บทสรุปผู้บริหาร

Executive Summary

โครงการวิจัยออกแบบต้นแบบโรงงานผลิตเอทานอล และเครื่องหีบข้าวฟ่างหวาน

Research and Design of the ethanol plant and juice extractor from sweet sorghum

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ได้จัดทำโครงการวิจัยออกแบบต้นแบบโรงงานผลิตเอทานอลและเครื่องหีบข้าวฟ่างหวานขึ้นเพื่อรองรับอุตสาหกรรมการผลิตเอทานอลจากข้าวฟ่างหวานที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตเพื่อเพิ่มปริมาณการผลิตเอทานอล จากเดิมที่ใช้กากน้ำตาลและมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบ โดยมีมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีเป็นที่ปรึกษา ซึ่งการดำเนินงานตลอดโครงการประกอบด้วยงาน/กิจกรรมสรุปได้ดังนี้

1. การศึกษาข้อมูลสถานภาพปัจจุบันของประเทศไทยด้านการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลและมันสำปะหลัง

2. การทบทวนผลการศึกษา วิจัยเกี่ยวกับข้าวฟ่างหวาน

3. การออกแบบโรงงานต้นแบบที่ผลิต เอทานอลโดยใช้ข้าวฟ่างหวาน

4. การพัฒนาเครื่องหีบข้าวฟ่างหวานแบบเคลื่อนที่

5. การวิเคราะห์อุปสรรค ความท้าทายและมาตรการสนับสนุน

6. การเผยแพร่ผลงานโครงการลงในวารสารวิชาการ

The Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE), Ministry of Energy, co-operated with Ubon Ratchathani University (as a consultant) run the project titled Research and Design of the ethanol plant and juice extractor from sweet sorghum. This is investigate the possibility to use the sweet sorghum as an additional (or option) feed stock for ethanol production. The major outcome of the studies can be summarized as follows.

1. Status of ethanol production using molasses and cassava in Thailand

2. Review on the research about the sweet sorghum

3. Design of the ethanol pilot plant using sweet sorghum as feed stock

4. Design and develop of the mobile juice extractor

5. Analysis on problem, challenge, and strategy to support

6. Publications resulted from the study

1. การศึกษาข้อมูลสถานภาพปัจจุบันของประเทศไทยด้านการผลิตเอทานอล

จากการศึกษารวบรวมข้อมูลสถานภาพปัจจุบันของประเทศไทยในด้านการผลิต เอทานอลจากกากน้ำตาล และการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในประเทศไทย สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1.1 สถานภาพการผลิตเอทานอลในประเทศไทย

ปริมาณการผลิตเอทานอลในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ.2549-2553 สรุปได้ดังตารางที่ 1

1.2 วัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอลในประเทศไทย

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงมีพืชพลังงานหลายชนิดที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอลได้ เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด ข้าวฟ่างหวาน เป็นต้น อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ วัตถุดิบหลักในอุตสาหกรรมเอทานอลในปัจจุบัน ได้แก่ กากน้ำตาล และมันสำปะหลัง

1.3 สถานประกอบการที่ผลิตเอทานอลในประเทศไทย

จากการส่งเสริมของภาครัฐบาลทำให้เกิดโรงงานที่ผลิตเอทานอลในเชิงพาณิชย์ เพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วในปี พ.ศ. 2550 ซึ่งเป็นปีที่ปริมาณของเอทานอลมีเพียงพอ ทำให้รัฐบาลสามารถประกาศจำหน่ายแก๊ซโซฮอลล์ 95 และ 91 ได้ทั่วประเทศ ในเดือนสิงหาคม ปี พ.ศ. 2553 มีรายงานผู้ผลิตเอทานอลที่ได้มีการผลิต เอทานอลแล้ว 19 ราย และอีก 4 รายที่อยู่ระหว่างการดำเนินการก่อสร้าง

1. **Status of ethanol production using molasses and cassava in Thailand**

From the survey on the information related to the ethanol production in Thailand, especially from the molasses and cassava, it can be summarized as follows

1.1 Status on the ethanol production in Thailand

The amount of ethanol produced in Thailand since 2006 to 2010 is summarized in Table 1.

1.2 Feed stock for ethanol production in Thailand

Because Thailand is an agriculture country, there are many possible feed stock grown in Thailand such as sugar cane, cassava, corn, or sweet sorghum. However, considering the economic feasibility, the currently practical feed stock are molasses and cassava only.

1. Ethanol Distillery in Thailand

Due to the support from the government, there are many ethanol distilleries (or plants) started up in 2007. The government can then support to sell the Gasohol 95 and Gasohol 91 through the country. In August 2010, there were 19 ethanol distilleries operating and 4 are under construction

ตารางที่ 1 ปริมาณการผลิตเอทานอลในประเทศไทย ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2549-2553

Table 1 Production of ethanol in Thailand between 2006-2010

เดือน	ปริมาณการผลิตเอทานอลเป็นเชื้อเพลิง (Ethanol 99.5%)									
	ปี พ.ศ. 2549		ปี พ.ศ. 2550		ปี พ.ศ. 2551		ปี พ.ศ. 2552		ปี พ.ศ. 2553	
	(ล้านลิตร)	(ล้านลิตร/วัน)	(ล้านลิตร)	(ล้านลิตร/วัน)	(ล้านลิตร)	(ล้านลิตร/วัน)	(ล้านลิตร)	(ล้านลิตร/วัน)	(ล้านลิตร)	(ล้านลิตร/วัน)
ม.ค.	11.51	0.37	14.87	0.48	30.34	0.98	41.29	1.33	45.10	1.45
ก.พ.	7.86	0.28	11.33	0.40	27.79	0.96	33.69	1.20	39.65	1.42
มี.ค.	7.65	0.25	16.53	0.53	27.54	0.89	39.34	1.27	40.60	1.31
เม.ย.	5.95	0.20	15.17	0.51	40.63	1.31	31.46	1.05	25.20	0.84
พ.ค.	6.59	0.21	12.41	0.40	26.21	0.85	31.01	1.00	27.28	0.88
มิ.ย.	12.71	0.42	8.26	0.28	28.66	0.96	35.46	1.18	26.89	0.90
ก.ค.	14.23	0.46	14.83	0.48	28.93	0.93	35.60	1.15		
ส.ค.	15.72	0.51	15.56	0.50	31.64	1.02	29.17	0.94		
ก.ย.	14.11	0.47	20.76	0.69	25.45	0.85	31.16	1.04		
ต.ค.	7.24	0.23	20.66	0.67	28.62	0.92	22.25	0.72		
พ.ย.	13.09	0.44	18.33	0.61	24.07	0.80	24.49	0.82		
ธ.ค.	18.67	0.60	23.04	0.74	16.33	0.53	45.75	1.48		
รวม	135.33	0.37	191.75	0.52	336.21	0.92	400.67	1.10	204.72	1.13

1.4 การผลิตและจำหน่ายเอทานอล

กระบวนการผลิตเอทานอลจาก มันสำปะหลังและกากน้ำตาลสามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 2 การจำหน่ายเอทานอลในประเทศไทยมีการกำหนดราคาโดยคณะอนุกรรมการ เอทานอลภายใต้คณะกรรมการบริหารนโยบายพลังงาน (กบง.) ซึ่งปัจจุบันใช้สูตรอ้างอิงราคาวัตถุดิบในประเทศแทนการใช้ราคาเอทานอลของตลาดบราซิล

1.4 Production and price of ethanol

Ethanol production process comparing between using cassava and molasses are summaried in Table 2. The price of the ethanol is determined by the National Energy Policy Committee (NEPC). At present, the price of the ethanol produced in Thailand is based on the feed stock price rather than the price of the ethanol in Brazil.

