กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน

โครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสเชิงพาณิชย์

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

มกราคม 2555

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ร่วมกับ บริษัท จีอีอี. แมเนจเม้นท์ จำกัด
Gee. Management Co.,Ltd.

รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร

Executive Summary Report

โครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสเชิงพาณิชย์

Feasibility Study on Cellulosic Ethanol Production in Commercial Scale.

สารบัญ

	หน้า Page
สารบัญ	**I**
สารบัญตาราง	**II**
สารบัญรูป	**III**
1. หลักการและเหตุผล	1
1. Project Principle	1
2. การผลิตเอทานอล	2
2. Ethanol production	2
3. การคัดเลือกวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลส	8
3. Raw material selection for Ethanol production from cellulose	8
4. กระบวนการเก็บเกี่ยว ขนส่ง และการเก็บรักษาวัตถุดิบที่เหมาะสม	9
4. Harvest, transportation, and appropriate storage condition	9
5. การศึกษากระบวนการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสที่เหมาะสม	10
5. The optimal Ethanol production from cellulose study	10
6. การศึกษาวิจัยผลิตเอทานอลจากเซลลูโลส	12
6. Ethanol production from Cellulose research study	12
7. การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการลงทุนผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสเชิงพาณิชย์	17
7. Investment feasibility analysis for cellulosic ethanol production in commercial scale	17
8. ข้อเสนอแนะและการสนับสนุนจากภาครัฐ	20

8. Suggestion and governmental support 20

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
Table		**Page**
ตารางที่ 2-1	องค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลสในชีวมวลต่างๆ	5
Table 2-1	The elements of Lignocellulosic in biomass	5
ตารางที่ 4-1	สรุปวิธีการเก็บเกี่ยว การเก็บรักษา และการขนส่งของวัตถุดิบ 3 ชนิด	9
Table 4-1	The summary of harvesting, storage, and transportation for rice straw, corncob, and bagasse	9
ตารางที่ 6-1	สภาวะการย่อยสลายเซลลูโลสที่เหมาะสมสำหรับชีวมวลแต่ละชนิด	13
Table 6-1	The most appropriate condition in digesting cellulose in each biomass	13
ตารางที่ 7-1	ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของโครงการ ต้นแบบ	19
Table 7-1	The results from cost-benefit analysis of each pilot project	19

สารบัญรูป

รูปที่		**หน้า**
Picture		**Page**
รูปที่ 2-1	ส่วนประกอบภายในชีวมวล	6
Picture 2-1	The elements in biomass	6
รูปที่ 2-2	องค์ประกอบภายในผนังเซลล์พืชแยกตามส่วนต่างๆ	7
Picture 2-2	The elements in plant cell wall.	7
รูปที่ 6-1	การผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสในฟางข้าว	14
Picture 6-1	Producing Ethanol from cellulose in rice straw	14
รูปที่ 6-2	การผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสในชานอ้อย	15
Picture 6-2	Producing Ethanol from cellulose in bagasse	15
รูปที่ 6-3	การผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสในซังข้าวโพด	16
Picture 6-3	Producing Ethanol from cellulose in corncob	16
รูปที่ 8-1	แผนพัฒนาการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลส (ปี 2555-2565)	20
Picture 8-1	Cellulose to Ethanol Development Plan (2012 – 2022)	20

รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร

Executive Summary Report

โครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสเชิงพาณิชย์

Feasibility Study on Cellulosic Ethanol Production in Commercial Scale.

1. หลักการและเหตุผล

การพัฒนาเชื้อเพลิงชีวภาพ เป็นหนึ่งในเป้าหมายหลักของยุทธศาสตร์การพัฒนาพลังงานของประเทศในปัจจุบัน เพื่อลดการนำเข้าน้ำมันและพึ่งพาตนเองด้านพลังงานให้มากขึ้น และเป็นทางเลือกแก่ประชาชนตามแนวทางเศรษฐกิจพอเพียงและการพัฒนาที่ยั่งยืน การผลิตเอทานอลส่วนใหญ่ของโลกใช้วัตถุดิบหลัก 2 ประเภท คือ 1.น้ำตาล เช่น อ้อย และกากน้ำตาล 2.แป้ง เช่น มันสำปะหลัง ข้าว และข้าวโพด แต่อย่างไรก็ตาม วัตถุดิบดังกล่าวอาจไม่เพียงพอต่อการผลิตเอทานอลในระยะข้างหน้า เนื่องจากเป็นการนำเอาพืชอาหารมาใช้ในการผลิตเอทานอล ซึ่งอาจส่งผลให้ราคาสินค้าอาหารภายในประเทศปรับสูงขึ้น ปัจจุบันในหลายประเทศมีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทอื่น เช่น เซลลูโลส ซึ่งเป็นเศษเหลือใช้ที่ได้จากพืช

เซลลูโลส เป็นแหล่งวัตถุดิบที่ได้รับความสนใจจากนักวิทยาศาสตร์ในการนำมาผลิตเอทานอลเป็นอย่างมาก โดยเอทานอลที่ผลิตจากเซลลูโลสเป็นเอทานอลที่ผลิตจากวัตถุดิบหลักประเภทฟางข้าว กากอ้อย ซังข้าวโพด และเปลือกไม้ รวมทั้งวัชพืช เช่น ผักตบชวา หญ้า และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น เหง้ามันสำปะหลัง เป็นต้น เนื่องจากในวัตถุดิบ

1. Project Principle

Biofuel development is one of the primary objectives of the country's energy development strategy to reduce the import and becomes more self-dependent on energy, and also being a choice for people regarding sufficient economy and sustainable development. Ethanol production generally uses two major raw materials that are (1) sugar such as sugar cane and molasses and (2) starch such as cassava, rice, and corn. However, those raw materials are probably insufficient for future ethanol production as they are edible crops and may lead to rising domestic food price. Many countries are already developed ethanol production technology from other raw materials such as cellulose, which is a plant residue.

Cellulose is a raw material that is interested by scientists for ethanol production. Ethanol being made from cellulose is an ethanol that made of primary raw materials such as rice straw, bagasse, bark, corncob, and weed such as water hyacinth, grass, and agricultural residue like tapioca root for

ดังกล่าวจะประกอบด้วยลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulosic Material) ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรตที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของเซลล์พืช ที่เกิดขึ้นจากหน่วยย่อยของน้ำตาลกลูโคสเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวหรือที่เรียกว่าโพลีเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส ทำให้เอทานอลที่ผลิตจากเซลลูโลสมีสมบัติและลักษณะทางเคมีเช่นเดียวกับเอทานอลที่ผลิตจากวัตถุดิบประเภทน้ำตาลและแป้ง ดังนั้นถ้าสามารถนำเซลลูโลสดังกล่าวมาทำการแปรรูปเป็นเอทานอล จะทำให้ช่วยเพิ่มมูลค่าของเสีย ช่วยลดปัญหามลพิษจากการเผาทิ้งวัสดุดังกล่าว และยังเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงขึ้นด้วย

ดังนั้นกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานจึงได้จัดทำโครงการความเป็นไปได้ในการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสในเชิงพาณิชย์ โดยมีเป้าหมายเพื่อศึกษาเทคโนโลยีและความเป็นไปได้ในการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสที่เหมาะสมกับประเทศไทยในระดับเชิงพาณิชย์ วัตถุประสงค์ของโครงการประกอบด้วย

(1) ศึกษาและพัฒนาการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลส

(2) ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัตถุดิบที่หลากหลายมาผลิตเอทานอล

2. การผลิตเอทานอล

เอทานอล (Ethanol) หรือ เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวกแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่ง เอทานอลเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และ

example. Those materials contains Lignocellulose, a carbohydrate organic component that is the primary part of plant cells created from a long connecting chain of glucose molecules or glucose polymer, which makes Ethanol being made from cellulose possesses the same chemical characteristics with Ethanol made from sugar and starch. If such cellulose can be used for Ethanol production then it will create value for them, reduce the pollution from burning those materials, and utilize the residue for maximum benefit, therefore the Department of Alternative Energy Development and Efficiency has developed the feasibility study for commercial production of cellulosic ethanol, with the target to study technologies and feasibility of Ethanol production from cellulose that is suitable for Thailand for commercial purpose. The objectives of the project are

(1) Study and development of Ethanol production from cellulose.

(2) Study the feasibility to produce Ethanol from various raw materials.

