บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษา การทดสอบตัวนำไฟฟ้าด้านแรงต่ำตามมาตรฐาน IEC 60439 ที่เรียกว่า บัสดักส์ อุปกรณ์ชนิดนี้ทำหน้าที่เหมือนสายไฟ คือ ตัวนำไฟฟ้า (พลังงานไฟฟ้า) ไปยังโหลดหรือจุดต่างๆ ภายในระบบไฟฟ้า บัสดักส์จะมีพิกัดกระแสตั้งแต่ 400-6300A

3.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

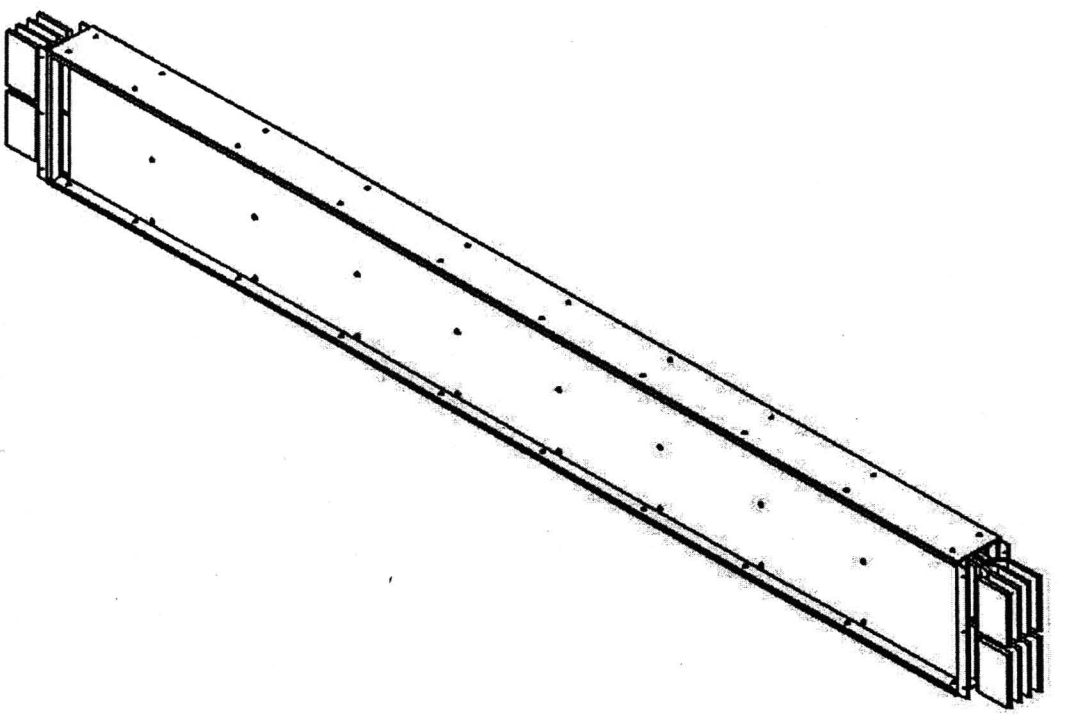
3.2 ออกแบบตัวนำไฟฟ้าด้านแรงต่ำ (บัสดักส์)

3.3 วิธีการทดลองและตารางบันทึกผล

3.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

บัสดักส์มีส่วนประกอบสำคัญ ดังรูป 3.1 ได้แก่

- ตัวนำ (Conductor)
- ฉนวน (Insulation)
- โครงสร้าง (Casing)



รูปที่ 3.1 บัสดักส์ (Busduct)

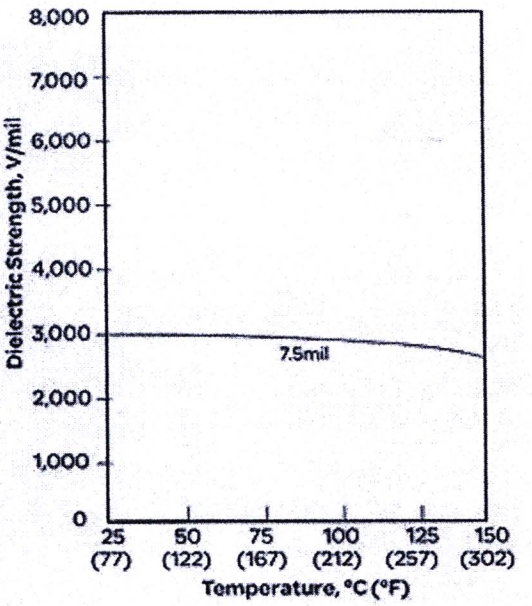
3.1.1 ตัวนำ (Conductor)

ตัวนำคือ ส่วนที่ใช้สำหรับการนำไฟฟ้าหรือพลังงานไฟฟ้าภายในบัสเวย์ ปัจจุบันโลหะที่นิยมใช้ทำตัวนำในบัสเวย์คือ ทองแดง หรือ อลูมิเนียม ซึ่งโลหะทั้งสองชนิดจะมีข้อดี และข้อเสียที่แตกต่าง เช่น ทองแดงมีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าที่สูงกว่าอลูมิเนียม แต่มีข้อเสีย คือ น้ำหนักที่มากกว่าในขณะที่อลูมิเนียมที่มีน้ำหนักเบากว่า แต่มีข้อเสียคือ สามารถเกิด Aluminum oxide ที่หน้าสัมผัสได้ หากมีการเคลือบหน้าสัมผัสที่ไม่ดีพอ หรือ Aluminum oxide จะทำให้การนำกระแสที่หน้าสัมผัสไม่ดีเกิด overheat ที่บริเวณหน้าสัมผัสได้ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันทางผู้ผลิตบัสเวย์ชั้นนำ ได้มีการปรับปรุงโดยใช้เทคโนโลยีในการผลิตโลหะชนิดพิเศษที่เรียกว่า Bi-metal มาเพื่อแก้ปัญหานี้

3.1.2 ฉนวน (Insulation)