ตารางที่ 2 ขั้นตอนและกระบวนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบมันสำปะหลังและกากน้ำตาล

Table 2 Ethanol production process using cassava and molasses

ขั้นตอนการผลิต **Process**	กระบวนการผลิต **Detail process**	
	มันเส้น **Cassava chip**	กากน้ำตาล **Molasses**
1. การเตรียมวัตถุดิบ Raw material preparation	1. โม่ ผสมน้ำร้อนให้ได้ความเข้มข้นประมาณ 17-25% Total Solid 2. Crushing, liquefy at concentration of 17-25% Total Soliid	3. การกำจัดสิ่งปนเปื้อน (calcium) ด้วย H_2SO_4 และแยกตะกอนออก 4. Filter and purify the Calciam by H_2SO_4 5. เจือจางความเข้มข้นประมาณ 25% Total Soliid 6. Dilute to approximate 25% Total Solid
7. การย่อยแป้งเป็นน้ำตาล Liquidfaction & Saccharification	8. โดยส่วนใหญ่ใช้ระบบย่อยและหมักด้วยวิธีแบบSSF (simultaneous saccharification and fermentation) โดยย่อย Liquefaction ด้วยเอนไซม์ α-Amylase 100-105°C ประมาณ 1-2 ชั่วโมง และ Presacchaification ด้วยเอนไซม์ Gluclose amylase 50-55°C ประมาณ 1-2 ชั่วโมง 9. Mostly being SSF	10. ไม่มี 11. none

	(simultaneous saccharification and fermentation) In Liquidfaction use α-Amylase 100-105°C for 1-2 hr and then Presacchaification by Glucose amylase at 50-55°C for 1-2 hr	
12. การหมัก Fermentation	13. ย่อยและหมักแบบ SSF โดยระบบการหมักจะเป็นแบบ Batch Fermentation) 14. Can be SSF or Batch Fermentation 15. ประสิทธิภาพการหมักประมาณ 90-91% (น้อยกว่ากากน้ำตาลเนื่องจากสูญเสียประสิทธิภาพในขั้นตอนการย่อยด้วย) 16. Fermentation efficiency of around 90-91% (less than molasses due to the loss from crushing and liquefy)	- แบบ Continuous Fermentation, Fed Batch และ Batch - Can be Continuou Fermentation Fed Batch or Batch - ประสิทธิภาพการหมักประมาณ 92% - Fermentation efficiency around 92%

ตารางที่ 2 ขั้นตอนและกระบวนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบมันสำปะหลังและกากน้ำตาล (ต่อ)

Table 2 Ethanol production process using cassava and molasses (Continued)

ขั้นตอนการผลิต **Process**	**กระบวนการผลิต** **Detail process**	
	มันเส้น **Cassava chip**	**กากน้ำตาล** **Molasses**
17. การกลั่นและทำให้บริสุทธิ์	18. Distillation และ Molecular Sieve Dehydration 19. Distillation and	22. Distillation และ Molecular Sieve Dehydration

Distillation and dehydration	Molecular Sieve Dehydration 20. ประสิทธิภาพการหมักประมาณ 98.5% 21. Efficiency of 98.5%	23. Distillation and Molecular Sieve Dehydration 24. ประสิทธิภาพการหมักประมาณ 98.5% 25. Efficiency 98.5%

1.5 การจัดการของเสียและผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตเอทานอล

ของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต เอทานอลได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ฟูเซลออยล์ Dry distillers grains with soluble (DDGS) ยีสต์และกากส่า ของเสียที่เกิดขึ้นเหล่านี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งการจัดการของเสียแต่ละอย่างแสดงในตารางที่ 3

1.5 Waste and by product from the ethanol production

Waste and by product from ethanol production are CO2 Fusel oil, DDGS (Dry distillers grains with soluble), and slop. These waste can be modified as useful by-product as summarized in Table 3.

ตารางที่ 3 ของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตเอทานอลและการจัดการ

Table 3 Waste management and utilization in ethanol production

ของเสีย	**วิธีการจัดการ**
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) Carbondioxide (CO_2)	นำไปใช้เป็นสารทำความเย็น และอุตสาหกรรมเครื่องดื่มประเภทอัดก๊าซ Maybe purified and use in refrigeration industry or bevery
ฟูเซลออยล์ Fusel oil	แยกแอลกอฮอล์ออกโดยวิธีการกลั่น หรือวิธีทางเคมีและผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ แล้วนำไปใช้เป็นสารทำละลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่นอุตสาหกรรมพลาสติก Can be purified by distillation or chemical purification. Use as solvent in industries.

ตารางที่ 3 ของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตเอทานอลและการจัดการ (ต่อ)

Table 3 Waste management and utilization in ethanol production (Continued)

DDGS (Dry distillers grains with soluble)	แยกส่วนที่เป็นของเหลวและของแข็งออกจากกันแล้วนำส่วนที่เหลวไปกลั่นแยกเอทานอล ส่วนที่แข็งนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ Separate the liquid and solid phase. The liquid phase can be distilled for some ethanol while the solid can be animal food.
ยีสต์ Yeast	ยีสต์สามารถนำมาสกัดเป็นอาหารสัตว์ได้ และมีเบต้ากลูแคนซึ่งมีคุณสมบัติช่วยกระตุ้นภูมิคุ้มกันของร่างกายมนุษย์และสัตว์ได้ Yeast can be extracted and use as animal food.
น้ำกากส่า Slop	น้ำกากส่าที่เหลือจากกระบวนการผลิตสามารถนำไปผลิตก๊าซชีวภาพได้ และกากที่ออกมาจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพยังสามารถนำไปใช้ทำปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงได้อีกด้วย Slop can be a feed stock for biogas. The solid waste form the biogas pond is a good quality organic fertilizer.

1.6 ผลการสำรวจรวบรวมข้อมูลจากโรงงานผลิตเอทานอลเชิงพาณิชย์ในประเทศไทย

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการสำรวจรวบรวมข้อมูล โดยการเข้าสำรวจโรงงานผลิตเอทานอลเชิงพานิชย์ โดยมีข้อมูลทั่วไปและข้อมูลด้านการผลิต ของโรงงานแสดงในตารางที่ 4 และภาพบรรยากาศการสำรวจแสดงในรูปที่ 1

1.6 Survey on ethanol plants in Thailand

To survey the ethanol technology and production difficulty, the consultant had collected the information by sending out the qestionaire form and visiting the ethanol. 5 ethanol plants allowed to give the information about their plants as summarized in Table 4. Figure 1 showed the activiets during the plant visits.

