

**ST24-2-3: Prototype of the Formacell Application on Pulping Industry**  
**เทคโนโลยีนำร่องเพื่อประยุกต์เทคนิคฟอร์มาเซลกับอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ**

ธงไชย ศรีนพคุณ<sup>1</sup>, กฤตยา ปิตรชาติ<sup>1</sup>, เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ<sup>1</sup>, อนันต์ เกลี้ยงแก้ว<sup>1</sup> และ จักรพงษ์ เทียนทิพยานนท์<sup>1</sup>

**ABSTRACT**

The pulping process from the mulberry bast by the fomacell process is the new attractive technique for the pulping precess. The formacell process has to the precess by evaporation or distillation. Due to the limited amount of the material (mulberry the advantage of the recovery of acetic and formic acid which are the chemical used for bast boiling back bast) at present, the production rate of 1,000 ton/year evaluated. The product is the dried pulp at 10% moisture. From the economic analysis, it is found that such production rate has the acceptable result with the net present value of 26, 217, 213 baht, internal rate of return of 23.03% and the pay back period is 4 year, provided that the sale price is 200 bath/kg. In addition, if 80% of total capital investment is financed, the economic profitability is better than using own capital. Although the production rate of 1,000 ton/year give the positive economic results, but the sensitivy analysis show that if there are any changes in price estimation by  $\pm 30\%$  the economic result turns negative. Therefore the production rate of 1,200 ton/year or higher is recommended for investment. However the project investment should be postponed, since there is not sufficient raw material at present. The detail study should be performed before investment. Chiangrai province is the suitable area for the plant location because nearby the raw material resource.

**บทคัดย่อ**

การผลิตเยื่อกระดาษโดยเทคนิคฟอร์มาเซลล์จากปอสา<sup>๑</sup> นั้น ถือเป็นแนวทางเลือกใหม่ที่น่าสนใจในการผลิตเยื่อกระดาษ กระบวนการต้มเยื่อด้วยเทคนิคฟอร์มาเซลล์<sup>๑</sup> นั้นมีข้อดีที่สามารถนำกรดอะซิติก

---

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ 10900

และฟอรัมที่ใช้เป็นสารเคมีในการต้มเยื่อกลับมาใช้ใหม่ได้โดยกระบวนการการต้มระเหยหรือการกลั่น ซึ่งจะส่งผลดีต่อการประหยัดค่าใช้จ่ายในด้านสารเคมีและลดมลพิษ เนื่องจากมีข้อจำกัดในด้านของ ปริมาณวัตถุดิบ (เปลือกปอสา) อย่างมากในปัจจุบัน จึงเลือกที่จะวิเคราะห์ความเป็นไปได้ที่ก้าลังการผลิต 1,000 ตัน/ปี ผลผลิตเป็นเยื่อแห้งความชื้นประมาณ 10% จากการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์พบว่าที่ก้าลังการผลิตดังกล่าวนี้ให้ผลเป็นที่ยอมรับได้โดยให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 26, 217, 213 บาท อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IROR) เท่ากับ 23.03% และระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 4 ปี ภายใต้การ กำหนดราคาขาย 200 บาท/กก. และถ้ามีการลงทุนโดยอาศัยเงินกู้ในสัดส่วน 80% ของเงินทุนทั้งหมดจะ ให้ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในทุกๆ ด้านดีกว่าใช้เงินของเจ้าของกิจการทั้งหมด ถึงแม้ว่าก้าลัง การผลิตที่ 1,000 ตัน/ปี จะให้ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ที่ดีแต่จากผลการวิเคราะห์ความไวพบว่า ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงค่าการประมาณราคาในช่วง  $\pm 30\%$  จะทำให้ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์กลายเป็นด้านลบทันที ดังนั้นก้าลังการผลิตที่น่าใจในการลงทุนควรจะอยู่ที่ 1,200 ตัน/ปี หรือสูงกว่า อย่างไรก็ตามควรชะลอการลงทุนไว้ก่อน เนื่องจากปัจจุบันยังไม่มีวัตถุดิบเพียงพอและควรทำการศึกษาอย่างละเอียดเพิ่มเติมก่อนตัดสินใจลงทุน สำหรับสถานที่ตั้งของโรงงานที่เลือกมาศึกษาคือ จังหวัดเชียงราย เนื่องจากอยู่ใกล้แหล่งวัตถุดิบ

## คำนำ

อุตสาหกรรมการผลิตกระดาษในประเทศไทย ส่วนใหญ่ยังใช้เยื่อกระดาษที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ เนื่องจากอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษในประเทศมีไม่เพียงพอกับความต้องการ อีกทั้งกระบวนการผลิตที่ไม่พัฒนาเท่าที่ควร ที่เป็นเช่นนั้นอันเนื่องมาจากปัจจัยต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นด้านการลงทุนที่สูง ซึ่งเสี่ยงต่อการลงทุนที่อาจได้ผลตอบแทนไม่คุ้มค่า อีกทั้งเทคนิคที่ใช้ในปัจจุบันคือ กระบวนการคราฟท์ (Kraft Process) ซึ่งเป็นวิธีที่บำบัดของเสียได้ยากไม่สามารถนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ได้ทำให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเงินลงทุน

จากสาเหตุดังกล่าวจึงได้มีการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเยื่อกระดาษเพื่อบรรเทาปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น ซึ่งเทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจที่จะนำมาเสนอในโครงการนี้คือ การผลิตเยื่อกระดาษด้วยเทคนิค Formacell พบว่าเทคนิคนี้ เยื่อกระดาษที่ได้มีปริมาณมาก และมีคุณภาพใกล้เคียงกันกับกระบวนการคราฟท์ เมื่อเทียบกับวัตถุดิบชนิดเดียวกัน อีกทั้งเป็นการลดต้นทุนการผลิตและไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม เพราะวิธีการนี้สามารถนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ได้ด้วยวิธีการกลั่นลำดับส่วน

สิ่งที่จำเป็นต้องพิจารณาในการผลิตเยื่อกระดาษอีกส่วนหนึ่ง คือวัตถุดิบ วัตถุดิบที่ใช้ต้องมีปริมาณมากพอที่ใช้ในการผลิต ต้องให้ปริมาณและคุณภาพของเยื่อกระดาษอยู่ในเกณฑ์ดี ปอสาเป็นวัตถุดิบอีกชนิดหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตที่มีปริมาณเยื่อกระดาษสูง และคุณภาพดี ลักษณะเยื่อที่ได้เยื่อใยยาว มีความเหนียวและขาวสะอาด อีกทั้งยังเป็นพืชที่ปลูกง่ายโตเร็ว สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เร็วกว่าพืชส่วนใหญ่ที่ใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษ โครงการนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการตั้งโรงงานผลิตเยื่อกระดาษด้วยเทคนิคฟอร์มาเซลล์ โดยใช้ปอสาเป็นวัตถุดิบ

### บทตรวจเอกสาร

#### 1. การผลิตเยื่อกระดาษจากเปลือกในสถานีห้องปฏิบัติการด้วยเทคนิคฟอร์มาเซลล์

กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษแบบฟอร์มาเซลล์ เกิดขึ้นครั้งแรกในประเทศเยอรมัน ในปี ค.ศ. 1992 โดย Professor Nimz และ Scho ซึ่งทำการทดลองต้มเยื่อกระดาษโดยเปลี่ยนสารเคมีจากกรดซัลฟิวริก มาเป็นกรดฟอร์มิคแทนซึ่งแรกวิธีการนี้ว่า ฟอร์มาเซลล์ ซึ่งได้มีการทดสอบคุณสมบัติของเยื่อที่ได้จากวิธีนี้ และเปรียบเทียบกับวิธีการต้มอื่นๆ ดังแสดงผลไว้ในตารางที่ 1

##### 1.1 กระบวนการต้มเยื่อด้วยเทคนิคฟอร์มาเซลล์

สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการต้มเยื่อด้วยเทคนิคฟอร์มาเซลล์ ประกอบด้วย กรดอะซิติก กรดฟอร์มิค และน้ำ ของเหลวที่ได้ภายหลังจากการต้มเยื่อแล้ว (Black liquor) ด้วยวิธีการนี้สามารถนำไปประเหย จะได้สารเคมีที่มีความเข้มข้น 70-80% ของสารเคมีเริ่มต้น ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ได้อีก ซึ่งเป็นผลดีในแง่ของการประหยัด สารเคมีที่ใช้และเป็นการช่วยรักษาสภาพแวดล้อมได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 1. การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเยื่อกระดาษจากไม้โตเร็วที่ต้มด้วยวิธีต่างๆ

เทคนิคการต้ม คุณสมบัติ	Sulphate	Aceto	Formacell
Yield	47.4	49	46.8
Kappa number	30.6	15.6	3.6
Resistance (10%)	88.3	90.1	93.6
Brightness	24.8	20.3	28
Degree of polymerization	3,600	3,035	3,490
Tear strength	105	61.1	75.1
Borst strength	59	61	70.9
Tensile strength	10.2	10	11.5

## 1.2 สภาพที่เหมาะสมกับการต้มเยื่อจากเปลือกในปอสาด้วยเทคนิคฟอร์มาเซลล์ที่ได้จากห้องปฏิบัติการ

จากการศึกษา (ปิยพล และ ไตรรงค์, 2542) พบว่า สภาพที่เหมาะสมสำหรับการต้มเยื่อจากเปลือกในปอสาด้วยวิธีการฟอร์มาเซลล์ เป็นดังนี้คือ

- อัตราส่วนของน้ำหนักของของเหลว ต่อน้ำหนักของเปลือกใน = 7:1
- ปริมาณของกรดอะซิติกที่ใช้ = 50% โดยน้ำหนักของน้ำหนักของเหลวทั้งหมด
- ปริมาณของกรดฟอร์มิกที่ใช้ = 1% โดยน้ำหนักของกรดอะซิติก
- อุณหภูมิที่ใช้ในการต้ม = 150°C
- เวลาที่ใช้ในการต้ม = 1 ชม.

## 1.3 กระบวนการต้มเยื่อด้วยเทคนิคฟอร์มาเซลล์ในห้องปฏิบัติการ

สำหรับกระบวนการต้มเยื่อด้วยเทคนิคฟอร์มาเซลล์ในห้องปฏิบัติการนั้นมีขั้นตอนพอสรุปได้ดังนี้

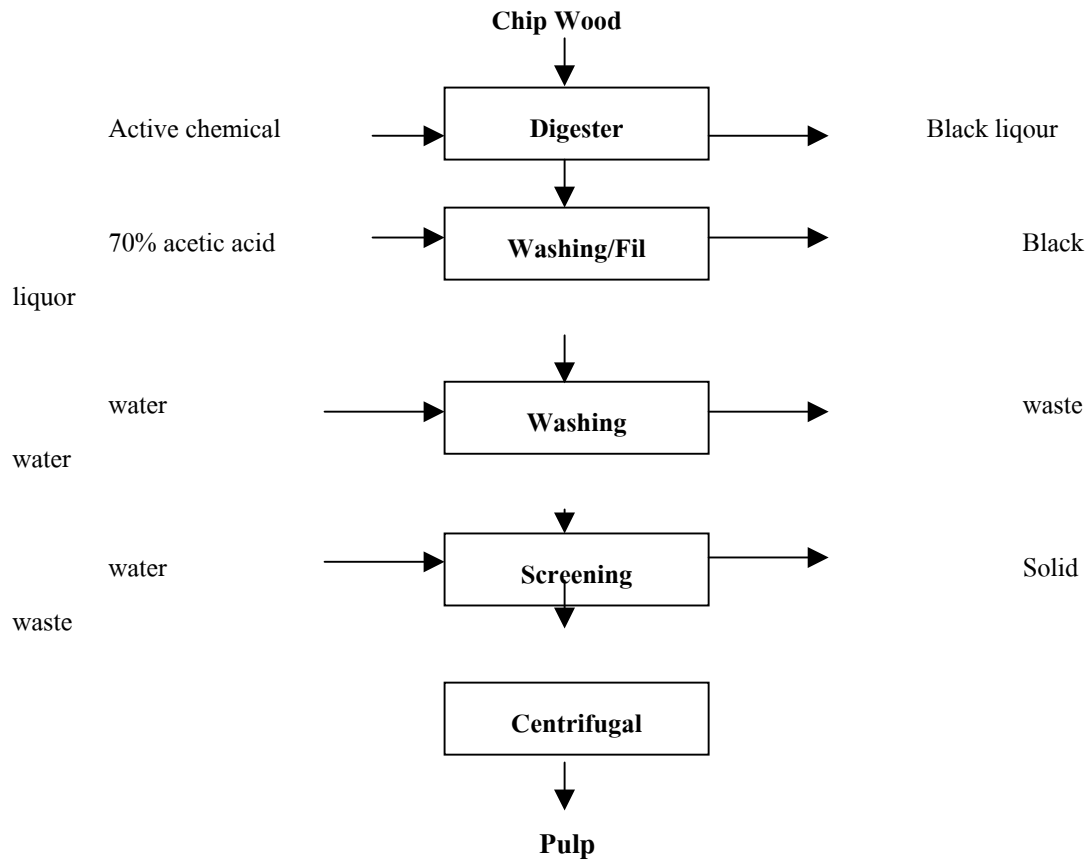
1. นำเปลือกที่ผ่านการลดขนาดแล้วซึ่งมีความยาวประมาณ 3-5 ซม. มาบรรจุลงในหม้อต้มขนาดเล็ก (bomb)
2. เติมสารเคมีที่ใช้ในการต้มเยื่อลงไป อันได้แก่ กรดอะซิติก กรดฟอร์มิกและน้ำ ตามปริมาณที่คำนวณได้
3. นำหม้อต้มขนาดเล็กที่บรรจุสารเคมีและเปลือกปอสาเรียบร้อยแล้วใส่ลงไปในห้องนึ่งความดัน เติมน้ำลงในหม้อนึ่งความดันประมาณ 3 ลิตร แล้วปิดหม้อนึ่งความดันให้สนิท
4. ปรับอุณหภูมิตามต้องการ และเปิดเครื่องให้หม้อนึ่งความดันหมุนและปรับความร้อนให้ได้ตามต้องการ จับเวลาในการต้มให้ได้ตามกำหนด
5. เมื่อต้มได้ครบตามกำหนดเวลาที่ต้องการแล้วจึงปิดเครื่องหม้อนึ่งความดัน เปิดเครื่องดูดอากาศเพื่อลดความดันไอกายในหม้อนึ่งความดันลง แล้วจึงนำหม้อต้มขนาดเล็กออกจากหม้อนึ่งความดัน
6. นำหม้อต้มขนาดเล็กไปแช่น้ำเพื่อลดอุณหภูมิ แล้วนำเยื่อออกจากหม้อต้มขนาดเล็ก
7. นำเยื่อที่ได้ไปตีด้วยเครื่องตีเยื่อ เพื่อให้เยื่อกระจายออกจากกัน
8. นำเยื่อที่ผ่านการตีแล้วมากรองเอาสารละลาย black liquor ออก

9. ล้างเยื่อที่ผ่านการรอกด้วยกรดอะซิติก ความเข้มข้น 70% และนำของเหลวที่ผ่านการล้างแล้วไปรวมกับ black liquor
10. ล้างเยื่อด้วยน้ำร้อน (ประมาณ 80 องศาเซลเซียส) จนของเหลวที่ได้ค่อนข้างใส
11. นำเยื่อที่ล้างเรียบร้อยแล้ว ไปเข้าเครื่องกระจายเยื่อเพื่อกระจายให้ดียิ่งขึ้น
12. นำมาคัดแยกสิ่งสกปรกและเนื้อไม้ (centrifugal pulping) เพื่อแยกน้ำออกจะได้เยื่อที่มีลักษณะเหมาะสม

โดยกระบวนการต้มเยื่อด้วยเทคนิคฟอร์มาเซลล์ ที่ใช้อยู่ในห้องปฏิบัติการนั้นพอสรุปเป็นแผนผังได้ดังรูปที่ 1

