

## บทที่ 2

### วารสารปริทัศน์

การกัดกร่อน คือ การสูญเสียเนื้อโลหะโดยการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับสิ่งแวดล้อม อาจเป็นปฏิกิริยาทางเคมี หรือปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า

ความรุนแรงของสิ่งแวดล้อมมีความแตกต่างกัน เช่น

น้ำ : น้ำกลั่น, น้ำจืด, น้ำเค็ม

บรรยากาศ : นอกเมือง, ในเมือง, บริเวณอุตสาหกรรม

กรด : กรดอินทรีย์, กรดอินทรีย์

สารประกอบอินทรีย์มักจะมี ความรุนแรงต่อการกัดกร่อนมากกว่าสารประกอบอินทรีย์

คำว่า "สนิม" (rust) จะใช้กับการกัดกร่อนที่เกิดกับเหล็กหรือโลหะผสมของเหล็ก ซึ่งผลของการกัดกร่อนในบรรยากาศจะได้เป็นออกไซด์ของเหล็กสีแดง<sup>(1)</sup>

#### 2.1 การกัดกร่อนแบบกัลวานิก ( Galvanic corrosion )

เกิดโดยปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าเนื่องจากโลหะสองชนิดสัมผัสกัน และอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่นำไฟฟ้า จะเกิดความต่างศักย์ขึ้นระหว่างโลหะทั้งสอง ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าขึ้น<sup>(2)</sup>

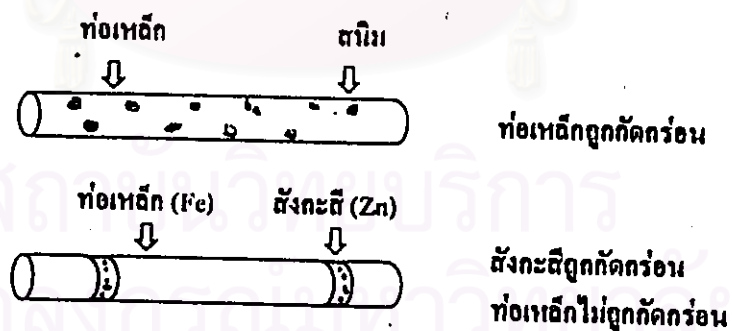
โลหะที่ไวกว่า (active) ทำหน้าที่เป็นแอโนด (anode) เกิดการกัดกร่อน โลหะที่มีตระกูลกว่า (noble) จะเป็นแคโทด (cathode) และไม่เกิดการกัดกร่อน

ตารางที่ 2.1 แสดงค่า Standard Electrode Potential ของโลหะ

Electrode reaction	$E^{\circ}/V$
$Au^+ + e^- = Au$	+1.68
$Pt^{2+} + 2e^- = Pt$	+1.20
$Hg^{2+} + 2e^- = Hg$	+0.85
$Ag^+ + e^- = Ag$	+0.80
$Cu^{2+} + 2e^- = Cu$	+0.34
$2H^+ + 2e^- = H_2$	0.00
$Pb^{2+} + 2e^- = Pb$	-0.13
$Sn^{2+} + 2e^- = Sn$	-0.14
$Ni^{2+} + 2e^- = Ni$	-0.25
$Cd^{2+} + 2e^- = Cd$	-0.40
$Fe^{2+} + 2e^- = Fe$	-0.44
$Cr^{3+} + 3e^- = Cr$	-0.71
$Zn^{2+} + 2e^- = Zn$	-0.76
$Al^{3+} + 3e^- = Al$	-1.67
$Mg^{2+} + 2e^- = Mg$	-2.34
$Na^+ + e^- = Na$	-2.71
$Ca^{2+} + 2e^- = Ca$	-2.87
$K^+ + e^- = K$	-2.92

ตารางที่ 2.1 EMF Series<sup>(1)</sup>

ตัวอย่าง ท่อเหล็กที่ฝังในดินปกติจะผุกร่อนตามธรรมชาติ แต่ถ้ามีโลหะสังกะสี (Zn) ไปสัมผัสท่อเหล็กสังกะสี ซึ่งไวกว่าจะเป็นแอโนดและถูกกัดกร่อน ส่วนเหล็กจะเป็นแคโทดไม่เกิดการกัดกร่อน



รูปที่ 2.1 แสดงการกัดกร่อนของท่อเหล็ก<sup>(2)</sup>

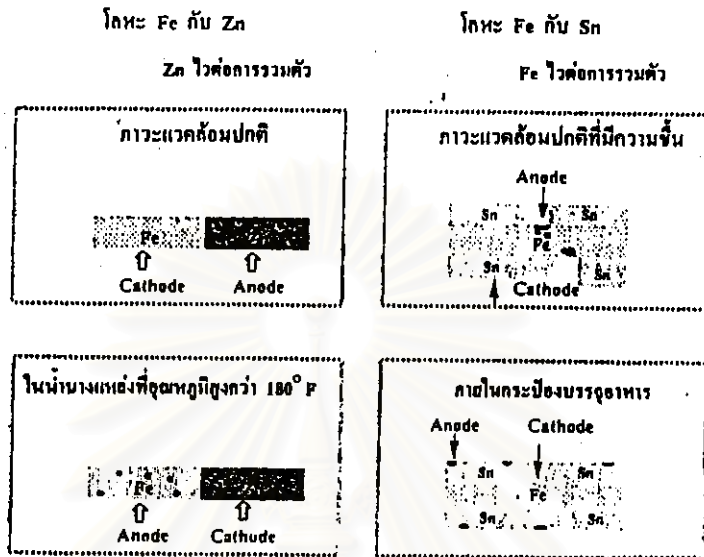
### อิทธิพลต่อการกัดกร่อนแบบกัลวานิก

- สภาพแวดล้อม โลหะสองชนิดสัมผัสกันในภาวะแวดล้อมหนึ่ง เกิดการกัดกร่อนแบบกัลวานิก โดยโลหะหนึ่งจะเป็นแอโนดและเกิดการกัดกร่อนในขณะที่ในอีกภาวะหนึ่งอีกโลหะจะเป็นแอโนดแทน

ตัวอย่าง

โลหะเหล็ก (Fe) กับสังกะสี (Zn) โดยที่สังกะสีไวต่อการรวมตัว แสดงดังรูปที่ 2.2

โลหะเหล็ก กับ ดีบุก (Sn) เหล็กจะไวต่อการรวมตัว แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงการกัดกร่อนแบบกัลวานิกของเหล็กกับสังกะสีและเหล็กกับดีบุก<sup>(2)</sup>

2. ระยะทาง บริเวณใกล้รอยต่อของวัสดุทั้งสอง จะเกิดการกัดกร่อนมากกว่าบริเวณที่ไกลออกไป

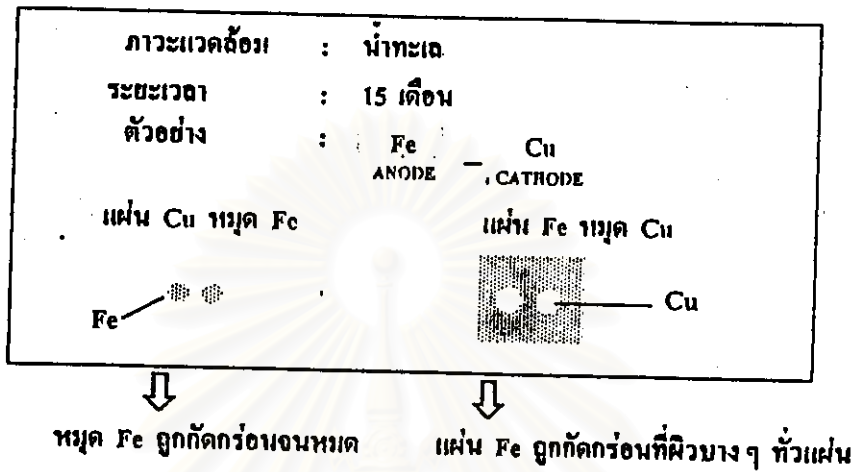
3. พื้นที่

อัตราการเกิดการกัดกร่อน  $\propto$  ความหนาแน่นไฟฟ้าที่แอโนด

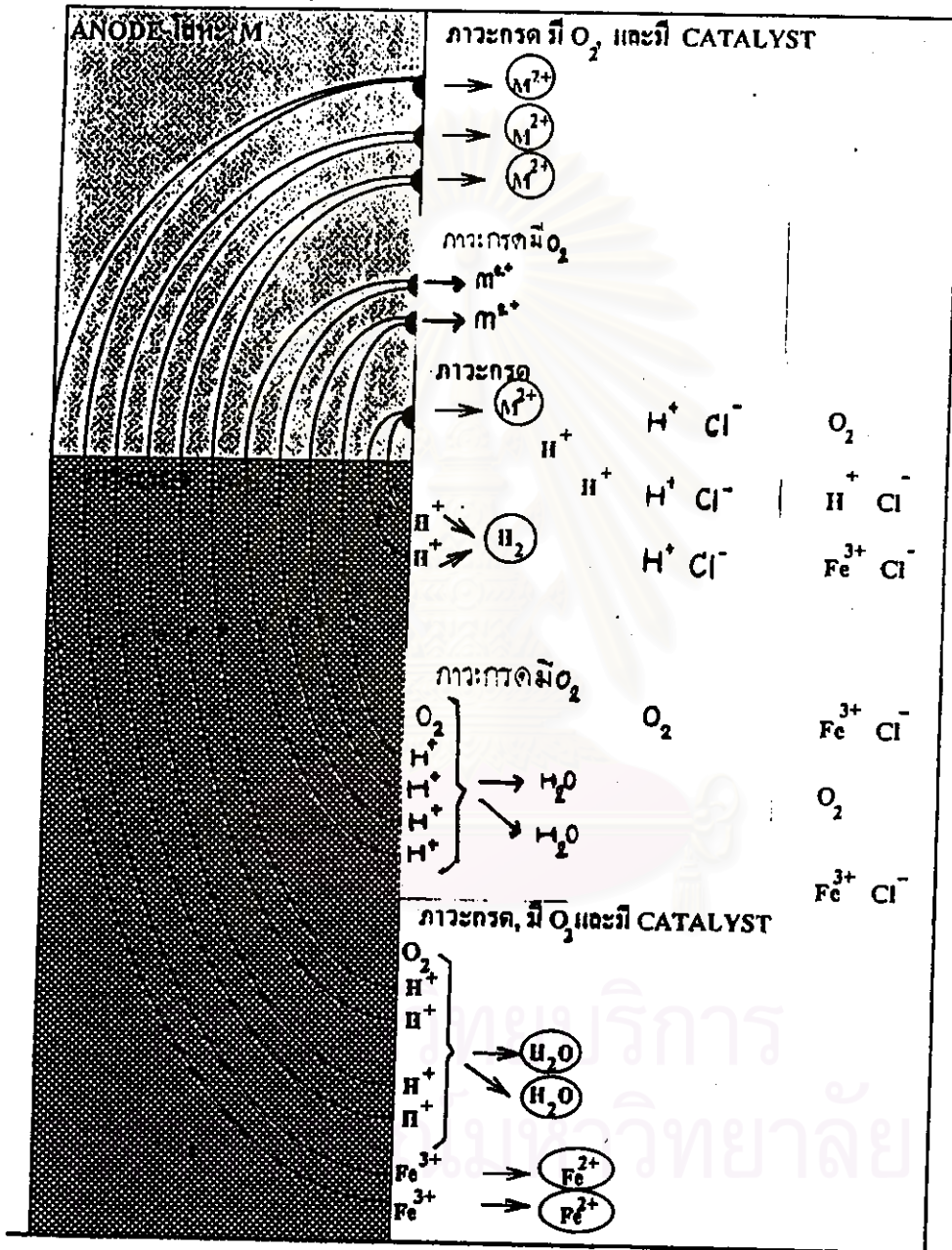
$$\text{ความหนาแน่นไฟฟ้าที่แอโนด} = \frac{\text{กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน}}{\text{พื้นที่ของแอโนด}}$$

$$\text{อัตราการเกิดการกัดกร่อน} \propto \frac{1}{\text{พื้นที่ของแอโนด}}$$

ตัวอย่าง การกัดกร่อนแสดงดังรูปที่ 2.3 และรูปที่ 2.4 แสดงไดอะแกรมของการกัดกร่อนในภาวะต่าง ๆ



รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างการกัดกร่อนของเหล็กในน้ำเค็ม<sup>(2)</sup>



รูปที่ 2.4 แสดงการเกิดการกัดกร่อนในภาวะต่างๆ<sup>(2)</sup>

## 2.2 ผลเสียของการกัดกร่อน

1. ลักษณะความสวยงาม โลหะที่เกิดการกัดกร่อนแล้วจะมีลักษณะไม่สวยงาม
2. ทางด้านเศรษฐกิจ เป็นการสูญเสียเนื้อวัสดุเนื่องจากเกิดผุกร่อน เช่น ท่อ แท็งก์ ส่วนโลหะของเครื่องจักร เรือ สะพาน เป็นต้น เมื่อเกิดการกัดกร่อนไปแล้ว อาจต้องเปลี่ยนชิ้นส่วนใหม่หรือต้องทาสีใหม่ ซึ่งต้องเสียทั้งค่าวัสดุและค่าแรง หรือต้องเลือกใช้วัสดุหรือโลหะที่มีความทนทานต่อการกัดกร่อนแทน เช่น แทนที่จะใช้เหล็กธรรมดาได้ก็ต้องใช้โลหะผสมหรือชุบด้วยนิกเกิล สังกะสี ซึ่งราคาย่อมสูงกว่า
3. สิ่งเจือปนเนื่องจากผลของการกัดกร่อน พวกอาหาร ยา ต้องการสารที่มีความบริสุทธิ์สูงมาก ฉะนั้น สิ่งเจือปนเนื่องจากการกัดกร่อนของภาชนะต้องไม่มี ภาชนะที่เกี่ยวข้องต้องใช้โลหะหรือโลหะผสมที่มีความต้านทานการกัดกร่อน เช่น ภาชนะต้องไม่มีตะกั่ว ภาชนะที่เกี่ยวข้องใน โรงงาน อาหารและเครื่องดื่ม เพราะตะกั่วละลายในอาหารจะเป็นอันตรายต่อร่างกายผู้บริโภค
4. การหยุดเครื่องจักร อาจเป็นบางส่วนหรือทั้งหมดของกระบวนการ ถ้าตอนใดของเครื่องจักรเกิดการกัดกร่อนมากและจำเป็นต้องเปลี่ยนชิ้นส่วนใหม่ เนื่องจากการเลือกใช้วัสดุไม่ถูกต้อง การหยุดเครื่องจักรทำให้เกิดความเสียหาย โดยเฉพาะในช่วงที่ความต้องการผลิตภัณฑ์ของตลาดสูง
5. ความปลอดภัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโรงงานที่ใช้อุณหภูมิและความดันสูง หรือมีสารไวไฟ วัตถุระเบิด กรด หรือในกรณีที่ต้องการความปลอดภัยสูง เช่น หม้อน้ำ ภาชนะอัดความดัน สะพาน เป็นต้น ต้องเลือกใช้วัสดุที่ทนทานต่อการกัดกร่อน เพื่อความปลอดภัย

## 2.3 การเคลือบผิวด้วยโลหะ

การเคลือบผิวด้วยโลหะเป็นการป้องกันการกัดกร่อนวิธีหนึ่ง โดยการเคลือบผิวโลหะพื้นด้วยโลหะอื่น โลหะที่ใช้เคลือบหรือชุบ แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. โลหะชุบมีตระกูลกว่าโลหะพื้น เช่น ชุบเหล็กด้วยดีบุก ชุบนิกเกิล-โครเมียม หรือชุบด้วยโลหะที่มีตระกูล เช่น ทอง เงิน เป็นต้น การชุบด้วยโลหะที่มีตระกูลนี้จะป้องกันการกัดกร่อนของโลหะพื้นได้โดยป้องกันหรือเป็นฉนวนไม่ให้โลหะพื้นเกิดปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อมได้ โลหะที่ใช้เป็นแคโทดต่อโลหะพื้น เพราะฉะนั้นถ้าหากมีรูพรุนหรือรอย



แตกบนโลหะชุบ โลหะพื้นซึ่งเป็นแอโนดจะเกิดการกัดกร่อนได้ และพื้นที่ของแอโนด น้อยเมื่อเทียบกับพื้นที่ของแคโทด จะทำให้เกิดการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นมีความรุนแรง มาก การชุบแบบนี้ควรชุบให้ได้แบบปราศจากรูพรุน (pore-free)

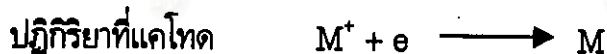
2. โลหะชุบมีความไวต่อการรวมตัวมากกว่าโลหะพื้น ในกรณีนี้โลหะชุบจะทำหน้าที่เป็น แอโนดและเกิดการกัดกร่อน โดยที่จะทำให้โลหะพื้นเป็นแคโทดและไม่เกิดผุกร่อน ถ้ามีรอยแตกหรือรูพรุนในเนื้อโลหะชุบ โลหะพื้นก็จะไม่กัดกร่อน เช่น การชุบเหล็ก ด้วยสังกะสี เป็นต้น

การเคลือบผิวด้วยโลหะ ทำได้ 3 วิธีใหญ่ๆ คือ

1. การชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า (Electroplating)
2. การชุบแบบจุ่มร้อน (Hot Dipping)
3. การชุบเคลือบผิวโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้า (Electroless plating)

### 1. การชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า

เป็นกระบวนการทางไฟฟ้า โดยโลหะที่ต้องการชุบเคลือบผิวเป็นแคโทดของเซลล์ไฟฟ้า และ โลหะที่จะใช้ชุบเป็นแอโนดซึ่งจะละลายเป็นไอออน (soluble anode) แต่บางกรณีโลหะเช่น โครเมียมไม่สามารถทำเป็นแอโนดได้ เนื่องจากเปราะมาก จำเป็นต้องใช้แอโนดเฉื่อย (inert anode) และให้โลหะที่จะใช้ชุบเป็นไอออนอยู่สารละลาย



โลหะไอออนจะรับอิเล็กตรอนที่แคโทดแล้วเปลี่ยนเป็นโลหะเกาะที่ผิวของชิ้นงาน

การชุบดีบุก แบ่งเป็น 2 พวกใหญ่ๆ คือ การชุบสิ่งของเล็กๆ และการชุบบนแผ่นเหล็กทำ เป็นแผ่นเหล็กชุบดีบุก ซึ่งใช้ทำกระป๋องต่างๆ และอื่นๆ การทำแผ่นเหล็กวิลาสใช้สารละลายคลอไรด์-ฟลูออไรด์ เพราะทำได้เร็วกว่า และใช้สารเติมแต่งพวกกรดแทนโทซัลโฟนิก หรือออกไซด์ ของพอลิอัลคาไลน์ ถ้าเป็นการชุบจากซัลเฟตมักจะเติมสารทำให้ความสว่างพวกกรดฟีนอลโฟนิก

ตัวอย่างกระบวนการทำแผ่นเหล็กชุบดีบุกแบบต่อเนื่อง

ใช้แผ่นเหล็ก (mild steel) ชุบดีบุกจากกระบวนการเฮลโลด์ จะให้อัตราเร็วของการชุบสูง

(30-600 เมตรต่อนาที) การชุบจะทำทีละด้าน ทำให้สามารถควบคุมความหนาของชั้นดีบุกได้ และอาจทำการชุบดีบุกแบบหนาไม่เท่ากันทั้งสองด้านได้ (differential plating) เช่น กรณีต้องการดีบุกด้านในกระป๋องหนา เพื่อทนต่อการกัดกร่อนภายในกระป๋อง แต่ด้านนอกเพียงทนต่อบรรยากาศเท่านั้น ไม่จำเป็นต้องใช้ดีบุกหนามาก

กระบวนการย่อยๆ มีดังนี้





หลังจากผ่านการชุบมาแล้ว แผ่นเหล็กชุบดีบุกที่ได้จะมีลักษณะไม่เงา เป็นฝ้า ต้องผ่านกระบวนการที่ทำให้ร้อนขึ้นไปถึงอุณหภูมิใกล้เคียงกับจุดหลอมเหลวของดีบุก แล้วทำให้เย็นโดยเร็ว ผิวของแผ่นเหล็กชุบดีบุกจะเป็นมันเงา นอกจากจะทำให้ผิวเงาแล้วยังทำให้เกิดชั้นโลหะผสมของ  $\text{FeSn}_2$  ในระหว่างชั้นของเหล็กและชั้นของดีบุก ทำให้เกิดการยึดเกาะกันดีขึ้นด้วย

ในอุตสาหกรรมแผ่นเหล็กชุบดีบุก บางที่คืดน้ำหนักเคลือบเป็นปอนด์ต่อเบสิส บอกซ์ (basis box)

$$\begin{aligned} 1 \text{ เบสิส บอกซ์} &= \text{พื้นที่ของแผ่นเหล็ก } 31,360 \text{ ตารางนิ้ว} \\ &= 62,720 \text{ ตารางนิ้วของผิวเคลือบดีบุก} \end{aligned}$$

## 2. การชุบโลหะแบบจุ่มร้อน

เป็นการชุบโลหะโดยการจุ่มชิ้นงานลงในอ่างโลหะที่หลอมเหลวอยู่ ใช้ได้เฉพาะกับโลหะที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ เช่น ดีบุก สังกะสี ตะกั่ว และอะลูมิเนียม การยึดเกาะระหว่างชั้นโลหะพื้นและโลหะชุบขึ้นอยู่กับความสะอาดของผิวโลหะพื้นก่อนทำการชุบ

## 3. การชุบเคลือบผิวโลหะโดยไม่ใช้ไฟฟ้า

การชุบโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้านี้อาศัยสารรีดิวซ์ซึ่งเอเจนท์ (reducing agent) เป็นตัวเปลี่ยนไอออนของโลหะให้เป็นโลหะเกาะบนวัสดุที่ต้องการชุบ การชุบแบบไม่ใช้ไฟฟ้าขณะนี้นิยมใช้กันมากกับการชุบโลหะบนผิวพลาสติก เพราะในปัจจุบันพลาสติกมีบทบาทมากขึ้นในทางอุตสาหกรรม เนื่องจากมีการค้นคว้าและปรับปรุงคุณภาพพลาสติกให้ใช้งานกว้างขวางขึ้นและมีสมบัติหลายๆ ด้านทัดเทียมกับโลหะ

