

นวัตกรรมใหม่ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของน้ำมันธรรมชาติดัดแปรพอลิออล สำหรับการเตรียมพอลิยูรีเทนชีวภาพ

Innovation of Environmental Friendly Modified Natural Oil Polyols for Biopolyurethane Preparation

ช.วษากรณ์ เพ็ชฌุฬาศิษฏ¹

Chor. Wayakron Phetphaisit¹

1. บทนำ

จากความตื่นตัวเรื่องภาวะโลกร้อนน้ำมันราคาแพง และปัญหาขยะพลาสติก ทำให้พลาสติกชีวภาพ หรือ พลาสติกที่มีส่วนประกอบจากชีวภาพได้รับความนิยม และมีความสนใจในการนำมาใช้งานแทนการใช้ผลผลิตจาก อุตสาหกรรมปิโตรเคมีมากขึ้น เนื่องจากพลาสติกชีวภาพ มีความเป็นพิษกับสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า สามารถทดแทนได้ ไม่มีวันหมด และสามารถย่อยสลายได้ง่ายกว่าขยะ พลาสติก พอลิยูรีเทนเป็นพอลิเมอร์ตัวหนึ่งที่มีการใช้งาน อย่างกว้างขวางเนื่องจากสมบัติเด่นหลายประการ เช่น ทนทานต่อการสึกกร่อน ทนทานสารเคมี เป็นฉนวนไฟฟ้า ที่ดี ทนความร้อน เก็บความเย็นได้ดี ยอมให้คลื่นวิทยุ เรดาร์ และเอ็กซเรย์ผ่านได้ การใช้งานของพอลิยูรีเทน มีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยคาดการณ์ว่าในปี ค.ศ. 2009 เฉพาะตลาดของประเทศสหรัฐอเมริกามีความต้องการใช้ พอลิยูรีเทนเพิ่มขึ้น 2.8% หรือ 7.6 พันล้านปอนด์ [1] โดยการนำไปใช้งานเป็นโฟมยืดหยุ่น (flexible foam) และ โฟมแข็ง (rigid foam) จะคิดเป็นการใช้งานถึง 2 ใน 3 ของความต้องการใช้พอลิยูรีเทนทั้งหมด ซึ่งความต้องการ

ใช้โฟมยืดหยุ่นจะเพิ่มขึ้น 1.9% เมื่อเทียบกับความต้องการ ในปีที่ผ่านมา หรือคิดเป็น 2.6 พันล้านปอนด์ [1] โดยจะ มีการใช้มากในการทำเบาะ เช่น เบาะนั่งในอุตสาหกรรม ยานยนต์ เบาะสำหรับที่นั่งนอน หมอน และเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ นอกจากนี้ยังมีการใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ ส่วนรองพื้นพรม ท่อพองน้ำสำหรับหุ้มอุปกรณ์ทำความเย็น เป็นต้น [1,2,3] ในขณะที่โฟมแข็งจะมีความต้องการใช้งานเพิ่มขึ้น 3.4% หรือคิดเป็น 2.4 พันล้านปอนด์ [1] ซึ่งโฟมแข็งจะใช้งาน ในงานที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพทางความร้อนในงาน ก่อสร้าง ท่อฉนวน หรือแผ่นฉนวนในอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ปีกเครื่องบิน ผนังตู้เย็น ผนังภาชนะเก็บของร้อน [1,2,3] และในปัจจุบันนำโดยประเทศเนเธอร์แลนด์มีการพัฒนา โฟมแข็ง เทอร์โมเซตพอลิยูรีเทนร่วมกับเส้นใยแก้ว และ ซีเมนต์ในการทำบล็อกน้ำหนักเบาสำหรับก่อสร้างบ้านให้ สามารถลอยน้ำได้ เพื่อรองรับปัญหาน้ำทะเลที่อาจท่วม ประเทศ เนื่องจากนักวิทยาศาสตร์มีการคาดเดาว่าในปี ค.ศ. 2100 ระดับน้ำทะเลจะสูงขึ้นจากปัจจุบันอีก 110 เซนติเมตร [4] บ้านลอยน้ำได้จึงจัดเป็นบ้านสำหรับอนาคต ที่กำลังได้รับความสนใจและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

