

เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของกระบวนการผลิตพลาสติกคลุมดินชีวภาพ และผลึกนาโนเซลลูโลสจากทะเลาะปาล์มเปล่า Economic Engineering of biodegradable mulch film process and nanocellulose crystal from the empty fruit bunch

Ni Ni Myint สรวิชญ์ พงษ์เสถียรศักดิ์ กรรวัช เลหาหวาทิน ณัชนพล เจียรสำราญ เมธี สายศรีหยุด
อนุสิษฐ์ ณะพิมพ์เมธา และ เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ*

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: fengnmm@ku.ac.th, sorawich.po@ku.th, komthawat.l@ku.th, fengnnc@ku.ac.th,
fengmts@ku.ac.th, fengjrc@gmail.com และ fengpjs@ku.ac.th*

* ผู้ประพันธ์บรรณกิจ (corresponding author)

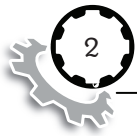
บทคัดย่อ

ประเทศไทยมีการปลูกปาล์มเพื่อผลิตน้ำมันปาล์มจำนวนมาก ทำให้เกิดทะเลาะปาล์มเปล่าเหลือทิ้งถึง 8,281 ตัน/ปี ทะละาะปาล์มเปล่าสามารถสกัดแยกเซลลูโลสซึ่งนำไปผลิตนาโนเซลลูโลส และลิกนินซึ่งนำไปเป็นส่วนผสมในการผลิตพลาสติกคลุมดินชีวภาพ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตนาโนเซลลูโลส และพลาสติกคลุมดินชีวภาพจากข้อมูลทุติยภูมิ โดยใช้โปรแกรม Aspen Plus V12 และประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตด้วยวิธีอัตราลดกระแสเงินสดของผลตอบแทน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และระยะเวลาในการคืนทุน โดยกระบวนการผลิตประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ การสกัดลิกนินจากทะเลาะปาล์มเปล่าโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้ผลิตภัณฑ์ของแข็งคือเซลลูโลส และผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีลิกนินผสมอยู่ การสกัดแยกลิกนินจากของเหลวและนำไปผลิตเป็นพลาสติกคลุมดินชีวภาพโดยผสมกับโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ และการทำให้เซลลูโลสบริสุทธิ์เพื่อนำมาผลิตนาโนเซลลูโลสโดยใช้กรดซัลฟิวริก จากการจำลองการผลิตพบว่าถ้าใช้วัตถุดิบทะเลาะปาล์มเปล่า 2 ตัน/วัน จะสามารถผลิตนาโนเซลลูโลส 22 กิโลกรัม/วัน และพลาสติกคลุมดินชีวภาพ 41 กิโลกรัม/วัน อัตราลดกระแสเงินสดของผลตอบแทน ร้อยละ 352 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ มีค่า 363,412,341 บาท และมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 3.41 เดือน

 **คำสำคัญ:** ทะละาะปาล์มเปล่า; ลิกนิน; โพลีไวนิลแอลกอฮอล์; นาโนเซลลูโลส; การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

Abstract

Thailand has many palm plantations for oil production, producing the Empty Fruit Bunch (EFB) wastes of 8,281 tons per year. This study used secondary data to extract EFB



to cellulose and lignin. Then cellulose was converted to nanocellulose crystalline (NCC). At the same time, lignins were produced into biodegradable mulch film. This research aimed to simulate the process model of NCC and Biodegradable mulch film from EFB using Aspen Plus and to perform an economic analysis to estimate the net profit and payback period. The manufacturing process contained 3 procedures: 1 using sodium hydroxide to extract lignin out of EFB to get cellulose in the solid and lignin in the liquid portions, 2 separations of lignin from liquid and manufacturing biodegradable mulch film using lignin mixed Polyvinyl alcohol (PVA), 3 purifying cellulose and producing NCC using sulfuric acid. The simulation result showed that using an EFB of 2 tons per day makes an NCC of 22 kilograms and a biodegradable mulch film of 41 kilograms per day. Furthermore, the economic assessment results revealed that the internal rate of return (IRR), net present value (NPV), and payback period methods were 352%, 363,412,341 Baht, and 3.41 months, respectively.

**Keywords:**

Empty fruit bunch; Lignin; Polyvinyl alcohol; Nanocellulose crystalline; Economic assessment

1. บทนำ



ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทย มีบทบาทสำคัญในธุรกิจน้ำมันพืชเพื่อการบริโภค และเป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมต่อเนื่องหลายอุตสาหกรรม เช่น สบู่ บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป เนยเทียม ขนมขบเคี้ยว เป็นต้น แนวโน้มอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มมีทิศทางขยายตัวจากการเพิ่มขึ้นของพื้นที่เพาะปลูก และราคาของปาล์มน้ำมันที่อยู่ในเกณฑ์ดี อีกทั้งความต้องการตลาดในและต่างประเทศ โดยเฉพาะจากอุตสาหกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมไบโอดีเซล

ในกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มจะมีทะลายปาล์มเปล่า (Empty fruit bunch: EFB) เป็นกาก

