KKU Res. J. 2013; 18(5): 849-860
http : //resjournal.kku.ac.th

ชีวมวลปาล์มน้ำมัน: วัตถุดิบทางเลือกใหม่สำหรับผลิตไบโอเอทานอล
Oil palm biomass: New alternative raw materials for bioethanol production

รัตนา ชูหว่าง[1*]
Rattana Choowang[1*]

[1] *สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมยางพารา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี*
* *Correspondent author: rattana.ch@psu.ac.th*

บทคัดย่อ

ไบโอเอทานอลเป็นหนึ่งในพลังงานทางเลือกที่สำคัญซึ่งรัฐบาลมีแผนเพิ่มกำลังการผลิตเอทานอลจาก 1.3 ล้านลิตรต่อวัน เป็น 9 ล้านลิตรต่อวัน ในปี 2564 เพื่อทดแทนการใช้พลังงานจากฟอสซิล โดยมีนโยบายรองรับสำหรับการเพิ่มกำลังผลิตไบโอเอทานอลดังกล่าวด้วยการเพิ่มพื้นที่ปลูกและผลผลิตต่อไร่ของมันสำปะหลังและอ้อย ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเอทานอลควบคู่ไปกับการวิจัยและพัฒนาวัตถุดิบชนิดอื่น ชีวมวลปาล์มน้ำมันประกอบด้วยทางใบ ลำต้น ทะลายปาล์มเปล่าและเส้นใยเปลือกผลปาล์มเป็นวัตถุดิบทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับผลิตไบโอเอทานอล เมื่อพิจารณาจากปริมาณคงเหลือที่ยังไม่มีการใช้ประโยชน์และองค์ประกอบเคมี น้ำคั้นจากทางใบและลำต้นปาล์มน้ำมันมีกลูโคสสูง 58.95 และ 85.2 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ นอกจากนี้เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสองค์ประกอบเคมีที่มีมากในชีวมวลปาล์มน้ำมันสามารถไฮโดรไลซิสด้วยกรดหรือเอนไซม์ให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวซึ่งใช้ในการหมักเพื่อผลิตไบโอเอทานอลเพราะฉะนั้นชีวมวลปาล์มน้ำมันวัตถุดิบทางเลือกที่มีความเป็นไปได้สำหรับผลิตไบโอเอทานอลหากภาครัฐสนับสนุนให้มีการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

Abstract

Bioethanol is one of most the importantly renewable fuel and the government has planed to increase the production of bioethanol from currently 1.3 million liters per day to 9 million liters per day in year 2021 for replace fossil energy. The supporting policies growth up the production by increased the planted-area and yield per rai of sugarcane and cassava that are the main material for produce bioethanol. In addition, the research and development was investiga into a new material. Oil palm biomass included fronds, trunks, empty fruit bunches and mesocarp fiber that interesting alternative materials for bioethanol production. When considered to be remaining non utilization are the and these has also chemical compositions. The juice squeezed from fronds and trunks of oil palm content high values glucose of 58.95 and 85.2 g/liter, respectively. Besides, the cellulose and hemicellulose chemical composition in oil palm biomass were hydrolyzed by acid or enzymes conversed to sugar monomer

that used for fermentation to bioethanol. Therefore, oil palm biomass indicated the promising alternative resource for production of bioethanol, providing that the research and development are continuously supported by the government.

คำสำคัญ: ไบโอเอทานอล ชีวมวล เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ทะลายปาล์มเปล่า

Keywords: Bioethanol Biomass Celluloses Hemicelulose Empty Fruit Bunch

1. บทนำ

ไบโอเอทานอล (Bioethanol) เป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งซึ่งสามารถผลิตจากกระบวนการทางชีวภาพ ปัจจุบันนิยมนำมาเป็นพลังงานทดแทนสำหรับเชื้อเพลิงในการขนส่งโดยการนำไบโอเอทานอลมาผสมกับน้ำมันเพื่อลดการใช้พลังงานจากฟอสซิลและภาวะเรือนกระจกจากผลกระทบของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการใช้พลังงานจากฟอสซิล ไบโอเอทานอลเป็นผลผลิตจากกระบวนการหมักน้ำตาลซึ่งมีกระบวนการผลิตแตกต่างกันไปตามลักษณะของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1.1 น้ำตาลจากพืชให้น้ำตาล เช่น อ้อย น้ำคั้นจากอ้อยมีองค์ประกอบของน้ำตาลซูโครสซึ่งเมื่อเปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคสก็สามารถหมัดด้วยยีสต์ให้ได้เป็นไบโอเอทานอลต่อไปดังสมการ

$$\underset{\text{glucose}}{C_6H_{12}O_6} \xrightarrow{\text{yeast}} 2\,C_2H_5OH + 2CO_2$$

1.2 แป้งจากพืช เช่น ข้าวสาลี ข้าวโพด และมันสำปะหลัง เป็นต้น โดยการใช้เอนไซม์ย่อยโครงสร้างของแป้งซึ่งได้จากพืชเหล่านั้นให้เป็นน้ำตาลกลูโคสและนำไปผ่านการหมักด้วยยีสต์ได้เป็นเอทานอลดังสมการ

$$Starch \xrightarrow{\text{enzyme}} \underset{\text{glucose}}{C_6H_{12}O_6} \xrightarrow{\text{yeast}} 2\,C_2H_5OH + 2CO_2$$

1.3 ชีวมวลลิกโนเซลลูโลสซึ่งมีองค์ประกอบของเซลลูโลสสารประเภทโพลิแซคคาไรด์มีน้ำตาลกลูโคสเป็นหน่วยโมโนเมอร์จึงสามารถใช้เอนไซม์ตัดพันธะสายโซ่เซลลูโลสให้ได้เป็นน้ำตาลกลูโคสซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับหมักด้วยยีสต์เพื่อผลิตไบโอเอทานอลดังสมการ

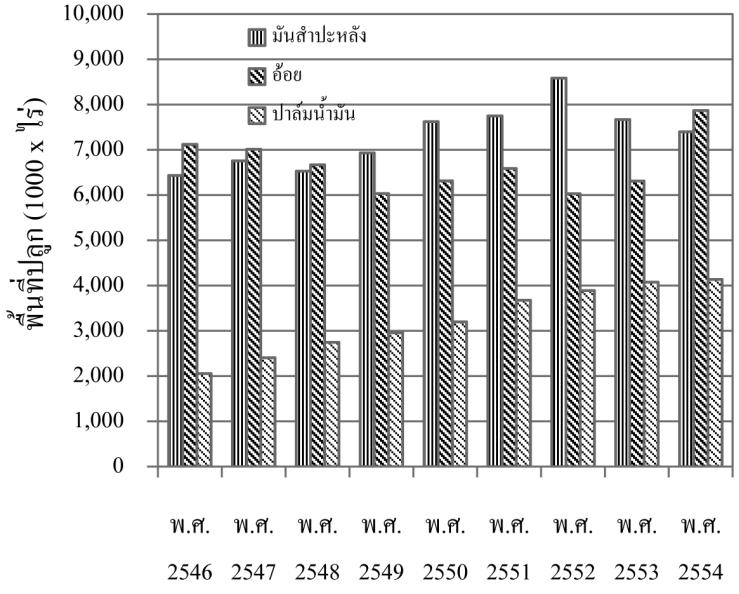
$$Cellulose \xrightarrow{\text{enzyme}} \underset{\text{glucose}}{C_6H_{12}O_6} \xrightarrow{\text{yeast}} 2\,C_2H_5OH + 2CO_2$$