2. Ethanol production

Ethanol or Ethyl alcohol is an alcoholic hydrocarbon compound. It is an organic compound that composes of carbon, hydrogen, and oxygen. It is able to dissolve

ออกซิเจน สามารถละลายทั้งในน้ำและสารละลายอินทรีย์อื่นๆ เป็นแอลกอฮอล์ที่สามารถนำมาบริโภค นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในรูปเอทานอลไร้น้ำ (Anhydrous ethanol) ที่มีความบริสุทธิ์สูง (เข้มข้น 99.5% โดยปริมาตร) หรืออาจใช้เป็นเอทานอลที่มีน้ำ (Hydrous ethanol) การผลิตเอทานอลสามารถใช้พืชหลายชนิดมาผ่านกระบวนการหมักแปรรูปเป็นแอลกอฮอล์ และผ่านกระบวนการอื่นๆ เพื่อเพิ่มความเข้มข้นให้กับแอลกอฮอล์จนกลายเป็นเอทานอล และหากนำไปผสมกับน้ำมันเบนซินจะกลายเป็นเชื้อเพลิงให้กับรถยนต์ ในการผลิตเอทานอลนั้นวัตถุดิบทางการเกษตรที่มีน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวอยู่ในโครงสร้างโมเลกุลจึงสามารถใช้ในการผลิตเอทานอลได้ โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

(1) วัตถุดิบประเภทแป้ง ได้แก่ ธัญพืช เช่น ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ข้าวฟ่าง และพวกพืชหัว เช่น มันสำปะหลัง, มันฝรั่ง, มันเทศ

(2) วัตถุดิบประเภทน้ำตาล ได้แก่ อ้อย, กากน้ำตาล (โมลาส), บีทรูท, ข้าวฟ่างหวาน

(3) วัตถุดิบประเภทเส้นใย ส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้จากผลิตผลทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย ซังข้าวโพด รำข้าว เศษไม้ เศษกระดาษ ขี้เลื่อย วัชพืช รวมทั้งของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานกระดาษ

วัตถุดิบที่สามารถใช้ในการผลิตเอทานอลในปัจจุบันมีด้วยกันหลายชนิด ได้แก่ อ้อย กากน้ำตาล มันสำปะหลัง มันเทศ มันฝรั่ง ข้าว ข้าวโพด ข้าวสาลี และข้าวฟ่างหวาน โดยมีปริมาณเอทานอลที่สามารถผลิตได้จากวัตถุดิบแต่ละประเภท (ลิตร/ตัน) ดังนี้

either in water or another organic solution. Ethanol is edible, and also use as energy in the form of high purity anhydrous ethanol (99.5% concentration by volume) or use as hydrous ethanol. Various plants can be used for Ethanol production by processing for alcohol, and though other processes to increase the alcohol concentration until it becomes Ethanol. Ethanol can be mixed with a gasoline and use as a vehicle engine. Plants with single molecular sugar structure can be used for Ethanol production, which can be categorized to three groups as below

(1) Starch, which is cereals like rice, wheat, corn, barley, sorghum and tuber like cassava, potato, and sweet potato

(2) Sugar such as sugar cane, molasses, beetroot, and sweet sorghum

(3) Fiber, which most of them is an agricultural by-product such as rice bran, rice straw, bagasse, corn cobs, wood chips, waste paper, sawdust, weeds, and also residue from industrial such as pulp and paper industry.

Currently many raw materials can be used for Ethanol production such as sweet potato, cassava and sugar cane, rice, corn, wheat and sweet sorghum. Ethanol amount being produced from each raw material varies.

1 ton of raw material	The quantity of Ethanol that can produce (Litre)
กากน้ำตาล (molasses)	260
อ้อย (sugar cane)	70
หัวมันสำปะหลังสด (potato)	180
ข้าวฟ่าง (sorghum)	70
ธัญพืช(เช่น ข้าว ข้าวโพด) cereals (like rice, corn)	375
น้ำมะพร้าว (coconut juice)	83

ที่มา: โครงการที่ได้รับทุนวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
(http://www.riclib.nrct.go.th/nrctfund/00003.html)

สำหรับเทคโนโลยีการผลิตเอทานอลในอดีตจะจำกัดอยู่ที่น้ำตาล แป้ง ข้าวโพดซึ่งเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตเอทานอล การนำมาผลิตเอทานอลจะทำให้พืชเหล่านี้มีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้น ส่วนเทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่ใช้ ได้แก่ การผลิตเอทานอลจาก Lignocellulosic biomass ซึ่งได้แก่ ซากต้นไม้ เศษไม้ กระดาษ ฟางข้าว เศษหญ้า ซึ่งใช้กรรมวิธีเปลี่ยน Lignocellulosic biomass ให้กลายเป็นน้ำตาล จากนั้นหมักน้ำตาลที่ได้ให้กลายเป็นเอทานอล โดยส่วนประกอบหลักของ Lignocellulosic biomass ได้แก่ พวกเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน โดยเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสจะประกอบด้วยกลูโคสสายโมเลกุลยาว และยังมีส่วนประกอบรองของพืชอื่นๆ อีก ได้แก่ ลิกนิน ซึ่งเป็นส่วนที่สร้างความแข็งแรงให้แก่ต้นไม้ ลิกนินมีความคล้ายคลึงกับถ่านหิน คือ ให้ค่าพลังงานสูงระดับเดียวกับถ่านหิน แต่การเผาไหม้ลิกนินดีกว่าเพราะไม่มีซัลเฟอร์ ลิกนิน สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานในการ

Previously Ethanol development technology has been limited to the use of sugar, starch, or corn, which are key raw materials for Ethanol production, and their price increases as they have been adopted for Ethanol production. The new technologies for Ethanol production such as Ethanol production from Lignocellulosic biomass are such as tree residue, wood chip, paper, grass, rice straw. The process transfers Lignocellulosic biomass to sugar, and then process sugar to obtain Ethanol. The primay ingredients of Lignocellulosic biomass are such as cellulose, hemicellulose, or lignin. Cellulose and hemicellulose consist of long molecular glocuse chain and secondary substance like lignin that creates the durability of the tree. Lignin is similar to coal in the aspect that it

ผลิตเอทานอลได้ ซึ่งปกติปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน จะมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ และภาวะที่เจริญเติบโตของพืชนั้นๆ ดังแสดงในตารางที่ 2-1

provides high energy level like coal but with better combustion because it has no sulfur. Lignin is able to use for Ethanol production. The amount of cellulose, hemicellulose, and lignin vary according to the species and growing condition of each plant according to Table 2-1.

ตารางที่ 2-1 องค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลสในชีวมวลต่างๆ

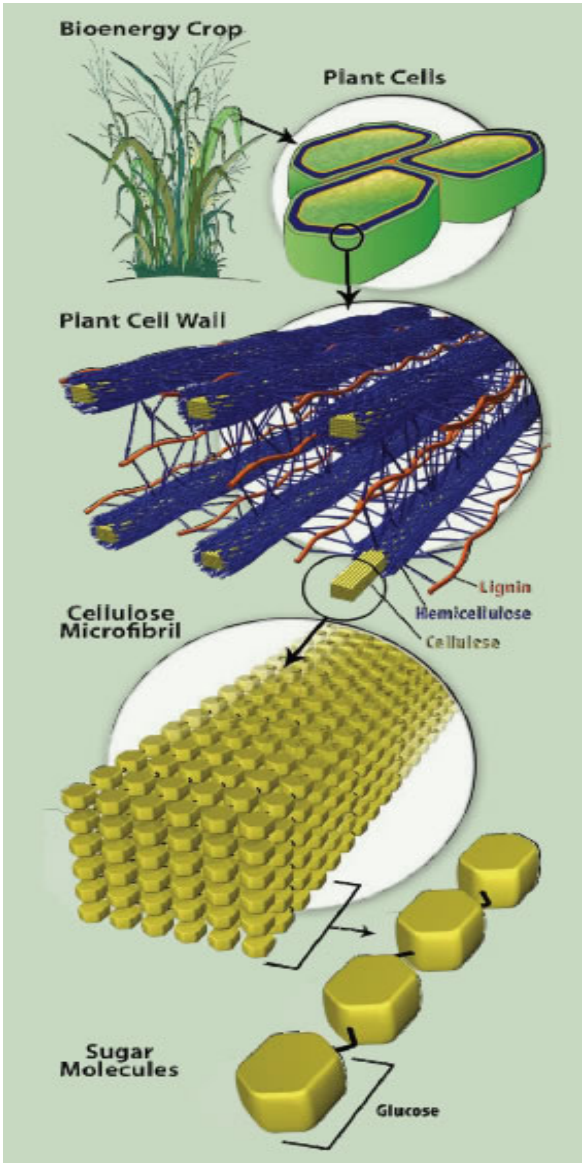
Table 2-1 The elements of Lignocellulosic in biomass.

