บทที่ 4

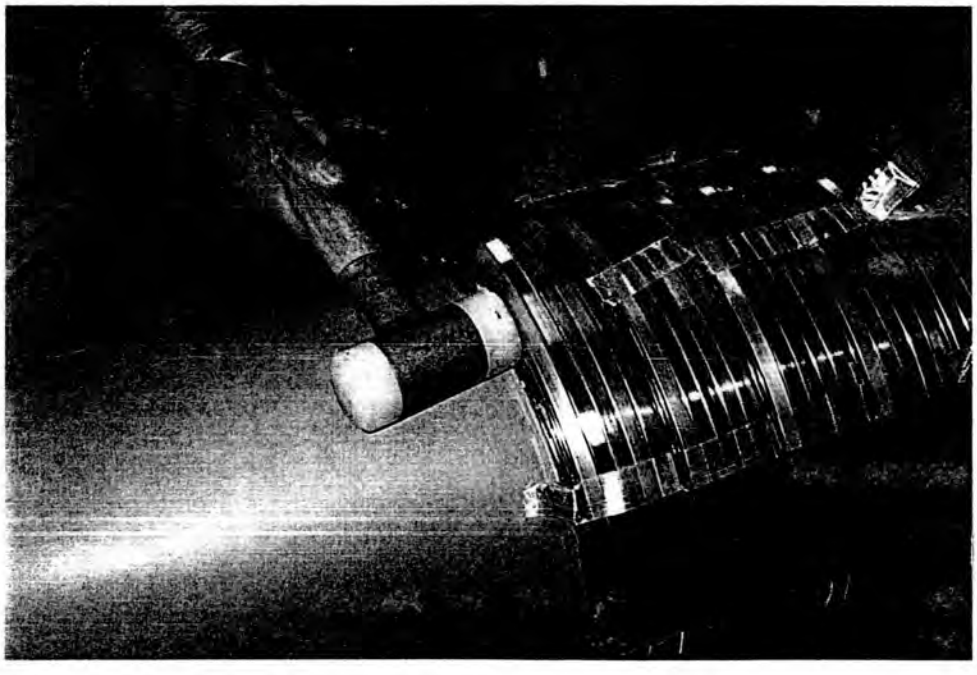
การประกอบสร้างหม้อแปลง

ส่วนประกอบหลักต่างๆ ที่สำคัญของหม้อแปลงดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ประกอบด้วย ขดลวด แกนเหล็ก ตัวเปลี่ยนจุดแยกระบบและแรงดัน ซึ่งบรรจุติดตั้งภายในตัวถังมีก๊าซ SF_6 อัดความดันบรรจุอยู่ภายใน พร้อมอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและเครื่องวัดความดันก๊าซภายในถัง ซึ่งต่อไปนี้จะได้กล่าวถึงรายละเอียดของการประกอบสร้างองค์ประกอบต่างๆ ดังกล่าว

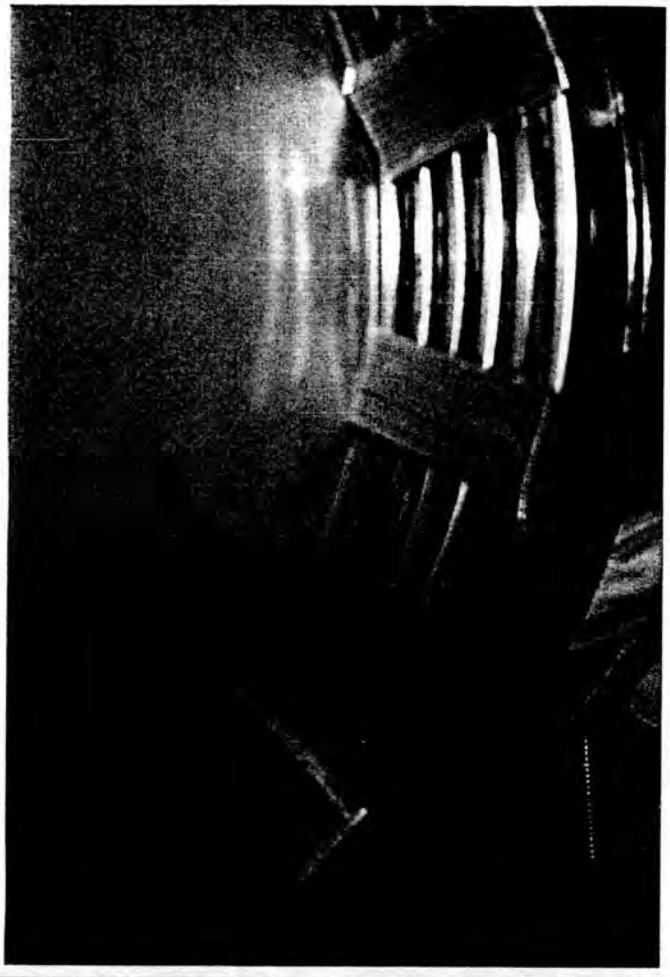
4.1 การพันขดลวดแรงต่ำ

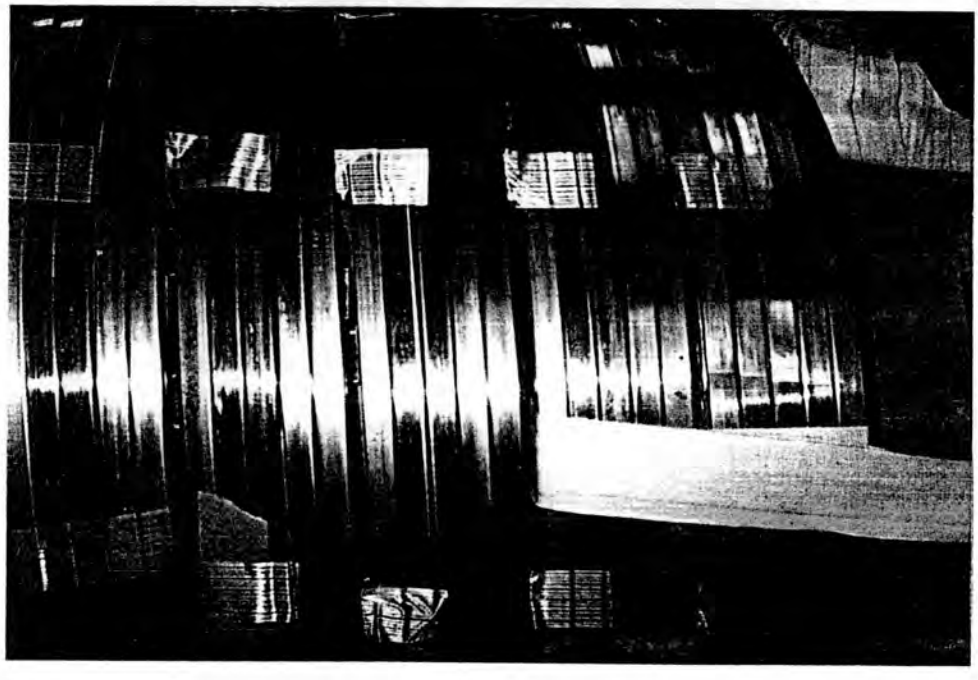
การพันขดลวดแรงต่ำต้องเตรียมแบบไม้ทรงกระบอก ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางวงในของขดลวดแรงต่ำที่คำนวณได้ในข้อ 3.3 คือ 283 mm และต้องมีการเตรียมเบกไลท์ขนาดหนา 3 mm เพื่อทำร่องระบายความร้อนภายในแต่ละรอบ และเบกไลท์ขนาดหนา 4.5 mm เพื่อใช้เป็นฉนวนระหว่างรอบตามรูปที่ 3.2 ในการพันขดลวดแรงต่ำใช้ทองแดงเปลือยขนาด 4.0×11.0 mm^2 จำนวน 30 เส้นขนานกัน ในขณะเริ่มพันต้องดัดลวดให้ตั้งฉากเพื่อนำไปต่อกับปลอกฉนวนนำสาย โดยในแต่ละชุดประกอบด้วยลวดแบน 6 เส้นจำนวน 5 ชุด นำมาคั่นด้วยเบกไลท์ที่เตรียมไว้ระหว่างชุดของลวดแบนและพันด้วยผ้าพันมอเตอร์ แล้วจึงนำมายึดเข้ากับแบบไม้ทรงกระบอกบนแท่นพัน ขณะพันขดลวดจะใส่เบกไลท์ขนาดหนา 4.5 mm ระหว่างรอบและใส่ร่องระบายความร้อนที่ได้เตรียมไว้ดังรูปที่ 4.1ก โดยใช้ค้อนพลาสติกตีให้แน่นดังรูปที่ 4.1ข เมื่อพันครบ 6 รอบจะทำการไขว้ลวดจากด้านในออกสู่ด้านนอก เพื่อให้ได้ค่าความต้านทานของลวดแต่ละเส้นมีค่าประมาณเท่ากัน อันจะทำให้การกระจายความร้อนของขดลวดแรงต่ำสม่ำเสมอที่สุด เมื่อไขว้เสร็จจะทำการพันต่อไปดังรูปที่ 4.1ง ในรอบที่มีการไขว้ลวดไม่มีการใส่ร่องระบายความร้อน หลังจากพันครบ 14 รอบแล้วจะบิดลวดเพื่อใช้ในการต่อสาย และพันด้วยผ้าพันมอเตอร์ที่ปลายของขดลวดเพื่อกันการคลายตัวของขดลวดดังรูปที่ 4.1จ และมีการใส่ร่องระบายความร้อนระหว่างขดลวดแรงสูงและแรงต่ำ ใช้เบกไลท์หนา 10 mm กว้าง 20 mm และมีโพลีเอสเตอร์ฟิล์มหนา 75 μm จำนวน 25 ชั้นอยู่ระหว่างเบกไลท์ 10 mm ดังในรูปที่ 4.1ฉ เพื่อให้ได้ตามรูปที่ 3.5 รายละเอียดการพันลวดแรงต่ำแสดงดังรูปที่ 4.1ก ถึง 4.1ช

รูปที่ 4.1ก การใส่และจัดร่องระบายความร้อน

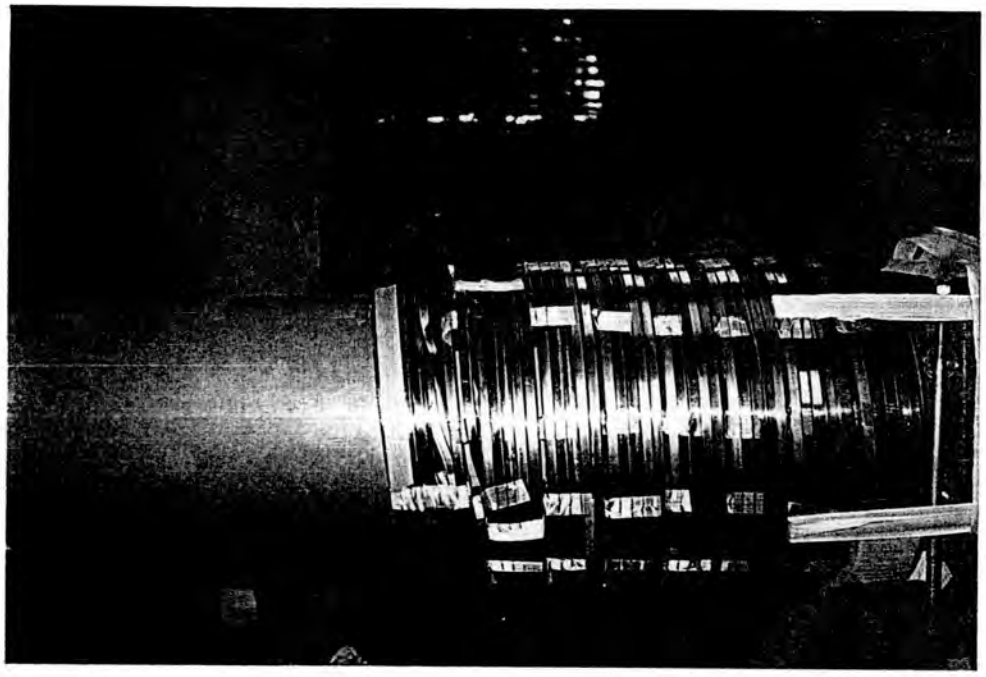


รูปที่ 4.1ข การจัดขดลวดแต่ละรอบให้แน่น

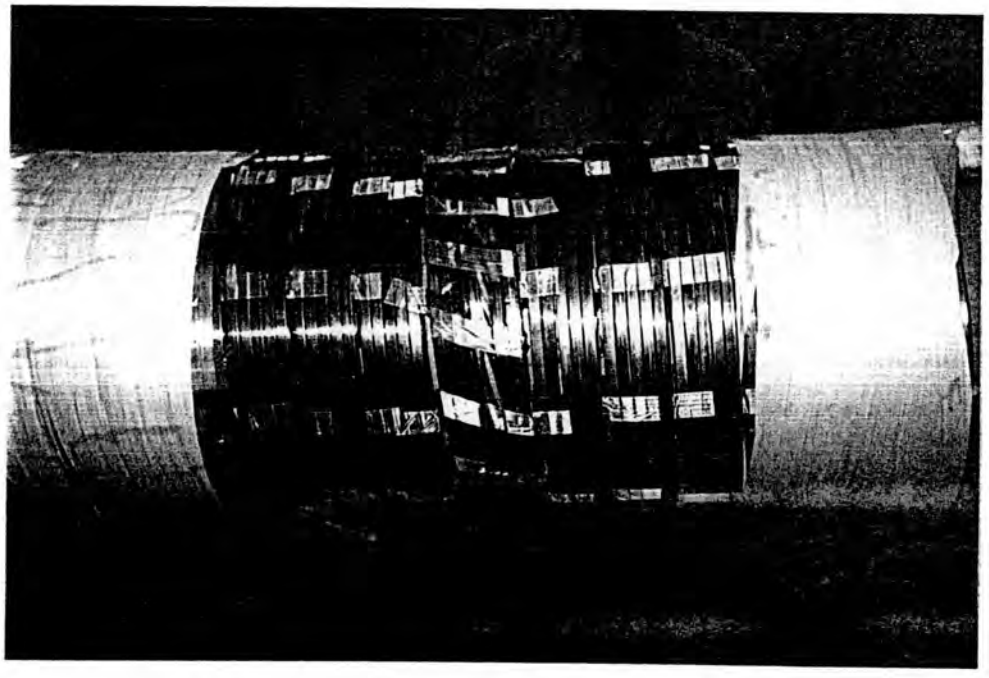




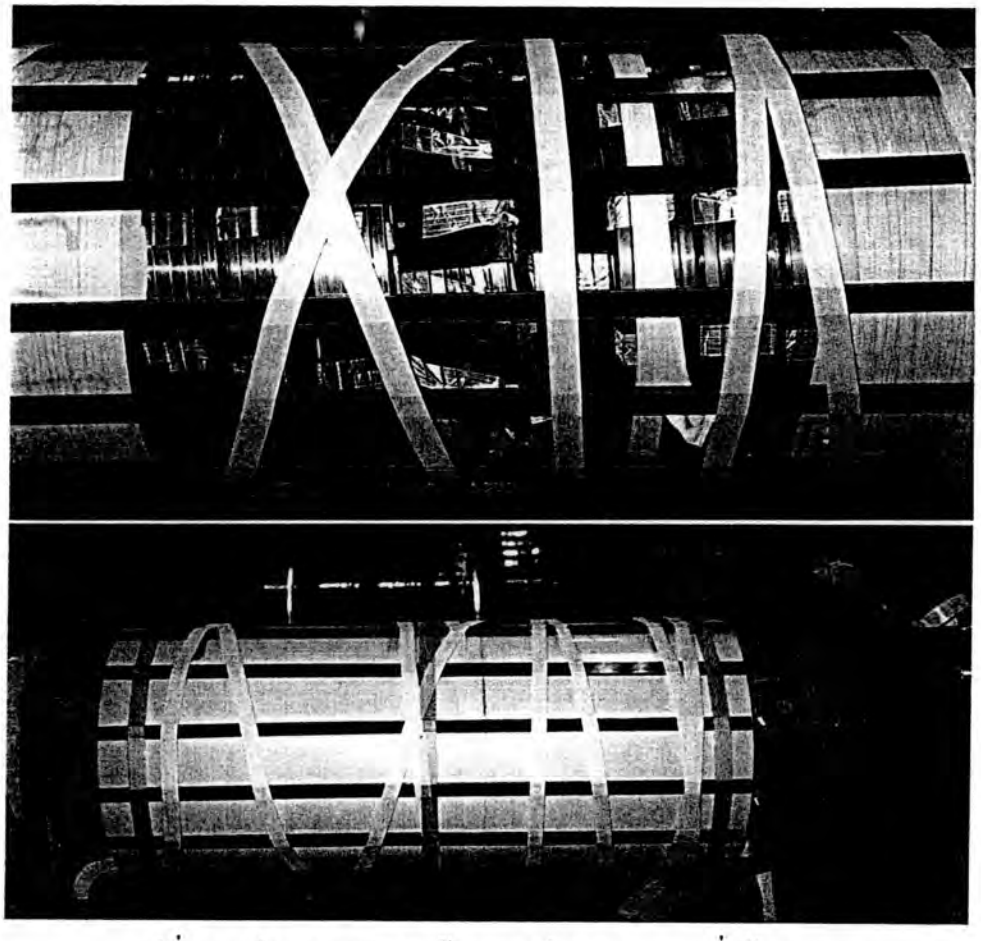
รูปที่ 4.1ค ร่องระบายความร้อนระหว่างรอบและระยะระหว่างรอบ