ของเสียเหลือทิ้งจากการผลิต องค์ประกอบที่สำคัญของทะลายปาล์มเปล่า คือ เซลลูโลส (Cellulose) ร้อยละ 60.1, เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 21.2 ลิกนิน (Lignin) ร้อยละ 12.8 และอื่นๆ [1] โดยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส สามารถนำไปใช้ผลิตไบโอเอทานอล และใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ ลิกนินสามารถนำไปใช้เป็นส่วนประกอบเพื่อเพิ่มคุณสมบัติพอลิเมอร์ในด้านต่างๆ ให้ดีขึ้น การสกัดลิกนินเพื่อนำมาใช้เป็นส่วนผสมของพอลิเมอร์ในการผลิตพลาสติกคลุมดินทางการเกษตร (Mulch film) พลาสติกคลุมดินมีมูลค่าร้อยละ 41 ของ 3.6 ล้านบาทของปริมาณพลาสติกทั่วโลกที่ใช้ทางการเกษตร [1]

พลาสติกคลุมดินช่วยเพิ่มคุณภาพและผลผลิตทางการเกษตร โดยควบคุมปริมาณวัชพืชในดิน ลดการสูญเสียน้ำของดิน สามารถควบคุมการใช้น้ำในแต่ละฤดูกาล ช่วยควบคุมความชื้น รักษาอุณหภูมิของดิน และป้องกันรังสี UV จากแสงแดดสู่ดินได้

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol, PVA) เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น สิ่งทอ เป็นตัวประสาน และเพิ่มความเสถียรของอิมัลชันในกาว การเคลือบกระดาษ นอกจากนี้ยังใช้ทำเส้นใยสำหรับใช้ในงานหลายประเภท และใช้ทำเป็นแผ่นฟิล์มที่ละลายน้ำได้ในการบรรจุหีบห่อ [2] จากคุณสมบัติเชิงกลที่ดี ต้นทุนที่ต่ำ เมื่อผสมกับลิกนินทำให้อยู่สลายได้ทางชีวภาพ ต่างจากพลาสติกทั่วไปที่ย่อยสลายยาก ทำให้เกิดเป็นของเสียและมลพิษในดิน ส่งผลทำให้มีค่าใช้จ่ายในการกำจัดที่สูงและใช้เวลานาน

ทะเลสาบปาล์มที่ผ่านการสกัดลิกนินแล้วจะมีเซลลูโลสเหลืออยู่ ซึ่งสามารถนำมาผลิตเป็นนาโนเซลลูโลส (Nanocellulose crystalline, NCC) และย่อยสลายได้โดยกระบวนการทางชีวภาพ นาโนเซลลูโลสถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง เช่น อุตสาหกรรมอาหาร ยา เครื่องสำอาง กระดาษ สิ่งทอและพอลิเมอร์ เป็นต้น

งานวิจัยนี้ออกแบบและประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตพลาสติกคลุมดินชีวภาพจากพอลิเมอร์ PVA ผสมกับลิกนิน ร่วมกับการผลิตผลึกนาโนเซลลูโลส โดยใช้ข้อมูลหุติยภูมิ [1, 3] จำลองกระบวนการผลิตโดยใช้โปรแกรม Aspen Plus V12 และประเมินความคุ้มค่า

ทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ของโรงงานที่มีกำลังการผลิต 1 1.5 และ 2 ตัน/วัน เพื่อดูความเหมาะสมและความคุ้มค่าที่จะนำไปผลิตในเชิงพาณิชย์ต่อไป

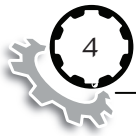
2. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

2.1 การหามูลค่าของทรัพยากร

ในการวิเคราะห์โครงการจะต้องพิจารณาราคาของทรัพยากรที่ใช้ เพื่อกำหนดต้นทุน ราคาทรัพยากรหมายถึง ราคาวัตถุดิบ เครื่องจักร ที่ดิน ค่าจ้างแรงงาน ราคาของผลตอบแทนของโครงการเมื่อพิจารณาประเด็นด้านภาษี และเงินอุดหนุน ระหว่างการวิเคราะห์ทางการเงินและทางเศรษฐศาสตร์ มีแนวคิดที่แตกต่างกัน คือการวิเคราะห์ทางการเงินพิจารณาราคาตลาดในประเทศ โดยไม่สนใจว่าราคาดังกล่าวถูกแทรกแซงโดยรัฐในรูปของภาษี หรือเงินอุดหนุน หรือไม่ ขณะที่ราคาในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พิจารณาถึงราคาที่สะท้อนมูลค่าที่แท้จริง โดยไม่นับรวมภาษีและเงินอุดหนุน

ต้นทุนค่าเสียโอกาสของการผลิตสิ่งใดสิ่งหนึ่งคือมูลค่าของผลผลิตที่มีค่ามากที่สุดที่สามารถผลิตได้แต่ไม่ได้ผลิต ในการวิเคราะห์ทางการเงินไม่ได้คำนึงถึงต้นทุนค่าเสียโอกาสของการนำทรัพยากรมาใช้ การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จะคำนึงถึงต้นทุนค่าเสียโอกาสของทรัพยากรต่าง ๆ ที่นำมาใช้ ไม่ว่าจะเป็นวัตถุดิบ ที่ดิน และแรงงาน

ผลกระทบภายนอก เป็นผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อบุคคลที่สามที่ไม่ได้มีส่วนเกี่ยวข้องกับกิจกรรม การวิเคราะห์ทางการเงินจะครอบคลุมเพียงเงินไหลเข้าออกในทางบัญชีเท่านั้น ไม่ได้พิจารณาผลกระทบ