Biomass	The complements in Plant cell (%)		
	Cellulose	Hemicellulose	Lignin
ฟางข้าว (Rice straw)	32.1	24	12.5
ฟางข้าวสาลี (Wheat straw)	30.5	28.4	18
ชานอ้อย (Bagasse)	33.4	30	18.9
ซังข้าวโพด (Corncob)	45	35	15
ต้นปาล์ม (Palm tree)	37.14	30.59	22.32
ต้นมันสำปะหลัง (Potato)	32.2	13.85	26.96

ที่มา: พรรณวิไล, 2545

วัสดุลิกโนเซลลูโลสิก (Lignocellulosic material) มีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และ ลิกนิน (Lignin) ดังแสดงในรูปที่ 2-1 และรูปที่ 2-2

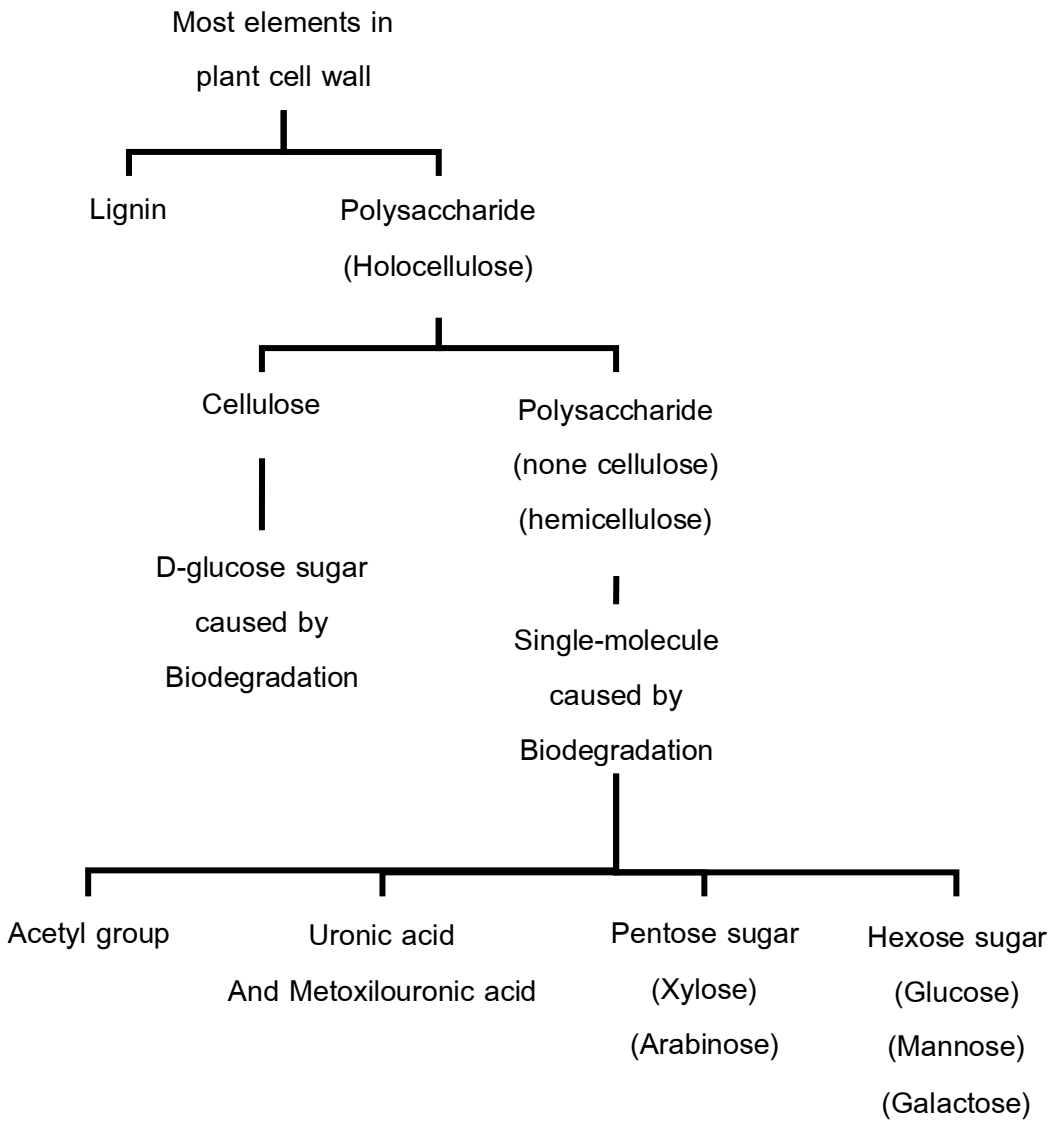
The elements of Lignocellulosic material are such as Cellulose, Hemicellulose and Lignin according to picture 2-1 and picture 2-2.



รูปที่ 2-1 ส่วนประกอบภายในชีวมวล

Picture2-1 The elements in biomass

ที่มา: http://www.lbl.gov/Publications/YOS/Feb/



รูปที่ 2-2 องค์ประกอบภายในผนังเซลล์พืชแยกตามส่วนต่างๆ

Picture 2-2 The elements in plant cell wall

ที่มา: พรรณวิไล, 2545

3. การคัดเลือกวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลส

ดำเนินการศึกษาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร จำนวน 5 ชนิด แล้วคัดเลือกให้เหลือ 3 ชนิด ที่มีศักยภาพที่เหมาะสมทั้งด้านราคาและปริมาณในการผลิตเอทานอลในเชิงพาณิชย์ เพื่อนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสโดยคำนึงถึงพืชที่มิใช่พืชอาหาร หรือพืชที่มีการใช้ประโยชน์น้อย หรือเป็นวัสดุเหลือใช้ที่มีความเหมาะสมทั้งด้านราคา และปริมาณโดยวัสดุที่เหมาะสมในการนำมาเป็นวัตถุดิบของการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสที่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือวัชพืช หรือ พืชที่มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น โดยมุ่งเน้นประเด็นศึกษาไปยังพืชชีวมวลของประเทศไทย เนื่องจากพืชชีวมวล หมายถึง วัสดุหรือสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือกากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร ซึ่งสามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้ ผลการคัดเลือกพืชชีวมวลที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการวิจัย 5 ชนิด ได้แก่ ซังข้าวโพด ฟางข้าว ชานอ้อย ต้นปาล์ม และเหง้ามันสำปะหลัง

ในการคัดเลือกวัสดุที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการศึกษาวิจัยผลิตเอทานอลจากเซลลูโลส เพื่อศึกษาในเชิงพาณิชย์นี้ วัสดุที่จะนำมาใช้ต้องมีความเหมาะสมด้านปริมาณเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบของวัตถุดิบ ปริมาณวัตถุดิบที่จะมีเพียงพอสำหรับการผลิตในระดับอุตสาหกรรมได้ตลอดทั้งปี หาได้ง่าย ราคาถูก และกระบวนการผลิตจากวัตถุดิบสามารถผลิตเอทานอลต่อหน่วยวัตถุดิบได้ในปริมาณมาก วัสดุที่ได้รับการคัดเลือก

3. Raw material selection for Ethanol production from cellulose

The advisor has studied five agricultural residues before shortlisted three of them that are appropriate in both price and volume for commercial Ethanol production to use as raw materials for Ethanol production from cellulose from non-edible plant or plants that having less utilization or residue that is appropriate in both value and volume. The appropriate plants that are suitable for Ethanol production apart from cellulose should be short-lived plant or agricultural residue. The target of the study is biomass plants as they are organic substances that store natural energy and able to use for energy production. Five biomass plants that are appropriate for the research are corncob, rice straw, bagasse, palm tree and cassava root.

The selection criteria for commercial Ethanol production from cellulose concerning the amount of cellulose in the raw material, which must be sufficient for all-year commercial production, able to find it easily at a cheap price, and able to generate the large amount of Ethanol per unit. The selected material is bagasse, corncob, and rice straw.

