



การพัฒนาเครื่องทำลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง



อนุชา ริกากรณ์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

ปีงบประมาณ 2562

พ.ศ. 2563

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัย การพัฒนาเครื่องทำลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง ได้รับทุนสนับสนุนโดยทุนภายใน มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ประจำปี พ.ศ. 2562 คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ที่ให้คำแนะนำข้อเสนอแนะในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ศูนย์จัดการพลังงานและวัสดุเหลือใช้ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ที่อำนวยความสะดวกในการใช้สถานที่ เครื่องมือ ในการสร้างประกอบ แก๊ซ เครื่องทำลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง

ท้ายนี้คณะผู้วิจัย หวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้คงจะเกิดประโยชน์สำหรับผู้สนใจการพัฒนาเครื่องทำลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง และนำความรู้หรือวิธีการที่ได้ ไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป

อนุชา ธิการณ  
ผู้วิจัย

## บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษา พัฒนาและทดสอบเครื่องทำลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาเครื่องเป็นส่วนๆดังนี้ 1.ส่วนจ่ายไฟฟ้าให้กับเครื่อง ใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับค่าได้ 1 เฟส ปรับระดับแรงดันได้ตั้งแต่ 0-220 โวลต์ รุ่น SD-12 ขนาด 3 KVA สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ 12 แอมแปร์ 2.ส่วนป้องกันไฟฟ้ารั่วลงกราวด์ด้วย เซอร์กิตเบรกเกอร์ ขนาด 30 แอมแปร์ มีฟิวส์ขนาด 5 แอมแปร์ ป้องกันไฟฟ้าลัดวงจร ใช้สัญญาณ ไฟสีแดงแจ้งเตือนขณะเครื่องทำงาน 3.การออกแบบระบบไฟฟ้าแรงดันสูง ผู้วิจัยได้ทำการคำนวณ และออกแบบใช้หม้อแปลงขนาด 1,500 VA ชนิดแกนเหล็กแบบเชลล์ ที่แรงดัน 220/2,500 โวลต์ ความถี่ 50 Hz ขดลวดปฐมภูมิใช้ลวดเบอร์ 12 AWG พัน 389 รอบ ขดลวดทุติยภูมิใช้ลวดเบอร์ 23 AWG พัน 4,416 รอบ ใช้ไม้ 5 ชนิดในการทดสอบคือไม้สัก, ไม้ทุเรียน, ไม้สน, ไม้ยางพาราและ ไม้แดง นำโซเดียมไบคาร์บอเนต ซึ่งมีคุณสมบัตินำไฟฟ้าได้ ซึ่งโซเดียมไบคาร์บอเนตเป็นสารประกอบ ทางเคมี แตกตัวเป็นไอออนได้ง่ายเมื่ออยู่ในตัวทำละลายที่เหมาะสม ผสมโซเดียมไบคาร์บอเนตกับ น้ำที่ความเข้มข้น โซเดียมไบคาร์บอเนต 1 ซ้อนโต๊ะ (15 มิลลิลิตร) ต่อน้ำ 1 แก้ว (250 มิลลิลิตร) ทา บริเวณที่จะทำลวดลายบนไม้ 1 รอบ ปล่อยให้แห้งพอสมควร ทาทัพอีกรอบก็สามารถเปิดเครื่องทำ ลวดลายบนไม้ได้ การทดสอบใช้ไม้ กว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตรหนา 0.8 เซนติเมตร จับ ขึ้นงานบริเวณหัวท้ายของไม้ด้วยตัวหัวจับที่ทำมาจากหัวจับลวดเชื่อม ทำการทดสอบกับไม้สัก ปรับ แรงดันไฟฟ้า 791 โวลต์ 0.05 แอมแปร์ สามารถเกิดการเผาไหม้บนไม้ได้ การลุกไหม้ของไม้เกิดขึ้น น้อยกว่าเครื่องที่ไม่ได้ทำการปรับปรุง ผลการทดสอบพบว่าเครื่องสามารถทำงานได้ดีในไม้เนื้ออ่อน ถ้าเป็นไม้เนื้อแข็งจะต้องใช้แรงดันและกระแสไฟฟ้าในการสร้างลวดลายเพิ่มมากขึ้น พบว่าการขาด ของฟิวส์ลดลงเมื่อเทียบกับการต่อแบบเดิม การกินกระแสไฟฟ้าของเครื่องลดลง สามารถปรับแต่ง ระดับความแรงการไหม้ของไม้ตามที่ต้องการได้ อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นมีน้ำหนักรวมประมาณ 25 กิโลกรัม จากการทดสอบเครื่องทำลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูงที่ได้พัฒนาขึ้น เครื่องสามารถใช้งานได้จริง

## Abstract

This research aims to study, develop, and test a machine to make patterns on wood using high-voltage alternating current. The researcher has developed the machine into parts as follows:

1. The electrical supply to the machine: Using a 1-phase variable transformer, can adjust the voltage from 0-220 volts, SD-12, size 3 KVA, can supply the maximum current of 12 ampere.
2. Leakage protection to the ground: With 30 ampere circuit-breaker with a 5 ampere fuse with short circuit protection use a red light to alert you while the machine is working.
3. The design of high-voltage electrical systems: the researcher calculated and designed the use of a 1500 VA type transformer with a shell-type iron core at a voltage of 220 / 2,500 volts, frequency of 50 Hz. The primary coil uses wire 12 AWG 389, the secondary coil uses wire 23 AWG 4,416. The rounds used 5 kinds of wood for testing, which were teak, durian, pine, rubber and red. Lead sodium bicarbonate which has electrical conductivity. sodium bicarbonate is a chemical compound can easily dissolve into ions when in suitable solvents mix sodium bicarbonate with concentrated water. 1 tablespoon (15 milliliters) of sodium bicarbonate per 1 cup of water (250 milliliters). Apply the area to the pattern on the wood 1 time. Allow to dry sufficiently. Can apply the pattern on the wood again. Test using wood 10 cm wide, 20 cm long, 0.8 cm thick, hold the workpiece around the end of the wood with a clamp. Tested with teak at low values. Adjusting the voltage to 791 volts, 0.05 amperes will burn on the wood. The combustion of wood occurred less than the machine that did not improve. The test results show that the machine can work well in softwood. If it is hardwood, more pressure and electricity will be needed to create the pattern. Found that the lack of a fuse is reduced compared to the traditional connection. The power consumption of the machine is reduced. Can adjust the degree of wood burning strength as you want. The develop device has a total weight of about 25 kilograms, based on the test of the wood patterner using high-voltage alternating current. Developed The machine can actually be used.

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญ (ต่อ)	จ
สารบัญภาพ	ฉ
สารบัญภาพ (ต่อ)	ช
สารบัญตาราง	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแม่เหล็กไฟฟ้า	6
2.2 กระแสไฟฟ้าทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก	7
2.3 แรงเคลื่อนที่ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นได้อย่างไร	9
2.4 กฎของฟาราเดย์ เกี่ยวกับการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า	10
2.5 ทิศทางของแรงเคลื่อนและกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	11
2.6 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	12
2.7 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับหม้อแปลงไฟฟ้า	13
2.8 หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงเมื่อไม่มีโหลด	21
2.9 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับอุปกรณ์ป้องกัน	23
2.10 การต่อลงดิน	26
2.11 การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า	28
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 ส่วนจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ	32

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2 ระบบป้องกันอันตรายของเครื่องและผู้ใช้งาน	33
3.3 ส่วนสร้างไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง	34
3.4 ส่วนของการทำลวดลายบนไม้	36
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1 ผลการทดสอบเครื่องสร้างลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง	40
4.2 เครื่องสร้างลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูงที่พัฒนาขึ้น	44
4.3 ส่วนสร้างและประกอบเครื่อง	46
บทที่ 5 สรุปผลการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิเคราะห์	47
5.2 ข้อเสนอแนะ	48
เอกสารอ้างอิง	49
ภาคผนวก	51

## สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
ภาพที่ 2.1 วางตัวนำไฟฟ้าที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไว้ด้านบนของเข็มทิศ	7
ภาพที่ 2.2 วางตัวนำไฟฟ้าที่มีกระแสไหลผ่านไว้ด้านบนและตัวตั้งฉากกับเข็มทิศ	8
ภาพที่ 2.3 ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวด	8
ภาพที่ 2.4 แรงแเคลื่อนไฟฟ้าเกิดขึ้นเมื่อผลักแม่เหล็กเข้าหาคอยล์	9
ภาพที่ 2.5 แรงแเคลื่อนไฟฟ้าเกิดขึ้นเมื่อผลักแม่เหล็กออกจากคอยล์	9
ภาพที่ 2.6 แรงแเคลื่อนไฟฟ้าเกิดขึ้นเมื่อตัวนำมีการเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก	10
ภาพที่ 2.7 การหาทิศทางของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	11
ภาพที่ 2.8 ตัวนำเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็ก	12
ภาพที่ 2.9 โครงสร้างเบื้องต้นของหม้อแปลงไฟฟ้า	13
ภาพที่ 2.10 การพันขดลวดและลักษณะของแกนเหล็กแบบคอร์	15
ภาพที่ 2.11 (ก) การพันขดลวดที่แกนกลางของแกนเหล็กแบบเชลล์	15
ภาพที่ 2.11 (ข) ลักษณะของแกนเหล็กแบบเชลล์	16
ภาพที่ 2.12 การพันขดลวดและลักษณะของแกนเหล็กแบบเฮช	16
ภาพที่ 2.13 การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าอุดมคติ เมื่อไม่มีโหลด	17
ภาพที่ 2.14 หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติเมื่อมีโหลด	19
ภาพที่ 2.15 วงจรสมมูลย์และแผนภาพเฟสเซอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้า ในอุดมคติเมื่อมีโหลด	19
ภาพที่ 2.16 วงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติเมื่อย้ายมาทางด้านปฐมภูมิ	20
ภาพที่ 2.17 หม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลด	21
ภาพที่ 2.18 พิวส์ใหม่และการตัดวงจรโดยพิวส์	24
ภาพที่ 2.19 คาร์ทริดพิวส์	25
ภาพที่ 2.20 เซฟตี้สวิตช์	26
ภาพที่ 2.21 การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้า	27
ภาพที่ 2.22 การต่อลงดินขอระบบไฟฟ้า 1 เฟสและ 3 เฟส	28
ภาพที่ 2.23 การเกิดไฟฟ้าดูดเมื่อไม่มีการต่อลงดินในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า	29

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
ภาพที่ 2.24 การต่อลงดินในส่วนของอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อป้องกันไฟฟ้ารั่ว	29
ภาพที่ 2.25 ส่วนประกอบของระบบการต่อลงดิน	30
ภาพที่ 3.1 เครื่องวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า	32
ภาพที่ 3.2 เครื่องปรับแรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า	33
ภาพที่ 3.3 อุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้ารั่วและไฟฟ้าลัดวงจร	33
ภาพที่ 3.4 วงจรของเครื่องสร้างลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง	36
ภาพที่ 3.5 แสดงเครื่องสร้างลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง	37
ภาพที่ 3.6 แสดงการทดสอบเครื่องและหาไซเดียมไบคาร์บอเนตบริเวณผิวไม้	37
ภาพที่ 3.7 การทดสอบเครื่องด้วยการเปิดสวิตช์ต่อวงจรให้เครื่องทำงาน	37
ภาพที่ 3.8 แสดงการทดสอบเครื่องโดยไม่ผ่านอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น	38
ภาพที่ 3.9 แสดงการทดสอบเครื่องโดยผ่านอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น	38
ภาพที่ 4.1 ชุดจ่ายไฟฟ้าให้เครื่องทำลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง	44
ภาพที่ 4.2 แสดงชุดป้องกันอันตรายจากตัวเครื่องและผู้ปฏิบัติงาน	45
ภาพที่ 4.3 วงจรการต่อเครื่องทำลายไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูงทั้งหมด	45
ภาพที่ 4.4 การต่อเครื่องทำลายไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูงทั้งหมด	46
ภาพที่ 4.5 แสดงเครื่องที่ประกอบสำเร็จ	46

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการเกิดลวดลายบนไม้สัก	40
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการเกิดลวดลายบนไม้ทุเรียน	41
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการเกิดลวดลายบนไม้สน	41
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบการเกิดลวดลายบนไม้ยางพารา	42
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบการเกิดลวดลายบนไม้แดง	42
ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในการทำลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูงบนไม้ชนิดต่างๆ	43



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการทำลวดลายบนไม้ มีการทำที่หลากหลายรูปแบบแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งานและความต้องการของผู้ใช้งาน จากที่ได้สำรวจการทำลวดลายบนไม้แบบต่าง ๆ จะมีการทำที่นิยมกันทั่วหลายแตกต่างกันไป เช่น การเจาะร่อง การแกะสลัก การแกะเป็นลายเส้น การแกะเป็นรูปร่างนูน การใช้จี้ด้วยเหล็กร้อน การเผาเหล็กให้ร้อนนำไปทาบนไม้ให้เกิดลวดลาย การใช้ไฟติดแก๊สแล้วเผา การใช้หัวแรงไฟฟ้าวาด ปัจจุบันใช้เครื่องมือและเครื่องจักรมาช่วยในการทำลวดลายให้ได้ลวดลายตามต้องการ ในการสร้างสรรค์งานหัตถกรรมก็ได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้นจากคนในประเทศและชาวต่างชาติ ลวดลายนับเป็นผลงานของมนุษย์ที่แฝงไว้ด้วยศิลปวัฒนธรรมอันประณีตละเอียดอ่อน บ่งบอกถึงความแปลกใหม่ที่สะสมจากประสบการณ์ วัฒนธรรม สิ่งแวดล้อม อันก่อให้เกิดเอกลักษณ์ของชุมชนเชื้อชาติของบุคคลในแต่ละสังคม และเป็นสื่อที่สามารถศึกษาถึงวิถีชีวิตและวัฒนธรรม ประเพณี ในเชิงประวัติศาสตร์ได้อีกทางหนึ่ง ลวดลายที่ได้รับการออกแบบโดยนักออกแบบที่มีความแตกต่างกันในเรื่องเชื้อชาติ ภาษา วัฒนธรรม ประเพณี ย่อมมีคุณลักษณะของลวดลายที่แตกต่างกัน หรือแม้แต่วลวดลายในแต่ละช่วงเวลาแต่ละยุคแต่ละสมัย ย่อมมีความแตกต่างกันตามสมัยนิยมนั้น ๆ การออกแบบลวดลายจึงมีความสำคัญในชีวิตประจำวัน โดยเข้าไปเป็นส่วนประกอบในการสร้างงานแทบทุกประเภท โดยเฉพาะการออกแบบผลิตภัณฑ์ สิ่งของเครื่องใช้ต่างๆ เช่น การออกแบบลวดลายเสื้อผ้าเครื่องแต่งกาย ลวดลายทอ จักสาน ลวดลายบนภาชนะ ลวดลายบนเครื่องมือและอุปกรณ์ เป็นต้น

ดังนั้นลวดลายจึงเป็นตัวตกแต่งที่สำคัญ ถูกนำมาคิดสร้างสรรค์เพื่อให้เกิดความเหมาะสมลงตัวสวยงาม มีการตกแต่งงานสิ่งก่อสร้าง ที่พักอาศัย สถานที่พักผ่อนขนาดเล็กและใหญ่ การตกแต่งงานหัตถกรรมเครื่องใช้ต่างๆ การศึกษาและฝึกปฏิบัติการทำลวดลายจึงมีความจำเป็นเพื่อสนองความต้องการ ในการนำมาประกอบผลงานบางชิ้นที่ต้องการเสริมการตกแต่งให้มีความสวยงาม จากประเด็นดังกล่าวผู้วิจัยเล็งเห็นความสำคัญของความแปลกใหม่สวยงามในลวดลายที่เกิดขึ้นบนไม้ ที่มีลวดลายที่ไม่ซ้ำกันมีความสวยงามวิจิตร จะเห็นได้ว่าหากเราเป็นผู้บริโภคและต้องตัดสินใจเลือกซื้อสินค้าสิ่งของเครื่องใช้ในชีวิตประจำวัน ลวดลายเป็นปัจจัยหนึ่ง ที่ผู้บริโภคใช้พิจารณาตัดสินใจตามรสนิยม ความชอบ ค่านิยม และสมัยนิยม ความสวยงาม ฉะนั้นลวดลายจึงมีส่วนสำคัญในธุรกิจจำหน่าย โดยเฉพาะสินค้าที่มีการแข่งขันสูง หากได้ทำการศึกษาข้อมูลการออกแบบลวดลาย และสร้างงานให้กลุ่มเป้าหมายหรือผู้ใช้เกิดความพึงพอใจ ชื่นชอบ ก็สามารถที่จะใช้ประกอบอาชีพอิสระได้อาชีพหนึ่ง เพราะเป็นงานอาชีพที่ไม่ต้องลงทุนมาก ลักษณะงาน

ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ลวดลายสามารถปรับใช้กับผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้มากมาย เป็นอาชีพหรืออาชีพเสริม สำหรับผู้ที่มีงานประจำได้เป็นอย่างดี รวมทั้งพิจารณาเห็นว่าควรจะทำการศึกษาและออกแบบชุดอุปกรณ์สร้างลวดลายบนพื้นผิวประเภทไม้ ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง เพื่อใช้ในงานตกแต่ง ลวดลายบนไม้ให้มีความสวยงาม หลากหลาย เพื่อให้มีทางเลือกอีกทางเลือกหนึ่งที่สวยงาม เป็นเอกลักษณ์ การทำลวดลายบนไม้ด้วยกระแสไฟฟ้าสลับแรงดันสูง ในปัจจุบันยังไม่ได้ทำแพร่หลายเท่าใดนัก เนื่องจากผู้ทำขาดความรู้ ความเข้าใจ บางครั้งรับข้อมูลมาผิด ๆ แล้วนำมาถ่ายทอดบอกต่อกัน

จากปัญหาดังกล่าว ทำให้เกิดแนวคิดที่จะประดิษฐ์เครื่องสร้างลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูงขึ้น เพื่อให้สามารถทำลวดลายไม้ให้สวยงามและควบคุมไม่ให้เกิดการลุกไหม้ที่รวดเร็วเกินไป ตลอดจนสามารถนำไปใช้งานได้ง่าย ปลอดภัยกับผู้ใช้งาน ทำให้เกิดงานสร้างสรรค์ที่สวยงาม เพื่อเป็นการดึงดูดสร้างความสนใจกับผู้บริโภค สร้างจุดเด่นที่แตกต่างให้กับสินค้า สร้างมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากไม้ มีลวดลายไม้ที่สวยงามและแปลกใหม่

## 1.2 การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 9 และกลุ่มคลัสเตอร์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราภาคตะวันออก (Eastern Parawood Product Cluster – EPPC) ได้ทำการศึกษา ทดลองปฏิบัติ และพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ ภายใต้หัวข้อเรื่อง “ Wood Waste Utilization for EPPC ” โดยมุ่งเน้นหลักการถ่ายทอดการผลิต “แผ่นลามิเนต” ที่ทำจากเศษหัวไม้ และขี้เลื่อย ซึ่งเป็นสิ่งของเหลือใช้จากกระบวนการผลิต ในโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์จากไม้ยางพาราให้สอดคล้องกับความต้องการของตลาด รวมทั้งผลิตผลิตภัณฑ์ต้นแบบ เพื่อการจำหน่ายเชิงพาณิชย์ในอนาคตต่อไป ซึ่งประโยชน์ที่ได้รับนอกจากจะเป็นการนำเศษวัสดุไม้เหลือใช้จากกระบวนการผลิตในโรงงานมาผลิตเป็นวัสดุทดแทนไม้แล้ว ยังถือเป็นการรักษาสีสิ่งแวดล้อมด้วยการสร้างมูลค่าให้กับขยะที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ รวมถึงเป็นการส่งเสริมให้เกิดการพัฒนานวัตกรรมผลิตภัณฑ์ใหม่ของกลุ่มสมาชิกคลัสเตอร์ฯ อีกด้วย

