

การศึกษาปัจจัย

กระบวนการผลิตที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของ สับประรด

สุภาลี กังพิทยกุล

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของกระบวนการผลิตต่อการละลายของดินุ๊กในน้ำสับประรดกระป๋องโดยใช้ตัวอย่างกระป๋องบรรจุน้ำสับประรดที่ผลิตจากแผ่นเหล็กเคลือบดินุ๊กที่มีขนาดผลึกดินุ๊กเบอร์ 7 - 9 ปริมาณดินุ๊กอัลลอยด์ 0.9 - 1.1 กรัม/ตารางเมตร และปริมาณโครเมียมออกไซด์ 5 - 6 มิลลิกรัม/ตารางเมตร นำมาขึ้นรูปเป็นกระป๋องขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง x สูง ประมาณ 86 x 116 มิลลิเมตร โดยศึกษาปัจจัยของกระบวนการผลิตที่มีผลต่ออัตราการกัดกร่อนและการละลายของดินุ๊กโดยใช้เทคนิคเคมีไฟฟ้า ซึ่งปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ความเป็นกรด - ด่าง (3.5 - 3.8 และ 3.9 - 4.2) ปริมาณไนเตรท (0 - 10 และ 20 - 25 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) และความเป็นสุญญากาศ (102 - 178 และ 203 - 305 มิลลิเมตรปรอท) โดยใช้กระป๋องบรรจุน้ำสับประรด 2 ชนิดคือกระป๋องชนิดมีลอน และไม่มีลอน คิดเป็นจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 8 สภาวะ ที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ กัน (2, 9, 31, 61, 109, 189, 258, 383 และ 456 วัน) ผลการศึกษาที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรมมินิแท็บเพื่อดูว่าผลการศึกษาดังกล่าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

จากการศึกษาพบว่าปฏิริยาการกัดกร่อนของดินุ๊กในน้ำสับประรดกระป๋องแบ่งออกเป็น 2 ระยะได้แก่ระยะที่ 1 ปฏิริยาการกัดกร่อนจะเพิ่มขึ้นสูงและรวดเร็วเป็นเวลา 2 - 31 วัน ต่อมาในระยะที่ 2 คือ 31 - 456 วันอัตราการกัดกร่อนจะเพิ่มขึ้นช้ามากจนเกือบคงที่ สำหรับปัจจัยจากกระบวนการผลิตพบว่า ความเป็นกรด - ด่าง และปริมาณไนเตรทในน้ำสับประรดมีผลร่วมกันต่ออัตราการกัดกร่อนและการละลายของดินุ๊กในน้ำสับประรดกระป๋อง โดยที่สภาวะเป็นความกรดสูงและปริมาณไนเตรทสูงทำให้การละลายของดินุ๊กสูงที่สุดประมาณ 235 มิลลิกรัม/

กิโลกรัม เมื่อเก็บน้ำสับประรดเป็นเวลา 15 เดือน (456 วัน) ในขณะที่ระดับความเป็นสุญญากาศมีผลต่อปริมาณดินุ๊กที่ละลายในน้ำสับประรดกระป๋องเช่นเดียวกัน สำหรับการขึ้นรูปกระป๋องที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้ไม่มีผลต่ออัตราการกัดกร่อนและปริมาณดินุ๊กที่ละลาย

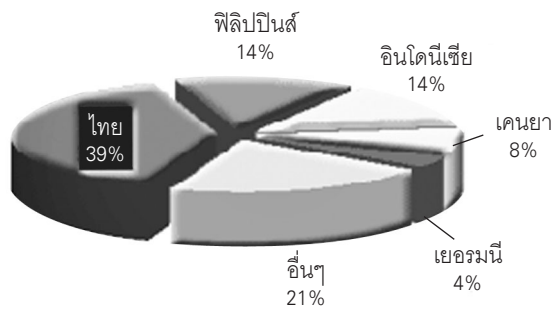
การศึกษาดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการผลิตสับประรดกระป๋องในการนำข้อมูลการศึกษาที่ได้ไปประยุกต์ใช้เพื่อคาดคะเนปริมาณดินุ๊กที่ละลายออกมาในสับประรดกระป๋องเพื่อพัฒนาคุณภาพของสับประรดกระป๋องให้มีปริมาณดินุ๊กละลายออกมาในเกณฑ์ที่ไม่เกินกำหนดตามความต้องการของประเทศคู่ค้า

