# การเร่งความเก่าข้าวกล้องหอมมะลิด้วยเทคนิคฟลูอิไดเซชันร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศ

**ดลฤดี ใจสุทธิ์ [1] สมเกียรติ ปรัชญาวรากร [2] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ [3]**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

**วารุณี วารัญญานนท์ [4] และ พัชรี ตั้งตระกูล [5]**

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ถ.พหลโยธิน ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10930

## บทคัดย่อ

ข้าวกล้องหอมมะลิเก็บเกี่ยวใหม่เมื่อนำมาหุงต้ม จะมีลักษณะเหนียวหรือแฉะติดกันเป็นก้อน ไม่น่ารับประทาน ทำให้ต้องมีการเก็บรักษาเป็นเวลาประมาณ 3-6 เดือนเพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติดังกล่าว นอกจากนี้ข้าวกล้องยังมีอายุการเก็บรักษาสั้น ประมาณ 3-6 เดือน เนื่องจากเกิดกลิ่นเหม็นหืนในระหว่างเก็บรักษา ดังนั้นการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงด้วยเทคนิคแบบฟลูอิไดเซชันร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศ จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวในงานวิจัยนี้ โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อผลิตข้าวกล้องหอมมะลิเก่าที่เกิดกลิ่นเหม็นหืนน้อยในระหว่างการเก็บรักษา และมีค่า glycemic index ต่ำ ด้วยเทคนิคฟลูอิไดเซชันในขั้นตอนแรก แล้วตามด้วยการเก็บในที่อับอากาศและเป่าด้วยอากาศแวดล้อมในขั้นตอนสุดท้าย โดยเก็บรักษาข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการอบแห้งไว้เป็นเวลา 7 เดือนในสภาวะแวดล้อม เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของระดับกรดไขมันอิสระ พร้อมทั้งเปรียบเทียบสมบัติที่ได้กับข้าวกล้องหอมมะลิอ้างอิงที่อบแห้งด้วยการตากลาน แล้วเก็บรักษาเป็นเวลา 7 เดือนเช่นกัน จากผลการทดลองพบว่าเทคนิคการอบแห้งแบบฟลูอิไดเซชันร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศ สามารถเร่งความเป็นข้าวเก่าของข้าวกล้องหอมมะลิได้ โดยอุณหภูมิอบแห้ง ความชื้นเริ่มต้น และเวลาการเก็บในที่อับอากาศ ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติด้านการหุงต้ม ซึ่งแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับข้าวกล้องหอมมะลิอ้างอิงที่เก็บไว้เป็นเวลา 7 เดือน อย่างไรก็ตามปริมาณกรดไขมันอิสระของข้าวกล้องหอมมะลิหลังจากผ่านกระบวนการอบแห้งแล้ว มีระดับต่ำกว่าข้าวอ้างอิง อีกทั้งยังเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 7 เดือน ในขณะที่กรณีข้าวกล้องหอมมะลิอ้างอิงปริมาณกรดไขมันอิสระจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังพบว่า การเก็บข้าวเปลือกด้วยวิธีธรรมชาติ ไม่ส่งผลต่อการลดต่ำลงของค่า glycemic index ในขณะที่การเร่งความเก่าด้วยวิธีทางความร้อน จะส่งผลให้ค่า glycemic index ลดต่ำลง

**คำสำคัญ :** การเก็บรักษา / การเร่งความเก่า / กรดไขมันอิสระ / ข้าวกล้องหอมมะลิ / ฟลูอิไดเซชัน / glycemic index

---

[1] *นักศึกษาปริญญาเอก เทคโนโลยีพลังงาน*

[2] *รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี*

[3] *ศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีพลังงาน*

[4] *ผู้อำนวยการ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร*

[5] *นักวิจัย ชำนาญการ8 สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร*

# Accelerated Aging of Jasmine Brown Rice by Fluidization and Tempering Techniques

**Donludee Jaisut [1], Somkiat Prachayawarakorn [2], Somchart Soponronnarit [3],**
King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Toongkru, Bangkok 10140
**Warunee Varanyanond [4], and Patcharee Tungtrakul [5]**
Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University,
Phahonyotin, Lad Yao, Jatujak, Bangkok 10903

## Abstract

Newly harvested Jasmine brown rice when cooked becomes a pasty mass and swells only slightly. To change those Jasmine brown rice properties, the paddy needs to storage for at least 3-6 months. However, brown rice has a short-shelf (3-6 months) due to the accumulation of free fatty acids (FFA) in brown rice and the associated rancidity during storage. This is, therefore, high temperature drying techniques as fluidization and tempering was applied into this work in order to improving the problems. The main objective of this study was to produce aged Jasmine brown rice with lower degree of rancidity during storage and with low glycemic index using fluidization in the first stage, and followed by tempering and ventilation in the last stage. Dried paddy was stored for 7 months at the ambient temperature. Shade dried sample, which was used as a reference, was also stored for 7 months to represent the conventionally aged Jasmine brown rice. The experimental results showed that the combined technique could produce aged Jasmine brown rice. High drying temperatures, initial moisture contents and tempering times had effect on cooking qualities. Chang of cooking qualities were similar to those observed in the case of the reference samples. However, the percentage of free fatty acid (FFA) after drying was lower in the case of the accelerated samples; the percentage FFA also increased only slightly during storage for 7 months whereas it rapidly increased in the case of the reference samples. As observed from the results, the natural aging process had no effect on the glycemic index which still remained at high level, whereas the rice obtained from the heating process showed only low-to-medium glycemic index.

**Keywords :** Storage / Accelerated Aging / Free Fatty Acids / Jasmine Brown Rice / Fluidization / Glycemic Index

---

[1] *Ph.D. Student, Department of Energy Technology.*

[2] *Associate Professor, Department of Chemical Engineering.*

[3] *Professor, Department of Energy Technology.*

[4] *Director, Institute of Food Research and Product Development.*

[5] *Professional list Researcher, Institute of Food Research and Product Development.*

## 1. บทนำ

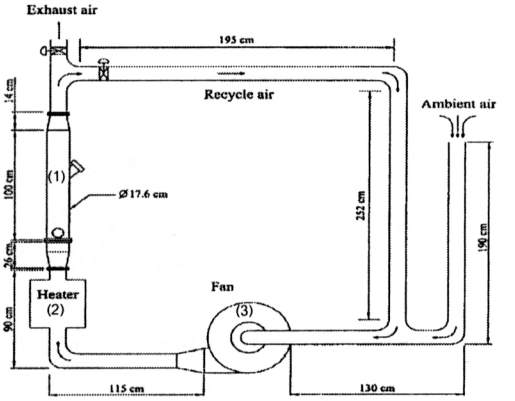
ข้าวกล้องหอมมะลิที่เก็บเกี่ยวใหม่ เมื่อนำมาหุงต้มจะมีลักษณะ เหนียวหรือแฉะติดกันเป็นก้อน ไม่น่ารับประทาน [1] สมบัติดังกล่าวของแป้งข้าวกล้องจะเปลี่ยนแปลงไปหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 3-6 เดือน [2] Villarcal et al. [3] ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของข้าวในระหว่างเก็บรักษา และพบว่า ข้าวที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลานานจะมีสมบัติด้านการดูดซับน้ำ และอัตราการขยายปริมาตรเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำข้าวสุกลดลง และข้าวหุงสุกไม่เหนียวติดกัน แต่เนื่องจากมีปัญหาการเกิดกลิ่นเหม็นหืนที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาของข้าวกล้อง [4-5] ทำให้การเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านการหุงต้มด้วยระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นไปได้ยาก อีกทั้งข้าวกล้องหอมมะลิยังมีค่า glycemic index สูง จึงอาจจะไม่เหมาะต่อการบริโภคสำหรับผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ทั้งนี้ค่า glycemic index เป็นดัชนีชี้วัดปริมาณการดูดกลืนคาร์โบไฮเดรตของร่างกาย ถ้าตัวอย่างมีค่า glycemic index สูงแสดงว่าร่างกายสามารถดูดกลืนคาร์โบไฮเดรตได้ดี ส่งผลให้ระดับน้ำตาลในเลือดและปริมาณอินซูลินเพิ่มขึ้น เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของแป้งและน้ำตาล [6]

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันอิสระในเมล็ดข้าว ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยของ Champagne [5] ที่ทำการทดลองเปรียบเทียบปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในข้าวกล้องที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 100°C กับข้าวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการอบแห้ง พบว่า ปริมาณกรดไขมันอิสระในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 50 วัน ของข้าวที่ผ่านการอบแห้ง เพิ่มขึ้นช้ากว่าข้าวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการอบแห้งประมาณ 70% ซึ่งการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิไดซ์เบดด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิสูง ร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศ และการเป่าด้วยอากาศแวดล้อม น่าจะช่วยทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระในข้าวกล้องหอมมะลิลดลงได้ อีกทั้งจากรายงานการวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการอบแห้งด้วยเทคนิคนี้ทำให้เกิดเจลบางส่วนขึ้นภายในเม็ดแป้งข้าว ส่งผลให้สมบัติของข้าวคล้ายข้าวเก่า [7] นอกจากนี้ยังให้อัตราการอบแห้งสูง และคุณภาพของข้าวเปลือกอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ [8] รวมทั้งอาจทำให้ค่า glycemic index ลดลง ซึ่งหากนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้ น่าจะช่วยเร่งความเป็นข้าวเก่าของข้าวกล้องหอมมะลิ และลดการเกิดกลิ่นเหม็นหืนกับลดค่า glycemic index ลงได้ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงเพื่อผลิตข้าวกล้องหอมมะลิเก่าที่มีค่า glycemic index ต่ำ ด้วยเทคนิคฟลูอิไดเซชันในขั้นตอนแรก แล้วตามด้วยการเก็บในที่อับอากาศและเป่าด้วยอากาศแวดล้อมในขั้นตอนสุดท้าย และเมื่อนำข้าวที่ผ่านกระบวนการอบแห้งไปเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 7 เดือน ปริมาณกรดไขมันอิสระยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

## 2. อุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 อุปกรณ์การทดลอง

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทดลองในงานวิจัยนี้เป็นเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดแบบงวด โดยใช้ตัวกลางเป็นอากาศร้อน ไดอะแกรมของอุปกรณ์ชุดนี้แสดงดังรูปที่ 1




**รูปที่ 1** ไดอะแกรมของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดแบบงวด

ซึ่งมีส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้ (1) ห้องอบแห้งรูปทรงกระบอกที่ทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร สูง 140 เซนติเมตร (2) ตัวให้ความร้อนจำนวน 3 ตัว ตัวละ 3 kW และ (3) พัดลมแบบเหวี่ยงชนิดใบพัดโค้งหลัง ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 1.5 kW มีตัวปรับความเร็วรอบเพื่อปรับอัตราการไหลของอากาศ ระบบอบแห้งหุ้มด้วยฉนวนใยแก้วเพื่อลดการสูญเสียความร้อน อากาศบางส่วนที่ผ่านห้องอบแห้งแล้วจะถูกนำกลับมาผสมกับอากาศใหม่ที่เข้ามา และทำให้ร้อนจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการเพื่อใช้ในการอบแห้งต่อไป อุณหภูมิของระบบอบแห้งควบคุมด้วยระบบ PID Controller มีความถูกต้อง ±1 °C

### 2.2 วิธีการทดลอง

นำข้าวเปลือกหอมมะลิ (พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105) มาเพิ่มความชื้นให้ได้ความชื้นเริ่มต้นใกล้เคียงกับความชื้นของข้าวหลังการเก็บเกี่ยว คือประมาณ 28.2 และ 33.3% d.b. โดยทำการพรมน้ำลงบนเมล็ดข้าวเปลือก จากนั้นนำไปเก็บไว้ในถังที่ปิดสนิท ในห้องเย็นที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 4 °C ในช่วงประมาณ 3-4 วันแรก นำข้าวเปลือกออกมาคลุก แล้วนำกลับไปเก็บดังเดิมจนครบ 7 วัน ก่อนการทดลองอบแห้งปล่อยให้ข้าวเปลือกมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิแวดล้อม

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเท่ากับ 130 และ 150 °C โดยใช้ความเร็วอากาศ 2.6 เมตรต่อวินาที และอากาศหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ 80% จากนั้นนำไปเก็บในที่อับอากาศเป็นเวลา 0.5 1 และ 2 ชั่วโมง โดยเก็บไว้ในขวดแก้วที่ปิดสนิทที่อุณหภูมิเดียวกันกับอุณหภูมิของเมล็ดหลังการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด แล้วจึงนำไปเป่าด้วยอากาศแวดล้อมจนความชื้นลดลงเหลือประมาณ 16.5% d.b. จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ต่อไป สำหรับการหาความชื้นของข้าวเปลือกจะเก็บตัวอย่างครั้งละประมาณ 50 กรัม ไปอบแห้งในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง การวัดอุณหภูมิอากาศร้อนในเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด จะใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ต่อเข้ากับเครื่องบันทึกผลของบริษัท YOKOKAWA (รุ่น C8510 ช่วงวัดอุณหภูมิ -100 ถึง 1300 °C ความละเอียด ±1 °C) และการวัดความเร็วลมใช้ Hot-wire anemometer มีความละเอียด ±0.1 m/s

### 2.3 การวิเคราะห์คุณภาพ

การวิเคราะห์คุณภาพประกอบไปด้วย การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระซึ่งดัดแปลงวิธีการมาจาก Fat Acidity-General Method ของ AACC Method 02-01 [9] โดยวิธีการเป็นดังนี้คือ นำข้าวกล้องไปขัดรำออกด้วยเครื่อง Satake miller จำนวน 3 ครั้ง แล้วชั่งน้ำหนักรำที่ได้ ประมาณ 2 กรัม ใส่ในตัวกรองหมายเลข 1 (Whatman No.1) ที่เตรียมไว้ หลังจากนั้นบรรจุตัวกรองลงในขวดแก้ว แล้วเติมสารละลาย Petroleum ether 200 ml และนำไปเขย่า (Shaking) โดยตั้งระดับความเร็วของเครื่องเขย่าที่ระดับปานกลาง (เครื่องเขย่ามีระดับความเร็วสูง กลาง และต่ำ) ที่อุณหภูมิแวดล้อม เป็นเวลา ประมาณ 2 วัน จากนั้นนำไปแยก Petroleum ether ออก ด้วยวิธีการระเหย จนเหลือแต่ปริมาณไขมัน และเตรียมสารละลาย Toluene ด้วย Toluene 1 l, Alcohol 1 l และ Phenolphthalein 0.8 g แล้วจึงนำสารละลาย Toluene ที่เตรียมไว้เติมลงในขวด ปริมาณ 50 ml จากนั้นนำไปไทเทรต ด้วย 0.0178 M KOH จนสารละลายเปลี่ยนเป็นเป็นสีชมพูอ่านปริมาณ 0.0178 M KOH ที่ใช้ไป บันทึกค่าไว้ แล้วนำมาคำนวณหาร้อยละกรดไขมัน ดังนี้

$$\text{ร้อยละกรดไขมันอิสระ} = \left(\frac{A-B}{100-C}\right)x10 \qquad (1)$$

โดยที่ A คือ ปริมาณ 0.0178N KOH ที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง (ml)
B คือ ปริมาณ 0.0178N KOH ที่ใช้ในการไทเทรต Blank (ml)
C คือ ปริมาณน้ำหนักของน้ำใน 100 กรัมตัวอย่าง (g)

การวิเคราะห์การย่อยของแป้งข้าวกล้องดัดแปลงวิธีการมาจากวิธีวิเคราะห์ของ Goni *et al.* [10] โดยเตรียมข้าวกล้องสุก 50 mg ใส่ในขวดทดลองขนาด 30 ml จากนั้นเติม HCl-KCl buffer pH 1.5 ปริมาณ 10 ml แล้วจึงนำไปปั่นเป็นเวลา 2 นาที และเติมสารละลาย 1 mg Pepsin (Porcine) ปริมาณ 0.2 ml แล้วนำไปเขย่าในอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิ 40 ℃ เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นปรับสารละลายเป็น 25 ml โดยเติม Tris-Maleate buffer (pH 6.9) ปริมาณ 15 ml ลงในขวด และเพื่อวัดอัตราการย่อยของแป้งข้าวกล้องจะเติม Tris-Maleate buffer ที่มี 2.6 IU $\alpha$ amylase porcine ปริมาณ 5 ml แล้วนำไปเขย่าในอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิ 37 ℃ โดยดูดตัวอย่างปริมาณ 0.1 ml ใส่ในหลอดทดลองทุกๆ 30 นาทีเป็นเวลา 180 นาที โดยหลอดทดลองทั้งหมดจะถูกนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที แล้วจึงเติม 0.4 M Sodium acetate buffer (pH 4.75) ปริมาณ 0.1 ml และ AMG ปริมาณ 30 $\mu$l ลงในหลอดทดลอง แล้วนำไปเขย่าในอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิ 60 ℃ เป็นเวลา 45 นาที เพื่อหาปริมาณกลูโคส ทั้งนี้อัตราการย่อยของแป้งข้าวกล้องสามารถคำนวณได้จากสมการของ Goni *et al.* (1997) คือ

$$C = C_{\infty}(1 - e^{-kt}) \quad (2)$$

โดยที่ C คือ ร้อยละของอัตราการย่อยของแป้งข้าวกล้องที่เวลา t
C คือ ร้อยละของอัตราการย่อยของแป้งข้าวกล้องที่เวลา 180 นาที
k คือ ค่าคงที่ของอัตราการย่อย
t คือ เวลาที่ใช้ในการย่อย, นาที

สำหรับพื้นที่ใต้โค้ง (AUC) ที่จะนำไปคำนวณหาค่า Hydrolysis index (HI) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$AUC = C_{\infty}(t_f - t_0) - (C_{\infty}/k)[1 - \exp[-k(t_f - t_0)]] \quad (3)$$

โดยที่ $t_f$ คือ เวลาสุดท้ายที่ใช้ในการย่อย (180 นาที)
และ $t_0$ คือ เวลาเริ่มต้นที่ใช้ในการย่อย (0 นาที)

ส่วนค่า HI คำนวณได้จากการหารพื้นที่ใต้โค้งของอัตราการย่อยตัวอย่างด้วยพื้นที่ใต้โค้งอ้างอิงซึ่งในที่นี้คือพื้นที่ใต้โค้งของอัตราการย่อยขนมปังขาว และค่า Glycemic index (GI) คำนวณได้จากสมการ

$$GI = 39.71 + (0.549HI) \quad (4)$$

และนำผลที่ได้จากการทดสอบ ไปวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อวิเคราะห์หาความแตกต่างทางด้านคุณภาพของตัวอย่างที่ได้จากการอบแห้งที่เงื่อนไขแตกต่างกัน ด้วยโปรแกรม SPSS และวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA (Analysis of Variance) โดยวิธี DMRT (Duncan's New Multiple Range Test) (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

การวิเคราะห์สมบัติด้านการหุงต้มจะพิจารณา การดูดซับน้ำของข้าวกล้องสุก การยืดของเมล็ดข้าวกล้องสุก และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำในข้าวกล้องสุก โดยใส่ข้าวกล้อง 8 กรัม และน้ำ 160 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ที่มีฝาปิด แล้วนำไปนึ่งในอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิ 100 ℃ เป็นเวลา 30 นาที [2] จากนั้นเทน้ำที่เหลือออกจากบีกเกอร์แล้วปล่อยในเย็นเป็น

เวลา 1 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปทดสอบสมบัติการหุงต้มด้านต่างๆ โดยสมบัติด้านการดูดซับน้ำของข้าวกล้องสุก จะทำการวัดโดยวัดค่าน้ำหนักของข้าวกล้องสุกแล้วนำไปคำนวณเป็นปริมาณน้ำที่ข้าวกล้องสุกดูดซับไว้ ส่วนการยืดของเมล็ดข้าวกล้องสุก สามารถคำนวณได้จากความยาวของข้าวกล้องหลังหุงสุก เปรียบเทียบกับความยาวก่อนหุง แล้วนำไปคำนวณเป็นร้อยละที่เพิ่มขึ้น สำหรับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำในข้าวกล้องสุก ได้จากการนำน้ำที่หุงข้าวกล้องสุกปริมาณ 10 มิลลิลิตร ใส่ในถ้วยอลูมิเนียม แล้วนำไปอบที่ 130°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง แล้วจึงนำน้ำหนักน้ำที่หุงข้าวกล้องสุกก่อน และหลังอบแห้ง ไปคำนวณหาร้อยละของแข็งที่ละลายน้ำในข้าวกล้องสุก [11]

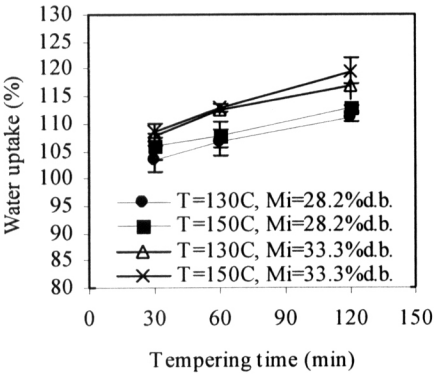
## 3. ผลและวิจารณ์

### 3.1 สมบัติด้านการหุงต้ม

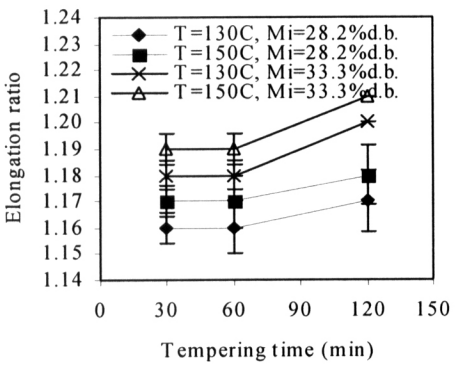
จากผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดซับน้ำ การยืดตัวของเมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิสุก และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำในข้าวกล้องหอมมะลิสุก โดยค่าการดูดซับน้ำ และการยืดตัวของเมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิสุก มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความชื้นเริ่มต้น และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำในข้าวกล้องหอมมะลิสุกมีค่าลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2(a)-2(c) ทั้งนี้น่าจะมาจากการที่ผนังเซลล์ของข้าวกล้องหอมมะลิที่ถูกเร่งความเป็นข้าวเก่า แข็งแรงขึ้นเนื่องจากการเกิดเจลาติไนเซชันในระหว่างการอบแห้งด้วยอุณหภูมิสูง อีกทั้งเม็ดแป้งยังสามารถคงความเป็นเหลี่ยมเอาไว้ได้ ส่งผลให้การดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น [11] และ การเกิดพันธะระหว่าง amylose และ lipid ในระหว่างการอบแห้ง ทำให้การสลายตัวของเม็ดแป้งในระหว่างกระบวนการขยายตัวของเมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิสุก เป็นไปได้ยากขึ้น ซึ่งตรงกับงานวิจัยของ Gujaral et al. [12] ที่ได้ทำการทดลองเร่งความเป็นข้าวเก่าของข้าว 3 พันธุ์ ที่ความชื้นเริ่มต้นต่างๆกัน ด้วยวิธีการนึ่งด้วยเครื่องอบความร้อนสูงด้วยไอน้ำที่ความดันบรรยากาศ พบว่า ค่าการดูดซับน้ำ ความสามารถในการพองตัว และเวลาที่ใช้ในการหุงต้ม เพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำในข้าวสุกลดลง ทั้งนี้พบว่าระยะเวลาการเก็บในที่อับอากาศมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติด้านการหุงต้มในข้าวกล้องหอมมะลิสุก โดยเมื่อเก็บในที่อับอากาศเป็นระยะเวลานานขึ้น ค่าการดูดซับน้ำ และการยืดตัวของเมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิสุก มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำในข้าวกล้องหอมมะลิสุกมีค่าลดลง ทั้งนี้น่าจะมาจากการเกิดเจลาติไนเซชันที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บในที่อับอากาศนานขึ้น

โดยการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านการหุงต้มของข้าวกล้องหอมมะลิที่ถูกเร่งความเป็นข้าวเก่า มีแนวโน้มคล้ายกับข้าวกล้องอ้างอิงที่ลดความชื้นจากความชื้นเริ่มต้น 28.2% d.b. และ 33.3% d.b. ลงมาเหลือ 16% d.b. และนำไปเก็บรักษาเป็นเวลา 7 เดือน ดังแสดงในรูป 2(d)-2(f) เนื่องจากโดยปกติ ความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้งข้าว จะเปลี่ยนไปตามระยะเวลาการเก็บรักษา [13] ดังนั้นเมื่อนำมาหุงต้มจะทำให้น้ำถูกดูดซับเข้าไปได้ง่าย ส่งผลให้ค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น และยังส่งผลให้การยืดตัวของเมล็ดข้าวกล้องสุกเพิ่มขึ้นด้วย

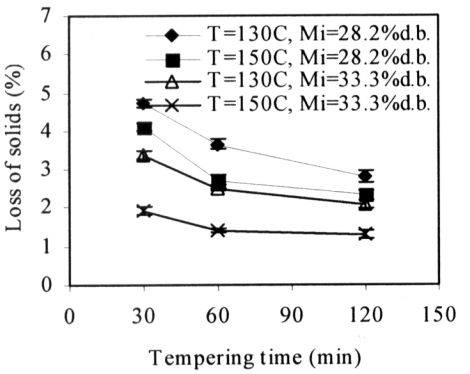
(a)


Water uptake (%)
Tempering time (min)
T=130C, Mi=28.2%d.b.
T=150C, Mi=28.2%d.b.
T=130C, Mi=33.3%d.b.
T=150C, Mi=33.3%d.b.

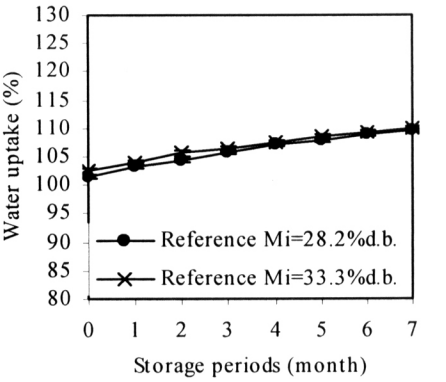
(b)


Elongation ratio
Tempering time (min)
T=130C, Mi=28.2%d.b.
T=150C, Mi=28.2%d.b.
T=130C, Mi=33.3%d.b.
T=150C, Mi=33.3%d.b.

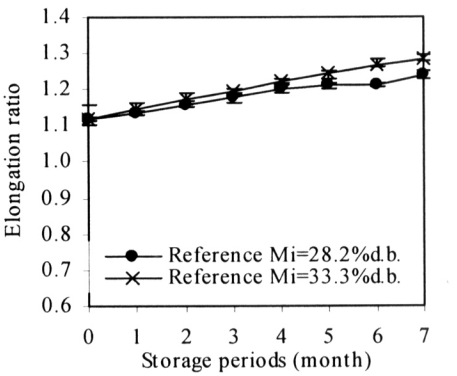
(c)


Loss of solids (%)
Tempering time (min)
T=130C, Mi=28.2%d.b.
T=150C, Mi=28.2%d.b.
T=130C, Mi=33.3%d.b.
T=150C, Mi=33.3%d.b.

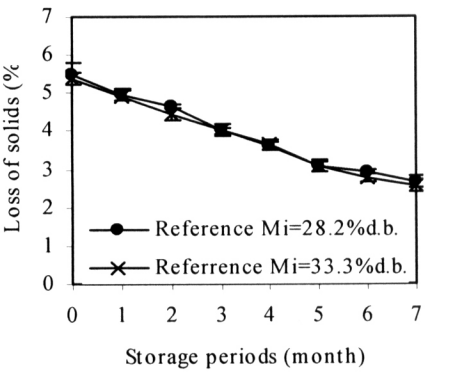
(d)


Water uptake (%)
Storage periods (month)
Reference Mi=28.2%d.b.
Reference Mi=33.3%d.b.

(e)


Elongation ratio
Storage periods (month)
Reference Mi=28.2%d.b.
Reference Mi=33.3%d.b.

(f)


Loss of solids (%
Storage periods (month)
Reference Mi=28.2%d.b.
Referrence Mi=33.3%d.b.

รูปที่ 2 ผลของความชื้นเริ่มต้น เวลาการเก็บในที่อับอากาศ และอุณหภูมิอบแห้ง ต่อสมบัติด้านการหุงต้มของข้าวกล้องหอมมะลิ ประกอบด้วย (a)-(c) สมบัติด้านการดูดซับน้ำ อัตราการยืดตัวและปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำของข้าวกล้องหอมมะลิสุกที่ผ่านการอบแห้งตามลำดับ และ (d)-(f) สมบัติด้านการดูดซับน้ำ อัตราการยืดตัวและปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำของข้าวกล้องหอมมะลิสุกอ้างอิงตามลำดับ (Reference คือข้าวกล้องหอมมะลิอ้างอิงที่ถูกลดความชื้นจาก 28.2%d.b. และ 33.3%d.b. ลงมาเหลือ 16%d.b. และนำไปเก็บรักษาเป็นเวลา 7 เดือน)

### 3.2 อัตราการย่อยของแป้งข้าวกล้อง

จากผลการทดลองในตารางที่ 1 จะสังเกตได้ว่ากระบวนการทำข้าวเก่าด้วยวิธีธรรมชาติ ไม่ส่งผลต่อค่า glycemic index โดยยังคงอยู่ในระดับที่สูง ในขณะที่ข้าวซึ่งผ่านกระบวนการทางความร้อนจะมีค่า glycemic index ต่ำลง แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเม็ดแป้งหลังผ่านกระบวนการทางความร้อน มีส่วนไปขัดขวางการย่อยของเอนไซม์ ($\alpha$ amylase) ทำให้ย่อยได้ยากขึ้น โดยระหว่างกระบวนการทางความร้อน พันธะของ amylose ไปจับกับพันธะของ lipid ซึ่งมีอยู่ทั้งในเมล็ดข้าวและในรำของข้าวกล้อง เกิดเป็นพันธะ amylose -lipid complexes ขึ้น โดยพันธะนี้มีส่วนขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ ($\alpha$ amylase) ทำให้ย่อยได้ช้าลง ดังจะสังเกตได้จากการลดลงของค่าการย่อยต่างๆ ในตารางที่ 1 ทั้งนี้เมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การจับกันระหว่างพันธะ amylose และ lipid เพิ่มมากขึ้น ค่า GI จึงลดลง โดยการอบแห้งข้าวเปลือกที่ความชื้นเริ่มต้น 33.3% d.b. ด้วยอุณหภูมิอบแห้ง 150 ℃ และเก็บในที่อับอากาศเป็นเวลา 120 นาที จะให้ค่า GI ต่ำที่สุดเท่ากับ 59.9 ในขณะที่ค่า GI ของข้าวกล้องอ้างอิงเท่ากับ 70.3 นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้น และระยะเวลาการเก็บในที่อับอากาศนานขึ้น ยังส่งผลให้ค่าอัตราการย่อยต่างๆ ลดลง โดยข้าวกล้องหอมมะลิที่ถูกเก็บไว้ในที่อับอากาศเป็นเวลานานขึ้นจะส่งผลให้ค่า k และ ค่า Hydrolysis index ลดลง ทั้งนี้ค่า Glycemic index (GI) ที่ได้จากการทดลองอยู่ในระดับการย่อยต่ำถึงปานกลางคืออยู่ระหว่าง 59 ถึง 63 เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน [14] จึงน่าจะเป็นทางเลือกสำหรับผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานในการเลือกบริโภค

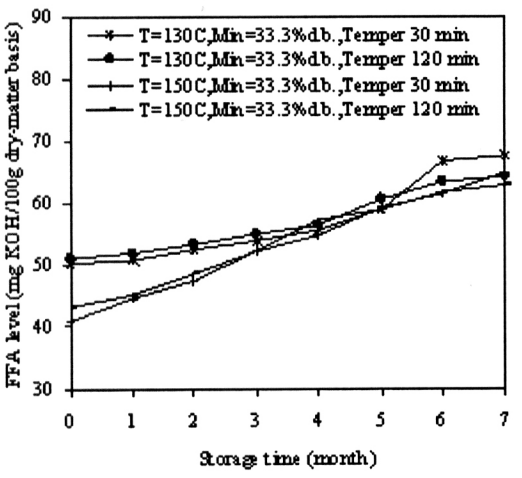
**ตารางที่ 1** ค่าอัตราการย่อยของแป้งที่เงื่อนไขต่างๆ (ข้าวกล้องหอมมะลิอ้างอิง คือข้าวเปลือกที่ถูกลดความชื้นจาก 33.3% d.b. ลงมาเหลือ 16% d.b. และส่วนหนึ่งนำไปเก็บรักษาเป็นเวลา 7 เดือน)

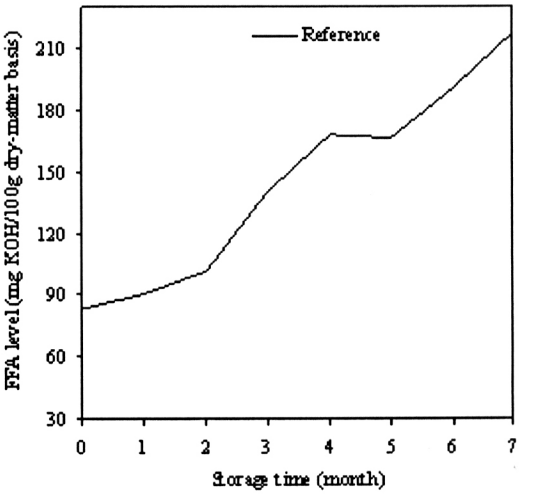
| Condition | $C_\infty$(%) | k ($min^{-1}$) | HI | GI | R2 |
|---|---|---|---|---|---|
| Reference Min 33.3% d.b. | 31.8 | 0.199 | 55.75 | 70.3 $\pm$0.00$^{g}$ | 0.98 |
| Reference Min 33.3% d.b., Storage 7 months | 31.3 | 0.178 | 54.60 | 69.68 $\pm$0.04$^{g}$ | 0.99 |
| T=130 ℃, Min 33.3% d.b., Tempered 30 min | 29.3 | 0.139 | 43.50 | 63.6 $\pm$0.01$^{f}$ | 0.99 |
| T=130 ℃, Min 33.3% d.b., Tempered 60 min | 28.1 | 0.131 | 41.70 | 62.9 $\pm$0.01$^{e}$ | 0.99 |
| T=130 ℃, Min 33.3% d.b., Tempered 120 min | 27.9 | 0.130 | 41.20 | 62.6 $\pm$0.00$^{d}$ | 0.99 |
| T=150 ℃, Min 33.3% d.b., Tempered 30 min | 26.3 | 0.120 | 38.80 | 61.0 $\pm$0.02$^{c}$ | 0.99 |
| T=150 ℃, Min 33.3% d.b., Tempered 60 min | 25.3 | 0.118 | 38.20 | 60.7 $\pm$0.00$^{b}$ | 0.99 |
| T=150 ℃, Min 33.3% d.b., Tempered 120 min | 24.8 | 0.108 | 36.80 | 59.9 $\pm$0.03$^{a}$ | 0.99 |

อักขระเหมือนกันภายในคอลัมน์เดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

### 3.3 ปริมาณกรดไขมันอิสระ

ปริมาณกรดไขมันอิสระเป็นสาเหตุที่สำคัญอย่างหนึ่งของการเกิดกลิ่นเหม็นหืนของข้าวกล้อง [5] จากผลการทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นปริมาณกรดไขมันอิสระทั้งหมดในข้าวกล้องจะลดลง และเมื่อเทียบกับข้าวอ้างอิงซึ่งไม่ได้ผ่านการอบแห้ง จะเห็นได้ว่าปริมาณกรดไขมันอิสระในข้าวกล้องที่ผ่านการอบแห้งมีค่าต่ำกว่า ดังแสดงในรูปที่ 3 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเกิดการเสื่อมสภาพของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในระหว่างกระบวนการอบแห้ง นอกจากนี้ปริมาณกรดไขมันอิสระในระหว่างการเก็บรักษาของข้าวกล้องที่ผ่านการอบแห้งเพิ่มขึ้นช้ากว่าข้าวกล้องอ้างอิง อาจเนื่องมาจากการอบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงกว่า 100°C สามารถหยุดยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลเปส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เปลี่ยนไขมันในรำข้าวให้กลายเป็นกรดไขมันอิสระได้ [15]




**รูปที่ 3** การเปลี่ยนแปลงของระดับกรดไขมันอิสระในข้าวกล้องหอมมะลิ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 7 เดือน (Reference คือข้าวกล้องหอมมะลิอ้างอิงที่ไม่ได้ผ่านการอบแห้ง)

## 4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลอง พบว่าสมบัติของข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด ตามด้วยการเก็บในที่อับอากาศ คล้ายกับสมบัติของข้าวกล้องหอมมะลิเก่า โดยความชื้นเริ่มต้น อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง และเวลาการเก็บในที่อับอากาศ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านการหุงต้มของข้าวกล้องหอมมะลิสุก เมื่อความชื้นเริ่มต้นเพิ่มขึ้น อุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น และเวลาการเก็บในที่อับอากาศนานขึ้น ส่งผลให้ผนังเซลล์แข็งแรงขึ้นอันเนื่องมาจากเกิดเจลาติไนเซชันในระหว่างกระบวนการอบแห้ง รวมทั้งเม็ดแป้งข้าวสามารถคงความเป็นเหลี่ยมไว้ได้ ทำให้น้ำถูกดูดซับเข้าไปภายในเมล็ดข้าวกล้องมากขึ้น ส่งผลให้ค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น และข้าวกล้องหอมมะลิสุกเกิดการยืดตัวของเมล็ดเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเกิดพันธะระหว่าง amylose และ lipid ภายในเมล็ดข้าว ทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำในข้าวกล้องหอมมะลิสุกมีค่าลดลง นอกจากนี้กระบวนการดังกล่าวยังส่งผลให้ค่าอัตราการย่อยของแป้งลดลงด้วย ในขณะที่ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวกล้องหอมมะลิอ้างอิงที่ไม่ผ่านกระบวนการอบแห้งไม่มีผลต่อการลดลงของอัตราการย่อยของแป้ง ทั้งนี้การอบแห้งด้วยอุณหภูมิเริ่มต้นที่สูง จะช่วยทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระในข้าวกล้องหอมมะลิมีระดับต่ำ ส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในระหว่างการเก็บรักษา

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนใคร่ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย ขอขอบพระคุณสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทดสอบสมบัติทางเคมีกายภาพของตัวอย่าง

## 6. เอกสารอ้างอิง

1. Barber, S., 1972, *Milled rice and changes during aging,* In: Rice chemistry and technology, D. F. Houston (Ed.), St. Paul, MN : American Association of Cereal Chemists, pp. 215-236.

2. Indhudhara Swamy, Y. M., Sowbhagya, C. M., and Bhattacharya, K. R., 1978, "Changes in physicochemical properties of rice with aging," Journal of the Science of Food and Agriculture, Vol. 29, 627-639.

3. Villarcal, R.M., Ressurreccion, A.P., Suzuki, L.B. and Juliano, B.O., 1976, "Changes in physicochemical properties of rice during storage," Starch/ Starke, Vol. 28, 88-94.

4. Houston, D.F. and Kohler, G.O., 1970, *Background and present situation,* In : Nutritional properties of rice, Washington, DC : National Academy of Sciences, Washington, D.C.

5. Champagne, E., 1994, *Brown rice stabilization,* In: Rice Science and Technology, New York, Marcel Dekker, pp. 17-35.

6. Lenner, R.A., Asp, N.G., Axelsen, M., Brybgelsson, S., Haapa, E., Jarvi, A., Karlstrom, B., Raben, A., Sohlstrom, A., Thorsdottir, I. and Vessby, B., 2004, "Glycaemic index," Scandinavian Journal of Nutrition, Vol. 48, No. 2, pp. 84-94.

7. มัทนียา เชี่ยวเวช, 2548, การเร่งความเก่าของข้าวเปลือกโดยใช้เทคนิคในการอบแบบฟลูอิไดซ์เบด ร่วมกับการเทมเปอร์, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอุณหภาพ คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หน้า 36-42.

8. Soponronnarit, S., Wetchacama, S., Swasdisevi, T. and Poomsa-ad, N., 1999, "Managing moist paddy by drying tempering and ambient air ventilation," Drying Technology, Vol.17, No. 1&2, pp. 335-344.

9. AACC. Approved methods of analysis, 1980, St Paul, MN: American Association of Cereal Chemists.

10. Goni, I., Garcia-Diz, L., Manas, E. and Saura-Calixto, F., 1996, "Analysis of resistance starch : A method for foods and food products," Food Chemistry, Vol. 56, pp. 445-449.

11. Desikachar, H.S.R. and Subrahmanyan, V., 1959, "Expansion of new and old rice during cooking, Cereal Chemistry," Vol. 36, No. 2, pp. 385-391.

12. Gujral, H. S. and Kumar, V., 2003, "Effect of accelerated aging on the physicochemical properties of brown and milled rice," Journal of Food Engineering, Vol. 59, pp. 117-121.

13. Villareal, R.M., Resurreccion, A.P., Suzuki, L.B., Juliano, B.O., 1976, "Changes in the physicochemical properties of rice during storage," Starch, Vol. 28, pp. 88-94.

14. Miller, J.B., Pang, E. and Bramall L., 1992, "Rice : a high or low glycemic index food," American Journal of Clinical Nutrition, Vol. 56, pp.1034-1036.

15. Giang, V. T., 2000, *Stabilization of brown rice by heat treatments,* M.Sc. thesis, Bangkok, Thailand : Asian Institute of Technology.