

# การนำขวดน้ำดื่มพอลิเอธิลีน เทเรพธาลาท กลับมาใช้ใหม่ในรูปของสี

เพลินพิศ บุชาธรรม<sup>1</sup> นิตยา เกตุแก้ว<sup>1</sup> และ ศรารัตน์ มหาศรานนท์<sup>2</sup>

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาแนวทางในการนำขวดน้ำดื่มที่ใช้แล้วที่ทำจากพอลิเอธิลีน เทเรพธาลาท (PET) กลับมาใช้ใหม่ในรูปของผลิตภัณฑ์สีอุตสาหกรรม โดยการย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส โดยใช้ไตรเมทิลลอลโพรเพนและเพนตะอิริทริทอล หรือ เอธิลีนไกลคอล (EG) และเพนตะอิริทริทอล (PL) ในสัดส่วนต่างๆ เป็นตัวทำปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายจะนำมาทำปฏิกิริยาพอลิเอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อเตรียมเรซิน ซึ่งผลิตภัณฑ์เรซินที่เตรียมได้นี้แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ เรซินประเภทที่นำไปทำสีชนิดใช้น้ำเป็นตัวทำละลายหลักและเรซินประเภทที่นำไปทำสีชนิดใช้สารอินทรีย์เป็นตัวทำละลายเพียงอย่างเดียว จากการศึกษาพบว่าสีที่ทำมาจากการย่อยสลายขวด PET ที่ใช้แล้ว โดยใช้สัดส่วน PET : EG : PL = 1.0 : 0.5 : 0.5 มีสมบัติดีที่สุดและใกล้เคียงกับสีทั่วไปที่ใช้ในอุตสาหกรรมสี แม้ว่าจะมีค่าความเงาต่ำกว่าแต่ก็อยู่ในระดับมาตรฐานเดียวกันคือเป็นสีประเภทกึ่งเงา นอกจากนี้การยึดเกาะและความทนแรงกระแทกต่ำกว่าเล็กน้อยคือจาก 1.25 kg-m เป็น 1.15 kg-m แต่สีที่เตรียมจากขวด PET ที่ใช้แล้วนี้ทนต่อการตัดโค้งด้วยกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 mm ได้ดีไม่แตกร้าวและนอกจากนี้ยังทนต่อน้ำและตัวทำละลายได้ดีอีกด้วย ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้สูงในการที่จะนำขวด PET ที่ใช้แล้วมาแปรสภาพเป็นสินค้าใหม่ในรูปของสีอุตสาหกรรม ทั้งนี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการช่วยลดมลภาวะ ซึ่งเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการลดขยะพลาสติก และช่วยแบ่งเบาภาระการกำจัดขยะ ในขณะเดียวกันเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างมีคุณค่าและมีประโยชน์สูงสุด

<sup>1</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเคมี

<sup>2</sup> นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาเคมี สาขาเคมีอุตสาหกรรม

## The Reuse of Waste Polyethylene Terephthalate Bottles in the New Form of Paint

Pleonpit Boochathum<sup>1</sup> Nitaya Ketkaew<sup>1</sup> and Sararat Mahasaranon<sup>2</sup>

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Toongkru, Bangkok 10140

---

### Abstract

This work involves the reuse of waste poly(ethylene terephthalate) (PET) bottles in the new form of paint employing glycolysis degradation reaction using various ratios of trimethylolpropane and pentaerythritol or ethylene glycol (EG) and pentaerythritol (PL) as reactants. Degraded products obtained were polyesterified in order to prepare two types of resins i.e., for water soluble paint and for paint using organic solvent. As a result, paint obtained from degradation reaction of PET bottles using PET : EG : PL = 1.0 : 0.5 : 0.5 was found to have the best commercial properties and did not show much difference from those of generally used industrial paint. Though, this prepared paint has lower gloss but it is still in the same standard level of semi-gloss paint. On the other hand, adhesion and impact resistant (1.15 kg-m) were also slightly lower than that of the industrial paint (1.25 kg-m) but the bending resistance tested using cylinder having a diameter of 3 mm was considerably good and it also showed good water and solvent resistant. This confirms the high possibility of the reuse of waste PET bottles to be a new product in the commercial form of paint which will be significantly useful not only for the reduction of pollution and waste plastics but also for the management process of plastic wastes. Moreover, the natural resource will be used in the most value added way.

---

<sup>1</sup> Assistant Professor, Department of Chemistry.

<sup>2</sup> Graduate Student, Department of Chemistry.

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันการดำรงชีวิตของมนุษย์เราจะพบว่าพลาสติกเข้ามามีบทบาทสำคัญต่อชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก เนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุที่มีสมบัติพิเศษที่โดดเด่นกว่าวัสดุอื่นๆ และสามารถนำไปใช้ทดแทนวัสดุอื่นๆ ได้มากมาย โดยเฉพาะสมบัติในด้านความแข็งแรง ความยืดหยุ่น ทนต่อกรด ด่างและสารเคมี นอกจากนี้ยังมีน้ำหนักเบาและไม่แตกหักง่าย ด้วยสมบัติดังกล่าวทำให้สินค้าที่ผลิตจากพลาสติกถูกนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะพลาสติกประเภทพอลิเอทิลีน เทเรพธาลาต (Poly (ethylene terephthalate)) หรือ พีอีที (PET) ได้รับความนิยมนอย่างมากในการนำมาผลิตเป็นภาชนะบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ที่เรียกว่า ขวดเพท เช่นขวดบรรจุน้ำดื่ม น้ำแร่ น้ำมันพืช และเครื่องสำอาง เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากมีความใส แข็งแรงและน้ำหนักเบา ขวด PET ที่บรรจุเครื่องดื่มขนาด 2 ลิตร จะมีน้ำหนักเบากว่าขวดแก้วถึง 24 % นอกจากนี้ยังผลิตเป็นฟิล์มสำหรับบรรจุกลุ่มอาหาร เส้นใยสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ [1] เป็นต้น ซึ่งปัจจุบันอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับพลาสติก PET มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว มีปริมาณการผลิตและการใช้มากขึ้นเรื่อยๆ จนทำให้เกิดปัญหาการจับเก็บและกำจัด PET ที่ใช้แล้วเป็นจำนวนมาก

## 2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 1983 Tong, S. N. และคณะ [2] ได้ศึกษาการเตรียมพอลิเอสเตอร์ไม่อิ่มตัว โดยการทำปฏิกิริยาจะใช้โกลิโกเมอร์ของพอลิเอสเตอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาร้อยสลาย PET ใช้แล้วด้วยโพรไฟลีนไกลคอลและเอทิลีนไกลคอล ทำปฏิกิริยากับมาลิกอิกแอนไฮดราไซด์แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทำปฏิกิริยากับสไตรีนมอนอเมอร์ ได้ผลิตภัณฑ์พอลิเอสเตอร์ไม่อิ่มตัวตามต้องการ