ตารางที่ 4 ข้อมูลจากการสำรวจโรงงานผลิตเอทานอล

Table 4 Information from the visited ethanol plants

ลำดับ **No.**	ชื่อโรงงาน **Plant name**	วัตถุดิบ **Feed stock**	**Installed Capacity (LPD)**	เทคโนโลยี **Technology owner**	***Energy ratio**$_{process}$
1	บ.ทรัพย์ทิพย์ จำกัด ลพบุรี Subtip (Lopburi)	มันเส้น Cassava Chip	200,000	อินเดีย India	37.43
2	บ.ไทยง้วน เอทานอล จำกัด (มหาชน) ขอนแก่น Thai Ngaun Ethanol (Khonkaen)	มันสด 90% มันเส้น 100% Cassava root 90% Cassava chip 10%	130,000	จีน China	11.98
3	บ.ไทยแอลกลอฮอล์ จำกัด นครปฐม Thai Alcohol (Nakornpathom)	กากน้ำตาล 80% มันเส้น 20% Molasse 80% Cassava chip 20%	200,000	ญี่ปุ่น+อินเดีย Japan and India	7.13
4	บ.ไทยรุ่งเรืองพลังงาน จำกัด สระบุรี Thai Roongreung Energy (Saraburi)	กากน้ำตาล Molasse 100%	120,000	ญี่ปุ่น Japan	18.34

5	บ.ขอนแก่นแอลกอฮอล์ จำกัด ขอนแก่น Khonkaen Alcohol (Khonkaen)	กากน้ำตาล Molasse 80%	1500,000	อินเดีย India	

หมายเหตุ : * Energy $ratio_{process}$ คือ สัดส่วนของพลังงานที่ได้จากเอทานอลที่ผลิตได้ ต่อพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอลเท่านั้น (ไม่รวมพลังงาน ในการปลูก เก็บเกี่ยว ขนส่ง)

note: * Energy $ratio_{process}$ is the ratio of Energy in ethanol to the energy used in the production process only, not including the energy used in the agriculture portion.

รูปที่ 1 บรรยากาศการสำรวจโรงงานผลิตเอทานอลในประเทศไทย

Figure 1 Site visit and photos of ethanol plants

1.7 ผลการศึกษารวบรวมข้อมูลการผลิตเอทานอลจากข้าวฟ่างหวานในประเทศไทย

จากผลการศึกษาพบว่าในประเทศไทย ยังไม่มีการผลิตเอทานอลจากข้าวฟ่างหวานในเชิงพานิชย์ แต่มีการศึกษาที่เกี่ยวกับการผลิต เอทานอลจากข้าวฟ่างหวานอยู่บ้าง ดังนี้

1) โครงการพัฒนากระบวนการผลิต เอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวาน โดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติและมหาวิทยาลัยขอนแก่น

2) โครงการผลิตเอทานอลจากต้นข้าวฟ่างหวานในขั้นโรงงานต้นแบบ โดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

3) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลจากข้าวฟ่างหวานโดย Savvhamyces cerevisiae ด้วยวิธีการหมักแบบกะและกึ่งต่อเนื่องโดยมหาวิทยาลัยขอนแก่น

1.7 Ethanol production from sweet sorghum in Thailand

It is found that, so far, there is no commercial production of ethanol from sweet sorghom yet in Thailand. However, there were some studies about sweet sorghum as follows.

1) Development of ethanol production process from sweet sorghum juice by National research council and Khonkaen University.

2) Ethanol production from sweet sorghum stalk by the Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR)

3) Efficiency comparison of ethanol production by batch and semi-continuous using Savvhamyces cerevisiae by Khonkaen University

1.8 เปรียบเทียบต้นทุนวัตถุดิบสำหรับการผลิตเอทานอล

จากการประเมินต้นทุนการผลิตข้าวฟ่างหวานและต้นทุนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบแต่ละชนิด พบว่าข้าวฟ่างหวานมีราคาต้นทุนวัตถุดิบ 0.65 บาทต่อกิโลกรัม และมีค่าต้นทุนวัตถุดิบต่อการผลิตเอทานอล 1 ลิตรเป็น 10.79 บาท ซึ่งข้อมูลเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 5

1.8 Cost of raw material for ethanol production

From the study, the agricultural cost for 1 kg of sweet sorghum is 0.65 baht/kg, therefore the possible cost of the raw material for ethanol production is 10.79 baht/liter. The comparison of raw material cost among different raw materials are summarized in Table 5.

ตารางที่ 5 ต้นทุนวัตถุดิบการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบชนิดต่างๆ

Table 5 Raw material cost for 1 liter of ethanol

ลำดับที่ **No.**	วัตถุดิบ **Raw maerial**	ปริมาณวัตถุดิบที่ผลิตเอทานอลได้ **1** ลิตร (กิโลกรัม) **Raw material quantity for 1 liter ethanol (kg)**	ราคาวัตถุดิบต่อกิโลกรัม (บาท) **Raw material Price/kg (baht)**	ต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล **1** ลิตร (บาท) **Raw material cost for 1 liter ethanol (baht)**
1	กากน้ำตาล Molasses	4.0	3.49	13.96
2	อ้อย Sugar cane juice	14.3	0.87	12.44
3	มันสำปะหลัง (สดคละ) Cassava root	6.5	1.95	12.68

4	มันเส้น Cassava chip	2.6	7.73	20.02
5	ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ Corn	2.7	7.10	19.17
6	**ข้าวฟ่างหวาน** **Sweet sorghum**	**16.6**	**0.65**	**10.79**

2. การทบทวนผลการศึกษา วิจัยเกี่ยวกับข้าวฟ่างหวาน

2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับข้าวฟ่างหวานในประเทศไทย

จากการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับข้าวฟ่างหวานในประเทศไทยพบว่าสายพันธุ์ข้าวฟ่างหวาน ที่ได้รับการแนะนำให้ปลูกอย่างเป็นทางการคือข้าวฟ่างหวานพันธุ์ มข.40 ซึ่งวิจัยและพัฒนาโดยภาควิชาพืชไร่คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นซึ่งได้รับการพัฒนาจนเป็นสายพันธุ์ที่บริสุทธิ์ และสายพันธุ์สุวรรณสวีท ของศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ (ไร่สุวรรณ) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา

จากการศึกษาพบว่าข้าวฟ่างหวานจะให้ผลผลิต 5 – 7 ตันต่อไร่ จะได้น้ำหวานประมาณ 2,500 – 3,500 ลิตรต่อไร่ โดยมีต้นทุนในการเพาะปลูกประมาณ 650 บาท ทั้งนี้เมื่อนำมาผลิตเอทานอลแล้วจะมีต้นทุน 10.79 บาท

2.2 ข้อมูลเกี่ยวกับข้าวฟ่างหวานในต่างประเทศ

จากการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับข้าวฟ่างหวานในต่างประเทศพบว่า บริษัท Praj ในประเทศอินเดีย เป็นบริษัทผลิตเอทานอลจากข้าวฟ่างหวาน ทางบริษัทมีการส่งเสริมการปลูกข้าวฟ่างหวานให้กับเกษตรกร จากสื่อเผยแพร่ของบริษัทกล่าวว่า ข้าวฟ่างหวานเป็นพืชใช้ น้ำน้อย การดูแลรักษาง่ายและความต้องการ ปุ๋ยน้อย

2. Review on the research about the sweet sorghum

2.1 Information about sweet sorghum in Thailand

From the literature, the KKU 40 variety is the most active sweet sorghum developed and farmed in Thailand. This KKU40 is developed by Khonkaen University. Another breed of sweet sorghum is the “Suwan sweet” variety developed by the Sweet orn and sorghum National Research Center,Kasetsart University.

