

## บทที่ 2

### งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการป้องกันการกัดกร่อน [1]

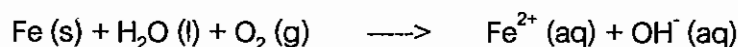
การกัดกร่อนของโลหะที่พบบ่อยในชีวิตประจำวันได้แก่ เหล็กเป็นสนิม สนิมเหล็กเป็นออกไซด์ของเหล็ก ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) ซึ่งเกิดจากสาเหตุหลายประการ ตัวอย่างเช่น การที่อะตอมของโลหะที่ถูกออกซิไดซ์แล้วรวมตัวกับออกซิเจนในอากาศเกิดเป็นออกไซด์ของโลหะนั้น เช่น สนิมเหล็ก ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) สนิมทองแดง ( $\text{CuO}$ ) หรือสนิมอลูมิเนียม ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) การเกิดสนิมมีกระบวนการที่ซับซ้อนมากและมีลักษณะเฉพาะตัวดังนี้

2.1.1 การกัดกร่อนของโลหะ คือ ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดระหว่างโลหะกับภาวะแวดล้อม โดยภาวะแวดล้อมที่ทำให้กัดกร่อน คือ ออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) และความชื้นในอากาศ ( $\text{H}_2\text{O}$ )

2.1.2 ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดในการกัดกร่อน ปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยปฏิกิริยารีดอกซ์แบ่งออกได้เป็น

1. โลหะที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ให้อิเล็กตรอน
2. ภาวะแวดล้อมเป็นฝ่ายรับอิเล็กตรอนเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) มีสมการแสดงปฏิกิริยาการกัดกร่อน (เกิดจากการทดลอง)

โลหะ + ภาวะแวดล้อม  $\longrightarrow$  Ion ของโลหะ + เบส



$\text{Fe}^{2+}$  ทดสอบโดยใช้สารละลาย  $\text{K}_3\text{Fe (CN)}_6$  จะได้สีน้ำเงิน ถ้าสีน้ำเงินเข้ม แสดงว่ามี  $\text{Fe}^{2+}$  มาก ถ้าจางมี  $\text{Fe}^{2+}$  น้อย

เบส ( $\text{OH}^-$ ) ทดสอบโดยสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน ได้สีชมพู

#### 2.1.3 การป้องกันการกัดกร่อนและการเคลือบผิวของชิ้นงาน

การป้องกันการกัดกร่อน สามารถทำได้โดยการนำวัสดุที่มีสมบัติทนต่อการกัดกร่อนมา เคลือบบนผิวชิ้นงาน เพื่อป้องกันการทำปฏิกิริยาทางเคมีกับออกซิเจนและความชื้นในอากาศ หรือ ลดการเสียดสีและการสัมผัสกันของโลหะ โดยที่เราสามารถป้องกันการกัดกร่อนได้ด้วยการเคลือบผิวโลหะนั้นด้วยสารหรือวัสดุต่างๆ

##### 2.1.3.1 เหล็กชุบสังกะสี

การสึกกร่อนระหว่างเหล็กและสังกะสีอาจเกิดการสึกกร่อนได้ที่สังกะสี เพราะสังกะสีมีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าเหล็ก (สังกะสีทำหน้าที่เป็นแอโนดมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ  $-0.76$

ส่วนเหล็กทำหน้าที่เป็นแคโทดมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ  $-0.44$ ) แสดงดังตารางที่ 2.1

การเคลือบผิวด้วยสังกะสี เป็นกระบวนการที่ใช้กับเหล็กคาร์บอนต่ำ เพื่อป้องกันการสึกกร่อนจากบรรยากาศ ซึ่งทำให้ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการนี้ มีผิวสวยและทนต่อการสึกหรอได้ดี อีกทั้งยังเสียค่าใช้จ่ายต่ำด้วย กระบวนการเคลือบผิวโลหะด้วยสังกะสีมีทั้งหมด 4 วิธีด้วยกัน

1. กระบวนการเคลือบผิวด้วยการพ่นโลหะสังกะสีหลอมละลายไปบนโลหะชิ้นงานด้วยหัวพ่นพิเศษ โดยที่สังกะสีที่พ่นเข้าสู่หัวพ่นอาจจะเป็นผงหรือเส้นลวดก็ได้

2. กระบวนการเคลือบผิวด้วยการใช้กระแสไฟฟ้า (Zinc Plating) โดยการจุ่มโลหะชิ้นงานที่ต้องการเคลือบผิวลงในสารละลายสังกะสี (สารละลายอิเล็กโทรไลต์) แล้วปล่อยไฟฟ้ากระแสตรงแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำ ก็จะทำให้เกิดการเคลือบผิวขึ้นที่ผิวของโลหะชิ้นงาน

3. การชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน (Hot Dip Galvanizing) เป็นกระบวนการเคลือบผิวโลหะโดยการจุ่มโลหะชิ้นงานที่ผ่านการทำความสะอาดแล้ว ลงในอ่างสังกะสีหลอมละลายซึ่งในขณะที่โลหะชิ้นงานจุ่มอยู่ในอ่างสังกะสีหลอมละลายก็จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้สังกะสีเกาะจับโลหะชิ้นงานเกิดการเคลือบผิวขึ้น

4. เซอร์ราไดซิง (Sheradizing) เป็นกระบวนการเคลือบผิวโลหะโดยการเอาโลหะชิ้นงาน ใส่ลงในถังหมุนรวมกับผงสังกะสี แล้วเป่าด้วยลมร้อน จนกระทั่งสังกะสีหลอมละลายและเกาะเคลือบผิวโลหะชิ้นงาน

### 2.1.3.2 เหล็กชุบตีบุก

อาจเกิดการสึกกร่อนได้ที่เหล็ก เพราะเหล็กมีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าตีบุก (เหล็กทำหน้าที่เป็นแอโนดมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ  $-0.44$  ส่วนตีบุกทำหน้าที่เป็นแคโทดมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ  $-0.14$ ) แสดงดังตารางที่ 2.1

การเคลือบผิวด้วยตีบุก ส่วนใหญ่จะใช้กับงานผลิตภาชนะบรรจุอาหารชนิดต่าง ๆ เพราะตีบุกไม่เป็นพิษและทนต่อการกัดกร่อนได้ดีส่วนเหล็กเมื่อถูกกัดกร่อนแล้วเหล็กจะหลุดทำให้ภาชนะรั่ว ซึ่งกระบวนการเคลือบผิวด้วยตีบุกสามารถทำได้ 2 วิธี ดังนี้

1. วิธีการชุบลงในตีบุกหลอมละลายโดยการนำเหล็กแผ่นที่จะเคลือบผิวจุ่มลงในตีบุกหลอมละลายที่อุณหภูมิประมาณ 316 องศาเซลเซียส ซึ่งกระบวนการนี้จะให้ผิวที่เคลือบได้หนาประมาณ 0.00254 มิลลิเมตร หรือ 2.54 ไมโครเมตร

2. วิธีอิเล็กโทรทิงนิง (Electroplating) ทำได้โดยการจุ่มชิ้นงานลงในน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ ผ่านกระแสไฟฟ้าจากแท่งอิเล็กโทรด ไปยังชิ้นงานโลหะที่ต้องการเคลือบผิว ซึ่งกระบวนการนี้จะให้ผิวที่เคลือบได้หนาประมาณ 0.00762 มิลลิเมตร หรือ 7.62 ไมโครเมตร

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบศักย์ไฟฟ้าเคมีของโลหะ (หน่วยเป็นโวลต์ที่ 25 องศาเซลเซียส) [1]

	Reaction	Standard Potential, $e^\circ$ (volts vs. SHE)
Noble	$\text{Au}^{3+} + 3e^- = \text{Au}$	+1.498
	$\text{Cl}_2 + 2e^- = 2\text{Cl}^-$	+1.358
	$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e^- = 2\text{H}_2\text{O}$ (pH 0)	+1.229
	$\text{Pt}^{3+} + 3e^- = \text{Pt}$	+1.2
	$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- = 4\text{OH}^-$ (pH 7) <sup>a</sup>	+0.82
	$\text{Ag}^+ + e^- = \text{Ag}$	+0.799
	$\text{Hg}_2^{2+} + 2e^- = 2\text{Hg}$	+0.788
	$\text{Fe}^{3+} + e^- = \text{Fe}^{2+}$	+0.771
	$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- = 4\text{OH}^-$ (pH 14)	+0.401
	$\text{Cu}^{2+} + 2e^- = \text{Cu}$	+0.337
	$\text{Sn}^{4+} + 2e^- = \text{Sn}^{2+}$	+0.15
	$2\text{H}^+ + 2e^- = \text{H}_2$	0.000
	$\text{Pb}^{2+} + 2e^- = \text{Pb}$	-0.126
	$\text{Sn}^{2+} + 2e^- = \text{Sn}$	-0.136
	$\text{Ni}^{2+} + 2e^- = \text{Ni}$	-0.250
	$\text{Co}^{2+} + 2e^- = \text{Co}$	-0.277
	$\text{Cd}^{2+} + 2e^- = \text{Cd}$	-0.403
	$\text{Fe}^{2+} + 2e^- = \text{Fe}$	-0.440
	$\text{Cr}^{3+} + 3e^- = \text{Cr}$	-0.744
	$\text{Zn}^{2+} + 2e^- = \text{Zn}$	-0.763
$2\text{H}_2\text{O} + 2e^- = \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	-0.828	
Active	$\text{Al}^{3+} + 3e^- = \text{Al}$	-1.662
	$\text{Mg}^{2+} + 2e^- = \text{Mg}$	-2.363
	$\text{Na}^+ + e^- = \text{Na}$	-2.714
	$\text{K}^+ + e^- = \text{K}$	-2.925

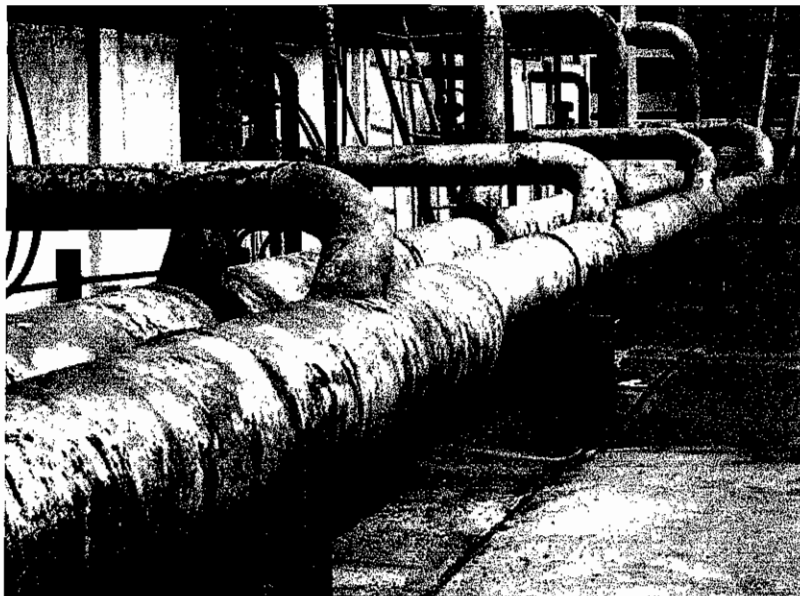
## 2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการชุบสังกะสีด้วยวิธีจุ่มร้อน (Intro Hot Dip Galvanizing)

### 2.2.1 การป้องกันสนิม โดยการชุบด้วยสังกะสี [1]

เหล็กและเหล็กกล้าเกิดสนิมได้ง่ายหากวางทิ้งไว้ในบรรยากาศ สนิมเป็นออกไซด์ของเหล็กที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับเนื้อเหล็กแสดงดังรูปที่ 2.1 ดังนั้นวิธีหนึ่งที่ใช้ป้องกันเหล็กไม่ให้เกิดสนิม คือ การเคลือบสารปิดทับผิวเหล็กไว้ สารเคลือบที่ใช้มีด้วยกันหลายชนิดสังกะสีก็เป็นโลหะชนิดหนึ่งที่น่านำมาเคลือบเหล็กที่ได้จากการชุบเคลือบสังกะสีเรียกว่าเหล็กกล้าชุบเคลือบสังกะสี (Galvanized Steel)

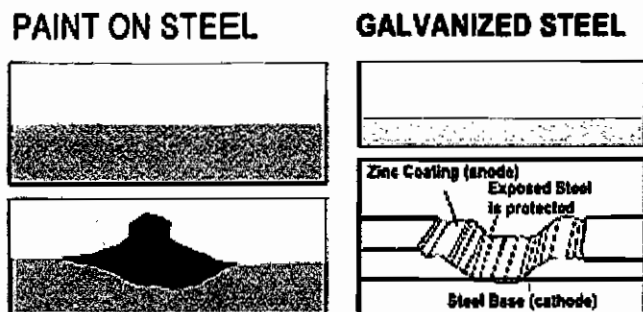
การชุบเคลือบสังกะสีมีด้วยกันหลายวิธี เช่น การชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน (Hot Dip Galvanizing) การเคลือบสังกะสีด้วยไฟฟ้า (Electro Galvanizing) การเคลือบด้วยวิธีทางกล (Mechanical Coatings) การพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อน (Zinc Spraying) การทาด้วยสีฝุ่นสังกะสี (Zinc-Rich Paints) การชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนด้วยกระบวนการต่อเนื่อง (Continuous Hot Dip Galvanizing) การเคลือบด้วยเทคนิคเซอร์ราโดซ์ซิง (Sherardizing) แต่เนื้อหาเน้นเฉพาะเรื่องการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน

การชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน เป็นการเคลือบผิวเหล็กด้วยสังกะสีโดยการจุ่มเหล็กลงในอ่างสังกะสีเหลวแล้วยกขึ้น วิธีนี้ถูกนำออกเผยแพร่ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1742 โดยนักเคมีชาวฝรั่งเศส P.J. Malouin



รูปที่ 2.1 แสดงการถูกกัดกร่อน [1]

การชุบเคลือบสังกะสีปิดผิวเหล็กทำให้ออกซิเจน ไอออน และโดยเฉพาะอย่างยิ่งคลอไรด์ (Chloride) ซึ่งมีฤทธิ์กัดกร่อนเหล็กได้ดี ไม่สามารถสัมผัสและทำปฏิกิริยากับเหล็กได้จึงเป็นการป้องกันระดับหนึ่ง นอกจากนี้ในกรณีที่ผิวเคลือบสังกะสีถูกแรงกระทำจนเกิดรอยลึกถึงเนื้อเหล็กแล้ว สังกะสีก็ยังคงสามารถป้องกันเหล็กจากการกัดกร่อนได้ เนื่องจากสังกะสีเป็นโลหะที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าเหล็ก จึงเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ง่ายกว่าเหล็ก ลักษณะการใช้โลหะที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าต่ำร่วมกับโลหะที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าเพื่อให้โลหะที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าเกิดปฏิกิริยากัดกร่อนก่อนโลหะที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าสูงเรียกว่า การป้องกันแบบแคโทดิก (Cathodic Protection)



รูปที่ 2.2 ชี้นงานที่เคลือบสี (ซ้าย) เมื่อสีเคลือบหลุดชั้นเหล็กจะถูกกัดกร่อนได้ง่ายกว่าชี้นงานเคลือบสังกะสี (ขวา) เพราะสังกะสีรอบข้างจะเกิดปฏิกิริยาก่อนเหล็ก [1]

การนำชี้นงานที่ชุบเคลือบสังกะสีไปใช้ ผลัดภัณฑ์เหล็กชุบเคลือบสังกะสีสามารถนำไปใช้งานได้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมก่อสร้าง และอุตสาหกรรมอื่น ๆ แต่มีข้อสังเกตอย่างหนึ่ง คือ ชี้นงานที่เคลือบสังกะสีเป็นชั้นบางจะไม่เหมาะสำหรับภาวใช้งานภายนอกอาคาร อย่างเช่น ชี้นงานที่เคลือบสังกะสีด้วยวิธีเคลือบด้วยไฟฟ้ามีชั้นเคลือบหนาประมาณ 5 – 10 ไมครอน (ไมครอน =  $10^{-6}$  m) ซึ่งไม่เหมาะกับงานภายนอกอาคาร ขณะที่ชี้นงานเหล็กที่ชุบเคลือบสังกะสีจะมีชั้นเคลือบสังกะสีหนาตั้งแต่ 65 – 300 ไมครอน ทำให้มีความทนทานต่อการกัดกร่อนจากสภาพแวดล้อมมากกว่าจึงเหมาะกับการใช้งานภายนอกอาคารมากกว่า

การชุบสังกะสีด้วยวิธีจุ่มร้อนบนชี้นงานที่เป็นเหล็กกล้า เป็นกระบวนการที่รู้จักกันดีมานานตั้งกล่าวมาแล้วในตอนต้น ตัวอย่างงานที่ใกล้ตัวเรามากที่สุดก็คือ สังกะสีมุงหลังคาบ้านนั่นเอง แท้จริงแล้วแผ่นสังกะสีนั้นเป็นแผ่นเหล็กกล้าซึ่งมีขนาดบางๆ ที่ถูกนำไปจุ่มลงในอ่างน้ำโลหะสังกะสี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันการเกิดสนิม ทั้งนี้เพราะเหล็กเมื่อสัมผัสกับอากาศซึ่งมีความชื้นจะเกิดเป็นเหล็กออกไซด์ ทำให้เกิดการกัดกร่อนและเนื้อเหล็กก็จะค่อยๆ หมดไป หรือเสียหายอย่างรวดเร็ว

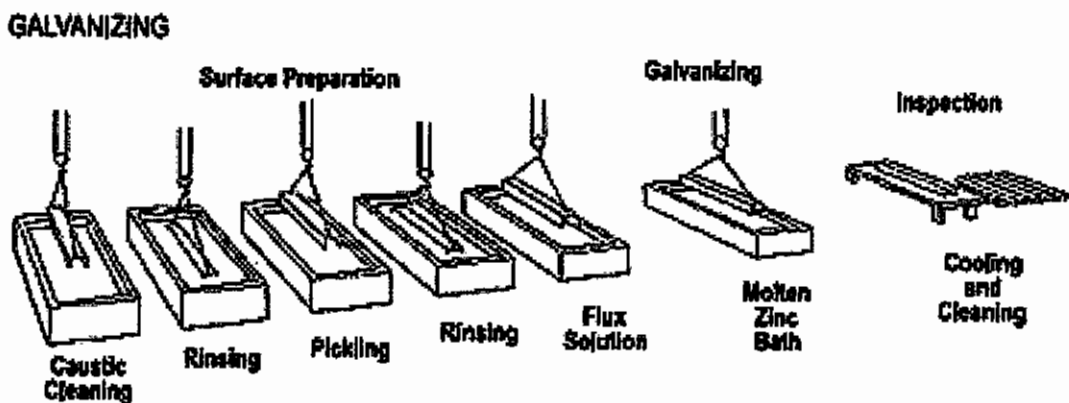
ผิวของสังกะสีจะช่วยเคลือบป้องกันผิวหน้าของเหล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการทำด้วยน้ำมันหรือทาสี อีกทั้งการทาก็มีขีดจำกัดในบริเวณที่เข้าถึงยากแต่ถ้าเป็นการชุบสังกะสีแล้วนำสังกะสีจะไหลไปยังทุกซอกทุกมุมได้ดีกว่า จึงทำให้เหล็กกล้าสามารถทนทานต่อการกัดกร่อนจากสภาพะดินฟ้าอากาศ ทนทานต่อการถูกฝังไว้ในดินหรือกระทั่งแช่น้ำทะเล

### 2.2.2 การชุบสังกะสีด้วยวิธีจุ่มร้อน (Hot Dip Galvanizing เรียกว่า HDG)

การชุบสังกะสีด้วยวิธีจุ่มร้อนหมายถึง การนำชี้นงานที่ผ่านการทำความสะอาดผิวหน้ามาดีแล้ว และต้องการชุบผิวด้วยสังกะสีไปจุ่มลงในอ่างชุบ (Molten Zinc Bath) ซึ่งบรรจุน้ำ

สังกะสีอยู่ในสภาพของเหลวร้อนจัดมีอุณหภูมิขณะใช้งานอยู่ในช่วง 445 – 465 องศาเซลเซียส สังกะสีจะทำปฏิกิริยากับเหล็กเกิดชั้นของโลหะผสมเคลือบผิวชิ้นงาน (Zinc-Iron Alloy Layers) และเมื่อนำชิ้นงานขึ้นจากอ่างชุบสังกะสีและทำให้เย็นตัวลง น้ำสังกะสีก็จะแห้งกลายเป็นผิวเคลือบหุ้มชิ้นงานเอาไว้ แต่ถ้าหากไม่มีการควบคุมอุณหภูมิของน้ำสังกะสีเหลวในอ่างชุบจนสูงขึ้นไปถึง 480 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิวิกฤติของปฏิกิริยาระหว่างเหล็กและสังกะสีเหลวจะเป็นผลทำให้ชั้นของโลหะเกิดแตกตัวเป็นผลึกอิสระที่ไม่ยึดเกาะ เปิดโอกาสให้น้ำสังกะสีสัมผัสกับเหล็กโดยตรงจะเกิดดรอส (Dross) มากทำให้ได้ชิ้นงานที่ไม่มีคุณภาพและสิ้นเปลืองทั้งสังกะสีและพลังงานเชื้อเพลิง หลักการเช่นนี้ยังคงใช้อยู่จนกระทั่งถึงปัจจุบันเป็นเวลากว่า 150 ปีแล้ว และด้วยการค้นคว้าวิจัยในหลายๆ แง่มุมของกระบวนการผลิตที่มีมาอย่างต่อเนื่องผสานเข้ากับเทคโนโลยีที่ทันสมัย ทำให้การชุบสังกะสีเป็นอุตสาหกรรมที่สามารถพัฒนาและควบคุมได้ในทางเทคนิค

โดยทั่วไปสังกะสีเป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้เป็นผิวเคลือบเหล็กมากที่สุด นอกจากนี้ก็มี อะลูมิเนียม แคลเดียม ดินบุก ตะกั่ว นิกเกิล ทองเหลือง และทองแดง เป็นต้น ผิวเคลือบจะช่วยป้องกันการกัดกร่อน (Corrosion) เช่น กรณีผิวเคลือบแสดงสมบัติเป็นขั้วบวกทางไฟฟ้าในสภาวะของการกัดกร่อน หากชิ้นงาน (เหล็กหรือโลหะ) และผิวเคลือบสัมผัสกับกรดผิวเคลือบก็จะถูกกัดกร่อนออกไปก่อนถึงเนื้อชิ้นงานเป็นการป้องกันชิ้นงานเอาไว้ แต่ถ้าผิวเคลือบแสดงสมบัติเป็นขั้วลบก็จะไม่ถูกกัดกร่อน และป้องกันชิ้นงานที่ห่อหุ้มไว้ด้วยเช่นกัน จากการศึกษาพบว่าหากชิ้นงานเป็นเหล็กกล้าและผิวเคลือบเป็นสังกะสีหรืออะลูมิเนียม ผิวเคลือบจะมีคุณสมบัติเป็นขั้วบวก (Anodic) แต่ถ้าผิวเคลือบเป็นดินบุกหรือตะกั่วจะเป็นขั้วลบ (Cathodic) โดยกระบวนการชุบสังกะสีด้วยวิธีจุ่มร้อนโดยสังเขป แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กระบวนการชุบสังกะสี [1]

กระบวนการชุบสังกะสีด้วยวิธีจุ่มร้อน จะแบ่งออกเป็นสองแบบ คือ การชุบแบบจัดเป็นชุด และการชุบแบบต่อเนื่อง แต่ไม่ว่าจะเป็นการชุบแบบใดก็จะประกอบด้วยขั้นตอนพื้นฐานที่สำคัญสามขั้น ซึ่งแต่ละขั้นตอนล้วนมีความสำคัญที่จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของการชุบทั้งสิ้นคือ

1. การเตรียมผิวชิ้นงาน (Surface Preparation)
2. การจุ่มฟลักซ์ (Fluxing)
3. การชุบสังกะสี หรือกัลป์วาไนต์ (Galvanizing)

#### 2.2.2.1 การชุบแบบจัดเป็นชุด (Batch Galvanizing)

เป็นวิธีการที่จัดชิ้นงานไว้จำนวนหนึ่งแล้วนำไปชุบน้ำสังกะสีหลอมเหลวในอ่างชุบ หลังจากนั้นก็ยกชิ้นงานแล้วนำชิ้นงานชุดใหม่ลงไปชุบอีก ทำเช่นนี้ต่อไปเรื่อยๆ จนชิ้นงานหมด กระบวนการเช่นนี้จะไม่เป็นไปอย่างต่อเนื่องเพราะมีการยกชิ้นงานขึ้นและลงอ่างชุบเป็นช่วงๆ

