บทที่ 5
การควบคุมคุณภาพในสายการผลิตรางสายไฟฟ้า

วัสดุ อุปกรณ์ หรือเครื่องจักรกลต่างๆ ที่ผลิตออกมาใช้งาน จำเป็นต้องมีการควบคุมให้ได้มาตรฐาน เพื่อให้ได้ของที่มีคุณภาพดี ใช้งานได้นาน ไม่ก่อให้เกิดความเสียหาย หรือมีปัญหาขึ้นในภายหลังที่ตัวอุปกรณ์เอง หรืออุปกรณ์อื่นๆ ข้างเคียง อันอาจเป็นต้นเหตุ นำมาซึ่งความเสียหายแก่ทรัพย์สินหรือชีวิตได้ นอกจากนี้ ยังเป็นการปกป้องผลประโยชน์ของผู้ใช้ ให้ได้ของที่มีคุณภาพ คุ้มค่ากับเงินที่เสียไป ยกตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ภายในบ้าน ได้แก่ หลอดไฟ, เต้าเสียบ, สายไฟ ฯลฯ หากผลิตไม่ได้มาตรฐานแล้ว จะใช้งานไม่ได้นาน ชำรุดบ่อย ต้องเสียเงินซื้อใหม่ทำให้สิ้นเปลือง หรือสายไฟที่มีคุณภาพต่ำ ฉนวนหรือตัวนำทำจากวัสดุที่ไม่ได้มาตรฐาน เมื่อใช้ไป อาจเกิดความร้อนขึ้นลุกลามไปบริเวณข้างเคียง และเมื่อสะสมมากเข้า อาจก่อให้เกิดอัคคีภัยได้ เหล่านี้ เป็นต้น

สำหรับประเทศไทยเรานั้น เพิ่งเริ่มจะกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์ขึ้นบังคับใช้ ผลิตภัณฑ์หลายอย่าง ยังต้องใช้มาตรฐานจากประเทศอื่นที่เจริญกว่า ในปี พ.ศ. 2511 จึงได้มีการตราพระราชบัญญัติ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมขึ้น โดยมีรายละเอียด ด้วยการกำหนดนิยามคุณสมบัติต่างๆ ทั้งทางกายภาพและทางเคมี ตลอดจนการทดสอบการรับรองคุณภาพโดยคณะกรรมการที่ประกอบด้วย ตัวแทนฝ่ายผู้ผลิต, ผู้ใช้, นักวิชาการ และผู้เกี่ยวข้องอื่นๆ โดยคำนึงถึงความต้องการทางการตลาด, ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี, ความสามารถของผู้ผลิตภายในประเทศ, ความปลอดภัยในการใช้สอย, ความประหยัดในการผลิต, และมาตรฐานอื่นๆ ของต่างประเทศ เพื่อประโยชน์สำหรับการแข่งขัน ในการค้ากับต่างประเทศ โดยทั่วไปมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ใดก็ตาม จะกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อต่อไปนี้

1. ขนาดและรูปร่าง ต้องระบุให้ชัดเจนแน่นอน พร้อมกับความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ได้ การกำหนดรายการนี้ จะช่วยให้ผู้ผลิตทำได้อย่างประหยัดราคาต้นทุน ผู้ใช้หาอะหลั่ยได้ง่าย

2. คุณสมบัติทางกล และทางกายภาพ เป็นข้อกำหนดที่สำคัญ เพราะมีความสำคัญเกี่ยวเนื่องไปถึงความแข็งแรง ความคงทน และความปลอดภัย

3. คุณสมบัติทางเคมี มีความสำคัญมากเกี่ยวกับคุณภาพของวัสดุที่ใช้ในการผลิต วิธีการผลิตตลอดจนคุณภาพผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง อาหาร เคมีภัณฑ์ จะมีการกำหนดมาตรฐานคุณสมบัติทางเคมีอย่างละเอียด

4. คุณสมบัติด้านความคงทน และอายุการใช้งาน การกำหนดวิธีการต้องอาศัยข้อมูลจากการทดสอบการใช้งานจริง และหลักการทางเศรษฐกิจ

5. การทดสอบและการวิเคราะห์ มีการกำหนดวิธีการทดสอบ เครื่องมือทดสอบ และค่าหรือผลการทดสอบที่ได้

6. การรับรองคุณภาพ จะต้องขออนุญาตและส่งตัวอย่างให้ทำการทดสอบ เมื่อปรากฏผลได้ตามมาตรฐาน ก็จะได้รับอนุญาตให้ใช้มาตรฐานได้ ถ้าปรากฏในภายหลังว่าผลิตภัณฑ์ที่มีมาตรฐานมีคุณภาพด้อยกว่าที่กำหนด จะถูกเพิกถอนใบอนุญาต และห้ามไม่ให้ใช้มาตรฐานต่อไป

มาตรฐานความปลอดภัย และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่ใช้อ้างอิง ในทางปฏิบัติ งานออกแบบ งานผลิต และงานติดตั้งทุกชนิด จำเป็นต้องใช้มาตรฐาน เพื่อให้เกิดความเข้าใจถูกต้องตรงกัน ให้มีคุณภาพได้มาตรฐานและมีความปลอดภัย มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงอาจแบ่งเป็นพวก คือ

1. มาตรฐานข้อบังคับและระเบียบในประเทศ

2. มาตรฐานสากล และมาตรฐานของประเทศผู้ผลิต ซึ่งเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป

มาตรฐานข้อบังคับระเบียบในประเทศมีอยู่หลายอย่าง จะต้องอ้างอิงให้ถูกต้องเหมาะสมกับงาน เช่นตัวอย่าง

- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
- ระเบียบของ กฟน. และ กฟภ.
- กฎกระทรวงมหาดไทย
- กฎของการพลังงานแห่งชาติ

มาตรฐานสากล และมาตรฐานของประเทศผู้ผลิตมีอยู่มากมาย การใช้อ้างอิงต้องตกลงกันระหว่าง ผู้ผลิต ผู้ขาย และผู้รับเหมา มาตรฐานสากลที่นิยมใช้แพร่หลายทางไฟฟ้า เช่น

IEC (International Electrotechnical Commissions)

CIE (International Commission on Illumination)

ISO (International Standard Organization)

ส่วนมาตรฐานและข้อบังคับของประเทศอุตสาหกรรม ที่ใช้อ้างอิงกันแพร่หลาย เช่น

ANSI (American National Standards Institute Inc.)

API (American Petroleum Institute)

ASTM (American Society for Testing and Material)

BS (British Standard Institute)

DIN (Deutsche Industrie Normen)

IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers)

ISA (Instrument Society of America)

JIS (Japanese Standard Association)

NEC (National Electric Code)

NEMA (National Electrical Manufacturers Association)

NFPA (National Fire Protection Association Standard)

UL (Underwriter Laboratory)

VDE (Verband Deutscher Elektrotechniker e.V.)

ซึ่งมาตรฐานดังกล่าว เป็นมาตรฐานที่ทั่วโลกยอมรับ ดังนั้น หากต้องการที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ให้ได้ตามมาตรฐานเหล่านี้แล้ว จะต้องพิจารณาถึง องค์ประกอบพื้นฐานของการผลิต ได้แก่

1. ผู้ปฏิบัติงาน
2. เครื่องจักร/อุปกรณ์ ที่ใช้ทำงาน
3. วัสดุ/ชิ้นส่วนต่างๆ ที่ใช้ในการทำงาน
4. วิธีการในการทำงาน

ดังนั้น ภายหลังจากที่ได้ศึกษาถึงปัญหาที่เกิดขึ้น ในการควบคุมคุณภาพในสายการผลิตรางสายไฟฟ้า ของโรงงานตัวอย่างแล้ว จำเป็นที่จะต้องพัฒนาถึงองค์ประกอบพื้นฐานของการผลิต และการกำหนดระบบการตรวจสอบและควบคุมอย่างต่อเนื่อง เพื่อพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้สูงขึ้น ได้แก่

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

รายละเอียดในแต่ละขั้นตอนของการตรวจสอบ จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับลักษณะของงาน ซึ่งในแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

5.1 การตรวจสอบนำเข้า (Incoming inspection)

การตรวจสอบนำเข้า คือการตรวจสอบชิ้นส่วน, ส่วนประกอบและสินค้าต่างๆ ที่ซื้อมาเข้าในโรงงาน ในกรณีที่โรงงานจำเป็นต้องซื้อชิ้นส่วนจากแหล่งอื่นๆ การตรวจสอบนำเข้ามีความสำคัญเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เพื่อผลประโยชน์ของโรงงาน สำหรับในกรณีของโรงงานตัวอย่าง การตรวจสอบนำเข้า จะเป็นการตรวจสอบวัตถุดิบ ซึ่งก็คือแผ่นเหล็กที่ใช้ในการพับขึ้นรูปรางสายไฟฟ้า และตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า

5.1.1 วัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตรางสายไฟฟ้า จะทำมาจากเหล็กแผ่นเรียบ ซึ่งจะผ่านเข้าไปในกระบวนการผลิต จนได้รางสายไฟฟ้าออกมา สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ซึ่งจะใช้ตามมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ได้แก่

1. เหล็กกล้าละมุมรีดร้อนชนิดแผ่นหนา, แผ่นบาง และแผ่นแถบ (Hot-rolled mild steel plate, sheet and strip) เป็นแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอนรีดร้อน เพื่อใช้ในงานขึ้นรูปต่างๆ ตาม มอก. เลขที่ 528 - 2527 มีหัวข้อต่างๆ ดังนี้คือ

1.1 ชนิดและชั้นคุณภาพ

เหล็กแผ่นแบ่งตามความหนาออกเป็น 3 ชนิด คือ

ก) เหล็กแผ่นหนา ได้แก่ เหล็กแผ่นที่มีความหนาระบุตั้งแต่ 3 มม. ขึ้นไป

ข) เหล็กแผ่นบาง ได้แก่ เหล็กแผ่นที่มีความหนาระบุน้อยกว่า 3 มม. ลงมา

ค) เหล็กแผ่นแถบ ได้แก่ เหล็กแผ่นที่มีลักษณะเป็นแถบยาว และมักจะทำเป็นม้วน (Coil)

สำหรับชั้นคุณภาพ เหล็กแผ่นแต่ละชนิดยังแบ่งตามลักษณะการใช้งาน ออกเป็น 4 ชั้นคุณภาพ โดยใช้รหัสตามตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ชั้นคุณภาพและลักษณะการใช้งาน

ชั้นคุณภาพ	ลักษณะการใช้งาน
HR 1	งานทั่วไป
HR 2	งานขึ้นรูปตื้น (Drawing)
HR 3	งานขึ้นรูปลึก (Deep drawing)
HR 4	งานขึ้นรูปลึกพิเศษ (Deep drawing special killed)

1.2 ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

ก) ความหนา ให้เป็นไปตามตารางที่ 5.2

ข) ความกว้าง ให้เป็นไปตามตารางที่ 5.3

ค) ความยาว ให้เป็นไปตามตารางที่ 5.4

ง) น้ำหนัก ให้เป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก ซึ่งน้ำหนักที่ชั่งได้จริงจะแตกต่างจากค่าที่ระบุไว้ได้ไม่เกินที่กำหนดในตารางที่ 5.5 (น้ำหนักที่ระบุได้จากการคำนวณโดยถือว่าเหล็กกล้าละมุมพื้นที่ผิว 1 ตารางเมตร ความหนา 1 มม. หนัก 7.85 กิโลกรัม)

ตารางที่ 5.2 ความหนาและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

ความกว้าง / ความหนา	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน				
	600 ถึง 1 219	1 400 ถึง 1 524	1 600 ถึง 1 829	2 000 ถึง 2 200	2 500 ถึง 3 000
1.2	± 0.18	± 0.20	–	–	–
1.4	± 0.20	± 0.22	–	–	–
1.6 1.8	± 0.22	± 0.25	± 0.30	–	–
2.0 2.2	± 0.25	± 0.28	± 0.32	–	–
2.5 2.8	± 0.28	± 0.32	± 0.36	–	–
3.2 3.6	± 0.30	± 0.35	± 0.40	–	–
4.0 4.5	± 0.45	± 0.50	± 0.55	± 0.65	± 0.75
5.0 5.6	± 0.50	± 0.55	± 0.60	± 0.70	± 0.80
6.0 7.0 8.0 9.0	± 0.60	± 0.60	± 0.65	± 0.75	± 0.85
10.0 11.0 12.0 14.0	± 0.60	± 0.60	± 0.70	± 0.80	± 0.90
16.0 18.0 20.0 22.0	± 0.70	± 0.70	± 0.80	± 0.90	± 1.0
25.0 28.0 32.0 36.0	± 0.80	± 0.80	± 0.90	± 1.0	± 1.1
40.0 45.0 50.0	± 0.90	± 0.90	± 1.0	± 1.2	± 1.3

หมายเหตุ : ในกรณีที่ความหนาน้อยกว่า 1.2 มิลลิเมตร ให้ถือเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของความหนา 1.2 มิลลิเมตร เป็นเกณฑ์

จ) ขอบโค้ง เมื่อวัดตามรูปที่ 5.1 จะมีได้ไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดในตารางที่ 5.6

ฉ) ความไม่ได้ฉาก เมื่อวัดตามรูปที่ 5.2 ระยะไม่ได้ฉากจะมีได้ไม่เกินร้อยละ 1 ของความกว้าง

ช) ความราบ (Flatness) เมื่อวัดตามรูปที่ 5.3 ระยะเบี่ยงเบนสูงสุดจะมีได้ไม่เกินที่กำหนดในตารางที่ 5.7

1.3 ส่วนประกอบทางเคมี ส่วนประกอบทางเคมีของเหล็กแผ่น ให้เป็นไปตามตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.3 ความกว้างและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

ความกว้าง	ความหนา	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน	
		ขอบรีด	ขอบตัด
600	1.2 ถึง 18.0	$+^{20}_{0}$	$+^{10}_{0}$
	20.0 ถึง 50.0	$+^{20}_{0}$	$+^{15}_{0}$
710 800 900 914	1.2 ถึง 18.0	$+^{25}_{0}$	$+^{10}_{0}$
	20.0 ถึง 50.0	$+^{25}_{0}$	$+^{15}_{0}$
1 000 1 100 1 200 1 219	1.2 ถึง 5.6	$+^{30}_{0}$	$+^{10}_{0}$
	6.0 ถึง 50.0	$+^{30}_{0}$	$+^{15}_{0}$
1 400	1.2 ถึง 5.6	$+^{35}_{0}$	$+^{10}_{0}$
1 524	6.0 ถึง 50.0	$+^{35}_{0}$	$+^{15}_{0}$
1 600 1 800 1 829 2 000 2 200 2 500 2 800 3 000	1.2 ถึง 5.6	$+^{40}_{0}$	$+^{10}_{0}$
	6.0 ถึง 50.0	$+^{40}_{0}$	$+^{\text{ร้อยละ } 1.2}_{0}$

