



การศึกษากระบวนการอโนไดเซชันต่อมุมสัมผัสของพื้นผิวและการปนเปื้อนในอาหาร
ของแผ่นอลูมิเนียมอโนไดซ์

Study of Anodization Process on Surface Contact Angle and Food
Contamination of Anodized Aluminum Sheet

กวิณนาถ กันยาพงศธร

กัญญาณัฐ วรรณสิทธิ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การศึกษากระบวนการอโนไดเซชันต่อมุมสัมผัสของพื้นผิวและการปนเปื้อนใน
อาหารของแผ่นอลูมิเนียมอโนไดซ์

Study of Anodization Process on Surface Contact Angle and Food
Contamination of Anodized Aluminum Sheet

กวิณนาถ กันยาพงศธร

กัญญาณัฐ วรรณสุทธิ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Study of Anodization Process on Surface Contact Angle and Food
Contamination of Anodized Aluminum Sheet



KAWINNATH KAYAPONGSATHORN

KANYANATH WANNUSIT

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN
FOOD ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาโท การศึกษากระบวนการอินโดเซชันต่อมัมส์ของพื้นผิวและการปนเปื้อน
ในอาหารของแผ่นอลูมิเนียมอินโดเซชัน

ผู้จัดทำ นางสาวกนิษฐา กัญยาพงศ์
นางสาวกัญญาณัฐ วรรณสุทธิ

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดร. เจษฎา ชัยโถม

ปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญาโทนี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาโท

หัวหน้าภาควิชา

(ผศ. ดร. เจษฎา ชัยโถม)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. ดร. เจษฎา ชัยโถม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษากระบวนการอโนไดซ์ชั้นต่อมัมสัมผัสของพื้นผิวและการปนเปื้อนในอาหารของแผ่นอลูมิเนียมอโนไดซ์
ผู้จัดทำ	นางสาวกวิณนาถ กันยาพงศธร นางสาวกัญญาณัฐ วรณัฐสิทธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดร. เจษฎา ชัยโฉม
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขา	วิศวกรรมอาหาร
ปีการศึกษา	2565

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีการนำอลูมิเนียมมาใช้เป็นวัสดุสัมผัสอาหารมากขึ้นเนื่องจากอลูมิเนียมนำความร้อนได้ดี น้ำหนักเบา และมี ราคาถูก ทำให้เป็นที่นิยมใช้เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบอาหารหรือเก็บอาหารที่ทำจากอลูมิเนียมอย่างแพร่หลาย แม้ว่าจะมีอุปกรณ์ที่เคลือบด้วยเทฟลอนที่มีคุณสมบัติลดการเกาะติด แต่คุณสมบัติของเทฟลอนนั้นไม่สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้และมีราคา การศึกษาครั้งนี้จึงได้นำอลูมิเนียมผ่านกระบวนการอโนไดซ์เพื่อปรับปรุงพื้นผิวของอลูมิเนียมให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำ เพื่อให้มีคุณสมบัติลดการเกาะติดของอาหารบนพื้นผิวอลูมิเนียมน้อยลง ช่วยให้การทำความสะอาดทำได้ง่ายขึ้นและลดเวลาในการทำความสะอาดได้ โดยจะศึกษาปัจจัยเรื่องของกระแสไฟฟ้าและระยะเวลาในการทำอโนไดซ์ โดยใช้เครื่องเคลือบโลหะด้วยไฟฟ้า ในการชุบอโนไดซ์ ใช้กระแสไฟฟ้าที่ 1, 2 และ 3 แอมแปร์ ระยะเวลาในการชุบ 15, 30, และ 45 นาที และการวิเคราะห์ค่า Contact angle โดยเครื่องวัดมุมสัมผัส บอกได้ว่ากระแสไฟฟ้าและระยะเวลาในการชุบอโนไดซ์ส่งผลต่อค่ามุมสัมผัสของพื้นผิว และการชุบอโนไดซ์ที่กระแสไฟ 3 แอมแปร์ เป็นเวลา 30 นาทีให้ค่ามุมสัมผัสมากที่สุดจากตัวอย่างทั้งหมด คือ 115.80° ซึ่งมีค่ามากกว่า 90° หมายความว่าพื้นผิวมีความไม่ชอบน้ำ สามารถลดการเกาะติดของอาหารได้ ช่วยลดระยะเวลาการทำความสะอาดได้ และการวิเคราะห์หาปริมาณอลูมิเนียมที่ปนเปื้อนในอาหารด้วยเครื่อง Spectrophotometer พบว่าปริมาณอลูมิเนียมลดลงตามค่าการดูดกลืนแสง จากผลการวิจัยได้ค่าปริมาณอลูมิเนียมน้อยที่สุดอยู่ที่ 0.0071 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่ามุมสัมผัสมากที่สุด ดังนั้นการชุบอโนไดซ์จึงสามารถช่วยลดปริมาณของอลูมิเนียมที่ หลุดออกมาในระหว่างการต้มได้

คำสำคัญ : อลูมิเนียมอโนไดซ์, กระบวนการอโนไดซ์, มุมสัมผัส, การปนเปื้อนของอลูมิเนียมอโนไดซ์

Project Name Study of Anodization Process on Surface Contact Angle and Food Contamination of Anodized Aluminum Sheet

Student Ms. Kawinnath Kanyapongsathorn
Ms. Kanyanat Wannusit

Advisor Asst. Prof. Dr. Jedsada Chaishome

Degree Bachelor of Engineering

Department Food engineering

Academic year 2022

abstract

Nowadays, aluminum is increasingly being used as a food contact material because it conducts heat well, is lightweight, and has a low cost, making it widely used as a cooking or storage device made of aluminum. Even with Teflon-coated devices with anti-sticking properties. But the properties of Teflon are not applicable to high temperatures and have a price. This study has subjected aluminum to anodizing to improve the surface of aluminum to its hydrophobic properties. To reduce food adhesion on aluminum surfaces This simplifies cleaning and reduces cleaning time. It will study the factors of electric current and duration of anodizing by using electroplating machine to anodize metal. It uses currents of 1, 2 and 3 amperes. Plating time 15, 30, and 45 minutes and contact angle analysis by contact angle meter Anodizing at a current of 3 amperes for 30 minutes yields the largest contact angle out of the entire sample, 115.80°, which is greater than 90°, meaning that the surface is hydrophobic. Reduces cleaning time and the determination of aluminium contaminated food by machine. The spectrophotometer It was found that the amount of aluminum decreased with the light absorbance. From the research results, the lowest aluminum content was 0.0071 milligrams per liter. which has the greatest contact angle value Therefore, anodizing can help reduce the amount of aluminum that will come off.

Keywords: anodized aluminum, anodization process, contact angle, anodized aluminum contamination

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เนื่องจากได้รับความร่วมมือ และความช่วยเหลือจากหลายบุคคล โดยอย่างยิ่งขอขอบพระคุณท่าน ผศ. ดร. เจษฎา ชัยโณม อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ที่ได้กรุณาเป็นที่ปรึกษาให้ได้ให้คำแนะนำในการทำปริญญาานิพนธ์ และตรวจสอบข้อบกพร่องในเล่มรายงานปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จนมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาที่คอยให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำต่าง ๆ ในการทำการปริญญาานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

และสุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณครอบครัวที่คอยให้การสนับสนุนในทุกด้านเป็นอย่างดี รวมทั้งเป็นกำลังใจที่ดีให้มาตลอด

คณะผู้จัดทำ



สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ii
กิตติกรรมประกาศ.....	iii
สารบัญ.....	iv
สารบัญตาราง.....	vii
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การทดลอง.....	2
1.3 ขอบเขต.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับอลูมิเนียม.....	3
2.1.1 อลูมิเนียม.....	3
2.1.2 คุณสมบัติทั่วไปของอลูมิเนียม.....	4
2.1.3 ชนิดของอลูมิเนียม.....	5
2.1.4 ประโยชน์ของอลูมิเนียม.....	8
2.1.5 อันตรายจากอลูมิเนียม.....	8
2.2 การชุบโลหะด้วยกระบวนการอโนไดเซชัน.....	9
2.3 มุมสัมผัส (Contact angle)	10

สารบัญ (ต่อ)

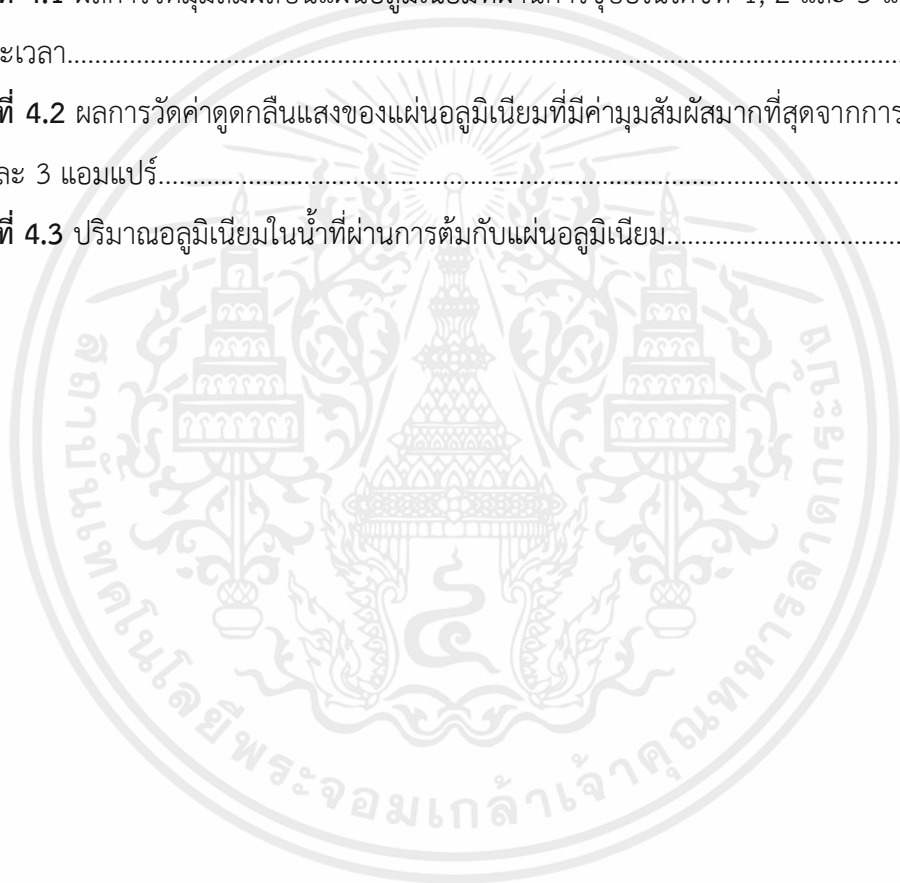
เรื่อง	หน้า
2.3.1 แบบไม่ชอบน้ำ หรือ hydrophobic หรือ non-wetting.....	10
2.3.2 แบบชอบน้ำ หรือ hydrophilic หรือ wetting.....	10
2.4 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง.....	11
2.4.1 Spectrophotometer.....	11
2.4.2 นิยามของ ค่าการส่งผ่าน (Transmittance) และ ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance).....	11
2.4.3 กฎของเบียร์และแลมเบิร์ต.....	12
2.5 ปริมาณลูมิเนียมที่รับได้.....	13
2.6 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	16
3.1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์.....	16
3.2 ขั้นตอนการทำกระบวนการอโนไดเซชัน.....	16
3.3 การวิเคราะห์คุณภาพ.....	17
3.3.1 การวิเคราะห์หุ้มสัมผัส.....	17
3.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณลูมิเนียมปนเปื้อนในน้ำ.....	17
3.4 อุปกรณ์.....	18
3.4.1 เครื่องจักรและวัสดุอุปกรณ์สำหรับการทำกระบวนการอโนไดเซชัน.....	18
3.4.2 เครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์.....	18

