เครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์

โดย

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ – ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

โครงการวิจัยเลขที่ 34-AMRD-2521
ทุนส่งเสริมการวิจัยวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
กรุงเทพ ฯ

เมษายน 2526

เครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์

1

โดย

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ - ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ผู้ประสานงานโครงการ

รศ. จรูญ มหิทธาฟองกุล อ. ชินเทพ เพ็ญชาติ

บรรณาธิการ

รศ. ดร. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ

คณะผู้วิจัย

รศ. ดร. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ
Ph.D.(Texas Tech.)

รศ. จันทนา จันทโร
วศ.ม.(จุฬา.)

รศ. จรูญ มหิทธาฟองกุล
M.Eng.(A.I.T.)

ผศ. ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย
M.Eng.(A.I.T.)

รศ. ดร. มานิจ ทองประเสริฐ
Ph.D.(Texas Tech.)

รศ. ดร. สมศรี จงรุ่งเรือง
Ph.D.(Missouri-Rolla)

รศ. ดร. วิทยา ยงเจริญ
Ph.D.(Iowa)

อ. ชินเทพ เพ็ญชาติ
M.S.ME.(Fairleigh Dicl

โครงการวิจัยเลขที่ 34 - AMRD - 2521
ทุนส่งเสริมการวิจัยวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
กรุงเทพฯ

เมษายน 2526

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยและพัฒนานี้ เป็นโครงการความร่วมมือระหว่างคณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล เพื่อเป็นการศึกษาการนำเอาประโยชน์จากวิทยาการแขนงใหม่ๆไปใช้ประยุกต์กับงานที่จะเป็นประโยชน์กับประชาชนในชนบท

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ก็เพราะความร่วมแรงร่วมใจกันของคณะผู้วิจัย แต่ที่สำคัญยิ่งก็คือ เงินทุนและการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งคณะผู้วิจัยขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
รายการตารางประกอบ	ข
รายการรูปประกอบ	ค
บทคัดย่อ	จ
บทที่ 1. บทนำ	
1.1 คำนำ	1
1.2 หลักการเบื้องต้นของการอบแห้งข้าว	2
1.3 การสำรวจผลงานวิจัย	4
1.4 เป้าหมายและขอบเขตการวิจัยและพัฒนาเครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์	9
บทที่ 2. ความจำเป็น ลักษณะที่เหมาะสมและความต้องการของเครื่องอบข้าว	
2.1 คำนำ	12
2.2 ความจำเป็น	12
2.3 การคาดหมายลักษณะที่เหมาะสมของเครื่องอบแห้งข้าว	19
2.4 การคาดคะเนความต้องการใช้เครื่องอบแห้งข้าว	23
บทที่ 3. ทฤษฎีการอบแห้งข้าว	
3.1 คำนำ	27
3.2 การจำลองแบบปัญหา	29
3.3 การจำลองแบบเครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์	30
3.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์	40
บทที่ 4. การคำนวณออกแบบเครื่องอบแห้งข้าว	
4.1 คำนำ	42
4.2 เครื่องอบแห้งจำลอง	42
4.3 เครื่องมือวัดผลการทดลอง	45

	หน้า
4.4 วิธีการทดลอง	49
4.5 ผลการทดลอง	50
4.6 การทดลองเพื่อการประยุกต์ใช้งาน	61
บทที่ 5. ต้นแบบเครื่องอบแห้งข้าวพลังงานแสงอาทิตย์	
5.1 เครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์	69
5.2 วิธีใช้และการบำรุงรักษาเครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์	83
บทที่ 6. การวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่าย	
6.1 คำนำ	85
6.2 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย	85
บทที่ 7. สรุปผลการวิจัย	
7.1 สรุปผลการวิจัย	92
7.2 ปัญหาและอุปสรรค	93
7.3 ข้อเสนอแนะ	94
7.4 งานวิจัยที่ควรดำเนินการต่อ	94
เอกสารอ้างอิง	96
ภาคผนวก ก. ตารางข้อมูลเกี่ยวกับข้าว	100
ภาคผนวก ข. ตารางข้อมูลเกี่ยวกับการอบแห้ง	109
ภาคผนวก ค. การคาดคะเนรถไถนาขนาดเล็ก	111
ภาคผนวก ง. แผนภูมิและโปรแกรมคอมพิวเตอร์	116
ภาคผนวก จ. ข้อมูลการทดลอง	132

รายการตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
2.1	รายได้สูญเสียของผู้ผลิต ปี 2520/2521	16
2.2	ความสูญเสียทางเศรษฐกิจ	17
2.3	ระดับการศึกษา	21
2.4	จำนวนเกษตรกรที่มียุ้งหรือฉาง	22
2.5	ฐานะของชาวนา	24
2.6	การรับการเผยแพร่วิชาการด้านเทคนิค	24
2.7	การใช้รถไถนาขนาดเล็กในการทำนา	25
2.8	การคาดคะเนความต้องการเครื่องอบแห้งข้าว	25
4.1	ผลการใช้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือก	63
4.2	ผลการอบโดยการตากลาน	64
4.3	ผลการแปรสภาพข้าว	64
4.4	อัตราการแปรรูปข้าวเปลือกเป็นข้าวสาร	65
4.5	ผลการใช้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือก	66
4.6	ผลการอบโดยการตากลาน	67
4.7	ผลการแปรสภาพข้าว	68
5.1	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและ Friction Loss ในแผงรับแสงอาทิตย์	73
5.2	ความดันสูญเสียเมื่ออากาศไหลผ่านเครื่องอบข้าว	80
6.1	ค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ กรณีปลูกข้าวปีละครั้ง	90
6.2	ค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ กรณีปลูกข้าวปีละ 2 ครั้ง	90

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
1.1	เครื่องอบแห้งข้าวแบบ A.I.T.	6
1.2	เครื่องอบแห้งข้าวเชิงกล	6
3.1	ระบบการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์	28
3.2	ลักษณะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	32
3.3	ความเข้มของแสงอาทิตย์บนพื้นราบและบนพื้นเอียง	32
3.4	ความสัมพันธ์ของอัตราการอบแห้งของเมล็ดพืชและเวลาที่ใช้สัมผัส	32
3.5	ห้องอบข้าวเปลือก	38
3.6	อัตราส่วนความชื้นที่ D และ Y	38
3.7	ไดอะแกรมแสดงการทำงานของเครื่องอบแห้ง	41
4.1	เครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดจำลอง	43
4.2	ขนาดและส่วนประกอบของแผงรับแสงอาทิตย์	44
4.3	ขนาดและส่วนประกอบของตู้อบข้าวเปลือก	46
4.4	ตำแหน่งที่วัดความชื้นข้าวเปลือกในตู้อบ	46
4.5	การจัดวงจรเพื่อวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดของแผงรับแสงอาทิตย์	48
4.6	ขนาดและตำแหน่งของออริฟิส	48
4.7	ความชื้นและอัตราการลดความชื้นของข้าวเปลือกที่เวลาใดๆ (25 ธันวาคม 2523)	51
4.8	ความชื้นและอัตราการลดความชื้นของข้าวเปลือกที่เวลาใดๆ (26 ธันวาคม 2523)	52
4.9	ความชื้นและอัตราการลดความชื้นของข้าวเปลือกที่เวลาใดๆ (6 มกราคม 2524)	53
4.10	อุณหภูมิของอากาศที่ออกจากแผงรับแสงอาทิตย์และอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ออกจากตู้อบข้าวเปลือก(25 ธันวาคม 2523)	55