ที่จะนำมาใช้ ได้แก่ ชานอ้อย ซังข้าวโพด และฟางข้าว

4. กระบวนการเก็บเกี่ยว ขนส่ง และการเก็บรักษาวัตถุดิบที่เหมาะสม

การศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในด้านการเก็บเกี่ยว เก็บรักษา และขนส่งวัตถุดิบของวัตถุดิบทั้งสามชนิด เพื่อใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสเชิงพาณิชย์ พบว่าปัญหาของระบบการขนส่ง (Logistic) และค่าใช้จ่ายการขนส่งวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตชีวมวลมีการเก็บรักษาและการขนส่งที่ยาก และมีความเสี่ยงสูงในการจัดหาหรือรวบรวมปริมาณชีวมวลที่ต้องการใช้ ให้คงที่ตลอดปี เพราะชีวมวลบางประเภทมีจำกัด และต้องการพื้นที่ในการเก็บรักษาขนาดใหญ่ ดังนั้น การพัฒนาระบบ วิธีการจัดเก็บและขนส่งจึงสำคัญ และจำเป็นมาก โดยสรุปรายละเอียดวิธีการเก็บเกี่ยว การเก็บรักษา และการขนส่งของวัตถุดิบ 3 ชนิด คือ ฟางข้าว ซังข้าวโพด และชานอ้อยได้ดังนี้

4. Harvest, transportation and appropriate storage condition

The appropriate studying process about harvesting, storage, and transportation for commercial Ethanol production found the logistic and transportation problem and observe high risk for providing stable biomass volume throughout the year as some of them are limited and needed large storage space, therefore, development of transportation and storage are very essential. The summary of harvesting, storage, and transportation for bagasse, corncob, and rice straw are listed below.

ตารางที่ 4-1 สรุปวิธีการเก็บเกี่ยว การเก็บรักษา และการขนส่งของวัตถุดิบ 3 ชนิด

Table 4-1 The summary of harvesting, storage, and transportation for 3 raw materials

	ฟางข้าว	ซังข้าวโพด	ชานอ้อย
การเก็บเกี่ยว	- เก็บเกี่ยวด้วยเครื่องจักร - เก็บเกี่ยวด้วยแรงคน	- เก็บเกี่ยวด้วยเครื่องจักร - เก็บเกี่ยวด้วยแรงคน	- เก็บเกี่ยวด้วยเครื่องจักร - เก็บเกี่ยวด้วยแรงคน
การเก็บรักษา	- กองไว้ที่โล่งแจ้ง - อัดเป็นก้อน - ไว้ในที่มีหลังคา อากาศถ่ายเทสะดวก และน้ำไม่ท่วมขัง	- เก็บในกระสอบ - เก็บในยุ้งฉาง	- กองไว้ที่โล่งแจ้งหน้าโรงงาน - อัดเป็นก้อน - มีพลาสติกคลุมกรณีฝนตก
การขนส่ง	- รถลากจากในนา - รถยนต์ - รถบรรทุก	- รถลากจากในไร่ - รถยนต์ - รถบรรทุก	- รถยนต์ - รถบรรทุก

5. การศึกษากระบวนการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสที่เหมาะสม

วิธีการผลิตเอทานอลจากลิกโนเซลลูโลส มี 2 วิธีหลัก ได้แก่

(1) Gasification

Gasification คือ การเปลี่ยนชีวมวลซึ่งมีองค์ประกอบหลักคือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ให้กลายเป็นก๊าซที่เผาไหม้ได้ หรือการแตกสารประกอบประเภทคาร์บอนของเซลลูโลสให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide) คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide) และไฮโดรเจน (Hydrogen) โดยกระบวนการดังกล่าวเป็นการเผาไหม้อินทรียสารแบบจำกัดปริมาณออกซิเจน ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ จากนั้นหมักด้วยจุลินทรีย์จนกลายเป็นแอลกอฮอล์ ผ่านการกลั่นและแยกน้ำจนเป็นเอทานอล แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดคือ ชีวมวลที่นำมาใช้ควรมีคุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่เหมาะสมในการป้อนเตาแก๊สซิไฟเออร์ ดังนี้

(1) มีขนาดที่เหมาะสม และสม่ำเสมอ

(2) มีความชื้นน้อย เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดี (ไม่ควรเกิน 20-30%)

(3) มีความหนาแน่นเชื้อเพลิง (Bulk density) เหมาะสมและสม่ำเสมอ

ข้อดีของระบบแก๊สซิฟิเคชั่น คือ เหมาะกับระบบการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีขนาดกำลังการผลิตต่ำกว่า 1 เมกะวัตต์จึงเหมาะสมกับบริเวณที่มีปริมาณเชื้อเพลิงจำกัด และเหมาะสมกับหมู่บ้านชนบทที่กระแสไฟฟ้าเข้าไม่ถึง

ข้อเสียของระบบแก๊สซิฟิเคชั่น คือ มีน้ำมันดินหรือ

5. The optimal Ethanol production from cellulose study

The Ethanol production from lignocellulose can be done in two ways

(1) Gasification

Gasification turns biomass, which has carbon, hydrogen, and oxygen, to become combustible gas or breaking cellulose carbon compound to become carbon monoxide, carbon dioxide and hydrogen. Such process is an limited oxygen organic combustion process and generates incomplete combustion, and then ferment with microorganism until it becomes alcohol and extract to Ethanol. This process has a limitation as suitable biomass should possess the following characteristic

(1) Appropriate size and consistency

(2) Low humidity for better performance (should not exceed 20-30%)

(3) Appropriate and consistent bulk density

The advantage of gasification is it suits the small electricity generation (less than 1 MW) so it is ideal to use with limited energy area and remote area with no electricity access.

The disadvantage of gasification is the contamination of tar in the gas, so we must eliminate or decrease it in order to prevent engine problems. Moreover, if the combustion has not been designed properly and providing inconsistent energy quality (size, humidity, ash content, heating value) then the fuel will have

ทาร์ (Tar) ผสมในก๊าซเชื้อเพลิงทำให้ต้องหาทางกำจัดหรือทำให้น้อยลง เพื่อไม่ให้มีปัญหาต่อการทำงานของเครื่องยนต์ นอกจากนี้ถ้าออกแบบระบบการเผาไหม้ไม่ดี และมีคุณภาพเชื้อเพลิงที่ไม่สม่ำเสมอ (ขนาดความชื้น ปริมาณขี้เถ้า ค่าความร้อน) จะส่งผลให้ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้มีคุณภาพไม่แน่นอน และการผลิตไฟฟ้าจะไม่สม่ำเสมอ โดยในกรณีที่นำก๊าซเชื้อเพลิงไปผลิตไฟฟ้าโดยเครื่องยนต์ จำเป็นต้องมีช่างเครื่องยนต์ประจำเพื่อให้มีการบำรุงดูแลรักษาที่ดี

(2) Cellulolysis

Cellulolysis คือ การย่อยสลายเซลลูโลสให้กลายเป็นน้ำตาลกลูโคส แล้วหมักน้ำตาลกลูโคสด้วยจุลินทรีย์ กลายเป็นแอลกอฮอล์ ผ่านการกลั่นและแยกน้ำจนเป็นเอทานอล ข้อดีของการผลิต Cellulosic Ethanol มีดังนี้

(1) วัตถุดิบสามารถหาได้ง่าย เนื่องจากเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบหลักของพืชหลายประเภท และสามารถนำส่วนของพืชที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ อาทิ ฟางข้าว ซังข้าวโพด และกากอ้อยมาผลิต

(2) การผลิตและใช้เอทานอลจากเซลลูโลสช่วยลดก๊าซเรือนกระจกได้ถึง 85% ของการผลิตและใช้น้ำมันเบนซิน ขณะที่การผลิตและใช้เอทานอลที่ผลิตจากแป้งช่วยลดก๊าซเรือนกระจก 18-29%

(3) ช่วยลดปัญหาการนำพืชอาหารที่ใช้บริโภคไปผลิตเอทานอล เพราะเซลลูโลสเป็นส่วนของพืชที่ร่างกายมนุษย์ไม่สามารถย่อยได้ วัตถุดิบที่นำมาผลิตจึงไม่ใช่อาหารที่มนุษย์บริโภค

(4) ทำให้มีปริมาณวัตถุดิบใช้ผลิตเอทานอลได้เพิ่มขึ้นเนื่องจากสามารถนำส่วนต่าง ๆ ของพืชมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น อาทิ น้ำอ้อยนำมาผลิตเอทานอลด้วย

inconsistent quality and the electrical generation will not consistent as well. Generating electricity from fuel by engine requires mechanics to standby for appropriate maintenance.

(2) Cellulolysis

Cellulolysis is a decomposition of cellulose to become glucose, and then ferment with microorganism to arrive at alcohol, and extract to Ethanol. The advantage of cellulosis Ethanol production is

(1) The raw material is easy to find because cellulose is the main component of various plants, and able to utilize unused part of plants such as bagasse, corncob, and rice straw for production.