การผลิตไบโอเอทานอลจากน้ำตาลและแป้งเป็นเทคโนโลยีเริ่มแรก แต่ด้วยพืชให้น้ำตาลและแป้งส่วนใหญ่เป็นพืชอาหาร (Food crops) สำหรับการบริโภคหรือใช้ผลิตอาหารสำหรับเลี้ยงสัตว์บวกกับข้อจำกัดในเรื่องพื้นที่ปลูกจึงมักส่งผลกระทบต่อราคาวัตถุดิบและมีปริมาณไม่เพียงต่อการผลิตพลังงานทดแทน ด้วยเหตุนี้จึงมีการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตไบโอเอทานอลจากชีวมวลลิกโนเซลลูโลสเศษเหลือทางการเกษตรและอุตสาหกรรม เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย เศษไม้จากอุตสาหกรรม และกระดาษ เป็นต้น (1,2,3) ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยมีกำลังการผลิตเอทานอล 1.3 ล้านลิตรต่อวันและต้องการเพิ่มกำลังการผลิตเป็นวัน เป็น 9 ล้านลิตรต่อวัน ในปี 2564 เพื่อใช้เป็นพลังงานในการขนส่งลดการนำเข้าน้ำมันที่มีราคาเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยมีนโยบายขยายพื้นที่ปลูกและเพิ่มผลผลิตต่อไร่ของมันสำปะหลังและอ้อย พืชวัตถุดิบหลักในการผลิตเอทานอลในปัจจุบันควบคู่ไปกับการวิจัยและพัฒนาวัตถุดิบชนิดอื่นๆ เพื่อรองรับนโยบายดังกล่าว (4) “ชีวมวลปาล์มน้ำมัน” เป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอเอทานอล บทความฉบับนี้จึงขอนำเสนอชีวมวลจากภาคเกษตรและอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน องค์ประกอบเคมีหลักของชีวมวลเพื่อนำไปสู่แนวทางการเตรียมน้ำตาลสำหรับผลิตไบโอเอทานอล

2. ชีวมวลปาล์มน้ำมัน

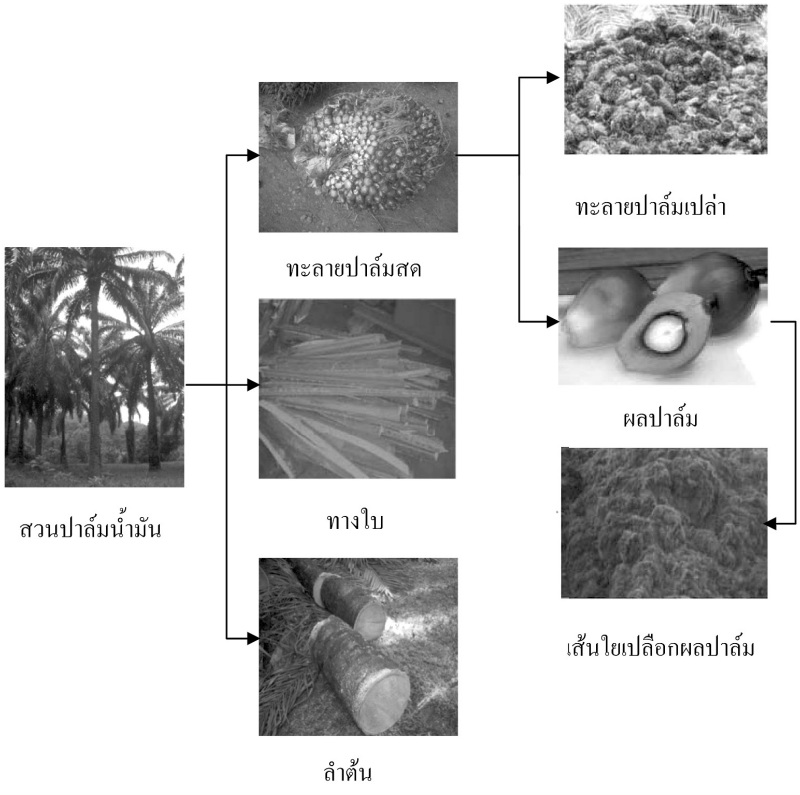
ปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* Jacq.) เป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจหลักของภาคใต้ปลูกมากในแถบพื้นที่จังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี และชุมพร ตามลำดับโดยจุดประสงค์หลักในการปลูกปาล์มน้ำมันเพื่อต้องการน้ำมันจากผลปาล์ม ซึ่งน้ำมันปาล์มส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและผลิตพลังงานทดแทนคือ น้ำมันไบโอดีเซล จาก

การรายงานของสำนักงานเศรฐกิจ (5) ในปี พ. ศ. 2554 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันทั้งหมด 4,135,000 ไร่และมีพื้นที่ปลูกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 เมื่อเปรียบเทียบกับมันสำปะหลังและอ้อย (รูปที่ 1)



รูปที่ 1. พื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง อ้อย และปาล์มน้ำมันตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 – 2554 (5)