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	19
4.1 ผลผลการวัดมุมสัมผัส.....	19
4.2 ค่าการดูดกลืนแสง.....	19
4.3 ปริมาณอลูมิเนียมปนเปื้อนในน้ำ.....	20
บทที่ 5 สรุปผล.....	21
เอกสารอ้างอิง.....	22
ภาคผนวก.....	24
ภาคผนวก ก กระบวนการทดลอง.....	25
ภาคผนวก ข ผลการทดลอง.....	33
ประวัติผู้เขียน.....	34

สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของอลูมิเนียม.....	5
ตารางที่ 2.2 ชนิดของอลูมิเนียมตามมาตรฐาน ASTM ระบบตัวเลข.....	7
ตารางที่ 4.1 ผลการวัดมุมสัมผัสนบนแผ่นอลูมิเนียมที่ผ่านการชุบโนโตซ์ที่ 1, 2 และ 3 แอมแปร์ ในแต่ละระยะเวลา.....	19
ตารางที่ 4.2 ผลการวัดค่าดูดกลืนแสงของแผ่นอลูมิเนียมที่มีค่ามุมสัมผัสมากที่สุดจากการชุบโนโตซ์ที่ 1, 2 และ 3 แอมแปร์.....	19
ตารางที่ 4.3 ปริมาณอลูมิเนียมในน้ำที่ผ่านการต้มกับแผ่นอลูมิเนียม.....	20



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

อลูมิเนียมเป็นโลหะนอกกลุ่มเหล็ก (Non-ferrous metals) อลูมิเนียมบริสุทธิ์จะมีสีขาวเงิน และมีข้อดีมากมาย จึงมักถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง อย่างงานก่อสร้าง, บรรจุภัณฑ์ และวิศวกรรมทั่วไป เนื่องจากมีน้ำหนักที่เบา ความหนาแน่นน้อย และมีกำลังวัสดุต่อน้ำหนักสูง จึงนิยมใช้ทำเครื่องใช้ต่าง ๆ นอกจากนี้ ความสามารถในการยึดตัวของอลูมิเนียมทำให้สามารถขึ้น รูปด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ โดยไม่เสี่ยงต่อการแตกหัก มีจุด หลอมเหลวต่ำ และหล่อหลอมง่าย อลูมิเนียมเป็นโลหะที่ไม่ เป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์จึงใช้ทำภาชนะหุงต้มอาหารได้เป็น อย่างดีและสามารถใช้แทนทองแดงได้เพราะมีความต้านทาน ไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์ต่ำทำให้น้ำไฟฟ้าได้ดี มีความทนทานต่อการ เกิดเป็นสนิมและการผุกร่อนในบรรยากาศที่ใช้งานโดยทั่วไป ได้ดีแต่ไม่ทนต่อการกัดกร่อนของกรดแก่และด่างทั่ว ๆ ไป ซึ่ง อลูมิเนียมเป็นโลหะที่สามารถหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาดและยัง มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง (สถาบันเหล็ก และเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย, 2557) เนื่องจากอลูมิเนียมมีประสิทธิภาพที่ดี จึงมักมีการพัฒนา พื้นผิวให้มีความไม่ชอบน้ำ ซึ่งสามารถยับยั้งการกัดกร่อนและ การเกิดออกซิเดชันได้ตามวิธีการเตรียมพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำยิ่งยวด หรือ ซุปเปอร์ไฮโดรโฟบิก เพราะปกติแล้วอลูมิเนียมจะมีพื้นผิวที่ชอบน้ำ จึงมีการใช้วิธีการต่าง ๆ มากมาย เช่น การชุบผิวด้วยไนโตรไซด์ การชุบด้วยไฟฟ้าหรือการชุบด้วยสารเคมี เป็นต้น วิธีการเหล่านี้ถูกนำมาใช้เพื่อให้พื้นผิวมีความ ไม่ชอบน้ำมากขึ้น (Wenyong Liu et al, 2012)

โดยการชุบไฮโดรโฟบิกเป็นกระบวนการทางเคมีไฟฟ้าที่ใช้สร้าง ชั้นออกไซด์ที่พื้นผิวของโลหะ (องค์การพิพิธภัณฑ์วิทยาศาสตร์ แห่งชาติ, 2564) โดยแผ่นโลหะจะทำปฏิกิริยากับสารละลายอิเล็กโทรไลต์เกิดการก่อตัวของออกไซด์ที่ผิวของแผ่นโลหะจนเกิดเป็นรูพรุนขนาดเล็กบนชั้นออกไซด์ เมื่อเวลาผ่านไปรูพรุนนี้จะเพิ่มความลึกมากขึ้น และเปลี่ยนโครงสร้างจนมีลักษณะคล้ายท่อขนาดเล็กที่เรียงตัวกันเหมือนทรงกลมเกลี้ยงปลายเปิด (อดิพล สว่างอารมณ์, 2557 : 9) จึงทำให้มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ที่เกิดจากการมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลนั้นมากกว่าแรงที่ผิววัตถุนั้น ๆ ทำให้เกิดแรงยึดติด ระหว่างโมเลกุลของสารนั้นมากกว่า เมื่อทำการทดสอบคุณสมบัติการชะล้าง

ด้วยตัวเองของผิวโลหะที่ถูกเคลือบด้วยสารเคลือบแล้ว ปรากฏว่าหยดน้ำนั้นกลิ้งไปบนผิวโลหะและสามารถดึงสิ่งสกปรกบนผิวโลหะออกไปหมดได้ ซึ่งเป็นสมบัติที่ต้องการในสำหรับการใช้ทำเครื่องครัว ถ้าหากเทียบกับผิวโลหะที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบผิวแล้ว เมื่อหยดน้ำลงไปบนพื้นผิวหยดน้ำจะไม่สามารถกลิ้งได้ (สมาคมฟิสิกส์ไทย, 2563)

ซึ่งเครื่องครัวอย่างกระทะที่มีการเคลือบโลหะด้วยโพลีเตตระฟลูออโรเอทิลีน (PTFE) หรือที่นิยมเรียกกันว่า เทฟลอน (Teflon) นั้นมีข้อจำกัดในเรื่องของอุณหภูมิ แม้ตัวของ PTFE จะมีคุณสมบัติทนความร้อน แต่ก็ไม่สามารถทนความร้อนสูงได้ เพราะสารเทฟลอนที่ใช้เคลือบนั้นจะหลุดกลายเป็นไอและออกสู่อากาศกลายเป็นควันที่อันตรายต่อร่างกาย เป็นสารระเหยที่อันตรายกว่า Carbonyl Fluoride อีกทั้งยังเกิดรอยขีดขูดได้ง่ายทำให้มีอายุการใช้งานที่สั้นหากไม่ระวัง ส่วนอลูมิเนียมที่ผ่านการโหนดซ์แล้วจะมีความทนทานสูงขึ้นกว่าอลูมิเนียมบริสุทธิ์ ซึ่งทนได้ทั้งรอยขีดข่วน การกัดกร่อนจากกรดหรือด่างที่รุนแรง และนำความร้อนได้ดีกว่า มีน้ำหนักเบา อีกทั้งช่วยยืดอายุการใช้งานอีกด้วย และเมื่อเปรียบเทียบกัน แล้วการโหนดซ์อลูมิเนียมนั้นมีต้นทุนที่ถูกกว่า PTFE ดังนั้นในโครงการงานนี้จึงจะทำการศึกษากระบวนการโหนดซ์ชั้นที่เหมาะสมทำให้พื้นผิวเกิดมัมส์ที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ และปริมาณการปนเปื้อนอลูมิเนียมในอาหาร

1.2 วัตถุประสงค์การทดลอง

1.2.1 เพื่อศึกษามัมส์ที่ได้จากการโหนดซ์อลูมิเนียม ด้วยกระบวนการโหนดซ์ชั้น

1.2.2 เพื่อศึกษาปริมาณของอลูมิเนียมที่ปนเปื้อนในอาหาร หลังจากผ่านชุปการโหนดซ์แล้ว

1.3 ขอบเขต

1.3.1 ศึกษาและเปรียบเทียบมัมส์ของอลูมิเนียมที่ทำการเคลือบด้วยกระบวนการโหนดซ์ชั้นที่กระแสไฟฟ้า 1, 2 และ 3 แอมแปร์ และที่ระยะเวลาในการชุบเป็น 15, 30 และ 45 นาที

1.3.2 ศึกษาปริมาณการปนเปื้อนของอลูมิเนียมที่ผ่าน กระบวนการโหนดซ์ชั้นในอาหาร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เข้าใจกระบวนการวิเคราะห์การปนเปื้อนมากขึ้น