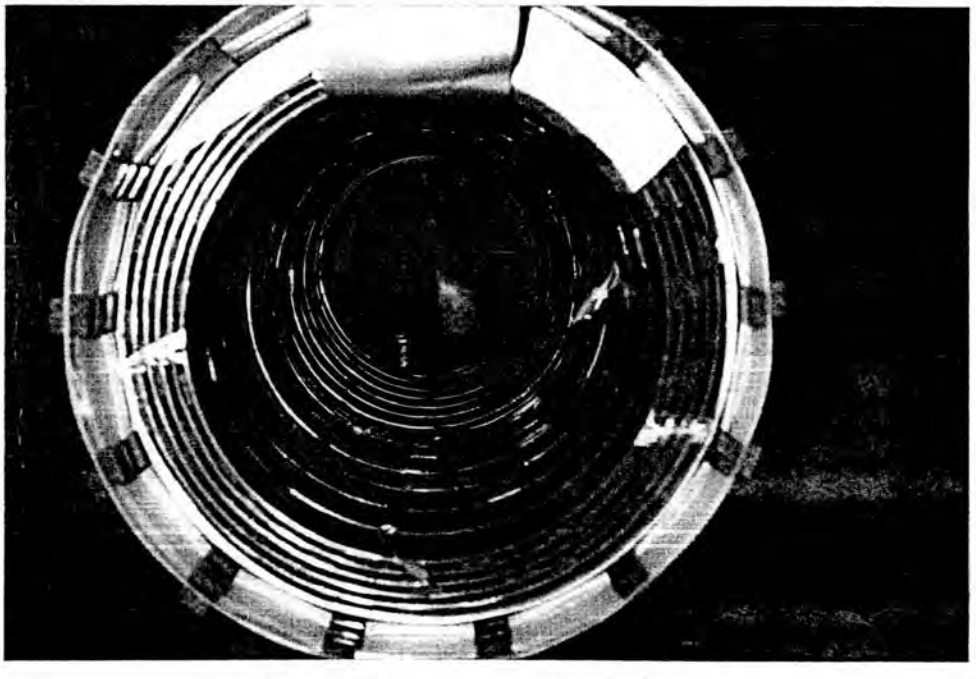
รูปที่ 4.1ง การไขว้สายในรอบที่ 7



รูปที่ 4.1จ การป้องกันการคลายตัวของขดลวดเมื่อพันเสร็จ



รูปที่ 4.1ฉ ร่องระบายความร้อนระหว่างขดลวดแรงต่ำกับแรงสูง



รูปที่ 4.1ช ภายในของขดลวดแรงต่ำเมื่อพันเสร็จ

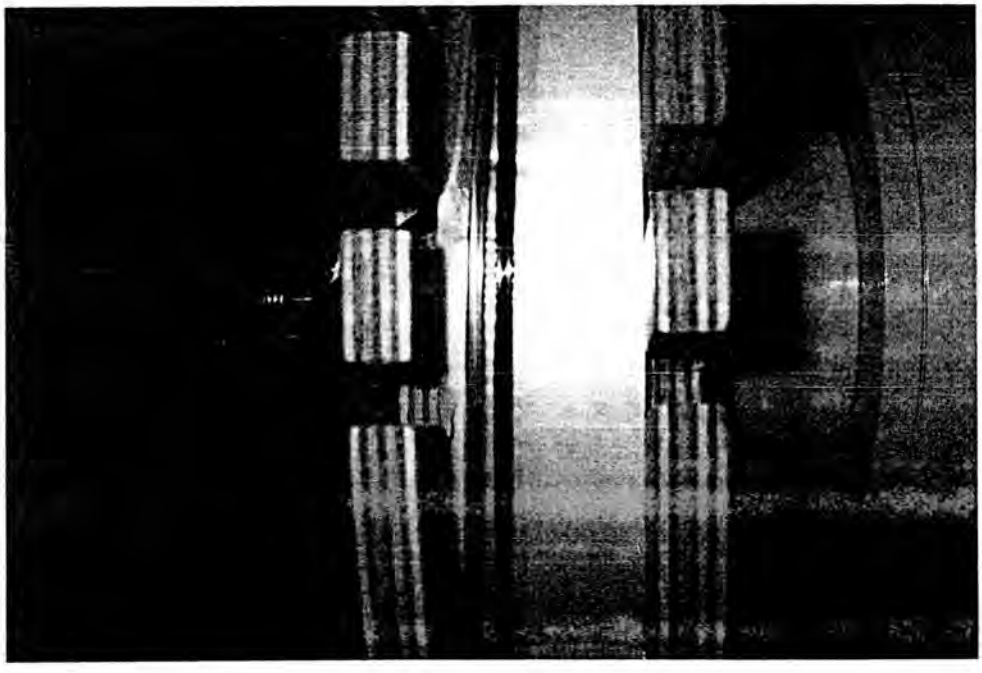
4.2 การพันขดลวดแรงสูง

ขดลวดแรงสูงของหม้อแปลงที่ออกแบบนี้ เป็นขดลวดที่ใช้กับแรงดันได้ 2 ระบบ ซึ่งประกอบด้วยขดลวดทั้งหมด 12 ตอน 1400 รอบ ต่อ 1 เฟส และมีการจัดเรียงขดลวดดังรูปที่ 3.3 ขดลวดแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

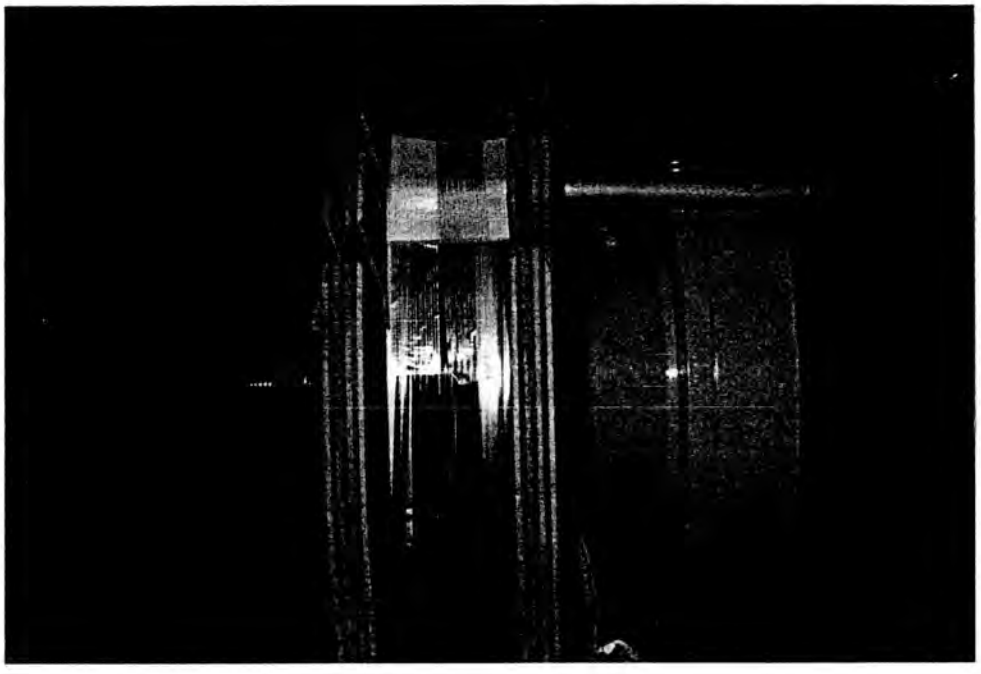
กลุ่มที่ 1 (5%) 70 รอบ 4 ตอน แบบไม้กว้างประมาณ 37 mm

กลุ่มที่ 2 (10%) 140 รอบ 8 ตอน แบบไม้กว้างประมาณ 67 mm

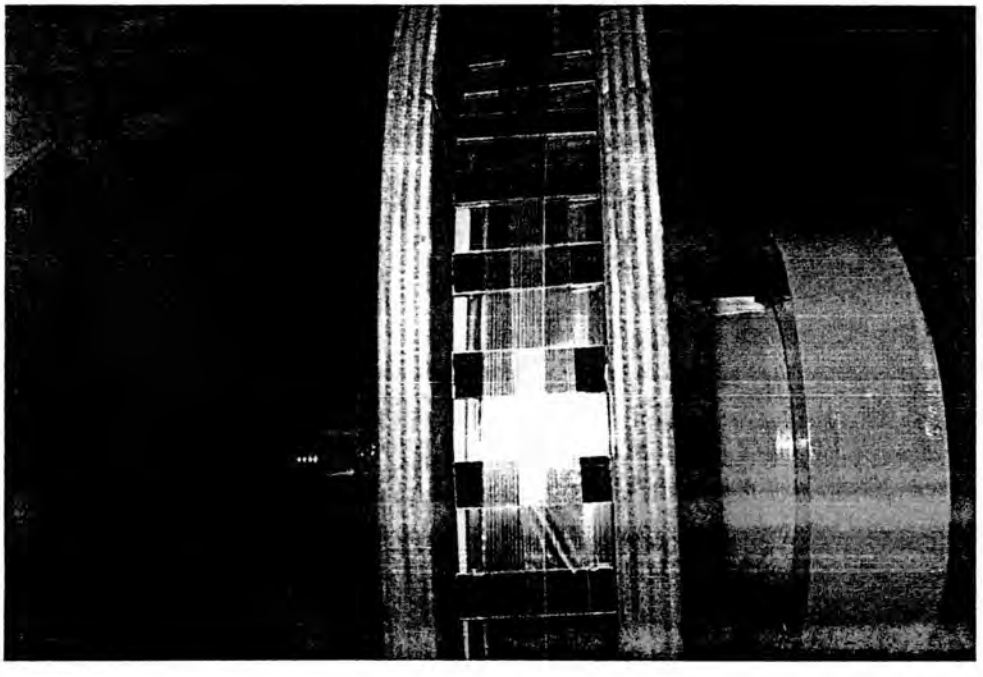
ในขั้นแรกต้องมีการเตรียมแบบไม้ ซึ่งมีความกว้าง 2 ขนาดข้างต้นและมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในที่คำนวณไว้ในหัวข้อ 3.4 คือ 405 mm เริ่มต้นพันจะพันโพลีเอสเตอร์ฟิล์มขนาดหนา 75 μm 1 ชั้น ดังรูปที่ 4.2ก เมื่อพันครบ 1 ชั้น จะพับปลายของขดลวดและใส่ปลอกฉนวนโดยพันชั้นที่ 2 ทับปลายของขดลวดไว้ดังรูปที่ 4.2ข จากนั้นพันจนครบ 3 ชั้น จะคั่นด้วยเบกไลท์หนา 3 mm ดังรูปที่ 4.2ค และต้องมีการจัดลวดให้แน่น สำหรับตอนของขดลวดที่มีจุดแยกปลายของจุดแยกจะต้องใส่ปลอกฉนวนไว้ด้วย เมื่อพันเสร็จ 1 ตอน จะใส่ปลอกฉนวนผ้ายาว 30 cm ดังรูปที่ 4.2จ จากนั้นรอการประกอบต่อไป



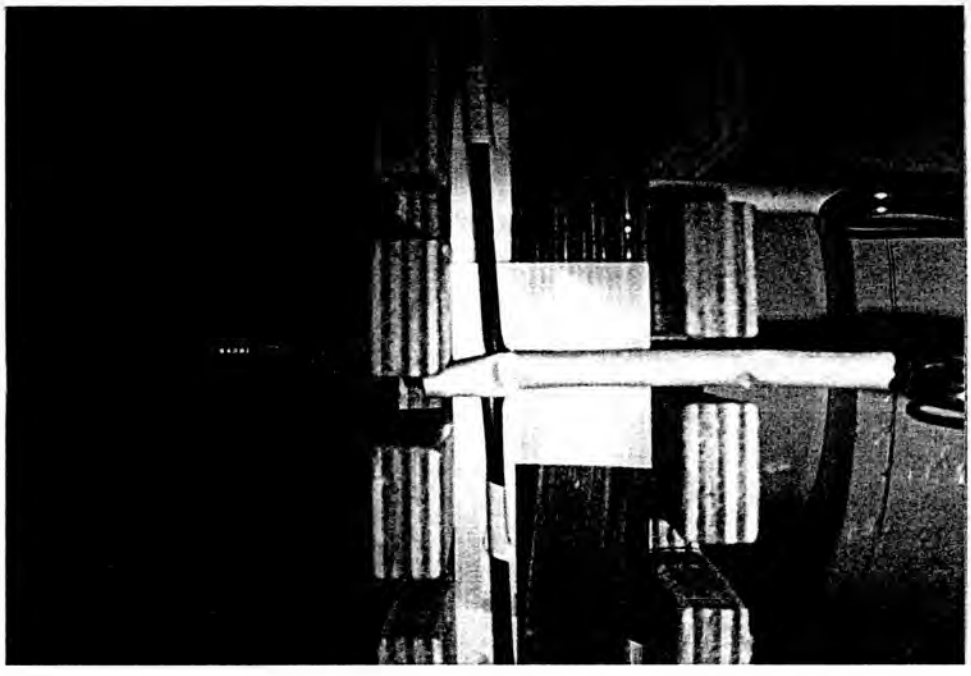
รูปที่ 4.2ก การรองโพลีเอสเตอร์ฟิล์มในขณะเริ่มพัน