ชีวมวลลิกโนเซลลูโลสจากภาคเกษตรและอุตสากรรมปาล์มน้ำมันซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอเอทานอลประกอบด้วย ทางใบ ลำต้น ทะลายปาล์มเปล่า และเส้นใยเปลือกผลปาล์ม (6,7) ดังรูปที่ 2 โดยชีวมวลประเภททางใบเกิดขึ้นตั้งแต่ระยะการปลูกถึงหมดอายุการเก็บเกี่ยว ทางใบจากการตัดแต่งลำต้นเกษตรกรนำมากองไว้ระหว่างแถวปาล์มเพื่อป้องการความชื้นและเป็นปุ๋ยให้แก่ดินหรือบางส่วนใช้ในการผลิตอาหารสัตว์ซึ่งปาล์มน้ำมัน 1 ไร่ให้ทางใบประมาณ 68 ตัน (8) และเมื่อปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตเกษตรกรตัดทะลายปาล์มสดส่งเข้าสู่โรงงานผลิตน้ำมันปาล์มผ่านกระบวนการอบด้วยไอน้ำแยกส่วนผลออกจากทะลายปาล์มซึ่งขั้นตอนนี้มีเศษทะลายปาล์มเปล่าประมาณ 220 กิโลกรัมต่อทะลายปาล์มสด 1000 กิโลกรัม (9) ส่วนผลปาล์มสดซึ่งนำไปผ่านขั้นตอนการบีบน้ำมันนั้นก่อให้เกิดเศษเหลือเส้นใยเปลือกผลปาล์มจากการสำรวจปริมาณทะลายปาล์มเปล่าและเส้นใยเปลือกผลปาล์มซึ่งได้จากตัวอย่างโรงงานอุตสาหกรรมในเขตพื้นที่ภาพใต้พบว่ามีทะลายปาล์มเปล่าและเส้นใยเปลือกผลปาล์มประมาณ 386,930 และ 165,830 ตันต่อปี โดยมีการใช้งานทะลายปาล์มเปล่าเพียงร้อยละ 50 ถึง 60 สำหรับเป็นเชื้อเพลิงหรือผลิตปุ๋ยหมักส่วนเส้นใยเปลือกผลปาล์มนิยมใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อต้มไอน้ำสำหรับอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน อุตสาหกรรมการผลิตยางแท่ง และอุตสาหกรรมไม้ยางพารา เป็นต้น (7,10) ชีวมวลในส่วนของลำต้นปาล์มน้ำมันเศษเหลือจากภาคเกษตรเกิดขึ้นเมื่อเกษตรต้องการเตรียมพื้นที่เพื่อปลูกทดแทนเนื่องจากผลผลิตน้อยลงและลำต้นสูงเก็บเกี่ยวได้ยากเมื่อปาล์มน้ำมันอายุประมาณ 25-30 ปี (11) ในการเตรียมพื้นที่เกษตรกรมักนิยมใช้สารเคมีให้ลำต้นปาล์มน้ำมันยืนต้นตายภายในสวนโดยไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ และปลูกต้นปาล์มใหม่ระหว่างแถมเดิม ซึ่งปาล์มน้ำมันมีปริมาตรเนื้อไม้โดยเฉลี่ย 1.72 ลูกบาศก์เมตรต่อต้นหรือ 1,375 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ (12)



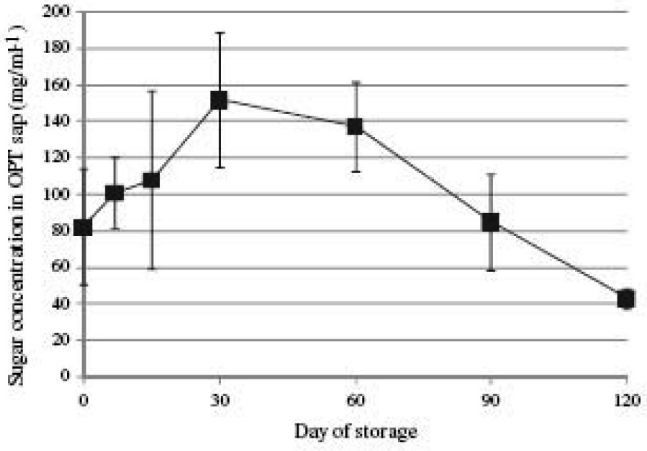
รูปที่ 2. เศษเหลือภาคเกษตรและอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน (7,13,14)

ชีวมวลปาล์มน้ำมันดังกล่าวข้างต้นมีองค์ประกอบเคมีไม่แตกต่างจากชีวมวลลิกโนเซลลูโลสชนิดอื่นคือมีประกอบองค์ประกอบเคมีของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เป็นหลักจากข้อมูลในตารางที่ 1 พบว่าชีวมวลปาล์มน้ำมันมีองค์ประกอบของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสสูงเช่นเดี่ยวกับเศษเหลือทางการเกษตรหรืออุตสาหกรรมชนิดอื่น เช่น ชานอ้อย ไม้ยางพารา จึงมีศักยภาพเพียงพอต่อการนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอเอทานอล

ตารางที่ 1. องค์ประกอบเคมีของทางใบ ลำต้น ทะลายปาล์มเปล่า เส้นในเปลือกผลปาล์ม ไม้ยางพาราและชานอ้อย

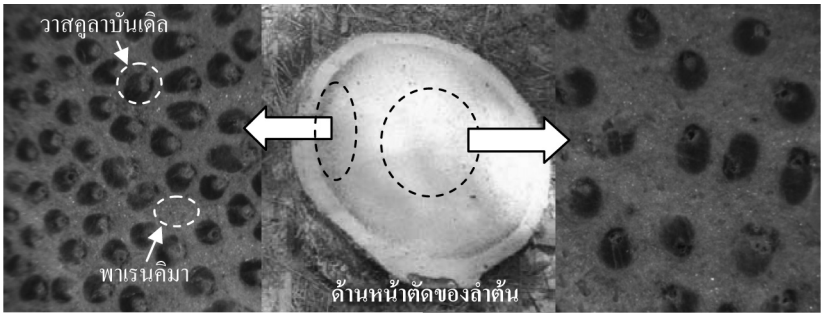
ชีวมวลปาล์มน้ำมัน	เซลลูโลส (%)	เฮมิเซลลูโลส (%)	ลิกนิน (%)
ทางใบ (15,16)	30.19 – 47.6	16.7 – 34.6	12.96 – 15.5
ลำต้น (17- 20)	31.70 - 47.30	21.20 - 34.40	18.40 - 29.60
ทะลายปาล์มเปล่า (21- 24)	42.85 - 59.70	22.10 -29.10	11.06 – 18.18
เส้นใยเปลือกผลปาล์ม (25,26)	21.3 - 32.40	31.9 - 38.2	20.50 - 26.0
ไม้ยางพารา (18)	52.5	21	26.5
ชานอ้อย (27)	50.4	28.5	14.9

นอกจากข้อมูลข้างต้นพบว่าทางใบปาล์มน้ำมันมีองค์ประกอบของน้ำตาลกลูโคสร้อย 40.56 - 66.6 และน้ำตาล ไซโลสร้อยละ 17.40 – 28.9 (15,16) และเมื่อนำทางใบมาคั้นเช่นเดี่ยวกับการคั้นน้ำอ้อยพบว่าน้ำคั้นจากทางใบมีปริมาณน้ำตาลกลูโคส 58.95 กรัมต่อลิตร (28) ในขณะที่ลำต้นปาล์มน้ำมันอายุประมาณ 25 ปี เมื่อนำมาย่อยและบีบน้ำคั้นพบว่ามีปริมาณน้ำคั้นสูงถึงร้อยละ 70 ของน้ำหนักลำต้นและร้อยละ 80 เป็นน้ำคั้นซึ่งได้จากเนื้อไม้บริเวณใจกลางลำต้นโดยน้ำคั้นจากลำต้นมีองค์ประกอบของน้ำตาลซูโคส กลูโคส ฟรุตโตส ไซโลส กาแลกโตส แรมโนส และพบน้ำตาลกลูโคสมากกว่าน้ำตาลชนิดอื่นโดยเฉพาะน้ำคั้นจากเนื้อไม้ส่วนกลางของลำต้นมีปริมาณน้ำตาลกลูโคสสูงถึงร้อยละ 85.2 กรัมต่อลิตรและลดลงเหลือเพียง 13.1 กรัมต่อลิตรเมื่อคั้นจากเนื้อไม้บริเวณใกล้เปลือกและเนื้อไม้บริเวณส่วนบนของลำต้นมีปริมาณน้ำตาลสูงกว่าส่วนล่าง นอกจากนี้พบว่าระยะเวลาจัดเก็บลำต้นปาล์มน้ำมันหลังการตัดฟันยังมีผลต่อปริมาณน้ำตาลในน้ำคั้นโดยระยะเวลาการจัดเก็บหลังการตัดฟันที่เหมาะสมคือ 30 วันดังรูปที่ 3 (29,30)



