

ความต้านทานของแล็กเกอร์เคลือบภายในกระป๋องอะลูมิเนียมบรรจุอาหาร Resistance of Internally Coated Lacquer on Aluminium Food Cans

ศิริพร ดาวพิเศษ^{1*} และ เกรียงไกร วิไลวงศ์เสถียร²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของแล็กเกอร์ที่เคลือบบนกระป๋องอาหารอะลูมิเนียม โดยขึ้นทดสอบที่เป็นแผ่นอะลูมิเนียม กระป๋องเปล่าและฝาให้สัมผัสกับสารละลายสังเคราะห์เป็นระยะเวลาที่กำหนด และกระป๋องที่บรรจุอาหารสัตว์แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 55°C ก่อนนำมาทดสอบด้วยอิเล็กโทรเคมีคอลอิมพีแดนซ์สเปคโตรสโคปี พบว่าแล็กเกอร์ต่างชนิดกันมีความสามารถในการขึ้นรูปต่างกัน แล็กเกอร์ในกระป๋องที่บรรจุอาหารแล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องซึ่งอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงตามเวลาเมื่อมีการสัมผัสภาพเร็วกว่าแล็กเกอร์ในกระป๋องอาหารที่เก็บที่อุณหภูมิคงที่ที่ 55°C

คำสำคัญ: อิมพีแดนซ์สเปคโตรสโคปี กระป๋องอาหารอะลูมิเนียม

Abstract

This research is to study the property of lacquers coated in the aluminium food cans. The specimens are the lacquered aluminium sheet, cans and can ends. These specimens are in contact with synthetic solution for the certain periods of time as

well as the packed cans stored at room temperature and 55°C for different periods before they were tested by electrochemical impedance spectroscopy (EIS). It is found that the different lacquers have different formability. The degradation of the lacquers the cans stored at room temperature which fluctuates during the day is faster than those stored at constant temperature at 55°C.

Keywords: Impedance Spectroscopy, Aluminum Food Can

1. บทนำ

กระป๋องอะลูมิเนียมเคลือบแล็กเกอร์นิยมนำมาใช้บรรจุอาหารเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปแล็กเกอร์ที่เคลือบด้านในช่วยป้องกันไม่ให้อาหารสัมผัสกับอะลูมิเนียมโดยตรงไม่ให้อาหารทำปฏิกิริยากับอะลูมิเนียม ดังนั้นแล็กเกอร์ต้องมีสมบัติต้านทานต่ออาหารที่บรรจุอยู่ มีความปลอดภัย ต้องปกปิดเนื้อโลหะที่อยู่ภายในได้ดี มีการยึดตัวได้ดี เนื่องจากต้องยึดตัวตามโลหะเมื่อนำไปผลิตเป็นกระป๋องอาหาร แล็กเกอร์เป็นสารโมเลกุลใหญ่ ระหว่างโซ่โมเลกุลมีโอกาสที่สารละลายหรือไอออนซึมหรือแพร่เข้าไปในเนื้อแล็กเกอร์ได้ หากดูผิวแล็กเกอร์ด้วยกล้อง

¹ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

² นักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0-2913-2500 ต่อ 8213 E-mail : sir@kmutnb.ac.th

กำลังขยายสูงแล้ว พบว่าแล็กเกอร์มีรูขนาดเล็กอยู่บ้างเช่นกัน ดังนั้นหากแล็กเกอร์ที่เคลือบกระป๋องอาหารแล้วเก็บไว้เป็นเวลานาน สารละลายหรือไอออนที่อยู่ในอาหารอาจซึมเข้าไปในชั้นแล็กเกอร์ได้ ทำให้สมบัติของแล็กเกอร์เปลี่ยนแปลงไป