รูปที่		หน้า
4.11	อุณหภูมิของอากาศที่ออกจากแผงรับแสงอาทิตย์และอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ออกจากตู้อบข้าวเปลือก(26 ธันวาคม 2523)	56
4.12	อุณหภูมิของอากาศที่ออกจากแผงรับแสงอาทิตย์และอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ออกจากตู้อบข้าวเปลือก(6 มกราคม 2524)	57
4.13	อุณหภูมิที่แผ่นดูดและอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่ออกจากตู้อบข้าวเปลือก(25 ธันวาคม 2523)	58
4.14	อุณหภูมิที่แผ่นดูดและอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่ออกจากตู้อบข้าวเปลือก(26 ธันวาคม 2523)	59
4.15	อุณหภูมิที่แผ่นดูดและอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่ออกจากตู้อบข้าวเปลือก(6 มกราคม 2524)	60
5.1	ลักษณะของแผงรับแสงอาทิตย์ที่ใช้ในเครื่องอบข้าวแสงอาทิตย์	72
5.2	แสดงท่อส่งอากาศร้อนและห้องอบข้าว	72
5.3	แรงภายนอกที่กระทำบนกระจกปิดด้านบนแผงรับแสงอาทิตย์	75
5.4(ก)	แสดงส่วนประกอบของห้องอบข้าว	75
5.4(ข)	แสดงโครงเหล็กภายในห้องอบ	76
5.5	Friction Loss เมื่ออากาศไหลผ่านชั้นข้าว	78
5.6	แสดงส่วนประกอบย่อยของแผงรับแสงอาทิตย์	82

บทคัดย่อ

การอบแห้งข้าวเป็นกรรมวิธีหนึ่งในการช่วยลดความสูญเสียของข้าวหลังการเก็บเกี่ยว วิธีการที่ชาวนาไทยใช้อยู่ในปัจจุบันคือการตากแห้งบนลานข้าว กรรมวิธีดังกล่าวใช้ได้ผลดีในการลดระดับความชื้นในระยะเวลาหลังเก็บเกี่ยวข้าวนาปีซึ่งอยู่ในฤดูแล้งซึ่งปลอดฝน แต่ผลเสียของกรรมวิธีดังกล่าวก็คือยังคงมีความเสียหายเนื่องจากการตกหล่นและการถูกทำลายจากนก หนู นอกจากนั้นในฤดูการเก็บเกี่ยวของข้าวนาปรังซึ่งตรงกับฤดูฝน ระยะเวลาที่มีแดดต่อเนื่องในแต่ละวันสั้น จึงทำให้การตากลานไม่อาจลดความชื้นลงในระดับที่ต้องการได้

เพื่อแก้ปัญหาการลดความชื้นในเมล็ดข้าว ได้มีการวิจัยและพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบต่างๆขึ้นในประเทศไทย โครงการวิจัยและพัฒนานี้ก็เป็นอีกโครงการหนึ่งซึ่งจัดทำขึ้นเพื่อแสวงหาวิธีการและอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพและราคาประหยัดในการอบแห้งข้าว

จากการศึกษาถึงขนาดของความสูญเสียอันอาจจะเกิดขึ้นเมื่อไม่มีเครื่องอบแห้งข้าว เราได้ใช้ขนาดของความสูญเสียดังกล่าวเป็นดัชนีสำหรับเปรียบเทียบขนาดของความจำเป็นที่ทั้งชาวนาและรัฐที่จะต้องมีเครื่องอบแห้งข้าวที่มีประสิทธิภาพดีแทนการตากลาน อีกทั้งขนาดของความสูญเสียดังกล่าวก็จะเป็นเครื่องชี้บอกถึงส่วนของต้นทุนการผลิตที่ชาวนาอาจประหยัดได้ถ้าใช้เครื่องอบแห้ง ผลการศึกษาแสดงว่าเป็นความจำเป็นทั้งของรัฐและชาวนาที่จะต้องมีเครื่องอบแห้งข้าว

จากการศึกษาด้านพื้นฐานความรู้และความเข้าใจด้านเทคนิคของชาวนาซึ่งเป็นลูกค้ากลุ่มเป้าหมาย เราได้กำหนดลักษณะทั้งของผู้ใช้และของเครื่องอบแห้งข้าวที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาด้านเทคนิค นอกจากนั้น จากพื้นฐานทางเทคนิคและพื้นฐานทางเศรษฐกิจ ยังได้คาดหมายถึงขนาดความต้องการใช้เครื่องอบแห้งข้าวที่มีคุณสมบัติตามลักษณะที่กำหนดไว้สำหรับการพัฒนาซึ่งกำหนดไว้ว่า เครื่องอบแห้งข้าวที่เหมาะสมควรเป็นส่วนหนึ่งของยุ้งหรือฉางข้าวที่ชาวนามีอยู่เดิม โดยดัดแปลงส่วนที่ติดกับหลังคายุ้งให้เป็นห้องอบแห้ง ส่วนที่เหลือของยุ้งยังคงใช้เป็นส่วนที่ใช้เก็บข้าว หลังคาของยุ้งที่ทำด้วยเหล็กอาบสังกะสีจะได้รับการดัดแปลงให้ทำหน้าที่เป็นแผ่นดูดพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ปิดด้วยกระจก ลมร้อนจะถูกดูดเข้าไปยังห้องอบด้วยพัดลมดูดที่อาจทำงานด้วยกระแสไฟฟ้าหรือเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน

จากลักษณะสมบัติที่เหมาะสมกับพื้นฐานความรู้และฐานะทางเศรษฐกิจของชาวนา การวิจัยและพัฒนาทางด้านเทคนิคของเครื่องอบแห้งได้เริ่มด้วยการคำนวณออกแบบโดยเทคนิคการจำลองแบบปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์ ความถูกต้องของรูปแบบของเครื่องที่ได้จากการคำนวณด้วยเทคนิคดังกล่าว ได้รับการทดสอบโดยการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณกับผลที่ได้จากการทดลองจากเครื่องอบแห้งพลังงาน

แสงอาทิตย์ขนาดอบแห้งคราวละไม่เกิน 60 กิโลกรัม ผลการทดสอบปรากฏว่า รูปแบบที่คำนวณไว้ มีความถูกต้องอยู่ในวิสัยของการยอมรับเชิงวิศวกรรม ดังนั้นแบบจำลองของเครื่องอบแห้งข้าวซึ่งสร้างขึ้นเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จึงเป็นแบบที่ถูกต้องของเครื่องอบแห้งข้าวซึ่งอาจนำไปใช้ในการคำนวณออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งข้าวที่มีขีดความสามารถต่างๆ ณ ที่ใดก็ได้

เครื่องอบแห้งขนาดจำลองที่สร้างขึ้น นอกจากจะใช้ในการทดสอบความถูกต้องของการออกแบบแล้ว ยังได้ใช้ในการทดลองผลการอบข้าวเปลือกที่มีความชื้นต่างๆให้ลดลงเหลือความชื้นระหว่าง 13 - 15% มาตรฐานเปียก เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาประโยชน์ที่จะได้รับจากการอบแห้งข้าว

จากค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องอบแห้งขนาดจำลองและข้อมูลราคาวัสดุที่จำเป็นในการสร้างเครื่องอบแห้งขนาดที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานจริง เราได้วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายต่างๆที่เกิดขึ้นจากการกำหนดขนาดที่เหมาะสมของเครื่องอบแห้งโดยพิจารณาจากขนาดมาตรฐานของยุ้งหรือฉางข้าวที่จะใช้ส่วนหนึ่งเป็นเครื่องอบแห้ง พบว่าขนาดที่เหมาะสมคือเครื่องที่มีขนาดอบแห้งข้าววันละ 1 ตันโดยเฉลี่ย หรือประมาณ 2 ตันในวันที่มีแดดดี จากการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายและประโยชน์ที่จะได้รับ ผู้ที่เหมาะสมที่จะใช้เครื่องที่พัฒนาขึ้นนี้คือ ชาวนาที่รวมกลุ่มกันเป็นสหกรณ์

Abstract

Rice drying is a post-harvest technique for loss prevention. For Thai farmers, the natural sun drying is the present method for rice drying. Though the method is efficient for the first crop drying the disadvantages are the losses of grain and also it can not efficiently use for second crop drying because of rainy season.