ภายนอก ขณะที่การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จะครอบคลุมประโยชน์และต้นทุนทั้งหมดที่เกิดขึ้นกับสังคม ซึ่งรวมถึงผลกระทบภายนอกทั้งทางบวกและทางลบ

2.2 อัตราคิดลด

การดำเนินโครงการที่มีระยะเวลาหลายปี ในทางเศรษฐศาสตร์นั้น มูลค่าเงินในแต่ละช่วงเวลามีค่าไม่เท่ากัน จึงต้องคำนวณต้นทุนและประโยชน์ที่เกิดขึ้นในอนาคตกลับมาเป็นมูลค่าปัจจุบันในปีเดียวกัน เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนและประโยชน์ที่เกิดขึ้นของโครงการในปีต่าง ๆ การแปลงมูลค่าต้นทุนและประโยชน์ของโครงการในอนาคตกลับมาเป็นมูลค่าปัจจุบันเป็นที่รู้จักกันในชื่อว่าการคำนวณอัตราคิดลด ซึ่งแยกได้ 2 แนวคิด คือ แนวคิดการบริโภคต่างเวลา การบริโภคในอนาคตเปรียบเทียบกับปัจจุบัน และค่าเสียโอกาสของการที่ไม่นำทรัพยากรที่ลงทุนในโครงการนั้นไปใช้ในกิจกรรมอื่น ๆ ได้

อัตราคิดลดในแนวคิดการบริโภคต่างเวลา หมายถึงอัตราความพอใจในการบริโภคในอนาคตเปรียบเทียบกับบริโภคในปัจจุบัน โดยเป็นอัตราที่จะทำให้บุคคลหรือสังคมยินดีที่จะรอเพื่อแลกกับระดับการบริโภคที่เพิ่มขึ้นในอนาคต ขณะที่อัตราคิดลดในแนวคิดค่าเสียโอกาส หมายถึงอัตราค่าเสียโอกาสของการใช้ทรัพยากรนั้นเนื่องจากไม่สามารถนำทรัพยากรที่ลงทุนในโครงการดังกล่าวไปใช้ในกิจกรรมอื่นๆ

2.3 เครื่องมือในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการ

ระยะเวลาคืนทุน (Payback period: PB) หมายถึงระยะเวลาของการลงทุนที่กระแสเงินสด

รับสุทธิเท่ากับกระแสเงินสดจ่ายสุทธิพอดี เป็นการประเมินที่รวดเร็วเหมาะกับเงินลงทุนจำนวนไม่มาก แต่มีจุดอ่อนตรงที่ไม่ได้นำเรื่องค่าของเงินตามเวลา มาพิจารณา และไม่ให้ความสำคัญกับกระแสเงินสดที่ได้รับภายหลังระยะเวลาคืนทุน

ระยะเวลาคืนทุน = เงินสดจ่ายลงทุนสุทธิเมื่อเริ่มโครงการ - กระแสเงินสดรับสุทธิรายปีสะสมไปเรื่อยๆจนเงินจ่ายลงทุนสุทธิเมื่อเริ่มโครงการเท่ากับศูนย์ (1)

เกณฑ์ตัดสินว่าจะลงทุนหรือไม่นั้น พิจารณาจากระยะเวลาคืนทุนที่คำนวณได้เปรียบเทียบกับระยะเวลาที่ยอมรับได้

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) คือผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันรวมของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการกับมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุน โดยใช้อัตราคิดลดมาปรับมูลค่าของกระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาให้มาอยู่ที่จุดเดียวกัน NPV ได้รับความนิยมจากการนำค่าของเงินตามเวลามาร่วมพิจารณา และเป็นการคำนวณกระแสเงินสดที่เกิดขึ้นตลอดอายุโครงการ

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+k)^t} - I \quad (2)$$

เมื่อ CF_t คือ กระแสเงินสดรับสุทธิ ณ ปีที่ t I คือ เงินสดจ่ายลงทุนของโครงการ k คือ ค่าของทุนหรืออัตราผลตอบแทนที่ต้องการ และ n คือ อายุโครงการ ถ้ามูลค่าปัจจุบันสุทธินี้มีค่ามากกว่า 0 ก็สามารตัดสินใจลงทุนได้

อัตราผลตอบแทนคิดลด (Internal Rate of Return: IRR) คืออัตราคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการเท่ากับเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิพอดี หรืออัตราคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการเท่ากับศูนย์ เป็นอัตราผลตอบแทนเฉลี่ยต่อปีที่ผู้ลงทุนจะได้รับจากการลงทุนตลอดอายุโครงการ IRR นิยมนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินโครงการอย่างแพร่หลาย เนื่องจากแสดงค่าผลตอบแทนเป็นร้อยละ

$$I = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+k)^t} \quad (3)$$

เมื่อ CF_t คือ กระแสเงินสดรับสุทธิ ณ ปีที่ t
 I คือ เงินสดจ่ายลงทุนของโครงการ k คือ ค่าของทุนหรืออัตราผลตอบแทนที่ต้องการ และ n คือ อายุโครงการ เกณฑ์ตัดสินใจลงทุนพิจารณาจาก IRR หากมากกว่า r ก็ตัดสินใจลงทุน หากน้อยกว่า r ก็ตัดสินใจไม่ลงทุน โดย r คือ ต้นทุนเงินทุนของโครงการ

3. อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงาน

3.1 อุปกรณ์ซอฟต์แวร์ที่ใช้

Aspen Plus V12 และ Microsoft Office 2022

3.2 วิธีการดำเนินงาน

สร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตพลาสติกคลุมดินชีวภาพจาก PVA ผสมลิกนิน และกระบวนการผลิตผลึกนาโนเซลลูโลส โดยใช้ข้อมูลทุติยภูมิ [1, 3] ใส่ข้อมูลเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน เถ้า น้ำ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)

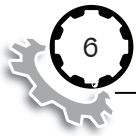
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (DMSO) และ PVA ใน Aspen Plus V12 สร้างแผนภาพกระบวนการ ใส่ข้อมูลอัตราการไหลเชิงมวล อัตราการไหลเชิงปริมาตร สัดส่วนโดยมวล สัดส่วนโดยมวลต่อปริมาตรของสายป้อน และสภาวะต่างๆ ของอุปกรณ์ ราคาอุปกรณ์ โดยเลือกจากขนาดหรือกำลังการผลิต ราคาของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในกระบวนการ วิเคราะห์และประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ หามูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนคิดลด และระยะเวลาคืนทุน ของโรงงานที่มีกำลังการผลิต (พิจารณาที่วัตถุดิบทะเลลายปาล์มเปล่า) 1 1.5 และ 2 ตัน/วัน

3.3 สมมติฐานในการกระบวนการผลิต

กำหนดให้กระบวนการผลิตเป็นสภาวะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ทำงาน 330 วัน/ปี และ 24 ชั่วโมง/วัน (7,920 ชั่วโมง/ปี) สารตั้งต้นที่ใช้ใน Aspen plus มีคุณสมบัติเหมือนทะเลลายปาล์มเปล่า โรงงานนี้ไม่มีต้นทุนขนส่ง เนื่องจากกำหนดให้เป็นส่วนขยายของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเดิม น้ำที่ออกจากกระบวนการผลิตเป็นน้ำเสีย มีการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียเบื้องต้นด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) จากนั้นนำน้ำที่ผ่านการปรับสภาพไปลงบ่อหมักก๊าซชีวภาพของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเดิม

4. ผลการทดลอง

จากผลการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตและเปรียบเทียบการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของโรงงานที่มีกำลังผลิตและการใช้วัตถุดิบทะเลลายปาล์มเปล่า ขนาดต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 1 พบว่าโรงงาน



ที่มีกำลังผลิต 2 ตัน/วัน และใช้วัตถุดิบ 2 ตัน/วัน มีผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ดีที่สุด เมื่อลดการใช้วัตถุดิบลง (หรือผลิตไม่เต็มกำลังการผลิต) ผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ที่ได้จะมีค่าลดลง หรือให้ระยะเวลาคืนทุนนานขึ้น สำหรับโรงงานที่มีกำลังผลิต 2 ตัน/วัน แต่ลดการใช้วัตถุดิบลงเหลือ 1 ตัน/วัน จะทำให้ผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์มีค่าเป็นลบ หรือขาดทุน

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของโรงงานที่มีกำลังการผลิตขนาดต่าง ๆ

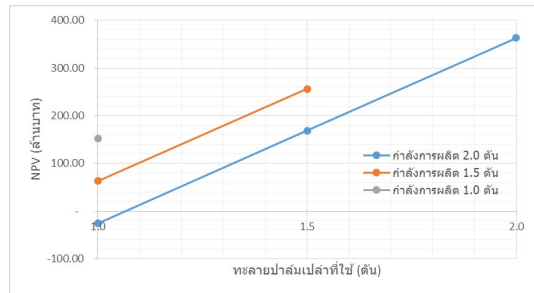
กำลังการผลิต (ตัน/วัน)	ทะลายปาล์มเปล่าที่ใช้ (ตัน/วัน)	NPV (บาท)	IRR (ร้อยละ)	Payback Period (ปี)
2.0	2.0	363,412,341	352	0.28
	1.5	168,721,097	171	0.58
	1.0	-25,970,147	-	-
1.5	1.5	256,148,455	269	0.37
	1.0	62,916,514	83	1.21
1.0	1.0	151,829,330	180	0.56

นำผลจากตารางที่ 1 มาหาความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าปัจจุบันสุทธิกับปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ของโรงงานที่มีกำลังการผลิต 1.5 และ 2 ตัน/วัน (สมการที่ 4 และ 5) พบความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงแสดงดังภาพที่ 1

$$NPV = 386,463,882.44 \times EFB - 323,547,368.60 \quad (4)$$

$$NPV = 389,382,487.89 \times EFB - 415,352,635.12 \quad (5)$$

เมื่อ EFB ในสมการคือ ปริมาณวัตถุดิบทะลายปาล์มเปล่าที่ใช้ในการผลิต (ตัน)



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าปัจจุบันสุทธิกับปริมาณวัตถุดิบของโรงงานที่กำลังการผลิต 1.5 และ 2 ตัน/วัน