From the previous research, the yield of the sweet sorghum is around 5-7 ton/rai and the juice is 2,500-3,500 liter/rai. The cost of stalk production is 650 baht/ton, hence the cost of the sweet sorghum will be 10.79 baht/lietr ethanol (using conversion ratio of 16.6 kg stalk/1 liter ethanol).

2.2 Information about sweet sorghum in other contries

From the literature, Praj (ethanol company) in India can produce the ethanol from sweet sorghum in commercial scale. Praj has encouraged the farmer to cultivate the sweet sorghum and supply to his distiallery. Praj also promted that the sweet sorghum demands less water and fertilizer compared to other crops.

Belum, et al. ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลในการผลิตเอทานอลระหว่างข้าวฟ่างหวานกับอ้อยและกากน้ำตาลในประเทศอินเดีย พบว่า ข้าวฟ่างหวานสามารถปลูกได้ปีละ 2 ครั้ง โดยมีความต้องการน้ำประมาณ 1,280 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ต่อปี น้อยกว่าการปลูกอ้อยประมาณ 28 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนการปลูกต่อปีน้อยกว่าอ้อยประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์

2.3 การสังเคราะห์เอทานอลโดยวิธีการทางชีวภาพ

ปัจจุบัน กระบวนการสังเคราะห์เอทานอลในระดับอุตสาหกรรม สามารถทำได้ 2 วิธีคือ กระบวนการสังเคราะห์เอทานอลโดยวิธีทางเคมี และกระบวนการสังเคราะห์เอทานอลโดยวิธีทางชีวภาพ (โดยการหมัก) ซึ่งในกระบวนการผลิตเอทานอลที่ใช้วัตถุดิบจากข้าวฟ่างหวานนิยมใช้วิธีทางชีวภาพ ซึ่งมีรายละเอียดโดยสังเขปดังนี้

การหมักเป็นการเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นเอทานอลโดยยีสต์ที่ผลิตแอลกอฮอล์โดยทั่วไปได้แก่ Saccharomyces cerevisiae ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจน (anaerobic condition) ซึ่งสามารถเจริญได้ในน้ำหมักที่มีปริมาณเอทานอล 14-15 vol.%

ข้อดีของการสังเคราะห์เอทานอลทางชีวภาพคือต้นทุนของวัตถุดิบมีราคาถูกเมื่อเทียบกับวิธีการสังเคราะห์ทางเคมี เพราะใช้วัตถุดิบทางการเกษตรซึ่งราคาต่ำและมีจำนวนมาก และช่วยเพิ่มมูลค่าให้แก่พืชผลทางการเกษตร ทำให้เกษตรมีรายได้เพิ่มขึ้น ช่วยลดขยะรักษาสิ่งแวดล้อม และผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้อื่นๆ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใช้ทำน้ำแข็งแห้ง เป็นต้น

Belum, et al. compared the information on cultivating the sugar cane and sweet sorghum. They showed that the sweet sorghum can be grown twice a year with the water requirement of 1,280 m^3/rai/year which is less than sugar cane about 28%. The agriculture cost is also lower than sugar cane about 40%.

2.3 Ethanol synthesis by biological methos (Yeast fermentation)

Currently, ethanol production (indusrial scale) can be processed by two method; 1) chemical synthesis and 2) biological syhthesis or yeast fermentation. For the sweet sorghum, the yeast fermentation is the most appropriate and detailed as follows.

Fermentation is the process which convert the sugar (mono-saccharide) to ethanol. The most popular yeast used in the industry is Saccharomyces cerevisiae (SC) which grows well in the anaerobie condition with the alcohol concentration upto 14-15 vol.%

The mojor advantages of yeast fermentation method is lower cost comparing to the chemical method. Many agriculture products can be used. Also, the waste and by-product can be useful for further activities.

2.4 เทคโนโลยีการผลิตเอทานอล

เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการผลิต เอทานอลมีดังต่อไปนี้

1) เทคโนโลยีการผลิตเอทานอลจากแป้งและน้ำตาล

เทคโนโลยีการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบจำพวกแป้งและน้ำตาลได้รับการวิจัยและพัฒนามานานเปลี่ยนจากระบบแบบกะเป็นระบบต่อเนื่อง ซึ่งเทคโนโลยีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ BIOSTIL, HIFERM-GR, HOECHST-UHDE, LRGI และ STARCOSA

2) เทคโนโลยีการผลิตเอทานอลจาก ลิกโนเซลลูโลส

เทคโนโลยีการย่อยวัตถุดิบลิกโนเซลลูโลสด้วยเอนไซม์มีการพัฒนาระบบจากเดิมซึ่งเป็นระบบที่มีการย่อยและการหมักแยกออก จากกัน มาเป็นระบบปัจจุบันที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง คือ Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF) ซึ่งจะรวมการย่อยและการหมักใช้ในขั้นตอนเดียวกัน ซึ่งเป็นระบบที่มีการใช้กันอย่างกว้างขวาง แต่มีข้อจำกัดคือทั้งเอนไซม์เซลลูโลส และจุลินทรีย์ที่ใช้หมักจะทำงานที่สภาวะเดียวกัน

2.4 Ethanol production technology

1) **Production technology from starch and sugar**

Ethanol production technology, especially from starch and sugar, have been developed for a long time. The recent developedment is continuous fermentation instead of batch fermentation such as BIOSTIL, HIFERM-GR, HOECHST-UHDE, LRGI และ STARCOSA.

2) **Production technology from cellulose**

Technology on cellulose ferementation has been developed continuously. Before, it was separated between saccharification and fermentation. Recently, simultaneous saccharification and fermentation (SSF) has been developed and implemented. The disadvantage is that the enzyme and the yeast have to work in the same condition (in the same tank).

