ใช้แรงไม่เกิน 10 N ฝาขวดยาเมื่อใช้เข็มเจาะจะต้องฉีกขาด เป็นชิ้นไม่เกิน 5 ชิ้น ต่อการเจาะ 100 ครั้ง ตาม วิธีทดสอบมาตรฐาน และมีความปลอดภัย เมื่อสัมผัสสารเคมีหรือมีสมบัติตามข้อกำหนดความปลอดภัย ของหัตถ์ยางสำหรับขวดนมตามมาตรฐาน มอก.969 - 2533 คือ เนื้อยางจะต้องปลอดภัยมีปริมาณตะกั่ว แคดเมียม และไนโตรซามีน ไม่เกินตามข้อกำหนด และมีสมบัติปลอดภัยจากสารละลายเคมีที่มีสาร

ละลายออกมาตามข้อกำหนด ได้แก่ ฟีนอล ฟอรัมาลดีไฮด์ โลหะสังกะสี โลหะตะกั่ว และปริมาณสารตกค้างจากการระเหย สูตรยางที่ใช้การผลิตได้ทดลองใช้ยางธรรมชาติ STR 5L100 ส่วน ZnO 5 ส่วน Stearic acid 2 ส่วน CaCO₃ 30 ส่วน สารเร่ง Rhenogran ZDMC - 80 0.8 ส่วน Rhenocure 1000/C 1.5 ส่วน สารกันเสื่อม 6PPD 1 ส่วน และ S 2 ส่วน นอกจากนี้ในการเลือกใช้ยาง ถ้าจะใช้ยางทิวทายผสมยางธรรมชาติในอัตราส่วน 9:1 หรือ 4:6 หรือ 3:7 หรือ 2:8 หรือ 1:9 ได้ ส่วนระบบการคงรูปด้วยกำมะถันสามารถใช้ได้ทั้งระบบที่ใช้กำมะถันทั่ว ๆ ไป ที่เรียกว่า CV (Conventional Vulcanisation) และระบบ EV (Efficient Vulcanisation) สำหรับการผลิตฝาจุกยางสำหรับขวดยาได้

สถาพร ลักษณะเจริญและสุนทร วงษ์ศิริ[4] นำเสนอการออกแบบสร้างและศึกษาถึงคุณสมบัติของกัลัมเนื้อเทียมที่ผลิตจากยาง โดยกัลัมเนื้อเทียมที่สร้างขึ้นนี้มีลักษณะการทำงานโดยแรงดึงคล้ายกับในกัลัมเนื้อของมนุษย์หรือกระดูกที่ทำงานทางเดียว เมื่อมีอากาศอัดจ่ายเข้าไปในกัลัมเนื้อเทียมอันความยาวตามแนวแกนหดสั้นลง และระยะแนวรัศมีเพิ่มสูงขึ้นซึ่งทำให้เกิดแรงดึงขึ้นที่ปลายทั้งสองด้าน ในงานวิจัยนี้ นอกจากจะทำการออกแบบสร้างแล้ว ยังจะศึกษาถึงความ สามารถของแรงดึง และระยะหดตัวตามแนวแกนของกัลัมเนื้อเทียมที่สร้างขึ้นด้วย ในงานวิจัยนี้จะแบ่งวิธีการวิจัยเป็นสองส่วน ส่วนแรกคือการออกแบบและสร้างกัลัมเนื้อเทียมที่ทำจากยางพารา ส่วนที่สองเป็นการศึกษาถึงคุณสมบัติของกัลัมเนื้อเทียมที่สร้างขึ้น ผลประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัยนี้สามารถที่จะสร้างชุดขับเคลื่อนแบบกัลัมเนื้อเทียมที่ผลิตจากยาง ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านวิศวกรรม เช่น ใช้เป็นตัวขับเคลื่อนเชิงเส้น หรือ งานทางด้านการแพทย์เพื่อใช้ในการช่วยการเคลื่อนไหวของข้อศอก หรือ หัวเข่า เป็นต้น

ธีระพล เหมือนขาว และคณะ[5] ทำการออกแบบฉนวนไฟฟ้าเพื่อป้องกันการลัดวงจรบริเวณจุดต่อของบushing หม้อแปลงระบบจำหน่าย เนื่องจากบริเวณbushingของหม้อแปลงในระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะไม่มีฉนวนป้องกันทำให้มีโอกาสเกิดการลัดวงจรได้ วัสดุที่ใช้ทำฉนวนbushing หม้อแปลงพัฒนาจากยางพาราผสมพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงในอัตราส่วน ยางพารา 60% และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง 40% ฉนวนยางพาราผสมพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงมีคุณสมบัติดังนี้ วัสดุฉนวนมีความแข็งเท่ากับ 83.7 ± 0.9 Shore A สามารถรับแรงดึง(Tensile Strength)ได้สูงสุด 4.28 ± 5.4 MPa และมีการยืดตัว ณ จุดขาด(Elongation at Break) เท่ากับ $92 \pm 29\%$ ส่วนคุณสมบัติทางไฟฟ้านั้น วัสดุฉนวนมีความต้านทานจำเพาะเชิงผิว(Surface Resistivity) และความต้านทานเชิงปริมาตร(Volume Resistivity) เท่ากับ $5.56 \times 10^{16} \Omega/\text{square}$ และ $2.14 \times 10^{16} \Omega\text{-cm}$ ตามลำดับ โดยวัสดุฉนวนมีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 19.7 kV/mm. นอกจากนั้น ผู้วิจัยยังได้นำฉนวนbushing หม้อแปลงที่พัฒนาขึ้น ไปติดตั้งใช้งานจริงกับหม้อแปลงในระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้าที่ระดับแรงดัน 22kV รูปที่ 2 แสดงลักษณะของฉนวนbushing หม้อแปลงที่พัฒนาจากยางธรรมชาติผสมพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง



รูปที่ 2 ฉนวนบุขซึ่งหม้อแปลงที่พัฒนาจากยางธรรมชาติผสมพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง

จากการวิจัยที่นำเสนอ จะเห็นได้ว่าประเทศไทยมีการวิจัยและพัฒนาที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มมูลค่าให้กับยางธรรมชาติอย่างต่อเนื่อง แต่ทั้งนี้ การวิจัยและพัฒนาจากยางธรรมชาติเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับงานที่เกี่ยวข้องกับสาขาวิศวกรรมไฟฟ้ายังไม่ได้ได้รับความสนใจเท่าที่ควร ดังนั้นจึงเป็นโอกาสอันดีที่โครงการวิจัยนี้ จะนำยางธรรมชาติ อันเป็นวัตถุดิบที่สามารถผลิตได้เองภายในประเทศ มาพัฒนาเป็นฉนวนสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า เพื่อเป็นการกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาและเพิ่มมูลค่าของสินค้าเกษตร

4. ฟิวส์คัทเอาต์(Fuse Cut-Out)

ฟิวส์คัทเอาต์ หรือดรออปเอาต์ฟิวส์ (Drop Out Fuse) เป็นอุปกรณ์ป้องกันและตัดต่อวงจรทางด้านระบบจำหน่ายแรงสูง โดยทำหน้าที่ป้องกันการลัดวงจรและป้องกันกระแสเกินให้กับหม้อแปลงในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค(กฟภ.) และการไฟฟ้านครหลวง(กฟน.) นอกจากนั้น ฟิวส์คัทเอาต์ยังเป็นอุปกรณ์ตัดต่อวงจร เพื่อตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับหม้อแปลงไฟฟ้า ในกรณีที่ต้องมีการซ่อมบำรุงหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้า ฟิวส์คัทเอาต์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันแสดงดังรูปที่ 3 ในระบบจำหน่าย 22kV ฟิวส์คัทเอาต์มีพิกัดแรงดันใช้งานสูงสุดเท่ากับ 27kV พิกัดกระแสสูงสุดเท่ากับ 100A ส่วนในระบบจำหน่าย 33kV ฟิวส์คัทเอาต์มีพิกัดแรงดันใช้งานสูงสุดเท่ากับ 34.5kV กิโลโวลต์ พิกัดกระแสสูงสุดเท่ากับ 100A คุณสมบัติอื่นๆ ทางด้านไฟฟ้าของฟิวส์คัทเอาต์แสดงดังตารางที่ 1



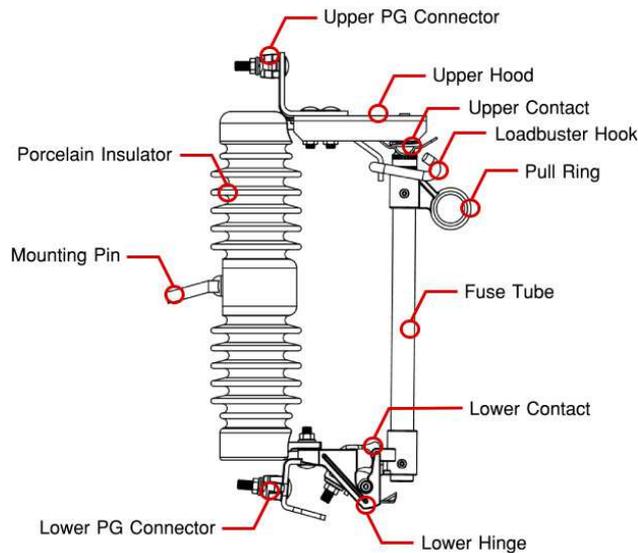
รูปที่ 3 ฟิวส์คัทเอาต์ที่ใช้ในปัจจุบัน

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางเทคนิคของฟิวส์คัทเอาต์

คุณสมบัติ	ระดับแรงดันใช้งาน	
	22kV	33kV
Rate Frequency, (Hz)	50	50
Rate Maximum Voltage, (kV _{rms})	27	34.5
Rate Continuous Current, (A)	100	100
Rate Asymmetrical Interrupting Current, (kA _{rms})	8	8
Basic Impulse Insulation Level(BIL), (kV _{peak})	125	150
Minimum Normal-Frequency Dry Test Voltage (kV _{rms})	42	70
Minimum Creepage Distance of Porcelain Insulator (mm)	320	650

ฟิวส์คัทเอาต์ที่ใช้ในระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้า จะอ้างอิงมาตรฐานการออกแบบและการทดสอบ ประกอบด้วย ANSI/IEEE C37.40 Service Conditions and Definitions for High-Voltage Fuses, Distribution Enclosed Single-Pole Air Switches, Fuse Disconnecting Switches, and Accessories, ANSI/IEEE C37.41 Design Tests for High-Voltage (>1000 V) Fuses, Fuse and Disconnecting Cutouts, Distribution Enclosed Single-Pole Air, Switches, Fuse Disconnecting Switches, and Fuse Links and Accessories และ ANSI C37.42 Specification for High-Voltage Expulsion Type Distribution Class Fuses, Cutouts, Fuse Disconnecting Switches and Fuse Links รูปที่ 4 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ที่สำคัญของฟิวส์คัทเอาต์ตามมาตรฐาน อันประกอบด้วย Upper PG Connector, Upper

Hood, Upper Contact, Loadbuster Hook, Pull Ring, Fuse Tube, Porcelain Insulator, Mounting Pin, Lower Contact, Lower Hing และ Lower PG Connect

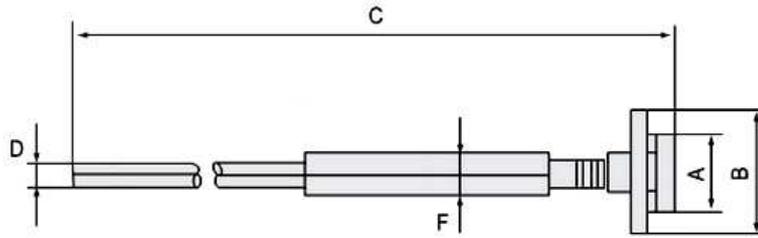


รูปที่ 4 ส่วนประกอบสำคัญของฟิวส์คัทเอาต์

การใช้งานฟิวส์คัทเอาต์เพื่อเป็นอุปกรณ์ป้องกันและอุปกรณ์ตัดต่อวงจร จะใช้ร่วมกับฟิวส์แรงสูง หรือเรียกว่าฟิวส์ลิงค์(Fuse Link) สำหรับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและการไฟฟ้านครหลวง ฟิวส์ลิงค์ส่วนใหญ่ที่ใช้เป็นแบบหัวเห็ด(Button Head Fuse Link) ดังแสดงในรูปที่ 5 การใช้งานฟิวส์ลิงค์จะถูกบรรจุอยู่ในกระบอกฟิวส์ (Fuse Tube) ที่ทำจากไฟเบอร์กลาสส์(Fiberglass) ตามมาตรฐาน IEC 60282-1 และ DIN 43625 ฟิวส์ลิงค์มีขนาดพิกัดกระแส 1 A จนถึง 100 A และมีพิกัดแรงดันสูงสุดทั้ง 27 kV และ 38 kV มิติและขนาดของฟิวส์ลิงค์จะแตกต่างกันตามขนาดพิกัดกระแสของฟิวส์ลิงค์ มิติและขนาดของฟิวส์ลิงค์ที่ค่าพิกัดกระแสต่างๆ แสดงในรูปที่ 6 และตารางที่ 2