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ในปี พ.ศ. 2546 ประเทศไทยมีปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรคิดเป็นมูลค่ารวมประมาณ 15,000 ล้านดอลลาร์สหรัฐ หรือประมาณ 600,000 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 25 ของผลิตภัณฑ์รวมส่งออกของประเทศ ทำให้ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรมากเป็นอันดับ 6 ของโลก โดยในปี พ.ศ. 2547 ปริมาณการส่งออกผักและผลไม้สดของประเทศไทยมีมูลค่ารวมประมาณ 1,000 ล้านดอลลาร์สหรัฐ หรือประมาณ 40,000 ล้านบาทคิดเป็นร้อยละ 6 ของปริมาณการส่งออกรวมผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร จากข้อมูลมูลค่าการส่งออกผลไม้และผลิตภัณฑ์ปี พ.ศ. 2543 - 2548 พบว่าผลิตภัณฑ์สับประรดกระป๋องมีมูลค่าการส่งออกสูงเป็นอันดับหนึ่งโดยมีมูลค่าการส่งออกถึง 15,000 ล้านบาท

ในปี พ.ศ. 2545 ไทยมีปริมาณการส่งออกสับประรดกระป๋องคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 39 ของสับประรดกระป๋องส่งออกของโลก (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 แสดงสัดส่วนการส่งออกสับประรดกระป๋องของไทยในตลาดโลกปี พ.ศ. 2545

ถึงแม้ว่าประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการส่งออกอาหารกระป๋องมูลค่านับหมื่นล้านบาทแต่อาหารกระป๋องของไทยโดยเฉพาะสับประรดกระป๋องยังมีปัญหาในด้านคุณภาพที่เกิดจากการกักต้อนภายในกระป๋องโลหะทำให้คุณภาพของอาหารทางด้านสี กลิ่น และรสชาติเปลี่ยนไปโดยเฉพาะปริมาณดีบุกที่ละลายออกมาในอาหารกระป๋อง ทำให้ผู้ผลิตกระป๋องและผลไม้กระป๋องต้องพัฒนากระบวนการผลิตให้อาหารกระป๋องมีคุณภาพตามมาตรฐานของประเทศคู่ค้า นอกจากนี้ยังมีการแข่งขันของผู้ผลิตในต่างประเทศอีกด้วย ทำให้ผู้ผลิตในไทยต้องรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้คงที่พร้อมทั้งพัฒนากระบวนการผลิตเพื่อลดต้นทุนการผลิตและรักษาความสามารถในการแข่งขันไว้ จากสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในขณะนี้และคุณภาพของสับประรดกระป๋องที่มีปัญหาของการกักต้อน ทำให้ปริมาณดีบุกละลายออกมาเกินเกณฑ์กำหนดตามมาตรฐานของประเทศคู่ค้า ซึ่งเป็นปัญหาที่ผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้องตั้งแต่บริษัทผลิตแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก บริษัทผลิตกระป๋องบรรจุอาหาร และบริษัทผลิตผลไม้กระป๋องต้องการให้ โครงการวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ดำเนินการวิจัยเพื่อหาปัจจัยที่มีผลกับการละลายของดีบุกลงสู่อาหารกระป๋องเนื่องจากปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นปัญหาที่ไม่สามารถระบุสาเหตุได้แน่ชัดจึงเป็นผลให้สับประรดกระป๋องมูลค่าสูงถึงร้อยล้านบาทไม่สามารถส่งออกไปจำหน่ายในตลาดโลกได้และในบางครั้งทำให้เกิดการปฏิเสธสินค้าที่ส่งไปเมื่อพบว่าสับประรดกระป๋องเกิดการเสื่อมสภาพ ขณะไปถึงยังประเทศคู่ค้า

