

การป้องกันการก๊อกร่อนของดีบุกด้วยการสร้างฟิล์มออกไซด์โดยใช้ไอโซน



นายปกรณ์ วิชกุล
นายนิติพงศ์ วันทอง
นายพฤติ ลอมตะกุล



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....45686
วัน, เดือน, ปี 13 ก.พ. 2546

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

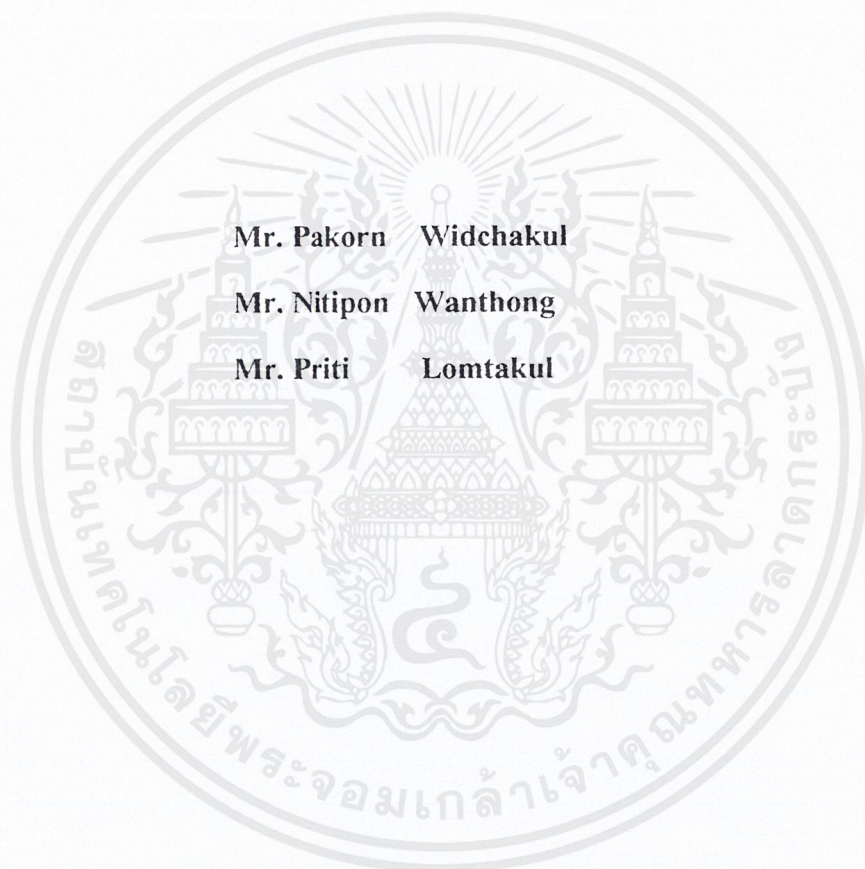
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

Corrosion Prevention with Tin Oxide Film by Ozonation



Mr. Pakorn Widchakul

Mr. Nitipon Wanthong

Mr. Priti Lomtakul

A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Bachelor of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การป้องกันการกักตัวของคืนุกด้วยการสร้างฟิล์มออกไซด์โดยใช้ไอโซน

โดย นายปกรณ์ วิชกุล

นายนิติพงศ์ วันทอง

นายพฤติ ลอมตะกุล


ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

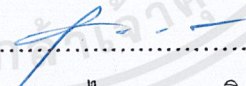
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.โจโกะ เทเรซ่า อีโต้

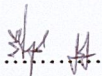
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์

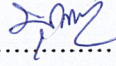
ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

.....กรรมการ
(ดร.โจโกะ เทเรซ่า อีโต้)

.....กรรมการ
(ผศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์)

.....กรรมการ
(อาจารย์รัตนา เภยจางคประเสริฐ)

.....กรรมการ
(อาจารย์บุญชัย โชติวิริยาณิชย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง การป้องกันการกักร่อนของดินบุกด้วยการสร้างฟิล์มออกไซด์
โดยใช้โอโซน

โดย นายปกรณ์ วิชากุล
นายนิติพงศ์ วันทอง
นายพฤทธิ ลอมตะกุล

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.โจโกะ เทเรซ่า อิโต้
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์

ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ดินบุกเป็นสินแร่ที่มีความสำคัญและพบมากในประเทศไทย รวมทั้งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมกระป๋องบรรจุอาหาร ปัญหอย่างหนึ่งที่พบ คือ การกักร่อนภายในกระป๋อง เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ ซึ่งส่งผลให้มีการปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์ สำหรับการสร้างฟิล์มป้องกันการกักร่อนบนดินบุกโดยใช้โอโซนนี้มีข้อดี คือ ก๊าซโอโซนสามารถช่วยในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียบางชนิดให้กับผลิตภัณฑ์ที่บรรจุภายในกระป๋องด้วย

ในโครงการนี้ได้ดำเนินการทดลองสร้างฟิล์มออกไซด์บนดินบุกโดยใช้โอโซน ในสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น 0.05, 0.01, 0.001 และ 0.005 โมลต่อลิตรและในน้ำกลั่น โดยการทดลองตอนแรกศึกษาความเป็นไปได้ และสภาวะที่เหมาะสมในการสร้างฟิล์มออกไซด์ในสารละลายกรดซัลฟิวริก จากผลการทดลองพบว่า ไม่สามารถสร้างฟิล์มออกไซด์ในสารละลายกรดซัลฟิวริกทุกความเข้มข้นที่ทำการทดลอง สำหรับการทดลองในช่วงหลังศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างฟิล์มออกไซด์ในน้ำกลั่น จากผลการทดลองพบว่า สามารถสร้างฟิล์มออกไซด์ในน้ำกลั่นได้ และเกิดฟิล์มมากที่สุด ที่เวลา 18 นาทีและทำให้กระแสลดเหลือ 0.525 มิลลิแอมป์ แต่ฟิล์มที่ได้มีความเสถียรต่ำ

Report Title Corrosion Prevention with Tin Oxide Film by Ozonation

By Mr.Pakorn Widchakul
Mr. Nitipong Wanthong
Mr.Priti Lomtakul

Advisor Dr. Choko Tereza Ito

Co-advisor Asst. Prof. Dr. Paisal Nakpipat

Report for Bachelor Degree of Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

Tin, which is found in large amounts in Thailand, is widely used in numerous ways as well as in canned food industries. One of their major problems is corrosion that affects the products quality contained, due to the characteristic of the can and the products packed therein. For the corrosion prevention, Film oxide on tin surface by ozonation was studied in this project. In practical situations, this method has an advantage because the products contained can be disinfected besides corrosion prevented.

In this project, ozonation experiments were performed in order to obtain an optimum condition in citric acid and distilled water. As in preliminary experiment with citric concentration at 0.001, 0.005, 0.01 and 0.05 mol/l, it was found that there is no oxide film on tin surface at any concentration. The latter experiment with distilled water, it was found that there is an oxide film on tin surface. The maximum film thickness was after 18 minutes and the current dropped to 0.525 mA but the oxide film was not stable.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์และบุคลากร
หลายฝ่าย คณะผู้จัดทำขอขอบคุณ

ดร.โจโกะ เทเรซ่า อีโต้ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ ทำให้โครงงานฉบับนี้มี
ความสมบูรณ์

ผศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม โครงงานซึ่งได้ให้คำแนะนำและคำ
ปรึกษาในขั้นตอนการดำเนินงานต่างๆ มาเป็นอย่างดี

คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่วิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์การทดลอง ในการทำโครงงานนี้มาโดยตลอด

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอขอบคุณบุคลากร และผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ทำให้กำลังใจมาโดย
ตลอด ถ้ามีสิ่งผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

27 มีนาคม 2545

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 มุลเหตุจูงใจ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	3
2.1 การกักกร่อน.....	3
2.2 ปฏิกิริยาการกัดกร่อน.....	3
2.2.1 สมบัติฐานของฟิล์มออกไซด์.....	3
2.2.2 สมบัติฐานของการดูดซับ.....	4
2.3 อิทธิพลของสิ่งแวดล้อมต่อการกัดกร่อน.....	4
2.3.1 ความเป็นกรดเบส (pH).....	4
2.3.2 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่และปริมาณสารออกซิไดซ์.....	6
2.3.3 อุณหภูมิ.....	7
2.4 รูปแบบของการกัดกร่อนและกลไกการเกิด.....	8
2.4.1 การกัดกร่อนแบบโลหะต่างชนิด.....	8
2.4.2 การกัดกร่อนที่มุมอับ.....	8
2.5 การป้องกันการกัดกร่อน.....	9
2.6 การกัดกร่อนของดินบุกและโลหะผสมของดินบุก.....	9
2.7 ปัญหาการกัดกร่อนภายในกระป๋อง.....	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8	กรณีศึกษาการกัดกร่อนในกรด.....	11
บทที่ 3	การดำเนินการทดลอง.....	18
3.1	การทดลองเพื่อศึกษาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการสร้างฟิล์มออกไซด์โดยใช้ไอโซนและ ศึกษาอัตราการกัดกร่อนของดีบุกในสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น 0.05 , 0.01 ,0.001 และ 0.005 โมลต่อลิตร.....	18
3.1.1	สารละลายและขั้นตอนการเตรียมสารละลายในการทดลอง.....	18
3.1.2	เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง.....	19
3.1.3	ขั้นตอนการทดลอง.....	19
3.1.3.1	การทดลองเพื่อศึกษาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการสร้างฟิล์มออกไซด์โดยใช้ ไอโซนในสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น 0.05 , 0.01 ,0.001 และ 0.005 โมลต่อลิตร.....	20
3.1.3.2	การทดลองเพื่อศึกษาอัตราการกัดกร่อนของดีบุกในสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความ เข้มข้น 0.05 ,0.01 ,0.001 และ 0.005 โมลต่อลิตร.....	20
3.2	การทดลองเพื่อศึกษาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการสร้างฟิล์มออกไซด์โดยใช้ไอโซนใน น้ำกลั่น.....	20
3.2.1	สารละลายและขั้นตอนการเตรียมสารละลายในการทดลอง.....	20
3.2.2	เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง.....	20
3.2.3	ขั้นตอนการทดลอง.....	20
บทที่ 4	ผลการทดลอง.....	23
4.1	ผลการทดลอง.....	23
4.2	วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	33
บทที่ 5	สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	34
5.1	สรุปผลการทดลอง.....	34
5.1.1	การทดลองในสารละลายกรดซัลฟิวริก.....	34
5.1.2	การทดลองในน้ำกลั่น.....	34
5.2	วิจารณ์ผลการทดลอง.....	35
5.3	ข้อเสนอแนะในการทดลอง.....	35
5.4	ข้อเสนอแนะ.....	35
	รายการอ้างอิง.....	36
	ภาคผนวก.....	37

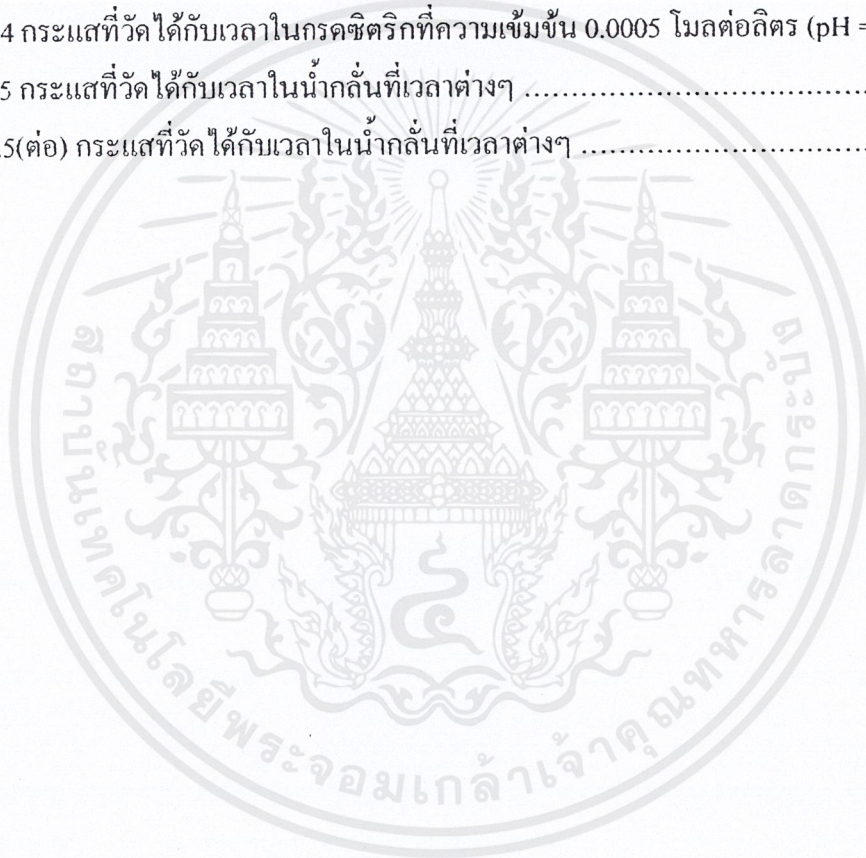
ภาคผนวก ก.....38
ภาคผนวก ข.....39



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างสภาพแวดล้อมภายในกระป๋องที่มีผลเนื่องจากผลิตภัณฑ์.....	10
ตารางที่ 4.1 กระแสที่วัดได้กับเวลาในกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร (pH = 2.326).....	23
ตารางที่ 4.2 กระแสที่วัดได้กับเวลาในกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร (pH = 3.300).....	25
ตารางที่ 4.3 กระแสที่วัดได้กับเวลาในกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น 0.001 โมลต่อลิตร (pH = 3.672).....	27
ตารางที่ 4.4 กระแสที่วัดได้กับเวลาในกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น 0.0005 โมลต่อลิตร (pH = 4.463).....	29
ตารางที่ 4.5 กระแสที่วัดได้กับเวลาในน้ำกลั่นที่เวลาต่างๆ	31
ตารางที่ 4.5(ต่อ) กระแสที่วัดได้กับเวลาในน้ำกลั่นที่เวลาต่างๆ	32