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับอลูมิเนียม

2.1.1 อลูมิเนียม

อลูมิเนียม เป็นโลหะที่พบได้ในธรรมชาติพบมากบนชั้นผิวเปลือกโลก ซึ่งจะพบในรูปของแร่บอกไซต์ ซึ่งมีการสร้างเหมืองเพื่อนำแร่บอกไซต์มาผ่านกระบวนการจนได้เป็นเม็ดกลมๆ สีขาว เรียกว่า อลูมินา แล้วนำอลูมินาที่ได้มาสกัดจนได้เป็นอลูมิเนียมออกมา โดยจะมีลักษณะ ภายนอกเป็นสีขาว คล้ายสีเงิน มีความมันวาว สามารถชุบสีเพื่อความสวยงามได้อีก และเนื่องด้วยอลูมิเนียมมีน้ำหนักแค่ 1 ใน 3 ของเหล็ก และมีคุณสมบัติที่ดีพอกับโลหะชนิดอื่น ได้แก่ จุดหลอมเหลวต่ำ จึงทำให้หลอมขึ้นรูปได้ง่าย ค่าความหนาแน่นน้อย ทนต่อการเกิดสนิมและการผุกร่อนได้ดี นำความร้อนดี ไม่มีพิษต่อร่างกาย นำไฟฟ้าได้ดี และยังมีราคาที่ถูกสามารถจับต้องได้ จึงมีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม เช่น การผลิตกระป๋องใส่อาหาร การผลิตยานยนต์ เป็นต้น (บริษัท ไทยเจริญเทค จำกัด, 2565 : ออนไลน์) แต่หากเป็นอลูมิเนียมบริสุทธิ์นั้น จะไม่แข็งแรงจึงจำเป็นต้องผสมโลหะชนิดอื่นเพื่อเสริมความแข็งแรง เช่น ผสมอัลลอย ทองแดง สังกะสี เป็นต้น (กริชวรรณ เกี่ยวชายสงค์, 2564) แม้ในปัจจุบันประเทศไทยจะไม่มีเหมืองแร่บอกไซต์ ไว้สำหรับการผลิตอลูมิเนียมเรามีอลูมิเนียมจากการผลิตโลหะอลูมิเนียมจากเศษโลหะอื่น เพื่อใช้หมุนเวียนในประเทศเท่านั้น ส่งผลให้ประเทศไทยยังต้องนำเข้าอลูมิเนียมจากต่างประเทศจำนวนมาก อาทิเช่น ประเทศออสเตรเลีย, อินโดนีเซีย, จีน เป็นต้น เนื่องจากมีความต้องการที่จะใช้อลูมิเนียมที่มีความบริสุทธิ์สูงในบางอุตสาหกรรม (สถาบันเหล็ก และเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย, 2557)

จากการประเมินแนวโน้มความต้องการใช้อลูมิเนียมในตลาดโลกปี 2565 คาดว่าจะมีปริมาณ 70 ล้านตัน มากกว่าการผลิตอลูมิเนียมทั่วโลกที่มี 68 ล้านตัน ซึ่งสถานการณ์แบบนี้จะเกิดต่อเนื่องจนถึงปี 2566 และในปี 2567-2568 ปริมาณความต้องการอลูมิเนียมคาดว่าจะมากกว่าเดิม เนื่องจากแนวโน้มตลาดด้านรถยนต์ไฟฟ้า, แผงโซลาร์ และกังหันพลังงานลม EV เนื่องจากนโยบายการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั่วโลก โดยประเทศไทยนำเข้าอลูมิเนียมทั้งแผ่นบาง และแผ่นหนาจากจีนมี

ปริมาณมากขึ้นจากปี พ.ศ. 2560 นำเข้า 55% และพ.ศ. 2564 นำเข้ามากขึ้นเป็น 76% (ประชาชาติธุรกิจ, 2565)

ในประเทศไทยมีความต้องการใช้อลูมิเนียมแผ่น 35,000-400,000 ตันต่อปี ประมาณ 1% ของโลก แต่มีผู้ผลิตในประเทศซึ่งเป็นสมาชิกในกลุ่มอุตสาหกรรมอลูมิเนียม สามารถผลิตอลูมิเนียมได้ถึง 320,000 ตันต่อปี เพื่อส่งให้อุตสาหกรรมกระป๋องอลูมิเนียมภายใน และส่งออกต่างประเทศ ทั้งนี้ไทยมีการใช้กำลังการผลิตภาพรวมอยู่ที่ 80% (ประชาชาติธุรกิจ, 2564)

2.1.2 คุณสมบัติทั่วไปของอลูมิเนียม

เนื่องจากอลูมิเนียมเป็นโลหะที่มีความหนาแน่นน้อย มีน้ำหนักเบา สามารถขึ้นรูปได้ง่าย ไม่เสี่ยงต่อการแตกหัก ทนทานต่อการกัดกร่อน และไม่เป็นพิษต่อมนุษย์ โดยเฉพาะเมื่อนำอลูมิเนียมไปผสมกับโลหะอื่นๆ จะทำให้คุณสมบัติของอลูมิเนียมบางอย่างเพิ่มมากขึ้น จึงนิยมนำมาผลิตเป็นชิ้นส่วนต่างๆ รวมถึงวัสดุหรือภาชนะที่เกี่ยวข้องกับอาหาร นอกจากนี้ ยังมีคุณสมบัติทางเคมีของอลูมิเนียมในลักษณะต่างๆ ได้แก่

1. เมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจะทำให้เกิดชั้นฟิล์มบางๆ เรียกว่า อลูมิเนียมออกไซด์ เคลือบบนชั้นผิวของอลูมิเนียม เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาอื่นๆ
2. การทำปฏิกิริยากับไนโตรเจนจะทำให้เกิดไนไตรต์ที่อุณหภูมิสูง
3. ไม่ทำปฏิกิริยากับกำมะถัน
4. เมื่อทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจน ไฮโดรเจนจะแทรกเข้าสู่ชั้นในของอลูมิเนียม จำเป็นต้องกำจัดออก
5. สามารถทนต่อกรดอินทรีย์เข้มข้นได้ปานกลาง
6. ทนต่อปฏิกิริยาของด่างได้เล็กน้อย สามารถละลายได้ในสภาวะที่เป็นด่างเข้มข้น
7. เกิดปฏิกิริยากับเกลือได้ ทำให้เกิดการกัดกร่อน (กลุ่มอุตสาหกรรมอลูมิเนียม, 2564)

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของอลูมิเนียม

คุณสมบัติทางฟิสิกส์	
สัญลักษณ์ทางเคมี	Al
ความหนาแน่น	2.70 g/cm ³
จุดหลอมเหลว	660.32 °C
ความร้อนของการกลายเป็นไอ	1800 °C
ความร้อนจำเพาะ (25 °C)	24.2 J/(mol·K)

ที่มา : สถาบันเหล็กกล้า และเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย, 2557

2.1.3 ชนิดของอลูมิเนียม

- อลูมิเนียมบริสุทธิ์ 99% เป็นอลูมิเนียมบริสุทธิ์ที่มีความทนทานต่ำทำให้ง่ายต่อการแปรรูปทนต่อการกัดกร่อนได้ดี โดยที่อลูมิเนียม 1xxx มีความทนทานต่ำกว่า อลูมิเนียม 3xxx จึงง่ายต่อการแปรรูป และอลูมิเนียม 3xxx จะไม่เหมาะต่อการนำไปแปรรูป เนื่องจากมีความทนทานสูง อลูมิเนียม 3xxx จะเหมาะกับการนำไปใช้ในการผลิตที่ต้องการความทนทานมากกว่า อลูมิเนียมที่มีรหัส 2xxx ขึ้นไปเป็นการนำธาตุอื่นเข้ามาผสมเพื่อต้องการคุณสมบัติต่างๆที่เพิ่มขึ้น เช่น จุดหลอมเหลวอลูมิเนียมผสมหลอมเหลวอยู่ที่ 1140-1205 องศาเซลเซียส ทำให้ในการทดลองถ้าจะใช้อลูมิเนียม 3xxx จะต้องใช้อุณหภูมิสูงในการหลอมละลาย (Trinity dynamic corporation limited, 2019)

- อลูมิเนียมอัลลอยด์ 1100 มีองค์ประกอบทางเคมีตามมาตรฐาน International Standard Organization (ISO) คือ Al 99.00%wt, Si 1.00%wt, Fe 1.00%wt, Mn 0.05%wt, Zn 0.10%wt และ Cu 0.05-0.20%wt ซึ่งอลูมิเนียมชนิดนี้เป็นอลูมิเนียมบริสุทธิ์ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในงานที่ต้องการปรับปรุงด้านการกัดกร่อน เพราะสามารถต้านทาน การกัดกร่อนได้ดี และง่ายต่อการขึ้นรูปตามความต้องการ แต่ความแข็งแรงจะน้อย ตัวอย่างการใช้งาน เช่น ภาชนะ บรรจุอาหาร และสารเคมี (สันติ เขียววิจิตร, 2558)

เราสามารถจำแนกกลุ่มอลูมิเนียมตามมาตรฐานของ ASTM (American Society of Metals) ซึ่งเป็นการจำแนกตาม ระบบตัวเลข 4 หลัก ได้ดังนี้

หลักที่หนึ่ง เป็นสัญลักษณ์ที่สำคัญที่สุดในการแสดงหมวดหมู่ของโลหะผสมใน 8 กลุ่ม เช่น 1xxx แทนหมวดโลหะอลูมิเนียมที่มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.00 โดยน้ำหนัก

หลักที่สอง เป็นตัวเลขที่ใช้กำกับโลหะอลูมิเนียมที่มีการผสมโลหะอื่นให้มีปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เช่น 2024 ที่ประกอบด้วย 4.5Cu, 1.5Mg, 0.5Si และ 0.1Cr เมื่อเปลี่ยนเป็น 2218 จะประกอบด้วย 4.0Cu, 2.0Ni, 1.5Mg และ 0.2Si ซึ่งเป็นการผสม Ni แทน Cr

หลักที่สาม และสี่ เป็นตัวเลขที่แสดงชนิดย่อยของโลหะผสมที่เป็นชนิดเดียวกัน แต่แสดงส่วนผสมที่แตกต่างกัน เช่น 2014 ที่ประกอบด้วย 4.4Cu, 0.8Si, 0.8Mn และ 0.4Mg เมื่อเปลี่ยนเป็น 2017 จะประกอบด้วย 4.0Cu, 0.8Si, 0.5Mn และ 0.1Cr

1xxx หมายถึง อลูมิเนียมที่มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.00% เป็นอลูมิเนียมบริสุทธิ์ที่มีความบริสุทธิ์อยู่ในช่วง 99.30%-99.70% ซึ่งวัสดุในช่วงดังกล่าวเหมาะสำหรับนำมาทำแผ่นสะท้อนแสง และเป็นตัวนำไฟฟ้าได้ดีสำหรับงานในด้านไฟฟ้า วัสดุดิบในกลุ่มนี้ ได้แก่ A1050 A1100