## 2. กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษจากเปลือกในปอสดด้วยเทคนิคฟอร์มาเซลล์ในอุตสาหกรรม

เนื่องจากข้อมูลของกระบวนการในการผลิตเยื่อกระดาษด้วยเทคนิคฟอร์มาเซลล์มีอยู่อย่างจำกัดมากและไม่ค่อยชัดเจน ผู้ทำการศึกษาจึงเลือกที่จะอิงกระบวนการผลิตแบบวิธีการอื่นๆ มาประยุกต์ใช้กับวิธีการผลิตแบบฟอร์มาเซลล์ตามความคิดที่เห็นว่าเหมาะสม โดยสภาวะการต้มเยื่อก็นำข้อมูลที่มีผู้ศึกษาไว้แล้วในห้องปฏิบัติการมาขยายขนาดขึ้น



รูปที่ 1. แผนผังแสดงขั้นตอนการต้มเยื่อในห้องปฏิบัติการ

## 2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตจะใช้ส่วนที่เป็นเปลือกใน (Inner bark หรือ white bark) ซึ่งเปลือกในเป็นเปลือกชั้นที่อยู่ติดกับเนื้อไม้ มีสีขาวหรือครีมอมขาว เปลือกในที่เป็นเส้นใยประเภทเยื่อใยยาว มีผนังค่อนข้างหนา ปอสาที่มีเปลือกปอคุณภาพดีนั้นเป็นปอที่อายุประมาณ 6-12 เดือน โดยเริ่มนับอายุหลังจากการปลูกหรือจากการตัดเอาเปลือกครั้งที่ผ่านมาไม่ควรเป็นปออ่อนมากหรือแก่กว่า 1 ปีมาก

ในการศึกษาจะเลือกใช้เปลือกในปอสาเกรด B ซึ่งมีคุณภาพในระดับกลางๆ และราคาก็ไม่สูงมาก ทั้งนี้คาดว่าปริมาณของปอเกรดนี้จะตอบสนองต่อปริมาณความต้องการวัตถุดิบได้มากกว่าเกรด A หรือ SA ที่น่าจะมีปริมาณน้อยกว่า ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบภายหลังได้

## 2.2 กระบวนการในการผลิตเยื่อกระดาษด้วยเทคนิคฟอร์มาเซลล์

ในการผลิตเยื่อสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

- 2.2.1 **การเตรียมเปลือกปอสา** นำเปลือกปอสาที่รับซื้อมาย่อยขนาดโดยตัดตามขวางให้มีความยาวประมาณ 3-5 เซนติเมตร
- 2.2.2 **การแช่น้ำ** การแช่น้ำเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เพราะจะช่วยทำให้เปลือกปอพองตัว เมื่อต้มจะทำให้ใช้เวลาในการต้มน้อยลง และอุณหภูมิที่ต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่แช่ โดยการแช่จะใช้ น้ำเปล่าในปริมาณน้ำต่อเปลือกปอแห้งในอัตรา 10 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก แช่ไว้นาน 12 ชั่วโมง จะเลือกใช้อ่างคอนกรีตเป็นภาชนะในการแช่เพราะจะทำให้ต้นทุนในการผลิตต่ำลงและทำได้อย่างสะดวก ในการแช่นำเปลือกปอที่ย่อยขนาดแล้วใส่ลงในตระกร้าที่มีฝาปิดแล้วหย่อนลงแช่ในอ่างคอนกรีต จะให้น้ำหนักเปลือกปอต่อหนึ่งตระกร้าพอดี สำหรับการต้มเยื่อ 1 batch
- 2.2.3 **การต้มเยื่อ** ในการต้มเยื่อด้วยวิธีพอร์มาเซลลันนั้น จะใช้สารเคมีสองชนิด คือ กรดอะซิติก และกรดฟอร์มิก โดยใช้ปริมาณของเหลว (liquor) ในอัตรา 7 ต่อ 1 โดยน้ำหนักของเปลือกปอแห้งใช้ปริมาณกรดอะซิติก 50% โดยน้ำหนักของเหลวทั้งหมด ใช้กรดฟอร์มิก 1% โดยน้ำหนักของกรดอะซิติก ในการต้มจะต้มในหม้อต้มปรับความดัน เพื่อให้อุณหภูมิได้ 150 °C ใช้เวลาการต้ม 1 ชม. ต่อ 1 batch
- 2.2.4 **การตีเพื่อกระจายเยื่อ** ในขั้นตอนนี้จะเติมน้ำลงไปผสมกับเยื่อที่นำออกมาจากหม้อต้มในอัตรา 10:1 ภายใน beater ที่มีชุดใบกวนประกอบติดกับเพลลาหมุนเพื่อตีเยื่อให้กระจายตัวออกจากกันเมื่อเยื่อกระจายตัวออกก็จะทำให้ขั้นตอนการล้างทำความสะอาดมีประสิทธิภาพขึ้น และการฟอกขาวก็ทำได้ดี เพราะการแทรกซึมของสารเคมีเข้าสู่เส้นใยดีขึ้น นอกจากนี้การตีจะทำให้ได้เยื่อที่มีความสม่ำเสมอขึ้นไม่กระจุกตัวเป็นก้อนๆ
- 2.2.5 **การล้างเยื่อ** เยื่อที่ผ่านออกมาจากหม้อต้มจะประกอบด้วย ลิกนิน สารเคมีที่ใช้ในการต้มปนออกมาด้วย จำเป็นต้องล้างทำความสะอาดออกไป จะได้ black liquor อีกส่วนหนึ่งจากการล้าง ไปรวมกับ black liquor ที่ได้จากการต้มเยื่อเพื่อนำไปผ่านกระบวนการรีไซเคิลสารเคมีต่อไป ตัวเยื่อหลังจากล้างเอา

ลิกนิน และสารเคมีออกไปก็จะมีความขาวมากขึ้น เมื่อนำมาผ่านกระบวนการฟอกขาว ก็จะทำให้ใช้สารเคมีในการฟอกและเวลาในการฟอกน้อยลง

2.2.6 **การฟอกเยื่อ** ในกระบวนการนี้จะใช้การฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งมีสารช่วยคือ โซดียมไฮดรอกไซด์ และ โซเดียมซัลไฟต์ โดยใช้ปริมาณของเหลวในการฟอกต่อเยื่อแห้งเท่ากับ 10:1 ใช้  $H_2O_2$  เท่ากับ 4% โดยน้ำหนักเยื่อแห้งใช้ KOH เท่ากับ 4% โดยน้ำหนักเยื่อแห้งใช้  $Na_2SiO_3$  3% โดยน้ำหนักของเยื่อแห้งใช้อุณหภูมิในการฟอก 80 °C เวลา 1 ชม.

2.2.7 **การล้างเยื่อ** การล้างในขั้นตอนนี้เพื่อขจัดสารเคมีที่ใช้ในการฟอกและสิ่งสกปรกที่หลุดออกมาจากเยื่อ จะทำให้ได้เยื่อที่มีความขาวขึ้น

2.2.8 **การบีบอัด** เยื่อที่ผ่านการล้างแล้วจะถูกนำมาบีบอัดเพื่อดึงน้ำออกไป จะให้คงปริมาณน้ำไว้ที่ 50% โดยน้ำหนักของเยื่อ เยื่อจะออกมาในลักษณะเป็นแผ่นๆ

### 2.3 กำลังการผลิต

ในการศึกษาเบื้องต้นจะเริ่มที่กำลังการผลิตที่ 1,000 ตันต่อปี โดยใน 1 ปี จะปฏิบัติงาน 300 วัน วันละ 16 ชม. ใน 1 วันจะทำการผลิตเยื่อได้ 3,333 kg แบ่งเป็นการต้มเยื่อ 8 batch ต่อวัน ซึ่งจากการทำตุลมวล คังมีรายละเอียดปรากฏในภาคผนวก ก. ซึ่งให้ผลสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 2 และ ตารางที่ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 2. แสดงปริมาณวัตถุดิบ, สารเคมี และผลิตภัณฑ์ในการผลิต

วัตถุดิบ/ผลิตภัณฑ์	ปริมาณ (kg/batch)
Mulberry bast	905.72
Acetic acid	2,853.03
Formic acid	28.53
$H_2O_2$	18.12
KOH	18.12
$Na_2SiO_3$	13.59
เยื่อ (โดยน้ำหนักแห้ง)	416.63

ตารางที่ 3. แสดงพลังงานการใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่างๆ

อุปกรณ์	ปริมาณพลังงาน (kj/batch)
Digester	$4.614 \times 10^6$
Bleaching	$1.194 \times 10^6$
Evaporator	$1.284 \times 10^7$
Dryer	$2.043 \times 10^5$

2.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต

รายการอุปกรณ์แต่ละชนิดและขนาดที่ใช้ในการผลิต แสดงไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4. อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตเยื่อ (ราคาอุปกรณ์ทั้งหมดคิดที่ปี 2000)

อุปกรณ์เฉพาะ

รหัส	อุปกรณ์	ขนาด (m <sup>3</sup> )	กำลังการผลิต (kg/h)	จำนวน	ราคา
C-1	digester	16	-	1	400,000
B-1	beater	1	-	1	1,000,000
C-2	centrifugal cleaner	-	-	2	2,634,752
S-1	screen	-	-	1	2,000,000
D-1	press	-	-	1	1,000,000
D-2	dryer	-	300	1	700,000
E-1	evaporator	-	600	1	1,500,000
H1	bioler	-	600	1	2,500,000
				รวม	11,734,752

## อุปกรณ์ประเภทปั๊ม (pump)

รหัส	ใช้สำหรับ	อัตราการไหล (L/min)	ชนิด	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)
P-1	pulp slurry	194	centrifugal	1	16,585
P-2	pulp slurry	32.26	centrifugal	1	8,492
P-3	pulp slurry	70	centrifugal	1	10,261
P-4	pulp slurry	70	centrifugal	1	10,261
P-5	pulp slurry	70	centrifugal	1	10,261
P-6	pulp slurry	70	centrifugal	1	10,261
P-7	pulp slurry	563	centrifugal	1	39,964
P-8	pulp slurry	170	centrifugal	1	11,235
P-9	acetic acid	300	magnetic drive	1	115,395
P-10	pulp slurry	3	centrifugal	1	10,261
P-11	pulp slurry	450	magnetic drive	1	189,828
P-12	pulp slurry	848	magnetic drive	1	222,100
P-13	pulp slurry	345	centrifugal	1	16,585,
P-14	pulp slurry	4.5	centrifugal	1	8,372
P-15	pulp slurry	2.4	centrifugal	1	8,372
P-16	pulp slurry	303	magnetic drive	1	115,395
P-17	pulp slurry	108	centrifugal	1	10,261
P-18	acetic acid	650	magnetic drive	1	206,313
P-19	liquor circulation indigester	270	centrifugal	1	16,585
				รวม	1,036,787

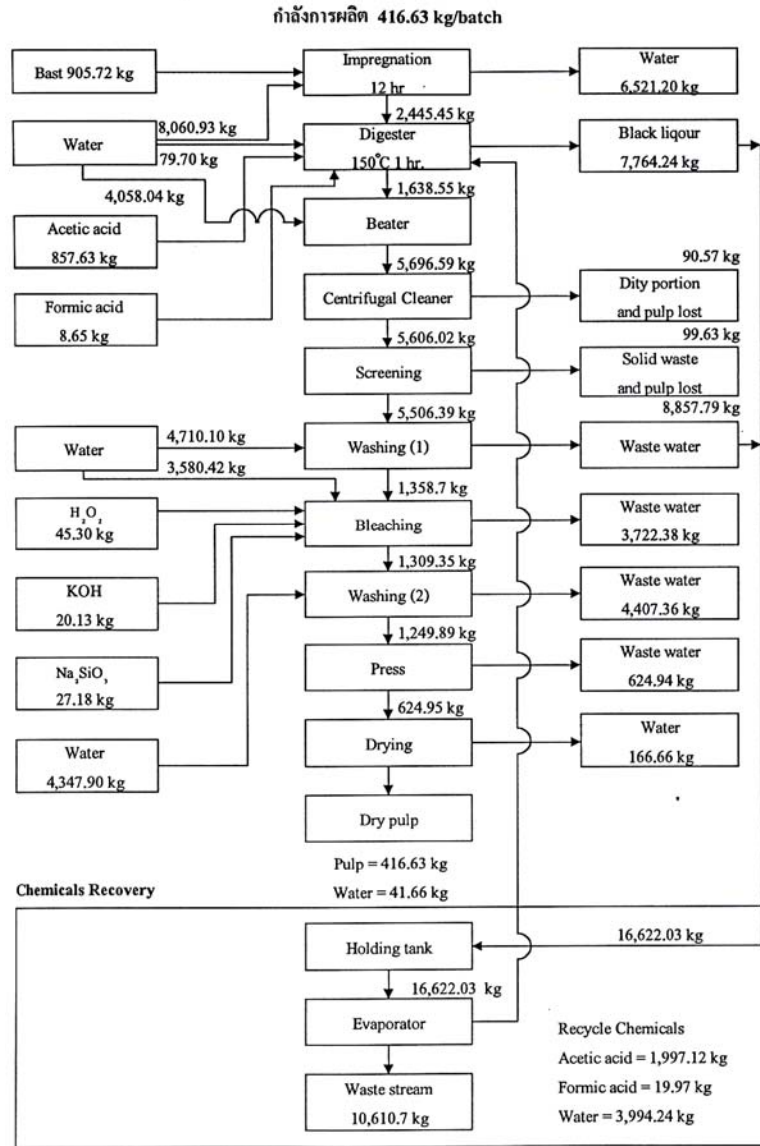
## อุปกรณ์ประเภทถัง (Tanks)

รหัส	อุปกรณ์	ขนาด (m <sup>3</sup> )	จำนวน	วัสดุ	ราคาต่อหน่วย (บาท)
T-1	impregnation tank	68	2	steel plate	236,000
T-2	acetic storage tank	40	1	ss.316	800,000
T-3	formic storage tank	0.5	1	ss.316	80,000
T-4	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> storage tank	3.5	1	ss.304	170,000
T-5	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> storage tank	2	1	ss.304	140,000
T-6	black liquor holding tank	25	1	ss.304	500,000
T-7	recycled acids holding tank	11	1	ss.304	330,000
T-8	washing tank	5	2	ss.304	230,000
T-9	bleaching tank	9	1	ss.304	300,000
T-10	digester outlet holding tank	3	1	ss.304	160,000
				รวม	3,412,000

## 2.5 แผนผังเชิงปริมาณและแผนผังเชิงคุณภาพของกระบวนการผลิต

หลังจากการทำคุณมวลงในขั้นตอนต่างของการผลิตและนำผลของแผนผังเชิงคุณภาพซึ่งแสดงอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตนั้น จะแสดงไว้ในรูปที่ 2 ส่วนปริมาณสารต่างๆ ที่ใช้มาแสดงตามขั้นตอนจะให้ผลดังแสดงในรูปที่ 3





รูปที่ 3. แผนผังเชิงปริมาณของกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ

### 3. ระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานเยื่อกระดาษ

#### 3.1 น้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ

โดยทั่วไปน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษมีที่มาจากแหล่งต่างๆ ดังนี้

1. น้ำที่ใช้ในกระบวนการ ได้แก่ น้ำที่ใช้ในขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการผลิต น้ำส่วนใหญ่จะถูกปล่อยออกมาเป็นน้ำเสียภายหลังการผลิต น้ำที่ใช้ในกระบวนการแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ
  - 1.1 น้ำที่ใช้ในขั้นตอนย่อยต่างๆ คือ แช่เยื่อ, ต้มเยื่อ, ฟอกเยื่อและย้อมสีเยื่อ โดยเฉพาะน้ำฟอกเยื่อและย้อมสีเยื่อ จะมีปริมาณสารเคมีและความเข้มข้นของสีสูง
  - 1.2 น้ำที่ใช้ในการล้างเยื่อจะใช้น้ำในปริมาณมากโดยน้ำในส่วนนี้จะมีสิ่งสกปรกต่ำกว่าน้ำเสียประเภทแรก
2. น้ำที่ใช้ในการล้างเครื่องและทำความสะอาดโรงงาน เป็นน้ำที่ใช้ทำความสะอาดโรงงานส่วนใหญ่จะมีการปนเปื้อนของสารทำความสะอาด และสิ่งสกปรกต่างๆ เช่น น้ำมันจากเครื่องจักรในโรงงาน ดิน ทราย เป็นต้น
  - 3.2 ประเภทสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในน้ำทิ้ง
    1. สีย้อม ในการย้อมเยื่อ จะมีการดูดซึมสีย้อมได้เพียงบางส่วน ที่เหลือยังคงอยู่ในน้ำย้อมสีเยื่อและจะถูกปล่อยรวมกับน้ำทิ้งในที่สุด ปริมาณสีที่ยังเหลืออยู่ในน้ำย้อมจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับประเภทของสีย้อมที่ใช้
    2. สารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนต่างๆ เช่น ขั้นตอนการฟอกเยื่อจะมี คลอรีน ผงฟอกสี หรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ขั้นตอนการต้มเยื่อจะมี โซดาไฟหรือ โซดาแอช
    3. เศษเส้นใยและเศษดินทราย ซึ่งเป็นสิ่งสกปรกซึ่งมาจากการแช่เยื่อ ล้างและคัดเยื่อ
  - 3.3 คุณสมบัติของน้ำเสียและปริมาณน้ำเสีย (Wada, 1998)