รูปที่ 5 ฟิวส์ลิงค์แบบหัวเห็ด Type K



รูปที่ 6 มิติและขนาดของฟิวส์ลิงค์

ตารางที่ 2 มิติและขนาดของฟิวส์ลิงค์ตามรูปที่ 6

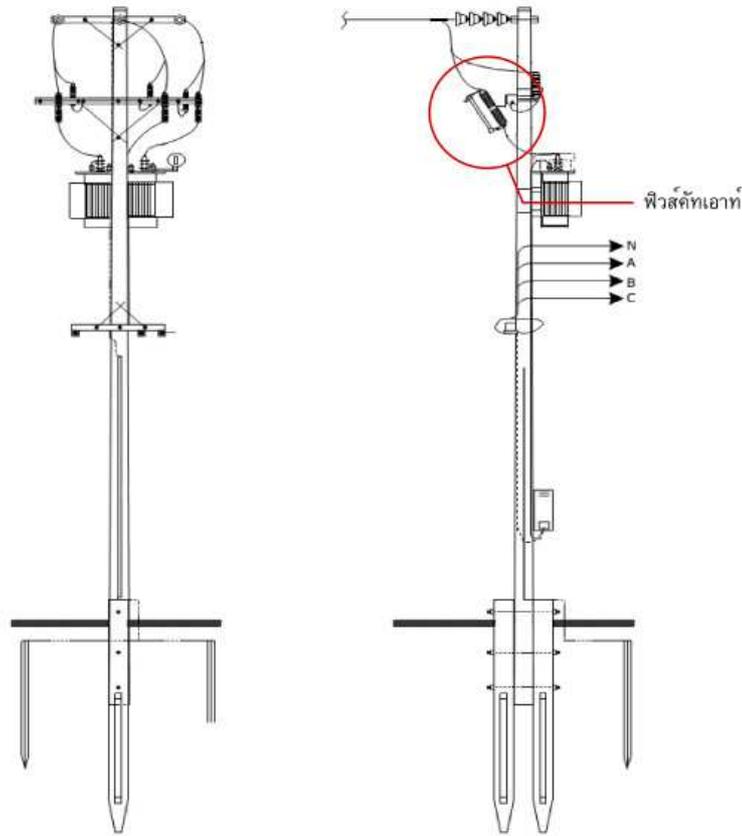
พิกัดกระแส(A)	มิติและขนาด(mm)				
	A	B	C	D	F
1 ถึง 25	12.5±0.2	19.0±0.2	533	2.0	6.5
30 ถึง 40	12.5±0.2	19.0±0.2	533	3.0	8.0
50 ถึง 100	19.0±0.3	N.A.	533	5.0	10.0

การทำงานของฟิวส์ลิงค์จะเกิดการหลอมละลายและเผาไหม้ตัวฟิวส์ที่อยู่ภายในกระบอกดับอาร์ก (Arc Extinguishing Tube) เมื่อกระแสที่ไหลผ่านฟิวส์ลิงค์มีค่าเกิดพิกัดของฟิวส์ลิงค์ ฟิวส์ลิงค์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามระยะเวลาการหลอมละลายของฟิวส์ภายในกระบอกดับอาร์ก ได้แก่ Type K และ Type T ฟิวส์ลิงค์แบบ Type K เมื่อมีกระแสเกินฟิวส์จะหลอมละลายและขาดโดยทันที ส่วนฟิวส์ลิงค์แบบ Type T ฟิวส์จะไม่หลอมละลายโดยทันทีเมื่อกระแสเกิน แต่จะค่อยๆ หลอมละลายและขาดในที่สุด ระยะเวลาที่ฟิวส์ลิงค์หลอมละลายและขาดจะเป็นอัตราส่วนกับกระแสที่ไหลผ่านฟิวส์ ซึ่งสามารถดูได้จากกราฟคุณสมบัติของฟิวส์แต่ละชนิด

ฟิวส์คัทเอาต์ส่วนใหญ่จะใช้งานเป็นอุปกรณ์ป้องกันและอุปกรณ์ตัดต่อวงจรให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้า แต่ในบางกรณีฟิวส์คัทเอาต์ยังถูกใช้เป็นอุปกรณ์ป้องกันและตัดต่อวงจรสำหรับสายส่งในระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้า โดยจะถูกติดตั้งไว้บริเวณต้นสายส่ง ณ จุดต่อแยกสาย การติดตั้งฟิวส์คัทเอาต์จะติดตั้งบนคอนสายบริเวณเดียวกับที่ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า โดยตำแหน่งการติดตั้งฟิวส์คัทเอาต์จะแตกต่างกันตามลักษณะของการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า การติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบจำหน่ายสามารถจำแนกออกเป็นลักษณะดังต่อไปนี้

- การติดตั้งหม้อแปลงแบบเสาต้นเดียว
- การติดตั้งหม้อแปลงบนนั่งร้านตามแนวขวางสายส่ง
- การติดตั้งหม้อแปลงบนนั่งร้านตามแนวยาวสายส่ง
- การติดตั้งหม้อแปลงแบบตั้งพื้น

รูปที่ 7 แสดงตัวอย่างตำแหน่งติดตั้งพิวส์คัทเออร์กรณีติดตั้งหม้อแปลงแบบเสาต้นเดียว



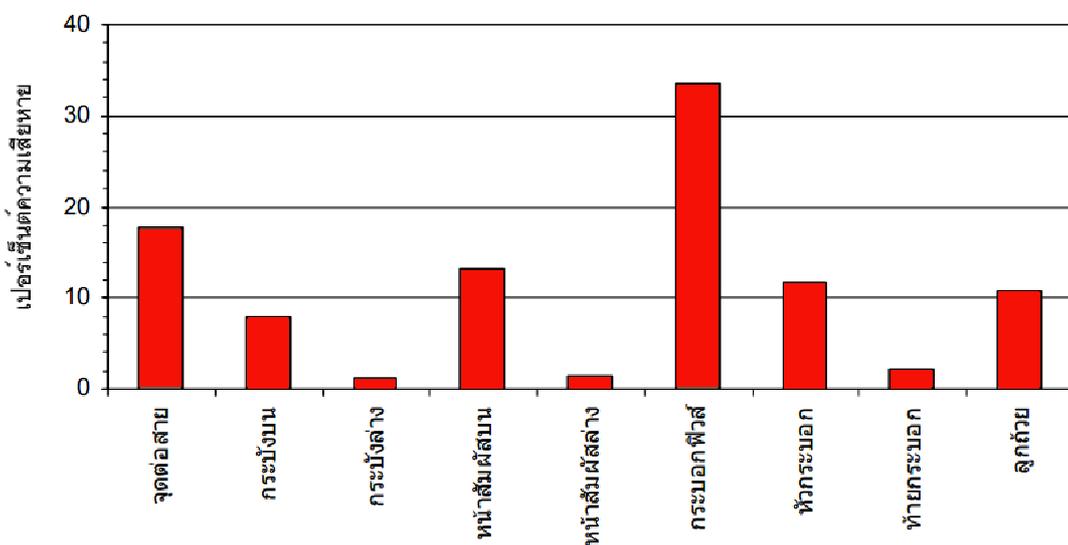
รูปที่ 7 ตำแหน่งติดตั้งพิวส์คัทเออร์ เมื่อติดตั้งหม้อแปลงแบบเสาต้นเดียว

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีพิวส์คัทเออร์ในระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้าประมาณ 700,000 ชุด และในแต่ละปีจำเป็นต้องเปลี่ยนพิวส์คัทเออร์ประมาณ 43,000 ชุด หรือคิดเป็น 6.2% พิวส์คัทเออร์ที่ชำรุดประมาณ 21,500 ชุด หรือประมาณ 50% ของจำนวนพิวส์คัทเออร์ที่ชำรุดทั้งหมดสาเหตุมาจากสัตว์และภัยธรรมชาติ พิวส์คัทเออร์ที่ใช้ในระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้าเกิดการชำรุดเสียหายได้จากหลายสาเหตุ อาทิเช่น การชำรุดเนื่องจากสัตว์และภัยธรรมชาติ ฯลฯ ข้อมูลจากกองวิจัยฯ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค[6] พบว่า ส่วนประกอบของพิวส์คัทเออร์ที่เสียหายบ่อยครั้ง ได้แก่ ลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลน(Porcelain Insulator), จุดต่อสายไฟฟ้า, กระบังหน้าสัมผัสบน-ล่าง กระบอกพิวส์และหน้าสัมผัสของกระบอกพิวส์ ส่วนประกอบของพิวส์คัทเออร์ที่เสียหายบ่อยมากที่สุดได้แก่กระบอกพิวส์ กระบอกพิวส์มีตัวเลขความเสียหายอยู่ที่ประมาณร้อยละ 35 ของจำนวนพิวส์คัทเออร์ที่เสียหายทั้งหมด ส่วนประกอบที่เสียหายรองลงมาคือ จุดต่อสายไฟฟ้า ซึ่งมีตัวเลขความเสียหายอยู่ที่ประมาณร้อยละ 18 รูปที่ 8 แสดงลักษณะความเสียหายของพิวส์คัทเออร์บริเวณจุดต่อสายไฟฟ้า เนื่องจากการลัดวงจร นอกจากนั้น การชำรุดเสียหายของจุดต่อสายไฟฟ้ายังมีสาเหตุมาจากจุดต่อสายหลวมและขาดการบำรุงรักษา การสึกกร่อนเนื่องจากปฏิกิริยาจาก

โลหะสองชนิดที่มีขั้วทางไฟฟ้าที่ต่างกันระหว่างสายไฟฟ้าอะลูมิเนียมกับข้อรัดสายไฟฟ้าที่ทำจากโลหะผสม การที่จุดต่อสายไฟฟ้าหลวมหรือเกิดการสึกกร่อนทำให้ความต้านทานของหน้าสัมผัสสูงขึ้น เป็นผลให้เกิดความร้อนสะสมบริเวณจุดต่อสายและจุดต่อสายเกิดหลอมละลายได้ รูปที่ 9 สัดส่วนความเสียหายที่เกิดขึ้นกับส่วนประกอบต่างๆ ของพิวส์คัทเออร์

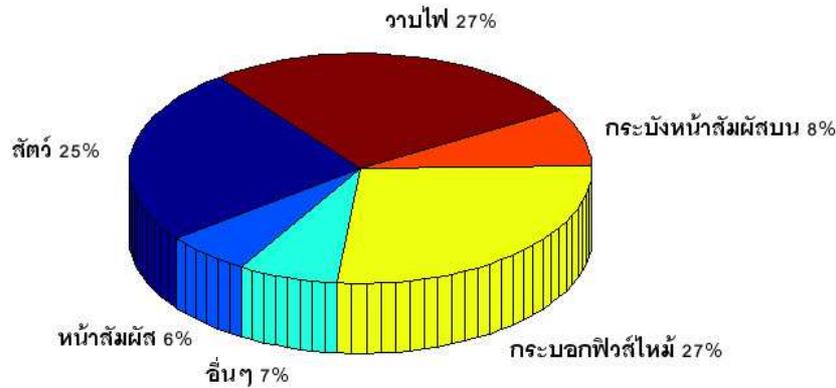


รูปที่ 8 ความเสียหายที่จุดต่อสายไฟฟ้าของพิวส์คัทเออร์



รูปที่ 9 เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของส่วนประกอบต่างๆ ของพิวส์คัทเออร์

ข้อมูลระหว่าง พ.ศ. 2545 - 2549 จากกองวิจัยฯ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค พบว่า สาเหตุหลักของการชำรุดเสียหายของฟิวส์คัทเอาต์ได้แก่ กระบอกฟิวส์ใหม่และการเกิดวาบไฟตามฉนวนที่ฉนวนปอร์ชเลน สาเหตุรองลงมาคือ สาเหตุจากสัตว์ รูปที่ 10 แสดงสัดส่วนสาเหตุความเสียหายของฟิวส์คัทเอาต์ที่เกิดขึ้น