(2) The production and the use of Ethanol made from cellulose can reduce greenhouse gas as much as 85% comparing with gasoline usage. While the production and the use of Ethanol made from starch can reduce greenhouse gas by 18-29%

(3) Reduce the problem for edible food shortage because cellulose is non-digestible for human, the raw material used are therefore non edible.

(4) More material to produce Ethanol as each part of plants can be used for production, such as sugar cane juice can be used for Ethanol production using the same methodology while its residue can be used for cellulosic Ethanol production.

วิธีการเดิม ขณะที่กากอ้อยนำมาผลิต Cellulosic Ethanol จากวิธีการผลิตเอทานอลจากลิกโนเซลลูโลส 2 วิธีหลัก ได้แก่ Gasification และCellulolysis โดยในการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสเชิงพาณิชย์เนื่องจากวิธี Gasification เป็นวิธีที่ใช้อุปกรณ์ในการเผาไหม้ค่อนข้างซับซ้อนอีกทั้งการเดินระบบยุ่งยาก และจะต้องมีผู้ควบคุมดูแลที่มีความชำนาญ ดังนั้นการใช้วิธีนี้จึงมีการลงทุนสูงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี Cellulolysis ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ต้นทุนต่ำ โดยจะใช้วัตถุดิบจากสิ่งเหลือใช้จากการเกษตรที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อีก หาได้ง่ายตามท้องถิ่นที่ทำเกษตรกรรม ดังนั้นวิธี Cellulolysis จึงเป็นวิธีที่มีความเหมาะสมมากกว่าทั้งด้านการปฏิบัติและทางด้านเศรษฐศาสตร์

From both types of Ethanol production, it has been found that Gasification requires complex combustion equipments and requires technical expertise to supervise the installation system, therefore, this method requires higher investment cost than Cellulolysis that requires lower investment cost by using residue for agricultural items that are easily to find from agricultural areas. Cellulolysis is more practical and economical optimality.

6. การศึกษาวิจัยผลิตเอทานอลจากเซลลูโลส

การนำเซลลูโลสมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล ประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญคือ 1) การปรับสภาพเซลลูโลส (Pretreatment) เพื่อกำจัดองค์ประกอบอื่น ได้แก่ ลิกนิน (Lignin) และเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ทำให้เซลลูโลสมีโครงสร้างที่เหมาะสม และเพิ่มพื้นที่ในการเข้าทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ 2) การย่อยสลายเซลลูโลส (Hydrolysis) เพื่อให้ได้น้ำตาลรีดิวซ์ 3) การหมัก (Fermentation) เป็นการนำน้ำตาลรีดิวซ์มาใช้ในการผลิตเอทานอล ในการศึกษาเทคโนโลยีและความเป็นไปได้ในการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสที่เหมาะสมกับประเทศไทยในเชิงพาณิชย์ พบว่าฟางข้าวมีปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสสูงที่สุดร้อยละ 97.28 ส่วนชานอ้อยและซังข้าวโพดมีปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสใกล้เคียง

6. Ethanol production from Cellulose research study

Using cellulose for Ethanol production consists of the important step such as (1) cellulose pretreatment to eliminate other components such as lignin and hemicellulose, making the cellulose structure appropriate and maximize the surface area for enzyme reaction, (2) cellulose hydrolysis to get reducing sugar, (3) fermentation is the use of reducing sugar for Ethanol production. During the feasibility study for commercial production in Thailand, it has been found that rice straw has the highest amount of cellulose and hemicellulose, at 97.28 percent, while bagasse and corncob has the amount of cellulose and hemicellulose at 83.21

กันร้อยละ 83.21 และ 85.73 ตามลำดับ

สภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพเซลลูโลสเพื่อกำจัดองค์ประกอบอื่น ได้แก่ ลิกนิน (Lignin) และเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ทำให้เซลลูโลสมีโครงสร้างที่เหมาะสม และเพิ่มพื้นที่ในการเข้าทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ การปรับสภาพฟางข้าว และชานอ้อย เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการย่อยสลายด้วยเอนไซม์เซลลูเลสต่อไปที่เหมาะสมกับคือการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สำหรับการปรับสภาพในซังข้าวโพดที่เหมาะสมที่สุดคือ การปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมีร่วมกับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

สภาวะที่เหมาะสมในการการย่อยสลายเซลลูโลส (Hydrolysis) เพื่อให้ได้น้ำตาลรีดิวซ์สภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายเซลลูโลสในฟางข้าว ชานอ้อยและซังข้าวโพด ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลสโดยปรับเปลี่ยนค่าความเป็นกรดด่าง ความเข้มข้นเอนไซม์ และระยะเวลาการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลผลิตน้ำตาลรีดิวซ์มากที่สุด ในขณะที่ใช้เอนไซม์เซลลูเลสน้อยที่สุด เป็นการลดค่าใช้จ่ายในการย่อยสลายจากเอนไซม์ ดังตารางที่ 6-1

and 85.73 percent respectively.

The appropriate condition for cellulose treatment to eliminate lignin and hemicellulose to make the cellulose structure appropriate and maximize the area for enzyme reaction is, for rice straw and bagasse, put in the 2-percent Sodium Hydroxide solution for 24 hours. While the most appropriate corncob treatment is using chemical methodologies and heat at 170 Celsius degree for 5 minutes.

The most appropriate condition for hydrolysis to obtain reducing sugar. The most appropriate condition in digesting cellulose in rice straw, bagasse, and corncob which have been treated by the enzyme by adjusting pH, concentration, and reaction time, to get the maximum reducing sugar with less enzyme being used. This can reduce the cost of enzyme digestion (see Table 6-1)

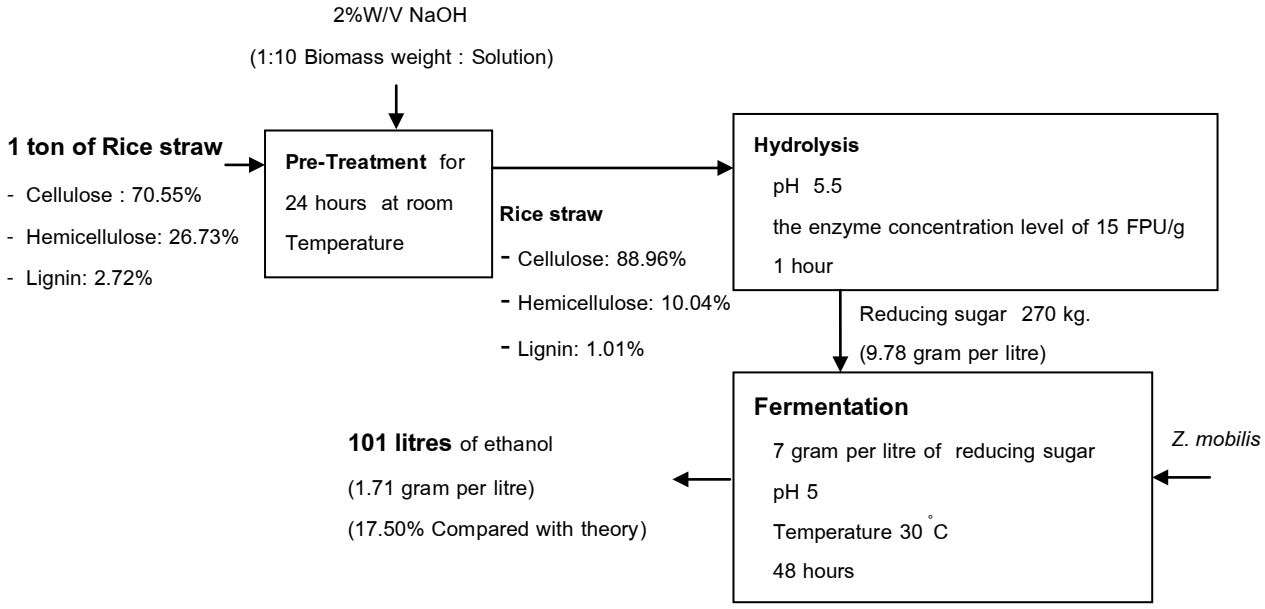
ตารางที่ 6-1 สภาวะการย่อยสลายเซลลูโลสที่เหมาะสมสำหรับชีวมวลแต่ละชนิด