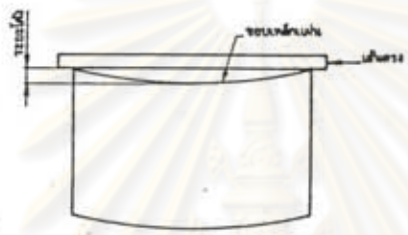
ตารางที่ 5.4 ความยาวและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

ความยาว	ความหนา	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน
1892 2438 3048 6000	ทุกขนาด	+ 25 0
6096 7000 8000 9000 10000	ทุกขนาด	+ ร้อยละ 0.5 0

ตารางที่ 5.5 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของน้ำหนัก

ความหนา (มิลลิเมตร)	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)
น้อยกว่า 10	± 5
10 ขึ้นไป	± 4

หมายเหตุ : ใช้สำหรับเหล็กแผ่นชนิด ชั้นคุณภาพ และขนาดเดียวกัน ซึ่งมีน้ำหนักไม่น้อยกว่า 1 ตัน และมีจำนวนไม่น้อยกว่า 10 แผ่น

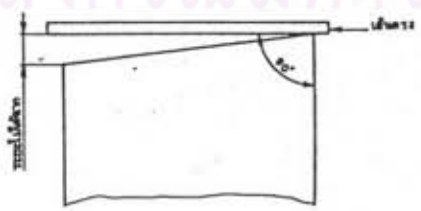


รูปที่ 5.1 การวัดระยะโค้ง

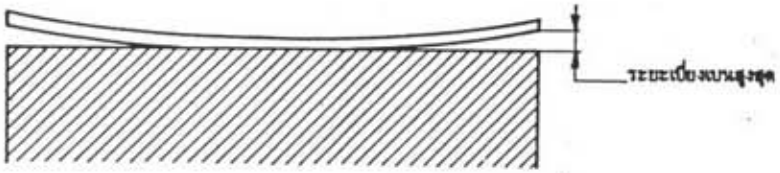
ตารางที่ 5.6 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของขอบโค้ง

ชนิด	ระยะโค้ง
เหล็กแผ่นหนาและเหล็กแผ่นบาง	ร้อยละ 0.5 ของความยาว
เหล็กแผ่นแถบ	25 มม.ต่อความยาว 5000 มม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.2 การวัดความไม่ได้ฉาก



รูปที่ 5.3 การวัดความราบ

ตารางที่ 5.7 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของความราบ

ความหนา	ความกว้าง	ระยะเบี่ยงเบนสูงสุด
ไม่เกิน 2.00	ไม่เกิน 1200	18
	เกิน 1200 ถึง 1500	25
	เกิน 1500	30
เกิน 2.00	ไม่เกิน 1200	15
	เกิน 1200 ถึง 1500	20
	เกิน 1500	25

หมายเหตุ : เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนนี้ ใช้สำหรับเหล็กแผ่นที่ยาวไม่เกิน 5000 มิลลิเมตร หนาไม่เกิน 5 มิลลิเมตร ถ้านอกเหนือจากนี้ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย

ตารางที่ 5.8 ส่วนประกอบทางเคมีของเหล็กแผ่น

ชั้นคุณภาพ	ส่วนประกอบทางเคมี ร้อยละไม่เกิน			
	คาร์บอน	แมงกานีส	ฟอสฟอรัส	กำมะถัน
HR 1	0.15	0.60	0.05	0.05
HR 2	0.12	0.50	0.04	0.04
HR 3	0.10	0.45	0.03	0.03
HR 4	0.08	0.45	0.03	0.03

หมายเหตุ ส่วนประกอบทางเคมีนี้ เป็นผลการวิเคราะห์เหล็กจากเบ้า ซึ่งอาจใช้ค่าที่ผู้ผลิตแจ้งมาโดยอนุโลมได้ แต่ถ้าเป็นการวิเคราะห์จากผลิตภัณฑ์เหล็กแผ่น ผลวิเคราะห์ที่ได้โดยเฉพาะธาตุคาร์บอนและแมงกานีส อาจเปลี่ยนแปลงได้บ้างตามสมควร ซึ่งให้เป็นไปตามความยินยอมและข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย

1.4 คุณลักษณะที่ต้องการ

ก) ลักษณะทั่วไป

เหล็กแผ่นต้องมีผิวเรียบเกลี้ยง สม่ำเสมอ ปราศจากตำหนิ ที่จะเป็นผลเสียหายต่อการใช้งาน ไม่มีสะเก็ดออกไซด์ และต้องไม่มีการแยกชั้น (Lamination) ของเนื้อเหล็ก

ข) สมบัติทางกล

ความต้านทานแรงดึงและความยืด ให้เป็นไปตามตารางที่ 5.9 การทดสอบความต้านทานแรงดึงและความยืด ของแผ่นเหล็กที่มีความหนาตั้งแต่ 3 มม.ขึ้นไป ให้ปฏิบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม การทดสอบเหล็กและเหล็กกล้า เล่ม 4 การทดสอบเหล็กกล้าโดยการดึง (ทั่วไป) มาตรฐานเลขที่ มอก.244 เล่ม 4 การทดสอบความต้านทานแรงดึงและความยืดของเหล็กแผ่น ที่มีความหนาน้อยกว่า 3 มม. ให้ปฏิบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม การทดสอบเหล็กและเหล็กกล้าแผ่นบางโดยการดึง มาตรฐานเลขที่ มอก.244 เล่ม 5

ความต้านทานแรงดัดโค้ง เหล็กแผ่นหนาและเหล็กแผ่นแถบชั้นคุณภาพ HR 1 ที่มีความหนาตั้งแต่ 3 มม. ขึ้นไป ให้ทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม การทดสอบเหล็กและเหล็กกล้า เล่ม 11 การทดสอบเหล็กและเหล็กกล้าโดยการดัดโค้ง (ทั่วไป) มาตรฐานเลขที่ มอก.244 เล่ม 11 เหล็กแผ่นบางและเหล็กแผ่นแถบชั้นคุณภาพ HR 1 ที่มีความหนาน้อยกว่า 3 มม. ให้ทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม การทดสอบเหล็กและเหล็กกล้า เล่ม 12 การทดสอบเหล็กกล้าแผ่นบางและแผ่นแถบโดยการดัดโค้ง มาตรฐานเลขที่ มอก. 244 เล่ม 12โดยการนำชิ้นงานทดสอบมากดด้วยหัวดัดรูปตัว U ที่มีขนาดหัวดัดตามตารางที่ 5.10 จนกระทั่ง ปลายทั้งสองข้างงอขึ้นมาขนานกันตามรูปที่ 5.4 แล้วชิ้นทดสอบต้องไม่มีรอยแตกหรือปริที่ด้านนอกของส่วนโค้ง

ตารางที่ 5.9 ความต้านทานแรงดึงและความยืด

ชั้นคุณภาพ	ความต้านแรงดึง เมกาปาสกาล ไม่น้อยกว่า	ความยืด ร้อยละ ไม่น้อยกว่า				
		$e < 3$		$3 \leq e < 6$		$e \geq 6$
		$L_o = 80$ mm.	$L_o = 50$ mm.	$L_o = 5.65\sqrt{S_o}$ mm.	$L_o = 50$ mm.	$L_o = 5.65\sqrt{S_o}$ mm.
HR 1	–	–	–	–	–	–
HR 2	270	25	26	28	29	•
HR 3	270	28	29	32	33	•
HR 4	270	28	29	32	33	•

หมายเหตุ : 1. * ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย

2. L_0 คือความยาวพิกัดของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

3. S_0 คือพื้นที่ภาคตัดขวางเริ่มแรกของชิ้นทดสอบ เป็นตารางมิลลิเมตร

4. e คือความหนาของเหล็กแผ่น เป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 5.4 ทิศทางการดัดโค้งชิ้นทดสอบ

ตารางที่ 5.10 ขนาดของหัวดัด

ความหนาของเหล็กแผ่น	เส้นผ่านศูนย์กลางของหัวดัด
$e < 3$	1a
$3 \le e < 6$	2a
$6 \le e < 9$	3a
$9 \le e < 12$	4a

หมายเหตุ : e คือ ความหนาของเหล็กแผ่น เป็นมิลลิเมตร

a คือ ความหนาของชิ้นทดสอบการดัดโค้ง เป็นมิลลิเมตร

1.5 เครื่องหมายและฉลาก

ก) ที่เหล็กแผ่นทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมาย แจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

1. ชนิดและชั้นคุณภาพ

2. ขนาด (กว้างXยาวXหนา) เป็นมิลลิเมตร กรณีเหล็กแผ่นแถบให้ระบุเฉพาะ (กว้างXยาว)

3. น้ำหนัก

4. รุ่น

5. ชื่อผู้ทำหรือเครื่องหมายการค้า

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

ข) ที่หีบห่อแผ่นเหล็กทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดตามข้อ ก) และจำนวนแผ่นที่บรรจุให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

ค) ผู้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นได้ ต่อเมื่อได้รับอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

2. แผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีโดยกรรมวิธีจุ่มร้อน (Hot-dip zinc coated steel sheet) เป็นแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสี ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม เลขที่ มอก. 50-2538 โดยจะนำมากล่าวเฉพาะชนิดแผ่นเรียบ และชนิดแผ่นม้วน

2.1 ชนิด

แผ่นเหล็กเคลือบสังกะสี แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

ก) ชนิดแผ่นเรียบ

ข) ชนิดแผ่นม้วน

2.2 ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

ก) ความกว้าง

ต้องเป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก โดยจะมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ตามตารางที่ 5.11

ตารางที่ 5.11 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของความกว้าง

ความกว้าง (มม.)	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน (มม.)
ไม่เกิน 1500	+ 7 0
เกิน 1500	+ 10 0

ข) ความยาว

ต้องเป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก โดยแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีที่เป็นแผ่นจะมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ + 15 , - 0 มิลลิเมตร หรือให้ดูขนาดแนะนำในตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 ขนาดแนะนำสำหรับแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีชนิดแผ่นเรียบและชนิดแผ่นม้วน

ความหนาระบุของแผ่นเหล็กดำ	ความกว้าง มิลลิเมตร (นิ้ว)					มวลสังกะสีที่เคลือบทดสอบโดยวิธีแอนทิโมนีคลอไรด์แบบหาค่า 3 จุดต่ำสุด กรัมต่อตารางเมตร
	762(30)	838(33)	914(36)	1 168(46)	1 219(48)	
มิลลิเมตร	ความยาว (เฉพาะชนิดแผ่นเรียบ) มิลลิเมตร (นิ้ว)					
0.20	2 134(84)	–	1 829(72)	–	–	120
	2 438(96)	–	2 438(96)	–	–	
0.25	–	–	1 829(72)	–	–	120
	–	–	2 438(96)	–	–	
0.30	–	–	2 438(96)	–	–	120 180 220
0.40	–	–	2 438(96)	–	–	180 220
0.50	–	–	2 438(96)	–	–	180 220 275
0.60	–	–	2 438(96)	–	2 438(96)	220 275
0.80	–	–	–	–	2 438(96)	220 275
1.00	–	–	–	2 438(96)	2 438(96)	220 275
1.20	–	–	–	2 438(96)	2 438(96)	275
1.60	–	2 845(112)	–	2 438(96)	2 438(96)	275

หมายเหตุ ขนาดของแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีในตารางเป็นขนาดที่โรงงานภายในประเทศหาอยู่ในปัจจุบัน

ค) ความหนา

ต้องเป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก โดยจะมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ตามตารางที่ ซึ่งใช้กับผลรวมของความหนาระบุของแผ่นเหล็กดำกับความหนาของสังกะสีที่เคลือบ ที่เทียบเท่าในตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของความหนา

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

ความกว้าง / ความหนา / ระบุของแผ่นเหล็กดำ	ไม่เกิน 630	เกิน 630 ถึง 1 000	เกิน 1 000 ถึง 1 250	เกิน 1 250 ถึง 1 600	เกิน 1 600
ไม่เกิน 0.25	± 0.04	± 0.04	± 0.04	-	-
เกิน 0.25 ถึง 0.40	± 0.05	± 0.05	± 0.05	± 0.06	-
เกิน 0.40 ถึง 0.60	± 0.06	± 0.06	± 0.06	± 0.07	± 0.08
เกิน 0.60 ถึง 0.80	± 0.07	± 0.07	± 0.07	± 0.08	± 0.09
เกิน 0.80 ถึง 1.00	± 0.08	± 0.08	± 0.09	± 0.10	± 0.11
เกิน 1.00 ถึง 1.25	± 0.09	± 0.09	± 0.10	± 0.11	± 0.13
เกิน 1.25 ถึง 1.60	± 0.10	± 0.11	± 0.12	± 0.13	± 0.15
เกิน 1.60 ถึง 2.00	± 0.11	± 0.12	± 0.13	± 0.15	± 0.17
เกิน 2.00 ถึง 2.50	± 0.13	± 0.14	± 0.15	± 0.17	± 0.19
เกิน 2.50 ถึง 3.15	± 0.15	± 0.16	± 0.17	± 0.19	± 0.21
เกิน 3.15	± 0.17	± 0.18	± 0.20	± 0.21	-

2.3 ส่วนประกอบทางเคมีของสังกะสีที่เคลือบ

ความบริสุทธิ์ของสังกะสีที่ใช้เคลือบ เมื่อวิเคราะห์จากแท่งสังกะสี (Ingot) ไม่ควรน้อยกว่าร้อยละ 98

2.4 คุณลักษณะที่ต้องการ

ก) ลักษณะทั่วไป

ผิวของแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีต้องสะอาด ไม่มีตำหนิจากน้ำประสาน (Bare spot) กว้างเกิน 3 มิลลิเมตร หรือพื้นที่เกิน 40 ตารางมิลลิเมตร และมีจำนวนตำหนิไม่เกิน 20 แห่งต่อ 1 ตารางเมตร ขอบของแผ่นเหล็กที่ถูกตัดไม่จำเป็นต้องเคลือบสังกะสี

การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ สมบัติอื่นๆ เช่น ความสม่ำเสมอในการเคลือบ ความเงา ความหยาบ น้ำมันแต่งผิว ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย

ตารางที่ 5.14 มวลและความหนาของสังกะสีที่เคลือบที่เทียบเท่า

สัญลักษณ์มวลสังกะสีที่เคลือบ	มวลเฉลี่ยของสังกะสีที่เคลือบทดสอบโดยวิธีแอนทิโมนีคลอไรด์ แบบหาค่า 3 จุด (triple spot) กรัมต่อตารางเมตร	ความหนาของสังกะสีที่เคลือบที่เทียบเท่า มิลลิเมตร
Z 060	60	0.013
Z 080	80	0.017
Z 100	100	0.021
Z 120	120	0.026
Z 150	150	0.030
Z 180	180	0.034
Z 200	200	0.040
Z 220	220	0.043
Z 250	250	0.049
Z 275	275	0.054
Z 350	350	0.064
Z 450	450	0.080
Z 600	600	0.102

หมายเหตุ แบบหาค่า 3 จุด คือ วิธีทดสอบหาค่าเฉลี่ยของมวลสังกะสีที่เคลือบจากชิ้นทดสอบ 3 ชิ้น

ฆ) ความไม่ได้ฉาก (Out of square)

เมื่อผ่านการทดสอบตาม มอก.50-2538 หัวข้อ 9.2 แล้ว ความไม่ได้ฉากที่มุมของแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีต้องไม่เกินร้อยละ 1

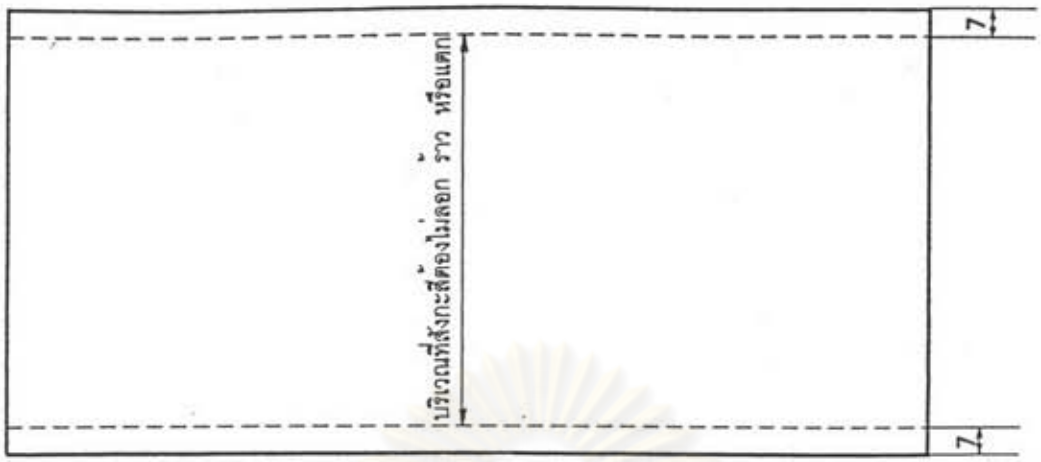
ค) มวลสังกะสีที่เคลือบ

ต้องเป็นไปตามตารางที่ 5.14

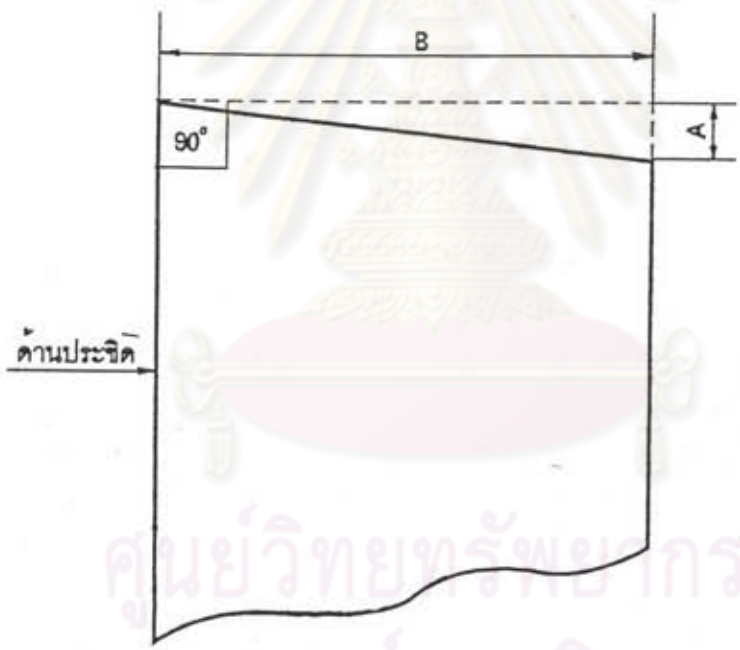
ง) คุณลักษณะหลังการดัดโค้ง

เมื่อทดสอบตามหัวข้อที่ 9.4 ของ มอก. 50-2538 แล้ว ผิวเคลือบสังกะสีด้านนอกของรอยพับต้องไม่ลอก ร้าว หรือแตก ยกเว้นบริเวณที่ห่างจากขอบด้านยาวข้างละ 7 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 5.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.5 บริเวณที่สังกะสีต้องไม่ลอก ร้าว หรือแตก



รูปที่ 5.6 การวัดความไม่ได้ฉาก

2.5 เครื่องหมายและฉลาก

ก) ที่หีบบรรจุแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีทุกหีบ หรือที่ด้านนอกของแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีทุกม้วน อย่างน้อยต้องมี เลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(1) คำว่า "แผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีโดยวิธีจุ่มร้อน" (เฉพาะที่เป็นหีบบรรจุ)

(2) ความยาว (เฉพาะชนิดแผ่นเรียบ) และความกว้างของเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี และความหนาระบุของแผ่นเหล็กดำ เป็นมิลลิเมตร

(3) มวลสังกะสีที่เคลือบ เป็นกรัมต่อตารางเมตร

(4) มวล (เฉพาะชนิดแผ่นม้วน)

(5) รหัสรุ่นที่ทำ

(6) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าจดทะเบียน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

5.2 การตรวจสอบในกระบวนการผลิต (Inprocess inspection)

สำหรับการตรวจสอบในกระบวนการผลิตแล้วนั้น จะเป็นการตรวจสอบชิ้นงานในขณะที่ทำการผลิตไปด้วย เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการควบคุมคุณภาพ และจะทำให้ประสิทธิภาพเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น โดยมีต้นทุนต่ำลง ผู้ปฏิบัติงานสามารถปรับแต่งการทำงานหรือขบวนการ โดยไม่เกิดการล่าช้าในกระบวนการ

ในกรณีของโรงงานตัวอย่างแล้ว การตรวจสอบในกระบวนการผลิต จะเป็นการตรวจสอบชิ้นส่วนที่อยู่ในกระบวนการผลิตในแต่ละขั้นตอน ดังนั้น สามารถแบ่งการตรวจสอบในกระบวนการผลิตออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. การตรวจสอบชิ้นส่วนจากการตัดและการดัดโลหะแผ่น
2. การตรวจสอบชิ้นส่วนจากการเชื่อมประกอบ

5.2.1 การตรวจสอบชิ้นส่วนจากการตัดและการดัดโลหะแผ่น

ในขั้นตอนเริ่มแรกของกระบวนการผลิตรางสายไฟฟ้า จะเริ่มจากการนำโละแผ่นที่มีขนาดตามมาตรฐานที่กำหนด หรือขนาดความยาวที่โรงงานกำหนดในกรณีที่ตัดจากเหล็กแผ่นแถบ (Coil) มาตัดให้ได้ความยาวขนาดต่างๆ กัน ตามความยาวที่ต้องการของชิ้นงานที่กำหนดไว้ในแบบ

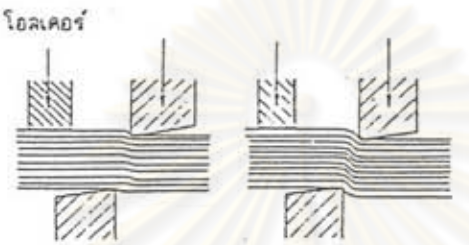
การตัดจะใช้เครื่องตัดโลหะแผ่น ตัดออกเป็นแผ่นสตริป ที่มีขนาดความกว้างและความยาวเท่าๆ กันให้ครบตามจำนวนที่ต้องการ จากรูปที่ 5.7 จะแสดงขั้นตอนที่เกิดขึ้นในระหว่างการตัดได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ

(ก) การเปลี่ยนรูปยืดหยุ่น (Elastic deformation) โดยที่ใบมีดจะค่อยๆ กดและดัด

โลหะความเค้นที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำกว่าจุดคราก

(ข) การเปลี่ยนรูปถาวร (Plastic deformation) ความเค้นในเนื้อโลหะเพิ่มขึ้นจนเกินจุดคราก และค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงค่าความต้านทานแรงเฉือน (Ultimate shear strength)

(ค) การแตก (Failure) รอยร้าวเกิดขึ้นตามแนวผิวที่เกิดการเลื่อน และวัตถุดิบจะแยกออกจากกัน

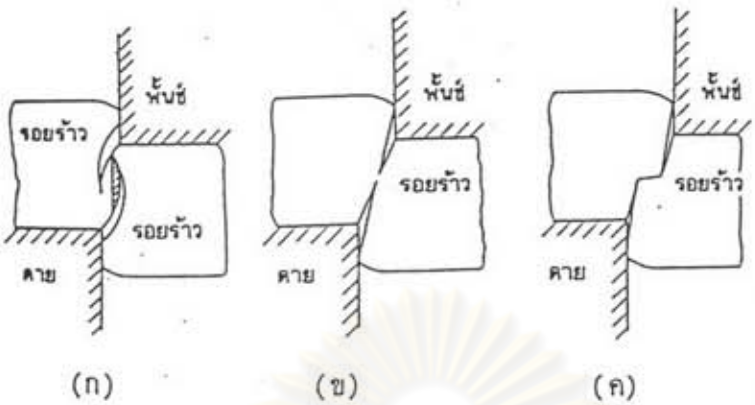


รูปที่ 5.7 แสดงขั้นตอนที่เกิดขึ้นในระหว่างการตัด

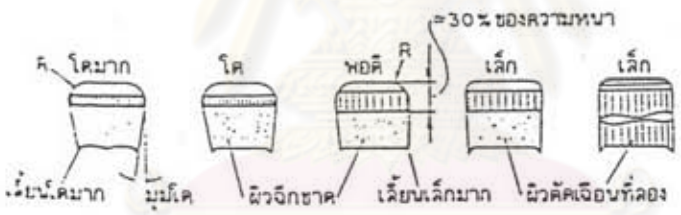
จากรูปที่ 5.8 พบว่าถ้าเลือกใช้ขนาดเคลียแร็นซ์ระหว่างพั้นช์กับดายให้เหมาะสมที่สุดสำหรับวัสดุแต่ละชนิดและแต่ละความหนา จะทำให้เมื่อวัสดุขาด รอยร้าวที่เกิดขึ้นจากพั้นช์และดายจะไปพบกันพอดี (ดังรูปที่ 5.8(ข)) ผิวที่ได้จากการตัดในลักษณะนี้เป็นผิวที่ดีที่สุด และไม่มีเสี้ยนหรือเบอร์ (Burr) และยังมีส่วนช่วยให้แม่พิมพ์มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้นอีกด้วย

เมื่อขนาดเคลียแร็นซ์ระหว่างพั้นช์กับดายแคบเกินไป รอยร้าวที่เกิดขึ้นจะไม่พอดี ซึ่งเป็นผลให้ได้รอยตัดที่ไม่เรียบ และเกิดเป็นแถบขึ้นสองแถบ (ดังรูปที่ 5.8(ก)) และเมื่อขนาดเคลียแร็นซ์ระหว่างพั้นช์กับดายกว้างเกินไป จะทำให้เกิดการฉีกขาด และมีเสี้ยนเกิดขึ้นตามแนวเส้นรอบรูปของชิ้นงาน

ในการตัดด้วยแม่พิมพ์ เมื่อเคลียแร็นซ์ระหว่างพั้นช์กับดายเปลี่ยนแปลงไป ก็จะได้ชิ้นงานที่มีผิวจากการตัดแตกต่างกันไป งานแต่ละประเภท ต้องการผิวที่เกิดจากการตัดแตกต่างกันออกไป ดังนั้นจึงไม่จำเป็นเสมอไปว่า ผิวที่ได้จากการตัดจะต้องเป็นผิวลักษณะผิวเฉือนทั้งหมด เพราะอาจทำให้ เสียค่าใช้จ่ายในการทำแม่พิมพ์มากขึ้น และต้องใช้เครื่องเพรสที่มีสมรรถนะสูงจนเกินความจำเป็น รูปที่ 5.9 แสดงให้เห็นผิวจากการตัดลักษณะต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของเคลียแร็นซ์ระหว่างพั้นช์กับดาย ส่วนตารางที่ 5.15 แสดงการใช้งานของการตัดด้วยเคลียแร็นซ์ขนาดต่างๆ



รูปที่ 5.8 ผลของเคลียแร็นซ์ระหว่างพั้นช์กับดายและผิวรอยตัด
(ก) เคลียแร็นซ์แคบ, (ข) เคลียแร็นซ์พอดี, (ค) เคลียแร็นซ์กว้าง



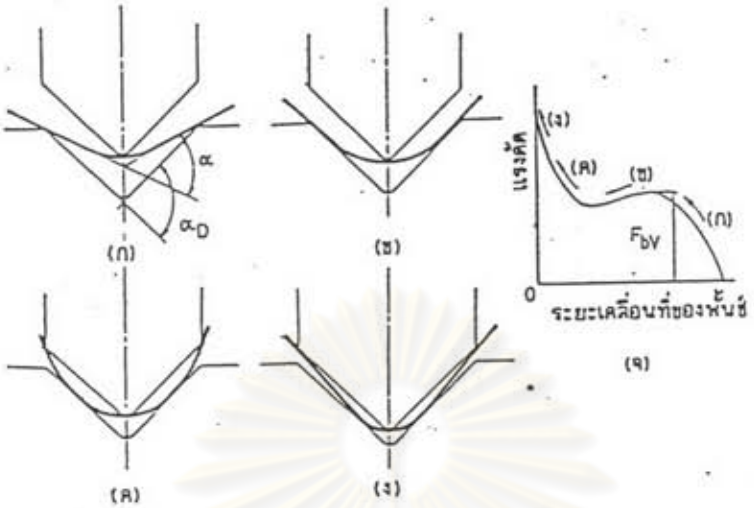
รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเคลียแร็นซ์กับผิวที่ได้จากการตัด