In order to come up with a better method for rice drying, several projects have been carried out by governmental agencies and universities. This project is one of them. The main objective of the project is to seek for a better method and equipment for rice drying at a better efficiency and low cost.

From the study on losses due to the lackness of better drying method, the sizes of the losses are used as the index for consideration of necessity of farmers and government to have a better drying method than the natural sun drying. Moreover, the sizes of the losses can be used as an opportunity cost that can be reduced by a better drying method. The study shows that it is essential for both farmers and government to seek for a better drying method.

From the study on educational background and technological acceptability of Thai farmers which are the target consumers of the project, the suitable consumers and rice dryer characteristics are specified for the technical development of rice dryer. With the technological acceptability and economic status, the size of the demand on best rice dryer is predicted.

The rice dryer specified for the research and development is that the rice dryer is a compartment of an occupied rice bin installed at the upper part of the bin closed to the roof. The roof of the bin which is made of

a rolled gavanized sheet is used as an absorber plate by black painting and then covered with glass. The hot air will be drawn into the drying compartment by a blower driven by an electricity or a diesel engine.

The design of the rice dryer which is of a forced air circulation type is designed by a computer simulation technique. The validation of the simulation model of the rice dryer is tested by the comparison of the calculated data and the experimental data of a scaled rice dryer of 50 kg. capacity. The simulation model is accepted for its validation. Hence, it can be used for designing rice dryer.

Other than the validation test of the simulation model, the scaled rice dryer is used in collecting data for benefit and cost analysis.

From costs derived from the scaled rice dryer and information of construction materials, the construction cost and operating and maintenance costs are estimated for a rice dryer of 1 ton/day capacity at average solar radiation or 2 tons/day on the good solar radiation which is a recommended size for real utilization. The comparison between the cost of the rice dryer and the benefit which will earn from a best rice dryer is made and the recommendation is that the developed rice dryer is more suitable for a cooperative than an individual farmer.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 คำนำ

ประเทศไทย เช่นเดียวกับประเทศส่วนมากในภาคพื้นเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เป็นประเทศกสิกรรม ผลผลิตซึ่งเป็นทั้งอาหารหลักและสินค้าออกสำคัญของชาติคือข้าว การเพิ่มผลผลิตจากนาข้าวเป็นความจำเป็นอย่างยิ่งประการหนึ่งในการพัฒนาเศรษฐกิจของชาติ ในปัจจุบัน เทคโนโลยีทางด้านเกษตรกรรมได้เจริญรุดหน้าไปอย่างรวดเร็ว วิธีการปรับปรุงที่ดินโดยใช้สารเคมี การค้นคว้าเมล็ดพันธุ์ข้าวที่มีคุณภาพดีขึ้น ระบบการปลูกพืชหมุนเวียน ระบบการชลประทานแผนใหม่ การใช้เครื่องจักรกลการเกษตร ฯลฯ ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มผลผลิต

ในปัจจุบัน เทคโนโลยีที่นำมาใช้ในงานเกษตรกรรมอาจจำแนกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆดังนี้

1. เทคโนโลยีเพื่อการเพิ่มปริมาณการผลิต เทคโนโลยีประเภทนี้ได้แก่ การปรับปรุงที่ดินโดยใช้ปุ๋ย ระบบการชลประทาน การค้นคว้าและสร้างเมล็ดพันธุ์ข้าวที่มีคุณสมบัติพิเศษ เช่น โตเร็ว ให้ผลผลิตสูง ฯลฯ เทคโนโลยีเหล่านี้ถูกสร้างขึ้นและนำไปใช้เพื่อเพิ่มปริมาณการผลิตต่อเนื้อที่เพาะปลูกซึ่งมีจำกัด

2. เทคโนโลยีเพื่อการลดต้นทุนการผลิต เทคโนโลยีประเภทนี้ได้แก่ การใช้เครื่องจักรกลการเกษตรแทนแรงคนและสัตว์ การใช้สารเคมีเพื่อกำจัดศัตรูพืช การเก็บและรักษาผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว ฯลฯ เทคโนโลยีเหล่านี้ถูกสร้างขึ้นใช้เพื่อลดต้นทุนการผลิต เช่นโดยการลดปริมาณการผลิตที่อาจสูญเสียจากศัตรูพืช (เช่น แมลง ฯลฯ) หรือโรคพืช เป็นต้น

จากหลักเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น รายได้ของผู้ผลิต (ชาวนา) = (ราคาขาย - ต้นทุนการผลิต) x ปริมาณการผลิต จากสมการดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มราคาขาย ลดต้นทุนการผลิต หรือเพิ่มปริมาณการผลิต ก็ย่อมเป็นผลให้รายได้ของผู้ผลิตเพิ่มขึ้น การเพิ่มรายได้ของชาวนาซึ่งเป็นประชากรส่วนใหญ่ของประเทศย่อมเป็นผลให้รายได้ประชาชาติเพิ่มขึ้นอันจะยังผลให้ฐานะทางเศรษฐกิจดีขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นนโยบายของรัฐในอันที่จะเพิ่มพูนรายได้ประชาชาติ จึงมุ่งไปในการแก้ปัญหาทั้ง 3 ด้าน เช่น มาตรการพยุงราคาข้าว การส่งเสริมการส่งออก การเร่งรัดปรับปรุงระบบการชลประทาน การส่งเสริมการวิจัยการเกษตร ฯลฯ

ในบรรดาเทคโนโลยีด้านการเกษตร เทคโนโลยีด้านการเก็บรักษาพืชหลังการเก็บเกี่ยวเป็นเทคโนโลยีหนึ่งซึ่งจะช่วยในการลดต้นทุนการผลิตของชาวนา โดยการลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเก็บรักษาที่ไม่ถูกต้อง ปัญหาหนึ่งซึ่งเกิดขึ้นในช่วงการเก็บเกี่ยวและหลังการเก็บเกี่ยวข้าว

คือปัญหาเรื่องความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือก ความชื้นที่สูงเกินกว่าปริมาณพอเหมาะสำหรับการเก็บรักษามักจะทำให้เกิดปัญหาสำคัญๆดังต่อไปนี้

1. ชาวนาสามารถเก็บเกี่ยวข้าวได้ช้ากว่าที่ควรจะเก็บเกี่ยวได้ เนื่องจากต้องรอให้ความชื้นในเมล็ดข้าวลดลง โดยการทิ้งข้าวที่สุกเต็มที่ไว้ในนาระยะหนึ่ง การที่ข้าวมีความชื้นน้อยลงทำให้เกิดการสูญเสียจากการกระจายร่วงหล่นในระหว่างการเก็บเกี่ยว