3. การออกแบบโรงงานต้นแบบที่ผลิตเอทานอลโดยใช้ข้าวฟ่างหวาน

โรงงานต้นแบบที่ทำการออกแบบจะมี Turn Down Ratio ประมาณ 70% คือ ที่กำลังการผลิตของโรงงาน 70% โดยที่ประสิทธิภาพการผลิตของโรงงาน/คุณภาพของเอทานอลยังคงเดิม ดังนั้น เพื่อให้แน่ใจว่าโรงงานที่ออกแบบสามารถผลิตเอทานอลได้ 1000 ลิตร/วัน (at normal operation) ที่ปรึกษาจึงทำการออกแบบโรงงานให้รองรับการผลิตเอทานอลได้ในอัตราการผลิต 1500 ลิตร/วัน โดยที่ประสิทธิภาพโรงงานและคุณภาพเอทานอลได้ตามที่ออกแบบไว้ (กำลังการผลิตเอทานอล 1000 ลิตร/วัน คือกำลังการผลิตที่ต่ำที่สุดที่โรงงานยังคงมีประสิทธิภาพดีอยู่) โดยงานออกแบบที่ปรึกษาได้ปฏิบัติตามข้อกำหนดเงื่อนไขการว่าจ้างดังนี้

1. ดำเนินการออกแบบโรงงานผลิตเอทานอลต้นแบบที่ใช้น้ำหวานจากข้าวฟ่างหวานเป็นวัตถุดิบ ที่มีขนาดกำลังการผลิตเอทานอลที่มีระดับของความเข้มข้น 99.5% ไม่น้อยกว่า 1,000 ลิตรต่อวัน

2. แบบโรงงานผลิตเอทานอลต้นแบบได้แสดงรายละเอียดการคำนวณและแบบรายละเอียดของชิ้นส่วนต่างๆ อย่างครบถ้วน ซึ่งสามารถนำไปจัดสร้างโรงงานผลิตเอทานอลต้นแบบขนาด 1,000 ลิตรต่อวันได้

3. การออกแบบคำนึงถึงระบบทางวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ตลอดจนการนำเอาวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการไปใช้ในการพัฒนาเป็นพลังงานทดแทน โดยมีของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการน้อยที่สุด ระบบทางวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องได้แก่

3. Design of the ethanol pilot plant using sweet sorghum as feed stock

The pilot plant is designed to operate at turn down ratio of 70% which means the productivity and the quality of the product is still similar to the full load at 70% capacity. To guarantee the normal operation of 1000 LPD, the pilot palnt was designed the full capacity at 1500 LPD. Other requirement are met as follows.

1. The pilot palnt can produce 99.5% ethanol at normal capacity of 1000 LPD by using seet sorghum juice as raw material.

2. The detailed design and workshop drawing is provided in the attached report.

3. In the design, the constrain on the engineering, environmental, and waste management are considered and included.

- จัดทำระบบการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม

1.คำนึงถึงการนำของเสียไปใช้เป็นพลังงานหรือนำของเสียไปใช้เป็นปุ๋ยหรือประโยชน์ด้านอื่นๆ ได้

2. ดำเนินการประมาณราคากลางและแบบรูปรายละเอียดสำหรับการก่อสร้างของโรงงานต้นแบบและชิ้นส่วนต่างๆ ที่สามารถใช้ในการว่าจ้างต่อไปได้ การประมาณราคากลางจะประมาณโดยใช้หลักการของราคาปัจจุบัน โดยเน้นราคาวัสดุอุปกรณ์ที่มีคุณภาพดี มีความเหมาะสมกับการใช้งาน และหาซื้อได้ในประเทศไทยเพื่อให้สามารถจัดหาหรือเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์เทียบเคียงได้ ตลอดจนซ่อมบำรุงง่ายและราคาสมเหตุสมผล

การผลิตแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 99.5 % โดยใช้น้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวาน เป็นวัตถุดิบผ่านตามกระบวนการผลิตดังแสดงไว้ในรูปที่ 2 ซึ่งมีการแบ่งเป็น 8 ส่วนงาน คือ

ส่วนที่ 1 เป็นหน่วยเก็บและเตรียมวัตถุดิบพร้อมคั้นน้ำเชื่อม

ส่วนที่ 2 ส่วนการเก็บน้ำคั้นและปรับสภาพพร้อมเข้าสู่กระบวนการหมัก

ส่วนที่ 3 กระบวนการหมัก

ส่วนที่ 4 กระบวนการ

ส่วนที่ 5 กระบวนการทำให้เอทานอล บริสุทธิ์จาก 95% เป็น 99.5%

ส่วนที่ 6 การเก็บเอทานอลและการบรรจุ

ส่วนที่ 7 หน่วยเตรียมระบบสาธารณูปโภค วิเคราะห์ และห้องช่าง

ส่วนที่ 8 ส่วนบำบัดน้ำเสียของกระบวนการและหน่วยเสริม

3. Waste management suggestion is included.

4. Waste to energy or useful by-product is suggested.

4) Estimated cost of the pilot plant has been included in the report. This cost is based on the standard equipment used in ethanolplane and reasonable quality and price. The equipments are general and domestically available.

In the designed ethanol plant, the process can be divided into 8 parts as follows.

Part 1 raw material and stem sieve process section

Part 2 juice equalization section

Part 3 fermentation section

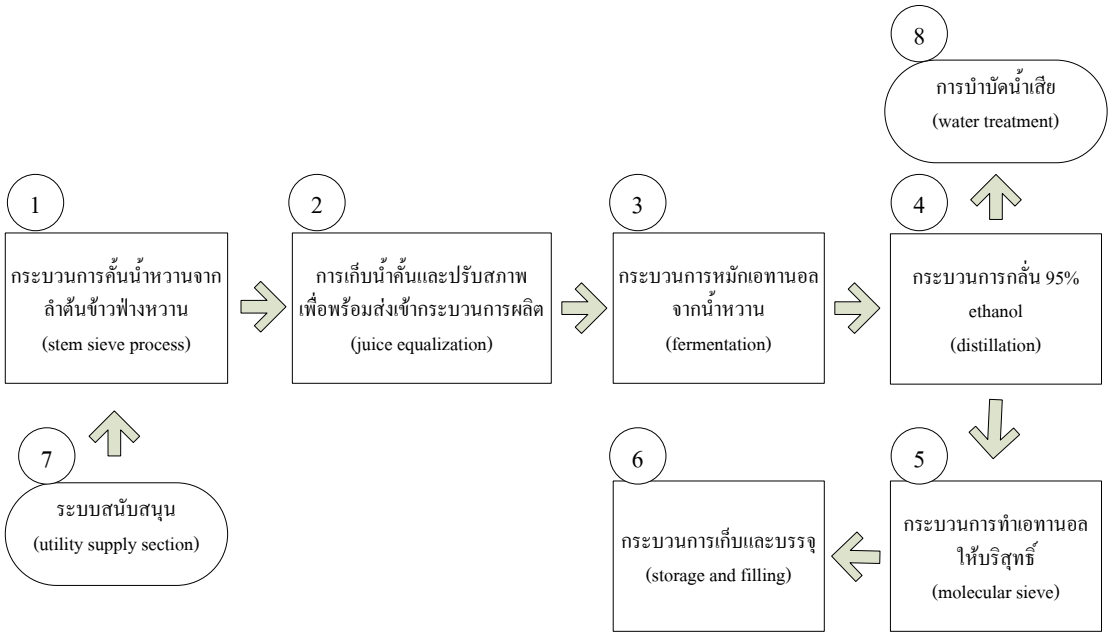
part 4 distillation section

part 5 Dehydration from 95% tobe 99.5% (molecular sieve dehydrator)