เมื่อตัดชิ้นงานตามขนาดต่างๆ จนเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จากนั้นจึงนำชิ้นงานไปเข้าเครื่องดัด เพื่อทำการดัดขึ้นรูปให้ชิ้นงานมีรูปร่างตามที่ต้องการ ลักษณะของงานดัด จะเป็นการดัดรูปตัววี ในการดัดรูปตัววี โลหะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างตามขั้นตอนต่างๆ ซึ่งมีความซับซ้อนมาก ดังแสดงในรูปที่ 5.10 ในขณะที่พั้นช์และดายดัดชิ้นงาน งานจะเรียบ แต่เมื่อพั้นช์เลื่อนถอยออกมาจากชิ้นงาน งานจะไม่เรียบดังเดิม แต่จะเกิดการโก่งขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากชิ้นงานยังคงมีคุณสมบัติในการยืดหยุ่นหลงเหลืออยู่ ดังนั้นถ้าส่วนที่เรียบได้รับแรงกดจากพั้นช์ ในแนวความหนาของโลหะแผ่นมากขึ้น การโก่งที่เกิดขึ้นจะลดน้อยลงและชิ้นงานเรียบมากขึ้น เพราะฉะนั้นการดัดชิ้นงานให้เกิดเป็นมุมมากขึ้นเท่าใดนั้น จึงขึ้นอยู่กับมุมของดายเป็นอย่างมาก

ตารางที่ 5.15 การใช้งานของการตัดเจาะด้วยช่องว่างขนาดต่างๆ

	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5
มุมฉีกขาด (A)	14°-16°	8°-11°	7°-11°	6°-11°	.....
รัศมีแถบมน R	10-20%	8-10%	6-8%	4-7%	2-5%
หน้าตัดเจือน	10-20%	15-25%	25-40%	35-55% (1)	50-70% (2)
หน้าฉีกขาด	70-80%	60-75%	50-60%	35-50% (3)	25-40% (4)
รอยเสี้ยน	ใหญ่, มีการบิดเบี้ยว	ปกติและเรียบ	ปกติและเรียบ	ปานกลางและมีแนวโน้มของการเกิดแรงดันกลับ	ใหญ่ มีแนวโน้มของการเกิดแรงดันกลับ
การใช้งาน	รูปร่างชิ้นงาน และความเรียบไม่สำคัญมากนัก	แถบมนและหน้าตัดเจือนหน้าแรก มีขนาด 1/3 ของความหนา ส่วนหน้าฉีกขาดมีขนาด 2/3ของความหนา ใช้ในกรณีที่ไม่จำเป็นต้องมี หน้าตัดเจือนขนาดใหญ่ อายุใช้งานของแม่พิมพ์นานที่สุด	ความเค้นตกค้าง มีน้อยที่สุด ในกรณีที่วัสดุสามารถเกิด "การทำให้แข็งด้วยความเครียด" ได้ง่าย ควรใช้แบบนี้เพื่อ ป้องกันไม่ให้ วัสดุชิ้นงานแข็งตัวเพิ่มขึ้นจากแรงกระทำ (แรงตัดเจาะ)	เกิดหน้าตัดเจือนหน้าที่สองขึ้น ใช้ในกรณีที่มีการแต่งขอบ เพื่อตกแต่งผิวหน้าจากการตัดเจาะ	ในกรณีที่ต้องการได้ชิ้นงาน ที่มีรูปร่างถูกต้องแน่นอนปกติจะให้มีรัศมีความโค้งที่ขอบตัดของพั้นช์และดาย เพื่อการตกแต่งชิ้นงาน อายุใช้งานของแม่พิมพ์สั้นที่สุด

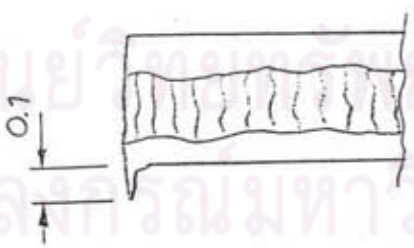
หมายเหตุ: (1) พื้นที่ผิวหน้าตัดเจือนหน้าที่สอง; (2) ผลรวมของพื้นที่ผิวหน้าตัดเจือนหน้าที่หนึ่งและหน้าที่สอง; (3) หน้าฉีกขาดหยาบ; (4) ผลรวมของผิวหน้าฉีกขาด.



รูปที่ 5.10 ขั้นตอนการดัดรูปตัววี, (ก) การดัดในอากาศ, (ข) สิ้นสุดการดัดในอากาศ, (ค) สิ้นสุดการดัดเกิน, (ง) ดัดไปข้างหน้าอีกครั้ง, (จ) แรงกับระยะเคลื่อนที่ของพั้นช์

5.2.1.1 ข้อกำหนดมาตรฐานของการตัดและการดัดโลหะแผ่น

ก) เสี้ยนหรือครีบ (Burr) ภายหลังจากการตัดโลหะแผ่นเสร็จสิ้นแล้ว จะต้องมีความยาวไม่เกิน 0.1 มม. สำหรับชิ้นงานที่จะต้องนำไปประกอบเข้ากับชิ้นงานอื่นๆ และไม่เกิน 0.2 มม. สำหรับชิ้นงานทั่วๆ ไป ที่ไม่จำเป็นต้องนำไปประกอบเข้ากับงานอื่น ตามรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 แสดงลักษณะเสี้ยนหรือครีบ (Burr) ของชิ้นงาน

ข) การเสียรูปหรือเป็นคลื่น จะเกิดขึ้นกับชิ้นงานภายหลังจากที่ทำการดัดขึ้นรูปตามขนาดต่างๆ

ค) รอยแตก (Crack) จะต้องไม่ปรากฏรอยแตก หรือรอยร้าวบนชิ้นงาน

ง) พิกัดความเผื่อของขนาดรูเจาะ (Hole tolerance) สำหรับการเจาะรูด้วยพั้นช์ จะมีพิกัดความเผื่อของขนาดรูเจาะทั่วๆไป (รูกลม, รูสี่เหลี่ยม) เท่ากับ - 0 มม. ถึง + 0.5 มม.

จ) พิกัดความเผื่อของตำแหน่งรูเจาะ (Hole position) สำหรับรูเจาะทั่วๆ ไป (รูกลม, รูสี่เหลี่ยม) ให้มีค่าพิกัดความเผื่อไม่เกิน 0.5 มม.

ฉ) พิกัดความเผื่อของความยาว (Length tolerance) กำหนดให้มีค่าพิกัดความเผื่อไม่เกิน ± 4.5 มม.

5.2.1.2 วิธีการตรวจสอบคุณภาพชิ้นส่วน

ก) การตรวจสอบลักษณะภายนอกของชิ้นส่วน

ข) การตรวจสอบโดยการวัดขนาด

5.2.2 การตรวจสอบชิ้นส่วนจากการเชื่อมประกอบ

การเชื่อมประกอบในกระบวนการผลิตรางสายไฟฟ้านั้น จะเป็นการนำชิ้นส่วนที่ผ่านการตัดและดัดขึ้นรูปจากกระบวนการผลิตก่อนหน้านี้ ชิ้นส่วนที่นำมาเชื่อมประกอบ ได้แก่ ชิ้นส่วนที่เป็นรางด้านข้างของรางสายไฟฟ้า กับส่วนที่เป็นขั้นบันได การเชื่อมจะเป็นการเชื่อมแบบอาร์คใช้ก๊าซคลุม CO_2

5.2.2.1 การเลือกสภาพการเชื่อม

(ก) กระแสเชื่อม

กระแสเชื่อมที่ใช้ในการเชื่อมจะมีผลกระทบอย่างมากกับการซึมลึกในแนวเชื่อม และอัตราการหลอมเหลวของลวดเชื่อม เมื่อเพิ่มขนาดกระแส การซึมลึกจะสูงขึ้น

(ข) อาร์คโวลเทจ

ถึงแม้ว่าขนาดโวลเทจจะเท่ากัน ปริมาณความร้อนที่ได้รับจากอาร์คจะขึ้นอยู่กับขนาดกระแส ความเร็วการเชื่อม ชนิดของลวด ก๊าซคลุม ชนิดขั้วกระแส ฯลฯ แต่อย่างไรก็ดี อาร์คโวลเทจต่ำมีผลทำให้รอยเชื่อมแคบ และอาร์คโวลเทจสูง มีผลทำให้รอยเชื่อมกว้างและราบ นอกจากนี้ยังมีสะเก็ดเชื่อมมาก โดยเฉพาะเมื่อเชื่อมด้วยกระแสสูงและใช้ก๊าซคลุม CO_2 อาร์คโวลเทจต่ำจะทำให้การซึมลึกน้อย แต่ไม่มีสะเก็ดเชื่อม และมักจะพบกับปัญหารอยเชื่อมนูนสูงเป็นก้อน ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดรอยร้าวขึ้น

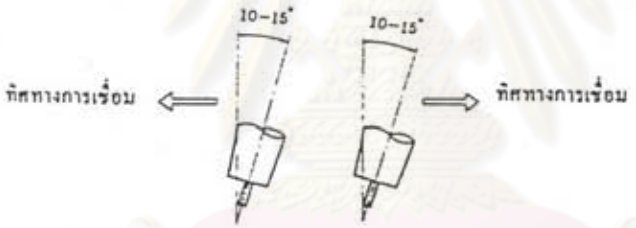
(ค) ความเร็วการเชื่อม

เพื่อเพิ่มความเร็วการเชื่อมสูงขึ้น การซึมลึกและความกว้างของรอยเชื่อมจะลดลง มีผลทำให้รอยเชื่อมแคบและนูน การเชื่อมด้วยความเร็วสูงมักจะประสบปัญหาเกิดรอย

กัดขอบขึ้น

(ง) มุมเอียงหัวเชื่อม

หัวเชื่อมในขณะเชื่อมตามปกติ นิยมเอียงหัวเชื่อมไปข้างหน้าเป็นมุมเอียงประมาณ 10 ถึง 20 องศา ดังแสดงในรูปที่ 5.12 การเอียงหัวเชื่อมเช่นนี้ รอยเชื่อมจะมีขนาดเล็ก มีผลกระทบจากก๊าซคลุมง่ายต่อการรักษาแนวเชื่อม ฯลฯ แต่รอยเชื่อมที่ได้จะซึมลึกน้อย และรอยเชื่อมจะราบและกว้าง ในทางตรงข้ามถ้าเอียงหัวเชื่อมกลับไปด้านหลัง (Backword angle) การซึมลึกจะสูง รอยเชื่อมจะมีลักษณะนูนโค้ง การเร่งความเร็วการเชื่อมทำได้ยาก ถ้าเอียงหัวเชื่อมไปข้างหน้าและเอียงกลับไปข้างหลังในแนวเชื่อมแนวเดียวกันแล้ว การซึมลึกของรอยเชื่อมที่เกิดขึ้นจากการเอียงหัวเชื่อมแตกต่างกัน จะมีขนาดไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้การหลอมละลายของโลหะรอยเชื่อมกับโลหะงานไม่สมบูรณ์ ในกรณีที่ต้องปฏิบัติเช่นนี้ ควรบังคับหัวเชื่อมตั้งตรงแทนการเอียงไปข้างหน้า หรือเอียงกลับไปข้างหลัง



(ก) มุมเอียงไปข้างหน้า (ข) มุมเอียงไปข้างหลัง

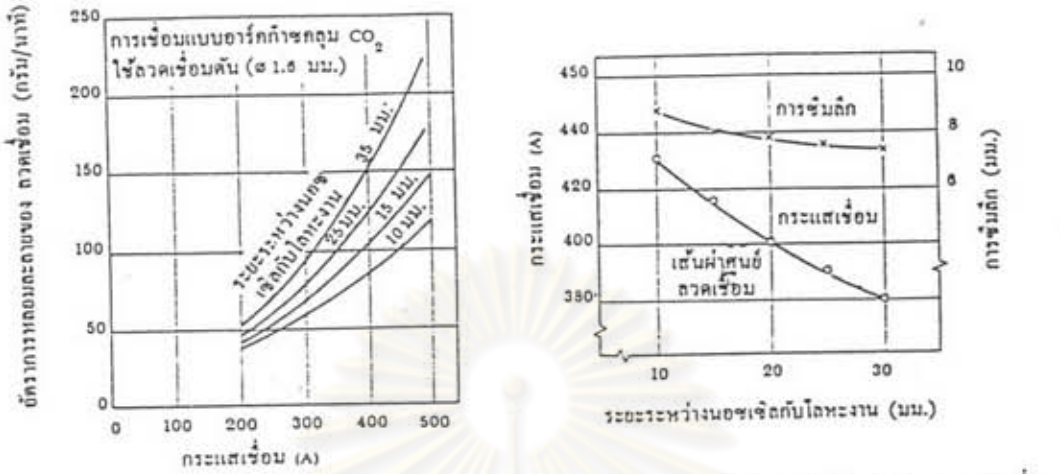
รูปที่ 5.12 แสดงมุมเอียงหัวเชื่อมและทิศทางการเชื่อม

(จ) ระยะระหว่างนอซเซิล (Nozzel) กับโลหะงาน

ในการปฏิบัติการเชื่อมจริงๆ นั้น หัวเชื่อมจะถูกบังคับให้ปลายลวดเชื่อมสัมผัสเบาๆ กับโลหะงานตลอดเวลาที่ทำการเชื่อม การเริ่มต้นอาร์คจะทำได้ง่าย ถ้าเริ่มต้นอาร์คโดยวิธีขีด (Scratch start) แต่อย่างไรก็ตามเพื่อให้อาร์คได้เรียบ ช่างเชื่อมจะต้องผ่านการฝึกหัดจนสามารถรักษาระยะห่างระหว่างนอซเซิลกับชิ้นงานได้ดังนี้