รูปที่ 3. ระยะเวลาการจัดเก็บหลังการตัดฟันของลำต้นปาล์มน้ำมันต่อปริมาณน้ำตาลในน้ำคั้น (29)

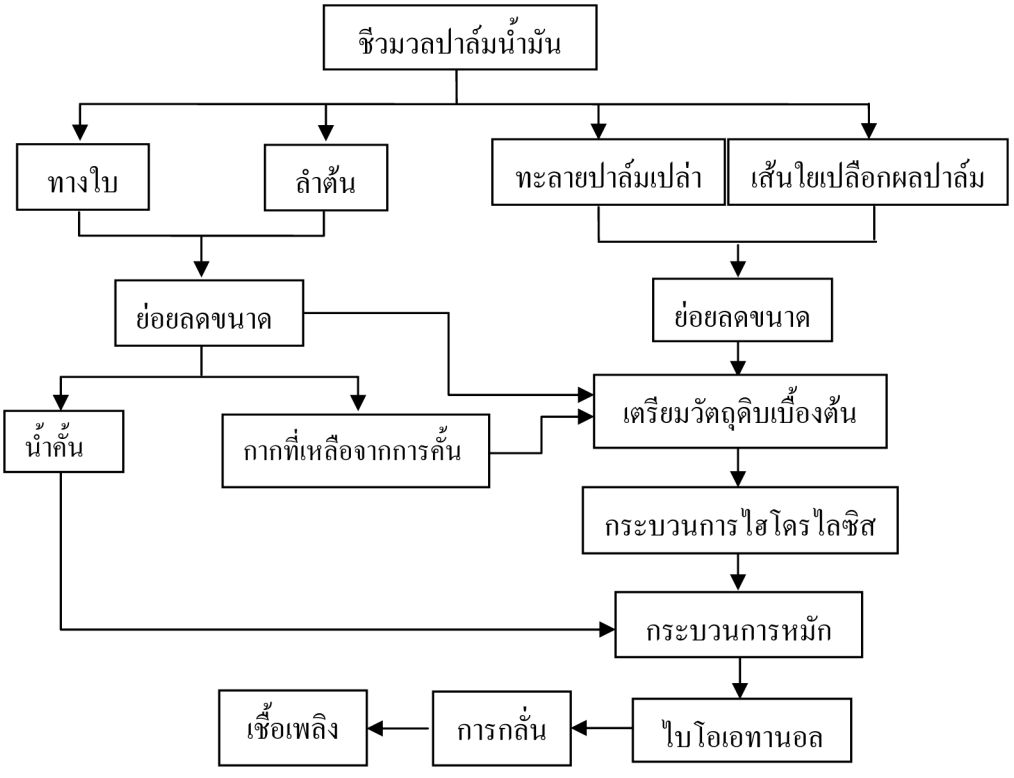
โดยทั่วไปองค์ประกอบเคมีของลำต้นปาล์มน้ำมันกระจายตัวตามปริมาณของกลุ่มเซลล์วาสคูลาบันเดิล (Vascular bundle, VB) และพาเรนคิมา (Parenchyma) ภายในลำต้นโดยกลุ่มเซลล์วาสคูลาบันเดิลประกอบขึ้นจากเส้นใย (Fiber) และเวสเซล (Vessel) ทำหน้าที่ในการลำเลียงและให้ความแข็งแรงแก่ลำต้นในขณะที่กลุ่มเซลล์พาเรนคิมาซึ่งทำหน้าที่ในการสะสมอาหารภายในเซลล์มีส่วนของแป้ง (Starch) ร้อยละ 55 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มเซลล์วาสคูลาบันเดิล (31) เมื่อมองด้านหน้าตัด (Cross section) ของลำต้นปาล์มดังรูปที่ 4 พบว่ากลุ่มเซลล์วาสคูลาบันเดิลกระจายอยู่ในกลุ่มเซลล์พาเรนคิมาและกระจายแบบลดหลั่นจากบริเวณใกล้เปลือกจนถึงใจกลางลำต้นโดยในบริเวณใกล้เปลือกมีจำนวนวาสคูลา-บันเดิลต่อตารางเซนติเมตร เท่ากับ 97.5 Vb/cm^2 ในขณะที่บริเวณใจกลางลำต้นมีเพียง 25.2 Vb/cm^2 และลดลงตามระดับความสูงของลำต้น (32,33) จากการกระจายตัวของกลุ่มเซลล์ทั้งสองชนิดภายในลำต้นปาล์มน้ำมันส่งผลให้เนื้อไม้ส่วนนอกของ ลำต้นมีองค์ประกอบของเซลลูโลสมากกว่าส่วนกลางในขณะส่วนกลางลำต้นมีเซลล์พาเรนคิมาอย่างหนาแน่นพบว่าปริมาณแป้งร้อยละ 17.7 (34) และลำต้นปาล์มน้ำมันมีองค์ประกอบของน้ำตาลร้อยละ 50 – 60 ของน้ำหนักแห้งโดยเฉพาะน้ำตาลกลูโคสและไซโลส (35)



รูปที่ 4. การกระจายของกลุ่มเซลล์วาสคูลาบันเดิลและพาเรนคิมาภายในเนื้อไม้ใกล้เปลือก (ซ้าย) และใจกลางลำต้น(ขวา) (33)

3. แนวทางการผลิตไบโอเอทานอลจากชีวมวลจากปาล์มน้ำมัน

เมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบเคมีของชีวมวลปาล์มน้ำมันพบว่าสามารถผลิตน้ำตาลกลูโคสสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการหมักเพื่อผลิตไบโอเอทานอลได้ 2 แนวทางด้วยกันดังรูปที่ 5