กระบวนการขั้นแรกเริ่มจากการชำระล้างสารอินทรีย์ทั้งหลายที่ติดมาที่ชิ้นงาน ไม่ว่าจะเป็นฝุ่นละออง คราบน้ำมัน หรือจาระบี และสิ่งสกปรกอื่นๆ ออกไปให้หมด โดยทั่วไปนิยมใช้น้ำด่างร้อนๆ เป็นสารเคมีช่วยทำความสะอาด ต่อจากนั้นก็ล้างชิ้นงานโดยจุ่มลงในอ่างน้ำร้อนแล้วยกขึ้นฉีดล้างอีกครั้งด้วยน้ำสะอาด เมื่อล้างเรียบร้อยแล้วก็จะนำชิ้นงานที่สะอาดดีแล้วนั้นไปแช่ในอ่างกรดซัลฟูริก (Sulfuric Acid) ที่อุณหภูมิห้อง หรือกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) เจือจางที่อุณหภูมิห้องเพื่อเป็นการกำจัดพื้นที่ผิว สนิมและออกไซด์ (Oxide) ต่างๆ ออกจากผิวชิ้นงาน หลังจากนั้นก็ล้างชิ้นงานด้วยน้ำสะอาดเพื่อไล่กรดและเกลือจากกรดออกไป แล้วจึงนำไปแช่น้ำฟลักซ์ (Flux) ซึ่งเป็นสารที่ช่วยให้เกิดการยึดเกาะที่ผิวชิ้นงานได้ดียิ่งขึ้น ยกชิ้นงานขึ้นจากอ่างฟลักซ์ เพื่อผึ่งชิ้นงานให้แห้งก่อนที่จะนำไปจุ่มลงในอ่างสังกะสีหลอมเหลว ในขณะที่ชิ้นงานอยู่ในอ่างชุบควรมีการเขย่า (Shaking) หรือยกชิ้นงานขึ้นลงสัก 2-3 ครั้งเพื่อให้สังกะสีหลอมเหลวสามารถแทรกซึมเข้าไปตามซอกมุมต่างๆ ได้ดีหรือเมื่อมีชิ้นงานขนาดเล็กช้อนกันอยู่เมื่อยกชิ้นงานขึ้นจากอ่างชุบแล้ว หากจะกำจัดสังกะสีส่วนที่เกิดจากความต้องการออกจากผิวเคลือบซึ่งต้องรีบทำในทันที ก็จะทำให้ได้โดยการเขย่าหรือหมุนเหวี่ยงชิ้นงาน (Centrifuging) ด้วยความเร็วสูงในเวลาสั้นๆ โดยใช้เครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง หลังจากนั้นก็ทำให้ชิ้นงานเย็นตัวลง ซึ่งถ้าเป็นชิ้นงานขนาดเล็กก็ปล่อยให้แห้งตัวในอากาศ (Air Cooling) แต่ถ้าเป็นขนาดใหญ่ก็อาจจะนำไปทิ้งลงในอ่างน้ำ (Water Quenching) แล้วจึงยกขึ้นให้แห้งในอากาศ เมื่อผิวเคลือบแห้งสนิทดีแล้วจึงนำไปจัดเก็บให้ดีต่อไป

กระบวนการชุบแบบจัดเป็นชุดนี้ยังแบ่งย่อยออกได้เป็นอีกสองแบบ คือ แบบ Wet Galvanizing และแบบ Dry Galvanizing

แบบ Wet Galvanizing วิธีนี้หลังจากชิ้นงานถูกทำความสะอาดและนำไปแช่กระตุ้นผิวด้วยกรดซัลฟูริกก่อน แล้วก็จะถูกนำไปจุ่มลงในอ่างชุบน้ำสังกะสีที่กำลังหลอมเหลวผ่านฟลักซ์ลอยที่อยู่บนผิวหน้าของอ่างชุบ การที่จุ่มชิ้นงานผ่านฟลักซ์จะช่วยลดการกระเด็นของน้ำสังกะสีเมื่อสัมผัสกับชิ้นงานได้ แต่ก็มีข้อเสียคือผิวของสังกะสีที่ชุบได้จะค่อนข้างบาง เพราะขณะยกชิ้นงานขึ้นจากอ่างชุบจะต้องผ่านฟลักซ์ ซึ่งฟลักซ์จะเป็นตัวรีดน้ำสังกะสีที่เกาะอยู่บนชิ้นงานให้บางลง ส่วนข้อเสียอื่นๆ ก็คืออาจมีฟลักซ์ติดไปกับผิวชิ้นงานด้วย ทำให้ผิวชุบไม่สวยและถ้าล้างฟลักซ์ออกไปไม่หมด ก็จะทำให้เกิดการกัดกร่อนกับผิวชิ้นงานในภายหลังได้

แบบ Dry Galvanizing กระบวนการนี้ยังแบ่งย่อยได้อีกสองวิธี คือ วิธีเก่าและวิธีใหม่ วิธีเก่า เมื่อชิ้นงานที่จะชุบผ่านการจุ่มกรดไฮดรอกซิดริกซัลฟูริกเพื่อกระตุ้นผิวแล้วก็จะถูกนำไปจุ่มลงในอ่างชุบน้ำสังกะสีเลยทันที ซึ่งเกลือของเหล็กที่เกาะอยู่บนผิวชิ้นงานจะทำหน้าที่เสมือนฟลักซ์ วิธีนี้บางทีอาจให้ผลงานไม่เป็นที่น่าพอใจนัก จึงอาจมีการขัดผงฟลักซ์เหล็กคลอไรด์ลงไปบนชิ้นงานเพิ่มเติมอีก วิธีแบบเก่านี้จะทำให้เกิดดรอส (ออกไซด์) ขึ้นมามาก วิธีใหม่จะกำจัดเกลือของเหล็กและกรดที่ติดมากับชิ้นงานโดยการล้างน้ำ แล้วจึงค่อยนำชิ้นงานไปจุ่มลงในสารละลายสังกะสีแอมโมเนียมคลอไรด์ (Zinc Ammonium Chloride) หลังจากนั้นทำให้แห้งสนิทด้วยความร้อนประมาณไม่เกิน 120 องศาเซลเซียส และนำไปจุ่มลงในอ่างชุบสังกะสีวิธีนี้จะเกิดดรอสน้อยกว่าวิธีเก่า เนื่องจากไม่มีเกลือของเหล็กบนชิ้นงาน อีกทั้งมีการจุ่มชิ้นงานฟลักซ์มาก่อน จึงทำให้ควบคุมฟลักซ์ได้และได้ผิวชุบที่ดีกว่าวิธีเก่า

กระบวนการชุบแบบ Dry จะสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าแบบ Wet แต่จะมีข้อยุ่งยากกว่าในส่วนของเตรียมผิวชิ้นงาน ซึ่งถ้าทำได้ไม่ดีก็จะเกิดปัญหาเรื่องคุณภาพของผิวชุบ การตัดสินใจเลือกกระบวนการชุบแบบ Wet หรือ Dry นั้นขึ้นอยู่กับหลายๆ เหตุผล เช่น ราคากรดและพลังงาน (Cost of Acid and Energy) ความสามารถในการจัดหา (Availability)

### 2.2.2.2 การชุบแบบต่อเนื่อง (Continuous Galvanizing)

กรรมวิธีนี้เหมาะกับโรงชุบที่มีอัตราการผลิตสูง หรือชิ้นงานมีปริมาณมากๆ หากชิ้นงานมีลักษณะม้วนเป็นขดก่อนการชุบจะต้องคลี่ออกมาเป็นแผ่นยาวเสียก่อน แล้วนำไปผ่านกระบวนการทำความสะอาดด้วยอัลคาไลน์ (Alkaline Cleaning Process) เพื่อล้างสิ่งสกปรกออกไปให้หมดและผ่านการแช่ในสารละลายกรดเจือจาง แล้วฉีดล้างด้วยน้ำสะอาดอีกครั้ง จากนั้นจึงนำไปจุ่มหรือฉีดด้วยน้ำฟลักซ์และผ่านไปยังเตาอบเพื่อทำให้แห้ง และมีอุณหภูมิประมาณ 77 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงให้ชิ้นงานเคลื่อนตัวผ่านอ่างน้ำสังกะสีหลอมเหลวอย่างต่อเนื่องจนหมด อย่าให้มีการหยุดคอยที่ขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่ง ผ่านขั้นตอนการเป่าให้เย็นตัว แล้วจึงม้วนเก็บให้มีขนาดความต้องการและนำไปจัดเก็บอย่างถูกวิธีต่อไป



### 2.2.3 น้ำยาประสานหรือฟลักซ์ (Fluxing)

เป็นน้ำที่มีส่วนผสมของสารละลายซิงค์แอมโมเนียมคลอไรด์ (Zinc Ammonium – Chloride Solution) เพื่อปรับความตึงผิวของเหล็กให้มีความเหมาะสมกับการเคลือบด้วยสังกะสีหลอมเหลว

### 2.2.4 การดรอส (Dross) ในกระบวนการชุบสังกะสี

ดรอส (Dross) เกิดจากเหล็กในบ่อชุบจับกับสังกะสี ซึ่งในกระบวนการชุบแบบ จุ่มร้อน (General hot dip galvanizing) ดรอสที่เกิดขึ้นจะตกลงสู่ก้นบ่อกลายเป็น Bottom dross แต่สำหรับกระบวนการชุบแบบต่อเนื่องแบบแผ่น (Continuous sheet galvanizing) จะมีการเติมอลูมิเนียม (Aluminium-Al) เพื่อควบคุมความหนาของ Sheet ดังนั้นดรอสที่เกิดขึ้นจะลอยหรือจมนั้นจะขึ้นกับปริมาณ Al ในบ่อชุบ กล่าวคือ

ถ้าในบ่อชุบมีปริมาณ Al < 0.12 เปอร์เซ็นต์ จะเกิด Bottom dross

ถ้าในบ่อชุบมีปริมาณ Al = 0.12 เปอร์เซ็นต์ - 0.14 เปอร์เซ็นต์ จะเกิด Floating - Dross

ถ้าในบ่อชุบมีปริมาณ Al > 0.14 เปอร์เซ็นต์ จะเกิด Top dross

อย่างไรก็ตาม สำหรับกระบวนการชุบแบบจุ่มร้อนที่ไม่มีการเติม Al หรือเติมน้อยมาก (โดยทั่วไปมักเติมเพื่อให้ผิวชุบสว่าง ซึ่งมักควบคุมอยู่ที่ 0.005 เปอร์เซ็นต์ Al) ก็มีโอกาสเกิด Floating Dross ในบ่อชุบได้ เราสามารถสรุปสาเหตุหลักๆ ที่ Floating Dross อาจเกิดขึ้นได้ดังนี้

#### 1. Floating dross ที่เกิดจากการลอยตัวของ Bottom Dross

กล่าวคือ ถ้าบ่อชุบมีการปั่นกววนเกิดขึ้น เช่น การจุ่มชิ้นงานลึกเกินไป จะทำให้ Bottom Dross ถูกกววนลอยขึ้นมา และเนื่องจาก Bottom Dross เกิดจากเหล็กกับสังกะสี โดยความหนาแน่นมากกว่าสังกะสีไม่มากนัก ดังนั้นการที่ Bottom Dross ซึ่งถูกกววนให้ลอยขึ้นจะตกลงสู่ข้างล่างบ่อชุบอีกครั้งจะใช้เวลานานพอสมควร

#### 2. Floating dross ที่เกิดขึ้นเอง

ซึ่ง Floating Dross ประเภทนี้จะมีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนสารประกอบ Intermetallic ที่แขวนลอยอยู่ โดยมีรูปร่างเป็นแท่งยาวๆ มีลักษณะคล้ายเข็มหรือเส้นฟาง ซึ่งปกติมักลอยอยู่รวมกันคล้ายร่างแหมักพบที่ส่วนบนของผนังบ่อชุบ หรือบริเวณผิวหน้าของบ่อชุบ

เนื่องจากความสามารถในการละลายของเหล็กในสังกะสีหลอมเหลวจะขึ้นกับอุณหภูมิโดยถ้าอุณหภูมิยิ่งสูงค่าการละลายของเหล็กก็จะเพิ่มขึ้น เหล็กมีความสามารถในการละลายในสังกะสีหลอมเหลวได้จำกัด เช่นที่อุณหภูมิ 454 องศาเซลเซียส เหล็กจะสามารถละลาย

ในสังกะสี 0.035 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือถ้ามีปริมาณเหล็กอยู่ในบ่อชุบมากกว่า 0.035 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเหล็กที่เกินจะทำให้ปฏิกิริยารวมตัวกับสังกะสีหลอมเหลวกลายเป็น Dross

Floating Dross จึงอาจเกิดจากการที่อุณหภูมิบริเวณผิวหน้าของบ่อชุบต่ำกว่า บริเวณด้านล่าง ซึ่งทำให้เหล็กตกผลึกออกมาจากบริเวณที่อุณหภูมิต่ำกว่าและรวมตัวกับสังกะสี เกิดเป็นผลึก Dross ตกออกมา ซึ่งผลึกนี้จะยังคงลอยอยู่ในบ่อชุบหรือติดไปกับชิ้นงานชุบมี ลักษณะเป็นตุ่มนูน ความแตกต่างของอุณหภูมินี้มักเกิดขึ้นบ่อยครั้งในช่วงวันหยุดหรือสุดสัปดาห์ ซึ่งจะมีการปรับไฟที่เตาให้ช้าลง ซึ่งทำให้ด้านบน บนของเตาเย็นขึ้นส่งผลให้เกิดผลึกเป็น Dross ขึ้นมาและโดยส่วนมากมักเกิดขึ้นที่ส่วนบนของผนังเตา และเมื่อมีการปรับไฟที่เตาให้แรงขึ้น เหมือนเดิมผลึกของ Dross เหล่านี้จะเคลื่อนที่โดยกระแสการพา (Convection Currents) โดยการ ตามหลักของทิศทางในการถ่ายเทพลังงานจะถ่ายเทจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มี อุณหภูมิต่ำกว่า ดังนั้นที่ก้นบ่อซึ่งเป็นบริเวณที่ใกล้ Burner จะมีอุณหภูมิสูงกว่าที่ปากบ่อ จึงทำให้เกิดกระแสการพา (Convection Currents) จากด้านล่างบ่อไปยังส่วนบนของบ่อดังนั้นจึงช่วยพยุง ให้ Floating Dross ลอยขึ้น ปัญหาความแตกต่างของอุณหภูมินี้อาจจะเกิดมาจากการพันลมเย็น บริเวณผิวหน้าบ่อ นอกจากนี้ขนาดของเตา โครงสร้างเตา ประเภทของระบบไฟ ตำแหน่งของ Burner และทางวิ่งของเชื้อเพลิงต่างก็มีผลต่อความสม่ำเสมอของอุณหภูมิในบ่อชุบซึ่งจะส่งผลการ ละลายของเหล็กในสังกะสี