ในปี 1987 Vaidya, U. R. และคณะ [3] ได้ศึกษาปฏิกิริยาดีพอลิเมอร์เซชันของเส้นใย PET ด้วยโพรไฟลีนไกลคอลที่ปริมาณต่างๆ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาไกลโคไลซิสนี้จะนำมาทำปฏิกิริยากับมาลิกอิกแอนไฮดราไซด์และนำมาผสมกับสไตรีนมอนอเมอร์ ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นพอลิเอสเตอร์ไม่อิ่มตัว เรซินที่ได้นี้จะถูกนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมเส้นใยพลาสติกเสริมแรง (fiber-reinforced plastics : FRP)

ในปี 1988 Vaidya, U. R. และคณะ [4] ได้ศึกษาการร้อยสลาย PET ด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส โดยใช้เอทิลีนไกลคอล (EG) ที่ปริมาณต่างๆ กัน แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการร้อยสลายนี้นำมาทำปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชันกับกรดอะดิพิค ซึ่งใช้สัดส่วนของหมู่ไฮดรอกซิลกับหมู่คาร์บอกซิลที่แตกต่างกัน ได้ผลิตภัณฑ์เป็นพอลิเอสเตอร์พอลิออลด์แล้วนำมาทำการเร่งบ่ม (curing) ด้วย 4, 4 ไดฟีนิลมีเทนไดไอโซไซยานาต ซึ่งทำให้ได้พอลิยูรีเทนโพลีที่มีความแข็งแรงและยืดหยุ่นได้

ในปี 1991 Chen J. Y. และคณะ [5] ได้ศึกษากระบวนการร้อยสลาย PET โดยปฏิกิริยาไกลโคไลซิสด้วยเอทิลีนไกลคอลภายใต้ความดัน ซึ่งพบว่าจลนพลศาสตร์และอัตราการร้อยสลายด้วยปฏิกิริยาเคมีของ PET จะสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ความดัน และอัตราส่วนของ EG : PET

ในปี 1997 สุภาพ ธาราคักดิ์ [6] ได้มีการศึกษาการย่อยสลาย PET เพื่อเตรียมกรดเทรเพธาลิคด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและเมธานอลิซิสโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมเมธอกไซด์เป็นตัวทำปฏิกิริยาตามลำดับ ทำปฏิกิริยาในสารตัวกลางต่างกันคือ เมธานอล และโทลูอิน พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลาย PET ในตัวกลางโทลูอิน จะได้ผลิตภัณฑ์กรดเทรเพธาลิคที่เตรียมในปริมาณมากกว่าในตัวกลางเมธานอล ในปฏิกิริยาที่ใช้โซเดียมเมธอกไซด์เป็นตัวทำปฏิกิริยาพบว่าปริมาณกรดเทรเพธาลิคเพิ่มขึ้นตามเวลาในการทำปฏิกิริยา

ในปี 1998 Guclu, G. และคณะ [7] ได้ศึกษาปฏิกิริยาไกลโคไลซิสของ PET ที่ใช้แล้วในตัวกลางไซลีน มีซิงค์อะซิเตตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและไซเอธิลีนไกลคอล หรือโพรไพลีนไกลคอลเป็นตัวทำปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลของ PET : ไกลคอล เท่ากับ 1.0 : 0.5 ถึง 1.0 : 3.0 ที่อุณหภูมิ 170 - 245 °C สภาวะของปฏิกิริยาไกลโคไลซิสที่ดีที่สุดคือปฏิกิริยาไกลโคไลซิสด้วยเอธิลีนไกลคอล ที่อุณหภูมิ 220 °C ได้ผลิตภัณฑ์อยู่ในรูปผลึกบริสุทธิ์ของ บิส (2-ไฮดรอกซิล) เทรเพธาลิกที่เป็นโมโนเมอร์ 80 % โดยโมล และไดเมอร์ 20 % โดยโมล

งานวิจัยนี้เป็นแนวทางการศึกษาการย่อยสลายขวดพอลิเอธิลีน เทรเพธาลิกที่ใช้แล้วด้วยปฏิกิริยาเคมีและนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาการย่อยสลายพอลิเอธิลีน เทรเพธาลิกที่ใช้แล้วมาทำเป็นผลิตภัณฑ์เรซินต่อไป ซึ่งผลิตภัณฑ์เรซินที่เตรียมได้นี้จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมสี และเพื่อจะได้เป็นแนวทางในการลดปริมาณขยะพลาสติกและเพิ่มคุณค่าให้กับพลาสติกที่ใช้แล้ว

การวิจัยได้ศึกษาการย่อยสลายขวด PET ใช้แล้วด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส โดยใช้ไตรเมทิลลอลโพรเพน เพนตะอีริทริทอล และเอธิลีนไกลคอล เป็นตัวทำปฏิกิริยาในสัดส่วนต่างๆ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายขวด PET ใช้แล้วนี้จะนำมาใช้ในการสังเคราะห์เรซิน ซึ่งเรซินที่ได้จากงานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ เรซินประเภทที่นำไปทำสีชนิดใช้น้ำเป็นตัวทำละลายเป็นหลักและเรซินประเภทที่นำไปทำสีชนิดใช้สารอินทรีย์เป็นตัวทำละลายแต่เพียงอย่างเดียว

### 3. การดำเนินงานวิจัย

#### 1. การเตรียมเรซิน

นำขวด PET ที่ใช้แล้วตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ลงในขวดก้นกลมแล้วเติมเพนตะอีริทริทอล (PL) กับไตรเมทิลลอลโพรเพน (TM) ให้ความร้อนพร้อมกับกวนที่อุณหภูมิ 230 °C เวลาในการทำปฏิกิริยาการย่อยสลาย 1 ชั่วโมง หรือ ทำการย่อยสลายโดยใช้เอธิลีนไกลคอลกับเพนตะอีริทริทอลในสัดส่วนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 200 °C เวลาทำปฏิกิริยาการย่อยสลาย 2 ชั่วโมง นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์บางส่วนที่ได้จากการย่อยสลายมาวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลและตรวจสอบโครงสร้างโมเลกุลต่อไป จากนั้นทำปฏิกิริยาเพื่อเตรียมเรซิน โดยเติมกรดไขมัน กรดไอโซพาทาลิก และเกลือโซเดียมของไดเมธิล 5-ซัลโฟไอโซพาทาลิกเพื่อทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิว มีไดบิวทิลทินออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาปรับความหนืดของสารละลายด้วยไซลีน ในขั้นตอนนี้ปฏิกิริยาสิ้นสุดเมื่อทดสอบค่าความเป็นกรด (acid

value) ได้น้อยกว่า 25 mg KOH/g ในกรณีที่ต้องการเตรียมเรซินประเภทนำไปทำสีชนิดใช้น้ำเป็นตัวทำละลายหลัก จะทำปฏิกิริยาต่อไปแต่ลดอุณหภูมิของปฏิกิริยาลงเป็น 160 °C แล้วเติมไตรเมลลิติก แอนไฮดราไซด์ จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 170 °C ทำปฏิกิริยาต่อไปอีกประมาณ 15-20 นาที นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาวิเคราะห์หาความหนืด น้ำหนักโมเลกุลและโครงสร้างโมเลกุลต่อไป