5.2.2.2 สภาพการเชื่อมมาตรฐาน

ในตารางที่ 5.16 แสดงผลกระทบต่างๆ ของการเชื่อมตามปัจจัยที่ใช้ในการเชื่อม ในตารางที่ 5.17 และ 5.18 แสดงตัวอย่างปัจจัยมาตรฐานของการเชื่อม



(ก) ระยะระหว่างนอซเซิลกับโลหะงาน และอัตราการหลอมเหลวของลวดเชื่อม

(ข) ระยะระหว่างนอซเซิลกับโลหะงาน vs กระแสเชื่อม และการซึมลึก

รูปที่ 5.13 แสดงระยะห่างระหว่างนอซเซิลกับโลหะงาน และกระแสเชื่อม และรูปแบบการซึมลึก

5.2.2.3 การตรวจสอบคุณภาพจากการเชื่อมประกอบ

(ก) การตรวจสอบก่อนการเชื่อม เริ่มตั้งแต่การตรวจสอบวัสดุที่จะนำไปเชื่อมประกอบ ซึ่งถ้าเป็นวัสดุที่เหมาะสมจะสามารถป้องกันตำหนิ ที่อาจเกิดขึ้นกับรอยเชื่อมได้ ตำหนิต่างๆ ที่สามารถตรวจพบด้วยสายตา ได้แก่ Scrab, Seam, Scale หรือสภาพผิวที่ไม่ดี ส่วนขนาดงานนั้นต้องอาศัยเครื่องมือวัดต่างๆ

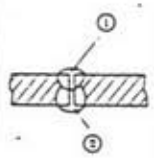
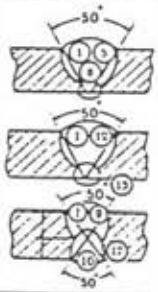
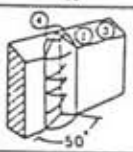
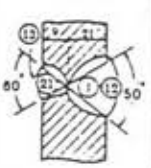
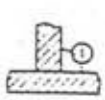
หลังจากที่นำชิ้นงานมาประกอบในตำแหน่งที่จะเชื่อม ผู้ตรวจสอบควรตรวจระยะเผื่อที่ก้นรอยเชื่อม (Root opening) การเตรียมขอบงาน (Edge preparation) และลักษณะอื่นๆ ที่อาจจะมีผลต่อคุณภาพของงานเชื่อม สรุปแล้วผู้ตรวจสอบควรจะตรวจสภาพต่างๆ ให้เป็นไปตามข้อกำหนด คือ การเตรียมรอยต่อ, ขนาด และการตกแต่ง, ระยะเผื่อของแผ่นประกับหลัง, การวางแนว และความพอดีของโลหะ, ความสะอาด

(ข) การตรวจสอบขณะเชื่อม จะประกอบด้วย ลำดับขั้นการเชื่อม, กระแสเชื่อม, แรงเคลื่อนการเชื่อม, ความเร็วเชื่อม, เทคนิคการเคลื่อนไหวลวดเชื่อมไฟฟ้า, การเชื่อมเดินแนว, ตำแหน่งที่อาร์คพุ่งจากปลายลวดเชื่อม, พื้นผิวรอยเชื่อมระหว่างชิ้นต่อชิ้น, การทำความสะอาดขี้ตะกรันของรอยเชื่อมระหว่างชิ้นต่อชิ้น, การเคาะขี้ตะกรันออก, อุณหภูมิของโลหะรอยเชื่อมชิ้นต่อชิ้น, การเลือกลวดเชื่อมไฟฟ้าหรือเส้นลวดเชื่อม

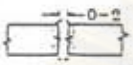
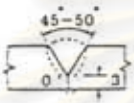
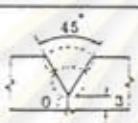
ตารางที่ 5.16 แสดงคุณลักษณะต่างๆ ซึ่งเป็นผลกระทบโดยปัจจัยการเชื่อม ของการเชื่อมแบบอาร์คใช้ก๊าซคลุม CO_2

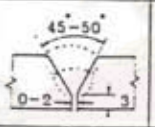
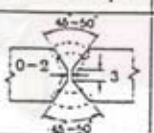
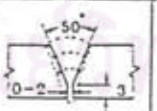
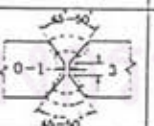
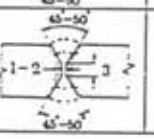
สภาวะการเชื่อม	คุณสมบัติเชิงกลของโลหะรอยเชื่อม	รูปร่างของรอยเชื่อม	ปรากฏการณ์อาร์ค
1. อาร์คไวสเทจย์ (ระยะอาร์ค)	ถ้าอาร์คไวสเทจย์สูง 1. ความเค้นแรงดึงและจุดคราก ลดลง 2. อำนาจการยืดตัวสูงขึ้น 3. เกิดรูพรุน	ถ้าอาร์คไวสเทจย์สูง 1. รอยเชื่อมกว้าง 2. การซึมลึกต่ำ 3. รอยเชื่อมแบนราบ ถ้าอาร์คไวสเทจย์ต่ำ 4. รอยเชื่อมนูน	ถ้าไวสเทจย์สูง 1. อาร์คได้ยาว 2. สะเก็ดเชื่อมเป็นเม็ดใหญ่
2. กระแสเชื่อม		ถ้ากระแสเชื่อมต่ำ 1. รอยเชื่อมกว้าง 2. การซึมลึกสูง 3. รอยเชื่อมนูน	ถ้ากระแสเชื่อมสูง 1. สะเก็ดเชื่อมเป็นเม็ดเล็ก
1. ความเร็วเชื่อม	ถ้าความเร็วเชื่อมสูง 1. ความเค้นแรงดึงและจุดครากเพิ่มขึ้น 2. อำนาจการยืดตัวลดลง	ถ้าความเร็วเชื่อมสูง 1. รอยเชื่อมแคบ 2. การซึมลึกต่ำ 3. รอยเชื่อมแบนราบ	
4. อัตราการไหลของแก๊ส	ถ้าอัตราต่ำ 1. เกิดรูพรุนและคุณสมบัติเชิงกลลดลง		ถ้าอัตราต่ำ 1. แอ่งโลหะหลอมเหลวจะอาร์คคล้ายกับเดือดและมีเสียงแตกล่างจากปกติ
5. มุมเอียงหัวเชื่อม	1. ถ้าลวดเชื่อมยื่นออกมาในทิศทางกลับกันกับทิศทาง การเชื่อมผลกระทบของก๊าซคลุมลดลง มักเป็นสาเหตุทำให้เกิดรูพรุน	1. ถ้าลวดเชื่อมยื่นออกมาในทิศทางการเชื่อม (เอียงไปข้างหน้า) รอยเชื่อมจะกว้างและแบนราบ 2. ถ้าเอียงหัวเชื่อมกลับกัน การซึมลึกของรอยต่อร่องฉากจะผันแปรไปตามร่องซึ่งมีผลทำให้การซึมลึกไม่สมบูรณ์	1. ถ้าลวดเชื่อมยื่นออกในทิศทางการเชื่อม สะเก็ดเชื่อมจะลดลง
6. ระยะระหว่างนอซเซิลกับโลหะงาน	1. ถ้าระยะห่างมากขึ้นผลที่ได้จากแก๊สคลุมจะลดลง จึงเกิดรูพรุนขึ้น	ถ้าระยะห่างสั้นลง 1. การซึมลึกสูง 2. รอยเชื่อมนูนสูง 3. รอยเชื่อมแคบถ้าระยะห่างยาวขึ้น ห่างยาวขึ้น 1. ลวดเชื่อมจะแกว่ง และรอยเชื่อมจะมีลักษณะเลวลง	1. ถ้าระยะห่างมากขึ้น สะเก็ดเชื่อมจะมีมากขึ้น 2. ถ้าระยะห่างน้อยลง สะเก็ดเชื่อมจะเกาะติดอยู่กับนอซ-เซิล เป็นสาเหตุทำให้สิ้นเปลืองมากขึ้น เปลืองมากขึ้น
7. แนวเชื่อมเอียง		เชื่อมลง 1. การซึมลึกจะน้อย 2. รอยเชื่อมจะกว้าง 3. รอยเชื่อมแบนราบ 4. หน้ารอยเชื่อมสูง	เชื่อมลง 1. อาร์คจะเรียบและคงที่
8. การเคลื่อนไหวลวดเชื่อม	1. ส่ายเป็นแนวกว้างเป็นสาเหตุทำให้เกิดรูพรุน		

ตารางที่ 5.17 แสดงปัจจัยการเชื่อมมาตรฐานของการเชื่อมแบบอาร์คใช้ก๊าซคลุม CO_2

รูปร่างของร่องรอยต่อ	ความหนาแผ่นโลหะหรือความยาวของรอยเชื่อม (มม.)	ระยะเปิดของราก (มม.)	ø ลวดเชื่อม (มม.)	กระแสเชื่อม (แอมป์)	อาร์คโวลเทจย์ (โวลต์)	ความเร็วเชื่อม (ซม./นาที)	หมายเหตุ
 Flat	6	1-2	1.2	① 330-360 ② 330-360	32-33 32-33	55-60 55-60	ร่องฉากไม่เกาะขี้ละกรันด้านหลัง
	8	1-2	1.6	① 370-380 ② " - "	32-33 " - "	47-53 " - "	
	10	1-2	1.6	① 390-400 ② " - "	33-34 " - "	47-53 " - "	
	12	1-2	1.6	① 430-450 ② " - "	33-35 " - "	47-53 " - "	
	16	0	1.6	① 200-240 ③ 280-320 ④ " - "	22-24 30-33 " - "	40-45 35-40 " - "	รอยเชื่อมบนรอยต่อชนแนวราบ, เกาะขี้ละกรันหลังการเชื่อมทับหลังแนวเชื่อม
	25	0	1.6	① 240-280 ③-⑫ 300-340	26-28 31-35	40-45 35-40	
	30	0	1.6	①-⑰ 300-340	31-35	35-40	
	20	0	1.2	① 150-190 ② " - " ③ " - " ④ " - "	24-26 " - " " - " " - "	15-20 8-12 4-8 15-20	รอยเชื่อมบนรอยต่อชนแนวตั้ง, เกาะขี้ละกรันหลังการเชื่อมทับหลังแนวเชื่อม
	30	0	1.2	① 190 ②-④ 210-230 ⑤-⑨ 220-250 ⑩-⑫ 210-230 ⑬-⑰ 220-250 ⑥-⑨ 210-230	27 26-28 " - " " - " " - " " - "	27 25-35 30-40 35-40 30-40 20-30	
	4.0	0	1.2	① 180-200	27-29	39-43	รอยเชื่อมฟิลเลทแนวขนานนอน รอยเชื่อมชั้นเดียว
	6.0	0	1.6	① 230-250	30-32	32-36	
	9.0	0	1.6	① 310-330	31-33	30-34	
	16	0	1.6	① 310-330 ② " - " ③ " - " ④ " - " ⑤ " - " ⑥ " - "	31-33 " - " " - " " - " " - " " - "	50-55 40-45 45-50 43-48 48-53 " - "	รอยเชื่อมฟิลเลทแนวขนานนอน รอยเชื่อมหลายชั้น

ตารางที่ 5.18 แสดงปัจจัยการเชื่อมมาตรฐานของการเชื่อมแบบอาร์คใช้ก๊าซคลุม CO_2 ลวดเชื่อมแกนบรรจุฟลักซ์ระบบกึ่งอัตโนมัติ

โลหะงาน		จำนวนชั้น		กระแสเชื่อม (แอมป์)	อาร์คโวลเทจย์ (โวลต์)	ความเร็วเชื่อม (ซม./นาที)
ความหนาแผ่นโลหะ	รูปร่างของรอยต่อ					
6		1		300 – 330	22 – 24	30 – 33
9		2	F 1	400 – 450	24 – 26	28 – 30
			B 1	450 – 500	24 – 27	25 – 28
12		2	F 1	450 – 500	24 – 28	22 – 25
			B 1	450 – 500	24 – 28	28 – 30
19		3	F 2	500 – 550	26 – 29	23 – 25
			B 1	450 – 500	24 – 28	28 – 30

โลหะงาน		จำนวนชั้น		กระแสเชื่อม (แอมป์)	อาร์คโวลเทจ (โวลต์)	ความเร็วเชื่อม (ซม./นาที)
ความหนาแผ่นโลหะ	รูปร่างของรอยต่อ					
22		3	F 2	480 – 530	25 – 28	23 – 24
			F 1	450 – 500	24 – 28	28 – 30
22		4	F 2	450 – 500	24 – 28	24 – 26
			B 2	500 – 550	26 – 29	25 – 27
25		4	F 3	480 – 530	25 – 28	24 – 26
			B 1	450 – 500	24 – 28	28 – 30
25		4	F 2	480 – 530	25 – 28	23 – 25
			B 2	500 – 550	26 – 29	24 – 26
30		4	F 2	480 – 530	25 – 28	22 – 24
			B 2	500 – 550	26 – 29	23 – 25

ผู้ตรวจสอบควรมีความคุ้นเคยกับรายละเอียด และสิ่งต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิธีเชื่อม และข้อกำหนดต่างๆ ของงานเชื่อม ซึ่งต้องตรวจสอบอย่างระมัดระวัง โดยเฉพาะก่อนหรือขณะทำการผลิต

(ค) การตรวจสอบหลังการเชื่อม ประกอบด้วย ความถูกต้องของขนาดเชื่อม, ความถูกต้องตามแบบ รวมทั้งการคำนวณ ขนาด และรูปร่างของแนวเชื่อม, ตรวจสอบลักษณะรอยเชื่อมว่ามีผิวหยาบแค่ไหน มีเม็ดโลหะกระเด็นมากน้อยแค่ไหน จะยอมรับได้หรือไม่, ตรวจสอบรอยร้าว (Crack), การเหลื่อมล้ำของแนวเชื่อม (Overlap , Undercut, Unfilled crater และ Pock mark), อุณหภูมิ และเวลาในการให้ความร้อนอบชุบหลังเชื่อม

ความถูกต้องของขนาด และรูปร่างรอยเชื่อม สามารถตรวจสอบโดยใช้เกจวัดงานเชื่อม (Weld gage) ขนาดของ Fillet weld มักจะกำหนดเป็นความยาวของ Leg ของรอยเชื่อม เมื่อใช้เกจวัดดังกล่าว จะสามารถตรวจสอบได้ว่า รอยเชื่อมมี Leg ยาวหรือสั้นเกินไปหรือไม่ และเว้าหรือนูนเกินไปหรือไม่