2xxx หมายถึง เป็นอลูมิเนียมที่ถูกผสมด้วยทองแดง เหมาะสำหรับ การถูกนำไปใช้งานทางด้านความร้อน ซึ่งทองนั้นแดงสามารถละลายได้ในอลูมิเนียมสูงสุดที่ 5.65% ณ อุณหภูมิ 548 องศาเซลเซียส และความสามารถในการละลายจะลดลงเมื่อมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดย ณ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ความสามารถในการละลายของทองแดงจะลดลงเหลือประมาณ 0.5% วัสดุดิบในกลุ่มนี้ ได้แก่ A2011 A2014 A2017 A2024

3xxx หมายถึง เป็นอลูมิเนียมที่ถูกผสมเข้ากับแร่แมงกานีส ซึ่ง หากเพิ่มแร่แมงกานีสที่ 1.2% จะได้วัสดุโลหะผสมที่ค่อนข้างมีความแข็งแรง เหมาะสำหรับนำไปใช้ งานในด้านการผลิตโครงสร้างที่ต้องการความทนทาน วัสดุดิบในกลุ่มนี้ ได้แก่ A3003

4xxx หมายถึง ส่วนมากพบในรูปอลูมิเนียมผสมที่ถูกผสมพร้อมกันด้วยแร่ซิลิกอน และแร่อื่น ๆ ในอัตราส่วนน้อยกว่า ตัวอย่างเช่น อลูมิเนียมผสมที่มีอัตราส่วน ซิลิกอน 11.0-13.5% ทองแดง 0.5-1.3% สังกะสี 0.5% เหล็ก 1% แมกนีเซียม 0.8-1.3% และนิกเกิล 0.5-1.3% เหมาะในการนำไปใช้สำหรับงานที่ต้องการการทนทานต่อความร้อน ได้แก่ ลูกสูบ ระบายสูบ ห้องเครื่อง และก้านสูบ เป็นต้น วัสดุดิบในกลุ่มนี้ ได้แก่ A4032

5xxx หมายถึง เป็นอลูมิเนียมที่ผสมเข้ากับแร่แมกนีเซียม โดย ที่ส่วนมากแล้วมักใช้แร่อื่น ๆ ผสมร่วมกัน เนื่องจากแร่แมกนีเซียมมีความสามารถในการละลายรวมถึง การหลอมรวมกับอลูมิเนียมต่ำ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากนำมาใช้เป็นส่วนผสมมากจะทำให้วัสดุเปราะ แตกหักได้ง่ายและ แข็ง จึงสามารถพบอลูมิเนียมที่ผสมเข้ากับแมกนีเซียมในอัตราส่วนที่มากได้ค่อนข้างน้อย วัสดุดิบใน กลุ่มนี้ ได้แก่ A5052 A5056 A5083

6xxx หมายถึง เป็นอลูมิเนียมผสม ที่มีสัดส่วนและปริมาณโดยทั่วไป คือ แมกนีเซียม 0.6-1.2% และซิลิกอน 0.4-1.3% ซึ่งถือว่าเป็น ส่วนผสมที่มีอัตราส่วนน้อย โดยโลหะผสมดังกล่าวสามารถทำการเพิ่มความแข็งแรงด้วยการเติม สัดส่วนของโครเมียมหรือทองแดงเข้าไปได้ วัสดุดิบในกลุ่มนี้ ได้แก่ A6061 A6063

7xxx หมายถึง เป็นอลูมิเนียมผสมที่ถูกนำมาผสมเข้ากับแร่สังกะสี รวมทั้ง แร่อื่น ๆ ในปริมาณเล็กน้อย ได้แก่ แมกนีเซียม เป็นกลุ่มอลูมิเนียมที่มีคุณสมบัติเด่นในด้านความ แข็งแรงและมีความ ทนทานสูง จึงมักถูกนำไปใช้ในงานด้านการผลิตยานอวกาศ และโครงสร้างที่มี ขนาดใหญ่ เป็นต้น วัสดุดิบในกลุ่มนี้ ได้แก่ A7075

8xxx หมายถึง ธาตุอื่น ๆ เช่น นิกเกิล (Nickel, Ni), ไททาเนียม (Titanium, Ti), โครเมียม (Chromium, Cr), บิสมัท (Bismuth, Bi) และตะกั่ว (Lead, Pb) (บริษัท ฮีโน่ เทคโนโลยี จำกัด, 2562)

ตารางที่ 2.2 ชนิดของอลูมิเนียมตามมาตรฐาน ASTM ระบบตัวเลข

สัญลักษณ์	ธาตุหลักที่ผสมในอลูมิเนียม
1xxx	อลูมิเนียมที่มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99%
2xxx	ทองแดง (Copper, Cu)
3xxx	แมงกานีส (Manganese, Mn)
4xxx	ซิลิกอน (Silicon, Si)
5xxx	แมกนีเซียม (Magnesium, Mg)
6xxx	แมกนีเซียม (Magnesium, Mg) และซิลิกอน (Silicon, Si)
7xxx	สังกะสี (Zinc, Zn)
8xxx	ธาตุอื่นๆ (Other Element)

ที่มา : “ผลกระทบของกรรมวิธีทางความร้อนต่อคุณสมบัติทางกลของรอยต่ออลูมิเนียมด้วยกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน,” โดย เฉลิมพล คล้ายนิล, 2556, น. 5

2.1.4 ประโยชน์ของอลูมิเนียม

เนื่องด้วยอลูมิเนียมเป็นโลหะที่มีน้ำหนักเบา แข็งแรง และมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดี จึงเหมาะกับการนำไปใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์หลากหลายประเภท ได้แก่

1. ด้านการก่อสร้าง - มักใช้เป็นโครงสร้าง และวัสดุตกแต่งในงานต่าง ๆ โครงสร้างเสา, กอบประตู, หน้าต่าง, รั้ว, ราวกัน, บันได เนื่องจากมีคุณสมบัติคงทน น้ำหนักเบา และอื่น ๆ ซึ่งสามารถทดแทนไม้ และเหล็กได้เป็นอย่างดี

2. ด้านการขนส่ง - มักใช้เป็นวัสดุโครงสร้างในอุตสาหกรรมรถยนต์ เนื่องจากมีน้ำหนักเบา ไม่เป็นสนิม มีอายุการใช้งานมากกว่าวัสดุอื่น ๆ และสามารถรับแรงกด แรงกระแทกได้มาก จึงนิยมนำมาใช้เป็นชิ้นส่วนรถยนต์ เครื่องบิน รถไฟ และยานพาหนะอื่น ๆ

3. ด้านบรรจุภัณฑ์ - อลูมิเนียมนิยมนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุอาหาร และเป็นภาชนะสำหรับประกอบอาหาร เช่น ฟอยล์ครอบอาหาร, กระจ่างบรรจุอาหาร, จาน, ชาม หม้อ, กระทะ เป็นต้น เนื่องจากเป็นโลหะที่ไม่ทำปฏิกิริยากับอาหาร หรือสารเคมีอื่นง่าย ไม่เกิดสนิม และทนต่อความร้อน การกัดกร่อนได้ดี

4. อุตสาหกรรมไฟฟ้า - มักใช้อลูมิเนียมเป็นส่วนประกอบของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ สายไฟฟ้า เนื่องจากเป็นสื่อนำไฟฟ้าได้ดี มีน้ำหนักเบา มีความคงทน และไม่เกิดสนิม (กรีซวอร์ดน เกี้ยวชายสงค์, 2564)

2.1.5 อันตรายจากอลูมิเนียม

อลูมิเนียมสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางการกิน (ปนเปื้อนมากับอาหาร) และการสูดหายใจเข้าไป (มูลนิธิสมาอาชีวะ, 2556) โดยปริมาณอลูมิเนียมที่ได้รับจากการบริโภคอาหารต่อสัปดาห์ไม่ควรเกิน 1 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม น้ำหนักตัว (ศศิธร หอมดำรงวงศ์, 2558)

หากได้รับในปริมาณสูงต่อเนื่องอาจก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกายได้เช่นเดียวกับโลหะหนักทุกชนิด สามารถได้รับพิษอลูมิเนียมจากการปนเปื้อนในอาหาร น้ำดื่ม และจากการหายใจเอาฝุ่นของอลูมิเนียมเข้าไปก่อให้เกิดปอดอักเสบได้ และเมื่อเข้าสู่ร่างกายทางระบบทางเดินอาหาร จะส่งผลกับกระดูก โดยก่อให้เกิดโรคกระดูกพรุน และอลูมิเนียมยังรบกวนการดูดซึมของธาตุเหล็กจากระบบทางเดินอาหาร จึงส่งผลให้ร่างกายขาดธาตุเหล็ก ส่งผลให้เกิดภาวะซีด และยังสะสมในสมองส่งผลให้

มีอาการทางสมองได้เช่น อาการชัก ขาดสมาธิ นอกจากนั้นยังสะสมได้ในกล้ามเนื้อทำให้กล้ามเนื้ออ่อนแรง (หาหมอ แนะนำทุกโรค แนะนำทุกหมอ, 2558 : ออนไลน์)

ทั้งนี้อลูมิเนียมยังสามารถเป็นธาตุที่พบได้ทั่วไปทั้งในดิน น้ำ และอากาศ ซึ่งมนุษย์สามารถรับอลูมิเนียมเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งจากการรับประทานอาหาร การหายใจ และการสัมผัสทางผิวหนัง

2.2 การชุบโลหะด้วยกระบวนการอโนไดเซชัน

การชุบโลหะด้วยกระบวนการอโนไดเซชันเป็นกระบวนการเปลี่ยนพื้นผิวของวัตถุให้มีชั้นความหนาที่มีรูพรุน (pores) ซึ่งมีการจัดเรียงตัวแบบคริสตัล จึงทำให้พื้นผิวอโนไดซ์มีความแข็งแรงสูง มีความต้านทานไฟฟ้า และมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าปกติ และมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าปกติ ซึ่งรูพรุน (pores) สามารถใส่สารปรุงแต่งเพื่อเพิ่มคุณสมบัติตามต้องการของชั้นผิวได้ การเกิดชั้นผิวอโนไดซ์ของอลูมิเนียมเกิดขึ้นโดยการผ่านไฟฟ้ากระแสตรงระหว่างขั้วแอโนด (ขั้วบวก) ซึ่งจับกับชิ้นงานที่ต้องการชุบ และขั้วแคโทด (ขั้วลบ) ซึ่งโดยส่วนมากใช้ แอโนดชนิดตะกั่ว-ดีบุก โดยมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็นสื่อนำไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนที่ขั้วแคโทด และแก๊สออกซิเจนที่ขั้วแอโนด ก่อให้เกิดชั้นผิวอลูมิเนียมออกไซด์ การควบคุมความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้า มีผลต่อการเกิดชั้นผิว อโนไดซ์ ทั้งในเรื่องความหนาและความแข็งแรงของชั้นผิว ชั้นผิวที่หนามักจะเกิดขึ้นในเงื่อนไขที่ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์มาก และอุณหภูมิต่ำ โดยใช้ความต่างศักย์ และกระแสไฟฟ้าสูงๆ สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายวัสดุ เช่น ไทเทเนียม สังกะสี แมกนีเซียม นีโอเบียม เซอร์โคเนียม แทนทาลัม หรือแม้แต่ เหล็กคาร์บอน แต่ที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย คือ การชุบอโนไดซ์อลูมิเนียมเพื่อเคลือบสี ซึ่งใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น อุปกรณ์ตกแต่งรถยนต์ บรรจุภัณฑ์เครื่องสำอาง เป็นต้น (บริษัท พงศ์บัณฑิต เมทัลเว็คส์ จำกัด, 2565)