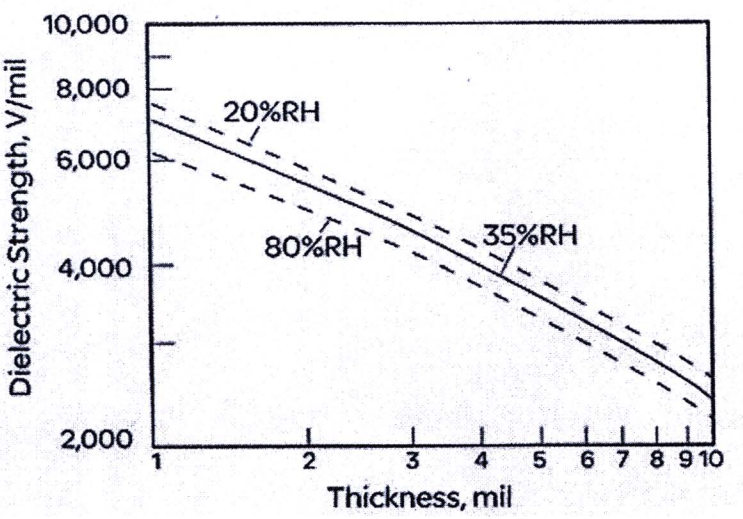
ฉนวนเป็นส่วนหน้าที่ในการป้องกันการสัมผัสระหว่างตัวนำของบัสเวย์ ในปัจจุบันฉนวนที่ใช้ในบัสเวย์มีอยู่หลายประเภท เช่น PVC, Mylar, Epoxy, Polypropylene หรือ Resin ซึ่งฉนวนแต่ละประเภทก็จะมีข้อดี-ข้อเสียแตกต่างกันไป

เมื่อพิจารณามาตรฐาน IEC 60439-2 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในการทดสอบบัสเวย์เป็นมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับในอย่างกว้างขวางในประเทศไทย ไม่ได้มีการระบุหรือแนะนำว่าฉนวนชนิดไหนดีกว่า หรือเหมาะสมสำหรับบัสเวย์แต่จะแนะนำให้ทดสอบบัสเวย์ตามข้อกำหนดต่าง ๆ หากบัสเวย์ของผู้ผลิตรายใดผ่านการทดสอบก็ถือว่ามีความปลอดภัยและเหมาะสมสำหรับการใช้งาน ซึ่งการทดสอบนี้ทางผู้ผลิตบัสเวย์จะส่งไปให้ศูนย์ทดสอบที่ได้รับการรับรอง เช่น ASTA หรือ KEMA เป็นต้น เป็นผู้ทดสอบโดยผู้ผลิตจะส่งเพียงชิ้นตัวอย่าง (Prototype) ไปเพื่อทดสอบและได้รับหนังสือรับรองเฉพาะชิ้นตัวอย่างนั้น ซึ่งการทดสอบแบบนี้เราเรียกว่า Type test อย่างไรก็ตาม เนื่องจากมักมีคำถามจากผู้ใช้งานอยู่เสมอ ๆ ว่า จะมีความมั่นใจได้อย่างไรว่าสินค้าที่ผลิตนำมาขายกับตัวอย่างที่ส่งไปทดสอบมีคุณสมบัติเหมือนกันหรือมีกระบวนการผลิตและควบคุมคุณภาพที่เหมือนกัน ศูนย์ทดสอบเหล่านี้จึงได้มีการออกหนังสือรับรองอีกประเภทหนึ่ง ซึ่งจะมีการทดสอบไม่เฉพาะแค่ชิ้นส่วนตัวอย่างเท่านั้น แต่จะครอบคลุมไปถึงกระบวนการผลิตของผู้ผลิตว่าสินค้าที่ผลิตออกมาทุกชิ้นมีคุณสมบัติเหมือนตัวอย่างที่ส่งไปทดสอบ ซึ่งตัวอย่างของหนังสือรับรองเหล่านั้นคือ UL Listed, ASTA Diamond หรือ KEMA-KEUR



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

รูปที่ 3.2 Dielectric strength vs temperature



รูปที่ 3.3 Dielectric strength changes with different relative

เมื่อพูดถึงวัสดุฉนวนของบัสเวย์ วัสดุประเภท Mylar เป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่มีผู้ผลิตบัสเวย์หลายราย นิยมนำมาใช้เป็นฉนวนและใช้มาอย่างต่อเนื่องยาวนาน (กว่า 40 ปี) จนได้รับการยอมรับและพิสูจน์ว่าเป็นวัสดุฉนวนอละเทคโนโลยีที่มีความเหมาะสมสำหรับบัสเวย์และไม่มีปัญหาในการใช้งาน

1. Mylar คืออะไร Mylar คือ ฟิล์ม Polyester ชนิดหนึ่งที่ทำมาจาก Polyethylene terepthalate มีโครงสร้างเป็น Polymer Mylar มีค่า dielectric strength ประมาณ 7,000 volt (ที่ Mylar หนา 1 mil) มีค่า tensil strength 23,000 psi มีคุณสมบัติที่ดีเยี่ยมต่อการทนการกัดกร่อนจากสารเคมี และทนต่อความชื้น นอกจากนั้น Mylar ยังคงรักษาความยืดหยุ่นของตนเองได้ดีตลอดช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ -60^{0}C ถึง 150^{0}C และไม่มีการแตกหักง่ายตลอดช่วงอายุการใช้งาน

2. ความน่าเชื่อของ Mylar ที่ได้รับการพิสูจน์ว่าเป็นหนึ่งในวัสดุฉนวนที่มีที่สุดและมีความน่าเชื่อถือมากที่สุด Mylar ถูกนำไปใช้เป็นฉนวนในหลากหลายอุปกรณ์ไม่เฉพาะแค่บัสเวย์ แต่ยังรวมไปถึงมอเตอร์ไฟฟ้าและหม้อแปลงอีกด้วย ผู้ผลิตมอเตอร์ไฟฟ้าได้ใช้ Mylar สำหรับเป็นฉนวนไฟฟ้ามากกว่า 40 ปี สำหรับบัสเวย์ ได้ใช้ Mylar ที่มีความหนา 7.5 mil หุ้มรอบตัวนำ 2 ชั้น และทุก ๆ ชิ้นส่วนหลังจากหุ้ม Mylar แล้วจะถูกทดสอบด้วย hi-potential test ที่ระดับแรงดัน 7,000 VDC (4,950 Vac, ซึ่งเป็นระดับแรงดันที่สูงกว่าการใช้งานจริงถึง 8 เท่า) เสมอก่อนจะทำการประกอบและก่อนส่งมอบให้ลูกค้า