น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษที่ออกมาจากกระบวนการผลิตจะมีคุณสมบัติและปริมาณที่แตกต่างกันตามขั้นตอนการผลิต

- การแช่เปลือกปอสา (Soaking) จะใช้น้ำประมาณ 8.0-11.2 เท่าของน้ำหนักเปลือกปอสาแห้ง น้ำทิ้งจากขั้นตอนนี้จะมีปริมาณสารอินทรีย์จำพวกลิกนินและเส้นใยสูง
- น้ำต้มเยื่อ (Cooking) ลักษณะของน้ำเสียจากการต้มเยื่อที่ปล่อยลงสู่บ่อพักมี pH 12-13 ค่า COD 17,000-20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีสีดำ ปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยมีประมาณ 6.0-8.5 เท่าของน้ำหนักปอสาแห้ง

- การล้างเชื้อหลังต้ม (Washing) ซึ่งจะล้างด้วยน้ำสะอาดปริมาณ 2-3 ครั้ง ลักษณะของน้ำเสียมี pH ประมาณ 8-9 ค่า COD 80-100 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีสีน้ำตาลอ่อน น้ำเสียที่ปล่อยออกมาจะมีประมาณ 16.0-22.4 เท่าของน้ำหนักปอสาแห้ง
- การฟอกเชื้อ (Bleaching) ควรมีระบบระบายอากาศเพื่อหลีกเลี่ยงกลิ่นของคลอรีน ลักษณะน้ำเสียที่ปล่อยลงสู่บ่อพักมี pH 7-8 ค่า COD 80-100 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีสีเหลืองหรือสีขาว ปริมาณน้ำเสียที่ออกมาจะมีประมาณ 10.5-11.2 เท่าของน้ำหนักเปลือกปอสาแห้ง
- การล้างเชื้อหลังฟอก (Washing) โดยจะล้างประมาณ 1-3 ครั้ง ลักษณะน้ำเสียที่ปล่อยออกมาจะมี pH 7-9 ค่า COD 100-300 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำทิ้งโดยทั่วไปค่อนข้างใส น้ำทิ้งจากการฟอกมีประมาณ 21.0-22.4 เท่าของน้ำหนักเปลือกปอสาแห้ง
- การย้อมสีเชื้อ (Dyeing) จะใช้น้ำประมาณ 2-3 เท่าของน้ำหนักเปลือกปอสาแห้ง น้ำเสียที่ปล่อยออกมาจะมีค่า pH ประมาณ 6-8 ค่า COD ประมาณ 1500-2500 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีความเข้มข้นของสีสูง
- การทำแผ่นกระดาษ (Paper making) ลักษณะน้ำเสียที่ปล่อยออกมาจะมี pH 6-9 ค่า BOD 50-100 มิลลิกรัมต่อลิตร และสีขึ้นอยู่กับสารเคมีที่ใช้ในการย้อมสี ในกระบวนการนี้มีการใช้น้ำหมวนเวียน 2-3 วัน โดยปล่อยน้ำเสียออกมาทุกๆ 2 วัน ซึ่งมีประมาณ 50 เท่าของน้ำหนักเปลือกปอสาแห้ง

โดยสรุปปริมาณน้ำเสียทั้งหมดที่ปล่อยออกจากกระบวนการผลิตเชื้อและกระดาษจากปอสามีประมาณ 113.5-128.7 เท่าของน้ำหนักเปลือกปอสาแห้ง

### 3.4 ภาวะมลพิษที่เกิดจากน้ำทิ้งจากการผลิตเชื้อและกระดาษ (Nemerow, 1977)

1. ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ (Toxic to stream life) น้ำทิ้งจากการผลิตเชื้อและกระดาษมักมีสารที่มีพิษ ซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ และจุลินทรีย์ในกระบวนการบำบัดทางชีววิทยา เช่น สารประกอบออกาโนคลอรีน เป็นต้น
2. การลดลงของออกซิเจนในแหล่งน้ำ (Oxygen depletion in stream water) น้ำทิ้งจากการผลิตเชื้อและกระดาษ เมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะทำให้ปริมาณของออกซิเจนลดลงเนื่องจากถูกนำไปใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์
3. ทำให้สภาวะทางกายภาพของแหล่งน้ำเสื่อมลง (Physical impairment of stream condition) น้ำเสียจากการผลิตเชื้อและกระดาษ เมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะก่อให้เกิด

เกิดสภาพที่น้ำรังเกียจแก่ผู้พบเห็น นอกจากนี้สีขุ่นที่มีความเข้มของสีสูงยังขัดขวางไม่ให้แสงอาทิตย์ผ่านผิวน้ำลงไปได้น้ำทำให้รบกวนการเจริญเติบโตของพืชน้ำและวงจรชีวิตของสัตว์น้ำ ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำนั้น

### 3.5 การบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเยื่อและกระดาษสา

น้ำทิ้งจากโรงงานกระดาษสาในส่วนต่างๆ ของโรงงานจะมีปริมาณของเสียแตกต่างกันมาก สิ่งสกปรกในน้ำทิ้งส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์พวกกลีซินและเส้นใย ซึ่งแบคทีเรียย่อยสลายได้ยาก (เสริมพล และ ไชยยุทธ, 2524)

การบำบัดน้ำทิ้งจากส่วนต้ม และฟอกเยื่อของกระบวนการผลิตกระดาษสาแบ่งเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ (นัยนาและคณะ, 2534)

1. กลุ่มบ่อดกตะกอน (บ่อดัก) และบ่อกีบตะกอน บ่อดกตะกอนนี้มีหน้าที่ในการกำจัดของแข็งซึ่งตกตะกอนได้ออกจากน้ำเสีย การกำจัดของแข็งเหล่านี้ส่วนใหญ่จะใช้ตะแกรง (Screen) โดยกระบวนการตกตะกอนในบางครั้งอาจเติมสารเคมีเพื่อช่วยในการตกตะกอน ของแข็งที่ตกตะกอนแล้ว จะสูบบอกมาเก็บไว้ในบ่อกีบตะกอนซึ่งทำหน้าที่คล้ายถังเกรอะ (Septic tank) จึงทำให้บ่อดกตะกอนมีสภาพเป็นถังเกรอะไปในตัว (เพียรวิจิตร, 2536) ส่วนน้ำเสียส่วนใสที่ล้นออกจากถังตกตะกอนจะถูกส่งไประบบการหมักไร้ออกซิเจน

กระบวนการการผลิตเยื่อและกระดาษจะมีการใช้สารเคมีเพื่อปรับสภาพการทำงาน น้ำทิ้งที่มีความเป็นกรดต่างจะมีผลต่อการบำบัดน้ำเสียในระบบชีวภาพ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับสภาพความเป็นกรดต่างให้เหมาะสมในการบำบัดทางชีวภาพเสียก่อน โดยการป้อนสารเคมีพวกกรดหรือด่างเพื่อทำหน้าที่ปรับพีเอชของน้ำเสียให้เป็นกลาง โดยมี pH คอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมป้อนสารเคมี (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2542)

2. กลุ่มระบบการหมักไร้ออกซิเจน มีหน้าที่ทำให้เกิดการหมักไร้อากาศแบบธรรมดา (Anaerobic digestion) แบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

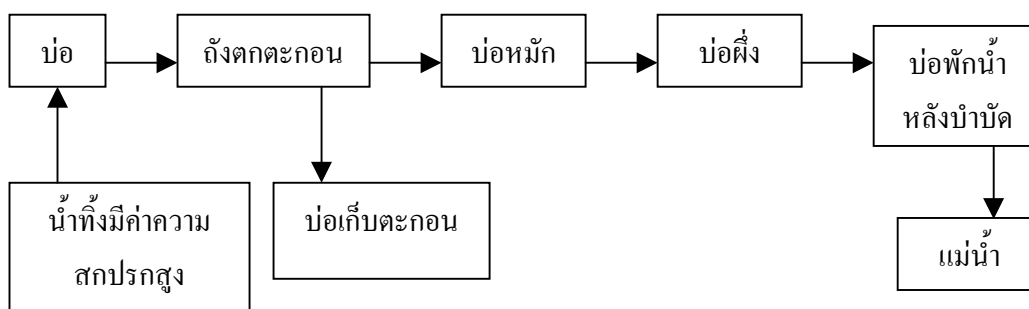
2.1 บ่อกองไร้อากาศซึ่งยังอยู่ในพื้นดิน ใช้กรวดเป็นตัวลดความเร็วของน้ำ ในบ่อนี้จะมีลักษณะเป็นเมือกซึ่งมีการย่อยสลายสารต่างๆ โดยจุลินทรีย์ และเป็นทีเกาะของแบคทีเรีย

2.2 ชุดกรองอากาศเหนือระดับพื้นดิน ใช้ถ่านเป็นตัวลดความเร็วของน้ำคูดสี และกลีน และเป็นทีเกาะแบคทีเรีย ซึ่งจะทำงานต่อจากบ่อกองไร้อากาศ

น้ำทิ้งที่ผ่านการตกตะกอนแล้วจะเข้าสู่ระบบบำบัดแบบบ่อหมัก สารอินทรีย์ต่างๆ ที่อยู่ในน้ำจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียก่อนที่จะถูกส่งต่อไปยังบ่อผึ่ง

3. บ่อผึ่ง (Aerobic pond) การบำบัดน้ำโดยวิธีนี้ใช้จุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย สาหร่าย ออกซิเจน ในอากาศและแสงแดดในการทำลายอินทรีย์สารให้ลดลง สภาพในบ่อจะมีออกซิเจนละลายน้ำทั่วทั้งบ่อ ทำหน้าที่เป็นบ่อออกซิเดชัน หรือบ่อสเตบิไลเซชัน ซึ่งเกิดการสลายตัวของสารอินทรีย์โดยสิ่งมีชีวิตที่ต้องการออกซิเจน มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะถูกนำมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย สาหร่ายจะให้ออกซิเจนออกมาซึ่งจะละลายอยู่ในน้ำ คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดมักจะมีสาหร่ายปนออกไปบ้าง น้ำเสียที่ผ่านขั้นตอนนี้แล้ว จะสามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานกระดาษสาสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4 ดังนี้



รูปที่ 4. ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย

ที่มา : สุภาพร (2534)

### วิธีวิจัย

#### 1. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน

ในการศึกษาถึงความเป็นไปได้ขั้นต้นในการจัดตั้งโรงงานผลิตเยื่อกระดาษนี้ จะอาศัยหลักเกณฑ์ต่างๆ ทางเศรษฐศาสตร์มาใช้วิเคราะห์ผลอันประกอบด้วย การหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value, NPV), อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal rate of return, IROR), ระยะเวลาคืนทุน (Payback

period) และจุดคุ้มทุน (Break even point) โดยที่หลักเกณฑ์ต่างๆ นี้จะมีรายละเอียดดังที่กล่าวหัวข้อต่อไป

### 1.1 หลักเกณฑ์ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

#### 1.1.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value, NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ จะนำกระแสเงินสดในแต่ละปี ทั้งที่เป็นรายรับและรายจ่ายย้ายมายังปีเริ่มต้น (ปีที่ 0) แล้วหักลบด้วยเงินลงทุนทั้งหมดของโครงการ โดยหลักการแล้วโครงการที่ให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นบวก ถือว่าเป็นโครงการทำกำไร และน่าสนใจ และยังมีมูลค่าปัจจุบัน สูงมากเท่าไรก็ยิ่งให้แนวโน้มที่ดีในการลงทุน

#### 1.1.2 อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal rate of return, IROR)

อัตราผลตอบแทนการลงทุนเป็นอัตราส่วนลด (discount rate) ที่อยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของรายรับเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของรายจ่าย ณ จุดนี้จะทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับศูนย์ โครงการที่ให้อัตราผลตอบแทนการลงทุนสูงกว่า หรือเท่ากับอัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่ยอมรับได้ในการลงทุนเป็นโครงการที่น่าสนใจ

#### 1.1.3 ระยะเวลาคืนทุน (Payback period)

ระยะเวลาคืนทุน เป็นระยะเวลาน้อยสุดที่ใช้ในการได้คืนเงินทุนเริ่มต้นทั้งหมดที่ใช้ไป นั่นคือเป็นระยะเวลาที่ทำให้ผลรวมของกระแสเงินสดของรายรับในแต่ละปีรวมกันเท่ากับมูลค่าเงินลงทุน

#### 1.1.4 จุดคุ้มทุน (Break-even point)

ในการหาจุดคุ้มทุนจะเป็นการหาจำนวนผลผลิตที่เหมาะสมต่อการตัดสินใจในการผลิต จุดคุ้มทุน คือ จุดที่ทำให้รายได้เท่ากับรายจ่าย นั่นคือกำไรเป็นศูนย์นั่นเอง การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของต้นทุนรายได้ และผลกำไรที่กำลังการผลิตต่างๆ

### 1.2 เงื่อนไขที่ใช้เป็นหลักการในการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์

ในการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการที่ทำการศึกษา จะกระทำภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดขึ้นดังต่อไปนี้คือ

1.2.1 ทำการศึกษาที่กำลังการผลิต 500, 800, 1,000 และ 1,200 ต้นต่อปี โดยใช้ที่กำลังการผลิตที่ 1,000 ต้นต่อปี เป็นกรณีฐาน (base case) ในการศึกษา

1.2.2 กำหนดระยะเวลาที่เป็นอายุของโครงการเท่ากับ 10 ปี

- 1.2.3 กำหนดให้ราคาขายของเยื่อที่ผลิตได้เท่ากับ 200 บาท/กก.
- 1.2.4 ใช้การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้เงินลงทุนเป็นของเจ้าของกิจการทั้งหมด
- 1.2.5 ใช้กรณีที่มีการกู้เงินลงทุนในสัดส่วน 80% ของเงินลงทุนทั้งหมด 1 กรณี เพื่อเปรียบเทียบกับการใช้เงินของเจ้าของกิจการทั้งหมดที่กรณีฐาน (1,000 ตัน/ปี)
- 1.2.6 ให้เยื่อที่ผลิตได้สามารถขายได้ทั้งหมด
- 1.2.7 สามารถดำเนินการผลิตได้เต็มประสิทธิภาพตั้งแต่ปีแรก ข้อมูล หรือเงื่อนไขต่างๆ ของแต่ละปีจึงเหมือนกันทั้งหมด
- 1.2.8 มีกระแสเงินรับในรูป ราคาซาก ราคาที่ดิน โดยสมมุติเงินเพื่อ เท่ากับ 2.4% (เป็นอัตราเงินเพื่อประจำปี 2001 โดยประมาณ ธนาคารกรุงเทพฯ โดยสมมุติ ให้มีค่าคงที่ตั้งแต่ปีนี้จนถึงสิ้นโครงการ) และเงินทุนหมุนเวียน เมื่อสิ้นสุดอายุโครงการให้รายได้และรายจ่ายคงที่ตลอดอายุของโครงการ

