
การสังเคราะห์ฟิล์มพอลิยูรีเทนจากน้ำมันสกัดของเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์
Synthesis of Polyurethane Films from Cashew Nut Shell Liquid

พัชรชานันท์ ไชยวรรณ¹ วิสวัณน์ สกุลศักดิ์นิมิตร² เกษม พิพัฒน์ปัญญาบุญกุล³ และ พรเพ็ญ อาทรงกิจวัฒน์^{1*}

¹ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

²ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

³ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

Patchanun Chaiyawan¹, Wissawat Sakulsaknimitr², Kasame Pipatpanyanugoon³ and Pornpen Atorngitjwat^{1*}

¹Department of Chemistry, Faculty of Science, Burapha University.

²Department of Materials Science, Faculty of Science, Mahidol University.

³Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์พอลิยูรีเทนจากคาร์ดานอลซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สามารถทดแทนได้ โดยการสังเคราะห์เริ่มจากการปรับปรุงโครงสร้างของมอนอเมอร์ที่ผลิตจากคาร์ดานอลให้เป็นสารประกอบไดออล แล้วจึงนำไดออลที่ได้มาทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันกับสารประกอบไอโซไซยาเนต ที่อัตราส่วน 1:1 และ 1:2 ซึ่งไดออลที่ใช้ คือ diazo-cardanol และ diazo-phenol สารประกอบไอโซไซยาเนตที่ใช้คือ hexamethylene diisocyanate trimer และ isophorone diisocyanate เอกลักษณ์ของมอนอเมอร์พิสูจน์โดยใช้เทคนิคอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี และเอ็นเอ็มอาร์สเปกโทรสโกปี และทดสอบความแข็งตามหลักการ ASTM D3363 พบว่าความแข็งแรงของฟิล์มพอลิยูรีเทนที่ได้จะขึ้นกับโครงสร้างของสารประกอบที่ใช้เป็นหลัก โดยที่สายโซ่คาร์บอนของคาร์ดานอลจะทำให้เกิดความยืดหยุ่นที่มากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างของฟินอล

คำสำคัญ : พอลิยูรีเทน คาร์ดานอล ไดออล ไอโซไซยาเนต

Abstract

This research involves the synthesis of polyurethanes from cardanol, a renewable resource. The synthesis started with modification of monomer obtained from cardanol to diol compounds, which can be polymerized with isocyanate compound to give polyurethanes. The ratios of diol to isocyanate at the mole equivalent of 1:1 and 1:2 were conducted. Diazo-cardanol and diazo-phenol were used as diols and hexamethylene diisocyanate trimer and isophorone diisocyanate were used as isocyanates. Monomers were characterized by Fourier Transform Infrared spectroscopy and Nuclear Magnetic Resonance spectroscopy. Hardness of the films was determined by ASTM standard D3363. The results show that the properties of polyurethane films were dependent on the chemical structure of both diol and isocyanate. The long alkyl side chain of cardanol created the flexibility, compared to phenol structure.

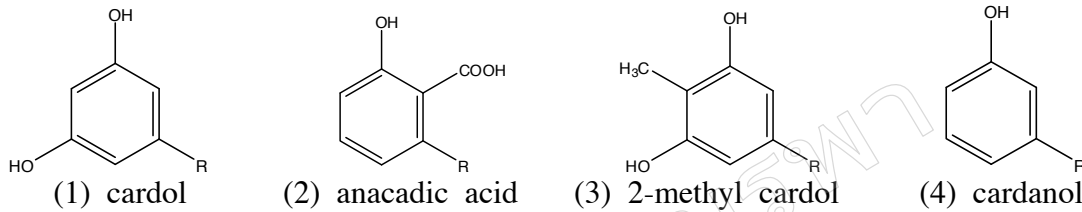
Keywords : Polyurethane, Cardanol, Diols, Isocyanate

*Corresponding author. E-mail: pornpena@buu.ac.th

บทนำ

การสังเคราะห์พอลิเมอร์ (polymers) จากแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ (renewable resource) กำลังได้รับความสนใจอย่างมากจากนักวิทยาศาสตร์ทางสาขาพอลิเมอร์ทั่วโลก เนื่องจากมีความเป็นไปได้ว่าสามารถใช้แทนมอนอเมอร์ (monomer) ที่ได้จากน้ำมันปิโตรเลียม (Bhunia *et al.*, 1999) ซึ่งเป็นแหล่งทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไป และมีราคาสูงมากขึ้นในปัจจุบัน น้ำมันของเปลือกมะม่วงหิมพานต์ (cashew nut shell liquid,