จากสมการที่ 4 และ 5 เมื่อกำหนดให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่ามากกว่า 0 (มีผลกำไร) พบว่าโรงงานที่มีกำลังการผลิต 1.5 ตัน/วัน ควรใช้ทะลายปาล์มเปล่าไม่น้อยกว่า 0.837 ตัน/วัน สำหรับโรงงานที่มีกำลังการผลิต 2 ตัน/วัน ควรใช้ทะลายปาล์มเปล่าไม่น้อยกว่า 1.067 ตัน/วันจึงจะมีกำไร อย่างไรก็ตามในการศึกษารายละเอียดทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมจะเลือกเฉพาะกรณีที่ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ดีที่สุด คือ โรงงานที่มีกำลังการผลิต 2 ตัน/วัน และมีการใช้ทะลายปาล์มเปล่า 2 ตัน/วัน

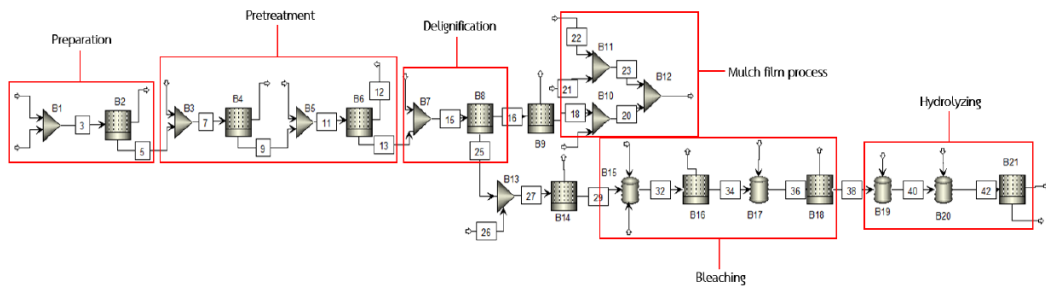
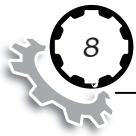
4.1 คำอธิบายกระบวนการผลิต

สำหรับโรงงานที่มีกำลังการผลิต 2 ตัน/วัน และใช้ทะลายปาล์มเปล่า 2 ตัน/วัน ภาพที่ 2 แสดงกระบวนการผลิตพลาสติกคลุมดิน PVA ผสมลิกนิน และผลึกนาโนเซลลูโลสจากทะลายปาล์มเปล่า จากภาพที่ 2 จะเห็นว่าการผลิตพลาสติกคลุมดินชีวภาพ

จาก PVA ผสมลิกนินประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่
1 การเตรียมทะเลลายปาล์มเปล่า 2 ตัน (สายที่ 1) ซึ่งประกอบด้วย เซลลูโลสร้อยละ 60.1, เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 21.2 ลิกนินร้อยละ 12.8 และเถ้าร้อยละ 5.9 โดยการบดด้วยเครื่องบด (Crusher) เพื่อให้มีขนาดเล็กลง แล้วล้างด้วยน้ำร้อน (สายที่ 2) 0.25 ตัน อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ใน Mixer B1 แล้วกรองแยกที่ Filter B2 เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนต่างๆ (สายที่ 4) นำส่วนของแข็ง (สายที่ 5) มาใช้ต่อในขั้นตอนที่ 2 ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก ร้อยละ 8 โดยมวล ต่อปริมาตร (w/v) (อัตราส่วน EFB : H_2SO_4 เป็น 1 : 10 w/v) ปริมาตร 20 ลูกบาศก์เมตร อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (สายที่ 6) ใน Mixer B3 แล้วจึงกรองแยกส่วนของแข็ง ที่ Filter B4 ออกมา (สายที่ 9) แล้วนำน้ำ 0.24 ตัน (สายที่ 10) ไปล้างส่วนของแข็งที่ Mixer B5 เพื่อปรับค่าความเป็นกรดต่าง ให้มีค่าเท่ากับน้ำ และกรองแยกที่ Filter B6 นำส่วนของแข็ง (สายที่ 13) ไปใช้ต่อในขั้นตอนที่ 3 การสกัดลิกนิน โดยทะเลลายปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพแล้ว จะนำมาทำปฏิกิริยากับสารละลาย NaOH ร้อยละ 2.5 w/v (อัตราส่วน ทะลายปาล์ม : NaOH เป็น 1 : 10 w/v) ปริมาตร 19 ลูกบาศก์เมตร อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (สายที่ 14) ใน Mixer B7 แล้วจึงกรองที่ Filter B8 นำส่วนที่เป็นของเหลว (สายที่ 16) ไปตกตะกอนและกรองที่ Filter B9 นำตะกอนลิกนิน (สายที่ 18) ไปใช้ต่อในขั้นตอนที่ 4 กระบวนการขึ้นรูปฟิล์ม โดยนำมาผสมกับสารละลาย DMSO ร้อยละ 1.5 โดยมวล (w/w) น้ำหนัก 0.0742 ตัน (สายที่ 19) จนมีความเข้มข้นเป็นร้อยละ 6 w/v ที่ Mixer B10 (สายที่ 20) ในขณะเดียวกันนำ PVA