ปาณิสรา ป่องสุพรรณ, (2558) ได้ทำการศึกษาโครงการสถาบันส่งเสริมอาชีพช่างไม้ มีความมุ่งหมายที่จะศึกษาถึงการออกแบบอาคาร ประเภทสถาบันการศึกษาเกี่ยวกับงานไม้ เพื่อเป็นการแก้ปัญหาการขาดแคลนงานช่างฝีมือด้านงานไม้ และเพื่อเป็นการสืบสานศิลปวัฒนธรรมด้านงานไม้ในรูปแบบแขนงต่าง ๆ ให้คงอยู่สืบต่อไปยังรุ่นสู่รุ่น ซึ่งในปัจจุบันจะเห็นได้ว่าจำนวนช่างฝีมือด้านงานไม้มีจำนวนลดน้อยลงเนื่องจากขาดการสานต่อจากคนรุ่นหลัง เพราะในปัจจุบันเมืองมีการพัฒนามากขึ้น เศรษฐกิจก็เจริญและเกิดอาชีพใหม่ ๆ มากมาย จึงทำให้คนหันไปสนใจการทำงานในรูปแบบใหม่มากขึ้นคนจึงมีสนใจในงานด้านฝีมือลดน้อยลง แต่ในทางกลับกันปัจจุบันมีความนิยมด้านงานไม้เพิ่มมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นคนภายในประเทศเองหรือไม่ว่าจะเป็นนักท่องเที่ยวที่มีความชื่นชอบด้านงานศิลปวัฒนธรรมงานไม้ ดังนั้นจึงต้องมีการส่งเสริมเพื่อให้เกิดความสนใจ และมีทักษะ

ความรู้ความเข้าใจเกิดการพัฒนาต่อยอดด้านความคิด จนนำไปสู่การพัฒนาด้านนวัตกรรมใหม่ ๆ ขึ้น เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับชิ้นงาน อีกทั้งเป็นการรองรับด้านความต้องการด้านงานไม้ที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคต อีกด้วยและยังเป็นการยกระดับในเรื่องงานไม้ให้แก่ช่างฝีมือไทยอีกด้วย

ประทีภ คูนทอง ได้ทำการศึกษาทดลองหัตถกรรมเครื่องจักสานพื้นบ้านท้องถิ่น เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนาลวดลายบนเครื่องเรือน : กรณีศึกษา กลุ่มหัตถกรรมเครื่องจักสาน บ้านหนองขอน อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี จากการศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบลวดลายจากหัตถกรรมเครื่องจักสานพื้นบ้านท้องถิ่น ประเภทเครื่องใช้ภายในบ้านพบว่าลวดลายจากหัตถกรรมเครื่องจักสานประเภทเครื่องใช้ภายในบ้าน ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการสำรวจ พบว่ามีลวดลายที่ได้รับความนิยมและน่าสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้ มีจำนวน 17 ลวดลาย คือ

- |                  |                 |
|------------------|-----------------|
| 1.ลายสามชั้นลง   | 2.ลายดีหล่ม     |
| 3.ลายครุ         | 4.ลายครูป       |
| 5.ลายกัน         | 6.ลายสาม        |
| 7.ลายกระดั่งฝัด  | 8.ลายตาแหลวมืด  |
| 9.ลายสองชั้นลง   | 10.ลายหน่วย     |
| 11.ลายตาแหลว     | 12.ลายสอง       |
| 13.ลายขอ         | 14.ลายข้างกระแต |
| 15.ลายปลา        | 16.ลายชิต       |
| 17.ลายดอกผักแว่น |                 |

โดยในการวิจัยครั้งนี้ เป็นการสร้างแนวทางในการออกแบบและเพิ่มมูลค่าของงานจักสานให้เป็นที่รู้จักและเพิ่มรายได้แก่ชุมชนท้องถิ่น กลุ่มผู้ผลิตในแต่ละชุมชนสามารถนำแนวทางในการประยุกต์ใช้และพัฒนาเข้ากับงานของตน สามารถต่อยอดใช้กับวัสดุสมัยใหม่ และยังสามารถเผยแพร่ให้กับชุมชนอื่น เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์หัตถกรรมภายในชุมชนและเป็นการอนุรักษ์รูปแบบ ลวดลายของเครื่องจักสานที่กำลังจะสูญหาย เพื่อเพิ่มมูลค่าของงานจักสานให้มีแนวทางในการประยุกต์และพัฒนาให้มากขึ้น และเป็นแนวทางในการกำหนดอนาคตของงานหัตถกรรมจักสาน ท้องถิ่น ตลอดจนการเผยแพร่อนุรักษ์สืบสานภูมิปัญญาให้คงอยู่ต่อไป

จากการทบทวนเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องยังไม่พบว่ามีการทำวิจัยเกี่ยวกับเครื่อง และการสร้างลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง จึงทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะออกแบบและพัฒนาเครื่องทำลวดลายบนไม้ขึ้น เพื่อสนองต่อความต้องการของผู้ประกอบการผลิตภัณฑ์จากไม้ และอุตสาหกรรมที่ประกอบการด้านงานไม้ ที่มีความแตกต่างจากลวดลายที่สร้างขึ้นในตลาดทั่วไป ตลอดจนความปลอดภัยของผู้ใช้งานเครื่องทำลวดลายบนไม้อีกด้วย

### 1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.3.1 เพื่อศึกษาการทำลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง
- 1.3.2 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องทำลวดลายบนไม้ ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง
- 1.3.3 เพื่อทดสอบการทำงานของเครื่องทำลวดลายไม้ที่สร้างขึ้น

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบการทำลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง
- 1.4.2 ทราบวิธีการออกแบบเครื่องทำลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง
- 1.4.3 สร้างเครื่องต้นแบบเครื่องทำลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง
- 1.4.4 มีเครื่องเครื่องต้นแบบเครื่องทำลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง
- 1.4.5 สามารถนำเครื่องไปออกแบบลวดลายบนไม้และเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์จากไม้ได้

### 1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

1.5.1 ขอบเขตด้านประชากร/ผู้ให้ข้อมูลหลัก/หน่วยทดลอง  
ศูนย์จัดการพลังงานและวัสดุเหลือใช้ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์  
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

1.5.2 ขอบเขตด้านตัวแปร/ขอบเขตด้านเนื้อหา

ในการดำเนินการ จะใช้ไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันไฟสูง ได้มีการดำเนินการแยกเป็น 4 ส่วนคือ

1. ส่วนจ่ายไฟให้กับวงจร
2. ส่วนของระบบป้องกันอันตรายของเครื่องและผู้ใช้งาน
3. ส่วนสร้างไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง
4. ส่วนสร้างและประกอบเครื่อง

หลักการทำงานของเครื่องสร้างลวดลายบนไม้ ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง เริ่มจากจ่ายกระแสไฟฟ้าแรงดัน 220 โวลต์ เข้าเครื่อง ต่อขั้วกราวด์ของอุปกรณ์เข้ากับระบบกราวด์ (Ground) ของการไฟฟ้า เพื่อไม่ให้เกิดอันตรายกับผู้ใช้งาน หลังจากนั้นต่อเข้ากับหม้อแปลงเพิ่มลดแรงดันหรือหม้อแปลงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ (Auto Transformer) เพิ่ม - ลด ระดับแรงดันไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0-220 โวลต์ ต่อผ่านฟิวส์ขนาด 5 แอมป์แปร์ ต่อเข้ากับหม้อแปลงไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิ (Primary Coil) 220 โวลต์ ขดลวดทุติยภูมิ (Secondary coil) ไฟออกที่ 2,500 โวลต์ นำสายต่อที่ขดลวดทุติยภูมิ (Secondary coil) ของหม้อแปลงทั้งสองเส้นต่อสายไฟฟ้า วีซีที (VCT) ขนาด 2 x 2.5 พันรวมเป็น 1 เส้น ยาว เส้นละ 1 เมตร ตรงส่วนปลายของสายไฟ จะนำไปต่อเข้ากับหัวจับลวดเชื่อมไฟฟ้า ใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium Bicarbonate) ซึ่งมีคุณสมบัตินำไฟฟ้าได้โดยสามารถแตกตัวเป็น

ไอออนได้ง่ายเมื่ออยู่ในตัวทำละลายที่เหมาะสม ผสมโซเดียมไบคาร์บอเนต(Sodium Bicarbonate) กับน้ำที่ความเข้มข้นโซเดียมไบคาร์บอเนต 1 ซ้อนโต๊ะ (15 มิลลิลิตร) ต่อน้ำ 1 แก้ว (250 มิลลิลิตร) ทาบริเวณที่เราต้องการสร้างลวดลายบนไม้ด้วยแปรงขนอ่อน ต่อด้วยไฟฟ้าให้ห่างกันตามขนาดของไม้ และลายที่ต้องการให้เกิด เปิดเซอร์กิตเบรกเกอร์ เปิดสวิตช์ ปรับแรงดันหม้อแปลงตัวแรกให้มีแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้น จนมีการวิ่งของกระแสไฟฟ้าไหม้ที่ไม้ รอจนไฟฟ้าไหม้วิ่งเข้าใกล้กันทำการปิดสวิตช์ สามารถปรับหม้อแปลงให้ เพิ่ม-ลดแรงดันไฟฟ้าตามต้องการ หากมีรอยไหม้ที่รุนแรงก็ทำการปรับแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้ลดลง รอยไหม้ที่ไม้ก็จะสวยงามและรอยไหม้ลึกเข้าเนื้อไม้ ในการปฏิบัติงานให้สวมถุงมือและรองเท้าที่เป็นฉนวน สวมหน้ากากป้องกันควันจากการไหม้ของไม้ และวางชิ้นงานไว้บนวัสดุที่เป็นฉนวน เพื่อความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน

1.5.3 ขอบเขตด้านพื้นที่และระยะเวลาที่ทำการวิจัย ระยะเวลาในการดำเนินโครงการศูนย์จัดการพลังงานและ วัสดุเหลือใช้ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ อาคารเรียนต้นสัก คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ใช้เวลาดำเนินการ 1 ปี



## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎี

การสร้างเครื่องทำลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง สามารถจะทำลวดลายไม้ให้ใหม่และลึกและสามารถควบคุมรอยที่เกิดจากการใหม่ไม่ให้เกิดการลุกลามที่รวดเร็วเกินไป ตลอดจนสามารถนำไปใช้งานได้ง่าย ปลอดภัยกับผู้ใช้งาน ทำให้เกิดงานสร้างสรรค์ที่สวยงาม เพื่อเป็นการดึงดูด สร้างความสนใจ และเพิ่มจุดเด่นที่แตกต่างให้กับสินค้า สร้างมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากไม้ มีลวดลายไม้ที่สวยงามและแปลกใหม่ ซึ่งในการสร้างเครื่องทำลวดลายที่เกิดบนไม้ได้ ต้องมีความรู้พื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องคือ

#### 2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแม่เหล็กไฟฟ้า

แม่เหล็กในธรรมชาติเป็นที่รู้จักกันมานานแล้ว โดยการสังเกตพบว่ามีหินแร่เหล็กบางชนิดที่สามารถดูดเศษเหล็กต่าง ๆ เข้ามาติดได้ หลังจากนั้นจึงมีผู้คิดค้นเพื่อนำแม่เหล็กมาใช้งานกันแพร่หลายจนถึงปัจจุบัน ปกติแล้วถ่านำแท่งแม่เหล็กไปแขวนลอยไว้อย่างอิสระปลายทั้งสองข้างของมันจะชี้ไปทางทิศเหนือและทิศใต้โดยอัตโนมัติ โดยปลายข้างที่ชี้ไปทางทิศเหนือเรียกว่า “ขั้วเหนือหรือขั้ว N” และปลายข้างที่ชี้ไปทางทิศใต้เรียกว่า “ขั้วใต้หรือขั้ว S” และอุปกรณ์ไฟฟ้าบางชนิดจำเป็นต้องใช้แม่เหล็ก หรือหลักการของแม่เหล็กประกอบในการนำมาใช้งานต่าง ๆ รวมทั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าบางชนิดในรถยนต์ ได้แก่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือเจนเนอเรเตอร์ (Generator) เป็นต้น

อำนาจดึงดูดแม่เหล็กเหมือนกับกระแสไฟฟ้า ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า อำนาจนี้สามารถทำให้เกิดงานและพลังงานได้ อำนาจแม่เหล็กทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า และในทางกลับกันกระแสทำให้เกิดอำนาจดึงดูดของแม่เหล็กได้ แท่งเหล็กธรรมดาสามารถทำให้เป็นแม่เหล็กได้หลายลักษณะที่นิยมกันทั่ว ๆ ไปได้แก่ การเหนี่ยวนำของแม่เหล็ก โดยการใส่แท่งแม่เหล็กเข้าไปบนแท่งเหล็กธรรมดา นอกจากนี้แล้วยังกระทำได้โดยการนำแท่งเหล็กธรรมดาไปวางไว้ในสนามแม่เหล็กชั่วคราวหนึ่ง ทำให้แท่งเหล็กเกิดการเหนี่ยวนำแล้วมีสมบัติเป็นแม่เหล็กได้เช่นกัน เหล็กและโลหะบางชนิดสามารถแสดงคุณสมบัติแม่เหล็กได้เมื่อได้รับการเหนี่ยวนำของแม่เหล็กเกิดขึ้น เรียกว่า สารแม่เหล็ก (Magnetic Substance) แต่กลุ่มที่ไม่แสดงคุณสมบัติของแม่เหล็กได้จะเรียกว่า สารที่ไม่ใช่แม่เหล็ก (Non-magnetic Substance) ได้แก่ ทองแดง อะลูมิเนียมและสังกะสี เป็นต้น นอกจากนี้ สารแม่เหล็กสามารถแบ่งตามลักษณะผลที่เกิดขึ้นหลังการเหนี่ยวนำได้ 2 ประเภท คือ

2.1.1 แม่เหล็กชั่วคราว (Temporary Magnet) หมายถึง เหล็กที่สูญเสียอำนาจดึงดูดของแม่เหล็กไปเมื่อนำออกจากสนามแม่เหล็ก ทำให้แม่เหล็กนั้นกลับคืนสู่สภาพแท่งเหล็กธรรมดา

ส่วนมากเป็นพวกเหล็กอ่อน ซึ่งนำไปใช้เป็นแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ต่าง ๆ ในรถยนต์ เช่น คอยล์ (Coil) และขดลวดไฟฟ้าหรือโซลินอยด์ (Solenoid)

2.1.2 แม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet) หมายถึง เหล็กที่มีอำนาจดึงดูดตลอดไป ถ้าได้รับอำนาจแม่เหล็กด้วยวิธีที่ถูกต้อง ซึ่งแม่เหล็กถาวรนี้จะทำมาจากโลหะแข็งผสมเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ เหล็กผสมนิเกิล และโคบอลต์ผสมนิเกิลและอะลูมิเนียม เป็นต้น

หลักการเบื้องต้นของไฟฟ้ากระแสตรงนั้นจะผลิตแรงดันและกระแสไฟฟ้า โดยตัวนำจะหมุนอยู่ภายในสนามแม่เหล็ก ในขณะที่ขั้วแม่เหล็กจะอยู่กับที่ หลักการเบื้องต้นของไฟฟ้ากระแสสลับจะทำงานตรงกันข้ามกับไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งผลิตแรงดันและกระแสไฟฟ้าได้โดยกำหนดให้แม่เหล็กเป็นสิ่งที่หมุนแทน ในขณะที่ลวดตัวนำไฟฟ้าจะหยุดนิ่งไม่เคลื่อนที่ ปริมาณของแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1. ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ขดลวดตัวนำตัด
2. ความเร็วของขดลวดตัวนำหรือขั้วแม่เหล็กขณะเคลื่อนที่หมุน
3. จำนวนและความยาวขดลวดตัวนำ

## 2.2 กระแสไฟฟ้าทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก

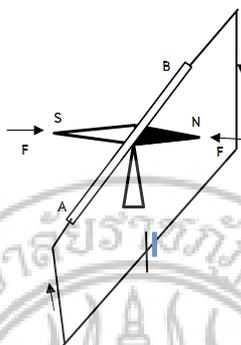
เออสเต็ด เป็นนักวิทยาศาสตร์ที่ค้นพบว่า เมื่อวางเส้นลวดตัวนำไฟฟ้า A B ที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไว้ใกล้และขนานด้านบนของเข็มทิศ เขาสังเกตเห็นว่าเข็มทิศจะบ่ายเบนไปในทิศทางหนึ่ง ดังภาพที่ 2.1 แต่ถ้าเอาเส้นลวด A B ที่มีกระแสไหลผ่านนี้วางไว้ใกล้และขนานด้านล่างของเข็มทิศ เขาสังเกตเห็นว่าเข็มทิศจะบ่ายเบนไปอีกทิศหนึ่งซึ่งตรงข้ามกับครั้งแรก



ภาพที่ 2.1 เมื่อวางตัวนำไฟฟ้าที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไว้ด้านบนของเข็มทิศ  
ที่มา : ณรงค์ ขอนตะวัน. (2524). *หม้อแปลงไฟฟ้า*. กรุงเทพฯ : เอร่าวิณการพิมพ์

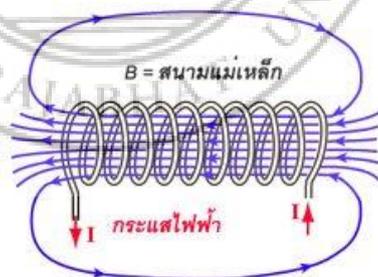
เมื่อปรับความต้านทานที่อยู่ใวงจรให้มีค่ามากขึ้น จะทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวนำ A B ลดลง การบ่ายเบนของเข็มทิศก็จะน้อยลงด้วย การบ่ายเบนของเข็มทิศแสดงให้เห็นว่าเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบตัวนำไฟฟ้า A B ที่มีกระแสไหลผ่าน

เอสเต็ดได้ค้นพบต่อไปว่า ถ้าวางลวดตัวนำ A B ที่มีกระแสไหลผ่านนี้ไว้ด้านบนและตั้งฉากกับเข็มทิศ ปรากฏว่า เข็มทิศจะไม่บ่ายเบนเลย ดังภาพที่ 2.2 แสดงว่าสนามแม่เหล็กจากตัวนำ A B นี้ขนานกับเข็มทิศ



ภาพที่ 2.2 เมื่อวางตัวนำไฟฟ้าที่มีกระแสไหลผ่านไว้ด้านบนและตัวตั้งฉากกับเข็มทิศ  
ที่มา : ณรงค์ ขอนตะวัน. (2524). *หม้อแปลงไฟฟ้า*. กรุงเทพฯ: เอราวิณการพิมพ์.