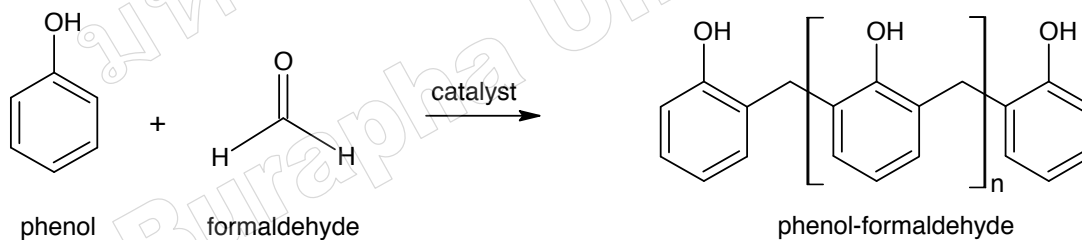
CNSL) เป็นน้ำมันที่สกัดได้จากเปลือกมะม่วงหิมพานต์ซึ่งเป็นของเสียของอุตสาหกรรมการผลิตเม็ดมะม่วงหิมพานต์โดยองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมัน CNSL จะประกอบด้วยสารสำคัญ 4 ชนิด คือ 5-pentadecenyl resorcinol (cardol), 6-pentadecenyl salicylic acid (anacadic acid), 2-methyl-5-pentadecenyl resorcinol (2-methyl cardol) และ 3-pentadecenyl phenol (cardanol) (Oghome & Kehinde, 2004) แสดงดังในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 องค์ประกอบของน้ำมันจากเปลือกมะม่วงหิมพานต์ (Khaokhum, Sawasdipuksa, Kumthong, Tummatorn, & Roengsumran, 2005)

ซึ่งคาร์ดานอล (cardanol) เป็นสารประกอบหลัก (60-65%) ที่พบในน้ำมัน CNSL ที่สกัดโดยวิธีการอบด้วยความร้อน (roasting shell) มีโครงสร้างเป็น monohydroxyl phenol ที่มีสายโซ่คาร์บอน

ยาวในตำแหน่งเมตา (meta-position) (Risfaheri, Irawadi, Nur, & Sailah, 2009) นิยมนำมาใช้เตรียมเป็นพอลิเมอร์ชนิด phenol-formaldehyde ที่มีโครงสร้างแสดงดังในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โครงสร้างพอลิเมอร์ชนิด phenol-formaldehyde (Higginbottom, 1969)

ซึ่งโดยทั่วไปพอลิเมอร์ที่ได้จากคาร์ดานอลยังสามารถใช้เป็นสารเพิ่มแรงเสียดทานในผ้าเบรค และยังใช้เป็นสารเคลือบเงา (varnish) สารเคลือบป้องกันการกัดกร่อน (anticorrosive coating) หรือเตรียมขึ้นเป็นพอลิเมอร์ชนิดแลกเปลี่ยนไอออน (ion-exchange resin) ได้อีกด้วย (Oghome & Kehinde, 2004) นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยา chlorination ของคาร์ดานอลใช้เป็นยาฆ่าแมลงอนุพันธ์ซัลโฟเนตของคาร์ดานอลใช้เป็นสารลดแรงตึงผิวและอนุพันธ์ของคาร์ดานอลใช้เป็นสารสีย้อม สารเพิ่มความนิ่มให้พลาสติก (plasticizers) (Kumar, Paramashivappa, Vithayathil, Rao, & Rao, 2002)

งานวิจัยนี้สนใจที่จะเตรียมพอลิยูรีเทน (polyurethane) เนื่องจากสมบัติในการทนต่อกรด-เบส และทนต่อสภาพการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศได้ดี และนอกจากนี้พอลิยูรีเทนยังสามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายในวงการอุตสาหกรรม (Thomson, 2005) อีกทั้งสามารถเตรียมได้โดยโครงสร้างของคาร์ดานอลที่ถูกปรับปรุงให้มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl) สองหมู่ทำปฏิกิริยากับไอโซไซยานเนต (isocyanate) (Clemitson, 2008; Suresh & Kishanprasad, 2005) และนำไปศึกษาสมบัติด้านความแข็งตามหลักการ ASTM D3363