## 2. การเตรียมสี-วารันิชจากผลิตภัณฑ์เรซิน

เติมของผสมระหว่าง 2-บิวทอกซิลเอทานอลและ 2-บิวทานอล สัดส่วน 50 % (w/w) ปริมาณ 25 % (w/w) ลงในผลิตภัณฑ์เรซินชนิดนำไปทำเป็นสีชนิดที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายหลักปริมาณ 25 % (w/w) จากนั้นทำให้เป็นกลางด้วยสารละลายแอมโมเนีย 28 % (w/w) (pH = 7 - 8) เติมสารเร่งแห้งโคบอลต์แนฟทีเนต สูดท้ายเติมน้ำ 50 % (w/w) สำหรับสีชนิดที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายอินทรีย์เป็นตัวทำละลายเพียงอย่างเดียว จะใช้ของผสม 2-บิวทอกซิลเอทานอลและ 2-บิวทานอลสัดส่วน 50 % (w/w) ปริมาณ 75 % (w/w) และเรซินที่เตรียมได้ 25 % (w/w) จากนั้นเตรียมสีโดยเติมผงสีไททาเนียมไดออกไซด์ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์สีที่เตรียมได้เป็นสีขาว

## 3. การตรวจสอบสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายขวด PET ที่ใช้แล้ว และเรซินที่เตรียมได้

### 3.1 การตรวจสอบโครงสร้างโมเลกุลด้วยเทคนิค FT-IR

การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันโดยใช้เทคนิค FT-IR รุ่น FTS 175 ของ Bio-Rad ทำได้โดยนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายขวด PET ที่ใช้แล้วและผลิตภัณฑ์เรซินที่เตรียมได้ ซึ่งเป็นของเหลวชั้นหยดบนเซลล์ที่ทำด้วยเกลือโซเดียมคลอไรด์ แล้วใช้เซลล์อีกแผ่นหนึ่งประกบลงไปนำไปวัดด้วยเครื่อง FT-IR โดยวัดตั้งแต่ช่วงเลขคลื่น 400 - 4000  $\text{cm}^{-1}$

### 3.2 การวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลด้วยเทคนิค GPC

การวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายขวด PET ที่ใช้แล้ว และผลิตภัณฑ์เรซินที่เตรียมได้ โดยใช้เครื่อง GPC Hewlett Packard HP 1100 คอลัมน์ PL gel 5  $\mu\text{m}$  MIXED-E ด้วยอัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่เท่ากับ 1.0 ml/min ที่อุณหภูมิห้อง เตรียมสารละลายตัวอย่างด้วยตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวแรนให้มีความเข้มข้นประมาณ 3.0 g/L ปริมาณสารละลายตัวอย่างที่ใช้ในการวัดแต่ละครั้งเท่ากับ 100  $\mu\text{L}$  เปรียบเทียบหาน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของสารตัวอย่างกับสารมาตรฐานพอลิสไตรีนที่ทราบน้ำหนักโมเลกุลที่แน่นอน

### 3.3 การหาค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์เรซินที่เตรียมได้ [8]

เตรียมสารละลาย 50 มิลลิลิตรของสารตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนด้วยของผสมระหว่างไอโซโพรพานอลและโทลูอีน 50 % (w/w) และเขย่าจนกระทั่งละลายหมด หยดฟีนอล์ฟทาลีน 2-3 หยด และทำการไทเทรตด้วย 0.1 N KOH จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพูนานเป็นเวลาประมาณ 30 วินาที เป็นอย่างน้อยที่สุด แล้วทำการทดสอบซ้ำ 2 ครั้ง

$$\text{การคำนวณค่าความเป็นกรด} = \frac{56.1 \times \text{นอร์มัลลิตี KOH} \times \text{ปริมาตรของ KOH ที่ใช้ (ml)}}{\text{น้ำหนักของสารตัวอย่างที่ใช้ (g)}}$$

### 3.4 การทดสอบความหนืดของผลิตภัณฑ์เรซินที่เตรียมได้ [9][10]

การวัดความหนืดของเรซิน ทำได้โดยบรรจุตัวอย่างลงในหลอดทดสอบมาตรฐานในปริมาณที่กำหนดแล้วปิดให้สนิท จากนั้นกลับหลอดทดสอบและหลอดมาตรฐานพร้อมๆ กันจากบนลงล่าง เปรียบเทียบความเร็วในการเคลื่อนที่ของฟองอากาศในหลอดทั้งสอง ทดสอบทำนองเดียวกันกับหลอดมาตรฐานอื่น อ่านค่าความหนืดที่ได้ ซึ่งแสดงเป็นค่า A ถึง Z

## 4. การทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์และทางกลของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้ [9][10]

นำสีของเรซินที่เตรียมได้มาทำฟิล์มให้มีขนาด 100 ไมครอน บนแผ่นทดสอบโดยใช้วิธีตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) 285 เล่มที่ 4 จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C 30 นาที แล้วนำแผ่นฟิล์มทดสอบที่ได้เตรียมไปทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์และทางกลของฟิล์มตามมาตรฐานมอก. 285 เล่มที่ 2

### 4.1 การหาระยะเวลาฟิล์มแห้ง [10]

#### ก. การหาระยะเวลาฟิล์มแห้งที่แตะได้

ทดสอบโดยการใช้นิ้วมือแตะเบาๆ ที่ผิวฟิล์ม ถ้าฟิล์มแห้งจะไม่มีรอยนิ้วมือติดอยู่ บันทึกเวลาที่ทิ้งไว้ให้แห้ง ทดสอบเช่นเดียวกันกับแผ่นทดสอบใหม่อีก 2 ตัวอย่าง หาค่าเฉลี่ยผลการทดสอบที่ได้

#### ข. การหาระยะเวลาฟิล์มแห้งแข็ง

ทดสอบโดยใช้เครื่องมือทดสอบการแห้งแข็ง Drying Time Apparatus รุ่น Ref 603N ของ Sheen Instruments ซึ่งประกอบด้วยหัวกดหนักประมาณ 1.8 กิโลกรัม นำแผ่นทดสอบที่เคลือบฟิล์มแล้วมาวางไว้ใต้หัวกด เริ่มทดสอบโดยเปิดสวิทช์ให้หัวกดหมุนเคลื่อนลงมาบนแผ่นทดสอบไปเป็นมุม 270 องศา หัวกดจะเคลื่อนกลับไปที่เดิม นำแผ่นทดสอบมาตรวจสอบดูว่าผิวฟิล์มแห้งแข็งไม่หลุดออกมาทดสอบเช่นเดียวกันกับแผ่นทดสอบใหม่อีก 2 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย

### 4.2 การหาความหนาของฟิล์ม [10]

#### ก. การหาความหนาของฟิล์มเปียก

ทดสอบโดยใช้วีลเกจเป็นเครื่องมือที่ประกอบไปด้วยวงล้อ 3 วง โดยวงกลางมีขนาดเล็กและอยู่เยื้องศูนย์กลางกับวงข้างๆ ทั้งสอง กลิ้งวีลเกจไปบนแผ่นฟิล์มทดสอบตามความยาวของผิวฟิล์ม อ่านค่าความหนาของฟิล์มบนสเกลของวงนอก ทดสอบเช่นเดียวกับแผ่นทดสอบใหม่อีก 2 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย

#### ข. การหาความหนาของฟิล์มแห้ง

วัดโดยอาศัยหลักการเอ็ดดี้เคอร์เรนต์ (Eddy current) โดยใช้เครื่องมือ positest banana gauge รุ่น Ref S200 ของ Sheen Instruments วัดโดยวางหัววัด (probe) ของเครื่องมือลงบน แผ่นทดสอบที่เคลือบฟิล์มสี อ่านค่าความหนาที่ได้ ทดสอบเช่นนี้ที่หลายๆ ตำแหน่งบนแผ่นทดสอบ ทดสอบทำนองเดียวกันกับแผ่นทดสอบใหม่อีก 2 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย

#### 4.3 การทดสอบความเงาของฟิล์มที่มุม $60^\circ$ [10]

การวัดความเงาของฟิล์มที่มุม  $60^\circ$  จะใช้เครื่องมือ microgloss รุ่น Ref 155-75 ของ Sheen Instruments วางหัววัดบนแผ่นทดสอบที่เคลือบด้วยฟิล์มสี อ่านค่าความเงาที่วัดได้จากเครื่องทดสอบ ทดสอบทำนองเดียวกับแผ่นทดสอบใหม่อีก 2 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย

#### 4.4 การทดสอบความแข็งของฟิล์ม [10]

การทดสอบความแข็งของฟิล์มที่ใช้กันทั่วไปคือการทดสอบการขีดขีด โดยใช้เครื่อง Scratch Testers รุ่น Ref 705 ของ Sheen Instruments วางแผ่นทดสอบยึดให้แน่นกับแผ่นเลื่อนของเครื่องมือ วางน้ำหนักบนที่วางเหนือเข็ม โดยเริ่มจากน้ำหนักที่น้อยก่อน เปิดสวิตช์มอเตอร์ของเครื่องมือ ให้แผ่นเลื่อนปล่อยให้เข็มขีดบนแผ่นทดสอบทำการทดสอบซ้ำอีกแต่เพิ่มน้ำหนักจนกระทั่งเข็มทะลุผิวฟิล์มถึงแผ่นทดสอบ ทดสอบซ้ำกับตัวอย่างใหม่อีก 2 ตัวอย่าง โดยใช้น้ำหนักที่ทำให้เข็มขีดทะลุฟิล์มสีเพื่อยืนยันผลที่ได้

#### 4.5 การทดสอบความทนแรงกระแทกของฟิล์ม [11]

การทดสอบความทนแรงกระแทกของฟิล์มจะใช้เครื่องมือ Gardner Impact Tester รุ่น Ref 806 ของ Sheen Instruments ซึ่งมีตุ้มน้ำหนักหนัก 2.25 ปอนด์หรือ 1 กิโลกรัม มีความสูง 45 นิ้ว ทำการทดสอบโดยปล่อยตุ้มน้ำหนักลงมากกระแทกแผ่นทดสอบที่วางอยู่ด้านล่างตุ้มน้ำหนักกระยะห่างต่างๆ กัน โดยเริ่มจากกระยะห่างต่ำสุดก่อนแล้วจึงเพิ่มไปเรื่อยๆ จนได้กระยะห่างสูงสุดที่ทำให้ฟิล์มไม่เสียหาย เช่น การแตกหรือการหลุดล่อน ค่าที่อ่านได้มีหน่วยเป็น นิ้ว-ปอนด์ หรือ กิโลกรัม-เมตร ทดสอบทำนองเดียวกันกับแผ่นทดสอบใหม่อีก 2 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย

#### 4.6 การทดสอบการยึดเกาะของฟิล์ม [12]

การทดสอบการยึดเกาะของฟิล์มทำได้โดยใช้เครื่องมือ Cross Hatch Cutter รุ่น Ref 750 ของ Sheen Instruments กรีดฟิล์มสีทดสอบให้ลึกถึงแผ่นทดสอบและเป็นรอยตาราง 5-10 ครั้ง ที่มีระยะห่างระหว่างตารางประมาณ 1 มิลลิเมตร ใช้เทปกาวยึดบริเวณพื้นที่ที่กรีดแล้วดึงอย่างรวดเร็ว จากนั้นตรวจสอบผิวฟิล์มว่ามีการหลุดไปมากน้อยเท่าไร โดยเปรียบเทียบกับภาพมาตรฐาน ซึ่งเป็นภาพที่แสดงพื้นที่ของฟิล์มที่หลุดออกกว่าอยู่ในเกรดเบอร์ใด 0-5 ทดสอบซ้ำกับแผ่นทดสอบใหม่อีก 2 ครั้ง เพื่อยืนยันผลการทดสอบ

#### 4.7 การทดสอบความทนการตัดโค้งของฟิล์ม [10]

การทดสอบความทนการตัดโค้งของฟิล์มจะใช้เครื่องมือ Mandrel Set รุ่น Ref 809 ของ Sheen Instruments ทดสอบโดยการตัดแผ่นทดสอบที่มีฟิล์มเคลือบอยู่ ไม่ให้ด้านที่มีฟิล์มสัมผัสแกนทรงกระบอก เริ่มตัดแผ่นทดสอบโดยใช้แกนทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากที่สุดไปต่ำสุด เมื่อตัดแล้วตรวจสอบแผ่นทดสอบว่ามีรอยร้าวหรือแตกบนฟิล์มหรือไม่ รายงานผลว่าฟิล์มไม่แตกร้าวที่ทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลางใด ทดสอบซ้ำกับแผ่นทดสอบใหม่อีก 2 ครั้ง

#### 4.8 การทดสอบความทนน้ำ [10]

ทดสอบโดยการวางแผ่นทดสอบเคลือบฟิล์มสีจุ่มลงในอ่างน้ำที่มีอุปกรณ์การกวนน้ำและเครื่องเป่าอากาศพร้อมกับควบคุมอุณหภูมิที่  $27 \pm 1$  °C ในแนวตั้งเอียงเป็นมุม  $15-20^\circ$  เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ซับแผ่นทดสอบให้แห้ง ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงแล้วสังเกตฟิล์มบนแผ่นทดสอบว่าเสียหายหรือไม่ ทดสอบทำนองเดียวกันกับแผ่นทดสอบใหม่อีก 2 ครั้ง