นอกจากนี้สาเหตุที่ทำให้เกิด Floating Dross อาจจะมาจากการกระจายตัวที่ไม่ สม่ำเสมอหรือปริมาณที่สูงของอลูมิเนียมหรือนิกเกิล (Nickel-Ni) โดยธาตุที่เติมเข้าไปในบ่อสังกะสี จะทำให้ค่าการละลายของเหล็กในสังกะสีเปลี่ยนไป ที่ระดับนิกเกิลที่คงที่ ในบ่อชุบจะมี Dross เกิดขึ้นสองประเภท คือ Floating Dross และ Bottom Dross ซึ่ง Floating Dross จะมีปริมาณของ Ni อยู่มาก และการเติมนิกเกิลในคราวละมากๆ สามารถก่อให้เกิด Floating Dross ได้ เพราะเมื่อ เติมนิกเกิลลงในบ่อชุบจะทำให้ค่าการละลายของเหล็กในสังกะสีต่ำลง ทำให้เหล็กเกิดการ ตกตะกอนออกมาจับกับสังกะสีและนิกเกิลกลายเป็น Floating Dross การเติมปริมาณ Ni ครั้งละ น้อยๆ ทุกวันจะช่วยรักษาระดับปริมาณนิกเกิลให้คงที่ ในขณะที่การเติมไปสัปดาห์ละครั้งมีแนวโน้ม ว่าจะทำให้ปริมาณนิกเกิลลดลงต่ำกว่าระดับที่ควรจะเป็น

ได้มีการตั้งข้อสังเกตว่า Floating Dross มักจะเกิดในบ่อสังกะสี - อลูมิเนียมได้ มากกว่าในบ่อสังกะสี - นิกเกิล ในความเป็นจริงทั้งอลูมิเนียมและนิกเกิลจะทำให้เหล็กตกตะกอน ออกมาซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิด Floating Dross อย่างไรก็ตามการเติมธาตุต่างๆ เหล่านี้เป็นตัวแปร ที่สามารถควบคุมได้ง่ายกว่าเมื่อเทียบกับการควบคุมอุณหภูมิในบ่อชุบ

นอกจากนี้การที่ Floating Dross สามารถลอยได้อาจเนื่องมาจากตัวโครงสร้างของมัน เมื่อนำเอา Floating Dross ไปส่องกล้องเพื่อดู Microstructure พบว่ามีลักษณะเป็นแท่งกลวงยาว โครงสร้างที่ยาวแสดงให้เห็นว่า Floating Dross สร้างตัวขึ้นจากชั้นแตกต่างของอุณหภูมิ แม้ว่าความหนาแน่นของมันจะมากกว่าสังกะสีเล็กน้อย แต่ด้วยลักษณะโครงสร้างที่ยาวกลวง อาจจะมีส่วนช่วยพยุงให้มันลอยขึ้นมาอยู่ ด้านบนมากกว่าจะจมเหมือน Dross ทั่วไป

แนวทางการแก้ปัญหาการลดดross (Dross) ทำได้ควบคุมปริมาณเหล็กในบ่อชุบที่น้อยที่สุด ควบคุมอุณหภูมิของบ่อชุบให้สม่ำเสมอและคงที่ โดยเฉพาะบริเวณด้านบนบ่อชุบ ดังนั้นจึงควรรักษาระดับไฟในเตาให้แรงคงที่อยู่เสมอ นอกจากนี้ควรรักษาระดับระดับการเติมธาตุเพิ่มเติมในบ่อที่ควรเติมครั้งละน้อยๆ อย่างสม่ำเสมอทุกๆ วัน ไม่ควรเติมสัปดาห์ละครั้งโดยเติมครั้งละมากๆ

นอกจากนี้ผู้กล่าวว่า การพ่นก๊าซไนโตรเจนจะช่วยลดปัญหา Floating Dross ได้ ก็สามารถช่วยแก้ปัญหานี้ได้ ในกรณีที่เกิดปัญหา Floating Dross มากๆ การเติมตะกั่วรอกันบ่อ จะช่วยลดการเกิด Floating Dross อีกทางหนึ่ง

## 2.3 กระบวนการชุบสังกะสีด้วยวิธีจุ่มร้อน โดยทั่วไปประกอบด้วย 3 ขั้นตอน

### 2.3.1 การเตรียมผิวชุบเคลือบ

2.3.1.1 การทำความสะอาดผิว ใช้สารละลายต่างร้อนในการกำจัดสารปนเปื้อนชนิดสารอินทรีย์ เช่น ฝุ่น สี จาระบี และคราบน้ำมันออกจากผิวโลหะสำหรับสารจำพวกอีพอกซี ไวนิล แอลทีสต์ หรือ เศษจากการเชื่อมต่างๆ สามารถใช้ Grit หรือ Sand Blasting เพื่อเตรียมผิวโลหะก่อนชุบ

2.3.1.2 การกัดกรด ใช้สารละลายเจือจางของกรดซัลฟิวริกร้อน หรือกรดไฮโดรคลอริกที่อุณหภูมิห้องเพื่อกำจัดสเกลหรือสนิมที่ผิวโลหะ

2.3.1.3 การจุ่มฟลักซ์ ทำเพื่อกำจัดออกไซด์หรือป้องกันไม่ให้เกิดสารประกอบออกไซด์ก่อนการชุบ ทั้งนี้การเลือกใช้วิธีการชุบฟลักซ์ขึ้นอยู่กับกระบวนการชุบเคลือบผิว

1. กระบวนการชุบเคลือบผิวแบบแห้ง เหล็กจะถูกจุ่มลงในสารละลายซิงค์-แอมโมเนียมคลอไรด์ และทำให้แห้งก่อนทำการจุ่มลงในอ่างสังกะสีหลอมเหลว

2. กระบวนการชุบเคลือบผิวแบบเปียก เหล็กจะถูกจุ่มลงในอ่างสังกะสีผ่านชั้นของซิงค์-แอมโมเนียมคลอไรด์เหลวที่ลอยปกคลุมอยู่ที่ผิวหน้าสังกะสีหลอมเหลว

### 2.3.2 การชุบเคลือบผิว

โลหะจะถูกจุ่มลงในอ่างสังกะสีหลอมเหลว (สังกะสีหลอมเหลวบริสุทธิ์ 98% เป็นอย่างน้อย และรักษาอุณหภูมิที่ 449 องศาเซลเซียส) จนกระทั่งโลหะมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของบ่อสังกะสี โดยโลหะสังกะสีจะทำปฏิกิริยากับธาตุเหล็กที่ผิวชิ้นงานและก่อตัวเป็นสารประกอบเชิงโลหะของธาตุสังกะสีและเหล็ก หลังจากชิ้นงานถูกนำขึ้นจากบ่อสังกะสี สังกะสีส่วนเกินจะถูกกำจัดออก โดยการ Draining, Vibration หรือ Centrifugal และทำชิ้นงานให้เย็นในน้ำหรืออากาศทันที

### 2.3.3 การตรวจสอบ

สมบัติสองอย่างที่ใช้พิจารณาคุณภาพของผิวเคลือบก็คือ ความหนา และลักษณะของผิวเคลือบ ในการทดสอบทางกายภาพหรือในห้องปฏิบัติการอาจนำมาใช้ในการหาค่าความหนา ความสม่ำเสมอ การยึดเกาะ และลักษณะของผิวเคลือบ.

## 2.4 วัสดุที่เหมาะสมสำหรับงานชุบเคลือบผิวด้วยสังกะสี

โลหะและเหล็กแทบทุกประเภทสามารถนำมาชุบเคลือบผิวด้วยสังกะสีได้ทั้งสิ้น ไม่ว่าจะเป็นเหล็กรูปพรรณ เหล็กกล้า เหล็กรีดร้อน เหล็กรีดเย็น เหล็กหล่อ ฯลฯ ก็ได้รับผลสำเร็จเป็นอย่างดี เมื่อนำไปชุบงานเหล็กประเภทนำมาประกอบขึ้นรูปเป็นโครง (Steel Fabrications) ซึ่งอาจมีเหล็กสแตนเลสเป็นชิ้นส่วนจับยึดก็นำไปชุบได้เช่นกัน ยกเว้นวัสดุที่อ่อนตัวได้ (Soft soldered-Assemblies) ไม่เหมาะที่จะนำมาชุบ กรณีชิ้นงานเป็นทองเหลือง (Brazed Assemblies) ก็ชุบสังกะสีได้ แต่ผู้รับชุบควรจะศึกษาและปรึกษากับผู้ออกแบบชิ้นงานเสียก่อน ถือเป็นเรื่องสำคัญมากที่ผู้สั่งซื้อ (Purchaser) จะต้องให้ข้อมูลเกี่ยวกับชิ้นงานและคุณสมบัติของวัสดุนั้นแก่ผู้รับชุบให้ทราบรายละเอียดมากที่สุด หากไม่มั่นใจว่าผลการชุบจะเป็นเช่นใด ก็ควรจะมีการส่งชิ้นงานตัวอย่างไปทดลองชุบเพื่อดูผลลัพธ์เสียก่อน

โดยทั่วไปเป็นเรื่องยากที่จะระบุลงไปให้แน่นอนเลยว่า เหล็กหรือเหล็กกล้าชนิดใดจะเหมาะสมที่สุดในการนำมาชุบ (ด้วยเทคนิคปกติ) จึงขอให้นำแนวทางในการเลือกเหล็กที่มีขายในท้องตลาดดังนี้

- เหล็กโครงสร้างและเหล็กแผ่น (Structural Shapes And Plates) เช่น ASTM A36, A242 Type 2, A283, A441, A500, A501, A529, A572, A588, 1018 และ 1020
- เหล็กที่มีส่วนประกอบทางเคมีของระดับคาร์บอน (C) ต่ำกว่า 0.25 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส (P) ต่ำกว่า 1.35 เปอร์เซ็นต์, ซิลิกอน (Si) 0.05 เปอร์เซ็นต์ หรือต่ำกว่า
- เหล็กที่มีระดับซิลิกอนต่ำกว่า 0.03 เปอร์เซ็นต์ หรืออยู่ระหว่าง 0.15 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ จะ

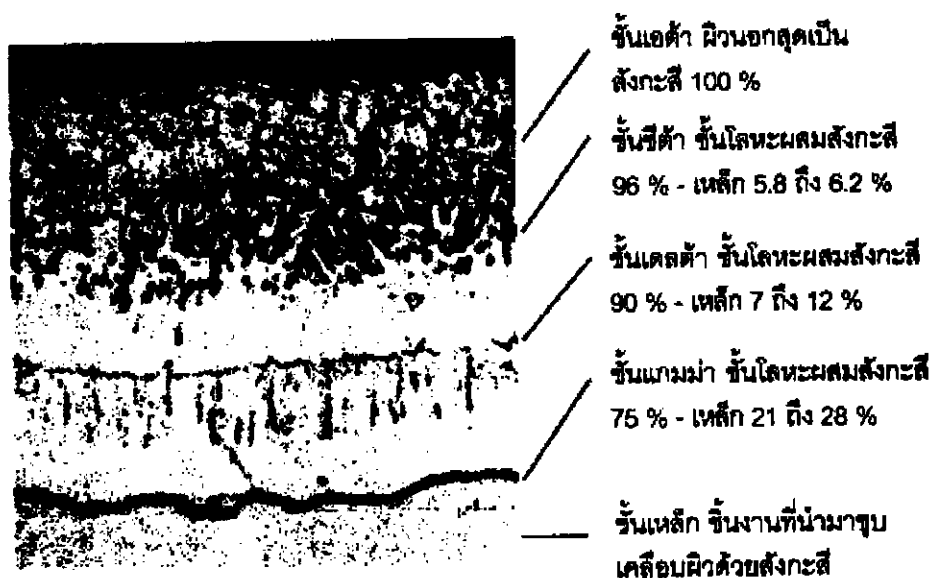
### เหมาะที่สุด

ส่วนมากแล้วในเหล็กกล้า (Steel) ที่นำมาชุบสังกะสี มักจะปรากฏว่ามีซิลิกอนเป็นส่วนผสม อยู่ด้วยเสมอ ถึงแม้ซิลิกอนจะไม่ใช่อะไหล่ผสมที่จะต้องควบคุม ทั้งนี้ก็เพราะว่าซิลิกอนถูกนำมาใช้ใน กระบวนการ Deoxidation ของเหล็ก และจะพบได้ในเหล็กหล่อ (Cast Steel) ด้วย