¹ อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000 โทร 055-261000-4 ต่อ 3401

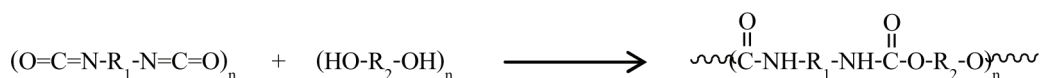
นอกจากการใช้งานในรูปแบบของโฟมยืดหยุ่นและโฟมแข็งพอลิยูรีเทน ยังมีการใช้งานในรูปแบบอื่นๆ อีกประมาณ 2.6 พันล้านปอนด์ [1] คือสารเคลือบผิว (coating) โดยนิยมใช้เป็นสารตัวเติมในสี (alkyd resin) สำหรับสียานยนต์ สีสำหรับเรือที่ต้องสัมผัสน้ำทะเล และสีทาไม้ สารยึดติด (adhesive) สารเชื่อมประสาน (sealant) และพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ ซึ่งพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ ใช้มากในการทำล้อรถขนาดเล็กที่ต้องการความทนทานต่อการสึกกร่อนสูง พื้นรองเท้า แม่พิมพ์หล่อคอนกรีต พัดเตอร์ไม้กอล์ฟ และเส้นใยอีลาสติกสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ ไหมเย็บแผล ท่อดับเพลิง และชุดว่ายน้ำ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการใช้งานในรูปแบบของเทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทน เช่น พลาสติกหุ้มตัวเชื่อมต่อที่ต้องการความทนทานต่อสารเคมี (highly chemical resistant cable connectors) และพลาสติกจำรูปร่าง (shape memory-plastics) เป็นต้น [1,2,3]

2. วัตถุดิบ และปฏิกิริยาการเตรียมพอลิยูรีเทน

พอลิยูรีเทนเตรียมจากปฏิกิริยาแบบขั้น (stepwise reaction) โดยอาศัยกลไกการเติมของหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งพันธะคู่ของไดไอโซไซยานาต [5] ดังแสดงในรูปที่ 1 พอลิยูรีเทนมีสมบัติที่หลากหลายขึ้นอยู่กับชนิดของตัวเข้าทำปฏิกิริยาทั้งไดไอโซไซยานาต และไดออลหรือพอลิออล โดยไดไอโซไซยานาตจะนิยมใช้อะโรมาติกไดไอโซไซยานาตมากกว่าอะลิฟาติกไดไอโซไซยานาต เนื่องจากความเป็นพิษที่ต่ำกว่า และมีความว่องไวของปฏิกิริยาที่มากกว่า ซึ่งอะโรมาติกไดไอโซไซยานาตที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตโฟม ยาง และกาว ได้แก่ของผสมระหว่าง 2,4- และ 2,6-โทลูอีนไดไอโซไซยานาต (TDI) หรือ 4,4'-เมทิลีนบิสฟีนิลไดไอโซไซยานาต (MDI)

โดย TDI มีปริมาณการใช้มากที่สุดสำหรับการผลิตโฟมยืดหยุ่นพอลิยูรีเทน ในขณะที่ไดออลหรือพอลิออลแต่เดิมนิยมใช้อะลิฟาติกไดออล (ไกลคอล) เช่น 1,4-บิวเทนไดออล แต่ปัจจุบันนิยมใช้สารประกอบพอลิเอทรีโกลหรือซิลที่มีหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งปลาย และมีน้ำหนักโมเลกุลสูงไม่มากนัก เช่น พอลิเอสเตอร์พอลิออล พอลิอีเทอร์พอลิออล และพอลิอีเทอร์ไดออลพอลิออล เนื่องจากผลิตผลที่ได้มีสมบัติการใช้งานกว้างขวางกว่าการใช้ไกลคอล มีความยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำ เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี และยังมีราคาถูกกว่า โดยพอลิอีเทอร์ไดออลเหลวที่มีหมู่ไฮดรอกซิล ที่ตำแหน่งปลายทางการค้าผลิตโดย Sartomer Company, Inc ในชื่อของ Krasol®HLBH-P2000 resin และพอลิอีเทอร์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งปลายทางการค้าผลิตโดย Dow Polyurethanes

