

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



190739

การหาสภาพที่เหมาะสมที่สุดในการขบวนการผลิตเอทานอลจากข้าว
โดยใช้เทคนิคการทดลองแบบการทดลอง

เบญจลักษณ์ วัฒนาวรรณกุล

จิตรกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาจิตรกรรมอุตสาหกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
กันยายน 2554



การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการผลิตเอทานอลจากข้าว
โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง

เยาวลักษณ์ วัฒนารสกุล

วิทยานิพนธ์นี้เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัยเพื่อเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม



บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
กันยายน 2554

การหาสถานะที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการผลิตเอทานอลจากข้าว
โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง

เขาวลัษณ์ วัฒนาวรสกุล

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธานกรรมการ

ผศ.ดร. อรรถพล สมทุพดี



..... กรรมการ

รศ.ดร. เสริมเกียรติ จอมจันทร์ยอง



..... กรรมการ

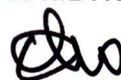
ผศ.ดร. รุ่งนัตร์ ชมภูอินไหว



..... กรรมการ

อ.ดร. สุรัชย์ สติตคุณารัตน์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์



.....
รศ.ดร. เสริมเกียรติ จอมจันทร์ยอง

20 กันยายน 2554

© ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

การหาสถานะที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการผลิตเอทานอลจากข้าว
โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง

เยาวลักษณ์ วัฒนารสกุล

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธานกรรมการ

ผศ.ดร. อรรถพล สมุทรคุปต์



..... กรรมการ

รศ.ดร. เสริมเกียรติ จอมจันทร์ยอง



..... กรรมการ

ผศ.ดร. รุ่งฉัตร ชมภูอินทร์



..... กรรมการ

อ.ดร. สุรัชย์ สติคุณารัตน์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์



.....

รศ.ดร. เสริมเกียรติ จอมจันทร์ยอง

20 กันยายน 2554

© ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือจาก รศ.ดร. เสริมเกียรติ จอมจันทร์ยอง ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งกรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษาและตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้

ขอกราบขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ (สวทน) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นอย่างสูง ที่ให้การสนับสนุนอนุเคราะห์ด้านทุนวิจัย เพื่อเป็นค่าใช้จ่ายในการศึกษาภายใต้โครงการวิจัยเรื่อง “การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการผลิตเอทานอลจากข้าวโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง”

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ชนม์เจริญ แสงรัตน์และ Dr. Nobutaka Ito ที่ให้คำปรึกษาตรวจสอบ แก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรถพล สมุทรคุปต์, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รุ่งฉัตร ชมภูอินไหว และ ดร. สุรัชย์ สถิตคุณารัตน์ ที่กรุณารับเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ และ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ที่ได้ให้ความช่วยเหลือเอื้ออำนวย สถานที่ อุปกรณ์เครื่องมือในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณบิดา มารดาและครอบครัว ที่ได้ส่งเสริมและสนับสนุนการศึกษาและเป็นการกำลังใจที่สำคัญที่สุด

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ด้วย

ความสำเร็จของผู้เขียน ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณที่กล่าวมาข้างต้น และหากมีส่วนหนึ่งส่วนใดในวิทยานิพนธ์เล่มนี้บกพร่องหรือผิดพลาดประการใด ผู้เขียนขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

เยาวลักษณ์ วัฒนาวรสกุล

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์	การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการผลิตเอทานอลจากข้าวโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง
ผู้เขียน	นางสาวเยาวลักษณ์ วัฒนาวรสกุล
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหกรรม)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร. เสริมเกียรติ จอมจันทร์ยอง

บทคัดย่อ

190739

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการนำแนวคิดการใช้เทคนิคออกแบบการทดลองมาประยุกต์ใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมของการผลิตเอทานอลจากข้าว และทำการวิเคราะห์ต้นทุนของการผลิตเอทานอลจากข้าว

หลักการออกแบบการทดลองที่ใช้ในการศึกษารั้งนี้คือ การออกแบบแฟคทอเรียลแบบ 2^k (2^k Factorial Design) โดยกำหนดปัจจัย 4 ปัจจัย คือ ชนิดของข้าว, วิธีย่อยแป้งให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาล, อุณหภูมิที่ใช้ในการหมัก และเวลาที่ใช้ในการหมัก การวัดค่าผลตอบแทนที่ได้เป็นค่าความเข้มข้นของเอทานอล ซึ่งในการทดลองแบ่งออกเป็นสามขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกเพื่อหาช่วงระดับของปัจจัยที่เหมาะสม ขั้นตอนที่สองเป็นการทดลองเพื่อหาอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลในการทดลองและสภาวะที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการวิเคราะห์ต้นทุนเอทานอลจากข้าว

ผลจากการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติที่ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05 พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลในการทดลองมี 3 ปัจจัยคือ ชนิดของข้าว, วิธีย่อยแป้งให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาล และเวลาที่ใช้ในการหมัก ระดับปัจจัยที่เหมาะสมของการผลิตเอทานอลจากข้าวคือ การนำข้าวเหนียวดำ/คอยมาย่อยด้วยเชื้อรา *Aspergillus oryzae* และ *Aspergillus sake* เป็นเวลา 14 วัน จากนั้นทดลองต่อโดยทำการหาสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยเวลาที่ใช้ในการหมัก พบว่า เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นความเข้มข้นของเอทานอลจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง จากนั้นความเข้มข้นของเอทานอลจะคงที่ ดังนั้นเวลาที่เหมาะสมในการหมักเอทานอลคือ 18 วัน ได้เอทานอลที่มีความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 15-16 % เมื่อทำการเปรียบเทียบต้นทุนของการผลิตเอทานอลพบว่า การผลิตเอทานอลด้วยข้าวเหนียวดำ/คอย

190739

ย่อยด้วยเชื้อรา *Aspergillus oryzae* และ *Aspergillus sake* มีต้นทุนต่ำที่สุด คือ 1,941.63 บาทเมื่อคิดเทียบกับเอทานอลความเข้มข้น 95% ปริมาตร 10 ลิตร

Thesis Title	Optimal Condition Determination for the Production of Ethanol from Rice Using Design of Experiment Technique
Author	Ms. Yaowalak Watthanaworasakun
Degree	Master of Engineering (Industrial Engineering)
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Sermkiat Jomjunyong

ABSTRACT

190739

The purpose of this research was to introduce the concept of experimental design techniques for determining the optimization of the ethanol production and cost analysis.

The study was based on the principle of 2^k Factorial Design. Four factors used in measuring concentration of ethanol from fermentation process are type of rice, convert starch into sugar (hydrolysis), fermentation temperature and fermentation time. The experiment was divided into 3 stages : the discovery of the factor interval, finding out the influences of the factors and optimal conditions and finally, cost analysis of ethanol from rice.

The results of the experiment at the significance level of 0.05 ($\alpha = 0.05$) indicated that three factors have effected type of rice, convert starch into sugar (hydrolysis) and fermentation time. The suitable factors of ethanol production from rice is based on fermented Black Glutinous Rice using fungi *Aspergillus oryzae* and *Aspergillus sake* for 14 days. Then, finding the optimal condition for fermentation time factor found that increasing fermentation time, ethanol concentration increased and to be constant. The suitable time for ethanol fermentation is 18 days, ethanol concentration during 15% to 16%. When we compare the cost of ethanol production. We found that ethanol production from Black Glutinous Rice using fungi *Aspergillus oryzae* and *Aspergillus sake* has the lowest cost at 1,941.63 baht per ethanol (concentration 95%) 10 litre.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหางานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	5
2.1 การผลิตเอทานอล	5
2.2 เอทานอลกับสิ่งแวดล้อม	22
2.3 การออกแบบการทดลอง	22
2.3.1 คำศัพท์เกี่ยวกับการทดลอง	28
2.3.2 หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล	30
2.4 ทฤษฎีต้นทุนที่เกี่ยวข้อง	44
2.4.1 ส่วนประกอบของต้นทุนของการผลิตสินค้าหรือบริการ	44
2.4.2 การจำแนกต้นทุนสามารถจำแนกตามพฤติกรรมต้นทุน	48
2.4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการผลิต	48
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	49