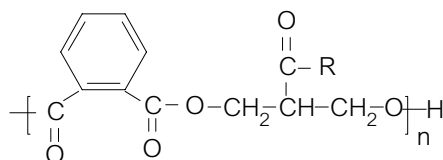
#### 4.9 การทดสอบความทนต่อตัวทำละลาย [10]

ทดสอบโดยการนำแผ่นทดสอบเคลือบฟิล์ม มาจุ่มลงในสารละลายผสมของไอโซออกเทนและโทลูอีน ในสัดส่วน 70/30 โดยปริมาตร เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำแผ่นทดสอบมาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง สังเกตฟิล์มบนแผ่นทดสอบว่าเสียหายหรือไม่ ทดสอบเช่นเดียวกับแผ่นทดสอบใหม่อีก 2 ครั้ง

### 4. ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 1. ผลการตรวจสอบโครงสร้างโมเลกุลของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายขวด PET ที่ใช้แล้วและผลิตภัณฑ์เรซินที่เตรียมได้

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายขวด PET ที่ใช้แล้วด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิสที่ใช้นิตและสัดส่วนของไกลคอลที่แตกต่างกัน มีหมู่ฟังก์ชันทางเคมีที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR และหมู่ฟังก์ชันทางเคมีที่น่าจะเป็นไปได้ของเรซินที่เตรียมได้เปรียบเทียบกับอัลคิดเรซินที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมสี (รูปที่ 1) ดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ



รูปที่ 1 แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายขวด PET ใช้แล้วด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส และปฏิกิริยาการเตรียมเรซิน



ตารางที่ 1 แสดงหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายขวด PET ที่ใช้แล้วด้วยปฏิกิริยา ไกลโคไลซิสโดยใช้ตัวทำปฏิกิริยาในสัดส่วนต่างๆ กัน

| เลขคลื่น (cm <sup>-1</sup> )                                |                 |                 |                 | หมู่ฟังก์ชันที่อาจเป็นไปได้  |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|------------------------------|
| ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายโดยใช้ตัวทำปฏิกิริยาต่าง ๆ กัน |                 |                 |                 |                              |
| PET : TM : PL<br>1.00 : 0.65 : 0.02                         | PET : EG : PL   |                 |                 |                              |
|   | 1.0 : 0.7 : 0.3 | 1.0 : 0.5 : 0.5 | 1.0 : 0.3 : 0.7 |                              |
| 3600-2600   | 3600-2600       | 3600-2600       | 3600-2600       | O-H stretching หมู่ไฮดรอกซิล |
| 2947  | 2948            | 2948            | 2952            | C-H stretching อะลิฟาติก     |
| 1708  | 1714            | 1711            | 1715            | C=O stretching หมู่คาร์บอนิล |
| 1495  | 1455            | 1455            | 1462            | C=C อะโรมาติก                |
| 1265  | 1275            | 1274            | 1276            | C-O คาร์บอกซิลิก             |

ตารางที่ 2 แสดงหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของผลิตภัณฑ์อัลคิตเรซินที่เตรียมได้เปรียบเทียบกับอัลคิตเรซินที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมสี

| เลขคลื่น (cm <sup>-1</sup> )          |   |               |             |             | หมู่ฟังก์ชันที่อาจเป็นไปได้ |
|---------------------------------------|---|---------------|-------------|-------------|-----------------------------|
| อัลคิตเรซินที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมสี | อัลคิตเรซินที่เตรียมได้จากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายขวด PET ที่ใช้แล้ว |               |             |             |                             |
|                                       | PET : TM : PL<br>1.0:0.65 :0.02   | PET : EG : PL |             |             |                             |
|                                       |   | 1.0:0.7:0.3   | 1.0:0.5:0.5 | 1.0:0.3:0.7 |                             |
| 3500-3200                             | 3500-2500   | 3500-3200     |             |             | O-H stretching ไฮดรอกซิล    |
| 2929                                  | 2929  | 2929          | 2928        | 2952        | C-H stretching อะลิฟาติก    |
| 1728                                  | 1710  | 1721          | 1724        | 1715        | C=O stretching คาร์บอนิล    |
| 1463                                  | 1460  | 1455          | 1462        | 1462        | C=C อะโรมาติก               |
| 1271                                  | 1262  | 1269          | 1271        | 1261        | C-O คาร์บอกซิลิก            |

จากผลการตรวจสอบโครงสร้างโมเลกุลของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาการย่อยสลายพบว่า มีหมู่คาร์บอนิลของหมู่คาร์บอกซิลิกและหมู่ไฮดรอกซิลเป็นหมู่หลัก ซึ่งสอดคล้องกับกลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีดังแสดงในรูปที่ 2 ส่วนเรซินที่เตรียมได้ทั้งหมดพบว่ามีเลขคลื่นที่แสดงถึงหมู่ C-H stretching อะลิฟาติก C=O stretching หมู่คาร์บอนิล C=C อะโรมาติก และ C-O คาร์บอกซิลิกที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นเรซินชนิดใช้สารอินทรีย์เป็นตัวทำละลายเพียงอย่างเดียว มีหมู่ฟังก์ชันในรูปของแอลกอฮอล์ คือ O-H ซึ่งแตกต่างจากเรซินชนิดใช้น้ำเป็นตัวทำละลายหลักที่มีไฮดรอกซิลของหมู่คาร์บอกซิลิก



ตารางที่ 3 แสดงน้ำหนักโมเลกุลของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายขวด PET ที่ใช้แล้วด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิสโดยใช้ตัวทำปฏิกิริยาสัดส่วนต่างๆ กัน

| ตัวทำปฏิกิริยา/อุณหภูมิ/เวลา                            | พีดที่ | $\overline{M}_n$ | $\overline{M}_w$ | $\overline{M}_p$ | Polydispersity |
|---|--------|------------------|------------------|------------------|----------------|
| PET : TM : PL<br>1.0 : 0.65 : 0.02<br>230°C / 1 ชั่วโมง | 1      | 1205             | 1560             | 1742             | 1.295          |
|   | 2      | 396              | 397              | 400              | 1.002          |
|   | 3      | 249              | 250              | 251              | 1.003          |
| PET : EG : PL<br>1.0 : 0.7 : 0.3<br>200°C / 2 ชั่วโมง   | 1      | 865              | 944              | 952              | 1.091          |
|   | 2      | 400              | 404              | 416              | 1.011          |
| PET : EG : PL<br>1.0 : 0.5 : 0.5<br>200°C / 2 ชั่วโมง   | 1      | 1074             | 1132             | 942              | 1.036          |
|   | 2      | 604              | 608              | 597              | 1.006          |
|   | 3      | 392              | 395              | 403              | 1.008          |
|   | 4      | 225              | 226              | 229              | 1.003          |
| PET : EG : PL<br>1.0 : 0.3 : 0.7<br>200°C / 2 ชั่วโมง   | 1      | 1262             | 1344             | 1059             | 1.065          |
|   | 2      | 605              | 609              | 603              | 1.007          |
|   | 3      | 402              | 404              | 407              | 1.006          |
|   | 4      | 229              | 231              | 234              | 1.007          |