0.0026 ตัน (สายที่ 22) มาผสมกับน้ำ 0.0839 ตัน อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ที่ Mixer B11 ได้สารละลาย PVA ร้อยละ 3 w/w (สายที่ 23) จากนั้นนำมาผสมกับสารละลายลิกนิน (สายที่ 20) ในอัตราส่วนลิกนินต่อ PVA 60 : 40 ที่ Mixer B12 แล้วจึงนำไปทำเป็นเม็ดพลาสติกเพื่อเป่าขึ้นรูปต่อไป

กระบวนการผลิตผลึกนาโนเซลลูโลสจะประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 การฟอกขาว ส่วนที่เป็นของแข็ง (สายที่ 25) จะถูกนำมาล้างเพื่อปรับสภาพด้วยน้ำร้อน (สายที่ 26) 0.2329 ตัน อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่ Mixer B13 จากนั้นกรองที่ Filter B14 เอาของแข็ง (สายที่ 29) นำมาฟอกขาวโดยใช้ NaOH (สายที่ 30) ร้อยละ 4 อัตราส่วน 1:20 w/v ปริมาตร 20 ลูกบาศก์เมตร และ H_2O_2 (สายที่ 31) ร้อยละ 24 อัตราส่วน 1:20 w/v ปริมาตร 20 ลูกบาศก์เมตร ที่ Tank B15 หลังจากผสมแล้วนำไปกรองแยกที่ Filter B16 จากนั้นนำส่วนของแข็ง (สายที่ 34) มาล้างปรับสภาพให้เป็นกลางด้วยน้ำ 1.8 ตัน (สายที่ 35) ที่ Tank B17 แยกส่วนของเหลวออกที่ Filter B18 จากนั้นส่งไปที่ขั้นตอนที่ 2 การไฮโดรไลซิส โดยนำของแข็ง (สายที่ 38) ที่ได้จะถูกนำมาไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟิวริกร้อยละ 65 ในอัตราส่วน 1:25 w/v ปริมาตร 2 ลูกบาศก์เมตร อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส (สายที่ 39) ที่ Tank B19 แล้วนำมาล้างปรับสภาพให้เป็นกลางด้วยน้ำ ปริมาตร 7.1 ลูกบาศก์เมตร (สายที่ 41) ที่ Tank B20 กรองส่วนของเหลวทิ้งไป ส่วนของแข็งนำมาทำให้แห้งด้วยการแช่เยือกแข็ง (Freeze-dried) จึงจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นผลึกนาโนเซลลูโลส



ภาพที่ 2 กระบวนการผลิตพลาสติกคลุมดิน PVA ผสมลิกนิน และฟลิกนาโนเซลลูโลสจากทะลายปาล์มเปล่า

4.2 คุณสมบัติพลังงานโดยรวม อุปกรณ์ และราคา สารธารณูปโภค สำหรับโรงงานที่มีกำลังการผลิต 2 ตัน/วัน และใช้ทะลายปาล์มเปล่า 2 ตัน/วัน

ตารางที่ 2 คุณสมบัติในการผลิตพลาสติกคลุมดิน PVA ผสมลิกนิน และฟลิกนาโนเซลลูโลส

สายสาร	วัสดุ	น้ำหนัก (ตัน/วัน)
ขาเข้า	EFB	2.0
	น้ำ	81.2
	NaOH	2.0
	H ₂ SO ₄	4.0
	PVA	0.0026
	DMSO	0.0011
	H ₂ O ₂	6.9
ขาออก	พลาสติกคลุมดินชีวภาพ	0.041
	NCC	0.022
	น้ำเสีย	95.9

อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตพลาสติกคลุมดินชีวภาพจาก PVA ผสมลิกนิน และกระบวนการผลิตฟลิกนาโนเซลลูโลสแสดงดังตารางที่ 3 โดยคำนวณราคาของอุปกรณ์ด้วยวิธี Scaling Factors [4]

ตารางที่ 3 อุปกรณ์ ราคาอุปกรณ์ และพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต [5]

อุปกรณ์	กำลังการผลิต (ลิตร/ชั่วโมง)	ราคา (บาท)
ถังผสม	ไม่มีความต้องการพลังงาน	
B1, B5, B13	90	26,255
B3, B7	1,000	80,408
B10	6	5,171
B11	5	4,635
B12	11	7,439
เครื่องกรอง	มีความต้องการพลังงาน	
B2, B6, B14	90	31,361
B4, B8	1,000	132,996
B9	900	124,849
B16	2,100	207,573
B18	110	35,373
B21	500	87,745
ถัง	ไม่มีความต้องการพลังงาน	
B15 (ผสม)	2,100	125,496
B17 (ล้าง)	110	29,614
B19 (สกัด)	170	38,453
B20 (ล้าง)	500	53,050
น้ำเสีย	5,000	211,194
Freeze dryer	1 – 8 kg/batch	97,888
Pelletizer	50 kg/hr	873,500
Film Blowing	10 – 50 kg/hr	412,292
รวม		2,913,924

ตารางที่ 4 ราคาของสาธารณูปโภค [6, 7]