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าสารไดออลและพอลิออลที่ใช้ในปัจจุบันจะสามารถตอบสนองต่อความต้องการในการใช้ประโยชน์ของพอลิยูรีเทนในรูปแบบต่างๆ ได้เป็นอย่างดี แต่สารไดออลและพอลิออลดังกล่าวเป็นผลิตผลที่มาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี จึงทำให้มีราคาผันผวนตามวิกฤตราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้น ทั้งในระหว่างขั้นตอนการผลิตสารไดออลและพอลิออลที่มาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีนั้น ยังมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจก (green house gas) ในปริมาณสูง จากปัญหาดังกล่าวบริษัทที่เกี่ยวข้องกับการผลิตพอลิยูรีเทนและนักวิชาการจากมหาวิทยาลัยต่างๆ จึงเริ่มมองหาวัตถุดิบที่มาจากธรรมชาติในการเตรียมเป็นสารไดออลและพอลิออล แทนการใช้สารไดออลและพอลิออลที่มาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ในการผลิตพอลิยูรีเทนชีวภาพที่มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ซึ่งสารธรรมชาติที่ได้รับความสนใจและมีการพัฒนาจนสามารถ



รูปที่ 1 โครงสร้างของยูรีเทนที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างไดไอโซไซยานาต และไดออล [5]

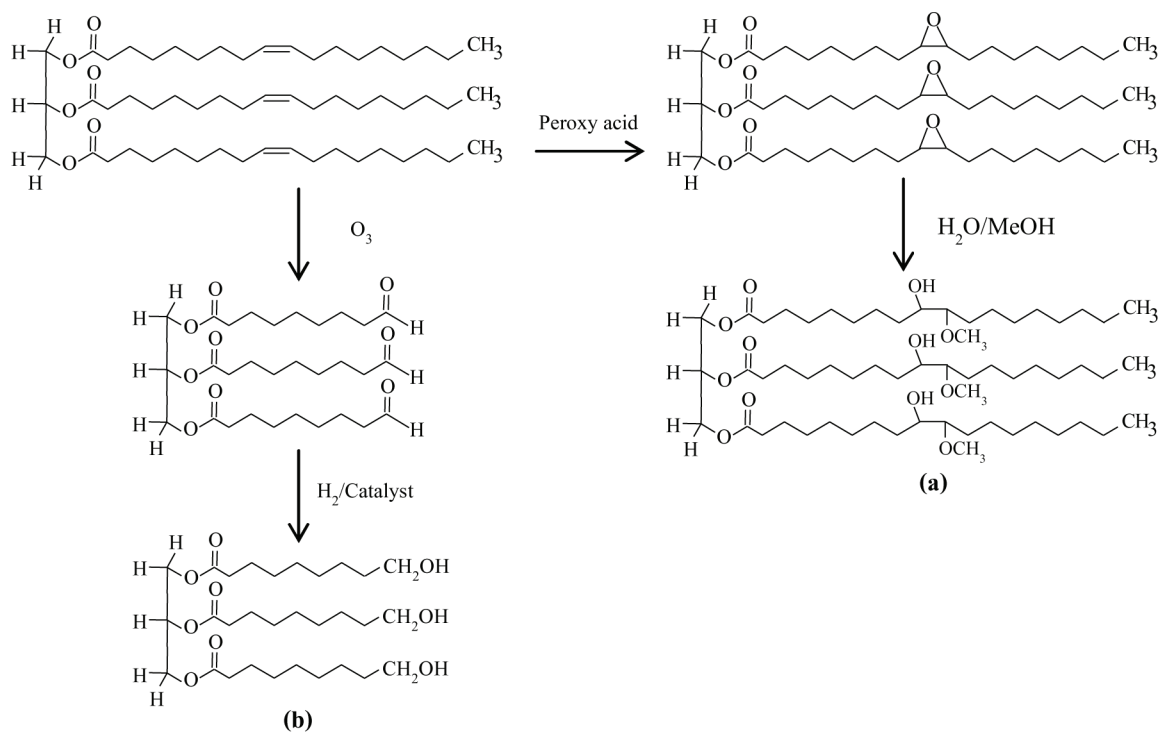
รูปที่ 2 โครงสร้างทางเคมีของ (a) น้ำมันถั่วเหลือง เมื่อ OLEIC ACID เป็นส่วนกรดไขมัน และ (b) น้ำมันละหุ่ง เมื่อ RICINOLEIC ACID เป็นส่วนกรดไขมัน [6]