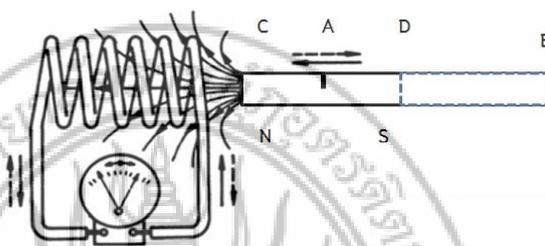
ทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบตัวนำไฟฟ้าสามารถที่จะหาได้โดยใช้มือขวากำรอบตัวนำให้หัวแม่มือชี้ไปตามทิศทางของกระแสไฟฟ้าไหล ส่วนนิ้วทั้งสี่ที่เหลือกำรอบตัวนำจะแสดงถึงทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำนั้น แต่ถ้าใช้มือขวากำขดลวดที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ถ้าให้นิ้วชี้-นิ้วกลาง-นิ้วนางและนิ้วก้อยแทนทิศทางการไหลของกระแสแล้ว นิ้วหัวแม่มือจะแสดงถึงทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กเคลื่อนที่ คือเป็นขั้วเหนือ ดังนั้นขั้วแม่เหล็กอีกขั้วหนึ่งที่อยู่ตรงข้ามจึงเป็นขั้วใต้



ภาพที่ 2.3 ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวด  
ที่มา : ณรงค์ ขอนตะวัน. (2524). *หม้อแปลงไฟฟ้า*. กรุงเทพฯ : เอราวิณการพิมพ์

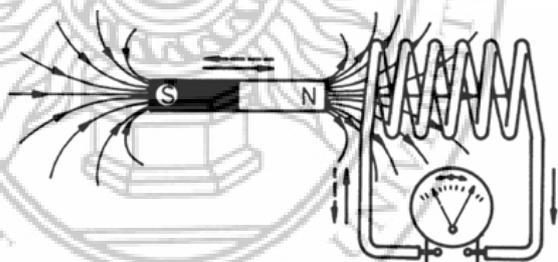
### 2.3 แรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นได้อย่างไร

จากภาพที่ 2.4 แสดงให้เห็นคอยล์ซึ่งปลายทั้งสองต่อเข้ากับกัลวานอมิเตอร์ G วางอยู่ใกล้กับแท่งแม่เหล็กซึ่งเดิมอยู่ในตำแหน่ง A B จะมีเส้นแรงแม่เหล็กจำนวนเล็กน้อยตัดกับคอยล์ แต่เข็มชี้ของกัลวานอมิเตอร์ จะไม่บ่ายเบน ถ้าทำให้แท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่เข้าไปใกล้คอยล์อย่างรวดเร็วไปยังตำแหน่ง CD จะพบว่า เข็มชี้ของกัลวานอมิเตอร์เกิดการบ่ายเบนอย่างรวดเร็ว แล้วเข็มชี้จะกลับเข้าสู่ที่เดิมเมื่อแท่งแม่เหล็กหยุดอยู่กับที่ ณ ตำแหน่ง C D



ภาพที่ 2.4 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเกิดขึ้นเมื่อผลักแม่เหล็กเข้าหาคอยล์

ที่มา : ณรงค์ ขอนตะวัน. (2524). *หม้อแปลงไฟฟ้า*. กรุงเทพฯ : เอราวิณการพิมพ์

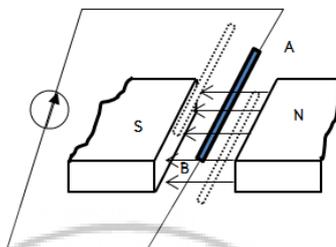


ภาพที่ 2.5 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเกิดขึ้นเมื่อผลักแม่เหล็กออกจากคอยล์

ที่มา : ณรงค์ ขอนตะวัน. (2524). *หม้อแปลงไฟฟ้า*. กรุงเทพฯ : เอราวิณการพิมพ์

ขณะที่แท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่ เข็มชี้ของกัลวานอมิเตอร์จะเกิดบ่ายเบน และการบ่ายเบนนี้จะตรงกันข้ามกับกรณีที่ผลักแท่งแม่เหล็กเข้าหาคอยล์ดังภาพที่ 2.5 การบ่ายเบนของเข็มชี้กล่าวโนมิเตอร์แสดงให้เห็นถึงแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในคอยล์ ซึ่งแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้จะเกิดขึ้นขณะที่ผลักหรือดึงแท่งแม่เหล็กเข้าออกเท่านั้น จะเห็นว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนั้น เกิดได้เพราะเส้นแรงแม่เหล็กที่ตัดคอยล์นั้นมีการเปลี่ยนแปลง เส้นแรงแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงถึงแม้ว่าจะมีปริมาณมาก (ความเข้มมาก) ก็จะไม่ทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเกิดในคอยล์ที่อยู่กับที่ได้ และในทำนองเดียวกัน ถ้าให้แท่งแม่เหล็กอยู่กับที่ แล้วทำให้คอยล์เคลื่อนที่เข้าหรือเคลื่อนที่ออกจากแท่งแม่เหล็ก

จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้เหมือนกัน ทิศทางของกระแสที่เกิดขึ้นจะถูกกำหนดโดยแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นดังภาพที่ 2.4 และภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.6 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเกิดขึ้นเมื่อตัวนำมีการเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก  
ที่มา : ณรงค์ ขอนตะวัน. (2524). *หม้อแปลงไฟฟ้า*. กรุงเทพฯ : เอรวิการพิมพ์

การผลิตแรงเคลื่อนไฟฟ้าอีกวิธีหนึ่ง จากภาพที่ 2.6 จะสังเกตได้ว่าตัวนำไฟฟ้า AB จะวางอยู่ในสนามแม่เหล็ก N-S และต่อปลายทั้งสองของตัวนำ AB เข้ากับตัวนำกัลวานอมิเตอร์จะพบว่าเมื่อใดก็ตามถ้าตัวนำ AB เคลื่อนที่ขึ้นหรือลง เข็มชี้ของกัลวานอมิเตอร์จะบ่ายเบนการบ่ายเบนจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเร็วของการเคลื่อนที่ของตัวนำ AB

สรุปได้ว่า ถ้าตัวนำเคลื่อนที่ตัดเส้นแรงแม่เหล็กจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในตัวนำนั้น แต่ถ้าตัวนำเคลื่อนที่ขนานกับเส้นแรงแม่เหล็กจะไม่เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในตัวนำนั้น

## 2.4 กฎของฟาราเดย์ เกี่ยวกับการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า

2.4.1 กฎข้อที่ 1 เมื่อใดก็ตาม ถ้าเส้นแรงแม่เหล็กที่ตัดตัวนำเกิดการเปลี่ยนแปลงจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในตัวนำนั้น หรือเมื่อใดก็ตามถ้าตัวนำตัดเส้นแรงแม่เหล็กจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในตัวนำเช่นเดียวกัน

2.4.2 กฎข้อที่ 2 ขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น จะมีค่าเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กที่ตัด

ถ้า  $N$  = จำนวนรอบของคอยหรือจำนวนตัวนำ

$\phi_1$  = จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กครั้งแรก

$\phi_2$  = เส้นแรงแม่เหล็กครั้งหลัง

เส้นแรงแม่เหล็กที่ตัดตัวนำครั้งแรกเป็น  $= N \phi_1$

เส้นแรงแม่เหล็กที่ตัดตัวนำครั้งหลัง  $= N \phi_2$

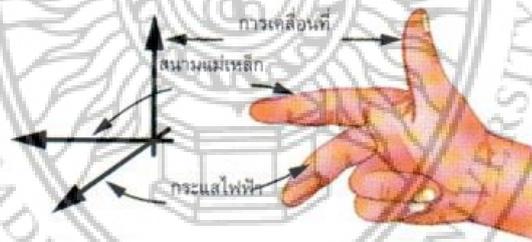
$$\begin{aligned} \text{แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (e.m.f.)} &= \frac{N\phi_2 - N\phi_1}{t_2 - t_1} \\ e &= \frac{N(\phi_2 - N\phi_1)}{t_2 - t_1} \end{aligned} \quad (2.1)$$

$$\begin{aligned} \frac{N(\phi_2 - N\phi_1)}{t_2 - t_1} &= \frac{N\Delta\phi}{\Delta t} = \text{อัตราการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กต่อเวลา} \\ \therefore e &= \frac{N\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{\text{เวเบอร์}}{\text{วินาที}} \quad (\text{โวลต์}) \end{aligned} \quad (2.2)$$

เมื่อ  $\Delta\phi$  = ความแตกต่างระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กครั้งแรกกับครั้งหลัง (เวเบอร์)

$\Delta t$  = เวลาที่เส้นแรงแม่เหล็กเปลี่ยนแปลง (วินาที)

## 2.5 ทิศทางของแรงเคลื่อนและกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ



ภาพที่ 2.7 การหาทิศทางของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

ที่มา : ณรงค์ ขอนตะวัน. (2524). *หม้อแปลงไฟฟ้า*. กรุงเทพฯ : เอรวิธการพิมพ์

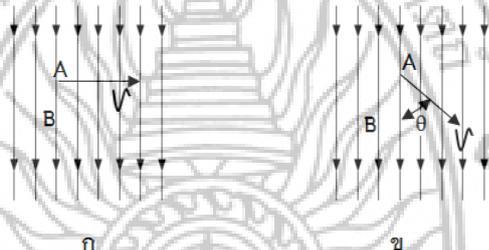
ทิศทางของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กเคลื่อนที่และทิศทางของตัวนำเคลื่อนที่ จะมีความสัมพันธ์กันซึ่งทิศทางของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ จะสามารถหาได้โดยกฎมือขวาของเฟรมมิ่ง (Fleming's Right hand Rule) หรือกฎของเลนซ์ (Lenz's law)

**2.5.1 กฎมือขวาของเฟรมมิ่ง** ให้ยกมือขวาขึ้นแล้วกางนิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้และนิ้วกลางให้ตั้งฉากซึ่งกันและกัน ใช้นิ้วชี้แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นแรงแม่เหล็ก นิ้วหัวแม่มือแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวนำและนิ้วกลางแสดงทิศทางกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในตัวนำนั้น

**2.5.2 กฎของเลนซ์** ทิศทางของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำอาจหาได้จากกฎที่ค้นพบโดยเลนซ์ (Lenz) ซึ่งกล่าวว่ากระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจากแม่เหล็กไฟฟ้า จะมีทิศทางการไหลที่สร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมาต้านกับสนามแม่เหล็กที่ทำให้เกิดขึ้น

## 2.6 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นได้สองวิธีด้วยกัน คือ การให้ตัวนำเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็กและการให้สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ตัดตัวนำ ในกรณีแรกจะให้สนามแม่เหล็กอยู่กับที่ แล้วทำให้ตัวนำเคลื่อนที่ตัดกับสนามแม่เหล็ก เช่นกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง แต่ในกรณีที่ 2 จะให้ตัวนำหรือคอยอยู่กับที่แล้วให้เส้นแรงแม่เหล็กเคลื่อนที่ตัดโดยการทำให้กระแสไฟฟ้า สร้างสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลง เช่น กรณีของหม้อแปลงไฟฟ้า เป็นต้น



ภาพที่ 2.8 ตัวนำเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็ก

ที่มา : ณรงค์ ขอนตะวัน. (2524). *หม้อแปลงไฟฟ้า*. กรุงเทพฯ : เอราวิณการพิมพ์

สมมติให้ตัวนำ A ยาว 1 เมตร วางอยู่ในสนามแม่เหล็กที่มีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก B เวเบอร์ต่อตารางเมตร ถ้าตัวนำเคลื่อนที่ตัดเส้นแรงแม่เหล็กตั้งฉากดังภาพที่ 2.8 ก. สมมติว่า ตัวนำเคลื่อนที่ได้ระยะทาง  $\Delta X$  ในเวลา  $\Delta t$

พื้นที่ที่ตัวนำไปได้ =  $\Delta X$  ม<sup>2</sup>

จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กตัดตัวนำ =  $BL\Delta X$  เวเบอร์

จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่ตัดตัวนำในเวลา  $\Delta t$  คือ  $\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{BL\Delta X}{\Delta t}$  เวเบอร์ / วินาที

จากกฎของฟาราเดย์ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ตัวนำ

$$E = \frac{BL\Delta X}{\Delta t} \quad (2.3)$$

$$= \frac{BL\Delta X}{\Delta t}$$

$$= B.L.V$$

$$\text{เมื่อ } \frac{\Delta X}{\Delta t} = \text{ความเร็ว (v)}$$

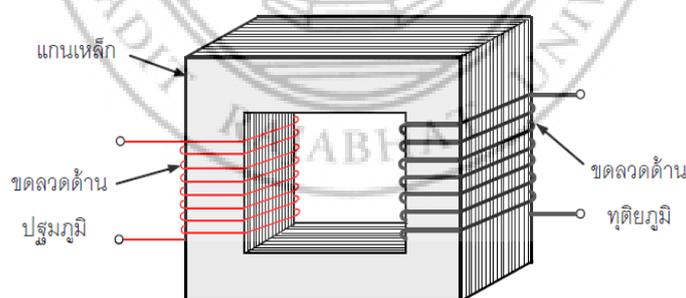
แต่ถ้าตัวนำ A เคลื่อนที่ตัดเส้นแรงแม่เหล็กไม่ตั้งฉาก ดังภาพที่ 2.8 ข. โดยตัวนำเคลื่อนที่ทำมุม  $\theta$  กับทิศการเคลื่อนที่ของเส้นแรงแม่เหล็ก แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น ที่ตัวนำจะมีค่า

$$E = B.L.V \sin \theta \quad \text{โวลต์} \quad (2.4)$$

## 2.7 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) คืออุปกรณ์ที่ใช้แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้มีขนาดแรงดันตามที่ต้องการ การจ่ายแรงดันไฟฟ้าจากระดับหนึ่งให้สูงกว่าเดิมเรียกว่า หม้อแปลงแบบเพิ่มแรงดัน (Step-up transformer) หรือลดระดับแรงดันไฟฟ้าลงให้ต่ำกว่าเดิม เรียกว่าหม้อแปลงแบบลดแรงดัน (Step-down transformer) ทั้งในระบบการจ่ายไฟฟ้า หรือเป็นอุปกรณ์ประกอบในเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่ใช้กันตามบ้านเรือน ไม่ว่าจะเป็น โทรทัศน์ เครื่องขยายเสียงวิทยุเทป หรืออะแดปเตอร์แปลงไฟเพื่อใช้ในงานต่าง ๆ จึงนับว่ามีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับงานทางไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์อย่างมาก

โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้าประกอบไปด้วยโครงสร้างที่สำคัญ 2 ส่วน ก็คือ แกนเหล็กกับขดลวดซึ่งแสดงโครงสร้างเบื้องต้น ดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 โครงสร้างเบื้องต้นของหม้อแปลงไฟฟ้า

ที่มา : ณรงค์ ขอนตะวัน. (2524). *หม้อแปลงไฟฟ้า*. กรุงเทพฯ : เอรวิ้นการพิมพ์

**1. แกนเหล็ก** เหล็กที่ใช้ในการทำแกนหม้อแปลงไฟฟ้า จะต้องมีความซาบซึมได้ (Permeability) สูงโดยแกนเหล็กจะต้องมีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กสูงถึง 1.35 ถึง 1.55 เวเบอร์/ตารางเมตร และต้องผ่านกรรมวิธีทั้งทางเคมีและความร้อนมาแล้ว ก่อนที่จะนำมาใช้เป็นตัวนำ

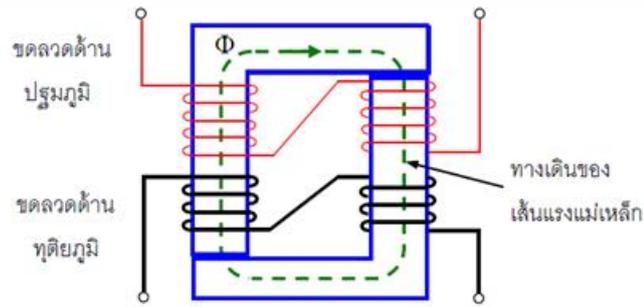
แผ่นบาง ๆ แล้วฉาบด้วยฉนวนทั้งสองด้าน ซึ่งคุณสมบัติต้องมีความเป็นฉนวนตามผิว (Surface insulation) สูง ทั้งนี้เพื่อลดกระแสไหลวน (Eddy current) ในแกนเหล็ก จากนั้นจึงนำเหล็กที่เป็นแผ่นบางในแต่ละแผ่นมาอัดซ้อนกัน หน้าที่ของแกนเหล็กก็คือเป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก เพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวด

**2.ขดลวด** ขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้าทำมาจากทองแดงอบน้ำยา ถ้าเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดพิกัดไม่สูงมากนักก็ทำมาจากลวดทองแดงเส้นกลม ถ้าหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดพิกัดสูง ๆ ก็เป็นทองแดงเส้นแบน ซึ่งขดลวดนี้พันอยู่ที่แกนเหล็กของหม้อแปลง ซึ่งจะมีด้วยกัน 2 ขด คือ

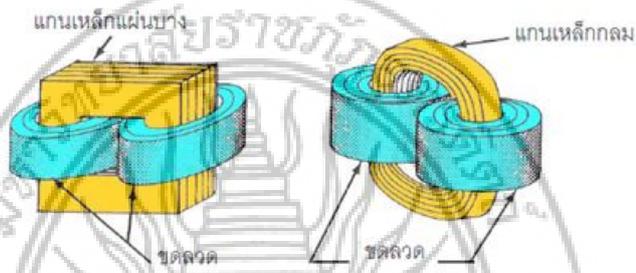
1. ขดลวดทางด้านไฟเข้าหรือขดลวดปฐมภูมิ (Primary winding)
2. ขดลวดทางด้านไฟออกหรือขดลวดทุติยภูมิ (Secondary winding)
3. ฉนวน ฉนวนมีไว้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดขดลวดสัมผัสกับส่วนที่เป็นแกนเหล็ก และป้องกันไม่ให้เกิดขดลวดแต่ละชั้นสัมผัสกันได้ (Short turn) สำหรับลวดตัวนำที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 0.2-1.3 มิลลิเมตร หากต้องการให้ฉนวนมีคุณภาพดีและทนความร้อนได้มากจะต้องเคลือบด้วยไวนิฟล็กซ์ (Viniflex) หรือพันทับด้วยไหมแคปรอน (Caprone) เทเรไลน์ (Teleline) หรือฝ้าย และถ้าลวดตัวนำมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 1.3-4.1 มิลลิเมตร จะพันด้วยกระดาษเคเบิล (Cable paper) หลายชั้น ส่วนตัวนำที่มีพื้นที่หน้าตัดแบบสี่เหลี่ยม จะพันทับด้วยฉนวนไฟเบอร์กลาส (Fiberglass) สำหรับฉนวนที่คั่นระหว่างชั้นของขดลวดส่วนมากจะเป็นกระดาษเคเบิลหนาประมาณ 0.2 มิลลิเมตร และจำนวนชั้นของกระดาษจะขึ้นอยู่กับพิกัดกำลังของหม้อแปลง

**2.7.1 ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า** แบ่งตามลักษณะแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าแบ่งออกได้ดังนี้

1. หม้อแปลงแบบคอร์ (Core Type Transformer) หม้อแปลงไฟฟ้าแบบนี้ขดลวดจะพันล้อมรอบแกนเหล็กโดยมีขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิจะพันไว้ด้านละครึ่งขด ดังภาพที่ 2.10 (ก) ทั้งนี้เพื่อลดเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหล (Leakage flux) ซึ่งการพันขดลวดจะนำขดลวดทุติยภูมิ (แรงดันต่ำ) ไว้ด้านล่างและขดลวดปฐมภูมิ (แรงดันสูง) ไว้ด้านบน โดยลักษณะของแกนเหล็กแผ่นบางเป็นรูป LL และ UI โดยแกนเหล็ก ที่ใช้มีด้วยกันอีก 2 แบบ คือ แกนเหล็กแผ่นบาง (Laminated Sheet Core) กับแกนเหล็กกลม (Wound Core) ดังภาพที่ 2.10 (ข) ซึ่งแกนเหล็กแบบคอร์นี้มีทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กทางเดียว