### 2.5 โลหะวิทยาของกัลวาไนซ์

เมื่อชิ้นงานที่ถูกทำความสะอาดและจุ่มฟลักซ์ เพื่อกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างเหล็กและ สังกะสีได้ง่ายแล้วสัมผัสเข้ากับน้ำสังกะสีหลอมเหลวในอ่างชุบ ชั้นของฟลักซ์ที่ทำหน้าที่ปกป้อง ผิวหน้า (Protective Flux Layer) จะหลุดออกไปโดยน้ำสังกะสี และเกิดปฏิกิริยาการก่อตัวของชั้น โลหะผสมของสังกะสี – เหล็ก (Formation of Zinc-Iron Alloy Layers) ขึ้นมาเป็นชั้นๆ ดัง รูปที่ 2.4 โดยที่แต่ละชั้นจะมีส่วนผสมของสังกะสีและเหล็กแตกต่างกัน ดังนี้

- ชั้นเอต้า (Eta Layer) ผิวหน้าสุดเป็นสังกะสี 100 เปอร์เซ็นต์
- ชั้นซีต้า (Zeta Layer) ชั้นโลหะผสมสังกะสี 96 เปอร์เซ็นต์ - เหล็ก 5.8 ถึง 6.2 เปอร์เซ็นต์
- ชั้นเดลต้า (Delta Layer) ชั้นโลหะผสมสังกะสี 90 เปอร์เซ็นต์ - เหล็ก 7 ถึง 12 เปอร์เซ็นต์
- ชั้นแกมมา (Gamma Layer) ชั้นโลหะผสมสังกะสี 75 เปอร์เซ็นต์ - เหล็ก 21 ถึง 28 เปอร์เซ็นต์
- ชั้นเหล็ก (Base Steel) ชิ้นงานที่นำมาชุบเคลือบผิวด้วยสังกะสี



รูปที่ 2.4 รูปของชั้นการเคลือบของสังกะสี [1]

## 2.6 การตรวจสอบชิ้นงานที่ผ่านการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน

### 2.6.1 Dull Grey Coating

สาเหตุจากการโตขึ้นของชั้นโลหะผสมสังกะสี – เหล็กผ่านทางผิวชุบ และมักพบกับเหล็กที่มีปริมาณซิลิกอนผสมอยู่สูง หรือตามแนวเชื่อม ไม่มีข้อเสียใดๆต่อชิ้นงาน

### 2.6.2 Blisters

อาการพองตัวของผิวชุบพบได้ไม่บ่อยนัก สาเหตุเกิดจากการดูดซับไฮโดรเจนของเหล็กขณะถูกกระตุ้นผิวแล้วพองเมื่อโดนความร้อนขณะชุบ

### 2.6.3 Rust Stains

เกิดจากการสัมผัสหรือมีการไหลออกมาจากพื้นผิวอื่นที่ผุกร่อน หรือจากรอยถลอก ไม่เป็นผลเสียต่อความสามารถด้านทานต่อการกัดกร่อน

### 2.6.4 General Roughness

โดยทั่วไปผิวหยาบอาจเกิดจากการจุ่มกรดกระตุ้นผิวมากเกินไป หรือจุ่มในอ่างชุบเป็นเวลานาน หรือกระทั่งอุณหภูมิของน้ำสังกะสีอ่างชุบสูงเกินไป ไม่มีผลเสียต่อชิ้นงาน

### 2.6.5 Lumpiness and Runs

ลักษณะเป็นผิวปูดเป็นก้อนและแนวไหล หากดูแล้วไม่สวยงามก็ซ่อมแซมผิวหน้าได้ไม่มีผลเสียต่อชิ้นงาน

### 2.6.6 Pimples

ลักษณะผิวขรุขระเป็นก้อนเล็กๆ จำนวนมาก มักเกิดจากดrossของการชุบ ซึ่งจะทำให้ผิวหน้าที่ชุบมีความเปราะ

### 2.6.7 Bare Spots

สาเหตุจากการเตรียมชิ้นงานของผู้รับชุบ มีเศษเชื่อมตักค้าง ผิวเหล็กมีร่อง หากขนาดไม่กว้างกว่า 3 มิลลิเมตร มีผลเสียต่อชิ้นงานเล็กน้อย แต่มีการป้องกันแบบ Cathodic อยู่แล้ว

### 2.6.8 Wet storage stain or bulky white deposit

สาเหตุหลักมาจากการจัดเก็บที่ไม่ดีและมีความชื้นสูง สามารถแก้ไขได้ด้วยวิธีที่เหมาะสม

### 2.6.9 Dark Spot/Flux Staining

รอยดำหรือคราบสกปรกที่เกิดจากชิ้นงานสัมผัสกับพื้นหรือสิ่งอื่นซึ่งสามารถล้างออกได้ แต่ถ้าเป็นคราบฟลักซ์เก่าที่เกาะชิ้นงานแล้วถูกนำไปชุบซ้ำไม่ควรรับชิ้นงานเพราะจะมีความชื้นอยู่ในผิว

### 2.6.10 Distortion

หากการชุบผิวเป็นแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifuged) โอกาสที่ชิ้นงานจะบิดเบี้ยวจากแรงเหวี่ยงมีค่อนข้างมาก การจะรับชิ้นงานหรือไม่ ขึ้นอยู่กับวิจารณ์ญาณของผู้ตรวจสอบ

## 2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน

### 2.7.1 ขนาดและรูปร่างของอ่างชุบสังกะสี

ขนาดและรูปร่างของอ่างชุบจะขึ้นอยู่กับขนาดมิติสูงสุดของชิ้นงานเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อว่าจะได้กำหนดเป็นขนาดความยาวด้านใดด้านหนึ่งของอ่างชุบเอาไว้ก่อน หลังจากนั้นจึงนำเอากำล้างการผลิตที่กำหนดว่าจะชุบเหล็กก็ดันต่อชั่วโมงไปคำนวณหาขนาดปริมาตรของอ่างชุบ ปริมาณโลหะสังกะสีหลอมเหลวที่จะใช้ ตลอดจนการคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ต้องการใช้เพื่อนำไปเลือกระบบเชื้อเพลิงต่อไป

โดยทั่วไปแล้วอ่างชุบสังกะสีมักจะมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ผนังทำจากแผ่นเหล็กชนิดทนความร้อนสูงมีความหนาประมาณ 1 ถึง 2 นิ้ว หรือ 20 ถึง 50 มิลลิเมตร (ขึ้นอยู่กับขนาดของอ่าง) วิธีการชุบนั้นหากชิ้นงานที่นำมาชุบมีขนาดใหญ่หรือยาวเกินกว่าขนาดของอ่าง ก็ต้องใช้วิธีการชุบแบบจุ่มสองครั้ง (Double-end Dipping) หรือถ้าชิ้นงานเป็นทรงกระบอกกวางขนาดใหญ่ (large Cylindrical Objects) ก็สามารรถเปลี่ยนมาใช้ วิธีการชุบแบบโปรเกรสซีฟ (Progressive Dipping) ซึ่งเป็นการชุบเป็นชั้นๆ ไป ดังรูปที่ 2.5

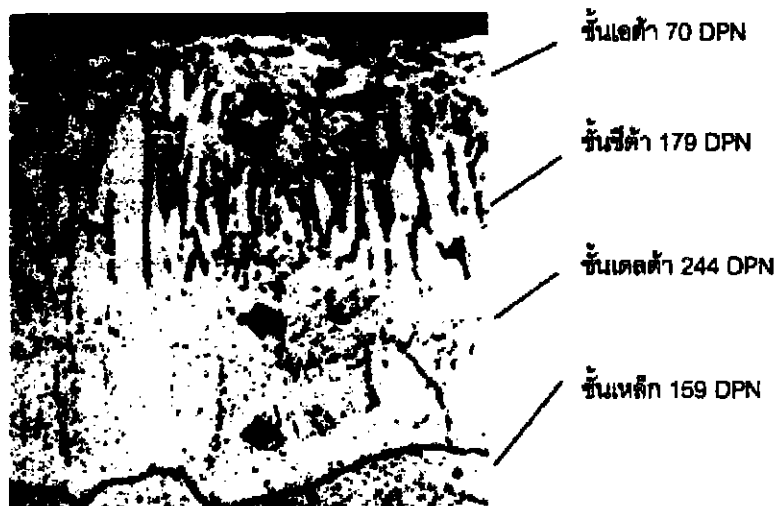


รูปที่ 2.5 วิธีการจุ่มชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ [1]

ในการปฏิบัติงานนั้นจะต้องใช้น้ำหนักของน้ำสังกะสีไม่น้อยกว่า 20 เท่าของน้ำหนักชิ้นงานที่ชุบในเวลา 1 ชั่วโมง หรือถ้าจะให้ดีแล้วควรจะไม่ต่ำกว่า 40 เท่า ทั้งนี้เพื่อสร้างความมั่นใจได้ว่าจะมีน้ำสังกะสีมากพอที่จะชุบชิ้นงานได้โดยไม่ขาดช่วงซึ่งสำคัญมาก ดังนั้นผู้รับชุบจะต้องมี

ความสามารถในการคำนวณด้วยว่ามีปริมาณสังกะสีเกาะติดไปกับชิ้นงานเท่าใดต่อการจุ่มชิ้นงานลงไปหนึ่งครั้ง

### 2.7.2. ความทนทานต่อการชุบซ้ำของผิวเคลือบ



รูปที่ 2.6 ขนาดความแข็งของผิวเคลือบแต่ละชั้นของโลหะผสมสังกะสี – เหล็ก [1]

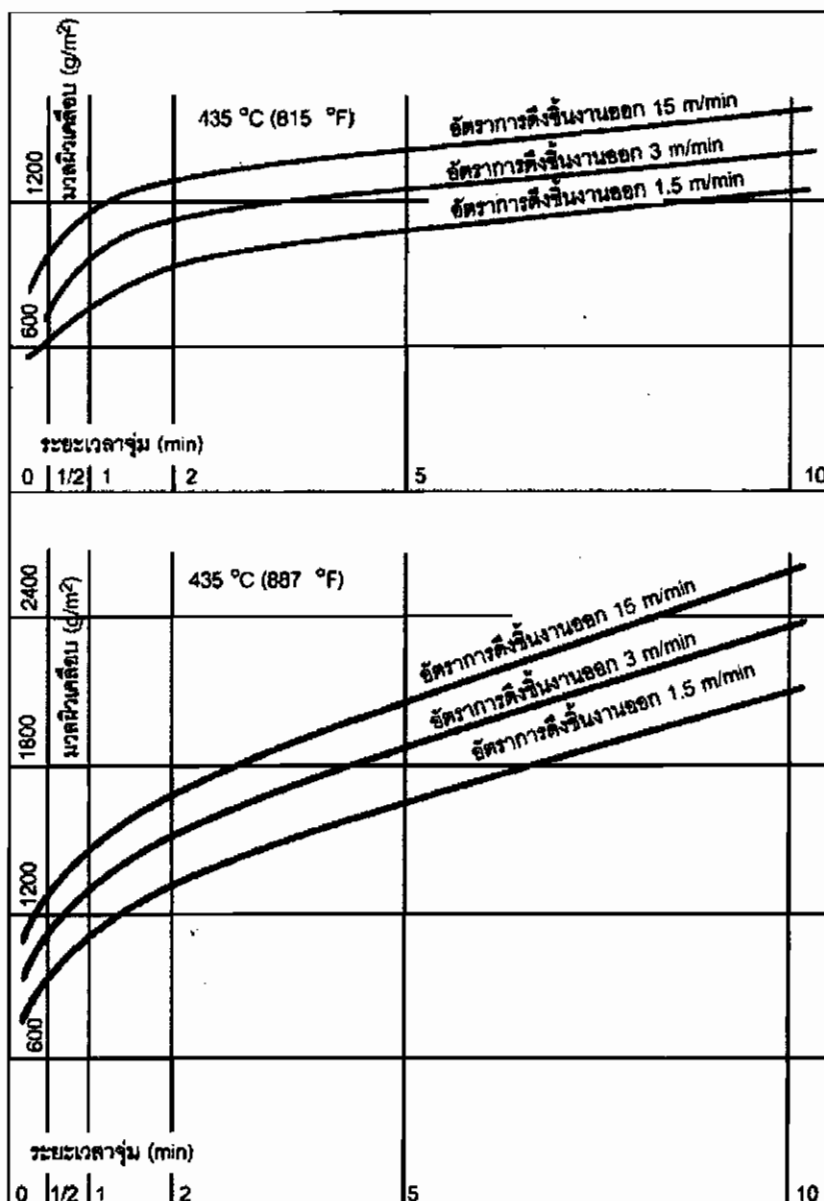
รูปที่ 2.6 เป็นรูปการแสดงชิ้นงานโลหะ ของชั้นโลหะผสมสังกะสี – เหล็ก แสดงถึงความแข็งของแต่ละชั้น (Hardness) ซึ่งพบว่าชั้นซีด้าและเคลด้าแข็งกว่าเหล็ก ดังนั้นเมื่อมีการชุบซ้ำหรือผิวเคลือบได้รับแรงหนักๆ ขณะใช้งานก็จะมีผิวของชั้นเอด้า ซึ่งมีความอ่อนกว่าชั้นอื่นๆ เท่านั้นที่อาจจะหลุดออกไปในขณะที่ชั้นที่มีความแข็งมากๆ อย่างชั้นซีด้าและเคลด้ายังคงปกป้องผิวของเหล็กเอาไว้