patrt 6 storage and filling section

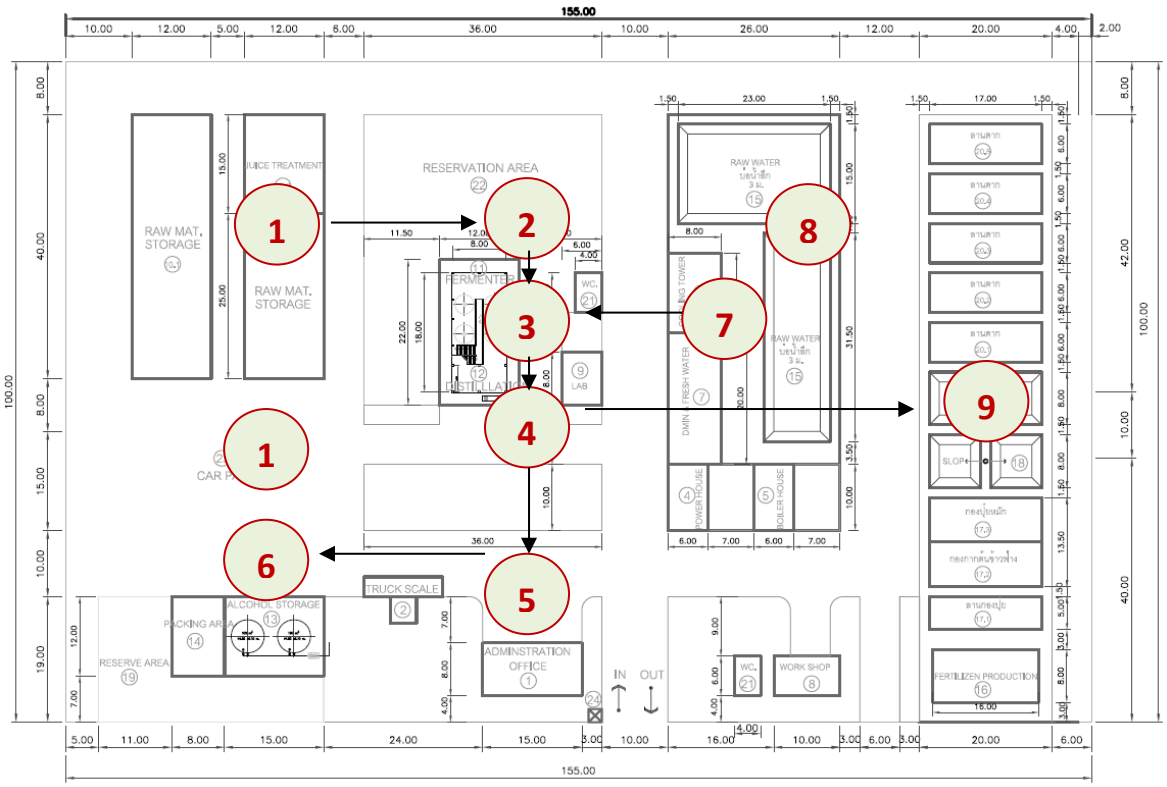
part 7 utility, laboratory and workshop section

part 8 waste water treatment section



รูปที่ 2 ผังกระบวนการผลิตเอทานอล

Figure 2 Diagram of ethanol production process



รูปที่ 3 ผังกระบวนการผลิตตามตำแหน่ง layout อาคาร

Figue 3 Floor plan of the ethanol pilot palnt

ในการออกแบบเบื้องต้นสำหรับโรงงานผลิตที่ได้มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม มีการแบ่งพื้นที่ตามที่แสดงในรูปที่ 3 ซึ่งเป็นโรงงานต้นแบบใช้พื้นที่ 8-10 ไร่ โดยจัดแบ่งตามส่วนของการทำงานดังนี้

ส่วนที่ 1 เป็นส่วนเก็บวัตถุดิบและแปรรูป (หีบน้ำ) มีพื้นที่ประมาณ 1 ไร่

ส่วนที่ 2, 3, 4 และ 7 เป็นส่วนการผลิตและสนับสนุนการผลิตมีพื้นที่ประมาณ 2 ไร่

ส่วนที่ 5 และ 6 เป็นส่วนสำนักงาน ตาชั่ง ถังเก็บและบรรจุ มีพื้นที่ประมาณ 1 ไร่

ส่วนที่ 8 เป็นส่วนของบ่อน้ำดิบ มีพื้นที่ประมาณ 1 ไร่

ส่วนที่ 9 เป็นส่วนของระบบบำบัดและเก็บกากน้ำเสีย มีพื้นที่ประมาณ 2 ไร่

ส่วนที่ 10 เป็นส่วนของการจัดพื้นที่สีเขียว สันทนาการ ถนน และอื่นๆ รวม 3-4 ไร่

4. การพัฒนาเครื่องหีบข้าวฟ่างหวานแบบเคลื่อนที่

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการออกแบบเครื่องหีบข้าวฟ่างหวานโดยมีหลักเกณฑ์ดังนี้

1) ดำเนินการออกแบบเครื่องหีบข้าวฟ่างหวานแบบเคลื่อนที่ โดยต้นแบบสามารถใช้ร่วมกับต้นกำลังที่เกษตรกรมีอยู่แล้วคือ รถแทรคเตอร์ที่มีขนาดแรงม้าไม่น้อยกว่า 80 แรงม้าได้

2) เครื่องหีบข้าวฟ่างหวานต้นแบบ มีความสามารถในการหีบน้ำหวานจากลำต้นข้าวฟ่างหวานได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 60 ของปริมาณน้ำหวานที่มีอยู่ในลำต้นทั้งหมด

The thumb rule on the standard ethanol plant has been adopted in this project. Area usage (or layout) of the plant is shown in Figure 3. The pilot plant should need about 8-10 rai and be separated into zones as follows.

Zone 1 for raw material stock and preparation (area of 1 rai)

Zone 2,3,4, and 7 for production and utility (area of 2 rai)

Zone 5 and 6 for office, weight bridge and stock tank (area of 1 rai)

Zone 8 for raw water (area of 1 rai)

Zone 9 for waste management (area of 2 rai)

Zone 10 for green area, recreation, road, and others (area of 3-4 rai)

4. **Design and develop of the mobile juice extractor**

The mobile juice extractor is design and and built based on the criterais listed below.

1) The mobile juive extractor must be able to operate with the tractor sized of 80 hp appropriately.

