บทที่ 6
การควบคุมคุณภาพในสายการผลิตตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า

มาตรฐานอุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นส่วนหนึ่งซึ่งจะช่วยป้องกันภัยจากการใช้ไฟฟ้า ทั้งนี้เพราะว่านอกจากผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าอย่างถูกต้องแล้ว ตัวอุปกรณ์ไฟฟ้าเองจะต้องมีคุณลักษณะให้ความปลอดภัยอย่างเพียงพอต่อผู้ใช้ไฟฟ้า กล่าวคือ มีการป้องกันการสัมผัสกับส่วนที่มีไฟฟ้าโดยบังเอิญ มีการต่อลงดิน มีความต้านทานของฉนวน มีขีดจำกัดความร้อน ความแข็งแรงทางกล เป็นต้น

ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในการควบคุมการรับจ่ายไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรม และอาคารขนาดใหญ่ โดยจะทำหน้าที่รับไฟฟ้าจากการไฟฟ้าเข้ามา แล้วแจกจ่ายไปตามอุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์ตัดตอนอัตโนมัติ(Circuit breaker) ในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าจะตัดวงจรที่ผิดปกติออกจากระบบทันที เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์เสียหายหรือเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานได้

สำหรับในกรณีของสายการผลิตตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าในโรงงานตัวอย่างนั้น นอกจากที่จะพิจารณาการควบคุมคุณภาพในสายการผลิตแล้ว ยังต้องคำนึงถึงมาตรฐานของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ภายในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าด้วย เพราะเป็นจุดที่สำคัญจุดหนึ่งของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า เพื่อให้มันสามารถทำงานตามหน้าที่ที่ต้องการ และสิ่งที่สำคัญที่สุดคือความปลอดภัยของผู้ใช้งาน

ดังนั้น ภายหลังจากที่ได้ศึกษาถึงปัญหาที่เกิดขึ้น ในการควบคุมคุณภาพในสายการผลิตตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ของโรงงานตัวอย่างแล้ว จำเป็นที่จะต้องพัฒนาถึงองค์ประกอบพื้นฐานของการผลิต จากที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 5 และการกำหนดระบบการตรวจสอบและควบคุมอย่างต่อเนื่อง เพื่อพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้สูงขึ้น ได้แก่

1. การตรวจสอบนำเข้า (Incoming inspection)
2. การตรวจสอบในกระบวนการผลิต (Inprocess Inspection)
3. การตรวจสอบขั้นสุดท้าย (Final inspection)

รายละเอียดในแต่ละขั้นตอนของการตรวจสอบ จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับลักษณะของงาน ซึ่งในแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

6.1 การตรวจสอบนำเข้า (Incoming inspection)

สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตตู้ควบคุมระบบไฟฟ้านั้น ได้แก่ เหล็กแผ่น และเหล็กรูปพรรณ

เพื่อใช้ในการทำโครงตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า วัตถุดิบลำดับถัดมา ได้แก่ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ภายในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า เช่น สายไฟฟ้า, บัสบาร์, เซอร์กิตเบรคเกอร์, อุปกรณ์ปิดเปิด, ฟิวส์ ฯลฯ

6.1.1 วัตถุดิบที่เป็นเหล็กแผ่น ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 5 ในหัวข้อการตรวจสอบนำเข้าวัตถุดิบในการผลิตรางสายไฟฟ้า

6.1.2 เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน (Hot-rolled structural steel sections) เป็นเหล็กรูปพรรณตาม มอก. เลขที่ 1227-2537 เพื่อใช้ทำโครงสร้างของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า มีหัวข้อต่างๆ ดังนี้คือ

ก) แบบและชั้นคุณภาพ

1. เหล็กโครงสร้างแบ่งตามรูปภาคตัดออกเป็น 5 แบบ ตามตารางที่ 6.1

2. เหล็กโครงสร้างแบ่งตามส่วนประกอบทางเคมี และสมบัติทางกลออกเป็น 4 ชั้นคุณภาพ คือ SM400, SM490, SM520 และ SM570 ตามตารางที่ 6.4 และ 6.5

ข) ขนาด ความหนา และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

1. ขนาดและความหนาของเหล็กโครงสร้าง ให้เป็นไปตามตารางที่ 2 ถึงตารางที่ 7 ของ มอก.1227-2537 โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของขนาด, ความหนา, ความยาว, ความได้ฉาก, ความโก่ง และระยะเยื้องศูนย์สำหรับเหล็กฉาก, เหล็กรูปรางน้ำ, เหล็กรูปตัวไอ และเหล็กรูปตัวทีตามตารางที่ 6.2 และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของขนาด, ความหนา, ความยาว, ความได้ฉาก, ความโก่ง, ระยะเยื้องศูนย์, ความเว้าของลำตัวและความได้ฉากของปลายตัดสำหรับเหล็กตัวเอช ตามตารางที่ 6.3

ค) ส่วนประกอบทางเคมี

ส่วนประกอบทางเคมีของเหล็กโครงสร้าง เมื่อวิเคราะห์จากเบ้าให้เป็นไปตามตารางที่ 6.4

ง) คุณลักษณะที่ต้องการ

1. ลักษณะทั่วไป

เหล็กโครงสร้างต้องมีผิวทั้งหมดเรียบเกลี้ยง ไม่มีรอยปริ แตกร้าว

2. สมบัติทางกล

(ก) ความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก ความต้านทานแรงดึงและความยืด ต้องเป็นไปตามตารางที่ 6.5

(ข) ความต้านการกระแทก (เฉพาะความหนาไม่น้อยกว่า 12 มิลลิเมตร)ต้องเป็นไปตามตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.1 แบบและรูปภาคตัด

แบบ		รูปภาคตัด
เหล็กฉาก (angle steel)	ขาเท่ากัน (equal leg)	
	ขาไม่เท่ากัน (unequal leg)	
เหล็กรูปรางน้ำ (channel steel)		
เหล็กรูปตัวเอช (H-section steel)		
เหล็กรูปตัวไอ (I-section steel)		
เหล็กรูปตัวที (T-section steel)		

การทดสอบให้ปฏิบัติตาม มอก.244 เล่ม 8 โดยชั้นคุณภาพ SM400, SM490 และSM520 ให้ทดสอบที่ 0 องศาเซลเซียส ส่วนชั้นคุณภาพ SM570 ให้ทดสอบที่ -5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ชั้นคุณภาพ, ความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก, ความต้านทานแรงดึงและความยืด และความต้านทานแรงกระแทก

ง) เครื่องหมายและฉลาก

1. ที่เหล็กโครงสร้างทุกท่อน อย่างน้อยต้องมีเลข, อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(ก) ชั้นคุณภาพ

(ข) ขนาด, ความหนา และความยาว

(ค) หมายเลขการหลอมแต่ละครั้ง หรือเครื่องหมายอื่นใดที่แสดงถึงการหลอมแต่ละครั้ง

(ง) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

การแจ้งรายละเอียดตามข้อ (ก) และ (ง) ต้องไม่ลบเลือนง่าย ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ จะต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

ตารางที่ 6.2 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของขนาด, ความหนา, ความยาว, ความได้ฉาก, ความโก่ง, และระยะเยื้องศูนย์สำหรับเหล็กฉาก, เหล็กรูปรางน้ำ, เหล็กรูปตัวไอและเหล็กรูปตัวที

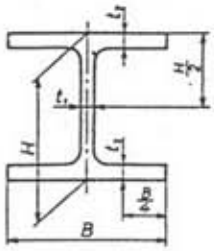
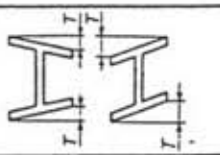
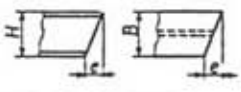
หน่วยเป็นมิลลิเมตร

			เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน	หมายเหตุ
A หรือ B	น้อยกว่า 50		± 1.5	
	50 ถึงน้อยกว่า 100		± 2.0	
	100 ถึงน้อยกว่า 200		± 3.0	
	200 และมากกว่า		± 4.0	
H	น้อยกว่า 100		± 1.5	
	100 ถึงน้อยกว่า 200		± 2.0	
	200 ถึงน้อยกว่า 400		± 3.0	
	400 และมากกว่า		± 4.0	
ความหนา (t หรือ t_1, t_2)	H ไม่เกิน 130	น้อยกว่า 6.3	± 0.6	
		6.3 ถึงน้อยกว่า 10	± 0.7	
		10 ถึงน้อยกว่า 16	± 0.8	
		16 และมากกว่า	± 1.0	
	H เกิน 130	น้อยกว่า 6.3	± 0.7	
		6.3 ถึงน้อยกว่า 10	± 0.8	
		10 ถึงน้อยกว่า 16	± 1.0	
		16 ถึงน้อยกว่า 25	± 1.2	
		25 และมากกว่า	± 1.5	
ความยาว	ไม่เกิน 7 เมตร		+ 40 0	
	เกิน 7 เมตร		ส่วนเกิน 40 มิลลิเมตร บวก 5 มิลลิเมตร ทุก ๆ ความยาว 1 เมตรที่มากกว่า 7 เมตร ส่วนขาด ไม่มี	
ความได้ฉาก (squareness) (T)	เหล็กรูปตัวไอ		ไม่เกินร้อยละ 2 ของมิติ B	
	เหล็กฉากและเหล็กรูปรางน้ำ		ไม่เกินร้อยละ 2.5 ของมิติ B	
ความโก่ง (bend)	เหล็กรูปตัวไอและตัวที		ไม่เกินร้อยละ 0.2 ของความยาว	
	เหล็กฉากและเหล็กรูปรางน้ำ		ไม่เกินร้อยละ 0.3 ของความยาว	
ระยะเยื้องศูนย์ (eccentricity) (S)	เหล็กรูปตัวที		± 3.0	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.3 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของขนาด, ความหนา, ความยาว, ความได้ฉาก, ความโก่ง, ระยะเยื้องศูนย์, ความเว้าของลำตัว และความได้ฉากของปลายตัดสำหรับเหล็กรูปตัวเอช

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

		เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน	หมายเหตุ
H	น้อยกว่า 400	± 2.0	
	400 ถึงน้อยกว่า 600	± 3.0	
	600 และมากกว่า	± 4.0	
B	น้อยกว่า 100	± 2.0	
	100 ถึงน้อยกว่า 200	± 2.5	
	200 และมากกว่า	± 3.0	
ความหนา (t_1, t_2)	t_1 น้อยกว่า 16	± 0.7	
	t_1 16 ถึงน้อยกว่า 25	± 1.0	
	t_1 25 ถึงน้อยกว่า 40	± 1.5	
	t_2 น้อยกว่า 16	± 1.0	
	t_2 16 ถึงน้อยกว่า 25	± 1.5	
	t_2 25 ถึงน้อยกว่า 40	± 1.7	
ความยาว	ไม่เกิน 7 เมตร	+ 40 0	
	เกิน 7 เมตร	ส่วนเกิน 40 มิลลิเมตร บวก 5 มิลลิเมตร ทุก ๆ ความยาว 1 เมตรที่มากกว่า 7 เมตร ส่วนขาด ไม่มี	
ความได้ฉาก (T)	H ไม่เกิน 300	ไม่เกินร้อยละ 1.0 ของมิติ B และต้องไม่เกิน 1.5 มิลลิเมตร	
	H เกิน 300	ไม่เกินร้อยละ 1.2 ของมิติ B และต้องไม่เกิน 1.5 มิลลิเมตร	
ความโก่ง	H ไม่เกิน 300	ไม่เกินร้อยละ 0.15 ของความยาว	
	H เกิน 300	ไม่เกินร้อยละ 0.10 ของความยาว	
ระยะเยื้องศูนย์ (S)	H ไม่เกิน 300 และ B ไม่เกิน 200	± 2.5	$S=\frac{b_1-b_2}{2}$
	H เกิน 300 และ B เกิน 200	± 3.5	
ความเว้าของลำตัว (concavity of web) (W)	H น้อยกว่า 400	2.0	
	H 400 ถึงน้อยกว่า 600	2.5	
	H 600 และมากกว่า	3.0	
ความได้ฉากของปลายตัด (squareness of cut end) (e)		ไม่เกินร้อยละ 1.6 ของมิติ B หรือ H และต้องไม่เกิน 3.0 มิลลิเมตร	

ตารางที่ 6.4 ชั้นคุณภาพ และส่วนประกอบทางเคมีเมื่อวิเคราะห์จากเบ้า

ชั้นคุณภาพ	ส่วนประกอบทางเคมี ร้อยละโดยน้ำหนัก				
	คาร์บอน สูงสุด	ซิลิคอน สูงสุด	แมงกานีส	ฟอสฟอรัส สูงสุด	กำมะถัน สูงสุด
SM 400	0.20	0.35	0.60 ถึง 1.40	0.035	0.035
SM 490	0.18	0.55	1.60 สูงสุด	0.035	0.035
SM 520	0.20	0.55	1.60 สูงสุด	0.035	0.035
SM 570	0.18	0.55	1.60 สูงสุด	0.050	0.050

หมายเหตุ : หากวิเคราะห์จากผลิตภัณฑ์ ปริมาณธาตุต่างๆ ยอมให้มากกว่าที่กำหนดในตารางที่ 6.4 ได้อีกดังนี้ คาร์บอน 0.03, ซิลิกอน 0.05, แมงกานีส 0.05, ฟอสฟอรัส 0.01 กำมะถัน 0.01