(ก) การพันขดลวดบนแกนเหล็กด้านละครึ่งขดลวด

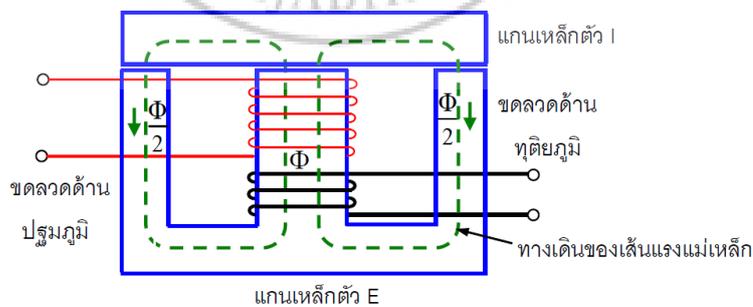


(ข) ลักษณะแกนเหล็กแบบคอร์

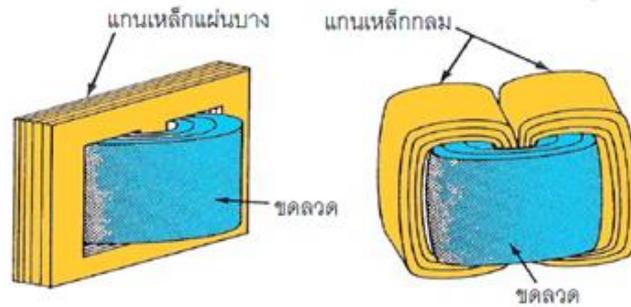
ภาพที่ 2.10 การพันขดลวดและลักษณะของแกนเหล็กแบบคอร์

ที่มา : ณรงค์ ขอนตะวัน. (2524). *หม้อแปลงไฟฟ้า*. กรุงเทพฯ : เอรวิณการพิมพ์

2. หม้อแปลงแบบเชลล์ (Shell type Transformer) หม้อแปลงไฟฟ้าแบบนี้แกนเหล็กจะล้อมรอบขดลวดโดยมีขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิพันอยู่ที่แกนกลางของแกนเหล็ก ดังภาพที่ 2.11 (ก) ซึ่งการพันขดลวดจะนำขดลวดทุติยภูมิ (แรงดันต่ำ) พันไว้ด้านล่างและขดลวดปฐมภูมิ (แรงดันสูง) พันไว้ด้านบนโดยลักษณะของแกนเหล็กแผ่นบางเป็นรูป EI แกนเหล็กที่ใช้มีด้วยกันอีก 2 แบบ คือ แกนเหล็กแผ่นบางกับแกนเหล็กกลม ดังภาพที่ 2.11 (ข) แกนเหล็กแบบเชลล์มีทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กสองทาง



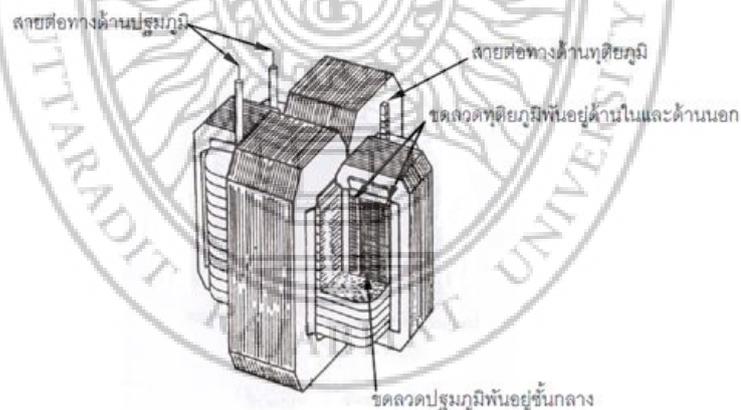
ภาพที่ 2.11(ก)การพันขดลวดที่แกนกลางของแกนเหล็กแบบเชลล์



ภาพที่ 2.11(ข) ลักษณะของแกนเหล็กแบบเซลล์

ที่มา : ประเสริฐ ปิ่นปฐมรัฐ.(2549). วิศวกรรมไฟฟ้า ภาคทฤษฎี.กรุงเทพฯ: สกายบุ๊กส์.

3. หม้อแปลงแบบเฮซ (H-type transformer) หม้อแปลงไฟฟ้าแบบนี้จะใช้แกนเหล็กแบบเซลล์สองชุดวางซ้อนกันเป็นรูปกากบาท โดยมีขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิพันไว้ที่ขากลางของแกนเหล็ก ซึ่งขดลวดทุติยภูมิจะพันอยู่ด้านในครึ่งหนึ่งก่อน จากนั้นคั่นด้วยฉนวนและพันขดลวดปฐมภูมิเต็มจำนวนรอบพันทับลงไปแล้วคั่นด้วยฉนวน จากนั้นจึงพันขดลวดทุติยภูมิที่เหลืออีกครึ่งหนึ่งไว้ที่ด้านนอก ดังภาพที่ 2.12 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบนี้มีขนาดใหญ่จึงเหมาะสำหรับการส่งจ่ายไฟฟ้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าสูง ๆ ขนาดหลายร้อยกิโลวัตต์แอมแปร์ (ประเสริฐ ปิ่นปฐมรัฐ, 2549 : 305)

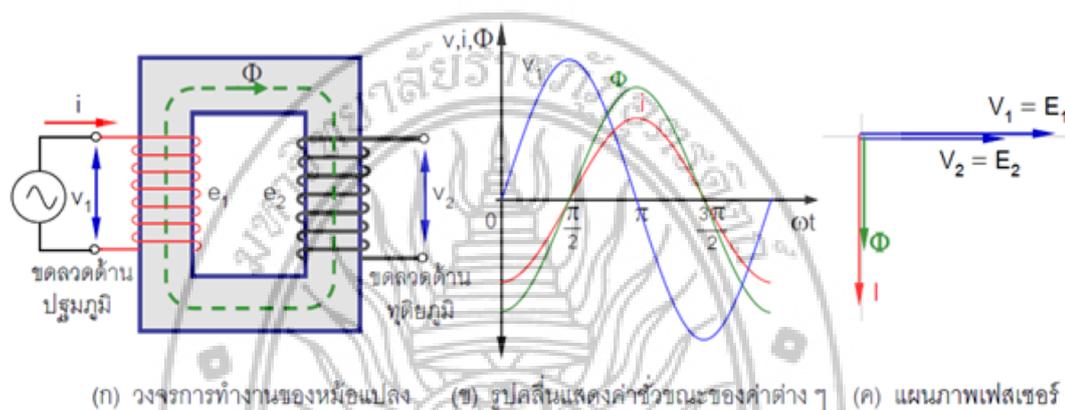


ภาพที่ 2.12 การพันขดลวดและลักษณะของแกนเหล็กแบบเฮซ

ที่มา : ประเสริฐ ปิ่นปฐมรัฐ.(2549). วิศวกรรมไฟฟ้า ภาคทฤษฎี.กรุงเทพฯ: สกายบุ๊กส์.

หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ หมายถึง หม้อแปลงไฟฟ้าที่ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็ก ผ่านไปได้โดยไม่มีขีดจำกัด ไม่มีเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหล ไม่มีการสูญเสียที่แกนเหล็กและไม่มีการสูญเสียในขดลวดทั้งสองของหม้อแปลงไฟฟ้า

2.7.2 หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติเมื่อไม่มีโหลด ในการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้านั้น เพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานโดยจะพิจารณาให้หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าแบบอุดมคติ ซึ่งการทำงาน พิจารณาได้จากภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าอุดมคติ เมื่อไม่มีโหลด

ที่มา : ประเสริฐ ปิ่นปฐมรัฐ.(2549). วิศวกรรมไฟฟ้า ภาคทฤษฎี.กรุงเทพฯ: สกายบุ๊กส์.

จากภาพที่ 2.13 (ก) และ 2.13 (ข) เมื่อจ่ายแรงดัน  $V_1$  ซึ่งเป็นค่าชั่วขณะรูปคลื่นไซน์ ให้กับขดลวดปฐมภูมิทำให้มีกระแส  $i$  ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิและกระแส  $i$  นี้จะสร้าง  $\Phi$  และเปลี่ยนแปลงไปกับกระแส  $i$  ซึ่ง  $\Phi$  ร่วมเฟสกับกระแส  $i$  จากการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กก็จะไปคล้องกับขดลวดทั้งสองขด ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่ขดลวดปฐมภูมิ ( $E_1$ ) เรียกว่าแรงดันไฟฟ้าต่อต้าน (Back emf.) และขดลวดทุติยภูมิ ( $E_2$ ) เรียกว่า แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำร่วม (Mutual induced emf.) โดยแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำทั้งสองจะมีเฟสหน้า  $\Phi$

แผนภาพเฟสเซอร์ของหม้อแปลงในอุดมคติ จากรูปคลื่นภาพที่ 2.13(ข) นำมาเขียนเป็นแผนภาพเฟสเซอร์ โดยกำหนดให้เฟสเซอร์ของ  $V_1$  เป็นแกนอ้างอิง โดยเฟสเซอร์  $i$  กับ  $\Phi$  ร่วมเฟสกัน และล้าหลังเฟสเซอร์  $V_1$  เป็นมุม  $90^\circ$  นอกจากนี้เฟสเซอร์  $E_1$  กับ  $E_2$  ก็ร่วมเฟสกันและร่วมเฟสกับ  $V_1$  ดังภาพที่ 2.13 (ค)

สมการแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำและอัตราส่วนของหม้อแปลง จากกฎของฟาราเดย์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กต่อเวลามาคู่ตัดกับขดลวด ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวด ตามสมการ

$$E = N \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.5)$$

เมื่อพิจารณาขดลวดทางด้านปฐมภูมิ

$$e_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt}$$

แต่  $\Phi = \Phi_{\max} \sin \omega t$

ดังนั้น  $e_1 = N_1 \frac{d}{dt} \Phi_{\max} \sin \omega t$

$$= \omega N_1 \Phi_{\max} \cos \omega t$$

หรือ  $e_1 = \omega N_1 \Phi_{\max} \sin(\omega t + 90^\circ)$

โดยแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ  $e_1$  จะมีค่าสูงสุดเมื่อ  $\omega t = 0$

$$E_{1m} = \omega N_1 \Phi_{\max}$$

แต่  $\omega = 2\pi f$   $E_{1m} = 2\pi f N_1 \Phi_{\max}$

เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นเป็นรูปคลื่นไซน์ ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้กับแรงดันไฟฟ้าสูงสุด ก็คือ  $E_m = \sqrt{2}E$  แทนค่าจะได้

$$\sqrt{2}E_1 = 2\pi f N_1 \Phi_{\max}$$

$$E_1 = \frac{2\pi f N_1 \Phi_{\max}}{\sqrt{2}}$$

$$E_1 = 4.44 f N_1 \Phi_{\max}$$

เมื่อหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นแบบอุดมคติ จะได้

$$V_1 = E_1 = 4.44 f N_1 \Phi_{\max} \quad (2.6)$$

ในทำนองเดียวกันทางด้านทุติยภูมิ จะได้

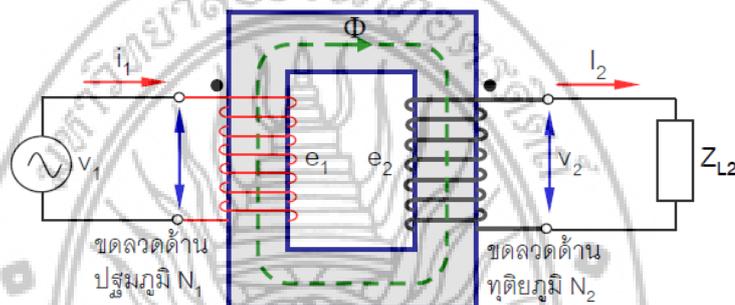
$$V_2 = E_2 = 4.44 f N_2 \Phi_{\max} \quad (2.7)$$

2.7.3 อัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้า กำหนดให้เป็น  $a$  ซึ่งเป็นค่าที่แสดงอัตราส่วนของค่าต่างๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้า หากค่าได้ดังนี้โดยนำสมการที่ 2.6 หาด้วยสมการที่ 2.7 จะได้

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{4.44fN_1 \phi_{\max}}{4.44fN_2 \phi_{\max}}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad (2.8)$$

2.7.4 หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติเมื่อมีโหลด เมื่อนำโหลดอิมพีแดนซ์  $Z_{L2}$  มาต่อเข้ากับทางด้านทุติยภูมิ โดยมีแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเป็น  $V_2$  และมีกระแส  $I_2$  ไหลไปยังโหลดอิมพีแดนซ์ ดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติเมื่อมีโหลด

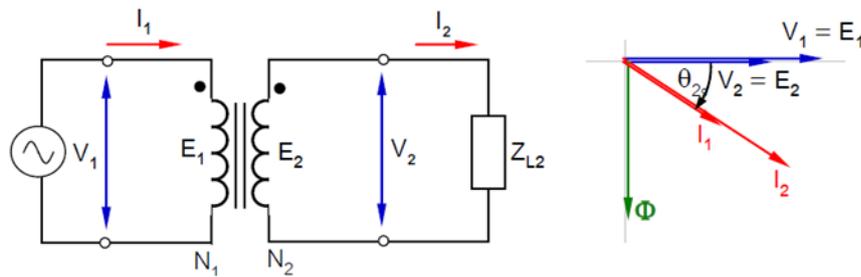
ที่มา : ประเสริฐ ปิ่นปฐมรัฐ.(2549). วิศวกรรมไฟฟ้า ภาคทฤษฎี.กรุงเทพฯ: สกายบุ๊กส์.

จากภาพที่ 2.14 เมื่อหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติแรงดันไฟฟ้า  $E_1$  จะเท่ากับ  $V_1$  เสมอ และเส้นแรงแม่เหล็กจะต้องคงที่และเท่ากับเมื่อไม่มีโหลด เมื่อมีกระแส  $I_2$  ไหลผ่านโหลดอิมพีแดนซ์ทางด้านทุติยภูมิจึงทำให้เกิดกระแส  $I_1$  ทางด้านปฐมภูมิด้วย และส่งผลให้เกิดแรงดันแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งสองด้านขึ้น จะได้ว่า  $I_1 N_1 = I_2 N_2$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} = a$$

ดังนั้น 
$$I_1 = \frac{I_2}{a} \quad (2.9)$$

ซึ่งวงจรสมมูลและแผนภาพเฟสเซอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติเมื่อมีโหลด และให้โหลด  $Z_{L2}$  ที่ต่ออยู่มีค่าตัวประกอบกำลังล่าหลัง (เฟสเซอร์  $I_2$  ล่าหลังเฟสเซอร์  $V_2$  เป็นมุม  $\theta_2$ ) ดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 วงจรสมมูลและแผนภาพเฟสเซอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติเมื่อมีโหลด

ที่มา : ประเสริฐ ปิ่นปฐมรัฐ.(2549). วิศวกรรมไฟฟ้า ภาคทฤษฎี.กรุงเทพฯ: สกายบุ๊กส์.

หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ จะได้ว่าขนาดและทิศทางของกำลังไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิเท่ากับขนาดและทิศทางของกำลังไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ นั่นคือ

$$V_1 I_1 = V_2 I_2 \quad (2.10)$$

โดย

$$Z_{L2} = \frac{V_2}{I_2} = \frac{\frac{V_1}{a}}{a I_1} = \frac{V_1}{a^2 I_1}$$

ดังนั้น

$$\frac{V_1}{I_1} = a^2 Z_{L2}$$

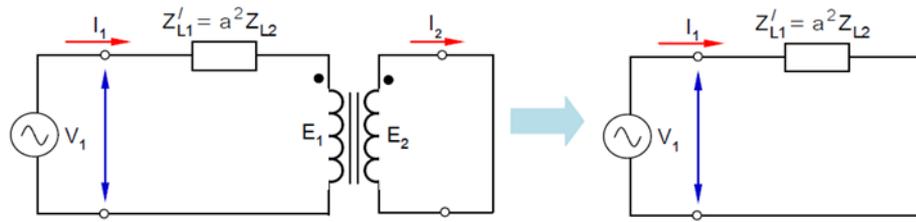
เห็นว่าโหลดอิมพีแดนซ์  $Z_{L2}$  ทางด้านทุติยภูมิสามารถแทนด้วยอิมพีแดนซ์สมมูลทางด้านปฐมภูมิได้ กำหนดให้เป็น  $Z'_{L1}$  ซึ่งเท่ากับ  $\frac{V_1}{I_1}$  นั่นคือ

$$Z_{L1} = a^2 Z_{L2} \quad (2.11)$$

ในทำนองเดียวกันอิมพีแดนซ์  $Z_{L1}$  ทางด้านปฐมภูมิก็สามารถย้ายไปทางด้านทุติยภูมิได้เช่นกัน นั่นคือ

$$Z'_{L2} = \frac{Z_{L1}}{a^2}$$

จากความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และอิมพีแดนซ์ของทั้งสองด้าน ถ้าพิจารณาทางด้านปฐมภูมิเมื่อทำการย้ายค่าของ  $Z_{L2}$  จากทางด้านทุติยภูมิมาไว้ทางด้านปฐมภูมิเป็น  $Z'_{L1}$  ดังนั้นถือว่าทางด้านทุติยภูมิกำหนดให้ลัดวงจรและเขียนวงจรสมมูลได้ใหม่ ดังรูป 2.16



รูป 2.16 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติเมื่อย้ายมาทางด้านปฐมภูมิ

ที่มา : ประเสริฐ ปิ่นปฐมรัฐ.(2549). วิศวกรรมไฟฟ้า ภาคทฤษฎี.กรุงเทพฯ: สกายบุ๊กส์.

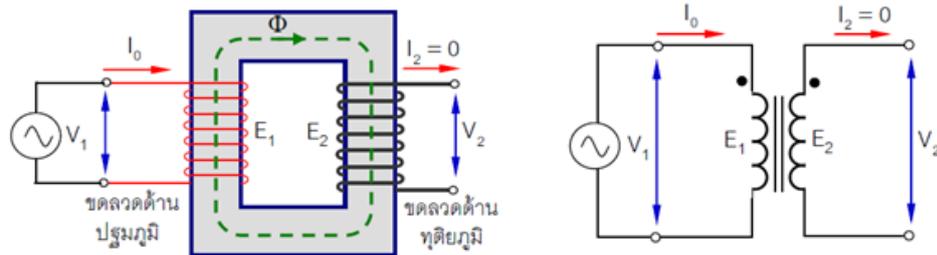
2.7.5 พิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า เป็นความสามารถในการจ่ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้ากำหนดให้เป็น โวลต์แอมแปร์ (VA) ถ้าเป็นหน่วยใหญ่ก็เป็นกิโลโวลต์แอมแปร์ (kVA) และเมกะโวลต์แอมแปร์ (MVA) ซึ่งได้จากผลคูณของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิหรือผลคูณของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ ซึ่งพิกัดทั้งสองด้านกำหนดให้มีค่าเท่ากัน นั่นคือ

$$VA_{\text{ปฐมภูมิ}} = VA_{\text{ทุติยภูมิ}}$$

$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$

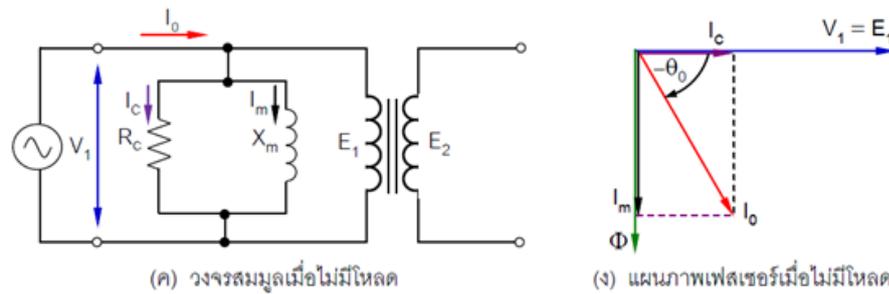
### 2.8 หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงเมื่อไม่มีโหลด

หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ในงานจริงนั้นมีค่าต่างๆ ตรงข้ามกับหม้อแปลงไฟฟ้าทางอุดมคติ เมื่อยังไม่ได้ต่อโหลดจึงไม่มีกระแสไฟฟ้าในขดลวดทางด้านทุติยภูมิ ดังภาพที่ 2.17 (ก) ส่วนภาพที่ 2.17(ข) แสดงด้วยสัญลักษณ์ เมื่อจ่ายแรงดัน  $V_1$  ให้กับขดลวดทางด้านปฐมภูมิ จึงทำให้มีกระแสไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิ เรียกกระแสไฟฟ้างี้ว่า กระแสไฟฟ้าขณะไม่มีโหลดหรือค่าของกระแสกระตุ้น (No - load current or exciting current) ซึ่งแทนด้วยกระแส  $I_0$



(ก) การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลด

(ข) วงจรแสดงสัญลักษณ์หม้อแปลงไฟฟ้า



ภาพที่ 2.17 หม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อไม่มีโหลด

ที่มา : ประเสริฐ ปิ่นปฐมรัฐ.(2549). วิศวกรรมไฟฟ้า ภาคทฤษฎี.กรุงเทพฯ: สกายบุ๊กส์.