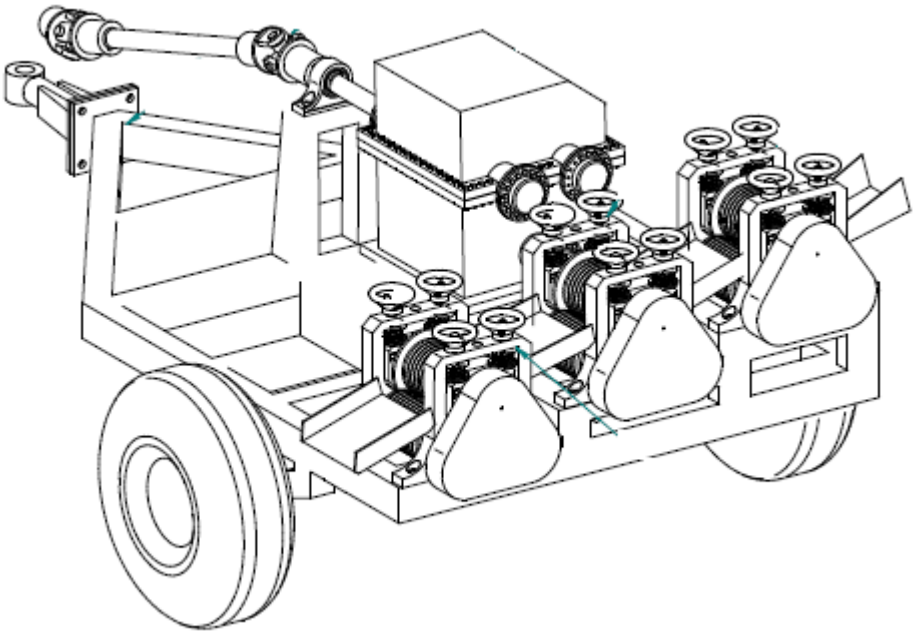
2) The juice extractor can operate at juice extraction efficiency of 60% (minimum) compared to juice avaible in the stalk.

3) ประสิทธิภาพในการหีบน้ำหวานได้ไม่น้อยกว่า 1 ตันลำต้นข้าวฟ่างหวานต่อชั่วโมง

หลังจากที่ได้ออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ เรียบร้อยแล้ว ที่ปรึกษาได้จัดสร้างเครื่องหีบข้าวฟ่างหวานต้นแบบและทดสอบที่มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีและองค์การสุรา จังหวัดฉะเชิงเทรา ดังแสดงในรูปที่ 4-5 ผลการทดสอบพบว่าค่าเฉลี่ยในการหีบอยู่ข้าวฟ่างหวานอยู่ที่ 1,051.86 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เมื่อคำนวณต้นทุนการหีบข้าวฟ่างหวานพบว่ามีต้นทุนรวม(น้ำมันเชื้อเพลิง+ค่าแรงงาน)เท่ากับ 15 สตางค์ ต่อกิโลกรัมลำต้นข้าวฟ่างหวาน ที่ประสิทธิภาพการหีบข้าวฟ่างหวานเท่ากับ 61.46% ของน้ำหวานที่มีในลำต้น

3) The extraction capacity must be more than 1 ton/hr.

The mobile juice extractor has been build at the workshop at Ubon Ratchathani University and tested at the Liquor Ditillery Organisation (LDO) at Chachengsao province, as shown in Figue 4-5. The tested has been done for 100 hr. using the sweet sorghum stalk supplied by Khonkean University and Sweet orn and sorghum National Research Center, Kasetsart University (under the study co-operation). It was found that the juice extraction capacity was 1,051.86 kg/hr, averagely. The extraction efficiency was 61.46% based on the original juice. The juice extraction cost (fuel and labour) was 150 baht/ton of stalk.



รูปที่ 4 ต้นแบบเครื่องหีบข้าวฟ่างหวานที่ออกแบบ

Figure 4 Mobile juice extractor

รูปที่ 5 การทดสอบสมรรถนะเครื่องหีบข้าวฟ่างหวาน

Figure 5 Testing of juice extraction at LDO

5. การวิเคราะห์อุปสรรค ความท้าทาย และมาตรการสนับสนุน

5.1 **อุปสรรค** จากการดำเนินงานตลอดโครงการพบปัญหาอุปสรรคดังนี้

1) สายพันธุ์ข้าวฟ่างหวาน ยังไม่แพร่หลายในประเทศไทย และสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตที่แน่นอนยังมีไม่มากนัก

2) เทคโนโลยีการปลูกและการเก็บเกี่ยวข้าวฟ่างหวานที่เหมาะสมยังมีการศึกษาอยู่น้อย

3) ต้นทุนในการเก็บเกี่ยวและเวลาในการเตรียมวัตถุดิบสูงเนื่องจากต้องตัดดอกและใบออกก่อนเนื่องจากดอกและใบเมื่อเข้าสู่กระบวนการหีบจะทำให้คุณภาพน้ำคั้นเปลี่ยนไป

5. **Analysis on problem, challenge, and strategy to support**

5.1 **Problem:** through the project there were some obstacle or weafness found as follows

1) The variety of the sweet sorghum in Thailand is not that stable and their yields are rely on many factors

2) Agriculture and also ethanol technology related to the sweet sorghum is still needed.

3) Lack of appropriate technology casues the higher cost in production. In addition, some difficulties is the sweet sorghum itself. For example, the leave and flower should be avoid during juice extraction to obtain the better sugar content. This brigns to the higher cost of harvesting and time comsuming.

4) ผลผลิตและความหวานมีความแปรปรวนสูงขึ้นอยู่กับฤดูกาลและระยะเวลาในการปลูก การเก็บเกี่ยวต้องทำในช่วงเวลาที่เหมาะสมเท่านั้น หากเก็บเกี่ยวก่อนหรือหลังเวลาที่เหมาะสมจะทำให้ปริมาณน้ำหวานและความหวานลดลง การเก็บลำต้นไว้หลังเก็บเกี่ยวนานเกินไปจะทำให้ความหวานลดลงและอาจเน่าเสียได้ นอกจากนี้แหล่งดินที่ปลูกด้วยพื้นที่ที่มีความชื้นในดินต่ำจะให้ความหวานสูงแต่ปริมาณผลิตต่ำ ส่วนพื้นที่ที่มีความชื้นสูงจะให้ผลผลิตสูงแต่ความหวานต่ำ

5) ไม่สามารถปลูกแบบเลี้ยงตอได้เนื่องจาก การเลี้ยงตอเพื่อเก็บเกี่ยวรอบใหม่ให้ผลผลิตต่ำไม่คุ้มกับการลงทุน

5.2 ความท้าทาย

1) จากการศึกษาและทดลองผลิตเอทานอลพบว่า ในน้ำหวานของข้าวฟ่างหวานมีปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวซึ่งเป็นน้ำตาลที่พร้อมจะหมักเป็นแอลกอออล์ (fermentable sugar) สูงมาก ทำให้หมักได้แอกอฮอล์ในบริมาณที่สูง และ ใช้ระยะเวลาในการหมักสั้นกว่าการหมักน้ำตาลจากกากน้ำตาลหรือน้ำอ้อย

2) ระยะเวลาในการปลูก (Crop) สั้นโดยเฉลี่ยประมาณ 100-110 วัน ทำให้สามารถปลูก ได้หลายรอบใน 1 ปี (ประมาณ 3 รอบ) หากมีการจัดการเตรียมแปลงและการเก็บเกี่ยวให้ดี

3) สามารถปลูกเสริมในช่วงรื้อตออ้อยรอปลูกฤดูกาลใหม่ได้ ปกติอ้อยจะรื้อตอในช่วงเดือนเมษายนและปลูกใหม่ในช่วงตุลาคม ดังนั้นข้างฟ่างหวานสามารถปลูกเป็นวัตถุดิบส่งโรงงานน้ำตาลหรือโรงงานเอทานอลได้ในช่วงพฤษภาคมถึงสิงหาคม

4) It is found that the yield and the sweetness depend on the area (soil) and also weather.

