

# PROTOTYPE AND COMMERCIALIZATION OF FLUIDIZED BED PADDY DRYER

## การอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคฟลูอิดไอเซชัน : เครื่องต้นแบบและเครื่องเชิงการค้า

Somkiat Prachayawarakorn<sup>1</sup>      Somchart Soponronnarit<sup>2</sup>  
Mustafa Yapha<sup>2</sup> and Montri Wangji<sup>2</sup>

1 Faculty of Engineering

2 School of Energy and Materials

King Mongkut's Institute of Technology Thonburi  
Suksawat 48 Rd., Bangkok 10140, Thailand

สมเกียรติ ปรัชญาวรรการ<sup>1</sup>      สมชาติ โสภณรณฤทธิ์<sup>2</sup>  
มูस्ताฟา ยะภา<sup>2</sup> และ มนตรี หวังจิ<sup>2</sup>

1 คณะวิศวกรรมศาสตร์

2 คณะพลังงานและวัสดุ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
ถนนสุขสวัสดิ์ 48 กรุงเทพฯ 10140

## ABSTRACT

The objective of this research is to design and test a prototype, 1 ton capacity fluidized bed high moisture paddy dryer, and a 2.5-5 ton commercial fluidized bed high moisture paddy dryer. Exhaust air is partially recycled. The experimental results indicated that both units operated efficiently. If yield of product quality in terms of head yield and whiteness was preserved, inlet air temperature should not be higher than 120 °C. In reducing the moisture content from 45% to 24% dry-basis using paddy feed rate of 0.82 ton/hr, air temperature of 100-120 °C, fraction of air recycled of 66%, specific air flow rate of 0.05 kg/s-kg dry matter, superficial air velocity of 3.2 m/s, bed depth of 0.1 m, total primary energy consumption was 2.32 MJ/kg water evaporated. When paddy was dried from 27% to 21% dry-basis at a condition of paddy feed rate of 4.8 ton/hr, specific air flow rate of 0.03 kg/s-kg dry matter, fraction of recycled air of 53%, superficial air velocity of 2 m/s, bed depth of 0.1 m and air temperature of 150 °C, total primary energy consumption was 4.4 MJ/kg water evaporated.

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกที่ช่วงความชื้นสูงโดยเทคนิคฟลูอิดซ์เบดแบบไหลขวางอย่างต่อเนื่อง ระดับต้นแบบ ขนาดกำลังผลิต 1 ตันต่อชั่วโมง และที่ขยายเป็นเชิงการค้าที่มีกำลังผลิต 2.5-5 ตันต่อชั่วโมง โดยมีการเวียนอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ จากผลการทดลองสรุปได้ว่า เครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดแบบไหลขวางอย่างต่อเนื่องให้ประสิทธิภาพในการอบแห้งสูง ถ้าต้องการเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดและความขาวของข้าวสารอยู่ในเกณฑ์ดีไม่ควรใช้อุณหภูมิอบแห้งเกิน 120 °C ในการลดความชื้นข้าวเปลือกจากความชื้นเริ่มต้น 45 เปอร์เซ็นต์ ให้เหลือ 24 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง อัตราการป้อนข้าวเปลือก 0.82 ตันต่อชั่วโมง อุณหภูมิในการอบแห้งอยู่ในช่วง 100-120 °C อัตราเวียนอากาศกลับ 66 เปอร์เซ็นต์ อัตราการไหลอากาศจำเพาะ 0.05 kg/s-kg dry matter ความเร็วอากาศในเบด 3.2 m/s ความหนาของเบด 0.1 m สิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิ 2.32 MJ/kg water เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนเป็น 4.8 ตันต่อชั่วโมง ทำการลดความชื้นจาก 27 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 21 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง อัตราการไหลอากาศจำเพาะ 0.03 kg/s-kg dry matter อัตราการเวียนอากาศกลับ 53 เปอร์เซ็นต์ ความเร็วอากาศในเบด 2 m/s ความหนาของเบด 0.1 m อุณหภูมิในการอบแห้ง 150 °C พบว่าให้ความสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิ 4.4 MJ/kg water

## คำนำ

ในหลายปีที่ผ่านมาประเทศไทยได้มีการขยายตัวทางเศรษฐกิจอยู่ในระดับค่อนข้างสูงเนื่องจากนโยบายของรัฐบาลที่ได้มีการสนับสนุนการลงทุนในภาคอุตสาหกรรมส่งผลให้ราคาที่ดินสูงขึ้นและการส่งออกข้าวก็มีแนวโน้มที่ต้องมีการแข่งขันกับประเทศอื่นๆ มากขึ้น โดยเฉพาะเวียดนาม ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพข้าวก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว จากผลดังกล่าวข้างต้น รถเก็บเกี่ยวข้าวและนวดในตัวเริ่มเข้ามามีบทบาทมากขึ้น รถเก็บเกี่ยวข้าวและนวดในตัวให้ประสิทธิภาพในการเก็บเกี่ยวค่อนข้างสูง และจะเกี่ยวข้าวในช่วงความชื้นประมาณ 22-24 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ที่ช่วงความชื้นดังกล่าวเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดค่อนข้างสูง (สมชาย ฉินสกลธนากร, 2530 และ Suwansathi, 1989) ปัญหาคุณภาพข้าวลดลงจะเป็นปัญหาที่สำคัญอันหนึ่งถ้าข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงไม่สามารถทำให้ลดความชื้นให้เหลือ 18% มาตรฐานเปียกภายในเวลา 24 ชั่วโมง (Driscoll and Adameczak, 1988) ดังนั้นเครื่องอบแห้งจึงมีความจำเป็นมากขึ้น เครื่องอบแห้งฟลูอิดเบตเป็นเครื่องอบแห้งชนิดหนึ่งที่ทำให้การถ่ายเทมวลและความร้อนดี การจัดการง่าย Saponronnarit and Prachyawarakorn (1994) ศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกที่ช่วงความชื้นสูงโดยเทคนิคฟลูอิดเบตแบบกะ และพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ประกอบด้วยสมการหลักๆ คือ สมการอบแห้ง และสมการดุลมวล และสมการความสิ้นเปลืองพลังงานจากการทดลองที่ได้พบว่าความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดเบตของข้าวเปลือก 1.5 m/s ตัวแปรหลักที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง ได้แก่ อุณหภูมิของอากาศอบแห้ง ความเร็วลมมีผลน้อยมากต่ออัตราการอบแห้ง ดังนั้นการถ่ายเทความชื้นภายในเมล็ดถูกควบคุมด้วยความต้านทานภายในเมล็ดถูกควบคุม

ด้วยความต้านทานภายใน ผลดังกล่าวมีความสอดคล้องกับผลการทดลองของ Tumanbing and Driscoll (1991) Sutherland and Ghaly (1990) ศึกษาคุณภาพของข้าวเปลือกหลังการอบแห้งได้แก่เปอร์เซ็นต์ข้าวเมล็ด โดยเทคนิคฟลูอิดเบต ทำการทดลองที่ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 22 และ 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก อุณหภูมิที่ทำการทดลองอยู่ในช่วง 40-90 °C พบว่าไม่ควรลดความชื้นของข้าวเปลือกให้ต่ำกว่า 18-19 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ถ้าต้องการรักษาคุณภาพข้าวเปลือกอยู่ในเกณฑ์ดีจากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น มีความเป็นไปได้ข้างสูงที่จะมีการนำเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดเบตมาใช้ในการอบแห้ง ข้าวเปลือก เนื่องจากให้อัตราการอบแห้งสูง คุณภาพข้าวเปลือกหลังอบแห้งอยู่ในเกณฑ์ดี และใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย ต่อมา Saponronnarit et al. (1995) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกฟลูอิดเบตแบบไหลวางอย่างต่อเนื่อง มีความสามารถในการอบแห้งได้ 200 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง โดยสมมุติว่าข้าวเปลือกและอากาศมีการไหลแบบ plug flow พบว่าไม่ควรใช้อุณหภูมิในการอบแห้งเกิน 115 °C ผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมโดยที่คุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งอยู่ในเกณฑ์ดี พบว่าในการลดความชื้นข้าวเปลือกจาก 30 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง เหลือ 24 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง โดยใช้อัตราการไหลอากาศจำเพาะ 0.043 kg/s - kg dry matter ความเร็วอากาศในเบต 2.3 m/s ความหนาของเบต 10 cm มีอัตราการหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้ใหม่ 80 เปอร์เซ็นต์ ให้ความสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิ 7.9 MJ/kg water มีค่าใช้จ่ายในการอบแห้ง 2.05 บาทต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย แยกเป็นค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง 0.99 บาทต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย และค่าใช้จ่ายในการดำเนิน

การ 1.61 บาทต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย

งานวิจัยนี้จะเป็นการนำผลจากห้องปฏิบัติการมาสร้างเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดซ์เบด แบบไหลขวางอย่างต่อเนื่องขนาด ประมาณ 1 ตันต่อชั่วโมง เพื่อเป็นต้นแบบในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ที่จะใช้ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป นอกจากนี้ยังกล่าวถึงการขยายขนาดและการทดสอบเครื่องอบแห้งขนาด 2.5-5 ตันต่อชั่วโมง สำหรับการผลิตเพื่อขายในอุตสาหกรรมเมล็ดพืชด้วย

### อุปกรณ์และวิธีการ

เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคฟลูอิดซ์เบดแบบไหลขวางอย่างต่อเนื่องในระดับต้นแบบที่ออกแบบมีความสามารถในการอบแห้งข้าวเปลือกได้ประมาณ 1 ตันต่อชั่วโมง มีการนำอากาศที่ผ่านการอบแห้งบางส่วนกลับมาใช้ใหม่ อากาศที่ไหลผ่านห้องอบแห้งจะทำให้เมล็ดข้าวเปลือกเกิดฟลูอิดซ์และเคลื่อนที่ไปในทิศทางตั้งฉากกับอากาศที่ไหลผ่านห้องอบแห้งดัง Figure 1 เครื่องอบแห้งประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญๆ ดังนี้ ห้องเผาไหม้และหัวเผาเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลพื้นห้องอบแห้งมีขนาดกว้าง 0.3 m ยาว 1.7 m ตัวห้องอบแห้งสูง 1.2 m พัดลมที่ใช้เป็นแบบเหวี่ยงใบพัดโค้งหลัง มีมอเตอร์ขนาด 7.5 kW เป็นตัวขับเคลื่อนพัดลม rotary feeders ทำหน้าที่ป้อนข้าวเปลือกเข้าและนำออกจากห้องอบแห้ง weir เป็นตัวควบคุมความหนาของเบดของข้าวเปลือกในห้องอบแห้ง และไซโคลนเป็นตัวดักฝุ่นละอองและแกลบก่อนที่จะเข้าห้องเผาไหม้ Figure 2 แสดงภาพถ่ายของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดซ์เบดที่เป็นต้นแบบ สำหรับการขยายขนาดกำลังผลิตของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดซ์เบด 2.5-5 ตันต่อชั่วโมงสามารถขยายขนาดได้โดยการกำหนดให้เวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งคงที่และความหนาของชั้นข้าวเปลือกในห้องอบแห้งไม่เกิน 0.1 m ดังนั้น

สามารถคำนวณหาพื้นที่ห้องอบแห้งได้จากสมการที่ (1)

$$\tau = \frac{\rho_{AH}}{F} \quad (1)$$

โดยที่  $\tau$  คือ เวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้ง, min

$\rho$  คือ ความหนาแน่นของข้าวเปลือก,  $\text{kg/m}^3$

$A$  คือ พื้นที่หน้าตัดของห้องอบแห้ง,  $\text{m}^2$

$H$  คือ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกในห้องอบแห้ง, m

$F$  คือ อัตราการป้อนข้าวเปลือก,  $\text{kg/min}$

ดังนั้นจะได้พื้นที่ห้องอบแห้ง ขนาดกว้าง 0.6 m ยาว 2.1 m และตัวห้องอบแห้งสูง 1.3 m ในการออกแบบขนาดท่อลมนั้นเป็นไปตามหลักการออกแบบของ David และ Bullock (1989) และ Kendrick (1973) จากหลักการการออกแบบเบื้องต้นสามารถคำนวณกำลังของพัดลมได้ 11.2 kW พัดลมที่ใช้เป็นแบบเหวี่ยงใบพัดโค้งหลัง และใช้หัวเผาน้ำมันเชื้อเพลิงขนาด 180 kW

งานวิจัยนี้มีการทดลองด้วยกัน 3 ตอน คือ ในตอนแรกจะเป็นการทดลองอบแห้งที่บริษัท Rice Engineering Supply Co., Ltd. ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกที่ใช้ในการอบแห้งประมาณ 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง อัตราการไหลของอากาศประมาณ 1.6 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีความเร็วของอากาศในห้องอบแห้ง 3.2 เมตรต่อวินาที ลักษณะข้าวเปลือกที่ฟลูอิดซ์มีลักษณะเป็นเบดแบบฟอง อุณหภูมิในการอบแห้ง  $55^{\circ}\text{C}$  เวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งนาน 1.8 นาที และขณะที่ทำการทดลองมีการเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งเพื่อมาหาความชื้นและทดสอบคุณภาพการสี ในขณะที่เดียวกันก็จะมีการวัดอุณหภูมิของ

เมล็ดข้าวเปลือก โดยการนำเมล็ดข้าวเปลือกที่ออกจากห้องอบแห้งมาใส่ในกระตักน้ำร้อน และจุ่มเทอร์โมมิเตอร์ลงไปวัดอุณหภูมิ สำหรับอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ในระบบอบแห้งดัง Figure 1 รวมทั้งหมด 9 ตำแหน่ง วัดโดยใช้สายเทอร์โมคัปเปิล type K ต่อเข้ากับ data logger ที่มีความถูกต้อง  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  มีการวัดความเร็วลมโดยใช้ hot wire anemometer วัดความสิ้นเปลืองไฟฟ้า และน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล หลังจากนั้นนำข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งครั้งแรกไปทำการลองซ้ำอีกครั้ง สำหรับในตอนที่สองเป็นการทดลองที่โรงสีข้าวคุ้งหลีจัน โดยใช้ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง อัตราการไหลอากาศประมาณ 1.6 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ความเร็วอากาศในห้องอบแห้ง 3.2 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิในการอบแห้งประมาณ  $100-120^{\circ}\text{C}$  เวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งนาน 2.2 นาที และในตอนสุดท้ายได้ทำการทดสอบการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดเบดที่กำลังผลิต 5 ตันต่อชั่วโมง โดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง  $150^{\circ}\text{C}$  เวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งนาน 0.94 นาที อัตราไหลอากาศ  $2.57\text{ m}^3/\text{s}$  ซึ่งตรงกับความเร็วของอากาศในห้องอบแห้ง 2.0 เมตรต่อวินาที ความชื้นเริ่มต้นข้าวเปลือก 27 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง และทำการเก็บข้อมูลต่าง ๆ เหมือนกัน

ในการหาความชื้นของข้าวเปลือกนั้นจะนำตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ มาทำการอบด้วยตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ  $103^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และในการพิจารณาคุณภาพของข้าวเปลือกหลังการสีนั้นจะพิจารณาทั้งเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดและความขาวของข้าวสารโดยการนำตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ และตัวอย่างข้าวเปลือกก่อนผ่านการอบแห้งซึ่งเป็นตัวอย่างควบคุม มาทำการลด ความชื้นข้าวเปลือกโดยใช้ลมธรรมชาติ เป่าจนกระทั่ง

ข้าวเปลือกมีความชื้นประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียกจากนั้นจึงนำไปทดสอบคุณภาพการสีรายละเอียดวิธีการทดสอบเป็นไปตามวิธีการของศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดคำนวณจากมวลของข้าวสารที่เต็มเมล็ดหารด้วยมวลของข้าวเปลือกก่อนทำการสีสำหรับความขาวของข้าวสารวัดโดยเครื่องวัดความขาวของ Kett C-300

## ผลและวิจารณ์

เมื่อสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดเบดระดับต้นแบบแล้วเสร็จ ได้ทำการทดสอบเป็นครั้งแรกที่ Rice Engineering Supply Co. Ltd. เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำไปใช้งานจริงที่โรงสีข้าวคุ้งหลีจัน เกือบตลอดช่วงฤดูฝนในปี 2537 รวมชั่วโมงการใช้งานประมาณ 1497 ชั่วโมง อบแห้งข้าวเปลือกไปแล้วประมาณ 1211 ตัน สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลได้ใช้ข้อมูลที่ทำการเก็บในช่วงเวลา 70 ชั่วโมง ที่โรงสีข้าวคุ้งหลีจัน และสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดเบด ที่ขายเป็นเชิงการค้าขนาดกำลังผลิต 2.5-5 ตันต่อชั่วโมง ได้ใช้ข้อมูลที่ทำการเก็บในช่วงเวลา 72 ชั่วโมง ที่โรงสีข้าวเดียวกับเครื่องต้นแบบ

## ความชื้นข้าวเปลือกหลังอบแห้ง

Figure 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความชื้นเริ่มต้นและความชื้นข้าวเปลือกหลังการอบแห้ง ซึ่งทำการทดลองที่ Rice Engineering Co. Ltd. ด้วยอัตราป้อนข้าวเปลือก 1 ตันต่อชั่วโมง โดยใช้ อุณหภูมิในการอบแห้ง  $55^{\circ}\text{C}$  ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง พบว่าในการทดลองครั้งแรกนั้นสามารถลดความชื้นข้าวเปลือกได้ประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อนำข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งครั้งแรกมาทำการอบแห้งอีกครั้ง พบว่าสามารถลดความชื้นได้ประมาณ

1.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการทดสอบที่โรงสีข้าวคัง หลี่จันด้วยอัตราการป้อนข้าวเปลือก 0.82 ตันต่อ ชั่วโมง ความชื้นเริ่มต้นข้าวเปลือกเป็น 45 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห่งอุณหภูมิในการอบแห้งเป็น  $100^{\circ}\text{C}$  พบว่าสามารถลดความชื้นได้ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ดัง Figure 4 สำหรับผลการทดลองที่ อุณหภูมิอื่นๆ ให้ผลคล้ายคลึงกับ Figure 4 และเมื่อ เพิ่มอัตราการป้อนเป็น 4.8 ตันต่อชั่วโมง ความชื้น เริ่มต้น 27 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห่ง อุณหภูมิในการอบแห้งเป็น  $150^{\circ}\text{C}$  พบว่าสามารถลด ความชื้นได้ 6 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองที่กล่าวมา จะเห็นได้ว่าการอบแห้งโดยเทคนิคฟลูอิดไคซ์เบตให้ ประสิทธิภาพในการลดความชื้นค่อนข้างสูงเมื่อทำ การอบแห้งข้าวเปลือกในช่วงที่มีความชื้นสูง และ การอบแห้งโดยเทคนิคนี้จะให้ประสิทธิภาพการลด ความชื้นค่อนข้างต่ำ เมื่อทำการอบแห้งที่ความชื้น ข้าวเปลือกไม่สูงมากนัก แม้ว่า จะเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งก็ยังคงให้ประสิทธิภาพในการอบแห้งต่ำ

### อุณหภูมิในระบบอบแห้ง

Figure 1 จากการวัดอุณหภูมิของอากาศ ก่อนเข้าเบตตามตำแหน่งหมายเลข 2,3 และ 4 พบ ว่าอุณหภูมิที่แต่ละตำแหน่งมีความแตกต่างกันน้อย มาก แสดงว่าระบบท่อลมก่อนเข้าห้องอบแห้งให้ การกระจายของลมสม่ำเสมอ

เมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง  $55^{\circ}\text{C}$  ความ ชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐาน แห่ง พบว่าอุณหภูมิของอากาศที่ออกจากห้องอบ แห้งใกล้เคียงกับอุณหภูมิของข้าวเปลือกก่อนออก จากห้องอบแห้งดัง Figure 5 และจากกราฟจะเห็น ว่าอุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือกที่ออกจากห้องอบแห้ง จะสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศที่ออกจากห้อง อบแห้งเล็กน้อย เนื่องจากในกรณีนี้ข้าวเปลือกและ อากาศร้อนไหลในทิศทางตั้งฉากกัน และอุณหภูมิ ของอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้งสม่ำเสมอตลอด

พื้นที่หน้าตัดของเครื่องอบแห้ง ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่าตลอดที่เมล็ดข้าวเปลือกเคลื่อนที่ไปนั้นจะ สัมผัสกับอากาศร้อนอยู่ตลอดเวลา จึงเป็นสาเหตุ ให้อุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือกที่ออกจากห้องอบแห้งสูง กว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศที่ออกจากห้องอบแห้ง และเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มเป็น  $100^{\circ}\text{C}$  และความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกเป็น 45 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห่ง พบว่ามีความแตกต่างของ อุณหภูมิทั้งสองค่อนข้างมากดัง Figure 6 สำหรับผลการ ทดลองที่อุณหภูมิ  $150^{\circ}\text{C}$  คล้ายคลึงกับ Figure 6

### ความสิ้นเปลืองพลังงาน

ดังได้กล่าวมาแล้วตอนต้นว่าการอบแห้งโดย เทคนิคฟลูอิดไคซ์เบตนี้จะมีข้อเด่นอย่างมาก เมื่อนำ เทคนิคนี้มาใช้กับการอบแห้งข้าวเปลือกที่มีความ ชื้นเริ่มต้นค่อนข้างสูงดังการทดลองที่ 2 ใน Table 1 โดยใช้อากาศอบแห้งที่มีอุณหภูมิสูง เนื่องจากใน ช่วงดังกล่าวความชื้นส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณผิวของ ข้าวเปลือก ดังนั้นการใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้ง จึงเป็นการเร่งอัตราการแพร่ของน้ำให้เร็วขึ้น ซึ่ง จะส่งผลให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำและ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะสูงขึ้นเมื่อความ ชื้นเริ่มต้นไม่สูงมากนัก ไม่ว่าจะใช้อุณหภูมิใน การอบแห้งสูง หรือ ต่ำ ดังการทดลองที่ 1 และ 3

### คุณภาพข้าวเปลือก

Figure 7 แสดงเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ด ของข้าวเปลือกหลังการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิใน ช่วง  $100-120^{\circ}\text{C}$  พบว่าเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดลด ลงโดยเฉลี่ย 5.7 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับตัวอย่าง ควบคุมซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดโดยเฉลี่ย 56.2 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งเป็น  $150^{\circ}\text{C}$  พบว่าเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดลดลง 8.1 เปอร์เซ็นต์ ดัง Figure 8 จากผลการทดลองจะเห็น ได้ว่าเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นทำให้

เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดลดลงซึ่งเป็นผลเนื่อง  
จากความร้อนเข้าไปทำลายแรงยึดเหนี่ยวของ  
โมเลกุลของแป้งในข้าวเปลือก

Figure 9 แสดงความขาวของข้าวสารหลัง  
การอบแห้ง โดยใช้อุณหภูมิในช่วง 100-120°C พบ  
ว่าความขาวของข้าวสารมีการเปลี่ยนแปลงน้อย  
เมื่อเทียบกับความขาวของข้าวสารซึ่งเป็นตัวอย่าง  
ควบคุม แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งเป็น  
150°C พบว่าความขาวของข้าวสารลดลงค่อนข้าง  
สูงเมื่อเทียบกับความขาวของข้าวสารซึ่งเป็น  
ตัวอย่างควบคุม ดัง Figure 10 เป็นผลเนื่องจาก  
ปฏิกิริยา non-enzymatic browning reaction ที่  
เกิดเนื่องจากข้าวเปลือกได้รับความร้อนสูงเกินไป

ผลการทดสอบคุณภาพของข้าวเปลือกใน  
รูปของเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดและความขาวของ  
ข้าวสาร พบว่าให้ผลสอดคล้องกับผลการทดลอง  
ของ Soponronnarit and Prachayawarakorn  
(1994) และ Sutherland and Ghaly (1990)

## สรุป

เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดเบด  
แบบไหลขวางอย่างต่อเนื่องขนาดประมาณ 1 ตัน  
ต่อชั่วโมง และ 2.5-5 ตันต่อชั่วโมง ให้ผลการ  
ทดสอบเป็นที่น่าพอใจ การใช้งานง่าย สะดวกให้  
ประสิทธิภาพในการอบแห้งสูง เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็ม  
เมล็ดและความขาวของข้าวสารอยู่ในเกณฑ์ดี เมื่อ  
ใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 100-120 °C แต่เมื่อใช้  
อุณหภูมิในการอบแห้ง 150 °C คุณภาพข้าวเปลือก  
ลดลง โดยเฉพาะความขาวของข้าวสาร ในการอบ  
แห้งข้าวเปลือกจากความชื้นเริ่มต้น 45 เปอร์เซ็นต์  
มาตรฐานแห้ง อบแห้งให้เหลือความชื้น 24 เปอร์  
เซ็นต์มาตรฐานแห้ง โดยมีอัตราการป้อนข้าวเปลือก  
0.82 ตันต่อชั่วโมง อัตราการไหลอากาศ 0.05 kg/  
s-kg dry matter อัตราการเวียนอากาศกลับ  
66 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิในการอบแห้งในช่วง

100-120 °C ความเร็วของอากาศในเบดประมาณ  
3.2 m/s ความหนาของเบด 10 cm ลื่นเปลือง  
พลังงานปฐมภูมิโดยเฉลี่ย 2.32 MJ/kg water  
สำหรับในการอบแห้งข้าวเปลือกที่ความชื้นเริ่มต้น  
27 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 21 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง  
โดยมีอัตราการป้อนข้าวเปลือก 4.8 ตันต่อชั่วโมง  
อัตราการไหลอากาศจำเพาะ 0.03 kg/s-kg dry  
matter อัตราเวียนอากาศกลับ 53 เปอร์เซ็นต์  
ความเร็วอากาศในเบดประมาณ 2 m/s อุณหภูมิ  
อากาศอบแห้ง 150 °C ความหนาของเบด 10 cm ให้  
ความสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิ 4.4 MJ/kg-water

## คำขอบคุณ

ผู้เขียนใคร่ขอขอบคุณ Australian Centre  
for International Agricultural Research และ  
สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ผู้ให้ทุนสนับสนุน  
การวิจัยและพัฒนา Rice Engineering Supply  
Co., Ltd. ที่ช่วยสร้างเครื่องอบแห้งและทดสอบ  
โรงสีข้าวคังหลี่จันที่เอื้อเพื่อสถานที่ทดสอบ และ  
ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ที่เอื้อเพื่อเครื่องมือทดสอบ  
คุณภาพข้าวเปลือก

## เอกสารอ้างอิง

- สมชาย ฉินสกลธนากร, 2530 การศึกษาการอบ  
แห้งข้าวเปลือกในถังเก็บระยะที่ 3, วิทยา  
นิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สถาบัน  
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- David, J. and Bullock, C. 1985, ASHRAE Hand-  
book : 1985, Fundamentals, Third Printing,  
Atlanta, The American Society of Heat-  
ing, Refrigeration and Air Conditioning  
Engineers, Inc..
- Driscoll, R.H. and Adamczak, T. 1988, Drying  
Systems for Humid Tropics. In : Bulk  
Handling and Storage of Grain in the

Humid Tropics, ACIAR Proceedings, No. 22, 58-68.

Kendrick, L.1973, Design Manual for Heating, Ventilation, and Air Condition, Second Edition, Virginia, Technical Standards Publication.

Soponronnarit, S. and Prachayawarakorn,S. 1994, Optimum Strategy for Fluidized Bed Paddy Drying, Drying Technology-An International Journal, 12 (7), 1667-1686.

Soponronnarit, S., Prachayawarakorn, S. and Sripawatakul, O. 1995, Development of Cross-Flow Fluidized Bed Paddy Dryer, Accepted to be published in Drying Tech

nology-An International Journal, 13 (7).

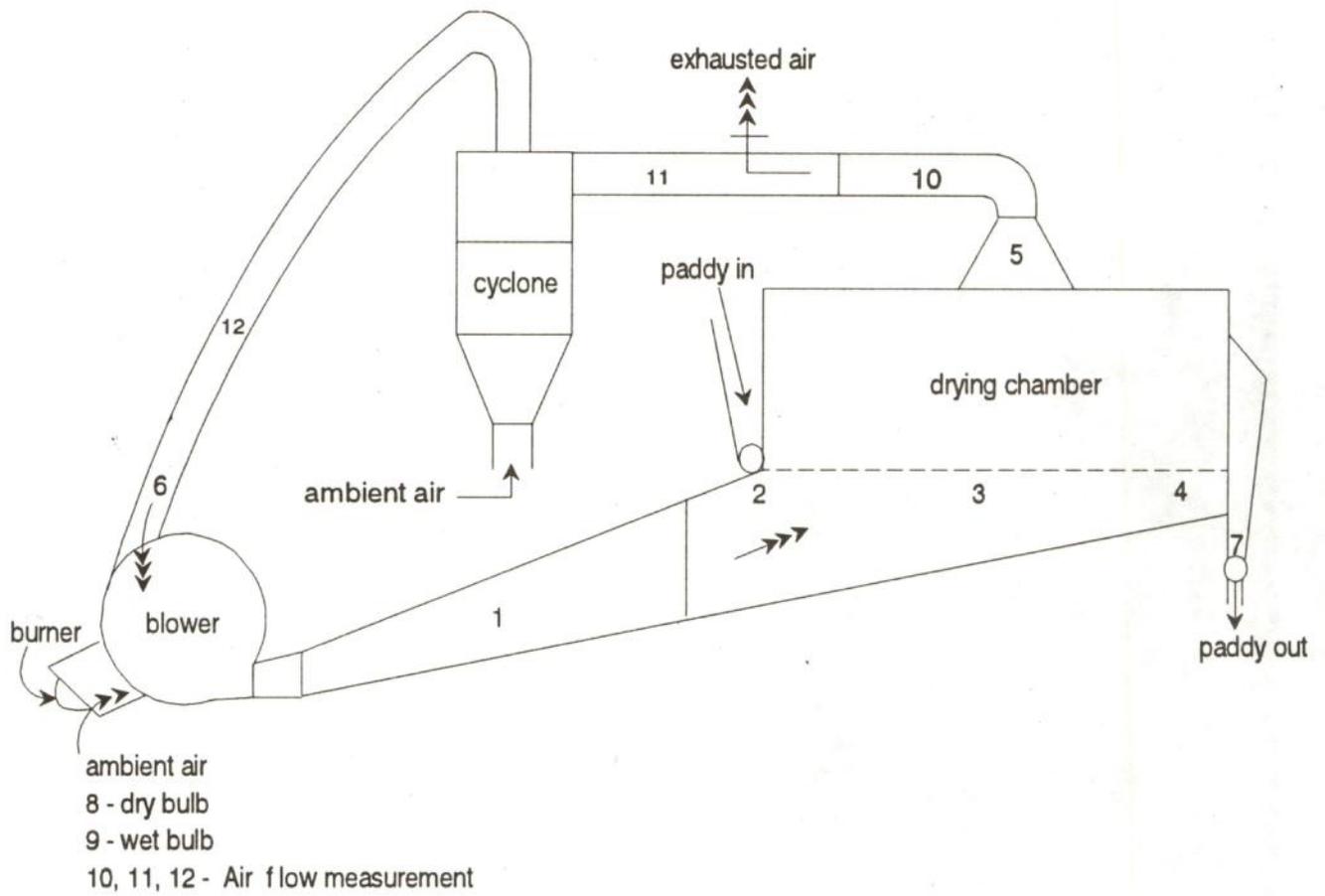
Sutherland, J.W. and Ghaly, T.F. 1990, Rapid Fluid-Bed Drying of Paddy Rice in Humid Tropics, Proc. 13th ASEAN Seminar on Grain Post-Harvest Technology, Brunei.

Suwansathit, R. 1989, Study Drying in a Small On-Farm Storage Barn at Chinat Province, Master Thesis, Mahidol University, Bangkok.

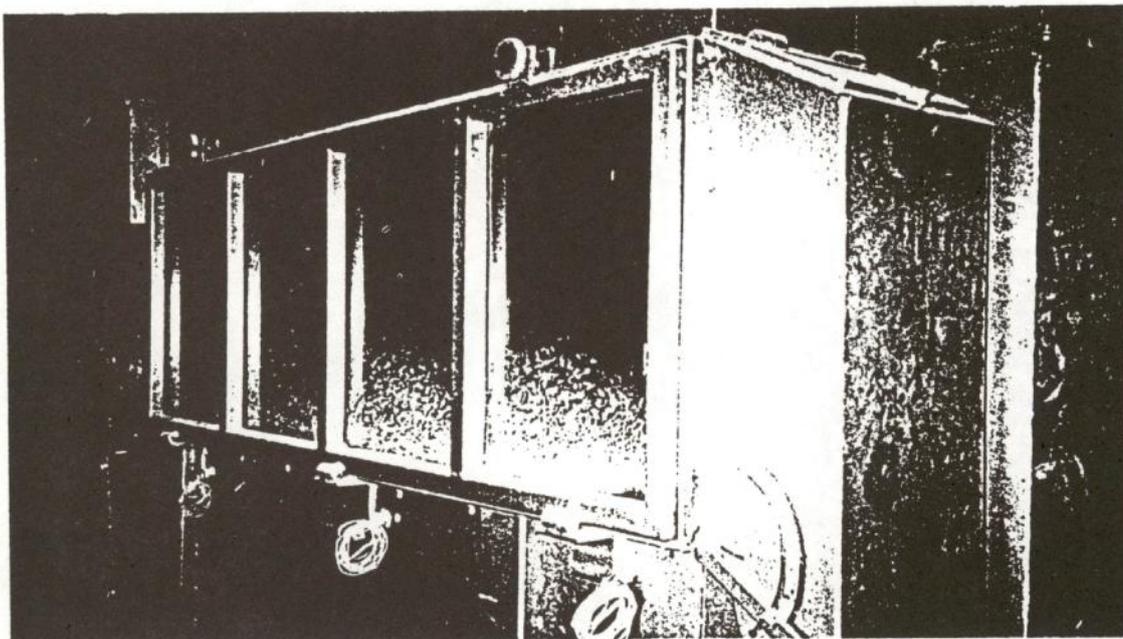
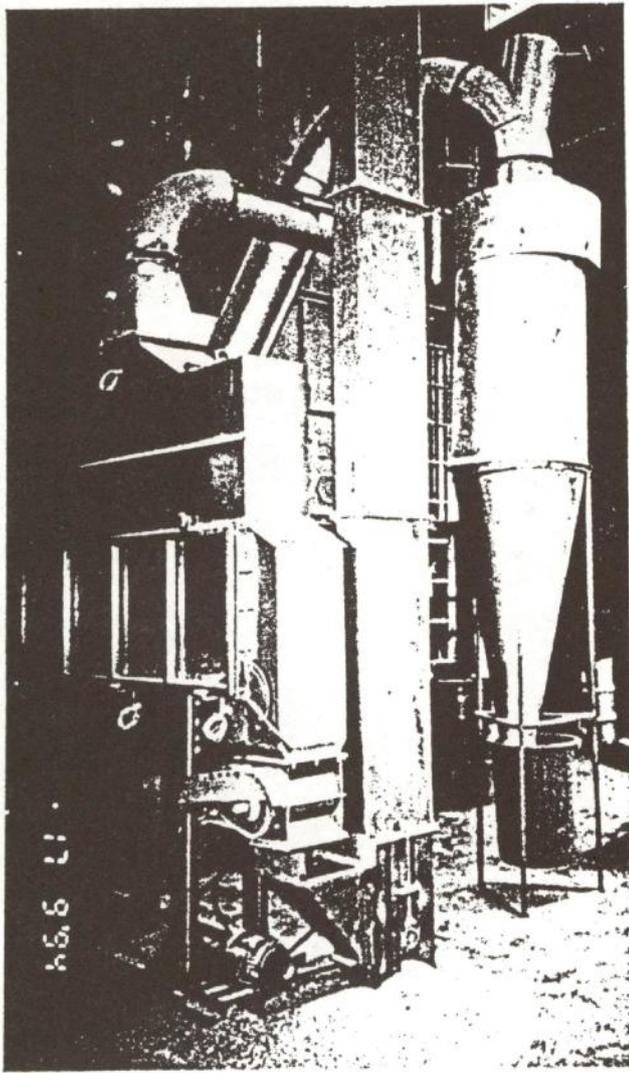
Tumaming, J.A. and Driscoll, R.H.1991, Modelling the Performance of Continuous Fluidized Bed Dryer for Pre-Drying of Paddy, Proc. 14th ASEAN Seminar on Grain Post-Harvest Tecchnology, Philippines.

**Table 1** Experimental drying results.

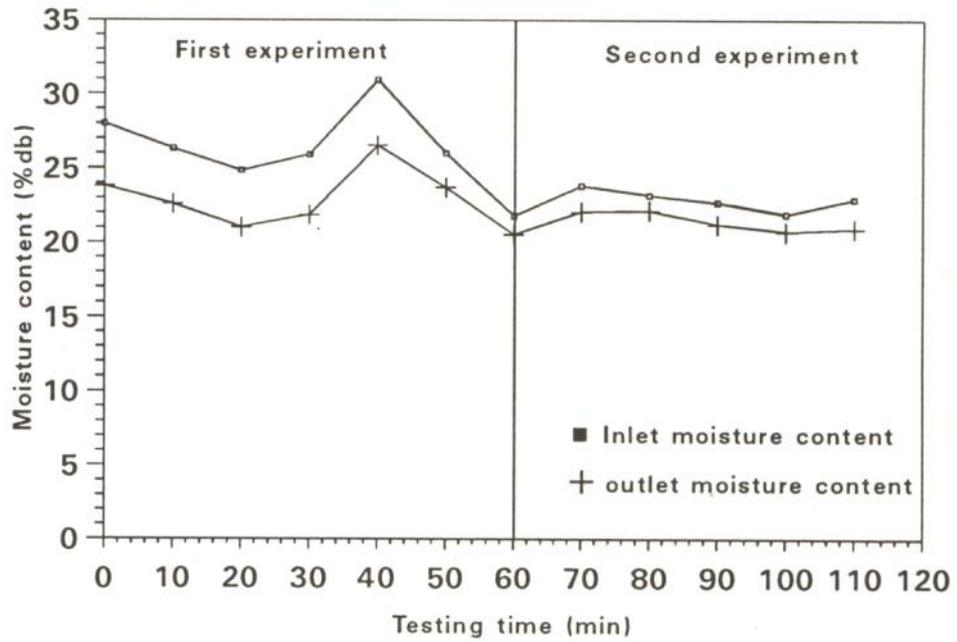
| Descriptions                                      | Number of Experiments |        |      |
|---|-----------------------|--------|------|
|   | 1                     | 2      | 3    |
| <b>Operating Parameters</b>                       |                       |        |      |
| Inlet air temperature (°C)                        | 55                    | 10-120 | 150  |
| Specific air flow rate (kg/s-kg dry matter)       | 0.05                  | 0.05   | 0.03 |
| Air flow rate (m <sup>3</sup> /s)                 | 1.6                   | 1.6    | 2.57 |
| Bed depth (m)                                     | 0.1                   | 0.1    | 0.1  |
| Feed rate (ton/h)                                 | 1                     | 0.82   | 4.8  |
| Air recycled (%)                                  | 66                    | 66     | 53   |
| Residence time (min)                              | 1.8                   | 2.2    | 0.94 |
| <b>Conditions of Paddy</b>                        |                       |        |      |
| Inlet moisture content (%db)                      | 26                    | 45     | 27   |
| Outlet moisture content (%db)                     | 21                    | 24     | 21   |
| Controlled head yield (%)                         | 35.4                  | 56.2   | 56.2 |
| Head yield (%)                                    | 30.1                  | 50.5   | 48.1 |
| Controlled whiteness                              | 43.4                  | 43.7   | 42.6 |
| Whiteness   | 33.5                  | 43.1   | 36.8 |
| <b>Energy Consumption</b>                         |                       |        |      |
| Thermal energy consumed (MJ/kg water evap.)       | 3.42                  | 1.79   | 3.9  |
| Electricity energy consumed (MJ/kg water evap.)   | 0.94                  | 0.2    | 0.19 |
| Total primary energy consumed (MJ/kg water evap.) | 5.87                  | 2.32   | 4.4  |



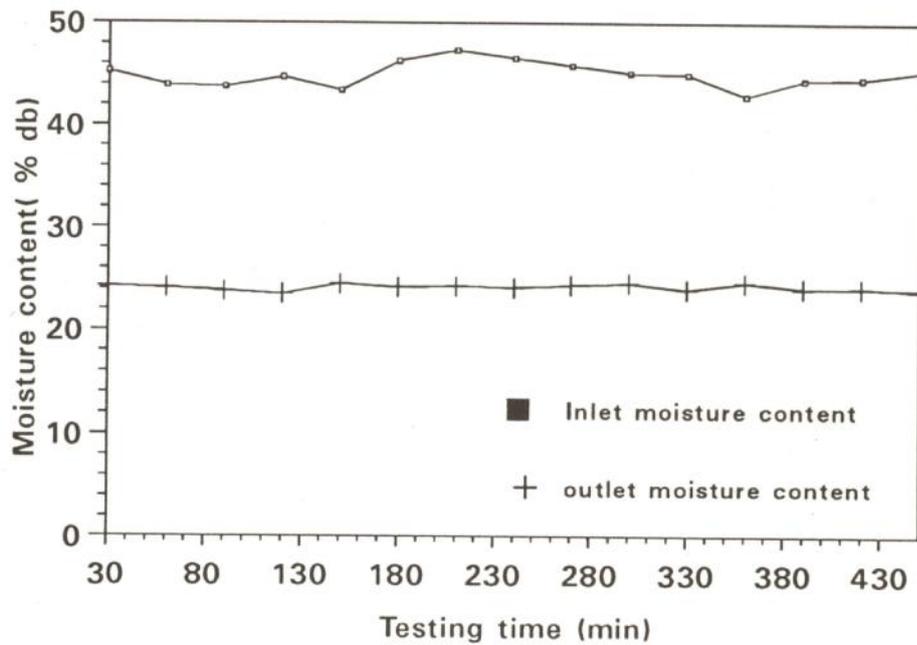
**Figure 1** Diagram of fluidized bed paddy dryer. (The numbers from 1 to 9 indicate position of temperature measurement)



**Figure 2** Photographs showing the prototype fluidized bed paddy dryer, 1 ton per hour.



**Figure 3** Relationship between inlet and outlet moisture of paddy at temperature of 60°C.  
[at Rice Engineering Supply Co.,Ltd.]



**Figure 4** Relationship between inlet and outlet moisture of paddy at temperature of 100°C.  
[at Koong Lhee Chan]

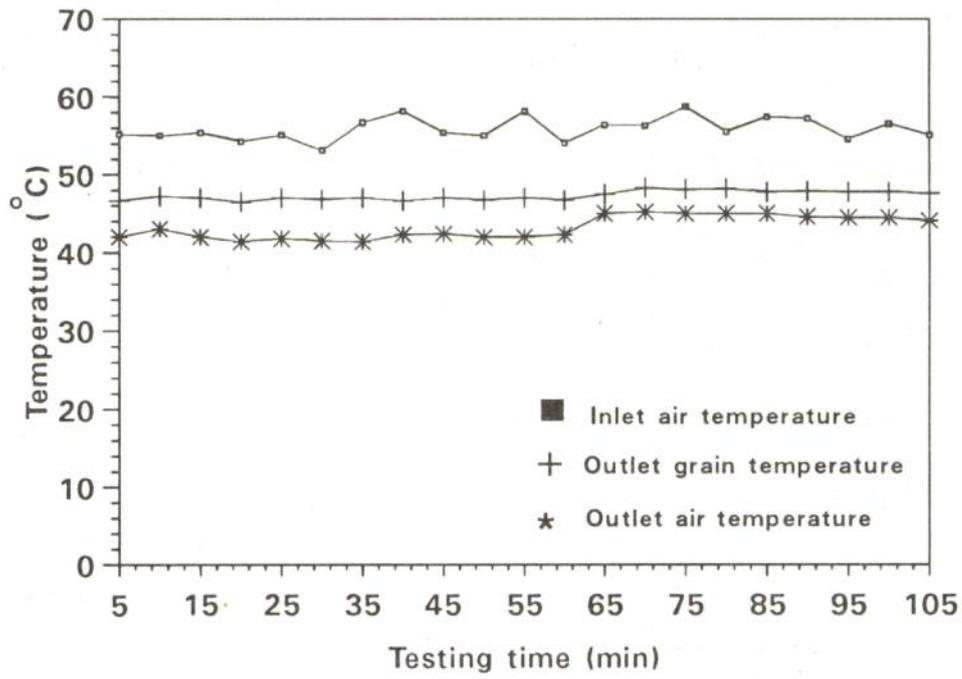


Figure 5 Evolution of temperatures.  
[at Rice Engineering Supply Co.,Ltd.]

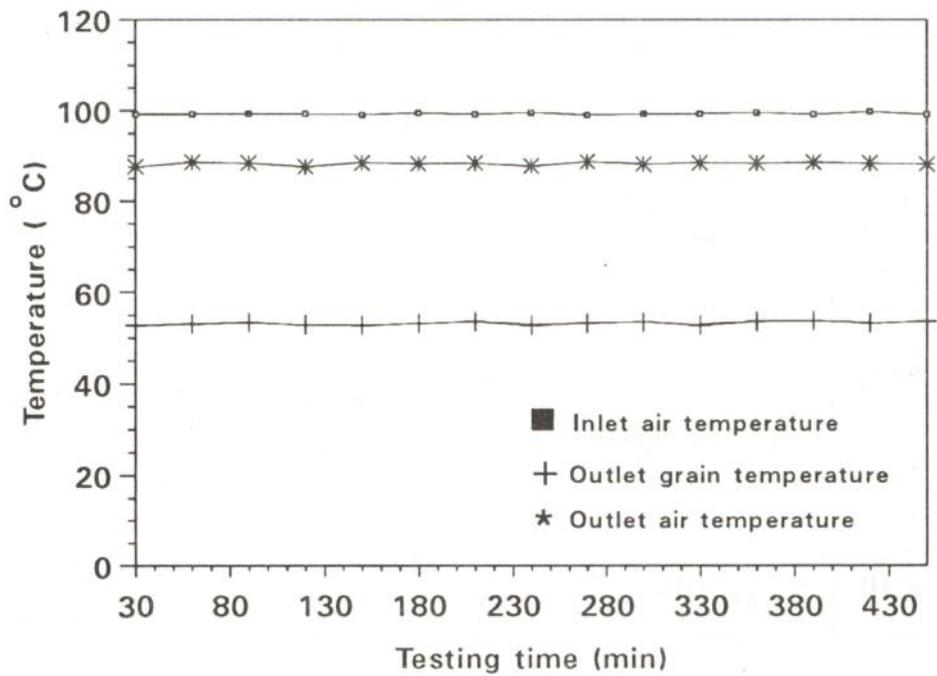
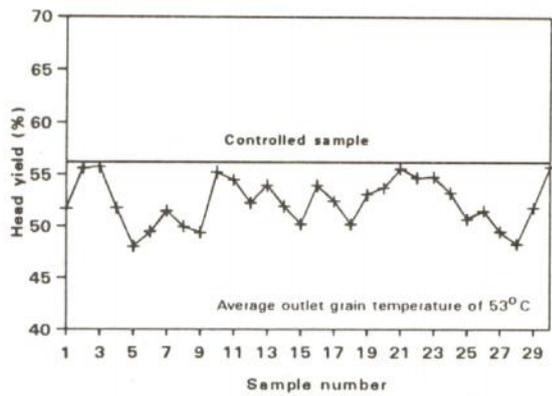
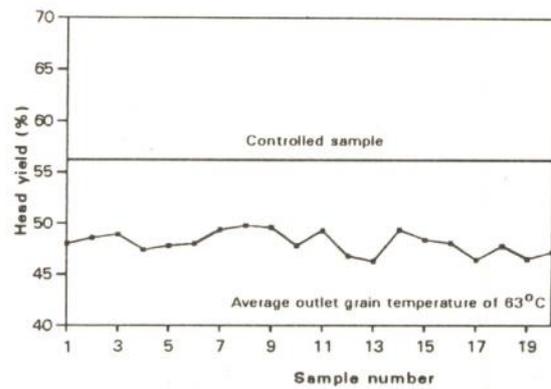


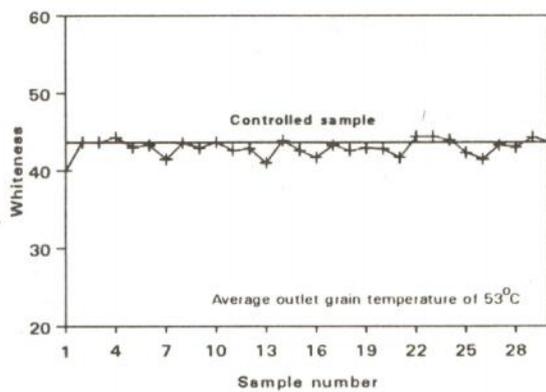
Figure 6 Evolution of temperatures.  
[at Koong Lhee Chan]



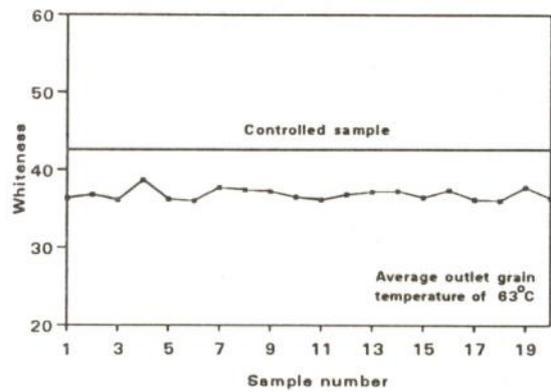
**Figure 7** Head yield of paddy after drying compared to controlled sample. [temperature of 100-120 °C, moisture content of paddy from 45% to 24% dry-basis]



**Figure 8** Head yield of paddy after drying compared to controlled sample. [temperature of 150 °C, moisture content of paddy from 27% to 21% dry-basis]



**Figure 9** Whiteness of paddy after drying compared to controlled sample. [temperature of 100-120 °C, moisture content of paddy from 45% to 24% dry-basis]



**Figure 10** Whiteness of paddy after drying compared to controlled sample. [temperature of 150 °C, moisture content of paddy from 27% to 21% dry-basis]