การชุบอโนไดซ์ด้วยสารเคมีแบบพื้นฐานที่นิยมกันมี 3 ประเภท

1. การชุบอโนไดซ์ด้วยกรดโครมิก ปกติแล้วจะใช้กับชิ้นงานที่ไม่ต้องการความแข็งแรงของผิวมากนัก วิธีการนี้จะใช้สารละลายโครมิกเป็นสารนำไฟฟ้าในการชุบ จะให้ความหนาของผิวชิ้นงานไม่เกิน 18 ไมครอน(บางที่สุด) นิยมนำไปใช้ในการเคลือบแบบอื่นต่อ เช่น ชุบ หรือ พ่นสี เพราะผิวที่เคลือบจะสะอาด และเรียบ ทำให้เม็ดสียึดเกาะได้ดี มีความคงทนสูงและไม่ทำให้สีที่ชุบหรือพ่นนั้น ผิดเพี้ยนจากสีเดิม

2. การชุบโนโดซ์ด้วยกรดซัลฟิวริก นิยมใช้กับชิ้นงานที่มีความต้องการความแข็งผิวนอกค่อนข้างสูง วิธีการนี้ใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกเป็นสารนำไฟฟ้าในการชุบ ทำให้ความหนาของชิ้นงานมากถึง 25 ไมครอน จะมีสมบัติที่ดีขึ้นกว่าแบบแรก สามารถทนการกัดกร่อน ทนการเสียดสี และยืดอายุวัสดุได้มากขึ้น เป็นวิธีการที่นิยมกันมากที่สุดเพราะเทียบแล้วจะมีต้นทุนต่ำสุดทั้งในเรื่องของระยะเวลาในการชุบกับสมบัติที่เพิ่มขึ้น ไม่ได้ต้องการความหนามาก แต่ก็ยังต้องการยืดอายุของวัสดุ

3. การชุบโนโดซ์แบบหนาด้วยกรดซัลฟิวริก นิยมใช้กับชิ้นงานที่ต้องการความแข็งของผิวสูงมาก วิธีการนี้ยังคงใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกเป็นสารนำไฟฟ้าอยู่แต่ต้องการให้ความหนาของผิวชิ้นงานนั้นมากกว่า 25 ไมครอน ถึง 150 ไมครอน วิธีนี้จำเป็นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิกระแสไฟฟ้าที่ใช้ต้องสูงขึ้น อย่างนี้เป็นต้น ต้นทุนเพิ่มขึ้นทั้งในเรื่องของค่าใช้จ่ายและเวลาในการชุบ แต่สมบัติที่เพิ่มขึ้นนี้จะทำให้ชิ้นงานทนทาน และยืดอายุได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับ 2 แบบแรก นิยมใช้กับวัสดุที่ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพด้านความแข็งแรงทนทานมากที่สุด ยืดอายุเวลาให้มากที่สุด มักเป็นวัสดุที่เคลื่อนย้ายยาก ๆ (สมสะอาดการชุบ, 2566)

2.3 มุมสัมผัส (Contact angle)

มุมสัมผัส คือ มุมระหว่างระนาบของของเหลวกับอากาศที่กระทำต่อกัน ซึ่งมุมสัมผัสใช้ในการบ่งบอกคุณลักษณะของชิ้นงานหรือบอกความสามารถของการเปียกของของเหลว เช่น น้ำ, น้ำมัน เป็นต้น โดยสามารถวัดค่ามุมสัมผัสได้ด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส ความสามารถต่อการเปียกของของเหลวเมื่อสัมผัสกับผิววัสดุ สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท ได้แก่

2.3.1 แบบไม่ชอบน้ำ หรือ hydrophobic หรือ non-wetting

แสดงสมบัติแบบไม่ชอบน้ำ เมื่อของเหลวสัมผัสกับผิววัสดุ ทำมุมกันมากกว่า 90° ซึ่งจะทำให้น้ำกลิ้งออกจากชิ้นงานได้ง่ายและช่วยจัดสิ่งสกปรกได้ดีกว่ามุมสัมผัสที่น้อย

2.3.2 แบบชอบน้ำ หรือ hydrophilic หรือ wetting

แสดงสมบัติแบบชอบน้ำ เมื่อของเหลวสัมผัสกับผิววัสดุ ทำมุมกันน้อยกว่า 90° ช่วยในการเชื่อมหรือติดระหว่างชั้นของของเหลวกับชั้นของของแข็งให้แน่นสนิทกัน (จิตรรัตน์ เพรศแก้ว, 2555)

ในกรณีที่ของเหลวกระจายอยู่บนผิวของของแข็งอย่างสม่ำเสมอหรือเปียกด้วยของเหลวนั้น เปียกสมบูรณ์ (Perfect wetting) คือ มีค่ามุมสัมผัส $\theta < 10^\circ$ เมื่อมุมสัมผัสมีค่า $\theta < 90^\circ$ แสดงว่ามี

การเปียกมาก (high wetting) และเมื่อมุมสัมผัสมีค่า $\theta > 90^\circ$ เรียกว่า ไม่ค่อยเปียก (poor wetting) และที่มุมสัมผัสมีค่า $\theta > 150^\circ$ คือไม่เปียกเลย (nonwetting) (igl coatings, 2019)

2.4 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง

2.4.1 Spectrophotometer

เครื่องมือวิเคราะห์สารตัวอย่างที่อาศัยหลักการดูดกลืนรังสีของสารที่อยู่ในช่วง Ultra violet (UV) และ Visible (VIS) ซึ่งมีช่วงความยาวคลื่นประมาณ 190-1000 nm โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์เชิงปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง เมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่มีความยาวคลื่นค่าต่างๆตามกฎของ Beer-Lambert ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในระบุชนิดและปริมาณของสารต่างๆที่มีอยู่ในสารตัวอย่างได้ (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , 2566)

การหาปริมาณสารโดยวิธีการทางห้องปฏิบัติการที่นิยมใช้คือ การวัดความเข้มของสี (colorimetry) หรือการวัดความเข้มของแสง โดยการเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน ที่ทราบค่าเปรียบเทียบกับความเข้มของสีอาศัยสายตา (visual colorimetry) ซึ่งมีความถูกต้องและแม่นยำต่ำ ต่อมาจึงได้มีการนำตัวไวแสง (photosensor) มาใช้แทนการเปรียบเทียบกับสายตา จึงเรียกเครื่องมือที่ใช้ตัวไวแสงว่า “photoelectric colorimeter” หรือ “photometer” เนื่องจากสารที่จะวัดมีความสามารถในการดูดกลืนแสง (spectrum) ที่แตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อให้การวัดมีความจำเพาะและความไวสูง จึงได้พัฒนาเครื่องมือที่สามารถวัดความเข้มของแสงช่วงความยาวคลื่นแคบ ๆ ได้อย่างต่อเนื่องตามต้องการ และใช้ตัวไวแสงที่มีประสิทธิภาพสูง เครื่องมือดังกล่าวถูกเรียกว่า “สเปกโตรโฟโตมิเตอร์” (spectrophotometer) (ชูชาติ อารีจิตรานุสรณ์, 2566)

2.4.2 นิยามของ ค่าการส่งผ่าน (Transmittance) และ ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)

ถ้าปล่อยคลื่นแสงความยาวคลื่นหนึ่ง ซึ่งมีความเข้มของพลังงานเท่ากับ I_0 ผ่านสารละลายตัวอย่างหนึ่ง ความเข้มของพลังงานแสงหลังผ่านสารละลายตัวอย่างเท่ากับ I_t ซึ่งค่า I_t มักมีค่าน้อยกว่า I_0 เพราะพลังงานส่วนหนึ่งถูกโมเลกุลของสารละลายดูดกลืนไว้ อัตราส่วนระหว่าง I_t/I_0 เรียกว่า transmittance (T) ใช้เป็นดัชนีที่บอกถึงปริมาณพลังงานที่ถูกดูดกลืนโดยสารละลาย แต่จะมีพลังงาน

ส่วนหนึ่งถูกดูดกลืนหรือสะท้อนจากผิวของภาชนะใส่สารละลาย (คิวเวตต์; cuvette) (IR) แก้วโดยวัดการดูดกลืนแสงของสารละลายอ้างอิง (reference solution or blank solution) เพื่อนำมาหักล้างพลังงานแสงที่ถูกดูดกลืนหรือสะท้อนจากผิวของภาชนะใส่สารละลาย โดยสารละลายอ้างอิงนี้จะมีโมเลกุลของสารต่างๆเหมือนกับสารละลายตัวอย่าง ยกเว้นไม่มีโมเลกุลสารที่จะวัดการดูดกลืนแสง และการวัดจะใช้คิวเวตต์ที่มีความหนาและความกว้างเท่ากัน ในอุดมคติแล้วสารละลายอ้างอิงจะไม่ดูดกลืนแสง ดังนั้น I_0 และ I_R จะมีค่าเท่ากัน ดังนั้นค่า T ของสารละลายอ้างอิงจึงเท่ากับ I_R / I_0 หรือ 1.00 ค่า T จะน้อยกว่า 1.00 เสมอ จึงนิยมวัดเป็นค่า %T แทน โดย $\%T = 100T$ การวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย นิยมปรับค่า %T ของคิวเวตต์ที่ใส่สารละลายอ้างอิงเป็น 100 %T ดังนั้นค่า T ของสารละลายตัวอย่างเทียบกับสารละลายอ้างอิงจะเท่ากับ I_s / I_R