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การเกิด Corrosion Cell บนผิวของเหล็ก.....	5
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของอัตราการกัดกร่อนกับความเป็นกรดเบส (pH).....	6
รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนกับความเข้มข้นของสารออกซิไดซ์.....	7
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ของอัตราการกัดกร่อนกับอุณหภูมิ.....	12
รูปที่ 2.5 กราฟระหว่างศักย์ไฟฟ้าและเวลาของกรดออกซาลิกที่ pH = 2	12
รูปที่ 2.6 กราฟระหว่างศักย์ไฟฟ้าและเวลาของกรดออกซาลิกที่ pH = 6	12
รูปที่ 2.7 กราฟระหว่างศักย์ไฟฟ้ากับค่า Log ความเข้มข้นที่ pH ต่างๆ ของกรดออกซาลิก.....	13
รูปที่ 2.8 กราฟระหว่างศักย์ไฟฟ้ากับค่า Log ความเข้มข้นที่ pH ต่างๆ ของกรดทาร์ทาริก.....	14
รูปที่ 2.9 กราฟระหว่างศักย์ไฟฟ้ากับค่า Log ความเข้มข้นที่ pH ต่างๆ ของกรดซิตริก.....	14
รูปที่ 2.10 กราฟโพลาริเซชันแบบที่ 1.....	16
รูปที่ 2.11 กราฟโพลาริเซชันแบบที่ 2.....	16
รูปที่ 2.12 กราฟโพลาริเซชันแบบที่ 3.....	17
รูปที่ 3.1 ชุดอุปกรณ์เติมไอโซน.....	21
รูปที่ 3.2 ชุดอุปกรณ์วัดกระแส.....	21
รูปที่ 3.3 ชิ้นตัวอย่างดิบที่ทำการทดลอง.....	22
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่วัดได้กับเวลาในสารละลายกรดซิตริกที่ความเข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร	24
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่วัดได้กับเวลาในสารละลายกรดซิตริกที่ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร	26
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่วัดได้กับเวลาในสารละลายกรดซิตริกที่ความเข้มข้น 0.001 โมลต่อลิตร	28
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่วัดได้กับเวลาในสารละลายกรดซิตริกที่ความเข้มข้น 0.0005 โมลต่อลิตร	30
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่วัดได้ในน้ำกลั่น.....	32

บทที่ 1

บทนำ

1.1 มูลเหตุจูงใจ

ดิบุกเป็นสินแร่ที่มีมากมายในประเทศไทย โดยเฉพาะทางภาคใต้ ได้มีการถลุงดิบุกเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เป็นเวลานานแล้ว หนึ่งในนั้น คือ อุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง ซึ่งเป็นรายได้ที่สำคัญของประเทศ จึงจำเป็นต้องรักษาคุณภาพให้ได้มาตรฐาน ปัญหาอย่างหนึ่งที่พบในอุตสาหกรรมอาหารกระป๋องคือมีกรดอินทรีย์ในอาหารที่บรรจุในกระป๋อง ซึ่งทำให้เกิดการกัดกร่อนของกระป๋อง

หลักการป้องกันการกัดกร่อนโดยทั่วไป คือ การเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนให้กับวัสดุหรือการขจัดองค์ประกอบในการกัดกร่อนให้หมดไป วิธีการป้องกันการกัดกร่อนมีหลายวิธี เช่น การกันวัสดุไม่ให้สัมผัสกับสภาวะแวดล้อม การทำให้สภาวะแวดล้อมกับวัสดุมีภาวะการทำงานสอดคล้องกัน เป็นต้น วิธีการสร้างฟิล์มป้องกันการกัดกร่อนโดยการออกซิไดซ์โดยใช้ไอโซนก็เป็นอีกวิธีหนึ่งและในขณะเดียวกัน ไอโซนก็ยังสามารถฆ่าเชื้อโรคในกระป๋องได้อีกด้วย แต่ยังไม่มีการทำการศึกษาอย่างจริงจัง

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

ศึกษาและพัฒนาวิธีการป้องกันการกัดกร่อนของดิบุกในกรดอินทรีย์โดยวิธีการสร้างฟิล์มป้องกัน โดยการออกซิไดซ์ด้วยไอโซน

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. ศึกษาทฤษฎีเบื้องต้นของการกัดกร่อน ปฏิกิริยาการพาสซีวิตี้ คุณสมบัติของดิบุกและศึกษาหลักการออกซิไดซ์ดิบุกด้วย ไอโซน
2. ศึกษาและทดลองเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเกิดฟิล์มป้องกันการกัดกร่อนบนผิวของดิบุกโดยวิธีการออกซิไดซ์ด้วย ไอโซน

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีเบื้องต้นของการกักกรองน ปรากฏการณ์พาสสิวิตี คุณสมบัติของดีบุกและศึกษาหลักการออกซิไดซ์ดีบุกด้วยโอโซน
2. ทดลองสร้างฟิล์มออกไซด์โดยใช้โอโซนและศึกษาอัตราการกักกรองนของดีบุกในสารละลายกรดซัลฟริกที่ความเข้มข้น 0.05 , 0.01, 0.001 และ 0.005 โมลต่อลิตร
3. ทดลองสร้างฟิล์มออกไซด์โดยใช้โอโซนในน้ำกลั่น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เข้าใจหลักการการป้องกันการกักกรองนของดีบุกในกรดอินทรีย์ และสามารถทำให้การกักกรองนของดีบุกในกรดอินทรีย์ลดลง รวมถึงการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดฟิล์มป้องกันการกักกรองนบนผิวของดีบุก อีกทั้งยังเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำมาประยุกต์ใช้กับโลหะชนิดอื่นได้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1. การกัดกร่อน

การกัดกร่อน คือ การสูญเสียเนื้อ โลหะ โดยการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับสิ่งแวดล้อม อาจเป็นปฏิกิริยาทางเคมี หรือปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี การกัดกร่อนเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติอย่างหนึ่ง กล่าวคือ สิ้นแร่ต่างๆที่มีอยู่บนพื้นผิวโลกจะอยู่ในสภาพที่เสถียรอยู่แล้ว เมื่อนำสินแร่เหล่านี้มาถลุง นั่นก็คือการทำให้เนื้อโลหะนั้นสูญเสียความเสถียร ดังนั้นโลหะจึงพยายามกลับคืนสู่สภาพเดิมซึ่งมีความเสถียรสูงกว่า

2.2. ปรากฏการณ์พาสซีวิตี (Passivity) [6]

จากสมบัติทางไฟฟ้าเคมี เมื่อโลหะที่ไม่มีตระกูลสูญเสียความว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีที่มีอยู่นั้น โลหะดังกล่าวจะมีสมบัติต้านทานการกัดกร่อนเช่นเดียวกับโลหะมีตระกูล เรียกการเปลี่ยนแปลงนี้ว่า พาสซีเวชัน และสภาพที่เปลี่ยนไปเรียก พาสซีวิตี

ในปรากฏการณ์พาสซีวิตีจะเกิดฟิล์มบางๆ ขึ้นที่ผิวของโลหะซึ่งเรียกว่า ฟิล์มพาสซีวิตี ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยสมมติฐานของฟิล์มออกไซด์ชั้นกับสมมติฐานการดูดซับ

2.2.1. สมมติฐานของฟิล์มออกไซด์ชั้น

สมมติฐานนี้กล่าวไว้ว่าเป็นการเกิดขึ้นของฟิล์มซึ่งบางมากประมาณ $20-80 \text{ \AA}$ บนผิวของโลหะ ซึ่งฟิล์มนี้จะเกิดจากการไฮดรอกไซด์ออกไซด์ หรือสารประกอบอื่นๆจากปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ออกไซด์ ฟิล์มนี้เป็นเสมือนเกราะที่ป้องกันการเกิดการแพร่ ทำให้เนื้อโลหะถูกตัดจากสภาพแวดล้อมจึงทำให้ความเร็วของการกัดกร่อนลดลง สำหรับส่วนประกอบของฟิล์มพาสซีวิตี ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด

2.2.2. สมมติฐานของการดูดซับ

สมมติฐานนี้กล่าวไว้ว่าออกซิเจนหรือไอออนของออกไซด์ เกิดการดูดซับทางเคมีกับโมเลกุลของโลหะ ทำให้น้ำซึ่งถูกดูดซับอยู่ก่อนที่ผิวของโลหะนั้นถูกขับไล่ออกไป ผลก็คือความเร็วของการละลายของโลหะจะช้าลง โดยเฉพาะโลหะประเภททรานซิชัน จะสามารถเกิดพาสซีเวชันได้ง่าย

2.3. อิทธิพลของสิ่งแวดล้อมต่อการกัดกร่อน

ความเร็วในการกัดกร่อนของโลหะนั้นจะแตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของสภาพแวดล้อม ซึ่งสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการกัดกร่อนสรุปได้ดังต่อไปนี้

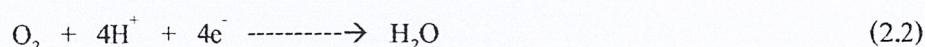
2.3.1. ความเป็นกรดเบส (pH)

ความเป็นกรดเบส (pH) ของสารละลายจะทำให้การกัดกร่อนของโลหะแตกต่างกันมาก จากความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับความเป็นกรดเบส ทำให้ทราบว่าสารละลายของผลิตภัณฑ์กัดกร่อนแบ่งออกเป็น 4 แบบ ได้ดังนี้

1. มีไฮโดรเจนเกิดขึ้น (ภายในน้ำที่มีฤทธิ์เป็นกรด)

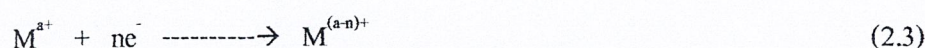


2. เกิดรีดักชันของออกซิเจน (ภายในน้ำที่มีฤทธิ์เป็นกรด $\text{pH} < 4$)



3. เกิดรีดักชันของออกซิเจน (ภายในน้ำที่มีฤทธิ์เป็นกลาง หรือเป็นเบส $\text{pH} > 5$)

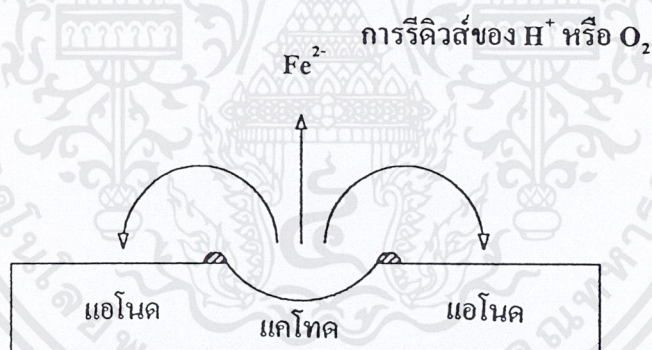
4. เกิดรีดักชันของไอออนของโลหะ



ปฏิกิริยาแอโนดและปฏิกิริยาแคโทดอาจเกิดขึ้นบนตำแหน่งเดียวกันของผิวโลหะก็ได้ โดยส่วนใหญ่ปฏิกิริยาทั้งสองจะเกิดขึ้นคนละตำแหน่งกัน กล่าวคือ ปฏิกิริยาหนึ่งจะเกิดบนผิวของโลหะ แต่อีกปฏิกิริยาหนึ่งมักจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งอื่น เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของผิวโลหะหรือของสารละลายที่สัมผัสอยู่บนผิวโลหะ