รูปที่ 5. แนวทางการผลิตไบโอเอทานอลจากชีวมวลปาล์มน้ำมัน

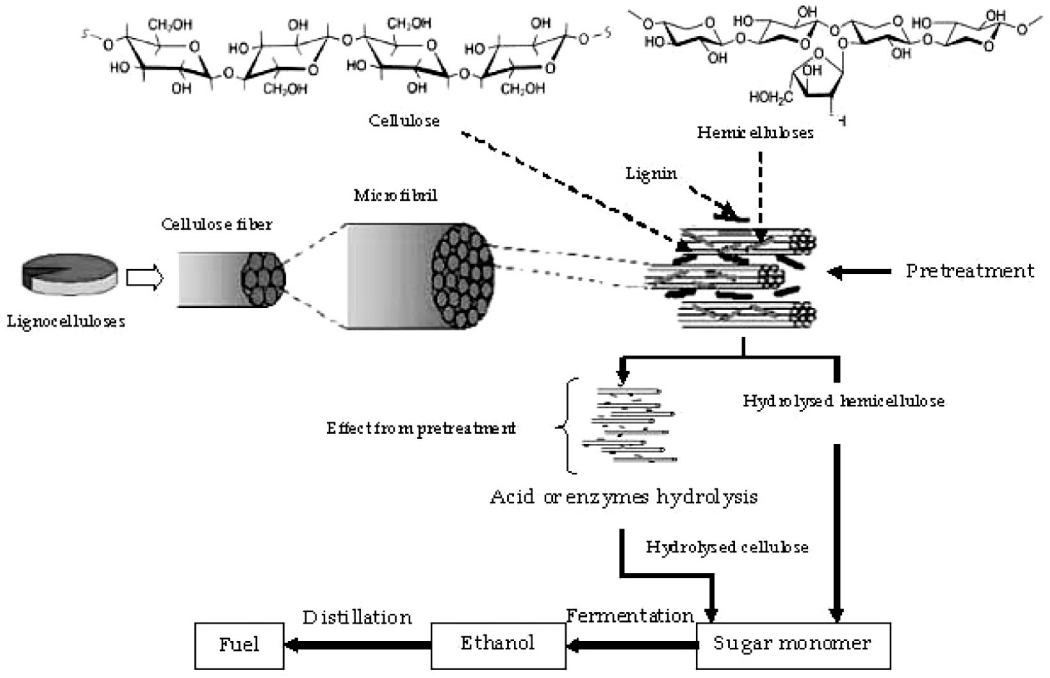
3.1 การใช้น้ำคั้นจากทางใบและลำต้น

เนื่องจากน้ำคั้นจากทางใบและลำต้นปาล์มน้ำมันมีองค์ประกอบของน้ำตาลดังข้อมูลข้างต้นจึงสามารถใช้วิธีการผลิตไบโอเอทานอลเช่นเดี่ยวกับการผลิตจากอ้อยโดยเริ่มจากการนำทางใบและลำต้นโดยเฉพาะเนื้อไม้ส่วนใจกลางและปลายของลำต้นที่มีองค์ประกอบของน้ำตาลสูงมาทำการย่อยให้มีขนาดเล็กและบีบคั้นเอาส่วนของน้ำไปทำการหมักด้วยยีสต์เพื่อผลิตไบโอเอทานอล (14) ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่น้ำคั้นจากลำต้นปาล์มน้ำมันมีอายุถึงระยะตัดฟันสามารถผลิต ไบโอเอทานอลได้ประมาณ 1.44 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ (29)

รูปที่ 6. น้ำคั้นจากลำต้นปาล์มน้ำมัน และกากที่เหลือจากการคั้นประกอบด้วยกลุ่มวาสคูลาบันเดิลและเซลล์พาเรนคิมา (14)

3.2 การใช้เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสจากทางใบ ลำต้น ทะลายปาล์มเปล่า และเส้นใยเปลือกผลปาล์ม

ชีวมวลปาล์มน้ำมันมีองค์ประกอบของเซลลูโลสซึ่งเป็นโพลิเมอร์ประเภทโฮโมโพลิแซคคาไรด์ (Homopolysaccharide) ประกอบด้วยหน่วยโมโนเมอร์ดีแอนไฮโดรกลูโคไพราโนส (D-anhydroglucopyranose) หรือน้ำตาลกลูโคสจำนวน 5,000 ถึง 10,000 โมโนเมอร์จัดเรียงตัวในลักษณะโครงสร้างเป็นสายโซ่ตรงระหว่างสายโซ แต่ละเส้นเชื่อมต่อด้วยพันธะไฮโดรเจน เรียกว่าไฟบริลปฐม (Elementary fibril) ไฟบริลปฐมจัดเรียงตัวขนานกันตลอดความยาวโครงสร้างเป็นผลึก (Crystalline structure) และมีบางส่วนโครงสร้างเรียงตัวไม่เป็นระเบียบหรือแบบอสัญฐาน (Amorphous regions) เมื่อไฟบริลปฐมเรียงตัวเป็นแถบใหญ่เรียกว่าไมโครไฟบริล (Microfibrils) ซึ่งมีจำนวนและทิศทางการจัดเรียงตัวแตกต่างกันตามที่มาของเซลลูโลสและตำแหน่งของไมโครไฟบริลในผนังเซลล์ โดยทั่วไปการจัดเรียงขององค์ประกอบเคมีในผนังเซลล์มีสายโซ่ของเซลลูโลสเป็นแกนหลักปกคลุมด้วยเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน (รูปที่ 7) ซึ่งเฮมิเซลลูโลสเป็นสารโพลิแซคคาไรด์เกิดจากการรวมตัวของน้ำตาลคาร์บอนหกอะตอม (Six-carbon sugars) เช่น กลูโคส กาแลคโตส แมนโนส และน้ำตาลคาร์บอนห้าอะตอม (Five-carbon sugars) เช่น ไซโลส อะราบิโนส ประมาณ 150 ถึง 200 โมเลกุลลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งก้าน ในขณะที่ลิกนินมีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบสามมิติ (Three dimension polymer) ประกอบด้วยเพนนีลโปรเพน (Phenyl propane) เป็นหน่วยพื้นฐานจัดเรียงตัวแบบอสัญฐานอย่างสมบูรณ์ปกคลุมรอบไมโครไฟบริลทำหน้าที่ในการเชื่อมมัดสายโซ่ของเซลลูโลสเข้าด้วยกัน (36) เนื่องจากเซลลูโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบเคมีหลักที่ต้องการในการผลิตน้ำตาลกลูโคสปกคลุมด้วยเฮมิเซลลูโลสและลิกนินบวกกับโครงสร้างส่วนที่เป็นผลึกของเซลลูโลสจึงยากต่อกระบวนการไฮโดรไลซิสตัดพันธะเซลลูโลสให้ได้เป็นน้ำตาลกลูโคส เพราะฉะนั้นในขั้นแรกของการผลิตไบโอเอทานอลจากชีวมวลลิกโนเซลลูโลส จึงจำเป็นต้องมีการเตรียมวัตถุดิบเบื้องต้น (Pretreatment) เพื่อเพิ่มความเป็นรูพรุนของวัตถุดิบ กำจัดเฮมิเซลลูโลสและลิกนินออกจากโครงสร้างของเซลลูโลส ลดโครงสร้างส่วนที่เป็นผลึกของเซลลูโลสเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนไฮโดรไลซิล (Hydrolysis process) ของกรดหรือเอนไซม์ให้สามารถตัดพันธะของเซลลูโลสได้มากยิ่งขึ้นเพิ่มผลผลิตน้ำตาลกลูโคสสารตั้งต้นในการหมัก (Fermentation) เพื่อผลิตโบโอเอทานอลซึ่งนิยมหมักด้วยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ไบโอเอทานอลจากกระบวนการหมักนำไปทำการกลั่น (Distillation) ให้บริสุทธิ์ก่อนนำไปใช้งาน (3,37,38)