### 2.7.3 ความหนาของผิวเคลือบ

ปกติแล้วความหนาของผิวเคลือบจะเกิดขึ้นในช่วงหนึ่งนาทีแรกเมื่อจุ่มชิ้นงานลงไป ในอ่างชุบ ชั้นของโลหะผสมสังกะสี – เหล็กจะโตขึ้นอย่างรวดเร็วบนผิวของเหล็กชิ้นงาน หลังจากเลยช่วงเวลาดังกล่าวไปแล้วแม้จะแช่ชิ้นงานต่อไปก็จะมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความหนาน้อยมาก ควรดึงชิ้นงานขึ้นจากอ่างชุบด้วยอัตราความเร็วพอเหมาะที่ทำให้น้ำสังกะสีไหลออกมาจากชิ้นงานได้อย่างอิสระ น้ำหนักมวลโดยรวมของสังกะสี (Total Zinc Coating Mass) ที่เคลือบอยู่บนชิ้นงาน จะมีความสัมพันธ์กับขนาดมิติและความหนาของชิ้นงานที่นำมาชุบ เวลาในการจุ่ม



(1-5 นาที) อุณหภูมิของสังกะสีหลอมเหลวในอ่างชุบและความเร็วในการดึงชิ้นงานขึ้นมาด้วย ส่วนตัวเลขจะเป็นเท่าใดนั้นโรงชุบแต่ละโรงจะต้องทดลองและอาศัยเทคนิคของตนเองว่าทำอย่างไรจึงจะได้ความหนาตามที่ต้องการ หรืออาจใช้กราฟในรูปที่ 2.7 เป็นแนวทาง



รูปที่ 2.7 ผลของอัตราเร็วในการดึงชิ้นงานขึ้นจากอ่างชุบต่อน้ำหนักความหนาของผิวเคลือบ[1]

#### 2.7.4 มาตรฐานค่าความหนาของผิวเคลือบสังกะสี

มาตรฐานออสเตรเลีย AS1650 – 1989 Hot – Dip Galvanized Coatings on Ferrous Articles ได้กำหนดค่าความหนาเฉลี่ยต่ำสุด (Minimum Average Coating Thickness) ของผิวเคลือบสังกะสีไว้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 มาตรฐาน AS1650 1989 Hot Dip galvanized coatings on ferrous articles [1]

รายการ	มวลของการชุบเฉลี่ย ต่ำสุดบนแต่ละพื้นที่ ทดสอบ, (g/m <sup>2</sup> )	ความหนา สมมูล (mm)
เหล็กที่มีความหนามากกว่า 5 mm	600	84
เหล็กที่มีความหนาอยู่ระหว่าง 2 mm ถึง 5 mm	450	63
เหล็กที่มีความหนาน้อยกว่า 2 mm	350	49
เหล็กหล่อ (Iron and Steel)	600	84
หน้าตัดกลวง (ท่อ)	300	42

จากตารางที่ 2.2 มวลรวมของการชุบสังกะสีบนเหล็กชิ้นใหญ่ (Total Coating on – Heavier Steel Sections) นั้นจะมีค่าปกติอยู่อย่างต่ำ 600 กรัมของสังกะสีต่อพื้นที่ผิวหนึ่งตารางเมตร (g/m<sup>2</sup>) หรือมีค่าสมมูลหน่วยเป็น 84 มิลลิเมตร

เป็นเรื่องปกติ หากพบว่าเมื่อวัดค่าความหนาของผิวเคลือบสังกะสีบริเวณขอบมุมของชิ้นงาน แล้วพบว่าวัดค่าความหนาได้มากกว่าบริเวณอื่นๆ

ตารางที่ 2.3 มาตรฐาน BS 729: 1971 Hot Dip Galvanizing Coatings on from Steel Articles [1]

ประเภท	น้ำหนักของการชุบเฉลี่ยต่ำสุดสำหรับ พื้นที่ทดสอบแต่ละส่วน (g/m <sup>2</sup> )	ความหนาของการ ชุบ (mm)	
เหล็กกล้าซึ่งชุบแบบ ไม่ใช้แรงเหวี่ยง	เหล็กหนา 5 mm และหนากว่า	610	85
	เหล็กหนาท่ำกว่า 5 mm แต่ไม่ต่ำกว่า 2mm	460	65
เหล็กหล่อสีเทา และเหล็กกรีด	เหล็กหนากว่า 2 mm แต่ไม่ต่ำกว่า 1 mm	335	47
สลักและชิ้นงานอื่นที่ชุบ แบบใช้แรงเหวี่ยง		610	85
		305	43

ตารางที่ 2.4 ค่าความหนาเฉลี่ยต่ำสุดของการชุบแยกตามประเภทวัสดุ ตามมาตรฐาน ASTM A 123/A 123 M: 1997 Standard Specification for zinc (Hot-Dip Galvanized) coatings on iron and steel product [1]

ประเภทวัสดุ	ความหนาเหล็ก				
	<1/16 in (<1.6mm)	1/16 ถึง <1/8 in (1.6 ถึง <3.2 in)	1/8 ถึง 3/16 in (3.2 ถึง 4.8 mm)	>3/16 <1/4 in (>4.8 ถึง <6.4 mm)	<1/4 in (< 6.4 mm)
เหล็กโครงสร้าง	45	65	85	85	100
เหล็กแผ่นแคบ	45	65	75	75	100
ท่อกลวง	-	-	75	75	75
ลวดเส้น	45	45	65	65	85

### 2.7.5 อัตราการกัดกร่อนของเหล็กสังกะสี

จากการทดสอบกลางแจ้ง โดย The American Society for Testing and Materials (ASTM) ได้ผลลัพธ์ออกมาว่าสังกะสีมีอัตราการกัดกร่อนต่ำกว่าเหล็กตั้งแต่ 17 เท่าจนถึง 80 เท่าที่สภาพแวดล้อมต่างๆ กัน ดังแสดงในตารางข้างล่าง จึงเป็นสิ่งยืนยันได้ว่าชิ้นงานที่ผ่านการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อนจะมีอายุการใช้งานที่ยืนยาวกว่า

แผ่นสังกะสี	ถึง 60 g/m <sup>2</sup>				
การชุบเย็นแผ่น		40 ถึง 240 g/m <sup>2</sup>			
การชุบแบบจุ่มร้อน				300 ถึง 900 g/m <sup>2</sup>	
การพ่นสังกะสี	600 ถึง 1500 g/m <sup>2</sup>				
		300	600	900	1200 1500

รูปที่ 2.8 มวลของการชุบสังกะสีที่ได้จากวิธีของกระบวนการต่างๆ ในทางการค้า หน่วย g/m<sup>2</sup> [1]

ตารางที่ 2.5 อัตราการกัดกร่อน, เหล็ก, สังกะสี [1]

แห้งแล้ง	Phoenix, Arizona	17 : 1
เขตเมือง	State College, Pa	22 : 1
อุตสาหกรรมเบา	Monroeville, Pa	28 : 1
เขตอุตสาหกรรม	East Chicago, Ill	52 : 1
แถบทะเล	Kure Beach, NC	80 : 1

### 2.7.6 การควบคุมคุณภาพโดยรวม

โดยปกติเมื่อกล่าวถึงการควบคุมคุณภาพสำหรับการชุบสังกะสีด้วยวิธีจุ่มร้อน ส่วนใหญ่จะมีการสุ่มตัวอย่างชิ้นงานที่ผ่านขั้นตอนการชุบอย่างสมบูรณ์แล้วมาวัดความหนาที่เคลือบ หรือทดสอบคุณสมบัติการยึดเกาะของสังกะสีบนชิ้นงานที่สุ่มมาว่าตรงกับความต้องการหรือได้ตามมาตรฐานที่ยึดถือ ซึ่งเป็นวิธีการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ (Statistic Quality Control: SQC) ในปัจจุบันจะเน้นที่การควบคุมคุณภาพในทุกขั้นตอนตั้งแต่วัตถุดิบต้องได้มาตรฐาน, กระบวนการและเทคนิคการผลิตที่มีคุณภาพ มีการควบคุมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าหรือทดสอบอย่างดี จะให้ร่วมกับการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ ฯลฯ วิธีการนี้เป็น การควบคุมคุณภาพโดยรวม (Total Quality Control: TQC) หรือ การประกันคุณภาพ (Quality Assurance: QA)

2.7.6.1 การตรวจสอบความหนาของการชุบสังกะสี ในการหาจำนวนชิ้นงานตัวอย่างเพื่อใช้เป็นตัวแทนควบคุม (Control Sample) ของล็อต จำนวนตัวอย่างที่น้อยที่สุดที่จะสุ่มมาตรวจสอบในแต่ละล็อต สามารถใช้มาตรฐาน ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 จำนวนตัวอย่างที่น้อยที่สุดที่จะสุ่มมาตรวจสอบในแต่ละล็อต สามารถใช้มาตรฐาน

ASTM A123/A123M และ ISO 1461: 1997 (E) [1]

จำนวนชิ้นงานในล็อต	จำนวนตัวอย่างที่สุ่มมาตรวจเพื่อเป็นตัวแทนควบคุม
1 ถึง 3	ทั้งหมด
4 ถึง 500	3
501 ถึง 1200	5
1201 ถึง 3200	8
3201 ถึง 10000	13
>10000	20

ป  
TS  
660  
ท115ก  
2551

-3 ก.ย. 2552

14653899



สำนักหอสมุด

### 1. การตรวจสอบชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นแบบ Multi Specimen-

Articles การวัดแต่ละ specimen จำนวน 5 จุดหรือมากกว่าอย่างกระจายทั่วถึง ค่าความหนาเฉลี่ยต่ำสุดของทั้ง 3 Specimens (Minimum Average Coating Thickness) จะต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่ยึดถือ (อ้างอิงมาตรฐาน ASTM A123/A123M:1997) และทุก Test Articles (Specimens) ก็จะต้องได้ค่าความหนาเฉลี่ยต่ำสุดไม่ต่ำกว่าที่มาตรฐานระบุเช่นกัน

### 2. การตรวจสอบชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นแบบ Single Specimen-

Articles ทำการวัดแต่ละ Specimen จำนวน 5 จุดหรือมากกว่าอย่างกระจายทั่วถึง ค่าความหนาเฉลี่ยต่ำสุดของทั้ง 3 Specimens (Minimum Average Coating Thickness) จะต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่ยึดถือ (อ้างอิงมาตรฐาน ASTM A123/A123M:1997) และทุก Test Articles (Specimens) ก็จะต้องได้ค่าความหนาเฉลี่ยต่ำสุดไม่ต่ำกว่าที่มาตรฐานระบุเช่นกัน

### 3. การตรวจสอบชิ้นงานที่ทำขึ้นจากหลายๆ ชิ้นส่วน ในกรณีนี้ความ

หนาของการชุบสังกะสีสำหรับชิ้นงานที่มีความหนาต่างกันจะวัดค่าได้ไม่เท่ากันในการตรวจสอบค่าความหนาของสังกะสีจึงต้องวัดแยกกันตามลักษณะและความหนาของชิ้นงาน โดยชิ้นที่มีความบางจะวัดค่าความหนาของสังกะสีได้น้อยกว่าชิ้นงานที่หนามากกว่า ดังนั้นจึงต้องยึดถือค่าความหนาของการชุบกันคนละค่า แต่ก็ยังต้องเป็นค่าตามที่มาตรฐานกำหนดด้วย

ข้อสังเกต มาตรฐานที่นอกเหนือจาก ASTM A123/A123M เช่น BS 729 และ ISO 1461:1999 (E) มีการกำหนดจำนวนจุดวัด และแบ่งตำแหน่งพื้นที่อ้างอิง (Reference Areas) สำหรับการวัดความหนาของการชุบสังกะสีไว้แตกต่างกับมาตรฐาน ASTM (ซึ่งแบ่งพื้นที่อ้างอิงไว้ตามส่วน) เมื่อใช้การวัดแบบ Magnetic หรือ Gravimetric Test โดยมีความสัมพันธ์กับขนาดของชิ้นงานดังนี้