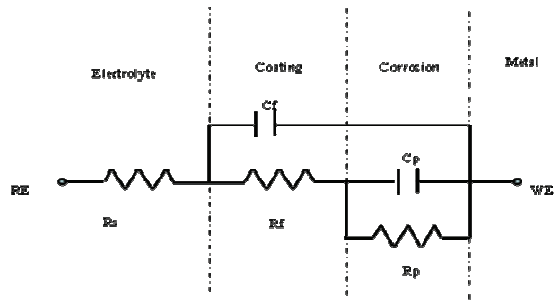
ในการผลิตกระป๋องอะลูมิเนียมเคลือบแล็กเกอร์นั้น นำอะลูมิเนียมแผ่นเคลือบแล็กเกอร์ ไปตัดแล้วบีบขึ้นรูป เนื้ออะลูมิเนียมบางส่วนยึดตัว บางส่วนถูกอัดแล็กเกอร์ที่อยู่บนอะลูมิเนียมก็ต้องถูกยึดและอัดตามไปด้วยเช่นกัน ดังนั้นการขึ้นรูปย่อมส่งผลกระทบต่อสมบัติของแล็กเกอร์บ้างไม่มากก็น้อย

อาหารที่บรรจุในกระป๋องนั้นย่อมมีผลต่อแล็กเกอร์ที่เคลือบด้วยเช่นกัน การเลือกแล็กเกอร์ที่เหมาะสมกับอาหารที่บรรจุ ก็เป็นปัจจัยต่อคุณภาพของอาหารกระป๋องโดยรวมแล็กเกอร์ที่ใช้เคลือบกระป๋องบรรจุอาหารนั้น มีวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ [1] คือ เพื่อควบคุมการกัดกร่อนของโลหะพื้นที่ใช้ทำกระป๋อง โดยเป็นชั้นที่ขวางกั้นระหว่างอาหารกับโลหะ และเพื่อความสวยงามน่ารับประทาน แล็กเกอร์เป็นสารอินทรีย์ควรมีสมบัติสำคัญคือ น้ำ อีออน รวมถึงก๊าซ ซึมผ่านได้ยาก มีค่า Dielectric สูง และต้องติดแน่นกับโลหะพื้น

อาหารกระป๋องที่ผลิตในประเทศส่งออกเป็นส่วนมาก จำเป็นต้องมีการพัฒนาให้มีรสชาติและสีสรรตรงกับความต้องการของลูกค้า จำเป็นต้องมีสูตรส่วนผสมที่หลากหลาย เพื่อให้สามารถแข่งขันกับต่างประเทศได้ ส่วนผสมที่บรรจุในกระป๋องมีผลต่อแล็กเกอร์ที่เคลือบด้านในกระป๋องเป็นอย่างมาก ดังนั้นแล็กเกอร์ต้องเหมาะสมกับอาหารที่บรรจุด้วย การทดสอบที่โรงงานใช้กันอยู่ต้องใช้เวลานาน 4-6 เดือน ซึ่งช้ามากในการแข่งขันขณะนี้ ทำให้มีแนวคิดในการนำเอาเทคนิคทางเคมีไฟฟ้ามาช่วยในการทดสอบเพื่อย่นระยะเวลาการทดสอบ รวมถึงมีข้อมูลเป็นตัวเลขเพื่อใช้ในการเสนอลูกค้าด้วย

การศึกษาชั้นเคลือบด้วย EIS

EIS เป็นประโยชน์มากในการศึกษาชั้นเคลือบที่ไม่นำไฟฟ้าบนผิวโลหะ เช่น สี แล็กเกอร์ หรือโพลีเมอร์



รูปที่ 1 วงจรไฟฟ้าเทียบเท่าของผิวเคลือบที่เป็นสารอินทรีย์บนผิวโลหะ [2]

เพราะ EIS สามารถตรวจจับการเสื่อมสภาพของชั้นเคลือบเมื่อสัมผัสกับสารละลายเป็นระยะเวลาต่างๆ รวมไปถึงการกัดกร่อนที่เกิดกับโลหะที่อยู่ใต้ชั้นเคลือบหากสารละลายซึมผ่านเข้าไปถึงผิวโลหะแล้วได้ในเวลาเดียวกัน การทดสอบด้วย EIS เป็นการทดสอบโดยใช้ไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่ต่างๆ [2] ให้แก่ชั้นทดสอบ ซึ่งในที่นี้คือโลหะที่เคลือบด้วยชั้นเคลือบที่ไม่นำไฟฟ้า โดยที่ในช่วงความถี่สูงๆ เป็นการศึกษาถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และในช่วงความถี่ต่ำๆ ใช้ในการศึกษาปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆ ดังนั้นในการทดลองครั้งเดียวสามารถได้ข้อมูลที่ครบถ้วน ผลที่ได้คือ กราฟโบด (Bode Plot) และกราฟไนควิสต์ (Nyquist Plot) จากนั้นทำให้สามารถตีความออกมาเป็น