วัสดุอุปกรณ์และการวิจัย

สารเคมีและวัตถุดิบที่ใช้

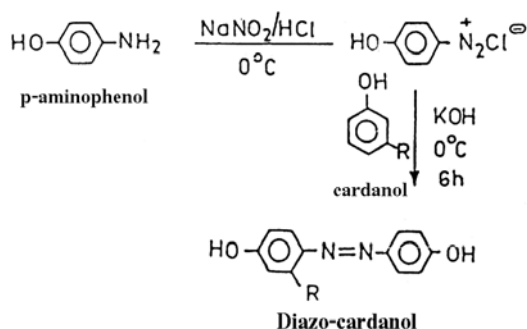
พารา-อะมีโนฟีโนล (C_6H_7NO , purum grade, Fluka) ไทคลอโรมีเทน (CH_2Cl_2 , analytical grade) กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น เอทิลอะซิเตต ($C_4H_8O_2$, commercial grade) เฮกเซน (C_6H_{14} , commercial grade) ไอโซไซยานาต ชนิด isophorone diisocyanate (IPDI T1890E) (Degussa) และชนิด hexamethylene diisocyanate trimer (HDIt, Desmodur N3300A) (Bayer material science) เมทานอล (CH_3OH , analytical grade) 3-pentadecenyl phenol (cardanol) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH, analytical grade) โซเดียมไนไตรท์ ($NaNO_2$, analytical grade) ซิลิกาเจล (0.063-0.2 มิลลิเมตร, Merck) และเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์จากโรงงานเม็ดมะม่วงหิมพานต์เจียเหลียง ชลบุรี

เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่อง Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Spectroscopy รุ่น Bruker 400 MHz เครื่อง Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectroscopy รุ่น FT-IR PerkinElmer system 2000 เครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary evaporator, รุ่น Buchi Rotavapor R-200) ดินสอ (6B-6H) และกระจกสไลด์ (glass slide)

การแยกคาร์ดานอลจากน้ำมันของเปลือกมะม่วงหิมพานต์

นำเปลือกมะม่วงหิมพานต์ไปอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะได้น้ำมันสีน้ำตาลดำหนืด จากนั้นนำน้ำมันที่ได้มาทำการแยกด้วยเทคนิค column chromatography โดยใช้ระบบตัวทำละลายคือ 5% ethyl acetate : hexane เป็นเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) และใช้ซิลิกาเจลเป็นเฟสคงที่ (stationary phase) เมื่อทำการแยกสารเสร็จสิ้นจะได้คาร์ดานอล



ภาพที่ 3 ปฏิกิริยาเคมีในการสังเคราะห์ diazo-cardanol (Bhunia *et al.*, 1999)

ออกมาคิดเป็นร้อยละผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 80 โดยที่คาร์ดานอลที่ได้จะมีลักษณะเป็นของเหลวหนืดสีเหลืองอ่อน

การสังเคราะห์ Diazo-Cardanol

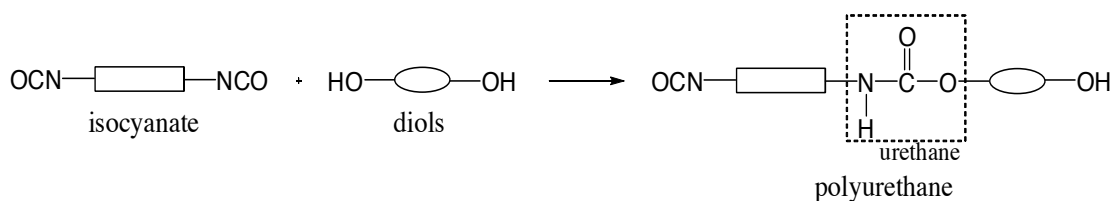
สารประกอบ diazo-cardanol เตรียมได้จากขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาดังแสดงในภาพที่ 3 โดยมีขั้นตอนในการสังเคราะห์ดังนี้คือ ชั่ง *p*-aminophenol 7 กรัม ละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง 100 มิลลิลิตร และชั่งโซเดียมไนไตรท์ 7 กรัม ละลายด้วยน้ำ 20 มิลลิลิตร หยดสารละลายโซเดียมไนไตรท์ในสารละลาย *p*-aminophenol โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 0 องศาเซลเซียส พร้อมกวนสารละลาย และหยดสารละลาย 3-pentadecenyl phenol (cardanol) และสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในสารละลายผสม โดยควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 0-10 องศาเซลเซียส พร้อมกวนสารละลายเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เติมกรดไฮโดรคลอริกเจือจางลงในสารละลายผสม จากนั้นนำสารละลายที่ได้สกัดแยกด้วยไคลโอโรมีเทน จำนวน 3 ครั้งและล้างด้วยน้ำทำให้แห้งด้วยเครื่องระเหยแบบหมุนองค์ประกอบของสารเบื้องต้นตรวจสอบด้วยเทคนิค thin-layer chromatography และทำให้เป็นสารบริสุทธิ์ด้วยเทคนิค column chromatography โดยใช้ซิลิกาเจล เป็นตัวดูดซับ และใช้ 10% ethyl acetate : hexane เป็นตัวชะ ซึ่งจะได้อะมิโนคาร์ดานอล (Bhunia *et al.*, 1999) คิดเป็นร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้ เท่ากับ 60 ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นของเหลว สีน้ำตาลแดง หนืด และนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ตรวจสอบโครงสร้างด้วยเครื่อง FT-IR และ NMR