ตารางที่ 6.5 ชั้นคุณภาพ ความต้านแรงดึงที่จุดคราก ความต้านแรงดึงและความยืด และความต้านแรงกระแทก

ชั้นคุณภาพ	ความต้านแรงดึงที่จุดคราก ต่ำสุด เมกะพาสคัล		ความต้านแรงดึง	ความยืด ต่ำสุด ร้อยละ			ความต้านการกระแทก ต่ำสุด
	ความหนา ไม่เกิน 16 มิลลิเมตร	ความหนา เกิน 16 มิลลิเมตร	เมกะพาสคัล	ความหนา ไม่เกิน 5 มิลลิเมตร	ความหนา 5 ถึง 16 มิลลิเมตร	ความหนา เกิน 16 มิลลิเมตร	จูล
SM 400	245	235	400 ถึง 510	23	18	22	27
SM 490	325	315	490 ถึง 610	22	17	21	27
SM 520	365	355	520 ถึง 640	19	15	19	27
SM 570	460	390	570 ถึง 720	19	19	26	47

6.1.3 อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ที่ใช้ในอุปกรณ์รับและจ่ายไฟ มีวิธีในการเลือกใช้งาน เพื่อให้ตรงกับมาตรฐานต่างๆ รายละเอียดในแต่ละตัวมีดังนี้

(ก) Disconnecting switch เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตัดวงจรไฟแรงสูงที่ชาร์ทไฟอยู่ ไม่ใช่อุปกรณ์ที่ใช้ตัดกระแสโหลดไฟแรงสูงโดยตรง วิธีในการเลือกใช้งาน (JIS C 4606) โดยปกติเลือกจากค่าแรงดันและกระแสพิกัดตามที่ต้องการใช้ แต่ถ้ากระแสจริงในวงจรมากกว่า 90% ของกระแสพิกัด ให้เลือก Disconnecting switch ที่มีค่าพิกัดสูงขึ้นไปอีก

ตารางที่ 6.6 ค่าแรงดันและกระแสพิกัดในการเลือก Disconnecting switch

แรงดันพิกัด (kV)	กระแสพิกัด (A)	กระแสพิกัดช่วงเวลาสั้น (kA)	หมายเหตุ
7.2	100	5	วงจรที่ใช้แรงดันไฟ
	200	10	6.6 kV ต้องใช้ DS
	400	14	ที่มีแรงดันไฟพิกัด
	600	14	7.2 kV

(ข) Lighting arrester เป็นอุปกรณ์ที่ติดไว้ที่ปากทางเข้าของอุปกรณ์รับและจ่ายไฟ ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้แรงดันไฟสูงผิดปกติซึ่งเกิดจากฟ้าผ่า หรือการเปิดปิดวงจรผ่านเข้าไปในวงจรอุปกรณ์รับและจ่ายไฟ โดย Lighting arrester จะทำการลดค่าแรงดันไฟสูงที่ผ่านเข้ามา แล้วให้ discharge ไปยังกราวด์ ซึ่งเป็นการป้องกันฉนวนที่ใช้ในอุปกรณ์ นอกจากนั้นยังป้องกันไม่ให้กระแสของระบบไหลลงดินหลังจากที่การ discharge แรงดันไฟสูงผิดปกติจบลง และจะเข้าสู่สภาวะปกติโดยไม่ทำให้ระบบไฟฟ้าดับ สำหรับวิธีในการเลือก Lighting arrester (JEC-156) ตามมาตรฐานควบคุมอุปกรณ์รับและจ่ายไฟระบุไว้ว่า อุปกรณ์ที่มีขนาดสูงกว่า 500 kVA ต้องติดตั้ง Lighting arrester แต่เมื่อคำนึงถึงความสำคัญแล้ว ไม่ว่าอุปกรณ์ใหญ่หรือเล็กก็ควรติดตั้ง

ตารางที่ 6.7 ค่าแรงดันต่างๆ สำหรับการเลือก Lighting arrester

แรงดันของสายส่ง	6.6 kV		แรงดันอิมพัลซ์ที่เริ่ม	100% 33 kV
ค่าแรงดันไฟพิกัดของ LA	8.4 kV		discharge (ค่าสูงสุด)	0.5 µs 38 kV
แรงดันไฟที่เริ่ม discharge ที่ความถี่ 50 Hz	12.6 kV		แรงดันไฟที่ถูกจำกัด (ค่าสูงสุด)	2500 A, 33 kV

(ค) Oil circuit breaker คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการปิดเปิดวงจรของไฟแรงดันสูง นอกจากนั้นยังสามารถตัดวงจรโดยอัตโนมัติ เมื่อตรวจพบว่ามีการไหลของกระแสในวงจรมากผิดปกติ จึงสามารถป้องกันเครื่องใช้ไฟฟ้าจากอันตรายได้ วิธีเลือกใช้งาน Oil circuit breaker (JIS C 4603) ที่ใช้กับงานต่อไปนี้คือ ใช้ที่แผงรับไฟแรงสูงของอุปกรณ์รับและจ่ายไฟ ที่แผงจ่ายไฟของมอเตอร์ไฟแรงสูง และที่วงจร condenser bank เป็นต้น สำหรับอุปกรณ์รับและจ่ายไฟที่มีแรงดันไฟที่แสดงไว้เป็น 6.6 kV จะต้องใช้ Oil circuit breaker ที่มีแรงดันไฟพิกัดเป็น 7.2 kV ในกรณีของวงจรทั่วไปค่าของกระแสที่ใช้ต่อเนื่องในยามปกติควรต่ำกว่า 80% ของกระแสพิกัด ถ้าเป็น Condenser bank ควรต่ำกว่า 60%

ตารางที่ 6.8 แสดงค่าต่างๆ ของ Oil circuit breaker

แรงดันพิกัด (kV)	กระแสพิกัดที่ตัดวงจร (kA)	ช่วงเวลาพิกัดที่ตัดวงจร (cycle)	กระแสพิกัดที่ใช้งาน (A)	Interrupting Capacity (MVA)
7.2	2	8	200	25
	4	8	200,400	50
	8	5,8	200,400,600	100
	12.5	5,8	400,600,1200	160

(ง) Load break switch เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตัดหรือผ่านกระแสโหลด กระแสชาร์ทหม้อแปลงและกระแสคอนเดนเซอร์ทางด้านแรงดันสูง นอกจากนั้นยังสามารถผ่านกระแสที่สูงผิดปกติ อันเนื่องจากการลัดวงจร และผ่านกระแสเป็นช่วงสั้นๆ ตามที่กำหนดไว้ได้ Load break switch แยกประเภทได้ตามวิธีการดับอาร์ค ซึ่งได้แก่ แบบอากาศ, แบบน้ำมัน และแบบสูญญากาศ ปัจจุบันแบบอากาศถูกนำมาใช้มากที่สุด เนื่องจากมีราคาถูก สำหรับวิธีการเลือก Load break switch (JIS C 4065) สำหรับอุปกรณ์รับและจ่ายไฟที่เป็น 6.6 kV ให้เลือกใช้ Load break switch ที่มีแรงดันพิกัดเป็น 7.2 kV การกำหนดกระแสพิกัดนั้นให้คำนึงถึง capacity ของอุปกรณ์ การเปลี่ยนแปลงของโหลดเวลาใช้งาน รวมทั้งโหลดที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคต นำค่าโหลดทั้งหมดนี้มารวมกันแล้วกำหนดให้กระแสพิกัดเป็นประมาณ 2 เท่าของค่าผลรวมนี้

(จ) Power fuse เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตัดกระแสวงจร เพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับวงจรและอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรไฟฟ้าแรงสูง เช่น Transformer, Static capacitor หรือมอเตอร์ไฟแรงสูง เป็นต้น แบบที่ใช้กันแพร่หลายเป็นแบบจำกัดกระแส วิธีการเลือก Power fuse (JIS C 4604) โดยการเลือกค่าแรงดัน ให้เลือกจากค่าสูงสุดของ line voltage เช่น ค่า line voltage สูงสุดที่

ตารางที่ 6.9 แสดงค่าต่างๆ ของ Load break switch

แรงดันพิกัด (kV)	กระแสพิกัด (A)	กระแสพิกัดชั่วขณะ (kA)	กระแสพิกัดตอนปิดวงจร (kA)	กระแสพิกัดของการปิดเปิด (A)
7.2	30,50,100	2.0	5.0	กระแสโหลด
		4.0	10.0	30,50,100,200,300,400,
	200	4.0	10.0	600,800,1200,1500,2000
		8.0	20.0	
	300	4.0	10.0	กระแสลู้ป
		8.0	20.0	200,400,600,800,1200,
		12.5	31.5	1500,2000
	400,600 800,1200 1500,2000	4.0	10.0	
		8.0	20.0	กระแสกระตุ้น
		12.5	31.5	1,3,5,10,20,30,50
		16.0	40.0	
		20.0	50.0	กระแสชาร์ทประจุ
		25.0	63.0	3,5,10,20,30
		31.5	80.0	

หมายเหตุ : กระแสพิกัดของการเปิดปิดหมายถึง พิดกัดของกระแสที่สามารถเปิดปิดได้ ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

แสดงไว้เป็น 6.6 kV ต้องเลือกใช้ค่าแรงดันพิกัดเป็น 7.2 kV การเลือกค่ากระแสพิกัดของ Power fuse โดยทั่วไปต้องเลือกให้เป็น 1.5 ถึง 2 เท่า ของกระแสพิกัดของโหลด ทั้งนี้เพื่อไม่ให้ fuse element เกิดการหลอมตัวหรือเสื่อมสภาพเนื่องจากกระแสกระชากในตอนต้น

ตารางที่ 6.10 แสดงค่าต่างๆ ของ Power fuse

แรงดันไฟพิกัด (kV)	7.2	กระแสพิกัดในการตัดวงจร (kA)	8.0	12.0
ความถี่พิกัด	50 และ 60 Hz	fault capacity กรณีไฟ 3 เฟส (MVA)	100	150
กระแสพิกัด	5,10,20,30,40 50,60,75,100	แรงดันไฟสูงสุดขณะทำงาน (kV)	23 (ค่าสูงสุด)	

หมายเหตุ : ค่าแรงดันไฟสูงสุดขณะทำงาน หมายถึงแรงดันชั่วขณะที่สูงสุดที่เกิดขึ้นที่ขั้วของหลอดฟิวส์ในขณะฟิวส์ทำการตัดวงจร

ตารางที่ 6.11 Power fuse ที่ใช้กับหม้อแปลงไฟแรงสูง และใช้กับมอเตอร์ไฟแรงสูง

Power fuse ที่ใช้กับหม้อแปลงไฟแรงสูง			Power fuse ที่ใช้กับมอเตอร์ไฟแรงสูง		
capacity หม้อแปลง (kVA)	single phase transformer (6.6 kV) กระแสพิกัดของฟิวส์ (A)	3 phase transformer (6.6 kV) กระแสพิกัดของฟิวส์ (A)	capacity ของมอเตอร์ (kW)	Squirrel cage motor (6.6 kV) กระแสพิกัดของฟิวส์ (A)	Wound motor (6.6 kV) กระแสพิกัดของฟิวส์ (A)
30	20	10	40	50	30
50	20	20	50	50	30
75	30	20	60	50	30
100	40	30	75	50	30
150	50	30	100	75	50
200	75	40	125	75	50
300	100	50	150	100	50
400	100	75	200	100	75
500	150	75	250	150	75

(ฉ) หม้อแปลงไฟแรงสูง คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงไฟแรงสูงให้เป็นไฟแรงต่ำ หม้อแปลงไฟแรงสูงที่ใช้กันแพร่หลายในปัจจุบันจะเป็นแบบ Oil type แต่ระยะหลังนี้แบบ Dry type และ Mold type ก็มีใช้กันเพิ่มขึ้น วิธีในการเลือกหม้อแปลงไฟแรงสูง (JIS C 4304,4305) จะพิจารณาที่ค่าแรงดันพิกัดทางด้านทุติยภูมิ ซึ่งเป็นแรงดันที่ให้ Rating power ของหม้อแปลงนั้น สำหรับค่าแรงดันทางด้านปฐมภูมินั้น เป็นค่าแรงดันที่ได้จากค่าแรงดันทางทุติยภูมิคูณกับตัวเลขแสดงอัตราการแปลงไฟฟ้าของหม้อแปลงนั้น ค่า Rating power ของหม้อแปลงคือ กำลังไฟฟ้าเป็น kVA ที่แสดงไว้ในแผ่นป้าย (nameplate) ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่ได้ทางทุติยภูมิที่ความถี่พิกัด

ตารางที่ 6.12 แสดงค่าแรงดันพิกัด, ขนาดพิกัด และแรงดันแท็ป ของหม้อแปลงไฟแรงสูง

แรงดันพิกัด	ด้านปฐมภูมิ (V)		R 6300	แรงดันแท็ป (V)	ขณะใช้เต็มความสามารถ	F 6900 F 6600
	ด้านทุติยภูมิ (V)	เฟสเดียว	210 หรือ 105			
		3 เฟส	210			
ขนาดพิกัด	แบบน้ำมัน 6 kV ขนาดเล็ก (kVA)		3,5,7.5,10 15,20,30,50		ขณะใช้ต่ำกว่าความสามารถ	6000 5700
	แบบน้ำมัน 6 kV ขนาดกลาง (kVA)		75,100,150 200,300,500			

