

อิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการกำจัดยางเหนียวออกจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

Effect of Parameters on Degumming of Cashew Nut Shell

สังคม สัพโส¹, จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์^{2*} อติศักดิ์ ปัตติยะ²

Sangkom Subphaso¹, Jindaporn Jamradloedluk^{2*} Adisak Pattiya²

Received: 15 October 2012 ;Accepted: 10 December 2012

บทคัดย่อ

การไพโรไลซิสแบบเร็วเป็นหนึ่งในกระบวนการลดปริมาตรและเพิ่มความหนาแน่นด้านพลังงานของชีวมวล เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วได้ อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องกำจัดยางเหนียวที่มีในเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ออกก่อนนำไปผ่านกระบวนการดังกล่าว งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาอิทธิพลของสารกำจัดยางเหนียว (น้ำ เมทานอล อะซีโตน และเฮกเซน) อุณหภูมิ (อุณหภูมิห้อง และ 50 องศาเซลเซียส) และระยะเวลา (5 15 30 60 120 240 และ 360 นาที) ที่มีผลต่อความสามารถในการกำจัดยางเหนียว ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิและระยะเวลาในการกำจัดยางเหนียวส่งผลให้ความสามารถในการกำจัดยางเหนียวสูงขึ้น และน้ำเป็นสารกำจัดยางเหนียวที่ดีที่สุดรองลงมาคือ เมทานอล อะซีโตน และเฮกเซน ตามลำดับ

คำสำคัญ: กำจัดยางเหนียว เปลือกมะม่วงหิมพานต์ เมทานอล อะซีโตน เฮกเซน

Abstract

Fast pyrolysis is one of the processes used to reduce volume and increase energy density of biomass. Cashew nut shell could be used as a raw material for fast pyrolysis process. Prior to the process, however, the cashew nut shell needs to be pretreated to get rid of its gum. This research work aims to investigate the effects of degumming substances (water, methanol, acetone, and hexane), temperatures (room temperature and 50°C) and time (5 15 30 60 120 240 and 360) on gum removal ability. The experimental results pointed out that the higher degumming temperature and the longer residence time led to the higher degree of gum removal. In addition, water was found to be the best degumming substance followed by methanol, acetone and hexane, respectively.

Keywords: Degumming, Cashew nut shell, Methanol, Acetone, Hexane

บทนำ

เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (*Anacardium occidentale* Linn.) เป็นพืชประเภทถั่วเปลือกแข็งที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคทั่วโลก เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูงมาก โดยมีองค์ประกอบเป็นไขมันร้อยละ 43.85 โปรตีนร้อยละ 18.22 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 30.19 โยอาหารร้อยละ 3.3 และแร่ธาตุต่างๆ เช่น แคลเซียม เหล็ก แมกนีเซียม และโพแทสเซียม เป็นต้น¹ เมล็ดมะม่วงหิมพานต์นิยมนำมาผลิตเป็นขนมขบเคี้ยว และเป็นส่วนประกอบของอาหาร ในประเทศไทยนั้นมีพื้นที่เพาะปลูกอยู่ประมาณ 80,000 ไร่² ได้

ผลผลิตเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ประมาณ 27,000 ตัน/ปี³ โดยทั่วไปการผลิตเมล็ดมะม่วงหิมพานต์จะใช้วิธีการนำเมล็ดไปเผาไฟแล้วนำมากะเทาะเปลือกออก ซึ่งเปลือกที่ถูกแยกออกไปมีความหนาประมาณ 1/8 นิ้ว และมีของเหลวสีน้ำตาลเข้มลักษณะหนืดอยู่ภายใน (Cashew nut shell liquid, CNSL)⁴ โดยใน CNSL จะมี Anacardic acids Cardanols และ Cardols เป็นองค์ประกอบหลัก CNSL ที่ได้นั้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรมโพลิเมอร์ โดยใช้เป็นส่วนผสมในสี วานิช ซีเมนต์กาว เรซิน และโพลิเมอร์ชนิดโพลียูรีเทน^{5,6} ซึ่ง CNSL ในเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

¹ นิสิตระดับปริญญาโท, ² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ต.ขามเรียง อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150