ตำหนิที่เกิดขึ้นในรอยเชื่อมที่ถือว่ามีผลต่อการใช้งานได้แก่

1. รอยร้าว (Crack)
2. Undercut
3. ความเหลื่อมล้ำของรอยเชื่อม (Overlap)
4. ความไม่สม่ำเสมอของแนวเชื่อม
5. รอยเชื่อมผิดขนาด

การตรวจสอบตำหนิเหล่านี้ จะต้องทำความสะอาดรอยเชื่อม เพื่อกำจัดออกไซด์และสแล็ก แต่ขณะทำความสะอาดจะต้องระวัง เช่น การใช้ฆ้อนเคาะเพื่อกำจัดสแล็กอาจจะทำให้เกิดรอยร้าวเล็กๆ ขึ้นมาได้ การพ่นด้วยลูกเหล็ก (Shot blasting) หรือขัดด้วยแปรงลวด อาจทำให้เนื้อวัสดุ หรือรอยเชื่อมที่ค่อนข้างอ่อนเสียรูป และปิดตำแหน่งที่มีอยู่จนตรวจสอบไม่พบ

5.3 การตรวจสอบขั้นสุดท้าย (Final inspection)

สำหรับการตรวจสอบในขั้นสุดท้ายนี้ จะเป็นการตรวจสอบรางสายไฟฟ้าที่ผลิตสำเร็จแล้ว โดยการตรวจสอบนั้น จะนำข้อกำหนดมาตรฐานรางสายไฟฟ้าของ NEMA VE 1-1991 มาใช้อ้างอิง ซึ่งข้อกำหนดมาตรฐานจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ได้แก่

1. มาตรฐานในการผลิต

2. มาตรฐานการใช้งาน และการกำหนดระดับชั้น

3. มาตรฐานในการทดสอบ

5.3.1 มาตรฐานในการผลิต (Manufacturing standards)

5.3.1.1 วัสดุ (Materials)

วัสดุที่ใช้ทำรางสายไฟฟ้า ควรทำมาจากวัสดุที่ต้านทานการกัดกร่อน หรือเหล็ก ที่มีการชุบสังกะสีภายหลังจากที่ผลิตรางสายไฟฟ้าสำเร็จแล้ว แต่ถ้านำวัสดุจำพวกอลูมิเนียม หรือสเตนเลส มาใช้ทำรางสายไฟฟ้า ก็ไม่จำเป็นที่จะต้องชุบผิวอีก เพราะวัสดุเหล่านี้มีคุณสมบัติในการต้านทานการกัดกร่อนเป็นอย่างดี

5.3.1.2 รางสายไฟฟ้าที่ผลิตสำเร็จแล้ว (Finishes)

ก. รางสายไฟฟ้าที่ทำมาจากเหล็กกล้าคาร์บอน หากนำมาใช้ในการผลิตรางสายไฟฟ้าแล้ว ควรที่จะต้องมีการชุบสังสะสีเพื่อป้องกันการกัดกร่อน ด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้

1. การชุบสังกะสีบนแผ่นเหล็ก ก่อนนำมาผลิตรางสายไฟฟ้า (Hot-dip mill galvanized) จะเป็นการชุบสังกะสีบนแผ่นเหล็ก ตามมาตรฐาน ASTM No.A525 G90 ซึ่งตามมาตรฐานนี้ จะกำหนดให้มี ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักของสังกะสีที่ชุบคือ 1.25 ออนซ์ต่อตารางฟุต (0.381 กิโลกรัมต่อ ตารางเมตร) ของเหล็กแผ่นทั้งสองหน้า (ความหนาของสังกะสีเฉลี่ยในแต่ละด้านประมาณ 1.06 มิลลิเมตร)

2. การชุบสังกะสีภายหลังจากที่ผลิตรางสายไฟเสร็จสิ้นแล้ว (Hot-dip galvanized) จะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM No.A123.Class B2 ตามมาตรฐานนี้จะกำหนดให้มี ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักของสังกะสีที่ชุบคือ 1.50 ออนซ์ต่อตารางฟุต (0.46 กิโลกรัมต่อตารางเมตร) ความหนาที่ได้ในแต่ละด้านจะเท่ากับ 2.55 มิลลิเมตร

3. การชุบโดยวิธีอื่นที่สามารถให้ผลเท่าเทียมกัน

ข. นัตและสกรูที่ทำมาจากโลหะ จะต้องมีการป้องกันการกัดกร่อนด้วยกระบวนการอย่างใดอย่างหนึ่ง ตามมาตรฐานดังนี้คือ

1. ASTM No. B633
2. ASTM No. B766
3. ด้วยกระบวนการอื่นที่สามารถให้ผลเท่าเทียมกัน

ค. ในกรณีที่รางสายไฟฟ้า จำเป็นที่จะต้องนำไปติดตั้ง ในบริเวณที่มีการกัดกร่อนสูง เช่น ในสภาพที่มีกรด (Alkaline and acidic) จะต้องมีการป้องกันการกัดกร่อนให้สูงขึ้นไปอีก ด้วยวิธีดังต่อไปนี้

1. การชุบเคลือบผิวด้วยพีวีซี (Polyvinylchloride) โดยกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized bed) หรือกระบวนการอิเลคโตรสเตติกส์สปรย์(Electrostatic spray) ความหนาของพีวีซีควรจะอยู่ในช่วง 15 ± 5 มิลลิเมตร

การชุบด้วยวิธีนี้ ปกติแล้วจะใช้กับรางสายไฟฟ้าที่ผลิตมาจากเหล็กและอลูมิเนียมเท่านั้น ไม่แนะนำให้ใช้กับเหล็กชุบสังกะสี เพราะผิวเหล็กที่ชุบสังกะสีจะหยาบและจะเกิดแก๊สพิษขึ้นในขณะชุบ ซึ่งจะก่อให้เกิดอันตรายได้

2. การชุบด้วยวิธีการอื่นที่สามารถให้ผลได้เท่าเทียมกัน

5.3.1.3 มาตรฐานด้านมิติ (Dimensions)

โดยทั่วๆไป ค่าบวกลบทางด้านมิติที่กำหนดให้ดังต่อไปนี้ เป็นขนาดปกติสำหรับในการออกแบบรางสายไฟฟ้า และไม่ใช่เป็นตัวแสดงถึงพิกัดความเผื่อ ในกระบวนการผลิตรางสายไฟฟ้า

1. ความยาวเหยียดตรง (Lengths of straight sections) กำหนดให้ 12 ฟุต ± 3/16 นิ้ว (3660 ± 4.76 มิลลิเมตร) และ 24 ฟุต ± 5/16 นิ้ว (7320 ± 7.94 มิลลิเมตร) ไม่รวมข้อต่อที่นำมาติด

2. ความกว้างใน (Widths) กำหนดให้ 6, 12, 18, 24, 30 และ 36 นิ้ว ± 1/4 นิ้ว (152, 305, 457, 610, 762 และ 914 มิลลิเมตร ± 6.35 มิลลิเมตร)

ความกว้างเมื่อวัดรวมทั้งหมด จะต้องไม่เกินกว่าความกว้างใน 4 นิ้ว (102 มิลลิเมตร)

3. ความลึกใน (Depths) กำหนดให้ 3, 4, 5 และ 6 นิ้ว ± 3/8 นิ้ว (76.2, 102, 127.0 และ 152 มิลลิเมตร ± 9.53 มิลลิเมตร)

ความลึกนอกจะต้องไม่เกินกว่าความลึกใน 5/4 นิ้ว (31.7 มิลลิเมตร)

4. ช่องว่างระหว่างขั้นบันได (Rung spacing on straight section) กำหนดให้ 6, 9, 12 หรือ 18 นิ้ว (152, 229, 305 หรือ 457 มิลลิเมตร) วัดจากศูนย์กลาง

5. รัศมีความโค้ง (Radii) กำหนดให้ 12, 24 และ 36 นิ้ว (305,610 และ 914 มิลลิเมตร)

6. มุมของส่วนโค้ง (Degree of arc for elbows) กำหนดให้ 30, 45, 60 และ 90 องศา

5.3.1.4 การป้องกันฉนวนของสายไฟฟ้า (Protection fo Cable Insulation)

ภายในรางสายไฟฟ้า จะต้องไม่มีรอยคม เสี้ยนที่เกิดจากการตัดโลหะ, ครีบโลหะ (Burr) หรือสิ่งมีคมอื่นใด ที่สามารถที่จะทำลายฉนวนที่หุ้มห่อสายไฟฟ้าอยู่

5.3.1.5 ฟิตติ้ง (Fittings)

การออกแบบและโครงสร้างของฟิตติ้ง ควรอยู่บนพื้นฐานของสมมติฐานที่มันสามารถรองรับได้ตามที่ได้แนะนำไว้ในมาตรฐาน สำหรับตำแหน่งจุดรองรับ

5.3.1.6 การทำเครื่องหมายบนรางสายไฟฟ้า เมื่อมันถูกนำมาใช้สำหรับต่อลงดิน (Marking of Trays When Used as Equipment Grounding Conductor)

รางสายไฟฟ้าที่ทำมาจากเหล็กหรืออลูมิเนียม หากนำมันมาใช้เป็นตัวนำเพื่อต่อลงดินแล้ว ที่บริเวณตัวรางสายไฟฟ้าและตัวฟิตติ้งนั้น จะต้องทำเครื่องหมายเพื่อแสดงขนาดพื้นที่หน้าตัดที่ต่ำที่สุดตาม Article 318 (National Electrical Code)

5.3.2 มาตรฐานการทำงาน และการกำหนดระดับชั้น (Performance standard and class designations)

ก. ความจุของน้ำหนักที่รับได้ (Working Load Capacity)

น้ำหนักที่อยู่บนรางสายไฟฟ้านั้น ก็คือสายไฟฟ้าซึ่งถือเป็นภาระสถิตย์ หากต้องการที่จะรู้ความจุของของน้ำหนักที่รับได้บนรางสายไฟฟ้านั้น จะหาได้จากการทำการทดสอบตามหัวข้อที่ 5.3.3 ค่าที่ได้ออกมาจะต้องเผื่อค่าความปลอดภัย โดยกำหนดให้ค่าความปลอดภัยเท่ากับ 1.5 (นำ 1.5 ไปหารค่าที่ได้จากการทดสอบ)

ข. การกำหนดระดับชั้น น้ำหนัก/ช่วงห่าง (Load/Span Class Designations)

กำหนดให้น้ำหนักของสายไฟฟ้า ที่กดลงมาบนรางสายไฟฟ้ามี 3 ช่วงดังนี้

1. 50 ปอนด์/ฟุต (74.4 กิโลกรัม/เมตร) ใช้อักษร A
2. 75 ปอนด์/ฟุต (111.6 กิโลกรัม/เมตร) ใช้อักษร B
3. 100 ปอนด์/ฟุต (148.8 กิโลกรัม/เมตร) ใช้อักษร C

และกำหนดให้ช่วงห่างระหว่างจุดรองรับ ของรางสายไฟฟ้าเป็น 4 ช่วงดังนี้

1. 8 ฟุต (2.44 เมตร)
2. 12 ฟุต (3.66 เมตร)
3. 16 ฟุต (4.87 เมตร)

4. 20 ฟุต (6.09 เมตร)

จากค่าที่กำหนดมาเหล่านี้ การกำหนดระดับชั้น น้ำหนัก/ช่วงห่าง สามารถหาได้จากตารางที่ 5.19

ตารางที่ 5.19 การกำหนดระดับชั้น น้ำหนัก/ช่วงห่าง

น้ำหนักที่กด		ช่วงห่างระหว่างจุดรองรับ		การกำหนดระดับชั้น
ปอนด์/ฟุต	(กิโลกรัม/เมตร)	ฟุต	(เมตร)	
50	(74.4)	8	(2.44)	8 A
75	(111.6)	8	(2.44)	8 B
100	(148.8)	8	(2.44)	8 C
50	(74.4)	12	(3.66)	12 A
75	(111.6)	12	(3.66)	12 B
100	(148.8)	12	(3.66)	12 C
50	(74.4)	16	(4.87)	16 A
75	(111.6)	16	(4.87)	16 B
100	(148.8)	16	(4.87)	16 C
50	(74.4)	20	(6.09)	20 A
75	(111.6)	20	(6.09)	20 B
100	(148.8)	20	(6.09)	20 C

5.3.3 มาตรฐานการทดสอบ (Test standards)

ก. การทดสอบน้ำหนักทำลาย (Destruction Load Test)

1. ชิ้นงานทดสอบ (Test Specimen)

สำหรับในการออกแบบรางสายไฟฟ้าในแต่ละครั้ง จะใช้ชิ้นงานทดสอบจำนวน 2 ชิ้นแยกจากกัน โดยจะนำชิ้นงานที่มีความกว้างมากที่สุด มาทำการทดสอบ

สำหรับรางสายไฟฟ้าแบบขั้นบันได (Cable ladder) จะต้องมีช่องว่างระหว่างขั้นบันได เท่ากับ 12 นิ้ว วัดจากศูนย์กลาง มาใช้ในการทดสอบ

2. ชนิดและระยะช่วงห่าง (Type and Length of Span)

ในการทดสอบช่วงห่าง (Span) ควรจะใช้คานตรงแบบง่ายๆ ซึ่งปลายทั้ง

สองข้างของคาน ต้องเป็นปลายอิสระ และส่วนด้านข้างของรางสายไฟฟ้า จะต้องไม่ถูกยึดไว้ โดยมีข้อกำหนดของระยะระหว่างช่วงห่างที่มีพิกัดความเผื่อ ± 3/2 นิ้ว (38.1 มิลลิเมตร)

3. ลักษณะของชิ้นงานทดสอบ (Orientation of specimens)

ชิ้นงานทดสอบจะถูกทดสอบตามแนวนอน (Horizontal position) ความยาวทั้งหมดของชิ้นงานทดสอบ จะต้องไม่เกินข้อกำหนดของระยะระหว่างช่วงห่างเท่ากับ 20% ในกรณีถ้ายึดแบบแขวน ก็ให้คิดเหมือนกัน

4. จุดรองรับ (Supports)