ส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ ทั่วๆไป เช่น สายไฟฟ้า, สายเคเบิล, สวิชต์ต่างๆ, บัสบาร์, แมกเนติกคอนแทคเตอร์, มิเตอร์วัดค่าต่างๆ, ฯลฯ ก็ให้เลือกใช้ตามข้อกำหนดที่ต้องการ จากเอกสารของผู้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เหล่านั้น ทั้งนี้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่นำมาใช้ จะต้องได้รับการรับรองจากมาตรฐานสากลด้วย จึงจะนำมาใช้ได้

6.2 การตรวจสอบในกระบวนการผลิต (Inprocess inspection)

สำหรับการตรวจสอบในกระบวนการผลิตตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า จะเป็นการตรวจสอบชิ้นส่วนที่อยู่ในกระบวนการผลิตในแต่ละขั้นตอน ดังนั้น สามารถแบ่งการตรวจสอบในกระบวนการผลิตออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. การตรวจสอบชิ้นส่วนจากการตัดเหล็กรูปพรรณ และการดัดโลหะแผ่น
2. การตรวจสอบชิ้นส่วนจากการเชื่อมประกอบ

6.2.1 การตรวจสอบชิ้นส่วนจากการตัดเหล็กรูปพรรณ และการดัดโลหะแผ่น

สำหรับรายละเอียดต่างๆ นั้น ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 5 หัวข้อการตรวจสอบในกระบวนการผลิตรางสายไฟฟ้า

6.2.2 การตรวจสอบชิ้นส่วนจากการเชื่อมประกอบ

การเชื่อมประกอบ ในกระบวนการผลิตตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า จะเป็นการเชื่อมประกอบโครงตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า โดยนำเหล็กรูปพรรณที่ได้ผ่านการตัดตามขนาดต่างๆ ที่ต้องการมาแล้ว นำมาเชื่อมประกอบเข้าด้วยกัน การเชื่อมจะเป็นการเชื่อมแบบอาร์คด้วยลวดเชื่อมชนิดหุ้มด้วยสารพอกหุ้ม หรือเรียกว่าการเชื่อมไฟฟ้า

6.2.2.1 การเลือกปัจจัยสำหรับการเชื่อม

(ก) อาร์คโวลเทจ (Arc voltage)

ขนาดอาร์คโวลเทจสำหรับการเชื่อม จะขึ้นอยู่กับชนิดของลวดเชื่อมที่ใช้ แต่ถ้าเป็นลวดเชื่อมที่มีสารพอกหุ้มชนิดเดียวกัน ขนาดของโวลเทจจะสัมพันธ์โดยตรงกับระยะอาร์ค ระยะอาร์คยาวเป็นสาเหตุทำให้อาร์คไม่เรียบ และโลหะรอยเชื่อมทำปฏิกิริยารวมตัวกับออกซิเจนและไนโตรเจน ความร้อนจากอาร์คแผ่กระจายกว้างออกไป นอกจากนี้เป็นสาเหตุให้เกิดสะเก็ดเชื่อมมาก และประสิทธิภาพการเติมโลหะต่ำ การเชื่อมปกติระยะอาร์คควรเท่ากับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดเชื่อมที่ใช้ ขนาดอาร์คโวลเทจสำหรับการเชื่อมในตำแหน่งแนวราบของลวดเชื่อมขนาด ø 3 ถึง 6 มม. ควรมีขนาด 20 - 30 โวลท์ และขนาดอาร์คโวลเทจสำหรับการเชื่อมในตำแหน่งแนวตั้ง และเหนือศีรษะ ซึ่งมีระยะอาร์คสั้นลง ฉะนั้นขนาดอาร์คโวลเทจจึงต่ำกว่าขนาด

ปกติประมาณ 2 ถึง 5 โวลท์

ผู้ชำนาญในการเชื่อม สามารถตัดสินระยะอาร์คถูกหรือผิดได้โดยวิธีฟังเสียงจากการอาร์คที่เกิดขึ้น ถ้าระยะอาร์คที่ถูกต้องจะมีเสียงเรียบและสม่ำเสมอกัน ถ้าระยะอาร์คไม่ถูกต้อง เสียงอาร์คจะแตกไม่สม่ำเสมอกัน เนื่องจากอาร์คโวลเทจมีผลกระทบกับอัตราการหลอมละลายของลวดเชื่อมน้อยมาก การเชื่อมด้วยระยะอาร์คยาวจึงเพียงแต่มีผลทำให้สูญเสียพลังงานเท่านั้น

การรักษาระยะอาร์คให้คงที่ในขณะเชื่อม จะต้องมีทักษะสูง แต่อย่างไรก็ดีลวดเชื่อมชนิดที่ต้องใช้ปลายลวดเชื่อมสัมผัสกับผิวโลหะงานในขณะเชื่อมนั้น ดูเหมือนว่าจะต้องใช้ระยะอาร์คสั้นผิดปกติ แต่ตามข้อเท็จจริงระยะอาร์คจะมีขนาดปกติ เพราะลวดเชื่อมชนิดนี้จะมีสารพอกหุ้มเป็นปลอกยาวยื่นออกมาหุ้มแกนลวดไว้ ฉะนั้นในขณะเชื่อมจึงต้องบังคับให้ปลายลวดเชื่อมสัมผัสกับผิวโลหะงานอยู่ตลอดเวลา เพื่อรักษาระยะอาร์คให้คงที่ ให้ความกว้างของรอยเชื่อมและความลึกอยู่ที่ศูนย์กลางของรอยเชื่อม ไม่ทำให้เกิดรอยกัดที่ขอบรอยเชื่อม และทำให้ประสิทธิภาพการเชื่อมสูง

(ข) กระแสเชื่อม

ขนาดกระแสเชื่อม จะพิจารณาจากชนิดของวัสดุ และขนาดของชิ้นงาน รูปร่างทางเรขาคณิตของรอยต่อ, ตำแหน่งแนวเชื่อม, ชนิดและขนาดของลวดแกนกลางของลวดเชื่อม ฯลฯ ถ้าแนวเชื่อมมีขีดความสามารถรับความร้อนได้จำนวนมาก ความร้อนจะแผ่กระจายได้มากและรวดเร็ว การเชื่อมจึงต้องใช้กระแสสูงและสูงมาก บางครั้งอาจต้องลดขนาดกระแสให้ต่ำลงเพื่อป้องกันการสูญเสียธาตุเจือที่มีอยู่ในโลหะให้น้อยลง ในกรณีที่ทำการเชื่อมเหล็กกล้าเจือสูง เมื่อเกิดปัญหาโลหะรอยเชื่อมร้าวขณะที่รอยเชื่อมยังร้อนอยู่ เช่น การเชื่อมเหล็กกล้าทนความร้อนชนิดออสเทนนิติค(Austenitic) จำเป็นต้องเชื่อมด้วยกระแสต่ำ และการเชื่อมเหล็กกล้าเจือบริเวณที่มีผลกระทบจากความร้อน จะมีความแข็งเพิ่มขึ้น ในกรณีนี้จะต้องเชื่อมด้วยกระแสสูงสุดเท่าที่จะสามารถทำได้ เพื่อให้เหล็กเย็นตัวช้าลง หรือบางครั้งอาจต้องให้ความร้อนกับโลหะงานหลังการเชื่อม

(ค) ความเร็วการเชื่อม

ความเร็วการเชื่อมจะขึ้นอยู่กับชนิดของลวดเชื่อม ขนาเส้นผ่าศูนย์กลาง, ของเส้นลวดแกนกลางของลวดเชื่อม, ขนาดกระแสเชื่อม, ชนิดวัสดุงาน, ความเที่ยงตรงของชิ้นส่วนที่ประกอบ, รูปร่างทางเรขาคณิตของรอยต่อ และความเที่ยงตรง รูปแบบของการเคลื่อนไหวลวดเชื่อมที่ใช้ ฯลฯ ความเร็วการเชื่อมจะไม่เกี่ยวข้องกับอาร์คโวลเทจมากนัก แต่จะเป็นสัดส่วน

โดยตรงกับกระแสเชื่อม เพราะฉะนั้นการเชื่อมด้วยความเร็วสูงจะต้องใช้กระแสสูง

ถ้าเพิ่มความเร็วเชื่อมให้สูงขึ้นโดยรักษาโวลเทจและขนาดกระแสคงที่ ต่อหน่วยของปริมาณโลหะที่ถูกเติมลงต่อหน่วยความยาวรอยเชื่อมจะลดลง หรืออีกนัยหนึ่งขนาดของการซึมลึกจะเพิ่มขึ้นที่ความเร็วเชื่อมจุดหนึ่งที่ดีที่สุด ความเร็วเชื่อมหลังจากจุดนั้นขนาดการซึมลึกจะลดลง ถ้าความเร็วเชื่อมยังสูงขึ้นไปอีก ความร้อนที่โลหะงานได้รับต่อหน่วยของความยาวจะลดลง อัตราการเย็นตัวของโลหะจะต่ำลง และโลหะบริเวณที่มีผลกระทบจากความร้อนจะมีความแข็งเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดรอยร้าวขึ้น และธาตุเจือจะเกิดการตกตะกอนขึ้นในโครงสร้างของเนื้อโลหะ ซึ่งมีผลทำให้คุณสมบัติการต้านทานต่อการกัดกร่อนของโลหะลดลง ในการเชื่อมทั่วไปจะต้องการความเร็วเชื่อมสูงสุดเสมอ โดยที่ลักษณะของรอยเชื่อมจดสันดีด้วย ควรเชื่อมด้วยความเร็วสูงจะทำให้การเสียรูปของโลหะงานน้อยลง

(ง) ขั้วกระแส (Polarity)

ชนิดของขั้วกระแสที่ใช้ในการเชื่อมจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของวัสดุสารพอกหุ้ม, ลวดเชื่อมที่ใช้, ความสามารถการนำความร้อนของโลหะงาน, ขีดความสามารถการรับความร้อนของโลหะงาน ฯลฯ ถ้าโลหะงานมีจุดหลอมเหลวสูง หรือมีขีดความสามารถรับความร้อนได้มาก ควรใช้วงจรกระแสตรง ต่อขั้วตรง(DCSP) หรือหัวเชื่อมเป็นขั้วลบ ถ้าโลหะงานมีจุดหลอมเหลวต่ำ หรือมีขีดความสามารถรับความร้อนได้เพียงเล็กน้อย เช่น โลหะแผ่นบาง ควรเชื่อมด้วยกระแสตรงต่อกลับขั้ว(DCRP) หรือหัวเชื่อมเป็นขั้วบวก เพื่อลดขนาดการซึมลึกในรอยเชื่อมของเหล็กไร้สนิมชนิดออสเตนไนท์ (Austenite) หรือการเชื่อมพวกผิวแข็ง ฯลฯ ควรเชื่อมด้วยกระแสตรงต่อกลับขั้ว

โดยทั่วไปอาร์คที่เกิดขึ้นจากกระแสตรง ลักษณะของการอาร์คจะเรียบมากกว่าอาร์คซึ่งเกิดจากกระแสสลับ คุณลักษณะเช่นนี้จะเห็นได้ชัดเจนเมื่อใช้กระแสต่ำ การเชื่อมด้วยกระแสตรงมักจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดอาร์คโบว์ (Arc blow) ขึ้นที่ส่วนปลายของแนวเชื่อม และกระแสสลับนิยมใช้เป็นกระแสเชื่อมสำหรับรอยต่อขนาดสั้นๆ

(จ) ขนาดการซึมลึก

การเชื่อมให้รอยเชื่อมมีขนาดซึมลึกได้เพียงพอ ซึ่งจะเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับความแข็งแรงของงานที่เชื่อม ขนาดการซึมลึกจะพิจารณาจากสิ่งต่างๆ หลายด้าน เช่นสภาพต่างๆ ของคุณสมบัติของสารพอกหุ้ม, ชนิดของขั้วกระแส, ความเร็วการเชื่อมโวลเทจ ฯลฯ ยกเว้นลวดเชื่อมบางชนิดที่มีคุณสมบัติซึมลึกสูงจะต้องใช้กับกระแสโวลเทจสูง แต่โดยทั่วไปกระแสโวลเทจสูงสำหรับลวดเชื่อมที่มีสารพอกหุ้มชนิดเดียวกัน จะทำให้ระยะอาร์คยาว จะมีผลทำให้ความร้อนแผ่

กระจายกว้างออกไป ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้การซึมลึกขยายออกไปเป็นแนวกว้างและตื้น

ตามปกติการเชื่อมด้วยกระแสสูง การซึมลึกจะสูงขึ้น และถ้าปรับความเร็วการเชื่อมได้พอดี จะได้รอยเชื่อมที่มีขนาดซึมลึกสูงสุด และเมื่อความเร็วการเชื่อมสูงกว่าจุดดังกล่าว ขนาดการซึมลึกจะลดน้อยลง