## 2.4 การป้องกันการกัดกร่อนโดยทำให้เกิดพาสซีฟฟิล์ม (Passive film)

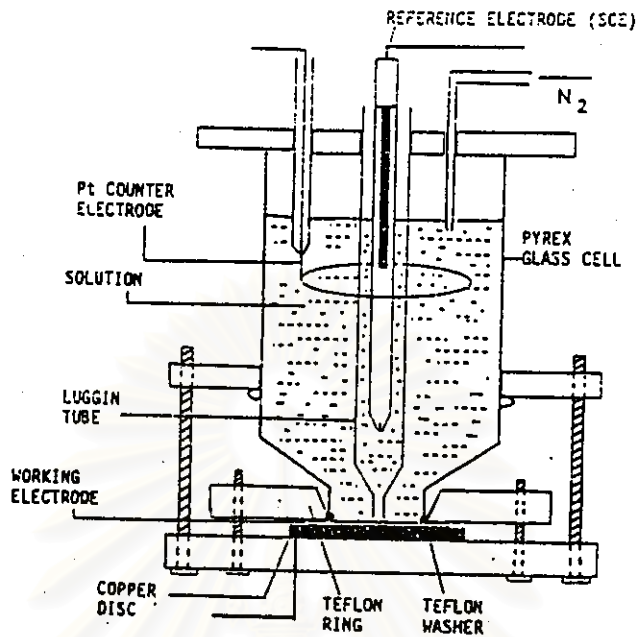
ฟิล์มที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติบนผิวโลหะอาจมีความหนาแน่นหรือความหนาไม่เหมาะสมหรือไม่เพียงพอที่จะป้องกันการเกิดการกัดกร่อนได้ ดังนั้นการทำให้เกิดพาสซีฟฟิล์มขึ้นบนผิวโลหะจึงเป็นการทำให้เกิดฟิล์มที่สามารถควบคุมความหนาและลักษณะของฟิล์มที่จะสามารถปิดผิวและป้องกันการกัดกร่อนของโลหะพื้นได้ ฟิล์มที่นิยมทำกัน คือ ฟิล์มออกไซด์ ฟิล์มโครเมต และฟิล์มฟอสเฟต

การทำโครเมติง (Chromating) เป็นการป้องกันการเกิดออกซิเดชันของดีบุกและการปนเปื้อนของซัลไฟด์บนดีบุก ในกรณีของแผ่นเหล็กชุบดีบุกจะต้องกำหนดภาวะต่างๆไว้ด้วย เพราะความสามารถในการเกาะติดแล็กเกอร์และการบัดกรีของกระป๋องจะมีผลกระทบด้วยเมื่อมีการทำโครเมติงเพิ่มขึ้น

กระบวนการโพรเทคตา-ทิน (protecta-tin) เป็นการทำโครเมติงของภาชนะต่างๆ ที่จะขึ้นอยู่กับสารละลายอัครคาไลนโซเดียมโครเมต (alkaline sodium chromate solution) (3 กรัมต่อลิตร  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  ; 10 กรัมต่อลิตร  $\text{NaOH}$  ; 2 มิลลิลิตรต่อลิตร ของสารทำให้เปียก) จะทำที่ 90-95 องศาเซลเซียส ประมาณ 5 วินาที จะได้ฟิล์มที่มีความหนา 40-50 อังสตรอม และไม่มีสี สามารถเร่งกระบวนการนี้ได้โดยใช้กระแสไฟฟ้า จะได้สมบัติที่ดีที่สุดเมื่อใช้สารละลายที่มี  $\text{Na}_2\text{CrO}_7$  อยู่ 30 กรัมต่อลิตร ทำที่ pH 4-6 และอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ใช้ความหนาแน่นของกระแสแคโทดิก ประมาณ 6.0 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร ฟิล์มที่ได้จะหนา 3000 อังสตรอม และเกาะติดกับแล็กเกอร์ได้ดีเยี่ยม

โลหะหลายชนิดจะมีฟิล์มของออกไซด์ปกคลุมผิวโลหะอยู่ซึ่งเกิดขึ้นตามธรรมชาติ ฟิล์มนี้สามารถปกคลุมผิวของโลหะและทำให้เกิดการกัดกร่อนลดน้อยลง นอกจากฟิล์มของออกไซด์แล้วผิวโลหะอาจจะถูกปกคลุมด้วยสารอื่น เช่น สารที่เป็นผิวเนื่องมาจากการเกิดการกัดกร่อน หรือสารอินทรีย์อื่นที่จะป้องกันผิวโลหะไม่ให้เกิดการกัดกร่อน แต่ฟิล์มเหล่านี้จะมีความคงทนและสภาพการปกคลุมผิวต่างกัน<sup>(1)</sup>

จากการวิจัยของ C. Y. Chan , M. M. Nagl พบว่าสารละลายของกรดและด่างปานกลางที่มีออกซิเจนและออกซิไดซิงเอเจนท์ (oxidizing agents) ปนอยู่จะทำให้ดีบุกบริสุทธิ์เกิดการกัดกร่อนอย่างช้าๆ และจะเกิดมากขึ้นได้ การทดลองแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงเซลล์เคมีไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง<sup>(3)</sup>

ออกไซด์ฟิล์มจะเกิดขึ้นเมื่อนาติบุกไปตากไว้ในอากาศ จึงทำให้เกิดพาสซีฟฟิล์มที่ไม่ละลายขึ้น ไอออนลบที่เกิดขึ้นจะเป็นสารเชิงซ้อนกับติบุกซึ่งจะละลายเข้าไปในติบุก และเป็นตัวทำให้เกิดพาสซีฟเวชัน

## 2.5 ความเป็นรูพรุน

การมีรูพรุนบนโลหะที่เคลือบแล้วจะมีผลต่อค่าความต้านทานการกัดกร่อน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วในด้านความสวยงามรูพรุนเหล่านี้จะไม่ค่อยมีผล แต่ถ้าเป็นด้านการใช้งานแล้ว ความเป็นรูพรุนจะเป็นสิ่งสำคัญในเรื่องการป้องกันการกัดกร่อน ถ้าโลหะพื้นเป็นแอโนดจะเกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อนตามรูพรุนได้ เช่น แผ่นเหล็กวิลาสในบรรยากาศ เหล็กเป็นแอโนดต่อติบุก ดังนั้นในบรรยากาศจะเกิดการกัดกร่อนของเหล็กตามรูพรุน ทำให้เห็นสนิมเหล็กเกิดขึ้นเป็นจุดๆ แต่ถ้าโลหะพื้นเป็นแคโทด รูพรุนจะไม่ค่อยมีผลต่อการกัดกร่อน เพราะการกัดกร่อนจะเกิดกับโลหะที่ใช้เคลือบ คือ เกิดการละลายของโลหะเคลือบ ในการทดสอบความเป็นรูพรุน จึงใช้น้ำยาเคมีที่ทำให้เกิดการละลายของโลหะพื้นในการทดสอบ<sup>(6)</sup>

## 2.6 แผ่นเหล็กชุบดีบุก (Tinplate)

1. การแยกประเภทและสัญลักษณ์ที่ใช้สำหรับแผ่นเหล็กชุบดีบุก และแผ่นเหล็กดำ(black plate) สามารถแบ่งได้ดังนี้

1.1 สัญลักษณ์ที่เป็นตัวอักษร สัญลักษณ์ที่เป็นตัวอักษรของแผ่นเหล็กชุบดีบุกและแผ่นเหล็กดำ แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงสัญลักษณ์ที่เป็นตัวอักษรของแผ่นเหล็กชุบดีบุกและแผ่นเหล็กดำ<sup>(7)</sup>

ประเภท	สัญลักษณ์
แผ่นเหล็กดำ	SPB
แผ่นเหล็กชุบดีบุกด้วยวิธีทางไฟฟ้า	SPTE
แผ่นเหล็กชุบดีบุกด้วยวิธีจุ่มร้อน	SPTH

1.2 การแบ่งประเภทที่ขึ้นอยู่กับน้ำหนักของดีบุกที่ชุบ แผ่นเหล็กชุบดีบุกที่ชุบด้วยไฟฟ้าสามารถแยกออกได้เป็น

1.2.1 การชุบหรือเคลือบด้วยดีบุกที่น้ำหนักเท่ากันทั้งสองด้าน เรียกว่า แผ่นเหล็กชุบดีบุกที่ถูกเคลือบเท่ากัน

1.2.2 ถ้าผิวหน้าที่ถูกชุบหรือเคลือบด้วยดีบุกมากกว่าอีกด้านหนึ่ง จะเรียกว่าแผ่นเหล็กชุบดีบุกที่ถูกเคลือบให้มีความแตกต่างกัน แผ่นเหล็กชุบดีบุกที่ใช้วิธีการจุ่มร้อนจะเป็นแผ่นที่ได้จากการนำแผ่นเหล็กดำไปจุ่มร้อนในดีบุกเหลว

1.3 การแบ่งประเภทที่ขึ้นกับชนิดของเหล็ก แผ่นเหล็กชุบดีบุกและแผ่นเหล็กดำจะถูกแบ่งเป็นประเภทต่างๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของแผ่นเหล็ก

1.4 การแบ่งประเภทที่ขึ้นกับความแข็งของโลหะ แผ่นเหล็กชุบดีบุกและแผ่นเหล็กดำจะถูกแบ่งเป็นประเภทต่างๆ ขึ้นอยู่กับความแข็งของโลหะ

1.5 การแบ่งประเภทที่ขึ้นกับการตกแต่งผิวหน้า แผ่นเหล็กชุบดีบุกและแผ่นเหล็กดำจะถูกแบ่งเป็นประเภทต่างๆ ขึ้นอยู่กับที่ผิวหน้า

## 2. น้ำหนักของดินบดที่ใช้เคลือบหรือชุบ

2.1 น้ำหนักของดินบดที่ใช้เคลือบ น้ำหนักของสารเคลือบทั่วไปและน้ำหนักของสารเคลือบเฉลี่ยที่น้อยที่สุดของแผ่นเหล็กชุบดินบดในแต่ละชนิด แสดงดังตารางที่ 2.2

2.2 การแสดงค่าของน้ำหนักดินบดที่ใช้เคลือบ น้ำหนักของดินบดที่ใช้เป็นสารเคลือบสำหรับแผ่นเหล็กชุบดินบด แสดงไว้ชัดเจนแล้วในตารางที่ 2.2

ในกรณีนี้จะแสดงค่าของน้ำหนักของสารเคลือบที่มีความแตกต่างกัน จะแสดงได้ดังตัวอย่างนี้ แสดงไว้ในตารางที่ 2.2 โดยที่ในตอนแรกเขียนน้ำหนักของสารเคลือบที่อยู่บนผิวหน้าของแผ่นโลหะหรือส่วนที่อยู่ด้านนอกของขด จากนั้นเขียนเครื่องหมาย (/) ตามด้วยการเขียนน้ำหนักของสารเคลือบที่อยู่ด้านล่างของแผ่นหรือด้านในของขดลวด

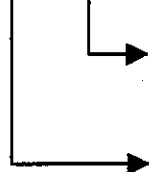
ตารางที่ 2.3 น้ำหนักของดินบดที่ใช้เคลือบ<sup>(7)</sup>