รูปที่ 10 เปอร์เซนต์สาเหตุความเสียหายของฟิวส์คัทเอาต์ระหว่าง พ.ศ. 2545 - 2549

5. วัสดุฉนวนและการทดสอบคุณสมบัติ

5.1 ข้อกำหนดคุณสมบัติของวัสดุฉนวน

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนดคุณสมบัติของวัสดุฉนวนสำหรับใช้ทำเป็นฉนวนไฟฟ้า เพื่อป้องกันส่วนที่มีไฟบริเวณจุดต่อสายของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้า และบริเวณจุดเชื่อมต่อระหว่างสายไฟฟ้า ตามเอกสาร Specification No. RHOT-099/2552 [7] ฉนวนป้องกันส่วนที่มีไฟ(Live Part Insulation Covers) มีคุณสมบัติแสดงดังตารางที่ 3 โดยการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุฉนวนอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 60695-11-10, ASTM D 638-03, TIS 293 และ IEC 60243 -1

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของวัสดุฉนวนสำหรับฉนวนหุ้มจุดต่อฟิวส์คัทเอาต์

คุณสมบัติ		
Before heat aging test	Tensile strength	มากกว่า 0.4kgf/mm ² (3.92 MPa)
	Elongation at break	มากกว่า 300%
After heat aging test	Tensile strength	มากกว่า 0.32kgf/mm ² (0.31 MPa)
	Elongation at break	มากกว่า 240%
Before UV aging test	Withstand voltage	10kV/mm
After UV aging test		
Power Frequency Withstand Voltage Test(Dry)		40kV/mm
Flammability		ผ่านการทดสอบ IEC 60695-11-10, UL94

5.2 สูตรยางและการทดสอบคุณสมบัติ

งานวิจัยนี้จึงนำยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอีนหรือยางอีพีดีเอ็มผสมกับยางพาราในอัตราส่วน 60:40 เพื่อเพิ่มคุณสมบัติความทนทานต่อสภาพแวดล้อม[8] และเติมสารป้องกันการติดไฟเพื่อปรับปรุงสมบัติการติดไฟของยางธรรมชาติ สูตรยางคอมปาวด์แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ส่วนผสมและสารเคมีที่ใช้ในการผสมยางคอมปาวด์

วัตถุดิบ	ปริมาณ(phr)
ยางธรรมชาติ (STR 5L)	60.0
ยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอีนโมโนเมอร์ (EPDM)	40.0
ซิงก์ออกไซด์ (ZnO)	5.0
กรดสเตียริก (Stearic acid)	2.0
ไดไฮโดรไดฟีนิลโพรพิลีนโทลไอะโซลซัลฟิโนไซด์ (TBBS)	1.0
เททระเมทิลไทูแรมไดซัลไฟด์ (TMTD)	0.2
อะลูมิเนียมไตรไฮเดรต(ATH)	120
สารป้องกันการเสื่อมสภาพ(BHT)	1.0
กำมะถัน (Sulphur : S)	1.8
ผงเขม่าดำ (Carbon-black:CB N330)	3.0

จากสูตรยางในตารางที่ 2 การผสมยางคอมปาวด์เริ่มจากนำยางธรรมชาติมาบดด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นจึงนำยางอีพีดีเอ็มมาบดผสมกับยางธรรมชาติและทำการบดผสมต่อเนื่องเป็นเวลา 3 นาที เติมสารกระตุ้นการผสมยางระหว่างยางธรรมชาติกับยางอีพีดีเอ็ม ได้แก่ ซิงก์ออกไซด์(ZnO), กรดสเตียริก(Stearic Acid), ไดไฮโดรไดฟีนิลโพรพิลีนโทลไอะโซลซัลฟิโนไซด์(TBBS) และเททระเมทิลไทูแรมไดซัลไฟด์(TMTD) ตามลำดับ โดยการเติมสารเคมีแต่ละตัวจะใช้เวลาเติมห่างกันประมาณ 2-4 นาทีขึ้นอยู่กับชนิดของสารกระตุ้น และในการผสมยางคอมปาวด์ต้องตัดแล้วก็พบบางคอมปาวด์ที่กำลังบดอยู่ตลอดเวลา ซึ่งต้องอาศัยความชำนาญและประสบการณ์เป็นพิเศษ เพื่อให้สารเคมีผสมเข้ากับยางคอมปาวด์เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพ(Butylated Hydroxytoluene, BHT) และอะลูมิเนียมไตรไฮเดรต(ATH) แล้วทำการบดยางเป็นเวลา 50 นาที เพื่อให้อะลูมิเนียมไตรไฮเดรตผสมเป็นเนื้อเดียวกับยางคอมปาวด์ ในขั้นตอนสุดท้ายของการผสมยางคอมปาวด์ ทำการเติมเขม่าดำกับกำมะถัน แล้วบดผสมต่อเนื่องเป็นเวลาประมาณ 7 นาที โดยเมื่อเติมเขม่าดำจะทำให้ยางคอมปาวด์ที่ได้เป็นสีดำ



รูปที่ 11 นวนนวมยางคงรูปขนาด 150x150x2mm

ยางคอมปาวด์จะถูกนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นนวนนวมขนาด 150x150x2mm สำหรับนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกลและทางไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 11 ทั้งนี้ ก่อนการขึ้นรูปยางคอมปาวด์ ยางคอมปาวด์ถูกนำไปหาระยะเวลาสกอร์ช (Scorch Time, ts_2) และระยะเวลาในการคงรูปของยางคอมปาวด์ที่เหมาะสมด้วยเครื่อง Moving Die Rheometer (GT-M2000) ที่อุณหภูมิ 150°C แล้วจึงนำยางคอมปาวด์ไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก (Compression Moulding Machine) ที่อุณหภูมิ 150°C และใช้เวลาในการวัลคาไนซ์ประมาณ 12.51 นาที

การทดสอบคุณสมบัติทางกลและทางไฟฟ้าของนวนนวมประกอบด้วย การทดสอบสมบัติการรับแรงดึง (ASTM D412) ทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่ง, การทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ความถี่กำลัง (IEC60243-1) ทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่งด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต และการทดสอบการทนต่อการลामไฟ (IEC 60695-11-10 หรือ UL94) การทดสอบมีรายละเอียดดังนี้

- การทดสอบสมบัติการรับแรงดึงประกอบด้วย การทดสอบความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) และการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at Break) ของวัสดุนวนนวม การทดสอบอ้างอิงมาตรฐาน ASTM D412 การทดสอบสมบัติการรับแรงดึงทำโดยการดึงขึ้นงานทดสอบมาตรฐานจนขาดด้วยอัตราเร็วคงที่ ขึ้นนวนนวมทดสอบเป็น Dumbbell Type 4 จำนวน 10 ตัวอย่างทดสอบ การทดสอบในขั้นตอนแรกจะนำขึ้นนวนนวมทดสอบจำนวน 5 ตัวอย่างไปทดสอบความทนต่อแรงดึงและการยืดตัว ณ จุดขาด ที่อุณหภูมิในการทดสอบ 20 - 30 °C อัตราเร็วของการดึงทดสอบ 500±5 mm/min จากนั้นนำขึ้นนวนนวมทดสอบที่เหลืออีก 5 ชิ้นไปบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 96 ชั่วโมง ระยะเวลาเย็นตัว (Cooling Time) อยู่ระหว่าง 12 - 48 ชั่วโมง เมื่อผ่านการบ่มเร่งด้วยความร้อน ขึ้นนวนนวมทดสอบ 5 ชิ้นดังกล่าว จะถูกนำไปทดสอบความทนต่อแรงดึงและการยืดตัว ณ จุดขาดอีกครั้งหนึ่ง

- การทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าความถี่กำลัง (Power Frequency Withstand Voltage Test) ขึ้นฉนวนทดสอบมีขนาด $80 \pm 0.8 \times 150 \pm 1.5 \times \leq 4$ มิลลิเมตร จำนวนตัวอย่างทดสอบ 2 ชุด ชุดละ 5 ตัวอย่าง การทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ ขึ้นฉนวนทดสอบชุดที่ 1 นำไปทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC60243-1 ส่วนขึ้นฉนวนทดสอบชุดที่ 2 นำไปผ่านการบ่มแรงด้วยรังสียูวีเป็นระยะเวลา 420 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน TIS-293 การทดสอบกระทำทั้งหมด 210 วัฏจักร ในแต่ละวัฏจักรขึ้นฉนวนทดสอบถูกพ่นละอองน้ำต่อเนื่องเป็นเวลา 18 นาที และหยุดพ่นละอองน้ำเป็นเวลา 102 นาที โดยมีขึ้นฉนวนอาร์คยูวีทำงานตลอดวัฏจักร จากนั้น ขึ้นฉนวนทดสอบชุดที่ 2 ที่ผ่านการบ่มแรงด้วยรังสียูวีจะถูกนำไปทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้า เพื่อเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวนกับขึ้นฉนวนทดสอบชุดที่ 1 โดยทั้งก่อนและหลังการบ่มแรงด้วยรังสียูวีวัสดุฉนวนต้องมีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้ามากกว่า 10 kV/mm
- การทดสอบการทนต่อการลามไฟ (Flammability Testing) การทดสอบอ้างอิงมาตรฐาน UL 94-Vertical Testing ขึ้นฉนวนทดสอบมีขนาด $125 \times 13 \times \leq 13 \text{ mm}$ การทดสอบประกอบด้วยตัวอย่างทดสอบ 2 ชุด ชุดละ 5 ตัวอย่าง การทดสอบเปลวไฟทดสอบมีขนาด 20 mm ตามแนวตั้งและเวลาที่เปลวไฟกับขึ้นงานทดสอบเท่ากับ 10 วินาที

จากการทดสอบคุณสมบัติทางกลและทางไฟฟ้าของวัสดุฉนวนที่ได้กล่าวมาข้างต้น ผลการทดสอบที่ได้แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุฉนวนสำหรับฉนวนหุ้มจุดต่อพิวส์คัทเออร์

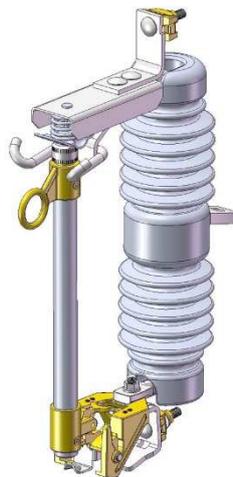
คุณสมบัติ		
Before heat aging test	Tensile strength	5.62 MPa
	Elongation at break	370.28%
After heat aging test	Tensile strength	3.23 MPa
	Elongation at break	285.64%
Before UV aging test	Withstand voltage	20.1 kV/mm
After UV aging test		17.6 kV/mm
Power Frequency Withstand Voltage Test(Dry)*		40kV/mm
Flammability		ผ่าน UL94 V-0

หมายเหตุ *รายการนี้ ทำการทดสอบหลังจากขึ้นรูปวัสดุฉนวนเป็นชิ้นงานเรียบร้อยแล้ว

6. การออกแบบฉนวนหุ้มจุดต่อฟิวส์คัทเอาท์

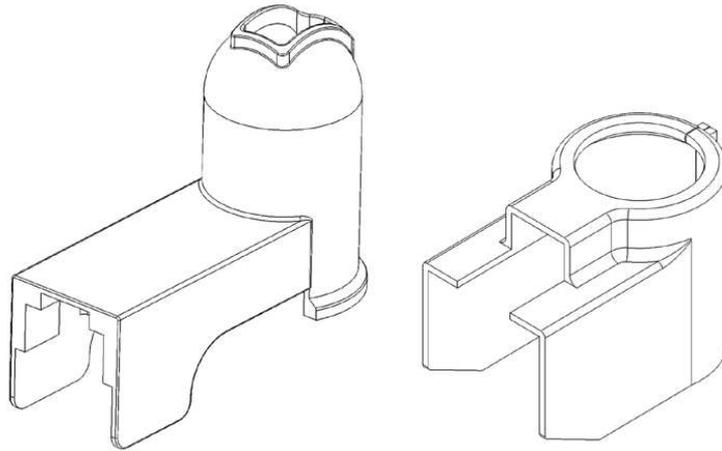
การออกแบบฉนวนหุ้มจุดต่อฟิวส์คัทเอาท์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในงานออกแบบ (Computer Aided Design, CAD) เพื่อสร้างแบบจำลอง 2 มิติและ 3 มิติ การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในงานออกแบบทำให้การออกแบบฉนวนหุ้มจุดต่อฟิวส์คัทเอาท์สะดวก รวดเร็ว และมีความยืดหยุ่นสูง นอกจากนี้ ในการออกแบบยังใช้โปรแกรมประยุกต์ไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์ความเครียดสนามไฟฟ้าแรงสูงและศักย์ไฟฟ้าแรงสูงที่เกิดขึ้นบริเวณโดยรอบฉนวนหุ้มจุดต่อฟิวส์คัทเอาท์ ภายใต้ระดับแรงดันใช้งานในระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้า