ดังนั้นปัญหาที่เกิดขึ้นกับสับประรดกระป๋อง เป็นปัญหาที่ควรแก้ไขอย่างรวดเร็ว กรมวิทยาศาสตร์บริการพิจารณาแล้วเห็นว่าปัญหาดังกล่าวควรต้องมีการศึกษาวิจัยอย่างจริงจังเพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงของการเสื่อมสภาพดังกล่าว ประกอบกับปัจจุบันในประเทศไทยยังไม่มีหน่วยงานของรัฐหน่วยงานใดโดยเฉพาะที่ให้บริการทางด้านการศึกษาวิจัยการกักต้อนที่เกิดขึ้นภายในอาหารกระป๋อง เพราะเป็นเทคโนโลยีที่ต้องใช้เคมีไฟฟ้าและเทคโนโลยีอาหารมาประยุกต์ใช้ร่วมกัน ดังนั้นโครงการวิทยาศาสตร์ชีวภาพจึงได้ดำเนินการศึกษาปัจจัยการเสื่อมสภาพของสับประรดกระป๋อง ซึ่งจะสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวให้เป็นไปตามความต้องการของผู้ประกอบการได้ทันเวลา เพื่อลดการสูญเสียโอกาส เงินตราและเวลาของผู้ประกอบการ ทั้งยังเป็นการสนับสนุนอุตสาหกรรมด้านผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องให้มีศักยภาพในการส่งออกทัดเทียมนานาประเทศ โดยจะศึกษาถึงการเสื่อมสภาพของสับประรดกระป๋อง ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นสินค้าเศรษฐกิจของประเทศไทย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดการกักต้อนในสับประรดกระป๋องโดยวิธีเคมีไฟฟ้าเพื่อพัฒนากระบวนการผลิตสับประรดกระป๋องให้มีปริมาณดีบุกละลายออกมาไม่เกินเกณฑ์กำหนดตามมาตรฐานโคเด็กซ์ (Codex)

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

พัฒนากระบวนการผลิตสับประรดกระป๋องโดยใช้น้ำสับประรดกระป๋องบรรจุในกระป๋องขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 86 มิลลิเมตร สูง 116 มิลลิเมตรแบบมีลอนและไม่มีลอน โดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความเป็นกรด - ด่าง ปริมาณไนเตรท ปริมาณสุญญากาศ การขึ้นรูปกระป๋อง เพื่อศึกษาผลของปัจจัยดังกล่าวที่มีต่ออัตราการกักต้อน และปริมาณดีบุกที่ละลายออกมาในน้ำสับประรดกระป๋อง

2. วิธีการทดลอง

ในการศึกษาปัจจัยการผลิตที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของน้ำสับประรดกระป๋อง ใช้ตัวอย่างที่เป็นน้ำสับประรดกระป๋องที่ผลิตในครั้งเดียวกัน ทั้งหมด 8 สภาวะ (ตารางที่ 1) ระยะเวลาการเก็บ 2, 9, 31, 61, 109, 189, 258, 383 และ 456 วัน ตามลำดับ

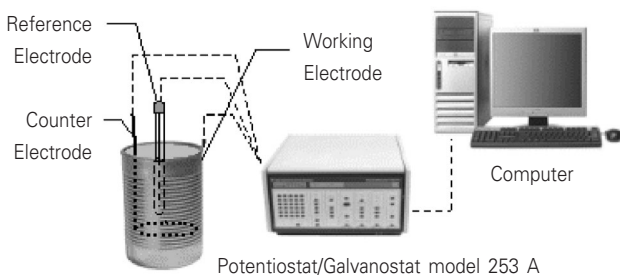
ตารางที่ 1 แสดงสมบัติต่างๆของน้ำส้มประดกระป๋องและชนิดของกระป๋อง

ตัวอย่าง หมายเลข	ชื่อตัวอย่าง	ไนเตรท (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	ความเป็นกรด - ต่าง (pH)	ความเป็น สุญญากาศ (มิลลิเมตร ปรอท)	การขึ้นรูป กระป๋อง
1	A	0 - 10	3.5 - 3.8	203 - 305	มีลอน
2	B	0 - 10	3.9 - 4.2	203 - 305	มีลอน
3	C	20 - 25	3.5 - 3.8	203 - 305	มีลอน
4	D	20 - 25	3.9 - 4.2	203 - 305	มีลอน
5	E	20 - 25	3.5 - 3.8	102 - 178	มีลอน
6	B - nb	0 - 10	3.9 - 4.2	203 - 305	ไม่มีลอน
7	C - nb	20 - 25	3.5 - 3.8	203 - 305	ไม่มีลอน
8	D - nb	20 - 25	3.9 - 4.2	203 - 305	ไม่มีลอน

นำตัวอย่างส้มประดกระป๋องมาศึกษาผลของปริมาณไนเตรท ความเป็นกรด - ต่าง ปริมาณสุญญากาศ ประเภทของกระป๋องที่มีผลต่ออัตราการกัดกร่อน ปริมาณดีบุกที่ละลายในน้ำส้มประด และน้ำหนักดีบุกที่เคลือบกระป๋องบรรจุน้ำส้มประดที่ระยะเวลาการเก็บ 2, 9, 31, 61, 109, 189, 258, 383 และ 456 วัน โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

2.1 การทดสอบอัตราการกัดกร่อนของน้ำส้มประดกระป๋องด้วยเครื่อง Potentiostat/Galvanostat