Table 6-1 The most appropriate condition in digesting cellulose in each biomass

Biomass	The enzyme concentration level (FPU/g)	pH	Time (hours)	The quantity of reducing sugar (gram per litre)
ฟางข้าว (Rice straw)	15	5.5	1	9.78
ชานอ้อย (Bagasse)	10	5	4	9.02
ซังข้าวโพด (Corncob)	10	5	4	8.74

สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลจากฟางข้าว คือ สภาวะที่ฟางข้าวผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมี โดยการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปย่อยเพื่อให้ได้น้ำตาลรีดิวซ์ภายใต้สภาวะความเข้มข้นเอนไซม์เซลลูเลส 15 FPU/g ในสารละลายซิเตรตบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรดด่าง 5.5 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำการหมักด้วยเชื้อ *Zymomonas mobilis* ที่ค่าความเป็นกรดด่าง 5 จะทำให้ได้ร้อยละการผลิตเอทานอลเทียบกับค่าทางทฤษฎีสูงที่สุด คือ ร้อยละ 17.50 หรือเท่ากับปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้ 1.71 กรัมต่อลิตร

The most appropriate condition in producing Ethanol from rice straw is the state that rice straw has been chemically treated by being put in the 2-percent Sodium Hydroxide solution for 24 hours and digest to get reducing sugar at the enzyme concentration level of 15 FPU/g in the citrate buffer solution that has pH = 5.5 for one hour, and fermented with Zymomonas mobilis with pH = 5. This will make the Ethanol production highest comparing to the theoretical value that is 17.50 percent, or equivalent to 1.71 gram per litre of Ethanol.

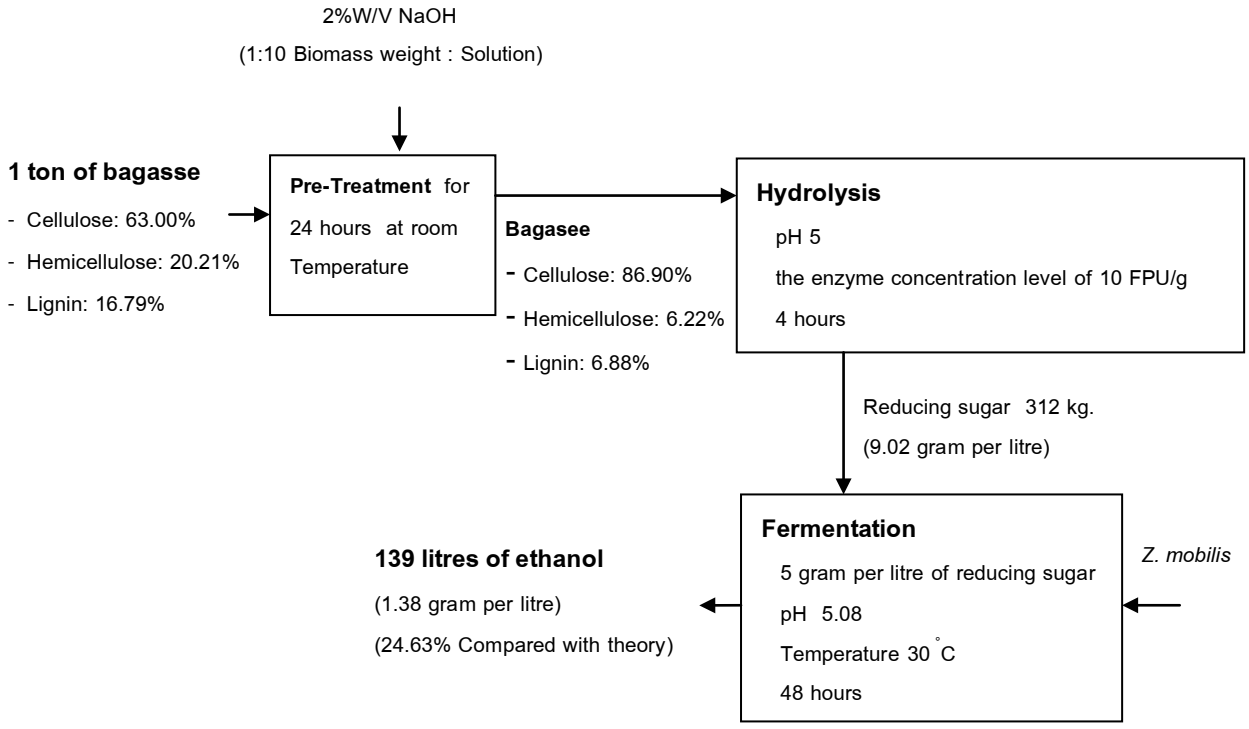


รูปที่ 6-1 การผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสในฟางข้าว

Picture 6-1 Producing Ethanol from cellulose in rice straw

สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลจากชานอ้อย คือ สภาวะที่ชานอ้อยผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมี โดยการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปย่อยเพื่อให้ได้น้ำตาลรีดิวซ์ภายใต้สภาวะความเข้มข้นเอนไซม์เซลลูเลส 10 FPU/g ในสารละลายซิเตรตบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรดด่าง 5 เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ทำการหมักด้วยเชื้อ *Zymomonas mobilis* ที่ค่าความเป็นกรดด่าง 5.08 จะทำให้ได้ร้อยละการผลิตเอทานอลเทียบกับค่าทางทฤษฎีสูงที่สุด คือ ร้อยละ 24.63 หรือเท่ากับปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้ 1.38 กรัมต่อลิตร

The most appropriate condition in producing Ethanol from bagasse is the state that bagasse has been chemically treated by being put in the 2-percent Sodium Hydroxide solution for 24 hours and digest to get reducing sugar at the enzyme concentration level of 10 FTU/g in the citrate buffer solution that has pH = 5.5 for four hours, and fermented with Zymomonas mobilis with pH = 5.08. This will make the Ethanol production highest comparing to the theoretical value that is 24.63 percent, or equivalent to 1.38 gram per litre of Ethanol.

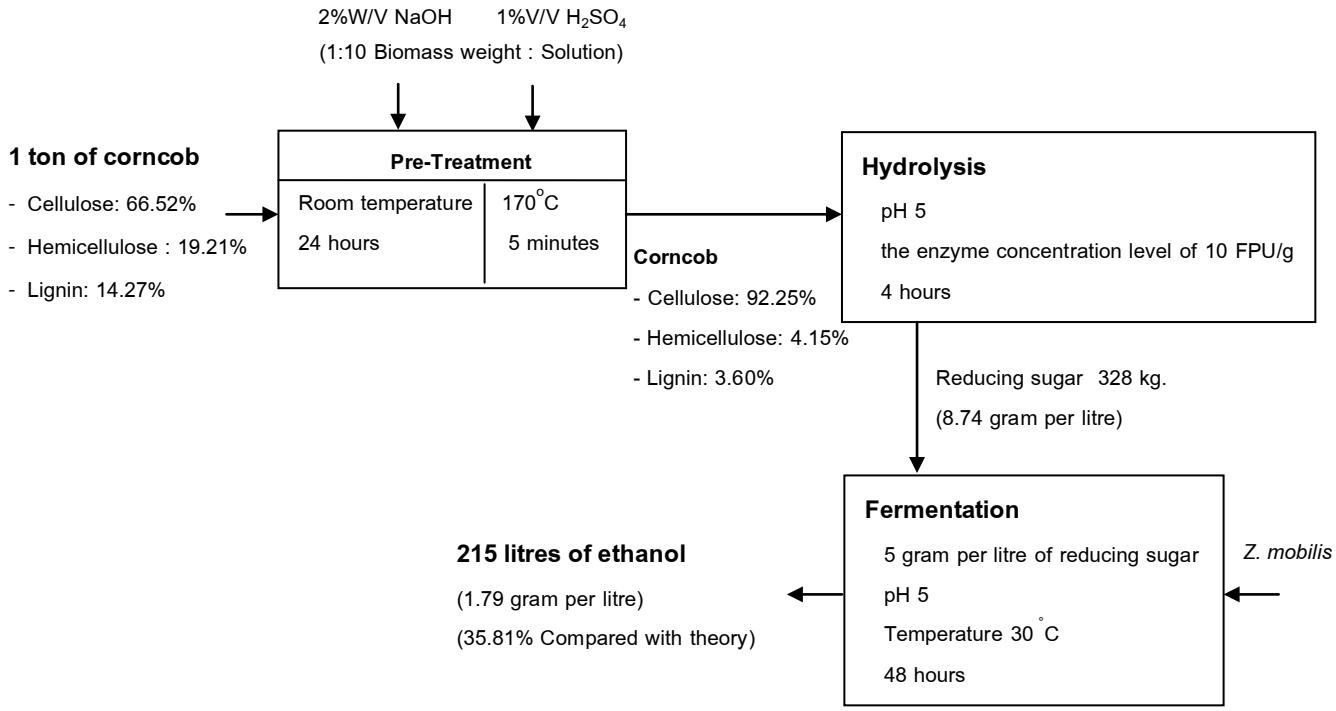


รูปที่ 6-2 การผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสในชานอ้อย

Picture 6-2 Producing Ethanol from cellulose in bagasse

สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลจากซังข้าวโพด คือ สภาวะที่ซังข้าวโพดผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมีร่วมกับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปย่อยเพื่อให้ได้น้ำตาลรีดิวซ์ภายใต้สภาวะความเข้มข้นเอนไซม์เซลลูเลส 10 FPU/g ในสารละลายซิเตรตบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรดด่าง 5 เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ทำการหมักด้วยเชื้อ *Zymomonas mobilis* ที่ค่าความเป็นกรดด่าง 5 จะทำให้ได้ร้อยละการผลิตเอทานอลเทียบกับค่าทางทฤษฎีสูงที่สุด คือ ร้อยละ 35.81 หรือเท่ากับปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้ 1.79 กรัมต่อลิตร