การออกแบบเริ่มจากการสร้างแบบจำลอง 3 มิติของฟิวส์คัทเอาท์ตามมาตรฐาน ANSI/IEEE C37.40 แบบจำลอง 3 มิติดังกล่าวใช้ในการออกแบบฉนวนจุดต่อฟิวส์คัทเอาท์บริเวณจุดต่อด้านบนและจุดต่อด้านล่าง รวมถึงแบบจำลองจะถูกใช้สำหรับการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าแรงสูงด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Elements Method) การสร้างแบบจำลอง 3 มิติทำโดยการวัดขนาดและมิติของส่วนประกอบทุกชิ้นของฟิวส์คัทเอาท์ จากนั้นนำขนาดที่วัดได้มาสร้างเป็นชิ้นส่วนประกอบต่างๆ เพื่อนำมาประกอบกันเป็นแบบจำลองที่สมบูรณ์ รูปที่ 12 แสดงลักษณะของแบบจำลอง 3 มิติของฟิวส์คัทเอาท์

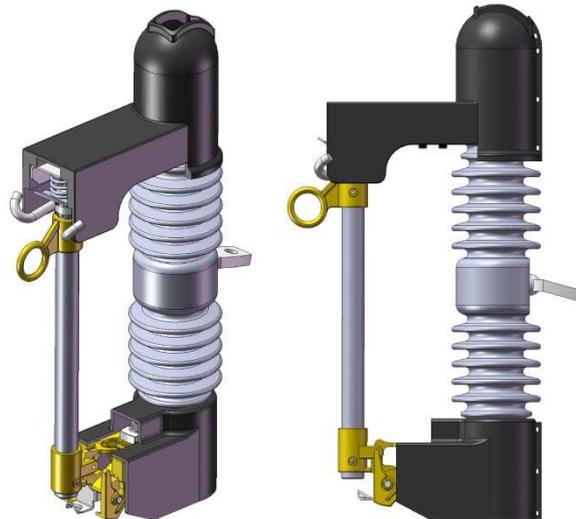


รูปที่ 12 แบบจำลอง 3 มิติของฟิวส์คัทเอาท์

จากแบบจำลอง 3 มิติของฟิวส์คัทเอาท์จะถูกนำไปใช้เป็นฐานในการออกแบบฉนวนหุ้มจุดต่อฟิวส์คัทเอาท์สำหรับจุดต่อด้านบนและด้านล่าง จุดเด่นที่สำคัญของการออกแบบคือ ฉนวนหุ้มจุดต่อฟิวส์คัทเอาท์จะต้องสามารถทำการติดตั้งกับฟิวส์คัทเอาท์ได้อย่างพอดี และการติดตั้งฉนวนจุดต่อฟิวส์คัทเอาท์ไม่จำเป็นต้องตัดแปลงอุปกรณ์เดิมและไม่ต้องถอดประกอบสายไฟฟ้าแต่อย่างใด ดังนั้น บริเวณด้านหลังของฉนวนจุดต่อฟิวส์คัทเอาท์จะมีรอยผ่า เพื่อช่วยให้การติดตั้งง่ายและสะดวกมากยิ่งขึ้น รูปที่ 13 แสดงลักษณะของแบบจำลองสามมิติของฉนวนหุ้มจุดต่อด้านบนและด้านล่างของฟิวส์คัทเอาท์



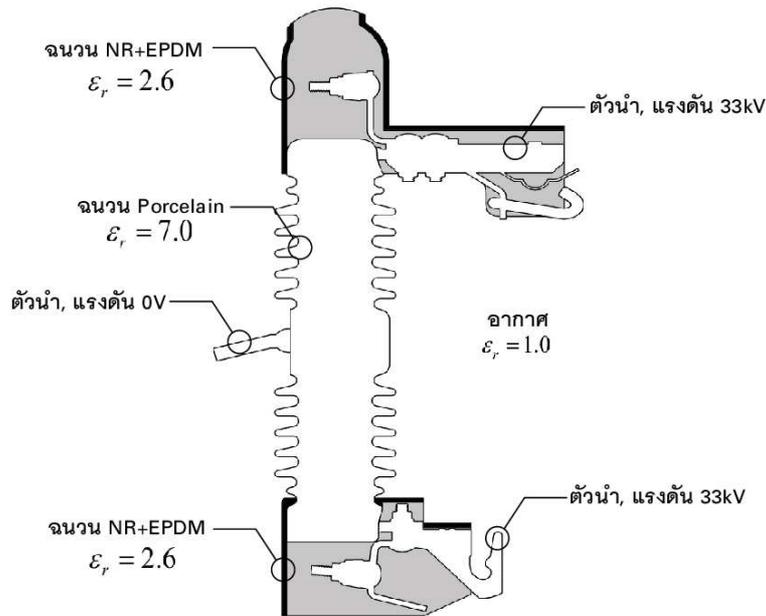
(ก) ฉนวนหุ้มจุดต่อด้านบนและด้านล่าง



(ข) แบบจำลองการติดตั้งฉนวนจุดต่อพิวส์คัทเออร์

รูปที่ 13 แบบจำลองสามมิติของฉนวนหุ้มจุดต่อด้านบนและด้านล่างของพิวส์คัทเออร์

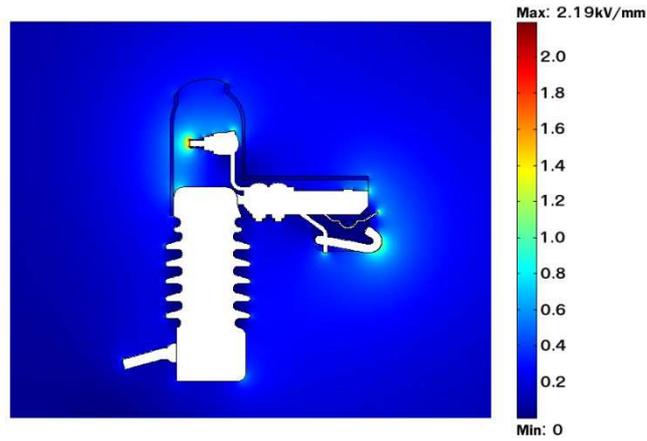
จากแบบจำลอง 3 มิติของพิวส์คัทเออร์ ฉนวนหุ้มจุดต่อด้านบนและด้านล่างของพิวส์คัทเออร์ ผู้วิจัยได้นำมาสร้างแบบจำลอง 2 มิติสำหรับการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าที่เกิดบริเวณโดยรอบของพิวส์คัทเออร์ เมื่อมีการติดตั้งฉนวนจุดต่อพิวส์คัทเออร์ภายใต้ระดับแรงดันใช้งานที่ 33kV การวิเคราะห์ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จุดประสงค์ของการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าเพื่อดูผลของความเครียดสนามไฟฟ้าที่กระทำต่อฉนวนจุดต่อพิวส์คัทเออร์ แบบจำลองสองมิติแสดงดังรูปที่ 14



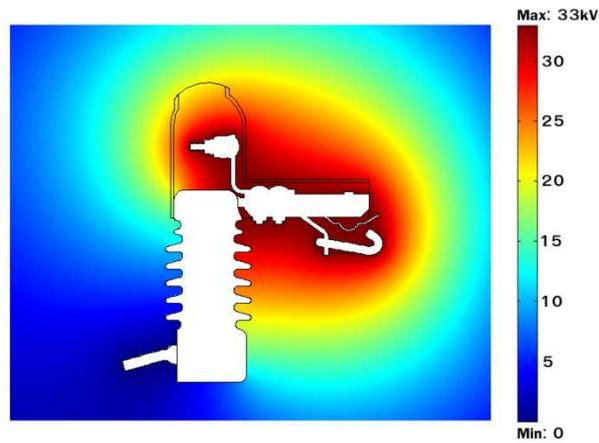
รูปที่ 14 แบบจำลอง 2 มิติสำหรับการวิเคราะห์สนามไฟฟ้า

จากแบบจำลองเพื่อให้การวิเคราะห์สะดวกและแบบจำลองไม่มีความซับซ้อน แบบจำลองจะละเอียดในส่วนของกระบอกฟิวส์ จุดเชื่อมต่อต่างๆ บริเวณ Upper Hood และ Lower Hinge สำหรับเงื่อนไขขอบเขตการวิเคราะห์มีดังนี้

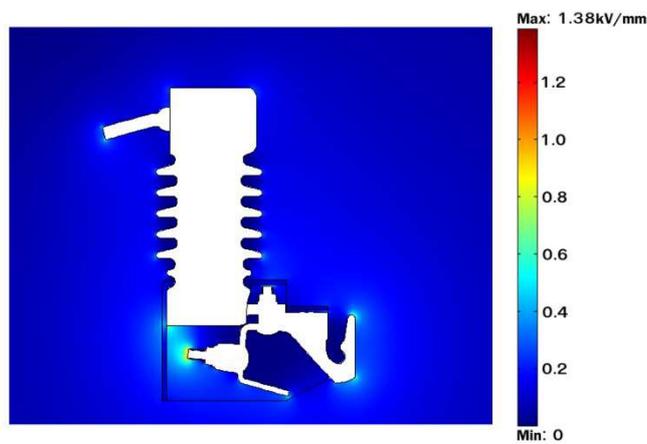
- ตัวนำไฟฟ้ากำหนดให้มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 33 kV
- ฉนวนปอร์ซเลนกำหนดให้มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเท่ากับ 7.0
- ฉนวนยางพาราผสมยางอีพดีเอ็มกำหนดให้มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเท่ากับ 2.6 ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ
- บริเวณโดยรอบฉนวนและตัวนำกำหนดให้เป็นอากาศ และมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเท่ากับ 1.0
- การแก้สมการเพื่อหาผลเฉลยใช้วิธี GMRES ร่วมกับตัวรับสภาพล่วงหน้าแบบ SSOR และกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ (Tolerance) ของผลเฉลยเท่ากับ 1×10^{-6}
- บริเวณที่เป็นฉนวนไฟฟ้าและตัวนำทั้งหมดกำหนดให้ไม่มีประจุค้าง (Space Charge, $\rho_s = 0$)
- ฉนวนยางพาราผสมยางอีพดีเอ็มเป็นฉนวนสมบูรณ์แบบ (Perfect Dielectric) ไม่มีค่าความนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) และมีความหนาเท่ากับ 4 mm



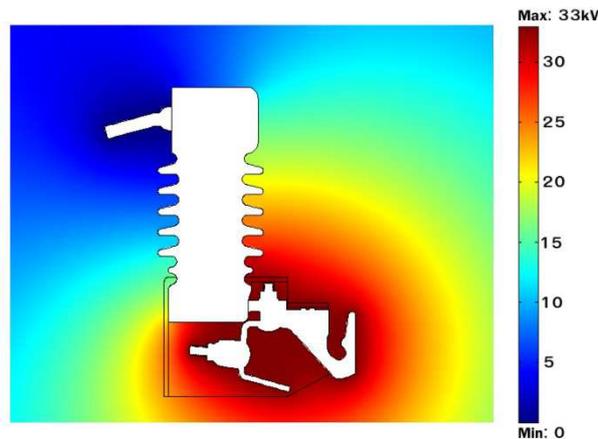
รูปที่ 15 ความเครียดสนามไฟฟ้าบริเวณโดยรอบจนวนุ่มจุดต่อด้านบนของฟิวส์คัทเอาต์



รูปที่ 16 การกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้าบริเวณโดยรอบจนวนุ่มจุดต่อด้านบนของฟิวส์คัทเอาต์



รูปที่ 17 ความเครียดสนามไฟฟ้าบริเวณโดยรอบจนวนุ่มจุดต่อด้านล่างของฟิวส์คัทเอาต์



รูปที่ 18 การกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้าบริเวณโดยรอบฉนวนหุ้มจุดต่อด้านล่างของฟิวส์คัทเออร์