การสังเคราะห์ diazo-phenol

มีวิธีการสังเคราะห์เช่นเดียวกับการสังเคราะห์ diazo-cardanol แต่เปลี่ยนจาก 3-pentadecenyl phenol (cardanol) เป็น phenol ซึ่ง diazo-phenol เตรียมขึ้นเพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับโครงสร้างกับ diazo-cardanol

การเตรียมแผ่นฟิล์มของพอลิยูรีเทน

อัตราส่วนระหว่างไดออลและไอโซไซยานาตที่ใช้เตรียมพอลิยูรีเทน แสดงดังตารางที่ 1 โดยละลายไดออลด้วยเอทิลอะซิเตตแล้วเติมไอโซไซยานาต จากนั้นกวนให้เข้ากันได้เป็นพอลิยูรีเทนดังแสดงในภาพที่ 4 นำพอลิยูรีเทนมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มบนแผ่นกระจก นำแผ่นฟิล์มที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส (Dow Corning, 2005) เป็นเวลา 7 วันในตู้อบสุญญากาศ และเก็บแผ่นฟิล์มในภาชนะดูดความชื้น ก่อนนำไปทำการทดสอบสมบัติต่างๆ โดยพอลิยูรีเทนชนิด DP-HDIt12 ถูกเตรียมขึ้นเพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับพอลิยูรีเทนที่เตรียมจาก diazo-cardanol



ภาพที่ 4 ปฏิกิริยาเคมีในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน

ตารางที่ 1 อัตราส่วนของไดออล : ไอโซไซยาเนต

สารตัวอย่าง	ไดออล	ไอโซไซยาเนต	อัตราส่วน ไดออล : ไอโซไซยาเนต
DC-HDI11	Diazo-Cardanol	HDI1	1:1
DC-HDI12	Diazo-Cardanol	HDI1	1:2
DC-IPDI11	Diazo-Cardanol	IPDI	1:1
DC-IPDI12	Diazo-Cardanol	IPDI	1:2
DP-HDI12	Diazo-Phenol	HDI1	1:2

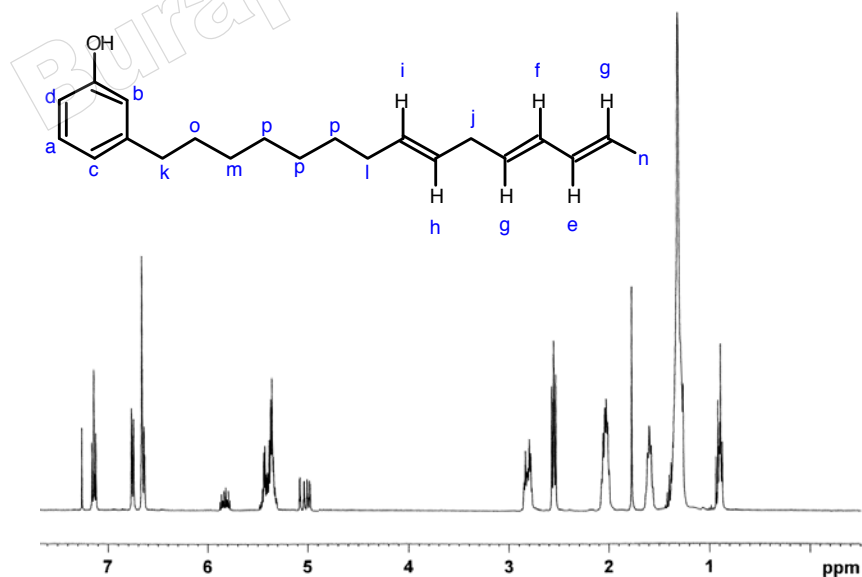
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การพิสูจน์เอกลักษณ์ของมอนอเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์