## 2. การวิเคราะห์ความไวเชิงเศรษฐศาสตร์ (Sensitivity Analysis)

การวิเคราะห์และตัดสินใจในการเลือกการลงทุน โดยอาศัยข้อมูลต่างๆ ที่ประมาณขึ้นอาจมีการคลาดเคลื่อนได้เมื่อมีการดำเนินโครงการจริงๆ เช่น อัตราดอกเบี้ยสูงขึ้นค่าที่ประมาณไว้ ผลตอบแทนที่ได้น้อย หรือมากกว่าที่ประมาณไว้ อายุของเครื่องจักรน้อยกว่าที่กำหนด ประมาณราคาอุปกรณ์ในการผลิตไว้ต่ำเกินไป เป็นต้น เหล่านี้จะส่งผลให้การตัดสินใจผิดพลาดได้ การวิเคราะห์ความไวของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อโครงการมากน้อยแค่ไหน จะทำให้ผู้ตัดสินใจมีความมั่นใจมากขึ้น หลักการคำนวณจะทำให้รูปของมูลค่าปัจจุบันสุทธิ หรืออัตราผลตอบแทนการลงทุนก็ได้ โดยต้องกำหนดตัวแปรบางตัวให้คงที่ และดูการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอื่นๆ ที่สนใจ ที่มีผลมากน้อยแค่ไหนกับโครงการ

ในการศึกษาครั้งนี้เลือกที่จะวิเคราะห์ความไวของตัวแปร 4 ตัว คือ

1. ราคาขายของผลผลิต
2. ราคาของวัตถุดิบ
3. จำนวนเงินของต้นทุนทรัพย์สินถาวร (Fixed-capital investment)
4. ปริมาณกรดที่รีไซเคิลได้

โดยเลือกที่กำลังการผลิตที่ 1,000 ตัน/ปี เป็นกรณีฐาน (base case) ทั้งที่กำลังการผลิตนี้เป็นกรณีที่ใช้ในการประมาณราคาต้นทุนทั้งหมด จึงน่าจะให้ผลได้ถูกต้องกว่าที่กำลังการผลิตอื่นๆ ตลอดจนในแง่ความเป็นไปได้ ถ้าใช้กำลังการผลิตมากขึ้นกว่านี้ อาจมีปัญหาเรื่องการขาดแคลนวัตถุดิบได้

### 3. การศึกษาทำเลที่ตั้งของโรงงาน

การเลือกทำเลที่ตั้งโรงงานจะต้องทำการพิจารณาจากหลายปัจจัยหลายด้าน โดยในงานศึกษาจะทำการพิจารณาการเลือกทำเลที่ตั้งของโรงงานโดยคำนึงถึงความสามารถในการจัดหาวัตถุดิบ, การตลาด, สาธารณูปโภค, สภาพภูมิอากาศ, การขนส่ง, แหล่งน้ำและแรงงานที่ใช้เพื่อทำการตัดสินใจเลือกทำเล

## ผลและวิจารณ์

### 1. ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

จากการศึกษาการผลิตที่กำลังการผลิตเท่ากับ 500, 800, 1,000 และ 1,200 ตัน/ปี เมื่อหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ, อัตราผลตอบแทนการลงทุน และระยะเวลาคืนทุน จะให้ผลดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5. ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ที่กำลังการผลิตต่างๆ

กำลังการผลิต (ตัน/ปี)	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)	อัตราผลตอบแทนการลงทุน (%)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
500	-12,948,150	8.57	8
800	9,169,906	18.27	5
1,000	26,217,213	23.03	4
1,200	43,942,807	26.90	3

จากตารางแสดงผลจะเห็นว่า เมื่อกำลังการผลิตเพิ่มขึ้น จะให้ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ที่ดีขึ้นตามไปด้วย ทั้งแง่มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนการลงทุน และระยะเวลาคืนทุน โดยที่กำลังการผลิตเท่ากับ 1,200 ตัน/ปี จะให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และอัตราผลตอบแทนการลงทุนสูงสุด และระยะเวลาคืนทุนสั้นสุด ในขณะที่กำลังการผลิตเท่ากับ 500 ตัน/ปี จะให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิที่เป็นลบ และอัตราผลตอบแทนการลงทุนต่ำสุด และระยะเวลาคืนทุนนานสุด

## 2. ผลการวิเคราะห์ความไวเชิงเศรษฐศาสตร์ (Sensitivity Analysis)

### 2.1 การเปลี่ยนแปลงราคาขายของผลผลิต

ในการทำการศึกษาผลทางเศรษฐศาสตร์ เลือกใช้ราคาขายที่ 200 บาท/กก. เป็นฐาน และนำมาศึกษาความเปลี่ยนแปลงมูลค่าปัจจุบันสุทธิ เมื่อเปลี่ยนแปลงราคาขายในช่วง  $\pm 30\%$  ของราคาฐาน ให้ผลดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6. ผลการวิเคราะห์ความไวในการเปลี่ยนแปลงราคาขาย ที่กำลังการผลิต 1,000 ตันต่อปี

% การเปลี่ยนแปลงของ ราคาขาย	ราคาขาย (Baht/kg)	NPV	% การเปลี่ยนแปลง NPV
-30	140	-254,473,034	-1,036
-20	160	-154,097,662	-653
-15	170	-94,909,975	-462
-10	180	-44,722,289	-270
-5	190	-8,914,168	-134
0	200	-26,217,213	0
5	210	61,348,594	134
10	220	96,479,974	268
15	230	131,611,354	402
20	240	166,742,735	536
30	260	237,005,469	804

จากตารางที่ 6 จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงราคาขายของผลิตภัณฑ์ จะมีผลต่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิ เป็นอย่างมาก เพราะเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงราคาแค่  $-5\%$  จะทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นลบทันที เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงสูงคือ 134% และถ้ามีการเปลี่ยนแปลงในทางบวก 5% ก็ให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิสูงขึ้นในเปอร์เซ็นต์เดียวกัน

### 2.2 การเปลี่ยนแปลงราคาของวัตถุดิบ

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงราคารวมของวัตถุดิบ แสดงไว้ในตารางที่ 7 จากผลในตารางจะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงราคาวัตถุดิบ

ดินมีผลอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงมูลค่าปัจจุบันสุทธิเช่นกัน แต่ในเปอร์เซ็นต์ที่ต่ำกว่ากรณีของราคาขายของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงราคาวัตถุดิบโดยเพิ่มขึ้น + 10% จากมูลค่าเดิมจึงทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นค่าลบ

#### ตารางที่ 7. ผลการวิเคราะห์ความไวในการเปลี่ยนแปลงราคาวัตถุดิบที่กำลังการผลิต 1,000 ต้นต่อปี

% การเปลี่ยนแปลง ราคาวัตถุดิบ	ราคาวัตถุดิบรวมต่อปี (บาท)	NPV	% การเปลี่ยนแปลง NPV
-30	70,538,090	132,421,514	405.09
-20	80,614,960	97,020,079	270.06
-15	85,653,395	79,319,359	202.55
-10	90,691,830	61,618,644	135.03
-5	95,730,265	43,917,923	67.52
0	100,768,700	26,217,213	0
5	105,807,135	8,516,488	-67.52
10	110,845,570	--9,184,228	-135.03
15	115,884,005	-26,884,948	-202.55
20	120,922,440	-45,493,880	-273.53
30	130,999,310	-96,067,358	-466-43

#### 2.3 การเปลี่ยนแปลงต้นทุนทรัพย์สินถาวร (Fixed-capital investment)

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของมูลค่าปัจจุบันสุทธิเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงต้นทุนทรัพย์สินถาวรให้ผลดังแสดงในตารางที่ 8 การเปลี่ยนแปลงต้นทุนทรัพย์สินถาวรจะให้ผลน้อยสุดต่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิ ในบรรดาตัวแปรทั้งสี่ที่เลือกมาทำการวิเคราะห์ความไว ซึ่งแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง + 30% จะยังคงให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิที่เป็นบวกตลอดช่วง

ตารางที่ 8. ผลการวิเคราะห์ความไวในการเปลี่ยนแปลงต้นทุนทรัพย์สินถาวร (Fixed-capital investment) ที่กำลังการผลิต 1,000 ต้นต่อปี

% การเปลี่ยนแปลงต้นทุนทรัพย์สินถาวร	ต้นทุนทรัพย์สินถาวร (บาท)	NPV	% การเปลี่ยนแปลง NPV
-30	48,786,832	48,331,027,	84.35
-20	55,756,379	40,959,745	56.22
-15	59,241,153	37,274,108	42.17
-10	62,725,927	33,588,193	28.12
-5	66,210,700	29,720,983	13.36
0	69,695,474	26,117,213	0
5	73,180,248	22,531,551	-14.16
10	76,665,021	18,845,915	-28.12
15	80,149,795	15,160,278	-42.17
20	83,634,569	11,474,632	-56.23
30	90,604,116	4,103,354	-84.35

#### 2.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่รีไซเคิลกลับมาใช้ใหม่ได้

ในการศึกษากรณีฐานให้ปริมาณกรดอะซิติก และฟอร์มิกที่รีไซเคิลได้เท่ากับ 70% ของปริมาณตั้งต้นที่ใช้ ผลการเปลี่ยนแปลงของมูลค่าปัจจุบันสุทธิ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่รีไซเคิลได้แสดงไว้ในตารางที่ 9 จากตารางจะเห็นว่า ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดในปริมาณ -10% จะทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นลบทันที เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงสูงถึง -199.17% ซึ่งมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกับกรณีของการเปลี่ยนแปลงราคาขายแต่อยู่ในเปอร์เซ็นต์ที่ต่ำกว่า

ตารางที่ 9. ผลการวิเคราะห์ความไวในการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่รีไซเคิลได้ ที่กำลังการผลิต 1,000 ตันต่อปี

% การเปลี่ยนแปลงจากปริมาณกรดเดิม (70%) ที่รีไซเคิลได้	ปริมาณกรดที่รีไซเคิลได้หลังผ่านกระบวนการ (% ของปริมาณกรดตั้งต้น)	NPV	% การเปลี่ยนแปลง NPV
-30	49	-169,404,863	-746.16
-20	56	-94,180,512	-459.23
-15	59.5	-56,570,196	-315.78
-10	63	-25,998,804	-199.17
-5	66.5	409,432	-98.11
0	70	26,217,213	0
5	73.5	53,129,316	102.65
10	77	79,447,558	203.04
15	80.5	105,763,195	303.41
20	84	132,081,437	403.80
30	91	184,671,297	604.39

เมื่อนำข้อมูลการเปลี่ยนแปลงตัวแปรทั้งสี่ตัวที่เลือกมาวิเคราะห์ความไวในช่วง  $\pm 30\%$  กับผลการเปลี่ยนแปลงมูลค่าปัจจุบันสุทธิมาสร้างกราฟ จะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่าตัวแปรที่มีความไวสูงที่สุดคือ การเปลี่ยนแปลงราคาขายของผลิตภัณฑ์ซึ่งจะให้เส้นกราฟที่มีความชันสูงที่สุดด้วยการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่รีไซเคิลก็มีแนวโน้มเดียวกับกรณีการเปลี่ยนแปลงราคาขาย แต่จะมีความไวต่ำกว่า ดังนั้นในการทำการศึกษาค่าตัวแปรที่ต้องให้ความสำคัญและระมัดระวังเป็นพิเศษคือราคาขายและปริมาณกรดที่รีไซเคิลได้ ซึ่งตัวแปรทั้งสองจะส่งผลกระทบต่อผลทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ การศึกษาค่าตัวแปรทั้งสองนี้อย่างละเอียดถูกต้องจึงต้องมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการตัดสินใจในการลงทุน นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงราคาวัตถุดิบก็มีความไวค่อนข้างสูงเช่นกันแต่ก็ในเปอร์เซ็นต์ที่ต่ำกว่าราคาขายและปริมาณกรดที่รีไซเคิลได้ ส่วนการเปลี่ยนแปลงต้นทุนทรัพย์สินถาวรมีความไวต่ำสุดในบรรดาค่าตัวแปรทั้งสี่ที่เลือกมาวิเคราะห์ความไว ซึ่งในช่วงการเปลี่ยนแปลง  $\pm 30\%$  นี้ ยัง

คงมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นบวกอยู่ ดังนั้นถ้ามีการประมาณราคาของอุปกรณ์ต่างๆในการผลิต สูงหรือต่ำกว่าความเป็นจริงในช่วงดังกล่าวนี้ไม่ส่งผลต่อการตัดสินใจในการลงทุนมากนัก

### 3. การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break-even point)

เนื่องจากการศึกษาเลือกกรณีฐาน (base case) ที่กำลังการผลิตเท่ากับ 1,000 ต้น/ปี จึงนำค่าต้นทุนคงที่ ต้นทุนการผลิตทั้งหมด และรายรับที่กำลังการผลิตนี้มาเป็นฐานในการวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน โดยผลการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน แสดงเอาไว้ในรูปที่ 6 จากรูปจะเห็นว่า การผลิตจะมีจุดคุ้มทุน (รายรับ เท่ากับรายจ่าย) ที่กำลังการผลิตเท่ากับ 741.18 ต้น/ปี)

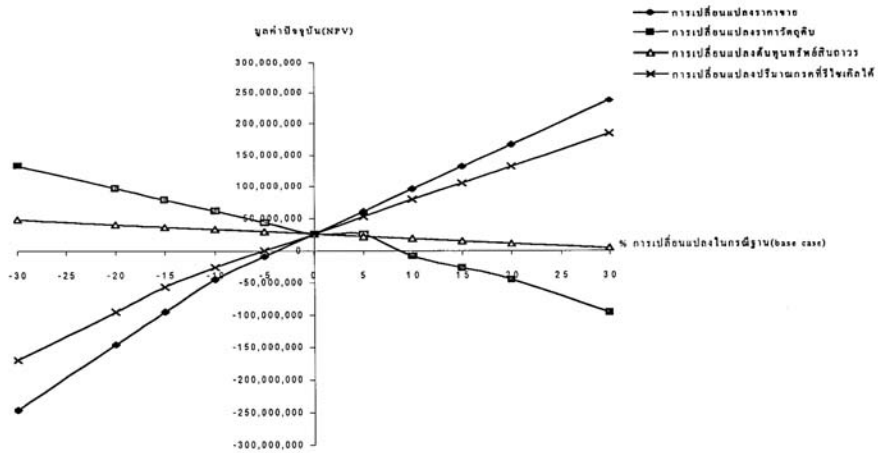
### 4. การวิเคราะห์กรณีเงินกู้

ในการผลิตที่กำลังการผลิต 1,000 ต้น/ปี โดยใช้เงินลงทุนทั้งหมดของเจ้าของกิจการ (base case) เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เงินลงทุนที่มีการกู้ในสัดส่วน 80% ของเงินลงทุนทั้งหมด โดยมีอัตราดอกเบี้ยเท่ากับ 11% (จากการสอบถามจากธนาคารกรุงเทพ) จะมีผลดังแสดงไว้ในตารางที่ 10 ซึ่งพบว่าการลงทุนโดยมีการกู้ได้ในสัดส่วน 80% นั้นจะได้ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ดีกว่าการใช้เงินลงทุนของเจ้าของกิจการทั้งหมด