¹ Graduate Student, ² Asst.Prof., Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantarawichai District, Mahasarakham 44150, Thailand

* Corresponding author: jindaporn.msu@gmail.com, Tel: 043-754322-40 ext: 3082 Fax: 043-754316

สามารถสกัดออกได้หลายวิธี เช่น การคั่ว การหีบ การอบด้วยไอน้ำ รวมถึงการสกัดด้วยตัวทำละลาย เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่เหลือจากการสกัด CNSL แล้ว โดยส่วนใหญ่เกษตรกรจะนำไปทิ้ง เผาทิ้ง หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้โดยตรง นอกจากกระบวนการเผาไหม้แล้วยังมีรายงานการนำเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการทางเคมี-ความร้อนอื่น ๆ เช่น กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน⁷ และกระบวนการไพโรไลซิส⁴

กระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว (Fast pyrolysis) ของชีวมวลเป็นกระบวนการสลายตัวของสารประกอบโดยใช้ความร้อนภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิประมาณ 500 องศาเซลเซียส ให้ผลผลิตเป็นของเหลว (น้ำมันชีวภาพ) แก๊ส (แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และแก๊สมีเทน) และของแข็ง (ถ่านชาร์) โดยผลผลิตหลักที่ต้องการคือ น้ำมันชีวภาพที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันเตา และสามารถนำไปใช้เป็นเคมีภัณฑ์อื่น ๆ ได้ อีกทั้งยังง่ายต่อการจัดการ การจัดเก็บ และการขนส่ง ซึ่งถือเป็นข้อได้เปรียบของกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วเมื่อเทียบกับกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันและกระบวนการเผาไหม้^{9,10} ที่ผ่านมามีการศึกษาระบบการไพโรไลซิสแบบเร็วของเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ไม่มากนัก โดยเตาปฏิกรณ์แบบตกอิสระ (Free fall reactor) ถือว่าได้รับความนิยมเนื่องจากใช้พลังงานน้อยเมื่อเทียบกับเตาปฏิกรณ์รูปแบบอื่น¹¹ อย่างไรก็ตามเนื่องจากในเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มียางเหนียวซึ่งอาจเป็นอุปสรรคต่อการทำงานของเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษากำจัดยางเหนียวออกจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์โดยใช้สารกำจัดยางเหนียวหลายชนิด ที่ระยะเวลา และอุณหภูมิต่าง ๆ

วิธีการศึกษา

1. การเตรียมวัตถุดิบและสารกำจัดยางเหนียว

เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ได้มาจากโรงงานผลิตเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ อ.วานรนิวาส จ.สกลนคร โดยนำมาหีบเอา CNSL ออกด้วยเครื่องหีบแบบอัดสกรู จากนั้นนำไปอบในตู้อบลมร้อน (ยี่ห้อ Memmert รุ่น 100-800) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบดแล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงเพื่อให้ได้ขนาด 250-425 ไมโครเมตร เมื่อได้ขนาดตามต้องการจึงนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อลดความชื้นที่ยังคงเหลือ

สารกำจัดยางเหนียวที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ น้ำกลั่น เมทานอล (Methanol) ความเข้มข้น 99.9% อะซิโตน (Acetone) ความเข้มข้น 99.8% และเฮกเซน (Hexane) ความเข้มข้น 99%

2. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

ได้นำเอาเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Proximate analysis) ซึ่งได้แก่ ปริมาณความชื้น สารระเหย และเถ้า ตามมาตรฐาน ASTM D 143¹², ASTM E872-82¹³ และ ASTM E1755-01¹⁴ ตามลำดับ ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงตัวใช้วิธีการคำนวณจากส่วนต่าง และได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (Ultimate analysis) ซึ่งได้แก่ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ไนโตรเจน (N) กำมะถัน (S) และออกซิเจน (O) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ธาตุ ยี่ห้อ LECO รุ่น Tru Spec CHNS/O

3. การทดลองกำจัดยางเหนียว (Degumming)