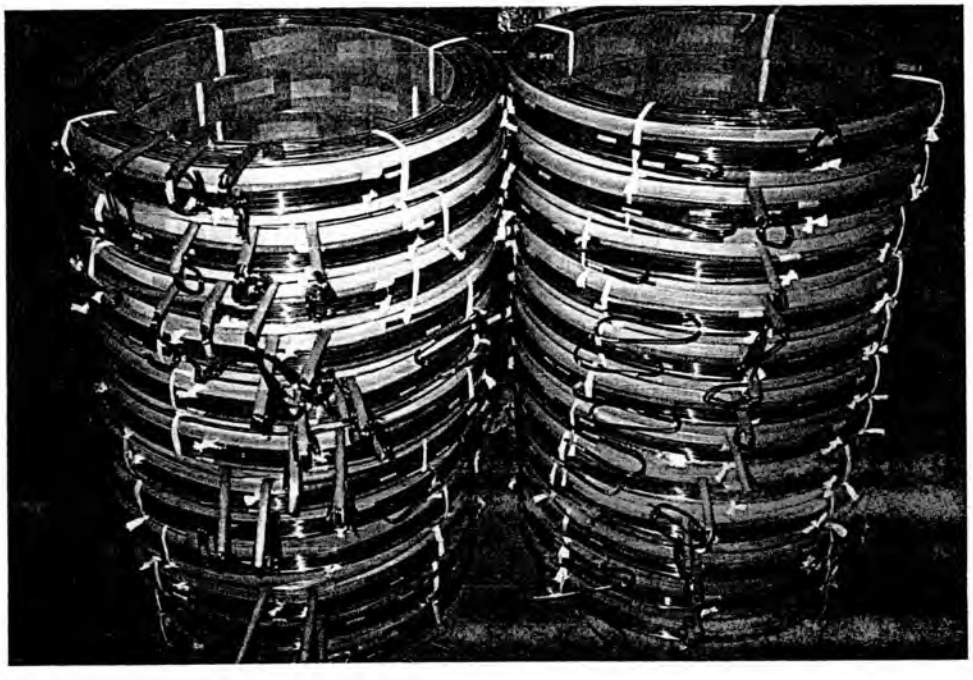
รูปที่ 4.2ข แสดงปลายของขดลวดแรงสูงจะถูกพับออกและ
สอดอยู่ใต้รอบที่ 2



รูปที่ 4.2ค เมื่อพันครบ 3 ชั้น จะคั่นด้วยเบกไลท์



รูปที่ 4.2ง แสดงตำแหน่งจุดแยกของขดลวดโดยจะต้องใส่ปลอกฉนวน



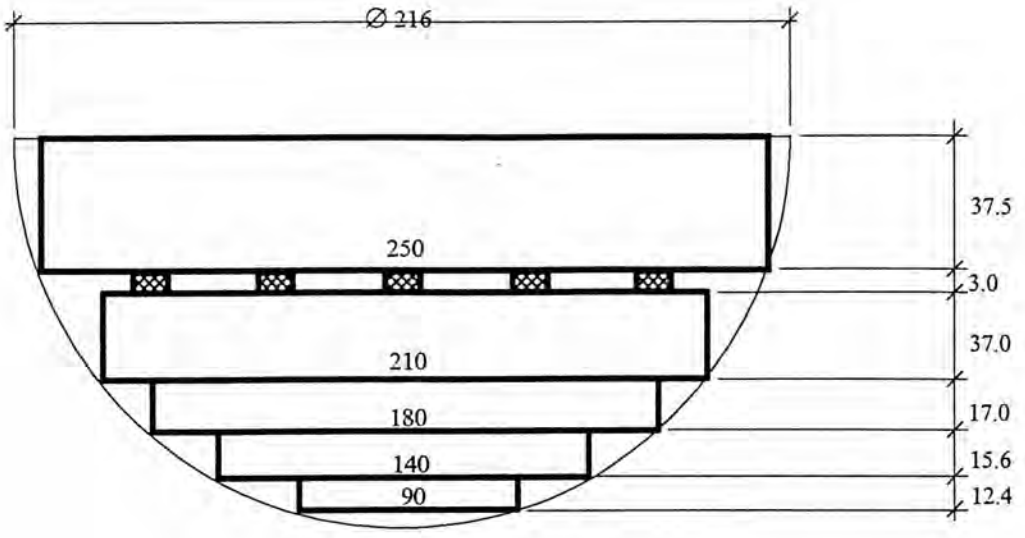
รูปที่ 4.2จ ขดลวดที่พันเสร็จแล้วพร้อมที่จะประกอบต่อไป

4.3 การเรียงแกนเหล็ก

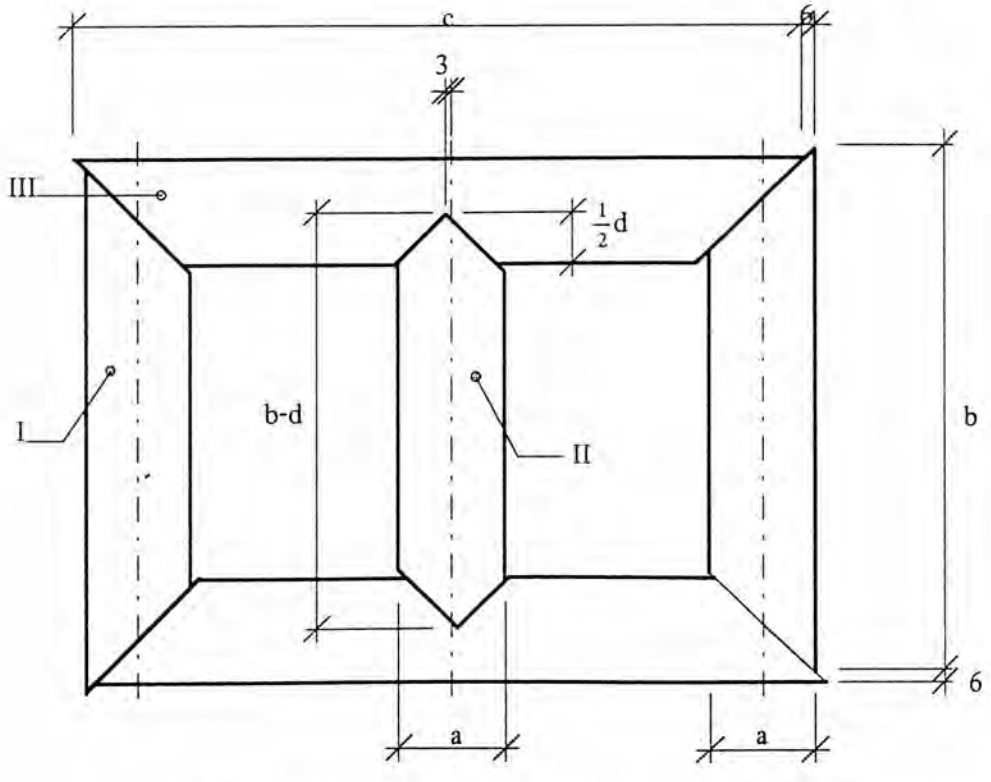
แกนเหล็กของหม้อแปลงนี้เป็นแบบคอร์ พื้นที่ตัดขวางของแกนเหล็กเป็นรูปเหลี่ยมอัดในวงกลม 5 ขั้น ดังรูปที่ 4.3 เหล็กซิลิกอนที่ใช้มีความหนาแผ่นละ 0.23 mm จากความหนาของเหล็กในข้อ 3.2 สามารถคำนวณจำนวนแผ่นของเหล็กแต่ละขั้นได้ คือ

ความกว้างของเหล็ก (mm)	จำนวนที่ใช้ (แผ่น)
90	2×54
140	2×68
180	2×74
210	2×160
250	2×164

พื้นที่ภาคตัดขวางทั้ง 3 ขาของแกนเหล็กและ yoke มีรายละเอียดแสดงดังในรูปที่ 4.3 แผ่นเหล็กซิลิกินที่ใช้มี 3 แบบ คือ I II และ III ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ขนาดและจำนวนแผ่นที่ใช้ของแต่ละแบบแสดงดังตารางที่ 4-1ก 4-1ข และ 4-1ค ตามลำดับ ซึ่งรูปที่ 4.5ก 4.5ข และ 4.5ค แสดงรายละเอียดของแต่ละแผ่น การเรียงแกนเหล็กเริ่มจากการนำม้วนเหล็กแผ่นที่มีขนาดความกว้าง 5 ขนาดดังกล่าว มาตัดให้ได้ตามจำนวนที่ต้องการ การประกอบแกนเหล็กเริ่มจากการวางแบบแกนเหล็กโดยใช้แผ่นเหล็กที่มีหน้ากว้างที่สุด และจัดเหล็กยันให้ได้ตำแหน่งดังรูปที่ 4.6ก จากนั้นจึงเรียงแผ่นเหล็กทีละชั้นโดยแต่ละชั้นใช้แบบ I 2 แผ่น แบบ II 1 แผ่น และ แบบ III 2 แผ่น แนวรอยต่อของชั้นที่วางซ้อนกันจะเหลื่อมกันประมาณ 5 mm ซึ่งแผ่นเหล็กในชั้นเดียวกันจะต้องชนกันสนิทดังรูปที่ 4.6ข เมื่อเรียงครบ 4 ขั้น จะวางร่องระบายความร้อนภายในแกนโดยใช้เบกไลท์หนา 3.0 mm กว้าง 20 mm ดังรูปที่ 4.6ค จากนั้นเรียงเหล็กหน้ากว้างที่สุดเรียบร้อย ตั่นด้วยเบกไลท์ขนาดเดิมอีกขั้นหนึ่งแล้วเรียงจนครบจำนวนขั้น ใส่เหล็กดามตามขาทั้ง 3 ของแกนเหล็กซึ่งมีโพลีเอสเตอร์ฟิล์มรอง ปลายของเหล็กดามจะพอดีกับเหล็กขั้นสุดท้ายดังรูปที่ 4.6ง จากนั้นใส่เหล็กแคลมป์และรัดด้วยเข็มขัดโดยมีกระดาษฉนวนรองไว้ดังรูปที่ 4.6จ เมื่อถอดเหล็กยึดแกนชั่วคราวออกและพันด้วยผ้าพันมอเตอร์ 1 ชั้นดังรูปที่ 4.6ฉ รายละเอียดการประกอบสร้างแกนเหล็กแสดงดังรูปที่ 4.6ก ถึง 4.6ฉ



รูปที่ 4.3 รายละเอียดของภาคตัดขวางของแกนเหล็ก



รูปที่ 4.4 แบบแผ่นเหล็กซิลิกอนประกอบด้วยแบบ I, II และ III

ตารางที่ 4-1 แสดงขนาดและจำนวนแผ่นที่ใช้ของแผ่นเหล็กซิลิกอน

ตารางที่ 4-1ก แบบ I

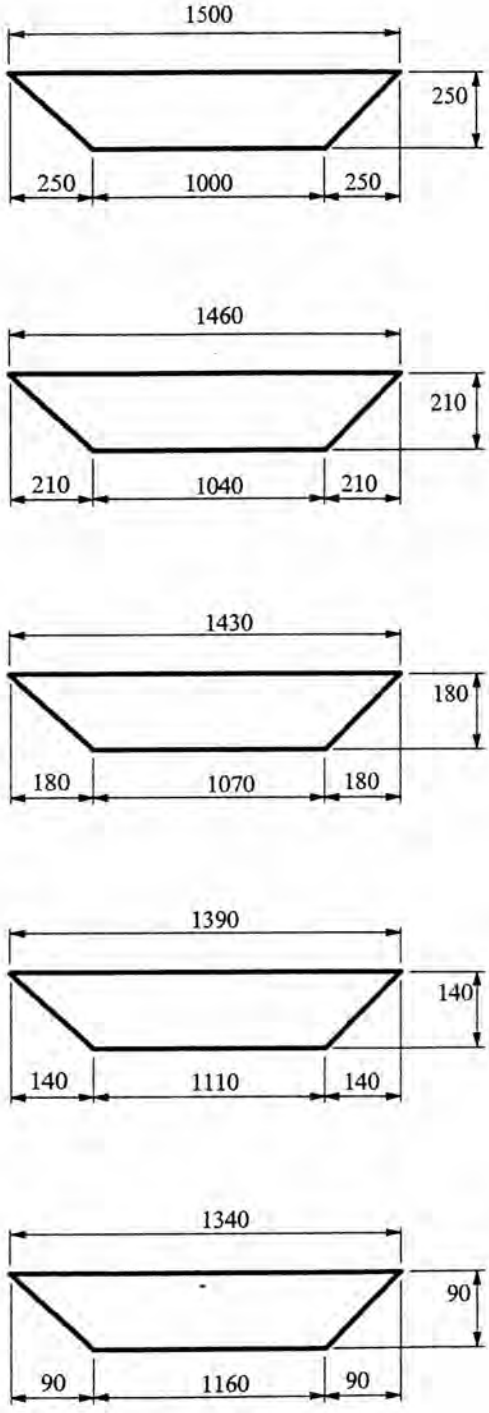
Number of sheet	a	b
656	250	1500
640	210	1460
296	180	1430
272	140	1390
216	90	1340

ตารางที่ 4.1ข แบบ II

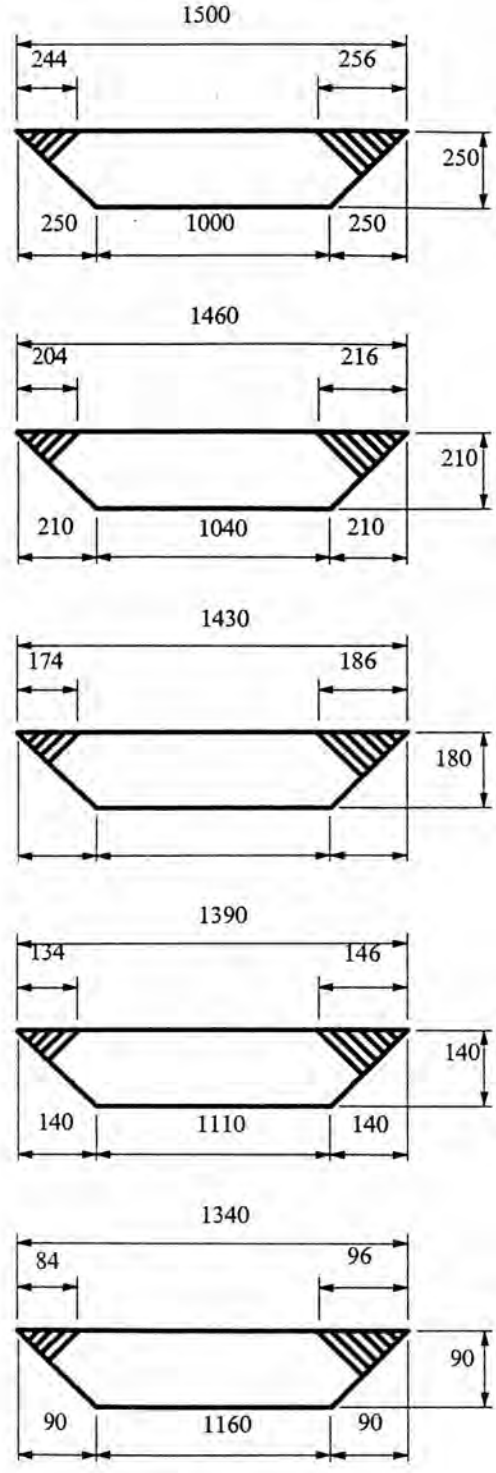
Number of sheet	a
328	250
320	210
148	180
136	140
108	90