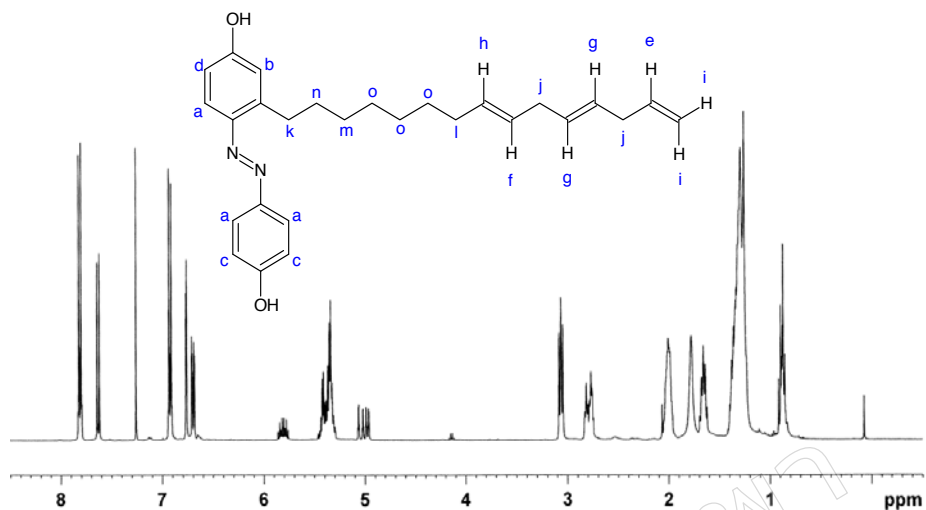
มอนอเมอร์ที่ทำการสังเคราะห์ คือ diazo-cardanol และ diazo-phenol ซึ่งสามารถยืนยันโครงสร้างได้ด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$ และเทคนิค FT-IR

ภาพที่ 5 และ 6 แสดงผลของ NMR spectrum ซึ่งสามารถยืนยันลักษณะเฉพาะของ cardanol และ diazo-cardanol

ที่สังเคราะห์ได้ และการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของโปรตอนและ ค่า chemical shift แสดงในตารางที่ 2 ซึ่งจะเห็นว่า diazo-cardanol มีวงอะโรมาติก 2 วง ปรากฏที่สนามต่ำ (low field) กว่า เนื่องจากผลของหมู่แทนที่ที่ดึงอิเล็กตรอนมาต่อที่วงแหวนจะมีผลทางพาราแมกเนติกชิฟท์ (paramagnetic shift) ทำให้เรโซแนนซ์ที่สนามต่ำลงกว่าเมื่อเทียบกับ cardanol



ภาพที่ 5 NMR spectrum ของ cardanol

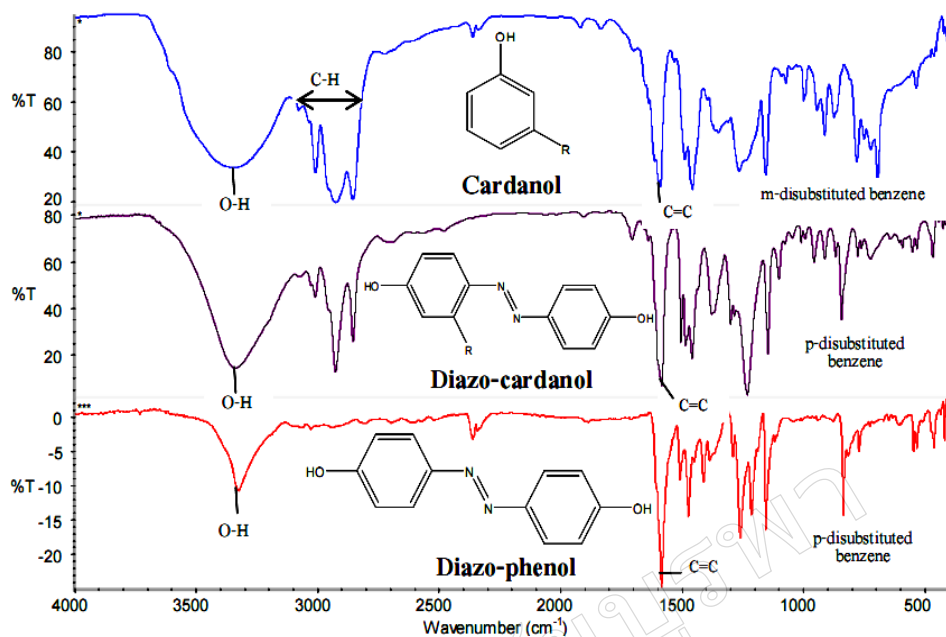


ภาพที่ 6 NMR spectrum ของ diazo-cardanol

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของโปรตอนและค่า chemical shift ของ cardanol และ diazo-cardanol