จากภาพที่ 2.17 (ค) กระแส  $I_0$  นี้ถูกแทนด้วยกระแสไฟฟ้าที่แยกไหลออกเป็นอีก 2 ส่วน คือ

1. กระแสที่สูญเสียในแกนเหล็ก (Core loss current) แทนด้วยกระแส  $I_c$  โดยกระแสส่วนนี้ทำให้เกิดการสูญเสียจากฮิสเทอรีซิสและจากกระแสไหลวน (Hysteresis and eddy current losses)

2. กระแสทำแม่เหล็ก (Magnetizing current) แทนด้วยกระแส  $I_m$  โดยกระแสส่วนนี้จะสร้างเส้นแรงแม่เหล็กร่วมที่เปลี่ยนแปลงภายในแกนเหล็ก ซึ่งทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ  $E_1$  และ  $E_2$  ขึ้นที่ขดลวด

จากภาพที่ 2.17(ง) แสดงแผนภาพเฟสเซอร์ โดยให้  $V_1$  เป็นแกนอ้างอิง โดยมีเฟสเซอร์ของกระแส  $I_m$  ร่วมเฟสกับ  $\Phi$  และล้าหลังเฟสเซอร์แรงดัน  $V_1$  เป็นมุม  $-90^\circ$  โดยเฟสเซอร์ของกระแส  $I_c$  ร่วมเฟสกับแรงดัน  $V_1$  ผลรวมทางเฟสเซอร์ของ  $I_c$  กับ  $I_m$  ได้เฟสเซอร์ของกระแส  $I_0$  และล้าหลังเฟสเซอร์  $V_1$  เป็นมุม  $-\theta_0$  โดยขนาดของกระแส  $I_0$  หาได้ดังนี้

$$I_0 = \sqrt{I_c^2 + I_m^2} \quad (2.12)$$

โดย  $\theta_0$  เป็นมุมเฟสระหว่างแรงดัน  $V_1$  กับกระแส  $I_0$  หาได้ดังนี้

$$\theta_0 = \tan^{-1} \left( \frac{I_m}{I_c} \right) \quad (2.13)$$

กำหนดให้  $pf_0$  เป็นตัวประกอบกำลังเมื่อไม่มีโหลด และหาได้ดังนี้

$$pf_0 = \cos \theta_0 \quad (2.14)$$

เมื่อไม่คิดผลของแรงดันตกคร่อม จากความต้านทานและแรงดันตกคร่อมจากรีแอกแตนซ์รั่วซึมของขดลวดทางด้านปฐมภูมิ จะได้ว่า

$$V_1 = E_1 \quad (2.15)$$

เมื่อทราบของกระแส  $I_0$  และมุม  $\theta_0$  ก็สามารถหาค่าของกระแส  $I_c$  และ  $I_m$  ได้ตามลำดับดังนี้

$$I_c = I_0 \cos \theta_0 \quad (2.16)$$

$$I_m = I_0 \sin \theta_0 \quad (2.17)$$

จากวงจรสมมูลภาพที่ 2.17(ค) ซึ่งกระแส  $I_0$  แยกไหลออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนของกระแส  $I_c$  ไหลผ่านนั้น แทนด้วยความต้านทานสูญเสียในแกนเหล็ก (Core loss resistance) กำหนดให้เป็น  $R_c$  ส่วนของกระแส  $I_m$  ที่ไหลผ่านแทนด้วยรีแอกแตนซ์ทำแม่เหล็ก (Magnetizing reactance) กำหนดให้เป็น  $X_m$  ซึ่งทั้งสองค่าต่อขนานกันและต่อเข้ากับแหล่งจ่าย  $V_1$  (A.E. Fitzgerald, Charles Kingsley, jr. and Stephen D. Umans, 2003 : 62) และหาค่าได้ดังนี้

$$R_c = \frac{V_1}{I_c} \quad (2.18)$$

$$X_m = \frac{V_1}{I_m} \quad (2.19)$$

จากสมการที่ 2.17 นำค่าของแรงดัน  $V_1$  มาคูณทั้ง 2 ข้าง จะได้

$$V_1 I_c = V_1 I_0 \cos \theta_0$$

ซึ่งผลคูณของ  $V_1 I_c$  ก็คือค่าของกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก กำหนดให้เป็น  $P_c$

$$P_c = V_1 I_0 \cos \theta_0 \quad (2.20)$$

เมื่อ  $P_c$  = กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก (W)

$V_1$  = แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขดลวดทางด้านปฐมภูมิ (V)

$I_0$  = กระแสไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด (A)

$I_c$  = กระแสที่สูญเสียในแกนเหล็ก (A)

$I_m$  = กระแสทำแม่เหล็กเหล็ก (A)

$R_c$  = ความต้านทานสูญเสียในแกนเหล็ก ( $\Omega$ )

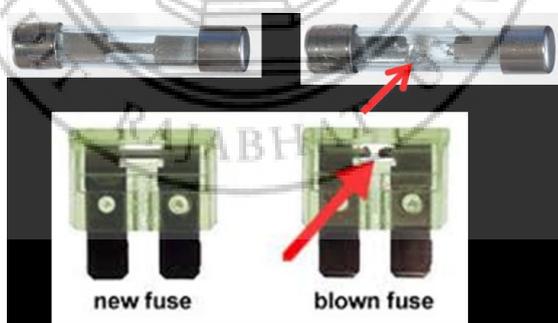
$X_m$  = รีแอกแตนซ์ทำแม่เหล็ก ( $\Omega$ )

$\theta_0$  = เป็นมุมเฟสระหว่างแรงดัน  $V_1$  กับกระแส  $I_0$  (deg)

## 2.9 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับอุปกรณ์ป้องกัน

ในวงจรไฟฟ้าเมื่อมีอุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าจำนวนมาก ๆ หมายความว่า จะมีกระแสไฟฟ้าไหลในสายไฟมาก ถ้าใช้สายไฟขนาดเล็กเกินไปสายจะเกิดความร้อนและถ้าเกิดความร้อนนานๆจะทำให้ฉนวนที่หุ้มสายไฟฟ้าชำรุดเสียหาย อาจเกิดการลัดวงจรทำให้เกิดเพลิงไหม้ได้หรือเกิดการรั่วลงดิน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้า เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลมากเกินไปจนเกิดการลัดวงจรได้ อุปกรณ์ป้องกันมีหลายอย่างเช่น ฟิวส์ เซฟตี้สวิตช์ เซอร์กิตเบรกเกอร์ เป็นต้น

2.9.1 ฟิวส์คือ อุปกรณ์ป้องกันที่ใช้ต่ออนุกรมเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้า เพื่อป้องกันการเกิดกระแสไหลเกินเช่นจากการลัดวงจรที่วงจรไฟฟ้าหรือที่อุปกรณ์ไฟฟ้า โดยทั่วไปในตัวฟิวส์ จะทำด้วยแถบหรือเส้นโลหะที่มีจุดหลอมตัวต่ำหรือออกแบบให้เกิดการหลอมละลายได้โดยง่ายเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมากเกินไป ในช่วงเวลาที่ตัวฟิวส์หลอมละลายและเริ่มขาดออกจากกันจะเกิดการอาร์ก (Arc) สำหรับการดับอาร์กเพื่อให้ฟิวส์สามารถตัดวงจรไฟฟ้าโดยไม่มีประกายไฟ ในขณะเดียวกันกระบอกฟิวส์นั้น (Fuse Holder) จะต้องสามารถรับแรงดันตกคร่อมในขณะตัดวงจรได้ ฟิวส์แตกต่างจากเบรกเกอร์คือ ฟิวส์เมื่อทำการตัดวงจรออกแล้วจะใช้งานต่อไปไม่ได้ ต้องทำการเปลี่ยนฟิวส์ใหม่ ส่วนเบรกเกอร์เมื่อตัดวงจรแล้ว สามารถรีเซ็ตค่าแล้วใช้งานได้ต่อไปอีก อย่างไรก็ตาม ฟิวส์มีราคาถูกกว่าและให้ประสิทธิภาพและรวดเร็วในการตัดวงจรได้ดีกว่าเบรกเกอร์ นอกจากนี้ฟิวส์ทุกชนิดสามารถป้องกันทั้งกระแสเกินพิกัด (Overload Current) และกระแสลัดวงจร (Short Circuit Current)



ภาพที่ 2.18 ฟิวส์ใหม่และการตัดวงจรโดยฟิวส์

ที่มา : <http://changmuns.blogspot.com/2015/05/1.html>

คาร์ทริดฟิวส์ เป็นฟิวส์เส้นชนิดบรรจุในกระบอกที่ทำด้วยกระเบื้อง ภายในกระบอกบรรจุด้วยทรายหรือสารบางชนิดที่ใช้สำหรับดับอาร์ก ส่วนประกอบของคาร์ทริดฟิวส์แสดงในภาพที่ 2.19

คาร์ทริดจ์ไฟวส์นั้นใช้วงจรหลักเพื่อเป็นฟิวส์ป้องกันการลัดวงจรของวงจรหลักใช้คู่กับสวิตช์ตัดตอนใบมีด ขนาดของคาร์ทริดจ์ไฟวส์มีหลายขนาดตั้งแต่ 5 แอมแปร์ถึง 60 แอมแปร์ คาร์ทริดจ์ไฟวส์นี้เมื่อใช้งานจะ สะดวกมากกว่าฟิวส์แบบอื่น เพราะสามารถถอดเปลี่ยนได้ง่ายโดยไม่ต้องใช้เครื่องมืออื่นช่วย



ภาพที่ 2.19 คาร์ทริดจ์ไฟวส์

ที่มา : <http://changmuns.blogspot.com/2015/05/1.html>

ข้อสำคัญในการเลือกใช้ฟิวส์ คือ ต้องเลือกขนาดของฟิวส์ให้น้อยกว่าขนาดการทนกระแสของ สายไฟฟ้าเสมอ เช่น ถ้าสายไฟฟ้าทนกระแสได้ 15 แอมแปร์ จะต้องเลือกฟิวส์ที่มีขนาดน้อยกว่า 15 แอมแปร์ เป็นต้น

คุณสมบัติของฟิวส์

1. ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านประมาณ 1.1 เท่าของขนาดทนกระแสฟิวส์
2. ฟิวส์จะขาดและตัดวงจรเมื่อกระแสไหลผ่านฟิวส์เกิน 2.5 เท่าของขนาดฟิวส์
3. การหลอมละลายของฟิวส์ ต้องไม่เกิดประกายไฟทำให้มีการลุกไหม้ได้

**2.9.2 เซฟตี้ สวิตช์ หรือ สวิตช์ นิรภัย** เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมวงจรไฟฟ้าที่ปล่อยให้ กระแสไฟฟ้าไหลเข้าวงจร หรือตัดกระแสไม่ให้ไหลเข้าวงจรตามที่ต้องการ เซฟตี้สวิตช์จะมีทั้งชนิดใน ตัวสวิตช์มีฟิวส์และชนิดในตัวไม่มีฟิวส์ เซฟตี้สวิตช์ในตัวมีฟิวส์จะมีที่ยึดฟิวส์เพื่อใส่ฟิวส์ในขาที่ไม่ต่อ ลงดิน และใช้สำหรับปลดวงจรป้องกันกระแสเกินมากเกินไปรวมทั้งกระแสลัดวงจรของสายป้อน ฟิวส์ ที่ใช้เป็นฟิวส์กระบอกขนาด 30 แอมแปร์ขึ้นไป เซฟตี้สวิตช์ชนิดในตัวมีฟิวส์ใช้สำหรับปลดวงจร ควบคุมสายป้อนวงจรย่อยซึ่งมีอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินอยู่แล้วชุดของสวิตช์ชนิดนี้ส่วนที่นำกระแส จะบรรจุอยู่ในกล่องที่มีฝาปิด เมื่อปิดฝาแล้วยกคันโยกให้วงจรไฟฟ้าทำงานแล้วจะล็อก ทำให้ไม่ สามารถเปิดฝาได้

เซฟตี้สวิตช์มีโครงสร้างที่ขึ้นอยู่กับการใช้งานสถานที่ตั้งแบ่งได้เป็นแบบหลัก ๆ 3 แบบคือ

1. เซฟตี้สวิตช์ใช้งานหนัก เหมาะสำหรับใช้กับงานหนักหรืองานได้นานเหมาะกับโรงงาน อุตสาหกรรม มีขนาด 30 - 3000 แอมแปร์ ที่แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับไม่เกิน 600 โวลต์

2. เซฟตี้สวิตช์ใช้งานทั่วไป ใช้กับงานเบากว่าแบบแรก เช่น ใช้กับวงจรย่อยของมอเตอร์ หรือทางเข้าสายบริการ มีขนาด 30 - 1200 แอมแปร์ และใช้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับไม่เกิน 600 โวลต์

3. เซฟตี้สวิตช์ใช้งานเบา ใช้กับงานที่สวิตช์ทำงานน้อยครั้งสำหรับติดตั้งที่ทางเข้าสายบริการที่พักอาศัย มีขนาด 30 - 200 แอมแปร์ และใช้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับไม่เกิน 240 โวลต์



(ก) เซฟตี้สวิตช์ใช้งานหนัก (ข) เซฟตี้สวิตช์ใช้งานทั่วไป (ค) เซฟตี้สวิตช์ใช้งานเบา

ภาพที่ 2.20 เซฟตี้สวิตช์

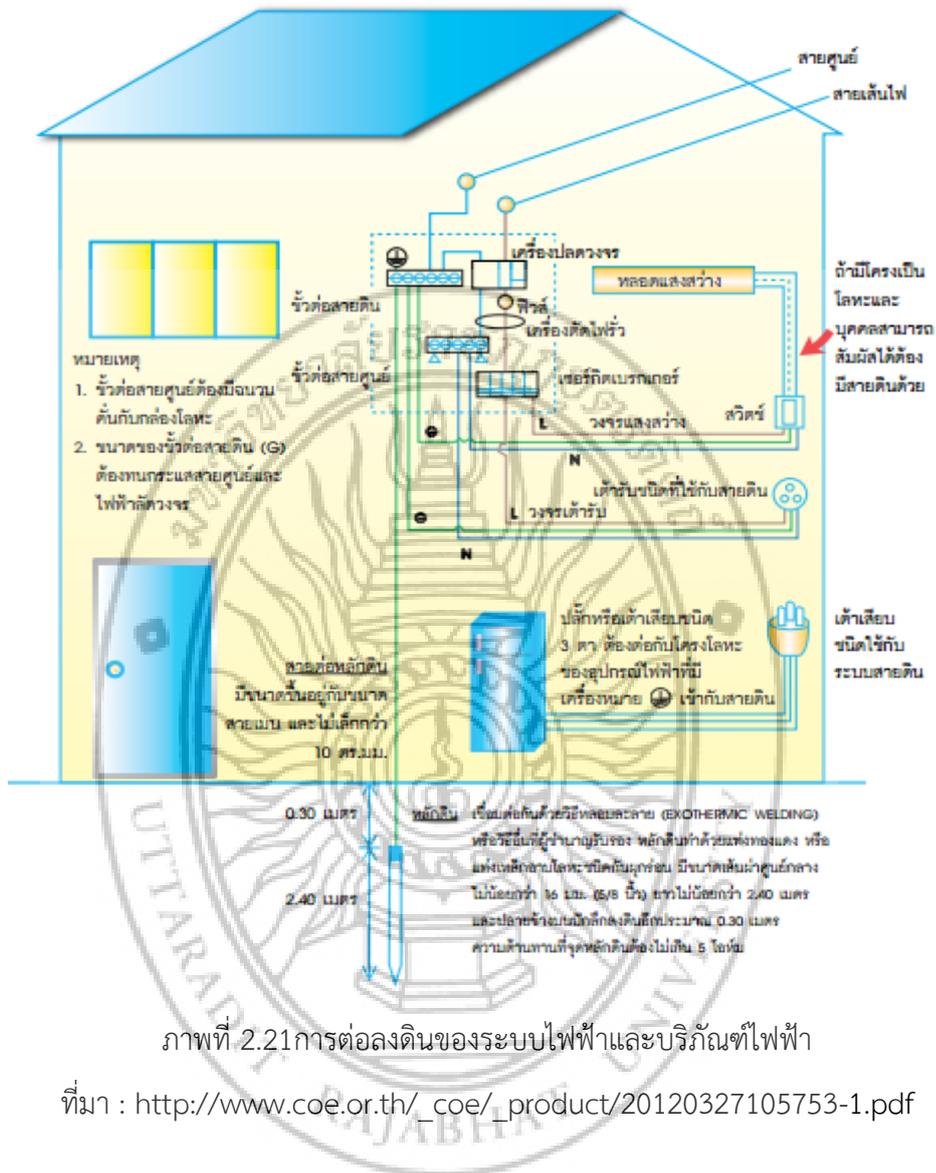
ที่มา : <http://changmuns.blogspot.com/2015/05/1.html>

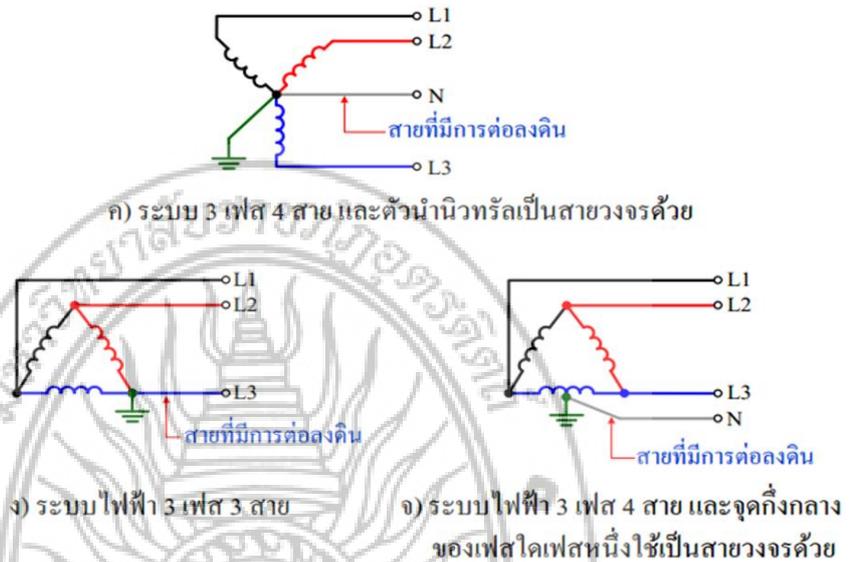
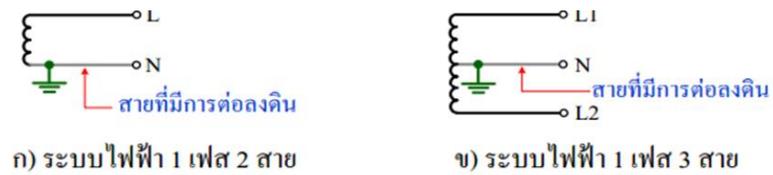
## 2.10 การต่อลงดิน

การต่อลงดินมีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อความปลอดภัยต่อผู้ใช้ไฟฟ้าและเพิ่มประสิทธิผลและคุณภาพการทำงานของบริษัทไฟฟ้า (อุปกรณ์ไฟฟ้า) และ ระบบไฟฟ้ารวมถึงระบบป้องกันต่าง ๆ รวมถึงการจัดผลการเหนี่ยวนำทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและการป้องกันผลกระทบจากฟ้าผ่าการต่อลงดินจึงช่วยขจัดความผิดปกติ (Fault) ที่เสี่ยงต่อการเกิดอันตรายได้ทันที่ การต่อลงดิน หลัก ๆ แล้วมี 2 ชนิดคือ

1. การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า (System Grounding)
2. การต่อลงดินของบริษัทไฟฟ้า (Equipment Grounding)

การต่อลงดิน หมายถึง การต่อส่วนใดส่วนหนึ่งของระบบไฟฟ้าที่มีกระแสไหลผ่านลงดิน โดยทั่วไปจะหมายถึงการต่อจุดนิวทรัล (N) ลงดิน มีวัตถุประสงค์หลักคือเพื่อให้แรงดัน เทียบกับดิน มีค่าคงที่ในขณะที่ระบบไฟฟ้าทำงานปกติช่วยจำกัดขนาดแรงดันเกินที่อาจเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าและเมื่อเกิดการลัดวงจรลงดินขึ้นจะช่วยให้อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินทำงานได้รวดเร็วยิ่งขึ้น ดังนั้นการต่อลงดินของระบบไฟฟ้าเพื่อประโยชน์ของการทำงานและการป้องกันในระบบไฟฟ้าโดยตรงไม่ใช่เพื่อป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าดูด ตัวอย่างของการต่อลงดินที่ระบบไฟฟ้า ทั้งชนิด 1 เฟส 220 โวลต์ และ 3 เฟส 380 โวลต์

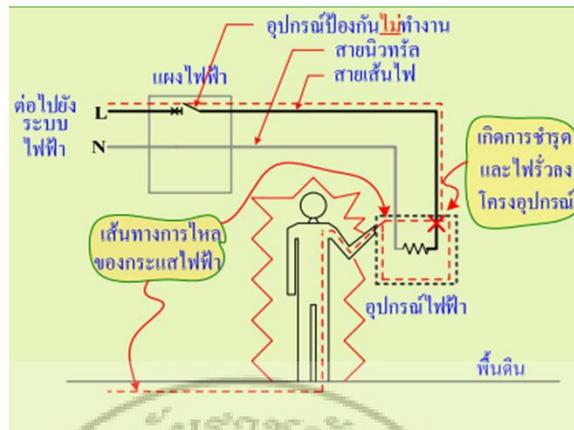




ภาพที่ 2.22 การต่อลงดินขอระบบไฟฟ้า 1 เฟสและ 3 เฟส  
ที่มา : <http://www.thailandindustry.com/onlinemag>

### 2.11 การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

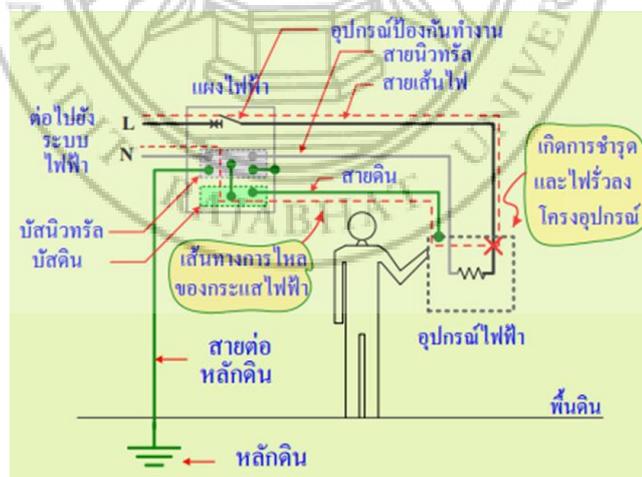
หมายถึงการต่อส่วนที่เป็นโลหะ หรือสื่อตัวนำไฟฟ้าที่ห่อหุ้มอุปกรณ์ไฟฟ้าและไม่ใช้ส่วนประกอบของวงจรไฟฟ้าซึ่งไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้ากับตัวนำที่ต่อลงดินเพื่อให้มีศักย์ไฟฟ้าใกล้เคียงหรือเท่ากับศูนย์เมื่อเทียบกับดินและเพื่อให้อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินตัดวงจรได้รวดเร็วขึ้นเมื่อมีการลัดวงจรลงดิน ไม่ถูกไฟฟ้าดูดต่อผู้สัมผัสโลหะห่อหุ้มอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น เช่น โครงโลหะหุ้มมอเตอร์ ก่อ่งต่อสายไฟฟ้า ตู้หรือร้อยสายรางเดินสาย เป็นต้น



ภาพที่ 2.23 การเกิดไฟฟ้าดูดเมื่อไม่มีการต่อลงดินในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า

ที่มา : <http://www.thailandindustry.com/onlinemag>

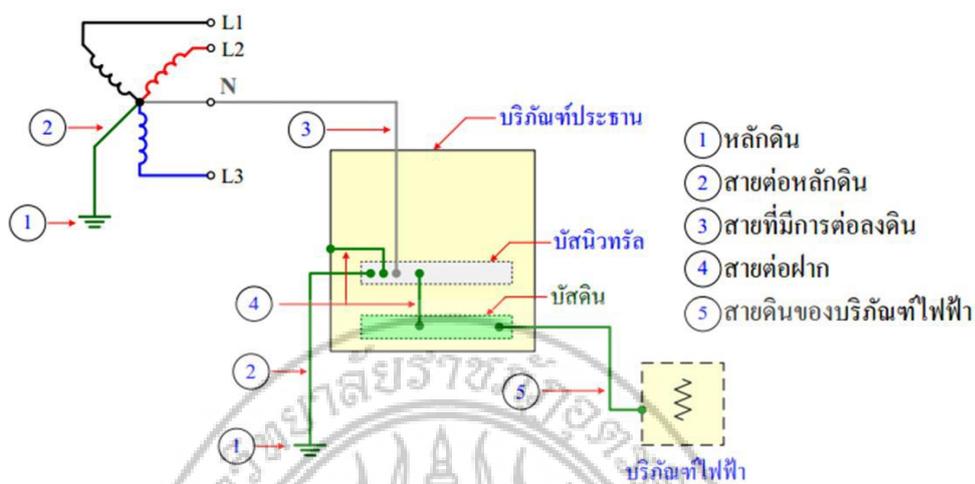
การติดตั้งระบบไฟฟ้าที่ไม่ถูกต้องตามมาตรฐานที่กำหนด ไม่มีการต่อสายดิน หรือขาดการบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้าเมื่อฉนวนของสายไฟฟ้าชำรุดอาจทำให้ตัวนำไฟฟ้าสัมผัสกับโครงโลหะของอุปกรณ์ไฟฟ้า นั่นคือเกิดไฟฟ้ารั่วที่โครงโลหะของอุปกรณ์มีไฟฟ้านั้น และเมื่อมีคนไปสัมผัสกับโครงโลหะจะทำให้มีกระแสไหลผ่านร่างกายของคนนั้น อาการดังกล่าวเรียกว่า “ไฟฟ้าดูด” ดังภาพที่ 2.23 และเมื่อต่อลงดินที่อุปกรณ์ไฟฟ้าดังภาพที่ 2.24 จะไม่เกิดปัญหาไฟฟ้ารั่วอีก



ภาพที่ 2.24 การต่อลงดินในส่วนของอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อป้องกันไฟฟ้ารั่ว

ที่มา : <http://www.thailandindustry.com/onlinemag>

## การติดตั้งระบบและการต่อลงดิน



ภาพที่ 2.25 ส่วนประกอบของระบบการต่อลงดิน

ที่มา : <http://www.thailandindustry.com/onlinemag>

หลักดินเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของระบบสายดิน ดังนี้

เป็นอุปกรณ์ปลายทางที่จะทำหน้าที่สัมผัสกับพื้นดิน

เป็นส่วนที่จะทำให้สายดินหรืออุปกรณ์ที่ต่อลงดินมีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์เท่ากับดิน

เป็นเส้นทางไหลของประจุไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าที่จะไหลลงสู่ดิน

เป็นตัวกำหนดคุณภาพ อายุความทนทานและความปลอดภัย ของระบบการต่อลงดินใน

ระยะยาว

**คุณสมบัติของหลักดิน** หลักดินต้องทำด้วยวัสดุที่ทนต่อการผุกร่อนและไม่เป็นสนิม เช่น แท่งทองแดง แท่งเหล็กชุบหรือหุ้มด้วยทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มม. (5/8 นิ้ว) และยาวไม่น้อยกว่า 2.40 เมตร ดังภาพ 2.21 และควรตอกฝังลึกลงไปในดินในแนวตั้ง ถ้าเป็นเหล็กหุ้มด้วยทองแดง ต้องมีความหนาของทองแดงไม่ต่ำกว่า 0.25 มม. และต้องหุ้มอย่างแนบสนิทยึดติดเป็นเนื้อเดียวกัน โดยไม่หลุดออกจากกัน และไม่มีปลายเหล็กโผล่ออกมาสัมผัสกับเนื้อดิน เพื่อให้เหล็กเป็นสนิม และต้องไม่มีการเจาะรูเพื่อยึดทองแดงกับเหล็กให้ติดกัน มิฉะนั้นแท่งเหล็กจะเป็นสนิมตามรูที่เจาะนั้น ห้ามใช้อลูมิเนียมหรือโลหะผสมของอะลูมิเนียมเป็นหลักดิน เนื่องจากผุกร่อนได้ง่าย หลักดินที่ดีควรผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน UL-467 (มยพ. 4501-51 มาตรฐานงานติดตั้งไฟฟ้าทั่วไป กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทยพ.ศ.2551)

ในการทำลายลายบนไม้ มีการทำหลากหลายรูปแบบแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งานและความต้องการของผู้ใช้งาน การทำลายไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง ผู้ปฏิบัติงานต้องมีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ ส่วนจ่ายกระแสไฟฟ้า ส่วนป้องกัน ส่วนสร้างไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง

และการติดตั้งการสรางและประกอบเครื่องเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน ตลอดจนความปลอดภัยในการใช้งานอุปกรณ์ป้องกันอันตรายที่เกิดจากกระแสไฟฟ้า เพื่อที่จะปฏิบัติงานในการทาลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง ได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย



### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการสร้างลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง มีส่วนต่าง ๆ ที่ต้องสร้างขึ้นมา เพื่อที่จะทำให้เครื่องที่สร้างขึ้น สามารถนำมาใช้งานได้อย่างปลอดภัย และใช้งานได้ดี แบ่งเป็นส่วนๆคือ ส่วนจ่ายไฟที่สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าได้ , ส่วนระบบป้องกันอันตรายของเครื่อง และผู้ใช้งานการเกิดกระแสไฟฟ้าไหลเกินในวงจร ส่วนสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง และส่วนที่สีจะเป็นการสร้างเครื่องและการนำเครื่องแต่ละส่วนมาต่อวงจรเข้าด้วยกัน

อุปกรณ์ที่ใช้วัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ใช้วัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการทดลอง เครื่องมือที่ใช้วัดใช้เครื่องวัดยี่ห้อ SANWA รุ่น YX-360TRD และ UNI-T รุ่น UT203



ภาพที่3.1 เครื่องวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

#### 3.1 ส่วนจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ

ใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับค่าได้ในการจ่ายกระแสไฟฟ้าตามที่ต้องการ ใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับระดับแรงดันได้ 1 เฟส (Auto transformer) สามารถปรับระดับแรงดันได้ตั้งแต่ 0-220 โวลต์ รุ่น SD-12 ขนาด 3 KVA สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ 12 แอมแปร์ ใช้จ่ายแรงดันไฟฟ้าและปรับระดับแรงดันเพื่อจ่ายระดับแรงดันไฟฟ้ตามที่ต้องการ



ภาพที่ 3.2 เครื่องปรับแรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

### 3.2 ระบบป้องกันอันตรายของเครื่องและผู้ใช้งาน ส่วนป้องกันการอันตราย

ส่วนนี้จะเป็นการป้องกันอันตรายจากการใช้เครื่องสร้างลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง จะมีการต่อระบบกราวด์จากเครื่องต่อกับกราวด์ระบบของการไฟฟ้า มีระบบป้องกันไฟฟ้าลัดวงจรด้วยเซอร์กิตเบรกเกอร์ ขนาด 30 แอมแปร์ ที่สามารถตัดวงจรไฟฟ้าของเครื่องทำลวดลายบนไม้รั้วไหลจากการทำงาน มีระบบฟิวส์ ทนกระแสไหลในวงจรสูงสุด 5 แอมแปร์ ป้องกันไฟฟ้าลัดวงจรจากการใช้งาน ชุดป้องกันนี้จะมีสวิตช์เปิด - ปิด ให้กระแสไฟฟ้าผ่าน จ่ายไฟ 0-220 โวลต์ ให้เครื่องทำงาน รับไฟฟ้ามาจากหม้อแปลงไฟฟ้าที่สามารถปรับระดับแรงดันไฟฟ้าได้



ภาพที่3.3 อุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้ารั่วและไฟฟ้าลัดวงจร

### 3.3 ส่วนสร้างไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง

ส่วนนี้จะรับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ มาจากหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดปรับแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้ ตั้งแต่ระดับแรงดัน 0-220 โวลต์ ผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าให้สามารถแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าที่รับมาจากหม้อแปลงที่ปรับระดับแรงดันให้สูงขึ้น ตั้งแต่ 0- 2,500 โวลต์ เครื่องก็จะสามารถสร้างลวดลายบนไม้ โดยผ่านสารตัวนำ ในการทดลองใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตทา 2 รอบ โดยรอบแรกทาบบริเวณที่ต้องการทำให้เกิดลายไม้ รอให้แห้งหมาด ๆ ทาโซเดียมไบคาร์บอเนตอีกรอบเพื่อ สามารถทำให้กระแสไฟฟ้าสลับแรงดันสูงวิ่งผ่านเนื้อไม้และเกิดการเผาไหม้ได้

การคำนวณหาจำนวนรอบของหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง ใช้หม้อแปลงขนาด 1,500 VA ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้สูงสุด ที่อินพุต 220 โวลต์ แรงดันออกสูงสุดที่ 2,500 โวลต์ ที่กำลังไฟฟ้าของหม้อแปลง 1,500 VA ที่ความถี่ 50 Hz

$$I_1 V_1 = I_2 V_2$$

กระแสไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ

$$I_1 = \frac{VA}{V_1}$$

$$I_1 = \frac{1,500}{220}$$

$$I_1 = 6.81 \text{ จากตารางจะใช้ลวดเบอร์เบอร์ 12 AWG}$$

กระแสไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ

$$I_2 = \frac{VA}{V_2}$$

$$I_2 = \frac{1,500}{2,500}$$

$$I_2 = 0.6 \text{ A จากตารางจะใช้ลวดเบอร์เบอร์ 23 AWG}$$

จำนวนรอบของขดลวดทางด้านปฐมภูมิ จากสมการ

$$E = 4.44 \times f \times B_m \times N_1 \times A \times 10^{-8}$$

$A = 3$  หม้อแปลงขนาด 1,500 VA จากตาราง (ณรงค์ ขอนตะวัน หม้อแปลงไฟฟ้า หน้า 137)

$$N_1 = \frac{220 \times 10^8}{4.44 \times 50 \times 85,000 \times 3}$$

$$N_1 = 388.6 \text{ รอบ}$$

$$\text{หารอบขดลวดทางด้านทุติยภูมิ} \quad N_2 = \frac{2,500 \times 10^8}{4.44 \times 50 \times 85,000 \times 3}$$

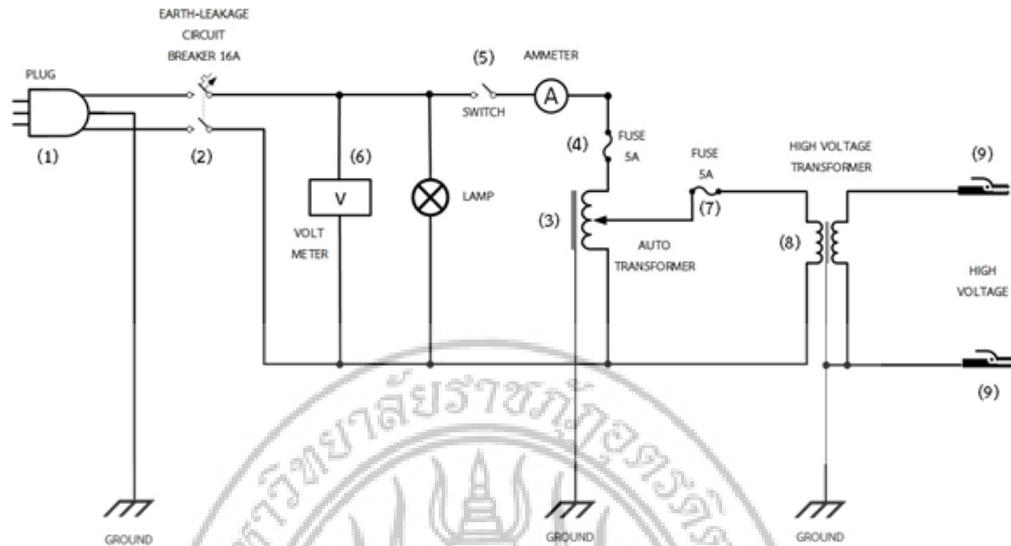
$$N_2 = 4,416 \text{ รอบ}$$

การสร้างเครื่องทำลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง

ในการสร้างเครื่องทำลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง มีส่วนประกอบที่นำมาทำเครื่องดังนี้คือ

1.สาย vct 2 x 1.5	10	เมตร
2.สายเดินตู้คอลโทรล 1x 1.5	5	เมตร
3.ปลั๊กตัวผู้(มีช่องต่อกราวนด์)	1	ตัว
4.ตู้คอลโทรลเบอร์ SS-0	1	ตู้
5.เซอร์กิตเบรกเกอร์ ขนาด 30 แอมป์	1	ตัว
6.หัวยึด+สายคิบลวดเชื่อม	1	คู่
7.ฟิวส์ ขนาด 10 แอมป์	1	ชุด
8.ที่จับประตูใช้ยึดตู้สำหรับหัว	1	อัน
9.สวิตซ์ทางเดียว	1	ชุด
10.หม้อแปลงไฟฟ้า 0-220 V (Auto transformer)12A	1	ตัว
11.หม้อแปลงไฟฟ้า 220/2,500 V	1	ตัว
12.เครื่องมือวัด และหลอดไฟสัญญาณ	1	ชุด

วงจรเครื่องทำลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง ในการทำเครื่องทำลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันไฟสูงได้ทำการออกแบบ วงจรให้เครื่องสามารถที่จะใช้งานได้สะดวกปลอดภัย มีวงจรการต่อดังแสดงในภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 แสดงวงจรของเครื่องสร้างลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง

### 3.4 ส่วนของการทำลวดลายบนไม้

จะต่อหลังจากหม้อแปลงแบบปรับค่าแรงดันไฟฟ้าได้ ผ่านฟิวส์ขนาด 5 แอมแปร์ ต่อเข้ากับหม้อแปลงไฟฟ้าที่อินพุต 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ เอ้าท์พุต 2,500 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ ปลายสายไฟต่อกับที่จับลวดเชื่อมไฟฟ้าจับแท่งตัวนำ โดยแท่งตัวนำทำปลายแหลม เพื่อสามารถกดเข้าเนื้อไม้ได้