1. ความต้านทาน (Resistance) บอกถึงปฏิกิริยาที่มีการส่งถ่ายอิเล็กตรอน เช่น ปฏิกิริยาการกัดกร่อน
2. การเก็บประจุ (Capacitance) บอกถึงสมบัติของชั้นเคลือบเอง เพราะเมื่อผิวเคลือบสัมผัสกับสารละลายเป็นเวลานาน น้ำหรืออีออนซึมเข้าไปในชั้นเคลือบทำให้การเก็บประจุของชั้นเคลือบเปลี่ยนแปลงไปในการบอกถึงคุณภาพของชั้นเคลือบนั้นทำได้โดยบอกเป็นวงจรไฟฟ้าเทียบเท่า (Equivalent Circuit) เป็นการมองชั้นเคลือบเป็นวงจรไฟฟ้าดังรูปที่ 1

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาผลกระทบของการขึ้นรูปกระป๋องอะลูมิเนียมเคลือบแล็กเกอร์ ต่อความต้านทานการกัดกร่อน

ตารางที่ 1 สมบัติของ L1 และ L2

ชนิด	ชั้นส่วน	ชั้นเคลือบ					
		ชั้นรองพื้น			ชั้นบน		
		สี	ชนิดของเรซิน	น้ำหนัก (g/m ²)	สี	ชนิดของเรซิน	น้ำหนัก (g/m ²)
L1	ตัวกระป๋อง	ขาว	โพลีเอสเตอร์	7.5-8.5	ใส	โพลีเอสเตอร์	7.5-8.5
	ฝา	ขาว	โพลีเอสเตอร์	7.5-8.5	ใส	โพลีเอสเตอร์	7.5-8.5
L2	ตัวกระป๋อง	ทอง	โพลีเอสเตอร์	7.5-8.5	ใส	โพลีเอสเตอร์	7.5-8.5
	ฝา	ทอง	อีพอกซีฟิโนลิก	5.5-6.5	ทอง	ออกาโนซอล	12.0-13.0

ในสารละลายสังเคราะห์น้ำเกลือไม่เกิน 2%

1.2.2 ศึกษาสมบัติของแล็กเกอร์ที่เคลือบภายในกระป๋องอะลูมิเนียมที่บรรจุอาหารสัตว์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาที่เก็บด้วยวิธีทางเคมีไฟฟ้าโดยใช้ EIS

2. วิธีการทดลอง

2.1 แล็กเกอร์

แล็กเกอร์ที่เคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียมเพื่อนำไปขึ้นรูปเป็นกระป๋องและฝาที่ศึกษาในงานวิจัยนี้มี 2 ชนิด คือ L1 – แล็กเกอร์สีขาว และ L2 – แล็กเกอร์สีทอง โดย L1 และ L2 มีสมบัติตามตารางที่ 1 นอกจากนี้ยังมีแล็กเกอร์ที่เป็น Reference โดยทางโรงงานใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ

2.2 ขั้นตอนทดสอบ

แล็กเกอร์ L1 และ L2 เมื่อนำมาเคลือบแผ่นอะลูมิเนียมแล้ว นำไปขึ้นรูปเป็นกระป๋อง 2 ชั้น คือตัวกระป๋องและฝา จากนั้นนำไปบรรจุอาหารจริงเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องและ 55° ซ ดังนั้นขั้นตอนทดสอบมีดังนี้

1. แผ่นอะลูมิเนียมเคลือบแล็กเกอร์ที่ใช้ทำตัวกระป๋อง
2. แผ่นอะลูมิเนียมเคลือบแล็กเกอร์ที่ใช้ทำฝา
3. กระป๋องเปล่า
4. ฝาชนิดดิ่งเปิด (EOE)
5. กระป๋องที่บรรจุอาหารแล้วเก็บไว้เป็นระยะเวลาต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง
6. กระป๋องที่บรรจุอาหารแล้วเก็บไว้เป็นระยะเวลา