พอลิยูรีเทนสำหรับเป็นสารยึดติด สารเชื่อมประสาน เฟอร์นิเจอร์ และอุตสาหกรรมเครื่องนอน [9] ซึ่งนอกจากน้ำมันถั่วเหลืองแล้ว เทคโนโลยี RENUVA™ ยังสามารถใช้ในการเตรียมน้ำมันดัดแปรจากน้ำมันข้าวโพด น้ำมันละหุ่ง และน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน นอกจากนี้ ยังมีบริษัท Ford Motor & Lear Corporation ที่มีการใช้น้ำมันถั่วเหลืองดัดแปร พอลิเอทิลีนในการผลิตเบาะโฟมพอลิยูรีเทนสำหรับเบาะนั่งภายในรถของ Ford Mustang ที่ออกสู่ท้องตลาดในปี ค.ศ. 2008 และบริษัท Fomo Products, Inc. ที่มีการใช้น้ำมันถั่วเหลืองดัดแปรพอลิเอทิลีนในการผลิตพอลิยูรีเทนโฟมสำหรับเป็นสารยึดติดพื้นผิวที่ขรุขระ หรือช่องว่างของประตูและหน้าต่าง ในชื่อของ Handi-Foam® eco foam และ Handi-Seal® eco foam

4. การเตรียมน้ำมันดัดแปรพอลิเอทิลีน

การดัดแปรน้ำมันพืช หรือน้ำมันสัตว์ให้เป็นน้ำมันพอลิเอทิลีนทำได้โดยการดัดแปรพันธะคู่ของกรดไขมันของน้ำมันชนิดไม่อิ่มตัวให้เป็นหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งสามารถทำได้หลากหลายเทคนิค

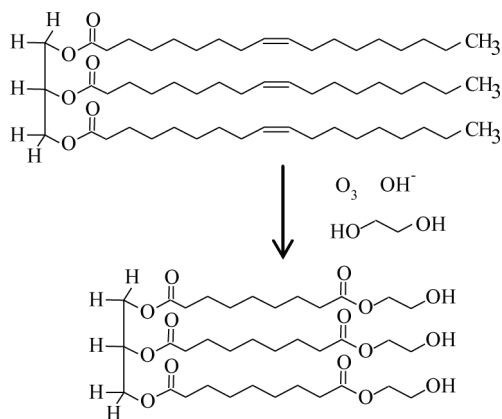
Petrovic และคณะ [10] เติมน้ำมันดัดแปรพอลิเอทิลีน โดยการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันถั่วเหลืองด้วยตัวเร่งปฏิกิริยากรดฟลูโอโบริก (fluoboric acid) จากนั้นจึงเปิดวงออกซิเรนโดยการทำปฏิกิริยาเมทาโนลิซิส (methanolysis) ด้วยเมทานอลและน้ำ และกรดฟลูโอโบริกที่มากเกินไป ได้น้ำมันถั่วเหลืองพอลิเอทิลีนชนิด 2° ไฮดรอกซิล และหมู่เมทอกซีบนสายโซ่โมเลกุล (รูปที่ 3) นอกจากนี้ Petrovic และคณะ [11] ได้เตรียม



รูปที่ 3 การเตรียมน้ำมันถั่วเหลืองพอลิเอทิลีนโดย (a) การทำปฏิกิริยา ออกซิเดชันตามด้วยปฏิกิริยาเปิดวงออกซิเรน และ (b) การทำปฏิกิริยาโอโซนลิซิสตามด้วยปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน [10, 11]