ตารางที่ 4.1ค แบบ III

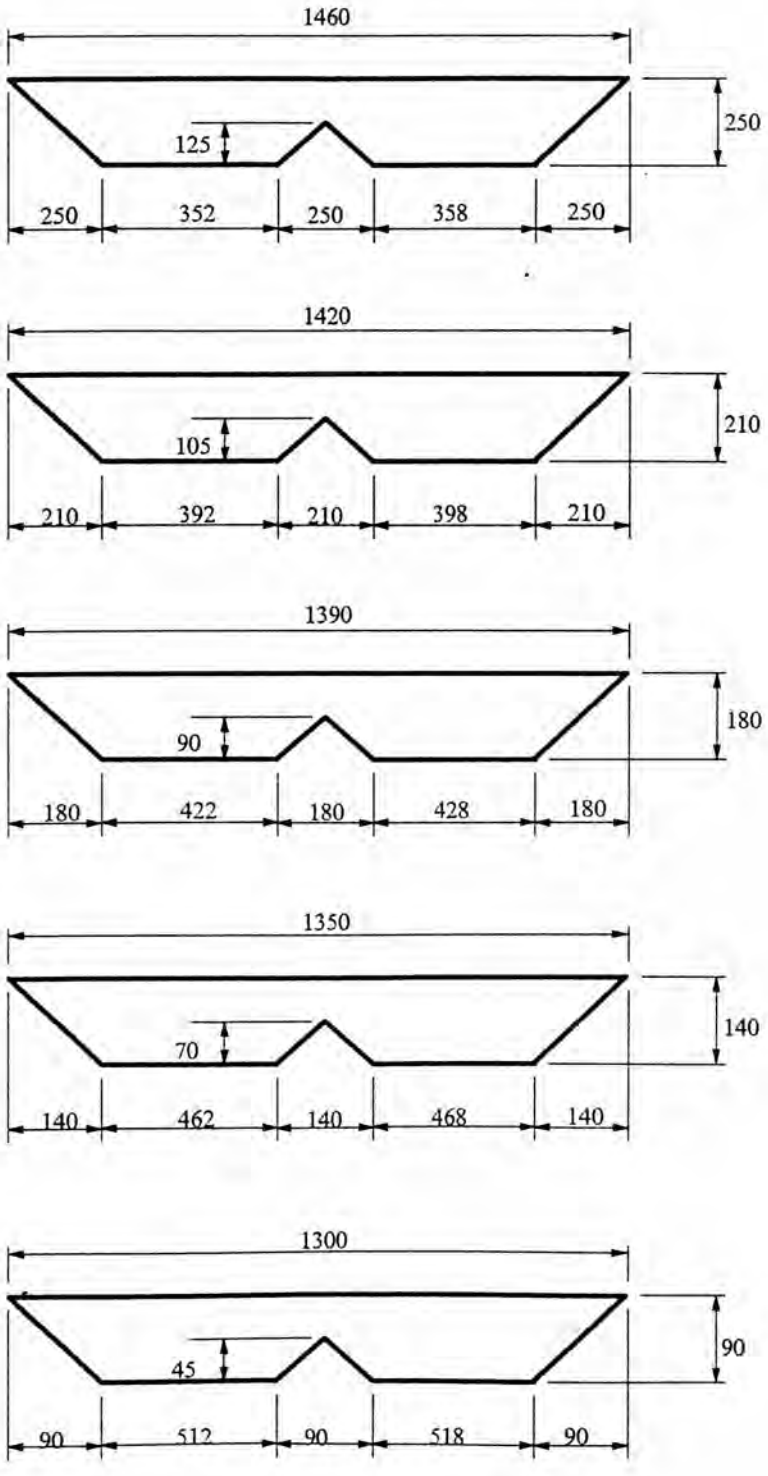
Number of sheet	d	c
656	250	1460
640	210	1420
296	180	1390
272	140	1350
216	90	1300



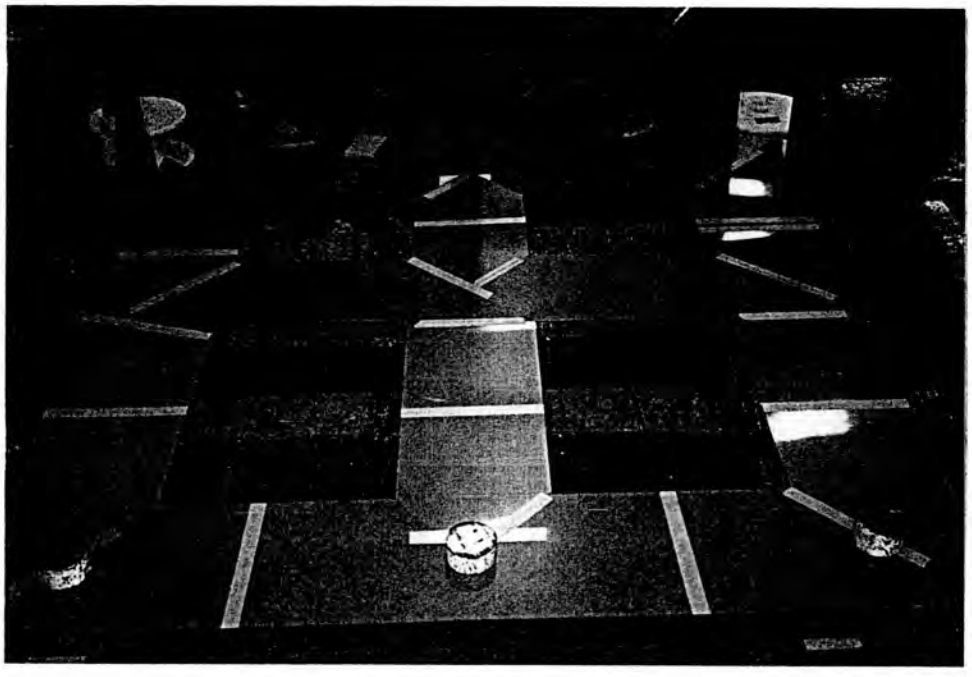
รูปที่ 4.5ก
ขนาดของแผ่นเหล็กซิลิกอนแบบ I



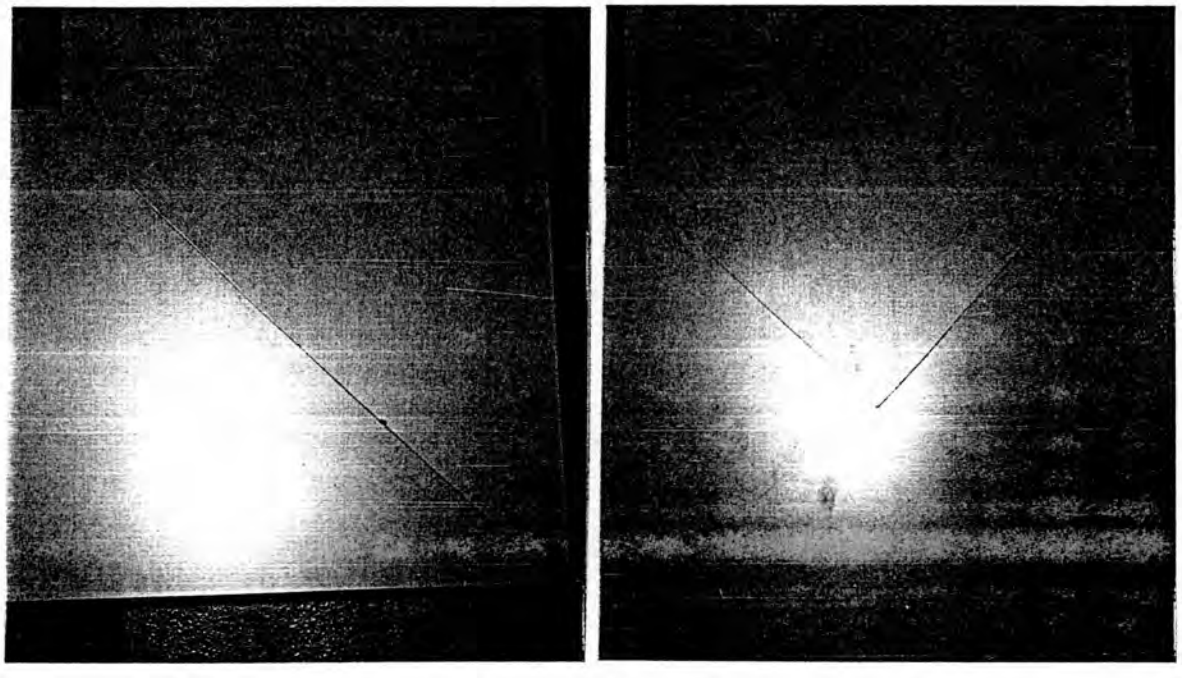
รูปที่ 4.5ข
ขนาดของแผ่นเหล็กซิลิกอนแบบ II



รูปที่ 4.5ค ขนาดของแผ่นเหล็กซิลิกอนแบบ III

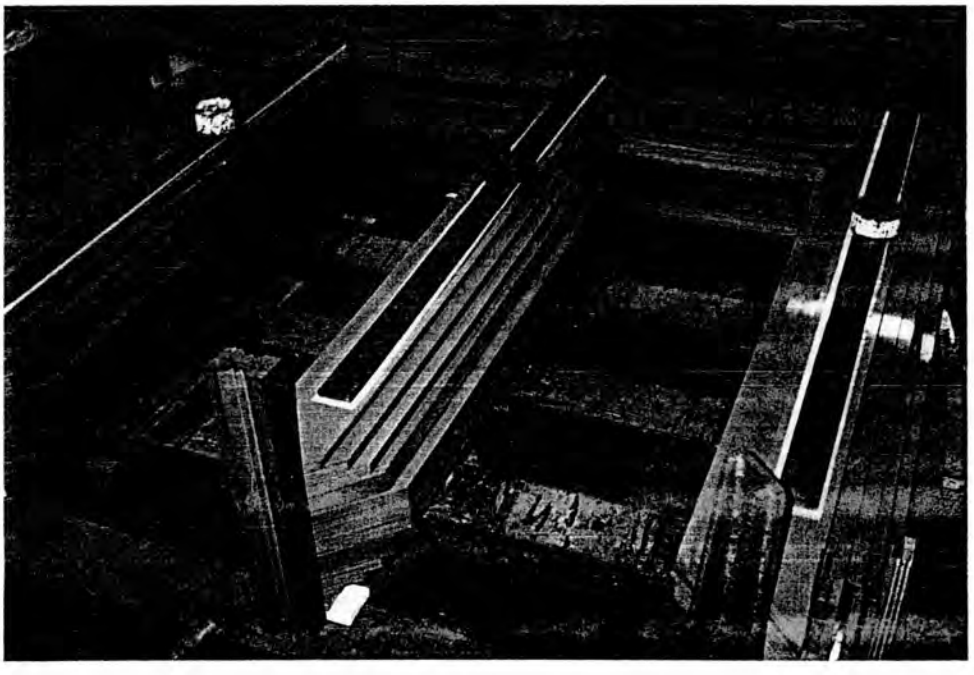


รูปที่ 4.6ก สร้างแบบและจัดเหล็กยันให้ได้ตำแหน่ง

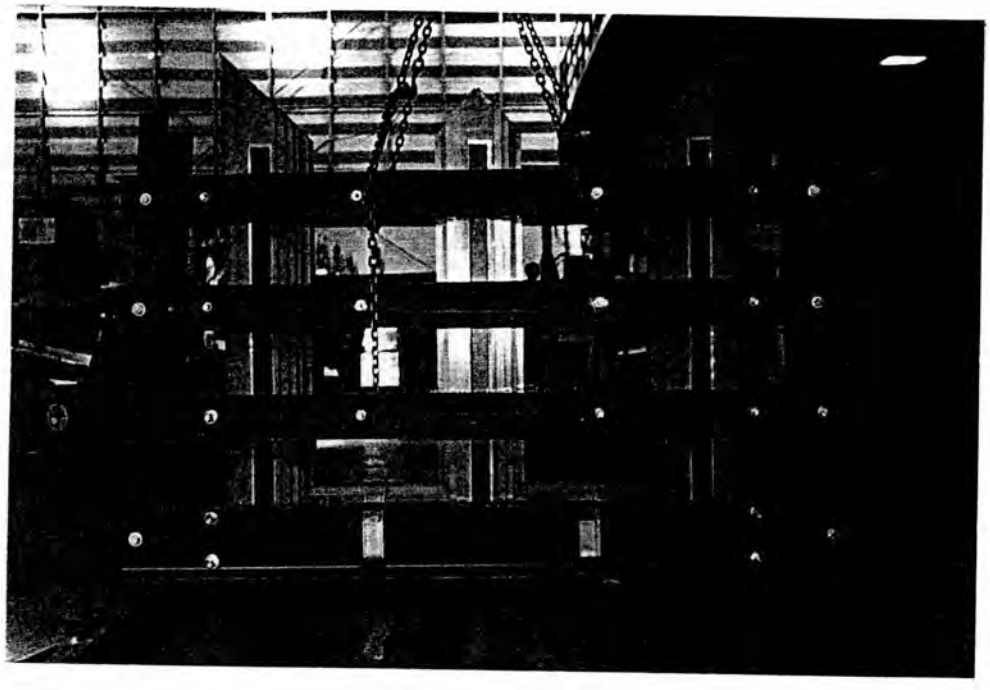


รูปที่ 4.6ข การเรียงแผ่นเหล็กระหว่างชั้นจะเหลื่อมกันประมาณ 5 mm และ
ในชั้นเดียวกันจะต้องชนกันสนิท

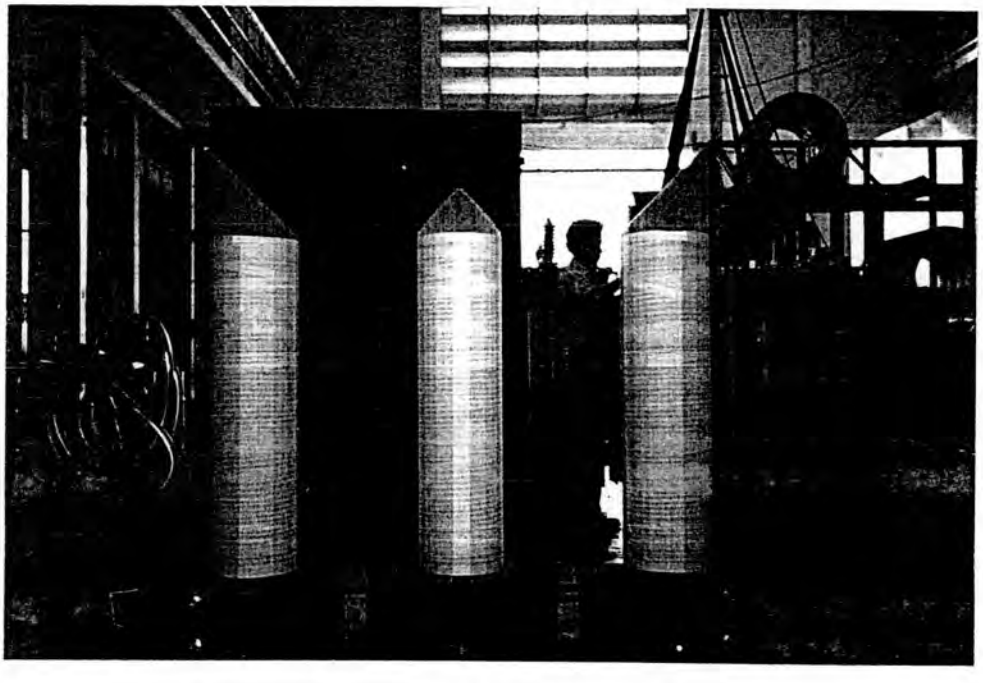
รูปที่ 4.6ค การเรียงร่องระบายความร้อนภายในแกนเหล็ก