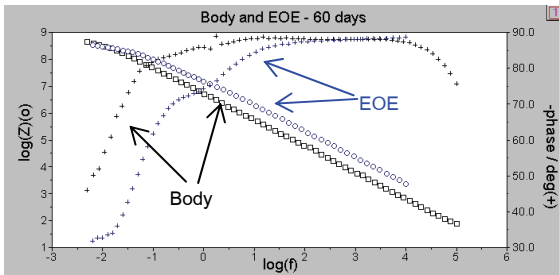
ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 55°ซ

7. กระป๋องและฝาที่เคลือบด้วยแล็กเกอร์ Reference

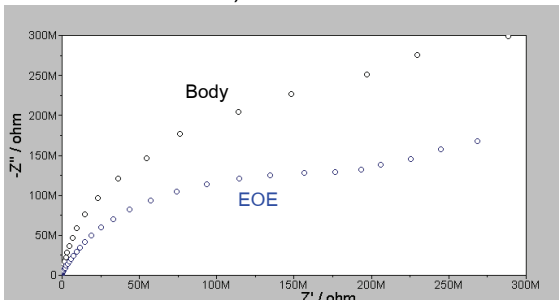
2.3 ระยะเวลาที่ทดสอบขั้นตอนทดสอบ-กระป๋องที่บรรจุอาหารกระป๋องอาหารเก็บไว้ที่อุณหภูมิและเวลาตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระยะเวลาที่ขึ้นทดสอบสัมผัสกับสารละลายหรืออาหารก่อนนำมาทดสอบ

เวลา-แผ่นอะลูมิเนียมสำหรับทำตัวกระป๋องและทำฝาตัวกระป๋อง ฝา	กระป๋องบรรจุอาหารสัตว์	
	เวลา-เก็บที่อุณหภูมิห้อง	เวลาที่เก็บไว้ที่ 55°ซ เวลาจริง (วัน)-เวลาเทียบเท่า (วัน)
14 วัน	14 วัน	-
30 วัน	30 วัน	-
60 วัน	60 วัน	-
-	-	11-88
90 วัน	90 วัน	-
120 วัน	120 วัน	-
		17-137
150 วัน	150 วัน	25-206
180 วัน	180 วัน	34-276
210 วัน	210 วัน	43-344
-	-	51-413
-	-	104-838
-	-	157-1258
-	-	206-1653



ก) กราฟโบด



ข) กราฟไครวิสท์

รูปที่ 2 กราฟที่ได้จากการทดสอบ EIS ของชิ้นทดสอบ Body และ EOE ที่เวลา 60 วัน

2.4 เครื่องมือ AUTOLAB PGSTAT 30

ใช้อ้างอิง-SCE, Counter Electrode-Pt ชิ้นทดสอบเป็นขั้วทำงาน

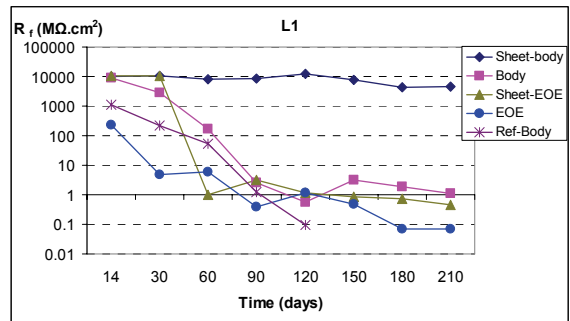
2.5 สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. สารละลายสังเคราะห์ ประกอบด้วย 6.6 wt% NaCl+9.2 wt% Sugar+น้ำกลั่น pH 7.8 ใช้ในการทดสอบแผ่นอะลูมิเนียมเคลือบแล็กเกอร์ที่ใช้ทำตัวกระป๋อง และที่ใช้ทำฝา กระป๋องเปล่า ฝาชนิดดิ่งเปิด (EOE)

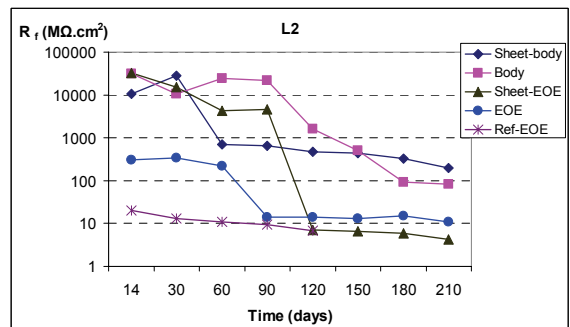
2. อาหารที่บรรจุในกระป๋อง ในที่นี้คือ อาหารสัตว์ในเจลลี่ โดยมีส่วนผสมดังนี้ Sadines, Whitebait, Prawn, Clams, Gelling Agent, Guar Gum, Vitamins and Minerals, Water โดยเมื่อบรรจุแล้วนำไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 116°C เป็นเวลา 105 นาที