ผลการวิเคราะห์ศักย์ไฟฟ้าและสนามไฟฟ้า พบว่า ความเครียดสนามไฟฟ้าบริเวณฉนวนหุ้มจุดต่อด้านบนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.19kV/mm ดังแสดงในรูปที่ 15 ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดดังกล่าวเกิดบริเวณนอตของข้อรัดสายไฟฟ้า รูปที่ 16 แสดงการกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้ารอบฉนวนหุ้มจุดต่อด้านบน ฉนวนไฟฟ้าบริเวณ Upper Hood เป็นจุดที่ได้รับศักย์ไฟฟ้าสูงสุด ฉนวนจุดดังกล่าวได้รับศักย์ไฟฟ้าประมาณ 32.8 kV บริเวณฉนวนหุ้มจุดต่อด้านล่าง ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 1.38 kV/mm ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดเกิดบริเวณนอตของข้อรัดสายไฟฟ้าเช่นเดียวกับด้านบน ดังแสดงในรูปที่ 17 ฉนวนหุ้มจุดต่อด้านล่างได้รับศักย์ไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 32.9 kV ณ บริเวณ Lower Hinge ของฟิวส์คัทเออร์ดังรูปที่ 18 จากผลการจำลองสนามไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณจุดต่อด้านบนและด้านล่างมีค่าต่ำกว่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของฉนวนจากการทดสอบตามมาตรฐาน IEC 60243-1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 20.1kV ดังนั้น ฉนวนจุดต่อฟิวส์คัทเออร์ที่ออกแบบและพัฒนาขึ้น จึงสามารถทนต่อสภาพการใช้งาน ณ ระดับแรงดันไฟฟ้า 33 kV ได้โดยที่ฉนวนไม่เกิดการเบรกดาวนหรือวบไฟตามผิว

การสร้างแม่พิมพ์โลหะจะใช้แบบจำลองสามมิติของฉนวนจุดต่อฟิวส์คัทเออร์ แม่พิมพ์โลหะประกอบด้วยแม่พิมพ์ 2 ชุด ได้แก่ แม่พิมพ์โลหะสำหรับฉนวนหุ้มจุดต่อด้านบนและแม่พิมพ์โลหะสำหรับหุ้มจุดต่อด้านล่าง แม่พิมพ์โลหะทั้งสองชุด แสดงดังรูปที่ 19 การขึ้นรูปชิ้นงานของฉนวนจุดต่อฟิวส์คัทเออร์ใช้วิธีการกดอัดด้วยความร้อน ซึ่งเป็นวิธีการขึ้นรูปที่เหมาะสมกับชิ้นงานที่มีลักษณะไม่ซับซ้อน ฉนวนจุดต่อฟิวส์คัทเออร์ที่ผ่านการออกแบบและขึ้นรูปเป็นชิ้นงานจริงแสดงดังรูปที่ 20 (ก) และลักษณะการติดตั้งฉนวนจุดต่อฟิวส์คัทเออร์กับฟิวส์คัทเออร์ แสดงดังรูปที่ 20 (ข)



(ก) แม่พิมพ์โลหะสำหรับนวนพุ่มจุดต่อด้านบน



(ข) แม่พิมพ์โลหะสำหรับนวนพุ่มจุดต่อด้านล่าง

รูปที่ 19 แม่พิมพ์โลหะสำหรับขึ้นรูปนวนพุ่มจุดต่อฟิวส์คัทเอาท์



(ก) นวนพุ่มจุดต่อฟิวส์คัทเอาท์



(ข) การติดตั้งนวนพุ่มจุดต่อฟิวส์คัทเอาท์

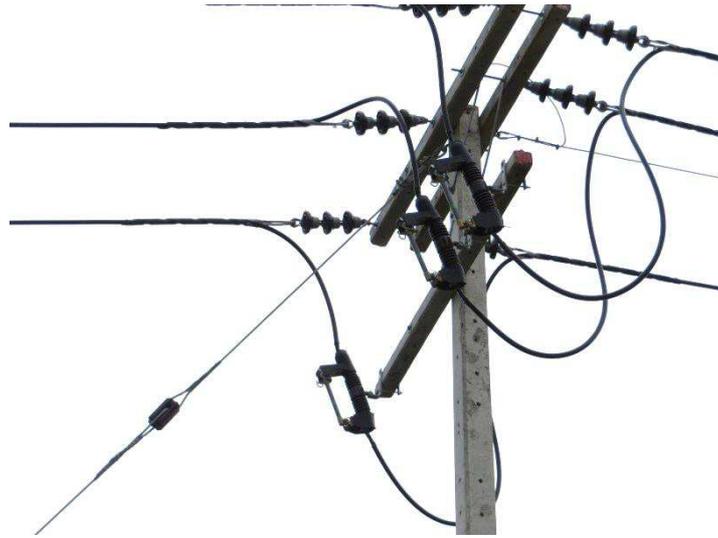
รูปที่ 20 ชิ้นงานนวนพุ่มจุดต่อฟิวส์คัทเอาท์และลักษณะการติดตั้ง

จากชิ้นงานฉนวนจุดต่อพิวส์คัทเออร์ที่ผ่านการขึ้นรูปแล้ว ฉนวนจุดต่อพิวส์คัทเออร์ต้องทำการทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าความถี่กำลังในสถานะแห้งภายในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง การทดสอบอ้างอิงมาตรฐาน IEC 60243 -1 กระบวนการทดสอบทำโดยป้อนแรงดันทดสอบให้กับฉนวน โดยเพิ่มแรงดันทดสอบจากศูนย์โวลต์จนถึง 40 kV ในอัตรา 1 kV/Sec. และป้อนแรงดันค้างไว้ 1 นาที ฉนวนที่ผ่านการทดสอบต้องไม่เกิดการเบรกดาวนและวาบไฟตามผิว จากการทดสอบฉนวนจุดต่อพิวส์คัทเออร์ทั้งหมด 5 ชุด โดยฉนวน 1 ชุดประกอบด้วยฉนวนจุดต่อพิวส์คัทเออร์ด้านบนและด้านล่าง ผลปรากฏว่า ฉนวนทุกชุดสามารถทนแรงดันไฟฟ้าได้มากกว่า 40 kV ไม่มีฉนวนชุดใดเกิดการเบรกดาวนและเกิดวาบไฟตามผิวที่ระดับแรงดันทดสอบแต่อย่างใด รูปที่ 21 แสดงการทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของฉนวนที่ระดับแรงดัน 40 kV ในสถานะแห้ง

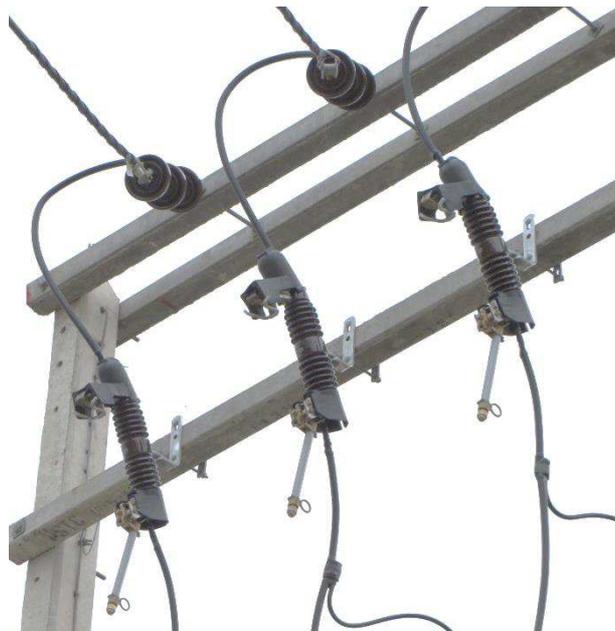


รูปที่ 21 การทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของฉนวนที่ระดับแรงดัน 40 kV

จากฉนวนหุ้มจุดต่อพิวส์คัทเออร์ที่ทำการพัฒนาเสร็จเรียบร้อยแล้วและผ่านการทดสอบทางกลและทางไฟฟ้า ผู้วิจัยได้นำฉนวนจุดต่อพิวส์คัทเออร์ไปทดสอบติดตั้งใช้งานจริงในระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้าแรงสูง 22 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอธัญบุรี การติดตั้งฉนวนหุ้มจุดต่อพิวส์คัทเออร์กับพิวส์คัทเออร์ทำใน 2 ลักษณะ ได้แก่ การติดตั้งฉนวนจุดต่อพิวส์คัทเออร์กับพิวส์คัทเออร์ที่ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ตัดตอนและอุปกรณ์ป้องกันบริเวณต้นสายส่ง และการติดตั้งฉนวนจุดต่อพิวส์คัทเออร์กับพิวส์คัทเออร์ที่เป็นอุปกรณ์ตัดตอนและอุปกรณ์ป้องกันหม้อแปลงระบบจำหน่ายที่ติดตั้งแบบเสาต้นเดียว รูปที่ 22 แสดงลักษณะการติดตั้งฉนวนจุดต่อพิวส์คัทเออร์กับพิวส์คัทเออร์บริเวณต้นสายส่ง ส่วนรูปที่ 23 เป็นการติดตั้งฉนวนจุดต่อพิวส์คัทเออร์กับพิวส์คัทเออร์ที่เป็นอุปกรณ์ตัดตอนและอุปกรณ์ป้องกันหม้อแปลงระบบจำหน่าย



รูปที่ 22 การติดตั้งหมุดต่อฟิวส์คัทเอาต์กับฟิวส์คัทเอาต์ ณ บริเวณต้นสายส่ง



รูปที่ 23 การติดตั้งหมุดต่อฟิวส์คัทเอาต์กับฟิวส์คัทเอาต์ของหม้อแปลงระบบจำหน่าย

7. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ ทำการออกแบบและพัฒนาฉนวนจุดต่อพิวส์คัทเออร์เพื่อแก้ไขปัญหาการชำรุดเสียหาย และการลัดวงจรบริเวณจุดต่อสายไฟฟ้าของพิวส์คัทเออร์ ฉนวนจุดต่อพิวส์คัทเออร์พัฒนาจากวัสดุผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางอีพดีเอ็มเพื่อเพิ่มคุณสมบัติความทนทานต่อสภาพแวดล้อม รวมถึงการใช้ อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์เพื่อทำให้วัสดุฉนวนมีความทนต่อการลามไฟได้ดี วัสดุฉนวนผ่านการทดสอบคุณสมบัติ ได้แก่ การทดสอบสมบัติการรับแรงดึง (ASTM D412), การทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้า กระแสสลับความถี่กำลัง (IEC60243-1) และการทดสอบการทนต่อการลามไฟ (UL94) จากการทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐานพบว่า วัสดุฉนวนมีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยก่อนการบ่มแรง วัสดุฉนวนสามารถรับแรงดึงและมีระยะยืด ณ จุดขาดเท่ากับ 5.62 MPa และ 370.28 % ตามลำดับ สมบัติการรับแรงดึงก่อนการบ่มแรงดังกล่าวมีค่ามากกว่า 3.92 MPa และ 300 % ตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด หลังจากการบ่มแรงที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 96 ชั่วโมง วัสดุฉนวนรับแรงดึงได้ลดลงเหลือ 3.23 MPa และมีระยะยืด ณ จุดขาดลดลงเหลือ 285.64 % แต่ทั้งนี้ สมบัติการรับแรงดึงที่ลดลงยังคงมีค่ามากกว่า 0.31 MPa และ 240% ตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด การทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของวัสดุฉนวนก่อนการบ่มแรงด้วยรังสียูวี วัสดุฉนวนมีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้า 20.1 kV/mm หลังจากการบ่มแรงด้วยรังสียูวีเป็นเวลา 420 ชั่วโมง ความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของวัสดุฉนวนลดลงเหลือ 17.6 kV/mm หรือลดลง 12.44% อย่างไรก็ตาม ความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของวัสดุฉนวนที่ลดลง ยังคงมีค่ามากกว่า 10 kV/mm นอกจากนี้ หลังจากการขึ้นรูปชิ้นงานฉนวนจุดต่อพิวส์คัทเออร์ด้วยแม่พิมพ์แบบกดอัดด้วยความร้อน ชิ้นงานฉนวนจุดต่อพิวส์คัทเออร์ต้องผ่านการทดสอบความ คงทนต่อแรงดันไฟฟ้าที่ความถี่กำลังในสภาวะแห้ง ณ ระดับแรงดัน 40 kV เป็นเวลา 1 นาที จากการทดสอบฉนวนจุดต่อพิวส์คัทเออร์จำนวน 5 ชุด ผลทดสอบปรากฏว่า ฉนวนทุกชุดสามารถทนแรงดันไฟฟ้าได้มากกว่า 40 kV ไม่มีฉนวนชุดใดเกิดการเบรกดาวร์และเกิดวาบไฟตามผิวที่ระดับแรงดันทดสอบแต่อย่างใด ด้วยเหตุนี้ จึงมั่นใจได้ว่าฉนวนจุดต่อพิวส์คัทเออร์สามารถนำไปใช้งานในระบบจำหน่ายแรงสูงที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 22 kV และ 33 kV ได้เป็นอย่างดี