6.2.2.2 สภาพการเชื่อมมาตรฐาน

เมื่อพิจารณาจากสภาพการเชื่อมต่างๆ ดังได้กล่าวมาแล้วนั้น ควรที่จะต้องพิจารณาถึงขนาดความหนาของโลหะงานที่เชื่อมด้วย, รูปร่างทางเรขาคณิตของรอยต่อที่ใช้, ชนิดของลวดเชื่อม, ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวดแกนกลางของลวดเชื่อม ฯลฯนอกจากนี้ยังต้องพิจารณาสภาพการเชื่อมด้านต่างๆ ด้วย สภาพการเชื่อมมาตรฐานต่างๆ จะต้องนำมาใช้อย่างถูกต้องตามสภาพความเที่ยงตรงของร่องรอยต่อ ลักษณะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป ฯลฯ ในตารางที่ 6.13 แสดงตัวอย่างสภาพการเชื่อมมาตรฐาน สัมพันธ์กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวดแกนกลางของลวดเชื่อมที่ใช้

ตารางที่ 6.13 แสดงตัวอย่างการใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอีเล็กโทรด

ตำแหน่ง	4 มม.	5 (5.5) มม.	6 มม.	7 มม.
ท่าราบ	130^A – 180^A	180^A – 240^A	250^A – 310^A	300^A – 380^A
ท่าตั้ง ท่าเหนือศีรษะ	110^A – 170^A	150^A – 200^A		

6.2.2.3 การตรวจสอบคุณภาพจากการเชื่อมประกอบ

การตรวจสอบคุณภาพจากการเชื่อมประกอบ ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 5 ในหัวข้อการตรวจสอบในกระบวนการผลิตรางสายไฟฟ้า

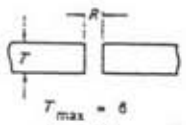
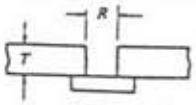
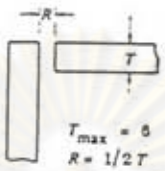
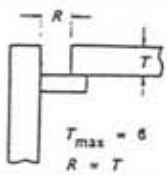
6.3 การตรวจสอบขั้นสุดท้าย (Final inspection)

การตรวจสอบในขั้นสุดท้ายของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า จะทำการตรวจสอบเมื่อตู้ควบคุมระบบไฟฟ้านั้นได้ผ่านกระบวนการผลิตมาจนครบทุกขั้นตอนแล้ว ในการตรวจสอบนั้นจะแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อใหญ่ๆ คือ การตรวจสอบโครงสร้างภายนอก ,การทดสอบตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า และการทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าด้านความปลอดภัย

ตารางที่ 6.14 คุณลักษณะของลวดเชื่อมไฟฟ้าที่ใช้กับการเชื่อมโครงสร้างเหล็กกล้า

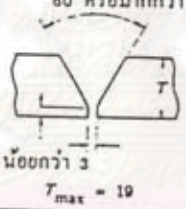
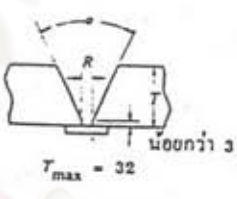
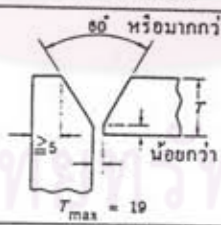
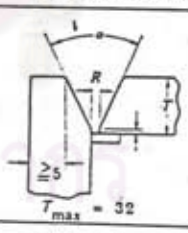
ชนิดของลวดเชื่อมไฟฟ้า	การแบ่งประเภท	เครื่องหมาย	คุณลักษณะ
ลวดเชื่อมไฟฟ้าชนิดที่มีเปลือกหุ้ม สำหรับเหล็กกล้าละมุน	D 4301	A	เหมาะกับการเชื่อมท่าเหนือศีรษะหรือท่าดิ่ง
	D 4301	B	ลวดเชื่อมชนิดนี้สามารถดัดให้โค้งได้ และไม่จำเป็นต้องอบให้แห้งก่อนใช้งาน
	D 4327	C	ลวดเชื่อมชนิดนี้อาร์คไหม้ได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะกับการเชื่อมเป็นช่วง ๆ และเหมาะกับการเชื่อมท่าราบและท่าระดับ
	D 4327	D	เป็นลวดเชื่อมที่เหมาะกับท่าราบและท่าระดับ
ลวดเชื่อมไฟฟ้าชนิดที่มีเปลือกหุ้มใช้สำหรับเชื่อมให้เหล็กกล้าทนแรงดึงสูงชนิด 50 กก./มม.^{2}	D 5016	E	เป็นลวดเชื่อมสำหรับเหล็กกล้าทนแรงดึงสูงชนิด 50 กก./มม.^{2}
	D 5016	F	เนื่องจากลวดเชื่อมชนิดนี้คุณลักษณะในการอาร์คไหม้ได้ง่าย ดังนั้นลวดเชื่อมชนิดนี้จึงเหมาะกับการเชื่อมแทค (tack welding) เชื่อมท่าดิ่งเดินแนวลง ในการใช้ลวดเชื่อม
	D 5016	G	ชนิดนี้กับท่าเชื่อมอื่น ๆ ใช้กระแสไฟคงเดิม สามารถใช้กับผิวที่มีสนิมหรือผิวที่ทาสี และเหมาะกับรอยฟิลเลทท่าราบและท่าระดับ
	D 5003	H	ลวดเชื่อมชนิดนี้จะให้รอยฟิลเลทในท่าราบหรือท่าระดับที่ดีโดยไม่มีแองทำรอยเชื่อม
	D 5026	I	ขี้ตะกรัน (slag) ที่ผิวรอยเชื่อมจะหลุดออกมาเอง เมื่อเชื่อมด้วยท่าราบหรือท่าระดับ
	D 5026	J	เป็นลวดเชื่อมไฟฟ้าซึ่งมีประสิทธิภาพสูงในการเชื่อมท่าราบและท่าระดับ
ลวดเชื่อมสำหรับการเชื่อมเชื่อมกึ่งอัตโนมัติ การเชื่อมซับเบอร์จอาร์ค ลวดและฟลักซ์	YCW – 1	K	เป็นลวดเชื่อม (wire) ใช้กับการเชื่อมกึ่งอัตโนมัติแบบมีก๊าซ CO_2 ปกคลุม มีประสิทธิภาพสูงในการเชื่อมเหล็กกล้าละมุน และเหล็กกล้าทนแรงดึงสูงชนิด 50 กก./มม.^{2}
	–	L	เป็นลวดซึ่งมีประสิทธิภาพสูงในการเชื่อมเหล็กกล้าละมุน และเหล็กกล้าทนแรงดึงสูงชนิด 50 กก./มม.^{2}
	–	M	เป็นลวดเชื่อมสำหรับเชื่อมฟิลเลทเหล็กกล้าละมุนและเหล็กกล้าทนแรงดึงสูงชนิด 50 กก./มม.^{2}
		O	เหมาะกับการเชื่อมเหล็กกล้าละมุนและเหล็กกล้าทนแรงดึงสูง ชนิด 50 กก./มม.^{2} ในการเชื่อมรอยฟิลเลทแบบแนวเดียวหรือหลายแนว
		P	เหมาะกับการเชื่อมเหล็กกล้าละมุน และเหล็กกล้าทนแรงดึงสูงชนิด 50 กก./มม.^{2}

(a) รอยต่อชน : ร่องตัว I (หน่วย : มม.)

	เซาะด้านหลัง	มีแผ่นรองหลัง
		
ทำเชื่อม	ทำราบและทำแนวดิ่ง	ทำราบและทำแนวดิ่ง
		
ทำเชื่อม	ทำราบและทำแนวดิ่ง	ทำราบและทำแนวดิ่ง

หมายเหตุ : 1) เพิ่มความแข็งแรงโดยเชื่อมรอยฟิลเลทด้านในของรอยต่อมุมและเซาะด้านหลัง
2) ใช้ลวดเชื่อมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มม. หรือน้อยกว่า

(b) รอยต่อชน : ร่องตัว V (หน่วย : มม.)

	เซาะด้านหลัง	มีแผ่นรองหลัง
รอยต่อชน		
	ทำราบและทำแนวดิ่ง	ทำราบและทำแนวดิ่ง
รอยต่อมุม		
ทำเชื่อม	ทำราบและทำแนวดิ่ง	ทำราบและทำแนวดิ่ง

หมายเหตุ : 1) ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเปิดก้นรอยต่อ R กับมุมบาก θ แสดงในตารางข้างล่าง

θ	R
45° หรือมากกว่า	6 มม. หรือมากกว่า
35° หรือมากกว่า	9 มม. หรือมากกว่า

2) ใช้ลวดเชื่อมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มม. สำหรับแนวแรก

รูปที่ 6.1 รูปร่างรอยต่อมาตรฐานใช้กับโครงสร้างเหล็กกล้า

6.3.1 การตรวจสอบโครงสร้างภายนอก จะเป็นการตรวจสอบโครงสร้างภายนอกของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ตลอดจนสภาพภายนอกของอุปกรณ์ชิ้นส่วนต่างๆ

(ก) การตรวจสอบลักษณะภายนอก ตรวจดูว่าประตูปิดเปิดได้เรียบร้อยดีหรือไม่ ผนังและหลังคามีรอยบุบหรือไม่, ฐานของตู้ได้ระดับกับแนวราบหรือไม่ และแผงของตู้ได้ระดับกับแนวดิ่งหรือไม่, กุญแจตู้ใช้การได้หรือไม่

(ข) การตรวจขนาด วัดขนาดต่างๆ ของตู้ว่าถูกต้องตามแบบหรือไม่, วัดความสูง, ความกว้าง ความลึกของแผง, วัดตำแหน่งของอุปกรณ์ชิ้นส่วนต่างๆ

(ค) การตรวจสอบชิ้นส่วน ตรวจดูว่ามีชิ้นส่วนแตก บิ่นหรือเป็นสนิมหรือไม่ เช่น ลูกถ้วยและส่วนพลาสติกมีรอยแตกหรือไม่

(ง) การตรวจสี ตรวจดูชนิดของสีที่ใช้ และการแต่งผิว เช่น สีที่ใช้ถูกต้องตามข้อกำหนดหรือไม่, ผิวมีรอยแผลหรือไม่

(จ) การตรวจป้ายชื่อ ตรวจดูป้ายชื่อหลัก, ป้ายบอกการทำงานว่ามีหัวข้อครบตามที่ควรจะมีหรือไม่ เช่น มีเนื้อหาที่ขัดกันเองอยู่หรือไม่, ป้ายที่อ่านไม่ชัดเจนมีหรือไม่, เนื้อหาที่ไม่ได้เขียนไว้มีหรือไม่

(ฉ) สัญลักษณ์ของขั้วสาย ตรวจดูสัญลักษณ์ของขั้วสายของแหล่งจ่ายไฟของวงจรควบคุม และการแสดงการต่อสายถูกต้องหรือไม่, ที่บริเวณใกล้ๆ ขั้วสาย ป้ายชื่อ หมึกที่ใช้พิมพ์เป็นชนิดที่ลอกยากหรือไม่

6.3.2 การทดสอบตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า เป็นการทดสอบเพื่อจะดูว่า อุปกรณ์ไฟฟ้านั้นเมื่อได้นำมาต่อเข้ากับอุปกรณ์อื่นๆจะสามารถทำงานได้ผลเป็นไปตามเป้าหมายได้หรือไม่ หรือว่ามีความผิดปกติ, ความบกพร่องแอบซ่อนเร้นอยู่ วิธีการทดสอบจำเป็นจะต้องระมัดระวังถึงความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นได้ และดำเนินการทดสอบ ให้เป็นไปตามขั้นตอนอย่างถูกต้อง ดังนี้

6.3.2.1 การตรวจสอบวงจรของสายเมน วงจรเมนของอุปกรณ์รับและจ่ายไฟ เป็นวงจรที่มีกระแสสูง ถ้าหากต่อวงจรผิด อาจทำให้เกิดความเสียหายอย่างใหญ่หลวงขึ้นได้ ดังนั้นจึงต้องตรวจสอบวงจรเมนของอุปกรณ์รับและจ่ายไฟ ให้เป็นที่เรียบร้อยก่อนที่จะทดลองจ่ายไฟ ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

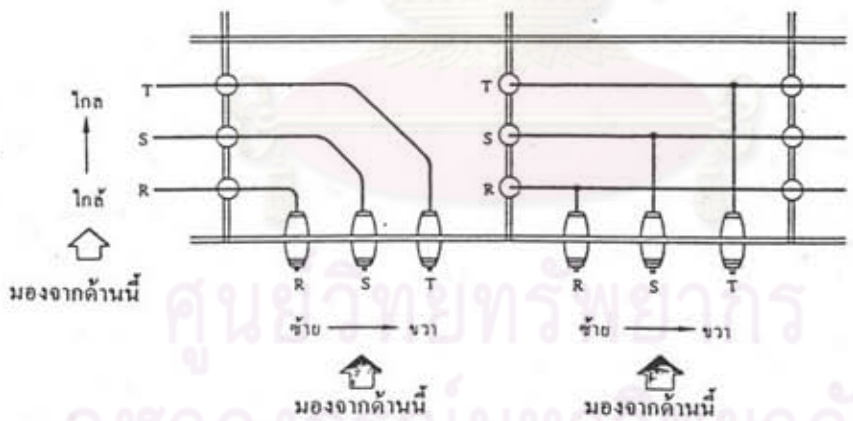
(ก) ตรวจสอบการต่อสายของวงจรเมน เริ่มตั้งแต่ขั้วรับไฟจนถึงโหลด ให้ถูกต้องตามลำดับเฟส โดยใช้เทสเตอร์ (Tester) หรือ buzzer ตรวจดูความถูกต้องในการต่อสายของวงจรเมนระหว่างอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยดูจากผังวงจรทั้งแบบสายเดี่ยวและหลายสายประกอบ ถ้าพบว่าการต่อวงจรผิดลำดับของเฟสแล้ว จะทำให้รีเลย์ทำงานผิดปกติ ขณะที่จ่ายไฟให้วงจร