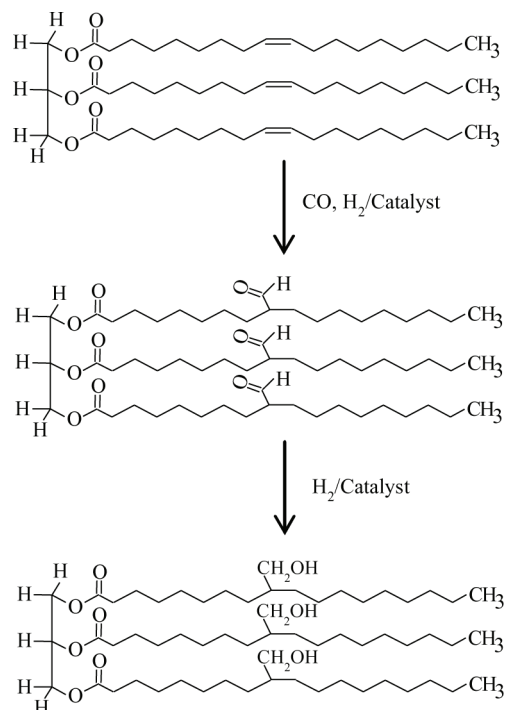
น้ำมันพอลิออลชนิด 1° ไฮดรอกซิลโดยการใช้อิโชนร่วมกับก๊าซไฮโดรเจน และตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรโนลิซิส และปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันอัลดีไฮด์ที่ตำแหน่งปลายสายโซ่ให้เป็นหมู่ฟังก์ชันอัลกอฮอล์ตามลำดับ (รูปที่ 3)

Tran และคณะ [12] เตรียมน้ำมันพอลิออลที่มีหมู่เอสเทอร์ในสายโซ่โมเลกุล และมีหมู่ 1° ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งปลายของสายโซ่โมเลกุลของกรดไขมัน ด้วยอิโชนร่วมกับเอทิลีนไกลคอล และตัวเร่งปฏิกิริยาอัลคาไลน์ (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 การเตรียมน้ำมันถั่วเหลืองพอลิออลโดยการทำปฏิกิริยาไฮโดรโนลิซิสร่วมกับเอทิลีนไกลคอล และตัวเร่งปฏิกิริยาอัลคาไลน์ [12]

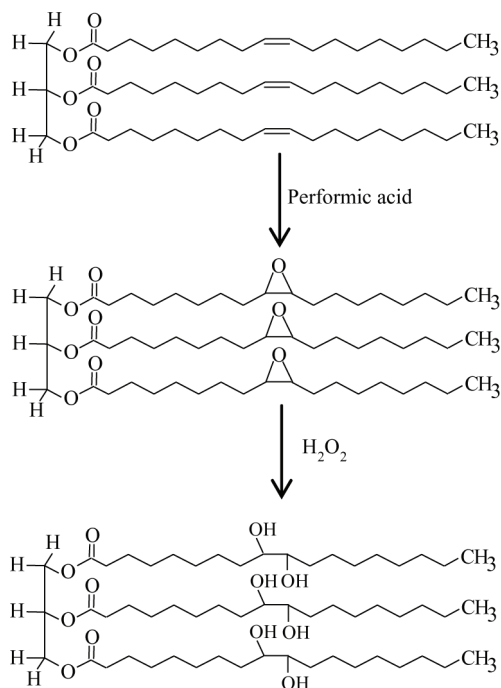
Zhang และคณะ [13] เตรียมน้ำมันพอลิออล โดยการทำปฏิกิริยาไฮโดรฟอร์มิวเลชัน (Hydroformylation reaction) ด้วยคาร์บอนมอนอกไซด์ร่วมกับก๊าซไฮโดรเจน และตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ เปลี่ยนพันธะคู่ของกรดไขมันเป็นหมู่ฟังก์ชันอัลดีไฮด์ จากนั้นจึงทำปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันอัลดีไฮด์เป็นหมู่ไฮดรอกซิล ได้น้ำมันพอลิออลที่มีหมู่ 1° ไฮดรอกซิล บนสายโซ่โมเลกุล (รูปที่ 5)