Cardanol			Diazo-cardanol		
ตำแหน่งโปรตอน	Chemical shift (ppm)	สัญญาณ	ตำแหน่งโปรตอน	Chemical shift (ppm)	สัญญาณ
a	7.13	<i>t</i>	a	7.83	<i>d</i>
b	6.75	<i>d</i>	b	7.65	<i>d</i>
c	6.68	<i>t</i>	c	6.98	<i>d</i>
d	6.66	<i>d</i>	d	6.75	<i>d</i>
e	5.80	<i>m</i>	e	5.80	<i>m</i>
f	5.40	<i>m</i>	f	5.49	<i>m</i>
g	5.10	<i>m</i>	g	5.09	<i>m</i>
h	5.00	<i>m</i>	h	5.08	<i>m</i>
i	4.98	<i>m</i>	i	5.00	<i>m</i>
j	2.80	<i>m</i>	j	3.08	<i>t</i>
k	2.55	<i>m</i>	k	2.83	<i>m</i>
l	2.18	<i>m</i>	l	2.00	<i>m</i>
m	1.78	<i>m</i>	m	1.70	<i>m</i>
n	1.60	<i>d</i>	n	1.25	<i>m</i>
o	1.40	<i>m</i>	o	0.85	<i>m</i>
p	0.98	<i>m</i>			

หมายเหตุ ชื่อกลุ่มสัญญาณแสดงเฉพาะอักษรตัวต้น ซึ่งย่อมาจาก doublet (d), triplet (t) และ multiplet (m)



ภาพที่ 7 FT-IR spectra เปรียบเทียบระหว่าง cardanol, diazo-cardanol และ diazo-phenol

ภาพที่ 7 เป็นผลของ FT-IR spectra ที่สามารถยืนยันลักษณะเฉพาะของ cardanol ซึ่งสรุปความสัมพันธ์ระหว่างหมู่ฟังก์ชันและเลขคลื่นดังแสดงในตารางที่ 3 และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างหมู่ฟังก์ชันและเลขคลื่นของ diazo-cardanol กับ diazo-phenol ดังแสดงในตารางที่ 4

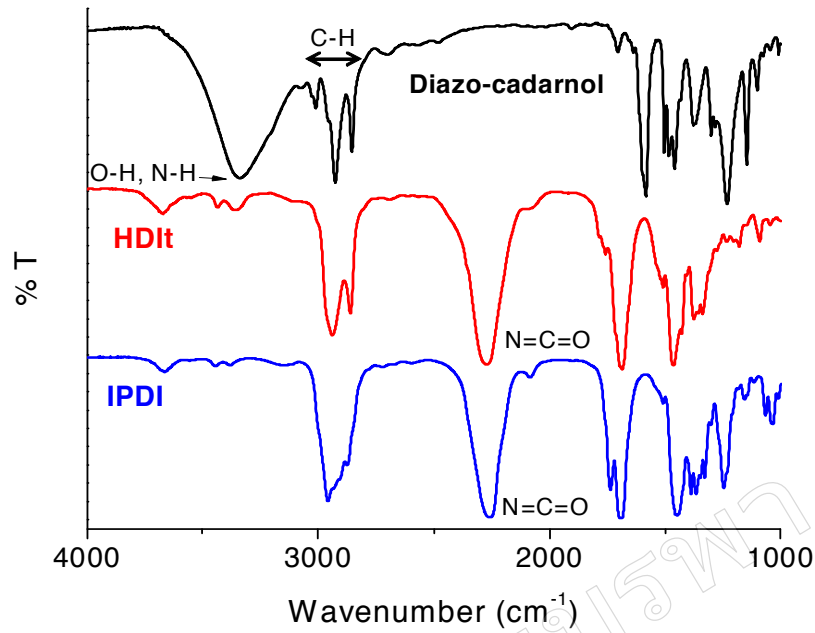
จากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นความแตกต่างของมอนอเมอร์ทั้ง 2 ชนิด โดย diazo-phenol ไม่ปรากฏพีก C-C-H stretch เนื่องจากโครงสร้างไม่มี alkyl group เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างของ diazo-cardanol

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างหมู่ฟังก์ชันและเลขคลื่นของ cardanol

พันธะของหมู่ฟังก์ชัน	เลขคลื่น (cm ⁻¹)
O-H stretch	3343-3100
C=C-H stretch	3080
C-C-H stretch	3008-2855
C=C bond aromatic ring	1595
m-disubstituted benzene	810-750

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างหมู่ฟังก์ชันและเลขคลื่นของ diazo-cardanol และ diazo-phenol

Diazo-cardanol		Diazo-phenol	
พันธะของหมู่ฟังก์ชัน	เลขคลื่น (cm ⁻¹)	พันธะของหมู่ฟังก์ชัน	เลขคลื่น (cm ⁻¹)
O-H stretch	3500-3100	O-H stretch	3500-3100
C=C-H stretch	3080	C=C-H stretch	3020
C-C-H stretch	3008-2855		
C=C bond aromatic ring	1595	C=C bond aromatic ring	1600
p-disubstituted benzene	840-810		