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

การใช้ไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่ 10⁵Hz-10 mHz โดยศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในการกระตุ้นอยู่ระหว่าง 10-50 mV



รูปที่ 3 ความต้านทานของแล็กเกอร์ L1 เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการขึ้นรูป

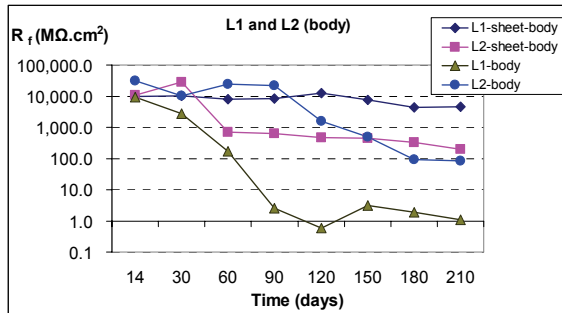


รูปที่ 4 ความต้านทานของแล็กเกอร์ L2 เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการขึ้นรูป

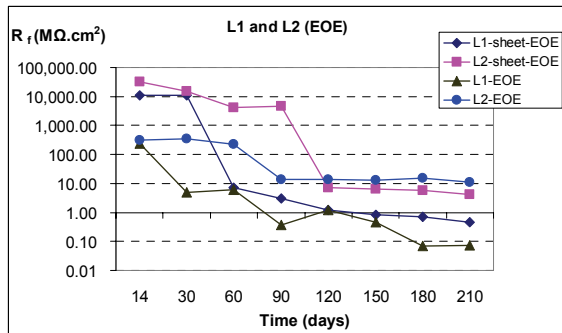
ผลที่ได้คือกราฟโบด และกราฟไครวิสท์ ตัวอย่างของกราฟที่ได้จาก EIS ของชิ้นทดสอบ Body และ EOE ที่สัมผัสกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็นเวลา 60 วัน แสดงในรูปที่ 2 ซึ่งสามารถนำมาหาค่าความต้านทาน R_f ของแล็กเกอร์โดยผลกระทบของการขึ้นรูปต่อความต้านทานของแล็กเกอร์ L1 และ L2 แสดงไว้ในรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

อะลูมิเนียมที่เคลือบด้วย L1 ที่ยังไม่ผ่านการขึ้นรูปมีความต้านทานสูงมากแม้จะสัมผัสกับสารละลายเป็นเวลานาน ส่วนอะลูมิเนียมเคลือบแล็กเกอร์ L2 มีความต้านทานลดลงเมื่อสัมผัสกับสารละลายเป็นระยะเวลานานขึ้น แต่เมื่อนำไปขึ้นรูปพบว่ากระป๋องและฝาที่เคลือบด้วยแล็กเกอร์ L1 มีความต้านทานลดลงเมื่อสัมผัสกับสารละลายเป็นระยะเวลานาน

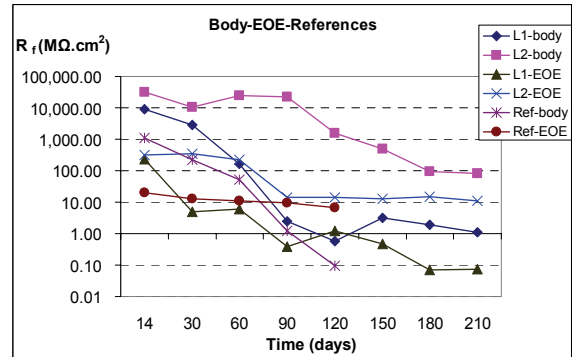
ผลของแล็กเกอร์ต่างชนิดกันต่อความต้านทาน



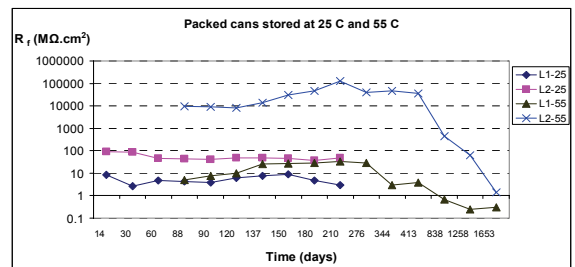
รูปที่ 5 ความต้านทานของแผ่นอะลูมิเนียมและกระป๋องที่เคลือบด้วยแล็กเกอร์ L1 และ L2