ที่ปลายแต่ละข้างของชิ้นงานทดสอบ จะต้องรองรับด้วยคานเหล็กกว้าง 9/8 นิ้ว (28.6 มิลลิเมตร) สูง 3/4 นิ้ว (19 มิลลิเมตร) และมีร่องตัววีที่ด้านล่าง ทำมุม 120 องศา ลึก 3/16 นิ้ว (4.76 มิลลิเมตร) ร่องตัววีนี้จะวางอยู่บนเพลาเหล็กกลมขนาด 1 นิ้ว (25.4 มิลลิเมตร) ซึ่งเพลานี้จะถูกเชื่อมเป็นแนวยาว 12 นิ้ว (305 มิลลิเมตร) บนศูนย์กลางฐานเหล็กที่มั่นคง หรือจะให้ชิ้นงานทดสอบ รองรับโดยตรงกับเพลาเหล็กกลมขนาด 5/2 นิ้ว (63.5 มิลลิเมตร) หรือเป็นท่อที่มีผนังหนาแข็งแรงมาก และเชื่อมอยู่บนฐานเหล็กที่มั่นคง

5. วัสดุที่ใช้เป็นน้ำหนักทดสอบ (Loading material)

วัสดุที่ใช้เป็นน้ำหนักทดสอบ อาจเป็นเหล็กเส้น, แท่งตะกั่ว หรือวัสดุอื่นๆ ถ้าเป็นเหล็กเส้น ควรจะใช้เหล็กเส้นกลม หรือเหล็กแบนที่ไม่มีเสี้ยนที่ขอบ โดยใช้ความหนาสูงสุดเท่ากับ 1/8 นิ้ว (3.18 มิลลิเมตร) ความกว้างอยู่ระหว่าง 9/8 นิ้ว (2.86 มิลลิเมตร) ถึง 2 นิ้ว (5.08 มิลลิเมตร) ความยาวสูงสุดที่ใช้เท่ากับ 4 ฟุต (1220 มิลลิเมตร)

สำหรับการใช้แท่งตะกั่วจำนวน 5 แท่ง จะมีน้ำหนักในแต่ละแท่งประมาณ 5 ปอนด์ (2.26 กิโลกรัม) โดยนำมาต่อเข้าด้วยกัน จะได้ความยาวประมาณ 22 นิ้ว (559 มิลลิเมตร) โดยที่แท่งตะกั่วแต่ละแท่ง จะมีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปหกเหลี่ยม ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3 นิ้ว (76.2 มิลลิเมตร) และลึกประมาณ 3/2 นิ้ว (38.1 มิลลิเมตร)

สำหรับวัสดุอื่นๆ ที่ใช้เป็นน้ำหนักทดสอบ จะต้องมีน้ำหนักสูงสุดเท่ากับ 10 ปอนด์ (4.53 กิโลกรัม) ความกว้างมากที่สุดเท่ากับ 5 นิ้ว (127 มิลลิเมตร) และความยาวมากที่สุดเท่ากับ 12 นิ้ว (305 มิลลิเมตร)

6. การรับน้ำหนัก (Loading)

ชิ้นงานทดสอบทั้งหมด จะต้องได้รับน้ำหนักจนกระทั่งถูกทำลาย โดยที่น้ำหนักที่ใช้ทดสอบ จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างน้อย 10 ครั้ง

การกระจายของน้ำหนักที่ลงไปนั้น จะไม่ต่อเนื่องตลอดความยาว และ

ความกว้างของชิ้นงานทดสอบ ยกเว้นในกรณีที่ วัสดุที่ใช้เป็นน้ำหนักทดสอบ อยู่ห่างจากรางด้านข้างอย่างน้อย 1/2 นิ้ว (12.7 มิลลิเมตร) แต่ไม่เกิน 1 นิ้ว (25.4 มิลลิเมตร) วัดจากส่วนที่อยู่ในสุดของด้านข้าง และในระหว่างกองของวัสดุที่ใช้เป็นน้ำหนักทดสอบ ควรจะเรียงให้ห่างกันอย่างน้อย 3/8 นิ้ว (9.53 มิลลิเมตร) เพื่อป้องกันไม่ให้วัสดุวางขวางกัน วัสดุที่ใช้เป็นน้ำหนักทดสอบทั้งหมด จะต้องวางอยู่ในตำแหน่งระหว่างจุดรองรับ โดยที่ไม่มีการห้อยหรือแขวน

สำหรับน้ำหนักทดสอบในรางสายไฟฟ้าแบบขั้นบันได จะอนุญาตให้มีการปิดส่วนล่างของรางสายไฟฟ้า ในระหว่างจุดรองรับ โดยใช้แผ่นเหล็กเบอร์ 9 (3.8 มิลลิเมตร) ที่มีความยาวไม่เกิน 3 ฟุต (910 มิลลิเมตร) และมีรูเจาะสายไฟขนาด 3/4 นิ้ว (19.0 มิลลิเมตร), หรือใช้แผ่นเหล็กเบอร์ 16 (1.5 มิลลิเมตร) ที่มีความยาวไม่เกิน 3 ฟุต (910 มิลลิเมตร) และจะต้องไม่ยึดติดแน่นกับรางสายไฟฟ้า และจะต้องอยู่ห่างจากด้านข้างของรางสายไฟฟ้าอย่างน้อย 1/2 นิ้ว (12.7 มิลลิเมตร) ความยาวระยะ 3 ฟุต (910 มิลลิเมตร) จะต้องไม่เกยกัน น้ำหนักของแผ่นเหล็กและวัสดุอื่นที่เพิ่มขึ้นมานี้ จะต้องคิดเพิ่มเข้าไปในน้ำหนักทั้งหมด ของวัสดุที่ใช้เป็นน้ำหนักทดสอบ

7. ความสามารถที่จะรับน้ำหนักทำลาย (Destruction load capacity)

น้ำหนักทั้งหมดของวัสดุที่ใช้เป็นน้ำหนักทดสอบ บนรางสายไฟฟ้าในขณะที่รางสายไฟฟ้าถูกทำลาย จะพิจารณาให้เป็น ความสามารถที่จะรับน้ำหนักทำลายของรางสายไฟฟ้า

8. Interpolation and Extrapolation of Test Data

เมื่อน้ำหนักที่ยอมรับได้ และข้อมูลการเอียง จะได้มาจากการทดสอบการรับน้ำหนัก และค่าสำหรับระยะช่วงห่าง (Span) จะไม่ถูกทดสอบแต่จะหามาจากการ Interpolation จากส่วนโค้ง ซึ่งมีพื้นฐานมาจากค่าที่น้อยที่สุด 3 ค่าจากการทดสอบระยะช่วงห่าง Extrapolation จะเป็นการหาระยะช่วงห่างที่สั้นกว่าที่ยอมรับได้ แต่ไม่ได้ใช้สำหรับการหาระยะช่วงห่างที่ยาวขึ้นกว่าความยาวมากที่สุดในการทดสอบ

ข. การทดสอบการเอียง (Deflection test)

ความเอียงตามแนวดิ่งของรางสายไฟฟ้า จะวัดจากจุดสองจุดตามแนวเส้นดิ่งกึ่งกลางระหว่างจุดรองรับ และมุมฉากของแกนตามแนวยาวของรางสายไฟฟ้า ในการวัดจุดทั้งสอง จะวัดที่ตำแหน่งกึ่งกลางของช่วงห่างที่ด้านข้าง ในแต่ละด้านของรางสายไฟฟ้า

ค่าเฉลี่ยของค่าอ่านได้จากจุดสองจุดนี้ จะพิจารณาให้เป็น ทิศทางเอียงตามแนวดิ่งของรางสายไฟฟ้า

ค. ความต่อเนื่องทางไฟฟ้าของข้อต่อ (Electrical continuity of connection)

1. ชิ้นงานทดสอบ (Test specimen)

ชิ้นงานทดสอบในแต่ละชิ้น จะต้องมีความยาวด้านข้างของรางสายไฟฟ้าเท่ากับ 24 นิ้ว (610 มิลลิเมตร)

2. ขั้นตอนในการทดสอบความต้านทาน (Resistance test procedure)

ชิ้นงานทดสอบในแต่ละชิ้น จะถูกต่อเข้าด้วยกันโดยการต่อเชิงกล และให้ทำตามคำแนะนำของผู้ผลิต

ให้จ่ายกระแสไฟฟ้าจำนวน 30 แอมป์ ผ่านเข้าไปยังชิ้นงานทดสอบ และให้วัดค่าความต้านทานระหว่างจุดสองจุด ห่างกัน 6 นิ้ว (152 มิลลิเมตร) ในแต่ละข้างของข้อต่อ ความต้านทานสุทธิของข้อต่อ จะต้องไม่เกิน 0.00033 โอห์ม เช่นเดียวกับการคำนวณจากการวัดแรงดันตกคร่อม และกระแสที่ไหลผ่านไปยังชิ้นงานทดสอบ

5.4 การวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการผลิต

สำหรับการวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการผลิตของโรงงานตัวอย่าง จะทำการวิเคราะห์ที่ผลิตภัณฑ์รางสายไฟฟ้า ซึ่งมีการผลิตคราวละจำนวนมากๆ และจะต้องพิจารณาถึงลักษณะคุณภาพที่ต้องตัดสินใจ ข้อมูลต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์จะต้องเป็นข้อมูลที่ได้จากกระบวนการผลิตที่มีสภาพค่อนข้างคงที่ เครื่องมือที่ช่วยในการวิเคราห์สมรรถภาพกระบวนการผลิต จะใช้ฮิสโตแกรม โดยจะทำการวิเคราะห์ชิ้นส่วนของรางสายไฟฟ้าด้านข้าง (Rail)

การวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการผลิต ของชิ้นส่วนรางสายไฟด้านข้าง (Rail) โดยจะวิเคราะห์ชิ้นส่วนที่เป็นเหล็กแผ่นภายหลังจากตัดตามขนาดก่อนจะนำมาพับขึ้นรูป โดยลักษณะทางคุณภาพที่จะทำการวิเคราะห์จะเป็นความกว้างของเหล็กแผ่น ซึ่งขนาดความกว้างที่ได้ในส่วนนี้ จะมีผลต่อค่าพิกัดความเผื่อของความลึกใน (Inside depth) ของรางสายไฟฟ้าด้านข้าง จะทำเลือกจากรุ่นของรางสายไฟฟ้าที่มีขนาด 100 X 20 มม. และใช้ขนาดของเหล็กแผ่นที่ตัดเสร็จก่อนจะนำมาพับขึ้นรูปจะมีค่าเท่ากับ 175 ± 4.5 มม. ดังแสดงในตารางที่ 5.20

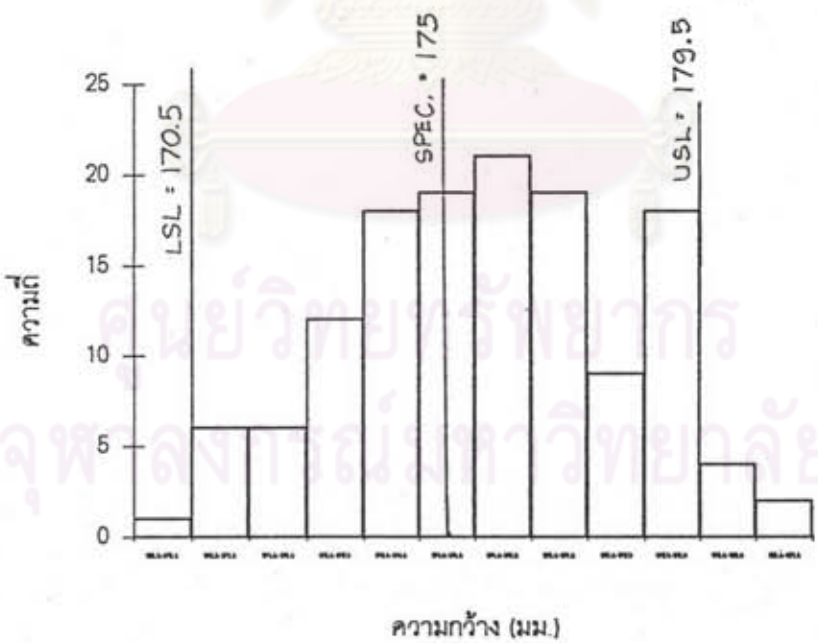
ตารางที่ 5.20 ความกว้างเหล็กแผ่นหลังจากตัดตามขนาดชิ้นส่วนรางสายไฟฟ้าด้านข้าง (Rail)

กลุ่มที่	ค่าวัด (มม.)				
	1	2	3	4	5
1	177	177	171	177	180
2	172	174	174	176	175
3	177	173	174	175	176
4	175	175	177	173	180
5	175	176	172	174	171
6	175	176	179	179	179
7	179	178	177	173	179
8	177	172	179	174	175
9	174	179	179	176	176
10	177	171	179	172	175
11	177	173	175	174	174
12	174	175	179	180	179
13	175	177	178	179	176
14	175	173	178	178	177
15	174	175	176	176	174
16	178	177	174	179	177
17	177	175	180	171	174
18	176	175	176	178	176
19	181	174	178	175	172
20	173	173	173	173	174
21	178	171	179	173	176
22	176	174	170	176	176
23	175	176	173	176	179
24	179	174	171	174	177
25	181	175	175	176	177
26	173	177	179	179	178
27	177	172	176	177	176

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.21 ตารางแจกแจงความถี่ของข้อมูลในตารางที่ 5.20

ชั้น	ขอบเขตชั้น	ค่ากลาง	ตรวจสอบ	ความถี่
1	169.5 - 170.5	170	/	1
2	170.5 - 171.5	171	𝍸 /	6
3	171.5 - 172.5	172	𝍸 /	6
4	172.5 - 173.5	173	𝍸 𝍸 //	12
5	173.5 - 174.5	174	𝍸 𝍸 𝍸 ///	18
6	174.5 - 175.5	175	𝍸 𝍸 𝍸 ////	19
7	175.5 - 176.5	176	𝍸 𝍸 𝍸 𝍸 /	21
8	176.5 - 177.5	177	𝍸 𝍸 𝍸 ////	19
9	177.5 - 178.5	178	𝍸 ////	9
10	178.5 - 179.5	179	𝍸 𝍸 𝍸 ///	18
11	179.5 - 180.5	180	////	4
12	180.5 - 181.5	181	//	2
รวม				135



รูปที่ 5.14 ฮิสโตแกรมแสดงความกว้างของเหล็กแผ่นหลังตัดตามขนาด

ค่าเฉลี่ยของข้อมูล (X) = $\Sigma X / n$ = (177+177+171+ ... +176) / 135

= 175.75 มม.