- ชิ้นงานที่มีพื้นผิวมากกว่า 2 ลูกบาศก์เมตร (Large Articles) จะแบ่งพื้นที่อ้างอิงสำหรับการวัดออกเป็นอย่างน้อย 3 ส่วน ค่ากลางของความหนาการชุบ (Mean Coating-Thickness Values) ที่วัดได้ ในพื้นที่อ้างอิง (เช่น วัด 3 จุด) ควรจะวัดได้เท่ากับหรือมากกว่าค่าในตารางที่มาตรฐานกำหนด

- ชิ้นงานที่มีพื้นผิวมากกว่า 10,000 ลูกบาศก์มิลลิเมตร จนถึง 2 ลูกบาศก์เมตร จะแบ่งพื้นที่อ้างอิงสำหรับการวัดออกเป็นอย่างน้อย 1 ส่วน

- ชิ้นงานที่มีพื้นผิวระหว่าง 1,000 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ถึง 10,000 ลูกบาศก์มิลลิเมตร จะแบ่งพื้นที่อ้างอิงสำหรับการวัดออกเป็น 1 ส่วน

## 2.8 ลักษณะของวัสดุที่ใช้ในกระบวนการชุบสังกะสีด้วยวิธีจุ่มร้อน

### 2.8.1 สังกะสี (Zinc)

แท่งสังกะสีที่นำมาใช้ในกระบวนการชุบควรมีคุณภาพดี มาจากแหล่งสังกะสีและบริษัทที่เชื่อถือได้ มีการวิเคราะห์ผลและมีส่วนผสมที่สม่ำเสมอ หลีกเลี่ยงการใช้สังกะสีที่มีส่วนผสมของเหล็กไม่ควรเกิน 0.05 เปอร์เซ็นต์ เพราะเหล็ก 1 ส่วนทำให้เกิดครอสขึ้นมาถึง 25 ส่วน ถ้าใช้แท่งสังกะสีใหม่มักจะไม่มียะลูมิเนียมปนอยู่ แต่ถ้าเป็นสังกะสีที่ใช้แล้วนำกลับมาหลอมใหม่ก็จะมีอะลูมิเนียมผสมอยู่ด้วย หากหลีกเลี่ยงปัญหานี้ไม่ได้ก็ควรนำมาใช้ในกระบวนการชุบอย่างระมัดระวัง เกรดสังกะสีที่ระบุใน ASTM B6 สามารถนำมาใช้ในงานชุบสังกะสีได้ดี โดยกำหนดให้สิ่งปนเปื้อน (Impurities) ซึ่งได้แก่ ตะกั่ว เหล็ก และแคดเมียมรวมกันแล้วจะต้องไม่เกิน 1.65 เปอร์เซ็นต์ ของสังกะสีส่วนมากแท่งสังกะสีนิยมใช้กันเป็นเบอร์ Zn 4 ตามมาตรฐานอังกฤษ BS 3436 – 1961 จะมีตะกั่วผสมอยู่ไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ หรือมาตรฐานญี่ปุ่น JIS H2107 Distilled Zinc Metal Class 1 ซึ่งมีส่วนผสมดังนี้

สังกะสี	อย่างน้อย	98.5	เปอร์เซ็นต์
เหล็ก	ไม่เกิน	0.025	เปอร์เซ็นต์
แคดเมียม	ไม่เกิน	0.4	เปอร์เซ็นต์
ตะกั่ว	ไม่เกิน	1.3	เปอร์เซ็นต์

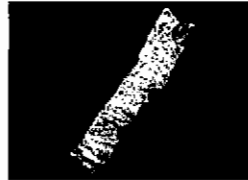
#### 2.8.1.1 ข้อมูลทั่วไปของสังกะสี

สัญลักษณ์	Zn
จุดหลอมเหลว	419°C
ความถ่วงจำเพาะ	7.13 g/cm <sup>3</sup>
ความร้อนจำเพาะ	0.39 J/g °C
ความร้อนแฝง	2.24 kcal/kg
ราคา (ม.ค. 2543)	1191 US\$/ton
คิดเป็น	44.66 บาท/กิโลกรัม.

#### 2.8.1.2 การใช้งาน

- เคลือบโลหะ เพื่อป้องกันสนิมและการกัดกร่อน เช่นใน กระเบื้องสังกะสี หรือกระเบื้องสังกะสีลูกฟูก เรียกกันในวงการช่างโลหะว่า เหล็กอาบสังกะสี หรือ เหล็กชุบสังกะสี
- ส่วนประกอบในโลหะผสม เช่นใช้ในการทำของเล่น
- ใช้เป็นภาชนะของถ่านอัลคาไลน์

- สังกะสีเป็นสารอาหาร ที่พบได้มากในหอยนางรม ไปรตีนถั่ว แอลมอนต์ เมล็ดพิททอง และเมล็ดทานตะวัน



รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะโลหะสังกะสี [1]

ในโรงชุบสังกะสีส่วนใหญ่จะวางตะกั่วไว้ที่ก้นอ่างชุบเพื่อช่วยป้องกันการเกิดครอส น้ำสังกะสีจะซึมตัวด้วยตะกั่ว ซึ่งละลายปนอยู่ในอ่างชุบอยู่ประมาณ 1.2 เปอร์เซ็นต์ เป็นที่ทราบกันดีว่าการชุบสังกะสีจะทำได้ยากหากมีตะกั่วปนอยู่ต่ำกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ แท่งสังกะสีที่ใช้หากจะมีตะกั่วผสมอยู่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ ก็ยังสามารถนำมาใช้ได้อยู่ เพราะว่าตะกั่วส่วนเกินจะแยกตัวออกไปอยู่ที่ก้นอ่างเมื่อสังกะสีหลอมเหลวแล้ว

## 2.8.2 เหล็ก (Steel)

### 2.8.2.1 ข้อมูลทั่วไปของเหล็ก

สัญลักษณ์	Fe
จุดหลอมเหลว	1350°C
ความถ่วงจำเพาะ	7.86 g/cm <sup>3</sup>
ความเข้มข้นจำเพาะ	0.45 J/g°C

หากเป็นไปได้ผู้รับชุบ (Galvanizers) ควรให้คำปรึกษาในการเลือกเกรดของเหล็กแก่นักออกแบบให้ถอดออกเป็นชิ้นได้ (Modular Design) เพื่อให้สะดวกต่อการขนย้ายและขนส่ง และนำไปประกอบเข้าด้วยกันในภายหลัง ผู้ออกแบบจึงควรที่จะพิจารณาเรื่องขนาดและรูปร่างของชิ้นงานกับผู้รับชุบเสียตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ เพื่อวางแผนหาวิธีการชุบชิ้นงานที่เหมาะสม ชิ้นงานทุกชิ้นต้องมีช่องทางหรือรูให้น้ำสังกะสีไหลเข้าออกได้โดยสะดวก (Proper Drainage) หากการออกแบบให้น้ำสังกะสีไหลได้ไม่สะดวกจะเป็นผลทำให้ได้ผิวชุบที่ไม่ดี เป็นจุดหรือมีสังกะสีแห้งตกค้างอยู่บนผิวงาน ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่พึงปรารถนาทำให้ต้องแก้ไขใหม่ และชุบซ้ำอีกครั้ง เกิดเป็นค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็นอย่าอวยอมชุบชิ้นงานที่ไม่มีทางให้น้ำสังกะสีไหลออก โดยเฉพาะอย่างยิ่งชิ้นงานที่เป็นแบบภาชนะปิด ซึ่งข้างในกลวงแต่ด้านนอกปิดสนิท (Closed Vessels) เพราะอาจเกิดอันตรายจากการระเบิดขณะทำการชุบได้

## 2.9 ลักษณะของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการชุบสังกะสีด้วยวิธีจุ่มร้อน

### 2.9.1 กรดไฮโดรคลอริกหรือกรดเกลือ (Hydrochloric Acid) [3]

เป็นสารประกอบเคมีประเภทกรดละลายในน้ำโดยเป็นสารละลายของไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl) เป็นกรดแก่ เป็นส่วนประกอบหลักของกรดกระเพาะ (Gastric acid) และใช้กันอย่างกว้างในอุตสาหกรรมเป็นของเหลวที่มีพลังการกัดกร่อนสูง

กรดไฮโดรคลอริก หรือ มูเรียติกแอซิด ถูกค้นพบโดยนักเล่นแร่แปรธาตุชื่อจาเบียร์ เฮย์-ยัน (Jabir ibn Hayyan) ราวปี 800 ช่วงปฏิวัติอุตสาหกรรม (Industrial Revolution) ถูกใช้อย่างกว้างขวางในการผลิตสารประกอบอินทรีย์ เช่น วินิลคลอไรด์ สำหรับผลิต PVC พลาสติก และ MDI/TDI (Toluene Diisocyanate) สำหรับผลิต พอลิยูรีเทน (Polyurethane) และใช้ในการผลิตขนาดเล็กเช่น การผลิต เจนลาติน (gelatin) ใช้ปรุงอาหาร และใช้ฟอกหนัง

#### 2.9.1.2 ทัวไป

ชื่อ	ไฮโดรคลอริกแอซิด
ชื่ออื่น	กรดเกลือ หรือ (Muriatic Acid)
สูตรโมเลกุล	HCl in น้ำ (H <sub>2</sub> O)
มวลโมเลกุล	36.46 g/mol (HCl)
ลักษณะปรากฏ	ของเหลวใสไม่มีสี ในรูปบริสุทธิ์ ใสความเข้มข้นสูง

#### 2.9.1.3 สมบัติ

ความหนาแน่น และ เฟส	1.18 g/cm <sup>3</sup> , 37% solution
การละลายในน้ำ	Fully miscible
จุดหลอมเหลว	-26 °C (247 K), สารละลาย 38%
จุดเดือด	48 °C (321 K), สารละลาย 38%



รูปที่ 2.10 กรดไฮโดรคลอริก [1]



## 2.9.2 โซดาไฟ (Caustic Soda) หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) [3]

เป็นด่างแก่ที่ละลายได้ในน้ำ ผลิตได้จากกระบวนการแยกสารทางไฟฟ้า (Electrolysis) ของน้ำเกลือ เป็นสารที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในทางอุตสาหกรรม

### 2.9.2.1 ชื่อเรียกอื่น

โซดาไฟ; Caustic Soda; Soda lye; Sodium Hydrate; Soda, Hydrate.

### 2.9.2.2 สูตรโมเลกุล

NaOH

### 2.9.2.3 น้ำหนักโมเลกุล

40.00 g/mol

### 2.9.2.4 จุดหลอมเหลว

318 องศาเซลเซียส

### 2.9.2.5 คุณสมบัติ

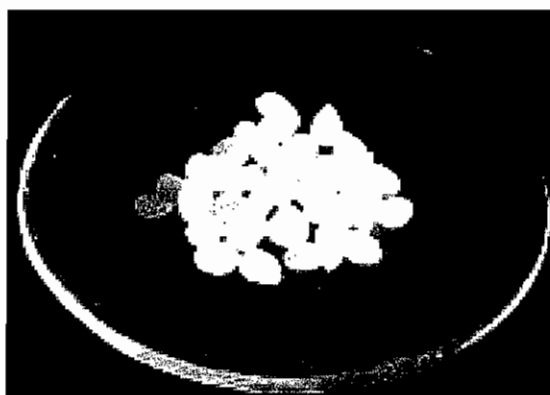
เป็นของแข็ง (ในรูปแบบผง เกิดเป็นแท่งหรือ เม็ดกลม) สีขาว ไม่มีกลิ่น ดูดความชื้นและคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ

### 2.9.2.6 การใช้ที่มีกฎหมาย

ใช้ในการผลิตโคคาเพส โคเคนเบส

### 2.9.2.7 การใช้ที่ถูกต้องกฎหมาย

ใช้ในอุตสาหกรรมเคมี กัดน้ำมัน อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมยาง และอุตสาหกรรมสิ่งทอ



รูปที่ 2.11 โซดาไฟหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ [1]

### 2.9.3 สารละลายซิงค์แอมโมเนียม

**ซิงค์แอมโมเนียมคลอไรด์ดับเบิลซอลท์ (Zinc Ammonium Chloride Double-Salt)** สารนี้เป็นฟลักซ์ใช้สำหรับการกำจัด ออกไซด์ที่อยู่บนเนื้อเหล็กเพิ่มการเคลือบผิวและป้องกันการเกิดออกไซด์ช่วงที่ผิวของเหล็ก ซิงค์แอมโมเนียมคลอไรด์ (Zinc Ammonium Chloride) ใช้ในกระบวนการทำความสะอาดผิวเหล็กก่อนที่นำเข้าไปสู่กระบวนการกัดปิวาไนต์