รูปที่ 6 ความต้านทานของแผ่นอะลูมิเนียมและฝา EOE ที่เคลือบด้วยแล็กเกอร์ L1 และ L2



รูปที่ 7 ความต้านทานของกระป๋องที่เคลือบด้วยแล็กเกอร์ L1, L2, Ref 1 และ Ref 2



รูปที่ 8 ความต้านทานของกระป๋องเคลือบด้วยแล็กเกอร์ L1 และ L2 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้องและ 55°C

แล็กเกอร์ที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ L1 และ L2 นอกจากนี้ยังมีกระป๋องที่เคลือบด้วยแล็กเกอร์ที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ (Ref-body) และฝาที่เคลือบด้วยแล็กเกอร์ที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ (Ref-EOE) ความต้านทานของแล็กเกอร์แสดงไว้ในรูปที่ 5, 6 และ 7

กระป๋องและฝาที่เคลือบด้วยแล็กเกอร์ L2 มีความต้านทานสูงกว่าที่เคลือบด้วย L1

ผลของอุณหภูมิในการเก็บต่อสมบัติของแล็กเกอร์ที่เคลือบด้านในกระป๋อง

กระป๋องเมื่อบรรจุอาหารสัตว์แล้วเก็บไว้ในอุณหภูมิห้องและที่ 55°C ตามระยะเวลาที่กำหนดดังตารางที่ 2 ก่อนนำมาทดสอบ

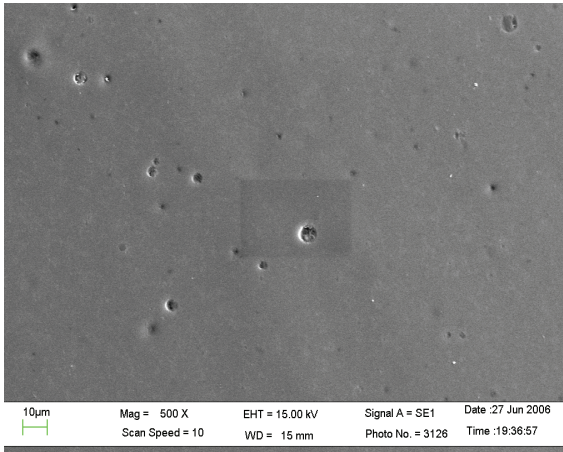
กระป๋องที่เก็บที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาที่เก็บกระป๋องอาหารเป็นระยะเวลาจริงโดยทำการทดลองสูงสุด 210 วัน

แต่กระป๋องที่เก็บที่อุณหภูมิ 55°C เป็นระยะเวลาเทียบเท่าซึ่งเวลาที่ทดสอบสูงสุด 1,653 วันหรือ ประมาณ 4.5 ปี

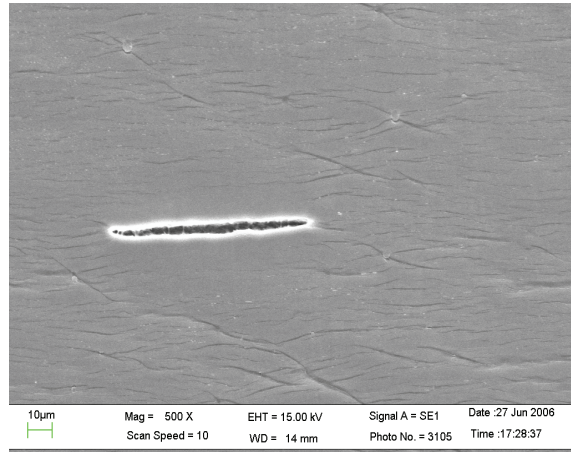
โดยความต้านทานของแล็กเกอร์แสดงไว้ในรูปที่ 8 แล็กเกอร์ L2 มีความต้านทานสูงกว่า L1 ทั้งที่เก็บไว้ในอุณหภูมิห้อง และที่ 55°C ตลอดระยะเวลาที่ทดสอบ