ตำแหน่งของเฟสแต่ละเฟสของวงจรเมนที่เป็นกระแสสลับ และตำแหน่งขั้วของวงจรเมนที่เป็นกระแสตรง จะเป็นไปตามตารางที่ 6.15 เมื่อมองจากสวิตช์ปิดเปิดของแต่ละวงจร

ตารางที่ 6.15 แสดงตำแหน่งของเฟสและขั้วของวงจรเมน

ตำแหน่งของแต่ละเฟสของวงจรกระแสสลับ	วงจร 3 เฟส	ซ้ายขวา จากซ้าย	เฟสที่ 1 เฟสที่ 2 เฟสที่ 3 เฟส N
		บนล่าง จากบน	เฟสที่ 1 เฟสที่ 2 เฟสที่ 3 เฟส N
		ใกล้ใกล จากใกล้	เฟสที่ 1 เฟสที่ 2 เฟสที่ 3 เฟส N
	วงจร เฟสเดียว	ซ้ายขวา จากซ้าย	เฟสที่ 1 เฟส N เฟสที่ 2
		บนล่าง จากบน	เฟสที่ 1 เฟส N เฟสที่ 2
		ใกล้ใกล จากใกล้	เฟสที่ 1 เฟส N เฟสที่ 2
ตำแหน่งของขั้วของวงจรกระแสตรง		ซ้ายขวา จากซ้าย	ขั้วลบ (N) ขั้วบวก (P)
		บนล่าง จากบน	ขั้วบวก (P) ขั้วลบ (N)
		ใกล้ใกล จากใกล้	ขั้วบวก (P) ขั้วลบ (N)

หมายเหตุ : เฟสแต่ละเฟสของกระแสสลับหมายถึงลำดับของเฟสอันได้แก่ R.S.T. หรือ U.V.W.



รูปที่ 6.2 แสดงตำแหน่งของเฟสแต่ละเฟสเมื่อมองจากด้านต่างๆ

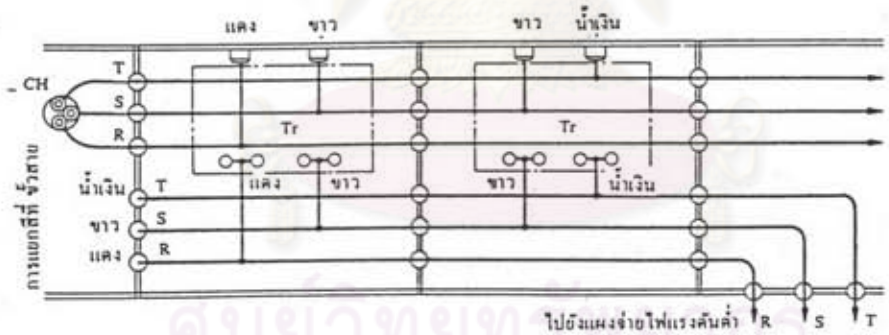
(ข) ตรวจสอบสีต่างๆ ที่ใช้แยกสายตรงขั้วต่อของวงจรเมน ตรวจดูความถูกต้องของสีต่างๆ ที่ใช้แสดงเฟสแต่ละเฟสของกระแสสลับ และแสดงขั้วของกระแสตรงที่ขั้วต่อของสายไฟ โดยใช้ผังวงจรเส้นเดี่ยว และหลายเฟส ดูรูปที่ 6.3 ส่วนการใช้สีแยกสายของแต่ละเฟสของกระแสสลับ และแต่ละขั้วของกระแสตรงที่ตรงขั้วต่อของสายไฟให้ดูตารางที่ 6.16

ในอุปกรณ์รับและจ่ายไฟ ไม่จำเป็นจะต้องใช้สีแยกสายทั่วทุกข้อต่อ แต่จะใช้เฉพาะตำแหน่งสำคัญๆ ดังนี้

- วงจรเมนของกระแสสลับและกระแสตรง
- วงจรด้านทุติยภูมิของ PT และ CT
- ตรงจุดที่ถ้าเปลี่ยนขั้วกลับกัน จะทำให้วงจรควบคุมของอุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานกลับทิศทาง

ตารางที่ 6.16 ตัวอย่างแสดงการใช้สีแยกสายของแต่ละเฟสและแต่ละขั้ว

สีที่ใช้กับแต่ละเฟสของกระแสสลับ				สีที่ใช้กับขั้วของกระแสตรง		หมายเหตุ
วงจรสามเฟส		วงจรเฟสเดียว		ขั้วบวก (P)	ขั้วลบ (N)	
เฟสที่ 1	แดง	เฟสที่ 1	แดง	แดง	น้ำเงิน	วงจรเฟสเดียวที่เดินแยกจากวงจรสามเฟส ให้ใช้สีเดียวกันกับก่อนที่จะแยกมา
เฟสที่ 2	ขาว	เฟสที่ N	ดำ			
เฟสที่ 3	น้ำเงิน	เฟสที่ 2	น้ำเงิน			
เฟสที่ N	ดำ					



รูปที่ 6.3 แสดงตัวอย่างการตรวจดูสีของเฟสโดยใช้ผังวงจรเฟสเดียวและหลายเฟส

(ค) ตรวจสอบการต่อขั้วสายของเคเบิล (Cable head) การจัดการกับขั้วปลายสายของเคเบิลมี 2 วิธี คือ แบบใช้เทปฉนวนพัน และแบบใช้ mold srtess cone ทั้งสองแบบจะต้องต่อขั้วปลายสายให้เรียบร้อย

(ง) ตรวจสอบระยะห่างของฉนวน เป็นการตรวจดูระยะห่างระหว่างวงจรเมนกับวัตถุข้างเคียง และระหว่างเฟสของวงจรสายเมนด้วยกันเองว่า อยู่ห่างกันเป็นระยะที่ปลอดภัยหรือไม่

ในกรณีของการเดินสายไฟแรงสูงด้วยวิธีขึงพาดบนลูกถ้วยฉนวน ให้เป็นไปตามนี้

- ระยะห่างระหว่างสายไฟ ต้องห่างอย่างน้อย 8 ซม. และระยะห่างระหว่างสายไฟกับสิ่งก่อสร้าง ห่างกันอย่างน้อย 5 ซม.

- ระยะห่างระหว่างจุดยึดสายไฟจะต้องไม่มากกว่า 2 ม. แต่ถ้าสายไฟนั้นไม่ได้ขึงพาดไปตามอาคารสิ่งก่อสร้าง จุดยึดสายจะห่างกันไม่เกิน 6 ม.

- ในกรณีต่อสายไฟที่ขึงพาดมาเข้ากับสายเคเบิล จะต้องให้ขั้วปลายสายของเคเบิลอยู่ห่างจากอาคารสิ่งก่อสร้าง 6 ซม. ขึ้นไป และจะต้องยึดติดกับอาคารสิ่งก่อสร้างนั้น

ในกรณีของสายเปลือย หรือสายที่ใช้เทปพัน ให้เป็นไปตามนี้

- ระยะห่างระหว่างสายไฟด้วยกัน และระยะห่างสายไฟกับสิ่งอื่น ต้องไม่น้อยกว่า 15 ซม. (ไม่นับโดครงเหล็กที่รองรับลูกถ้วยอยู่)

- ระยะห่างระหว่างส่วนที่ชาร์จไฟของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงที่ยื่นออกมาภายนอก โดยทั่วไปแล้วถ้าใช้แรงดันต่ำกว่า 3500 โวลต์ ระยะห่างจะต้องมากกว่า 7.5 ซม.ขึ้นไป ถ้าแรงดันไฟที่ใช้มากกว่า 3500 โวลต์ ระยะห่างจะต้องมากกว่า 10 ซม.ขึ้นไป

(จ) การทดสอบการทำงานประสานกัน ระหว่างรีเลย์กระแสเกินและ OCB รีเลย์กระแสเกิน (Overcurrent relay) ที่ติดตั้งไว้ในอุปกรณ์รับและจ่ายไฟฟ้า จะทำหน้าที่เปิดวงจรของ OCB (Oil Circuit Breaker) ในขณะที่เกิดการลัดวงจรหรือโหลดเกิดขึ้นในด้านที่ต่ออยู่ระหว่าง OCB ของอุปกรณ์รับและจ่ายไฟ กับวงจรแรงดันสูงทางด้านโหลด เพื่อป้องกันไม่ให้ความผิดปกติแผ่กระจายออกไป รีเลย์กระแสเกินจะต้องใช้ควบคู่ไปกับเครื่องตัดวงจร ถ้าหากว่าสองสิ่งนี้ทำงานไม่ประสานกันแล้ว ก็จะไม่สามารถทำหน้าที่ตัดวงจรได้ ดังนั้นจึงต้องทำการทดสอบว่า ทั้งสองสิ่งนี้ทำหน้าที่ประสานกันได้ถูกต้องหรือไม่

(ฉ) การทดสอบการประสานกันระหว่าง Ground relay และ OCB รีเลย์ลัดวงจรลงดิน (ground relay) ที่ติดตั้งอยู่ในอุปกรณ์รับและจ่ายไฟ จะทำหน้าที่เปิดวงจรของ OCB ในขณะที่เกิดการลัดวงจรลงดิน ในวงจรด้านที่ต่ออยู่ระหว่าง OCB ของอุปกรณ์รับและจ่ายไฟ และวงจรแรงดันสูงทางด้านโหลด เพื่อป้องกันไม่ให้ความผิดปกติที่เกิดขึ้นแผ่กระจายไปสู่ระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้า รีเลย์ลัดวงจรลงดินจะต้องใช้ควบคู่ไปกับ OCB ดังนั้นจึงต้องทำการทดลองว่าทั้งสองสิ่งนี้ทำหน้าที่ประสานกันได้ถูกต้องหรือไม่

6.3.2.2 การทดสอบความต้านทานของฉนวน เพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน และป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้ อุปกรณ์ไฟฟ้าจะต้องมีฉนวนคั่นกับพื้นดิน ยกเว้นส่วนที่ต่อ

ลงดินอยู่แล้ว โดยใช้เครื่องวัดความต้านทานของฉนวน (megger) วัดความต้านทานของฉนวนระหว่างสายไฟของอุปกรณ์ไฟฟ้าว่าอยู่ในสภาพเรียบร้อยหรือไม่ การทดสอบความต้านทานของฉนวนเป็นการทดสอบเบื้องต้น เพื่อดูสภาพของฉนวนก่อนที่จะทำการทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้า ค่าความต้านทานของฉนวนอาจแปรเปลี่ยนได้ตามสภาพอากาศ, อุณหภูมิ, ความชื้น และความสกปรก ดังนั้นในการวัดจึงต้องพิจารณาถึงสิ่งเหล่านี้ด้วย ตารางที่ 6.17 แสดงค่าความต้านทานของฉนวนที่เหมาะสมกับการใช้งาน สำหรับวงจรไฟแรงสูงและไฟแรงต่ำ

ตารางที่ 6.17 แสดงค่าความต้านทานของฉนวนที่เหมาะสมกับการใช้งาน

<table>
<tr><th>อุปกรณ์ที่วัด</th><th colspan="2">ตำแหน่งที่วัด</th><th>ค่าความต้านทาน</th><th>ชนิดของเครื่องวัด</th></tr>
<tr><td rowspan="3">Cubicle</td><td colspan="2">ระหว่างเฟสทุกเฟสของวงจรไฟแรงสูง (ยกเว้นหม้อแปลงไฟฟ้า, LA, PT และ SC)</td><td>มากกว่า 30 MΩ
หมายเหตุ (1)</td><td>megger ขนาด 1000 V</td></tr>
<tr><td colspan="2">ระหว่างวงจรไฟแรงสูงกับวงจรไฟแรงต่ำและกับกราวด์(ยกเว้น LA)</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">ระหว่างวงจรไฟแรงต่ำกับกราวด์</td><td>มากกว่า 5 MΩ</td><td>megger ขนาด 500 V</td></tr>
<tr><td>อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงและสายที่เดินในอาคาร</td><td colspan="2">——</td><td>มากกว่า 3 MΩ</td><td>megger ขนาด 1000 V</td></tr>
<tr><td rowspan="3">ปากทางเข้าของสายไฟแรงดันต่ำ และช่วงต่างๆ ของวงจรที่ถูกแบ่งเป็นช่วงโดยสวิตช์ และ CB</td><td rowspan="2">น้อยกว่า 300 V</td><td>แรงดันไฟเปรียบเทียบกับกราวด์น้อยกว่า 150 V , หมายเหตุ (2)</td><td>มากกว่า 0.1 MΩ
หมายเหตุ (3)</td><td rowspan="3">megger ขนาด 500 V</td></tr>
<tr><td>กรณีอื่นๆ</td><td>มากกว่า 0.2 MΩ
หมายเหตุ (3)</td></tr>
<tr><td colspan="2">มากกว่า 300 V</td><td>มากกว่า 0.4 MΩ
หมายเหตุ (3)</td></tr>
<tr><td>สายไฟแรงดันต่ำที่หุ้มฉนวน</td><td colspan="4">ระหว่างสายไฟหุ้มฉนวนกับกราวด์ กระแสรั่วไหลต้องไม่เกินกระแสสูงสุดที่ป้อน X 1/2000</td></tr>
</table>