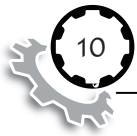
สาธารณูปโภค		จำนวน หน่วย/ปี	ราคาต่อ หน่วย	รวมเงิน (บาท)
น้ำ (ลูกบาศก์เมตร)		26,821	-	850,590
ไฟฟ้า (หน่วย)		1,477,912	3.2	4,730,647
ช่วงการใช้ น้ำ (ลบ.ม./ เดือน)	จำนวน หน่วย	ราคา (บาท)	เป็นเงิน (บาท)	รวมเงิน (บาท)
		อัตราขั้นต่ำ 300 บาท / เดือน (15 ลบ.ม.)		
0-10	10	18.25	182.50	182.50
11-20	10	21.50	215.00	397.50
21-30	10	25.50	255.00	652.50
31-50	20	28.50	570.00	1,222.50
51-80	30	31.00	930.00	2,152.50
81-100	20	31.25	625.00	2,777.50
101-300	300	31.50	6,300.00	9,077.50
301-1000	700	31.75	2,225.00	31,302.50
1001-2000	1000	32.00	32,000.00	63,302.50
2001-3000	235	32.25	7,580.00	70,882.50

4.3 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ สำหรับโรงงานที่มีกำลังการผลิต 2 ตัน/วัน และ ใช้ทะลายปาล์มเปล่า 2 ตัน/วัน

สมมติฐานในการออกแบบและดำเนินงาน
การประมาณต้นทุน ค่าใช้จ่ายในการลงทุน กำหนด
ให้การประเมินเงินลงทุนใช้การประมาณด้วยวิธีเทียบ
ร้อยละของราคากับราคาของอุปกรณ์ในกระบวนการ
ผลิต (Percentage of Delivered-Equipment
Cost Method) สินทรัพย์หมุนเวียน (Working
Capital) เป็นร้อยละ 15 ของเงินลงทุนทั้งหมด (TCI)
ที่ดินมีการซื้อขายไม่ใช้การเช่าที่ดิน

ตารางที่ 5 รายละเอียดเงินลงทุน

Title	Biodegradable mulch film process and nanocellulose crystal from the empty fruit bunch	
Solid-fluid Processing plant		
Estimating Capital Investment based on Percentage of Delivered-Equipment Cost Method		
	Percentage of Delivered-Equipment Cost Method	Cost in Baht
Direct cost		
Purchased equipment	1	2,913,924
Purchased equipment installation	0.39	1,790,674
Instrument and controls	0.26	757,620
Piping	0.31	903,317
Electrical system	0.1	291,392
Building	0.29	845,038
Yard improvement	0.05 FCI	746,114
Service facilities	0.55	1,602,658
Indirect costs		
Engineering and supervision	0.32	932,456
construction expenses	0.34	990,734
Legal expenses	0.04	116,557
Contractor's fee	0.19	553,646
contingency	0.37	1,078,152
Land	-	1,400,000



Fixed-Capital Investment (FCI)	-	14,922,283
Working capital (0.15TCI)	-	1,633,344
Total Capital Investment (TCI)	-	17,555,627

คือผลึกนาโนเซลลูโลส การคิดค่าเสื่อมราคาเป็นแบบเส้นตรง มูลค่าเริ่มต้นโรงงาน เท่ากับเงินลงทุนเริ่มต้น (FCI) การคำนวณต้นทุนผลิตภัณฑ์รวม (TPC) [4] อัตราผลตอบแทนต่อปีที่ต้องการเป็นร้อยละ 10 ราคาสารที่ใช้ในกระบวนการผลิตแสดงดังตารางที่ 6

สมมติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ กำหนดให้อัตราภาษีนิติบุคคลอยู่ที่ร้อยละ 20 ต่อปี ระยะเวลาในการดำเนินการ 10 ปี ค่าที่ดินเป็นการซื้อจากเจ้าของเดิมและเป็นที่ดินติดกับโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเดิม มูลค่าซากโรงงาน เท่ากับ 0 กำหนดให้มีการกู้ยืมเงินลงทุนในวงเงินร้อยละ 30 ของเงินลงทุนทั้งหมดที่อัตราดอกเบี้ยร้อยละ 6 ต่อปี และมีการผ่อนส่งทุกปีเป็นจำนวนเท่า ๆ กัน กำหนดให้ผลิตภัณฑ์หลักเป็นพลาสติกคลุมดินจาก PVA ผสมลิกนิน ผลิตภัณฑ์พลอยได้

ตารางที่ 6 ราคาสารที่ใช้ในกระบวนการผลิต

ประเภท	ชื่อสาร	ราคาต่อหน่วย
สารตั้งต้น/ วัตถุดิบ	EFB	400 บาท/ตัน [8]
	H ₂ SO ₄	3.18 บาท/กิโลกรัม [9]
	NaOH	50 บาท/กิโลกรัม [8]
	PVA	370 บาท/กิโลกรัม
	DMSO	189.61 บาท/กิโลกรัม [10]
	H ₂ O ₂	22.2 บาท/กิโลกรัม [11]
ผลิตภัณฑ์	Mulch PVA film	76,912 บาท/ตัน [12]
	NCC	34,960 บาท/กิโลกรัม [13]
อื่นๆ	Ca(OH) ₂	11.07 บาท/กิโลกรัม