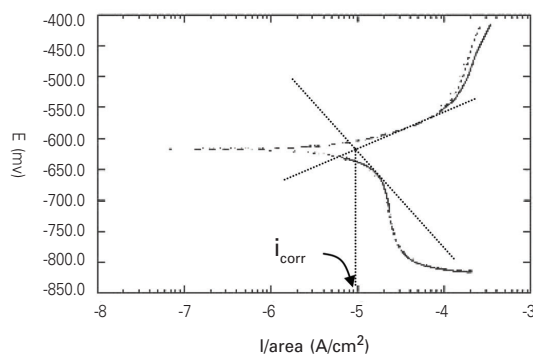
ดำเนินการทดสอบการกัดกร่อนของกระป๋อง โดยแสดงผลเป็นอัตราการกัดกร่อนด้วยโปรแกรม Tafel extrapolation ตามวิธีของ Popova [6] จัดเซลล์การกัดกร่อนในภาพที่ 2 และตั้งค่าตัวแปรต่างๆของโปรแกรมทดสอบตามวิธีที่กำหนดได้แก่ density (ความหนาแน่นของดีบุก) equivalent weight (น้ำหนักกรัมสมมูลของดีบุก) scan rate (อัตราการป้อนศักย์ไฟฟ้า) surface area (พื้นที่ตัวอย่าง) และ Reference electrode (ขั้วอ้างอิง)



ภาพที่ 2 การจัดเซลล์การกัดกร่อนโดยใช้กระป๋องเป็นขั้วทำงาน



ภาพที่ 3 แสดงการทดสอบการหาอัตราการกัดกร่อนของน้ำส้มประดกระป๋องในห้องปฏิบัติการโดยเครื่อง Potentiostat / Galvanostat



ภาพที่ 4 กราฟโพลาร์ไรเซนซ์ที่ได้จากการทดสอบอัตราการกัดกร่อนของกระป๋องบรรจุน้ำส้มประดด้วยเทคนิค Tafel extrapolation

การหาอัตราการกัดกร่อนทำได้โดยการลากเส้นสัมผัสกราฟโพลาร์ไรเซนซ์บริเวณที่เส้นโค้งมีลักษณะเป็นเส้นตรงจุดตัดของเส้นสัมผัสจะได้ค่า i_{corr} หรือกระแสกัดกร่อนต่อพื้นที่ผิว และนำมาคำนวณเป็นอัตราการกัดกร่อนมีหน่วยเป็น มิลต่อปี (mpy)

2.2 การหาปริมาณดีบุกที่ละลายในน้ำสับประรด
ทดสอบปริมาณดีบุกที่ละลายลงในน้ำ
สับประรดกระป๋องตามวิธี AOAC (1984) [7] โดยนำ
สารละลายที่ได้มาทดสอบหาปริมาณดีบุกด้วยเครื่อง
Atomic absorption spectrophotometer โดยค่าที่ได้มี
หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

2.3 การหาน้ำหนักดีบุกที่เคลือบกระป๋อง
ทดสอบน้ำหนักดีบุกที่เคลือบกระป๋องที่ใช้
บรรจุน้ำสับประรดตามมาตรฐาน ASTM (2006), A 630 - 03,
Method B No.15 [2] ด้วยเครื่อง Computerized
tinplate/chromium coating thickness analyzer รายงาน
ค่าน้ำหนักดีบุกที่เคลือบเป็นกรัมต่อตารางเมตร

3. สรุปผลและวิจารณ์

การศึกษาการละลายของดีบุกในสับประรดกระป๋อง
ที่ทำทั่วไปในโรงงานจะใช้การศึกษาทดลองแบบ Test
pack evaluation โดยนำสับประรดกระป๋องมาป่ม (incubate)
ที่ 25 37 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยมีสูตร
การคำนวณแสดงในสมการที่ 1 ซึ่งจากความสัมพันธ์
ดังกล่าวสามารถเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์เป็น
เส้นตรงตามภาพที่ 5 (แกน X - ระยะเวลาการป่มที่
อุณหภูมิที่ 55°C และแกน Y - ระยะเวลาป่มที่อุณหภูมิ
25 และ 37°C) แต่ในทางปฏิบัติจริงอัตราการกัดกร่อนของ
อาหารที่เป็นกรดจะประกอบด้วย 3 ระยะ ตามภาพที่ 6
ได้แก่ ระยะที่ 1 ปริมาณน้ำมันและดีบุกออกไซด์จะ
หลุดลอกไปจากผิวของกระป๋อง ดังนั้นการละลายของ
ดีบุกหรืออัตราการกัดกร่อนจะสูง ซึ่งกระบวนการดังกล่าว
จะใช้เวลาประมาณ 4 - 15 วัน ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์
และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาวะการผลิต [5] ในระยะที่ 2
จะใช้เวลานานและช้า ซึ่งอัตราการกัดกร่อนเกือบจะคงที่
การละลายของดีบุกทำให้รูและรอยขีดข่วนขยายขนาดขึ้น
ทำให้ชั้นของเหล็กและอัลลอยด์สัมผัสกับอาหารมากขึ้น
ในขณะที่เดียวกันจะทำให้เกิดบริเวณที่เป็นเซลล์กัลวานิกขึ้น
คือเหล็กสัมผัสกับอาหารผ่านรูพรุนต่างๆ เกิดปฏิกิริยา
การรับอิเล็กตรอนของไฮโดรเจนจากอาหารบรรจุใน
กระป๋อง กลายเป็นก๊าซไฮโดรเจน เมื่อปฏิกิริยากัดกร่อน
ดำเนินไปเรื่อยๆ อัตราส่วนของดีบุกกับพื้นที่ผิวของเหล็ก
จะลดลง ทำให้เกิดการโพลาไรเซชัน ซึ่งชั้นของอัลลอยด์
ที่สมบูรณ์คือมีความเป็นเนื้อเดียวกันและสม่ำเสมอจะมี
ผลในการป้องกันเหล็กที่สัมผัสอาหารได้ดี ทำให้อัตราการ

กัดกร่อนช้าลงจนเกือบคงที่

ในระยะที่ 3 ปฏิกิริยาการกัดกร่อนเกิดขึ้นอย่าง
รวดเร็วเนื่องจากชั้นของเหล็กสัมผัสกับอาหารมากขึ้น
เกิดก๊าซไฮโดรเจนและสะสมจนเป็นผลทำให้สุญญากาศ
ลดลง และทำให้กระป๋องบวมและเน่าเสียในที่สุด ซึ่งโดย
ปกติกว่าจะถึงระยะที่ 3 จะใช้เวลานานมากประมาณ
เท่ากับอายุการเก็บของอาหารกระป๋อง

สมการที่ 1 การประเมินอายุการเก็บ (Shelf life Evaluation)

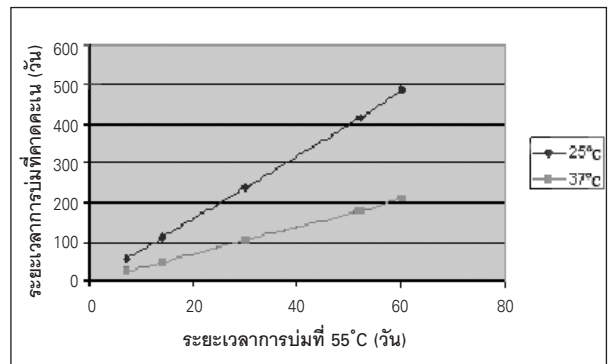
$$\frac{y_1^{-30}}{2^{10}} = \frac{y_2^{-30}}{2^{10}} \cdot \frac{n_2}{n_1}$$

เมื่อ y_1 = อุณหภูมิที่ป่ม (55°C)

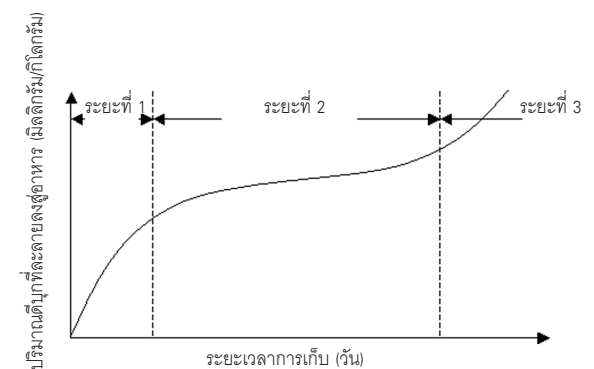
y_2 = อุณหภูมิที่ต้องการคาดคะเนระยะเวลาที่ป่ม
(ปกติโดยทั่วไปจะใช้ที่ 25°C และ 37°C)

n_1 = ระยะเวลาในการป่ม ที่อุณหภูมิ 55°C (วัน)

n_2 = ระยะเวลาในการป่มที่อุณหภูมิที่ 25°C และ
37°C (วัน)



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ของระยะเวลาการป่มอาหารกระป๋องที่อุณหภูมิ 55°C กับระยะเวลาที่คาดคะเนเมื่อป่มที่อุณหภูมิ 25°C และ 37°C



ภาพที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเก็บกับการละลายของดีบุกจากกระป๋องลงสู่อาหาร

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาในระยะที่ 1 ของการกัดกร่อนของอาหารกระป๋องที่เป็นกรดเป็นเวลา 31 วัน โดยใช้น้ำสับปะรดกระป๋องที่ผลิตจากแผ่นเหล็กเคลือบดีบุกที่มีขนาดผลึกเบอร์ 7 - 9 ปริมาณอัลลอยด์ 0.9 - 1.1 กรัม/ตารางเมตร และปริมาณโครเมียมออกไซด์ 5 - 6 มิลลิกรัม/ตารางเมตร เพื่อศึกษาปัจจัยจากกระบวนการผลิตที่มีผลต่ออัตราการกัดกร่อนและการละลายของดีบุก โดยปัจจัยการผลิตที่ศึกษาได้แก่ การขึ้นรูปกระป๋อง (มีลอน/ไม่มีลอน) ความเป็นกรด - ด่าง (pH 3.5 - 3.8 และ 3.9 - 4.2) ปริมาณไนเตรท (0 - 10 และ 20 - 25 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) และความเป็นสุญญากาศ (102 - 178 และ 203 - 305 มิลลิเมตรปรอท) ที่ระยะเวลาการเก็บต่างกัน (2, 9, 31, 61, 109, 189, 258, 383 และ 456 วัน) ประกอบกับการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้โดยวิธีทางสถิติ (ภาคผนวก 1) สามารถนำมาพิจารณาร่วมกันได้ดังนี้

ความเป็นกรด-ด่างและปริมาณไนเตรทของน้ำสับปะรดกระป๋องมีผลร่วมกันต่ออัตราการกัดกร่อนและปริมาณดีบุกที่ละลาย (ภาคผนวก 1 ภาพที่ 7 และ 8) โดยค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำและปริมาณไนเตรทสูงมีผลทำให้อัตราการกัดกร่อนและปริมาณดีบุกที่ละลายเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากทั้งไนเตรทและปริมาณไฮโดรเจนไอออนมีส่วนร่วมในปฏิกิริยาการกัดกร่อน [1, 3, 5]

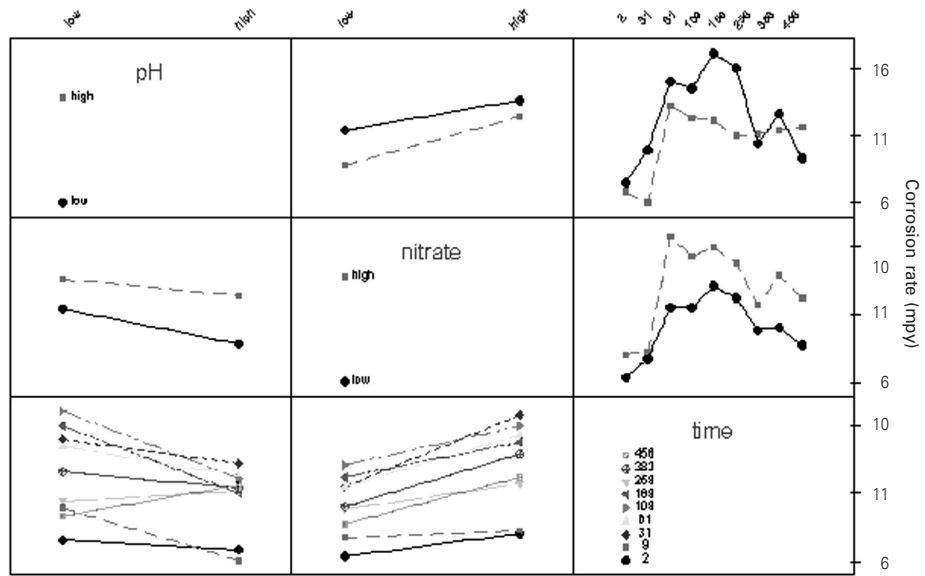
สำหรับการเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นสุญญากาศและการขึ้นรูปกระป๋องไม่มีผลต่ออัตราการกัดกร่อน แต่มีผลต่อปริมาณดีบุกที่ละลาย (ภาคผนวก 1 ภาพที่ 9 และ 10) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในขณะที่ทำการวัดอัตราการ

กัดกร่อนต้องเปิดฝากระป๋องออก ทำให้สภาวะความเป็นสุญญากาศหมดไป ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นสุญญากาศจึงไม่มีผลต่ออัตราการกัดกร่อน และการขึ้นรูปกระป๋องมีผลต่อการกัดกร่อนเนื่องมาจากความเค้น (stress corrosion cracking) ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาการกัดกร่อนแบบทั่วผิวหน้า (uniform corrosion) ทำให้การขึ้นรูปกระป๋องไม่มีผลต่อค่าอัตราการกัดกร่อนที่วัดได้ [4]

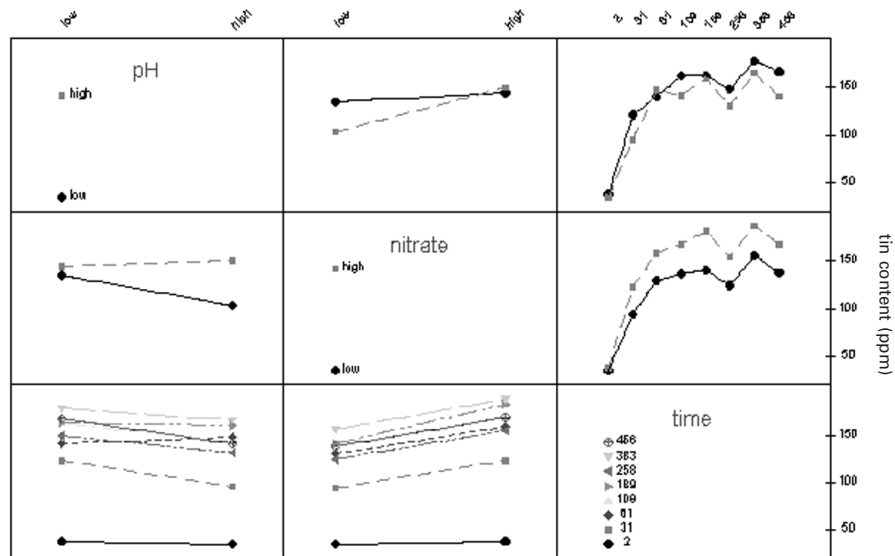
นอกจากนี้อาจเป็นผลมาจากปัจจัยอื่นที่ไม่ได้ทำการศึกษาในครั้งนี้ เช่น ชนิดของกรดอินทรีย์ ปริมาณออกซิเจน และปริมาณคลอไรด์ในน้ำสับปะรด เป็นต้น ซึ่งปัจจัยดังกล่าวล้วนมีผลต่อการละลายของดีบุกที่เคลือบด้านในกระป๋องบรรจุอาหาร แต่ในการศึกษาครั้งนี้ยังไม่ได้ทำการควบคุมปัจจัยต่างๆเหล่านี้ [1, 5]

จากการศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนในงานวิจัยนี้ จะได้รูปแบบการละลายของดีบุกในสับปะรดกระป๋องแก่ผู้ผลิต โดยผู้ผลิตควรควบคุมอัตราการกัดกร่อนในระยะแรกให้เกิดขึ้นน้อยที่สุดเพราะหลังจากนั้นการกัดกร่อนจะเริ่มคงที่ ปริมาณดีบุกในระยะแรกจะเป็นปริมาณดีบุกที่ผู้ผลิตสามารถคาดคะเนอายุการเก็บที่ลูกค้าต้องการได้ ซึ่งในปัจจุบันโรงงานผู้ผลิตทั่วไปใช้การประเมินอายุการเก็บโดยการเร่งอุณหภูมิที่เก็บ ซึ่งไม่ได้สะท้อนการละลายของดีบุกที่แท้จริง ดังนั้นผลจากการศึกษาครั้งนี้จะทำให้ผู้ผลิตสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการประเมินอายุการเก็บที่แท้จริงของสับปะรดกระป๋องที่ผลิตได้

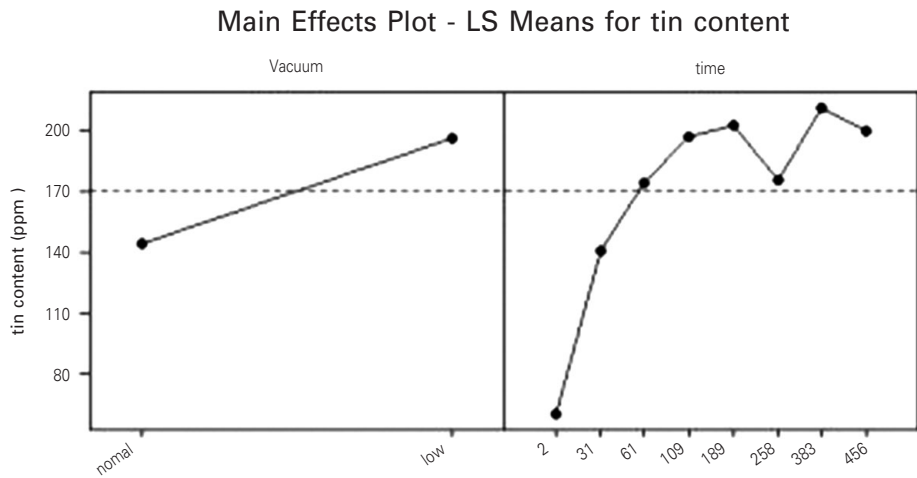
ภาคผนวก 1



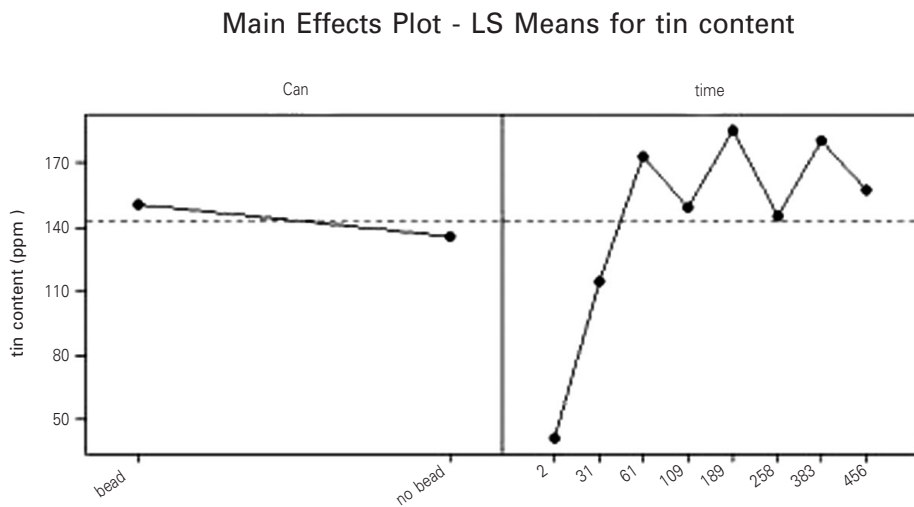
ภาพที่ 7 กราฟ interaction plot ของการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด - ต่างกับปริมาณไนเตรท ต่ออัตราการกัดกร่อน ที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ กัน



ภาพที่ 8 กราฟ interaction plot ของการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด - ต่างกับปริมาณไนเตรท ต่อปริมาณดีบุกที่ละลาย ที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ กัน



ภาพที่ 9 กราฟ main effects แสดงผลของระดับความเป็นสุญญากาศต่อปริมาณดีบุกที่ละลายที่ระยะเวลาการเก็บต่างกัน



ภาพที่ 10 กราฟ main effects แสดงผลการขึ้นรูปกระป๋องต่อปริมาณดีบุกที่ละลาย ที่สภาวะบรรจุ D ที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ กัน

เอกสารอ้างอิง

- American Society for Testing and Materials. Standard Test Methods for determination of tin coating weights for electrolytic tin plate, A 630-03. In **Annual book of ASTM stand: coated steel products**. vol. 01.06. West Conshohocken: ASTM, 2006. p.194-195.
- Chakravorty, S.C. and Ghosh, B. Role of nitrate in the corrosion of tinplates processed food cans - A review, **Indian Food Packer**, 1981, vol.35, no.2, p.70-75.
- Charbonneau, James E. Recent case histories of food product - metal container interactions using scanning electron microscopy - X - Ray microanalysis. **Scanning**, 1997,vol. 19. p. 512-518.
- Mannheim, C., and Passy, N. Internal corrosion and shelf - life of food cans and methods of evaluation. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 1982, vol.17, p.371-407.
- Popova, S. N., et al. Determination of corrosion properties of lacquered tinplate in citrate solutions by DC and AC electrochemical methods, **Corrosion**, December, 1990, vol.46, no.12, p.1007 - 1014.
- Williams, Sidney, ed. Tin in canned foods atomic absorption spectrophotometric method. 25.161-25.163. In **Official methods of analysis of the AOAC**. 14th ed. Arlington, Virginia: AOAC, 1984. p.474.
- พรรัตน์ สิ้นชัยพานิช. การกัดกร่อนของกระป๋องบรรจุอาหาร. **อาหาร**, กรกฎาคม - กันยายน, 2541, ปีที่ 28, ฉบับที่ 3, หน้า 168-177.