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล (σ) = $((n\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2) / (n(n - 1)))^{1/2}$

= $((135(177^2+177^2+171^2+ ... +176^2) - (177+177$

= $+171+ ... +176)^2) / (135(135 - 1)))^{1/2}$

= 2.44 มม.

ขีดจำกัดข้อกำหนดของชิ้นงาน = 175 $\pm$ 4.5 มม.

ขีดจำกัดข้อกำหนดบน (USL) = 179.5 มม.

ขีดจำกัดกลางข้อกำหนด (Spec.) = 175 มม.

ขีดจำกัดข้อกำหนดล่าง (LSL) = 170.5 มม.

ดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ (Cp) = (USL - LSL) / 6σ = (179.5 - 170.5) / (6x2.44)

= 0.6147

Off-centered process (Cpk) = (1 - K)(USL - LSL)/(6σ)

ซึ่ง K = | Spec. - X | / ((USL - LSL)/ 2) = | 175 - 175.75 | / ((179.5 - 170.5)/ 2)

= 0.166

ดังนั้น Cpk = (1 - 0.166)(179.5 - 170.5)/(6x2.44) = 0.512

สัดส่วนของเสียทางขีดจำกัดข้อกำหนดบน = Z_{USL} = (USL - X)/ σ

= (179.5 - 175.75)/ 2.44 = 1.536

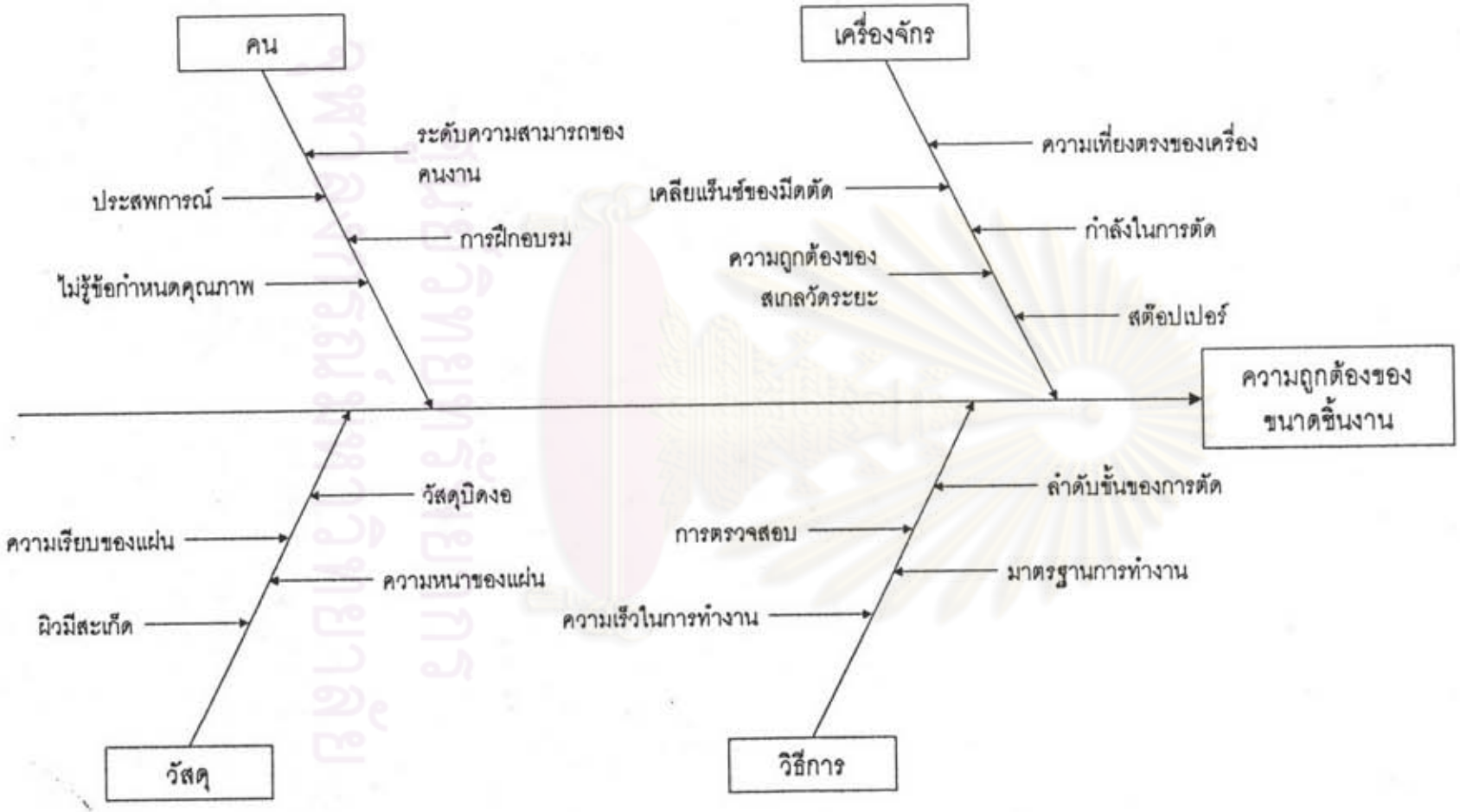
(เปิดตารางแจกแจงปกติ) = 0.0621 X 100 = 6.21 %

สัดส่วนของเสียทางขีดจำกัดข้อกำหนดล่าง = Z_{LSL} = (X - LSL)/ σ

= (175.75 - 170.5)/ 2.44 = 2.151

(เปิดตารางแจกแจงปกติ) = 0.0157 X 100 = 1.57 %

รวมสัดส่วนของเสีย = 6.21 + 1.57 = 7.78 %



รูปที่ 5.15 แผนภูมิก้างปลาแสดงการวิเคราะห์ความถูกต้องของขนาดชิ้นงาน

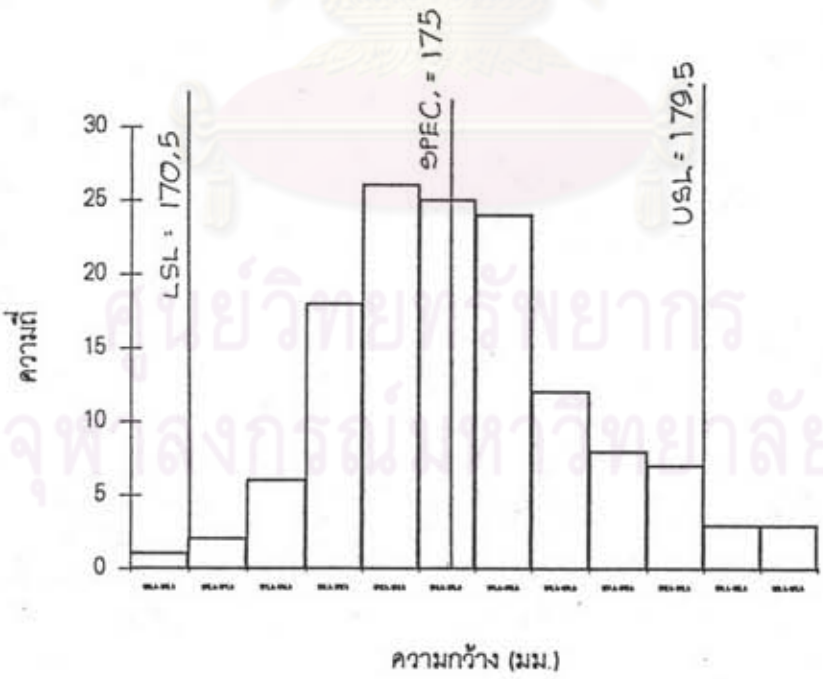
ตารางที่ 5.22 ความกว้างเหล็กแผ่นหลังจากตัดตามขนาดชิ้นส่วนรางสายไฟฟ้าด้านข้าง (หลังวิเคราะห์)

กลุ่มที่	ค่าวัด (มม.)				
	1	2	3	4	5
1	175	175	174	177	175
2	173	176	174	172	175
3	178	174	177	173	173
4	174	175	174	181	174
5	175	173	176	176	173
6	177	176	174	174	178
7	172	171	176	177	180
8	173	176	178	176	176
9	176	176	170	173	172
10	176	174	179	173	174
11	176	181	176	181	174
12	174	175	175	176	177
13	173	175	176	175	178
14	174	180	173	172	171
15	175	176	179	177	173
16	174	177	176	174	174
17	178	174	173	174	179
18	175	177	178	177	174
19	174	174	175	179	179
20	176	172	175	174	175
21	176	175	174	175	176
22	175	174	178	176	175
23	173	175	179	177	174
24	175	177	177	173	176
25	178	176	175	179	174
26	173	172	176	173	175
27	180	175	173	173	175

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.23 ตารางแจกแจงความถี่ของข้อมูลในตารางที่ 5.22

ชั้น	ขอบเขตชั้น	ค่ากลาง	ตรวจสอบ	ความถี่
1	169.5 - 170.5	170	/	1
2	170.5 - 171.5	171	//	2
3	171.5 - 172.5	172	𝍸 /	6
4	172.5 - 173.5	173	𝍸 𝍸 𝍸 ///	18
5	173.5 - 174.5	174	𝍸 𝍸 𝍸 𝍸 𝍸 /	26
6	174.5 - 175.5	175	𝍸 𝍸 𝍸 𝍸	25
7	175.5 - 176.5	176	𝍸 𝍸 𝍸 𝍸 ////	24
8	176.5 - 177.5	177	𝍸 𝍸 //	12
9	177.5 - 178.5	178	𝍸 ///	8
10	178.5 - 179.5	179	𝍸 //	7
11	179.5 - 180.5	180	///	3
12	180.5 - 181.5	181	///	3
รวม				135



รูปที่ 5.16 ฮิสโตแกรมแสดงความกว้างของเหล็กแผ่นหลังตัดตามขนาด(หลังวิเคราะห์)

ค่าเฉลี่ยของข้อมูล (X) = $\Sigma X / n$ = (175+175+174+ ... +175) / 135

= 175.30 มม.

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล (σ) = $((n\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2) / (n(n - 1)))^{1/2}$

= $((135(175^2+175^2+174^2+ ... +175^2) - (175+175$

= $+174+ ... +175)^2) / (135(135 - 1)))^{1/2}$

= 2.17 มม.

ขีดจำกัดข้อกำหนดของชิ้นงาน = 175 ± 4.5 มม.

ขีดจำกัดข้อกำหนดบน (USL) = 179.5 มม.

ขีดจำกัดกลางข้อกำหนด (Spec.) = 175 มม.

ขีกจำกัดข้อกำหนดล่าง (LSL) = 170.5 มม.

ดัชนีสมรรถภาพกระบวนการ (Cp) = (USL - LSL) / 6σ = (179.5 - 170.5) / (6x2.17)

= 0.691

Off-centered process (Cpk) = (1 - K)(USL - LSL)/(6σ)

ซึ่ง K = | Spec. - X | / ((USL - LSL)/ 2) = | 175 - 175.3 | / ((179.5 - 170.5)/ 2)

= 0.066

ดังนั้น Cpk = (1 - 0.066)(179.5 - 170.5)/(6x2.17) = 0.645

สัดส่วนของเสียทางขีดจำกัดข้อกำหนดบน = Z_{USL} = (USL - X)/ σ

= (179.5 - 175.3)/ 2.17 = 1.935

(เปิดตารางแจกแจงปกติ) = 0.026 X 100 = 2.64 %

สัดส่วนของเสียทางขีดจำกัดข้อกำหนดล่าง = Z_{LSL} = (X - LSL)/ σ

= (175.3 - 170.5)/ 2.17 = 2.21

(เปิดตารางแจกแจงปกติ) = 0.013 X 100 = 1.34 %

รวมสัดส่วนของเสีย = 2.64 + 1.34 = 3.98 %

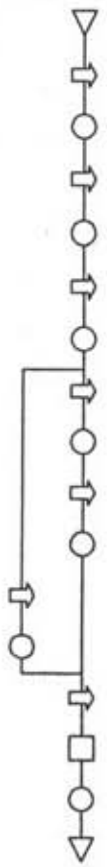
ดังนั้นคิดเป็นสัดส่วนของเสียลดลงก่อนการวิเคราะห์ = 7.78 - 3.98 = 3.8%

หมายเหตุ : รายละเอียดของการปรับปรุงภายหลังจากการวิเคราะห์ จะสรุปไว้ในบทที่ 8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนคุณภาพ (QUALITY PLAN)

บริษัท _____ ผลิตภัณฑ์ ___รางสายไฟฟ้า_____ หน้า __1__ / __1__

ผังกระบวนการ	ชื่อกระบวนการ	ข้อกำหนดคุณภาพ	มาตรฐาน	เอกสาร	เครื่องมือวัด	ความถี่	วิธีการทำงาน	ผู้ตรวจ	หมายเหตุ
	คลังเก็บวัตถุดิบ								
	ขนไปเข้าเครื่อง	------	------	------	------	------	------	------	
	ตัดชิ้นส่วน	ขนาดต่างๆ	NEMA VE	QC 08	ตลับเมตร	1 / 50	WI 01	ดิวซี	
	ขนไปเข้าเครื่อง	------	------	------	------	------	------	------	
	พับขึ้นรูป	ขนาดต่างๆ	NEMA VE	QC 08	ตลับเมตร	1 / 50	WI 02	ดิวซี	
	ขนไปหน่วยเชื่อม	------	------	------	------	------	------	------	
	เชื่อมประกอบ	รอยเชื่อม	------	QC 08	ด้วยตา	1 / 50	WI 03	ดิวซี	
	ขนไปบ่อล้างผิว	------	------	------	------	------	------	------	
	ล้างผิว	------	------	------	------	------	------	------	
	ขนไปพ่น-อบสี	------	------	------	------	------	------	------	
	พ่น-อบสี	------	------	------	------	------	WI 04	------	
	ส่งไปชุบ Zn	ตามมาตรฐาน	ASTM A123	QC 10	ตามมาตรฐาน	ตามมาตรฐาน	WI 05	ผู้รับเหมา	
	รับชิ้นส่วนชุบ Zn	------	------	------	------	------	------	------	
	ขนไป packing	------	------	------	------	------	------	------	
	ทดสอบ	น้ำหนักทำลาย	NEMA VE	QC 11	น้ำหนักทดสอบ	1 / 50	WI 06	ดิวซี	
	PACKING	------	------	------	------	------	------	------	
	เก็บคลัง	------	------	------	------	------	------	------	

หมายเหตุ : ดูตัวอย่างวิธีการทำงานได้จากภาคผนวก ก.