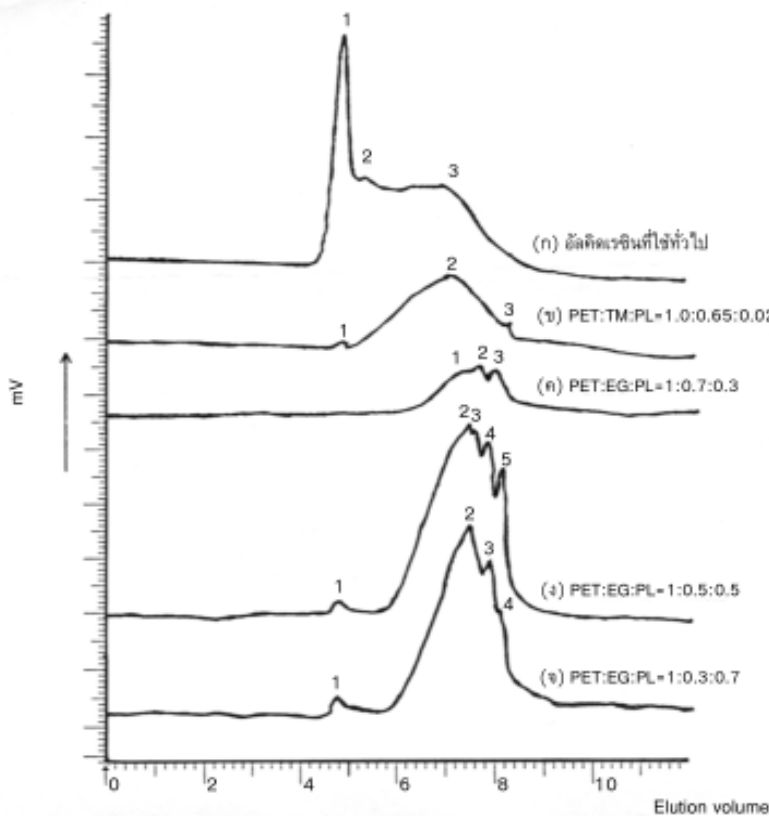
ตารางที่ 4 แสดงน้ำหนักโมเลกุลของเรซินที่เตรียมได้จากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายขวด PET ที่ใช้แล้ว ด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิสโดยใช้ตัวทำปฏิกิริยาในสัดส่วนต่างๆ กัน เปรียบเทียบกับอัลคิดเรซินที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมสี

| เรซินชนิดเตรียมจาก                            | พีดที่ | $\overline{M}_n$ | $\overline{M}_w$ | $\overline{M}_p$ | Polydispersity |
|---|--------|------------------|------------------|------------------|----------------|
| (ก) อัลคิดเรซินที่ใช้ทั่วไป<br>ในอุตสาหกรรมสี | 1      | 42133            | 43430            | 43374            | 1.030          |
|   | 2      | 18303            | 18593            | 18762            | 1.015          |
|   | 3      | 1480             | 2274             | 1568             | 1.536          |
| (ข) PET : TM : PL<br>1.0 : 0.65 : 0.02        | 1      | 39481            | 39530            | 39851            | 1.001          |
|   | 2      | 1884             | 3787             | 1745             | 2.012          |
|   | 3      | 309              | 311              | 307              | 1.006          |
| (ค) PET : EG : PL<br>1.0 : 0.7 : 0.3          | 1      | 1311             | 1403             | 1228             | 1.070          |
|   | 2      | 630              | 636              | 643              | 1.008          |
|   | 3      | 361              | 368              | 390              | 1.018          |
| (ง) PET : EG : PL<br>1.0 : 0.5 : 0.5          | 1      | 41702            | 44134            | 49792            | 1.058          |
|   | 2      | 1725             | 1881             | 1618             | 1.090          |
|   | 3      | 887              | 890              | 884              | 1.003          |
|   | 4      | 598              | 602              | 603              | 1.007          |
|   | 5      | 383              | 385              | 386              | 1.006          |
| (จ) PET : EG : PL<br>1.0 : 0.3 : 0.7          | 1      | 38306            | 41591            | 49269            | 1.085          |
|   | 2      | 1446             | 1652             | 1165             | 1.142          |
|   | 3      | 581              | 585              | 578              | 1.007          |
|   | 4      | 386              | 387              | 386              | 1.002          |

พบว่าน้ำหนักโมเลกุลของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายขวด PET ที่ใช้แล้ว พีคที่ได้มีลักษณะเป็นแถบกว้าง (broad) แสดงถึงการกระจายน้ำหนักโมเลกุล และ/หรือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีมากกว่า 1 ชนิด น้ำหนักโมเลกุลของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายโดยใช้ TM:PL มีค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยสูงที่สุด เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของ TM และ PL มีกิ่งก้านสาขามากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายที่ใช้สัดส่วน PL 0.5 และ 0.3 มีค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อใช้สัดส่วนปริมาณ PL = 0.7 จะได้ค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยสูงขึ้นเล็กน้อย

น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยอัลคิตเรซินที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมสีมีค่าเท่ากับ 43374 ซึ่งเป็นค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยที่สูงกว่าเรซินที่เตรียมได้จากการย่อยสลายขวด PET ที่ใช้แล้ว ที่ใช้สัดส่วนตัวทำปฏิกิริยา TM : PL = 0.65 : 0.02 ( $\overline{M}_p = 39851$ ) และ EG : PL = 0.7 : 0.3 ( $\overline{M}_p = 1228$ ) แต่ต่ำกว่าเรซินที่เตรียมจากตัวทำปฏิกิริยา EG : PL = 0.5 : 0.5 และ 0.3 : 0.7 ( $\overline{M}_p = 49792$  และ  $= 49269$  ตามลำดับ)

ตารางที่ 4 สรุปค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวน ( $\overline{M}_n$ ), ค่าเฉลี่ยน้ำหนักโมเลกุลโดยน้ำหนัก ( $\overline{M}_w$ ), ค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยที่ตำแหน่งสูงสุดของพีคและค่าการกระจายน้ำหนักโมเลกุลของเรซินที่เตรียมได้ต่างๆ เปรียบเทียบกับของอัลคิตเรซินที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมสี และโครมาโตแกรมแสดงการกระจายน้ำหนักโมเลกุลเรซินที่เตรียมได้ โดยใช้ตัวทำปฏิกิริยาสัดส่วนต่างๆ กันเปรียบเทียบกับอัลคิตเรซินที่ใช้ในอุตสาหกรรมสี ดังในรูปที่ 3