ประเภท	ชนิดของการเคลือบ	น้ำหนักของสารเคลือบที่ใช้เรียก	น้ำหนักที่ระบุ (กรัม/ตร. เมตร)	น้ำหนักของสารเคลือบเฉลี่ยที่น้อยที่สุด (กรัม/ตร. เมตร)	การเรียกชื่อของน้ำหนักของสารเคลือบในอดีต (ใช้อ้างอิงเท่านั้น)
SPTB	เคลือบแบบเท่ากัน	2.8 / 2.8	2.8 / 2.8	4.9	# 25
		5.6 / 5.6	5.6 / 5.6	10.5	# 50
		8.4 / 8.4	8.4 / 8.4	15.7	# 75
		11.2 / 11.2	11.2 / 11.2	20.2	# 100
	เคลือบแบบแตกต่างกัน	5.6 / 2.8	5.6 / 2.8	5.06 / 2.25	# 50 / 25
		8.4 / 2.8	8.4 / 2.8	7.85 / 2.25	# 75 / 25
		8.4 / 5.6	8.4 / 5.6	7.85 / 5.06	# 75 / 50
		11.2 / 2.8	11.2 / 2.8	10.1 / 2.25	# 100 / 25
		11.2 / 5.6	11.2 / 5.6	10.1 / 5.06	# 100 / 50
		11.2 / 8.4	11.2 / 8.4	10.1 / 7.85	# 100 / 75
SPTH	เคลือบแบบเท่ากัน	12.3 / 12.3	12.3 / 12.3	19.0	# 110
		14.0 / 14.0	14.0 / 14.0	22.4	# 125
		15.1 / 15.1	15.1 / 15.1	23.5	# 135
		16.8 / 16.8	16.8 / 16.8	26.7	# 150

### หมายเหตุ

1. น้ำหนักของสารเคลือบเป็นเครื่องหมายบอกถึงปริมาณของดินบดที่เคลือบอยู่บนผิวหน้าด้านหนึ่งต่อตารางเมตร อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่เป็นการเคลือบแบบเท่ากัน น้ำหนักของสารเคลือบเฉลี่ยที่น้อยที่สุดจะแสดงถึงปริมาณของดินบดที่เคลือบอยู่ทั้งสองด้าน
2. น้ำหนักของสารเคลือบเฉลี่ยที่น้อยที่สุดเป็นค่าเฉลี่ยของค่าสามค่าที่ทำการวัดมา
3. การเรียกชื่อของน้ำหนักของสารเคลือบในอดีตถูกใช้เพื่ออ้างอิงถึงเท่านั้น ไม่ควรนำมาใช้งาน

ตัวอย่าง : 2.8 / 11.2



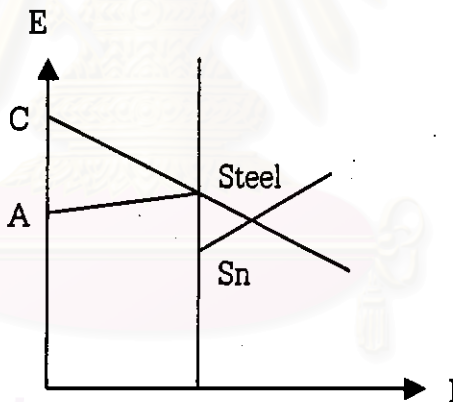
น้ำหนักของสารเคลือบที่มีผิวหน้าด้านล่างของแผ่นหรือผิวหน้าด้านในของขดลวด

น้ำหนักของสารเคลือบที่มีผิวหน้าด้านบนของแผ่นหรือด้านนอกของขดลวด

### 3. กระบวนการทางเคมี

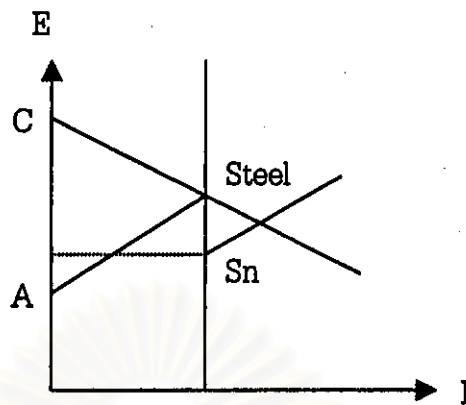
แผ่นเหล็กชุบดีบุกที่ได้จากกระบวนการทางไฟฟ้านั้น เมื่อนำมาทำเป็นกระป๋องจะพบว่านอกกระป๋องดีบุกทำหน้าที่แคโทด ส่วนเหล็กจะทำหน้าที่เป็นแอโนด ทำให้เหล็กเกิดเป็นสนิมขึ้น ในขณะที่ภายในกระป๋องจะเกิดโพลาไรเซชันรีเวิร์ส (Polarization reversed) ดีบุกจะเป็นแอโนด เหล็กจะเป็นแคโทด ทำให้เกิดการละลายดีบุกเข้าไปอยู่ในอาหาร (detinning) ซึ่งปริมาณดีบุกที่สามารถปนเปื้อนในอาหารได้โดยที่ผู้บริโภคไม่เกิดอันตราย ไม่เกิน 250 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ในการพิจารณา กราฟโพลาไรเซชัน  
แบบที่ 1



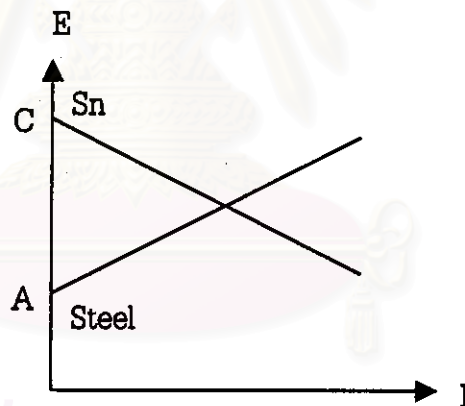
ในอาหารต่างๆไป ภายในกระป๋องจะเป็นภาวะไม่มีอากาศ เหล็กทำหน้าที่แคโทด ดีบุกทำหน้าที่เป็นแอโนด ทำให้ดีบุกละลายออกมา

แบบที่ 2



ในอาหารบางชนิด บางส่วนของเหล็กทำหน้าที่เป็นแคโทดต่อดิบบุก ทำให้ดิบบุกละลาย ขณะที่บางส่วนของเหล็กทำหน้าที่เป็นแอโนด เหล็กจะเกิดสนิม ดังนั้นในกรณีนี้จะเกิดทั้งสนิมเหล็กและการละลายของดิบบุก

แบบที่ 3

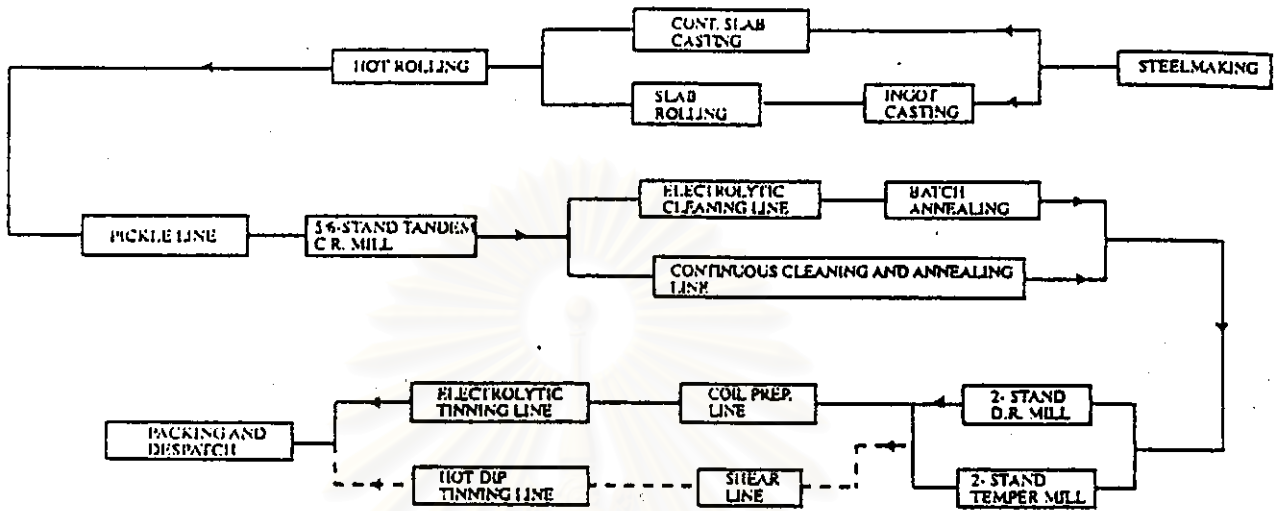


ในกระป๋องอัดแก๊ส เหล็กจะเป็นแอโนด ส่วนดิบบุกจะเป็นแคโทดทำให้เกิดสนิมขึ้นเหมือนการกัดกร่อนในบรรยากาศ

#### 4. ลักษณะภายนอก

กระบวนการขึ้นรูป แผ่นเหล็กชุบดิบบุกแสดงดังรูปที่ 2.6 ทั้งแผ่นเหล็กชุบดิบบุกและแผ่นเหล็กดำต้องมีความหนาที่สม่ำเสมอ ดิบบุกที่เคลือบอยู่ทั้งแผ่นต้องเรียบ ไม่มีข้อบกพร่อง ไม่มีรอย ไม่ย่น ไม่มีสนิม และอื่นๆ ซึ่งจะก่อให้เกิดความเสียหายในการนำไปใช้งาน<sup>(7, 8)</sup>





รูปที่ 2.6 แสดงไดอะแกรมของแผ่นเหล็กเคลือบดีบุกแบบแผ่นและแบบเป็นท่อน<sup>(15)</sup>

## 2.7 แผ่นเหล็กไม่ชุบดีบุกแต่ชุบโครเมียม (Chromium plated tin free steel)

1. การแยกประเภทและสัญลักษณ์ที่ใช้กับแผ่นเหล็กไม่ชุบดีบุกแต่ชุบโครเมียม มีดังนี้คือ
  - 1.1 สัญลักษณ์ที่เป็นตัวอักษร เราจะใช้ตัวอักษรเป็น SPTFS
  - 1.2 การแยกประเภทที่ขึ้นอยู่กับชนิดของเหล็ก
  - 1.3 การแยกประเภทที่ขึ้นอยู่กับความแข็งของโลหะ ซึ่งแสดงหรือแยกประเภทได้ตาม ที-สเกล (T-scale)
  - 1.4 การแยกประเภทที่ขึ้นอยู่กับ การตกแต่งผิวหน้า

### 2. น้ำหนักที่ใช้เคลือบ

ชั้นที่เคลือบอยู่ของแผ่นเหล็กไม่ชุบดีบุกแต่ชุบโครเมียม จะมีอยู่สองชั้น คือ ชั้นของโลหะโครเมียม (metallic chromium layer) และชั้นของไฮดรอกไซด์โครเมียมออกไซด์ (hydrated chromium oxide) ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.4 แสดงน้ำหนักที่เคลือบ<sup>(9)</sup>

หน่วย : มิลลิกรัม ต่อ ตารางเมตร ต่อ ด้าน

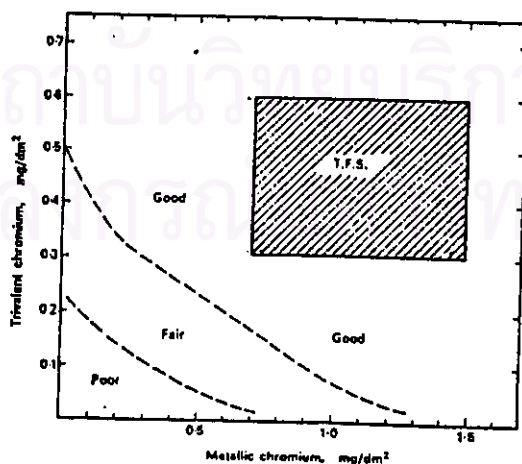
ชั้นโลหะโครเมียม	ไฮดรอกไซด์โครเมียมออกไซด์
ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเคลือบที่น้อยที่สุด	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักเคลือบที่น้อยที่สุด
30	50