รูปที่ 7. การจัดเรียงของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินภายในชีวมวลลิกโนเซลลูโลสและกระบวนการผลิตไบโอเอทานอล (ดัดแปลงจากอ้างอิงที่ 37, 38)

ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเบื้องต้นเป็นขั้นตอนสำคัญที่มีผลต่อการผลิตน้ำตาลกลูโคสจากวัตถุดิบชีวมวลลิกโนเซลลูโลสจากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการผลิตไบโอเอทานอลจากชีวมวลปาล์มน้ำมัน มักเริ่มต้นด้วยการใช้แรงกลย่อยให้อยู่ในรูปชีวมวลขนาดเล็กก่อนนำไปแช่ในสารละลายกรดเจือจางซึ่งนิยมใช้กรดซัลฟูริกเพื่อทำให้เฮมิเซลลูโลสเกิดการแตกตัวเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวโดยในขั้นตอนนี้ส่วนใหญ่ได้ผลผลิตของน้ำตาลไซโลส (Hydrolysed hemicelluloses) (รูปที่ 7) ซึ่งละลายมากับสารละลายกรด (39,40) และด้วยคุณสมบัติของเฮมิเซลลูโลสซึ่งแตกตัวได้ง่ายกว่าลิกนินและเซลลูโลสเมื่อได้รับความร้อนจึงสามารถใช้วิธีทางกายภาพในการกำจัดเฮมิเซลลูโลสด้วยการนึ่งหรืออบชีวมวลด้วยไอน้ำภายใต้สภาวะแรงดันและความร้อนหรือการระเบิดด้วยไอน้ำ(Steam explosion) ซึ่งระดับการแตกตัวของ เฮมิเซลลูโลสขึ้นกับระดับอุณภูมิ และระยะเวลาเป็นหลัก (41,42) Yuliansyah และคณะ (43) ได้ทดลองนำผงทางใบและลำต้นปาล์มน้ำมันมาทำการนึ่งภายใต้ไอน้ำร้อนด้วยอุณหภูมิต่างๆและแรงดันสูงสุด 30 เมกกะพาสคาลพบว่าเฮมิเซลลูโลสแตกตัวหมดที่ระดับอุณหภูมิ240และ200องศาเซลเซียสสำหรับชีวมวลทางใบและลำต้นปาล์มน้ำมันตามลำดับ นอกจากนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกเฮมิเซลลูโลสได้ด้วยการใช้วิธีทางเคมีร่วมกับวิธีการทางกายภาพ เช่น การแช่ชิ้นไม้จากลำต้นปาล์มน้ำมันด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกก่อนการระเบิดด้วยไอน้ำพบว่าได้ผลผลิตน้ำตาลไซโลสเพิ่มขึ้นเนื่องจากกรดซัลฟูริกช่วยเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเฮมิเซลลูโลส(44) ชีวมวลปาล์มน้ำมันที่ผ่านการแยกเฮมิเซลลูโลสด้วยวิธีดังกล่าวข้างต้นคงเหลือส่วนของลิกนินและเซลลูโลสเป็นหลักซึ่งสามารถแยกลิกนินได้ด้วยการแช่ในสารละลายด่าง เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (45,46) หรือการใช้เชื้อรา (fungi) (47) การกำจัดลิกนินช่วยให้กรดและเอนไซม์สามารถไฮโดรไลซิสเซลลูโลสได้ดียิ่งขึ้นเพิ่มผลผลิตน้ำตาลกลูโคส (45,46) นอกจากนี้ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุเบื้องต้นเพื่อให้ได้เซลลูโลสสำหรับการผลิตน้ำตาลกลูโคสนั้นอาจใช้วิธีการแยก

ลิกนินออกก่อนทำการแยกเฮมิเซลลูโลส(45) เช่น ผลการทดลอง Hassim และคณะ (21) พบว่าการแช่ผงทะลายปาล์มเปล่าขนาด 91 – 106 ไมโครเมตรในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 และกรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 0.7 สามารถผลิตน้ำตาลไซโลสได้ 13.38 กรัมต่อลิตรซึ่งประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาของสารละลายด่างและกรดขึ้นอยู่กับชนิดชีวมวล ขนาดของชีวมวล ความเข้มข้นของสารละลาย ระดับอุณหภูมิและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา(39) ชีวมวลซึ่งทำการเตรียมวัตถุดิบเบื้องต้นได้แยกองค์ประกอบเคมีเฮมิเซลลูโลสและลิกนินคงเหลือเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักสามารถตัดพันธะสายโซ่เซลลูโลสให้ได้เป็นน้ำตาลกลูโคส (Hydrolysed cellulose) ด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยกรดหรือเอนไซม์ โดยสามารถผลิตน้ำตาลกลูโคสได้ร้อยละ 48.3 จากเนื้อไม้ลำต้นปาล์มน้ำมันบริเวณใกล้เปลือกส่วนโคนต้นเมื่อไฮโดรไลซิลด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 1.7 (45) ในขณะที่การไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์สามารถผลิตน้ำตาลกลูโคสจากผงทะลายปาล์มได้ 16.58 กรัมต่อลิตรและให้ไบโอเอทานอล 0.52 กรัมต่อกลูโคส 1 กรัมเมื่อหมักด้วยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* (21) ซึ่งปริมาณน้ำตาลกลูโคสและไบโอเอทานอลที่ได้ขึ้นกับประสิทธิภาพในการเตรียมวัตถุดิบเบื้องต้น สภาวะในกระบวนการไฮโดรไลซิสและการหมัก ตามลำดับ จากการทดลองของ Azamalisa และคณะ (46) พบว่าเอนไซม์เซลลูเลสสามารถย่อยเซลลูโลสได้ดีเมื่อใช้ประมาณเอ็นไซม์ 0.4 มิลลิลิตร ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 13.5 ชั่วโมง ระดับอุณหภูมิ 40.8 องศาเซลเซียส และจำนวนรอบในการเขย่า 167 รอบต่อนาที และ สภาวะในการหมักด้วยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ที่ให้ผลผลิตไบโอเอทานอลดีที่สุดคือ คือ ระดับความเป็นกรดด่าง 4.75 ระยะเวลา 30 นาที (48)