2. พ่อค้ามักจะรับซื้อข้าวที่มีความชื้นสูงในราคาต่ำกว่าข้าวที่มีความชื้นพอเหมาะ

3. ถ้าเก็บข้าวนั้นไว้นานๆจะเกิดการเสียหายเนื่องจากแมลงและเชื้อรา

4. อายุการงอกของข้าวที่นำไปใช้ทำพันธุ์สั้นลง

5. คุณภาพของข้าวสารไม่ดี และเปอร์เซนต์ข้าวหัวน้อยกว่าข้าวที่มีความชื้นพอเหมาะ

จากปัญหาดังกล่าว (ยกเว้นปัญหาข้อที่ 1) หลังการเก็บเกี่ยวชาวนาจึงต้องนำเอาข้าวมาตากแห้งบนลานข้าว การลดความชื้นอาศัยการนำและการพาโดยความร้อนจากแสงอาทิตย์และลม แม้กรรมวิธีดังกล่าวจะใช้ได้ผลในการลดความชื้นจากเมล็ดข้าว แต่ข้อเสียที่ปรากฏก็คือการสูญเสียปริมาณการผลิตประมาณ 10 - 25% เนื่องจากการตกหล่น การถูกทำลายโดยนกและหนู ยิ่งไปกว่านั้นในฤดูที่มีการเก็บเกี่ยวข้าวนาปรัง เป็นฤดูฝนซึ่งในบางภาค เช่น ภาคกลางและภาคใต้ การตากบนลานข้าวโดยใช้แสงอาทิตย์และลมอาจใช้ไม่ได้ เพราะช่วงเวลาที่มีแสงอาทิตย์ในแต่ละวันสั้น ความชื้นในอากาศสูง ดังนั้นข้าวที่ได้จากผลผลิตข้าวนาปรังมักจะมีความชื้นสูงซึ่งเป็นผลให้เกิดปัญหาดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

1.2 หลักการเบื้องต้นของการอบแห้งข้าว

หลักการที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้เป็นหลักการและหลักปฏิบัติที่ได้มาจากการวิจัยและพัฒนาในต่างประเทศซึ่งสภาพความเป็นอยู่ ภูมิประเทศแตกต่างกับประเทศไทย

เป็นที่ยอมรับกันโดยสากลว่า ความชื้นที่เหมาะสมในการเก็บเมล็ดข้าวเปลือกควรจะอยู่ระหว่าง 12 - 14% มาตรฐานเปียก(Wet Basis) ในทางปฏิบัติเมื่อข้าวแก่จัดได้เวลาอันควรเก็บเกี่ยว ความชื้นในเมล็ดข้าวค่อนข้างสูง เช่นประมาณ 21 - 23% มาตรฐานเปียกในประเทศญี่ปุ่น(1) 25-43% มาตรฐานเปียก ในประเทศฟิลลิปปินส์(2) ในประเทศเหล่านี้รวมทั้งประเทศไทย ชาวนาจะปล่อยให้ข้าวที่ยังไม่ได้เก็บเกี่ยวนี้ให้แห้งอยู่ในนาสักระยะเวลาหนึ่งแล้วจึงเก็บเกี่ยว การทิ้งให้แห้งในนาเช่นนี้มีผลให้ข้าวซึ่งมีความชื้นลดลงเนื่องจากความร้อนจากแสงอาทิตย์และลมในตอนกลางวัน กลับไปดูดความชื้นจากอากาศในตอนกลางคืน ทำให้เกิดวงจรการแห้งและชื้น(Drying and Wetting Cycle) ลักษณะดังกล่าวทำให้เกิดความเครียด(Stress) ในเมล็ดข้าวทำให้เปราะเมื่อ

นำไปสี เกิดการแตกหัก จากการทดลองที่ทำในต่างประเทศ การลดความชื้นออกจากเมล็ดข้าวควรเป็นไปอย่างช้าๆและสม่ำเสมอ

วิธีการที่ใช้ในการอบแห้งข้าวอาจแบ่งออกเป็น 4 วิธีใหญ่ๆคือ

1. การอบแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์
2. การอบแห้งโดยใช้เครื่องจักรกล
3. การอบแห้งโดยใช้แสงอินฟาเรดหรือไดอิเลคทริค และ
4. การอบแห้งโดยใช้สารเคมี

ในวิธีการทั้ง 4 นอกจากการอบแห้งโดยใช้สารเคมีบางชนิด ส่วนใหญ่อาศัยความร้อนและการถ่ายเทอากาศเป็นตัวนำความชื้นออกจากเมล็ดข้าว ความร้อนที่ใช้อาจมาจาก ความร้อนจากแสงอาทิตย์ การเผาไหม้เชื้อเพลิง หรือจากกระแสไฟฟ้า สำหรับการใช้อากาศในการนำและพาความชื้นออกจากเมล็ดข้าว อาจจะจำแนกได้เป็นสามประเภทคือ ใช้อากาศตามธรรมชาติ ใช้อากาศตามธรรมชาติกับความร้อนเสริม (Supplemental Heat) และใช้อากาศร้อน

ในการใช้อากาศร้อนเป่าผ่านเมล็ดข้าวนั้น อากาศร้อนทำให้เกิดการระเหย(Evaporation) ของความชื้นออกจากผิวของเมล็ดข้าว ทำให้เมล็ดข้าวมีอุณหภูมิสูงขึ้น และอากาศร้อนนั้นก็นำความชื้นที่ระเหยออกจากเมล็ดข้าวออกไป การที่เมล็ดข้าวมีอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้เกิดการซึมผ่าน(Migration) ของความชื้นจากเนื้อในของเมล็ดข้าวออกมาสู่ผิวของเมล็ดข้าว เนื่องจากความแตกต่างของระดับความชื้น(Moisture Gradient) ที่ผิวนอกกับเนื้อใน ขณะที่อยู่ในขบวนการอบแห้ง

กรรมวิธีในการลดความชื้นในเมล็ดข้าวมีผลต่อเมล็ดข้าวหลังการอบแห้ง กล่าวคือ ถ้าลดความชื้นเร็วเกินไปก็จะทำให้เมล็ดข้าวหลังการอบแห้งร้าวและเปราะ เมื่อนำไปสีจะมีเปอร์เซนต์ข้าวหักสูง โดยทั่วไปในการพิจารณาใช้กรรมวิธีในการอบแห้งจึงมักพิจารณาถึง

1. พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับเมล็ดข้าว เช่น ปริมาณความชื้นในเมล็ดข้าว ปริมาณความชื้นสมดุลย์ของเมล็ดข้าว พันธุ์ข้าว อุณหภูมิของเมล็ดข้าว ความร้อนแฝง(Latent Heat) ในการอบแห้งเมล็ดข้าว

2. พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับอากาศที่ใช้ เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์

3. แฟคเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องอบ เช่น ชนิด วิธี ความหนาของชั้นข้าวที่อากาศจะต้องเป่าผ่าน ระยะเวลาที่ใช้อบ ความร้อนที่สูญเสียไปเนื่องจากการพา(Convection) และการแผ่รังสี(Radiation) และอัตราการลดความชื้น

1.3 <u>การสำรวจผลงานวิจัย</u>

เนื่องจากปัญหาความชื้นในเมล็ดข้าว (และพืชที่ให้เมล็ดอื่นๆ) เป็นปัญหาสำคัญปัญหาหนึ่งซึ่งประเทศผู้ผลิตข้าวส่วนใหญ่โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศในเขตร้อนชื้นประสบอยู่ งานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อลดความชื้นในเมล็ดมีอยู่มากมาย ปัจจุบันประเทศอุตสาหกรรมเช่น ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศส ฯลฯ ได้ทำการวิจัยและพัฒนาจนถึงขั้นที่ผลิตเป็นเครื่องอบเมล็ดออกจำหน่าย แต่เป็นเครื่องอบที่อาศัยพลังงานที่ได้จากไฟฟ้าหรือน้ำมัน

เครื่องอบเมล็ดมีด้วยกันหลายชนิด อาจแบ่งออกตามลักษณะวิธีการใช้งานได้เป็น 3 จำพวก(3)

1. เครื่องอบชนิดต่อเนื่อง(Continuous Flow Dryers)
2. เครื่องอบชนิดถังเก็บ(Storage Dryers)
3. เครื่องอบชนิดครั้งคราว(Batch Dryers)