คุณสมบัติทางไฟฟ้าของ Mylar

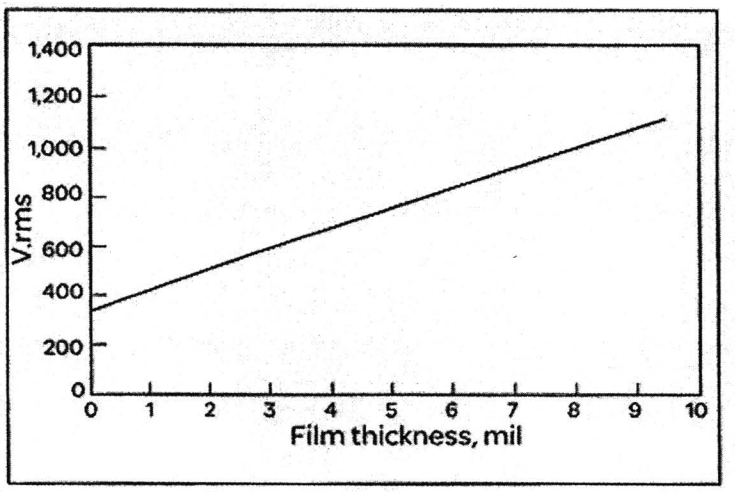
1. ค่า Dielectric Strength : สำหรับแผ่น Mylar ที่มีความหนา 7.5 mil จะมีค่า Dielectric strength ประมาณ 2.7 kV/mil ตามการทดสอบด้วยมาตรฐาน short term dielectric strength (ASTMD – 149) ทั้งนี้ค่า dielectric strength ของ Mylar จะลดลงเมื่อความหนาของแผ่นฟิล์มมากขึ้นเช่นเดียวกับวัสดุอื่น ๆ

2. Insulation resistance : แผ่น Mylar นี้มีคุณสมบัติเด่น อีกประการ คือ การมีค่าความเป็นฉนวนที่สูง แม้ว่าอุณหภูมิจะสูงขึ้นจะพบว่าค่า Dielectric strength ของ Mylar มีค่าเกือบคงที่ตลอดช่วงตั้งแต่ 25^{0}C ถึง 150^{0}C (ซึ่งสูงกว่าช่วงอุณหภูมิใช้งานของบัสเวย์)

3. Humidity : ผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นน้อยมากสำหรับวัสดุฉนวน Mylar ความสัมพันธ์ระหว่าง Relative Humidities และ Dielectric Strength ของฉนวนซึ่งจะเปลี่ยนแปลงประมาณ +/- 10 % เท่านั้นในสภาวะที่ความชื้นเปลี่ยนแปลงไป 20 %RH – 80 %RH

4. Corona Threshold Voltage : AC Corona เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการสึกกร่อนของวัสดุ แต่จะไม่มีผลสำหรับฉนวน Mylar ใน ที่แรงดันกระแสสลับที่ใช้งานมีค่าต่ำกว่า Corona Threshold Voltage จะเห็นว่ามีความหนา 7.5 mm นั้น แรงดันจะอยู่ประมาณ 800 VAC แต่แรงดันที่ใช้งานอยู่ที่ 400 VAC เท่านั้น

5. Arc Resistance : จากข้อมูลทดสอบ Arc Resistance ตาม ASTM D495 นั้น แสดงให้ทราบว่าฉนวน Mylar มีค่า Arc Resistance อยู่ในเกณฑ์ดี จากการทดสอบโดยการจับเวลา โดยการสังเกตเสียงหลังจากที่เกิดการ arc เกิดขึ้น จากพื้นผิวของวัสดุ พบว่าความต้องการต่อการ arc เป็นเวลา 73 – 94 วินาที



รูปที่ 3.4 AC Corona Threshold Voltage

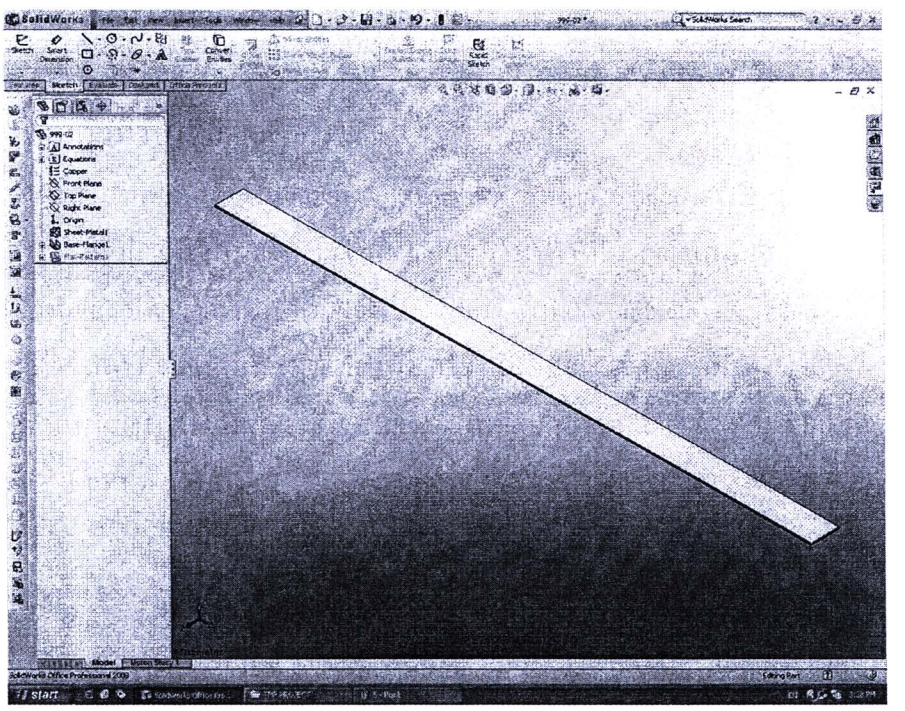
คุณสมบัติทางกลและอุณหภูมิ (Physical and Thermal Property)