หมายเหตุ (1) : 1 MΩ = 10^6 Ω = 1,000,000 Ω

(2) : แรงดันเปรียบเทียบกับดินหมายถึง แรงดันระหว่างสายกับกราวด์ในกรณีที่มีการต่อลงดิน และหมายถึงแรงดันไฟระหว่างสายในกรณีที่ไม่มีการต่อลงดิน

(3) : ถ้าเป็นสายที่ติดตั้งใหม่ ควรจะได้ค่าความต้านทานของฉนวนมากกว่า 1 MΩ

6.3.2.3 การทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้า เป็นการทดสอบเพื่อดูว่าอุปกรณ์ไฟฟ้า จะสามารถทนต่อแรงดันปกติและแรงดันผิดปกติ อันเนื่องมาจากการลัดวงจรหรือการเกิด surge ในวงจรเท่าใด โดยใช้แรงดันทดสอบที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน การทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้านี้ ใช้ในการทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าใหม่ที่จะติดตั้ง รวมทั้งอุปกรณ์เก่าที่ไม่ได้ใช้ไว้เป็นเวลานานหรือเพิ่งผ่านการซ่อมมา แต่ในกรณีการบำรุงรักษาจะไม่ใช้การทดสอบนี้ ในการทดสอบจะใช้แรงดันทดสอบและระยะเวลาในการทดสอบ แล้วแต่ชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้าตามตารางที่ 6.18

ตารางที่ 6.18 แสดงแรงดันทดสอบและระยะเวลาในการทดสอบ ขึ้นกับชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า

อุปกรณ์ที่จะทดสอบ	ตำแหน่งที่ทดสอบ	แรงดันไฟทดสอบ	ช่วงเวลาทดสอบ
สายไฟแรงสูง	สายไฟกับกราวด์(ถ้าเป็นสายเคเบิล ให้ทดสอบระหว่างสายด้วย)	แรงดันไฟสูงสุดที่ใช้ X 1.5	10 นาที
มอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ขดลวดกับกราวด์	แรงดันไฟสูงสุดที่ใช้ [1] X 1.5 (ถ้าต่ำกว่า 500 V ให้ใช้ค่า 500 V [2])	10 นาที
หม้อแปลง	ขดลวดกับแกนเหล็กของขดลวดอื่น และกับตัวถังหม้อแปลง	แรงดันไฟสูงสุดที่ใช้ [1] X 1.5 (ถ้าต่ำกว่า 500 V ให้ใช้ค่า 500 V [2])	10 นาที
อุปกรณ์อื่นๆ เช่น CB, คอนเดนเซอร์, PT, CT	ส่วนที่รับไฟกับกราวด์	แรงดันไฟสูงสุดที่ใช้ [1] X 1.5 (ถ้าต่ำกว่า 500 V ให้ใช้ค่า 500 V [2])	10 นาที

หมายเหตุ : (1) แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้หมายถึง แท็ปสูงสุดของหม้อแปลงทางด้านที่ต่ออยู่กับอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น (ไม่ได้หมายความถึงแท็ปที่ใช้อยู่ในขณะนั้น) เช่น ในระบบ 6.6 kV จะได้แก่ 6.9 kV

(2) แรงดันไฟทดสอบไม่ถึง 500 V เช่นแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้เป็น 220 V, 220 X 1.5 = 300 V ดังนั้นจึงต้องใช้ค่าแรงดันไฟทดสอบเท่ากับ 500 V

6.3.2.4 การทดสอบความต้านทานของการต่อลงดิน การต่อลงดินมีไว้เพื่อป้องกันไฟฟ้าช็อตคน และป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นแก่อุปกรณ์ไฟฟ้า ขณะเกิดการลัดวงจรขึ้น หม้อแปลงและ CB ของอุปกรณ์รับและจ่ายไฟตลอดจนโหลด เช่น มอเตอร์ จำเป็นจะต้องมีการต่อลง

ดินโดยตลอด วิธีการต่อลงดินแบ่งออกเป็น 4 ชนิดแล้วแต่จุดมุ่งหมายคือ การต่อลงดินชนิดที่ 1, การต่อลงดินชนิดที่ 2, การต่อลงดินชนิดที่ 3 และการต่อลงดินชนิดที่ 3 พิเศษ

(ก) การต่อลงดินชนิดที่ 1 ใช้สำหรับต่อฐานเหล็กของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง เช่น OCB, หม้อแปลง, SC, แผงรับไฟแรงสูง, เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูง และมอเตอร์ไฟแรงสูง หรือใช้กับ Lightning arrester หรือสิ่งที่ใช้แทนกับดักล่อฟ้า, ใช้กับท่อร้อยสายไฟแรงสูงในอาคาร, กล่องโลหะที่ใส่เคเบิล, กล่องโลหะสำหรับต่อสายและโลหะที่ใช้คลุมเคเบิล และยังใช้ต่อกับสายทางด้านทุติยภูมิของ CT ซึ่งมีแรงดันไฟสูงพิเศษ การต่อลงดินชนิดที่ 1 นี้ ค่าความต้านทานของการต่อลงดินจะต้องต่ำกว่า 10 Ω ความต้านทานของการต่อลงดิน คือค่าที่บอกความยากง่ายของการไหลของกระแสที่ไหลลงดิน ยิ่งมีค่าต่ำเท่าไร ก็แสดงว่ากระแสจะไหลจากขั้วดินสู่ดินได้ง่ายขึ้นเท่านั้น ความต้านทานของการต่อลงดินส่วนใหญ่ จะขึ้นอยู่กับความต้านทานของดินรอบๆ ขั้วดิน นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความต้านทานของสายดิน ความต้านทานของขั้วดินเอง และความต้านทานบริเวณผิวของขั้วดินที่สัมผัสอยู่กับผิวดินด้วย

(ข) การต่อลงดินชนิดที่ 2 ใช้ต่อในหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งมีทั้งขดลวดแรงดันไฟสูงและขดลวดแรงดันไฟต่ำอยู่ด้วยกัน เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดแรงดันไฟสูงขึ้นทางด้านขดลวดแรงดันไฟต่ำ ในกรณีที่ขดลวดทั้งสองเกิดการสัมผัสกันขึ้น

ค่าความต้านทานของการต่อลงดินชนิดที่ 2 จะต้องมีค่าเป็นโอห์มไม่เกิน 150 หารด้วยค่ากระแสลัดวงจรดินเฟสเดียวของสายไฟแรงสูง (แต่ถ้าเกิดการสัมผัสกันระหว่างขดลวดไฟแรงต่ำและแรงดันของสายไฟแรงสูงกว่า 150 V และถ้ามีสวิตช์อัตโนมัติทางด้านสายแรงสูงซึ่งสามารถตัดวงจรได้ภายใน 2 วินาที ค่า 150 อาจเปลี่ยนเป็น 300 ได้) แต่ไม่จำเป็นต้องต่ำกว่า 5 Ω ค่าของความต้านทานของการต่อลงดินชนิดที่ 2 นี้ จะทำให้แรงดันไฟที่เพิ่มขึ้นทางด้านแรงดันไฟต่ำนั้นไม่เกิน 150 V และถ้าแรงดันไฟเพิ่มขึ้นเกิน 150 V แต่สามารถถูกตัดได้ภายใน 2 วินาที แรงดันไฟอาจจะยอมให้มีค่าได้ถึง 300 V

(ค) การต่อลงดินชนิดที่ 3 ใช้ต่อกับฐานเหล็กของอุปกรณ์ไฟฟ้า, ท่อร้อยสาย หรือกล่องโลหะร้อยสาย ซึ่งใช้กับแรงดันไฟต่ำกว่า 300 V ค่าความต้านทานของการต่อลงดินชนิดที่ 3 นี้ จะต้องไม่เกิน 100 Ω ค่าความต้านทานอาจจะเพิ่มขึ้นเป็น 500 Ω ได้ ถ้าบนสายไฟแรงต่ำมีเครื่องตัดวงจรกระแสรั่วไหล ที่สามารถตั้งค่ากระแสได้ต่ำกว่า 100 mA และสามารถทำงานภายในเวลา 0.2 วินาที

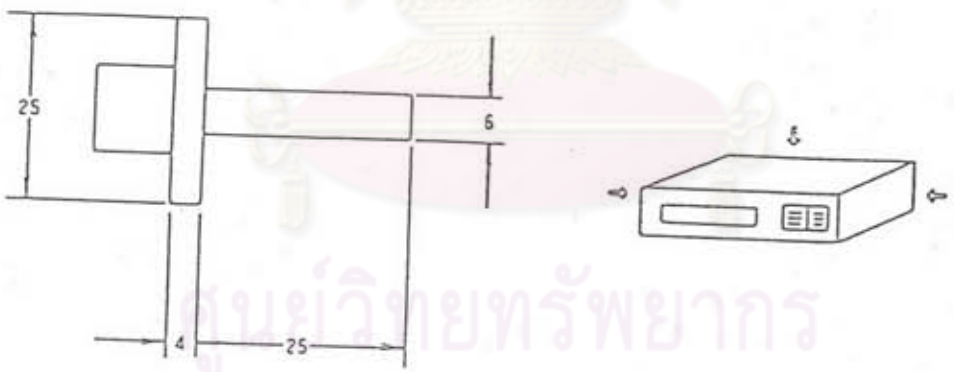
(ง) การต่อลงดินชนิดที่ 3 กรณีพิเศษ ใช้ต่อกับฐานเหล็กของอุปกรณ์ไฟฟ้า, ท่อร้อยสาย หรือกล่องโลหะต่อสายที่ใช้กับไฟแรงดันไฟต่ำที่สูงกว่า 300 V ค่าความต้านทานของ

การต่อลงดินชนิดที่ 3 กรณีพิเศษนี้ จะต้องมีค่าไม่เกิน 10 Ω ค่าความต้านทานอาจจะเพิ่มเป็น 500 Ω ได้ ถ้าบนสายแรงดันไฟต่ำมีเครื่องตัดวงจรกระแสรั่วไหล ที่สามารถตั้งค่ากระแสได้ต่ำกว่า 100 mA และสามารถทำงานภายในเวลา 0.2 วินาที

6.3.3 การทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าด้านความปลอดภัย เป็นการทดสอบเพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้งาน ในการทดสอบนั้น มีสิ่งสำคัญที่ควรพิจารณา ได้แก่ มาตรฐานอ้างอิง, ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ, เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ, วัสดุอ้างอิงหรือวัสดุสิ้นเปลือง, อุปกรณ์อื่นๆ, แบบฟอร์มจดบันทึกข้อมูล และจำนวนพนักงานที่ใช้ในการทดสอบ สำหรับหัวข้อในการทดสอบ มีดังนี้

6.3.3.1 อันตรายจากไฟฟ้าช็อคในการใช้งานภาวะปกติ-1 (Danger of an electric shock on normal operation-1)

- เครื่องมือทดสอบ : Test Pin P-10.12
- มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง : IEC 65 , BS-415
- ตำแหน่งทดสอบ : ช่องเปิดทั้งหมด ยกเว้นส่วนฐานของส่วนที่ห่อหุ้ม
- การทดสอบ : ค่อยๆ ใส่ test pin ตามรูปที่ 6.4
- เกณฑ์การตัดสิน : นิ้วทดสอบจะต้องไม่สัมผัสส่วนใดๆ ที่มีอันตราย



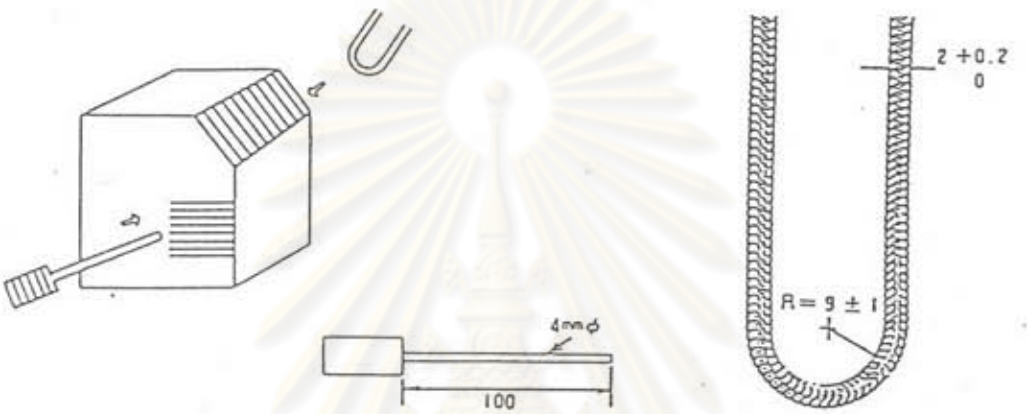
รูปที่ 6.4 Test pin ใช้ในการทดสอบอันตรายจากไฟฟ้าช็อคในการใช้งานภาวะปกติ-1

6.3.3.2 อันตรายจากไฟฟ้าช็อคในการใช้งานภาวะปกติ-2 (Danger of an electric shock on normal operation-2)