3.1	วิเคราะห์ปัญหาและปัจจัยในการผลิตเอทานอลจากข้าว	49
3.1.1	คุณลักษณะของผลตอบ (Response Characteristic)	49
3.1.2	ปัจจัยควบคุม (Control Factor)	49
3.1.3	ปัจจัยคงที่ (Held-Constant Factor)	50
3.1.4	ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Nuisance Factors)	50
3.2	เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	50
3.2.1	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	50
3.2.2	เครื่องมือทางสถิติที่ใช้ในการวิจัย	55
3.3	การหาช่วงระดับของปัจจัย	55
3.3.1	ชนิดของข้าวที่นำมาใช้ในการทดลอง (Type of rice)	55
3.3.2	วิธีย่อยแป้งให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาล (Hydrolysis)	55
3.3.3	อุณหภูมิที่ใช้ในการหมัก (Fermentation Temperature)	55
3.3.4	เวลาที่ใช้ในการหมัก (Fermentation Time)	55
3.4	การทดลองเพื่อหาอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลในการทดลอง	56
3.5	การวิเคราะห์ข้อมูล	59
3.5.1	การตรวจสอบข้อมูลความถูกต้องของแบบจำลอง	59
3.5.2	การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Square)	60
3.5.3	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)	61
3.5.4	การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการทดลอง	61
3.5.5	สร้างสมการทำนาย	63
3.6	การวิเคราะห์หาเวลาที่ใช้ในการหมักเมื่อกำหนดชนิดของข้าว, วิธีการย่อยแป้ง, อุณหภูมิในการหมักคงที่	63
3.7	การวิเคราะห์ต้นทุน	63
3.7.1	คิดต้นทุนของข้าวที่ใช้ในการหมักเอทานอล	64
3.7.2	คิดต้นทุนของเชื้อรา <i>Aspergillus oryzae</i> และ <i>Aspergillus sake</i>	64
3.7.3	คิดต้นทุนของเอนไซม์ α -Amylase	64

	3.7.4	คิดต้นทุนของเอนไซม์ <i>Amyloglucosidase</i>	64
	3.7.5	คิดต้นทุนของ ยีสต์ <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	64
	3.7.6	ค่าจ้างผลิตตลอดกระบวนการ	64
บทที่ 4		ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล	65
	4.1	การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยจากแบบจำลอง	65
	4.1.1	การทดลองเพื่อหาอิทธิพลของปัจจัย	65
	4.1.2	ผลการวิเคราะห์ Full factorial	68
	4.1.3	การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง	69
	4.1.4	การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-square)	71
	4.1.5	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)	71
	4.1.6	การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการทดลอง	71
	4.2	การวิเคราะห์หาเวลาที่ใช้ในการหมักเมื่อกำหนดชนิดของข้าว, วิธีการย่อยแป้ง, อุณหภูมิในการหมักคงที่	75
	4.2.1	ผลการทดลองหมักเอทานอล	75
	4.2.2	วิเคราะห์ปัจจัยเวลาที่ใช้ในการหมัก	76
	4.3	การวิเคราะห์ต้นทุน	76
	4.3.1	คิดต้นทุนของเอทานอลที่ผลิตจากข้าวเหนียวสันป่าตอง และหมักด้วยเชื้อรา <i>Aspergillus oryzae</i> และ <i>Aspergillus sake</i>	77
	4.3.2	คิดต้นทุนของเอทานอลที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำ/คอย และหมักด้วยเชื้อรา <i>Aspergillus oryzae</i> และ <i>Aspergillus sake</i>	78
	4.3.3	คิดต้นทุนของเอทานอลที่ผลิตจากข้าวเหนียวสันป่าตอง และหมักด้วยเอนไซม์ α -Amylase และ <i>Amyloglucosidase</i>	79
	4.3.4	คิดต้นทุนของเอทานอลที่ผลิตจากข้าวเหนียวดำ/คอย และหมักด้วยเอนไซม์ α -Amylase และ <i>Amyloglucosidase</i>	80
บทที่ 5		สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	82
	5.1	สรุปผลงานวิจัย	82

5.1.1	การวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง	82
5.1.2	การวิเคราะห์ต้นทุน	83
5.2	การอภิปรายผล	83
5.2.1	การดำเนินการทดลองเพื่อหาระดับของปัจจัยที่มีผลต่อการหมักเอทานอล	83
5.2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและผลตอบที่ได้จากการหมักเอทานอล	85
5.2.3	การวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตเอทานอลจากข้าว	86
5.2.3	การวิเคราะห์เมื่อนำพืชอาหารมาผลิตเป็นพลังงานทดแทน	86
5.3	ข้อเสนอแนะ	87
บรรณานุกรม		88
ภาคผนวก		93
ก	รายละเอียดการหมักเอทานอลจากข้าว	94
ข	รูปภาพการหมักเอทานอลจากข้าวเหนียวสันป่าตองด้วยเชื้อรา <i>Aspergillus oryzae</i> และ <i>Aspergillus Sake</i>	99
ค	รูปภาพการหมักเอทานอลจากข้าวเหนียวคอย/คำด้วยเชื้อรา <i>Aspergillus oryzae</i> และ <i>Aspergillus Sake</i>	102
ง	รูปภาพการหมักเอทานอลจากข้าวเหนียวสันป่าตองด้วยเอนไซม์ α -Amylase และ Amyloglucosidase	105
จ	รูปภาพการหมักเอทานอลจากข้าวเหนียวคอย/คำด้วยเอนไซม์ α -Amylase และ Amyloglucosidase	108
ประวัติผู้เขียน		111