3. กระบวนการทางเคมี

การใช้งานแผ่นเหล็กชุบดีบุกและเคลือบแลกเกอร์ในงานบรรจุภัณฑ์มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น แต่ดีบุกที่ใช้ในการชุบแผ่นเหล็กจะมีราคาแพง ในขณะเดียวกันปัญหาของการขึ้นรูปด้วยการบัดกรีก็ลดลง สามารถใช้วิธีเชื่อม และใช้กาวหรือซีเมนต์แทน

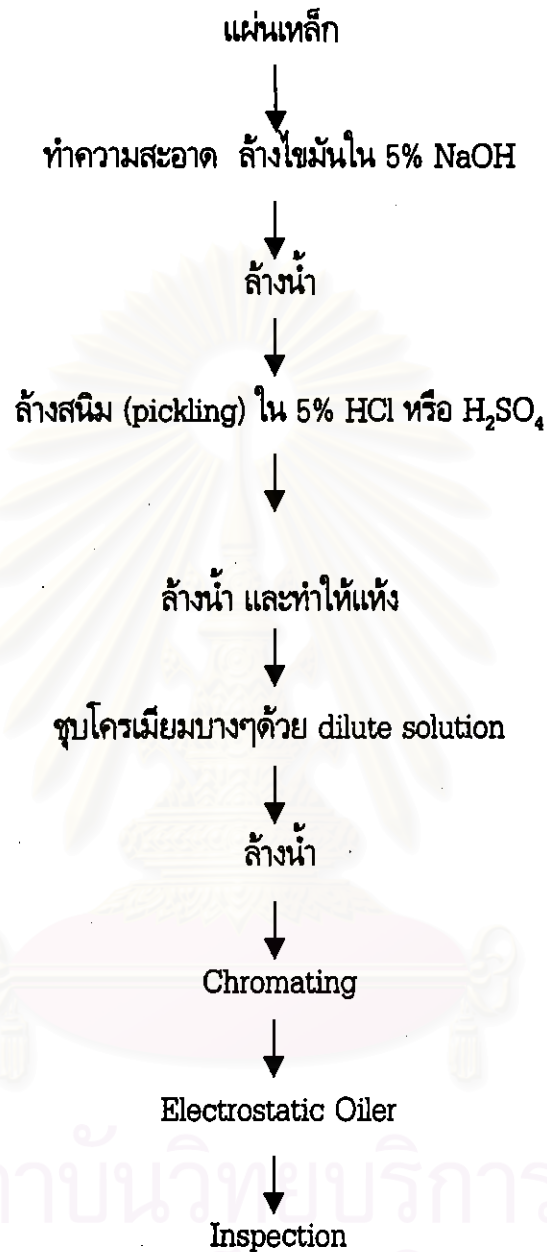
การเลือกใช้โครเมียมแทนดีบุก เนื่องจากมีราคาที่คงที่ หาง่าย สวยงาม แต่ในความเป็นจริงแล้ว ฟิล์มโครเมียมออกไซด์ ( $Cr_2O_3$ ) บางๆ ที่เกิดขึ้นทำให้เกิดความต้านทานต่อการปนเปื้อนและเกิดการยึดเกาะกับแลกเกอร์ที่ผิวหน้าได้ดีด้วย

รูปที่ 2.7 จะแสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของแผ่นเหล็กไม่ชุบดีบุกที่เหมาะสมกับการใช้งาน



รูปที่ 2.7 แสดงส่วนประกอบของโครเมียมและโครเมียมออกไซด์ของแผ่นเหล็กไม่ชุบดีบุก<sup>(11)</sup>

## กระบวนการทำแผ่นเหล็กไม่ชุบตีบุก

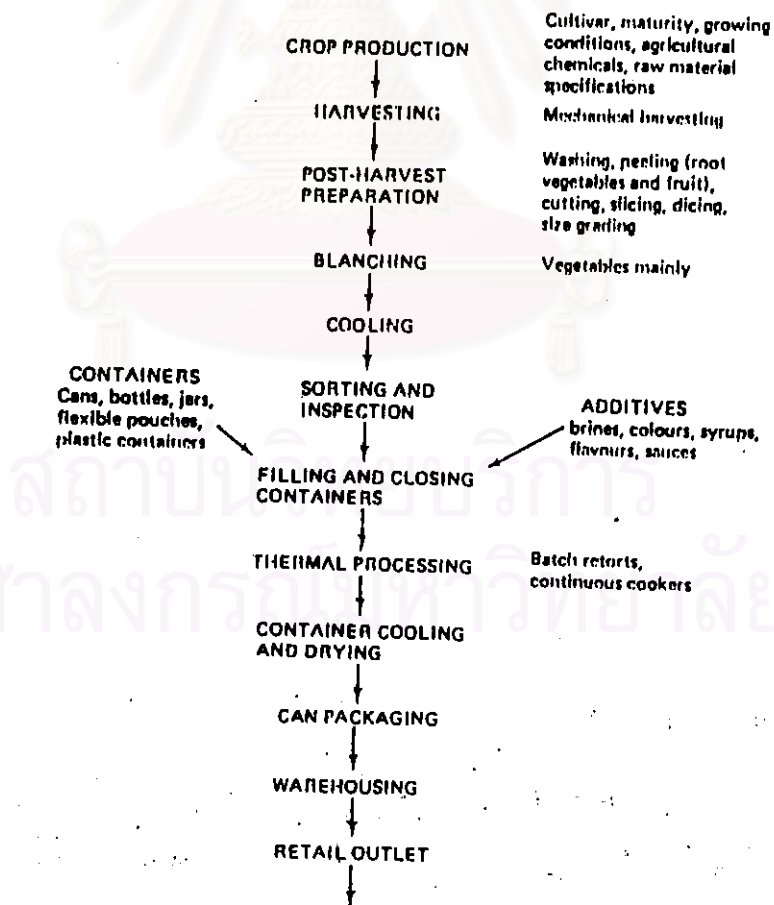


ในการผลิตแผ่นเหล็กไม่ชุบตีบุกราคาการผลิตขึ้นอยู่กับค่าดำเนินงานของโรงงานเป็นหลัก ราคาโลหะเป็นอันดับต่อมา ซึ่งจะตรงกันข้ามกับการผลิตแผ่นเหล็กชุบตีบุก ราคาตีบุกจะเป็นราคาที่ควบคุมการผลิต รูปที่ 2.8 แสดงการผลิตอาหารกระป๋องในอุตสาหกรรม

4. ลักษณะภายนอก

แผ่นเหล็กไม่ชุบตีบุกต้องมีความหนาสม่ำเสมอ ไม่มีข้อบกพร่อง ไม่มีรอย ไม่ย่น ไม่มีสนิม และอื่นๆที่จะก่อให้เกิดความเสียหายในการนำไปใช้งาน<sup>(9)</sup>

ในการใช้ตีบุกเคลือบลงไปบนโลหะนั้น นอกจากเพื่อป้องกันการกัดกร่อนแล้ว ตีบุกมีจุดหลอมเหลวต่ำทำให้ง่ายต่อการเชื่อมบัดกรี และยังใช้เป็นฐานในการเคลือบสารอินทรีย์ได้เป็นอย่างดี ไม่มีพิษ ผิวหน้าสวยงาม การเคลือบด้วยตีบุกสามารถทำได้โดยการจุ่ม แต่ส่วนใหญ่จะใช้วิธีทางไฟฟ้ามากกว่า ประโยชน์ของวิธีนี้คือ สามารถควบคุมความบางได้ นอกจากนี้ตีบุกยังแสดงการต้านทานการกัดกร่อนเนื่องจากบรรยากาศ กรดแฉะเจือจาง และกรดอินทรีย์อื่นๆ ได้ดี แต่จะถูกกัดกร่อนด้วยกรดแร่ที่รุนแรงได้ ตัวตีบุกจะมีความอ่อนตัว ความนิ่ม ค่าความทนต่อแรงดึง และค่านี้จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น<sup>(10, 11)</sup>



รูปที่ 2.8 แสดงกระบวนการทำกระป๋อง<sup>(12)</sup>

## 2.8 ลักษณะของแผ่นเหล็กชุบตีบุก เปรียบเทียบกับแผ่นเหล็กไม่ชุบตีบุก<sup>(2)</sup>

แผ่นเหล็กไม่ชุบตีบุก	ความหนา (ไมครอน)	ความหนา (มิลลิเมตร)	แผ่นเหล็กชุบตีบุก	ความหนา (ไมครอน)	ความหนา (มิลลิเมตร)
ฟิล์มของน้ำมัน	0.005	0.000005	ฟิล์มของน้ำมัน	0.005	0.000005
โครเมียมออกไซด์	0.005	0.000005	โครเมียมออกไซด์	0.002	0.000002
โครเมียม	0.10-0.20	0.0001-0.0002	ฟิล์มของตีบุกออกไซด์	0.005	0.000005
เหล็ก	160-400	0.16-0.40	โลหะตีบุก	0.4-1.6	0.0004-0.0016
			โลหะผสมของตีบุก	0.075	0.000075
			เหล็ก	160-400	0.16-0.40

การทำกระป๋องถึงแม้ว่าจะใช้แผ่นเหล็กชุบตีบุกได้อย่างดี ไม่ว่าจะใช้กับภาชนะบรรจุอาหาร แต่บางครั้งมีผลในทางตรงกันข้าม เนื่องจากโลหะหรือภาชนะสามารถเกิดการกัดกร่อนได้อย่างรุนแรง หรือเนื่องมาจากสาเหตุที่เกิดรอยตำของเหล็กซัลไฟด์ เช่น เกิดกับผลิตภัณฑ์ประเภทข้าวโพดและอาหารทะเล ในอาหารบางอย่างจะเกิดการตกสีในกระป๋องตีบุกด้วย แต่ในสินค้าบางชนิดก็ต้องการให้มีการตกสีเล็กน้อย เช่น กระหล่ำปลีต้องบรรจุกระป๋อง อนุรักษ์และน้ำองุ่น ลูกท้อและลูกแพร์ เป็นต้น<sup>(13, 14)</sup>

## 2.9 การเคลือบด้วยแลกเกอร์

การใช้แลกเกอร์เคลือบด้านในเป็นการเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนของผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะพวกภาชนะต่างๆ การใช้แลกเกอร์เป็นสารเคลือบมักจะใช้กับแผ่นเหล็กเคลือบตีบุก ซึ่งจะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมกระป๋อง โดยที่แลกเกอร์ต้องมีความทนทานง่ายต่อการบ่ม มีความต้านทานต่อผลิตภัณฑ์ และต้องใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุดด้วย