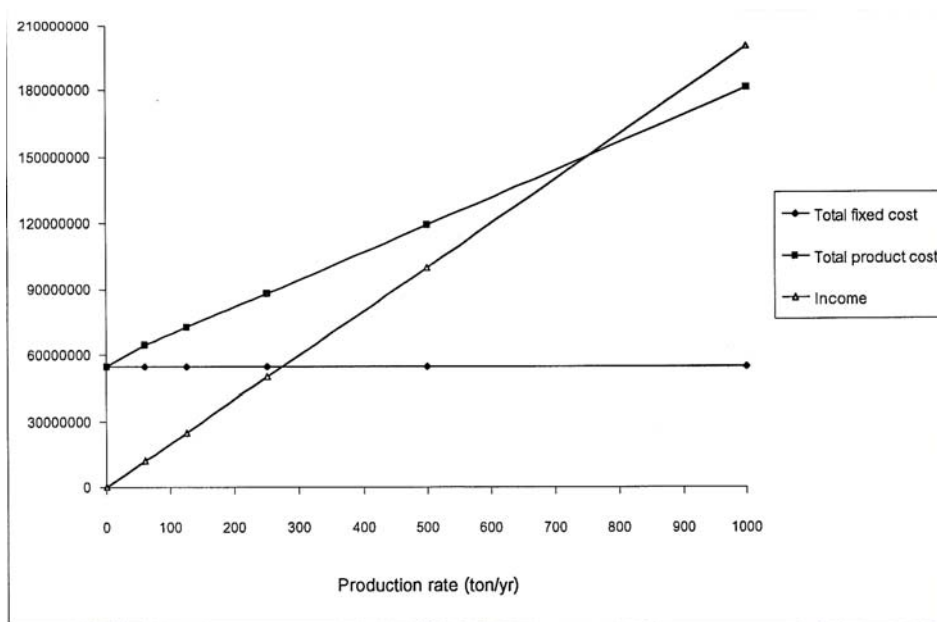
#### ตารางที่ 10. เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ที่กำลังการผลิต 1,000 ต้น/ปี ในกรณีกู้เงินลงทุน (80%) กับกรณีไม่กู้

กรณี	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)	อัตราตอบ แทน (%)	ระยะเวลาคืน ทุน (ปี)
1. ใช้เงินลงทุนโดยไม่มีการกู้ (base case)	26,217,213	23.03	4
2. ใช้เงินลงทุนที่มีการกู้ (80%)	42,764,699	72.40	2
% ความแตกต่าง	+63.12	+214.37	-50

จากผลในตารางข้างต้นจะเห็นว่าที่กำลังการผลิต 1,000 ต้น/ปี นั้น ถ้ามีการลงทุนโดยการกู้เงินในสัดส่วน 80% ของเงินลงทุนทั้งหมด จะให้ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในทุกๆด้านที่ดีกว่ากรณีใช้การลงทุนโดยไม่มีการกู้ ดังนั้นทราบได้ที่อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ที่อยู่ในขั้นที่ไม่สูงนักการกู้เงินจะให้ผลดีต่อการลงทุนมากกว่า



รูปที่ 5. การวิเคราะห์ความไวของปัจจัยต่างๆ



รูปที่ 6. แสดงจุดคุ้มทุนที่กำลังการผลิต 1,000 ตัน/ปี

## 5. สรุปผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการโดยใช้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทน การลงทุน ระยะเวลาคืนทุน ที่กำลังการผลิตต่างๆ คือ 500, 800, 1,000 และ 1,200 ต้น/ปี พบว่าผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จะมีแนวโน้มที่ดีขึ้นเรื่อยๆ ตามการเพิ่มของกำลังการผลิต ดังแสดงในตารางที่ 5 ภายใต้อายุขัยของเชื้อที่ 200 บาท/กก. และอัตราส่วนลด 15% ในการศึกษาจะให้ที่กำลังการผลิตที่ 1,000 ต้น/ปี เป็นกรณีฐานในการประมาณราคาการลงทุนต่างๆ และเมื่อทำการวิเคราะห์ความไวที่กำลังการผลิตเดียวกันนี้พบว่า ในบรรดาค่าแปรทั้งสี่ที่เลือกมาวิเคราะห์อันได้แก่ ราคาขายของผลิตภัณฑ์ ราคาวัตถุดิบ ต้นทุนทรัพย์สินถาวร และปริมาณกรดที่รีไซเคิลได้นั้น ตัวแปรที่มีความไวสูงที่สุดคือ ราคาขายผลิตภัณฑ์ รองลงมาคือปริมาณกรดที่รีไซเคิลได้ ซึ่งทั้งสองตัวแปรนี้มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกันจึงถือว่าเป็นตัวแปรที่สำคัญในการที่จะศึกษาให้ละเอียดต่อไปส่วนการเปลี่ยนแปลงราคาวัตถุดิบนั้นมีความไวในอันดับรองลงมาจากปริมาณกรดที่รีไซเคิลได้ โดยมีตัวแปรที่มีความไวต่ำสุดคือ ต้นทุนทรัพย์สินถาวร กำลังการผลิตอย่างต่ำที่สุดที่จะทำให้โครงการคุ้มทุนพอดีอยู่ที่ 741.18 ต้น/ปี นอกจากนี้ยังพบว่าถ้าใช้การลงทุนโดยการกู้เงิน 80% ของเงินลงทุนทั้งหมด จะให้ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ที่ดีกว่ากรณีใช้เงินของเจ้าของกิจการทั้งหมด

## 6. ทำเลที่ตั้งของโรงงาน

การเลือกตั้งโรงงานจะเลือกตั้งที่จังหวัดเชียงรายเหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาตามหลักดังนี้

### 6.1 ความสามารถในการจัดหาวัตถุดิบ (Raw materials availability)

วัตถุดิบปอสา เป็นพืชที่ขึ้นง่าย โตเร็ว และต้องการน้ำมากพอสมควร จังหวัดเชียงรายเป็นจังหวัดหนึ่งที่เหมาะสมแก่การเพาะปลูกปอสา เพราะมีภูมิอากาศที่เหมาะสม ไม้ร้อน มีปริมาณฝนมากพอสมควร พืชปอสาเหมาะแก่การปลูกบริเวณใกล้แม่น้ำ ซึ่งจังหวัดเชียงรายมีแม่น้ำอยู่หลายสาย เช่น แม่น้ำกก และยังมีบริเวณสามเหลี่ยมทองคำซึ่งเหมาะสมแก่การเพาะปลูก นอกจากนี้จังหวัดเชียงรายมีชาวเขาอยู่มากสามารถสนับสนุนให้มีการเพาะปลูกปอสาได้และบริเวณสามเหลี่ยมทองคำยังติดต่อกับประเทศพม่า และลาว ซึ่งสามารถที่จะซื้อปอสาจากประเทศเพื่อนบ้านใกล้เคียงได้และยังสนับสนุนให้ประเทศเพื่อนบ้านในระแวกใกล้เคียงปลูกปอสาได้อีกด้วยหากให้มีการปลูกปอสากันอย่างกว้างขวางก็จะเป็นผลให้ราคาปอสาลดต่ำลง

### 6.2 การตลาด (Markets)

จังหวัดเชียงรายเป็นแหล่งตลาดที่ดีเนื่องจากมีโรงงานผลิตกระดาษสา และผลิตภัณฑ์ที่ทำจากกระดาษหลายแห่ง และจังหวัดใกล้เคียงคือจังหวัดเชียงใหม่ แพร่ น่าน ลำปาง พะเยา อุดรดิตถ์

และสุโขทัย จึงสะดวกในการขนส่งขายเชื้อกระดาษ นอกจากนี้ยังสามารถส่งเชื้อกระดาษไปขายประเทศเพื่อนบ้านใกล้เคียงโดยขนส่งทางเรือได้อีกด้วย

### 6.3 สาธารณูปโภค (Energy availability)

จังหวัดเชียงรายเป็นจังหวัดใหญ่จึงมีระบบสาธารณูปโภคที่ค่อนข้างสมบูรณ์

### 6.4 สภาพภูมิอากาศ (Climate)

จังหวัดเชียงรายมีภูมิอากาศที่เหมาะสมแก่การเพาะปลูก คือมีภูมิอากาศที่ไม่ร้อน ฝนตกตามฤดูกาล และมีปริมาณฝนที่มากพอ

### 6.5 การขนส่ง (Transportation facilities)

การขนส่งสะดวกมีถนนตัดผ่าน มีสนามบิน และมีแม่น้ำหลายสายซึ่งเหมาะกับการขนส่งไปจังหวัดใกล้เคียงหรือประเทศเพื่อนบ้าน แม้ว่าจังหวัดเชียงรายจะไม่มีสถานีรถไฟ แต่ถ้าต้องการขนส่งทางรถไฟ ก็ไปขึ้นที่จังหวัดใกล้เคียงได้

### 6.6 แหล่งน้ำ (Water supply)

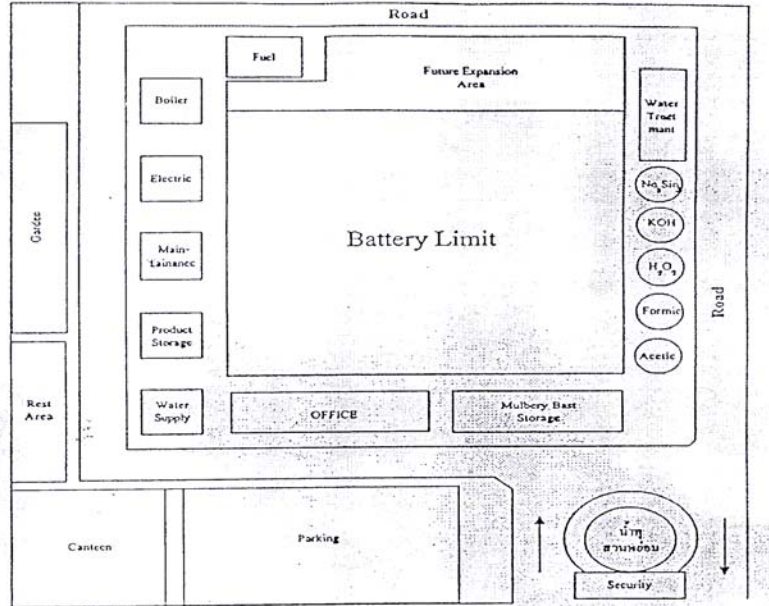
จังหวัดเชียงรายมีแม่น้ำหลายสาย และมีแหล่งน้ำอุดมสมบูรณ์ตลอดปี การตั้งโรงงานใกล้แม่น้ำจะทำให้โรงงานสามารถนำน้ำจากแม่น้ำมาใช้อุปโภค บริโภคภายในโรงงานได้

### 6.7 แรงงาน (Labor Supply)

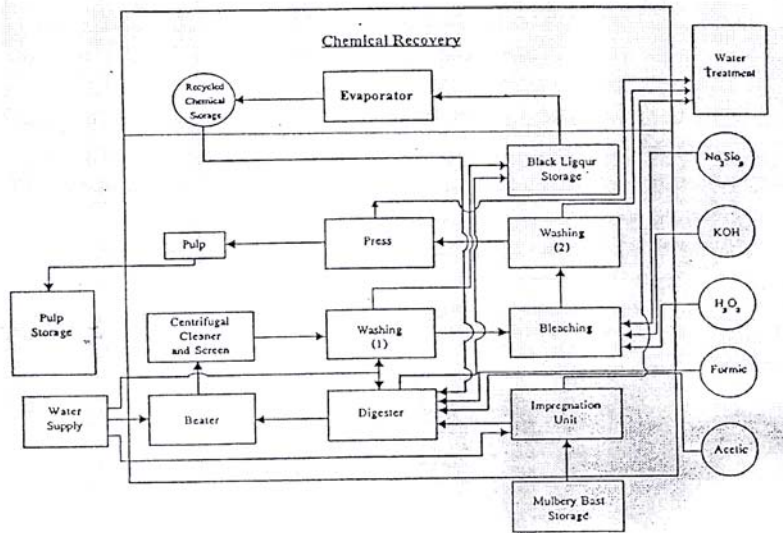
จังหวัดเชียงรายเป็นจังหวัดที่หาแรงงานได้ง่าย และค่าแรงไม่สูงมากเกินไป เนื่องจากมีชาวเขาอยู่มาก

## ผังโรงงานและผังภายในส่วนกระบวนการผลิต

ในการวางผังโรงงานนั้นจะจัดแบ่งส่วนต่างๆ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 7 และผังภายในส่วนของกระบวนการนั้นจะจัดวางอุปกรณ์การผลิตต่างๆ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 8



รูปที่ 7. แผนผังโรงงาน (Plant Layout)



รูปที่ 8. แผนผังในส่วนการผลิต

## สรุป

### 1. บทสรุป

การศึกษาความเป็นไปได้ขั้นต้นในการจัดตั้งโรงงานผลิตเชื้อกระดาษจากปอสาด้วยการต้มเชื้อด้วยเทคนิคฟอร์มาเซลล์นั้น พบว่าการต้มเชื้อด้วยเทคนิคนี้เป็นกระบวนการที่น่าสนใจ เนื่องจากกรดอะซิติกที่ใช้ต้มเชื้อสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยกระบวนการที่ไม่ซับซ้อนมากนัก สำหรับปริมาณที่เหมาะสมคงต้องทำการศึกษากันต่อไป การนำสารเคมีซึ่งมีสภาพเป็นกรดกลับมาใช้ใหม่เป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก นอกจากนี้ยังทำให้เป็นการประหยัดสารเคมีในการต้มเชื้อได้ด้วย อย่างไรก็ตาม ปริมาณกรดที่ใช้ในการต้มต่อน้ำหนักเปลือกปอสาชิ้นก่อนข้างสูงจึงสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายค่ากรดอะซิติกสูงในแต่ละปี แม้จะคิดรวมกับส่วนที่รีไซเคิลได้แล้วก็ตาม ส่วนของวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์นั้น พบว่ากำลังการผลิตที่น่าสนใจก็คือที่ 1,000 ตัน/ปี โดยให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ เท่ากับ 26,217,213 บาท อัตราผลตอบแทนการลงทุนเท่ากับ 23.03% และระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 4 ปี และถ้ามีการเพิ่มกำลังการผลิตขึ้น ก็จะทำให้ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ที่ดีขึ้นตามไปด้วยในด้านตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ (ความไว) สูงที่สุดก็คือราคาขาย รองลงมาคือปริมาณกรดที่รีไซเคิลได้โดยมีแนวโน้มที่คล้ายกัน สำหรับด้านเงินที่ใช้ในการลงทุนทั้งหมดนั้น ถ้าใช้เงินกู้จากธนาคารในสัดส่วน 80% ของเงินลงทุนทั้งหมดด้วย อัตราดอกเบี้ย 11% จะให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิสูงกว่ากรณีใช้เงินของเจ้าของกิจการทั้งหมดถึง 63.12% และให้อัตราผลตอบแทนสูงกว่า 214.37% ระยะเวลาคืนทุนเร็วว่าถึง 50% จากการพิจารณาผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในขั้นนี้ พบว่าโครงการมีแนวโน้มที่คุ้มค่าต่อการลงทุน โดยเฉพาะที่กำลังการผลิตที่ประมาณ 1,200 ตัน/ปี หรือสูงกว่า แต่อย่างไรก็ตามควรชะลอการลงทุนเอาไว้ก่อน เนื่องจากปัจจุบันยังคงมีปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบอยู่ และควรมีการศึกษาอย่างละเอียดเพิ่มเติมก่อนตัดสินใจลงทุน

### 2. ข้อเสนอแนะ

2.1 ในการนำปอสามาใช้ในการผลิตเชื้อกระดาษในขนาดกำลังการผลิตดังที่ทำในโครงการนี้ ถือว่าค่อนข้างสูงในปัจจุบัน เพราะประเทศไทยยังมีพื้นที่เกษตรกรรมปอสาอยู่ไม่มากนัก ถ้าหากมีความสนใจในการจัดตั้งโรงงานจริงๆ ปัญหาด้านการขาดแคลนวัตถุดิบที่ใช้ป้อนเข้าในโรงงาน และแนวทางในการขยายพื้นที่เพาะปลูก หรือการส่งเสริมการปลูกนั้น ถือว่าเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง

2.2 สำหรับการผลิตที่กำลังการผลิตดังที่ทำการศึกษานั้น ถ้ามองในแง่อุตสาหกรรมเชื้อกระดาษ โดยเปรียบเทียบกับอุตสาหกรรมเชื้อที่มีอยู่แล้วนั้น ถือว่ามีขนาดเล็กอยู่ ซึ่งถ้านำขนาดนี้มาจัดตั้งโรงงาน

จริงๆ อาจทำให้มีความยากลำบากในการจัดหาอุปกรณ์จากผู้ขาย (Suppliers) เนื่องจากไม่ใช่ขนาดปกติที่มีขายโดยทั่วไป

2.3 สำหรับกระบวนการผลิตจริงๆ ในอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษนั้นจะมีความซับซ้อนมากขึ้นกว่าที่นำเสนอในเสนอในโครงการนี้มาก เนื่องจากโครงการนี้เป็นแค่เพียงการศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นเท่านั้น ฉะนั้นผู้ที่มีความสนใจในรายละเอียดคงต้องค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติมมากขึ้นอีก

2.4 สำหรับข้อมูลเกี่ยวกับราคาอุปกรณ์ในการผลิตในบางอุปกรณ์เป็นราคาโดยประมาณเท่านั้น เนื่องจากหาแหล่งข้อมูลราคาจากผู้ขายโดยตรงไม่ได้ ซึ่งข้อมูลที่แน่นอนต้องอาศัยจากผู้ขาย (suppliers) โดยตรง

2.5 สำหรับราคาที่แน่นอนของเยื่อปอสาผู้ที่สนใจควรจะทำการศึกษาให้ละเอียดกว่านี้ เพราะในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ผู้จัดทำได้ข้อมูลราคาจากแหล่งข้อมูลเพียงไม่กี่แห่งเท่านั้น

2.6 ดังที่ได้เห็นแล้วว่าปริมาณกรดที่รีไซเคิลได้มีผลเป็นอย่างมากต่อผลทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ (จากการวิเคราะห์ความไว) สำหรับปริมาณกรดที่รีไซเคิลได้ที่ใช้ในการศึกษาเป็นปริมาณที่สมมติขึ้น ดังนั้นควรมีการทดลองเพื่อศึกษาถึงปริมาณกรดที่สามารถดื่มระเหยได้จริงในทางปฏิบัติ จะทำให้ผลการศึกษามีความถูกต้อง และช่วยในการตัดสินใจต่อการลงทุนได้ดียิ่งขึ้น

2.7 ผู้ที่สนใจควรลองทำการศึกษาเพิ่มเติมถึงโอกาสความเป็นไปได้ในการขยายการผลิตจากการเยื่อกระดาษไปสู่การผลิตเป็นแผ่นกระดาษ

2.8 เนื่องจากการศึกษาที่ได้จากโครงการนี้เป็นเพียงการศึกษาค้นคว้าเบื้องต้น สำหรับผู้ที่สนใจควรต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมมากขึ้นอีกในทุกๆ ด้าน

### เอกสารอ้างอิง

นัยนา นิยมวัน, สมศักดิ์ ไชยมงคล, ลิจิต หาญดวงสิทธิ์ และ สามารถ จินตนาวาร. 2534. การพัฒนาการผลิตกระดาษสาแบบครบวงจร. รายงานการวิจัย. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ. 179 น.