รูปที่ 4.6ง การวางเหล็กดามตามแนวขาของแกนเหล็ก



รูปที่ 4.6จ แสดงเหล็กแคลมป์และเข็มขัดรัดเหล็กแคลมป์



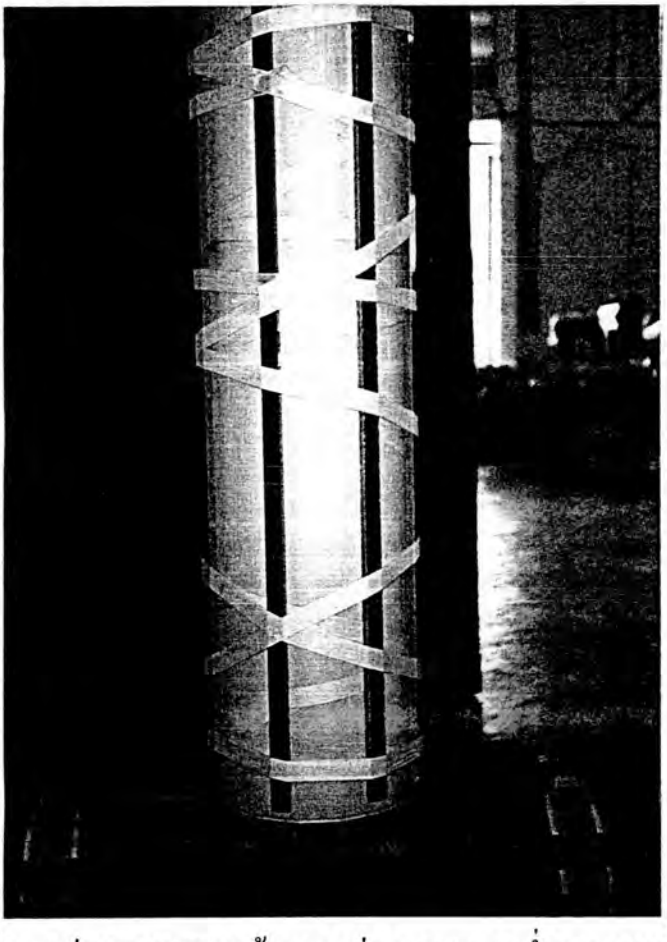
รูปที่ 4.6ฉ การพันเพื่อเสริมความแข็งแรง

4.4 การประกอบขดลวดลงแกนเหล็ก

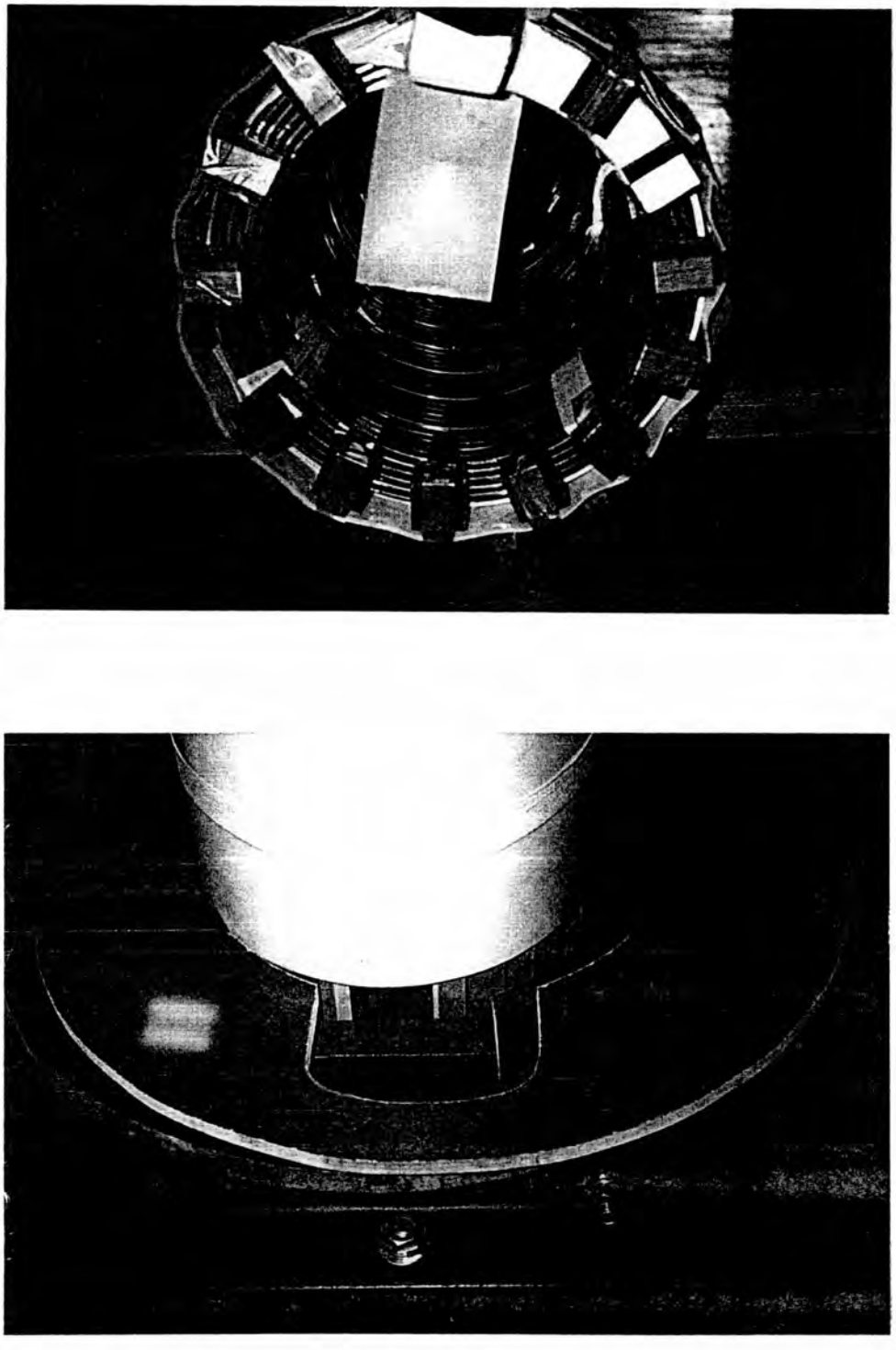
เมื่อพันขดลวดแรงสูงและแรงต่ำเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก่อนประกอบขดลวดลงแกนเหล็กจะใช้โพลีเอสเตอร์ฟิล์มขนาด 75 μm พัน 10 ชั้นรอบแกนเหล็กก่อน เพื่อเป็นฉนวนระหว่างขดลวดแรงต่ำและแกนเหล็กดังรูปที่ 4.7ก มีร่องระบายความร้อนโดยใช้เบกไลท์หนา 10 mm วางเป็นช่วงและมีการรองเบกไลท์ก่อนประกอบขดลวดดังรูปที่ 4.7ข และ4.7ค ตามลำดับ เมื่อเสร็จเรียบร้อยจึงสวมขดลวดแรงต่ำโดยมีฉนวนหนาเบกไลท์รองไว้ดังรูปที่ 4.7ง เป็นช่วงๆ

หลังจากประกอบขดลวดแรงต่ำเสร็จแล้ว จึงประกอบขดลวดแรงสูงโดยแต่ละตอนนั้นวางห่างกันตามระยะที่ออกแบบไว้ตามข้อ 3.4 เมื่อประกอบขดลวดแรงสูงถึงตอนที่มีจุดแยกจะรองด้วยฉนวนแล้วจึงประกอบต่อจนครบทั้ง 3 เฟส ดังรูปที่ 4.8ข นำแผ่นเหล็กซิลิกอนส่วนโย้ก(แบบที่ III)ประกอบด้านบนของแกนเหล็กดังรูปที่ 4.9ข แล้วยึดด้วยเหล็กแคลมป์ตามรูปที่ 4.9ง

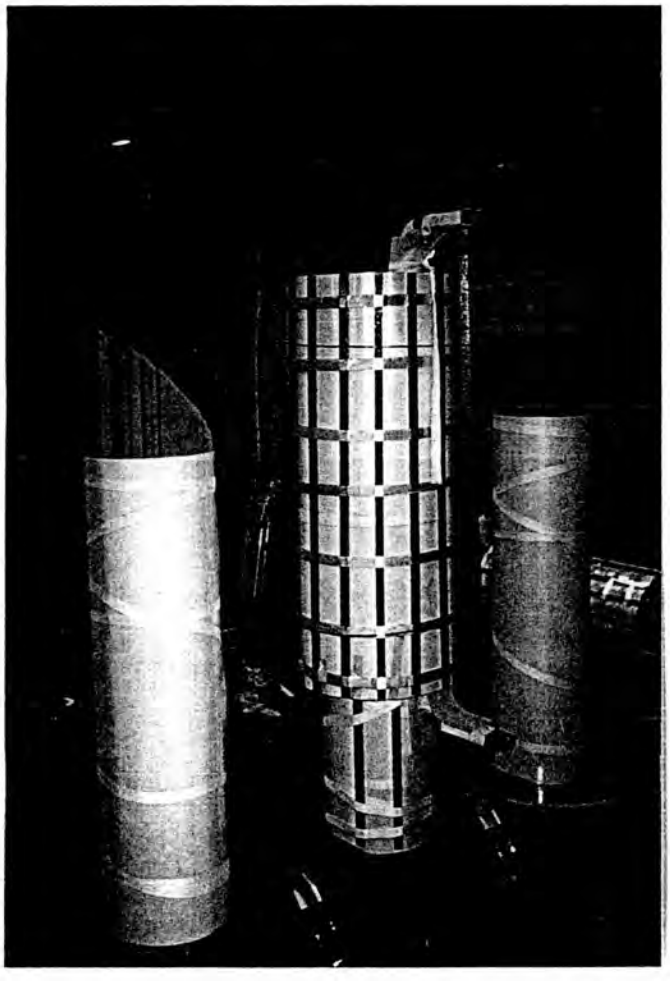
รูปที่ 4.7ก พันโพลีเอสเตอร์ฟิล์มรอบแกนเหล็ก 10 ชั้น



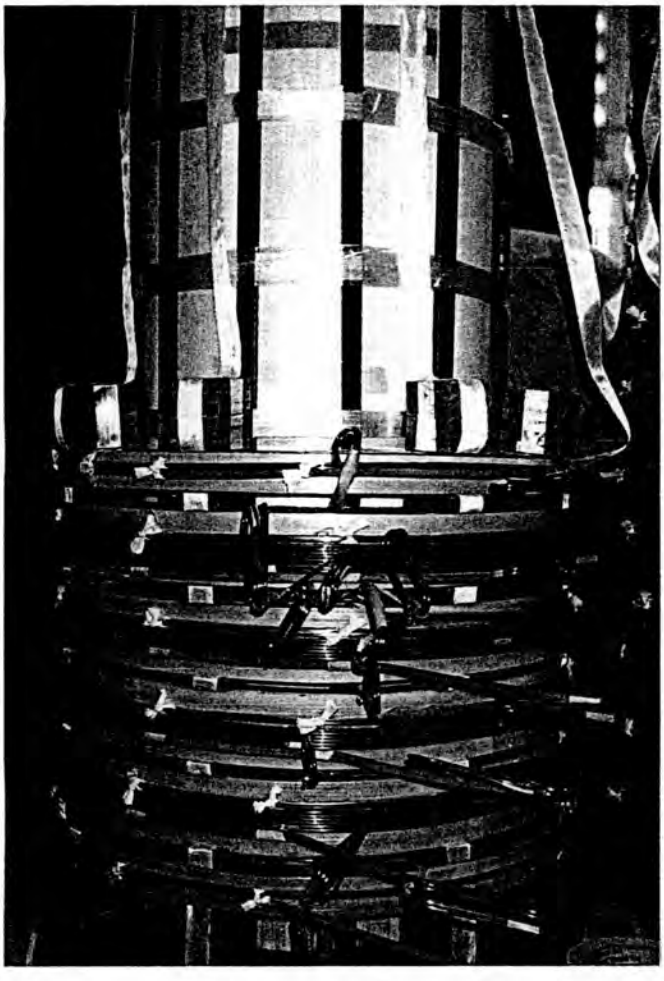
รูปที่ 4.7ข ร่องระบายความร้อนระหว่างขดลวดแรงต่ำและแกนเหล็ก