นอกจากน้ำตาลกลูโคส ซึ่งได้จากน้ำคั้นและโมเลกุลของเซลลูโลสเป็นหลักนั้น น้ำตาลคาร์บอนห้าอะตอมเป็นน้ำตาลอีกประเภทหนึ่งที่สามารถใช้เป็นสารตั้งต้นในการหมักผลิตไบโอเอทานอลโดยเฉพาะน้ำตาลไซโลส ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผลผลิตจากกระบวนการไฮโดรไลซีสเฮมิเซลลูโลสด้วยกรดหรือเอนไซม์ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเบื้องต้น (รูปที่ 7) โดยสามารถผลิตน้ำตาลไซโลสจากผงทะลายปาล์มเปล่าได้ 135.94 กรัม ต่อกิโลกรัม เมื่อแช่ด้วยกรดซัลฟูริกร้อยละ 0.8 ที่ระดับอุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 นาที และให้ไบโอเอทานอล 0.45 กรัมต่อน้ำตาลไซโลส 1 กรัม เมื่อหมักด้วย *Mucor indicus* (49) โดยทั่วยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ไม่เหมาะสำหรับใช้หมักน้ำตาลไซโลส (50) เพราะฉะนั้นควรเลือกยีสต์ในการหมักให้เหมาะกับน้ำตาลแต่ละชนิดเพื่อให้ได้ไบโอเอทานอลสูงสุด จากการศึกษาของ Yano และคณะ (6) พบว่ามีความเป็นไปได้ที่ประเทศไทยสามารถผลิตไบโอเอทานอลได้ 0.02 ถึง 0.03 ล้านกิโลลิตรจากทะลายปาล์มเปล่าจำนวน 0.20 ล้านตันโดยใช้เทคโนโลยีการผลิตไบโอเอทานอลจากวัสดุลิกโนเซลลูโลส

4. สรุป

ปัจจุบันประเทศไทยมีกำลังการผลิตเอทานอลที่เพียงพอต่อการใช้งานแต่ด้วยนโยบายของรัฐบาลในการเพิ่มปริมาณการใช้เอทานอลเพื่อทดแทนการใช้พลังงานจากฟอสซิลซึ่งราคาเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องนั้นจึงจำเป็นต้องมองหาแหล่งวัตถุดิบเพื่อเสริมการผลิตจากอ้อยและมันสำปะหลัง เมื่อพิจารณาปริมาณและองค์ประกอบเคมีของชีวมวลปาล์มน้ำมันมีศักยภาพเพียงพอต่อการนำไปวิจัยและพัฒนาเพื่อให้สามารถผลิตได้จริงในเชิงพาณิชย์ ซึ่งจะเป็นการสร้างรายได้เพิ่มให้เกษตรกรและแก้ปัญหาด้านพลังงานของไปประเทศไทยในอนาคต ทั้งกรณีการใช้น้ำคั้นจากทางใบและลำต้น การเตรียมน้ำตาลจากเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสองค์ประกอบเคมีของชีวมวลปาล์มน้ำมันโดยใช้เทคโนโลยีการผลิตไบโอเอทานอลจากวัสดุลิกโนเซลลูโลส

5 . เอกสารอ้างอิง

(1) Lason U, Johansen T, Schramm J. Ethanol as a fuel for road transportation. Thechnical University of Denmark; 2009. 100p.

(2) Dias M O S, Enriano A V, Nebra S A, Filho R M, Rossell C E V, Maciel M R W.

Production of bioethanol and other bio-based material from sugarcane bagasse: Integration to conventional research and design. Chem Eng Res Des. 2009;87: 1206-1216.

(3) Balat M. Production of bioethanol from lignocellulosic material via the biochemical pathway: A review. Energy Convers Manage. 2011;52: 858-875.

(4) Department of the Energy Development and Promotion. Alternative energy development plan: AEDP 2012-2021. Ministry of Energy, Bangkok; 2012. 15 p. Thai.

(5) Office of Agricultural Economic. Agricultural statistics of Thailand 2011. Bangkok; 2012. 136 p. Thai.

(6) Yano S, Murakari K, Sawayama S, Imou K, Yokoyama S. Ethanol production potential from oil palm empty fruit bunches in southeast asian countries considering xylose utilization. J Jpn Inst Energy. 2009;88: 923-926.

(7) Prasertsan S, Prasertsan P. Biomass residues from palm oil mill in Thailand: An overview on quantity and potential usage. Biomass and Bioenergy. 1996;11(5): 387-395.

(8) Sabiha-Hanim S, Noor M A M, Rosma A. Effect of autohydrolysis and enzymatic treatment on oil palm (Elaeis guineensis Jacq.) frond fibers for xylose and xyooligosaccharides production. Bioresour Technol. 2011;102: 1234-1239.

(9) Jungniyou T. Zero-waste process in oil palm extraction industries. Haiyai J. 2008;6(2): 160-164. Thai.

(10) Utistham T, Soontornrangsan W, Piyakudurnrong P. Energy potential from residual biomass in Thailand. Proceeding of 7th Conference on Energy Network of Thai. Bangkok. 2007. Thai.

(11) Sulaiman O, Hashim R, Wahab R, Samsi H W, Mohamed A H. Evaluation on some finishing properties of oil palm plywood. Holz Roh Werkst. 2008;66: 5-10.

(12) Balfas J. New approach to oil palm wood utilization for woodworking properties part 1: Basic properties. J. Forest Res. 2006;3(1): 55-65.

(13) Zafar S. Biomass developments in Malaysia [Internet]. 2012 [updated 2012 July 14; cited 2012 July 20]. Available from: http://www.bioenergyconsult.com/tag/palm-oil-biomass

(14) Mori Y. Oid oil palm trunks as promising feedstock for biofuel and biopalstics [Internet]. 2008 [updated 2008 Des 4; cited 2012 July 20]. Available from: http://www.biomass-asia-workshop.jp/biomassws/05workshop/program/

(15) Wanrosli W D, Zainuddin Z, Law K N, Asro R. Pulp from oil palm fronds by chemical processes. Ind Crops Prod. 2007;25: 89-94.

(16) Goh C S, Lee K T, Bhatia S. Hot compressed water pretreatment of oil palm frond to enhance glucose recovery for production of second generation bio-ethanol. Bioresour Technol. 2010;101: 7362-7367.

(17) Chin K L, H'ng P S, Wong L J, Tey B T, Paridah M T. Optimization study of ethanolic fermentation from oil palm trunk, rubberwood and mixed hardwood hydrolysates using *Saccharomyces cervisian*. Bioresour Technol. 2010;101: 3287-3291.

(18) Kaida R, Kaku T, Baba K, Oyadomari M, Watanabe T, Hartati S, et al. Emzymatic saccharification and ethanol production of *Acacia mangium* and *Paraserianthes falcataria* wood and *Elacis guineensis* trunk. J Wood Sci. 2009;55: 381-386.

(19) Yuliansyah A T, Hirajima T, kumagai S, Sasaki K. Production of solid biofuel from agricultural wastes of the palm oil industry by hydrothe৭rmal treatment. Waste Biomass Valor. 2010;1: 395-405.