The most appropriate condition in producing Ethanol from corn cob is the state that corn cob has been heated at 170 Celsius degree for five minutes and digested to get reducing sugar at the enzyme concentration level of 10 FTU/g in the citrate buffer solution that has pH = 5 for four hours, and fermented with Zymomonas mobilis with pH = 5. This will make the Ethanol production highest comparing to the theoretical value that is 35.81 percent, or equivalent to 1.79 gram per litre of Ethanol.



รูปที่ 6-3 การผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสในซังข้าวโพด

Picture 6-3 Producing Ethanol from cellulose in corncob

7. การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการลงทุนผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสเชิงพาณิชย์

จากผลการวิเคราะห์จะแสดงให้เห็นว่าโครงการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสของวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิดนั้น โครงการจะมีความคุ้มค่าในการลงทุนทางการเงินและเศรษฐศาสตร์ที่ระดับการผลิต 500,000 ลิตรต่อวันขึ้นไป ซึ่งโครงการที่มีอัตราผลตอบแทนสูงที่สุดคือการลงทุนกรณีที่มีกำลังการผลิตเอทานอล 1,000,000 ลิตรต่อวัน ในรูปแบบโครงการที่มีต้นทุนค่าย่อยสลายเป็นศูนย์ และมีการลงทุนอุปกรณ์ประกอบใหม่ทั้งหมด ยกเว้นค่าเครื่องจักรที่รัฐให้การสนับสนุน โดยผลการวิเคราะห์ทางการเงินและเศรษฐศาสตร์ มีรายละเอียดดังนี้

(7.1) โรงงานผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสโดยใช้ฟางข้าวเป็นวัตถุดิบ

(1) การวิเคราะห์ทางการเงิน โครงการมีอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการทางด้านการเงิน (Financial Rate of Return : FIRR) เท่ากับ 36.97% มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) เท่ากับ 73.85 ล้านบาท อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio : BCR) เท่ากับ 4.04 โดยมีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 3.17 บาทต่อลิตร และมีระยะเวลาคืนทุน 2 ปี

(2) การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ โครงการมีอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการทางด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic Internal Rate of Return : EIRR) เท่ากับ 40.32 % มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) เท่ากับ 76.35 ล้านบาท อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio : BCR)

7. Investment feasibility analysis for cellulosic ethanol production in commercial scale

The analysis result shows that production from all three type of raw materials have a breakeven point at 500,000 litres per day. The most beneficial investment is the investment for 1,000,000 litres daily capacity in the project where the degradable cost is zero, and requires investment in all equipment except machinery that has been supported by the government. The financial and economic analysis is as below

(7.1) Ethanol production factory by using rice straw

(1) Financial analysis – the project has the financial rate of return (FIRR) at 36.97%, the net present value (NPV) of 73.85 million baht, the benefit to cost ratio (BCR) is 4.04, the cost of production is 3.17 baht per litre and the breakeven period is 2 years.

(2) Economic analysis – the project has the economic internal rate of return (EIRR) at 40.32%, the net present value (NPV) of 76.35 million baht, the benefit to cost ratio (BCR) is 4.34, the cost of production is 2.95 baht per litre and the breakeven period is 2 years.

เท่ากับ 4.34 โดยมีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 2.95 บาทต่อลิตร และมีระยะเวลาคืนทุน 2 ปี

(7.2) โรงงานผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสโดยใช้ชานอ้อยเป็นวัตถุดิบ

(1) การวิเคราะห์ทางการเงิน โครงการมีอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการทางด้านการเงิน (Financial Rate of Return : FIRR) เท่ากับ 38.95 % มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) เท่ากับ 78.75 ล้านบาท อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio : BCR) เท่ากับ 5.48 โดยมีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 2.34 บาทต่อลิตร และมีระยะเวลาคืนทุน 2 ปี

(2) การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ โครงการมีอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการทางด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic Internal Rate of Return : EIRR) เท่ากับ 42.30% มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) เท่ากับ 80.90 ล้านบาท อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio : BCR) เท่ากับ 5.89 โดยมีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 2.18 บาทต่อลิตร และมีระยะเวลาคืนทุน 2 ปี

(7.3) โรงงานผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสโดยใช้ซังข้าวโพดเป็นวัตถุดิบ

(1) การวิเคราะห์ทางการเงิน โครงการมีอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการทางด้านการเงิน (Financial Rate of Return : FIRR) เท่ากับ 34.63% มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) เท่ากับ 68.08 ล้านบาท อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio : BCR) เท่ากับ 3.08 โดยมีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 4.15 บาทต่อลิตร และมีระยะเวลาคืนทุน 2 ปี

(7.2) Ethanol production factory by using bagasse

(1) Financial analysis – the project has the financial rate of return (FIRR) at 38.95%, the net present value (NPV) of 78.75 million baht, the benefit to cost ratio (BCR) is 5.48, the cost of production is 2.34 baht per litre and the breakeven period is 2 years.

(2) Economic analysis – the project has the economic internal rate of return (EIRR) at 42.30%, the net present value (NPV) of 80.90 million baht, the benefit to cost ratio (BCR) is 5.89, the cost of production is 2.18 baht per litre and the breakeven period is 2 years.

(7.3) Ethanol production factory by using corncob

(1) Financial analysis – the project has the financial rate of return (FIRR) at 34.63%, the net present value (NPV) of 68.08 million baht, the benefit to cost ratio (BCR) is 3.08, the cost of production is 4.15 baht per litre and the breakeven period is 2 years.

(2) การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ โครงการมีอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการทางด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic Internal Rate of Return : EIRR) เท่ากับ 37.97 % มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) เท่ากับ 70.98 ล้านบาท อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio : BCR) เท่ากับ 3.32 โดยมีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 3.86 บาทต่อลิตร และมีระยะเวลาคืนทุน 2 ปี

(2) Economic analysis – the project has the economic internal rate of return (EIRR) at 37.97%, the net present value (NPV) of 70.98 million baht, the benefit to cost ratio (BCR) is 3.32, the cost of production is 3.86 baht per litre and the breakeven period is 2 years.

ตารางที่ 7-1 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของโครงการ ต้นแบบ

Table 7-1 The results from cost-benefit analysis of each pilot project.