ตารางที่ 7 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ปีที่	เงินลงทุนเริ่มต้น (บาท)	ราคาขายของผลิตภัณฑ์ (บาท)	ต้นทุนผลิตภัณฑ์รวม ไม่รวมค่าเสื่อมราคา (บาท)	ค่าเสื่อมราคา (บาท)	กำไรก่อนหักภาษี (บาท)	กำไรหลังหักภาษี (บาท)	A _t (บาท)	Cum A _t (บาท)
0	17,555,627						17,555,627	-17,555,627
1		254,852,757	178,006,179	1,352,228	75,494,350	60,395,480	61,747,709	44,192,082
2		254,852,757	178,006,179	1,352,228	75,494,350	60,395,480	61,747,709	105,939,790
3		254,852,757	178,006,179	1,352,228	75,494,350	60,395,480	61,747,709	167,687,499
4		254,852,757	178,006,179	1,352,228	75,494,350	60,395,480	61,747,709	229,435,207
5		254,852,757	178,006,179	1,352,228	75,494,350	60,395,480	61,747,709	291,182,916
6		254,852,757	178,006,179	1,352,228	75,494,350	60,395,480	61,747,709	352,930,624
7		254,852,757	178,006,179	1,352,228	75,494,350	60,395,480	61,747,709	414,678,333
8		254,852,757	178,006,179	1,352,228	75,494,350	60,395,480	61,747,709	476,426,041
9		254,852,757	178,006,179	1,352,228	75,494,350	60,395,480	61,747,709	538,173,750
10		254,852,757	178,006,179	1,352,228	75,494,350	60,395,480	61,747,709	599,921,458

5. สรุปผลการทดลอง

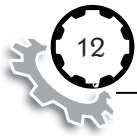
ในการเปรียบเทียบโรงงานที่มีกำลังการผลิตขนาด 1 1.5 และ 2 ตัน/วัน พบว่า โรงงานที่ใช้วัตถุดิบเต็มกำลังการผลิต จะให้ผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ดีที่สุด และโรงงานที่มีกำลังการผลิต 2 ตัน/วัน และใช้วัตถุดิบทะลายปาล์มเปล่า 2 ตัน/วัน สามารถผลิต NCC ได้ 22 กิโลกรัม/วัน ลิกนินได้ 4.7 กิโลกรัม/วัน โดย NCC เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย แต่ลิกนินที่ได้ต้องนำไปผสมกับ PVA เพื่อขึ้นรูปเป็นพลาสติกคลุมดินชีวภาพปริมาณ 41 กิโลกรัม/วัน รายได้จาก NCC และพลาสติกคลุมดินชีวภาพเท่ากับ 253,809,600 และ 1,043,157 บาท/ปี รวมรายได้จากทั้งสองผลิตภัณฑ์ เป็นเงิน 254,852,757 บาท/ปี (ตารางที่ 7) ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่า IRR มีค่าร้อยละ 352 NPV 363,412,341 บาท และระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 0.28 ปี หรือ 3.41 เดือน

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณธรรธร สุวลีรัตน์ ในการช่วยเตรียมข้อมูล จัดรูปแบบ และตรวจทานบทความ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Sirivechphongkul K, Srinophakun P, Sunthornvarabhas J, Thanapimmetha A, Saisriyoot M, and Chiarasumran N (2022). Life Cycle Assessment of Mask Pad Coated with Lignin from Empty Fruit Bunches. Asia-Pacific Journal of Science and Technology, 27.
- [2] Fromageau J, Brusseau E, Vray D, Gimenez G, Delachartre P (2003). Characterization of PVA cryogel for intravascular ultrasound elasticity imaging. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 50(10): 1318-1324.
- [3] Wibowo A, Chiarasumran N, Thanapimmetha A, Saisriyoot M, Srinophakun P, Suriyachai N, and Champreda V (2021). Conversion of Sugarcane Trash to Nanocrystalline Cellulose and its Life Cycle Assessment. Catalysts, 12(10): 1215.
- [4] Peter S, Timmerhaus D, and West E (2003). Plant Design and Economics for Chemical Engineers.
- [5] Alibaba (2023). Mixer, Filter, Tank, Freeze dry, Pelletizer, Film extrusion price. Available via DIALOG. <https://www.alibaba.com/product-detail/> Accessed 15 Mar. 2023.
- [6] Provincial Waterworks Authority (2023). Provincial tap water rates. Available via DIALOG. <https://www.pwa.co.th/contents/service/table-price>. Accessed 15 Mar. 2023.
- [7] Provincial Electricity Authority (2023). Electricity tariffs. Available via DIALOG. <https://www.pea.co.th>. Accessed 15 Mar. 2023.
- [8] Lshrt (2023). Empty fruit bunch, NaOH. Available via DIALOG. <https://lshrt.xyz/> Accessed 15 Mar. 2023.



[9] CHEMANALYST (2023). Sulfuric acid price trend and forecast. Available via DIALOG. <https://www.chemanalyst.com/Pricing-data/sulphuric-acid-70> Accessed 15 Mar. 2023.

[10] Indiamart (2023). Dimethyl sulfoxide liquid. Available via DIALOG. <https://www.indiamart.com/proddetail/dimethyl-sulfoxide-liquid-24943394973.html>. Accessed 15 Mar. 2023.

[11] Chemipan (2023). Hydrogen peroxide. Available via DIALOG. www.chemipan.com. Accessed 15 Mar. 2023.

[12] Made-in-china (2023). White/Black Plastic Mulch Film for Agriculture. Available via DIALOG. <https://www.made-in-china.com/> Accessed 15 Mar. 2023.

[13] Cellulose Lab (2023). Nanocellulose supplier. Available via DIALOG. www.celluloselab.com. Accessed 15 Mar. 2023.