ปิยะพล นาคเบญจพร และ ไตรรงค์ ไกรสุรวงศ์, การผลิตเยื่อกระดาษต้องเทคนิคฟอร์มาเซลล์จากปอสา, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 2542.

เพียรวิจิตร วิทยา, เทคโนโลยีการกำจัดน้ำเสีย, สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 2525.

สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม, คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษ, 2542.

*Final Report*

*The Research Project for Higher Utilization of Forestry and Agricultural Plant Materials in Thailand (HUFA)*

- สุรพร หอมชื่น, เทคนิคการบำบัดน้ำเสียและการนำกลับมาใช้ใหม่, รายงานการสัมมนาภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 2534.
- เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน, หน่วยวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สถาบันวิทยาศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ. 2524.
- Nemerow, N.L., *Industrial Water Pollution*. Addison-Wesley Publ. Co., Inc., New York, 1977.
- Wada, H., An analysis of effluent from papermaking process and wastewater treatment, pp. 1-30. *In Proc. JICA Conference*. Kasetsart University., Bangkok, 1998.

ภาคผนวก ก  
คุณมวล (mass balance)

**Overall assumption**

กำลังการผลิต = 1,000 ตัน/ปี

= 3,333 กก./วัน

ทำการผลิต 300 วัน/ปี

ทำงานวันละ 2 กะ กะละ 8 ชม. (ใน 1 วัน รวม 16 ชม.)

cycle time / batch = 2 ชม.

Feed washing ใช้เวลา 1 ชม.

ต้มเยื่อ ใช้เวลา 1 ชม.

วัตถุดิบมีความชื้น = 10%

กำลังการผลิต / batch =  $3,333 / 8 = 416.63 \text{ kg/batch}$

วัตถุดิบที่ใช้ / batch (% yield = 46%) =  $416.63 / 0.46 = 905.72 \text{ kg}$

ดังนั้น - ใช้เปลือกในปอสาในการผลิต =  $905.72 \text{ kg / batch}$

- ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเยื่อ =  $416.63 \text{ kg / batch}$

วัตถุดิบเปลือกปอสา 100% หลังจากผ่านกระบวนการจะถูกแบ่งออกเป็น

- final pulp (product) = 46%

- water ในวัตถุดิบ = 10%

- dirty portion (ถูกแยกในขั้น centrifugal cleaner) = 9%

- soil waste (ถูกแยกในขั้น screening) = 10%

- impurity (lignin, hemicelulose และสารอินทรีย์อื่น ๆ) = 15%

- pulp lost during process = 10%

- pulp lost จะเกิดขึ้นในขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

- digester = 2%

- centrifugal cleaner = 1%

- screening = 1%

- washing (1) = 2%

- bleaching = 2%

- washing (2) = 2%

ปริมาณของส่วนต่างๆ เหล่านี้คิดเป็นน้ำหนัก

- วัตถุดิบเปลือกในปอสา = 905.72 kg
- Final pulp = (0.46)(905.72) = 416.63 kg
- Water ในวัตถุดิบ = (0.1)(905.72) = 90.57 kg
- dirty portion = (0.09)(905.72) = 81.51 kg
- solid waste = (0.1)(905.72) = 91.57 kg
- impurity (0.15)(905.72) = 135.86 kg
- total pulp lost = (0.1)(905.72) = 90.57 kg

แบ่งเป็นการสูญเสียในขั้นตอนต่างๆ

- digester = (0.02)(905.72) = 18.11 kg
- centrifugal cleaner = (0.01)(905.72) = 9.06 kg
- screening = (0.02)(905.72) = 9.06 kg
- washing(1) = (0.02)(905.72) = 18.11 kg
- bleaching = (0.02)(905.72) = 18.11 kg
- washing(2) = (0.02)(905.72) = 18.11 kg

#### คุณสมบัติของแช่เปลือกปอ (Impregnation Unit)

วัตถุดิบเปลือกในปอสา = 905.72 kg (ความชื้น 10%)

ปริมาณน้ำในวัตถุดิบ = (0.1)(905.72) = 90.57 kg

ดังนั้น น้ำหนักเปลือกปอแห้งปราศจากน้ำ (dried bast) = 905.72 - 90.57 = 815.15 kg

Ratio; water : dried bast = 10 : 1

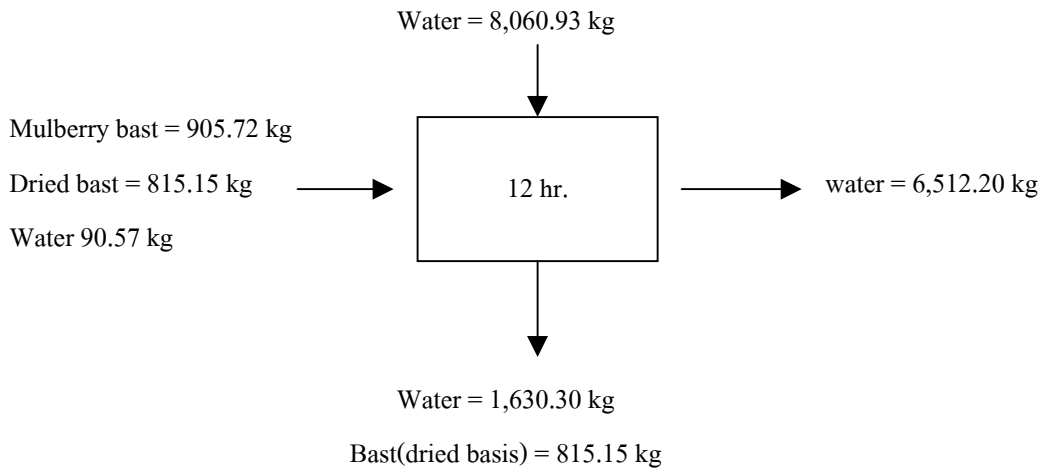
ปริมาณน้ำที่ต้องการ = (10)(815.15) = 8,151.50 kg

ปริมาณน้ำในวัตถุดิบ = 90.57 kg

ดังนั้น ปริมาณน้ำที่ต้องเติม = 8,151.50 - 90.57 = 8,060.93 kg

**Assumption**

หลังจากจากตั้งแช่แล้วให้มีน้ำปนออกมากับเปลือกปอเป็น 2 เท่าของน้ำหนักเปลือกปอ



**คุณสมบัติของหมักต้มเยื่อ**

**Assumption**

- สารเคมีออกมากับเยื่อหลังต้มแล้วเท่ากับ 5% ของสารเคมีทั้งหมด
- Impurity ออกมาในกระแส black liquor ทั้งหมด
- ปริมาณน้ำที่ปนออกมากับเยื่อเท่ากับ 2 เท่าของน้ำหนักเยื่อ

Ratio; water : dried bast = 7:1

$\therefore \text{water} = (7)(815.15) = 5,706.05 \text{ kg}$

chemical required

- acetic acid = 50% wt of total water  
= (0.50)(5,706.05) = 2,853.03 kg
- formic acid = 1% wt of acetic acid  
= (0.01)(2,853.03) = 28.53 kg

- ใน digester ปริมาณ acetic กับ formic acid และน้ำที่ใช้ feed ส่วนหนึ่งจะมาจาก การ recovery กลับจาก Evaporator ด้วยโดยมี assumption ว่าปริมาณสารต่างๆที่ ได้จากการระเหยเป็นดังนี้
  - ปริมาณน้ำที่ระเหยกลับคืนมาได้ 70% ของปริมาณน้ำตั้งต้นที่ใช้
$$= (0.7)(5,706.05)$$
$$= 3,994.24 \text{ kg}$$
  - ปริมาณ acetic acid ระเหยกลับคืนมาได้ 50% ของปริมาณน้ำที่ได้
$$= (0.5)(3,994.24)$$
$$= 1,997.12 \text{ kg}$$
  - ปริมาณ formic acid ระเหยคืนมาได้ 70% ของปริมาณตั้งต้นที่ใช้
$$= (0.7)(28.53)$$
$$= 19.97 \text{ kg}$$
- ∴ ปริมาณ acetic acid ที่ต้อง feed เพิ่ม =  $2,853.03 - 1,997.12 = 855.91 \text{ kg}$
- ∴ ปริมาณ formic acid ที่ต้อง feed เพิ่ม =  $28.53 - 19.97 = 8.56 \text{ kg}$
- ∴ ปริมาณน้ำที่ต้องการอีก =  $5,706.15 - 3,994.24 = 1,711.81 \text{ kg}$
- ในการป้อน acetic acid จะใช้ในรูปแบบ solution ที่มีความเข้มข้น 99%
- ในการป้อน formic acid จะใช้ในรูปแบบ solution ที่มีความเข้มข้น 99%
- ปริมาณ acetic solution ที่ต้องใช้ =  $(855.91/99.8)(100) = 857.63 \text{ kg}$   
ใน solution มีปริมาณน้ำ =  $(0.002)(857.63) = 1.72 \text{ kg}$
- ปริมาณ formic solution ที่ต้องใช้ =  $(8.56/99)(100) = 8.65 \text{ kg}$   
ใน solution มีปริมาณน้ำ =  $(0.01)(8.65) = 0.086 \text{ kg}$
- ปริมาณน้ำที่ต้อง feed เพิ่ม =  $1,711.81 - 1.72 - 0.086 - 1,630.30 = 79.70 \text{ kg}$

**Chemicals**

acetic acid = 855.91 kg

formic acid = 8.56 kg

water = 1.806 kg

Water 79.70 kg

**Recycled chemicals**

acetic acid = 1,997.12 kg

formic acid = 19.97 kg

water = 3,994.24 kg

815.15 kg bast(dried bast)

1,630.30 kg water

Digester

**Black liquor stream**

acetic acid = 2,710.38 kg

formic acid = 27.10 kg

water = 4,872.79 kg

impurity = 135.86 kg

pulp lost = 18.11 kg

**pulp stream**

pulp = 489.65 kg

acetic acid = 142.65 kg

formic acid = 1.43 kg

water = 833.26 kg

solid waste = 90.57 kg

dirty portion = 81.51 kg

หมายเหตุ solid waste, dirty portion และ impurity ถือว่าเป็นส่วนที่แยกออกมาจาก bast ภายหลังจากผ่าน การต้มใน digester แล้ว เพื่อความสะดวก จึงไม่ได้แสดงทั้งสามส่วนแยกต่างหากมาตั้งแต่ต้น ให้ถือว่าทั้งสามส่วนอยู่ใน bast จนมาถึงการต้มจึงแยกออกมา

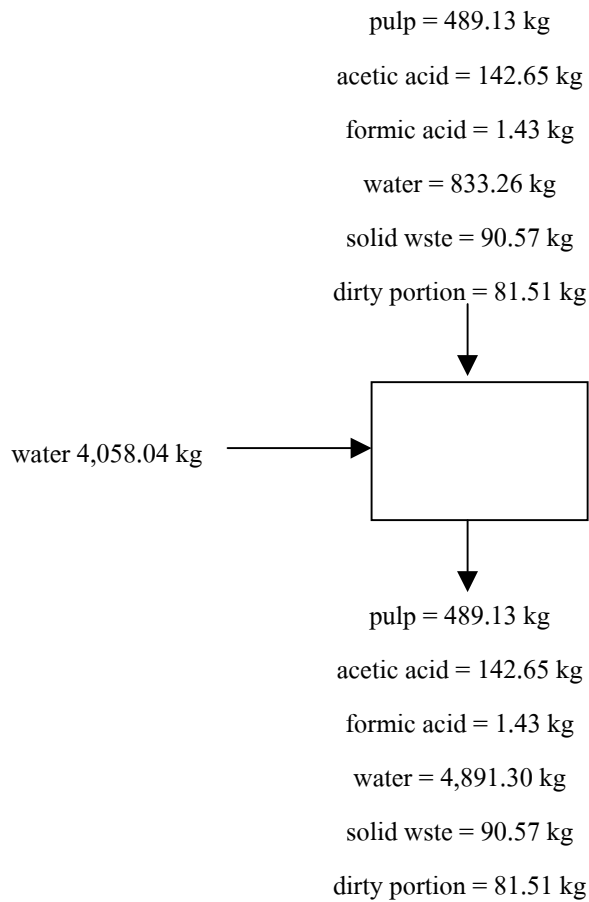
**คุณสมบัติรอบ Beater**

Ratio; อัตราส่วนน้ำที่เติม : น้ำหนัก pulp = 10:1

ปริมาณน้ำที่เติม =  $(10)(489.13) = 4,891.30$  kg

ปริมาณน้ำที่มีอยู่แล้ว = 833.26 kg

ปริมาณน้ำที่ต้องเติม =  $4,891.30 - 833.26 = 4,058.04$  kg



### คุณสมบัติรอบ Centrifugal Cleaner

#### Assumption

- dirty portion จะถูกแยกออกในขั้นตอนนี้ทั้งหมด
- pulp lost = 1% ของเปลือกปอสาตั้งต้น

pulp = 489.13 kg

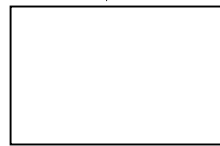
acetic acid = 142.65 kg

formic acid = 1.43 kg

water = 4,891.30 kg

solid waste = 90.57 kg

dirty portion = 81.51 kg



dirty portion = 81.51 kg

pulp lost = 9.06 kg

pulp = 489.13 kg

acetic acid = 142.65 kg

formic acid = 1.43 kg

water = 4,891.30 kg

solid waste = 90.57 kg



**คูสมวสรอบ Washing Unit (1)**

**Assumption**

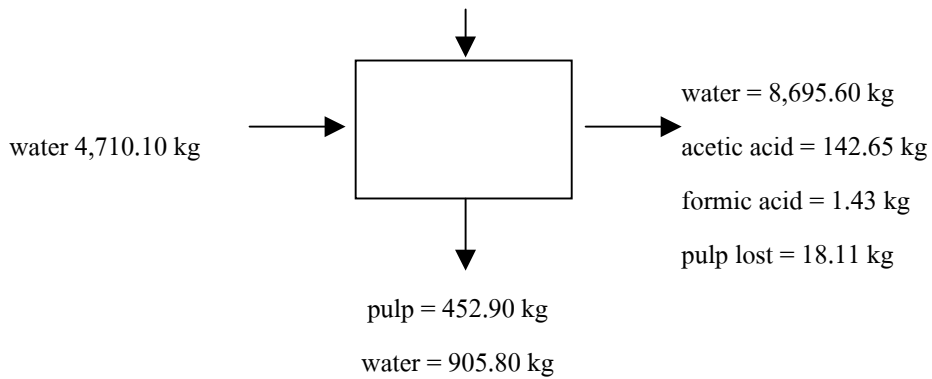
- น้ำที่ใช้ในการ washing = 10 เท่าของน้ำหนัก pulp
- สารเคมีที่ติดมา ออกไปในขั้นตอนนี้ทั้งหมด
- น้ำออกมาพร้อมกับ pulp เป็น 2 เท่าของน้ำหนัก pulp
- Pulp lost = 2% ของเปลือกปอสาตั้งต้น

pulp = 471.01 kg

acetic acid = 142.65 kg

formic acid = 1.43 kg

water = 4,891.30 kg



### คุณสมบัติรอบ Bleaching Unit

Ratio; total liquor : pulp(dried basis)= 10:1

ดังนั้น ปริมาณน้ำที่ใช้ = (10)(452.91)