รูปที่ 3 โครมาโตแกรมแสดงการกระจายน้ำหนักโมเลกุลเรซินที่เตรียมได้โดยใช้ตัวทำปฏิกิริยาสัดส่วนต่างๆ กันเปรียบเทียบกับอัลคิตเรซินที่ใช้ในอุตสาหกรรมสี

### 3. ผลการศึกษาค่าความเป็นกรด ความหนืดและปริมาณของผลิตภัณฑ์เรซินที่เตรียมได้จากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายขวด PET ที่ใช้แล้ว

เรซินที่เตรียมได้จากการย่อยสลายขวด PET ที่ใช้แล้ว โดยใช้ EG : PL = 0.5 : 0.5 มีปริมาณมากที่สุด มีค่าความเป็นกรดและความหนืดใกล้เคียงและเท่ากับอัลคิตเรซินที่ใช้ทั่วไป ได้ผลสรุปแสดงไว้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงค่าความเป็นกรด ปริมาณ และความหนืดของผลิตภัณฑ์เรซินที่เตรียมได้จากผลิตภัณฑ์ที่ได้ จากการย่อยสลายขวด PET ใช้แล้วด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส โดยใช้ตัวทำปฏิกิริยาในอัตราส่วนต่างๆ กัน

| เรซิน                            | ตัวทำปฏิกิริยา                     | ปริมาณ*<br>(%w/w) | ค่าความเป็นกรด<br>(mg KOH/g) | ความหนืด<br>(stoke) |
|----------------------------------|------------------------------------|-------------------|------------------------------|---------------------|
| อัลคิตเรซินทั่วไป                | -                                  | -                 | 12.30                        | 22.70 (Z)           |
| ชนิดใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย         | PET : TM : PL<br>1.0 : 0.65 : 0.02 | 66.50             | 52.00                        | 10.70 (W)           |
| ชนิดใช้สารอินทรีย์เป็นตัวทำละลาย | PET : EG : PL<br>1.0 : 0.7 : 0.3   | 72.04             | 16.40                        | 8.84 (V)            |
|                                  | PET : EG : PL<br>1.0 : 0.5 : 0.5   | 73.20             | 13.80                        | 22.70 (Z)           |
|                                  | PET : EG : PL<br>1.0 : 0.3 : 0.7   | 72.83             | 14.20                        | 22.70 (Z)           |

\* ปริมาณ =  $\frac{\text{ปริมาณเรซินที่เตรียมได้}}{\text{ปริมาณสารตั้งต้นทั้งหมด}} \times 100$

### 4. การศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์และทางกลของผลิตภัณฑ์เรซินที่เตรียมได้

ก่อนการทดสอบสมบัติ จะต้องอบแผ่นฟิล์มตัวอย่างที่อุณหภูมิ 60 °C เวลา 30 นาที เพื่อให้สีแห้งสนิทก่อน ผลการทดสอบสมบัติต่างๆ ของสีตามมาตรฐาน มอก.และ American Society for Testing and Materials (ASTM) ดังสรุปในตารางที่ 6

จากผลการทดสอบพบว่าระยะเวลาแห้งและแห้งแข็งของสีที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายหลักจะแห้งเร็วกว่าสีที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายอินทรีย์เพียงอย่างเดียว แต่แห้งช้ากว่าสีที่ทำมาจากอัลคิตเรซินที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมสีเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอัลคิตเรซินที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมสีที่มีส่วนประกอบน้ำมันแห้งเร็ว (drying oil) ปริมาณ 56-70 % (w/w) น้ำมันแห้งเร็วนี้มีโมเลกุลจะประกอบด้วยกรดไขมันที่มีพันธะคู่ 3 พันธะ เช่น กรดอิลีโอสเตียริก น้ำมันที่มีกรดชนิดนี้เช่น น้ำมันถั่วและน้ำมันลินสีด เป็นต้น โดยต่างจากเรซินที่เตรียมได้จากการย่อยสลายขวด PET นั้นได้ใช้น้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันละหุ่ง ซึ่งเป็นน้ำมันแห้งช้า (semi-drying oil) มีโมเลกุลประกอบด้วย

กรดไขมันที่มีพันธะคู่ 2 พันธะ เช่น กรดลิโนลีนิก แม้ว่าความหนาของฟิล์มเปียกของสีที่เตรียมได้จากการย่อยสลายขวด PET ที่ใช้แล้วชนิดใช้สารอินทรีย์เป็นตัวทำละลายเพียงอย่างเดียวจะมีค่าต่ำกว่าอัลคิตเรซินทั่วไป แต่ความหนาฟิล์มแห้งมีค่าเท่ากันคือ 30  $\mu$ m ยกเว้นสีชนิดที่เตรียมโดยใช้สัดส่วน EG : PL = 0.7 : 0.3

**ตารางที่ 6** แสดงผลการทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์และทางกลของสีชนิดที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายหลักและใช้สารอินทรีย์เป็นตัวทำละลายเพียงอย่างเดียวที่เตรียมได้จากการย่อยสลายขวด PET ใช้แล้ว โดยใช้ตัวทำปฏิกิริยาในสัดส่วนต่างๆ กัน

| การทดสอบ                     |          | สีชนิดใช้น้ำเป็นตัวทำละลายหลัก                                 | สีชนิดใช้สารอินทรีย์เป็นตัวทำละลายเพียงอย่างเดียว |                             |                                  |                                  |
|------------------------------|----------|--|---|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
|                              |          |  | PET : TM : PL<br>1.0 : 0.65 : 0.02                | อัลคิตเรซิน<br>ที่ใช้ทั่วไป | PET : EG : PL<br>1.0 : 0.7 : 0.3 | PET : EG : PL<br>1.0 : 0.5 : 0.5 |
| ระยะเวลาฟิล์มแห้ง (min)      | แตะได้   | 32.00  | 30.00   | 50.00                       | 50.00                            | 45.00                            |
|                              | แห้งแข็ง | 100.00   | 90.00   | 160.00                      | 158.00                           | 150.00                           |
| ความหนาฟิล์มเปียก ( $\mu$ m) |          | 66.67  | 66.67   | 50.00                       | 60.00                            | 60.00                            |
| ความหนาฟิล์มแห้ง ( $\mu$ m)  |          | 30.00  | 30.00   | 28.00                       | 30.00                            | 30.00                            |
| ความเงา 60°                  |          | 34.00  | 57.67   | 37.33                       | 37.50                            | 41.80                            |
| ความแข็ง (g)                 |          | 500.00   | 500.00  | 500.00                      | 500.00                           | 500.00                           |
| ทนแรงกระแทก (kg-m)           |          | 1.15   | 1.25  | 1.15                        | 1.15                             | 1.15                             |
| การยึดเกาะ                   |          | 1*   | 0*  | 1*                          | 1*                               | 1*                               |
| ความทนการตัดโค้ง             |          | ตัดโค้งด้วยกระบอกลูกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 mm. ฟิล์มไม่แตกร้า |   |                             |                                  |                                  |
| ความทนน้ำ                    |          | ฟิล์มไม่เสียหาย  |   |                             |                                  |                                  |