เมื่อนำทั้งสี่ส่วนมาประกอบเข้าด้วยกันสามารถที่จะ ทำลวดลายบนไม้ด้วยการวิ่งผ่านของไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง ผ่านตัวนำไฟฟ้าที่ใช้ จะนำโซเดียมไบคาร์บอเนต ซึ่งมีคุณสมบัตินำไฟฟ้าได้ โดยโซเดียมไบคาร์บอเนตสามารถแตกตัวเป็นไอออนได้ง่ายเมื่ออยู่ในตัวทำละลายที่เหมาะสมผสมโซเดียมไบคาร์บอเนตกับน้ำที่ความเข้มข้นโซเดียมไบคาร์บอเนต 1 ซ่อนโตะ (15 มิลลิลิตร) ต่อน้ำ 1 แก้ว (250 มิลลิลิตร) ทาบริเวณที่จะทำลวดลายบนไม้ 1 รอบ ปลอ่ยให้แห้งพอสมควร ๆ ทาทับอีกรอบก็สามารถเปิดเครื่องทำลวดลายบนไม้ได้ จะได้ลวดลายบนไม้ที่มีลักษณะรูปร่างเหมือนกับสายฟ้าจะสวยงามเมื่อทำการปรับระดับแรงดันให้เหมาะสมกับการเผาไหม้ไม้ให้เผาไหม้เร็วเกินไป



ภาพที่ 3.5 แสดงเครื่องสร้างลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง

### 3.4.1 การทดลองเครื่องสร้างลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง

1. ต่อชุดทดสอบเครื่องสร้างลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูงกับไม้ชนิดต่างๆ
2. ทาโซเดียมไบคาร์บอเนตบริเวณผิวไม้ 1 รอบด้วยแปรงขนอ่อนหรือแปรงทาสี ให้ความเข้มข้นโซเดียมไบคาร์บอเนต 1 ซ้อนโต๊ะ (15 มิลลิลิตร) ต่อน้ำ 1 แก้ว (250 มิลลิลิตร) ทาบริเวณที่จะทำลวดลายบนไม้ 1 รอบ ทิ้งไว้ให้พอรอบๆ ทาโซเดียมไบคาร์บอเนต ทับอีกรอบ



ภาพที่ 3.6 แสดงการทดสอบเครื่องและทาโซเดียมไบคาร์บอเนตบริเวณผิวไม้

3. เปิดสวิตช์ ให้กระแสไฟฟ้าผ่านเข้าหม้อแปลงลูกที่ 1 ปรับเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าเข้าหม้อแปลงตัวที่สองจนเกิดการไหม้บริเวณผิวไม้ บันทึกค่าของกระแสและแรงดันที่ได้



ภาพที่ 3.7 แสดงการทดสอบเครื่องด้วยการเปิดสวิตช์ต่อวงจรให้เครื่องทำงาน

4. นำข้อมูลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องที่สร้างขึ้น ทำลดทลายบนไม้แต่ละชนิด และวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป



ภาพที่ 3.8 แสดงการทดสอบเครื่องโดยไม่ผ่านอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น



ภาพที่ 3.9 แสดงการทดสอบเครื่องโดยผ่านอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเครื่องทำลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง ได้พัฒนาเครื่องทำลวดลายบนไม้สี่ส่วนดังนี้คือส่วนจ่ายไฟ , ส่วนป้องกันอันตรายของเครื่องและผู้ใช้งาน, ส่วนสร้างไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูงและส่วนของการทำลวดลายบนไม้

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเครื่องทำลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง โดยทำการแบ่งส่วนในการพัฒนาสี่ส่วน

ส่วนแรก ใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแบบปรับระดับแรงดันได้ 1 เฟส (Auto Transformer) สามารถปรับระดับแรงดันได้ตั้งแต่ 0-220 โวลต์ รุ่น SD-12 ขนาด 3 KVA สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ 12 แอมแปร์

ส่วนที่สองเป็นการออกแบบระบบป้องกัน ทั้งอันตรายจากการทำงานและอันตรายที่เกิดจากระบบ จะดำเนินการต่อระบบกราวด์จากเครื่องต่อกับระบบกราวด์ของการไฟฟ้า มีระบบป้องกันไฟฟ้าลัดวงจรด้วยเซอร์กิตเบรกเกอร์ ขนาด 30 แอมแปร์ ที่สามารถตัดวงจรไฟฟ้าของเครื่องทำลวดลายบนไม้รั่วไหลจากการทำงาน มีระบบฟิวส์ ทนกระแสไหลในวงจรสูงสุด 10 แอมแปร์ ป้องกันไฟฟ้าลัดวงจรจากการใช้งาน ชุดป้องกันนี้จะมีสวิตช์เปิด - ปิด ให้กระแสไฟฟ้าผ่าน จ่ายไฟ 0-220 โวลต์ ให้เครื่องทำงานรับไฟฟ้ามาจากหม้อแปลงไฟฟ้าที่สามารถปรับระดับแรงดันไฟฟ้าได้

ส่วนที่สาม การออกแบบระบบไฟฟ้าแรงดันสูง ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและคำนวณการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อให้ผู้ใช้งานเกิดความปลอดภัยและป้องกันฟิวส์ขาดบ่อย สามารถสรุปได้คือการคำนวณหาจำนวนรอบของหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง

ใช้หม้อแปลงขนาด 1,500 VA ชนิดแกนเหล็กแบบเชลล์

ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้สูงสุด ที่อินพุต 220 โวลต์

แรงดันออกสูงสุดที่ 2,500 โวลต์ ที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์

กระแสไฟฟ้า ทางอินพุตที่ 6.81 แอมแปร์ ใช้ลวดเบอร์เบอร์ 12 AWG

กระแสไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ  $I_2$  0.6 แอมแปร์ ใช้ลวดเบอร์เบอร์ 23 AWG

จำนวนรอบของขดลวดทางด้านปฐมภูมิ 389 รอบ

รอบขดลวดทางด้านทุติยภูมิ 4,416 รอบ

ส่วนสุดท้ายจะเป็นส่วนของการทำลวดลายบนไม้ ต่อหลังจากหม้อแปลงแบบปรับค่าแรงดันไฟฟ้าได้ ผ่านฟิวส์ขนาด 5 แอมป์แปร์ ต่อเข้ากับหม้อแปลงไฟฟ้าที่อินพุต 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ เข้าที่พุต 2,500 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ ปลายสายไฟต่อกับที่จับลวดเชื่อมไฟฟ้า จับตัวนำ ใช้แท่งโลหะตัวนำทั้งสองอันมีปลายแหลมเพื่อสามารถกดเข้าเนื้อไม้ได้

เมื่อนำทั้งสี่ส่วนมาประกอบเข้าด้วยกันสามารถที่จะได้ลวดลายบนไม้ที่มีลักษณะรูปร่างเหมือนกับสายฟ้า จะสวยงามเมื่อทำการปรับระดับแรงดันให้เหมาะสมกับการเผาไหม้ไม่ให้เผาไหม้เร็วเกินไป ผลการทดสอบพบว่าเครื่องสามารถทำงานได้ดี การขาดของฟิวส์ลดลงเมื่อเทียบกับการต่อแบบเดิม การกินกระแสไฟฟ้าลดลง ลวดลายสามารถปรับแต่งไม้ให้ไหม้เกิดความเสียหายตามที่ต้องการได้ด้วยการปรับระดับแรงดันในส่วนแรก

#### 4.1 ผลการทดสอบเครื่องสร้างลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง

ในการทดสอบจะทำโดยใช้ตัวควบคุมเหมือนกันดังนี้ คือ ชนิดของไม้คือใช้ไม้ 5 ชนิด, การทาโซเดียมโบคาร์บอเนตสองรอบ ใช้แปรงทาสีขนาด 2 นิ้วจุ่มน้ำที่ละลายโซเดียมโบคาร์บอเนตโดยให้รอบแรกแห้งพอสมควร ๆ แล้วทาโซเดียมโบคาร์บอเนตรอบที่สอง, ความยาวของไม้ในการทดสอบตัดไม้ให้เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร, การจับชิ้นงานไม้ จับบริเวณหัวท้ายของไม้, การปรับระดับแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นที่ทำให้เกิดลายบนไม้ ทำการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นทีละนิดจนเกิดการไหม้ไม่เกิดขึ้น ทำการวัดค่าแรงดันและกระแสที่เกิดขึ้นบันทึกค่าต่างๆ ผลการทดสอบได้ดังตาราง 4.1-4.6

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการเกิดลวดลายบนไม้สัก

ไม้	แบบ	ลวดลายที่ได้	แรงดันเข้า (โวลต์)	กระแสเข้า (แอมแปร์)	แรงดันออก (โวลต์)	กระแสออก (แอมแปร์)	หมายเหตุ
ไม้สัก	เดิม		220.9	4.23	2,359	0.39	
	พัฒนา ขึ้น		74.1	0.60	791	0.05	

จากตารางที่ 4.1 ได้ทำการทดสอบเครื่องที่ยังไม่ได้พัฒนา ทำการทดสอบครั้งที่ 1 ส่วนที่พัฒนาขึ้นจากการวิจัยทดสอบครั้งที่ 2 พบว่าสามารถทำงานได้เทียบเคียงกับอันเดิม ลวดลายที่เกิดขึ้นเล็กและละเอียดกว่า ใช้ไฟฟ้าน้อยกว่าทั้งแรงดันและกระแส

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการเกิดลวดลายบนไม้ทุเรียน

ไม้	แบบ	ครั้งที่	ลวดลายที่ได้	แรงดันเข้า (โวลต์)	กระแสเข้า (แอมแปร์)	แรงดันออก (โวลต์)	กระแสออก (แอมแปร์)	หมายเหตุ
ทุเรียน	เดิม	1		219.4	4.46	2,343	0.41	
	พัฒนา ขึ้น	2		79.1	0.76	844.78	0.07	

จากตารางที่ 4.2 ได้ทำการทดสอบเครื่องที่ยังไม่ได้พัฒนากับไม้ทุเรียน ทำการทดสอบครั้งที่ 1 ส่วนที่พัฒนาขึ้นจากการวิจัยทดสอบครั้งที่ 2 พบว่าสามารถทำงานได้เทียบเคียงกับอันเดิม ลวดลายที่เกิดขึ้นเล็กและละเอียด ใช้กำลังไฟฟ้าน้อยกว่า

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการเกิดลวดลายบนไม้สน

ไม้	แบบ	ครั้งที่	ลวดลายที่ได้	แรงดันเข้า (โวลต์)	กระแสเข้า (แอมแปร์)	แรงดันออก (โวลต์)	กระแสออก (แอมแปร์)	หมายเหตุ
สน	เดิม	1		217.5	4.21	2,322	0.39	
	พัฒนา ขึ้น	2		74.5	0.87	795	0.08	

จากตารางที่ 4.3 เป็นการทดสอบการทำลวดลายบนไม้สน ลวดลายที่เกิดขึ้นได้ แตกต่างกันไปไม่มากนัก แต่การสิ้นเปลืองพลังงานจากไฟฟ้า แบบที่พัฒนาจะสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าแบบเดิม ใช้แรงดันที่จ่ายให้เครื่อง 795 โวลต์ 0.08 แอมแปร์สามารถทำให้เกิดรอยเผาไหม้บนไม้สนได้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบการเกิดลวดลายบนไม้ยางพารา

ไม้	แบบ	ครั้งที่	ลวดลายที่ได้	แรงดันเข้า (โวลต์)	กระแสเข้า (แอมแปร์)	แรงดันออก (โวลต์)	กระแสออก (แอมแปร์)	หมายเหตุ
ยาง พารา	เดิม	1		219.6	4.38	2,302	0.40	
	พัฒนา ขึ้น	2		83.1	0.88	889	0.08	

จากตารางที่ 4.4 เป็นการทดสอบการทำลวดลายบนไม้ยางพารา ลวดลายที่เกิดขึ้นได้แตกต่างกันไม่มากนัก แต่การสิ้นเปลืองพลังงานจากไฟฟ้า แบบที่พัฒนาจะสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าแบบเดิม ใช้แรงดันที่จ่ายให้เครื่อง 83.1 โวลต์ 0.88 แอมแปร์ก็สามารถทำให้เกิดรอยเผาไหม้บนไม้สนได้ลักษณะรอยไหม้ไม่ลึก สามารถควบคุมลวดลายให้แตกแขนงออกด้านข้างได้ดี

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบการเกิดลวดลายบนไม้แดง

ไม้	แบบ	ครั้งที่	ลวดลายที่ได้	แรงดันเข้า (โวลต์)	กระแสเข้า (แอมแปร์)	แรงดันออก (โวลต์)	กระแสออก (แอมแปร์)	หมายเหตุ
แดง	เดิม	1		221.9	10.12	2,369	0.94	ฟิวส์ขาด เบรก เกอร์ตัด
	พัฒนา ขึ้น	2		96.7	2.41	1,032	0.22	

จากตารางที่ 4.5 เป็นการทดสอบการทำลวดลายบนไม้แดง ลวดลายที่เกิดขึ้นได้แตกต่างกันไม่มากนัก แต่การสิ้นเปลืองพลังงานจากไฟฟ้า แบบที่พัฒนาจะสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าแบบเดิม

ใช้แรงดันที่จ่ายให้เครื่อง 1,032 โวลต์ 0.22 แอมแปร์ก็สามารถทำให้เกิดรอยเผาไหม้บนไม้แดงได้ ลักษณะรอยไหม้ไม่ลึก ในการทดสอบ พิวส์ที่จ่ายให้กับวงจรขาด 2 ครั้ง การเริ่มทำงานของเครื่อง เกิดช้า ระดับแรงดันเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการไหม้และเกิดลายไม้สูงกว่าไม้อื่น ๆ

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในการทำลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดันสูงบนไม้ชนิดต่างๆ

ไม้ที่ใช้ทดสอบ	แรงดันเข้า (โวลต์)	กระแสที่ใช้ (แอมแปร์)	แรงดันที่ออก (โวลต์)	กระแสที่ใช้ (แอมแปร์)	หมายเหตุ
ไม้สัก	220.9	4.23	2,359	0.39	แบบเดิม
	74.1	0.60	791	0.05	ที่พัฒนาขึ้น
ไม้ทุเรียน	219.4	4.46	2,343	0.41	แบบเดิม
	79.1	0.76	844.78	0.07	ที่พัฒนาขึ้น
ไม้สน	217.5	4.21	2,322	0.39	แบบเดิม
	74.5	0.87	795	0.08	ที่พัฒนาขึ้น
ไม้อย่างพารา	219.6	4.38	2,302	0.40	แบบเดิม
	83.1	0.88	889	0.08	ที่พัฒนาขึ้น
ไม้แดง	221.9	10.12	2,369	0.94	พิวส์ขาด เบรกเกอร์ตัด
	96.7	2.41	1,032	0.22	ที่พัฒนาขึ้น

จากตารางที่ 4.6 สรุปได้ดังนี้คือ

การทำลวดลายบนไม้สัก จะใช้แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกที่ 791 โวลต์ ลายไม้จะสามารถเกิดขึ้นได้ กินกระแสที่ 0.05 แอมแปร์

การทำลวดลายบนไม้ทุเรียนจะใช้แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกที่ 844.78 โวลต์ ลายไม้จะสามารถเกิดขึ้นได้ กินกระแสที่ 0.07 แอมแปร์

การทำลวดลายบนไม้สนจะใช้แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกที่ 795 โวลต์ ลายไม้จะสามารถเกิดขึ้นได้กินกระแสที่ 0.08 แอมแปร์

การทำลวดลายบนไม้อย่างพาราจะใช้แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกที่ 889 โวลต์ ลายไม้สามารถเกิดขึ้นได้ กินกระแสที่ 0.08 แอมแปร์

การทำลวดลายบนไม้แดงจะใช้แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกที่ 1,032 โวลต์ ลายไม้สามารถเกิดขึ้นได้ กินกระแสที่ 0.22 แอมแปร์

จะเห็นได้ว่า ไม้ที่ใช้ทดสอบจะมีค่าการใช้แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าแตกต่างกัน ขึ้นอยู่หลายปัจจัย เช่น ความชื้นที่ไม่สามารถเก็บไว้ในตัวไม้ได้ ถ้าเก็บความชื้นได้มาก (เนื้อไม้หายาบ มีช่องว่างระหว่างเนื้อไม้ก็จะสามารถเกิดการซึมของสารตัวนำทำให้การไหลของกระแสไฟฟ้าดีและเกิดการเผาไหม้ได้ดี) เช่น ไม้สัก ไม้สน , ไม้ทุเรียน , ไม้ยางพารา ตามลำดับ  
ความหนาแน่นของเนื้อไม้ ไม้ที่มีความหนาแน่นของเนื้อไม้สูง จะใช้แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าค่อนข้างสูง ในการทดลองจะเห็นได้ชัด คือ ไม้แดง

4.2 การทดสอบเครื่องทำลายลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง จากตารางที่ 4.6 เป็นการทดสอบเครื่องที่พัฒนาขึ้น และเปรียบเทียบกับเครื่องแบบเดิมได้ข้อมูลดังนี้คือ

4.2.1.ระบบจ่ายไฟ สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าได้ดีเครื่องไม่ร้อน ไม่มีการตัดวงจรเครื่องในขณะที่เครื่องทำงาน สามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 0-220 โวลต์ จ่ายกระแสได้สูงสุดที่ 12 แอมแปร์



ตำแหน่งหมุนเพิ่ม-ลด  
แรงดันไฟฟ้า

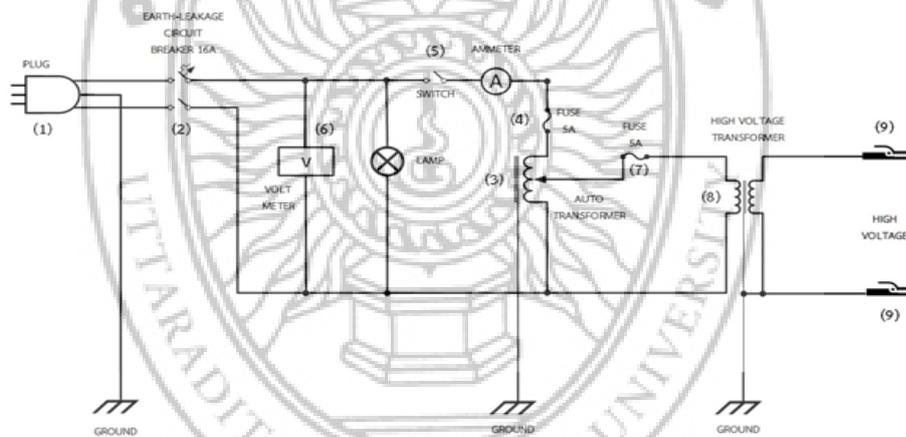
ภาพที่ 4.1 แสดงชุดจ่ายไฟฟ้าให้กับเครื่องทำลายลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง

4.2.2 ส่วนของระบบป้องกันอันตรายเครื่องและผู้ใช้งาน ในการทดสอบส่วนป้องกันอันตรายทำงานได้ปกติเมื่อทดลองทำการทดสอบทำลายไม้ จนกระทั่งการวิ่งของไฟฟ้าที่ทำลายไม้วิ่งมาชนกัน ระบบจะตัดการทำงานหากมีการช็อตกันของระบบไฟฟ้า ในระบบนี้จะมีหลอดไฟแสดงการทำงานให้ผู้ใช้งานทราบว่าเครื่องทำลายไม้มีกระแสไฟฟ้าแรงดันสูงอยู่ แม้จะมีเครื่องป้องกันแต่ผู้ใช้งานต้องใช้ความระมัดระวังอันตรายจากไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง ในการป้องกันการแก้ไขปรับแต่งเครื่องได้เลือกใช้ตู้ที่สามารถเก็บอุปกรณ์การทำไว้ในตู้ได้เกือบทั้งหมด และมีกุญแจล็อคตู้เพื่อป้องกันอันตรายจากการปรับแต่งของผู้ใช้งาน ตลอดถึงปลั๊กเสียบที่มีการต่อระบบกราวด์ป้องกันไฟฟ้ารั่วลงกราวด์