#### การแยกแยะผลิตภัณฑ์ของการใช้งาน

**ซิงค์แอมโมเนียมคลอไรด์ดับเบิลซอลท์ (Zinc Ammonium Chloride Double Salt)**

รหัสสินค้า 14639-97-5

สูตรโมเลกุล  $ZnCl_2 \cdot 2NH_4Cl$

น้ำหนักโมเลกุล 243.27 g/mol

**ซิงค์แอมโมเนียมคลอไรด์ทริเปิลซอลท์ (Zinc Ammonium Chloride Triple Salt)**

รหัสสินค้า 14639-98-6

สูตรโมเลกุล  $ZnCl_2 \cdot 3NH_4Cl$

น้ำหนักโมเลกุล 296.76 g/mol

**ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติของซิงค์แอมโมเนียมคลอไรด์ดับเบิลซอลท์และซิงค์แอมโมเนียมคลอไรด์ทริเปิลซอลท์ [1]**

PROPERTY	DOUBLE SALT	TRIPLE SALT
Appearance	Colourless to pale yellow crystals	
ZnCl <sub>2</sub>	55.5% min	45% min
NH <sub>4</sub> Cl	42.5% min	51.0% min
Moisture	2.0% max	2.0% max
Fe	50ppm max	50ppm max
SO <sub>4</sub>	0.05% max	0.005% max

### 2.10 เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบ

**กล้องจุลทรรศน์ (Microscope)** แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

#### 2.10.1 กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical Microscope: OM)

กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโดยทั่วไปที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันนี้ สามารถที่จะช่วยให้มนุษย์มองเห็นรายละเอียดได้สูงสุดอยู่ในระดับของช่วงแสงที่มนุษย์มองเห็นได้

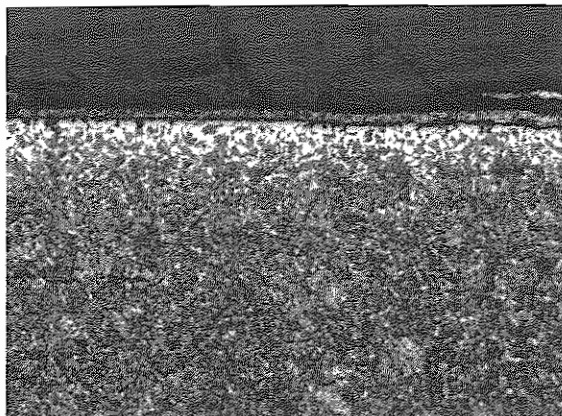
คือ 400 – 700 นาโนเมตรเพียงเท่านั้น (หรือที่ดีที่สุดก็อยู่ในช่วงระดับความละเอียด 200 – 400 นาโนเมตร)

### วิธีการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง

1. ยกกล้องอย่างถูกวิธี
2. วางกล้องไว้ตรงหน้า ปรับกล้องให้อยู่ในลักษณะที่สามารถทำงานได้สะดวก ไม่ต้องก้มและอยู่ใกล้แห่งกำเนิดแสง
3. ศึกษาส่วนประกอบและระบบการทำงานของกล้อง
4. ให้หมุนรีโวลวิงในสปีชเอาเลนส์ใกล้วัตถุอันกำลังขยาย 4 เท่า หรือ 10 เท่า เข้าตรงกลางช่องกึ่งกลางของแท่นวางวัตถุ ขณะหมุนเมื่อได้ยินเสียงดังกริก หมายความว่า เลนส์เข้าที่ถูกต้องแล้ว
5. ปรับเลนส์รวมแสงขึ้นอยู่ในระดับสูงสุด
6. เปิดไอริสไดอะแฟรมของเลนส์รวมแสงออกให้กว้างที่สุด
7. กรณีที่ใช้กระจกเงาก็ให้เปิดสวิตช์ของหลอดไฟฟ้าจากแหล่งแสง หากแหล่งแสงอยู่ที่ฐานก็ให้เสียบปลั๊กเปิดสวิตช์ได้เลย แสงที่สมควรเป็นแสงขาวนวล
8. นำตัวอย่างที่ต้องการศึกษามาวางบนแท่นให้ส่วนที่จะดูอยู่ตรงจุดกึ่งกลางตรงส่วนบนสุดของเลนส์รวมแสง
9. การปรับภาพหรือโฟกัสต้องคำนึงถึงระยะทำงานของเลนส์ใกล้วัตถุทุกครั้ง กล้องเลนส์ประกอบที่วูๆ ไป เริ่มต้นด้วยการใช้กำลังขยายต่ำ ก่อนทุกครั้งแล้วจึงค่อยเปลี่ยนเมื่อภาพชัดเจนไปสู่กำลังขยายที่สูงขึ้นอันดับๆ ไปตามลำดับ การปรับโฟกัสซึ่งเป็นวิธีการที่รวดเร็วและได้ผลดี คือ เลื่อนแท่นกับเลนส์ใกล้วัตถุเข้าหากันมากที่สุด (หมุนวงล้อไปทางเดิมไม่ได้) จากนั้นให้มองที่เลนส์ใกล้ตาแล้วค่อยๆ หมุนปรับวงล้อกลับทางทิศเดิม เพื่อให้แท่นกับเลนส์ใกล้วัตถุห่างกันอย่างช้าๆ อย่างหลับตาจนถึงระยะหนึ่งจะมองเห็นภาพจุดนี้ คือ จุดโฟกัสแล้วปรับให้ภาพชัดเจน
10. เลื่อนภาพตรงตำแหน่งที่ต้องการศึกษาเข้ากึ่งกลางของพื้นที่ปรับภาพให้ชัดเจนอีกครั้งก่อนเปลี่ยนกำลังขยายที่สูงขึ้นอันดับๆ ไป

### การเตรียมตัวอย่างสำหรับเครื่อง OM

1. เตรียมชิ้นงาน
2. นำชิ้นงานมาตัด
3. นำชิ้นงานขัดกระดาษทรายเบอร์ 80, 180, 600, 800 และ 1000
4. นำชิ้นงานไปขัดเงาหรือ Polishing
5. ตรวจสอบโครงสร้าง



รูปที่ 2.12 ภาพที่ได้จากกล้อง OM [1]

### 2.10.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เป็นกล้องที่ใช้ลำแสงอิเล็กตรอนขนาดเล็กมากๆ ให้เห็นใหญ่ขึ้นได้กว่าเดิมถึงสองแสนเท่า กล้องชนิดนี้ใช้อิเล็กตรอนแทนแสง โดยใช้อำนาจแม่เหล็กไฟฟ้าบังคับกระแสอิเล็กตรอนให้พุ่งไปรวมกันที่จุดใดจุดหนึ่ง บนตัวอย่างในทำนองเดียวกับการใช้เลนส์รวมแสงไปที่จุดโฟกัสในกล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดาซึ่งจะได้ภาพจะเกิดขึ้นบนจอมอนิเตอร์โดยสามารถที่จะเลือกบริเวณที่จะดูได้อย่างสะดวก โดยระบบของเครื่องจะอยู่ในสภาพสุญญากาศ

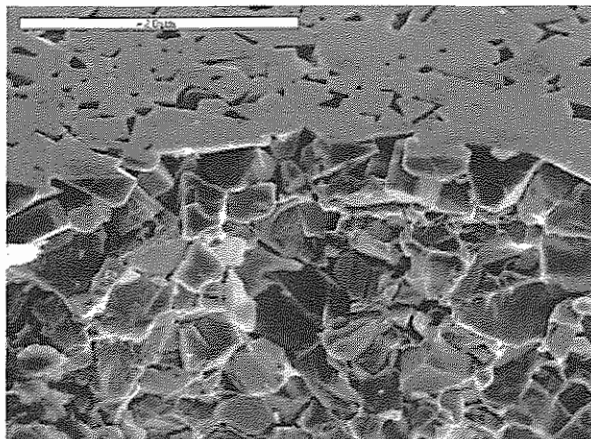
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเป็นประโยชน์มากในการศึกษาค้นคว้าทางการแพทย์ โลหะวิทยา และวิทยาศาสตร์ อื่นหลายสาขา เพราะใช้ส่องมองรูปร่าง ลักษณะของ แบคทีเรีย ไวรัส และผลึกที่ประกอบขึ้นเป็นโลหะ ซึ่งไม่อาจมองเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดาได้

#### การวิเคราะห์สำหรับเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)

สามารถวิเคราะห์ได้ 2 ลักษณะ คือ

1. การดูลักษณะของพื้นผิวของตัวอย่าง ซึ่งสามารถดูความแตกต่างของพื้นผิวโดยขึ้นอยู่กับลักษณะของ Detector ได้ โดยแบ่งเป็น

- 1.1 ภาพที่ได้จากสัญญาณ Secondary Electron จะได้ภาพที่เป็นลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างที่มีความสูงต่ำ ขรุขระ ที่เกิดขึ้นจริงบนตัวอย่าง และสามารถวัดขนาดต่างๆ บนตัวอย่างนั้นได้



รูปที่ 2.13 แสดงภาพตัวอย่างที่ได้จากสัญญาณ Secondary electron [5]

1.2 ภาพที่ได้จากสัญญาณ Back Scattered Electron จะได้ภาพที่เป็นลักษณะเป็นภาพพื้นผิวของวัตถุ แต่ให้ความแตกต่างบนพื้นผิว ของวัตถุในลักษณะ แบ่งเป็นเฟสสว่างและเฟสมืด ขึ้นอยู่กับเลขอะตอมของธาตุ (Z) ที่ผสมอยู่ในวัตถุนั้น ธาตุที่มีเลขอะตอมสูง กว่า จะมีเฟสที่สว่าง กว่าธาตุที่มีเลขอะตอมต่ำกว่า

2. การวิเคราะห์ธาตุสามารถให้ข้อมูลได้เป็น 2 ลักษณะ คือ หาธาตุที่มีอยู่ในตัวอย่างว่ามีธาตุใดบ้าง โดยแสดงออกมาเป็นกราฟ และบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ของธาตุนั้นๆ และสามารถบอกเป็นพื้นที่ว่าบริเวณใดมีธาตุใดอยู่บ้าง

**การเตรียมตัวอย่างสำหรับเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)**

#### 1. การเตรียมตัวอย่างในแบบทั่วไป (Hivacuum Mode)

1. อยู่ในสถานะของแข็งทุกลักษณะ เช่น เป็นผง เป็นแผ่นเป็นแท่ง ฯลฯ
2. ถ้ามีขนาดใหญ่ต้องตัดส่วนที่จะดูให้เล็กอยู่ที่ประมาณ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร
3. ต้องแห้งไม่มีความชื้น ไม่มีการระเหยของสารใดๆ และไม่มีการฟุ้งกระจายของตัวอย่าง
4. ถ้าตัวอย่างมีการนำไฟฟ้าดีจะสามารถนำเข้าเครื่อง SEM ดูได้เลย
5. ถ้าตัวอย่างไม่มีการนำไฟฟ้าหรือนำได้เพียงบางจุด จะต้องมีการนำไปเคลือบทองซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายในขั้นตอนเคลือบทองนี้ด้วย

## 2. การเตรียมตัวอย่างในแบบตัวอย่างไม่นำไฟฟ้า (Variable pressure Mode)

1. โดยทั่วไปจะเหมือนการเตรียมตัวอย่างแบบทั่วไป
2. ไม่ต้องมีการเคลือบทองคำก็สามารถนำเข้าเครื่อง SEM ได้
3. การใช้งานในระบบนี้จะใช้ได้ยากกว่าแบบปกติและเสียเวลามากกว่าแบบปกติดังนั้นจึงสามารถทำได้บางกรณีเท่านั้น

## 3. การเปรียบเทียบระหว่างกล้องจุลทรรศน์ และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

เปรียบเทียบโครงสร้างการทำงานของระบบกล้อง ในรายละเอียดทั้งหมด โดยเริ่มตั้งแต่แหล่งกำเนิดของแสง ระบบเลนส์ จนถึง การแสดงสัญญาณภาพในขั้นตอนสุดท้าย

### ตารางที่ 2.8 การเปรียบเทียบระหว่างกล้องจุลทรรศน์ และกล้องจุลทรรศน์

#### อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

กล้องจุลทรรศน์ธรรมดา	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
1. ใช้หลอดไฟฟ้าหรือแสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสง	1. ใช้ลำแสงอิเล็กตรอนเป็นแหล่งกำเนิดแสง
2. ใช้เลนส์แก้ว	2. ใช้เลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า
3. ใช้ช่องวัตถุขนาดเล็กที่สุดประมาณ 0.2 ไมครอน	3. ใช้ช่องวัตถุที่มีขนาดเล็ก 0.0005 ไมครอน
4. ตัวกล้องมีอากาศ	4. ตัวกล้องเป็นสุญญากาศ
5. ไม่มีระบบถ่ายเทความร้อน	5. มีระบบถ่ายเทความร้อนด้วยน้ำ
6. มีกำลังขยายพันเท่า	6. มีกำลังขยายห้าแสนเท่าหรือมากกว่า
7. วัตถุที่นำมาส่องดูมีชีวิตหรือไม่ก็ได้	7. วัตถุที่นำมาส่องดูไม่มีชีวิต
8. ภาพที่ได้เป็นภาพเสมือนหัวกลับ	8. ภาพที่ได้เป็นภาพจริงปรากฏบนจอ