ทางด้านความเงา 60° ของสีที่เตรียมได้จากการย่อยสลายขวด PET ที่ใช้แล้วมีค่าต่ำกว่าสีอัลคิตเรซินทั่วไป ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจาก PET เป็นพอลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึกสูง จึงทำให้ฟิล์มมีความใสลดลงและฟิล์มสีที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายหลักจะมีความเงาต่ำที่สุดซึ่งอาจเนื่องมาจากผลของสารลดแรงตึงผิวเกลือโซเดียมของไดเมทิล 5-ซัลโฟไอโซพาทาเลท โดยที่สารลดแรงตึงผิวนี้นำไปลดการสะท้อนแสงของสี อย่างไรก็ตามค่าความเงาของเรซินที่เตรียมได้มีค่าอยู่ในช่วง 41.80 - 34.00 ซึ่งจัดเป็นฟิล์มประเภทกึ่งเงา (semi-gloss ความเงาในช่วง 30-70) เช่นเดียวกับกับสีที่เตรียมจากอัลคิตเรซินทั่วไป ค่าความทนแรงกระแทกของสีที่เตรียมจากการย่อยสลายขวด PET ที่ใช้แล้วแม้ว่ามีค่าต่ำกว่าสีที่เตรียมจากอัลคิตเรซินทั่วไปเล็กน้อย แต่ยังคงอยู่ในระดับที่เป็นที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม สำหรับการยึดเกาะของฟิล์มสีที่เตรียมได้มีค่าต่ำกว่าสีอัลคิตเรซินทั่วไปเล็กน้อย เพราะมีการหลุดลอกที่รอยกรีดบริเวณจุดตัดเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากสีที่เตรียมได้จากการย่อยสลายขวด PET ที่ใช้แล้วมีจำนวนโมเลกุลขนาดใหญ่ น้อยกว่าของสีอัลคิตเรซินที่ใช้ทั่วไปมาก (ดูรูปที่ 3) จึงทำให้ฟิล์มที่เตรียมได้มีความเปราะมากกว่าและแผ่นทดสอบการยึดเกาะของฟิล์มที่ใช้เป็นโลหะ ทำให้มีแรงยึดเกาะระหว่างฟิล์มสีกับแผ่นทดสอบโลหะ ซึ่งเรียกว่า "Mechanical Adhesion" ต่ำกว่าแรงกระทำระหว่างฟิล์มกับแผ่นทดสอบที่เป็นไม้อยู่แล้ว อย่างไรก็ตามเป็นที่

นำสังเกตุว่าสีที่เตรียมจากการย่อยสลายขวด PET ที่ใช้แล้วมีความทนการตัดโค้งได้ดีไม่แตกต่างไปจากสีที่ทำจากอัลคิตเรซินทั่วไป สำหรับความทนต่อน้ำและตัวทำละลายของสีเรซินที่เตรียมได้จากการย่อยสลายขวด PET ที่ใช้แล้วมีประสิทธิภาพดีเท่ากับฟิล์มของอัลคิตเรซินที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรม

## 5. สรุปผลการทดลอง

1. ผลการตรวจสอบโครงสร้างโมเลกุลของ PET ที่ถูกย่อยสลายและและอัลคิตเรซินด้วยเทคนิค FT-IR สันับสนุนกับกลไกการเกิดปฏิกิริยา (รูปที่ 1)

2. ผลิตภัณฑ์เรซินที่เตรียมได้เพื่อนำไปทำสีไม่ว่าเป็นชนิดที่ใช้ น้ำเป็นตัวทำละลายหลัก หรือสีชนิดที่ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์เพียงอย่างเดียวเป็นตัวทำละลาย มีสมบัติทั้งทางฟิสิกส์และทางกลใกล้เคียงกันกับฟิล์มของอัลคิตเรซินที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมสี ยกเว้นระยะเวลาแห้ง ความเงา ความทนแรงกระแทกและการยึดเกาะซึ่งมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามจัดอยู่ในระดับของค่าที่ยอมรับได้ในการนำไปใช้งาน

3. ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถนำขวด PET กลับมาใช้ใหม่ได้โดยผลิตเป็นเรซินที่สามารถนำไปทำเป็นสี ซึ่งเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการช่วยลดขยะพลาสติกและลดภาระการกำจัดขยะและที่สำคัญที่สุดคือเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างมีคุณค่าและมีประโยชน์สูงสุด

## เอกสารอ้างอิง

1. Ehrig, R. J. ed., 1992, *Plastic Recycling*, Oxford University Press, New York.
2. Tong, S. N., Chen, D. S., Chen, C. C., and Chung, L. Z., 1983, "Unsaturated Polyesters based on bis (2-hydroxyethyl) terephthalate", *Polymer*, Vol. 24, pp. 469-472.
3. Vaidya, U. R. and Nadkarni, V. M., 1987, "Unsaturated Polyester Resins from Poly (ethylene terephthalate) Waste. 1. Synthesis and Characterization", *Industrial and Engineering Chemistry Research*, Vol. 26, pp. 194-198.
4. Vaidya, U. R. and Nadkarni, V. M., 1988, "Polyester Polyols for Polyurethanes from PET Waste : Kinetics of Polycondensation", *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 35, pp. 775-785.
5. Chen, J. Y., OU, C. F., HU, Y. C., and Lin, C. C., 1991, "Depolymerization of Poly (ethylene terephthalate) Resin Under Pressure", *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 42, pp. 1501-1507.
6. สุภาพ ธาราศักดิ์, 2540, "การศึกษาปฏิกิริยาเคมีการย่อยสลายพอลิเอธิลีน เทเรพธาลท", วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

7. Guclu, G., Kasgoz, A., Ozbudak, S., Ozgumus, S., and Orbay, M., 1998, "Glycolysis of Poly (ethylene terephthalate) Wastes in Xylene", *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 69, pp. 2311-2319.

8. American Society for Testing and Materials, 1997, "ASTM Standard: D1639-90 Standard Test Method for Acid Value of Organic Coating Materials", *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 06.01, Philadelphia, ASTM, pp. 325-326.

9. Sward, G. G. Editor., 1972, *Paint Testing Manual. (Physical and Chemical Examination of Paint, Varnishes, Lacquers and Colors* 13<sup>th</sup> Edition, American Society for Testing and Materials.

10. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบสี วาร์นิช และวัสดุที่เกี่ยวข้อง มอก. 285 เล่มที่ 1-44 (2521-2531).

11. American Society for Testing and Materials, 1997, "ASTM Standards: D 2794-93 Standard Test Method for Resistance of Organic Coatings to the Effects of Rapid Deformation (Impact)", *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 06.01, Philadelphia, ASTM, pp. 307-308.

12. International Organization for Standardization, 1992, International Standard ISO 2409 *Paints and Varnishes-Cross Cut Test*, 2<sup>nd</sup> edition, Switzerland.