Shear strength : ค่า shear strength ถูกวัดมาตาฐาน ASTM D-732 ซึ่งได้ผลว่า Mylar ขนาดความหนา 5 mil และ 10 mil มีค่า shear strength 15 และ 13.6 kg/mm^2 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าวัสดุฉนวนประเภท polymeric ทั่วไป Heat aging and Service life : จากข้อมูลของผู้ผลิต Mylar อย่าง DuPont แนะนำว่า Service temperature ของ Mylar อยู่ที่ประมาณ 150^0C ขณะที่อายุการใช้งานของ Mylar จะลดลงหากมีการใช้งานในลักษณะดังต่อไปนี้ (1) ใช้งานประเภทที่ต้องให้แผ่น Mylar มีการวางตัวอย่างผิดลักษณะ เช่น โค้งงออย่างผิดรูป (2) การใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่อันตรายมีความสกปรกสูงผิดปกติ และ (3) การใช้งานที่แผ่น Mylar ไม่มีการปกปิดจากอุปกรณ์อื่น ๆ สำหรับการใช้ Mylar ในบัสเวย์ เช่น l-Linell นั้นจะไม่มีการใช้แผ่น Mylar ตามลักษณะขั้นต้น จึงทำให้ไม่มีผลต่ออายุการใช้งานของแผ่น Mylar

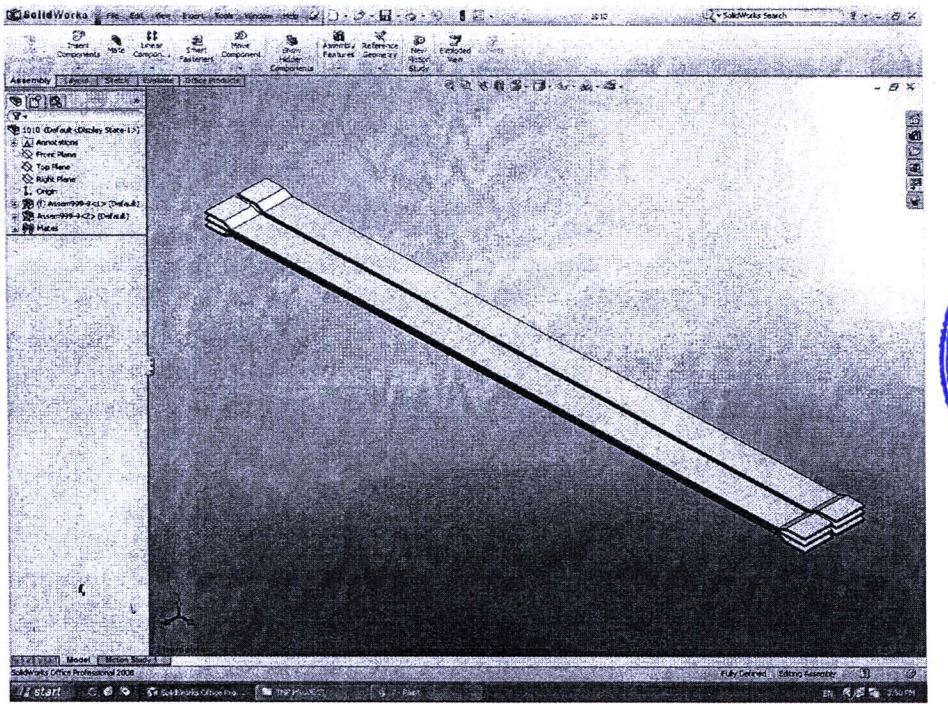
3.2 ออกแบบตัวนำไฟฟ้าด้านแรงต่ำ (บัสดักส์)

3.2.1 การออกแบบตัวนำ (Conductor)

ตัวนำ (Conductor) ที่นำมาออกแบบเป็นทองแดง (Copper) ซึ่งมีค่า Conductivity 98 % ตัวนำจะเป็นแผ่นทองแดงสำเร็จรูปแบบลักษณะตรงในการที่จะนำมาทำเป็นตัว บัสดักส์ จะต้องทำการออกแบบให้เป็นลักษณะรูปทรงของบัสดักส์ ซึ่งปลายของตัวนำ Conductor จะต้องเป็นจุดต่อ (Joint) จึงต้องมีการทำการออกแบบปลายของบัสบาร์ให้ลักษณะโค้งงอเพื่อรองรับการต่อจุดต่อ (Joint) ในการออกแบบบัสบาร์นี้ได้มีการใช้โปรแกรมการเขียนแบบ (Solid work) ทำการออกแบบบัสบาร์เป็นรูปทรง 3 มิติ