เมื่อพิจารณาจากนิยามของ T หรือ %T จะเห็นว่าเป็นการวัดสัดส่วนของพลังงานแสงที่เหลือหลังการดูดกลืนของสารละลาย เพื่อใช้เป็นดัชนีบอกค่าการดูดกลืนแสง ค่า %T น้อยแสดงว่ามีการดูดกลืนแสงมาก ในทางกลับกัน ถ้าค่า %T มากแสดงว่ามีการดูดกลืนแสงน้อย ความสัมพันธ์เป็นแบบผกผันกันระหว่างค่า %T กับการดูดกลืนแสง นักวิทยาศาสตร์จึงกำหนดค่าดัชนีอีกค่าคือ ค่าดูดกลืนแสง (absorbance; A or optical density; OD) เพื่อใช้บอกค่าการดูดกลืนแสง (วิสุทท์ กังวานตระกูล, 2557) โดยกำหนดให้

$$\begin{aligned} A &= \log (I_0/I_R) = -\log T \\ &= \log (1/T) = \log (100/\%T) \\ &= \log 100 - \log \%T = 2 - \log \%T \end{aligned}$$

หรือ

$$A = 2 - \log \%T$$

สมการที่ 1

2.4.3 กฎของเบียร์และแลมเบิร์ต

1. กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's law) กล่าวว่า “ถ้าเพิ่มความกว้างระยะทางที่แสงเดินทางผ่านสารละลาย ค่าการดูดกลืนแสงจะมากขึ้นตามอย่างเป็นสัดส่วน” หรือก็คือ ค่าดูดกลืนแสงของสารละลายจะแปรผันตามความกว้างของสารละลายที่แสงผ่าน หรือ $A \propto b$ เมื่อ b คือ ความกว้างของระยะทางที่แสงเดินทางผ่านสารละลาย

2. กฎของเบียร์ (Beer's law) กล่าวว่า “ถ้าสารละลายมีความเข้มข้นมากขึ้นค่าดูดกลืนแสงของสารจะมากขึ้นตาม เป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น ในทางกลับกันถ้าสารละลายมีความเข้มข้น

ชั้นลดค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงอย่างเป็นสัดส่วนเช่นกัน” หรือก็คือ ค่าดูดกลืนแสง ของสารจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย หรือ $A \propto C$ เมื่อ C คือ ความเข้มข้นของสารละลาย

เมื่อรวมกฎทั้งสองกฎเข้าด้วยกัน จะได้ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายจะแปรผันตามความเข้มข้นและความกว้างระยะทางที่ แสงเดินทางผ่านสารละลาย หรือ $A \propto bC$

ถ้าแปลความหมายของกฎเป็นสมการคณิตศาสตร์จะได้ดังนี้

$$A = kbC$$

สมการที่ 2

โดย k เป็นค่าคงที่ ถ้ากำหนดให้ความเข้มข้นของสารละลาย (C) มีหน่วยเป็น กรัม/ลิตร หรือ g/L ความกว้างของสารละลายที่แสงเดินทางผ่าน (b) มีหน่วยเป็น เซนติเมตร จะใช้ a เป็นสัญลักษณ์แทน ค่าคงที่ k และนิยาม a ว่า “ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง” (absorptivity) (วิสุท กังวานตระกุล, 2557)

2.5 ปริมาณอูมิเนียมที่รับได้

การกระจายของอูมิเนียมในอาหาร และความเกี่ยวข้องที่เป็นไปได้แต่ปัจจุบันยังไม่ได้มีการพิสูจน์ว่าการบริโภคอูมิเนียมส่งผลกับความผิดปกติต่างๆ เช่น โรควิลสันหรือไม การประมาณการล่าสุดเกี่ยวกับการบริโภคอูมิเนียมจากอาหาร สำหรับเด็กร่างกายรับปริมาณอูมิเนียมได้ตั้งแต่ 6 - 14 มก./วัน สำหรับวัยรุ่นและผู้ใหญ่ปริมาณอูมิเนียมที่ร่างกายรับภาวะโดยรวมต่ำ ประกอบกับข้อมูลเกี่ยวกับการขับถ่ายปัสสาวะ บ่งชี้ว่าแม้ในการบริโภคระดับสูงแม้มีอูมิเนียมเพียงเล็กน้อยก็ถูกดูดซึมได้ อูมิเนียมที่ถูกดูดซึมจะไปอยู่ที่หัวใจ ม้าม และกระดูกเป็นหลัก แต่ไม่พบว่ามีอูมิเนียมอยู่ในอวัยวะเหล่านี้พร้อมกับรอยโรคทางจุลพยาธิวิทยา จึงได้กำหนดค่าสูงสุดที่สามารถรับได้ต่อสัปดาห์ (PTWI) ไว้ที่ 7 มก./กก.ของน้ำหนักตัว เหมือนกับโซเดียมและฟอสเฟต (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, 1989)

2.6 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Chanyoung Jeong และ Chang-Hwan Choi(2011) ในการศึกษาี้แสดงให้เห็นว่า พารามิเตอร์โหนดสามารถออกแบบโครงสร้างนาโนไฮบริดแบบเสาบนรูพรุน (POP) ได้โดยตรงในกระบวนการโหนดแบบขั้นตอนเดียวเพื่อให้พื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำ โดยการปรับแรงดันไฟฟ้าและระยะเวลาของโหนดทำให้สามารถสร้างโครงสร้างนาโนชนิดไฮบริดที่มีลักษณะเป็นเสาด้านบนชั้นที่มีรูพรุน โดยโครงสร้างนาโนแบบไฮบริดของชั้นออกไซด์ของโลหะโหนดจะช่วยให้เพิ่มความสามารถใน

การขบนำของพื้นผิวอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามหลังจากการขบแบบชั้นเดียว ซึ่งกระบวนการขบโนโดซ์ที่ได้รับการควบคุมอย่างดีแสดงให้เห็นว่าการขบโนโดซ์เคมีไฟฟ้าสามารถเพิ่มคุณสมบัติที่ดีและประสิทธิภาพเพื่อให้พื้นผิวโลหะต่างๆ มีคุณสมบัติที่ไม่ขบนำมาก โดยสร้างโครงสร้างคล้ายเสาด้านบนขบรูพรุนที่ทำได้เองโดยตรงผ่านขั้นตอนการทำงานง่ายๆ เพียงขั้นตอนเดียว ซึ่งกระบวนการขบโนโดซ์เคมีไฟฟ้าแบบเดิมมักจะสร้างโครงสร้างรูพรุนระดับนาโนที่เป็นเนื้อเดียวกัน โครงสร้างจะเป็นแบบระนาบ 2 มิติและมีรูพรุนขนาดเล็กโดยทั่วไปจะส่งผลให้มุมสัมผัสต่ำกว่าและฮิสเทรีซิสของมุมสัมผัสใหญ่กว่าโครงสร้างแบบเสา 3 มิติที่ปลายไม่ได้เชื่อมต่อกัน และด้วยเหตุนี้จึงแสดงประสิทธิภาพที่ไม่ขบนำยิ่งยวดที่ดีต่อยกกว่า

ศศิธร หอมดำรงวงศ์ และคณะ(2558) ได้ศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แคดเมียม และอลูมิเนียมที่ละลายออกมาจากภาชนะหุงต้ม ทดสอบโดยใช้สารละลาย กรดอะซิติก ร้อยละ 4 โดยปริมาตร ต้มให้เดือด 2 ชั่วโมง แล้วจึงวัดปริมาณตะกั่วและแคดเมียมโดยใช้เครื่อง Flame-AAS วัดปริมาณ ส่วนอลูมิเนียมจะวัดด้วยเครื่อง GF-AAS ที่ความยาวคลื่น 257.4 นาโนเมตร ซึ่งจากการทดสอบความถูกต้องของวิธีพบว่าความเป็นเส้นตรงของช่วงการวัดระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว แคดเมียม และอลูมิเนียม ในช่วงความเข้มข้น 0-3.00, 0-0.8 และ 0-0.200 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของตะกั่ว แคดเมียม และอลูมิเนียม เท่ากับ 0.9999, 0.9993 และ 0.9995 ตามลำดับ ผลการทดสอบขีดจำกัดของการตรวจพบ (LOD) ของตะกั่ว แคดเมียม และอลูมิเนียม เท่ากับ 0.05, 0.001 และ 0.004 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ (LOQ) ของตะกั่ว แคดเมียม และอลูมิเนียม เท่ากับ 0.1, 0.01 และ 0.010 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ทดสอบความแม่นยำและความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ โดยการเติมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว แคดเมียม และอลูมิเนียมลงในสารละลายตัวอย่างให้มีความเข้มข้น 3 ระดับ พบว่า % recovery ของตะกั่ว แคดเมียม และอลูมิเนียมอยู่ในช่วง 92-99, 101-103 และ 98-108 ตามลำดับ และค่า % RSD ของ ตะกั่ว แคดเมียม และอลูมิเนียม อยู่ในช่วง 5.5-7.5, 2.3-3.3 และ 2.8-5.9 ตามลำดับ จากการสำรวจปริมาณตะกั่ว แคดเมียม และอลูมิเนียมในภาชนะหุงต้มราคาถูกที่วางขายในตลาดกรุงเทพฯ และปริมณฑล จำนวน 32 ตัวอย่าง โดยใช้วิธีวิเคราะห์นี้ ตรวจพบตะกั่ว ร้อยละ 56 ปริมาณที่พบน้อยกว่า 0.1-3.35 มิลลิกรัมต่อลิตร และแคดเมียมพบร้อยละ 16 ปริมาณที่พบน้อยกว่า 0.01-0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่มีตัวอย่างใดเกินค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 92 (2528) พบว่าภาชนะที่ทำด้วยอลูมิเนียมมีตะกั่วละลายออกมา มากกว่าวัสดุอื่นทั้งปริมาณและจำนวนตัวอย่าง และตรวจพบว่าภาชนะหุงต้มทุกตัวอย่างมีอลูมิเนียมละลายออกมาโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 232 มิลลิกรัมต่อลิตร แม้ปัจจุบันประเทศไทยจะยังไม่มีข้อกำหนด

ของอลูมิเนียมในภาชนะหุงต้ม แต่อลูมิเนียมเป็นโลหะที่อันตรายเพราะอาจก่อให้เกิดโรคเกี่ยวกับระบบประสาทได้ ทาง Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) จึงได้กำหนดค่าสูงสุดที่รับได้ต่อสัปดาห์ (PTWI) ไว้ ไม่เกิน 7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์