- เครื่องมือทดสอบ : Test Chain P-10.13
  Test Pin P-10.17
- มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง : IEC 65 , BS-415

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

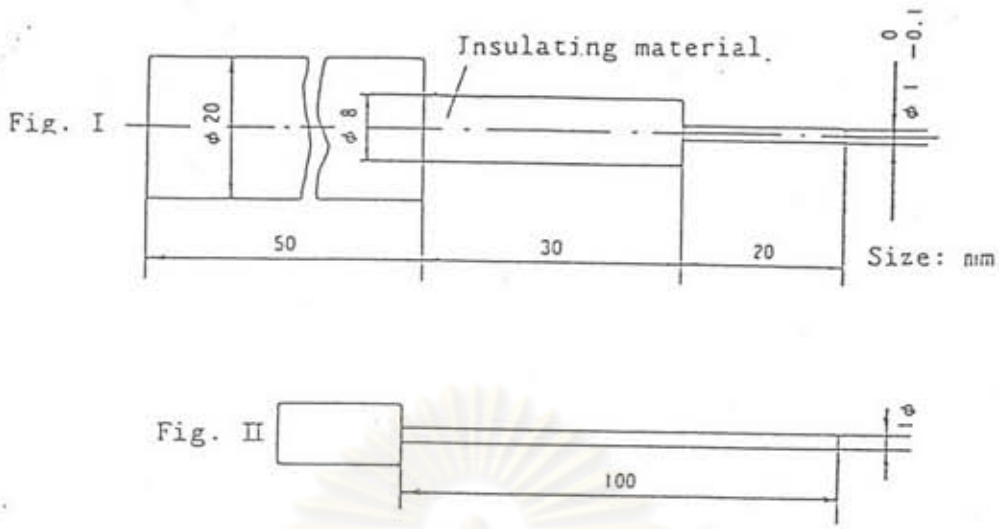
- ตำแหน่งทดสอบ : รูสำหรับระบายอากาศ และร่องเปิด (slit) สำหรับระบายความร้อนทั้งหมด
- การทดสอบ : ใส่ test chain หรือ test pin ในร่องหรือรู
- เกณฑ์การตัดสิน : test chain หรือ test pin จะต้องไม่สัมผัสกับส่วนใดๆ ที่มีอันตราย



รูปที่ 6.5 Test Chain หรือ Test Pin ใช้ในการทดสอบอันตรายจากไฟฟ้าช็อคในการใช้งานภาวะปกติ-2

6.3.3.3 อันตรายจากไฟฟ้าช็อคในการใช้งานภาวะปกติ-3 (Danger of an electric shock on normal operation-3)

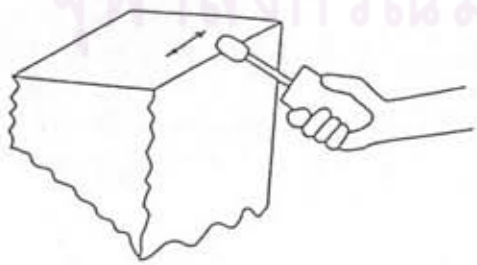
- เครื่องมือทดสอบ : Test Pin P-10.06 , P-10.15
  Push Pull Gauge P-10.32
- มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง : IEC 65 , BS-415
- ตำแหน่งทดสอบ : Earth (ground) or Bushing
- การทดสอบ : ใส่ test pin ตามรูปที่ 6.6 (ก) ในช่องเปิดที่อยู่ในรัศมี 25 มม. จาก bushing. ใช้ test pin ดังรูปที่ 6.6 (ข) เข้าไปใน bushing ของเต้าเสียบ
- เกณฑ์การตัดสิน : test pin จะต้องไม่สัมผัสกับส่วนใดๆ ที่มีไฟฟ้าและอันตราย



รูปที่ 6.6 Test Pin และ Push Pull Gauge ใช้ในการทดสอบอันตรายจากไฟฟ้าช็อคในการใช้งานภาวะปกติ-3

6.3.3.4 การทดสอบความคมของขอบ (Sharp Edge)

- เครื่องมือทดสอบ : Sharp Edge Tester SET-50
  Tape Kit TC-3
- มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง : UL-1439 CSA No.1
  UI-1270 , -1409 , -1410 , -114 , -487
- ตำแหน่งทดสอบ : ส่วนหุ้มห่อภายนอกที่เป็นโลหะ และส่วนประกอบที่โลหะทั้งหมด
- การทดสอบ : ทดสอบขอบ และ flash ของตัวอย่างด้วย sharp edge tester ตามที่ระบุไว้ในมาตรฐาน UL-1439
- เกณฑ์การตัดสิน : ขอบและ flasher จะต้องไม่ตัดเทปทั้งหมดของ tape kit



* Move the Tester on the sample surface.
One way : 50mm
and return 50mm

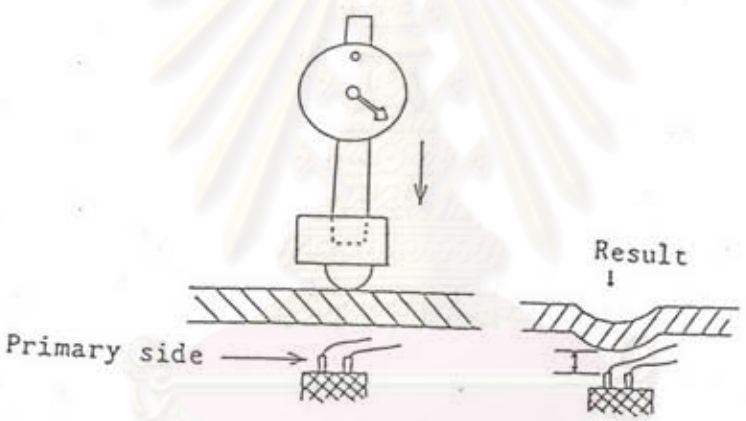
Total 100mm

รูปที่ 6.7 การทดสอบความคมของขอบด้วย Sharp Edge

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.3.3.5 Deflection

- เครื่องมือทดสอบ : Pressure Test Ball TP-20
- มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง : UL-1270 , -1409 , -1410 , -114 , -478
  CSA No. -1 , -143 , -154
- ตำแหน่งทดสอบ : ผิวของส่วนหุ้มห่อภายนอก และส่วนฐานของเครื่องมือที่มีการเคลื่อนไหวได้
- การทดสอบ : กดครึ่งทรงกลม (เส้นผ่าศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว) บนผิวที่ต้องการทดสอบเป็นเวลานาน 1 นาที
- เกณฑ์การตัดสิน : จะต้องไม่ก่อให้เกิดช่องเปิดที่ผิวทดสอบ ซึ่งอาจทำให้เกิดไฟฟ้าช็อคหรือไฟไหม้

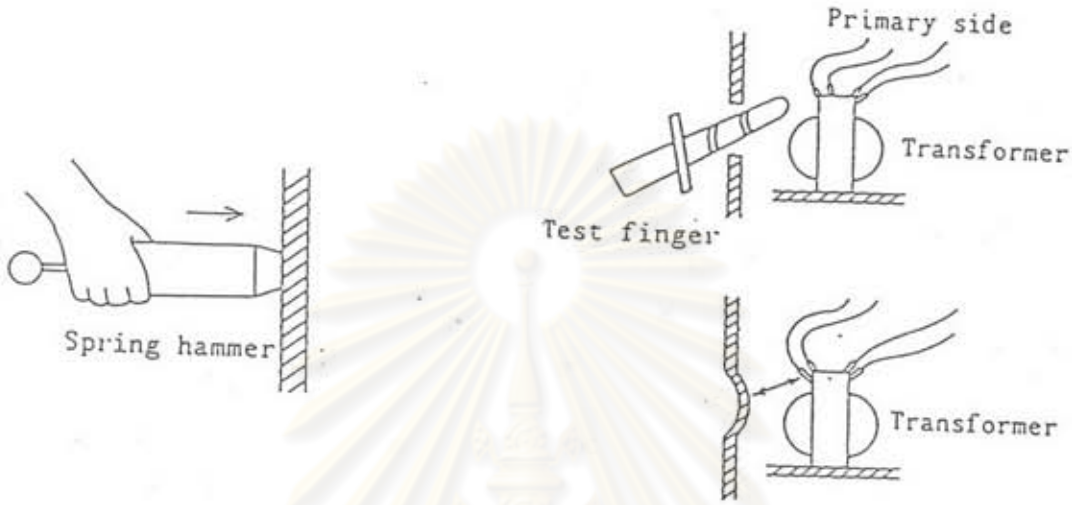


รูปที่ 6.8 การทดสอบ Deflection ด้วย Pressure Test Ball

6.3.3.6 ความแข็งแรงทางกล-1 (Mechanical strength-1)

- เครื่องมือทดสอบ : Spring Impact Hammer 0.5 Nm.
- มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง : IEC-380 , -335 , -65
  UL-1244 , JIS T 1004
- ตำแหน่งทดสอบ : ที่จุดที่เสียหายของส่วนหุ้มห่อภายนอก และส่วนที่ห่อหุ้มดวงโคมที่อาจเกิดไฟช็อคหรือไฟไหม้
- การทดสอบ : ทดสอบการกระแทกที่ชิ้นส่วนที่อ่อนแอที่สุด (the weakest part) ด้วย Spring Impact Hammer 3 ครั้ง

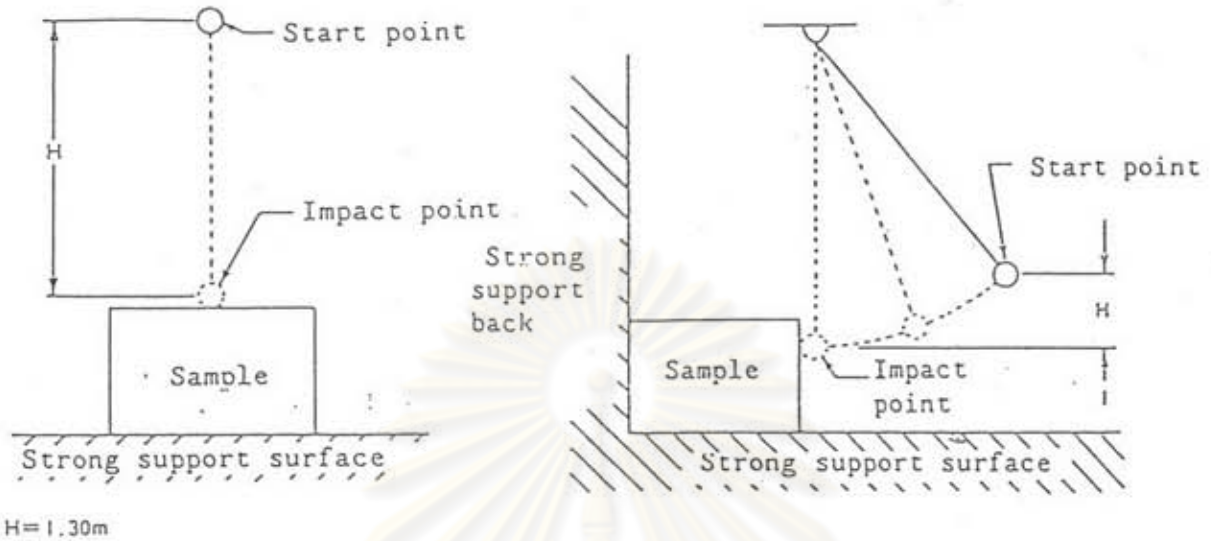
- เกณฑ์การตัดสิน : นิ้วทดสอบจะต้องไม่สัมผัสส่วนใดๆ ที่มีอันตราย



รูปที่ 6.9 การทดสอบความแข็งแรงทางกล-1 ด้วย Spring Impact Hammer

6.3.3.7 ความแข็งแรงทางกล-2 (Mechanical strength-2)

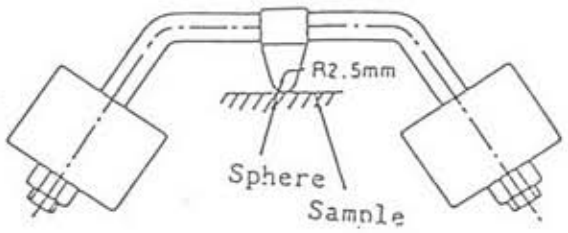
- เครื่องมือทดสอบ : Test Finger P-10.04
- มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง : UL-114 , -478 , -1270 , -1410 , -1409
  CSA No. -1 , -143 , -154
  IEC 435 (พิมพ์ครั้งที่ 5)
- ตำแหน่งทดสอบ : ที่จุดที่เสียหายของส่วนห่อหุ้มภายนอก และส่วนที่ห่อหุ้มดวงโคมที่อาจเกิดไฟฟ้าช็อคหรือไฟไหม้
- การทดสอบ : ทดสอบการกระแทกที่ชิ้นส่วนที่อ่อนแอที่สุด (the weakest part) ด้วยลูกบอลเหล็ก (เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว หนัก 540 กรัม) หนึ่งครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 6.10
- เกณฑ์การตัดสิน : นิ้วทดสอบจะต้องไม่สัมผัสส่วนใดๆ ที่มีอันตราย



รูปที่ 6.10 การทดสอบความแข็งแรงทางกล-2 ด้วย Test Finger

6.3.3.8 การทดสอบการกดด้วย Ball pressure ความทนทานต่อความร้อน, ไฟ และการเกิดรอย (Ball pressure test, Resistance of heat, flame and tracking)

- เครื่องมือทดสอบ : Ball Pressure T-10.02
- มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง : IEC-380 , -335 AA3300
- ตำแหน่งทดสอบ : ส่วนห่อหุ้มภายนอกที่เป็นฉนวน และส่วนประกอบที่หุ้มฉนวนที่อยู่ภายใน
- การทดสอบ : ให้ใช้แรงกดโดยเครื่องมือนี้บนพื้นผิวของวัสดุที่ทดสอบที่แช่ในอ่างน้ำที่มีอุณหภูมิคงที่
- เกณฑ์การตัดสิน : เมื่อครบการทดสอบ 1 ชั่วโมง หยิบตัวอย่างจากอ่างน้ำร้อน แล้วนำไปจุ่มในน้ำเย็นเพื่อให้เย็นลง จากนั้นวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลุมที่เกิดขึ้น จากรอยกดบนผิวตัวอย่าง



Add all load 20N(2kg) to the point of the sample surface from R2.5mm upper and vertically. At that time the temperature of water bath is as follows.