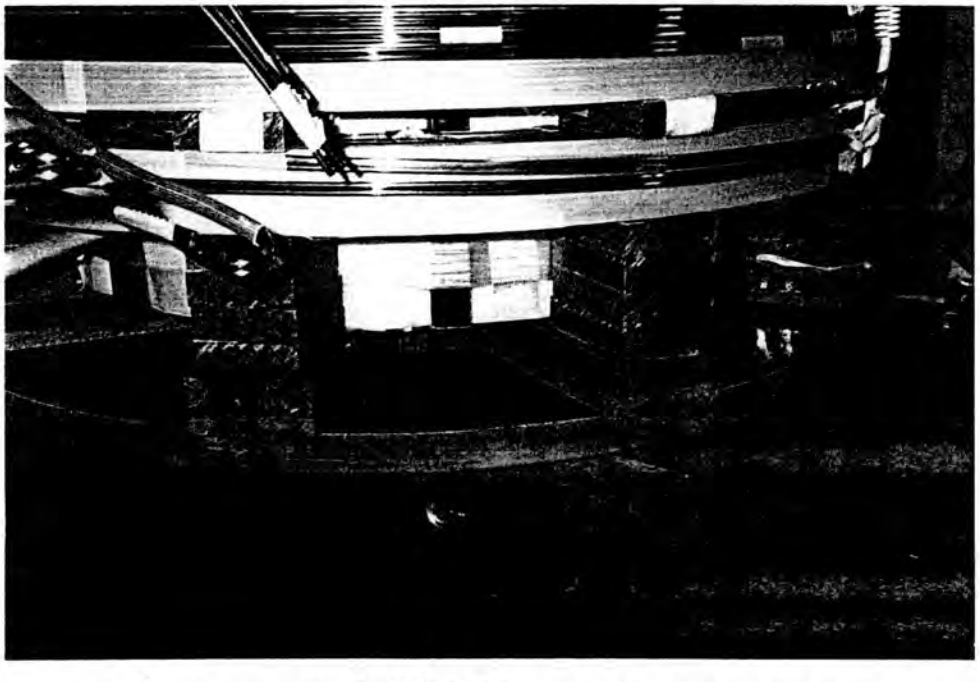


รูปที่ 4.7ค การรองเบกไลท์ก่อนประกอบขดลวดแรงต่ำ

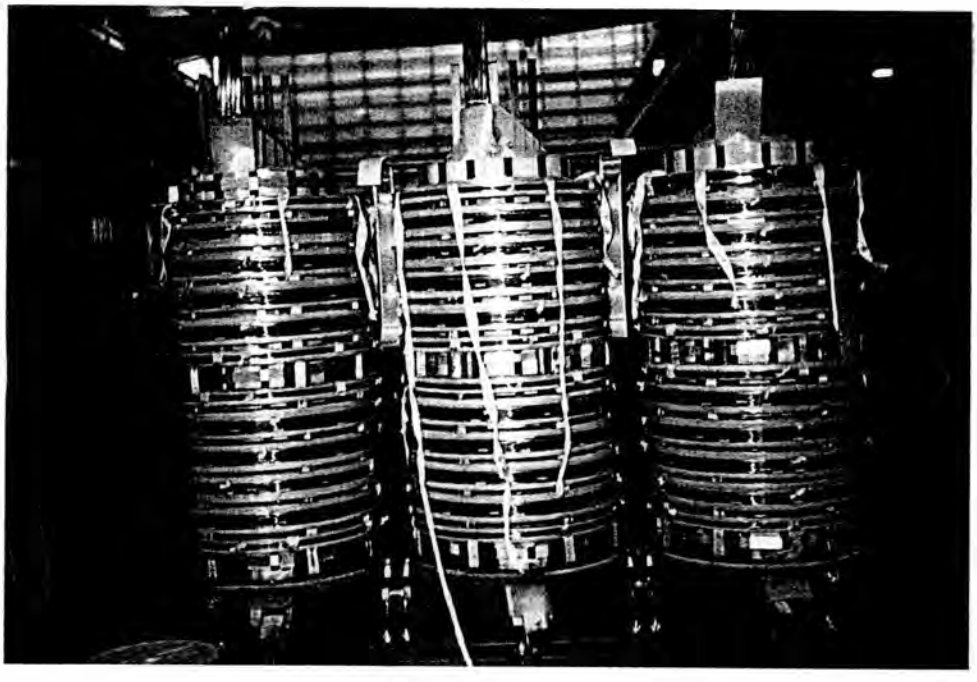


รูปที่ 4.7ง การประกอบขดลวดแรงต่ำเข้าแกนเหล็ก



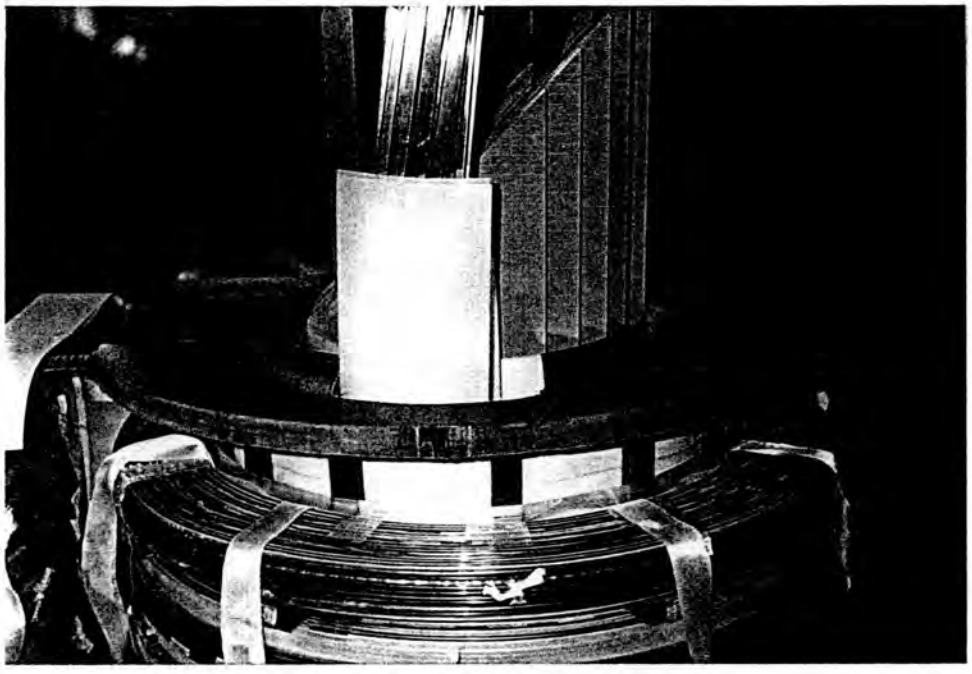


รูปที่ 4.8ก การรองเบกไลท์เพื่อให้ได้ระยะสำหรับขดลวดแรงสูงตอนแรก

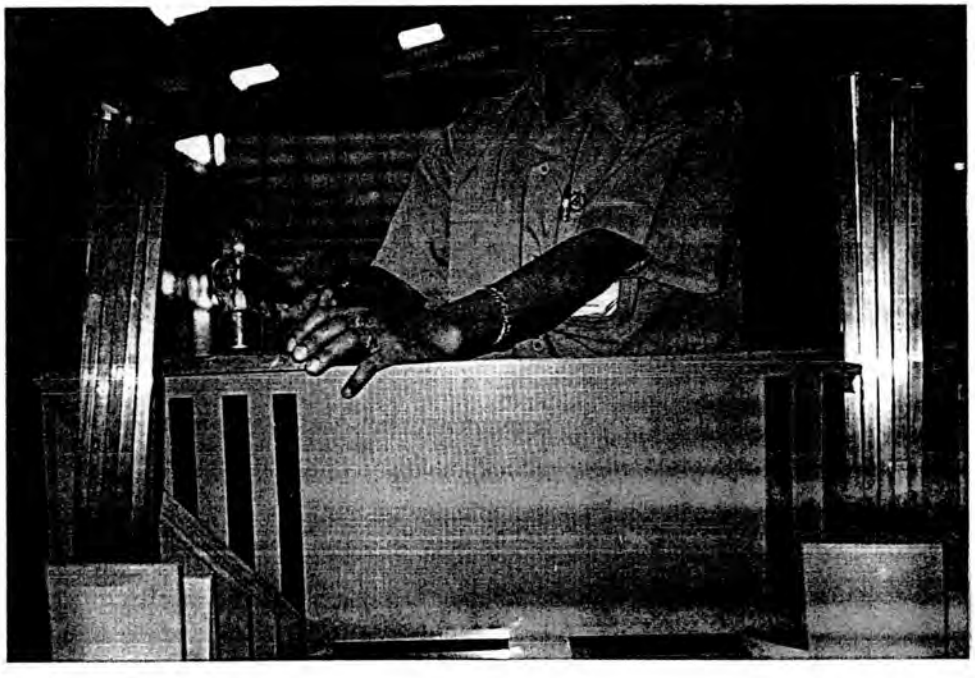


รูปที่ 4.8ข เมื่อประกอบขดลวดทั้ง 3 เฟสเสร็จ

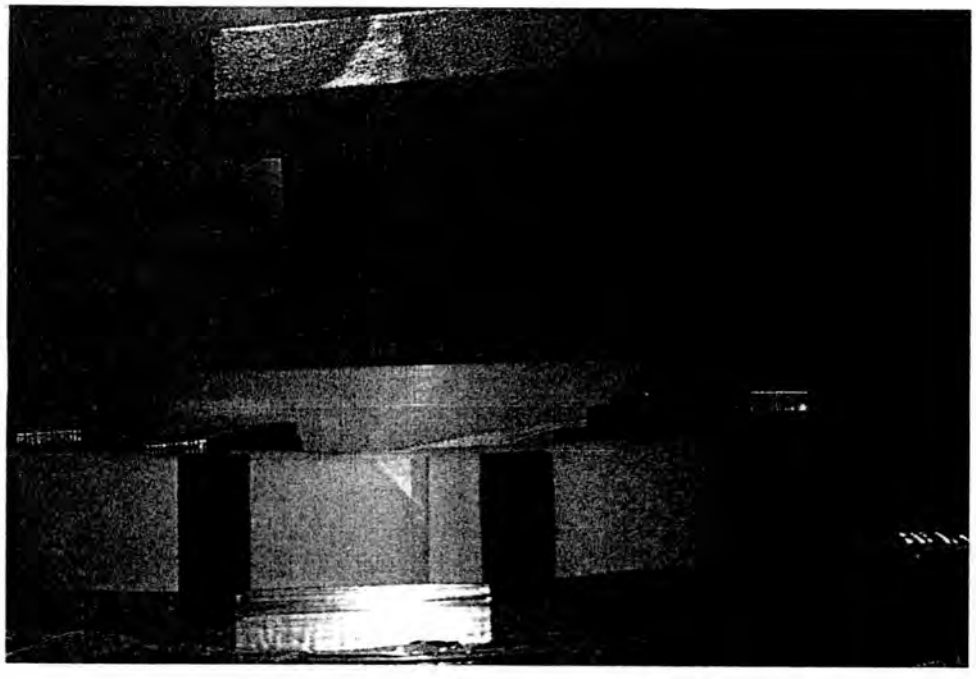
รูปที่ 4.8ค แสดงร่องระบายความร้อนระหว่าง
ขดลวดแรงสูง แรงต่ำและแกนเหล็ก



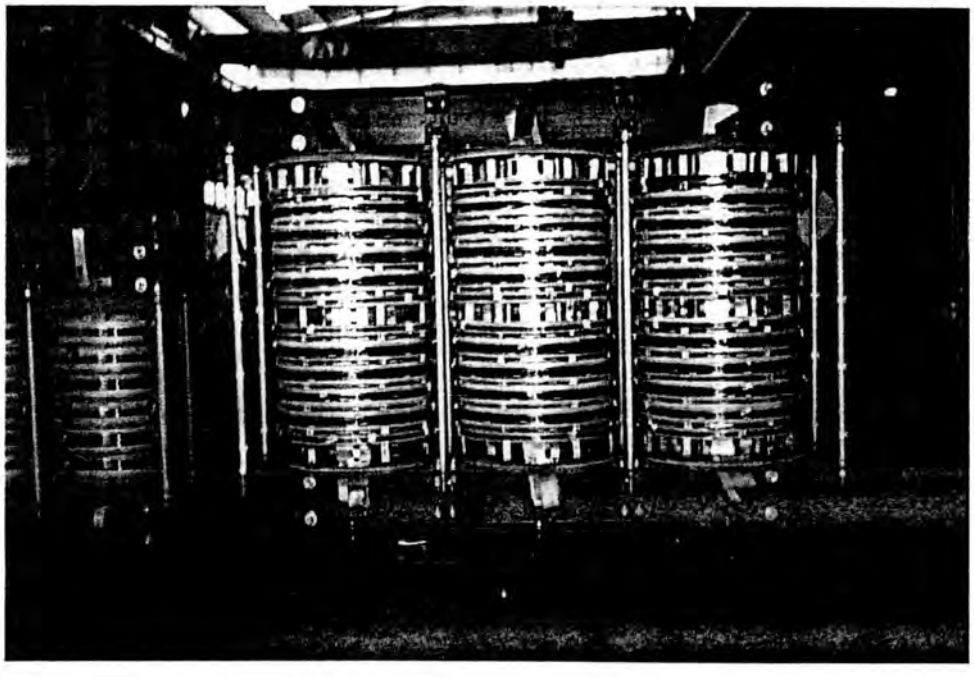
รูปที่ 4.9ก การรองเบกไลท์ก่อนประกอบแผ่นเหล็กซิลิกอนส่วนโย้ก



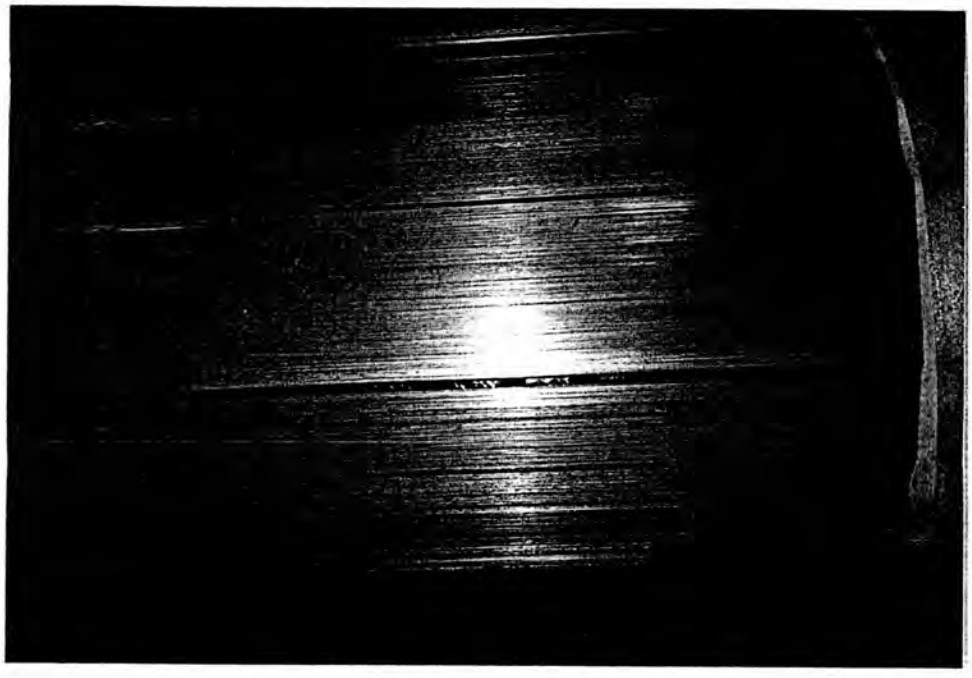
รูปที่ 4.9ข การประกอบแผ่นเหล็กซิลิกอนส่วนโย้ก