การกำจัดยางเหนียวทำโดยนำผงเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ น้ำหนัก 10 g ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 200 ml เติมน้ำสารกำจัดยางเหนียวปริมาณ 25 ml ใส่ลงในบีกเกอร์พร้อมกับแท่งกวนสารแม่เหล็ก ปิดปากบีกเกอร์ให้สนิทด้วยกระดาษฟอยล์ นำบีกเกอร์วางบน Hot plate stirrer (ยี่ห้อ LMS รุ่น HTS-1003) ในการทดลองที่อุณหภูมิห้องไม่ต้องเปิดสวิทช์ให้ความร้อนแต่ในการทดลองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสให้เปิดสวิทช์ให้ความร้อน ทำการกำจัดยางเหนียวตามระยะเวลาที่กำหนด (5 15 30 60 120 240 และ 360 นาที) เสร็จแล้วเทของเหลวในบีกเกอร์ลงบนกระดาษกรอง (Whatman เบอร์ 1) ในชุดกรวยกรองที่ต่อเข้ากับเครื่องกรองสุญญากาศ แล้วจึงนำของแข็ง (Filter cake) บนกระดาษกรองไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาร้อยละการกำจัดยางเหนียว (% Gum removal)

4. การหาสมการทางคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ กับร้อยละการกำจัดยางเหนียว

ได้นำสมการทางคณิตศาสตร์ 5 รูปแบบ ได้แก่ Linear Polynomial Logarithmic Power และ Arrhenius ดังแสดงในตารางที่ 1 มาใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ กับร้อยละการกำจัดยางเหนียว โดยเป็นการวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) และใช้ค่า Correlation coefficient (r) เป็นดัชนีบ่งชี้สมรรถนะในการทำนายค่าร้อยละการกำจัดยางเหนียว

Table 1 Mathematical models used to predict percent of gum removal

Model	Expression
Linear	$Y = a + bt + cT$
Polynomial	$Y = a + bt + cT + dt^2 + eT^2 + gTt$
Logarithmic	$Y = a + b \ln(t) + c \ln(T)$
Power	$Y = at^b + cT^d$
Arrhenius	$Y = a \exp(b/t) + c \exp(d/T)$

Y = Percent of gum removal (%)

T = Temperature (°C)

t = Time (min)

ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

1. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

จากผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า องค์ประกอบทางเคมีและองค์ประกอบธาตุของเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยในอดีต ซึ่งพบว่า เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 17-21 สารระเหยร้อยละ 76-82 คาร์บอนร้อยละ 48-58 และออกซิเจนร้อยละ 32-44^{4,16}

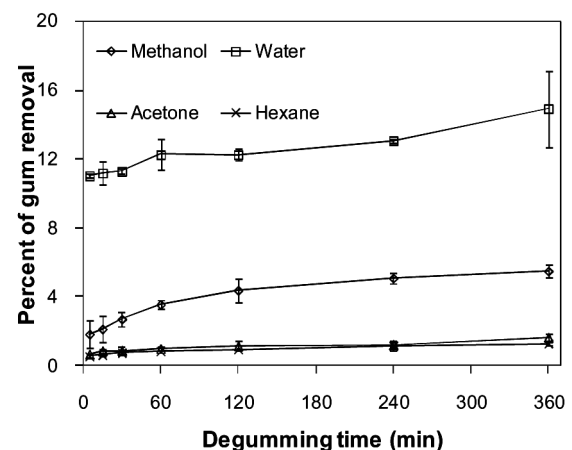
Table 2 Proximate and ultimate analyses of cashew nut shell

องค์ประกอบทางเคมี (Proximate analysis)	
คาร์บอนคงตัว (Fixed carbon)	20.20%
ความชื้น (Moisture)	1.17%
สารระเหย (Volatile matter)	76.52%
เถ้า (Ash)	2.11%
องค์ประกอบของธาตุ (Ultimate analysis)	
คาร์บอน (C)	57.76%
ไฮโดรเจน (H)	6.65%
ไนโตรเจน (N)	0.72%
กำมะถัน (S)	2.50%
ออกซิเจน (O)	32.37%

2. อิทธิพลของสารกำจัดยางเหนียวและระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดยางเหนียวออกจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดยางเหนียว

จากผลการศึกษาอิทธิพลของชนิดสารกำจัดยางเหนียวและระยะเวลาที่ใช้ที่มีผลต่อความสามารถในการกำจัดยางเหนียวออกจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ดังแสดงในรูปที่ 1-2 พบว่า ทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส น้ำกลั่นมีประสิทธิภาพในการกำจัดยางเหนียวได้มากที่สุด รองลงมาคือ เมทานอล อะซิโตน และเฮกเซน ตามลำดับ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องจากว่า ยางเหนียวในเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ประกอบไปด้วย Phospholipid ซึ่งมีส่วนหัวเป็นส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) จึงสามารถละลายในน้ำหรือตัวทำละลายมีขั้ว (Polar solvent) ได้ดี¹⁷ เนื่องจากน้ำมีความมีขั้วมากกว่า เมทานอล อะซิโตน และเฮกเซน ตามลำดับ¹⁸ จึงทำให้น้ำสามารถสกัดหรือกำจัดยางเหนียวออกจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ได้ดีที่สุด

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของระยะเวลาที่มีต่อความสามารถในการกำจัดยางเหนียว พบว่า ระยะเวลาที่นานขึ้นมีแนวโน้มให้ร้อยละการกำจัดยางเหนียวเพิ่มขึ้น โดยร้อยละการกำจัดยางเหนียวจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงต้น และเริ่มคงที่หลังระยะเวลา 120 นาที

**Figure 1** Influences of degumming substances and times on percent of gum removal at room temperature

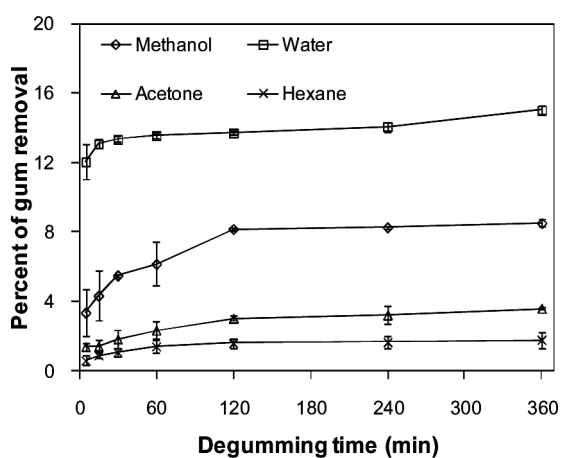


Figure 2 Influences of degumming substances and times on percent of gum removal at 50°C

3. อิทธิพลของอุณหภูมิในการกำจัดยางเหนียวออกจากเปลือกมะม่วงหิมพานต์ที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดยางเหนียว

การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลกระทบบในเชิงบวกต่อร้อยละการกำจัดยางเหนียว โดยที่ระยะเวลา 120 นาที สำหรับน้ำกลั่น เมทานอล อะซิโตน และเฮกเซน การเพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิห้องเป็น 50 องศาเซลเซียส จะทำให้ร้อยละการกำจัดยางเหนียวเพิ่มขึ้นร้อยละ 11.96 87.17 224.73 และ 39.30 ตามลำดับ (ดูรูปที่ 3) ความสามารถในการกำจัดยางเหนียวที่เพิ่มขึ้นอาจเนื่องจากว่า อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้สารกำจัดยางเหนียวสามารถแพร่ผ่านเข้าไปในอนุภาคผงเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ได้ง่ายขึ้น ทำให้ยางเหนียวหลุดออกมาได้มากขึ้น

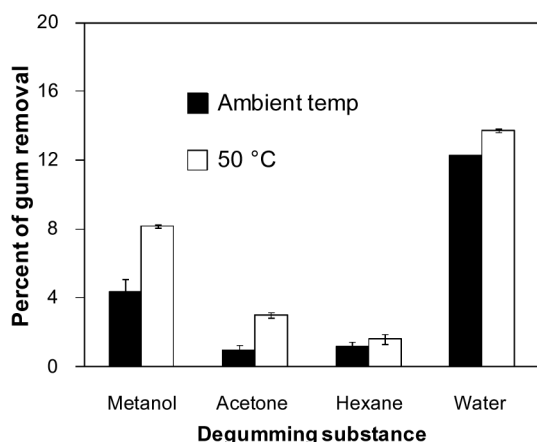


Figure 3 Influence of degumming temperature on gum removal percentage at degumming time of 120 minutes

4. สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ กับร้อยละการกำจัดยางเหนียว

จากการวิเคราะห์การถดถอยทั้งแบบเชิงเส้นและแบบไม่เชิงเส้นด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งจากตารางดังกล่าวจะเห็นได้ชัดว่า สมการ Polynomial สามารถทำนายค่าร้อยละการกำจัดยางเหนียวได้ดีที่สุด Correlation coefficient (r) อยู่ในช่วง 0.95–0.98 โดยเมื่อทำการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ จะพบว่า สำหรับน้ำกลั่น เมทานอล และ เฮกเซน อุณหภูมิและระยะเวลาในการกำจัดยางเหนียวมีผลต่อร้อยละการกำจัดยางเหนียวอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และอุณหภูมิมีอิทธิพลมากกว่าระยะเวลา อย่างไรก็ตามสำหรับอะซิโตนพบว่า มีเพียงอุณหภูมิเท่านั้นที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดยางเหนียวอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

Table 3 Correlation coefficient (r) obtained from different mathematical models

Model	r			
	Methanol	Water	Acetone	Hexane
Linear	0.92	0.94	0.93	0.90
Polynomial	0.98	0.96	0.98	0.95
Logarithmic	0.98	0.92	0.94	0.97
Power	0.97	0.95	0.95	0.96
Arrhenius	0.98	0.92	0.95	0.97

เมื่อนำสมการโพลิโนเมียลมาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ กับร้อยละการกำจัดยางเหนียว จะได้รูปแบบสมการสำหรับสารกำจัดยางเหนียวต่าง ๆ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{น้ำกลั่น: } Y &= -4.60266 + 0.016228t + 0.784945T \\ &\quad - 0.000001t^2 - 0.008730T^2 - 0.000195Tt \\ \text{เมทานอล: } Y &= -5.39713 + 0.026960t + 0.304207T \\ &\quad - 0.000061t^2 - 0.002308T^2 + 0.000149Tt \\ \text{อะซิโตน: } Y &= -4.82535 + 0.001135t + 0.263809T \\ &\quad - 0.000013t^2 - 0.002744T^2 + 0.000192Tt \\ \text{เฮกเซน: } Y &= -5.06221 + 0.004450t + 0.287033T \\ &\quad - 0.000010t^2 - 0.003387T^2 + 0.000040Tt \end{aligned}$$

5. การแสดงผลตอบสนองแบบโครงสร้างพื้นผิว (Response surface)

เมื่อนำค่าของร้อยละการกำจัดยางเหนียวที่ได้จากการทำนายด้วยสมการโพลิโนเมียลในกรณีของสารกำจัดยางเหนียวเฮกเซนและนำมาแสดงผลตอบสนองแบบโครงสร้างพื้นผิว จะได้ข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5 ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการคำนวณในกรณีของเฮกเซนส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าข้อมูลจากการทดลอง ในกรณีของน้ำส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าข้อมูลจากการทดลอง

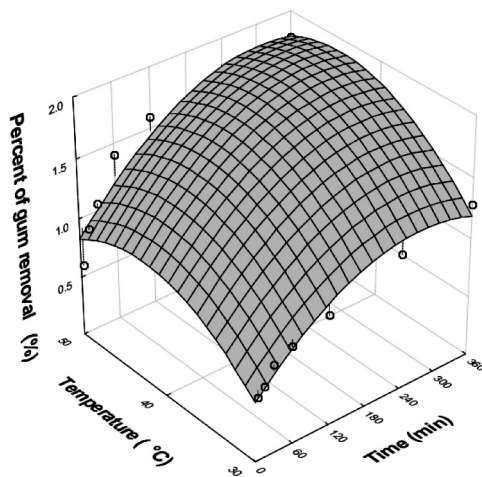


Figure 4 Response surface of gum removal percentage predicted by a polynomial equation (using hexane as a degumming substance) compared with the experimental data (transparent dots)

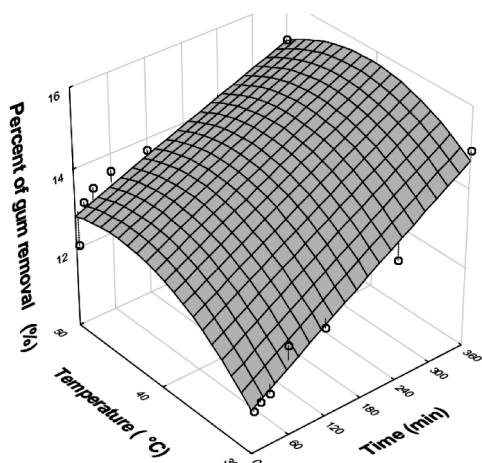


Figure 5 Response surface of gum removal percentage predicted by a polynomial equation (using water as a degumming substance) compared with the experimental data (transparent dots)

สรุปผล

ชนิดของสารกำจัดยางเหนียว อุณหภูมิ และระยะเวลา การกำจัดยางเหนียวออกจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ส่งผลกระทบต่อปริมาณยางเหนียวที่กำจัดได้ โดยน้ำเป็นสารกำจัดยางเหนียวที่ดีที่สุด รองลงมาคือ เมทานอล อะซิโตน และ เฮกเซน ตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิและระยะเวลาในการกำจัดยางเหนียวส่งผลกระทบในเชิงบวกต่อปริมาณยางเหนียวที่กำจัดได้ โดยในภาพรวมพบว่า อุณหภูมิมีอิทธิพลมากกว่า ระยะเวลาในการกำจัดยางเหนียว

เอกสารอ้างอิง

1. USDA Nutrient Database. USDA Nutrient Database for Standard Reference. USA [serial online] Available from: <http://ndb.nal.usda.gov>. Access August 30, 2011.
2. สำนักงานสถิติแห่งชาติ. การสำรวจการเปลี่ยนแปลงทาง การเกษตร พ.ศ. 2551, กรุงเทพฯ: สำนักสถิติพยากรณ์ สำนักงานสถิติแห่งชาติ ศูนย์ราชการเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา; 2553.
3. Food and Agriculture Organization. FAO stat. USA [serial online] 2009. Available from: <http://faostat.fao.org>. Access August 30, 2011.
4. Das P, Ganesh A. Bio-oil from pyrolysis of cashew nut shell a near fuel. BIOMASS BIOENERG 2003;25 (1):113-117.
5. Novothy EE, Vogelsank GK. US Patent 1941;2 (251):547.
6. Kudwa KG, Kamath NR. Indian Patent 1948;31:509.
7. Tippayawong N, Chaichana C, Promwangkwa A, Rerkkriangkrai P. Gasification of cashew nut shells for thermal application in local food processing factory. ESD 2011;15(1):69-72.
8. Bridgwater AV. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. BIOMASS BIOENERG 2012;38(0):68-94.
9. Bridgwater AV, Peacocke GV C. Fast pyrolysis processes for biomass. RENEW SUST ENERG REV 2000;4(1):1-73.
10. Bhattacharya SC. Pyrolysis and gasification of biomass. In: US-ASEAN seminar on energy technology: biomass, coal, solar/wind, energy planning. Bangkok, Thailand: Asean Institute of Technology; 1982. p. 95-100.

11. Sezer M, Bilgesü AY, Karaduman A. Flash pyrolysis of silopi asphaltite in a free-fall reactor under vacuum. *J ANAL APPL PYROL* 2008;82(1):89-95.
12. ASTM D 143. Standard test methods for direct moisture content measurement of wood and wood-based materials
13. ASTM. E872-82. Standard test method for volatile matter in the analysis of particulate wood fuels
14. ASTM. E1755-01. Standard test method for ash in biomass
15. Tsamba AJ, Yang W, Blasiak W. Pyrolysis characteristics and global kinetics of coconut and cashew nut shells. *FUEL PROCESS TECHNOL* 2006;87(6):523-530.
16. Yuliana M, Tran-Thi NY, Ju YH. Effect of extraction methods on characteristic and composition of Indonesian cashew nut shell liquid. *IND CROP PROD* 2012;35(1):230-236.
17. Chemicalland21. Solvent. [serial online] Available from: <http://www.chemicalland21.com/info/solvents.htm>. Access August 30, 2011.