1.3.1 เครื่องอบชนิดต่อเนื่อง

เครื่องอบชนิดต่อเนื่อง จะต้องอาศัยเครื่องมือในการขนถ่าย(Conveyor) เมล็ดข้าวที่มีความชื้นเข้าเครื่องอบซึ่งอากาศร้อนจากเครื่องอบจะเป่าไปยังเมล็ดข้าว จนกระทั่งความชื้นลดลงตามต้องการ แล้วเมล็ดข้าวจะผ่านพัดลมเป่าให้เย็นลงก่อนออกจากเครื่องอบ เครื่องอบชนิดนี้อาจทำงานต่อเนื่องกันวันละ 16 ชั่วโมงหรือตลอดวัน ค่าลงทุนขั้นต้นค่อนข้างสูง เหมาะสำหรับการอบผลผลิตปริมาณมากๆ

1.3.2 เครื่องอบชนิดถังเก็บ

เครื่องอบแบบนี้จะทำให้ผลผลิตแห้งในระหว่างการเก็บ ผลผลิตจะไม่ถูกเคลื่อนย้ายต่อไปหลังจากถูกลดความชื้นแล้ว ถังเก็บจะต้องได้รับการออกแบบอย่างถูกต้อง โดยต้องมีระบบการถ่ายเทอากาศที่ดี การทำให้แห้งวิธีนี้จะใช้เวลานาน โดยทั่วไปอาจแยกชนิดของเครื่องอบแบบถังเก็บออกเป็น 2 ชนิดคือ แบบชนิดให้อากาศร้อนไหลในแนวตั้งตามท่อภายในถัง และปล่อยให้ออกมาในแนวนอนทางรูท่อซึ่งเรียกว่า ชนิด In Floor และแบบให้อากาศร้อนไหลในแนวนอนบนพื้นทางเก็บ เรียกว่า On Floor

1.3.3 เครื่องอบชนิดครั้งคราว

เป็นวิธีการทำให้แห้งที่ต้องมีการนำเมล็ดข้าวที่จะลดความชื้นมาใส่ในถังหรือภาชนะสำหรับใส่เข้าเครื่องอบ และเมื่ออบเสร็จแล้วจึงนำผลผลิตนั้นออกจากเครื่องอบเพื่อนำไปเก็บ ระยะเวลาที่จะใช้ในการอบแต่ละครั้งขึ้นอยู่กับปริมาณของเมล็ดข้าว และความชื้นของเมล็ดข้าว

เนื่องจากเครื่องอบแห้งที่ผลิตจำหน่ายโดยประเทศอุตสาหกรรมนั้นมีราคาแพงและค่าใช้จ่ายในการใช้งานสูง ดังนั้นในประเทศที่กำลังพัฒนาจึงมีการวิจัยและพัฒนาเครื่องอบข้าวขึ้นใช้ภายในประเทศ โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาเครื่องอบข้าวที่มีราคาถูก ทำขึ้นได้เองภายในประเทศ ใช้ง่าย ซ่อมง่าย และเนื่องจากประเทศที่กำลังพัฒนาส่วนใหญ่มักจะต้องซื้อเชื้อเพลิงจากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพง ดังนั้นงานวิจัยและพัฒนาจึงมักเป็นไปในลักษณะที่จะให้ได้มาซึ่งเครื่องอบที่ใช้เชื้อเพลิงอย่างประหยัด หรือใช้พลังงานอย่างอื่นที่มีอยู่ในประเทศทดแทนน้ำมัน เช่น แกลบ พลังงานแสงอาทิตย์ ฯลฯ

ในภาคพื้นเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ สถาบันวิจัยและพัฒนาที่ได้ดำเนินการวิจัยและพัฒนาเครื่องอบข้าวในหลายลักษณะ และประสบผลสำเร็จคือ สถาบันวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับข้าวในประเทศฟิลลิปปินส์ที่มีชื่อว่า The International Rice Research Institute (4) งานวิจัยและพัฒนาเครื่องอบข้าวที่กระทำอยู่ที่สถาบันนี้ มีทั้งส่วนที่เป็นการค้นคว้าชนิดใหม่ๆของเครื่องอบที่อาจนำไปใช้ในชนบท ใช้พลังงานความร้อนทั้งที่เป็นเชื้อเพลิงทดแทน เช่น แกลบ หรือใช้น้ำมัน ในปัจจุบันก็ยังให้ความสนใจในการวิจัยและพัฒนาเครื่องอบที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ นอกจากนี้ยังมีการค้นคว้าวิธีการเร่งการอบแห้งโดยใช้ตัวกลางนำความร้อน เช่น แผ่นโลหะ ทราย เป็นต้น นอกเหนือจากเครื่องอบข้าวแล้ว สถาบันแห่งนี้ยังทำงานวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรกลการเกษตรที่ใช้ในการทำนาทั้งหมดด้วย

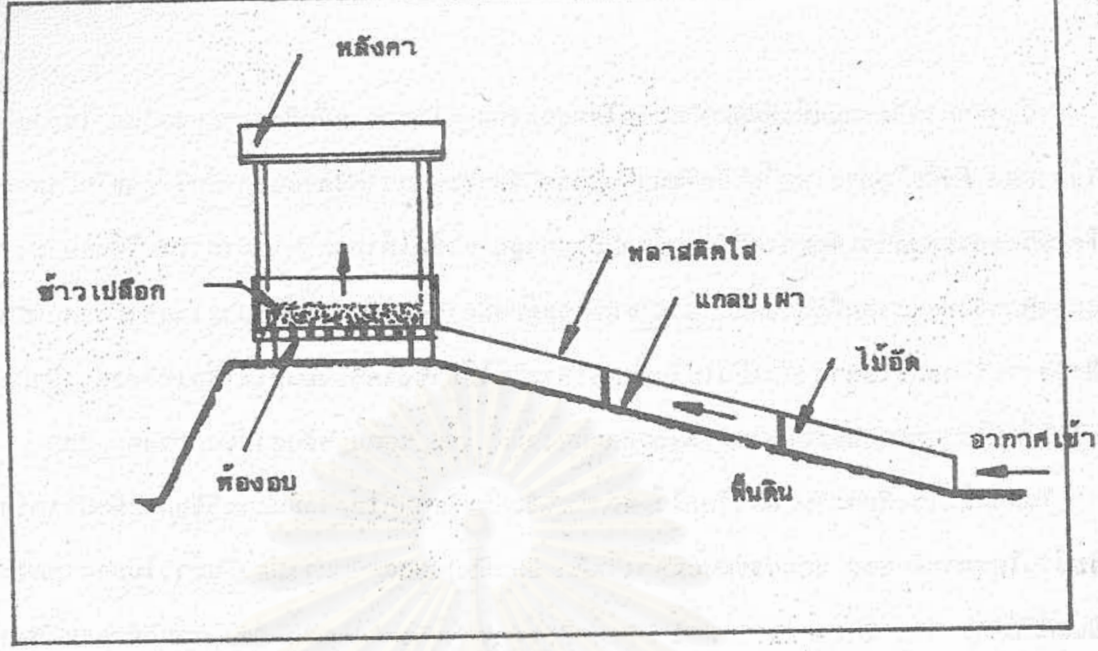
สำหรับในประเทศไทย งานวิจัยและพัฒนาที่เป็นที่รู้จักแพร่หลายคือ งานวิจัยและพัฒนาเครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์ของ A.I.T. (ได้รับการสนับสนุนจาก John F Kennedy Foundation 1976-1977) (5) และเครื่องอบข้าวเชิงกลที่ดำเนินการพัฒนาโดยกองเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์(ได้รับการสนับสนุนจาก IDRC 1976-1978) (6)

เครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์ที่จัดทำโดย A.I.T. เป็นเครื่องอบชนิดที่ใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ทำให้อากาศร้อน แล้วอากาศร้อนผ่านชั้นข้าวเปลือกโดยวิธีการพาธรรมชาติ(Natural Convection) ดังในรูปที่ 1 เครื่องอบข้าวดังกล่าวประกอบด้วยส่วนต่างๆดังต่อไปนี้

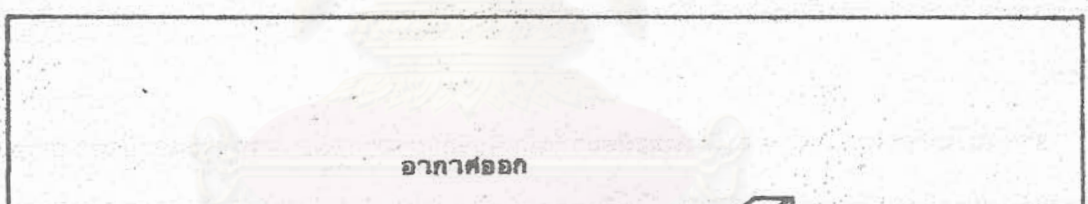
1. โครงสร้างของเครื่องอบซึ่งมีขนาดของพื้นที่รองรับข้าวเปลือกขนาด 1 ม^2 ทำด้วยไม้และไม้อัด คลุมด้วยแผ่นพลาสติก

2. พื้นรองรับบุด้วยมุ้งลวด

3. แผงรับแสงอาทิตย์ขนาด 3 ม^2 ทำด้วยขี้เถ้าแกลบซึ่งเกลี่ยให้ทั่วดี อยู่บนพื้นดินลาดเอียง และคลุมด้วยแผ่นพลาสติคสำหรับป้องกันฝน



รูปที่ 1.1 เครื่องอบแห้งข้าวแบบ A.I.T.



รูปที่ 1.2 เครื่องอบแห้งข้าวเชิงกล

เครื่องอบข้าวทำงานโดย อากาศจะถูกดูดผ่านแผงรับแสงอาทิตย์โดยการพาธรรมชาติ อากาศจะได้รับความร้อนจากแผงรับฯมีอุณหภูมิประมาณ 40 - 45^{o}C แล้วอากาศร้อนก็จะผ่านเข้าไปใต้พื้นรองรับ ผ่านชั้นข้าวเปลือกซึ่งเทและเกลี่ยให้มีความหนาสม่ำเสมอบนพื้นรองรับ อากาศร้อนก็จะพาความชื้นออกจากเมล็ดข้าวดังหลักการที่ได้กล่าวถึงแล้วในหัวข้อ 1.2

จากผลการทดลองพบว่า ขนาดความหนาของชั้นข้าว 10 ซม. เครื่องอบจะสามารถลดความชื้นจาก 25% ลงเหลือ 14% ในเวลา 1-2 วันสำหรับวันที่มีแดดจัด ถ้าความหนาระหว่าง 15 - 20 ซม. เครื่องสามารถลดความชื้นจาก 28% ลงเหลือ 14% ในเวลา 3-4 วันสำหรับวันที่มีเมฆมาก

จากผลการทดลองดังกล่าวจะเห็นได้ว่า สัดส่วนระหว่างพื้นที่ของพื้นรองรับข้าวต่อพื้นที่ของแผงรับแสงอาทิตย์คือ 1: 3 สำหรับความหนา 10 ซม. จึงจะสามารถลดความชื้นจาก 25%ลงเหลือ 14% ในวันแดดจัด หรืออีกนัยหนึ่งคือ ประสิทธิภาพของเครื่องนี้จะประมาณ 0.05 ม^{3}ของข้าวเปลือก/ 1 ม^{2}ของพื้นที่รับแสงอาทิตย์ หรือ 0.037 ม^{3}ของข้าวเปลือก/ 1 ม^{2}ของพื้นที่ที่ใช้ในการอบทั้งหมด

สำหรับเครื่องอบข้าวซึ่งได้รับการวิจัยและพัฒนาที่กองเกษตรวิศวกรรมนั้น เป็นเครื่องอบข้าวแบบเชิงกล(Mechanical Rice Dryer) ดูในรูปที่ 2 กล่าวคือใช้น้ำมันเตาหรือแกลบเป็นเชื้อเพลิงทำให้อากาศร้อน แล้วอากาศร้อนจะถูกเป่าผ่านชั้นของข้าวเปลือกโดยใช้พัดลมซึ่งหมุนโดยใช้มอเตอร์

ต้นแบบประกอบด้วยชิ้นส่วนต่างๆดังต่อไปนี้

1. ถังอบข้าวซึ่งมีขนาดจุ 2000 กิโลกรัม ทำจากไม้อัด ไม้ และตะแกรง(Perforated Sheet) พื้นที่รองรับข้าวมีขนาด 2.44 x 2.44 ม^{2} บรรจุชั้นข้าวได้สูง 0.6 ม

2. เตาเผาแกลบขนาด 0.6 x 0.6 x 0.76 ม^{3} ทำจากอิฐและเหล็กฉาก

3. เตาเผาน้ำมัน(Vaporizing Pot Burner)

4. พัดลมซึ่งมีกำลังลมขนาด 1.9 ม^{3}/วินาที (4000 ฟุต^{3}/นาที) ที่ความดันสถิตย์(Static Pressure) เท่ากับความสูงของน้ำ 4.5 ซม. เมื่อหมุนด้วยความเร็ว 1600 รอบ/นาที

เครื่องอบทำงานโดยพัดลมจะดูดอากาศที่ถูกทำให้ร้อนโดยการเผาแกลบหรือเผาน้ำมันเตา อุณหภูมิของอากาศประมาณ 43 ± 3^{o}C ผ่านเข้าไปในถังอบข้าวซึ่งบรรจุข้าว 2000 ก.ก.

จากผลการทดลองปรากฏว่า ในการลดความชื้นข้าวเปลือกจาก 22%ลงเหลือ 14%ใช้เวลาประมาณ 4-5 ชม. โดยมีความแตกต่างของระดับความชื้นจากชั้นบนกับชั้นล่างของข้าวเปลือกซึ่งมีความหนา 0.6 ม. ประมาณ 3% ใช้น้ำมันเตา 1.5 - 2 ลิตร/ชม. ถ้าใช้ เครื่องยนต์ดีเซลขนาด 8

แรงม้าในการหมุนพัดลม จะใช้น้ำมันประมาณ 1.5 ลิตร/ชม. ถ้าใช้เครื่องเบนซินขนาด 15 แรงม้าจะใช้น้ำมันประมาณ 2-2.5 ลิตร/ชม. ถ้าใช้แกลบในการเผาอากาศ ค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องก็จะมีเฉพาะค่าน้ำมันสำหรับมอเตอร์หมุนพัดลม ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องไม่รวมค่าเทอร์โมมิเตอร์มาโนมิเตอร์ ค่าแรงและค่าเครื่องยนต์ ประมาณ 6400 บาท ค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องแต่ละครั้งไม่รวมค่าขนข้าวเข้าและออกจากถังอบข้าวประมาณ 45-52.5 บาท ถ้าใช้เครื่องยนต์ดีเซล 8 แรงม้าและประมาณ 62.5-80 บาทถ้าใช้เครื่องยนต์เบนซิน 15 แรงม้า ในกรณีที่ใช้น้ำมันเตาเผาอากาศ แต่ถ้าใช้แกลบในการเผาอากาศจะเสียค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องแต่ละครั้งประมาณ 22.5 บาทถ้าใช้เครื่องยนต์ดีเซล 8 แรงม้า และ 40-50 บาทสำหรับเครื่องยนต์เบนซิน 15 แรงม้า

จากผลการวิจัยและพัฒนาเครื่องอบข้าวทั้งสองชนิด ต่างก็มีข้อดีและข้อเสียหลายประการ สำหรับข้อเสียซึ่งอาจจะแก้ไขได้ในการปรับปรุงวิจัยและพัฒนาเครื่องอบแบบใหม่ๆต่อไป อาจกล่าวได้โดยสังเขปดังนี้

ผลงานวิจัยและพัฒนาที่จัดทำโดย A.I.T. นั้น จะเห็นได้ว่าเครื่องจะมีราคาถูกแต่มีประสิทธิภาพในการทำงานต่ำ กล่าวคือจะต้องใช้พื้นที่รับแสงอาทิตย์ประมาณ 61 ม^{2}ในการที่จะลดความชื้นข้าวเปลือก 1 ตัน จาก 24% ลงเหลือ 13% ภายใน 1 วัน นอกจากนั้นแล้วในวันที่พลังงานแสงอาทิตย์(Solar Radiation) ต่ำ ปริมาณอากาศที่จะพัดผ่านแผงรับแสงอาทิตย์เข้าไปในห้องอบข้าวจะมีน้อยหรือไม่มีเลย ดังนั้นในวันดังกล่าว เครื่องนี้อาจจะไม่สามารถลดความชื้นจากเมล็ดข้าวได้ ยิ่งไปกว่านั้น เนื่องจากตัวเครื่องและยุ้งเก็บข้าวอยู่กันคนละแห่ง ในการใช้เครื่องดังกล่าวก็จำเป็นที่จะต้องบวกค่าขนย้ายข้าวเปลือกเข้าและออกจากเครื่อง เข้ากับค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องแต่ละครั้งด้วย

สำหรับเครื่องที่ได้รับการวิจัยและพัฒนาที่กองเกษตรวิศวกรรม เนื่องจากถูกสร้างสำหรับอบข้าวปริมาณมาก ต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องจึงค่อนข้างสูง และเนื่องจากความหนาของชั้นข้าวค่อนข้างหนามาก ความแตกต่างของระดับความชื้นค่อนข้างสูงทำให้ความชื้นของข้าวที่ได้จากการอบไม่สม่ำเสมอ

จากการวิจัยและพัฒนาที่ A.I.T. แสดงให้เห็นว่า ความร้อนที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์สามารถที่จะใช้ทดแทนเชื้อเพลิงราคาแพงในการทำให้อากาศร้อน นอกจากนั้นสิ่งที่แสดงให้เห็นว่าเครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์น่าจะเป็นการแก้ปัญหาความชื้นให้กับชาวนาได้ก็คือ

1. ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ประเทศไทยได้รับตลอดปีค่อนข้างสูง เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ระหว่างเดือน พฤษภาคม - มิถุนายน ซึ่งเป็นช่วงเก็บเกี่ยวข้าวนาปรัง ประมาณ 400 แคลลอรี่/ซม^2-วัน

2. อุณหภูมิที่ใช้ในการอบข้าวค่อนข้างต่ำ แผงรับแสงอาทิตย์จึงอาจทำได้ง่ายๆและมีประสิทธิภาพดี

3. ไม่จำเป็นต้องอบให้แห้งในช่วงเวลาสั้นๆอาจใช้เวลาเป็นวันหรือ 2-3 วันโดยที่ข้าวไม่เสีย จึงไม่จำเป็นต้องมีถังเก็บความร้อน(Thermal Storage) ไว้ใช้ในช่วงที่ไม่มีความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์

นอกจากนี้แล้วถ้าเครื่องอบใช้อุปกรณ์เชิงกลน้อยลงเท่าใด ต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องจะน้อยลงตามไปด้วย รวมทั้งการใช้เครื่องและการบำรุงรักษาเครื่องก็จะง่ายขึ้น ดังนั้นเครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีราคาถูกและประสิทธิภาพดีจึงควรได้รับการวิจัยและพัฒนา เพื่อให้ได้เครื่องอบข้าวซึ่งชาวนาไทยสามารถนำไปใช้งานได้

1.4 <u>เป้าหมายและขอบเขตการวิจัยและพัฒนา เครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์</u>

เป้าหมายหลักในการวิจัยและพัฒนานี้ เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์แบบประหยัดที่สามารถสร้างได้ในราคาถูก ใช้ง่าย ดูแลรักษาง่ายและมีประสิทธิภาพดี

ขอบเขตของการวิจัยและพัฒนานี้จะครอบคลุมถึงรายละเอียดต่างๆดังนี้

1. วิเคราะห์ความจำเป็น อุปสงค์ และลักษณะที่เหมาะสมของเครื่องอบข้าว
2. ออกแบบเครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์
3. สร้างเครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดย่อส่วน
4. ทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองใช้เครื่องฯ
5. วิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่าย
6. สรุปผล

1.5 <u>วิธีดำเนินการวิจัย</u>

เพื่อให้งานวิจัยและพัฒนาสำเร็จสมดังเป้าหมายที่ได้ตั้งไว้ วิธีดำเนินการในแต่ละขั้นตอนของขอบเขตการวิจัยอาจสรุปได้โดยสังเขปดังต่อไปนี้

วิธีดำเนินการในการวิเคราะห์ความจำเป็น อุปสงค์และลักษณะที่เหมาะสมของเครื่องอบข้าวประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1. เก็บรวบรวมข้อมูล
2. วิเคราะห์โดยวิธีทางสถิติ
3. สรุปผล

สำหรับการออกแบบเครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากเป้าหมายหลักนั้นเพื่อให้ได้เครื่องราคาถูก กล่าวคือ ต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องน้อย แบบหนึ่งซึ่งเป็นไปได้ก็คือ การปรับปรุงยุ้งข้าวที่มีอยู่แล้วหรือจะสร้างขึ้นใหม่ให้เป็นทั้งที่อบข้าวและเก็บข้าวไปในตัว หลักการโดยสังเขปในการปรับปรุงก็คือ ใช้หลังคายุ้งข้าวซึ่งทำด้วยสังกะสี ทำหน้าที่เป็นแผงรับแสงอาทิตย์ทาสีดำ เพื่อให้แผงรับดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการดูดความร้อนดีขึ้น คลุมแผ่นสังกะสีด้วยวัสดุโปร่งใส เช่น พลาสติก ใช้พัดลมดูดอากาศผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ อากาศซึ่งได้รับความร้อนจากแผงรับฯก็จะผ่านเข้าไปในห้องอบข้าวซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของยุ้งข้าว ข้าวที่ผ่านการอบแห้งแล้วก็จะไหลลงสู่ห้องเก็บข้าว

ขั้นตอนในการออกแบบจะประกอบด้วย

1. เก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย
2. ออกแบบเครื่องอบข้าว
3. สร้างแบบจำลองเครื่องอบข้าวโดยใช้คอมพิวเตอร์
4. กำหนดค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องในแบบเครื่องอบข้าว

หลังจากออกแบบเครื่องอบข้าวเสร็จแล้ว เครื่องอบข้าวขนาดย่อส่วนเพื่อใช้ในการทดลองได้ถูกสร้างขึ้นตามแบบที่ได้ออกไว้

เมื่อสร้างเครื่องเสร็จแล้ว มีการทดสอบเครื่องโดยการวัดค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากคอมพิวเตอร์ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของต้นแบบและแบบจำลอง

เมื่อผ่านการทดสอบแก้ไขเรียบร้อยแล้ว แสดงว่าเครื่องอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ นำเครื่องไปใช้ในการอบข้าวเปลือกที่มีความชื้นต่างๆให้ลดลงเหลือความชื้นระหว่าง 13 - 16% โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