ความไม่สม่ำเสมอของเนื้อโลหะมีสาเหตุต่างๆ กัน เช่น เกิดจากส่วนผสมทางเคมีของโลหะ โครงสร้างของโลหะ ทิศทางของการเกิดผลึก แรงเค้นที่ยังหลงเหลืออยู่ อุณหภูมิที่ผิว พื้นผิวที่มีฟิล์มซึ่งเกิดจากการออกซิเดชัน คราบที่ติดอยู่บนผิวโลหะ และลักษณะของผิวโลหะ เป็นต้น ความไม่สม่ำเสมอของสารละลายที่สัมผัสอยู่กับผิวโลหะนั้นก็มีสาเหตุต่างๆ เช่น ความเข้มข้นของไอออนต่างๆ ความเข้มข้นของก๊าซต่างๆ อุณหภูมิของสารละลาย เป็นต้น

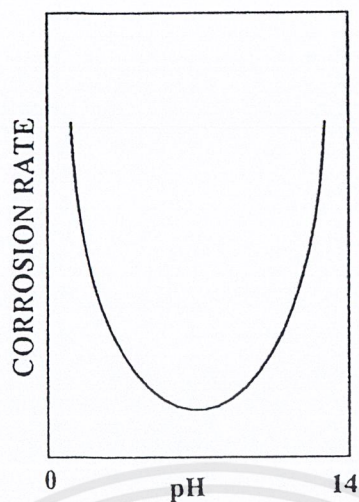
การเกิดเซลล์ไฟฟ้าเล็กๆ เป็นจุดๆ บนผิวของโลหะนั้น เรียกว่า Corrosion cell หรือเรียกอีกอย่างว่า Local cell ลักษณะการเกิด Corrosion cell ขึ้นบนผิวหน้าของโลหะนั้นแสดงไว้ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การเกิดการ Corrosion Cell บนผิวของเหล็ก [6]

การกัดกร่อนและความยากง่ายของการเกิดฟิล์มปกป้องผิวจะขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรดเบส

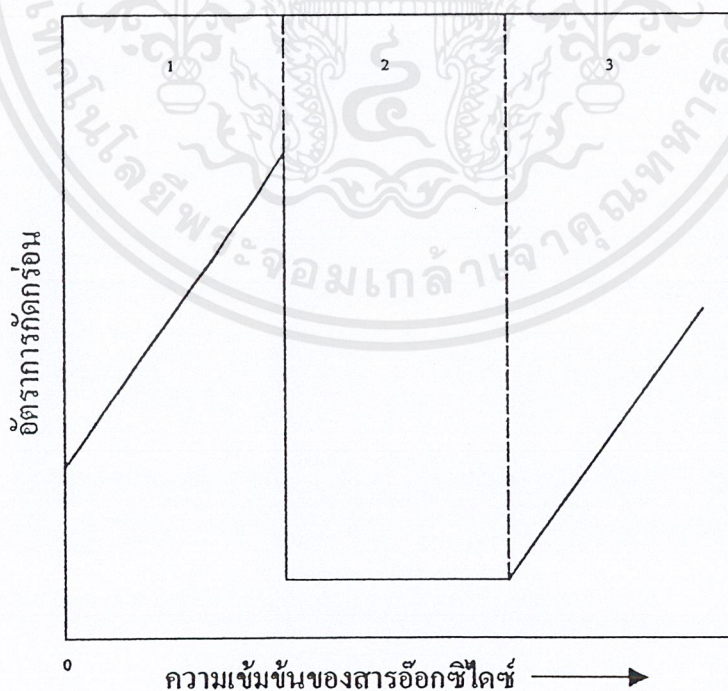
อิทธิพลของความเป็นกรดเบส ที่มีผลต่ออัตราการกัดกร่อนได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.2 โดยรูปนี้เป็นลักษณะของโลหะคิงและสังกะสี ซึ่งออกไซด์ของโลหะเหล่านี้สามารถละลายได้ทั้งในกรดและเบส ในบริเวณที่เป็นกรดโลหะจะกลายเป็นไอออน ส่วนในบริเวณที่เป็นเบสโลหะจะเป็นสารประกอบไอออน



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของอัตราการกัดกร่อนกับความเป็นกรดเบส (pH) [6]

2.3.2. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่และปริมาณสารออกซิไดซ์

สำหรับอิทธิพลของปริมาณออกซิเจนและสารออกซิไดซ์ที่มีผลต่ออัตราการกัดกร่อนของโลหะแสดงไว้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนกับความเข้มข้นของสารออกซิไดซ์ [6]

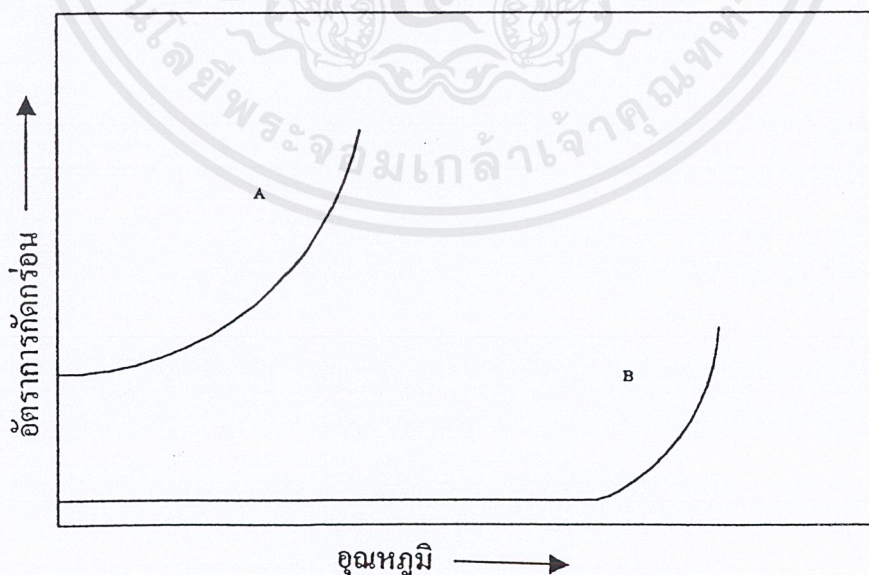
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวคือเส้นกราฟในช่วงที่ 1 นั้น เมื่อความเข้มข้นของออกซิเจน และสารออกซิไดซ์เพิ่มขึ้น อัตราการกัดกร่อนก็จะเพิ่มตามด้วย เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่งอัตราการกัดกร่อนจะลดลงเพราะโลหะสามารถเกิดพาสซีเวชันได้

สำหรับเส้นกราฟในช่วงที่ 2 นั้นเป็นเพราะโลหะมีการเกิดพาสซีเวชันแต่แรกแล้ว แม้ว่าความเข้มข้นของสารออกซิไดซ์เพิ่มขึ้นเพียงใดก็ตามจะไม่มีผลต่ออัตราการกัดกร่อน แต่ถ้ามีสารออกซิไดซ์ที่มีอำนาจแรงมากๆอยู่ในระบบ พฤติกรรมนี้จะแสดงดังเช่นในเส้นกราฟช่วงที่ 2 ต่อกับ 3

2.3.3. อุณหภูมิ

โดยทั่วไปอัตราการกัดกร่อนจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.4 เส้น A แสดงถึงในกรณีที่อัตราการกัดกร่อนเพิ่มขึ้นทันทีตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่วนเส้น B เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นอัตราการกัดกร่อนจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อย แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นมากอัตราการกัดกร่อนก็จะสูงขึ้น นั่นเพราะเส้น B เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นพอประมาณ ก็จะเกิดพาสซีเวชันขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นมากๆ ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดเร็วขึ้น ผลคืออัตราการกัดกร่อนจะเพิ่มมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นสภาพแวดล้อมและสมบัติของฟิล์มที่ผิวของโลหะก็จะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ผลของอุณหภูมิต่อการกัดกร่อนก็จะซับซ้อนเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ของอัตราการกัดกร่อนกับอุณหภูมิ [6]

2.4. รูปแบบของการกัดกร่อนและกลไกการเกิด

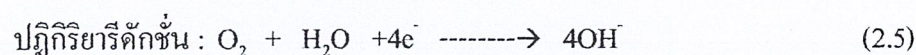
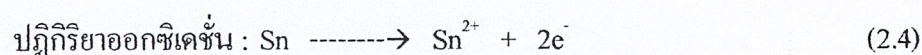
2.4.1. การกัดกร่อนแบบโลหะต่างชนิด

รูปแบบการกัดกร่อนประเภทนี้จะเกิดขึ้นได้ เมื่อมีองค์ประกอบอยู่พร้อมกันทั้ง 3 อย่าง คือ โลหะต่างกัน 2 ชนิด สารอิเล็กโทรไลต์ และตัวนำกระแสไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อนำโลหะต่างชนิดกัน มาจุ่มในสารละลายและนำโลหะต่างชนิดกันมาเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้า จะทำให้เกิดการไหลของ อิเล็กตรอนระหว่างโลหะทั้งสองชนิดขึ้น ปฏิริยาการกัดกร่อนของโลหะก็จะเกิดขึ้น โดยที่โลหะ ตัวหนึ่งจะทำหน้าที่เป็นแอโนดและ โลหะอีกตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็นแคโทด สำหรับการพิจารณาค่า ความต่างศักย์ของโลหะว่าตัวใดจะมีศักย์สูงหรือต่ำกว่ากัน พิจารณาได้จากตารางความต่างศักย์ มาตรฐานที่ใช้ไฮโดรเจนเป็นตัวอ้างอิงซึ่งมีค่าความต่างศักย์เท่ากับศูนย์

2.4.2. การกัดกร่อนที่มุมอับ

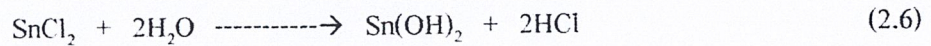
การกัดกร่อนที่มุมอับ เป็นการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในบริเวณของโลหะที่เป็นช่องแคบๆ หรือบริเวณที่ถูกปกปิด บริเวณดังกล่าวจะได้รับออกซิเจน หรือไอออนจากสารละลายได้ไม่เพียงพอ จึงทำให้ขาดออกซิเจนทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนด ในขณะที่พื้นที่ด้านนอกมีโอกาสสัมผัสกับออกซิเจน ตลอดเวลาจึงทำหน้าที่เป็นขั้วแคโทด ทำให้เกิดการกัดกร่อนขึ้น พร้อมกันนี้บริเวณ ดังกล่าวยังเกิดการสะสมของเกลือของโลหะขึ้นทำให้ความเป็นกรดเบสลดลง ทำให้ สารละลายมีฤทธิ์เป็นกรดเพิ่มขึ้นซึ่งทำให้ผิวโลหะบริเวณนั้นถูกกระตุ้นให้เกิดการกัดกร่อน โดยจะมีลักษณะคล้ายกับการเกิดการกัดกร่อนแบบจุด กลไกการกัดกร่อนเป็นดังต่อไปนี้

ถ้านำแผ่นโลหะ 2 แผ่นมาประกบกันแล้วยึดด้วยน๊อต



เมื่อเวลาผ่านไป ออกซิเจนที่อยู่ในช่องแคบจะถูกใช้จนหมดไป เนื่องจากปฏิกิริยา รีดักชัน ส่วนปฏิกิริยาออกซิเดชันยังคงดำเนินต่อไป เป็นผลให้ความเข้มข้นของไอออนของดีบุก

(Sn^{2+}) เพิ่มขึ้น เพื่อเป็นการสมดุลทางประจุไฟฟ้าของคลอไรด์ไอออน (Cl^-) จากอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งแพร่ได้รวดเร็วกว่าออกซิเจนคลอไรด์ไอออนก็จะซึมเข้าไปในช่องแคบเกิดเป็น SnCl_2 ซึ่งเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นก็จะแตกตัวให้ Sn(OH)_2 และ HCl ดังสมการ