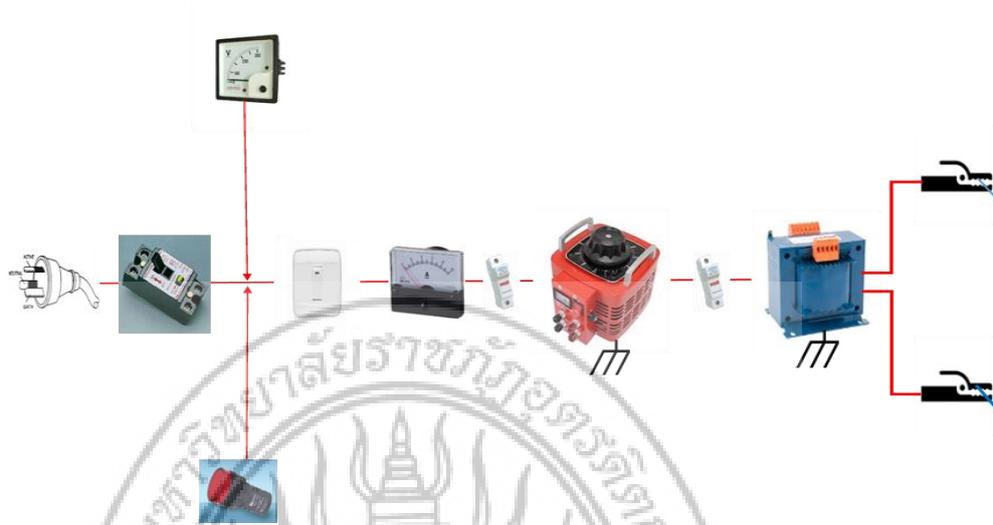
ภาพที่ 4.2 แสดงชุดป้องกันอันตรายจากตัวเครื่องและผู้ปฏิบัติงาน

4.2.3 ส่วนสร้างไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง ส่วนนี้ได้ออกแบบพันหม้อแปลงไฟฟ้าให้ได้แรงดันและกำลังไฟฟ้าตามที่ต้องการเก็บใส่ไว้ในตู้ควบคุม มีวงจรโดยรวมทั้งเครื่องดังวงจรที่แสดงในภาพ 4.3



ภาพที่ 4.3 แสดงวงจรการต่อเครื่องทำลายไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูงทั้งหมด จากรูป 4.3 เป็นชุดที่ทำการเปลี่ยนไฟฟ้าให้เป็นไฟฟ้าแรงสูง จากการออกแบบ ออกแบบให้มีแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ 220/2,500 โวลต์ ในรูปคืออุปกรณ์หมายเลข 8 ซึ่งได้ทำการออกแบบและคำนวณให้ได้ตามโวลต์และกระแสที่สามารถทำให้เครื่องใช้งานได้

### 4.3 ส่วนสร้างและประกอบเครื่อง



ภาพที่ 4.4 แสดงการต่อเครื่องทำลวดลายไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูงทั้งหมด  
จากภาพที่ 4.4 เมื่อออกแบบและเตรียมอุปกรณ์ทั้งหมดแล้ว นำแต่ละส่วนมาประกอบเข้า  
ด้วยกัน นำไปทดลองทำลวดลายบนไม้ ผลการทดสอบเครื่องสามารถใช้งานได้ดี



(ก) ส่วนปรับ เพิ่ม-ลดแรงดัน

(ข) ส่วนของเครื่องทำลวดลายบนไม้

ภาพที่ 4.5 แสดงเครื่องที่ประกอบสำเร็จ

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ

#### 5.1สรุปผลการวิเคราะห์

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเครื่องทำลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง ได้พัฒนาเครื่องทำลวดลายบนไม้สี่ส่วนดังนี้คือ 1.ส่วนจ่ายไฟให้กับวงจร 2.ส่วนของระบบป้องกันอันตรายของเครื่องและผู้ใช้งาน 3.ส่วนสร้างไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง 4.ส่วนสร้างและประกอบเครื่อง

จากผลการทดสอบ ส่วนสร้างไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง เครื่องสามารถทำงานได้ดี ระบบจ่ายไฟไม่ร้อน ระบบป้องกันอันตรายผู้ใช้งานได้รวดเร็ว เครื่องสามารถรับและจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 220.9/2,359 โวลต์ ในขณะที่ทดลองสร้างลวดลายบนไม้สัก จากการทดสอบสร้างลวดลายบนไม้ทั้ง 5 ชนิด ไม้ที่ใช้ทดสอบจะมีค่าการใช้แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าแตกต่างกัน ขึ้นอยู่หลายปัจจัย เช่น ความชื้นที่ไม้สามารถเก็บไว้ในตัวไม้ได้ ส่วนความหนาแน่นของเนื้อไม้ ไม้ที่มีความหนาแน่นของเนื้อไม้สูง จะใช้แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าค่อนข้างสูงถึงจะเกิดลวดลายและการเผาไหม้ ในการทดลองจะเห็นได้ชัดคือ ไม้แดง นอกจากปัจจัยที่ได้กล่าวมา ยังมีอีกหลายปัจจัยที่มีผลต่อการทำลวดลายบนไม้ ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง เช่น สารตัวนำที่ทาบนไม้ , ความชื้นของไม้ , ระยะห่างของขั้วไฟฟ้า , ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้เครื่อง , ชนิดของไม้ , กำลังไฟฟ้าของเครื่องที่สร้างขึ้น ซึ่งหากรบบจ่ายไฟฟ้าให้กับวงจรมีกำลังมากเครื่องก็จะสามารถทำงานได้ต่อเนื่องได้ระยะเวลายาวนาน สามารถปรับระดับแรงดันไฟฟ้าให้จ่ายให้กับเครื่องได้ตามต้องการ ส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง

ระบบป้องกันก็เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ผู้ใช้งานและเครื่องมีความปลอดภัย การเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีความไวต่อการตอบสนอง ทำให้การใช้งานเกิดความปลอดภัย การออกแบบให้ใช้งานได้สะดวกง่ายต่อการใช้งานไม่ยุ่งยากซับซ้อน ก็เป็นอีกปัจจัยที่ทำให้เครื่องที่นำมาใช้งานมีความน่าสนใจ มีสัญญาณไฟเตือนขณะทำงาน มีระบบตัดการทำงานจากอันตรายที่เกิดจากผู้ใช้งานและเครื่องทำงานผิดปกติ

ส่วนของการสร้างไฟฟ้าแรงดันสูง การเลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้าในการจ่ายกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าทำให้สามารถออกแบบได้ง่าย ใช้งานได้สะดวก หากเกิดปัญหาสามารถตรวจสอบและซ่อมแซมได้ง่าย ในการประกอบเครื่องใช้การแยกออกไป มีส่วนของการป้องกันอันตรายและส่วนของตัวสร้างไฟฟ้าแรงดันสูงรวมกันอยู่ในตู้เหล็ก ที่มีการต่อระบบกราวด์และต่อสายออกไปยังหัวจับไม้ทั้งสองขั้ว

อุปกรณ์ที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นมา มีน้ำหนักรวมประมาณ 25 กิโลกรัม จากการทดสอบทำ ลวดลายบนไม้ 5 ชนิดคือ ไม้สัก, ไม้ทุเรียน, ไม้สน, ไม้ยางพาราและไม้แดง เครื่องสามารถใช้งานได้ ง่ายต่อการใช้งาน แยกส่วนของการจ่ายไฟออกมา ส่วนจ่ายไฟสามารถปรับระดับแรงดันให้สูงต่ำได้ ตามการใช้งานกับไม้ชนิดต่าง ๆ การนำไปทดลองทำลวดลายกับไม้ ลวดลายที่เกิดขึ้นสามารถเกิดขึ้น ได้ดี ระบบป้องกันอันตรายสามารถทำงานและตัดระบบการทำงานได้ดีเมื่อมีการใช้กระแสไฟฟ้าเกิน พิกัด การเกิดลายไม้ที่สร้างด้วยเครื่องที่พัฒนาขึ้นมีลวดลายที่สวยงาม รอยไหม้ลดลง ไม้เกิดความ แข็งแรงไม่เสียหายที่เกิดจากการไหม้เข้าไปในเนื้อไม้มากนัก สามารถควบคุมการไหม้ได้ตามต้องการ ผลการทดลองพบว่าเครื่องทำลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูงที่พัฒนาขึ้นสามารถทำ ลวดลายเริ่มต้นบนไม้ที่ระยะห่างของขั้วไฟฟ้าแรงดันสูงที่ 20 เซนติเมตร มีแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นที่ 791 โวลต์ 0.05 แอมแปร์ในการทำลายบนไม้สัก มีลวดลายเกิดขึ้น การลุกไหม้ของไม้มีน้อยลง กำลังไฟฟ้าที่ใช้ลดลง อีกทั้งยังสามารถปรับระดับการเผาไหม้ให้รุนแรงลดลง จากการทดสอบเครื่อง ทำลวดลายบนไม้ที่ได้พัฒนาและออกแบบขึ้นใช้งาน เครื่องสามารถใช้งานได้จริง

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการสร้างเครื่องแยกเป็นส่วนๆ ทำให้เครื่องไม่อยู่ในกล่องหรือชุดเดียวกันในการนำไปใช้ งานยังต้องนำมาต่อประกอบกันก่อนถึงจะสามารถปรับระดับแรงดันได้ ถ้าไม่นำชุดจ่ายไฟต่อก็คง ทำให้การใช้พลังงานสิ้นเปลือง การทำลายไม้เกิดการลุกไหม้มาก เกิดความเสียหายต่อเนื้อไม้ได้
2. ในการออกแบบหม้อแปลงสร้างแรงดันสูง ต้องออกแบบให้มีกำลัง แรงดัน การจ่าย กระแสที่สูงกว่าการคำนวณเพื่อความทนทานในการใช้งาน
3. อุปกรณ์ป้องกันอันตรายต้องเลือกที่มีความไวในการตัดวงจรการทำงาน เพื่อความ ปลอดภัยของผู้ใช้งาน และควรสวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลจากไฟฟ้าเพื่อเพิ่มความ ปลอดภัยมากยิ่งขึ้น
4. หากต้องการระยะห่างในการทำลวดลายให้มากขึ้น ต้องออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าให้มี แรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้น สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น
5. ในการทำวิจัยครั้งต่อไป ควรศึกษาปัจจัยอื่นๆที่สามารถทำให้เกิดลวดลายบนไม้ได้ง่าย สะดวกต่อการนำมาใช้งาน และลดต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ เช่น ระยะห่างในการทำลวดลาย สารตัวนำที่ทาลงบนแผ่นไม้ ชนิดของไม้ การประยุกต์ใช้กับวัสดุอื่น ๆ

## เอกสารอ้างอิง

- ณรงค์ ขอนตะวัน. (2524). *หม้อแปลงไฟฟ้า*. กรุงเทพฯ: เอรಾವัฒนาการพิมพ์.
- ณรงค์ ขอนตะวัน. (2528). *เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ*. กรุงเทพฯ: เอรಾವัฒนาการพิมพ์.
- ประเสริฐ ปิ่นปฐมรัฐ.(2549). วิศวกรรมไฟฟ้า ภาคทฤษฎี.กรุงเทพฯ: สกายบุ๊กส์.
- ประทีภษ์ คุณทอง.(2555).การศึกษาและพัฒนาเครื่องเรือนจากการประยุกต์ใช้สวดลายหัตถกรรมเครื่องจักสานพื้นบ้านท้องถิ่นอีสาน. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ปาณิสรา ป้องสุพรรณ. (2558). สถาบันส่งเสริมอาชีพช่างไม้.กรุงเทพฯ: สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- อิสระ อินลุเพท. (2542). แม่เหล็กไฟฟ้า. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- กระแสไฟฟ้าทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก. (2562). สืบค้นเมื่อ 21 พฤษภาคม 2562.  
<https://krupairat5107.files.wordpress.com>.
- การแปลงแรงดันไฟสลับเป็นแรงดันไฟตรง. (2562). สืบค้นเมื่อ 28 มิถุนายน 2562.  
<http://www.neutron.rmutphysics.com>.
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้า. (2562). สืบค้นเมื่อ 28 มิถุนายน 2562.
- แม่เหล็กไฟฟ้าและแม่เหล็กถาวร. (2562). สืบค้นเมื่อ 28 มิถุนายน 2562,  
[https://wiki.stjohn.ac.th/groups/poly\\_motorvehicles/wiki/18885](https://wiki.stjohn.ac.th/groups/poly_motorvehicles/wiki/18885).
- แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ. (2562). สืบค้นเมื่อ 28 มิถุนายน 2562,  
<http://www.neutron.rmutphysics.com>.
- สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์(2556). มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556. กรุงเทพฯ: \_\_\_\_\_.
- เอกสารประกอบการสอน โครงสร้างและการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า(\_\_\_\_). หน้าที่ 8.  
วิทยาลัยเทคนิคนครนายก.นครนายก: \_\_\_\_\_.
- เอกสารเผยแพร่.ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 9 ชลบุรี  
<http://www.thailandindustry.com/onlinemag>.
- Theraja,B.L.(2005). “A Textbook of Electrical Technology”.NewDelhi : S. Chand.



ภาคผนวก



**ภาคผนวก ก**

รายละเอียดเครื่องทำลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง



ภาพที่ ก.1 ภาพแสดงแกนเหล็กหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเซลล์



ภาพที่ ก.2 ภาพบ๊อบขึ้นหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเซลล์



ภาพที่ ก.3 ภาพแสดงการใส่แกนเหล็ก



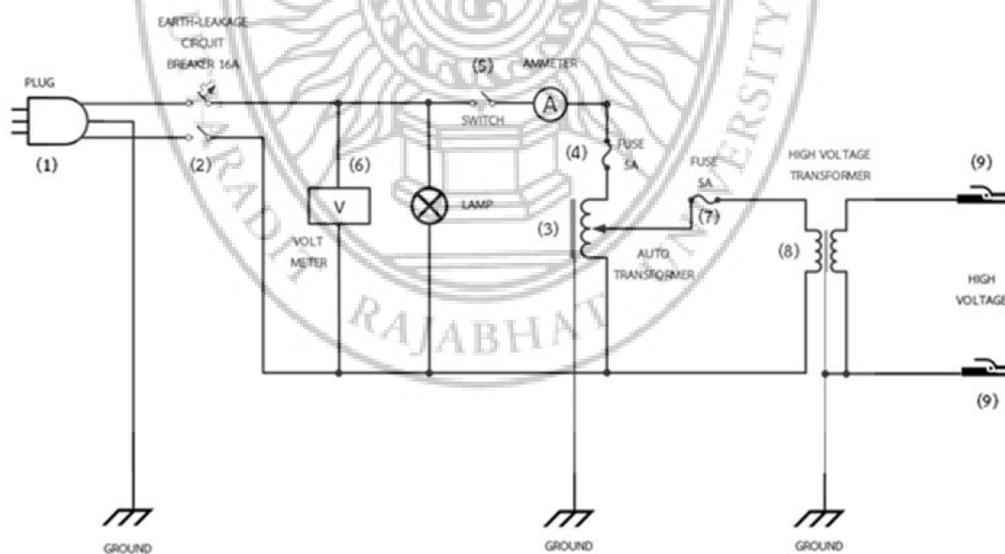
ภาพที่ ก.4 ภาพแสดงขดลวดทองแดง



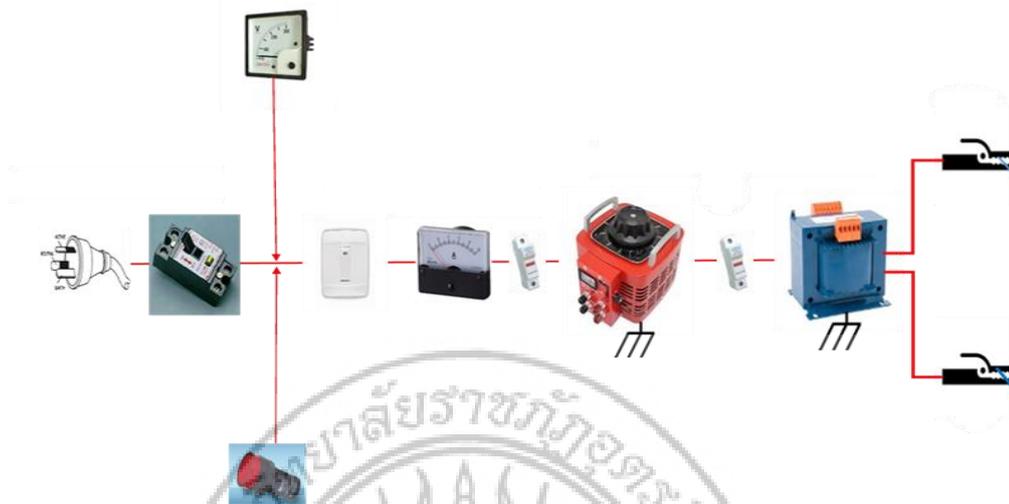
ภาพที่ ก.5 ภาพแสดงชุดจ่ายไฟที่สามารถปรับระดับแรงดันไฟฟ้าได้



ภาพที่ ก.6 ภาพแสดงตู้คอนโทรลที่มีกุญแจล็อก



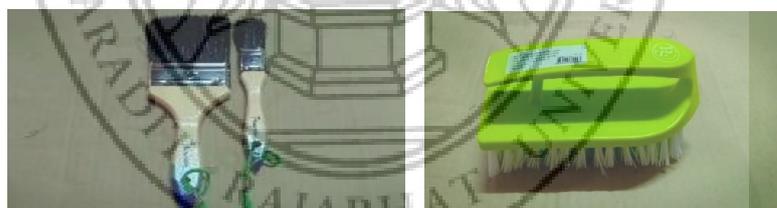
ภาพที่ ก.7 ภาพแสดงวงจรไฟฟ้าการต่อเครื่องสร้างลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง



ภาพที่ ก.8 ภาพแสดงการต่อเครื่องสร้างลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง



ภาพที่ ก.9 ภาพแสดงถุงมือยางและรองเท้าเซฟตี้



ภาพที่ ก.10 ภาพแสดงแปรงทาสารตัวนำและแปรงขัด



ภาพที่ ก11 ภาพแสดงผ้าปิดจมูก



ภาพที่ ก.12 ภาพแสดงการผสมโซเดียมไบคาร์บอเนต



ภาพที่ ก.12 ภาพแสดงการนำส่วนจ่ายไฟกับส่วนสร้างลายไม้ต่อเข้าด้วยกัน



ภาพที่ ก.12 ภาพแสดงการทำโซเดียมไบคาร์บอเนตลงบนแผ่นไม้



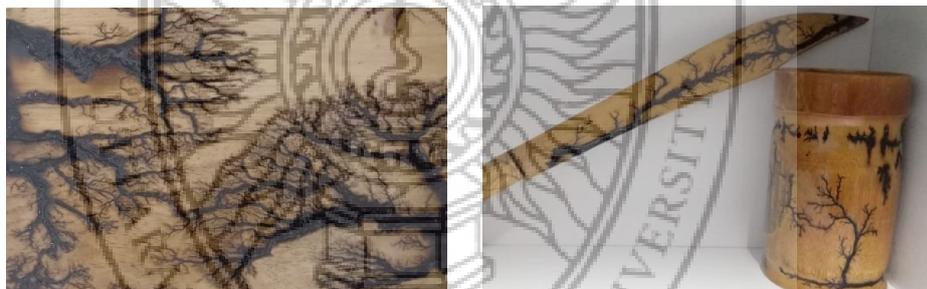
ภาพที่ ก.13 ภาพแสดงขณะเครื่องทำงาน



ภาพที่ ก.14 ภาพการเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องแบบเดิมและที่พัฒนาขึ้น



ภาพที่ ก.15 ภาพการเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องแบบเดิมและที่พัฒนาขึ้น



ภาพที่ ก.16 ภาพแสดงการนำเครื่องไปสร้างลวดลายบนผลิตภัณฑ์



ภาพที่ ก.17 ภาพแสดงการเผาไหม้ก่อนพัฒนาเครื่องทำลวดลายบนไม้



ภาพที่ ก.18 ภาพแสดงการเผาไหม้หลังการพัฒนาเครื่องทำลวดลายบนไม้



ภาพที่ ก.19 ภาพแสดงเครื่องทำลวดลายบนไม้ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง