# รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

# การประยุกต์ใช้ภูมิปัญญาชาวบ้าน เพื่อการผลิตเอทานอลจากเปลือกกล้วย

# The Application of the folk wisdom for the ethanol production from banana peels

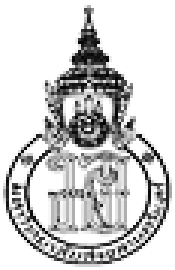

**ผู้วิจัย**

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สินินาฏ จงคง**



**โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**

**ประจำปีงบประมาณ 2555 รหัสโครงการ ENG550105S**



# รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

## การประยุกต์ใช้ภูมิปัญญาชาวบ้านเพื่อการผลิตเอทานอลจากเปลือกกล้วย

## The Application of the folk wisdom for the ethanol production from banana peels


**ผู้วิจัย**

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สินินาฏ จงคง**



**โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**

**ประจำปีงบประมาณ 2555 รหัสโครงการ ENG550105S**

**ชื่อโครงการ การประยุกต์ใช้ภูมิปัญญาชาวบ้านเพื่อการผลิตเอทานอลจากเปลือกกล้วย**

**คณะนักวิจัย**

1. หัวหน้าโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สินินาฏ จงคง
หน่วยงานต้นสังกัด ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา
2. ที่ปรึกษาโครงการ รองศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร
หน่วยงานต้นสังกัด ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

# สารบัญ


| หัวข้อ | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อ | viii |
| Abstract | x |
| บทนำ | 1 |
| วัตถุประสงค์ | 2 |
| 1. การตรวจเอกสาร | 3 |
| 1.1 การผลิตเอทานอล | 3 |
| 1.2 คลื่นไมโครเวฟ | 4 |
| 1.3 การทำกระดาษด้วยมือแบบพื้นบ้าน | 6 |
| 1.4 กรอบแนวความคิดอันเกิดจากประสบการณ์ของผู้วิจัย | 7 |
| 2. วิธีการทดลอง | 9 |
| 2.1 การเตรียมหรือการปรับสภาพวัตถุดิบ (Pretreatment) | 9 |
| 2.2 การย่อย (Hydrolysis) | 9 |
| 2.3 การหมัก (Fermentation) | 13 |
| 2.4 การขยายขนาดกำลังการหมักเอทานอลจากขวดหมักขนาด 250 มิลลิลิตร เป็นถังหมักขนาด 5 ลิตร | 15 |
| 2.5 การเพิ่มความบริสุทธิ์ของผลผลิตเอทานอลด้วยการกลั่น | 16 |
| 2.6 การทดลองนำกากของแข็งที่หลงเหลือจากการผลิตเอทานอลมาทำเป็นกระดาษ | 16 |
| 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ | 17 |
| 3.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของวัตถุดิบเปลือกกล้วยน้ำว้า | 17 |
| 3.2 ผลการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการย่อย (Hydrolysis) | 17 |
| 3.3 ผลการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการหมักเอทานอล (Fermentation) | 29 |
| 3.4 ผลการขยายขนาดการหมักเอทานอลด้วยชุดถังหมักขนาด 5 ลิตร | 53 |
| 3.5 ผลการเพิ่มความบริสุทธิ์ผลผลิตเอทานอลด้วยชุดเครื่องกลั่นแบบ Packed-Column | 53 |
| 3.6 ผลการประมาณต้นทุนการผลิตเอทานอล และเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสีย ของการผลิตแต่ละแบบ | 54 |
| 3.7 ผลการทำกระดาษอย่างง่ายจากผลผลิตของแข็งเหลือทิ้งหลังการหมักเอทานอล | 60 |
| 4. สรุปผลการทดลอง | 64 |
| 4.1 การผลิตเอทานอลจากเปลือกกล้วยน้ำว้า | 64 |
| 4.2 การขยายขนาดการหมักจากขวดหมักขนาด 250 มิลลิลิตร เป็นถังหมักขนาด 5 ลิตร | 65 |
| 4.3 การเพิ่มความบริสุทธิ์ผลผลิตเอทานอลด้วยชุดเครื่องกลั่นแบบ Packed-Column | 65 |
| 4.4 การประมาณต้นทุนการผลิตเอทานอล | 65 |
| 4.5 การทำกระดาษอย่างง่ายจากผลผลิตของแข็งเหลือทิ้งหลังการหมักเอทานอล | 66 |
| 5. เอกสารอ้างอิง | 67 |
| 6. ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป | 69 |
| ภาคผนวก | 70 |

# รายการตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | ช่วงค่าปัจจัยและระดับค่าของปัจจัยสำคัญ 3 ปัจจัย ที่ใช้สำหรับศึกษาทดลองในกระบวนการย่อยโดยการให้ความร้อนด้วย Oil bath | 10 |
| 2.2 | ผลการออกแบบสภาวะการทดลองโดย RSM สำหรับการย่อยโดยการให้ความร้อนด้วย Oil bath | 11 |
| 2.3 | ช่วงการทดลองและระดับปัจจัยสำคัญ 3 ปัจจัย จาก RSM ที่ทำการทดลองในกระบวนการย่อยโดยการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ | 12 |
| 2.4 | ผลการออกแบบสภาวะการทดลองการย่อยด้วยวิธีการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ | 12 |
| 2.5 | ช่วงการทดลองและระดับปัจจัยสำคัญ 4 ปัจจัย จาก RSM สำหรับการทดลองในกระบวนการหมัก | 13 |
| 2.6 | ผลการออกแบบสภาวะการทดลองการหมักโดย RSM | 14 |
| 3.1 | องค์ประกอบของเปลือกกล้วยน้ำว้า | 17 |
| 3.2 | ปริมาณผลผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากการย่อยโดยการให้ความร้อนด้วย Oil Bath ที่ได้จากการทดลองจริงและที่ได้จากการคำนวณหรือทำนายด้วย RSM | 19 |
| 3.3 | ปริมาณผลผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากการย่อยโดยใช้ไมโครเวฟที่ได้จากการทดลองจริงและที่ได้จากการทำนายด้วย RSM | 24 |
| 3.4 | สภาวะการหมักและปริมาณผลผลิตเอทานอลหลังการหมักผลผลิตที่ผ่านการย่อยโดยให้ความร้อนด้วย Oil Bath ที่ได้จากการทดลองจริงและที่ได้จากการทำนายโดย RSM | 30 |
| 3.5 | ปริมาณผลผลิตเอทานอลหลังการหมักผลผลิตที่ผ่านการย่อยโดยให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่ได้จากการทดลองจริงและที่ได้จากการทำนายด้วยสมการแบบจำลอง | 38 |
| 3.6 | ปริมาณผลได้เอทานอลที่ได้จากการหมักผลผลิตหลังผ่านการย่อยด้วยจุลินทรีย์ตามธรรมชาติจากการทดลองจริงและที่ได้จากการทำนายด้วยสมการแบบจำลอง | 46 |
| 3.7 | ชนิดและราคาของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเอทานอล | 54 |
| 3.8 | ค่าใช้จ่ายในการผลิตและปริมาณสารที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอลที่ทำการย่อยวัตถุดิบโดยการให้ความร้อนด้วย Oil bath | 58 |
| 3.9 | ค่าใช้จ่ายในการผลิตและปริมาณสารที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอลที่ทำการย่อยวัตถุดิบโดยการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ | 58 |
| 3.10 | ค่าใช้จ่ายในการผลิตและปริมาณสารที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอลที่ทำการย่อยวัตถุดิบด้วยจุลินทรีย์ธรรมชาติ | 58 |
| 3.11 | การเปรียบเทียบผลได้และต้นทุนการผลิตเอทานอลของการผลิตทั้ง 3 แบบ | 59 |
| 3.12 | การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของกระบวนการผลิตทั้ง 3 แบบ | 59 |
| 3.13 | การเปรียบเทียบผลได้ของผลผลิตเอทานอลจากการผลิตด้วยวัตถุดิบต่างๆ | 60 |

# รายการภาพประกอบ


| ภาพประกอบที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1.1 | แสดงการให้ความร้อนแบบธรรมดา | 5 |
| 1.2 | แสดงการให้ความร้อนแบบไมโครเวฟ | 5 |
| 2.1 | การปรับสภาพเปลือกกล้วย | 9 |
| 2.2 | เครื่องให้ความร้อนแบบอ่างน้ำมันควบคุมอุณหภูมิพร้อมการเขย่า (Oil Bath with Shaker) | 10 |
| 2.3 | เครื่องให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ Panasonic รุ่น NN-S215MF ขนาด 22 ลิตร กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ | 11 |
| 2.4 | การย่อยด้วยจุลินทรีย์ธรรมชาติ | 13 |
| 2.5 | ชุดขวดหมักเอทานอล (Air-locked Flask) | 15 |
| 2.6 | ชุดถังหมักความจุ 5 ลิตร | 15 |
| 2.7 | ชุดเครื่องกลั่นแบบ Packed-column | 16 |
| 3.1 | กราฟพื้นผิว (ก) และกราฟโครงร่าง (ข) แสดงอิทธิพลของเวลาและอุณหภูมิต่อปริมาณผลผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ | 20 |
| 3.2 | กราฟพื้นผิว (ก) และกราฟโครงร่าง (ข) แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิและอัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำส้มสายชู (XR) ต่อปริมาณผลผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ | 21 |
| 3.3 | กราฟพื้นผิว (ก) และกราฟโครงร่าง (ข) แสดงอิทธิพลของเวลาและอัตราส่วนโดยน้ำหนักน้ำส้มสายชู (XR) ต่อปริมาณผลผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ | 22 |
| 3.4 | กราฟพื้นผิว (ก) และกราฟโครงร่าง (ข) แสดงอิทธิพลของของเวลาและกำลังไฟฟ้าต่อปริมาณผลผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ | 25 |
| 3.5 | กราฟพื้นผิว (ก) และกราฟโครงร่าง (ข) แสดงอิทธิพลของกำลังไฟฟ้าและอัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำส้มสายชู (XR) ต่อปริมาณผลผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ | 26 |
| 3.6 | กราฟพื้นผิว (ก) และกราฟโครงร่าง (ข) แสดงอิทธิพลของกำลังไฟฟ้าและอัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำส้มสายชู (XR) ต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ | 27 |
| 3.7 | ผลของน้ำตาลรีดิวซ์ในเปลือกกล้วยหลังปล่อยให้เกิดการย่อยวัตถุดิบด้วยจุลินทรีย์ธรรมชาติเป็นเวลา 3 - 12 วัน ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 – 95 อุณหภูมิห้อง (26 – 32 องศาเซลเซียส) | 28 |
| 3.8 | กราฟพื้นผิว (ก) และกราฟโครงร่าง (ข) แสดงอิทธิพลของเวลาและอุณหภูมิต่อปริมาณผลผลิตเอทานอลหลังการหมักผลผลิตที่ได้จากการย่อยโดยให้ความร้อนด้วย Oil Bath | 31 |
| 3.9 | กราฟพื้นผิว (ก) และกราฟโครงร่าง (ข) แสดงอิทธิพลของปริมาณยีสต์และอุณหภูมิต่อปริมาณผลผลิตเอทานอลหลังการหมักผลผลิตที่ได้จากการย่อยโดยให้ความร้อนด้วย Oil Bath | 32 |
| 3.10 | กราฟพื้นผิว (ก) และกราฟโครงร่าง (ข) แสดงผลของ pH เริ่มต้น และอุณหภูมิต่อปริมาณผลผลิตเอทานอล | 33 |
| 3.11 | กราฟพื้นผิว (ก) และกราฟโครงร่าง (ข) แสดงอิทธิพลของปริมาณยีสต์และเวลาต่อปริมาณผลผลิตเอทานอลหลังการหมักผลผลิตจากการย่อยโดยให้ความร้อนด้วย Oil Bath | 34 |
| 3.12 | กราฟพื้นผิว (ก) และกราฟโครงร่าง (ข) แสดงอิทธิพลของ pH เริ่มต้นและเวลาต่อปริมาณผลผลิตเอทานอลหลังการหมักผลผลิตจากการย่อยโดยให้ความร้อนด้วย Oil Bath | 35 |

# รายการภาพประกอบ (ต่อ)

**ภาพประกอบที่** **หน้า**


3.13 กราฟพื้นผิว (ก) และกราฟโครงร่าง (ข) แสดงอิทธิพลของ pH และปริมาณยีสต์ต่อปริมาณผลผลิตเอทานอลหลังการหมักผลผลิตจากการย่อยโดยให้ความร้อนด้วย Oil Bath 36

3.14 กราฟพื้นผิว (ก) และกราฟโครงร่าง (ข) แสดงอิทธิพลของเวลาและอุณหภูมิต่อปริมาณผลผลิตเอทานอลหลังการหมักผลผลิตจากการย่อยโดยให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 39

3.15 กราฟพื้นผิว (ก) และกราฟโครงร่าง (ข) แสดงอิทธิพลของปริมาณยีสต์และอุณหภูมิต่อปริมาณผลผลิตเอทานอลหลังการหมักผลผลิตจากการย่อยโดยให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 40

3.16 กราฟพื้นผิว (ก) และกราฟโครงร่าง (ข) แสดงอิทธิพลของ pH และอุณหภูมิต่อปริมาณผลผลิตเอทานอลหลังการหมักผลผลิตจากการย่อยโดยให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 41

3.17 กราฟพื้นผิว (ก) และกราฟโครงร่าง (ข) แสดงอิทธิพลของปริมาณยีสต์และเวลาต่อปริมาณผลผลิตเอทานอลหลังการหมักผลผลิตจากการย่อยโดยให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 42

3.18 กราฟพื้นผิว (ก) และกราฟโครงร่าง (ข) แสดงอิทธิพลของ pH และเวลาต่อปริมาณผลผลิตเอทานอลหลังการหมักผลผลิตจากการย่อยโดยให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 43

3.19 กราฟพื้นผิว (ก) และกราฟโครงร่าง (ข) แสดงอิทธิพลของ pH และปริมาณยีสต์ต่อปริมาณผลผลิตเอทานอลหลังการหมักผลผลิตจากการย่อยโดยให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 44

3.20 กราฟพื้นผิว (ก) และกราฟโครงร่าง (ข) แสดงอิทธิพลของเวลาและอุณหภูมิต่อปริมาณเอทานอลที่ได้หลังการหมักผลผลิตจากการย่อยด้วยจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ 47

3.21 กราฟพื้นผิว (ก) และกราฟโครงร่าง (ข) แสดงอิทธิพลของ pH และอุณหภูมิต่อปริมาณผลผลิตเอทานอลที่ได้หลังการหมักผลผลิตจากการย่อยด้วยจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ 48

3.22 กราฟพื้นผิว (ก) และกราฟโครงร่าง (ข) แสดงอิทธิพลของปริมาณยีสต์และอุณหภูมิต่อปริมาณผลผลิตเอทานอลที่ได้หลังการหมักผลผลิตจากการย่อยด้วยจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ 49

3.23 กราฟพื้นผิว (ก) และกราฟโครงร่าง (ข) แสดงอิทธิพลของ pH และเวลาต่อปริมาณผลผลิตเอทานอลที่ได้หลังการหมักผลผลิตจากการย่อยด้วยจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ 50

3.24 กราฟพื้นผิว (ก) และกราฟโครงร่าง (ข) แสดงอิทธิพลของปริมาณยีสต์และเวลาต่อปริมาณผลผลิตเอทานอลที่ได้หลังการหมักผลผลิตจากการย่อยด้วยจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ 51

3.25 กราฟพื้นผิว (ก) และกราฟโครงร่าง (ข) แสดงอิทธิพลของปริมาณยีสต์และ pH ต่อปริมาณเอทานอลที่ได้หลังการหมักผลผลิตจากการย่อยด้วยจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ 52

3.26 แผนภาพแสดงขั้นตอนและปริมาณสารวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอลโดยใช้เปลือกกล้วย 30 กรัม และผ่านการย่อยให้ความร้อนด้วย Oil bath 55

3.27 แผนภาพแสดงขั้นตอนและปริมาณสารวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอลโดยใช้เปลือกกล้วย 30 กรัม และผ่านการย่อยให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ 56

3.28 แผนภาพแสดงขั้นตอนและปริมาณสารวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอลโดยใช้เปลือกกล้วย 30 กรัม และผ่านการย่อยด้วยจุลินทรีย์ธรรมชาติ ภายใต้อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 – 95 57

3.29 แสดงการล้างเยื่อ (ผลผลิตส่วนของแข็งที่ได้หลังขั้นตอนการหมัก) 61

3.30 แสดงการเกลี่ยเยื่อบนตะแกรงลอยน้ำ 61

# รายการภาพประกอบ (ต่อ)

**ภาพประกอบที่** **หน้า**

3.31 แสดงการตากเยื่อ 61
3.32 แผ่นเยื่อกระดาษของผลผลิตของแข็งเหลือทิ้งจากการผลิตเอทานอลที่ผ่านการย่อยให้ความร้อนโดย oil bath 62
3.33 แผ่นเยื่อกระดาษของผลผลิตของแข็งเหลือทิ้งจากการผลิตเอทานอลที่ผ่านการย่อยให้ความร้อนโดยไมโครเวฟ 62
3.34 แสดงแผ่นเยื่อแห้งหลังการกระจายเยื่อของแข็งและกรองเยื่อของแข็งด้วยเครื่องกรองสูญญากาศ 63
3.35 แสดงการขยี้เยื่อของแข็งก่อนการกระจายเยื่อ 63
3.36 แสดงแผ่นเยื่อแห้งหลังทำการขยี้ก่อนการกระจายและกรองเยื่อ 63

# กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงเพราะได้รับความช่วยเหลือจากหลายๆท่าน

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ช่วยเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย และขอบคุณบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมเคมีทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย นายอับดุลลาตีฟ ดอรอแม ที่ช่วยทำการทดลองและเก็บข้อมูลผลการทดลอง

ขอขอบพระคุณพี่อ๋าและพี่หญิง พี่สาวแสนดีที่คอยเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือในทุกๆเรื่อง และที่สำคัญที่สุด ขอขอบพระคุณผู้ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภทพัฒนานักวิจัย จากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปี 2555 สัญญาเลขที่ ENG550105S

**สินินาฏ จงคง**
**ธันวาคม 2556**

# บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้สนใจการผลิตเอทานอลสำหรับใช้เป็นพลังงานทดแทนแบบต้นทุนการผลิตต่ำ ด้วยการประยุกต์ใช้ภูมิปัญญาท้องถิ่น โดยใช้เปลือกกล้วยน้ำว้าซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นวัตถุดิบ ศึกษาการใช้กรดอ่อนอินทรีย์แทนการใช้กรดแก่อนินทรีย์ในขั้นตอนการปรับสภาพและย่อยเปลือกกล้วย และศึกษาการหมักโดยใช้ยีสต์ขนมปังราคาถูกซึ่งเป็นยีสต์ตระกูล *Saccharomyces cerevisiae* ทำการออกแบบการทดลองและศึกษาปัจจัยต่างๆ ด้วย Response Surface Methodology (RSM) โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 กระบวนการหลัก ดังนี้

กระบวนการแรก คือ การปรับสภาพและย่อยวัตถุดิบ โดยนำเปลือกกล้วยแช่ในสารละลายโซเดียมคลอ-ไรด์ (เกลือแกง) ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักเปลือกกล้วยต่อเกลือต่อน้ำเป็น 1:0.09:3 แช่เป็นเวลา 5 ชั่วโมง (เกลือมีคุณสมบัติช่วยลดยางกล้วยและช่วยให้เปลือกกล้วยมีผิวตึง สด มีลักษณะง่ายต่อการบดและการย่อย) หลังจากนั้นนำเปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพมาศึกษาการย่อยด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 3 วิธี วิธีแรก ศึกษาการย่อยด้วยการให้ความร้อนแบบดั้งเดิมด้วยอ่างน้ำมันควบคุมอุณหภูมิ โดยการต้มด้วยสารละลายน้ำส้มสายชู ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเปลือกกล้วยต่อน้ำส้มสายชู (มีกรดอะซิติกร้อยละ 5) ต่อน้ำเป็น 1:0.03:3 - 1:0.06:3 อุณหภูมิ 70 - 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 - 40 นาที วิธีที่ 2 ศึกษาการย่อยโดยการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเปลือกกล้วยต่อน้ำส้มสายชูต่อน้ำเป็น 1:0.03:3 - 1:0.06:3 กำลังไฟฟ้า 100 - 800 วัตต์ เป็นเวลา 1 - 10 นาที และวิธีที่ 3 ศึกษาการย่อยด้วยจุลินทรีย์ธรรมชาติที่มีอยู่แล้วบนเปลือกกล้วย ศึกษาโดยนำเปลือกกล้วยบดใส่ถุงดำวางในบริเวณที่มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 - 95 เป็นเวลา 3 - 12 วัน (4,320 - 17,280 นาที) ภายใต้อุณหภูมิห้อง (26 - 32 องศาเซลเซียส)

กระบวนการที่สอง นำเปลือกกล้วยที่ผ่านการย่อยด้วยสภาวะที่เหมาะสมของทั้ง 3 วิธี มาทำการหมักเอทานอล โดยปัจจัยสำคัญที่ศึกษา คือ ร้อยละโดยน้ำหนักของยีสต์เป็น 2 - 6 พีเอชเริ่มต้น 4.5 - 6.5 ภายใต้อุณหภูมิห้อง 30 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 - 8 วัน (24 - 192 ชั่วโมง) แล้วนำสภาวะการหมักที่เหมาะสมมาทำการขยายขนาดจากการหมักด้วยขวดหมักขนาด 250 มิลลิลิตร เป็นหมักในชุดถังหมัก 5 ลิตร

กระบวนการที่สาม นำน้ำหมักที่ได้จากการย่อยด้วยสภาวะที่เหมาะสมของทั้ง 3 วิธี ไปเพิ่มความบริสุทธิ์ของผลผลิตเอทานอลให้มีความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 95 โดยปริมาตร ด้วยเครื่องกลั่นแบบ Packed-column distillation unit

ผลการปรับสภาพและย่อย พบสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการให้ความร้อนด้วยอ่างน้ำมันควบคุมอุณหภูมิ คือ อัตราส่วนเปลือกกล้วยต่อน้ำส้มสายชูต่อน้ำเป็น 1:0.03:3 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที ได้ผลผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ 7.043 กรัมต่อลิตร สำหรับการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ คือ อัตราส่วน 1:0.06:3 กำลังไฟฟ้า 465 วัตต์ เวลา 10 นาที ได้น้ำตาลรีดิวซ์ 10.261 กรัมต่อลิตร และสำหรับการย่อยโดยจุลินทรีย์ธรรมชาติ ภายใต้อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 - 95 เป็นเวลา 3 วัน (4,320 นาที) ได้น้ำตาลรีดิวซ์ 0.196 กรัมต่อลิตร

ผลการหมักพบสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการหมักวัตถุดิบที่ผ่านการย่อยให้ความร้อนด้วยอ่างน้ำมันควบคุมอุณหภูมิคือ ใช้ยีสต์ร้อยละ 6 พีเอชเริ่มต้น 5.4 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 192 ชั่วโมง ได้ผลผลิตเอทานอลร้อยละ 8.625 โดยปริมาตร สำหรับวัตถุดิบที่ผ่านการย่อยให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ คือ ยีสต์ร้อยละ 3 พีเอชเริ่มต้น 4.8 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 192 ชั่วโมง ได้เอทานอลร้อยละ 9.238 โดยปริมาตร และวัตถุดิบที่ผ่านการย่อยด้วยจุลินทรีย์ธรรมชาติ คือ ยีสต์ร้อยละ 2 พีเอชเริ่มต้น 6.5 อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 192 ชั่วโมง ได้ผลผลิตมีเอทานอลร้อยละ 12.210 การขยายขนาดการหมักจาก 250 มิลลิลิตร เป็น 5

ลิตร ภายใต้สภาวะเดียวกันของวัตถุดิบที่ผ่านการย่อยแต่ละวิธี สามารถเพิ่มผลผลิตเอทานอลได้ประมาณร้อยละ 2.5

การกลั่นเพิ่มความบริสุทธิ์ของผลผลิตเอทานอลที่ผลิตจากทั้ง 3 วิธี ภายใต้สภาวะความดันบรรยากาศด้วยการให้อุณหภูมิน้ำหมัก 102 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที สามารถได้ผลผลิตเอทานอลบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 95 โดยปริมาตร

และการประมาณต้นทุนการผลิตเอทานอลทั้ง 3 วิธี พบว่าวิธีที่มีผลได้สูงที่สุดและต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด คือ วิธีที่ 3 (การย่อยด้วยจุลินทรีย์ธรรมชาติ) ซึ่งยิ่งตอกย้ำถึงการมีศักยภาพของเปลือกกล้วยในการเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอล โดยวิธีที่ 3 นี้ มีผลได้ 480.42 ลิตรต่อตัน (ลิตรเอทานอลต่อตันเปลือกกล้วย) และมีต้นทุนการผลิต 9.97 บาทต่อลิตร รองลงมาคือวิธีที่ 2 มีผลได้ 402.53 ลิตรต่อตัน และต้นทุน 15.64 บาทต่อลิตร และวิธีที่ 1 มีผลได้ 361.02 ลิตรต่อตัน และต้นทุน 21.57 บาทต่อลิตร ซึ่งทั้งสามวิธีสามารถได้ผลได้และมีต้นทุนการผลิตที่สามารถถูกพัฒนาต่อยอดเพื่อการผลิตเชิงพาณิชย์ได้

# Abstract

Low cost ethanol productions with folk wisdom for a renewable energy were studied. Banana peels, an agricultural residue, were used as a raw material. Organic acid was used instead of inorganic strong acid for the pretreatment and hydrolysis processes. And the baker's yeast that was a low cost *Saccharomyces cerevisiae* was employed for fermentation process. The 3 major processes were investigated. The first 2 processes, their experiments and important factors were designed by response surface methodology. For the first process, pretreatment and hydrolysis, the peels were carried out by 3 different methods. The peels were immersed in sodium chloride solution at the weight ratio of peels to sodium chloride to water of 1:0.09:3 for 5 h. This sodium chloride could make the peels fresh and easy to hydrolyze for the next step. For the first 2 methods, the pretreated peels were boiled in vinegar solution with weight ratio of peels to vinegar to water of 1:0.03:3 to 1:0.06:3 for the hydrolysis step. These hydrolysis, the 2 different heating ways were done by an oil bath at 70 - 95 ℃ for 20 - 40 min and by a microwave at 100 - 800 watt for 1 - 10 min. In addition, the third method, the peels were pretreated and hydrolyzed by using natural microorganisms (decay). For the decay, the crushed peels were sealed in plastic bags which the bags were put in a dark bucket under 85 - 95% relative humidity for 3 - 12 days (4,320 - 17,280 min) at a room temperature (26 - 32 ℃)

The second process, the hydrolyzed products from the each optimal condition of the 3 methods were investigated in the fermentations. The factors were yeast amount 2 - 6 %w with the initial pH of 4.5 - 6.5 at a room temperature, 30 and 35 ℃ for 1 - 8 days (24 - 192 h). After that, the optimal fermentations were scaled up from 250 ml capacity to 5 L.

The third process, the optimum fermented liquid products would be purified to reach more than 95%v ethanol product by a packed-column distillation unit.

The results were found that the optimal pretreatment and hydrolysis for oil bath heating were a ratio of 1:0.03:3 at 70 ℃ for 40 min. This provided 7.043 g/L reducing sugar in the product. For microwave heating was a ratio of 1:0.06:3 at 465 watt for 10 min that gave 10.261 g/L reducing sugar. And at a room temperature with 85 - 95% relative humidity for 3 day (4,320 min) could get 0.196 g/L reducing sugar for the decay.

The results of the optimal fermentations, the oil bath product should be done using 6% yeast with an initial pH of 5.4 at 40 ℃ for 192 h that 8.625 %v ethanol product was obtained. The microwave product should be fermented using 3% yeast with an initial pH of 4.8 at 40 ℃ for 192 h that 9.238 %v ethanol was received. And the decay product should be fermented using 2% yeast with an initial pH of 6.5 at a room temperature for 192 h. This provided 12.210 %v ethanol. Furthermore, these optimal conditions of 250 ml fermentation capacity were studied in the higher scale of 5 L. The ethanol product could be about 2.5% increase.

The third process, the purifications of the fermented liquid products from the 3 production methods were carried out under atmosphere pressure. The fermented liquid products were heated at 102 ℃ for 15 min to reach >95%v ethanol product.

The production costs of the 3 methods were estimated. They were found that the third method (decay) provided the highest yield and the lowest cost. This showed that banana peels were the potential raw material for the ethanol production. The third method yield 480.42 L/ton (a L of ethanol to a ton of peel) and the cost was 9.97 baht/L. The second method (microwave) was 402.53 L/ton and 15.64 baht/L. And the oil bath method was 361.02 L/ton and 21.57 baht/L. All 3 methods could get a good yield with low expenses. These showed that the 3 methods in this work were suitable to be commercial productions.