= 4,529 kg

ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการ Bleaching

- Hydrogenperoxide ( $H_2O_2$ ) = 4% wt of pulp

= (0.04)(452.90)

= 18.12 kg

- Potassiumhydroxide = 4% wt of pulp

= (0.04)(452.90)

= 18.12 kg

- Sodiumsilicate ( $Na_2SiO_3$ ) = 3% fo pulp

= (0.03)(452.90)

= 13.59 kg

ใช้  $H_2O_2$  solution ความเข้มข้น 40% wt

ต้องใช้  $H_2O_2$  solution = (100/40)(18.12) = 45.30 kg

มีน้ำอยู่ด้วย = (0.6)(45.30) = 27.18 kg

ใช้ KOH solid = (1000/90)(18.12) = 20.13 kg

มีน้ำอยู่ด้วย = (0.1)(20.13) = 2.01 kg

ใช้  $Na_2SiO_3$  solution ความเข้มข้น 50% wt

ต้องใช้  $Na_2SiO_3$  solution = (100/50)(13.59) = 27.18 kg

มีปริมาณน้ำอยู่ด้วย = (0.5)(27.18) = 13.59 kg

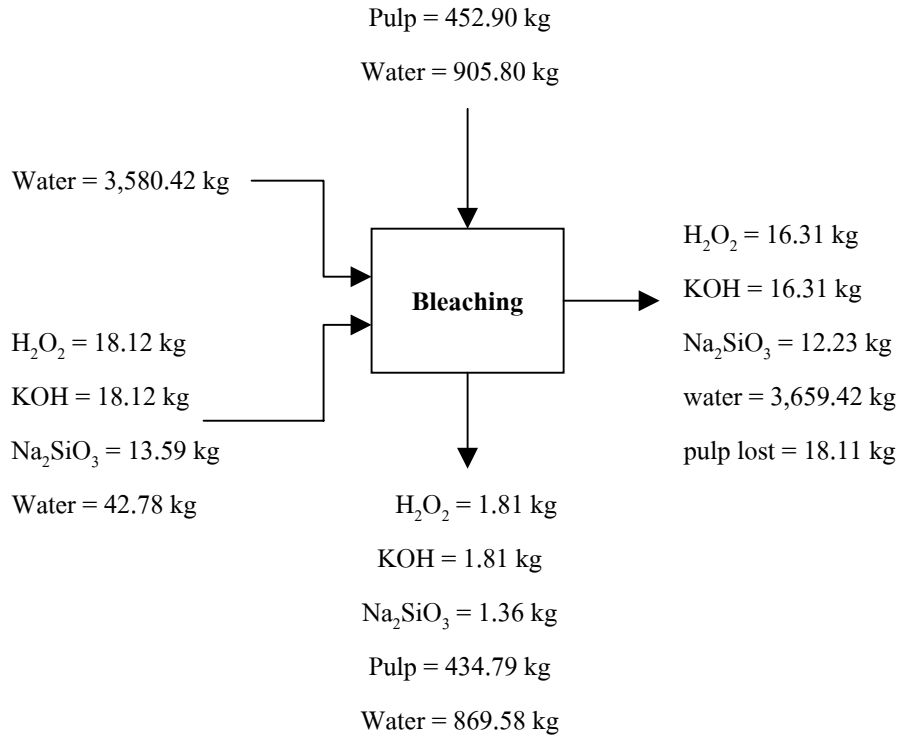
ปริมาณน้ำทั้งหมดจาก solution ทั้งสาม = 27.18+2.01+13.59 = 42.78 kg

ปริมาณน้ำจากที่ติดมากับ pulp = 905.80 kg

∴ ปริมาณน้ำที่ต้องเติมเพิ่มอีก = 5,529-42.78-905.80 = 3,580.40 kg

**Assumption**

- มีสารเคมีติดมากับ pulp หลัง bleach แล้ว 10% ของปริมาณที่ใช้
- น้ำออกมาปนกับ pulp เป็น 2 เท่าของน้ำหนัก pulp
- มี pulp lost 2%



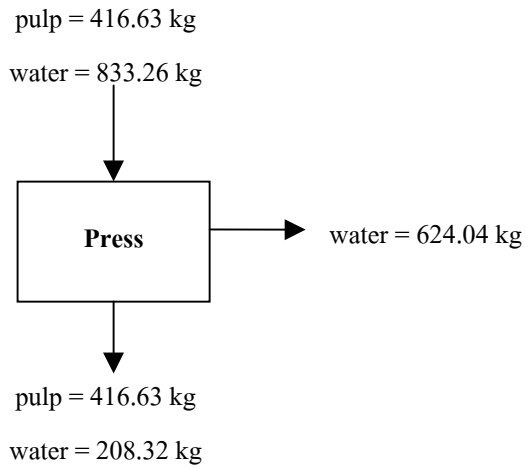
### คุณสมบัติ Washing Unit (2)

#### Assumption

- ใช้น้ำในการล้าง 10 เท่าของน้ำหนัก pulp (ไม่รวมน้ำที่มากับ pulp)
- สารเคมีถูกล้างออกหมดจาก pulp ภายหลังจากการล้าง (washing)
- น้ำที่ปนมากับเยื่อหลังการล้างเป็น 2 เท่าของน้ำหนัก pulp
- มี pulp lost 2%

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณน้ำที่ใช้ล้าง} &= (10)(434.70) = 4,347.90 \text{ kg} \\ &= 208.32 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณน้ำที่ถูกบีบออก} &= 833.26 - 208.32 \\ &= 624.94 \text{ kg} \end{aligned}$$



### คุณสมบัติรอบ Evaporator

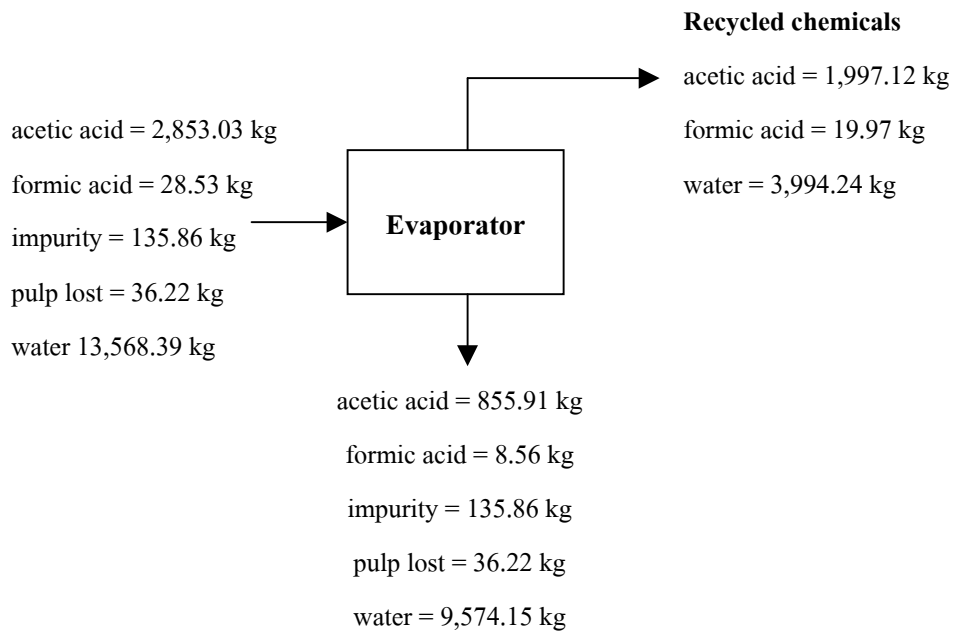
#### Assumption

- ปริมาณ acetic acid, formic acid ที่ระเหยกลับมาได้เป็น 70% ของปริมาณตั้งต้นที่ใช้
- มีน้ำปนมาเป็น 2 เท่าของปริมาณ acetic acid ที่ระเหยได้

ปริมาณ acetic acid ที่ระเหยได้ =  $(0.7)(2,853.03) = 1,997.12 \text{ kg}$

ปริมาณ formic acid ที่ระเหยได้ =  $(0.7)(28.53) = 19.97 \text{ kg}$

ปริมาณน้ำที่ระเหยได้ =  $(2)(1,997.12) = 3,994.24 \text{ kg}$

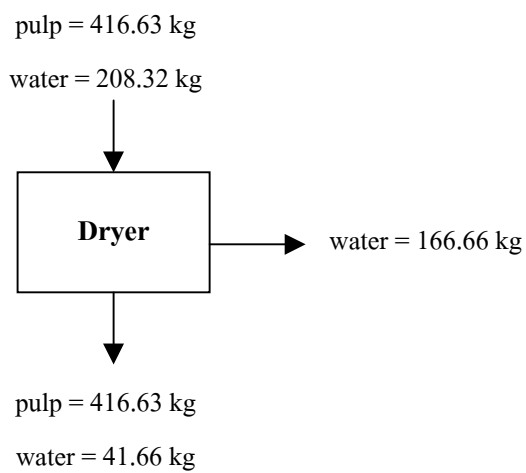


หมายเหตุ ปริมาณกรดอะซิติกที่รีไซเคิลได้ 70% นั้น เป็นค่าที่สมมติขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะยังไม่มีข้อมูลปริมาณกรดที่จะระเหยได้จริงในทางปฏิบัติ เพื่อให้สมมติฐานมีความเป็นไปได้มากขึ้นน่าจะให้ความร้อนในการระเหยที่อัตราสูงๆ เพื่อให้กรดอะซิติกสามารถระเหยได้ในเวลาใกล้เคียงกับน้ำ เพราะน้ำมีจุดเดือดที่ต่ำกว่ากรดอะซิติก น้ำจึงจะระเหยก่อนกรดอะซิติก และเพื่อการถูกต้องของข้อมูล ควรมีการทดลองทำการระเหย black liquor เพื่อดูปริมาณกรดที่ระเหยได้จริงในทางปฏิบัติ

### คุณสมบัติของเครื่องอบแห้ง

#### Assumption

- pulp มีความชื้น 10% wt หลังผ่านการอบแห้งแล้ว  
ปริมาณน้ำใน pulp =  $(0.1)(416.63)$   
= 41.66 kg  
ปริมาณน้ำที่ระเหย =  $208.32 - 41.66$   
= 166.66 kg



## ภาคผนวก ข

## ตารางแสดงข้อมูลสนับสนุนการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

ตารางที่ 1. ค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์ในกระบวนการผลิตที่กำลังการผลิต 1,000 ตัน/ปี  
อุปกรณ์ประเภทปั๊ม (pump)

รหัส	ราคา+ค่าขนส่ง		โดยใช้ดัชนีผู้ผลิตราคา ภายหลังการปรับเป็น ราคาในปี 2000 (บาท)	ที่มาของราคา	หมายเหตุ
P-1	16,600	1999	16,585	ป ฌนาฯเอนจันเญยร่ง	
P-2	8,500	1999	8,492	ป ฌนาฯเอนจันเญยร่ง	
P-3	10,270,	1999	10,261	ป ฌนาฯเอนจันเญยร่ง	
P-4	10,270	1999	10,261	ป ฌนาฯเอนจันเญยร่ง	
P-5	10,270,	1999	10,261	ป ฌนาฯเอนจันเญยร่ง	
P-6	10,270	1999	10,261	ป ฌนาฯเอนจันเญยร่ง	
P-7	40,000	1999	39,964	ป ฌนาฯเอนจันเญยร่ง	
P-8	11,245	1999	11,235	ป ฌนาฯเอนจันเญยร่ง	
P-9	115,500	1999	115,395	บรชัฎ Iwaki	
P-10	10,270	1999	10,261	ป ฌนาฯเอนจันเญยร่ง	
P-11	190,000	1999	189,828	บรชัฎ Iwaki	
P-12	222,300	1999	222,100	บรชัฎ Iwaki	
P-13	16,600	1999	16,585	ป ฌนาฯเอนจันเญยร่ง	
P-14	8,380	1999	8,372	ป ฌนาฯเอนจันเญยร่ง	
P-15	8,380	1999	8,372	ป ฌนาฯเอนจันเญยร่ง	
P-16	115,500	1999	115,395	บรชัฎ Iwaki	
P-17	10,270	1999	10,261	ป ฌนาฯเอนจันเญยร่ง	
P-18	106,500	1999	206,313	บรชัฎ Iwaki	
P-19	16,600	1999	16,585	ป ฌนาฯเอนจันเญยร่ง	
			1,036,787		

## อุปกรณ์ประเภทถัง (Tanks)

รหัส	ราคาอุปกรณ์		โดยใช้ดัชนีผู้ผลิตราคา ภายหลังการปรับเป็น ราคาในปี 2000 (บาท)	ที่มาของราคา	หมายเหตุ
	ราคา (บาท)	ปี			
T-1	800,000	2000	800,000	บ.พัฒนกุล จำกัด	
T-2	80,000	2000	80,000	บ.พัฒนกุล จำกัด	
T-3	126,000	2000	236,000	บ.พัฒนกุล จำกัด	
T-4	500,000	2000	500,000	บ.พัฒนกุล จำกัด	
T-5	160,000	2000	160,000	บ.พัฒนกุล จำกัด	
T-6	230,000	2000	230,000	บ.พัฒนกุล จำกัด	
T-7	300,000	2000	300,000	บ.พัฒนกุล จำกัด	
T-8	170,000	2000	170,000	บ.พัฒนกุล จำกัด	
T-9	140,000	2000	140,000	บ.พัฒนกุล จำกัด	
T-10	330,000	2000	330,000	บ.พัฒนกุล จำกัด	
รวม			<b>3,412,000</b>		

## อุปกรณ์เฉพาะ

รหัส	ราคาอุปกรณ์		โดยใช้ดัชนีผู้ผลิตราคา ภายหลังการปรับเป็น ราคาในปี 2000 (บาท)	ที่มาของราคา	หมายเหตุ
	ราคา (บาท)	ปี			
C-1	400,000	2000	400,000	บ.พัฒนกุล จำกัด	
B-1	1,000,000	2000	1,000,000	-	เป็นราคาโดยประมาณ
C-2	2,634,752	2000	2,634,752	Kreb engineer	
S-1	2,000,000	2000	2,000,000	เทพพัฒนาฯ	
D-1	1,000,000	2000	1,000,000	-	เป็นราคาโดยประมาณ
D-2	700,000	2000	700,000	บ.กิติพรฯ	
E-1	1,500,000	2000	1,500,000	เทคนิทราสี	
H-1	2,500,000	2000	2,500,000	บ.ศุภเจริญฯ	
รวม			<b>11,734,752</b>		

ตารางที่ 2. Estimation of capital 500 ton/yr.