รูปที่ 4.9ค แผ่นเหล็กซิลิกอนในชั้นเดียวกันต้องประกบสนิท

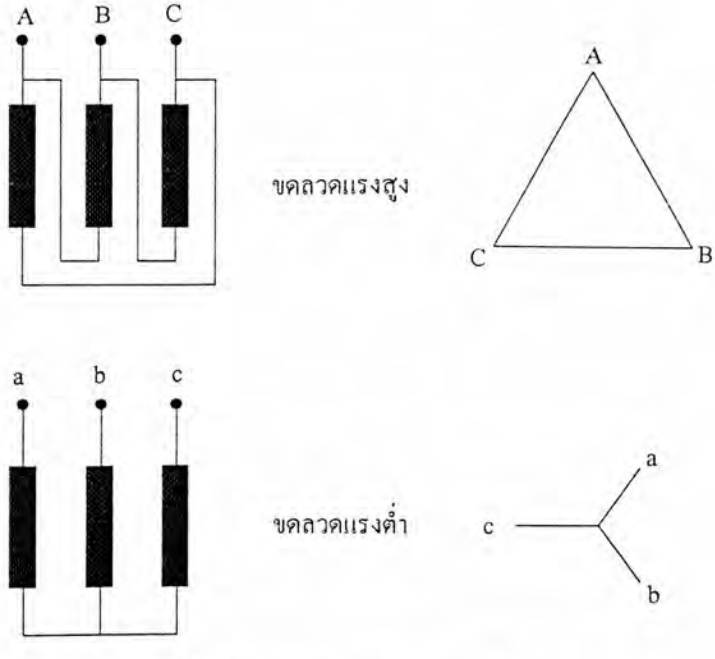


รูปที่ 4.9ง แคลมป์ด้านบนและด้านล่างยึดติดกันด้วยแท่งเหล็กกลม



รูปที่ 4.9จ ร่องระบายความร้อนในแกนเหล็ก

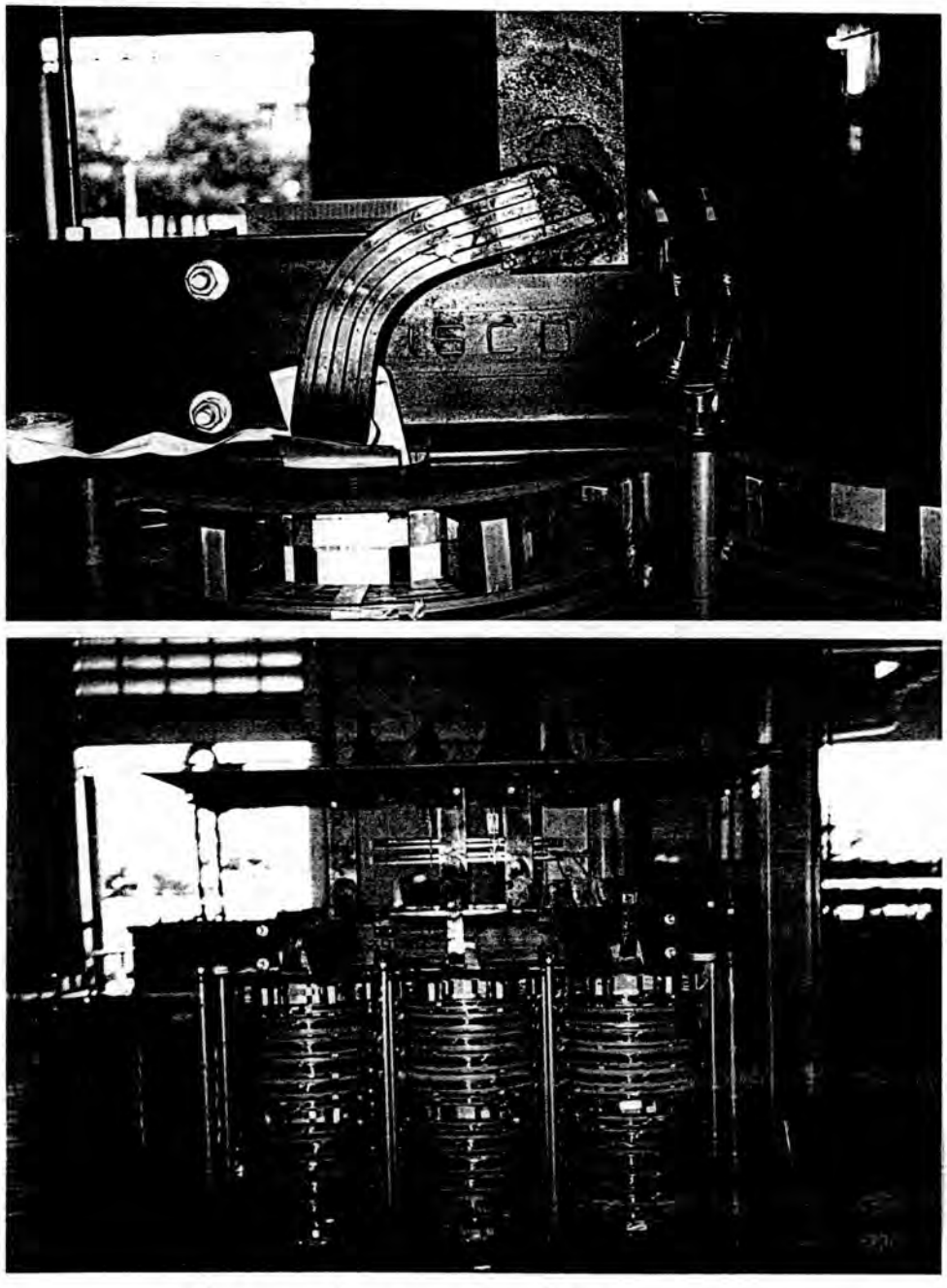
เมื่อต่อจุดแยกเรียบร้อยจึงต่อขดลวดระหว่างเฟส โดยด้านแรงสูงต่อเป็น Δ และด้านแรงต่ำต่อเป็น Y เพื่อให้ได้ลักษณะการต่อมีสัญลักษณ์เป็นกลุ่มเวกเตอร์ Dyn1 การต่อจึงมีลักษณะตามรูปที่ 4.10



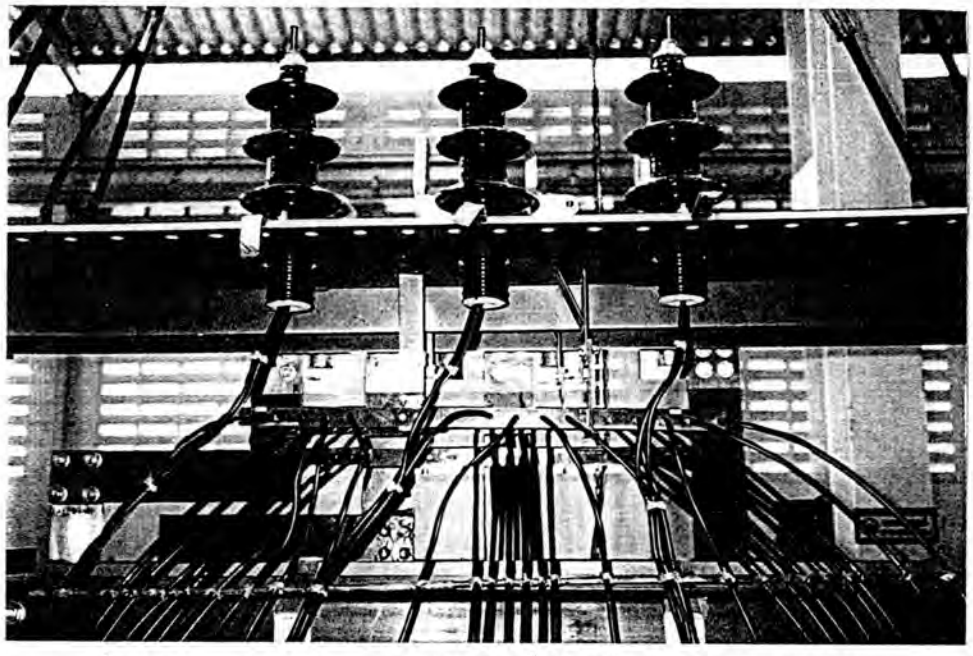
รูปที่ 4.10 การต่อขดลวดแบบ Dyn1

4.5 การประกอบหม้อแปลงและตัวถัง

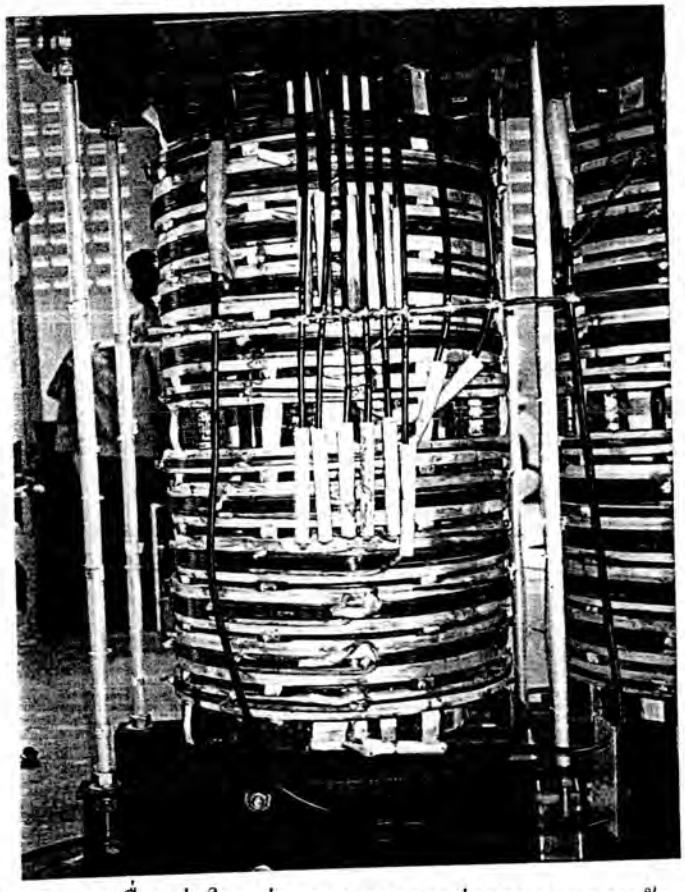
หลังจากประกอบแกนเหล็กส่วนโย้กเสร็จเรียบร้อยแล้ว ติดตั้งฝาถังและใส่ปลอกฉนวนนำสายแรงต่ำและแรงสูง ใช้บาร์ทองแดงเพื่อต่อขดลวดแรงต่ำเป็น Y ดังรูปที่ 4.11 และเชื่อมแต่ละตอนของขดลวดแรงสูงเข้าด้วยกัน จุดแยกทั้งหมดของขดลวดจะต่อไปยังตัวเปลี่ยนจุดแยกแรงดัน และปลายของขดลวดแรงสูงทั้งหมดจะต่อไปยังตัวเปลี่ยนจุดแยกระบบ ซึ่งทั้งสองตัวจะติดตั้งอยู่ใต้ฝาถังด้านบนของแกนเหล็กดังรูปที่ 4.12



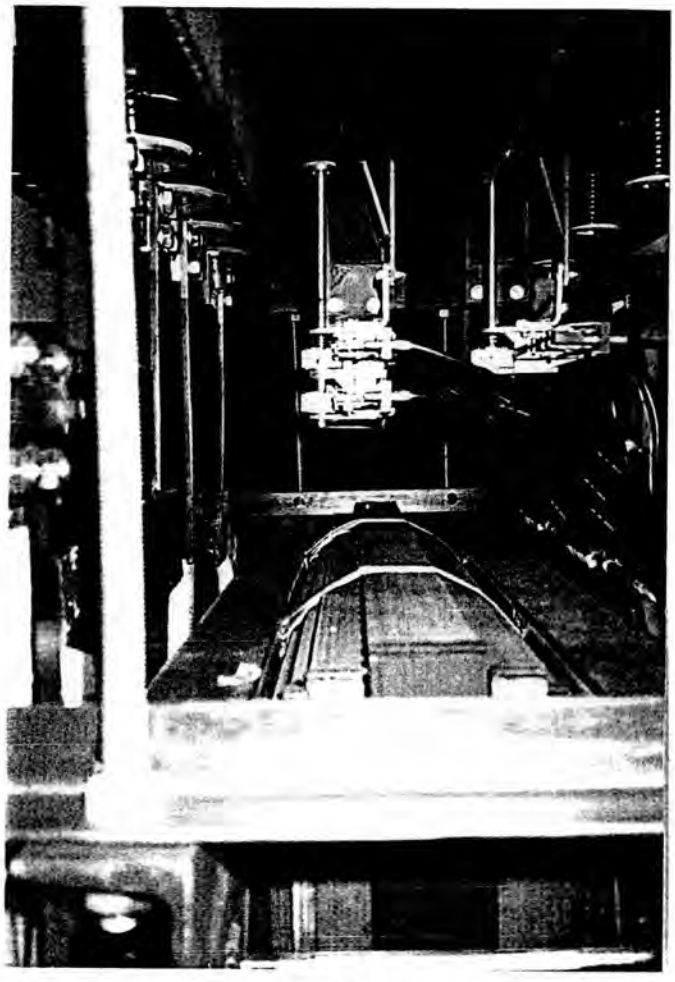
รูปที่ 4.11 การเชื่อมต่อขดลวดแรงต่ำเข้ากับบาร์ทองแดง



รูปที่ 4.12ก การต่อจุดแยกของหม้อแปลงที่ตัวเปลี่ยนจุดแยกแรงดันและระบบ
และปลายสายไปยังปลอกฉนวนนำสาย

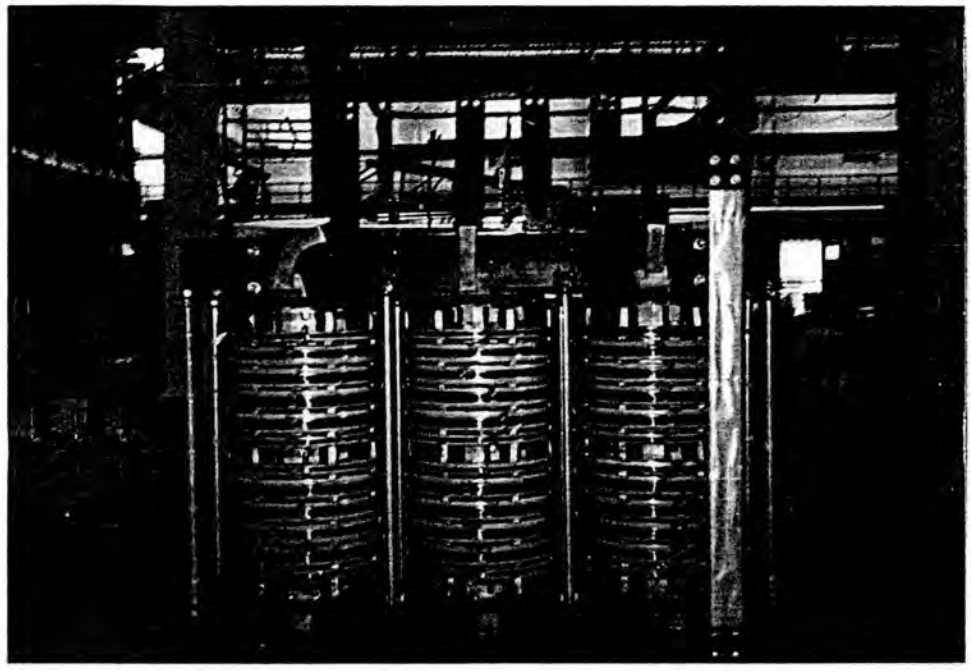


รูปที่ 4.12ข การเชื่อมต่อในแต่ละตอนและการต่อจุดแยกของหม้อแปลง

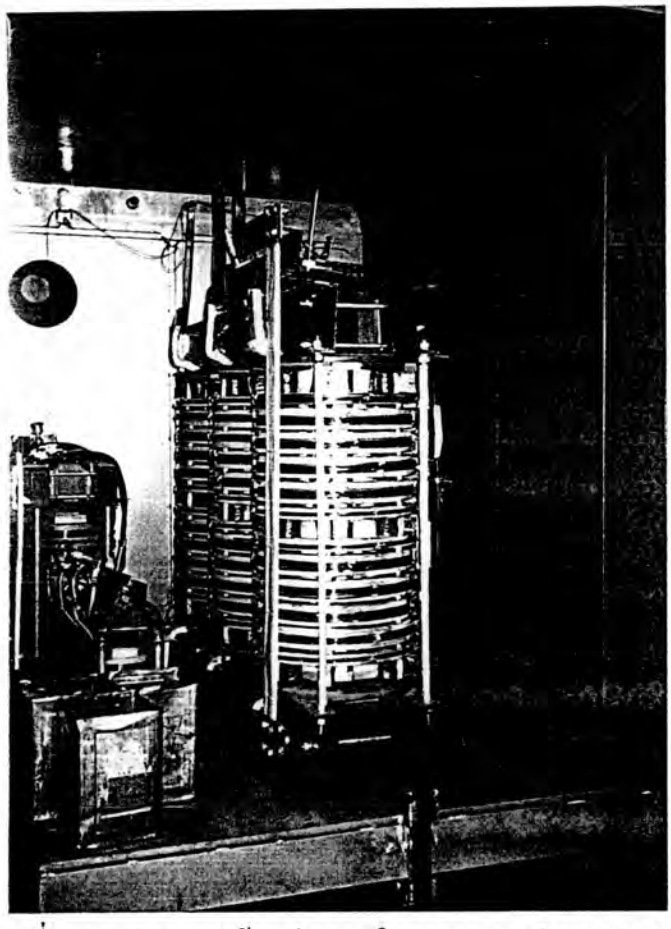


รูปที่ 4.12ค ตำแหน่งของตัวเปลี่ยนจุดแยกแรงดันและระบบ

ก่อนที่จะประกอบหม้อแปลงลงถัง ต้องทำการถอดฝาถังออกก่อนแล้วจึงนำขดลวดเข้ายังเตาอบที่อุณหภูมิ 110°C และอบเป็นเวลา 72 ชั่วโมง พร้อมทั้งทำการไล่ความชื้นบนผิวของขดลวดและในเนื้อเบกไลท์ โดยการทำสุญญากาศภายในเตาอบดังรูปที่ 4.13ก และ 4.13ข