การวิเคราะห์ผลของศักย์ไฟฟ้าและสนามไฟฟ้าด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่า บริเวณฉนวนจุดต่อ ด้านบนมีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดมีค่าเท่ากับ 2.19 kV/mm ส่วนฉนวนหุ้มจุดต่อด้านล่าง ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 1.38 kV/mm ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำกว่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของฉนวนคือ 20.1 kV/mm จึงไม่อาจทำให้ฉนวนเกิดการเบรกดาวร์ได้ นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้นำฉนวนจุดต่อพิวส์คัทเออร์ไปทดสอบติดตั้งใช้งานจริงในระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้าแรงสูง 22 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอธัญบุรี ในสองลักษณะคือ แบบแรกเป็นการติดตั้งฉนวนจุดต่อพิวส์คัทเออร์กับพิวส์คัทเออร์บริเวณต้นสายส่ง โดยพิวส์คัทเออร์ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ตัดตอนและ

อุปกรณ์ป้องกันสายส่ง ส่วนแบบที่สองเป็นการติดตั้งฉนวนจุดต่อพิวส์คัทเอาต์กับพิวส์คัทเอาต์ที่ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ตัดตอนและอุปกรณ์ป้องกันหม้อแปลงระบบจำหน่ายที่ติดตั้งแบบเสาต้นเดียว

8. ปัญหาและข้อเสนอแนะ

- การติดตั้งฉนวนจุดต่อพิวส์คัทเอาต์ในระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้าแรงสูง จำเป็นต้องมีการวิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณสมบัติของวัสดุฉนวนหลังจากผ่านการใช้งาน เพื่อนำข้อมูลมาปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุฉนวนให้เหมาะสมต่อการใช้งานมากขึ้น
- ฉนวนจุดต่อพิวส์คัทเอาต์ที่พัฒนาขึ้น ยังมีจุดอ่อนในการออกแบบที่ควรทำการปรับปรุง ได้แก่ ฉนวนจุดต่อด้านล่างที่ไม่สามารถปกปิดส่วนที่มีไฟได้ทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 24 เนื่องจากหากมีฉนวนบังกันในจุดดังกล่าว ฉนวนจะขัดขวางการเคลื่อนที่ของกระบอกพิวส์ในขณะเกิดการลัดวงจรได้



รูปที่ 24 บริเวณฉนวนจุดต่อด้านล่างที่ไม่สามารถออกแบบให้มีฉนวนป้องกันได้

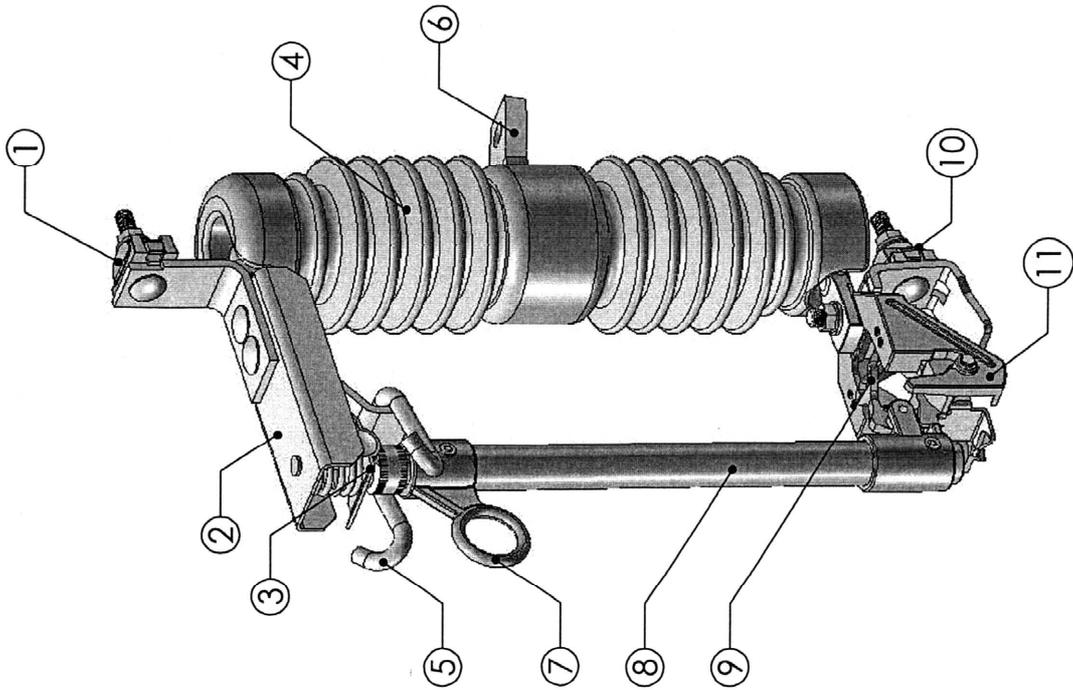
9. เอกสารอ้างอิง

1. ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ และคณะ, การผลิตและทดสอบหลังคายางพาราจากวัสดุผสมยางธรรมชาติกับซีลีเนียม, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.), 2546.
2. วิภา เศรษฐกนิษฐ์ และคณะ, การผลิตท่อน้ำหยดใช้ในสวน, สถาบันวิจัยยาง, กรุงเทพฯ, 2543
3. วิภา เศรษฐกนิษฐ์ และคณะ, การผลิตฝาจุกยางสำหรับชวดยา, สถาบันวิจัยยาง, กรุงเทพฯ, 2543
4. สถาพร ลักษณะเจริญและสุนทร วงษ์ศิริ, การออกแบบสร้างและศึกษาถึงคุณสมบัติของก้ามเนื้อเทียมที่ผลิตจากยาง, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17, 15-17 ตุลาคม 2546 จังหวัดปราจีนบุรี.

5. ชีระพล เหมือนขาว และคณะ, การพัฒนาฉนวนขซึ่งหม้อแปลงในระบบจำหน่ายจากวัสดุผสมยางพาราและขยะพลาสติก, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, รายงานวิจัย, 2552
6. คมสัน เพ็ชรรักษ์ และคณะ, การวิเคราะห์สาเหตุของความเสียหายที่เกิดขึ้นต่อครอบเอาต์พิวส์คัทเอาต์ในระบบจำหน่ายของ กฟภ., รายงานวิจัย, ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.
7. Liver Part Insulation Covers, Power System Standard Division, Provincial Electricity Authority, Specification No. RHOT-099/2552.
8. พงษ์ธร แซ่อู๋, ยาง : ชนิด สมบัติ และการใช้งาน, พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2548.

ภาคผนวก

แบบฟิวส์ตัดเอาท์

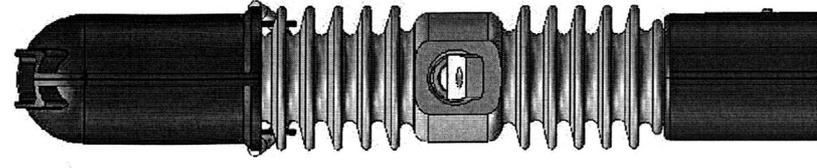
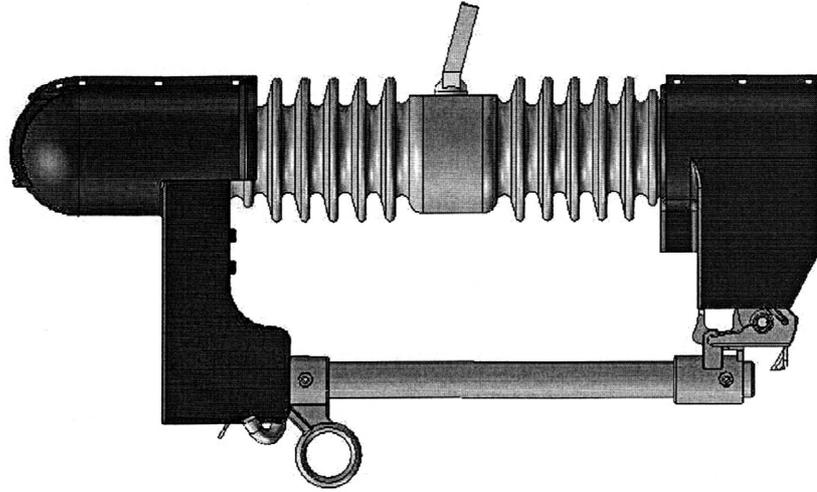
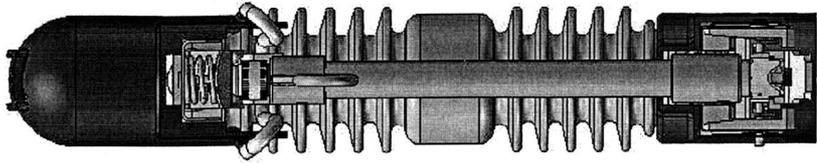
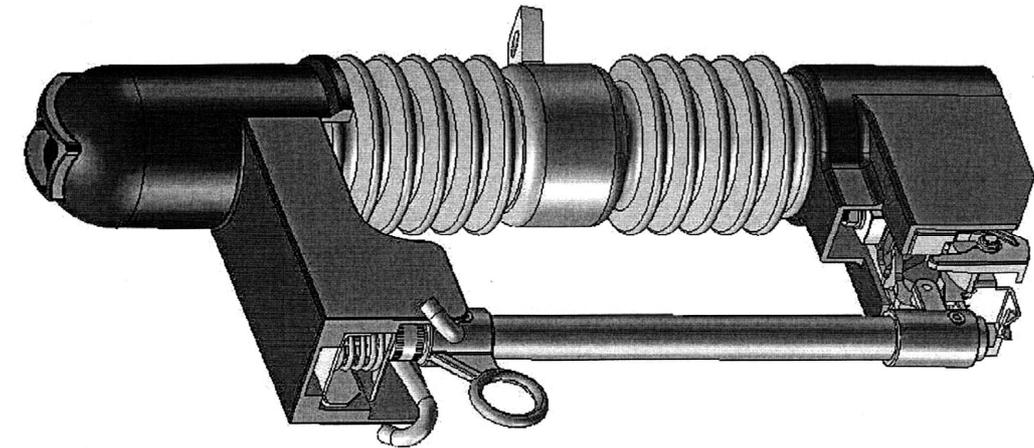


รายละเอียดส่วนประกอบ

1. Upper PG Connector
2. Upper Hood
3. Upper Contact
4. Porcelain Insulator
5. Loadbuster Hook
6. Mounting Pin
7. Pull Ring
8. Fuse Tube
9. Lower Contact
10. Lower PG Connector
11. Lower Hinge

DATE	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.ราชภัฏจลัญจบุรี		
TITLE:		
โครงการจนวนหมื่นจุดต่อฟิวส์ตัดเอาท์ จากยงธรรมชาติ		
DRAWN	SIGNATURE	DWG NO.
CHK'D	<i>S. J. J.</i>	A4
APP'VD	<i>L. J. J.</i>	
MFG	<i>[Signature]</i>	DWG-A4-001
MATERIAL:		SCALE: 1:4
Fuse Cut-Out		SHEET 1 OF 1
WEIGHT:		

ภาพประกอบหน้าด้านบนและด้านล่าง



DATE	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
DRAWN	TITLE:	
CHK'D	โครงการจนหน่มจุดต่อฟิวส์ดีทเอาท์	
APP'VD	จากยงธรรมชาติ	
MFG	SIGNATURE	
MATERIAL:	NR+EPDM	
WEIGHT:	DWG NO.	A4
	DWG-A4-002	
	SCALE: 1:4, 1:5	SHEET 1 OF 1

คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.ราชภัฏธนบุรี

โครงการจนหน่มจุดต่อฟิวส์ดีทเอาท์
จากยงธรรมชาติ

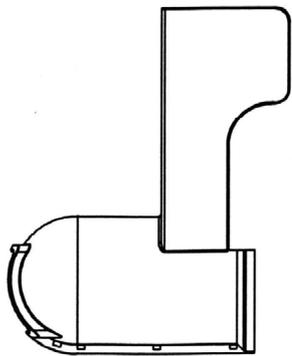
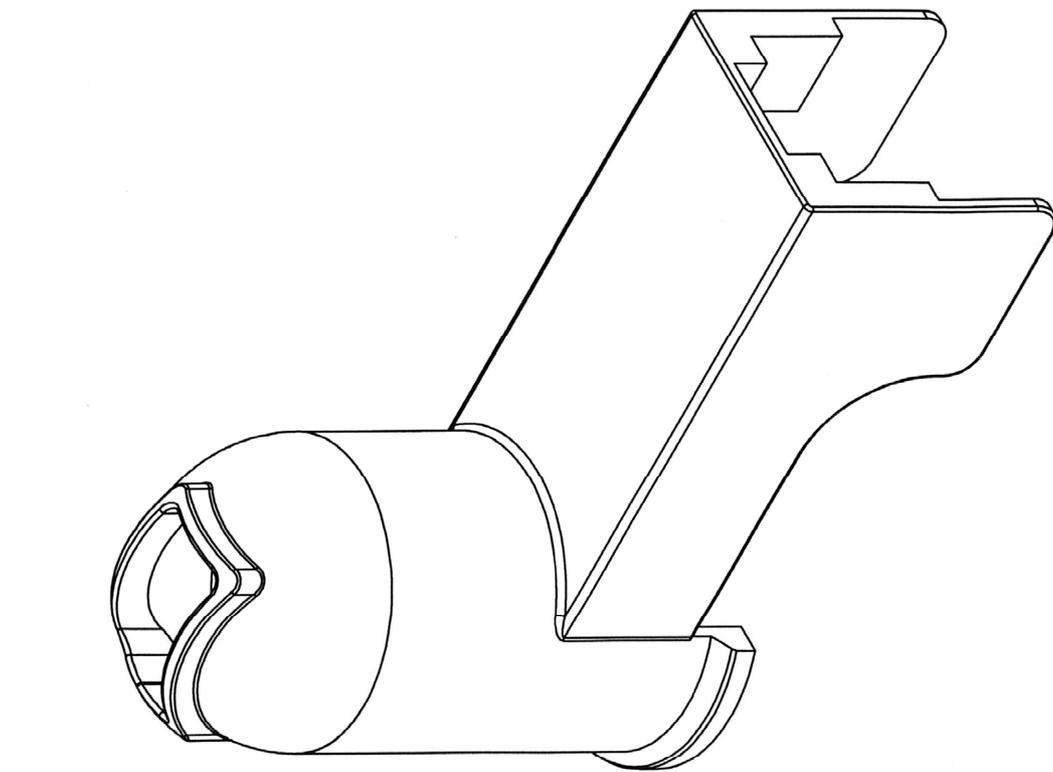
DWG NO. DWG-A4-002

A4

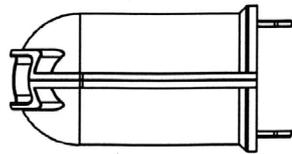
SCALE: 1:4, 1:5

SHEET 1 OF 1

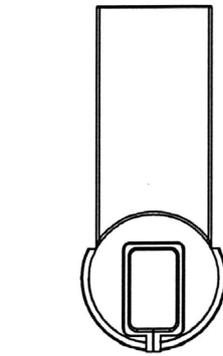
แบบจนวนหันหมจุดต่อไฟสัดทเอาที่ด้านบน



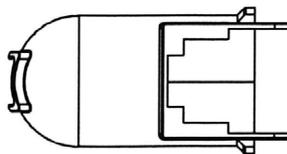
ด้านข้าง



ด้านบน



ด้านหลัง



ด้านหน้า

หมายเหตุ SCALE: 1:5

DATE	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
DRAWN	TITLE: คณะกรรมการมาตรฐาน ม.ราชภัฏธนบุรี	
CHK'D	โครงการนวมหมจุดต่อไฟสัดทเอาที่	
APP'VD	จากยางธรรมชาติ	
MFG	SIGNATURE	
MATERIAL: NR+EPDM	DRAWN: <i>[Signature]</i>	
WEIGHT:	CHK'D: <i>[Signature]</i>	
	APP'VD: <i>[Signature]</i>	
	MFG: <i>[Signature]</i>	
	DWG NO. DWG-A4-003	
	SCALE: 1:2, 1:5	
	SHEET 1 OF 3	