Raw material	Results of analysis									
	Financial					Economics				
	Production cost (฿/litre)	NPV (M฿)	BCR	FIRR (%)	Payback period (years)	Production cost (฿/litre)	NPV (M฿)	BCR	EIRR (%)	Payback period (years)
Rice	3.17	73.85	4.04	36.97	2	2.95	76.35	4.34	40.32	2
Bagasse	2.34	78.75	5.48	38.95	2	2.18	80.90	5.89	42.30	2
Corncob	4.15	68.08	3.08	34.63	2	3.86	70.98	3.32	37.97	2

การพัฒนาการผลิตเอทานอลจากฟางข้าว ชานอ้อย และซังข้าวโพดในระดับอุตสาหกรรมต่อไปนั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆอีกมาก เนื่องจากต้นทุนในการผลิตยังคงสูงอยู่ ควรมีการปรับปรุงและพัฒนาส่วนของกระบวนการผลิตให้มีต้นทุนลดลง อาทิ แนวทางในการลดค่าใช้จ่ายในการใช้สารเคมี การพัฒนาเอนไซม์เซลลูเลสให้มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายชีวมวลมากขึ้น การพัฒนาเชื้อจุลินทรีย์ในการหมักให้มีความสามารถในการผลิตเอทานอลมากขึ้น หรือพัฒนาสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่ใช้หมักให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และการให้การสนับสนุนด้านเงิน

The Ethanol production developed by using rice straw, bagasse, and corncob as raw materials need to be concern about various factors as the production cost remains high. The cost-cutting in the production process should be implemented, such as reduce the cost of chemical substances, develop cellulose enzyme for better biomass degradable performance, develop microorganism for better Ethanol production, or develop microorganism species used in the fermentation process for

ลงทุน ในการซื้อเครื่องจักรและอุปกรณ์ในการผลิตให้แก่โรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลส นอกจากนี้ในอนาคตหากต้องผลิตเอทานอลในระดับอุตสาหกรรมควรมีการคิดค้นการผลิตเอทานอลโดยลดการใช้สารเคมี เพื่อลดมลภาวะที่จะเกิดขึ้นจากการผลิตเอทานอล ทำให้เป็นการผลิตเอทานอลที่สะอาด และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

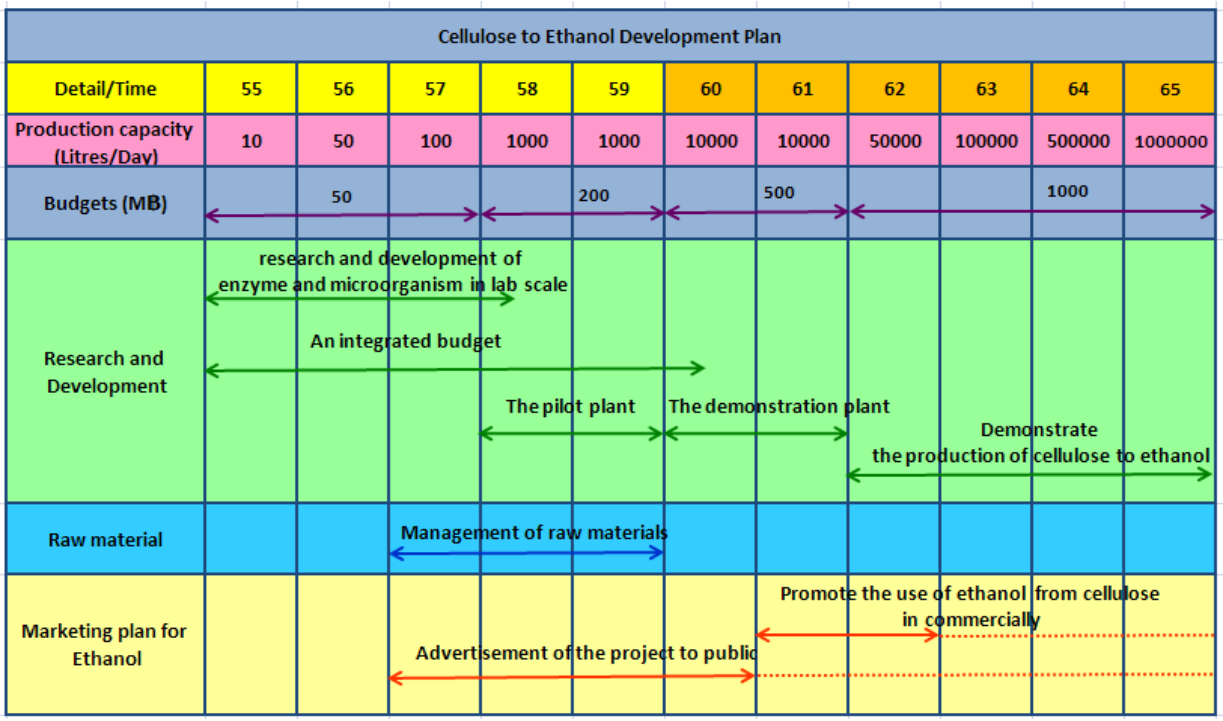
better performance, and provide financial support for machinery and equipment investment for the factory. Moreover, there should be a research to reduce chemical substance usage in Ethanol production at the industrial scale to reduce pollution from the production therefore it will become a clean and environmental friendly energy.

8. ข้อเสนอแนะและการสนับสนุนจากภาครัฐ

เพื่อให้การดำเนินการส่งเสริมการผลิตและการใช้เอทานอลจากเซลลูโลสเชิงพาณิชย์ประสบความสำเร็จจำเป็นต้องได้รับการส่งเสริมสนับสนุนจากภาครัฐ ในด้านนโยบายที่เหมาะสม โดยแบ่งระยะเวลาของการส่งเสริมเป็นระยะสั้นและระยะยาว ได้ดังนี้

8. Suggestion and governmental support

In order to achieve the development and usage of commercial Ethanol being made from cellulose promotion, governmental support is required at the appropriate time. The short-term and long-term plan is listed as follow



รูปที่ 8-1 แผนพัฒนาการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลส (ปี 2555-2565)

Picture 8-1 Cellulose to Ethanol Development Plan (2012 – 2022)

(8.1) ระยะสั้น (2555 – 2559)

(1) มุ่งเน้นส่งเสริมการศึกษาวิจัยการพัฒนาเอนไซม์เซลลูเลสให้มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายชีวมวลมากขึ้น

(2) ส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาเชื้อจุลินทรีย์ในการหมักให้มีความสามารถในการผลิตเอทานอลมากขึ้น

(3) จัดสรรงบประมาณและบูรณาการร่วมกับทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องเพื่อศึกษาวิจัยพัฒนา และสาธิตอย่างต่อเนื่อง

(4) ศึกษาแนวทางการจัดการการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสทั้งในระดับมหภาคและจุลภาค เพื่อพัฒนาไปสู่ความคุ้มค่าเชิงพาณิชย์ และสามารถต่อยอดให้เกิดผลอย่างเป็นรูปธรรม

(5) ศึกษาแนวทางการจัดการด้านการขนส่ง และการเก็บรักษาวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลส

(6) ส่งเสริมอุตสาหกรรมเอทานอลและสนับสนุนการพัฒนาโรงงานต้นแบบโดยใช้มาตรการสนับสนุนทางด้านการเงินเต็มรูปแบบ สนับสนุนด้านมาตรการทางด้านภาษีและการลงทุนเพื่อจูงใจผู้ประกอบการ ส่งเสริมการลงทุนและการประกันความเสี่ยงผ่าน ESCO Fund

(8.2) ระยะยาว (2560 – 2565)

(1) สนับสนุนการก่อตั้งโรงงานผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสโดยใช้มาตรการสนับสนุนทางด้านการเงินเต็มรูปแบบ

(2) ส่งเสริมเทคโนโลยีพลังงานทดแทนใหม่ๆ ที่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

(3) ส่งเสริมการส่งออกเอทานอล และการส่งออกเทคโนโลยีพลังงานทดแทนในภูมิภาคอาเซียน

(8.1) Short-term plan (2012-2016)

(1) Support the cellulose research and development for better degradable performance.

(2) Support the development of microorganism for better Ethanol production performance.

(3) Allocate budget and integrate with all relevant parties for continuously research, development and promotion.

(4) Study Ethanol production from cellulose in both macro and micro scale and develop the commercial feasibility and implement for practical operations.

(5) Study transportation management and storage for raw materials to be used for Ethanol production from cellulose.

(6) Promote the Ethanol industry and fully financially support the development of the prototype factory, allow tax and investment benefit to persuade entrepreneurs, and support investment and risk insurance through ESCO fund.

(8.2) Long-term plan (2017-2022)

(1) Support the establishment of Ethanol production factory from cellulose with fully financial support.

(2) Support economically feasible alternative energy.

(3) Support the Ethanol and alternative energy technology export in the ASEAN region.

(4)พัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเอทานอลให้มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพิ่มสูงขึ้น และพัฒนาโรงงานต้นแบบการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลส เพื่อนำไปสู่การสร้างความเข้มแข็งให้กับการผลิตพลังงานทดแทนระดับชุมชน

(5)กำหนดมาตรการจูงใจที่เหมาะสม เอื้อต่อการจัดตั้งโรงงานผลิตเอทานอลจากเซลลูโลส และเป็นธรรมต่อประชาชน

(4) Develop the Ethanol production technology for more economically feasible and develop the prototype Ethanol production from cellulose factory to strengthen the alternative energy production at the community level

(5) Initiate the appropriate measurement for the establishment of Ethanol production factory from cellulose that is fair to the society.