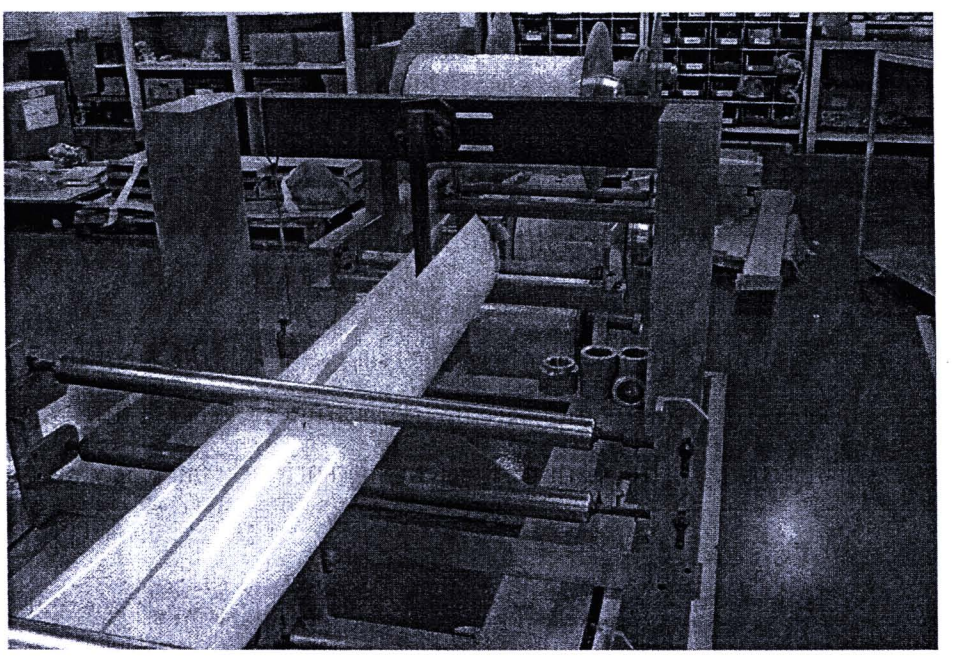
รูปที่ 3.5 โปรแกรมออกแบบ



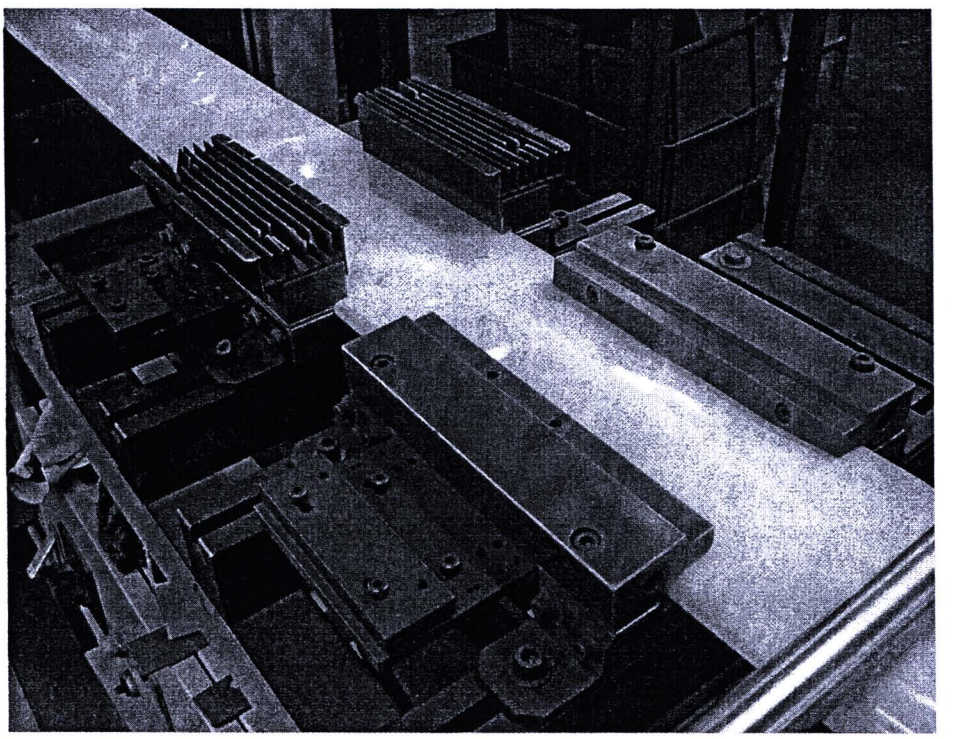
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

รูปที่ 3.6 แบบบัสบาร์ทองแดง

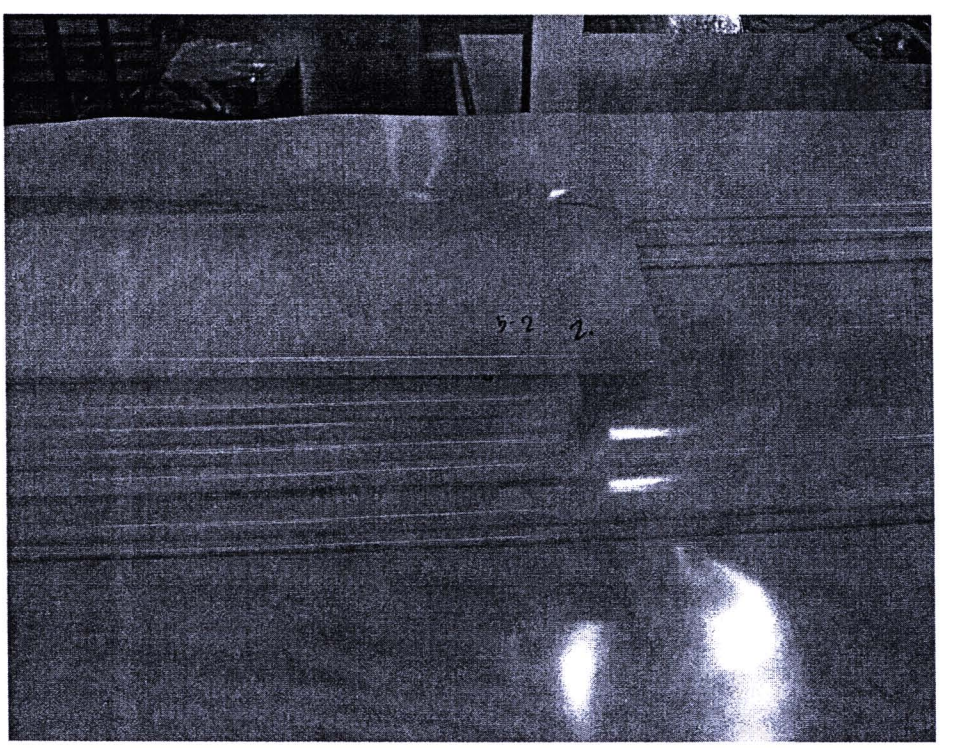
จากนั้นเมื่อได้แบบบัสบาร์ทองแดงในลักษณะที่ต้องการแล้ว ก็เริ่มเข้าสู่ขั้นตอนการผลิตเพื่อให้ได้บัสบาร์ทองแดงตามลักษระรูปทรงที่ออกแบบในโปรแกรม จากนั้นนำตัวนำ Conductor ไปหุ้มวัสดุฉนวนที่เรียกว่า Mylar Film โดยทำการตัด Mylar ให้มีลักษณะเท่ากับบัสบาร์ทองแดง เพื่อใช้ในการหุ้มบัสบาร์ทองแดง