ภาพที่ 8 FT-IR spectra ของสารตั้งต้นในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน

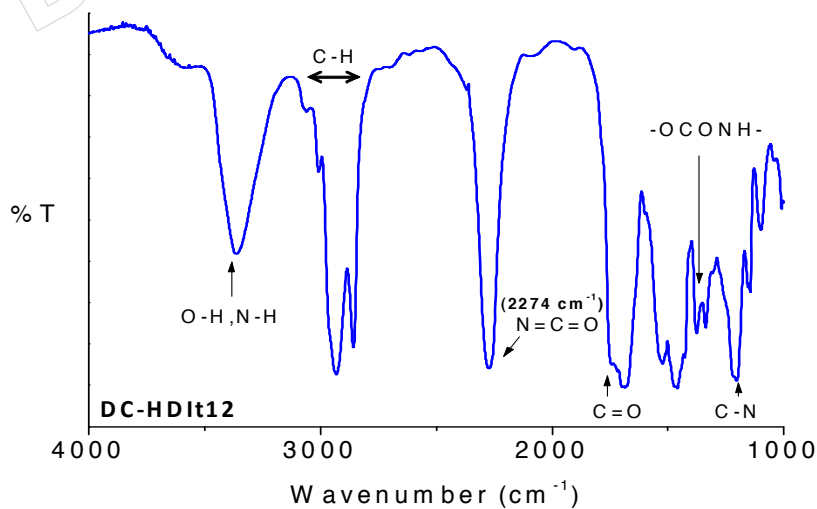
การพิสูจน์โครงสร้างของพอลิยูรีเทน

ภาพที่ 8 แสดง FT-IR spectrum ของ diazo-cardanol และ isocyanate ชนิด HDIt และชนิด IPDI ซึ่งปรากฏพีก N=C=O ที่เลขคลื่นช่วง 2275-2240 cm^{-1} ซึ่งทั้ง 3 สเปกตรัม เป็นสเปกตรัมของสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิยูรีเทนและจากภาพที่ 9 เป็นตัวอย่างยืนยันลักษณะเฉพาะของพอลิยูรีเทน DC-HDIt12 ซึ่งสรุปความสัมพันธ์ระหว่างหมู่ฟังก์ชันและเลขคลื่นดังแสดงในตารางที่ 5 สมบัติด้านความแข็งของแผ่นฟิล์มพอลิยูรีเทน

ทดสอบความแข็งของแผ่นฟิล์มพอลิยูรีเทนด้วยเทคนิค pencil hardness ของระบบการทดสอบมาตรฐาน ASTM

ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างหมู่ฟังก์ชันและเลขคลื่นของพอลิยูรีเทน

พันธะของหมู่ฟังก์ชัน	เลขคลื่น (cm^{-1})
O-H, N-H stretch	3400-3100
C=C-H stretch	3020-2990
C-C-H stretch	2990-2760
N=C=O	2275-2240
C=O	1729
-OCONH-	1382
C-N	1180



ภาพที่ 9 FT-IR spectrum ของพอลิยูรีเทน DC-HDIt12

D3363-06 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบความแข็งของผิวหน้าแผ่นฟิล์มพอลิยูรีเทนในอัตราส่วนต่างๆ เทียบกับความแข็งของไส้ดินสอ ซึ่งเรียงลำดับจากความแข็งน้อยจนถึงความแข็งมาก (6B-6H) โดยตรวจสอบร่องรอยที่เหลืออยู่ภายหลังจากการลากเส้นดินสอลงบนแผ่นฟิล์ม (ASTM International, 2006) จากการทดสอบได้ค่าความแข็งของแผ่นฟิล์มพอลิยูรีเทนดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ความแข็งของแผ่นฟิล์มพอลิยูรีเทนในอัตราส่วนต่างๆ

สารตัวอย่าง	ขนาดความแข็งของไส้ดินสอ
DC-HDI11	2B
DC-HDI12	B
DC-IPDI11	B
DC-IPDI12	HB
DP-HDI12	HB

จากตารางที่ 6 แสดงให้เห็นว่า แผ่นฟิล์มพอลิยูรีเทน DC-HDI11 มีค่าความแข็งของไส้ดินสอคือ 2B ซึ่งมีความแข็งน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มพอลิยูรีเทน DC-HDI12 และที่แผ่นฟิล์มพอลิยูรีเทน DC-IPDI11 มีค่าความแข็งของไส้ดินสอคือ B ซึ่งมีความแข็งน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มพอลิยูรีเทน DC-IPDI12 เนื่องจากโครงสร้างของ HDI จะมิใช่คาร์บอนยาว ซึ่งจะทำให้แผ่นฟิล์มมีความยืดหยุ่น แต่โครงสร้างของ IPDI เป็นวงไซโคลเฮกเซนซึ่งจะทำให้แผ่นฟิล์มมีลักษณะแข็งแต่เปราะง่าย