- 1) เตรียมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 98 เปอร์เซ็นต์ โดยมีปริมาตรเท่ากับ 720 มิลลิลิตร คิดเป็น 20% ของอัตราส่วนกรด : น้ำ
- 2) เตรียมน้ำกลั่นปริมาตรเท่ากับ 2,880 มิลลิลิตร โดยคิดเป็น 80% ของอัตราส่วนกรด : น้ำ
- 3) นำน้ำกลั่นปริมาตรเทลงไปในถังผสมก่อน จากนั้นค่อย ๆ เทกรดซัลฟิวริกปริมาตร 720 มิลลิลิตร ลงไป แล้วจึงคนให้ผสมเข้ากันเล็กน้อยได้เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์
- 4) ทิ้งสารละลายอิเล็กโทรไลต์ไว้ให้อุณหภูมิลดลง

3.2 ขั้นตอนการทำกระบวนการโหนดเซชัน

- 1) เตรียมแผ่นอลูมิเนียมกว้างคูณยาวขนาด 1 นิ้ว X 3 นิ้ว
- 2) นำแผ่นอลูมิเนียมพันไว้กับลวดแขวนแล้วแขวนไว้ที่แท่นโลหะ จากนั้นจึงนำลงไปจุ่มในสารละลายอิเล็กโทรไลต์
- 3) ตั้งความต่างศักย์ไฟฟ้าไว้ที่ 15 โวลต์ ตลอดการทดลอง
- 4) ตั้งค่าให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านที่ 1 แอมแปร์ และทำการชุบเป็นระยะเวลา 15, 30 และ 45 นาที
- 5) จากนั้นก็จะเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าเป็น 2 และ 3 และทำการเปลี่ยนเวลาชุบของแต่ละกระแสไฟฟ้าเหมือนข้อ 4)
- 6) เมื่อกระแสไหลผ่านและเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับโลหะที่ขั้วลบเกิดก๊าซไฮโดรเจน และที่ขั้วบวกที่มีแผ่นอลูมิเนียมเกิดก๊าซออกซิเจน จนเกิดเป็นอลูมิเนียมออกไซด์ที่ผิว และส่วนหนึ่งกินลงไปเนื้อผิวเดิม

7) นำแผ่นอลูมิเนียมที่ชุบเสร็จแล้วมาล้างน้ำเอาสารละลายอิเล็กโทรไลต์ออก

8) นำแผ่นอลูมิเนียมไปต้มในน้ำร้อน 80°C เป็นเวลา 10 นาที เพื่อเป็นการปิดปากรูพรุนของแผ่นอลูมิเนียมไม่ให้มีสิ่งแปลกปลอมเข้าไป เมื่อเสร็จแล้วจึงนำไปแช่น้ำเย็นเพื่อลดอุณหภูมิ

3.3 การวิเคราะห์คุณภาพ

3.3.1 การวิเคราะห์มุมสัมผัส

- 1) เตรียมอุปกรณ์ในการวัดและติดตั้งเครื่องวัด
- 2) ทำการทดสอบเทียบความถูกต้องของการวัด
- 3) นำแผ่นอลูมิเนียมมาวางบนแท่น
- 4) ทำการวัดมุมสัมผัสโดยปล่อยหยดน้ำให้อยู่ที่ปลายเข็ม และเลื่อนแท่นวางขึ้นเพื่อให้แผ่นอลูมิเนียมสัมผัสกับหยดน้ำ จากนั้นเลื่อนแท่นลงให้หยดน้ำหลุดจากปลายเข็ม โดยทำการวัด 10 จุด เฉลี่ยทั่วทั้งแผ่น

3.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณอลูมิเนียมปนเปื้อนในน้ำ

- 1) เตรียมสารละลายตัวอย่างด้วยการนำแผ่นอลูมิเนียมต้มในน้ำกลั่นในบีกเกอร์ขนาด 200 มิลลิลิตร
- 2) นำไปวางบนเตาให้ความร้อนจนเดือด เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาหยุดให้ความร้อนและนำแผ่นอลูมิเนียมออก จากนั้นแช่บีกเกอร์ในน้ำเย็นเพื่อลดอุณหภูมิ
- 3) นำตัวอย่างน้ำที่ผ่านการต้มกับแผ่นอลูมิเนียมไปใส่ในคิวเวตต์
- 4) จากนั้นนำคิวเวตต์ใส่เครื่อง Spectrophotometer รุ่น Genesys 10s UV-Vis เพื่อหาค่าการดูดกลืนแสงของอลูมิเนียม โดยกำหนดความยาวคลื่นที่ 257.4 MHz บันทึกค่าที่ได้ (จันทร์หาทิพย์ คาระวะ และคณะ, 2558)
- 5) นำค่าการดูดกลืนแสงไปคำนวณในกฎของเบียร์เพื่อหาปริมาณของอลูมิเนียม

3.4 อุปกรณ์

3.4.1 เครื่องจักรและวัสดุอุปกรณ์สำหรับการทำกระบวนการอโนไดเซชัน

1. แผ่นอลูมิเนียม 1100	ขนาด 1 นิ้ว × 3 นิ้ว	จำนวน 9 แผ่น
2. กรดซัลฟิวริก 98%	ปริมาตร 2.5 ลิตร	จำนวน 2 ขวด
3. ปีกเกอร์	ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร	จำนวน 1 ใบ
	ปริมาตร 2,000 มิลลิลิตร	จำนวน 1 ใบ
4. ถู่มือยาง		จำนวน 1 กล่อง
5. เครื่องเคลือบโลหะด้วยไฟฟ้า		จำนวน 1 เครื่อง

3.4.2 เครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์

1. เครื่องวัดมุมสัมผัส
2. เครื่อง Spectrophotometer

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลผลการวัดมุมสัมผัส

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดมุมสัมผัสบนแผ่นอลูมิเนียมที่ผ่านการชุบโนโตซ์ที่ 1, 2 และ 3 แอมแปร์ ในแต่ละระยะเวลา

กระแสไฟฟ้าที่ใช้ (แอมแปร์)	ค่ามุมสัมผัส (Contact angle) (องศา)		
	เวลาที่ใช้ (นาที)		
	15	30	45
1	68.32 ^a	67.84 ^a	76.08 ^a
2	75.11 ^a	64.77 ^a	86.30 ^a
3	73.48 ^a	115.80 ^a	80.90 ^a

หมายเหตุ : a, b, และ c ตัวอักษรที่ต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลการทดลองในตารางที่ 4.1 ผลการวัดมุมสัมผัสบนแผ่นอลูมิเนียมที่ผ่านการชุบโนโตซ์ จะเห็นว่าการชุบโนโตซ์ที่กระแสไฟมากที่สุด 3 แอมแปร์ จะมีค่ามุมสัมผัสมากที่สุด รองลงมาเป็น 2 และ 3 แอมแปร์ ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามค่ามุมสัมผัสบนแผ่นอลูมิเนียมที่ผ่านการชุบโนโตซ์ไม่แตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ และการชุบโนโตซ์ที่กระแสไฟ 3 แอมแปร์ เป็นเวลา 30 นาที ค่ามุมสัมผัสสูงสุด คือ 115.80° ซึ่งมีค่ามากกว่า 90° หมายความว่าพื้นผิวมีความไม่ชอบน้ำสามารถลดการเกาะติดของอาหารได้

4.2 ค่าการดูดกลืนแสง

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดค่าดูดกลืนแสงของแผ่นอลูมิเนียมที่มีค่ามุมสัมผัสมากที่สุดจากการชุบโนโตซ์ที่ 1, 2 และ 3 แอมแปร์

ตัวอย่าง	ค่าการดูดกลืนแสง
1 A, 45 min	0.018 ^a
2 A, 45 min	0.016 ^a
3 A, 30 min	0.007 ^b

หมายเหตุ : a, b, และ c ตัวอักษรที่ต่างกันบ่งบอกถึงความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตัวอย่างแผ่นอลูมิเนียมที่ผ่านการซุบอโนไดซ์ 3 แอมแปร์ เป็นเวลา 30 นาที แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตัวอย่างอื่น ตัวอย่างนี้มีค่าการดูดกลืนแสงน้อยที่สุด คือ 0.007 ซึ่งมีค่าห่างกับตัวอย่างอื่นมาก

4.3 ปริมาณอลูมิเนียมปนเปื้อนในน้ำ

สามารถทราบค่าปริมาณอลูมิเนียมได้จากการหาค่าความเข้มข้นจากกฎของเบียร์ซึ่งเป็นการหาค่าความเข้มข้นของสารละลายโดยใช้ค่าดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณดังสมการที่ 2

$$\text{กฎของเบียร์} \quad A = kbC \quad (2)$$

โดยที่ A = ค่าดูดกลืนแสง

k = ค่าสัมประสิทธิ์การดูดแสงของอลูมิเนียม เท่ากับ $2.66 \times 10^4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ (B. Saritha and T. Sreenivasulu Reddy. 2014)

b = ความกว้างของสารละลายที่แสงเดินทาง (cm)

C = ค่าความเข้มข้นของสารละลาย (mol/L)

ปริมาณอลูมิเนียมคำนวณได้จากนำค่าความเข้มข้นที่ได้จากกฎของเบียร์คูณกับมวลต่อโมลของอลูมิเนียม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 26.98 g/mol

ตารางที่ 4.3 ปริมาณอลูมิเนียมในน้ำที่ผ่านการต้มกับแผ่นอลูมิเนียม

ตัวอย่าง	ปริมาณอลูมิเนียม (มก./ลิตร)
1 แอมแปร์, 45 นาที	0.0183
2 แอมแปร์, 45 นาที	0.0162
3 แอมแปร์, 30 นาที	0.0071

ผลการคำนวณตามตารางที่ 4.3 ตัวอย่างแผ่นอลูมิเนียมที่ผ่านการซุบอโนไดซ์ 3 แอมแปร์ เป็นเวลา 30 นาที มีปริมาณอลูมิเนียมที่ปนเปื้อนในน้ำน้อยที่สุด คือ 0.0071 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมา เป็นตัวอย่างแผ่นอลูมิเนียมที่ผ่านการซุบอโนไดซ์ 2 แอมแปร์ และ 1 แอมแปร์ ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผล

งานวิจัยนี้ศึกษามุมสัมผัสที่ได้ของแผ่นอลูมิเนียมที่ผ่านการชุบด้วยกระบวนการอโนไดซ์ เพื่อให้ผิวของแผ่นอลูมิเนียมมีสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) โดยศึกษาและวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อค่ามุมสัมผัส (contact angle) และศึกษาปริมาณอลูมิเนียมในอาหาร โดยสามารถสรุปผลการการวิจัยได้ดังนี้