รูปที่ 3.7 เครื่องตัด Myla

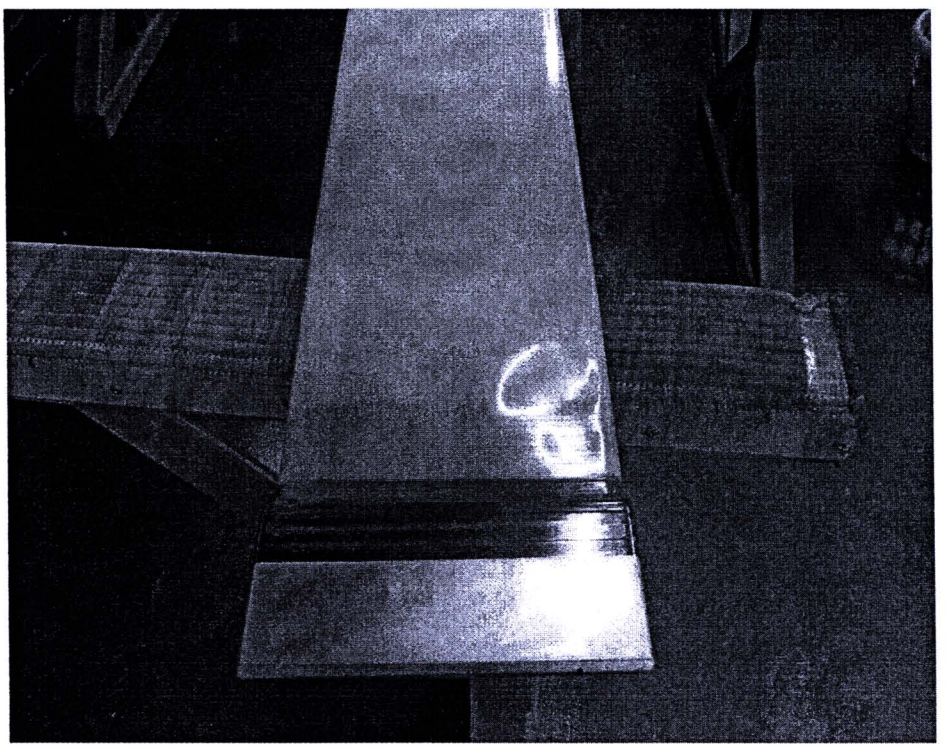


รูปที่ 3.8 เครื่องรีด Mylar



รูปที่ 3.9 Mylar Film

จากนั้นนำตัวนำ Conductor ไปหุ้มวัสดุฉนวน (Mylar film) เพื่อนำไปสู่กระบวนการผลิตประกอบบัสบาร์ในขั้นตอนต่อไป

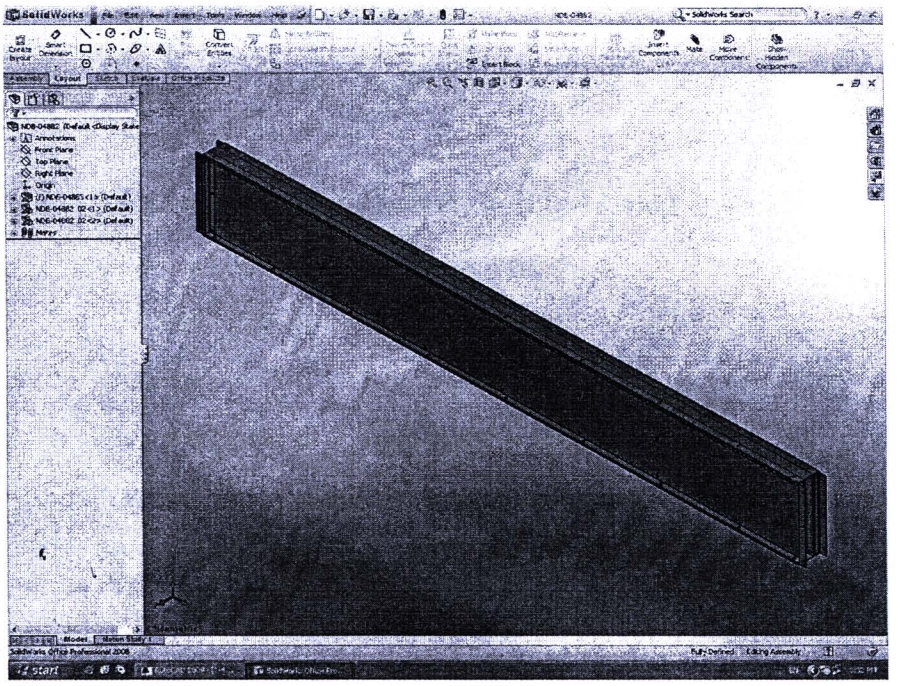


รูปที่ 3.10 ตัวนำหุ้มฉนวน

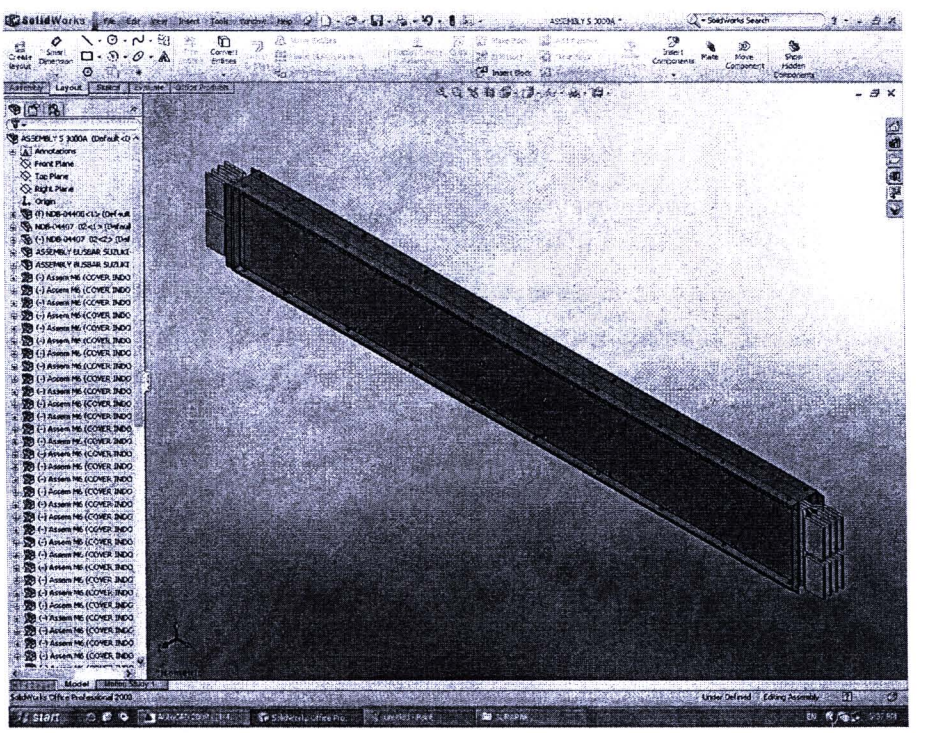
3.2.2 การออกแบบโครงสร้าง (Casing)