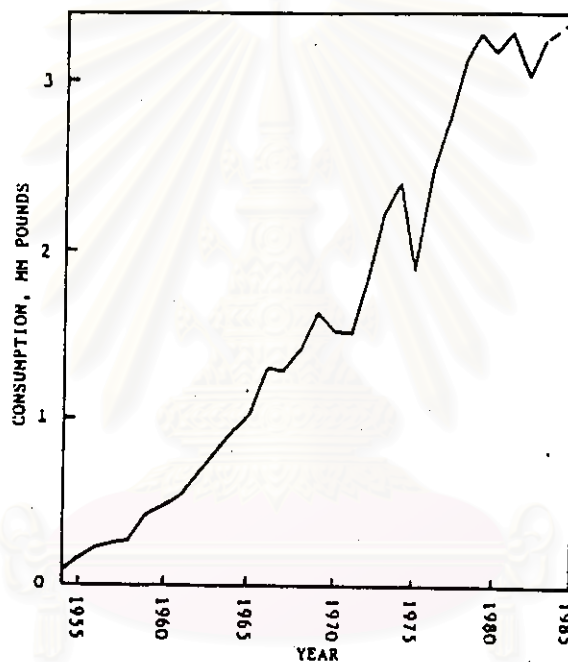
ในอาหารและยา กระป๋องที่เคลือบแลกเกอร์จะต้องไม่มีพิษ และเกิดอันตราย นอกจากนี้ยังต้องไม่มีกลิ่นและรสด้วย สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อโลหะจะเคลือบแลกเกอร์ชั้นที่หนึ่ง หลังจากทำกระป๋องแล้ว การเคลือบครั้งที่สองจะทำโดยการฉีดลงไปเพื่อคลุมตะเข็บด้านข้าง หรือความเสียหายที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต

แลกเกอร์ที่ใช้งานกับกระป๋องนั้นมีทั้งโอเลโอเรซิน ฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์ อีพอกซีเรซินและไวนิล แลกเกอร์ที่ใช้งานภายนอกของภาชนะที่ทำด้วยแผ่นเหล็กเคลือบตีบุก เพื่อปรับปรุงสมบัติ

ความต้านทานกัดกร่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระป๋อง กระป๋องที่ถูกส่งออกไปยังพื้นที่เขตร้อน หรือ ถูกเก็บไว้ในที่ชื้น<sup>(15)</sup>

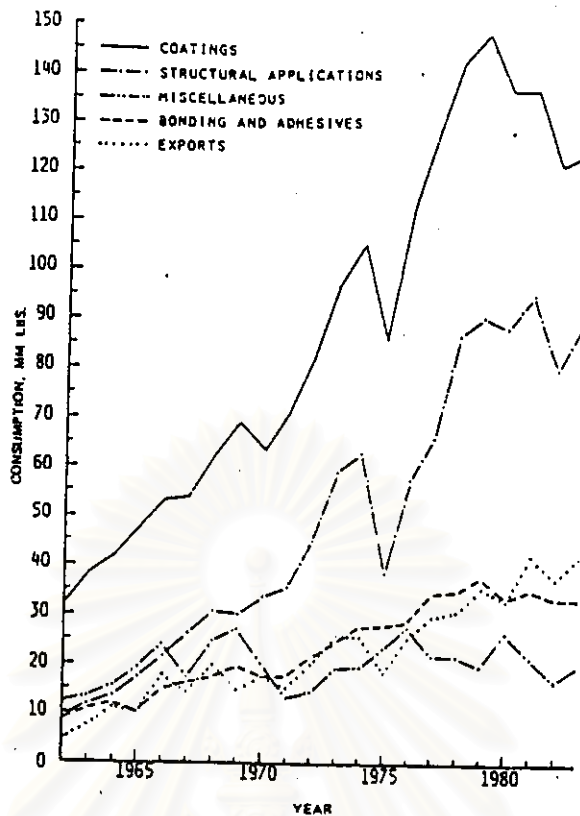
## 2.10 อีพอกซีเรซิน (Epoxy Resin)

อีพอกซีเรซินเป็นเรซินที่ใช้ประโยชน์ได้มากในทางอุตสาหกรรมประมาณ 60% ที่ผลิตขึ้นใช้ใน อุตสาหกรรมเคลือบผิว รูปที่ 2.9, 2.10 และ 2.11 จะแสดงถึงการใช้งานของอีพอกซีเรซินในปีต่าง ๆ

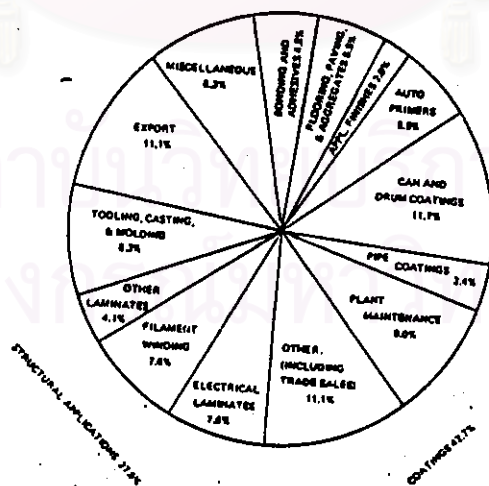


รูปที่ 2.9 แสดงการใช้งานของอีพอกซีเรซินในสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปี 1954<sup>(17)</sup>

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.10 การใช้งานของอีพอกซีเรซินตั้งแต่ปี 1962<sup>(17)</sup>



รูปที่ 2.11 การนำอีพอกซีไปใช้ในงานต่างๆ<sup>(17)</sup>

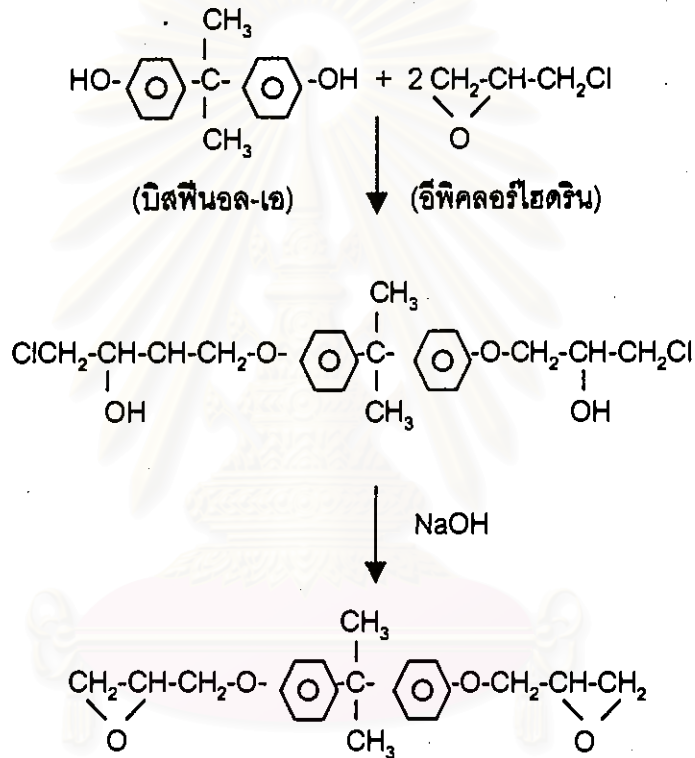


การเตรียมอีพอกซีเรซิน

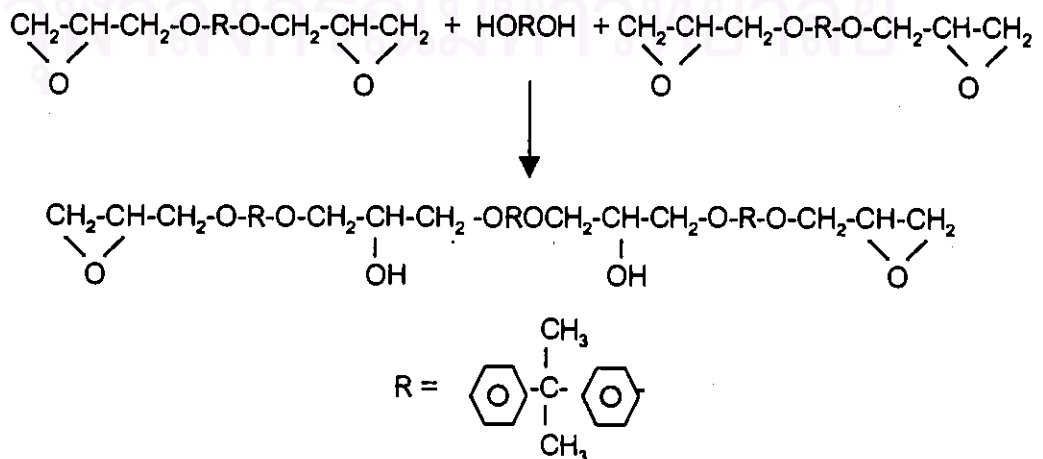
อีพอกซีเรซินเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างได- หรือพอลิไฮดรอกฟีนิล และอีพิแฮโลไฮ- ดริน (epihalohydrin)

ปฏิกิริยาการเกิดอีพอกซีเรซินแสดงได้ดังนี้

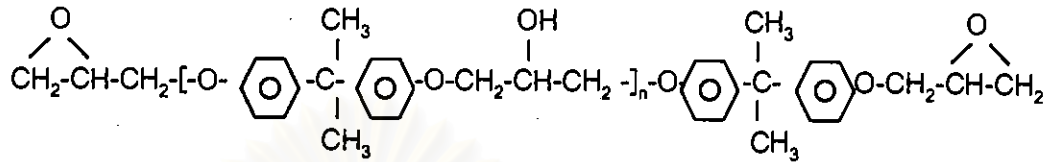
1. อีพิคลอไรไฮดรินและบิสฟีนอล-เอ ทำปฏิกิริยากันโดยมีต่างเป็นตัวเร่ง



2. ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาขั้นแรก จะทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล-เอ ต่อไปทำให้วงอีพอกซี (epoxy ring) เปิดออก



3. ปฏิกิริยาจะเกิดต่อไปเรื่อยๆ จนถึงขั้นของพอลิเมอร์ และเนื่องจากปลายโซ่ทั้งสองข้างจะสิ้นสุดด้วยหมู่อีพอกซี ดังนั้นปฏิกิริยานี้จะต้องมีอีพอกซีไฮดรินมากเกินพอ อีพอกซีเรซินจะมีโครงสร้างดังนี้



### สมบัติของอีพอกซีเรซิน

อีพอกซีเรซินมีสมบัติในการใช้งานด้านเคลือบผิวหน้าดี เพราะ

1. อีพอกซีเรซิน มีความทนทานต่อเคมีภัณฑ์ต่างๆ ได้ ดีโดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อต่างทั้งหลาย ทั้งนี้เพราะโมเลกุลไม่มีเอสเทอร์ที่จะถูกสะพอนิฟายได้ แต่มีพันธะอีเทอร์และพันธะคาร์บอนเท่านั้น
2. อีพอกซีเรซิน มีสมบัตียึดติดกับผิวหน้าต่างๆ ได้ดี ทั้งนี้เพราะโซ่พอลิเมอร์มีปริมาณของหมู่ที่มีขั้วสูง นอกจากนี้การมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ห่างกันอย่างเป็นระเบียบในโมเลกุล จะทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนได้ดีเป็นผลให้มีแรงดึงดูดระหว่างโซ่สูง
3. อีพอกซีเรซิน มีความแข็งแรงดี และอ่อนตัวไม่เปราะ การที่โมเลกุลมีหมู่อะโรมาติกอยู่บนโซ่ ทำให้โซ่แข็ง และดังนั้นจึงทำให้อีพอกซีเรซินทนความร้อนได้ดี ในขณะที่เดียวกันจากการที่โซ่มีพันธะเดี่ยวจึงทำให้โมเลกุลสามารถเกิดการหมุน (rotation) รอบๆ พันธะเดี่ยวได้ จึงทำให้อีพอกซีเรซินมีความอ่อนตัวดีไม่เปราะ
4. หมู่อีพอกซีและหมู่ไฮดรอกซิลที่มีอยู่ในโมเลกุล ทำให้อีพอกซีสามารถเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันหรือเกิดการบ่มต่อไปทำให้ได้เป็นโครงสร้างสามมิติที่แข็งแรงทนทานและใช้ประโยชน์ได้ดี