ค่าความต้านทานของแล็กเกอร์ของกระป๋องที่เก็บไว้ในอุณหภูมิห้อง จะลดลงอย่างช้าๆ ส่วนกระป๋องที่เก็บไว้ในอุณหภูมิ 55°C ความต้านทานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงแรกเนื่องจากมีผลผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาการกัดกร่อนเข้าไปอุดรูของแล็กเกอร์ [3] แต่เมื่อเวลาเกิน 413 วันหรือ 1.2 ปี ความต้านทานมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากแล็กเกอร์เสื่อมสภาพ ทำให้อ่อนในอิเล็กทรอนิกส์เข้าไปในแล็กเกอร์ได้มากขึ้น [3]

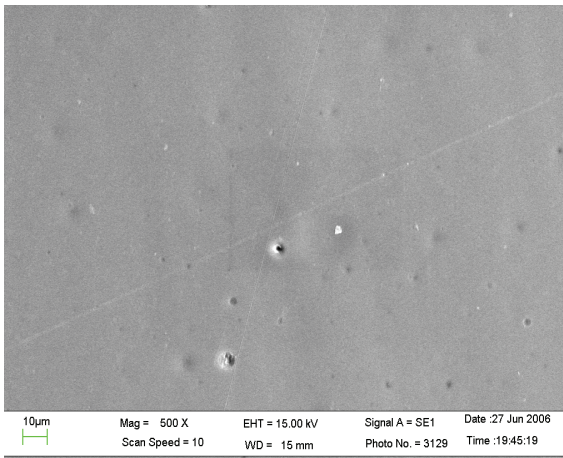
อย่างไรก็ตาม เวลาเทียบเท่าในการเก็บที่ 55°C



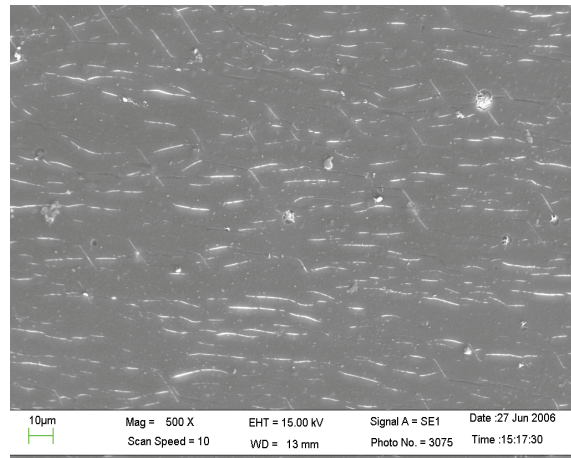
a) Sheet – L1



a) L1



b) Sheet –L2



b) L2

รูปที่ 9 ผิวของแล็กเกอร์ที่เคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียมที่ยังไม่ได้ผ่านการขึ้นรูปทั้งสองชนิดมีรู (500X)

รูปที่ 10 ผิวของแล็กเกอร์ที่บริเวณส่วนโค้งกันกระป๋อง (500X)

เท่ากับ 1,653 วันเท่ากับ 4.5 ปี และ 1,258 วันเท่ากับ 3.4 ปี ซึ่งเกินระยะเวลาประกันคือ 3 ปี ที่เวลาเท่ากัน (เวลาจริงสำหรับอุณหภูมิห้อง และเวลาเทียบเท่าสำหรับ 55°C) ความต้านทานของแล็กเกอร์ที่ 55°C มีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิห้อง ทั้งกระป๋องที่เคลือบด้วย L1 และ L2 ทั้งนี้เนื่องมาจากอุณหภูมิห้องมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาระหว่างวัน นอกจากนี้ในวันหยุดไม่มีการเปิดเครื่องทำความเย็นอุณหภูมิในห้องจะสูงกว่าวันธรรมดา อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล (เนื่องจากเก็บกระป๋อง