Condition / Part Name	Temperature of Constant Temperature water Bath
Enclosure	※Select the higher one △t + 40±2°C or 75±2°C
Insulator of charging part	Select the higher one △t =+40±2°C or 125±2°C

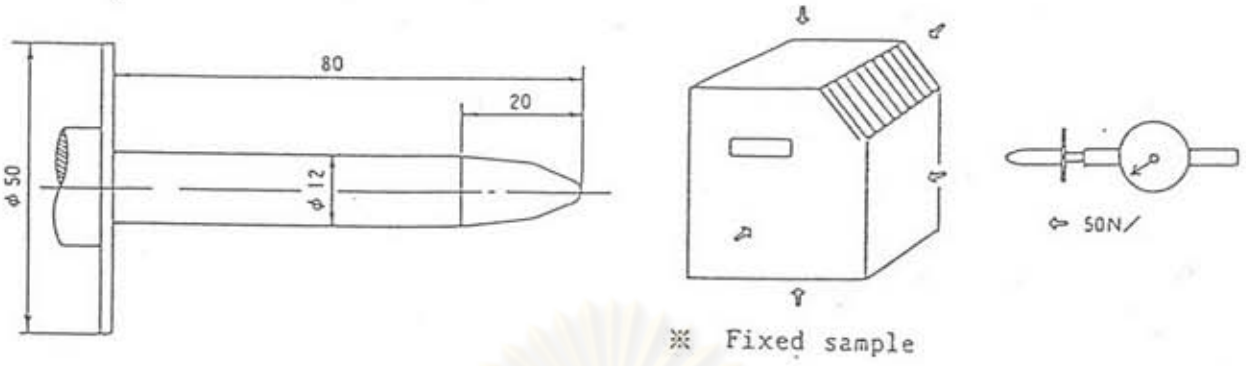
△t: The date of the standard temperature test.

รูปที่ 6.11 การทดสอบการกดด้วย Ball Preesure ความทนทานต่อความร้อน, ไฟ และการเกิดรอย

6.3.3.9 ส่วนที่ได้รับความร้อนในอุณหภูมิสูง-1 (Heating part in high temperature-1)

- เครื่องมือทดสอบ : Test Finger P-10.05 , P-10.01
  Push Pull Gauge P-10.32
- มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง : IEC 65 , BS-415
- ตำแหน่งทดสอบ : ส่วนหุ้มห่อภายนอก และส่วนที่เปิดทั้งหมด
- การทดสอบ : กดนิ้วทดสอบที่ต่ออยู่กับ Push Pull Gauge ที่ส่วนหุ้มห่อภายนอก และที่ช่องเปิดทั้งหมด ด้วยแรง 50 นิวตัน เป็นเวลา 10 วินาที
- เกณฑ์การตัดสิน : นิ้วทดสอบจะต้องไม่สัมผัสส่วนใดๆ ที่มีอันตราย

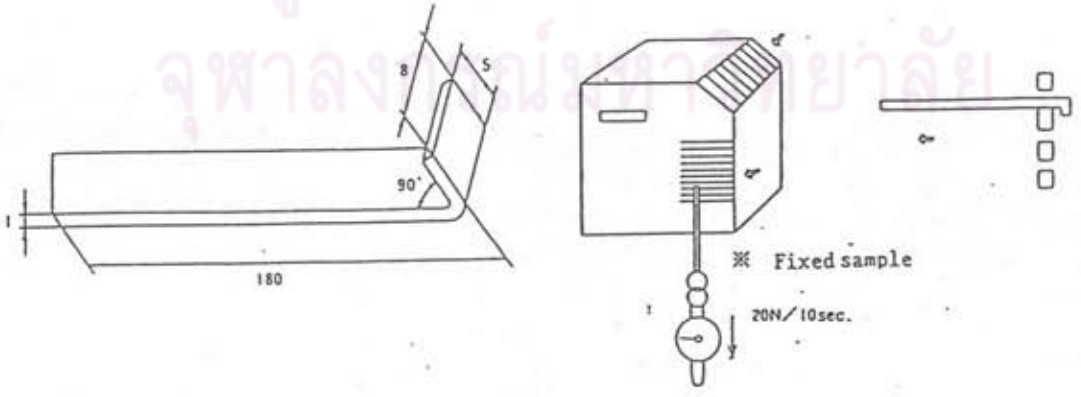
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.12 การทดสอบส่วนที่ได้รับความร้อนในอุณหภูมิสูง-1 โดยใช้ Test Finger

6.3.3.10 ส่วนที่ได้รับความร้อนร้อนในอุณหภูมิสูง-2 (Heating part in high temperature-2)

- เครื่องมือทดสอบ : Test Hook TP-10
  Push Pull Gauge P-10.32
  Test Finger P-10.01
- มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง : IEC 65 , BS-415 , JIS T-1004
- ตำแหน่งทดสอบ : ช่องเปิดทั้งหมด
- การทดสอบ : แขวน test hook ที่ต่ออยู่กับ Push Pull Gauge และดึงด้วยแรง 20 นิวตัน เป็นเวลา 10 วินาที
- เกณฑ์การตัดสิน : นิ้วทดสอบจะต้องไม่สัมผัสส่วนใดๆ ที่มีอันตราย



รูปที่ 6.13 การทดสอบส่วนที่ได้รับความร้อนในอุณหภูมิ-2 โดยใช้ Test Hook

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.3.3.11 ที่วัดระยะห่าง (Distance gauge for isolation)

- เครื่องมือทดสอบ : IS Gauge
- มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง : UL , CEE , CSA
- ตำแหน่งทดสอบ : ที่ว่าง (space) ใดๆ ระหว่างสายต่อ (wiring) แผ่นวงจรพิมพ์ (PCB) เป็นต้น
- การทดสอบ : ใส่ IS Gauge ระหว่างสายต่อ และชิ้นส่วนต่างๆ
- เกณฑ์การตัดสิน : IS Gauge ต้องไม่สามารถใส่ลงไปในระหว่างสายต่อ และชิ้นส่วน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนคุณภาพ (QUALITY PLAN)

บริษัท_____ ผลิตภัณฑ์ ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า หน้า 1 / 3

ผังกระบวนการ	ชื่อกระบวนการ	ข้อกำหนดคุณภาพ	มาตรฐาน	เอกสาร	เครื่องมือวัด	ความถี่	วิธีการทำงาน	ผู้ตรวจ	หมายเหตุ
	คลังเก็บวัตถุดิบ								เหล็กรูปพรรณ
	ขนไปเข้าเครื่อง	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	
	ตัดชิ้นส่วน	ความยาว	DWG.	QC 08	ตลับเมตร	100%	WI 01	พนักงาน	โครงตู้
	ขนไปหน่วยเชื่อม	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	
	เชื่อมโครงตู้	รอยเชื่อม	-------	QC 08	ด้วยตา	100%	WI 03	คิวซี	
	คลังเก็บวัตถุดิบ								เหล็กแผ่น
	ขนไปเข้าเครื่อง	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	
	ตัดชิ้นส่วน	ขนาดต่างๆ	DWG.	QC 08	ตลับเมตร	100%	WI 01	พนักงาน	โครงฝา
	ขนไปเข้าเครื่อง	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	
	พับขึ้นรูป	ขนาดต่างๆ	DWG.	QC 08	ตลับเมตร	100%	WI 02	พนักงาน	
	ขนไปประกอบ	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	
	ประกอบ	ตามแบบ	DWG.	DWG.	ตลับเมตร	100%	WI 03	พนักงาน	
	กำหนดตำแหน่ง	ระยะต่างๆ	DWG.	DWG.	ตลับเมตร	100%	WI 07	พนักงาน	
	ถอดประกอบ	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	
	เจาะฝาตู้	ขนาดต่างๆ	DWG.	DWG.	ตลับเมตร	100%	WI 08	พนักงาน	
	ขนไปบ่อล้างผิว	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	
	ล้างผิว	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	

หมายเหตุ : ดูตัวอย่างวิธีการทำงานได้จากภาคผนวก ก.

แผนคุณภาพ (QUALITY PLAN)

บริษัท_____ ผลิตภัณฑ์ ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า หน้า 2 / 3

ผังกระบวนการ	ชื่อกระบวนการ	ข้อกำหนดคุณภาพ	มาตรฐาน	เอกสาร	เครื่องมือวัด	ความถี่	วิธีการทำงาน	ผู้ตรวจ	หมายเหตุ
	ขนไปพ่น-อบสี	------	------	------	------	------	------	------	
	พ่น-อบสี	------	------	------	------	------	WI 04	------	
	ขนไปประกอบ	------	------	------	------	------	------	------	
	ประกอบ	------	------	------	------	------	WI 03	------	
	ติดตั้งอุปกรณ์	ระยะต่างๆ	DWG.	DWG.	ตลับเมตร	100%	------	พนักงาน	
	ตรวจภายนอก	ดูในมาตรฐาน	IEC439	QC 12	ด้วยตา	100%	WI 09	คิวซี	การทำงาน
	วงจรสายเมน	ดูในมาตรฐาน	IEC439	QC 13	Multi meter	100%	WI 10	คิวซี	การทำงาน
	ต้านทานฉนวน	ดูในมาตรฐาน	IEC439	QC 14	Megger	100%	WI 11	คิวซี	การทำงาน
	ทนแรงดันไฟ	ดูในมาตรฐาน	IEC439	QC 14	Transformer	100%	WI 12	คิวซี	การทำงาน
	การต่อลงดิน	ดูในมาตรฐาน	IEC439	QC 14	Ohm meter	100%	WI 13	คิวซี	การทำงาน
	ไฟช็อค 1	ดูในมาตรฐาน	IEC65	QC 15	Test pin	100%	WI 14	คิวซี	ความปลอดภัย
	ไฟช็อค 2	ดูในมาตรฐาน	IEC65	QC 15	Test chain,	100%	WI 15	คิวซี	ความปลอดภัย
	ไฟช็อค 3	ดูในมาตรฐาน	IEC65	QC 15	Test pin,	100%	WI 16	คิวซี	ความปลอดภัย
	ความคมขอบ	ดูในมาตรฐาน	UL1439	QC 15	Sharp edge	100%	WI 17	คิวซี	ความปลอดภัย
	Deflection	ดูในมาตรฐาน	UL1270	QC 15	test ball	100%	WI 18	คิวซี	ความปลอดภัย
	ความแข็งแรง 1	ดูในมาตรฐาน	UL1224	QC 15	hammer	100%	WI 19	คิวซี	ความปลอดภัย
	ความแข็งแรง 2	ดูในมาตรฐาน	IEC435	QC 15	Test finger	100%	WI 20	คิวซี	ความปลอดภัย

หมายเหตุ : ดูตัวอย่างวิธีการทำงานได้จากภาคผนวก ก.

แผนคุณภาพ (QUALITY PLAN)

บริษัท_____ ผลิตภัณฑ์ ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า หน้า 3 / 3

ผังกระบวนการ	ชื่อกระบวนการ	ข้อกำหนดคุณภาพ	มาตรฐาน	เอกสาร	เครื่องมือวัด	ความถี่	วิธีการทำงาน	ผู้ตรวจ	หมายเหตุ
	ทนความร้อน,ไฟ	ดูในมาตรฐาน	IEC380	QC 15	Ball pressure	100%	WI 21	คิวซี	ความปลอดภัย
	อุณหภูมิสูง 1	ดูในมาตรฐาน	IEC65, BS415	QC 15	Test finger	100%	WI 22	คิวซี	ความปลอดภัย
	อุณหภูมิสูง 2	ดูในมาตรฐาน	JIS T1004	QC 15	Hook, Gauge	100%	WI 23	คิวซี	ความปลอดภัย
	ที่วัดระยะห่าง	ดูในมาตรฐาน	UL, CEE, CSA	QC 15	IS gauge	100%	WI 24	คิวซี	ความปลอดภัย
	PACKING	------	------	------	------	------	------	------	
	เก็บคลัง	------	------	------	------	------	------	------	

หมายเหตุ : ดูตัวอย่างวิธีการทำงานได้จากภาคผนวก ก.

▽ = คลังเก็บ

⇨ = การเคลื่อนย้าย

○ = การปฏิบัติงาน

□ = การตรวจสอบ