5) The sweet sorghum is a single crop plant. It is not practical to grow by keeping the original root like sugar cane. Therfore, there will be a land prepapration and laboir cost in every new crop.

5.2 Challenge

1) From the study, it is found that there is significantly high amount of mono-saccharide sugar in the juice. This is a great benefit to the fermentation process. The yeast can convert this sugar to alcohol in a shorter period and

yielding the higher fermentation efficiency.

2) The shorter crop (100-110 days) provide a short returns and possible to grow in between the crop of other plants.

3) The sweet sorghum has very closed properties to cane juice. It can be operate in the same technology and also grow in between the end of the sugar cane season during May to August.

4) ในส่วนเทคโนโลยีการหีบหรือการทำน้ำหวาน สามารถใช้เทคโนโลยีของโรงงานหีบอ้อยได้ เพียงแค่ปรับปรุงอุปกรณ์และเงื่อนไขการทำงานเล็กน้อย เทคโนโลยีการหมักอาจจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเรื่องสายพันธุ์ยีสต์ และเงื่อนไขในการหมักเพื่อให้ได้เอทานอลสูงสุด ส่วนเทคโนโลยี การกลั่น สามารถใช้ได้เหมือนกับโรงงานผลิตเอทานอลอื่นๆ

5.3 มาตรการสนับสนุน(ข้อเสนอแนะ)

1) มาตรการส่งเสริมการผลิตลำต้นข้าวฟ่างหวานเป็นวัตถุดิบสำหรับโรงผลิตเอทานอล

เพื่อส่งเสริมการผลิตลำต้นข้าวฟ่างหวานควรใช้ระบบเช่นเดียวกับการผลิตอ้อยส่งโรงงานน้ำตาลในปัจจุบัน ซึ่งมีพันธะสัญญาระหว่างผู้ปลูกข้าวฟ่างหวานกับผู้ผลิตเอทานอลเพื่อให้ผลผลิตสอดคล้องกับปริมาณที่ต้องการ ลดต้นทุนการขนส่ง โดยสนับสนุนเกษตรกรที่รอบๆ โรงผลิตเอทานอล โดยอาจนำระบบโลจิสติกส์มาประยุกต์ใช้เพื่อวางแผนการปลูก การเก็บเกี่ยวและการขนส่ง และโรงผลิตเอทานอลจากข้าวฟ่างหวานควรอยู่ใกล้กับแหล่งวัตถุดิบอื่นๆ เช่น โรงงานน้ำตาล โรงงานแป้งมัน และออกแบบให้ใช้ได้กับวัตถุดิบที่หลากหลาย เพื่อให้ได้ผลผลิตสม่ำเสมอตลอดปี

2) มาตรการพัฒนาเทคโนโลยี

ควรส่งเสริมให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเอทานอลจากข้าวฟ่างหวาน ตั้งแต่ การพัฒนาสายพันธ์ เทคโนโลยีการปลูกและ

เก็บเกี่ยว และเทคโนโลยีการผลิตเอทานอลจากข้าวฟ่างหวาน โดยจัดสร้างโรงงานต้นแบบที่มีขนาดใกล้เคียงกับโรงงานจริงเพื่อ

4) Sugar can technology may be adapted to run with the sweet sorghum juice. The fermenatation technology is also compatible. Only some minor aspects need to be adapted such as yeast stain and operating conditions.

the actual figures associated with the energy consumption, yield, cost, and other fesibilities.

5.3 **Suggestion and strategy to promote**

1) **Create the demand**

To promote the farmer to grow the sweet sorghum, there must be some demand. The demand should come from the industry. The industry should gauruntee the price and support the farmers to produce enough sweet sorghum. The contact farming may be a good strategy to encourage the farmer to produce the stalk.

2) **Technology development**

There should be supports on technologies associated with sweet sorghum ethanol. The development of the variety, farming and havesting technologies, ethanol production technology, all engineering and environmental aspect. The pilot plant should be build and really operated to investigate

ศึกษาวิจัยอย่างจริงจัง เนื่องจากปัจจุบันมีเพียงการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการเท่านั้น ซึ่งอาจทำให้ไม่เห็นปัญหาที่แท้จริงได้

3) **มาตรการส่งเสริมการวิจัย**

ควรมีการวิจัยและพัฒนากระบวนการผลิตที่ลดระยะเวลาและต้นทุนการผลิต เช่นใช้การหมักลำต้นสับแทนการหมักน้ำคั้นหรือหมักแบบ cellulose เพื่อลดขั้นตอนการผลิต

ส่งเสริมการวิจัยผลิตภัณฑ์ที่เหลือจากกระบวนการผลิตไปใช้ประโยชน์ เช่น ศึกษาการนำกากลำต้นไปเป็นอาหารสัตว์ เป็นพลังงาน ทำเป็นปุ๋ยหรือนำน้ำส่าไปผลิตก๊าซชีวภาพ

6. การเผยแพร่ผลงานโครงการลงในวารสารวิชาการ

หลังจากที่ปรึกษาได้ดำเนินการศึกษาวิจัยครบถ้วนแล้ว ได้ดำเนินการตีพิมพ์ในบทความทางวิชาการเพื่อเผยแพร่ผลการศึกษาในวารสารวิชาการ 2 เรื่อง ดังนี้

1. "การคัดเลือกสายพันธุ์ยีสต์และการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานในระดับขยายขนาด" อยู่ระหว่างการพิจารณาให้การตีพิมพ์ในวารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น. (ส่งถึงบรรณาธิการ เมื่อ เดือนกุมภาพันธ์ 2554)

2. "Ehanol production from sweet sorghum juice under very high gravity conditions: Batch, repeated-batch and scale up fermentation" ได้รับการตีพิมพ์ใน Electronic Jounal of Biotechnology, vol14-issue 1 (2011)

3) **Further research**

There should further research on the ethanol production from the stalk directly. Due to the high amount of sugar and also high cellulose in the stalk, the cellulose technology should be investigated to compare the production cost with the conventional yeast fermentation. The pilot plant may be needed to operate and find out the real figures.

The by-product research is also important. This will be an add-up value of the sweet sorghum and make it possible to complete with other crops.

6. **Publications resulted from the study**

In this project, the results from the study were published in the research journals as listed below.

1) "Selection of yeast stain and optimum conditions for scale-up ethanol production from sweet sorghum juice" KKU Research Journal (Under consideration, submitted in February 2011)

2) "Ehanol production from sweet sorghum juice under very high gravity conditions: Batch,repeated-batch and scale up fermentation" Electronic Jounal of Biotechnology, vol14, issue 1 (2011)