รูปที่ 5 การเตรียมน้ำมันถั่วเหลืองพอลิออลโดยการทำปฏิกิริยาไฮโดรฟอร์มิวเลชันตามด้วยปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน [13]

ช.ว.ย.กรณ. เพ็ชฌัญไพบิยภัฏ และคณะ [14] เตรียมน้ำมันพอลิออลโดยการทำปฏิกิริยาไฮดรอกซิเดชันของน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันนกกะระจอกเทศ และน้ำมันทั้งจากอุตสาหกรรมอาหาร จากนั้นจึงทำปฏิกิริยาการเปิดวงออกซิเรนโดยใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ได้น้ำมันถั่วเหลืองพอลิออลที่มีหมู่ไฮดรอกซิลแบบ 1,2-ไดออล (รูปที่ 6)

จะเห็นว่าน้ำมันพอลิออลที่เตรียมได้มีทั้งชนิด 1° ไฮดรอกซิล 2° ไฮดรอกซิล และ 1,2-ไดออล ซึ่งเมื่อพิจารณาความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยากับไดไอโซไซยานอนในการเตรียมพอลิยูรีเทน พบว่าน้ำมันพอลิออลชนิด 1° ไฮดรอกซิล มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามากกว่าน้ำมันพอลิออลชนิด 2° ไฮดรอกซิล และ 1,2-ไดออล [15]



รูปที่ 6 การเตรียมน้ำมันถั่วเหลืองพอลิออลโดยการ
ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันตามด้วยปฏิกิริยาการ
เปิดวงออกซิเรนด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ [14]

นอกจากชนิดของหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งขึ้นกับเทคนิคที่ใช้ในการเตรียมน้ำมันพอลิออลแล้ว ชนิดของน้ำมันที่นำมาใช้ในการตัดแปรงก็มีความสำคัญเช่นกัน เนื่องจากราคาแต่ละชนิดมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ในปริมาณไม่เท่ากัน (ตารางที่ 1) โดยน้ำมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณที่มากกว่าจะมีพันธะคู่ที่ใช้ในการเปลี่ยนเป็นหมู่ไฮดรอกซิลที่มากกว่า ซึ่งน้ำมันพอลิออลที่มีปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลสูงจะให้ความหนาแน่นของการเชื่อมขวางสูง เหมาะกับการเตรียมพอลิยูรีเทนที่ต้องการความแข็งแรง และความ

ทนทานมากกว่าน้ำมันพอลิออลที่มีปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลต่ำกว่า

5. การนำน้ำมันพอลิออลไปใช้ประโยชน์

ในปัจจุบันมีกลุ่มอุตสาหกรรมหลักที่เกี่ยวข้องกับการใช้น้ำมันพอลิออลในการผลิตพอลิยูรีเทนอยู่ 6 กลุ่ม อุตสาหกรรม [17] คือ

1. อุตสาหกรรมก่อสร้าง: ใช้ประโยชน์ในการสร้างที่อยู่อาศัย อาคารสำนักงาน อุปกรณ์ทำความเย็นหรือเก็บความเย็นขนาดใหญ่ แม่แบบในโรงงาน อุตสาหกรรม แผ่นฉนวนลามิเนต ก้อนฉนวน หรือประตูฉนวนสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเก็บความเย็น
2. อุตสาหกรรมยานยนต์: อุปกรณ์ตกแต่งภายใน ยานยนต์ และอุปกรณ์ในฟาร์ม เช่น ล้อรถของขนาดเล็กที่ต้องการ ความทนต่อการสึกหรอสูง
3. อุตสาหกรรมพรม: โฟมยืดหยุ่นในส่วนรองพื้นพรม และสารเคลือบผิวสำหรับยึดติดเส้นใยด้วยกัน
4. อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์และเครื่องนอน: โฟมยืดหยุ่นสำหรับทำเบาะรองนั่ง เบาะพิง หมอน และที่นอน