Components	Cost (baht)
1. Direct cost	
Purchased equipment, E	10,677,154
Purchased equipment installaion, 40% E	4,270,862
Instrumentation and controls (installed), 13% E	1,388,030
Piping (installed), 45% E	4,804,719
Electrical (installed), 25% E	2,669,289
Building (process and auxillary), 40% E	4,270,862
Yard improvement, 10% E	1,067,715
Service facillities, 30% E	3,203,146
Land	887,500
Total direct cost (D)	33,239,277
2. Indirect cost	
Engineering and supervision, 32% E	3,416,689
Construction expenses, 34% E	3,630,232
Total	7,046,921
3. Contractor' fee, 5% (D+I)	2,014,310
Contingency, 10% (D+I)	4,028,620
Total	6,042,930
4. Fixed-capital investment (1+2+3)	46,329,128
5. Working capital, 10% of capital investment	5,147,681
6. Total capital investment (4+5)	51,476,809

ตารางที่ 3. Estimation of capital 800 ton/yr.

Components	Cost (baht)
1. Direct cost	
Purchased equipment, E	14,155,574
Purchased equipment installaion, 40% E	5,662,230
Instrumentation and controls (installed), 13% E	1,840,225
Piping (installed), 45% E	6,370,008
Electrical (installed), 25% E	3,538,894
Building (process and auxillary), 40% E	5,662,230
Yard improvement, 10% E	1,415,557
Service facillities, 30% E	4,246,672
Land	887,500
Total direct cost (D)	43,778,890
2. Indirect cost	
Engineering and supervision, 32% E	4,529,784
Construction expenses, 34% E	4,812,895
Total	9,342,679
3. Contractor' fee, 5% (D+I)	2,656,078
Contingency, 10% (D+I)	5,312,156
Total	7,968,234
4. Fixed-capital investment (1+2+3)	61,089,803
5. Working capital, 10% of capital investment	6,787,756
6. Total capital investment (4+5)	67,877,559

ตารางที่ 4. Estimation of capital 1,000 ton/yr.

Components	Cost (baht)
1. Direct cost	
Purchased equipment, E	16,183,539
Purchased equipment installaion, 40% E	6,473,4516
Instrumentation and controls (installed), 13% E	2,103,860
Piping (installed), 45% E	7,282,593
Electrical (installed), 25% E	4,045,885
Building (process and auxillary), 40% E	6,473,416
Yard improvement, 10% E	1,618,354
Service facillities, 30% E	4,855,062
Land	887,500
Total direct cost (D)	49,923,625
2. Indirect cost	
Engineering and supervision, 32% E	5,178,732
Construction expenses, 34% E	5,502,403
Total	10,681,135
3. Contractor' fee, 5% (D+I)	3,030,238
Contingency, 10% (D+I)	6,060,476
Total	9,090,714
4. Fixed-capital investment (1+2+3)	69,695,474
5. Working capital, 10% of capital investment	7,743,942
6. Total capital investment (4+5)	77,439,416

ตารางที่ 5. Estimation of capital 1,200 ton/yr.

Components	Cost (baht)
1. Direct cost	
Purchased equipment, E	18,054,366
Purchased equipment installaion, 40% E	7,221,746
Instrumentation and controls (installed), 13% E	2,347,068
Piping (installed), 45% E	8,124,465
Electrical (installed), 25% E	4,513,592
Building (process and auxillary), 40% E	7,221,746
Yard improvement, 10% E	1,805,437
Service facillities, 30% E	5,416,310
Land	887,500
Total direct cost (D)	55,592,230
2. Indirect cost	
Engineering and supervision, 32% E	5,777,397
Construction expenses, 34% E	6,138,484
Total	11,915,881
3. Contractor' fee, 5% (D+I)	3,375,406
Contingency, 10% (D+I)	6,750,812
Total	10,126,218
4. Fixed-capital investment (1+2+3)	77,634,329
5. Working capital, 10% of capital investment	8,626,037
6. Total capital investment (4+5)	86,260,366

**ตารางที่ 6. Estimation of total production cost at production rate 500 ton/year**

Components	Cost (baht)
I. Manufacturing cost	
A. Direct production cost	
1. Raw material	50,384,350
2. Operating labor	2,041,200
3. Utilities	11,330,122
4. Maintainance and repair (5% of fixed capital investment)	2,316,456
5. Operaing supplies (1% of fixed capital investment)	463,291
6. Laboratory charges 915% of operating labor)	306,180
B. Fixed charges	
1. Depreciation	4,089,747
2. Local taxed 93% of fixed capital investment)	1,389,874
3. Insurance (1% of fixed capital investment)	463,291
C. Plant overhead costs (10% of total production cost)	9,563,522
Total manufacturing cost	82,348,166
II. General expenses	
A. Administrative cost	
1. Executive salaries	1,812,000
2. Others (2% of total production cost)	1,912,731
B. Distribution and marketing (10% of total production cost)	9,563,655
Total general expense	13,288,386
Total production cost (I+II)	95,636,553

**ตารางที่ 7. Estimation of total production cost at production rate 800 ton/year**

Components	Cost (baht)
I. Manufacturing cost	
A. Direct production cost	
1. Raw material	80,614,960
2. Operating labor	2,041,200
3. Utilities	18,128,194
4. Maintainance and repair (5% of fixed capital investment)	3,054,490
5. Operating supplies (1% of fixed capital investment)	610,898
6. Laboratory charges 915% of operating labor)	306,180
B. Fixed charges	
1. Depreciation	5,418,207
2. Local taxed 93% of fixed capital investment)	1,832,694
3. Insurance (1% of fixed capital investment)	610,898
C. Plant overhead costs (10% of total production cost)	14,708,939
Total manufacturing cost	127,326,660
II. General expenses	
A. Administrative cost	
1. Executive salaries	1,812,000
2. Others (2% of total production cost)	2,941,788
B. Distribution and marketing (10% of total production cost)	14,708,939
Total general expense	19,462,727
Total production cost (I+II)	147,462,727

**ตารางที่ 8. Estimation of total production cost at production rate 1,000 ton/year**

Components	Cost (baht)
I. Manufacturing cost	
A. Direct production cost	
1. Raw material	100,768,700
2. Operating labor	2,041,200
3. Utilities	22,660,243
4. Maintainance and repair (5% of fixed capital investment)	3,484,774
5. Operating supplies (1% of fixed capital investment)	696,955
6. Laboratory charges 915% of operating labor)	306,180
B. Fixed charges	
1. Depreciation	6,192,718
2. Local taxed 93% of fixed capital investment)	2,090,864
3. Insurance (1% of fixed capital investment)	696,955
C. Plant overhead costs (10% of total production cost)	18,044,947
Total manufacturing cost	156,983,536
II. General expenses	
A. Administrative cost	
1. Executive salaries	1,812,000
2. Others (2% of total production cost)	3,608,989
B. Distribution and marketing (10% of total production cost)	18,044,947
Total general expense	23,465,936
Total production cost (I+II)	180,449,473

**ตารางที่ 9. Estimation of total production cost at production rate 1,200 ton/year**

Components	Cost (baht)
I. Manufacturing cost	
A. Direct production cost	
1. Raw material	120,922,440
2. Operating labor	2,041,200
3. Utilities	27,192,292
4. Maintainance and repair (5% of fixed capital investment)	3,881,716
5. Operaing supplies (1% of fixed capital investment)	776,343
6. Laboratory charges 915% of operating labor)	306,180
B. Fixed charges	
1. Depreciation	6,907,215
2. Local taxed 93% of fixed capital investment)	2,329,030
3. Insurance (1% of fixed capital investment)	776,343
C. Plant overhead costs (10% of total production cost)	21,403,171
Total manufacturing cost	186,535,933
II. General expenses	
A. Administrative cost	
1. Executive salaries	1,812,000
2. Others (2% of total production cost)	4,280,635
B. Distribution and marketing (10% of total production cost)	21,403,174
Total general expense	27,495,809
Total production cost (I+II)	214,031,742

ตารางที่ 10. ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ที่กำล้งการผลิต 500 ต้นต่อปี

line	Item	Year										
		0/2000	1/2001	2/2002	3/2003	4/2004	5/2005	6/2006	7/2207	8/2008	9/2009	10/2010
1	Fixed capital investment	-46,329,128	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Working capital	-5,147,681	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Total capital investment (1+2)	-51,476,809	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Annual income	0	100,000,000	100,000,000	100,000,000	100,000,000	100,000,000	100,000,000	100,000,000	100,000,000	100,000,000	100,000,000
5	Annual manufacturing cost	0	-82,348,166	-82,348,166	-82,348,166	-82,348,166	-82,348,166	-82,348,166	-82,348,166	-82,348,166	-82,348,166	-82,348,166
6	Annual general expense	0	-13,288,386	-13,288,386	-13,288,386	-13,288,386	-13,288,386	-13,288,386	-13,288,386	-13,288,386	-13,288,386	-13,288,386
7	Total product cost (5+6)	0	-95,636,552	-95,636,552	-95,636,552	-95,636,552	-95,636,552	-95,636,552	-95,636,552	-95,636,552	-95,636,552	-95,636,552
8	Annual profit before tax (4+7)	0	4,363,448	4,363,448	4,363,448	4,363,448	4,363,448	4,363,448	4,363,448	4,363,448	4,363,448	4,363,448
9	Annual profit after tax (0.7*8)	0	3,054,414	3,054,414	3,054,414	3,054,414	3,054,414	3,054,414	3,054,414	3,054,414	3,054,414	3,054,414
10	Annual depreciation	0	4,089,747	4,089,747	4,089,747	4,089,747	4,089,747	4,089,747	4,089,747	4,089,747	4,089,747	4,089,747
11	Savage value+working capital+land	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,816,884
12	Annual cash flow (9+10)	-51,476,809	7,144,161	7,144,161	7,144,161	7,144,161	7,144,161	7,144,161	7,144,161	7,144,161	7,144,161	17,961,045
13	NPV @ 15%	-12,948,150										
14	IROR	8.57%										
15	Payback period (year)	8										

ตารางที่ 11. ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ที่กำล้งการผลิต 800 ต้นต่อปี

line	Item	Year										
		0/2000	1/2001	2/2002	3/2003	4/2004	5/2005	6/2006	7/2207	8/2008	9/2009	10/2010
1	Fixed capital investment	-61,089,803	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Working capital	-6,787,756	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Total capital investment (1+2)	-67,877,559	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Annual income	0	160,000,000	160,000,000	160,000,000	160,000,000	160,000,000	160,000,000	160,000,000	160,000,000	160,000,000	160,000,000
5	Annual manufacturing cost	0	-127,326,660	-127,326,660	-127,326,660	-127,326,660	-127,326,660	-127,326,660	-127,326,660	-127,326,660	-127,326,660	-127,326,660
6	Annual general expense	0	-19,462,727	-19,462,727	-19,462,727	-19,462,727	-19,462,727	-19,462,727	-19,462,727	-19,462,727	-19,462,727	-19,462,727
7	Total prodeut cost (5+6)	0	-146,789,387	-146,789,387	-146,789,387	-146,789,387	-146,789,387	-146,789,387	-146,789,387	-146,789,387	-146,789,387	-146,789,387
8	Annual profit before tax (4+7)	0	13,210,613	13,210,613	13,210,613	13,210,613	13,210,613	13,210,613	13,210,613	13,210,613	13,210,613	13,210,613
9	Annual profit after tax (0.7*8)	0	9,247,429	9,247,429	9,247,429	9,247,429	9,247,429	9,247,429	9,247,429	9,247,429	9,247,429	9,247,429
10	Annual depreciation	0	5,418,207	5,418,207	5,418,207	5,418,207	5,418,207	5,418,207	5,418,207	5,418,207	5,418,207	5,418,207
11	Savage value+working capital+land	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13,933,026
12	Annual cash flow (9+10)	-67,877,559	14,655,636	14,655,636	14,655,636	14,655,636	14,655,636	14,655,636	14,655,636	14,655,636	14,655,636	28,598,662
13	NPV @ 15%	9,169,906										
14	IROR	18.,27%										
15	Payback period (year)	5										

ตารางที่ 12. ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ที่กำลั้งการผลิต 1,000 ต้นต่อปี

line	Item	Year										
		0/2000	1/2001	2/2002	3/2003	4/2004	5/2005	6/2006	7/2007	8/2008	9/2009	10/2010
1	Fixed capital investment	-69,695,474	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Working capital	-7,743,942	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Total capital investment (1+2)	-77,439,416	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Annual income	0	200,000,000	200,000,000	200,000,000	200,000,000	200,000,000	200,000,000	200,000,000	200,000,000	200,000,000	200,000,000
5	Annual manufacturing cost	0	-156,983,536	-156,983,536	-156,983,536	-156,983,536	-156,983,536	-156,983,536	-156,983,536	-156,983,536	-156,983,536	-156,983,536
6	Annual general expense	0	-23,465,936	-23,465,936	-23,465,936	-23,465,936	-23,465,936	-23,465,936	-23,465,936	-23,465,936	-23,465,936	-23,465,936
7	Total product cost (5+6)	0	-180,449,472	-180,449,472	-180,449,472	-180,449,472	-180,449,472	-180,449,472	-180,449,472	-180,449,472	-180,449,472	-180,449,472
8	Annual profit before tax (4+7)	0	19,550,528	19,550,528	19,550,528	19,550,528	19,550,528	19,550,528	19,550,528	19,550,528	19,550,528	19,550,528
9	Annual profit after tax (0.7*8)	0	13,685,370	13,685,370	13,685,370	13,685,370	13,685,370	13,685,370	13,685,370	13,685,370	13,685,370	13,685,370
10	Annual depreciation	0	6,192,718	6,192,718	6,192,718	6,192,718	6,192,718	6,192,718	6,192,718	6,192,718	6,192,718	6,192,718
11	Savage value+working capital+land	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15,749,779
12	Annual cash flow (9+10)	-77,439,416	19,878,088	19,878,088	19,878,088	19,878,088	19,878,088	19,878,088	19,878,088	19,878,088	19,878,088	35,627,867
13	NPV @ 15%	26,217,213										
14	IROR	23.03%										
15	Payback period (year)	4										

ตารางที่ 13. ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ที่กำลั้งการผลิต 1,200 ต้นต่อปี

line	Item	Year										
		0/2000	1/2001	2/2002	3/2003	4/2004	5/2005	6/2006	7/2207	8/2008	9/2009	10/2010
1	Fixed capital investment	-77,634,329		0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Working capital	-8,626,037	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Total capital investment (1+2)	-86,260,366	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Annual income	0	240,000,000	240,000,000	240,000,000	240,000,000	240,000,000	240,000,000	240,000,000	240,000,000	240,000,000	240,000,000
5	Annual manufacturing cost	0	-186,535,933	-186,535,933	-186,535,933	-186,535,933	-186,535,933	-186,535,933	-186,535,933	-186,535,933	-186,535,933	-186,535,933
6	Annual general expense	0	-27,495,809	-27,495,809	-27,495,809	-27,495,809	-27,495,809	-27,495,809	-27,495,809	-27,495,809	-27,495,809	-27,495,809
7	Total product cost (5+6)	0	-214,031,742	-214,031,742	-214,031,742	-214,031,742	-214,031,742	-214,031,742	-214,031,742	-214,031,742	-214,031,742	-214,031,742
8	Annual profit before tax (4+7)	0	25,968,258	25,968,258	25,968,258	25,968,258	25,968,258	25,968,258	25,968,258	25,968,258	25,968,258	25,968,258
9	Annual profit after tax (0.7*8)	0	18,177,781	18,177,781	18,177,781	18,177,781	18,177,781	18,177,781	18,177,781	18,177,781	18,177,781	18,177,781
10	Annual depreciation	0	6,907,215	6,907,215	6,907,215	6,907,215	6,907,215	6,907,215	6,907,215	6,907,215	6,907,215	6,907,215
11	Savage value+working capital+land	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17,425,760
12	Annual cash flow (9+10)	-86,260,366	25,084,996	25,084,996	25,084,996	25,084,996	25,084,996	25,084,996	25,084,996	25,084,996	25,084,996	42,510,756
13	NPV @ 15%	43,942,807										
14	IROR	26.90%										
15	Payback period (year)	3										