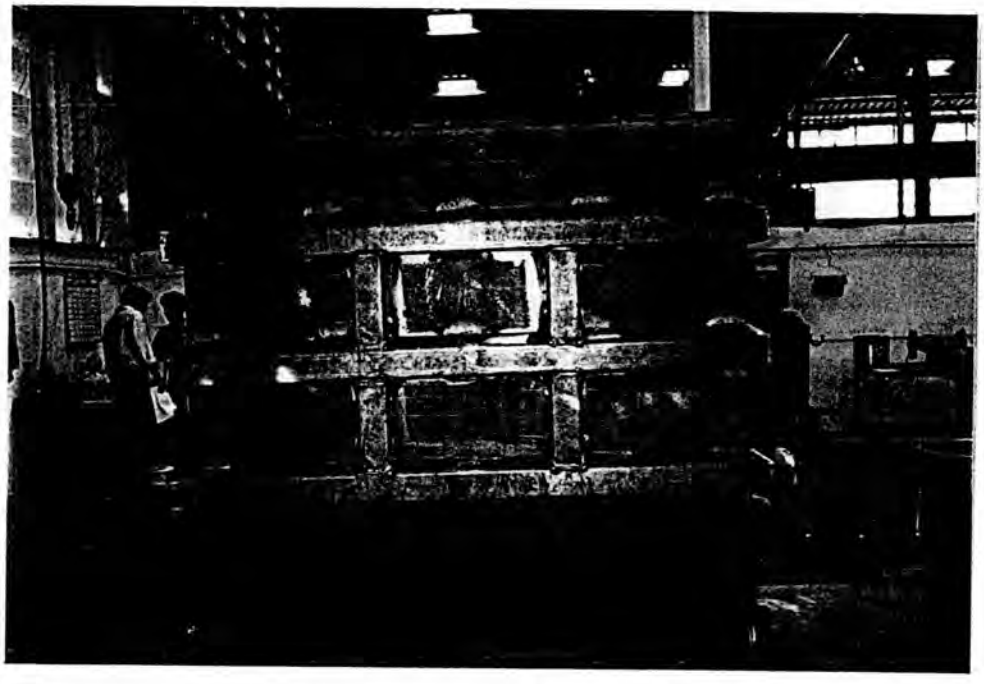


รูปที่ 4.13ก ถอดฝาหม้อแปลงออกเตรียมเข้าเตาอบ

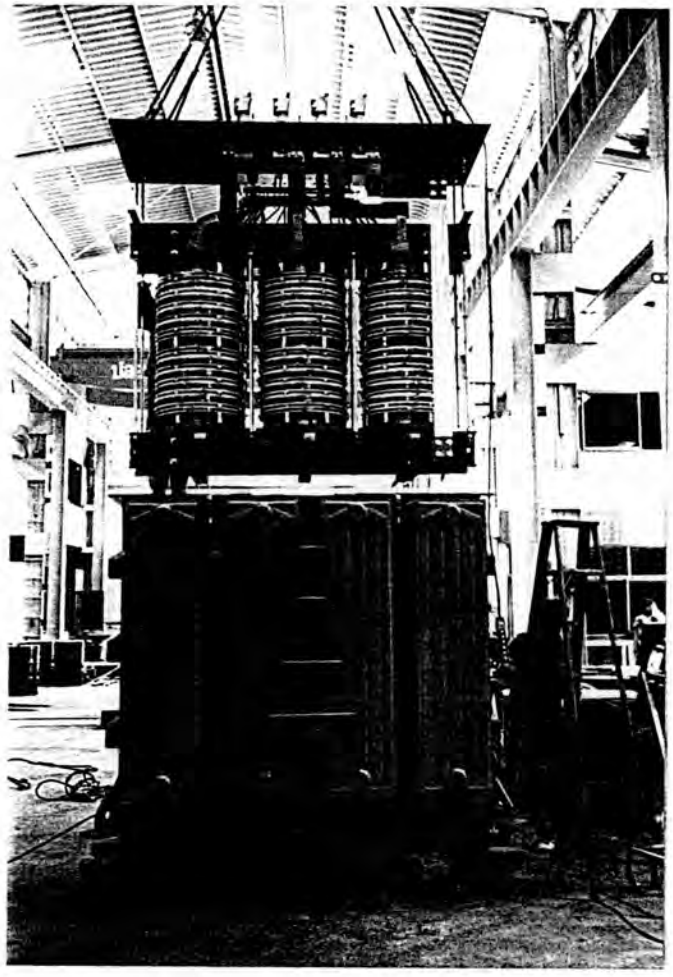


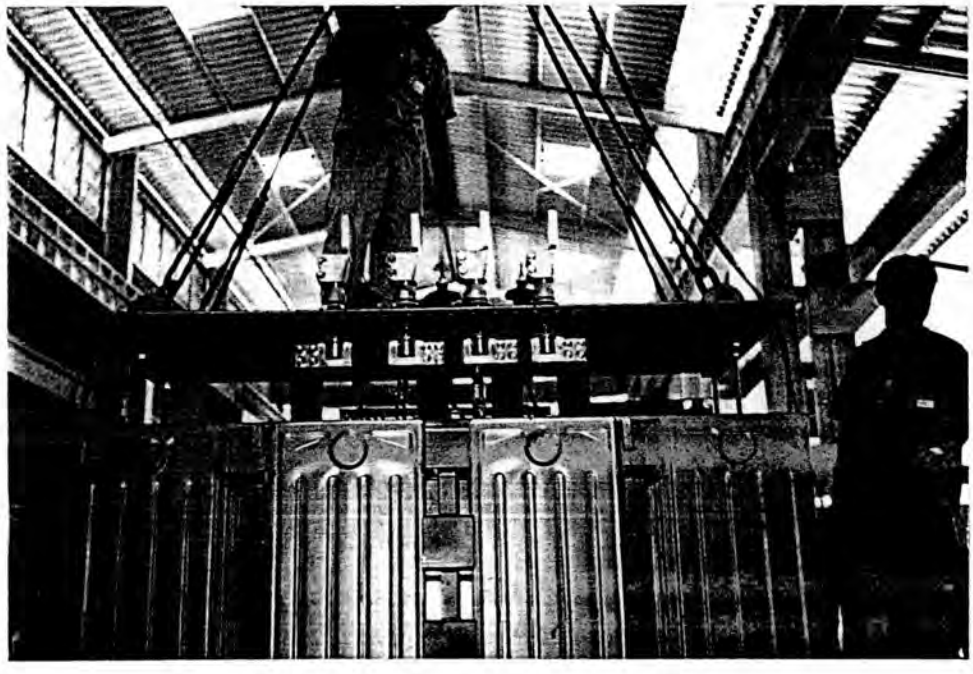
รูปที่ 4.13ข การอบหม้อแปลงภายในเตาอบและทำสุญญากาศ

ตัวถังของหม้อแปลงใช้เหล็กหนา 9 mm และมีการดามเหล็กภายนอกตัวถังดังรูปที่ 4.14 เพื่อให้มีความแข็งแรงทนต่อความดันก๊าซ SF_6 ที่บรรจุอยู่ภายในถัง แต่ภายในของถังจะไม่มีการดามเพราะต้องการให้ได้ระยะฉนวนที่มากพอ เมื่ออบขดลวดเสร็จเรียบร้อยตามเวลาที่กำหนดจึงนำมาประกอบลงถังดังรูปที่ 4.15

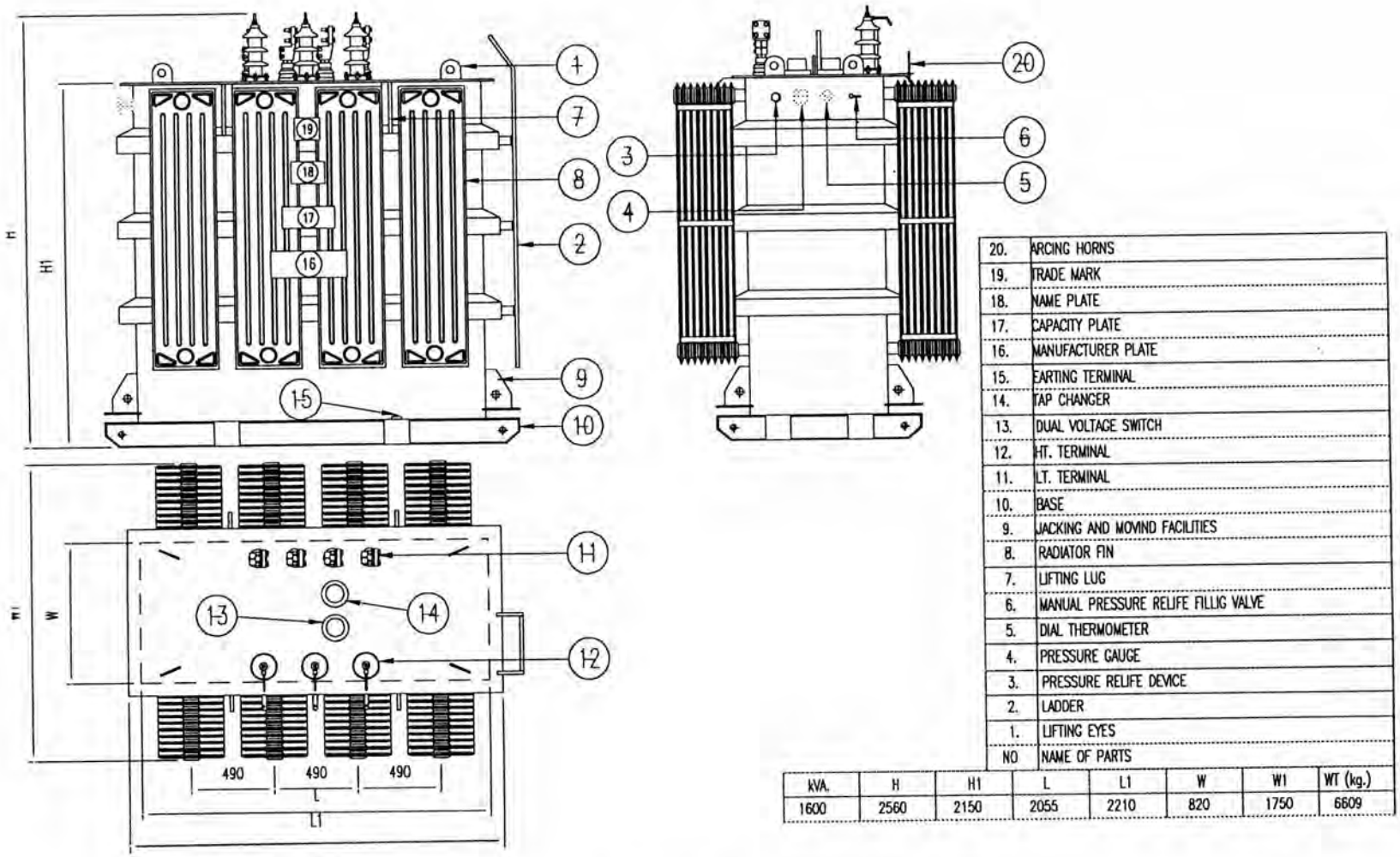


รูปที่ 4.14 การดามเหล็กภายนอกถัง





รูปที่ 4.15 การประกอบหม้อแปลงลงถัง



20.	ARCING HORNS
19.	TRADE MARK
18.	NAME PLATE
17.	CAPACITY PLATE
16.	MANUFACTURER PLATE
15.	EARTING TERMINAL
14.	TAP CHANGER
13.	DUAL VOLTAGE SWITCH
12.	HT. TERMINAL
11.	LT. TERMINAL
10.	BASE
9.	JACKING AND MOVIND FACILITIES
8.	RADIATOR FIN
7.	LIFTING LUG
6.	MANUAL PRESSURE RELIFE FILLIG VALVE
5.	DIAL THERMOMETER
4.	PRESSURE GAUGE
3.	PRESSURE RELIFE DEVICE
2.	LADDER
1.	LIFTING EYES
NO	NAME OF PARTS

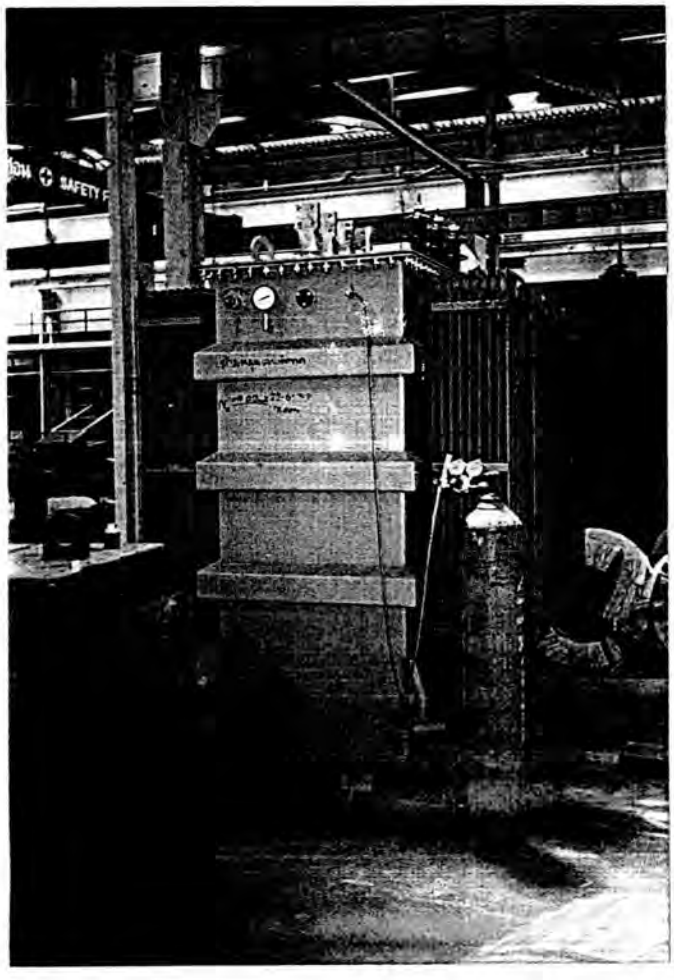
kVA.	H	H1	L	L1	W	W1	WT (kg.)
1600	2560	2150	2055	2210	820	1750	6609

รูปที่ 4.16 แสดงขนาดและอุปกรณ์ต่างๆ ของหม้อแปลงที่ประกอบเสร็จเรียบร้อย

4.6 กระบวนการบรรจุก๊าซ SF_6

ขั้นตอนการบรรจุก๊าซ SF_6 จะเป็นดังนี้

- ทำการสุญญากาศให้ได้ความดันต่ำที่สุดประมาณ 10 mmHg abs
- ทดสอบรอยรั่วของตัวถังโดยการอัดก๊าซ N_2 ที่ความดันประมาณ 2.8 kg/cm^2 abs ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 สัปดาห์ สาเหตุที่อัดก๊าซให้มีความดันสูงกว่าที่ต้องการ เพราะว่าเมื่อใช้งานจริงตามที่ออกแบบไว้ที่ประสิทธิภาพสูงสุดจากข้อ 3.5.5 ประมาณ 45% อุณหภูมิภายในหม้อแปลงจะสูงขึ้น โดยให้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีค่าประมาณ 50°C ในขณะที่อุณหภูมิแวดล้อมประมาณ 30°C
- ทำการสุญญากาศอีกครั้งให้ได้ความดันต่ำสุดเช่นเดิม
- บรรจุก๊าซ SF_6 ที่ความดันประมาณ 2.4 kg/cm^2 abs ดังดังรูปที่ 4.17ก และ 4.17ข



รูปที่ 4.17ก การบรรจุก๊าซ SF_6

รูปที่ 4.17ข เกจความดันชี้ที่ความดันประมาร 2.4 kg/cm^2 abs