สรุปผลการวิจัย

ฟิล์มพอลิยูรีเทนสามารถสังเคราะห์จากน้ำมันสกัดของเปลือกมะม่วงหิมพานต์ที่ปรับปรุงให้อยู่ในรูปของ diazo-cardanol ทำปฏิกิริยากับไอโซไซยานต โดยทำการเตรียมแผ่นฟิล์มพอลิยูรีเทนเป็น 5 สภาวะ คือ อัตราส่วน 1:1 ของไดออลและไอโซไซยานต

(DC-HDI11, DC-IPDI11) และอัตราส่วน 1:2 ของไดออลและไอโซไซยานต (DC-HDI12, DC-IPDI12 และ DP-HDI12) เมื่อนำไปศึกษาสมบัติด้านความแข็งพบว่า ฟิล์มพอลิยูรีเทนที่เตรียมจาก diazo-phenol มีความแข็งมากกว่าที่เตรียมจาก diazo-cardanol เนื่องจากโครงสร้างของ diazo-cardanol มีหมู่แทนที่เป็นสายโซ่คาร์บอนที่ตำแหน่งเมตาซึ่งทำให้โครงสร้างมีความยืดหยุ่นมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างของ diazo-phenol ซึ่งไม่มีหมู่แทนที่ และฟิล์มพอลิยูรีเทนที่เตรียมจากไอโซไซยานต ชนิด isophorone diisocyanate (IPDI) มีความแข็งมากกว่าชนิด hexamethylene diisocyanate trimer (HDI) เนื่องจากโครงสร้างของ HDI จะมีโซ่คาร์บอนยาว ซึ่งจะทำให้แผ่นฟิล์มมีความนิ่มและยืดหยุ่น แต่โครงสร้างของ IPDI เป็นวงไซโคลเฮกเซนซึ่งจะทำให้แผ่นฟิล์มมีลักษณะแข็งแต่เปราะง่าย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนบางส่วนจากทุนอุดหนุนการวิจัยและพัฒนาคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา โครงการเลขที่ 64/2553 และได้รับทุนสนับสนุนบางส่วนจากทุนสนับสนุนโครงการวิจัยสำหรับนิสิตปี 4 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

เอกสารอ้างอิง

- ASTM D3363-06: *Standard Test Method for Film Hardness by Pencil Test* (ASTM International 2006).
- Bhunja, H. P., Nando, G. B., Chaki, T. K., Basak, A., Lenka, S., & Nayak, P. L. (1999). Synthesis and characterization of polymers from cashew nut shell liquid (CNSL), a renewable resource II. Synthesis of polyurethanes. *European Polymer Journal*, 35, 1381-1391.
- Clemison, I. R. (2008). *Castable polyurethane elastomers*. New York: Taylor & Francis Group, LLC.
- Higginbottom, H. P. (1969). *Halogenated phenol-formaldehyde resin*. United States: United States Patent and Trademark Office. Patent.
- Khaokhum, L., Sawasdipuksa, N., Kumthong, N., Tummatom, J., & Roengsumran, S. (2005). Cardanol Polysulfide as a Vulcanizing Agent for Natural Rubber. *Journal of Scientific Research Chulalongkorn University*, 30(1), 23-40.

- Kumar, P. P., Paramashivappa, R., Vithayathil, P. J., Rao, P. V. S., & Rao, A. S. (2002). Process for Isolation of Cardanol from Technical Cashew (*Anacardium occidentale L.*) Nut Shell Liquid. *Journal of Agricultural and food chemistry*, 50(16), 4705-4708.
- Oghome, P., & Kehinde, A. J. (2004). Separation of cashew nut shell liquid by column chromatography. *African Journal of Science and Technology*, 5(2), 92-95.
- Risfaheri, Irawadi, T. T., Nur, M. A., & Sailah, I. (2009). Isolation of cardanol from cashew nut shell liquid using the vacuum distillation method. *Indonesian Journal of Agriculture*, 2(1), 11-20.
- Suresh, K. I., Kishanprasad, V. S. (2005). Synthesis, Structure and Properties of Novel Polyols from Cardanol and Developed Polyurethanes. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 44, 4504-4512.
- Thomson, T. (2005). *Polyurethanes as specialty chemicals: Principles and Applications*. New York: CRC Press LLC.