ส่วน Sn(OH)_2 จะตกตะกอนอยู่ในช่องแคบขณะที่ HCl จะกัดแผ่นดีบุก ทำให้เกิดการกัดกร่อนอย่างรุนแรง

2.5. การป้องกันการกัดกร่อน

หลักการป้องกันการกัดกร่อนโดยทั่วไป คือการเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนให้กับวัสดุหรือการขจัดองค์ประกอบในการกัดกร่อนในสภาวะแวดล้อมให้หมดไป

วิธีการป้องกันการกัดกร่อน สามารถทำได้โดย การแยกตัวออกจากสภาวะแวดล้อมเพื่อป้องกันการกัดกร่อนโดยใช้วิธีเคลือบด้วยโลหะ คือ การกระจายแทรกซึมจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและอื่นๆ โดยการให้สารอื่นกระจายแทรกซึมเข้าผิวของโลหะเพื่อฟอร์มให้เกิดเป็นชั้นฟิล์ม

2.6. การกัดกร่อนของดีบุกและโลหะผสมของดีบุก

การออกซิเดชัน จะเกิดได้ 3 แบบ คือ $\alpha\text{-SnO}$ SnO หรือ SnO_2 ในน้ำกลั่นที่ร้อนและเย็น จะเกิดเพียงปฏิกิริยาของการเกิดฟิล์มออกไซด์ของดีบุกเพียงอย่างเดียว ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาช้ามากและไม่สามารถพิจารณาถึงปริมาณของโลหะที่หลุดออกมาในสารละลายได้ นอกจากนี้ดีบุกสามารถเกิดพาสซีเวชันได้โดยง่าย และไม่ต้องอาศัยแรงดันไฟฟ้า โดยส่วนใหญ่จะใช้โครเมทซึ่งเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงและจะเกิดชั้นออกไซด์ที่แข็งแรงและหนา $40\text{-}50 \text{ \AA}$ ซึ่งสามารถทำได้โดยจุ่มดีบุกลงในอัลคาไลโครเมทที่ $80\text{-}90 \text{ }^\circ\text{C}$ เป็นเวลาประมาณ 15 นาที โดยถ้าเป็นอะโนดิกพาสซีเวชันซึ่งมีการให้กระแสตรง 500A/dm^2 เป็นเวลา 5 นาที ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 0.5% จะได้ฟิล์มหนาประมาณ 30 \AA โดยแผ่นดีบุกเกิดจากการนำเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำมาเคลือบด้วยดีบุกบางๆ ซึ่งแผ่นดีบุกนี้เองที่เป็นวัสดุสำคัญในการทำภาชนะเก็บอาหารไว้ให้ได้นาน และส่วนใหญ่ก็นำไปใช้ในการผลิตกระป๋อง โดยสภาวะภายในกระป๋อง

ปีคสหนักจะมีผลมาจากผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ ซึ่งอาจมีคุณสมบัติทางเคมีต่างๆ เช่น เครื่องดื่ม น้ำอัดลม ตัวอย่างสภาพแวดล้อมที่มีผลเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างสภาพแวดล้อมภายในกระป๋องที่มีผลเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ [4]

1. pH	
- Acidic Beverage	2.4-4.5
- Beer, Wine	3.5-4.5
- Meat, Fish, Marine Product and Vegetables	4.1-7.4
- Fruit Juices	3.1-4.3
- Non-food Product	1.2-1.5
2. Gases	
- Reduced Gases (Food, Beverage)	60-100 cm.Hg
- CO ₂ (Beverage, Aerosol Products)	1.5-7.0 kg/m ²
- N ₂ (Beverage)	0.5-2.0 kg/m ²
- Freon (Aerosol Products)	3.0-5.0 kg/m ²
- LPG	3.0-4.0 kg/m ²
3. Salts	
- Salts	0.2-20%

ในกระบวนการสเตอริไรซ์ จะทำให้เกิดการเร่งการกัดกร่อนในกระป๋องซึ่งมีสาเหตุมาจากการเพิ่มอุณหภูมิ รูปแบบการกัดกร่อนภายในกระป๋องจะเป็นแบบธรรมดา และแบบจุด โดยเกิดเป็นจุดดำง (SnS) และละลายขึ้นตะกั่วและเหล็กออกมา โดยจุดดำงจะเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกระป๋องกับไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) หรือ ไอออนของ HS⁻ ซึ่งเกิดจากการแตกตัวด้วยความร้อนในผลิตภัณฑ์อาหารในชั้นคอนพาสเจอไรซ์ ซึ่งสามารถป้องกันได้ด้วยการสร้าง Passivation Film (SnO₂)

2.7. ปัญหาการกัดกร่อนภายในกระป๋อง

ถึงแม้ว่าอุตสาหกรรมอาหารกระป๋องจะดำเนินมานานแล้ว แต่การผลิตก็ยังไม่สมบูรณ์แบบ ถึงแม้ว่าปัญหาที่เกิดขึ้นจะไม่ร้ายแรง แต่อุตสาหกรรมชนิดนี้ก็เป็นอุตสาหกรรมที่มีสายการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตที่ใหญ่และรวดเร็ว หากเกิดความผิดพลาดเพียงเล็กน้อย จะมีผลกระทบต่อเวลาของการเก็บอาหาร

ในปัจจุบันได้มีการใช้แลคเกอร์ในการป้องกันการละลายของโลหะ แต่ก็หลีกเลี่ยงไม่ได้ที่แลคเกอร์จะมีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ภายในกระป๋อง กระป๋องที่นิยม คือ Plain Tinplate และใช้แผ่นดีบุกเกรดพิเศษที่เรียกว่า Grade K โดยเปลี่ยนแปลงชั้นตรงกลางระหว่างดีบุกกับเหล็กเพื่อเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน นอกจากนี้ต้องให้ความสำคัญกับสารอนินทรีย์ที่ใส่เข้าไปในกระป๋องว่าจะสามารถรักษาอาหารที่อยู่ภายในได้หรือไม่

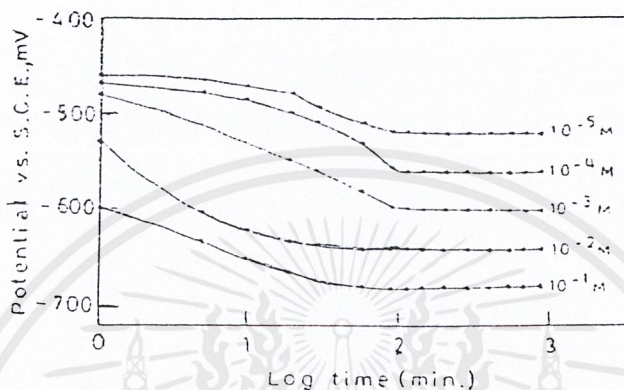
ในการบรรจุอาหารประเภทผักซึ่งเป็นตัวลอคดีบุกที่รุนแรง การละลายอย่างรวดเร็วจะทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณภาพ และเกิดสารปนเปื้อนในอาหารที่บรรจุ ซึ่งส่วนใหญ่ป้องกันโดยการใช้แลคเกอร์ แต่ผลิตภัณฑ์ก็ยังเกิดรอยขีดข่วนได้ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการเคลือบแลคเกอร์ 2 ชั้น ส่วนการบรรจุเครื่องคั้นหรือเบียร์นั้น จะต้องไม่มีดีบุกหรือเหล็กละลายออกมาเลย จึงต้องป้องกันโดยการเคลือบแลคเกอร์ 2 ชั้น นอกจากนี้การป้องกันแบบนี้ยังใช้รวมถึงการผลิตผลิตภัณฑ์อุปกรณ์ของเด็กด้วย

โดยปกติผลิตภัณฑ์อาจบรรจุโดยใช้ Plain Tinplate ได้ แต่ควรมีฟิล์มน้อย เพราะมีจุดค้างเกิดขึ้น ซึ่งเราสามารถแก้ไขโดยวิธี Cathodic Na_2CrO_7 และ Na_2CO_3 Treatment ส่วนการใช้ฟิล์มที่แข็งแรงกว่า Passivation Film ปกติ เพื่อป้องกันการเกิดจุดค้างจากซัลเฟอร์ซึ่งเกิดจากการฆ่าเชื้อในผลิตภัณฑ์นั้นๆ ได้มีการดัดแปลงแลคเกอร์ โดยใช้แลคเกอร์ที่มีส่วนผสมของทองแดง ซึ่งจะทำให้ปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ทำให้ไม่เกิดเป็นจุดค้าง

2.8. กรณีศึกษาการกัดกร่อนในกรด

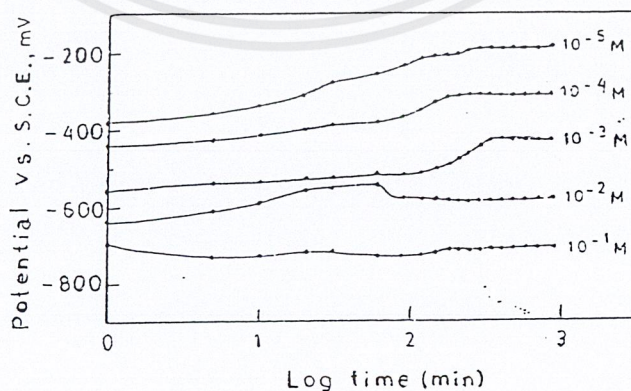
ผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องนั้นมีอยู่หลากหลายชนิด และแม้แต่ผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกัน หากเก็บไว้ในที่ต่างกัน ก็เกิดผลกระทบต่อกระป๋องแตกต่างกันไป ดังนั้นผู้ผลิตจึงพยายามหาทางที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์คงสภาพอยู่ได้นานที่สุดในทุกๆ กรณี จึงเกิดเป็นกรณีศึกษาชิ้นนี้ขึ้นมา

จากผลการศึกษาการกักคร่อนในกรดออกซาลิก(oxalic acid) กรดซิตริก(citric acid) และ กรดทาร์ทริก(tartalic acid) ซึ่งมีค่า pH อยู่ในช่วง 2-6 และที่ความเข้มข้น 10^{-1} - 10^{-5} โมลต่อลิตร พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้ากับเวลาในกรดแต่ละชนิดจะให้ผลที่คล้ายกัน ดังนั้นเมื่อเราพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้ากับเวลาที่ pH เท่ากับ 2 จะได้ผลตามรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 กราฟระหว่างศักย์ไฟฟ้าและเวลาของกรดออกซาลิก ที่ pH = 2 [5]

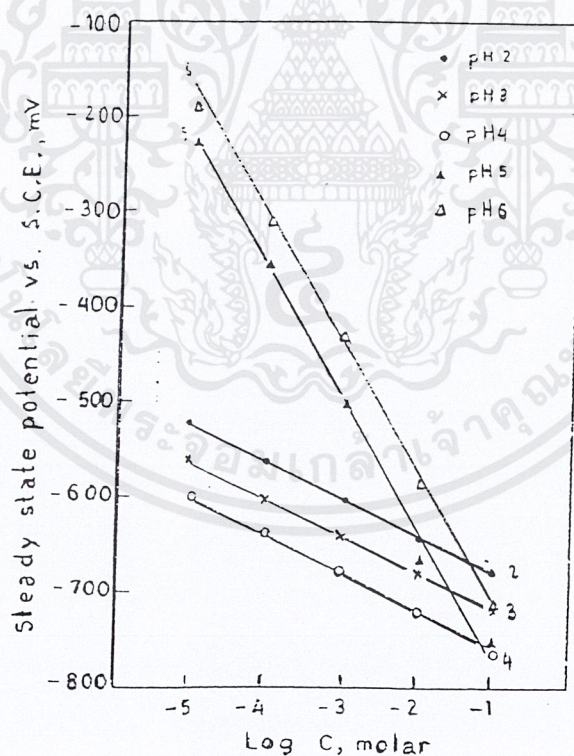
จากรูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นว่า ความต่างศักย์กับเวลาจะอยู่ในรูปแบบที่ไม่แตกต่างกัน เมื่อเราเปลี่ยนความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดอินทรีย์จะเกิดศักย์ไฟฟ้าที่เป็นลบมากขึ้น สรุปได้ว่าอัตราการกักคร่อนจะถูกควบคุมโดยความเข้มข้นของประจุบวกในสารละลาย โดยมีกลไกเกิดจากคิบัคคอมเพล็กซ์ซึ่งทำหน้าที่เหมือนเป็นลิแกนด์ จับกับไอออนบวกของกรดอินทรีย์ ทำให้อัตราการกักคร่อนมีมากขึ้น เมื่อเพิ่มค่า pH เป็น 6 ความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้ากับเวลาเป็นดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กราฟระหว่างศักย์ไฟฟ้ากับเวลาของกรดออกซาลิกที่ pH = 6 [5]