เป็นเวลานานถึง 7 เดือน) ทำให้กระป๋องอาหารได้รับอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงตลอดกระป๋องอาหารเกิดการหดหรือขยายตัวตามอุณหภูมิ ทำให้แล็กเกอร์หดหรือขยายตัวตามส่งผลให้แล็กเกอร์เสื่อมสภาพเร็วกว่าที่เก็บที่อุณหภูมิสูงคือที่ 55°C แต่คงที่

เมื่อพิจารณา L1 และ L2 ที่เคลือบบนกระป๋องเป็นแล็กเกอร์ชนิดเดียวกัน คือเป็นโพลีเอสเตอร์เหมือนกัน แต่ L1 มีสีขาว เนื่องจากมีการเติม TiO_2 เพื่อให้เป็นแล็กเกอร์สีขาว ส่วน L2 มีสีทองไม่มี TiO_2 การเติมเม็ดสี

มีผลต่อความต้านทานของแล็กเกอร์ โดย TiO_2 ในแล็กเกอร์ที่เคลือบผิวอะลูมิเนียมแผ่น (ไม่ผ่านการขึ้นรูป) ช่วยทำให้ความต้านทานสูง ช่วยทำให้การซึมผ่านของออกซิเจนหรือน้ำเข้าไปในแล็กเกอร์ได้ยาก แต่ TiO_2 ทำให้สมบัติการยึดตัวของแล็กเกอร์ต่ำลง ส่งผลให้กระป๋องที่ผ่านการขึ้นรูป L1 มีความต้านทานต่ำกว่า L2 โดยสามารถพิจารณาจากผิวของแล็กเกอร์ L1 และ L2 ที่เป็นแผ่นเรียบและที่ผ่านการขึ้นรูปแล้วดังแสดงในรูปที่ 9 และ 10

4. สรุป

การขึ้นรูปมีผลทำให้ความต้านทานของแล็กเกอร์ต่ำลง โดยการขึ้นรูปฝาทำให้ความต้านทานของแล็กเกอร์ต่ำกว่าการขึ้นรูปเป็นตัวกระป๋อง เนื่องจากการขึ้นรูปลอนที่ฝามีการยึดตัวสูงเฉพาะที่ มีผลทำให้แล็กเกอร์มีโอกาสเสียหายได้มากกว่า สำหรับกระป๋องที่เคลือบด้านในด้วยแล็กเกอร์สีขาวและสีทองนั้นเนื้อแล็กเกอร์เป็นโพลีเอสเตอร์เหมือนกันแต่สีขาว (L1) มี TiO_2 ส่วนสีทอง (L2) ไม่มี TiO_2 ทำให้ความต้านทานของแล็กเกอร์ที่เคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียมสูงขึ้น แต่ TiO_2 ทำให้แล็กเกอร์มีการยึดตัวลดลง ดังนั้นเมื่อนำไปขึ้นรูปเป็นกระป๋องแล้วทำให้ความต้านทานของแล็กเกอร์สีทอง (L2) มีความต้านทานสูงเมื่อเทียบกับแล็กเกอร์สีขาว (L1) โดยทั่วไปแล็กเกอร์ภายในกระป๋องต้องสัมผัสกับอาหารตลอดเวลา ทำให้แล็กเกอร์มีสมบัติต่ำลงตามระยะเวลา และ

การเก็บอาหารกระป๋องที่อุณหภูมิห้องซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอทำให้ความต้านทานของแล็กเกอร์ต่ำลงได้มากกว่าเก็บที่อุณหภูมิสูงแต่คงที่

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัทรอยัลแคนอนินด์สตรี จำกัด ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยนี้ และสถาบันนวัตกรรมเทคโนโลยีไทย-ฝรั่งเศส ที่ให้ใช้สถานที่และเครื่องมือในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Angela Monanari, A. Pezzani, A. Cassara, A. Quaranta and R. Lupi, "Quality of organic coatings for food cans: evaluation techniques and prospects of improvement," *Progress in Organic Coatings*, vol. 29, pp. 159-165, 1996.
- [2] D. Loveday, P. Peterson and B. Rogers, "Evaluation of Organic Coatings with Electrochemical Impedance Spectroscopy, Part 2: Application of EIS to Coatings," *JCT Coatings Tech*, pp. 88-93, October 2004.
- [3] F. Mansfeld, "Use of EIS for study of corrosion protection by polymer coatings," *J of Applied Electrochemistry*, vol. 25, pp. 187-201, 1995.