5. อุตสาหกรรมเคลือบผิว ยึดติด และเชื่อมประสาน: สารเชื่อมประสานสำหรับหน้าต่าง สารยึดติดในอุตสาหกรรม สีสำหรับยานยนต์ และเรือเดินทะเล

6. อุตสาหกรรมอื่นๆ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับยางและไม้

ทั้งนี้ได้มีการคาดการณ์ความต้องการใช้น้ำมันพอลิออลในกลุ่มอุตสาหกรรมต่างๆ เมื่อเทียบกับกำลังการผลิตที่ผลิตได้ พบว่าน้ำมันพอลิออลยังมีปริมาณการผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของกรดไขมันในน้ำมันชนิดต่างๆ [16]

Fatty acid	Carbon atom: Double bond	Coconut oil	Corn oil	Cottonseed oil	Linseed oil	Palm oil	Palm kernel oil	Safflower oil	Soybean oil	Sunflower oil
Caproic	6:0	0.5					0.3			
Caprylic	8:0	8.0					3.9			
Capric	10:0	6.4					4.0			
Lauric	12:0	48.5				0.3	49.6			0.5
Myristic	14:0	17.6		0.9		1.1	16.0	0.1	0.1	0.2
Palmitic	16:1	8.4	12.2	24.7	4.8	45.1	8.0	6.5	11.0	6.8
Palmitoleic	16:1		0.1	0.7		0.1			0.1	0.1
Margaric	17:0			0.1						
Stearic	18:0	2.5	2.2	2.3	4.7	4.7	2.4	2.4	4.0	4.7
Oleic	18:1	6.5	27.5	17.6	19.9	38.8	13.7	13.1	23.4	18.6
Linoleic	18:2	1.5	57.0	53.3	15.9	9.4	2.0	77.7	53.2	68.2
Linolenic	18:3		0.9	0.3	52.7	0.3			7.8	0.5
Arachidic	20:0	0.1	0.1	0.1		0.2	0.1	0.2	0.3	0.4
Behenic	22:0								0.1	
% of Saturated Fats		83.6	2.3	3.4	4.7	6.3	76.3	2.7	4.5	5.8
% of Monounsaturated Fats		14.9	39.8	43.0	24.7	84.0	21.7	19.6	34.5	25.5
% of Polyunsaturated Fats		1.5	57.9	53.6	68.6	9.7	2.0	77.7	61.0	68.7

ตารางที่ 2 การคาดการณ์ความต้องการใช้น้ำมันพอลิเอทิลีน และกำลังการผลิต [17]

กลุ่มอุตสาหกรรม	ความต้องการของตลาดในปี ค.ศ. 2006 (mil.lb.)	กำลังการผลิต ในปี ค.ศ. 2013 (mil.lb.)
อุตสาหกรรมก่อสร้าง	720	150
อุตสาหกรรมยานยนต์	880	110
อุตสาหกรรมพรม	320	80
อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์และเครื่องนอน	635	100
อื่นๆ*	845	180
รวม	3,400	620

* คืออุปกรณ์เกี่ยวกับรองเท้า บรรจุภัณฑ์ อุปกรณ์ทางทะเล อุปกรณ์การหล่อ อุปกรณ์เครื่องยนต์ อุปกรณ์ในโรงงาน และอื่นๆ

จึงอาจกล่าวสรุปได้ว่า น้ำมันพอลิเอทิลีนมีความน่าสนใจทั้งในส่วนของ การตั้งโรงงานสำหรับผลิต และการนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการผลิตพอลิยูรีเทนชีวภาพที่มีความปลอดภัยทั้งกับผู้ผลิตและผู้บริโภค ทั้งยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นหัวข้อที่หลายประเทศทั่วโลกเริ่มคำนึงถึง และมีมาตรการบังคับใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภทที่เกี่ยวข้องกับการผลิตชิ้นงานพลาสติก ในขณะที่ประเทศไทยซึ่งมีศักยภาพในการผลิตพีชชีวภาพ แต่มีการคิดถึงการผลิต และการใช้ประโยชน์จากน้ำมันพอลิเอทิลีนอยู่น้อยมาก