จากการผลการวิจัยการทำอลูมิเนียมอโนไดซ์เพื่อให้ผิวของแผ่นอลูมิเนียมมีสมบัติไม่ชอบน้ำด้วยการวิเคราะห์มุมสัมผัสได้ค่ามากที่สุด คือ 115.80° ที่ปริมาณกระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ ระยะเวลาในการชุบ 30 นาที ซึ่งมุมกันมากกว่า 90° จะทำให้น้ำกลิ้งออกจากพื้นผิวได้ซึ่งบ่งบอกว่าพื้นผิวสามารถลดการเกาะติดได้

จากการศึกษาปริมาณอลูมิเนียมโดยใช้เครื่อง Spectrophotometer เพื่อวัดค่าดูดกลืนแสงของสารละลายเทียบกับค่าความเข้มข้นของสารละลาย พบว่าปริมาณอลูมิเนียมลดลงตามค่าการดูดกลืนแสง จากผลการวิจัยได้ค่าปริมาณอลูมิเนียมน้อยที่สุดอยู่ที่ 0.0071 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นตัวอย่างที่ผ่านการชุบอโนไดซ์ที่กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งมีค่ามุมสัมผัสมากที่สุด การชุบอโนไดซ์จึงสามารถลดปริมาณอลูมิเนียมที่หลุดออกมาได้

เอกสารอ้างอิง

- จันทราทิพย์ คารวะ, ธนาศรี สีหะบุตร, ธวัช เพชรไทย, ชัชวาล สิงห์กันต์. 2558. “อลูมิเนียมในปลาทุ้มเค็มที่ปรุงประกอบในหม้ออลูมิเนียม.” *The 34th Nation Graduate Research Conference*. 890-895.
- ธิดารัตน์ เพรศแก้ว. 2555. “ผลของตัวแปรในกระบวนการโซลเจลต่อสมบัติของฟิล์ม TEOS-SiO₂-PDMS.” *วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเซรามิก, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี*.
- บริษัท พงศ์บัณฑิต เมทัลเว็คส์ จำกัด. 2022. ซุบอโนไดซ์. [Online]. Available : <https://www.pomew.com/blog/anodizing/>
- ประชาชาติธุรกิจ. 2564. **ต้นทุนอ่วม ส.อ.ท. ขึ้นเทรดราคา “อลูมิเนียม” ขาขึ้นอีก 2 ปี.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.prachachat.net/economy/news-684319>.
- ประชาชาติธุรกิจ. 2565. **ส่งออกอลูมิเนียมปี'65 ต้นทุนสิ่งแวดล้อมดันราคาขายพุ่ง.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.prachachat.net/economy/news-865746>.
- ศศิธร หอมตำรวงศ์, จตุรงค์ สีนแก้ว, อูมา บริบูรณ์. 2558. “การวิเคราะห์ตะกั่ว แคดเมียม และอลูมิเนียม ที่ละลายออกมาจากภาชนะหุงต้ม.” *วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์*. 57(1) : 37-47.
- สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย. (2557). **การสำรวจสถานภาพอุตสาหกรรมโลหะนอกกลุ่มเหล็ก (Non-ferrous metals) : อลูมิเนียม.** กรุงเทพฯ.
- ห้างหุ้นส่วนจำกัด สมสะอาดการชุบ. 2022. ยืดอายุชิ้นส่วนอลูมิเนียมให้ยาวนานด้วยการชุบ “ซุบอโนไดซ์”. [Online]. Available : <https://www.somsaardkarnchub.co.th/anodize>
- Chayoung Jeong, Chang-Hwan Choi. 2011. “Single-Step-Direct Fabrication of Pillar-on-Pore Hybrid Nanostructures in Anodizing Aluminium for Superior Superhydrophobic Efficiency.” *Applied Materials & Interfaces*. 842-848.
- Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Food and Agriculture Organization of the United Nations & World Health Organization. (1989). Evaluation of certain food additives and contaminants : thirty-third report of the Joint

- FAO/WHO Expert Committee on Food Additives [meeting held in Geneva from 21 to 30 March 1988]. **World Health Organization**. 26-27.
- Igl coatings. 2019. **The scientists of hydrophobicity**. [Online]. Available : <https://blog.iglcoatings.com/the-science-of-hydrophobicity/>
- N.Tsyntsar, B.Kavas, J.Sort, M.Urgen, J.-P.Celis. 2014. “Mechanical and frictional behaviour of nano-porous anodised aluminium.” **Materials Chemistry and Physics**. 148(3) : 887-895.
- Shuo Yan, Ying Chen, Zitao Wang, Aijun Han, Zhihao Shan, Xu Yang, Xufei Zhu. 2017. “Essential Distinction Between One-step Anodization and Two-step Anodization of Ti.” **Material Research Bulletin**. 95 : 444-450.
- Trinity dynamic corporation limited. 2019. อลูมิเนียม(Aluminium). [Online]. Available : <http://www.trinitydynamic.com/A1-aluminium.html>.
- Wenyong Liu, Yuting Luo, Linyu Sun, Ruomei Wu, Haiyun Jiang, Yuejun Liu. 2012. “Fabrication of the superhydrophobic surface on aluminum alloy by anodizing and polymeric coating.” **Applied Surface Science**. 264(2013) : 872-878.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก กระบวนการทดลอง

ภาคผนวก ข ผลการทดลอง

ข.1 คำมุลีม์ผัส

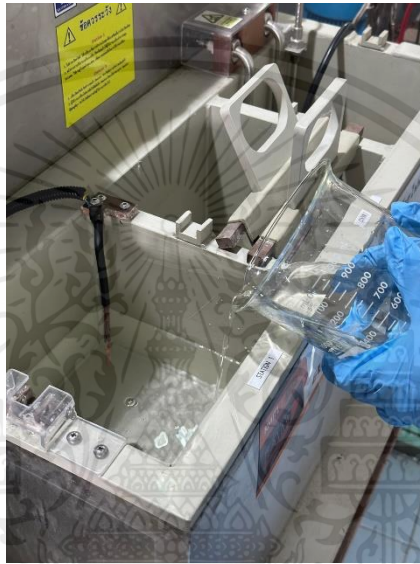
ข.2 คำการดูตกลีนแสง



ภาคผนวก ก

กระบวนการทดลอง

ภาคผนวก ก.1 กระบวนการทดลอง



ผสมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ปริมาตร 720 มิลลิลิตร กับน้ำกลั่น 2,880 มิลลิลิตร และทิ้งให้เย็น



เตรียมแผ่นอลูมิเนียมกว้างคุณยาวขนาด 1 นิ้ว X 3 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



นำแผ่นอลูมิเนียมที่แขวนด้วยลวดมาแขวนไว้ที่แท่นโลหะ แล้วนำลงไปจุ่มลงสารละลายอิเล็กโทรไลต์



ตั้งค่ากระแสไฟฟ้าและตั้งเวลานับถอยหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



นำแผ่นอลูมิเนียมที่ชุบเสร็จแล้วมาล้างน้ำกลั่นเอาสารละลายอิเล็กโทรไลต์ออก



นำแผ่นอลูมิเนียมไปต้มในน้ำร้อน 80°C เป็นเวลา 10 นาที



นำไปแช่น้ำกลั่นลดอุณหภูมิ

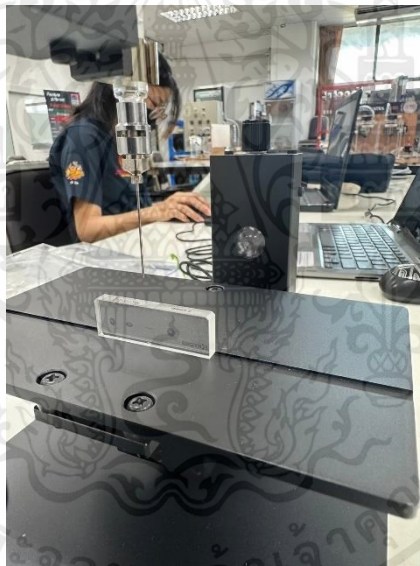


แผ่นอลูมิเนียมหลังผ่านการชุบไนไตรต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เตรียมอุปกรณ์ในการวัดมุมสัมผัส



ทำการปรับเทียบเครื่องมือวัดมุมสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หยดน้ำลงบนแผ่นอลูมิเนียมเพื่อทำการวัดและบันทึกค่า



ต้มแผ่นอลูมิเนียมกับน้ำเดือด 2 ชั่วโมง



ลดอุณหภูมิของน้ำหลังต้ม



นำน้ำที่ต้มแล้วใส่คิวเวตต์



นำคิวเวตตี้ใส่เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์



วัดค่าการดูดกลืนแสงและบันทึกค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

ภาคผนวก ข.1 ค่ามุลัมผัส

ตารางที่ ข.1 ค่ามุลัมผัสเฉลี่ยบนพื้นผิวแผ่นอลูมิเนียมที่ผ่านการซุบอโนไดซ์

ตัวอย่าง	เวลาในการซุบอโนไดซ์ (นาที)					
	15		30		45	
1	42.4	94.24	48.64	87.04	44.72	107.44
2	35.8	105.70	45.36	86.30	44.52	93.74
3	53	93.96	122.9	108.7	67.24	94.56

ภาคผนวก ข.2 ค่าการดูดกลืนแสง

ตารางที่ ข.1 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำที่ต้มกับแผ่นอลูมิเนียมที่ผ่านการซุบอโนไดซ์

ตัวอย่าง	ค่าการดูดกลืนแสง
1 A, 45 min	0.022
	0.023
	0.010
2 A, 45 min	0.014
	0.019
	0.014
3 A, 30 min	0.008
	0.002
	0.010

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	กวีนาถ กัญยาพงศธร
รหัสนักศึกษา	62010038
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร
วัน เดือน ปีเกิด	3 กุมภาพันธ์ 2544
จังหวัดที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ปัจจุบัน	59/6 ซอยรามคำแหง 191/1 ถนนรามคำแหง เขตมีนบุรี แขวงมีนบุรี กรุงเทพมหานคร 10510
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ชื่อ-สกุล	กัญญาณัฐ วรรณสุทธิ
รหัสนักศึกษา	62010047
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร
วัน เดือน ปีเกิด	21 กุมภาพันธ์ 2544
จังหวัดที่เกิด	สระแก้ว
ที่อยู่ปัจจุบัน	6/2 ถนนเทศบาล 1 ตำบลสระแก้ว อำเภอเมืองสระแก้ว จังหวัดสระแก้ว 27000
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง