

การเปรียบเทียบตัวทำละลายในการแยกอะลูมิเนียมฟอยล์ และพลาสติกพอลิเอทิลีน จากบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มยูเอชที

COMPARISON OF SOLVENTS TO SEPARATE ALUMINUM FOIL AND POLYETHYLENE PLASTIC FROM UHT BEVERAGE PACKAGING

พัทธนันท์ นาถพิณี*

Patthanant Natpinit

ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมพลังงานสะอาดและสิ่งแวดล้อม, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
Expert Centre of Innovative Clean Energy and Environment, Thailand Institute of Scientific and
Technological Research

Received: 12 May 2020

Accepted: 20 January 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบตัวทำละลายที่เหมาะสมต่อการแยกอะลูมิเนียมฟอยล์และพลาสติกพอลิเอทิลีนออกจากบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มยูเอชที ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ 1) ชนิดของตัวทำละลาย เช่น ตัวทำละลายอินทรีย์ผสม ระหว่าง เบนซีน เอทานอล และน้ำ, กรดอินทรีย์รวมกับกรดอินทรีย์ เช่น กรดอะซิติก กรดไนตริก และน้ำ และกรดอินทรีย์เดี่ยว คือ กรดอะซิติก เป็นต้น 2) ความเข้มข้นของตัวทำละลาย และ 3) ระยะเวลาในการแยก เป็นต้น ที่มีผลต่อร้อยละการนำกลับมาได้ และร้อยละการสูญเสีย ผลการวิจัยพบว่า ตัวทำละลายอินทรีย์ผสมทั้ง 3 ชนิดนี้ สามารถนำมาแยกอะลูมิเนียม ฟอยล์ออกจากพลาสติกพอลิเอทิลีนได้ โดยอาศัยหลักการละลายของตัวทำละลายที่มีขั้ว และไม่มีขั้ว ซึ่งตัวทำละลายไม่มีขั้วจะสร้างแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลตัวทำละลายกับพลาสติกพอลิเอทิลีน ส่วนตัวทำละลายที่มีขั้วและมีความเป็นกรด จะสร้างแรงดึงดูดไอออนิกระหว่างตัวทำละลายและอะลูมิเนียมออกไซด์ จึงทำให้พลาสติกพอลิเอทิลีน และอะลูมิเนียมฟอยล์แยกออกจากกันได้ โดยตัวทำละลายอินทรีย์ผสมระหว่าง เบนซีน เอทานอล และน้ำ ที่สัดส่วน 35:35:30

* ผู้ประสานงาน: พัทธนันท์ นาถพิณี

อีเมล: patthanant_n@tistr.or.th

โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 60°C เวลา 60 นาที สามารถแยกพลาสติกพอลิเอทิลีน และอะลูมิเนียมฟอยล์ได้ มีร้อยละการนำกลับมาได้สูงสุดที่ 57.78 และร้อยละการสูญเสียที่ 2.68 แต่ยังไม่สามารถแยกแผ่นตัวอย่างพลาสติกอะลูมิเนียมฟอยล์ได้หมด สำหรับกรดอินทรีย์ ร่วมกับกรดอินทรีย์ระหว่างกรดอะซีติกและกรดไนตริก ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 4 โดยปริมาตร ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 60°C เวลา 30 นาที สามารถแยกพลาสติกพอลิเอทิลีน และอะลูมิเนียมฟอยล์ได้ มีร้อยละการนำกลับมาได้สูงสุดที่ 74.20 และร้อยละการสูญเสียต่ำสุดที่ 3.55 แต่ยังคงมีแผ่นตัวอย่างพลาสติกอะลูมิเนียมฟอยล์เหลืออยู่ สำหรับงานวิจัยนี้สรุปได้ว่า กรดอินทรีย์ร่วมกับกรดอินทรีย์ คือ กรดอะซีติก ร้อยละ 10 โดยปริมาตร รวมกับกรดไนตริก ร้อยละ 2 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 60°C เวลา 60 นาที มีร้อยละการนำกลับมาได้สูงสุดที่ 98.50 และร้อยละการสูญเสียต่ำสุดที่ 1.50 นอกจากนี้กรดอินทรีย์เดี่ยว เช่น กรดอะซีติก ร้อยละ 10 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 60°C เวลา 120 นาที มีร้อยละการนำกลับมาได้สูงสุดที่ 98.04 และร้อยละการสูญเสียต่ำสุดที่ 1.96 ซึ่งไม่มีแผ่นพลาสติกอะลูมิเนียมฟอยล์เหลืออยู่เลย โดยตัวทำละลายทั้งสองชนิดนี้เหมาะสมที่จะนำมาแยกพลาสติกพอลิเอทิลีน และอะลูมิเนียมฟอยล์จากบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มยูเอชทีได้

คำสำคัญ: แผ่นพลาสติกอะลูมิเนียมฟอยล์, กรดอะซีติก, กรดไนตริก, เบนซีน, เอทานอล

Abstract

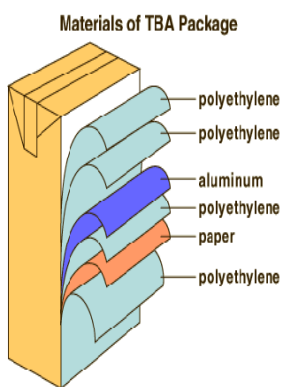
This research aimed to compare the suitable solvent to separate aluminium foil and polyethylene plastic from UHT beverage packaging. The parameters studied were as follows: 1) solvent types; blended organic solvents among benzene, ethanol, and water; mixtures of organic and inorganic acid prepared from acetic acid and nitric acid in the presence of water; and a single organic acid as acetic acid; 2) solvent concentrations; and 3) separating time affecting recovery and loss percentages resulted by those parameters were evaluated. The results reveal that all blended organic solvents could be used to separate aluminium foil from polyethylene plastic based on the principle of dissolution of polar and non-polar solvents. The non-polar solvents created an

interaction between the solvent molecule and the polyethylene plastic, while the polar solvent with the acidity formed the ionic interaction with aluminium oxide which caused the polyethylene plastic be separated from aluminium foil. The blended organic solvents consisted of benzene, ethanol and water with the ratio of 35:35:30 at 60° C for 60 minutes could separate polyethylene plastic from aluminium foil. The highest recovery percentage and the loss percentage of 57.78% and 2.68%, respectively, could be obtained. However, the separation process was not complete at this ratio. The mixtures of organic and inorganic acid prepared from 5 vol% of acetic acid, 4 vol% of nitric acid, and water at 60° C for 30 minutes could separate polyethylene plastic and aluminium foil. Likewise, the highest recovery percentage and the loss percentage of 74.20% and 3.55%, respectively, could be obtained. The separation process was not complete at this ratio also. For this research, it could be concluded that the organic acid combined with inorganic acid using 10 vol% of acetic acid and 2 vol% of nitric acid at 60° C for 60 minutes performed the highest recovery percentage of 98.50% and the lowest loss percentage of 1.50%. Moreover, the single organic acids, e.g., 10 vol% of acetic acid at 60° C for 120 minutes performed the highest recovery percentage of 98.04% and the lowest loss percentage of 1.96% without unseparated sample left. Thus, both solvent types were suitable to separate polyethylene plastics and aluminum foils from UHT beverage packaging.

Keywords: plastic aluminium foil sheet, acetic acid, nitric acid, benzene, ethanol

บทนำ

บรรจุภัณฑ์ปลอดเชื้อ หรือบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มยูเอชที โดยส่วนใหญ่จะใช้บรรจุนมหรือเครื่องดื่ม เพื่อที่จะสามารถเก็บรักษาได้ในอุณหภูมิห้อง เรียกกันง่าย ๆ ว่ากล่อง UHT ซึ่งเป็นกล่องบรรจุอาหารที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อที่ให้ความร้อนสูง เป็นเวลาสั้น ๆ ประมาณ 1-2 วินาที ที่อุณหภูมิ 135°ซ. หรือที่เรียกว่า ultra-high-temperature processing หรือ ultra-heat treatment ทำให้สามารถเก็บรักษาอาหารไว้ได้นาน 6-9 เดือน (Burton, 1994) จากความต้องการบริโภคผลผลิตน้ำนมดิบของไทยภายในประเทศตั้งแต่ปี 2557-2561 ความต้องการบริโภคนมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.62 ต่อปี ในปี 2561 มีปริมาณการบริโภคนมเป็น 1,233,483 ตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2560 ร้อยละ 3.55 และในปี 2562 คาดว่ามีปริมาณการบริโภคนมเป็น 1,332,180 ตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2561 ร้อยละ 8.00 (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2562) จะเห็นได้ว่าการที่ความต้องการบริโภคนมในประเทศไทยเพิ่มขึ้น แสดงว่าปริมาณการใช้บรรจุภัณฑ์ปลอดเชื้อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งก่อให้เกิดปริมาณขยะที่มีกระดาษ พลาสติกพอลิเอทิลีน และอะลูมิเนียมฟอยล์เพิ่มมากขึ้นด้วย โดยการจัดบรรจุภัณฑ์เหล่านี้ในธรรมชาติเกิดการย่อยสลายได้ยาก มีอันตรายเนื่องจากมีอะลูมิเนียมฟอยล์ผสมอยู่ และเป็นปัญหาในการนำไปเผาเพื่อกำจัดขยะ ทำให้ไม่สามารถกำจัดขยะเหล่านี้ได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย โดยส่วนใหญ่บรรจุภัณฑ์ประเภทนี้มีกระดาษ พลาสติกพอลิเอทิลีน และอะลูมิเนียมฟอยล์เป็นส่วนประกอบ ในปริมาณร้อยละ 75, 20 และ 5 ตามลำดับ (Gordon, 1996) นำมาเรียงกันเป็นชั้น ๆ 6 ชั้น ดังรูปที่ 1 โดยแต่ละชั้นมีหน้าที่ดังนี้



- ชั้นที่ 1 คือ ชั้นของพลาสติกพอลิเอทิลีนที่มีลักษณะเป็นฟิล์มบางเคลือบด้านนอกเพื่อป้องกันความชื้นจากภายนอก
- ชั้นที่ 2 คือ ชั้นของกระดาษ เพื่อขึ้นรูปเป็นรูปทรงของกล่องในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อความแข็งแรง และพิมพ์ฉลาก
- ชั้นที่ 3 คือ ชั้นของพลาสติกพอลิเอทิลีน เป็นตัวเชื่อมประสานกระดาษกับอะลูมิเนียมฟอยล์ เพื่อให้กล่องแน่นสนิท
- ชั้นที่ 4 คือ ชั้นของอะลูมิเนียมฟอยล์ เพื่อป้องกันอากาศ (ออกซิเจน) แสงสว่าง และกลิ่นจากภายนอก
- ชั้นที่ 5 คือ ชั้นของพลาสติกพอลิเอทิลีน เป็นตัวเชื่อมประสานอะลูมิเนียมฟอยล์กับพลาสติกชั้นในสุด
- ชั้นที่ 6 คือ ชั้นของพลาสติกพอลิเอทิลีนชั้นในสุด เพื่อป้องกันการรั่วซึมของนมที่อยู่ในกล่อง

รูปที่ 1 ส่วนประกอบของบรรจุภัณฑ์ปลอดเชื้อ

ที่มา: Abreu (2002)

ในปัจจุบันได้มีการวิจัยและพัฒนาวิธีการแยกกระดาษ พลาสติกพอลิเอทิลีน และอะลูมิเนียมฟอยล์ออกจากกัน โดยสามารถแยกกระดาษออกจากบรรจุภัณฑ์เหล่านี้ได้ โดยใช้วิธีการปั่นแยก หรือตีเยื่อกระดาษ (Cui, 2006) แต่พลาสติกพอลิเอทิลีน และอะลูมิเนียมฟอยล์ ยังไม่สามารถแยกกันได้ ซึ่งได้มีการศึกษาวิธีการแยกพลาสติก และอะลูมิเนียมฟอยล์ โดยวิธีการต่าง ๆ โดยเฉพาะการใช้ตัวทำละลาย ซึ่งสามารถแยกพลาสติกพอลิเอทิลีนออกจากอะลูมิเนียมฟอยล์ได้ (Han, 2007; Wang & Wang, 2005) ตัวทำละลายที่ใช้มีหลายประเภท เช่น ตัวทำละลายอินทรีย์ สามารถแยกพลาสติกพอลิเอทิลีน ออกจากอะลูมิเนียมฟอยล์ (Zhang et al., 2011) หรือตัวทำละลายอนินทรีย์ เช่น กรดอินทรีย์ หรือกรดเกลือ สามารถแยกอะลูมิเนียมฟอยล์ออกจากพลาสติกพอลิเอทิลีน (Yan et al., 2015) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาวิธีการแยกแบบอื่น ๆ เช่น การให้ความร้อนด้วยน้ำ ภายใต้แรงดัน และอุณหภูมิสูง ซึ่งสามารถแยกพลาสติกพอลิเอทิลีน และอะลูมิเนียมฟอยล์ได้ (Prawisudha et al., 2014)

การใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เบนซีน อะซิโตน เมทิลเบนซีน หรือตัวทำละลายผสมเหล่านี้ สามารถแยกพลาสติกพอลิเอทิลีนออกจากอะลูมิเนียมฟอยล์ได้ แต่จะมีแนวโน้มที่จะสูญเสียพอลิเอทิลีน (Zhang et al., 2012) นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาตัวทำละลายผสมระหว่างเบนซีน เอทิลแอลกอฮอล์ และน้ำ ในการแยกพลาสติกและอะลูมิเนียมฟอยล์ โดยมีสัดส่วนร้อยละเบนซีน ต่อ เอทิลแอลกอฮอล์ ต่อ น้ำ อยู่ในช่วง 30-60 : 20-50 : 20-50 ซึ่งสามารถแยกออกจากกันได้ร้อยละ 100 ที่อุณหภูมิ 60° ซ. ขึ้นไป ใช้เวลาอย่างน้อย 6 นาที ภายใต้ความดัน (Zhang et al., 2014)

วิธีการกลุ่่งแร่ โดยใช้กรดอนินทรีย์ เช่น กรดเกลือ หรือกรดไนตริก เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่น่ามาประยุกต์ใช้ในการแยกอะลูมิเนียมฟอยล์ออกจากพลาสติกพอลิเอทิลีน โดยทำการละลายแผ่นฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ออกจากพลาสติก (Wang, 2006) ให้อยู่ในรูปของอะลูมิเนียมไอออน ดังสมการ $Al_2O_3 + 6H^+ = 2Al^{3+} + 3H_2O$ (Xiao, 2015) และนำอะลูมิเนียมกลับมาได้ โดยใช้เคมีไฟฟ้ามาแยกอะลูมิเนียมออกจากสารละลายอีกครั้ง (Wang et al., 2017) ซึ่งพบว่ากรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 6 โมลาร์ สามารถแยกพลาสติกพอลิเอทิลีนออกมาได้หมด โดยทำการแช่ในสารละลายกรดที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 8 ชั่วโมง (Kinkaew & Apichartpattanasiri, 2018) นอกจากนี้การใช้ตัวทำละลายกรดอินทรีย์ เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการแยกพลาสติกพอลิเอทิลีนออกจากอะลูมิเนียมฟอยล์ เพื่อลดการสูญเสียอะลูมิเนียมจากการใช้กรดอนินทรีย์ ซึ่งนิยมใช้กรดอะซิติก โดยแช่บรรจุภัณฑ์ที่มีพลาสติก

และพอล์ลงในกรดอะซีติกความเข้มข้นร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งใช้เวลาอย่างน้อย 4 วัน ในการที่พลาสติกเริ่มแยกตัวออกจากอะลูมิเนียมพอล์ (Olafsson et al., 1993) การใช้ตัว ทำละลายผสมระหว่างกรดอินทรีย์และกรดอนินทรีย์ เช่น กรดอะซีติกกร่วมกับกรดไนตริก สามารถช่วยลดระยะเวลาในการแยกอะลูมิเนียมพอล์ลง แต่มีการสูญเสียอะลูมิเนียมมากขึ้น (Xiao, 2015)

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบตัวทำละลายอินทรีย์ผสมระหว่าง เบนซีน เอทานอล และน้ำ กรดอินทรีย์ร่วมกับกรดอนินทรีย์ เช่น กรดอะซีติก กรดไนตริก และน้ำ และกรดอินทรีย์เดี่ยว เช่น กรดอะซีติก เป็นต้น ในการแยกพลาสติกพอลิเอทิลีน และอะลูมิเนียมพอล์ โดยศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมของความเข้มข้นของตัวทำละลาย และ ระยะเวลาในการแยกที่มีผลต่อร้อยละการนำกลับมาได้ และร้อยละการสูญเสีย

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมแผ่นตัวอย่างพลาสติกอะลูมิเนียมพอล์

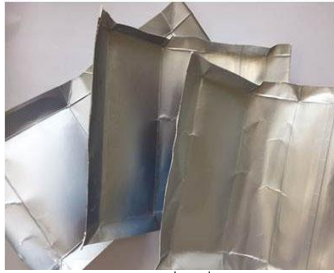
นำกล่องเครื่องดื่มยูเอชที คือ กล่องนม มาแยกกระดาษออก ด้วยการนำกล่องนมที่ ล้างทำความสะอาดแล้วมาอัดเป็นก้อนขนาดใหญ่ 1x1 เมตร แล้วนำไปปั่นตีเยื่อในน้ำ ด้วยเครื่อง hydropulper ซึ่งมีความเร็วรอบสูง (Cui, 2006) เพื่อตีปั่นเยื่อกระดาษแยกออกมาได้ 100% จะได้แผ่นตัวอย่างพลาสติกอะลูมิเนียมพอล์ ดังรูปที่ 2

การวิเคราะห์ส่วนประกอบของแผ่นตัวอย่างพลาสติกอะลูมิเนียมพอล์

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้นประมาณ 0.1-0.2 กรัม นำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,073 เคลวิน (800° ซ.) ด้วยอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ 10 เคลวินต่อนาที (Prawisudha et al., 2014) ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปใส่ในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักส่วนที่เหลือ นำไปคำนวณหาร้อย ละพลาสติกพอลิเอทิลีน และอะลูมิเนียมพอล์เริ่มต้น โดยน้ำหนักที่หายไป คือ น้ำหนัก พลาสติกพอลิเอทิลีน ส่วนน้ำหนักที่เหลืออยู่ คือ น้ำหนักอะลูมิเนียมพอล์

การศึกษาชนิดของตัวทำละลาย ความเข้มข้น และเวลาที่ใช้

ในการทดลองได้เตรียมแผ่นตัวอย่างพลาสติกอะลูมิเนียมพอล์ขนาด 2x2 ซม. กำหนดให้มีสัดส่วนของแข็งต่อของเหลวที่ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร คือ ใช้แผ่น ตัวอย่างพลาสติกอะลูมิเนียมพอล์ประมาณ 1 กรัม ต่อปริมาตรตัวทำละลาย 100 มิลลิลิตร ชนิดของตัวทำละลาย ความเข้มข้นหรือปริมาตร และเวลาที่ใช้ แสดงได้ดังตารางที่ 1 และ 2



ก.บรรจุภัณฑ์เครื่องต้มยาเอชที



ข. แผ่นตัวอย่างพลาสติกอะลูมิเนียมฟอยล์

รูปที่ 2 ตัวอย่างแผ่นพลาสติกอะลูมิเนียมฟอยล์ที่ใช้

ตารางที่ 1 สัดส่วนของตัวทำละลายอินทรีย์ผสมระหว่าง เบนซีน เอทานอล และน้ำ ที่ใช้ในการแยกพลาสติกและอะลูมิเนียมฟอยล์ที่เวลา 60 นาที อุณหภูมิ 60°C .

ตัวอย่างที่	เบนซีน (มล.)	เอทานอล (มล.)	น้ำ (มล.)
1	30	20	50
2	35	35	30
3	40	10	50
4	30	30	40
5	30	10	60
6	30	40	30

ขั้นตอนการทดลอง

ซึ่งแผ่นตัวอย่างพลาสติกอะลูมิเนียมฟอยล์ 1 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ เดิมตัวทำละลายตามปริมาตรและสัดส่วนที่แสดงดังตารางที่ 1 และ 2 (ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ) โดยตัวทำละลายอินทรีย์ผสมระหว่างเบนซีน เอทานอล และน้ำ มีสัดส่วนของเบนซีนต่อเอทานอลต่อน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 30-40 : 10-40 : 30-60 ส่วนตัวทำละลายอินทรีย์ผสมอินทรีย์ระหว่างกรดอะซิติกและกรดไนตริก มีสัดส่วนของกรดอะซิติกต่อกรดไนตริก อยู่ในช่วงร้อยละ 5-10 : 0-5 นำขวดรูปชมพู่ที่ได้ใส่ในเครื่องเขย่าอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath shaker) โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 60°C . ทดลองตามระยะเวลาที่กำหนด หลังจากนั้นทำการกรองแยกพลาสติก และอะลูมิเนียมฟอยล์ออกจากตัวทำละลาย แล้วล้างทำความสะอาดด้วยน้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง จากนั้นทำการแยกพลาสติกพอลิเอทิลีน อะลูมิเนียมฟอยล์ และแผ่นตัวอย่าง

พลาสติกอะลูมิเนียมฟอยล์ที่เหลืออยู่โดยการแช่น้ำ พลาสติกพอลิเอทิลีนจะลอยอยู่ด้านบน อะลูมิเนียมฟอยล์จมตัวอยู่ด้านล่าง ส่วนแผ่นตัวอย่างพลาสติกอะลูมิเนียมฟอยล์จะอยู่ตรงกลาง

ตารางที่ 2 สัดส่วนของตัวทำละลายกรดอินทรีย์รวมกับกรดอนินทรีย์ คือ กรดอะซิติก กรดไนตริก และน้ำ ที่ใช้ในการแยกพลาสติกและอะลูมิเนียมฟอยล์ ที่อุณหภูมิ 60° ซ. ระยะเวลาต่าง ๆ

ตัวอย่าง ที่	กรด อะซิติก (มล.)	กรด ไนตริก (มล.)	น้ำ (มล.)	เวลา (นาท.)	ตัวอย่าง ที่	กรด อะซิติก (มล.)	กรด ไนตริก (มล.)	น้ำ (มล.)	เวลา (นาท.)
1	5	0	95	60	8	10	3	90	60
2	5	2	95	60	9	10	4	90	30
3	5	3	95	60	10	10	5	90	30
4	5	4	95	30	11	10	0	90	60
5	5	5	95	30	12	10	0	90	90
6	10	2	90	30	13	10	0	90	120
7	10	2	90	60	14	10	0	90	180

ขั้นตอนการหาร้อยละการนำกลับมาได้ และร้อยละการสูญเสียอะลูมิเนียม

นำตัวอย่างพลาสติกพอลิเอทิลีน อะลูมิเนียมฟอยล์ และแผ่นตัวอย่างพลาสติกอะลูมิเนียมฟอยล์ที่เหลือไปอบที่อุณหภูมิ 60° ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปใส่ในตู้เดซิเคเตอร์อย่างน้อย 24 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนักตัวอย่างแต่ละประเภทที่ได้ จดบันทึกไว้ แล้วนำไปคำนวณหา ร้อยละพลาสติกพอลิเอทิลีน ร้อยละอะลูมิเนียมฟอยล์ ร้อยละตัวอย่างที่เหลือโดยใช้วิธีคำนวณ ดังตารางที่ 3

ขั้นตอนการวิเคราะห์เชิงสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One – way analysis of variance) เพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของร้อยละการนำกลับมาได้ และร้อยละการสูญเสียของแต่ละกลุ่มตัวอย่าง ให้ได้สภาวะที่เหมาะสมที่ให้ร้อยละการนำกลับมาได้สูงสุด และร้อยละการสูญเสียต่ำสุด

ตารางที่ 3 การคำนวณร้อยละพลาสติกพอลิเอทิลีน ร้อยละอะลูมิเนียมพอยล์ ร้อยละตัวอย่างที่เหลือ ร้อยละการนำกลับมาได้ และร้อยละการสูญเสีย

การคำนวณ	วิธีคำนวณ
ร้อยละพลาสติกพอลิเอทิลีน	นน.พลาสติกที่ได้ $\times$ 100/นน.แผ่นตัวอย่างเริ่มต้น
ร้อยละอะลูมิเนียมพอยล์	นน.อะลูมิเนียมพอยล์ที่ได้ $\times$ 100/นน.แผ่นตัวอย่างเริ่มต้น
ร้อยละตัวอย่างที่เหลือ	นน.ตัวอย่างที่เหลือ $\times$ 100/นน.แผ่นตัวอย่างเริ่มต้น
ร้อยละการนำกลับมาได้	ร้อยละพลาสติกพอลิเอทิลีน + ร้อยละอะลูมิเนียมพอยล์
ร้อยละการสูญเสีย	100 - (ร้อยละการนำกลับมาได้ + ร้อยละตัวอย่างที่เหลือ)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากตารางที่ 4 พบว่า ส่วนประกอบของแผ่นตัวอย่างพลาสติกอะลูมิเนียมพอยล์ ประกอบด้วย พลาสติกพอลิเอทิลีนเฉลี่ยร้อยละ 77.69 ± 0.55 และอะลูมิเนียมพอยล์เฉลี่ยร้อยละ 22.31 ± 0.32 เมื่อทำการแยกโดยวิธีการฉีกดึง พบว่าประกอบด้วยพลาสติกพอลิเอทิลีน 2 ชั้น เคลือบอยู่บนแผ่นอะลูมิเนียมพอยล์ทั้ง 2 ด้าน (Abreu, 2002) ซึ่งเชื่อมติดกันด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์บนพื้นผิวของอะลูมิเนียมพอยล์ (Wang, 2006) ทำให้ยากต่อการแยก เนื่องจากแผ่นอะลูมิเนียมมีความหนาน้อยมาก เมื่อเทียบกับแผ่นพลาสติกพอลิเอทิลีน ถ้าใช้แรงดึง พลาสติกพอลิเอทิลีนจะขาด และอะลูมิเนียมพอยล์จะแตกเป็นชิ้นเล็กละเอียด

ตารางที่ 4 ส่วนประกอบของแผ่นตัวอย่างพลาสติกอะลูมิเนียมพอยล์

ส่วนประกอบ	ค่าเฉลี่ย	SD
ร้อยละพลาสติกพอลิเอทิลีน	77.69	0.55
ร้อยละอะลูมิเนียมพอยล์	22.31	0.32

ผลการทดลองการแยกพลาสติกพอลิเอทิลีน และอะลูมิเนียมพอยล์ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ผสม แสดงได้ดังตารางที่ 5 พบว่าตัวอย่างที่ใช้สัดส่วนเบนซีนต่อเอทานอลต่อน้ำที่ 35 : 35 : 30 ได้ร้อยละการนำกลับมาได้สูงสุดที่ 57.78 ร้อยละการสูญเสียต่ำที่สุดที่ 2.68 โดยมีร้อยละพลาสติกพอลิเอทิลีนเท่ากับ 43.29 ร้อยละอะลูมิเนียมพอยล์เท่ากับ 14.49 และร้อยละแผ่นตัวอย่างพลาสติกอะลูมิเนียมพอยล์ที่เหลืออยู่เท่ากับ 39.54 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่น ๆ พบว่าการใช้สัดส่วนตัวทำละลายผสมนี้ทำให้ได้ร้อยละพลาสติกพอลิเอทิลีน และอะลูมิเนียมพอยล์สูงสุด เนื่องจากเบนซีนเป็นตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว

สามารถละลายพลาสติกพอลิเอทิลีนได้ดี (Yang et al., 2005) ส่วนเอทานอลเป็นตัวทำละลายที่มีขั้วและไม่มีขั้ว สามารถละลายในน้ำและเบนซีนได้ในสัดส่วนที่เหมาะสมจะทำให้ตัวทำละลายนี้สามารถเป็นสารละลายเนื้อเดียวกันได้ (Su et al., 2010) จึงเพิ่มประสิทธิภาพในการเป็นตัวทำละลายเพื่อลดแรงดึงดูดระหว่างพลาสติกพอลิเอทิลีนกับอะลูมิเนียมฟอยล์

ดังนั้นเมื่อแผ่นตัวอย่างพลาสติกอะลูมิเนียมฟอยล์ ถูกนำมาแชในตัวทำละลายอินทรีย์ผสมนี้ที่สัดส่วน 35 : 35 : 30 ตัวทำละลายเบนซีนจะเข้าไปทำลายแรงดึงดูดของพลาสติกพอลิเอทิลีนกับอะลูมิเนียมฟอยล์ลง เนื่องจากหลักการละลายของตัวทำละลายไม่มีขั้ว คือ ตัวถูกละลายที่ไม่มีขั้วจะละลายในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เพราะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้วเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals force) เหมือนกัน (Hansen, 1999) ทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพลาสติกพอลิเอทิลีนกับตัวทำละลายเบนซีน มากกว่าอะลูมิเนียมฟอยล์ จึงสามารถแยกออกจากกันได้ (Zhang et al., 2014) ส่วนอะลูมิเนียมฟอยล์เมื่อแยกออกมาแล้วจะไม่ละลายในตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิด จึงสามารถนำทั้งพลาสติกพอลิเอทิลีนและอะลูมิเนียมฟอยล์กลับมาได้มากที่สุด ในส่วนของการสูญเสียจากการแยกพลาสติกพอลิเอทิลีนและอะลูมิเนียมฟอยล์โดยการใช้เบนซีนเป็นตัวทำละลายผสมนั้น พบว่า ร้อยละการสูญเสียเท่ากับ 2.68 ซึ่งเกิดขึ้นได้จาก พลาสติกพอลิเอทิลีนบางส่วนสามารถละลายได้ในตัวทำละลายเบนซีน ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักของผลิตภัณฑ์หลังผ่านการแยกเล็กน้อย ซึ่งผลการทดลองนี้สามารถยืนยันการเกิดกลไกระหว่างตัวทำละลายเบนซีนกับพลาสติกพอลิเอทิลีนซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการแยกระหว่างพลาสติกพอลิเอทิลีนกับอะลูมิเนียมฟอยล์ได้ เมื่อใช้ตัวทำละลายผสมที่มีเบนซีนเป็นองค์ประกอบ

จากตารางที่ 5 พบว่า สัดส่วนเบนซีนต่อเอทานอลต่อน้ำที่ 30 : 20 : 50 และ 35 : 35 : 30 มีร้อยละการนำกลับมาได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($\alpha=0.01$) แต่ร้อยละการสูญเสียแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($\alpha=0.01$) ทั้งนี้สัดส่วนของเบนซีนเพิ่มขึ้น ทำให้ร้อยละการสูญเสียเพิ่มมากขึ้นด้วย (Zhang et al., 2014) เมื่อพิจารณาสัดส่วนที่ 40 : 10 : 50 และ 30 : 10 : 60 พบว่า มีร้อยละการนำกลับมาได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($\alpha=0.01$) แต่ร้อยละการสูญเสียแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($\alpha=0.01$) เช่นเดียวกัน แต่มีร้อยละการนำกลับมาได้ต่ำกว่า และร้อยละการสูญเสียสูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากสัดส่วนของเอทานอลลดลงทำให้ตัวทำละลายไม่เป็น

เนื้อเดียวกัน โดยเบนซินเป็นตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว ส่วนเอทานอลเป็นตัวทำละลายที่มีขั้วและไม่มีขั้ว น้ำเป็นตัวทำละลายมีขั้ว เมื่อสัดส่วนของเอทานอลน้อยลงทำให้ความสามารถในการละลายของเบนซินในตัวทำละลายผสมนี้ลดลง โอกาสที่ตัวทำละลายเบนซินจะสัมผัสกับพลาสติกพอลิเอทิลีนอย่างทั่วถึงจึงน้อยลง ส่งผลให้ความสามารถในการแยกพลาสติกพอลิเอทิลีนและอะลูมิเนียมฟอยล์ลดลงตามไปด้วย และการที่สัดส่วนเบนซิน สูงขึ้นทำให้สามารถละลายพลาสติกพอลิเอทิลีนได้มากขึ้น ร้อยละการสูญเสียจึงสูงขึ้น (Zhang et al., 2014)

เมื่อพิจารณาสัดส่วนที่ 30 : 40 : 30 พบว่า ร้อยละการสูญเสียไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($\alpha=0.01$) กับสัดส่วนที่ 30 : 10 : 60 และ 30 : 20 : 50 แต่มีร้อยละการนำกลับมาได้ต่ำที่สุด ทั้งนี้เบนซินมีสัดส่วนที่เท่ากันจึงละลายพลาสติกพอลิเอทิลีนได้ใกล้เคียงกัน เมื่อพลาสติกพอลิเอทิลีนละลายในเบนซินจะทำให้แรงดึงดูดระหว่างพลาสติกพอลิเอทิลีน และอะลูมิเนียมฟอยล์ลดลง จึงทำให้สามารถแยกออกจากกันได้ (Zhang et al., 2014) ดังรูปที่ 3 การเคลือบอะลูมิเนียมฟอยล์ด้วยพลาสติกพอลิเอทิลีน เกิดขึ้นด้วยแรงทางกลที่เกิดขึ้นจากความดัน และอุณหภูมิ (Abreu, 2002) ทำให้เกิดอะลูมิเนียมออกไซด์ที่พื้นผิวของอะลูมิเนียมฟอยล์ พลาสติกพอลิเอทิลีนจึงสามารถเชื่อมติดกับอะลูมิเนียมฟอยล์ได้ (Wang, 2006). ทำให้ยากต่อการแยกด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ผสม เนื่องจากไม่มีความเป็นกรด ไม่สามารถทำลายแรงดึงดูดของอะลูมิเนียมออกไซด์กับพลาสติกพอลิเอทิลีนได้ (Yan et al., 2015)

ตารางที่ 5 ผลการแยกพลาสติกพอลิเอทิลีน และอะลูมิเนียมฟอยล์ เมื่อใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ผสม

ตัวอย่างที่	เบนซิน :เอทานอล :น้ำ	ร้อยละ พลาสติก	ร้อยละ อะลูมิเนียมฟอยล์	ร้อยละ เหลือ	ร้อยละการ นำกลับมาได้	ร้อยละการ สูญเสีย
1	30:20:50	43.26	11.77	37.39	55.03 ^d	7.58 ^c
2	35:35:30	43.29	14.49	39.54	57.78 ^d	2.68 ^a
3	40:10:50	37.49	9.61	43.96	47.10 ^b	8.93 ^d
4	30:30:40	42.26	9.60	43.63	51.86 ^c	4.51 ^b
5	30:10:60	38.22	10.73	43.48	48.94 ^b	7.58 ^c
6	30:40:30	29.49	8.81	54.34	38.30 ^a	7.36 ^c

หมายเหตุ a,b,c,d กลุ่มตัวอย่างที่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($\alpha=0.01$)



ก. พลาสติกพอลิเอทิลีนที่ได้



ข. อะลูมิเนียมฟอยล์ที่ได้



ค. แผ่นตัวอย่างพลาสติกอะลูมิเนียมฟอยล์ที่เหลือ

รูปที่ 3 พลาสติกพอลิเอทิลีน อะลูมิเนียมฟอยล์ และแผ่นตัวอย่างพลาสติกอะลูมิเนียมฟอยล์ ที่เหลือจากการแยกด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ผสม

ตารางที่ 6 ผลการแยกพลาสติกพอลิเอทิลีน และอะลูมิเนียมฟอยล์ เมื่อใช้ตัวทำละลายกรดอินทรีย์รวมกับการคือนินทรีย์ และกรดอินทรีย์เดียวเป็นตัวทำละลาย

ตัวอย่างที่	กรดอะซิติก : กรดไนตริก : เวลา	ร้อยละ พลาสติก	ร้อยละ อะลูมิเนียมฟอยล์	ร้อยละที่เหลือ	ร้อยละการนำกลับมาได้	ร้อยละการสูญเสีย
1	5:0:60	27.40	6.51	54.94	33.90 ^a	11.15 ^j
2	5:2:60	51.95	9.33	30.24	61.27 ^c	8.48 ^h
3	5:3:60	58.96	15.92	13.63	74.89 ^d	11.48 ^k
4	5:4:30	59.05	15.15	22.25	74.20 ^d	3.55 ^e
5	5:5:30	70.49	5.45	0.00	75.94 ^d	24.06 ^l
6	10:2:30	61.84	17.03	12.14	78.87 ^d	8.99 ⁱ
7	10:2:60	77.84	20.20	0.00	98.04^f	1.96^c
8	10:3:60	68.51	22.98	3.08	91.48 ^e	5.44 ^f
9	10:4:30	57.23	19.96	16.48	77.19 ^d	6.34 ^g
10	10:5:30	70.65	23.13	0.00	93.78 ^e	6.22 ^g
11	10:0:60	40.30	11.64	46.91	51.94 ^b	1.15 ^a
12	10:0:90	71.63	20.90	3.74	92.53 ^e	3.73 ^e
13	10:0:120	78.15	20.35	0.00	98.50^f	1.50^b
14	10:0:180	77.57	20.16	0.00	97.72 ^f	2.28 ^d

หมายเหตุ a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l กลุ่มตัวอย่างที่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($\alpha=0.01$)

กรดอินทรีย์หรือกรดอะซีติก เป็นตัวทำละลายที่มีขั้วและไม่มีขั้ว เช่นเดียวกับเอทานอล แต่มีฤทธิ์เป็นกรด ซึ่งจะละลุมิเนียมออกไซด์สามารถละลายน้ำได้ในสภาวะที่เป็นกรด (Wang, 2006). จึงมีแนวโน้มที่จะทำให้อะลูมิเนียมออกไซด์สามารถแตกตัวเป็นไอออน ดังสมการ $Al_2O_3 + 6H^+ = 2Al^{3+} + 3H_2O$ (Xiao et al., 2015) ซึ่งมีแรงดึงดูดระหว่างไอออน ทำให้ละลายในตัวทำละลายที่มีขั้วแรงได้ดีกว่าตัวทำละลายที่มีขั้วน้อย และกรดอะซีติกเป็นตัวทำละลายที่มีขั้วน้อย และมีฤทธิ์เป็นกรดอ่อน ดังนั้นการสูญเสียอะลูมิเนียมจึงน้อยกว่ากรดอินทรีย์ที่เป็นตัวทำละลายที่มีขั้วแรง และมีฤทธิ์ความเป็นกรดที่แรงกว่า (Yan et al., 2015)

จากตารางที่ 6 ตัวอย่างที่สัดส่วนกรดอะซีติกต่อกรดไนตริกต่อเวลาที่ 5 : 0 : 60 พบว่า กรดอะซีติกเพียงชนิดเดียว สามารถแยกอะลูมิเนียมพอยล์ออกจากพลาสติกพอลิเอทิลีนได้ ร้อยละอะลูมิเนียมพอยล์เท่ากับ 6.51 ร้อยละพลาสติกพอลิเอทิลีนเท่ากับ 27.40 แต่ยังมีแผ่นพลาสติกเหลืออยู่ร้อยละ 54.96 ร้อยละการสูญเสียสูงถึง 11.15 และร้อยละการนำกลับมาได้ออยู่ที่ 33.90 แสดงว่ากรดอะซีติกความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร ยังคงมีความเป็นกรดต่ำ เมื่อเพิ่มความเป็นกรดด้วยกรดไนตริกตามสัดส่วนที่ 5 : 2 : 60 และ 5 : 3 : 60 พบว่า ร้อยละพลาสติกพอลิเอทิลีน ร้อยละอะลูมิเนียมพอยล์ ร้อยละการนำกลับมาได้ และร้อยละการสูญเสียเพิ่มมากขึ้น ตามลำดับ ส่งผลให้ร้อยละที่เหลือลดลงตามลำดับ แสดงว่าเมื่อกรดไนตริกมากขึ้น ตัวทำละลายจะมีความเป็นกรดเพิ่มสูงขึ้น (Wang et al, 2015) รวมทั้งเวลาในการละลาย 60 นาทีค่อนข้างยาวนาน จึงทำให้อัตราการละลายของอะลูมิเนียมพอยล์เพิ่มสูงขึ้น (Xiao et al., 2015)

เมื่อลดระยะเวลาจาก 60 นาที เป็น 30 นาที และเพิ่มกรดไนตริกที่สัดส่วน 5 : 4 : 30 และ 5 : 5 : 30 พบว่ามีแนวโน้มเช่นเดียวกับตัวอย่างที่ 2 และ 3 เนื่องจากตัวทำละลายมีความเป็นกรดมากขึ้น แรงดึงดูดไอออนิกระหว่างโมเลกุลของตัวทำละลาย และอะลูมิเนียมออกไซด์มีค่าสูงขึ้น จึงทำให้อะลูมิเนียมพอยล์สามารถแยกออกจากพลาสติกพอลิเอทิลีนได้เป็นอย่างดี (Wang, 2006) โดยเฉพาะตัวอย่างที่สัดส่วนกรดอะซีติกต่อกรดไนตริกต่อเวลาที่ 5 : 5 : 30 สามารถแยกพลาสติกพอลิเอทิลีน และอะลูมิเนียมได้หมด ซึ่งร้อยละที่เหลือเป็นศูนย์ และมีร้อยละพลาสติกพอลิเอทิลีนเท่ากับ 70.49 และร้อยละการนำกลับมาได้เท่ากับ 75.94 ซึ่งสูงสุดในสัดส่วนที่ใช้กรดอะซีติกร้อยละ 5 โดยปริมาตร แต่มีร้อยละการสูญเสียสูงสุดที่ 24.06 และร้อยละอะลูมิเนียมพอยล์ต่ำสุดที่ 5.45 นอกจากนี้พบว่าร้อยละการนำกลับมาได้ของตัวอย่างที่สัดส่วนเป็น 5 : 3 : 60, 5 : 4 : 30 และ 5 : 5 : 30 ไม่แตกต่างกันทาง

สถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($\alpha=0.01$) ดังนั้นสัดส่วนกรดอะซีติกต่อกรดไนตริกต่อเวลาที่เหมาะสมในการแยกพลาสติกพอลิเอทิลีน และอะลูมิเนียมฟอยล์อยู่ที่ 5 : 4 : 30 ซึ่งมีร้อยละการนำกลับมาได้เท่ากับ 74.20 และร้อยละการสูญเสียต่ำสุดที่ 3.55 ได้ร้อยละพลาสติกพอลิเอทิลีนเท่ากับ 59.05 ร้อยละอะลูมิเนียมฟอยล์เท่ากับ 15.15 แต่มีแผ่นตัวอย่างเหลืออยู่ร้อยละ 22.25 ดังรูปที่ 4



ก. พลาสติกพอลิเอทิลีนที่ได้



ข. อะลูมิเนียมฟอยล์ที่ได้



ค. แผ่นตัวอย่างพลาสติกอะลูมิเนียมฟอยล์ที่เหลือ

รูปที่ 4 พลาสติกพอลิเอทิลีน อะลูมิเนียมฟอยล์ และแผ่นตัวอย่างพลาสติกอะลูมิเนียมฟอยล์ที่เหลือจากการแยกด้วยตัวทำละลายกรดอินทรีย์

จากตารางที่ 6 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดอะซีติกให้สูงขึ้นเป็นร้อยละ 10 โดยมีกรดไนตริกร้อยละ 2 พบว่าเมื่อเวลามากขึ้นจาก 30 เป็น 60 นาที ร้อยละการนำกลับมาได้เพิ่มสูงขึ้นจาก 78.87 เป็น 98.04 และร้อยละการสูญเสียลดลงจาก 8.99 เป็น 1.96 ซึ่งมีค่าต่ำสุด นอกจากนี้ตัวอย่างที่สัดส่วนกรดอะซีติกต่อกรดไนตริกต่อเวลาเป็น 10 : 2 : 60 สามารถแยกพลาสติกพอลิเอทิลีน และอะลูมิเนียมฟอยล์ได้หมด ได้ร้อยละพลาสติกพอลิเอทิลีน และอะลูมิเนียมฟอยล์เท่ากับ 77.84 และ 20.20 ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดไนตริกมากขึ้น และลดระยะเวลาลง พบว่า ตัวอย่างที่สัดส่วนเป็น 10 : 5 : 30 สามารถแยกพลาสติกพอลิเอทิลีน และอะลูมิเนียมฟอยล์ได้หมดเช่นเดียวกัน แต่มีร้อยละการสูญเสียเท่ากับ 6.22 ซึ่งสูงกว่า เนื่องจากตัวทำละลายมีความเป็นกรดสูงขึ้น จึงเกิดแรงดึงดูดไอออนิก ระหว่างโมเลกุลตัวทำละลายกับอะลูมิเนียมออกไซด์ได้มากกว่า ทำให้สูญเสียอะลูมิเนียมฟอยล์มากขึ้น (Wang, 2006)

เมื่อลดกรดไนตริกลง หรือใช้ตัวทำละลายกรดอินทรีย์เดี่ยว คือ กรดอะซิติกที่ร้อยละ 10 โดยปริมาตร และเพิ่มระยะเวลาให้มากขึ้นจาก 60 เป็น 90, 120 และ 180 นาที ที่ระยะเวลา 60 นาที ของตัวทำละลายกรดอินทรีย์เดี่ยว พบว่า ร้อยละการนำกลับมาได้ลดลง จาก 98.04 เป็น 51.94 และร้อยละที่เหลือมีสูงถึง 46.91 แสดงว่าความเป็นกรด และระยะเวลาไม่เพียงพอ ในการลดแรงดึงดูดระหว่างพลาสติกพอลิเอทิลีนกับอะลูมิเนียมฟอยล์ (Yan et al., 2015) เมื่อเพิ่มระยะเวลาให้มากขึ้น พบว่า ร้อยละการนำกลับมาได้ ร้อยละพลาสติกพอลิเอทิลีน และร้อยละอะลูมิเนียมเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ร้อยละที่เหลือ และร้อยละการสูญเสียลดลง ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า ที่ระยะเวลา 120 และ 180 นาที ร้อยละการนำกลับมาได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($\alpha=0.01$) แต่ร้อยละการสูญเสียที่เวลา 180 นาทีสูงกว่าที่ 120 นาที เนื่องจากระยะเวลาที่ยาวนานขึ้น แรงดึงดูดไอออนิกระหว่างโมเลกุลตัวทำละลายกับอะลูมิเนียมออกไซด์เกิดได้มากขึ้น ส่งผลให้อะลูมิเนียมฟอยล์สูญเสียมากขึ้นเช่นกัน (Wang, 2006) ดังนั้นเห็นได้ว่าการใช้ตัวทำละลายกรดอินทรีย์เดี่ยวที่กรดอะซิติกร้อยละ 10 ที่เวลา 120 นาที เป็นตัวทำละลายที่เหมาะสมในการแยกพลาสติกพอลิเอทิลีน และอะลูมิเนียมฟอยล์ เนื่องจากสามารถลดแรงดึงดูดระหว่างพลาสติกพอลิเอทิลีนกับอะลูมิเนียมฟอยล์ได้อย่างดี พลาสติกพอลิเอทิลีนจึงแยกออกจากอะลูมิเนียมฟอยล์ได้หมด (Yan et al., 2015) และได้ร้อยละพลาสติกพอลิเอทิลีน ร้อยละอะลูมิเนียมฟอยล์ และร้อยละการนำกลับมาได้สูงสุดเป็น 78.15, 20.35 และ 98.50 ตามลำดับ และร้อยละการสูญเสียน้อยที่สุดที่ 1.50 โดยที่ไม่เหลือแผ่นพลาสติกอะลูมิเนียมฟอยล์อีก

สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่า ตัวทำละลายอินทรีย์ผสมกรดอินทรีย์ผสมกับกรดอินทรีย์กรดอินทรีย์เดี่ยว สามารถนำมาแยกพลาสติกพอลิเอทิลีนและอะลูมิเนียมฟอยล์ได้ โดยตัวทำละลายอินทรีย์ผสมระหว่างเบนซีน เอทานอล และน้ำ ที่สัดส่วน 35 : 35 : 30 ที่อุณหภูมิ 60° ซ เวลา 60 นาที สามารถแยกพลาสติก และอะลูมิเนียมฟอยล์ได้ มีร้อยละการนำกลับมาได้ที่ 57.78 ทำให้พลาสติกพอลิเอทิลีนอ่อนตัวลง และแยกตัวออกมาจากอะลูมิเนียมฟอยล์ จึงทำให้สามารถแยกพลาสติกพอลิเอทิลีนออกมาจากอะลูมิเนียมฟอยล์ได้สำหรับกรดอินทรีย์ คือ กรดอะซิติก เป็นตัวทำละลายที่มีขี้ และไม่มีขี้ ซึ่งมีความเป็นกรดไม่สูงมากเพื่อให้สามารถ

ลดแรงดึงดูดระหว่างพลาสติกพอลิเอทิลีนกับอะลูมิเนียมฟอยล์ ทำได้โดยเพิ่มระยะเวลาการแยกให้มากขึ้นหรือเพิ่มกรดอินทรีย์ เช่น กรดไนตริก พร้อมกับลดระยะเวลาการแยก เพื่อลดการสูญเสียอะลูมิเนียมฟอยล์ เนื่องจากหลักการแยกเป็นการเพิ่มแรงไอออนิกให้กับตัวทำละลาย กรดอะซิติก ให้สามารถสร้างแรงดึงดูดไอออนิกระหว่างโมเลกุลของกรดอะซิติก และอะลูมิเนียมออกไซด์ให้สูงกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลพลาสติกพอลิเอทิลีน และอะลูมิเนียมออกไซด์ สำหรับงานวิจัยนี้ได้สองตัวทำละลายที่เหมาะสมในการแยกพลาสติกพอลิเอทิลีนและอะลูมิเนียมฟอยล์ คือ กรดอินทรีย์เดี่ยวหรือกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร ใช้ระยะเวลา 120 นาที ที่อุณหภูมิ 60°C และกรดอินทรีย์รวมกับกรดอินทรีย์ คือ กรดอะซิติก ร้อยละ 10 โดยปริมาตร ผสมกับกรดไนตริกร้อยละ 2 โดยปริมาตร ใช้ระยะเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 60°C จะมีร้อยละการนำกลับมาได้สูงสุด และร้อยละการสูญเสียต่ำสุด โดยที่สามารถแยกพลาสติกพอลิเอทิลีน และอะลูมิเนียมฟอยล์ได้หมด โดยมีร้อยละการนำกลับมาได้กับร้อยละการสูญเสียเป็น 98.04 กับ 1.96 และ 98.50 กับ 1.50 ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

- สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. (2562) สถานการณ์โคนมโลกและไทย ปี 2562. สืบค้นเมื่อวันที่ 5 เมษายน 2563, จาก <http://dairydevelopmentprogram.weebly.com/blog-36153634361936603617362636403586/-2562>
- Abreu, M. (2002). Recycling of tetra pak aseptic cartons. Retrieved April 5, 2020 from http://www.researchgate.net/publication/268399248_Recycling_of_Tetra_Pak_Aseptic_cartons
- Burton, H. (1994). Ultra-high-temperature processing of milk and milk products. Chapman & Hall.
- Cui, Z. W. (2006). Recovery of aseptic paper packaging. *China Pulp. Paper Ind.*, 27, 80–81.

- Gordon, L. (1996). The environmental profile of tetra pack aseptic cartons. *China Packag*, 16, 29–31.
- Han, Z. F. (2007). *Separation reagent of aluminum–plastic composite films*. Patent CN1903965.
- Hansen, C. M. (1999). *Hansen solubility parameters (chapter 11, pp. 204–206)*. A User's Handbook. CRC Press.
- Kinkaew, C., & Apichartpattanasiri, S. (2018). Recycling of aluminum and plastic from laminated aluminum packaging films by metallurgy method. In: *Proceedings of The 3rd National Conference. RTUNC 2018*, 25 May 2018. Ubonrachathani, Thailand. p. 297-304.
- Olafsson, G., Jägerstad, M., Öste, R., & Wesslén, B. (1993). Delamination of polyethylene and aluminium foil layers of laminated packaging materials by acetic acid. *J. Food Science*, 5(1), 215-219.
- Prawisudha, P., Mu-min, G. F., Yoshikawa, K., & Pasel, A. D. (2014). Experimental study on separation of metal layer in aluminum plastic packaging by employing hydrothermal process. Retrieved April 5, 2020, from <https://pdfs.semanticscholar.org/73dc/e3b6c9c000728e6920f6437f42a067eabd39.pdf>
- Su ,Y. H., Hu, H. Y., & Duan, A. H. (2010). Separation and purification of benzene–ethanol–water waste liquid. *J. Yunnan Normal University*, 40, 59–62.
- Wang, C., Wang, H., & Liu, Y. (2015). Separation of aluminum and plastic by metallurgy method for recycling waste pharmaceutical blisters. *J. Cleaner Production*, 102, 378-383.
- Wang, C. C., & Wang, P. (2005). Recovery and reuse technology of polyethylene–aluminum composite packing materials. *J. Beijing Instit. Civil Eng. Arch*, 21, 63–64.
- Wang, L. (2006). Discussion on production and recovery of Tetra Pak. *Packag. Eng*, 27, 79–81.

- Wang, Z., Gao, B., Yang, Y., Tao, W., Liu, F., Shi, Z., & Hu, X. (2017). Studies on waste heat recovery in aluminum electrolysis. Retrieved April 5, 2020, from https://www.researchgate.net/publication/320280843_Studies_on_Waste_Heat_Recovery_in_Aluminum_Electrolysis.
- Xiao, J., Li, F., Zhong, Q., Bao, H., Wang, B., Huang, J., & Zhang, Y. (2015). Separation of aluminum and silica from coal gangue by elevated temperature acid leaching for the preparation of alumina and SiC. *Hydrometallurgy*, 155, 118-124.
- Yan, D., Peng, Z., Liu, Y., Li, L., Huang, Q., Xie, M., & Wang, Q. (2015). Optimizing and developing a continuous separation system for the wet process separation of aluminum and polyethylene in aseptic composite packaging waste. *Waste Management*, 35, 21-28.
- Yang, T., Zhou, C. S., & Zhu, X. (2005). The critical behavior of benzene–water–ethanol ternary solutions. *Acta Physica et Chimica Sinica*, 21, 439-442.
- Zhang, S. F., Mei, X. X., & Zhang, L. L. (2012). Research progress of separations technology of aluminum-plastic in aseptic composite packaging. *China Pulp & Paper*, 31, 65-68.
- Zhang, S. F., Zhang, L. L., Luo, K., Sun, Z. X., & Mei, X. X. (2014). Separation properties of aluminium– plastic laminates in post-consumer Tetra Pak with mixed organic solvent. *Waste Management & Research*, 1-6.
- Zhang, S. F., Zhang, L. L., & Mei, X.X. (2011). Research on aluminum–plastic separation process with benzyl alcohol-water method. *China Pulp. Paper Ind.*, 32, 43-46