เอกสารอ้างอิง

- [1] Freedonia Group. (2006). **Polyurethane resin demand to reach 7.6 billion pounds in 2009**. Retrieved 3 April 2009 from http://www.redorbit.com/news/science/475197/polyurethane_resin_demand_to_reach_76_billion_pounds_in_2009/.
- [2] Bayer MaterialScience. (2005). **Tomorrow, today will be yesterday. High-tech thermoplastic polyurethanes set trends**. Retrieved 3 April 2009 from http://www.bayermaterialscience.com/pressroom/2005/05/11/050511_01.htm.
- [3] European Diisocyanate and Polyol Producers Association. (2003) **Industry data socio-economic information on the European polyurethanes industry**. Retrieved 4 May 2009 from <http://www.isopa.org/isopa/uploads/Documents/documents/Soc-Econ%20Final%206-10-2003.pdf>.
- [4] Paul Sussman. (2007). Buoyant market: Are floating homes the future of housing?. **CNN**. Retrieved 11 May 2009 from <http://edition.cnn.com/2007/TECH/science/08/20/floating.houses/index.html>.
- [5] Randall, D. and Woods, G. (2002). **The polyurethanes book**. The United Kingdom: John Wiley & Sons, Inc.
- [6] Wikipedia. (2009). **Natural oil polyols**. Retrieved 3 April 2009 from http://en.wikipedia.org/wiki/Natural_oil_polyols.

- [7] Americanchemistry. (2007). **Bringing new life to polyurethane**. Retrieved 2 April 2009 from http://www.american-chemistry.com/s_acc/sec_article.asp?CID=30&DID=7117.
- [8] PU2PU2. (2009). **New eco-friendly foam and insulation line from fomo products**. Retrieved 16 March 2009 from http://www.pu2pu.com/KNOWLEDGE/Featured_Docs/Featured_Docs_Details.aspx?ID=727.
- [9] Dow Polyurethane. (2007). **Breakthrough technology from dow polyurethanes promotes sustainable chemistry and excellent product performance**. Retrieved 2 April 2009 from <http://www.dow.com/polyurethane/news/2007/20070925>.
- [10] Petrovic, Z., Guo, A. and Javni, I. (2003). **US Patent 6573354-Process for the preparation of vegetable oil-based polyols and electroinsulating casting compounds created from vegetable oil-based polyols**. Retrieved 2 April 2009 from <http://www.patentstorm.us/patents/6573354.html>.
- [11] Petrovic, Z.S., Zhang, W. and Javni, I. (2005). Structure and properties of polyurethanes prepared from triglyceride polyols by ozonolysis. **Biomacromolecules**. (6), 713-719.
- [12] Tran, P., Graiver, D. and Narayan, R. (2005). Ozone-mediated polyol synthesis from soybean oil. **JAOCs**. 82(9), 653-9.
- [13] Zhang, L., Jeon, H.K., Malsam, J., Herrington, R. Macosko, C.W. (2007). Substituting soybean oil-based polyol into polyurethane flexible foams. **Polymer**. (48), 6656-6667.
- [14] ช.วยากรณ์ เพ็ชฌัญไพลักษณ์ อรพินท์ นักราจารย์ ปราณีย์ ธิญโญชีพ และพลพัฒน์ รวมเจริญ. (2551). เลขที่คำขอ 0803001464 กาวพอลิยูรีเทนแบบปราศจากตัวทำละลายโดยใช้ยางธรรมชาติ เหลวคัดแปรพอลิออล และน้ำมันพอลิออล และกรรมวิธีการผลิต. **กรมทรัพย์สินทางปัญญา**.
- [15] Guo, A., Zhang, W. and Petrovic, Z.S. (2006). Structure-property relationships in polyurethanes derived from soybean oil. **Journal of Materials Science**. (41), 4914-4920.
- [16] Chow, C.K. (2008). **Fatty acids in foods and their health implications**. USA: Taylor & Francis Group.
- [17] United Soybean Board. (2008). **Market opportunity summary soy-based thermoset plastics**. Retrieved 4 May 2009 from http://www.soynewuses.com/downloads/MO_Plastics.pdf.