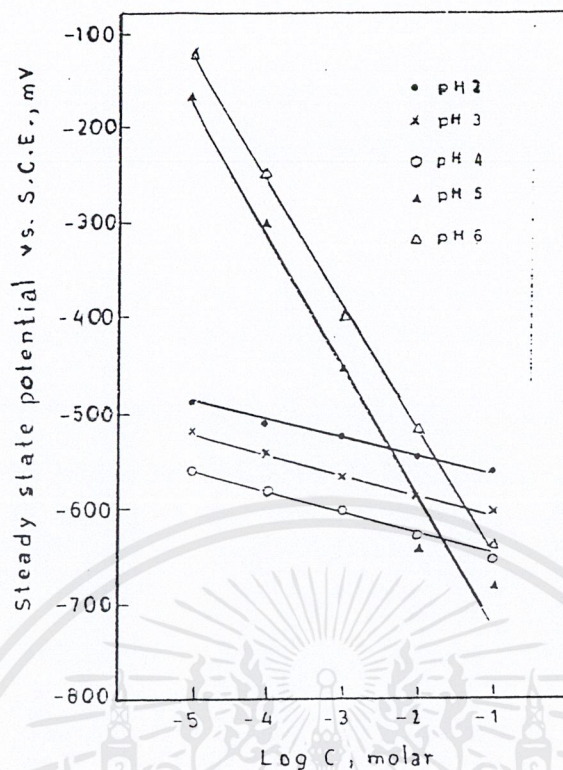
จะเห็นว่าที่ความเข้มข้นต่ำศักย์ไฟฟ้าจะสูงขึ้น และจะคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 2.5 ชั่วโมง แต่ที่ความเข้มข้นสูง (10^{-3} - 10^{-1} โมลต่อลิตร) ในช่วงแรกจะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ หลังจากนั้นจะเป็นบวกมากขึ้นและคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 4 ชั่วโมง โดยคาดว่าเกิดจากการที่ติบูกเกิดฟิล์มออกไซด์ก่อนที่จะจุ่มลงในสารละลาย ซึ่งเป็นการลดพื้นที่ผิวสัมผัสกับไอออนบวกในสารละลาย ทำให้อัตราการกัดกร่อนเกิดขึ้นน้อยลงและการเกิดฟิล์มออกไซด์มากขึ้น เมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นและความเข้มข้นสารละลายลดลง

จากการศึกษาโดยการนำค่าศักย์ไฟฟ้ามาพล็อตกราฟกับ ค่า $\text{Log } c$ โดยที่ c คือ ความเข้มข้นของสารละลาย จะได้กราฟดังรูปที่ 2.7, 2.8 และ 2.9

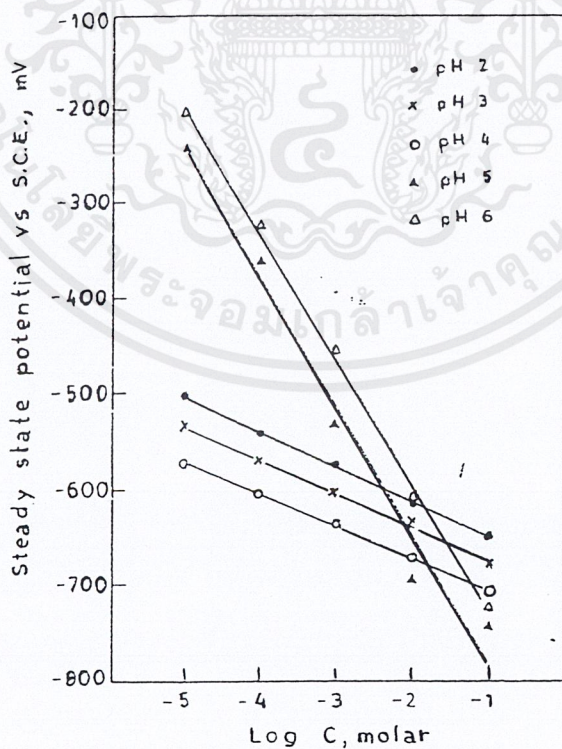


รูปที่ 2.7 กราฟระหว่างศักย์ไฟฟ้ากับค่า Log ของความเข้มข้นที่ pH ต่างๆ ของกรดออกซาลิก [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 กราฟระหว่างศักย์ไฟฟ้ากับค่า Log ของความเข้มข้นที่ pH ต่างๆ ของกรดทาทาร์ลิก [5]



รูปที่ 2.9 กราฟระหว่างศักย์ไฟฟ้ากับค่า Log ของความเข้มข้นที่ pH ต่างๆ ของกรดซิตริก [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่า pH ที่เท่ากับ 2 , 3 และ 4 เส้นกราฟจะขนานกัน แต่ความชันจะแตกต่างกันในกรดแต่ละชนิด และช่วงค่า pH ที่ 5 กับ 6 จะได้เส้นคู่ขนานคู่ใหม่ที่เท่ากันในกรดทั้งสามชนิด และจะ ได้ความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าคงตัว (E) กับ Log c เป็นตามสมการ

$$E = a - b \log c \quad (2.7)$$

โดยสามารถเปลี่ยนเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง E กับ pH ได้ดังนี้

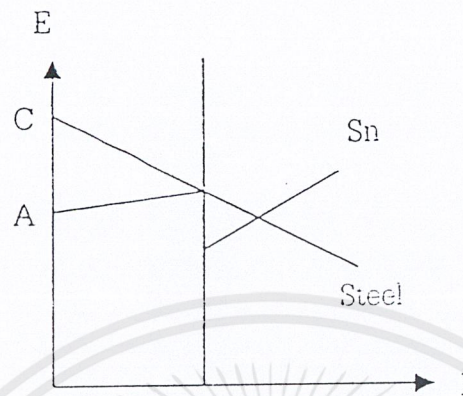
$$E = a' - b' \text{pH} \quad (2.8)$$

โดยในช่วงค่า pH ที่ 2 ถึง 4 ค่า b' ของกรดออกซาลิก กรดทาร์ทาลิก และกรดซิตริก เป็น -38, -35 และ -36 ตามลำดับ โดยค่า b' นี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเมื่อเปรียบเทียบอัตราการกัดกร่อนในกรดทั้ง 3 ชนิด จะได้ดังนี้

$$\text{กรดออกซาลิก} > \text{กรดซิตริก} > \text{กรดทาร์ทาลิก}$$

แผ่นเหล็กชุบดีบุกที่ได้จากกระบวนการทางไฟฟ้านั้น เมื่อนำมาทำเป็นกระป๋องจะพบว่าภายนอกกระป๋อง ดีบุกทำหน้าที่เป็นขั้วแคโทด ส่วนเหล็กจะทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนด ทำให้เหล็กเกิดเป็นสนิมขึ้นในขณะที่ภายในกระป๋องจะเกิดโพลาไรเซชันรีเวิร์ส (Polarization Reversed) ดีบุกจะทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนด เหล็กจะกลายเป็นขั้วแคโทด ทำให้เกิดการละลายดีบุกเข้าไปอยู่ในอาหาร (Detinning) ซึ่งปริมาณดีบุกที่สามารถปนเปื้อนอยู่ในอาหารได้โดยที่ผู้บริโภคไม่เกิดอันตราย คือ ไม่เกิน 250 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

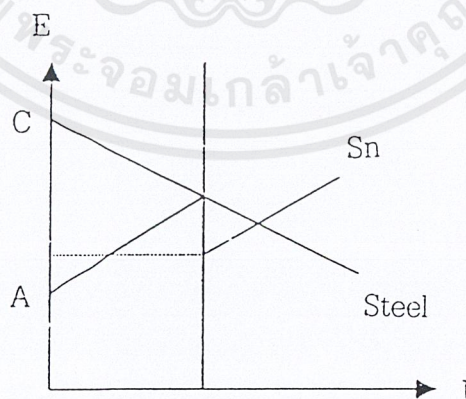
ในการพิจารณา กราฟโพลาริเซชัน



รูปที่ 2.10 กราฟโพลาริเซชันแบบที่ 1 [7]

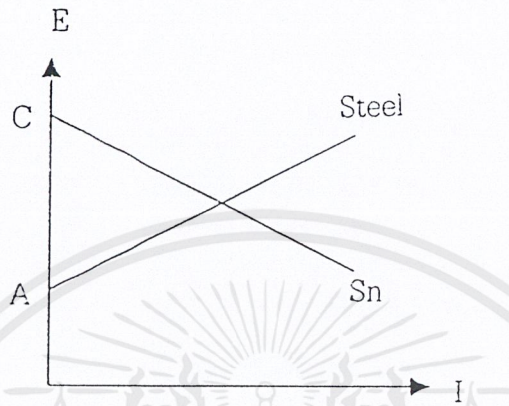
แบบที่ 1 ในอาหารทั่วไป ภายในกระป๋องจะเป็นภาวะที่ไม่มีอากาศ เหล็กจะทำหน้าที่เป็นแคโทด คีบุกจะทำหน้าที่เป็นแอโนด ทำให้คีบุกละลายออกมา

แบบที่ 2 ในอาหารบางชนิด บางส่วนของเหล็กทำหน้าที่เป็นแคโทดต่อคีบุก ทำให้คีบุกละลาย ขณะที่ บางส่วนของเหล็กทำหน้าที่เป็นแอโนด เหล็กจะเกิดสนิม ดังนั้นในกรณีนี้จะเกิดทั้งสนิมเหล็กและการละลายของคีบุก



รูปที่ 2.11 กราฟโพลาริเซชันแบบที่ 2 [7]

แบบที่ 3 ในกระป๋องอัดก๊าซ เหล็กจะเป็นแอโนด ส่วนดีบุกจะเป็นแคโทดทำให้เกิดสนิม
ขึ้นเหมือนการกัดกร่อนในบรรยากาศ



รูปที่ 2.12 กราฟโพลาริเซชันแบบที่ 3 [7]



บทที่ 3

การดำเนินการทดลอง

การศึกษาการกักกร่อนของดินบุกและวิธีป้องกันการเกิดการกักกร่อนได้ดำเนินการทดลองแบ่งออกเป็น 2 การทดลองย่อย ดังต่อไปนี้

- การทดลองเพื่อศึกษาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการสร้างฟิล์มออกไซด์โดยใช้ไอโซน และศึกษาอัตราการกักกร่อนของดินบุกในสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น 0.05 , 0.01 , 0.001 และ 0.005 โมลต่อลิตร

- การทดลองเพื่อศึกษาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการสร้างฟิล์มออกไซด์โดยใช้ไอโซนใน น้ำกลั่น

3.1 การทดลองเพื่อศึกษาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการสร้างฟิล์มออกไซด์โดยใช้ไอโซนและศึกษาอัตราการกักกร่อนของดินบุกในสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น 0.05 , 0.01 , 0.001 และ 0.005 โมลต่อลิตร

3.1.1 สารละลายและขั้นตอนการเตรียมสารละลายในการทดลอง

1. สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร เตรียมโดยละลายกรดซัลฟิวริก จำนวน 10.507 กรัมในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากัน

2. สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร เตรียมโดยละลายกรดซัลฟิวริก จำนวน 2.1014 กรัมในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากัน

3. สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.001 โมลต่อลิตร เตรียมโดยละลายกรดซัลฟิวริก จำนวน 0.2101 กรัมในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากัน

4. สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.0005 โมลต่อลิตร เตรียมโดยละลายกรดซัลฟิวริก จำนวน 0.1050 กรัมในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากัน

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

1. ชุดอุปกรณ์เติมไอโซน แสดงในรูปที่ 3.1
2. ชุดอุปกรณ์วัดค่ากระแส แสดงในรูปที่ 3.2
3. บีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร
4. ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร
5. ตัวอย่างดีบุกขนาด 1.2 x 1.8 ตารางเซนติเมตร แสดงในรูปที่ 3.3

3.1.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.1.3.1 การทดลองเพื่อศึกษาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการสร้างฟิล์มออกไซด์โดยใช้ไอโซนในสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น 0.05 , 0.01 ,0.001 และ 0.005 โมลต่อลิตร

1. เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร ปริมาณ 750 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ของชุดอุปกรณ์เติมไอโซน และ ปริมาณ 150 มิลลิลิตรลงในชุดอุปกรณ์วัดกระแส
2. ปรับอัตราการผลิตไอโซนให้เป็น 500 มิลลิกรัมต่อชั่วโมงและอัตราการไหลของออกซิเจนไปที่ 1 ลิตรต่อนาที ให้คงที่ตลอดการทดลอง
3. หลังจากเวลาผ่านไป 5 นาที นำตัวอย่างดีบุกใส่ในบีกเกอร์ พร้อมกับเริ่มจับเวลา และเมื่อครบ 2 นาทีให้นำตัวอย่างดีบุกไปวัดกระแสเทียบกับตัวอย่างอ้างอิง (ทองคำ) บันทึกผล
4. ทำความสะอาดชิ้นตัวอย่างดีบุกโดยการขัดผิวด้วยกระดาษทรายแล้วนำมาล้างด้วยน้ำกลั่น ก่อนนำมาทดลองซ้ำในข้อ 3 โดยเพิ่มเวลาขึ้นชุดละ 2 นาทีจนครบ 60 นาที
5. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึง ข้อ 4 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกเป็น 0.05,0.01, 0.001 และ 0.005 โมลต่อลิตร

3.1.3.2 การทดลองเพื่อศึกษาอัตราการกัดกร่อนของดีบุกในสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น 0.05 ,0.01 ,0.001 และ 0.005 โมลต่อลิตร

1. เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร ปริมาณ 150 มิลลิลิตรลงในชุดอุปกรณ์วัดกระแส
2. นำตัวอย่างดีบุกมาวัดค่ากระแสทุก 2 นาที จนครบ 60 นาที บันทึกผล

3. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1 ถึง ข้อ 2 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกเป็น 0.05 , 0.01 , 0.001 และ 0.005 โมลต่อลิตร ตามลำดับ

3.2 การทดลองเพื่อศึกษาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการสร้างฟิล์มออกไซด์โดยใช้ไอโซนในน้ำกลั่น

3.2.1 สารละลายและขั้นตอนการเตรียมสารละลายในการทดลอง

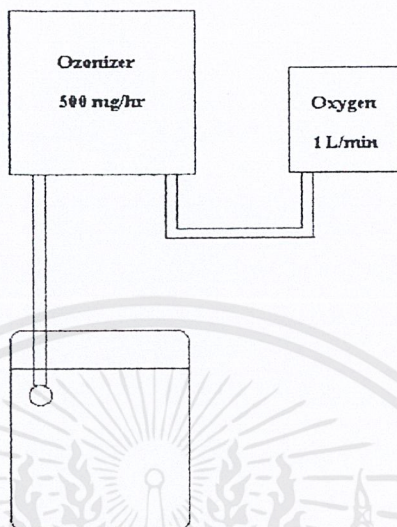
1. น้ำกลั่นปริมาณ 750 มิลลิลิตร
2. สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1 โมลต่อลิตร เตรียมโดยละลายโพแทสเซียมคลอไรด์จำนวน 74.55 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากัน

3.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

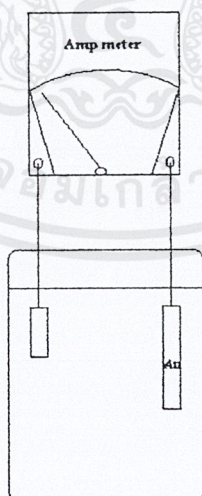
1. ชุดอุปกรณ์เติมไอโซน แสดงในรูปที่ 3.1
2. ชุดอุปกรณ์วัดค่ากระแส แสดงในรูปที่ 3.2
3. บีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร
4. ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร
5. ตัวอย่างคีนุกขนาด 1.2 x 1.8 ตารางเซนติเมตร แสดงในรูปที่ 3.3

3.2.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. เติมน้ำกลั่น ปริมาณ 750 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ของชุดอุปกรณ์เติมไอโซน
2. ปรับอัตราการผลิตไอโซนไปที่ 500 มิลลิกรัมต่อชั่วโมงและอัตราการไหลของออกซิเจนไปที่ 1ลิตรต่อนาที ใ้ห้องที่ตลอดการทดลอง
3. หลังจากเวลาผ่านไป 5 นาที นำตัวอย่างคีนุกใส่ในบีกเกอร์ พร้อมกับเริ่มจับเวลา และเมื่อครบ 2 นาทีให้นำตัวอย่างคีนุกไปวัดกระแสเทียบกับตัวอย่างอิง (ทองคำ) บันทึกผล
4. ทำความสะอาดชิ้นตัวอย่างคีนุกโดยการขัดผิวด้วยกระดาษทรายแล้วนำมาล้างด้วยน้ำกลั่น ก่อนนำมาทดลองซ้ำในข้อ 3 โดยเพิ่มเวลาขึ้นชุดละ 2 นาที จบครบ 60 นาที

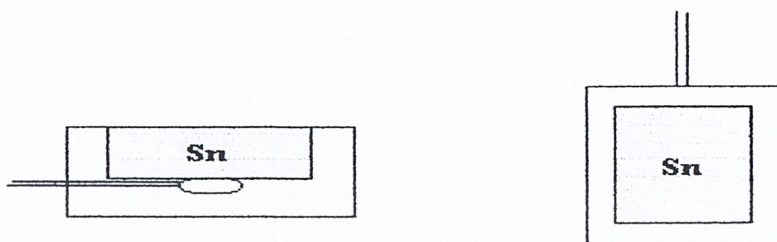


รูปที่ 3.1 ชุดอุปกรณ์เติมไอโซน



รูปที่ 3.2 ชุดอุปกรณ์วัดค่ากระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ชิ้นตัวอย่างดิบที่ทำกรทดลอง



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

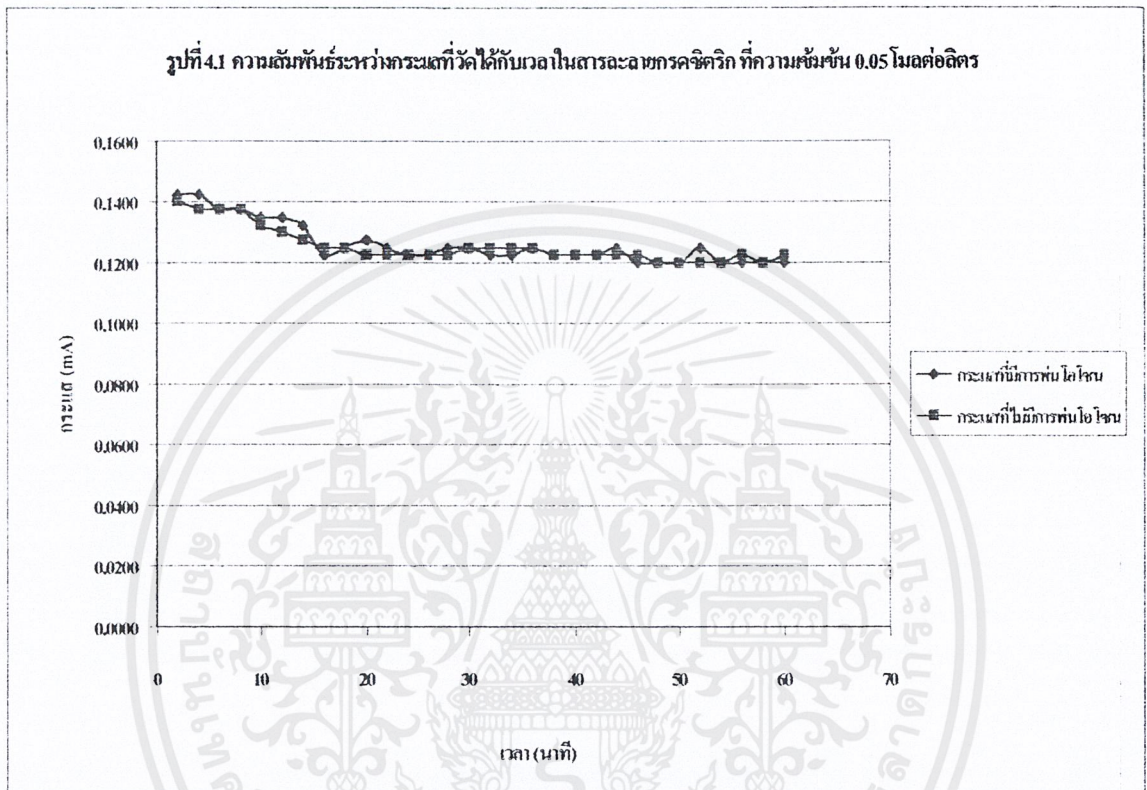
4.1 ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 การทดลองหาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการสร้างฟิล์มออกไซด์โดยใช้โอโซนและเปรียบเทียบกับอัตราการกัดกร่อนของดีบุกในสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นต่างๆ

ผลการทดลองที่ได้แสดงเป็นค่ากระแสเฉลี่ยของดีบุกที่เวลาต่างๆ ดังตารางที่ 4.1 ถึง 4.4

ตารางที่ 4.1 กระแสที่วัดได้กับเวลาในกรดซัลฟิวริก ที่ความเข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร (pH = 2.326)

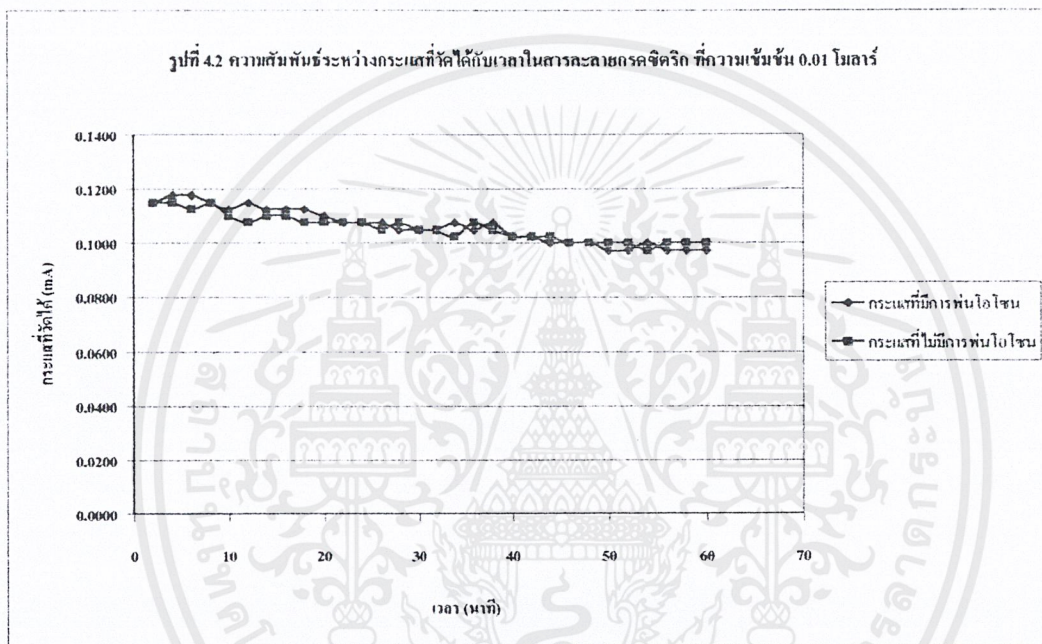
เวลา (นาท)	กระแสที่วัด ได้เมื่อพ่น โอโซน (mA)	กระแสที่วัด ได้เมื่อไม่พ่น โอโซน (mA)	เวลา (นาท)	กระแสที่วัด ได้เมื่อพ่น โอโซน (mA)	กระแสที่วัด ได้เมื่อไม่พ่น โอโซน (mA)
2	0.1425	0.1400	32	0.1225	0.1250
4	0.1425	0.1375	34	0.1225	0.1250
6	0.1375	0.1375	36	0.1250	0.1250
8	0.1375	0.1375	38	0.1225	0.1225
10	0.1350	0.1325	40	0.1225	0.1225
12	0.1350	0.1300	42	0.1225	0.1225
14	0.1325	0.1275	44	0.1250	0.1225
16	0.1228	0.1250	46	0.1200	0.1225
18	0.1250	0.1250	48	0.1200	0.1200
20	0.1275	0.1225	50	0.1200	0.1200
22	0.1250	0.1225	52	0.1250	0.1200
24	0.1225	0.1225	54	0.1200	0.1200
26	0.1225	0.1225	56	0.1200	0.1225
28	0.1250	0.1225	58	0.1200	0.1200
30	0.1250	0.1250	60	0.1200	0.1225



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 กระแสที่วัดได้กับเวลาในกรดซัลฟริก ที่ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร (pH = 3.300)

เวลา (นาทิจ)	กระแสที่วัด ได้เมื่อพ่น ไอ โซน (mA)	กระแสที่วัด ได้เมื่อไม่พ่น ไอ โซน (mA)	เวลา (นาทิจ)	กระแสที่วัด ได้เมื่อพ่น ไอ โซน (mA)	กระแสที่วัด ได้เมื่อไม่พ่น ไอ โซน (mA)
2	0.1150	0.1150	32	0.1050	0.1050
4	0.1175	0.1150	34	0.1075	0.1025
6	0.1175	0.1125	36	0.1050	0.1075
8	0.1150	0.1150	38	0.1075	0.1050
10	0.1125	0.1100	40	0.1025	0.1025
12	0.1150	0.1075	42	0.1025	0.1025
14	0.1125	0.1100	44	0.1000	0.1025
16	0.1125	0.1100	46	0.1000	0.1000
18	0.1125	0.1075	48	0.1000	0.1000
20	0.1100	0.1075	50	0.0975	0.1000
22	0.1075	0.1075	52	0.0975	0.1000
24	0.1075	0.1075	54	0.1000	0.0975
26	0.1075	0.1050	56	0.0975	0.1000
28	0.1050	0.1075	58	0.0975	0.1000
30	0.1050	0.1050	60	0.0975	0.1000

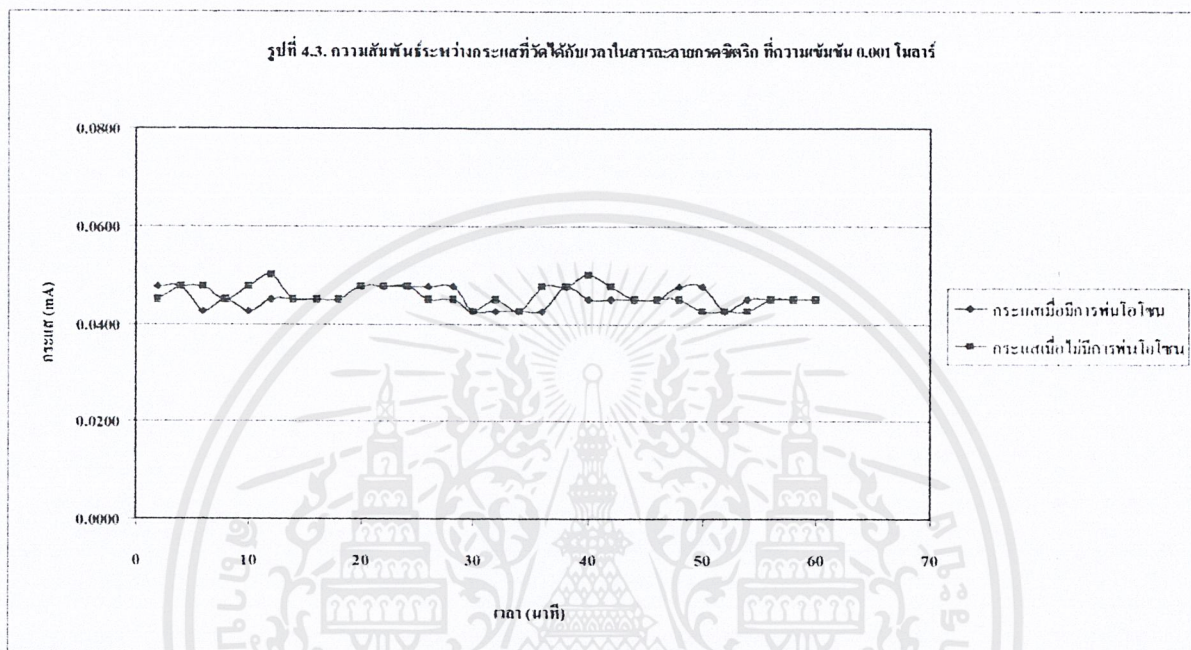


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 กระแสที่วัดได้กับเวลาในกรดซิตริก ที่ความเข้มข้น 0.001 โมลต่อลิตร (pH = 3.672)

เวลา (นาท)	กระแสที่วัด ได้เมื่อพ่น ไอ โซน (mA)	กระแสที่วัด ได้เมื่อ ไม่พ่น ไอ โซน (mA)	เวลา (นาท)	กระแสที่วัด ได้เมื่อพ่น ไอ โซน (mA)	กระแสที่วัด ได้เมื่อ ไม่พ่น ไอ โซน (mA)
2	0.0475	0.0450	32	0.0425	0.0450
4	0.0475	0.0475	34	0.0425	0.0425
6	0.0425	0.0475	36	0.0425	0.0475
8	0.0450	0.0450	38	0.0475	0.0475
10	0.0425	0.0475	40	0.0450	0.0500
12	0.0450	0.0500	42	0.0450	0.0475
14	0.0450	0.0450	44	0.0450	0.0450
16	0.0450	0.0450	46	0.0450	0.0450
18	0.0450	0.0450	48	0.0475	0.0450
20	0.0475	0.0475	50	0.0475	0.0425
22	0.0475	0.0475	52	0.0425	0.0425
24	0.0475	0.0475	54	0.0450	0.0425
26	0.0475	0.0450	56	0.0450	0.0450
28	0.0475	0.0450	58	0.0450	0.0450
30	0.0425	0.0425	60	0.0450	0.0450

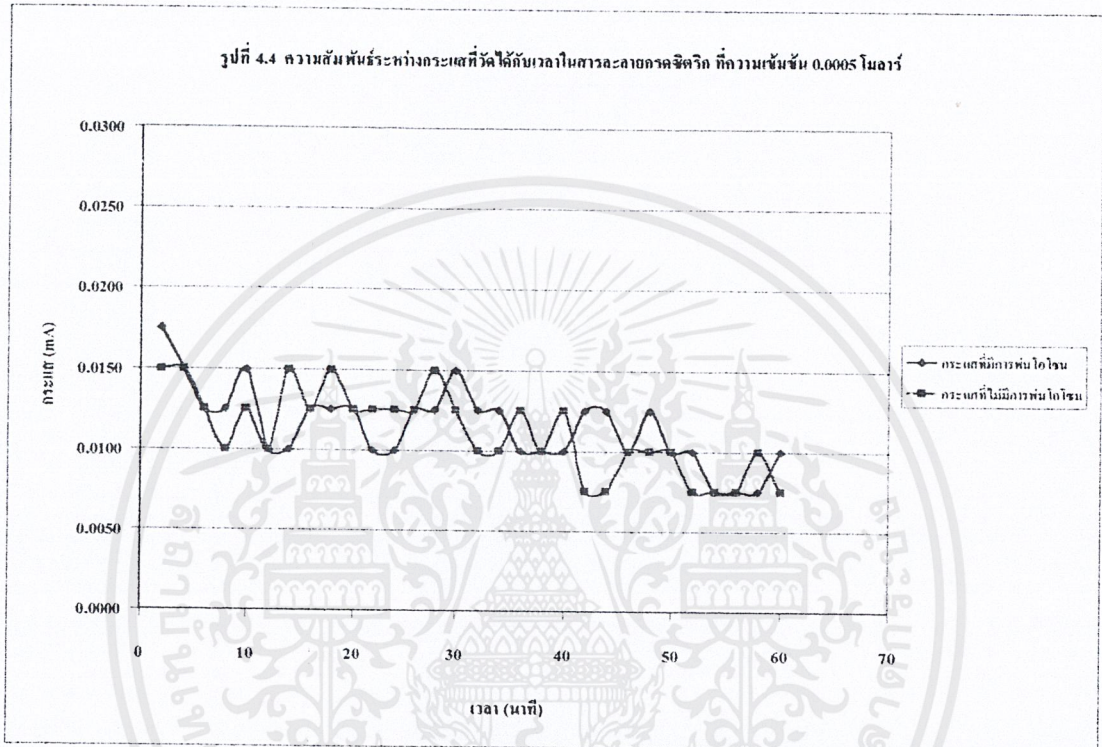
รูปที่ 4.3. ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่วัดได้กับเวลาในสารละลายกรดซัลฟิวริก ที่ความเข้มข้น 0.001 โมลาร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 กระแสที่วัดได้กับเวลาในกรดซัลฟริก ที่ความเข้มข้น 0.0005 โมลต่อลิตร (pH = 4.463)

เวลา (นาทีก)	กระแสที่วัด ได้เมื่อพ่น ไอโซน (mA)	กระแสที่วัด ได้เมื่อ ไม่พ่น ไอโซน (mA)	เวลา (นาทีก)	กระแสที่วัด ได้เมื่อพ่น ไอโซน (mA)	กระแสที่วัด ได้เมื่อ ไม่พ่น ไอโซน (mA)
2	0.0175	0.0150	32	0.0125	0.0100
4	0.0150	0.0150	34	0.0125	0.0100
6	0.0125	0.0125	36	0.0100	0.0125
8	0.0125	0.0100	38	0.0100	0.0100
10	0.0150	0.0125	40	0.0100	0.0125
12	0.0100	0.0100	42	0.0125	0.0075
14	0.0100	0.0150	44	0.0125	0.0075
16	0.0125	0.0125	46	0.0100	0.0100
18	0.0125	0.0150	48	0.0125	0.0100
20	0.0125	0.0125	50	0.0100	0.0100
22	0.0100	0.0125	52	0.0100	0.0075
24	0.0100	0.0125	54	0.0075	0.0075
26	0.0125	0.0125	56	0.0075	0.0075
28	0.0125	0.0150	58	0.0075	0.0100
30	0.0150	0.0125	60	0.0100	0.0075



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2 การทดลองหาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการสร้างฟิล์มออกไซด์โดยใช้โอโซนในน้ำกลั่น

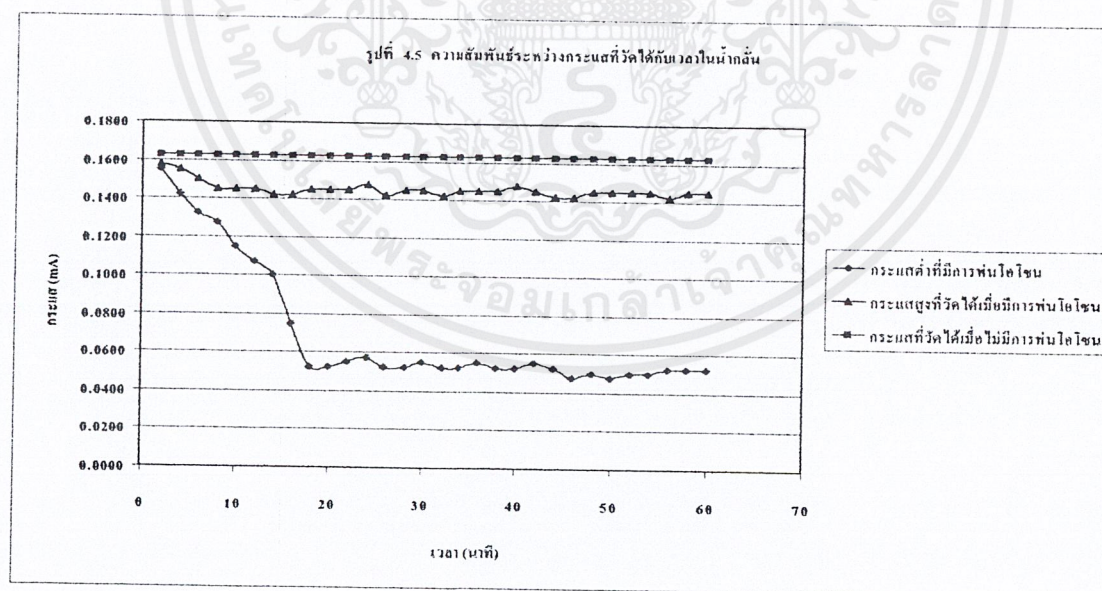
ตารางที่ 4.5 กระแสที่วัดได้กับเวลาในน้ำกลั่นที่เวลาต่างๆ

เวลา (นาท)	กระแสค่าที่วัดได้ เมื่อมีการพ่น โอโซน (mA)	กระแสสูงที่วัดได้ เมื่อมีการพ่น โอโซน (mA)	กระแสที่วัดได้เมื่อ ไม่มีการพ่น โอโซน(mA)
2	0.1550	0.1575	0.1625
4	0.1425	0.155	0.1625
6	0.1625	0.1500	0.1625
8	0.1275	0.1450	0.1625
10	0.1150	0.1450	0.1625
12	0.1075	0.1450	0.1625
14	0.1000	0.1425	0.1625
16	0.0750	0.1425	0.1625
18	0.0525	0.1450	0.1625
20	0.0525	0.1450	0.1625
22	0.0550	0.1450	0.1625
24	0.0575	0.1475	0.1625
26	0.0525	0.1425	0.1625
28	0.0525	0.1450	0.1625
30	0.0550	0.1450	0.1625
32	0.0525	0.1425	0.1625
34	0.0525	0.1450	0.1625
36	0.0550	0.1450	0.1625
38	0.0525	0.1450	0.1625
40	0.0525	0.1475	0.1625
42	0.0550	0.1450	0.1625
44	0.0525	0.1425	0.1625
46	0.0475	0.1425	0.1625

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

เวลา (นาทึ)	กระแสต่ำที่วัดได้ เมื่อมีการพ่นไอโซน(mA)	กระแสสูงที่วัดได้ เมื่อมีการพ่นไอโซน(mA)	กระแสที่วัดได้เมื่อ ไม่มีการพ่นไอโซน(mA)
48	0.0500	0.1450	0.1625
50	0.0475	0.1450	0.1625
52	0.0500	0.1450	0.1625
54	0.0500	0.1450	0.1625
56	0.0525	0.1425	0.1625
58	0.0525	0.1450	0.1625
60	0.0525	0.1450	0.1625



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 การทดลองหาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการสร้างฟิล์มออกไซด์โดยใช้โอโซนและเปรียบเทียบอัตราการกัดกร่อนของดีบุกในสารละลายกรดซัลฟิวริก

จากรูปที่ 4.1 ถึง 4.4 กราฟแสดงค่ากระแสของดีบุกที่ผ่านการเติม โอโซนและดีบุกที่ไม่ผ่านการเติมโอโซน จะสามารถเปรียบเทียบความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อนของดีบุกทั้งสองได้ และระดับความแตกต่างของกระแสในแต่ละความเข้มข้น เกิดจากปริมาณไอออนที่อยู่ในสารละลายไม่เท่ากัน

ตอนที่ 2 การทดลองหาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการสร้างฟิล์มออกไซด์โดยใช้โอโซนในน้ำกลั่น

จากรูปที่ 4.5 จะสามารถเปรียบเทียบความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อนระหว่างดีบุกที่ผ่านการเติมโอโซนและไม่ผ่านการเติมโอโซนได้ และลักษณะของกระแสขณะวัดจะสามารถบ่งบอกถึงความเสถียรของฟิล์มได้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การทดลองในสารละลายกรดซัลฟิวริก

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า

1. กราฟกระแสของดีบุกที่ผ่านการเติมไอโซนและไม่ผ่านการเติมไอโซน แสดงให้เห็นว่าช่วงค่ากระแสไม่มีความแตกต่างกันมากนัก ดังนั้นในสารละลายกรดซัลฟิวริกทุกความเข้มข้นที่ทำการทดลอง ไม่สามารถใช้ไอโซนสร้างฟิล์มออกไซด์บนผิวดีบุกได้
2. ในสารละลายกรดซัลฟิวริก ในช่วงแรกไอโซนจะทำให้เกิดการกัดกร่อนผิวดีบุกที่รุนแรงขึ้น และเมื่อเวลาผ่านไปค่ากระแสที่แสดงว่าอัตราการกัดกร่อนคงที่
3. เปรียบเทียบระดับของกระแสในแต่ละความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก พบว่ามีระดับที่แตกต่างกัน เพราะในแต่ละความเข้มข้นมีปริมาณไอออนที่แตกต่างกันซึ่งมีผลต่อการวัดค่ากระแสของดีบุก

5.1.2 การทดลองในน้ำกลั่น

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า

1. กราฟกระแสของดีบุกที่ผ่านการเติมไอโซนและไม่ผ่านการเติมไอโซน แสดงให้เห็นว่ามีช่วงค่ากระแสที่แตกต่างกันมาก สรุปได้ว่า สามารถสร้างฟิล์มออกไซด์บนผิวดีบุกในน้ำกลั่นได้ และเกิดฟิล์มออกไซด์มากที่สุดครั้งแรกในนาทีที่ 18 ซึ่งทำให้ค่ากระแสลดลงจนถึงค่า 0.0525 mA
2. จากลักษณะของค่ากระแสในขณะที่ทำการวัด แสดงให้เห็นว่าฟิล์มออกไซด์สลายตัวหลุดออกจากผิวดีบุกบางส่วน จึงทำให้ค่ากระแสเพิ่มขึ้นอีกถึงที่ประมาณ 0.1450 mA สรุปได้ว่าฟิล์มออกไซด์ที่สร้างขึ้นมีความเสถียรต่ำ

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้วัดค่ากระแสมีความละเอียดไม่เพียงพอ จึงอาจทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนได้

5.3 ข้อเสนอแนะในการทำการทดลอง

1. ในการเคลื่อนย้ายตัวอย่างดีบุกเพื่อทำการวัดค่ากระแสต้องทำอย่างรวดเร็วและระมัดระวังมาก เพราะฟิล์มออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีความเสถียรต่ำ
2. การทำความสะอาดและขัดผิวดีบุกต้องทำอย่างละเอียด มิฉะนั้นอาจทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนได้
3. ในขณะที่ทำการทดลองต้องระวังมิให้อุณหภูมิของออกซิเจนเปลี่ยนแปลง

5.4 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาหาความหนาและสมบัติการยึดเกาะของฟิล์มออกไซด์บนผิวดีบุก
2. ศึกษาปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการสร้างฟิล์มออกไซด์บนผิวดีบุก เช่น ปริมาณ Sn^{2+} ในสารละลาย และอุณหภูมิของระบบ
3. ศึกษาการสร้างฟิล์มออกไซด์บนผิวโลหะหนักชนิดอื่นๆ ด้วยไอโซน เช่น สังกะสี และตะกั่ว เป็นต้น
4. ศึกษาอิทธิพลของลักษณะพื้นผิวของดีบุกต่อการสร้างฟิล์มป้องกันการกัดกร่อน

รายการอ้างอิง

1. กัญจนนา ตระกูลคู. กันยายน 2534. เทคโนโลยีการกัดกร่อน. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
2. ประไพ ไทยสุริยะ. 2540. ความต้านทานการกัดกร่อนของแผ่นเหล็กไม่ชุบดีบุกแต่เคลือบแลกเกอร์ และแผ่นเหล็กชุบดีบุกและเคลือบแลกเกอร์. ปรินูญยามหาบัณฑิต ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
3. Ichiro Suzuki. (1991). **Corrosion-Resistant Coatings Technology**. 2nd edition. New York: Marcel Dekker INC.
4. E.s.et al. Hedges. (1960). **Tin and its Alloys**. 2nd edition. London: Edward Arnold.
5. G. Dergee. (1939). **Trans-Electronchem. Soc.** 75. 449.
6. G. Dergee. And H. Marcrs. (1941). **Trans.Amer.Inst.Min. [Metal] Engvs.** : 143,198.
7. V.K. Gouda, E.N. Rizkalla, S.Abd-El-Whab and E.M. Ibrahim. (1987). **Corrosion behavior in organic acid solutions-I Tin electroda**. Corrsion science.Vol.21, PP.1 to 15.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

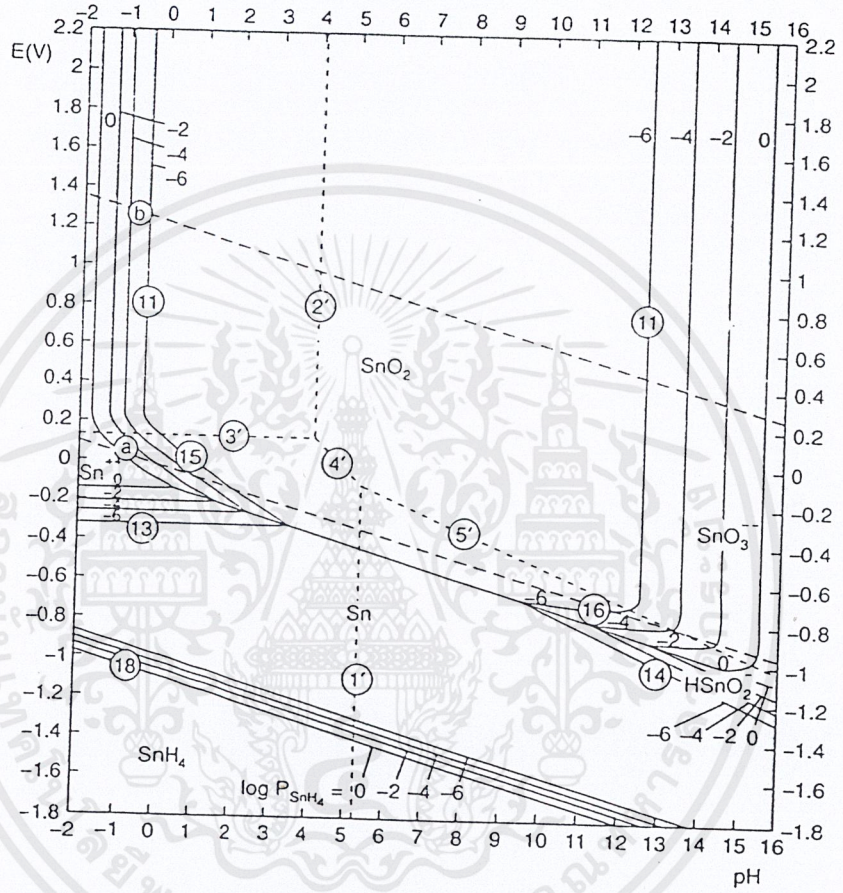
ตาราง ก.1 ค่าความศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

Reaction	E° V
$F_2 + 2e^- \rightarrow 2F^-$	2.87
$S_2O_8^{2-} + 2e^- \rightarrow 2SO_4^{2-}$	1.96
$Co^{3+} + e^- \rightarrow Co^{2+}$	1.92
$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow 2H_2O$	1.763
$Ce^{4+} + e^- \rightarrow Ce^{3+}$ (in 1 M HClO ₄)	1.70
$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$	1.51
$Cl_2 + 2e^- \rightarrow 2Cl^-$	1.358
$Ti^{3+} + 2e^- \rightarrow Ti^+$	1.25
$MnO_2 + 4H^+ + 2e^- \rightarrow Mn^{2+} + 2H_2O$	1.23
$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$	1.229
$Br_2 + 2e^- \rightarrow 2Br^-$	1.065
$AuCl_4^- + 3e^- \rightarrow Au + 4Cl^-$	1.002
$Pd^{2+} + 2e^- \rightarrow Pd$	0.915
$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$	0.7991
$Fe^{3+} + e^- \rightarrow Fe^{2+}$	0.771
$O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O_2$	0.695
$I_2(s) + 2e^- \rightarrow 2I^-$	0.535
$Cu^+ + e^- \rightarrow Cu$	0.520
$Fe(CN)_6^{3-} + e^- \rightarrow Fe(CN)_6^{4-}$	0.361
$Co(dip)_3^{3+} + e^- \rightarrow Co(dip)_3^{2+}$	0.34
$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$	0.34
$Ge^{2+} + 2e^- \rightarrow Ge$	0.247
$PdI_4^{2-} + 2e^- \rightarrow Pd + 4I^-$	0.18
$Sn^{4+} + 2e^- \rightarrow Sn^{2+}$	0.15
$Ag(S_2O_3)_2^{3-} + e^- \rightarrow Ag + 2S_2O_3^{2-}$	0.017
$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$	0.0000
$Ge^{4+} + 2e^- \rightarrow Ge^{2+}$	0.00
$Pb^{2+} + 2e^- \rightarrow Pb$	-0.126
$Sn^{2+} + 2e^- \rightarrow Sn$	-0.14
$Ni^{2+} + 2e^- \rightarrow Ni$	-0.257
$Tl^+ + e^- \rightarrow Tl$	-0.336
$Cd^{2+} + 2e^- \rightarrow Cd$	-0.403
$Fe^{2+} + 2e^- \rightarrow Fe$	-0.44
$Zn^{2+} + 2e^- \rightarrow Zn$	-0.7626
$Na^+ + e^- \rightarrow Na$	-2.713
$Li^+ + e^- \rightarrow Li$	-3.040

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

รูป ข.1 แผนภาพ Pourbaix



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้