โครงสร้างภายในนอกของบัสดักส์เป็นวัสดุเหล็ก (Steel SECC) ความหนาอยู่ที่ 2.3 mm. ซึ่งความหนาของ โครงสร้างเหล็ก (Steel SECC) จะขึ้นอยู่กับ Rate current ของบัสดักส์ ในการออกแบบโครงสร้างนี้ได้ทำการใช้โปรแกรมพื้นฐาน (Solid work) ออกแบบโครงสร้างภายนอกของบัสดักส์

หลังจากทำการออกแบบ Casing ได้ตามขนาดที่ต้องการแล้ว เข้าสู่ขั้นตอนการผลิตรูปทรง Casing เพื่อนำไปประกอบเข้ากับตัวนำ Conductor เป็นบัสดักส์



รูปที่ 3.11 โปรแกรมการออกแบบ Casing



รูปที่ 3.12 ภาพประกอบตัวนำ Conductor

3.3 วิธีการทดลองและตารางบันทึกผล

การทดสอบตามมาตรฐาน IEC 60439-1 และ IEC 60439-2 โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้ดังต่อไปนี้

3.3.1 Power frequency withstand voltage and insulation resistance test.

1. Power frequency withstand voltage test : 2.5 kV

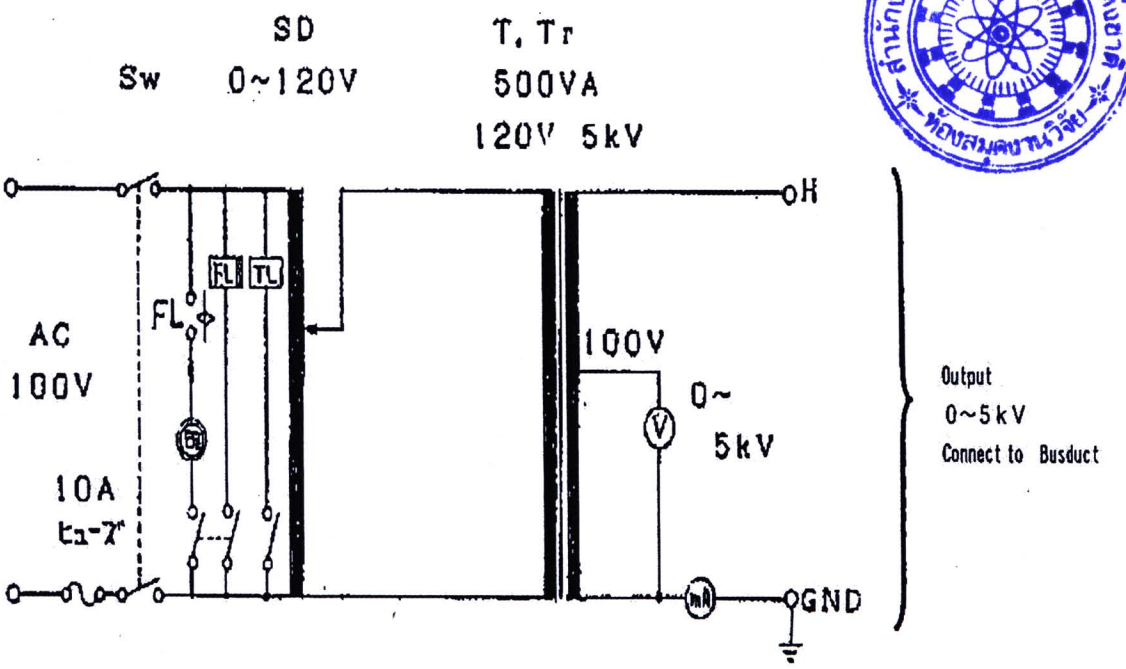
Test voltage will be rose for each test condition to the test value and maintained for 1 minitus.

2. Insulation resistance measurement : 500 V Megger

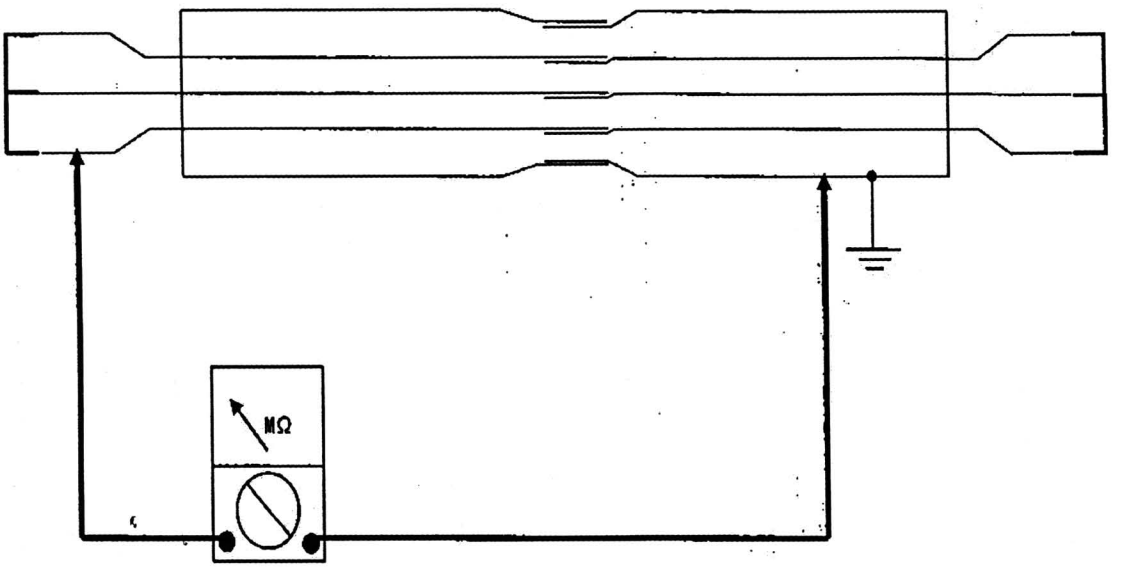
The test will be measured by insulation resistance meter before and after power frequency withstand voltage test.