(20) Verman M, Saka A. A comparative study of oil palm and Japanese beech on their fractionation and characterization as treated by supercritical water. Waste Biomass Valor. 2011;2: 309-315.

(21) Kassim M A, Kheang L S, Baker N A, Aziz A A, Som R M. Biothanol production from enzymatically saccharified empty fruit bunches hydrolysate using *saccharomyces cerevisae*. Res J Environ Sci. 2011;5(6): 573-586.

(22) Simarani K, Hassan M A, Abd-Aziz S, Wakisaka M, Shirai Y. Effect of palm oil mill sterilization process on the physiochemical characteristics and enzymatic hydrolysis of empty fruit bunch. Asian J Biotechnol. 2009;1(2): 57-66.

(23) Rahman S H A, Choudhury J P, Ahmad A L. Production of xylose from oil palm empty fruit bunch fiber using sulfuric acid. Biochem Eng J. 2006;30: 97-103.

(24) Sulaiman F, Abdullah N. Optimum condition for maximizing pyrolysis liquids of oil palm empty fruit bunches. Energy. 2011;36: 2352-2359.

(25) Aziz A A, Das A, Husim M, Mokhtar A. Effect of physical and chemical pre-treatment on xylose and glucose production from oil palm press fiber. J Oil Palm Research. 2002;14(2): 10-17.

(26) Hook L S, Baharuddin A S, Ahmad M N, Md Shah U K, Rahman A N A A, Abd-Aziz S, et al. Physicochemical changes in windrow co-composting process of oil palm mesocarp fiber and palm oil mill effluent anaerobic sludge. Aust J Basic Appl Sci. 2009;3(3): 2809-2816.

(27) Han Y W, Catalano E A, Ciegler A. Chemical and physical properties of sugarcane bagasse irradiated with r rays. J Agric Food Chem. 1983;31: 34-38.

(28) Zahari M A K M, Zakaria M R, Ariffin H, Mokhtar M N, Salihon J, Shirai Y, et al. Renewable sugars from oil palm froud juice as an alternative novel fermentation feed stock for value-added product. Bioresour Technol. 2012;110: 566-571.

(29) Yamada H, Tanaka R, Sulaiman O, Hashim R, Hamid Z A A, Yahya M K A, et al. Oil palm trunk: A promising source of sugar for bioethanol production. Biomass and Bioenergy. 2010;34: 1608-1613.

(30) Kosugi A, Tanaka R, Magara K, Murata Y, Arai T, Sulaiman O, et al. Ethanol and lactic acid production using sap squeezed from old oil palm felled for replanting. J Biosci Bioeng. 2010;110(3): 322-325.

(31) Tomomura Y. Chemical characteristics of oil palm trunk. Bull.For&For.Prod.Res.Inst. 1992;362: 133-142.

(32) Erwinsyah. Improvement of oil palm wood properties using bioresin [PhD thesis]. Institit fur Forstntzung und Forsttechnik Fakultat fur Foest-,Geo- und Hydrowissenschaften: Technische Universitat Dresden; 2008.

(33) Choowang R. Specific gravity distribution and properties of oil palm stem. Final report, PSU Suratthni Campus; 2010. 42 p. Thai.

(34) Hashim R, Nadhari W N A W, Sulaiman O, Kawamura F, Hizirogly S, Sato M, et al. Characterization of raw materials and manufactured binderless particleboard from oil palm biomass. Mater Des. 2011;32: 246-254.

(35) Mansor H, Ahmad A R. Carbohydrates in the oil palm stem and their potential use. J Trop Forest Sci. 1990;2(3): 220-226.

(36) Walker J. Basic wood chemistry and cell wall ultrastructure. In: Walker J C F, editors. Primary wood processing. Chrischurch: Springer; 2006. p. 23-59.

(37) Taherzadeh M J, Karimi K. Pretreatment of lignocellulosic waste to improve ethanol and

biogas production: A review. Int J Mol Sci. 2008;9: 1621-1651.

(38) Kumar P, Barrett D M, Delwiche M J, Stroeve P. Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production. Ind Eng Chem Res. 2009;48: 3713-3729.

(39) H'ng P S, Wong L J, Chin K L, Tor E S, Tan S E, Tey B T, et al. Oil palm (Elaeis guineensis) trunks as a resource of starch and other sugars. J Appl Sci. 2011;11(16): 3053-3057.

(40) Parpuzá D, Quainter J A, Cardona C A. Empty fruit bunches from oil palm as a potential raw material for fuel ethanol production. Biomass and Bioenergy. 2011;35:1130-1132.

(41) Mansor H, Sudo K, Ishihara M. Preliminary studies on the steam explosion pretreatment of the oil palm stem. Pertanika. 1990;13(2): 165-170.

(42) Shamsudin S, Shah U K M, Zainidin H, Abd-Aziz S, Kamal S M M, Shirai Y, et al. Effect of steam pretreatment on oil palm empty fruit bunch for the production of sugar. Biomass and Bioenergy. 2012;36: 238-288.

(43) Yiliansyah A T, Hirajima T, Kumagi S, Sasaki K. Production of solid biofuel from agricultural wastes of the palm oil industry by hydrothermal treatment. Waste Biomass Valor. 2010;1: 395-405.

(44) Punsuvon V, Anpanurak W, Vaithanomsat P, Tungkananurak N. Fractionation of chemical components of oil palm trunk by steam explosion. Proceeding of 31st Congress on Science and Technology of Thailand; 2005 October 18-20; Suranaree University of Technology; 2005. Thai.

(45) Lim K O, Ahmaddin F H, Malar Vizhi S. A note on the conversion of oil palm trunks to glucose via acid hydrolysis. Bioresour Tchnol. 1997;59: 33-35.

(46) Azamalisa T, Asma W, Zulkafli H, Norazwina Z. Optimozation of glucose production from oil palm trunk via enzymatic hydrolysis. Proceeding of the 13th Asia Pacific Conferation of Chemical Engineering Congress; 2010 October 5-10; Thapai; 2010.

(47) Kabbashi N A, Alam M Z, Tompang M F. Direct bioconversion of oil palm empty fruit bunches for bioethanol production by solid state bioconversion. IIUM Engneering Journal. 2007;8(2): 25-36.

(48) Yeoh H H, Lim K O, Mashitah M D. Fermentation of oil palm trunk acid hydrolysis to ethanol. AJSTD. 2001;18(1): 1-10.

(49) Millati R, Wikandari R, Trihandayani E T, Cahyanto M N, Taherzadeh M J, Niklasson C. Ethanol from oil palm empty fruit bunch via dilute-acid hydrolysis and fermentation by *Mucor indicus* and Saccharomyces cerevisiae. Agric. J. 2011;6(2): 54-59.

(50) Prawitwong P, Kosugi A, Arai T, Deng L, Lee K C, Ibrahim D, et al. Efficient ethanol production from separated parenchyma and vascular bundle of oil palm trunk. Bioresour Technol. 2012;125: 37-42.