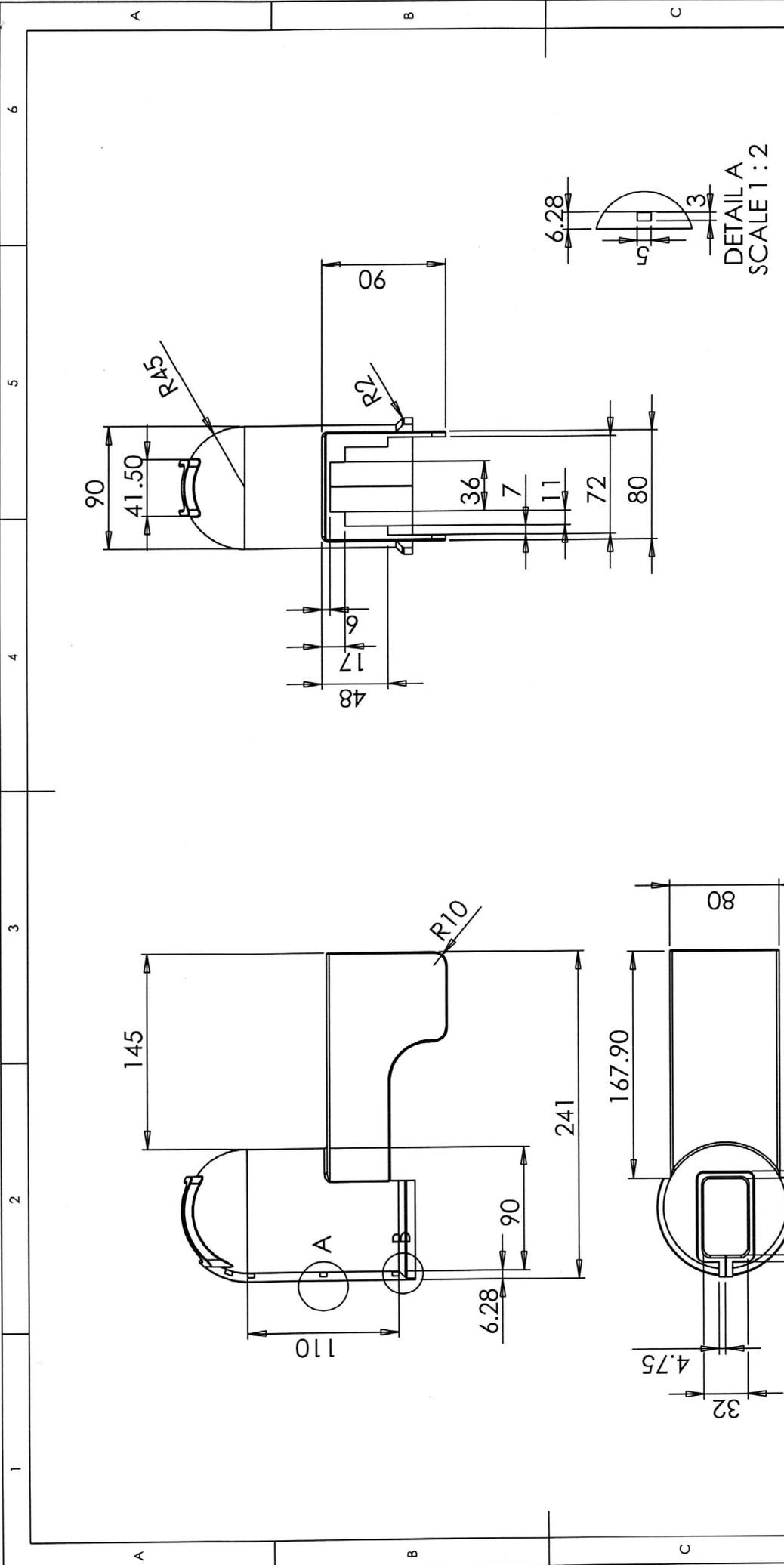
A4

DWG-A4-003

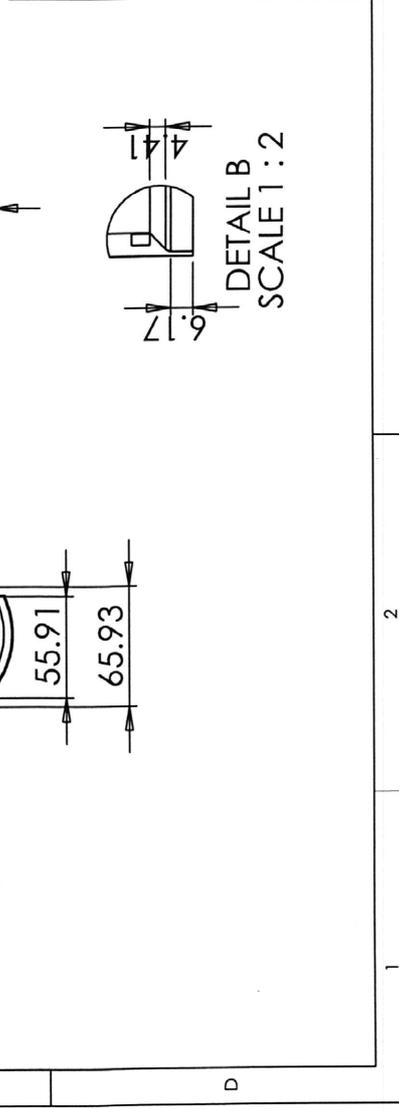
NR+EPDM

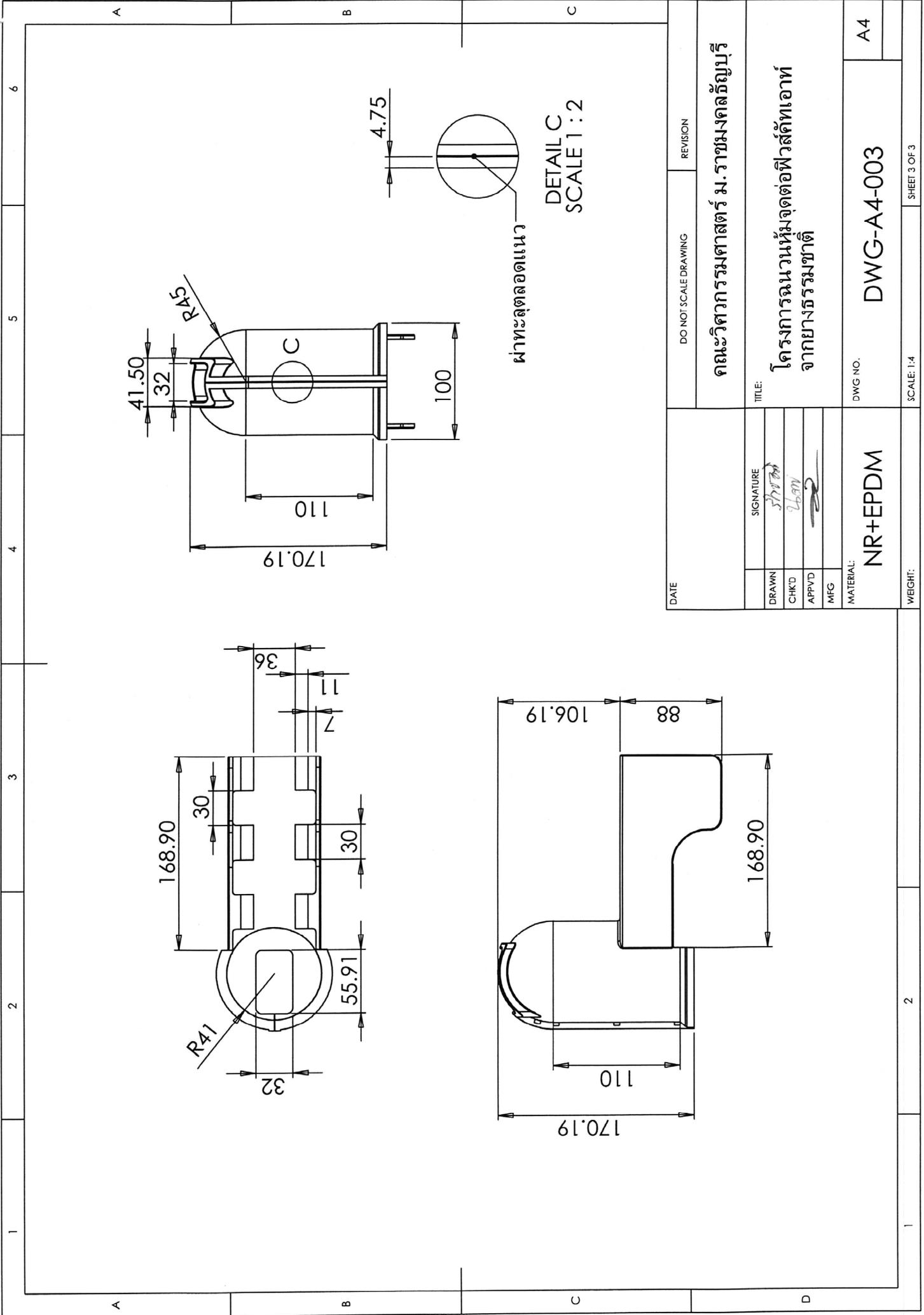
SCALE: 1:2, 1:5

SHEET 1 OF 3



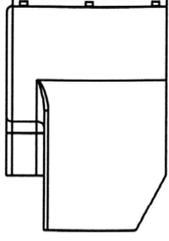
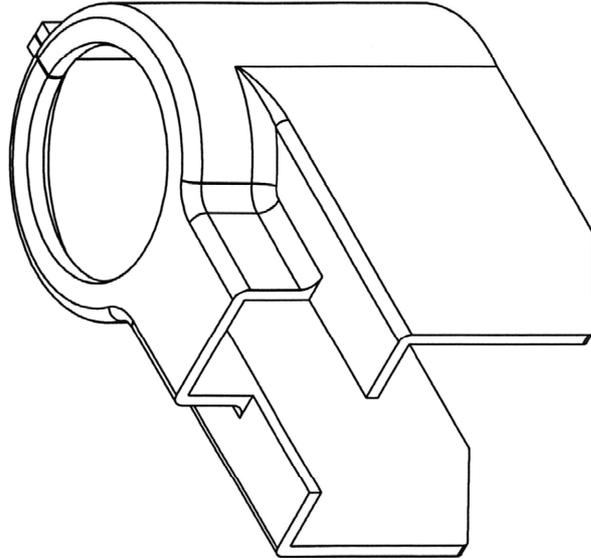
DATE	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.ราชภัฏจลัญญบุรี		
TITLE: โครงการจนวนุ่มจุดต่อฟิวส์ตัดเอาท์ จากยंत्रกรรมชาติ		
DRAWN	SIGNATURE	MATERIAL: NR+EPDM
CHKD		
APPVD		
MFG		
DWG NO. DWG-A4-003		SCALE: 1:4
A4		WEIGHT: 2



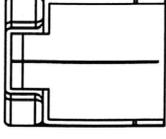


DATE	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
คณะกรรมการมาตรฐาน ม.ราชภัฏจลลบุรี		
TITLE:		
โครงการจนวนหันจุดต่อฟิวส์ที่เอาท์		
จากยางธรรมชาติ		
SIGNATURE		
DRAWN		
CHK'D		
APP'VD		
MFG		
MATERIAL:	NR+EPDM	
DWG NO.	DWG-A4-003	
SCALE: 1:4		
WEIGHT:		
	A4	
	SHEET 3 OF 3	

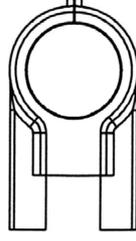
แบบจนวนหม้อจุดต่อพีวส์ตีทเอาท์ด้านล่าง



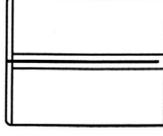
ด้านข้าง



ด้านหน้า



ด้านบน



ด้านหลัง

หมายเหตุ SCALE: 1:5

DATE

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.ราชภัฏจรัญบุรี

SIGNATURE

DRAWN

CHK'D

APP'VD

MFG

โครงการจนวนหม้อจุดต่อพีวส์ตีทเอาท์
จากยางธรรมชาติ

MATERIAL:

NR+EPDM

DWG NO.

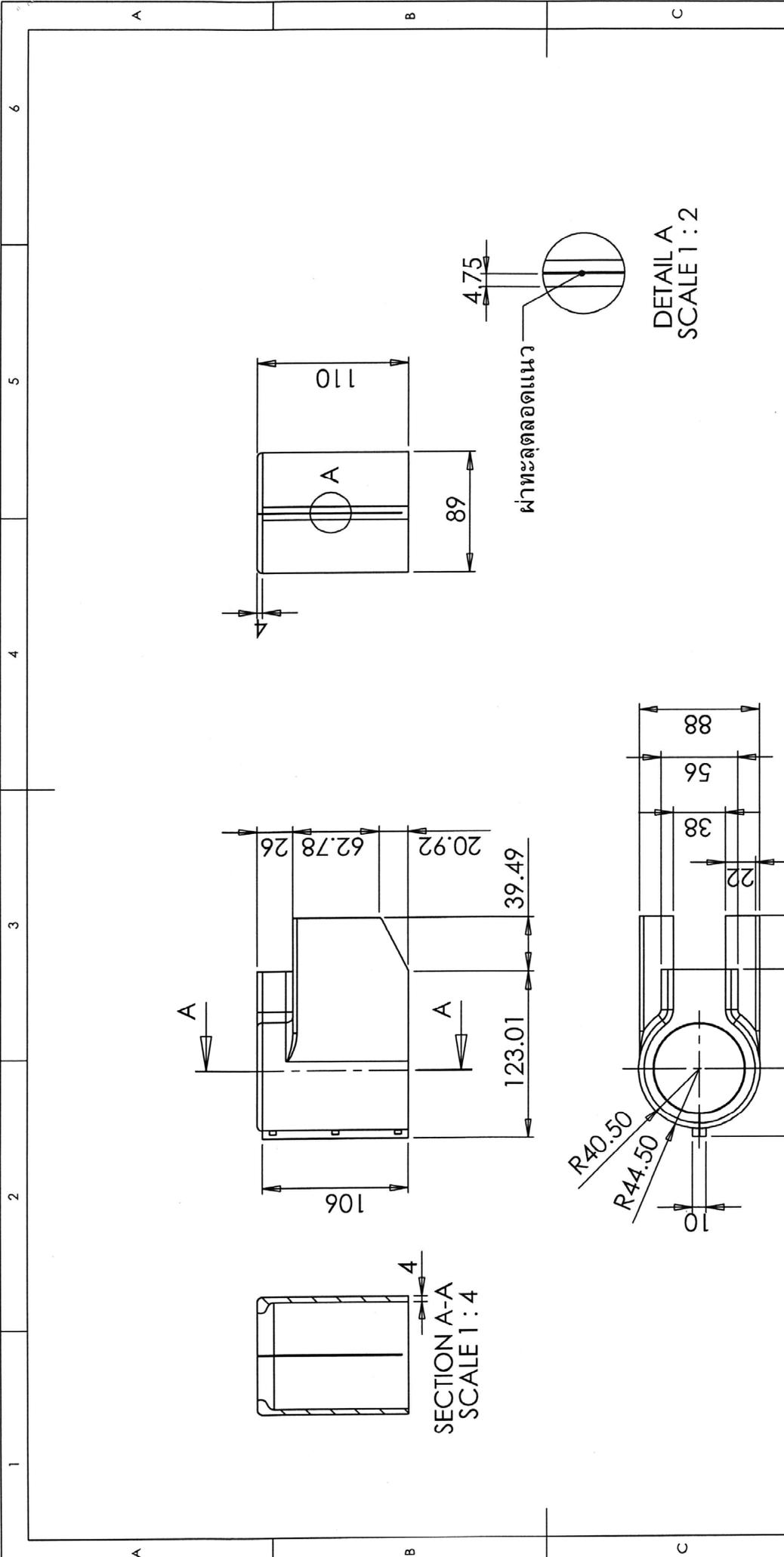
DWG-A4-004

A4

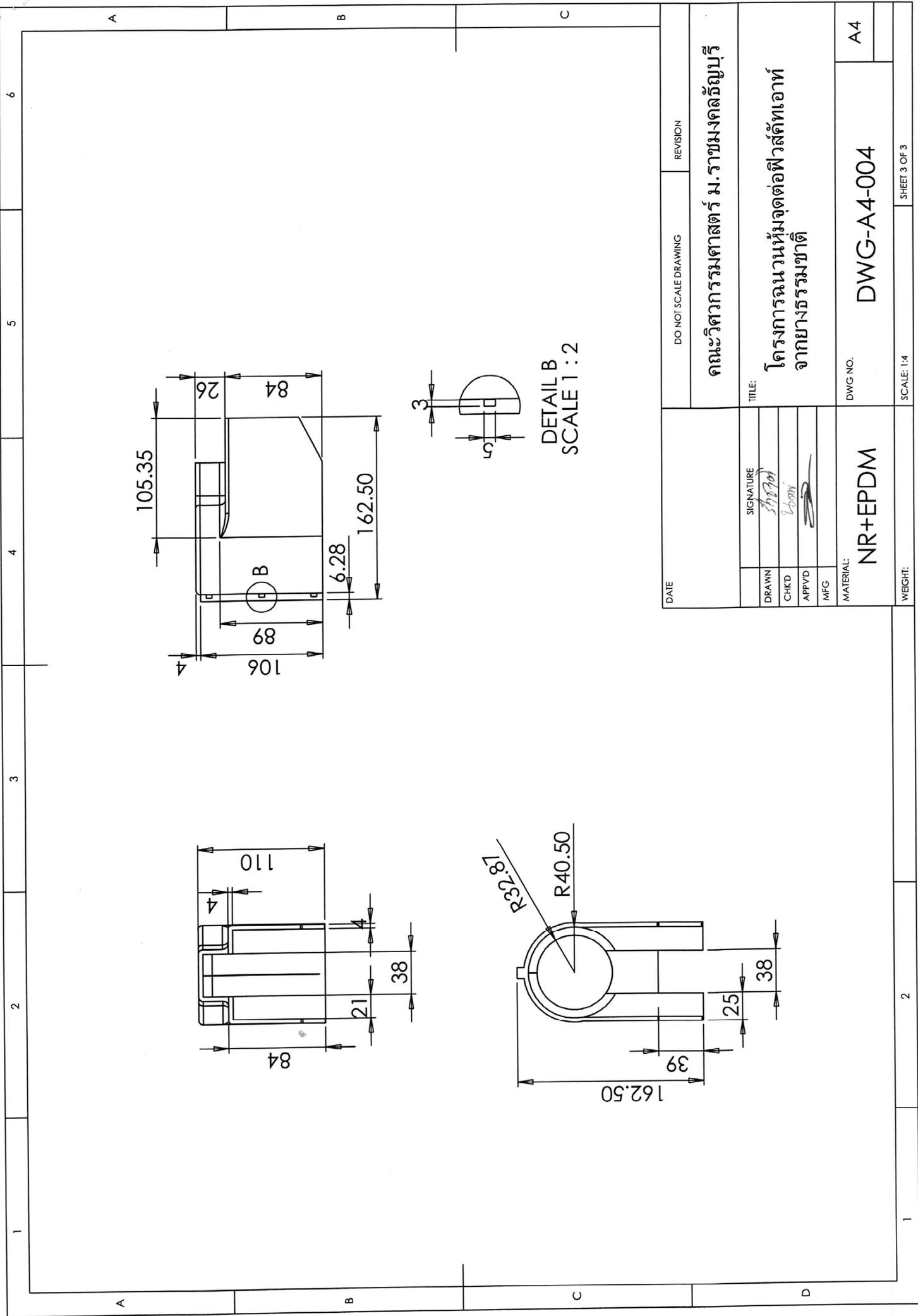
WEIGHT:

SCALE: 1:2, 1:5

SHEET 1 OF 3



DATE		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.ราชภัฏจลัญญบุรี					
TITLE:					
โครงการถนนห้ามจุดต่อไฟฟ้าสตัดท์เอชท์ จากยางธรรมชาติ					
SIGNATURE		DWG NO.			
DRAWN	CHK'D	APP'VD		MFG	
MATERIAL:		SCALE: 1:4			
NR+EPDM		DWG-A4-004		A4	
WEIGHT:		SHEET 2 OF 3			



DETAIL B
SCALE 1 : 2

DATE		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.ราชภัฏรำไพพรรณี					
TITLE:					
โครงการขนานหม้อจุดต่อไฟฟ้าสวิตซ์เอท					
จากยางธรรมชาติ					
DRAWN		SIGNATURE		DWG NO.	
CHK'D		<i>[Signature]</i>		NIR+EPDM	
APP'VD		<i>[Signature]</i>		DWG-A4-004	
MFG				A4	
MATERIAL:				SCALE: 1:4	
				SHEET 3 OF 3	