3.3.2 Lightning impulse withstand voltage insulation resistance test.

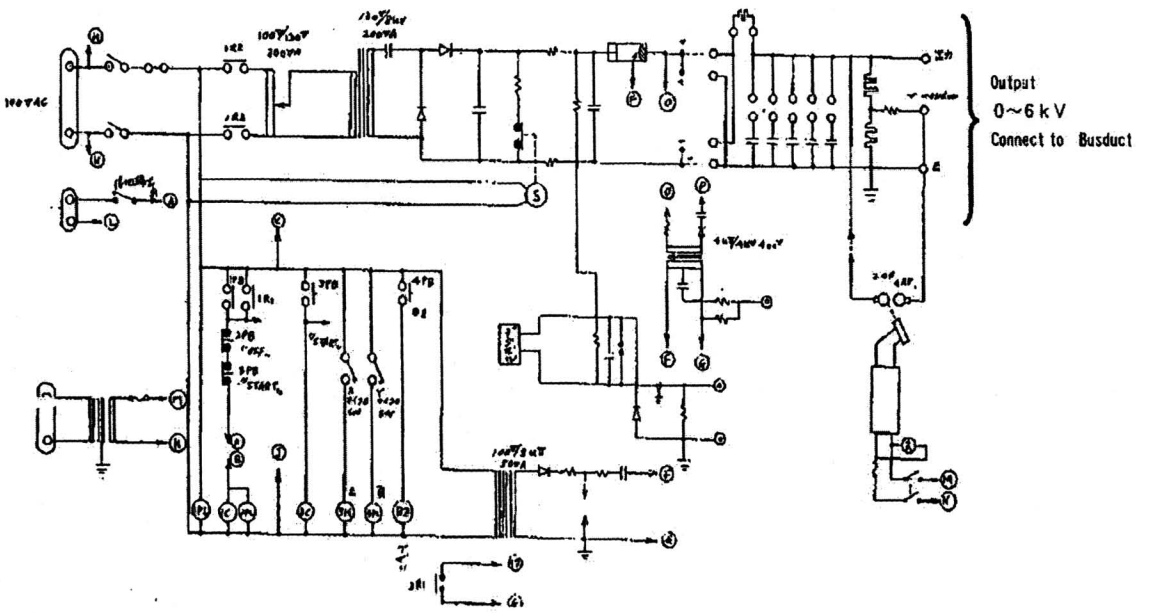
1. Lightning impulse withstand voltage test : 6kV,1.2*50 μS
2. Insulation resistance measurement : 500 V Megger



รูปที่ 3.13 วงจร Power frequency withstand voltage test (400V BUSDUCT)



รูปที่ 3.14 การวัด Insulation resistance measurement



รูปที่ 3.15 วงจร Lightning Impulse withstand voltage test (400v Busduct)

3.3.3 ตารางผลการทดลอง

ตารางที่ 3.1 ระบบและพิกัดที่ทดสอบ 3 เฟส 4 สาย 400 V 2500 A

Test Phase	Test voltage (kV)	Leak current (mA)	Criteria	result
All phase to earth	2.5 kV 50 Hz 1 min			
1 st-phase to earth	2.5 kV 50 Hz 1 min			
2 nd- phase to earth	2.5 kV 50 Hz 1 min			
3 rd-phase to earth	2.5 kV 50 Hz 1 min			
Neutral-phase to earth	2.5 kV 50 Hz 1 min			

ตารางที่ 3.2 ระบบและพิกัดที่ทดสอบ 3 เฟส 4 สาย 400 V 2500 A

Test Phase	Measurement Value (Before test)	Measurement Value (After test)	Criteria	result
All phase to earth				
1 st-phase to earth				
2 nd- phase to earth				
3 rd-phase to earth				
Neutral-phase to earth				

*Measured by DC 500V Megger

ตารางที่ 3.3 ระบบและพิกัดที่ทดสอบ 3 เฟส 4 สาย 400 V 1600 A

Test Phase	Test voltage (kV)	Leak current (mA)	Criteria	result
All phase to earth	2.5 kV 50 Hz 1 min			
1 st-phase to earth	2.5 kV 50 Hz 1 min			
2 nd- phase to earth	2.5 kV 50 Hz 1 min			
3 rd-phase to earth	2.5 kV 50 Hz 1 min			
Neutral-phase to earth	2.5 kV 50 Hz 1 min			

ตารางที่ 3.4 ระบบและพิกัดที่ทดสอบ 3 เฟส 4 สาย 400 V 1600 A

Test Phase	Measurement Value (Before test)	Measurement Value (After test)	Criteria	result
All phase to earth				
1 st-phase to earth				
2 nd- phase to earth				
3 rd-phase to earth				
Neutral-phase to earth				

*Measured by DC 500V Megger

ตารางที่ 3.5 ระบบและพิกัดที่ทดสอบ 3 เฟส 4 สาย 400 V 2500 A

Test Phase	Test voltage (kV)	Test times	Criteria	result
All phase to earth	6 kV	3		
1 st-phase to earth	6 kV	3		
2 nd- phase to earth	6 kV	3		
3 rd-phase to earth	6 kV	3		
Neutral-phase to earth	6 kV	3		

ตารางที่ 3.6 ระบบและพิกัดที่ทดสอบ 3 เฟส 4 สาย 400 V 2500 A

Test Phase	Measurement Value (Before test)	Measurement Value (After test)	Criteria	result
All phase to earth				
1 st-phase to earth				
2 nd- phase to earth				
3 rd-phase to earth				
Neutral-phase to earth				

*Measured by DC 500V Megger

ตารางที่ 3.7 ระบบและพิกัดที่ทดสอบ 3 เฟส 4 สาย 400 V 1600 A

Test Phase	Test voltage (kV)	Test times	Criteria	result
All phase to earth	6 kV	3		
1 st-phase to earth	6 kV	3		
2 nd- phase to earth	6 kV	3		
3 rd-phase to earth	6 kV	3		
Neutral-phase to earth	6 kV	3		

ตารางที่ 3.8 ระบบและพิกัดที่ทดสอบ 3 เฟส 4 สาย 400 V 1600 A

Test Phase	Measurement Value (Before test)	Measurement Value (After test)	Criteria	result
All phase to earth				
1 st-phase to earth				
2 nd- phase to earth				
3 rd-phase to earth				
Neutral-phase to earth				

*Measured by DC 500V Megger