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตเอทานอล	11
2.2 เปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่ได้จากวัตถุดิบแต่ละชนิด	13
2.3 ราคาต้นทุนของวัตถุดิบชนิดต่างๆในหน่วยของ บาท/วัตถุดิบ 1 ตัน และบาท/เอทานอล1 ลิตร	13
2.4 โครงสร้างของราคาในแต่ละส่วนของการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบชนิดต่างๆ	14
2.5 การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง	26
2.6 เครื่องหมายที่ใช้สำหรับคำนวณผลลัพธ์ของการออกแบบการทดลองแบบ 2^2	37
2.7 ขั้นตอนการวิเคราะห์สำหรับการออกแบบ 2^k	39
2.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบ 2^k	41
2.9 ตารางการออกแบบการทดลองแบบ 2^4 Factorial Design	42
3.1 ปัจจัยคงที่	50
3.2 สรุปค่าระดับปัจจัยนำเข้าขั้นต้น	55
4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองแต่ละ Treatment	66
4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ Full Factorial	68
4.3 ค่า Estimated Coefficients ของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากข้าว	72
4.4 ตารางบันทึกผลการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาเวลาในการหมักเอทานอล	75
4.5 การคิดหาต้นทุนในการผลิตเอทานอลจากข้าวความเข้มข้น 95% ปริมาตร 10 ลิตร	81
5.1 เปรียบเทียบการผลิตเอทานอลที่ได้จากการศึกษาและการผลิตจริง	84

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
1.1 แผนภูมิแสดงการใช้พลังงานของประเทศไทยปี 2553	1
2.1 การเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสเป็นเอทานอลโดยการหมักของยีสต์	5
2.2 การหมักเอทานอลจากน้ำตาลซูโครส	6
2.3 การหมักเอทานอลจากแป้ง	7
2.4 กราฟต้นทุนการผลิตเอทานอล	15
2.5 แผนภาพขั้นตอนการผลิตเอทานอล	21
2.6 หุ่นจำลองทั่วไปของกระบวนการ	23
2.7 2 ³ Factorial Design	35
3.1 ข้าวเหนียวสันป่าตอง (Sanpahtawng Glutinous Rice)	50
3.2 ข้าวเหนียวดำหรือดอย (Black Glutinous Rice)	51
3.3 หม้อสแตนเลส	51
3.4 เครื่องบด blender	51
3.5 เชื้อรา <i>Aspergillus oryzae</i> และ <i>Aspergillus sake</i>	52
3.6 เอนไซม์ α -Amylase	52
3.7 เอนไซม์ Amyloglucosidase	52
3.8 ยีสต์ <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	53
3.9 เครื่อง Ebulliometer	53
3.10 Brix Refractometer	53
3.11 ห้องควบคุมอุณหภูมิ ที่ 20 °C	54
3.12 ห้องควบคุมอุณหภูมิ ที่ 37 °C	54
3.13 เครื่องกลั่นเอทานอล	54
3.14 วิธีหมักเอทานอลโดยใช้เชื้อรา <i>Aspergillus oryzae</i> และ <i>Aspergillus sake</i>	57

3.15	วิธีหมักเอทานอลโดยใช้เอนไซม์ α -Amylase และ Amyloglucosidase	58
3.16	ขั้นตอนการทดลองเพื่อหาอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลในการทดลอง	59
4.1	กราฟส่วนตกค้างจากผลการทดลอง	69
4.2	กราฟส่วนตกค้างกับลำดับของข้อมูล	70
4.3	กราฟส่วนตกค้างกับค่าที่ได้รับจากการคำนวณ	70
4.4	การพล็อตความน่าจะเป็นแบบปกติของปัจจัยต่างๆในการผลิตเอทานอลจากข้าว	72
4.5	กราฟแสดงจุดที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยโดยฟังก์ชัน Response Optimizer	73
4.6	ผลหลักของการผลิตเอทานอลจากข้าว	74
4.7	กราฟแสดงเวลาที่เหมาะสมในการหมักเอทานอล	76