อีพอกซีเรซินมีจุดอ่อนอยู่บ้างเหมือนกันคือ ไม่ละลายในตัวทำละลายที่มีราคาถูก และไม่เข้าเป็นเนื้อเดียวกับเรซินบางชนิด นอกจากนี้ฟิล์มที่ได้จากอีพอกซีเรซินอาจจะร้อนเมื่ออยู่ภายนอกเป็นระยะเวลาต่างๆ และความทนน้ำก็ด้อยลงด้วย

ตารางที่ 2.5 แสดงสมบัติของอีพอกซีเรซินส่วนใหญ่ที่ใช้ในการเคลือบผิว<sup>(17)</sup>

น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย	ช่วง WPE <sup>(a)</sup>	ความหนืด <sup>(b)</sup>	จุดหลอมเหลว <sup>(c)</sup> (องศาเซลเซียส)	หมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล <sup>(d)</sup>	น้ำหนัก (ปอนด์/แกลลอน)
380	185-192	100-160	ของเหลว	4.5	9.7
900	450-550	D-G	67-75	6	9.9
1400	875-1025	G-U	95-105	7.75	9.6
2900	2000-2500	Y-Z <sub>1</sub>	125-135	13	9.6
3750	2500-4000	Z <sub>1</sub> -Z <sub>5</sub>	145-155	17	9.9

- a : กรัมของเรซินที่มีอีพอกไซด์อยู่ 1 กรัมอีควิวาเลนต์ (equivalent) หรือ น้ำหนักต่ออีพอกไซด์  
 b : ความหนืดการตเนอ์-โอดท์ที่มีของแข็งอยู่ 40% โดยน้ำหนักในบิวทิลคาร์บิทอล (butyl carbitol) หรือหมายถึงความหนืดในหน่วยพอยซ์ที่ของแข็ง 100%  
 c : วิธีดูแรนส์เมอร์คิวรี (Duran's mercury)  
 d : จำนวนหมู่ฟังก์ชันของไฮดรอกซิลทั้งหมด ซึ่งหมู่อีพอกซีแต่ละหมู่จะสมมูลกับหมู่ไฮดรอกซิล 2 หมู่

### อีพอกซีเรซินชนิด 2 ส่วน (Two-Package Epoxy Coatings)

ในอุตสาหกรรมเคลือบผิว อีพอกซีเรซินเพียงลำพังไม่สามารถจะใช้งานได้ดี เนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลของเรซินต่ำ อย่างไรก็ตามสามารถบ่มอีพอกซีเรซินให้เกิดเป็นโมเลกุลที่มีโครงสร้างเป็นตาข่ายได้ด้วยสารหลายชนิด ดังนั้นการใช้งานของอีพอกซีเรซินจะจัดอยู่ในประเภทที่เรียกว่าสองส่วน (two-package) คือ จะมีสองส่วนแยกกันอยู่ ส่วนหนึ่ง คือ อีพอกซีเรซิน และอีกส่วนหนึ่งเป็นสารที่ทำให้แข็งหรือทำให้เกิดปฏิกิริยาซึ่งเรียกว่า สารบ่ม (curing agent) บางครั้งอาจเรียกสารบ่มว่าสารเชื่อมโยง (cross-linkers) หรือสารช่วยแข็ง (hardeners) ก็ได้

M. FRANCO และคณะได้ทำการวิจัยพบว่าการใช้เทอร์โมเซตติงเรซินเป็นสารบ่มจะทำให้เกิดความเปราะขึ้นจึงได้ปรับปรุงสารบ่มให้มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) เพื่อปรับปรุงสมบัติความทนทานต่อการแตกหัก เพราะมันจะเป็นสาเหตุให้เกิดการแยกออกเป็นวัฏภาค (phase) ในระหว่างการบ่ม แต่ก็ยังมีปัญหาคือ ตัวสารบ่มนี้จะทำให้สมบัติส่วนใหญ่เสียไป จึงทำการทดลองโดยใช้อีพอกซีเรซินที่ทำการปรับปรุงแล้วมาทำปฏิกิริยากับของเหลวแอมิน-เทอร์มินเตดโอลิโกเมอร์ (liquid amine-terminated oligomer) ซึ่งแสดงสมบัติเหมือนเรซิน ผลที่ได้คือ จะมีแรงดึงดูระหว่างผิวหน้าเพิ่มขึ้น ทำให้อีพอกซีเรซินที่ปรับปรุงแล้วมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นด้วย

## การใช้งานของอีพอกซีเรซินเรซินในอุตสาหกรรมเคลือบผิว

การใช้งานแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. สารเคลือบผิวชนิดอบ โดยใช้ฟีนอลิกเรซิน ยูเรียเรซิน หรือ เมลามีนเรซินเป็นสารบ่ม จะให้ความต้านทานตัวทำละลาย สารเคมี สมบัติทางกายภาพ และความร้อนที่ดี

ฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน (phenol-formaldehyde resin) ที่นำมาใช้เป็นสารบ่ม อีพอกซีเรซินส่วนใหญ่จะมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 3,000-4,000 โดยฟีนอลิกเรซิน (phenolic resin) ส่วนใหญ่ที่นิยมใช้กัน คือ บิวทิลเลเตดรีโซล (butylated resol) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ โดยที่หมู่ไฮดรอกซิลของฟีนอลิกเรซินจะทำปฏิกิริยากับหมู่อีพอกซี ฟิล์มที่ได้จะมีความแข็งแรงและยึดหยุ่นดี สีที่ได้จะเป็นสีทองจนถึงน้ำตาล ในการใช้งานควรจะอบที่อุณหภูมิ 400 องศาฟาเรนไฮน์เป็นเวลา 10 นาที หรือ 350 องศาฟาเรนไฮน์เป็นเวลา 30 นาที การใช้อีพอกซีเรซินที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ จะทำให้ฟิล์มมีความเปราะมากขึ้น แต่ถ้าใช้ฟีนอลิกเรซินในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะทำให้

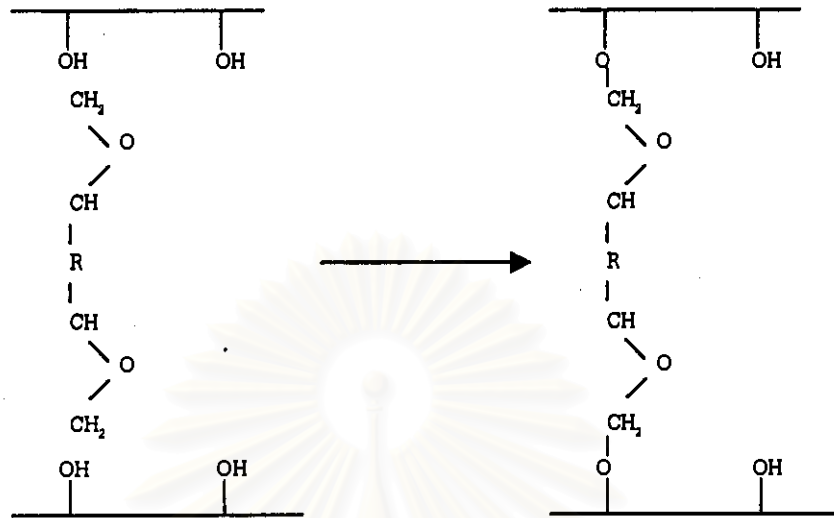
1. ความยึดหยุ่นและความต้านทานการตกกระแทกต่ำลง
2. มีความแข็งและความต้านทานตัวทำละลายเพิ่มขึ้น และ
3. มีความต้านทานต่อกรดและด่างเพิ่มขึ้น<sup>(4, 16, 21, 24)</sup>

### อีพอกซีเรซินที่บ่มด้วยฟีนอลิกเรซิน

แล็กเกอร์ที่ใช้เป็นอีพอกซีเรซินที่ผสมกับฟีนอลิกเรซินในอัตราส่วนที่เหมาะสม จะทำให้สารเคลือบผิวมีความทนทานต่อสารเคมีและตัวทำละลายสูง การเกาะติดผิวมีแรงยึดผิวหน้า ความอ่อนตัวไม่เปราะ ความแข็งและความทนทานต่อการขัดสีเป็นอย่างดี

ฟีนอลิกเรซินที่ใช้ส่วนใหญ่คือ บิวทิลเลเตดรีโซล ส่วนอีพอกซีเรซินที่ใช้มักจะมีน้ำหนักโมเลกุลสูงประมาณ 3,000-4,000 สำหรับปริมาณของฟีนอลิกเรซินที่ใช้จะอยู่ในช่วง 20-30% ของปริมาณสารยึดทั้งหมด อุณหภูมิที่อบคือ 205 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้อบประมาณ 20 นาที แต่ถ้าเติมสารบ่มที่เหมาะสมลงไปอาจลดอุณหภูมิลงได้เหลือ 175 องศาเซลเซียส และใช้เวลาอบนาน 30 นาที

ปฏิกิริยาในของผสมระหว่างอีพอกซีเรซินและพีนอลิกเรซินเกิดจากการรวมตัวระหว่างหมู่ -OH ของพีนอลิกเรซินกับหมู่อีพอกซีเกิดเป็นพันธะอีเทอร์ดังนี้

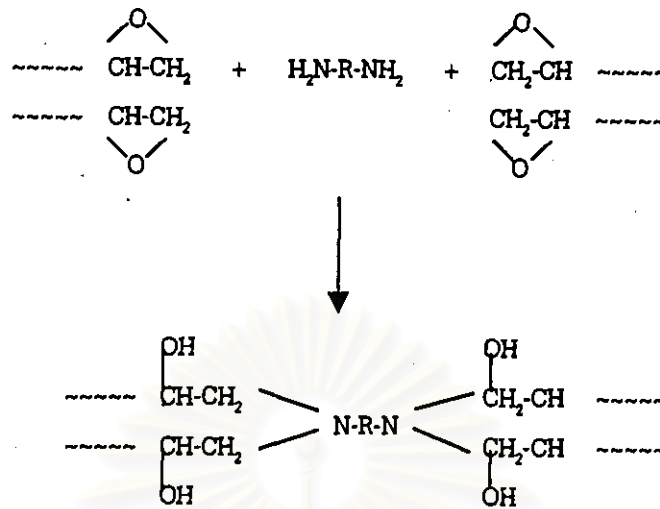


ในบางกรณีอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาส่วนหนึ่งก่อน ซึ่งเรียกกันว่า พรีคอนเดนเซชัน (precondensation) โดยการให้ความร้อนแก่เรซินทั้งสองในตัวทำละลายที่เหมาะสมที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาสั้นๆ จะเกิดโมเลกุลที่ซับซ้อนขึ้น โดยวิธีนี้จะได้สารเคลือบผิวที่มีแรงยึดผิวหน้าเป็นอย่างดี นอกจากนี้การไหลของของผสมก็จะดีขึ้น และการพองหรือเป็นรูพรุนจะลดน้อยลง<sup>(16,23)</sup>

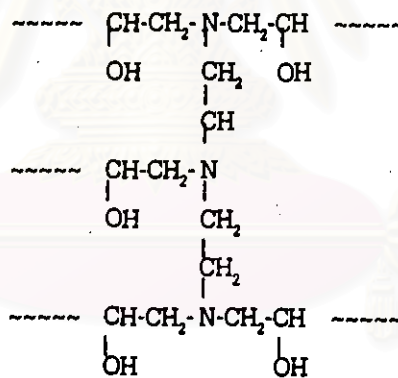
### อีพอกซีเรซินที่บ่มด้วยอะมีโนเรซิน

อีพอกซีเรซินที่บ่มด้วยพีนอลิกเรซินมักมีข้อเสียคือ ฟิล์มที่ได้มักมีสีเหลือง จึงแก้ปัญหาโดยใช้บิวทิลเลเตดยูเรียหรือบิวทิลเลเตดเมลามีนแทนพีนอลิกเรซิน อุณหภูมิที่ใช้อบคือ 180 ถึง 205 องศาเซลเซียส ปริมาณยูเรียเรซินที่ใช้ประมาณ 20-30% ของสารยึดทั้งหมด แต่ถ้าเป็น เมลามีนเรซิน ปริมาณที่ใช้ประมาณ 15-30% ของปริมาณสารยึดทั้งหมด

ในปฏิกิริยาการบ่มตัวของอีพอกซีเรซินกับหมู่อะมีโนของสารบ่ม สามารถแสดงตัวอย่างการเกิดปฏิกิริยากับแอมีนได้ดังรูป



ปฏิกิริยาจะเกิดได้มากขึ้นถ้าใช้พอลิเอมีน เช่น ไดเอทิลีนไตรเอมีน (DTA) เป็นสารบ่ม และโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นดังรูป<sup>(16, 23)</sup>



## 2. สารเคลือบผิวชนิดบ่มเย็น

สารเคลือบผิวชนิดนี้อาศัยปฏิกิริยาของหมู่ฟังก์ชันที่ปลายโซ่ของอีพอกซีเรซินกับหมู่อะมิโนของสารบ่มที่อุณหภูมิห้อง จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างเป็นตาข่ายสามมิติ โดยที่สารบ่มที่ใช้จะต้องมีฟังก์ชันแนลิตีที่มากพอตั้งแต่ 2 เป็นต้นไป เช่น ไดเอมีน เป็นต้น

## 3. สารเคลือบผิวชนิดแห้งได้เองในอากาศ

สารเคลือบผิวจากอีพอกซีเรซินชนิดนี้เรียกว่า อีพอกซีเรซินเอสเทอร์ ซึ่งทำได้โดยการเอสเทอร์ไรฟายหมู่ฟังก์ชันและหมู่ไฮดรอกซิลของอีพอกซีเรซินด้วยกรดคาร์บอกซิลิก ถ้ากรด



ที่ใช้เป็นกรดที่มีความไม่อิ่มตัวสูงจะได้สารเคลือบผิวที่มีสมบัติแห้งได้เองในอากาศที่มีสมบัติคล้ายกับอัลคิเดเรซินมาก<sup>(16)</sup>

จากการวิจัยของ S. N. Popova และคณะ การทดสอบสมบัติการกัดกร่อนของแผ่นเหล็กชุบดีบุกและเคลือบด้วยแล็กเกอร์ที่เป็นอีพอกซี-ฟีนอลิกแล็กเกอร์ และการกัดกร่อนของแผ่นเหล็กชุบดีบุกแต่ไม่เคลือบแล็กเกอร์ โดยใช้ทางเคมีไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ ซึ่งใช้ในภาวะเร่งให้เกิดการกัดกร่อน จะพบว่าจะมีการหลุดออกของดีบุกมาอยู่ในสารละลาย แต่ปริมาณของเหล็กในสารละลายนี้จะน้อยมาก ยิ่งถ้าแผ่นเหล็กมีการเคลือบด้วยแล็กเกอร์ด้วยแล้วจะเกิดอัตราการกัดกร่อนได้ต่ำมากด้วย

## 2.11 การผลิตกระป๋อง

การผลิตกระป๋องที่ทำจากโลหะเป็นสิ่งที่ทำกันมานานแล้ว เพื่อใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ โดยในทางการค้านั้นเริ่มมีการนำแผ่นเหล็กเคลือบดีบุกมาใช้ทำตั้งแต่แรกเริ่ม ในขณะที่ภาชนะที่ทำจากโลหะมีมากมายหลายชนิด ซึ่งรวมทั้งกระป๋องบรรจุเครื่องดื่มชนิดสองชั้น กระป๋องบรรจุอาหารชนิดสองชั้นและสามชั้น โดยที่จะต้องทำการเคลือบภายในด้วยเพื่อป้องกันต่อภาชนะกับผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้สารเคลือบยังต้องมีความยืดหยุ่นป้องกันการเกิดรอย ต้องไม่แตกภายใต้กระบวนการผลิตหรือเกิดเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ ออกมา

กระป๋องสองชั้นประกอบด้วยตัวกระป๋อง (ผนังด้านข้างและฝาข้างใต้) และฝาส่วนบน โดยเทคนิคที่ใช้ในการผลิตได้แก่ DRD (Drawn Redrawn) และ DWI (drawn and Wall Ironed)

กระป๋องสามชั้นประกอบด้วยฝานบน ฝาล่าง และตัวกระป๋อง การผลิตขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งานว่าต้องการใช้งานแบบใด<sup>(20, 21)</sup>

การกัดกร่อนของกระป๋อง

การกัดกร่อนของกระป๋องเกิดขึ้นได้ทั้งที่ผิวภายนอกและภายในกระป๋อง โดยอาจเกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษากระป๋องเปล่า การฆ่าเชื้อ การล้างเสียงขนส่งและการเก็บรักษากระป๋องที่บรรจุและฆ่าเชื้อเรียบร้อยแล้ว



## 1. การกัดกร่อนที่ผิวภายนอกกระป๋อง

ลักษณะการกัดกร่อนที่ผิวภายนอกกระป๋อง ซึ่งมักพบเห็นเสมอได้แก่

**การเป็นสนิม (rusting)** สนิมที่เกิดจากเหล็ก ทำปฏิกิริยากับอาหารและความชื้น สาเหตุของการเกิดสนิมมีได้หลายประการ เช่น คุณภาพของแผ่นเหล็กไม่เหมาะสม คุณภาพของน้ำที่ใช้ในการฆ่าเชื้อหรือน้ำที่ทำให้เย็นมีส่วนประกอบของเกลือ ไอน้ำที่ใช้ไล่อากาศในหม้อฆ่าเชื้อที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 90 องศาเซลเซียส มีอากาศผสมอยู่ เป็นต้น ผลของการเกิดสนิมคือ เกิดรูเข็มจนแผ่นโลหะทะลุ ทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณภาพ

**ดินบุกที่เคลือบผิวหลุด (detinning)** มักมีสาเหตุเนื่องมาจาก น้ำในหม้อฆ่าเชื้อมีฤทธิ์เป็นด่าง น้ำที่ใช้ล้างกระป๋องมีฤทธิ์เป็นด่าง อุปกรณ์ที่ใช้ในการฆ่าเชื้อเป็นสนิม และสัมผัสกับกระป๋อง

**การเป็นคราบดำ (staining)** มีสาเหตุเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมในระหว่างการขนส่งและเก็บรักษามีอุณหภูมิสูงกว่าปกติ

**การรั่วซึม (leakage)** มีสาเหตุมาจากตะเข็บสองชั้นไม่ได้คุณภาพอันเป็นผลให้ขั้นตอนการปิดฝาไม่ถูกต้อง การลำเลียงขนส่งที่ขาดความระมัดระวังกระป๋องที่รั่วซึมแล้ว จะทำให้สูญญากาศภายในกระป๋องลดลงเร่งปฏิกิริยาทางเคมีและอาหารเน่าเสียเร็วขึ้น

## 2. การกัดกร่อนภายในกระป๋อง

การกัดกร่อนภายในกระป๋องเกิดขึ้นได้หลายลักษณะและขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

**สมบัติทางเคมีของโลหะที่ใช้ทำกระป๋อง** โดยทั่วไปแผ่นเหล็กชุบดินบุกจะมีเหล็กไฟล์ไม่มากก็น้อยขึ้นอยู่กับความหนาของดินบุกที่เคลือบผิวเหล็กที่ไฟล์ออกมานั้นประกอบ

ด้วยธาตุซิลิคอน ฟอสฟอรัส สารหนู ทองแดง ซึ่งล้วนแต่เป็นตัวเร่งในการกักตกร่อนทั้งสิ้น

**ชนิดของกระป๋องที่ใช้** อาหารที่มีสมบัติกักตกร่อนสูงต้องใช้กระป๋องที่เคลือบแลกเกอร์ที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอาหารกับดินบุก ทำให้อาหารเปลี่ยนสีหรือเป็นคราบดำที่ผิวภายในกระป๋อง

**ซัลเฟอร์ไดออกไซด์** อาหารบางชนิดจะมีซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นส่วนประกอบอยู่ ซึ่งจะทำให้ทั้งกลิ่นและรสชาติของอาหารเปลี่ยนไป อีกทั้งทำให้แผ่นเหล็กเคลือบดินบุกเกิดการกักตกร่อนได้ด้วย

**ไนเตรด** ไนเตรดในน้ำหรืออาหารบางชนิด เช่น ผัก ผลไม้ เป็นสาเหตุให้กระป๋องที่ไม่เคลือบแลกเกอร์เกิดการกักตกร่อนได้ ดังนั้นจึงควรเคลือบแลกเกอร์ที่ผิวด้านในกระป๋องและควบคุมปริมาณไนเตรดในอาหาร

**สุญญากาศภายในกระป๋อง** สุญญากาศจะช่วยลดความดันที่เกิดขึ้นภายในกระป๋องระหว่างการฆ่าเชื้อ จึงช่วยลดความตึงผิวของฝา และคลายตะเข็บได้ นอกจากนี้ยังเป็นแอ่งสำหรับที่พักของแก๊สไฮโดรเจนที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา

**ปริมาณของแก๊สออกซิเจนในช่องว่าง** โดยทั่วไปจะควบคุมที่ 4/16 หรือ 6/16 นิ้ว ถ้ามีออกซิเจนมากเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเปลี่ยนสีหรือเสื่อมคุณภาพเร็ว

**อุณหภูมิในการเก็บรักษา** อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างอาหารและกระป๋องขึ้นกับอุณหภูมิในการเก็บรักษาด้วย เช่น ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อาหารกระป๋องจะเก็บได้นานเป็น 2 เท่าของการเก็บที่ 40 องศาเซลเซียส

**วิธีการเชื่อมตะเข็บข้าง** การเชื่อมตะเข็บข้างด้วยการใช้ตะกั่วบัดกรี จะเสี่ยงต่อตะกั่วที่เป็นพิษ ซึ่งอาจจะละลายปนออกมากับอาหาร ปัจจุบันจึงนิยมเชื่อมด้วยไฟฟ้าแทน<sup>(22)</sup>