1. ซื้อข้าวเปลือกชนิด 10%
2. วัดความชื้นของข้าวเปลือก นำข้าวเปลือกบางส่วนไปตากแห้งโดยธรรมชาติพร้อมๆกับการอบโดยอุปกรณ์อบแห้งให้ข้าวเปลือกมีความชื้น 13 - 16%
3. นำข้าวที่อบแห้งแล้วไปสี วัดปริมาณข้าวสารที่ได้จากการสี แบ่งลักษณะ ข้าวหัว ข้าวหักท่อน และปลายข้าว

หลังจากนี้แล้ว สุ่มตัวอย่างข้าวที่ได้จากการสี ทิ้งไว้ในห้องทดลอง คอยสังเกตผลการเปลี่ยนแปลงสีของข้าวสาร น้ำหนักสูญเสีย การรบกวนของแมลง โรคข้าวที่มองเห็นได้ และปริมาณความชื้นในข้าวเป็นเวลา 2 เดือน

หลังจากได้ข้อมูลที่ต้องการทั้งหมดแล้ว งานขั้นต่อไปคือการวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่ายสำหรับชาวนาที่จะสร้างและใช้เครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์

จากผลงานทั้งหมดที่ทำมา ก็ได้ต้นแบบเครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์ ข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องในการใช้เครื่อง ในขั้นสุดท้ายก็เป็นการสรุปผลและเสนอแนะผลที่ได้จากการวิจัยและพัฒนา

บทที่ 2

ความจำเป็น ลักษณะที่เหมาะสม และความต้องการของเครื่องอบข้าว

2.1 คำนำ

วัตถุประสงค์ในการวิจัยและพัฒนาเครื่องอบข้าวนั้น เพื่อให้ได้มาซึ่งอุปกรณ์สำหรับการลดความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือก เพราะความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกทำให้เกิดความสูญเสียของผลผลิตซึ่งเป็นผลให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจของประเทศ การที่จะได้มาซึ่งอุปกรณ์อบแห้งข้าวที่เหมาะสมและนิยมใช้กันโดยแพร่หลายต้องอาศัยเวลาและเงินทุนสำหรับการวิจัยและพัฒนา ดังนั้นก่อนที่จะมีการลงทุนทั้งเงินและเวลาจึงสมควรที่จะมีการวิเคราะห์ถึงความจำเป็นที่จะต้องมีอุปกรณ์อบแห้งข้าว ถ้าหากเป็นความจำเป็นที่จะต้องมีอุปกรณ์อบแห้งข้าว ก็ย่อมจะต้องมีความต้องการที่จะมีอุปกรณ์อบแห้งข้าวไว้ใช้ การวิเคราะห์ถึงความต้องการอุปกรณ์อบแห้งข้าวจึงเป็นสิ่งที่พอจะใช้เป็นเครื่องชี้แนะรัฐในการวางแผนหรือกำหนดนโยบายในการดำเนินการช่วยเหลือเกษตรกร และเป็นเครื่องชี้แนะแนวทางการลงทุนของนักอุตสาหกรรม

เนื่องจากวัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อให้ได้มาซึ่งอุปกรณ์อบแห้งข้าวราคาประหยัดที่สามารถสร้างใช้ได้ง่าย ดูแลรักษาง่าย การที่จะได้มาซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวก็ย่อมต้องมีการวิเคราะห์คาดหมายลักษณะที่เหมาะสมของอุปกรณ์ โดยคำนึงถึงฐานะทางเศรษฐกิจ ระดับการศึกษา สภาพที่อุปกรณ์ดังกล่าวอาจถูกนำไปใช้งาน และการยอมรับเทคโนโลยีใหม่ๆของชาวนา

2.2 ความจำเป็น

ปริมาณความชื้นในเมล็ดข้าวมีอิทธิพลต่อการปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การเก็บรักษา การสีข้าว การงอกของเมล็ด และราคาซื้อขาย ปริมาณความชื้นที่มากเกินไปทำให้เก็บรักษาข้าวไว้ไม่ได้นานจะเกิดปัญหาข้าวขึ้นรา ข้าวเป็นพันหนู และเมื่อนำข้าวที่มีความชื้นสูงไปสีเป็นข้าวสารจะได้ข้าวป่นหักมาก ข้าวที่มีความชื้นมากนี้ ถ้านำไปเพาะทำพันธุ์ เปอร์เซนต์การงอกของเมล็ดค่อนข้างต่ำ ราคาซื้อขายข้าวที่มีความชื้นสูง โดยทั่วไปราคาจะต่ำกว่าข้าวที่แห้งดี เนื่องจากปัจจัยเหล่านี้มีผลสะท้อนในด้านความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยว ชาวนาจึงพยายามหาวิธีการเพื่อลดความชื้นออกจากเมล็ดข้าวด้วยกรรมวิธีต่างๆกัน (8)

คณะกรรมการผู้เชี่ยวชาญด้านการเก็บรักษาอาหารจาก FAO ได้เคยประมาณว่าในปีหนึ่งๆโลกได้สูญเสียธัญพืชหลังการเก็บเกี่ยวเป็นจำนวนถึง 10% ทั้งนี้เนื่องมาจากการทำลายของแมลง หนู และเชื้อรา ถึงแม้ว่าตัวเลขที่ได้มาจะเป็นการประมาณเท่านั้น แต่ก็มีหลักฐานพิสูจน์ได้ว่าข้าวที่เก็บ

เกี่ยวได้ในประเทศผู้ผลิตข้าวนั้นอาจเสียหายได้มากถึง 30% ความชื้นของเมล็ดพืชและอุณหภูมิที่เหมาะสมเป็นต้นเหตุช่วยในการเจริญเติบโตของแมลง เชื้อรา และจุลินทรีย์ซึ่งเป็นบ่อเกิดแห่งความสูญเสียดังกล่าว (3)

ความเสียหายที่เกิดขึ้นจากความชื้นในเมล็ดข้าว ยังผลให้เกิดการสูญเสียรายได้ประชาชาติซึ่งเป็นความจำเป็นที่รัฐจะต้องหาทางแก้ไข และยังผลให้เกิดการสูญเสียรายได้ของชาวนา ซึ่งกลายเป็นความจำเป็นที่ชาวนาจะต้องหาทางแก้ไข ดังนั้นจึงอาจแยกการวิเคราะห์ความจำเป็นออกเป็นสองลักษณะคือ ความจำเป็นของผู้ผลิต และความจำเป็นของรัฐดังนี้

2.2.1 ความจำเป็นของผู้ผลิต

จากผลสะท้อนในด้านความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวเนื่องจากปริมาณความชื้นมากเกินกว่าปริมาณที่เหมาะสมในเมล็ดข้าว ในทางปฏิบัติ ชาวนาทุกภาคของประเทศไทยจึงปล่อยให้ข้าวที่ถึงอายุที่จะทำการเก็บเกี่ยวทิ้งแห้งไว้ในนาระยะหนึ่งแล้วจึงทำการเก็บเกี่ยว หลังเก็บเกี่ยวชาวนาก็จะนำเอาข้าวไปตากแดดและลมบนลานข้าว นำข้าวที่แห้งแล้วไปนวด แล้วจึงนำไปเก็บหรือจำหน่ายต่อไป

กรรมวิธีในการลดความชื้นดังกล่าวดูเหมือนจะเป็นวิธีที่เหมาะสม เพราะไม่ต้องมีการลงทุนและค่าใช้จ่ายที่เป็นตัวเงิน แต่จากการสำรวจการวิจัยในต่างประเทศเช่น สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น ฟิลลิปปินส์ ฯลฯ พบว่าการเก็บเกี่ยวข้าวที่ความชื้นในเมล็ดข้าวต่ำกว่าความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยว[1] จะทำให้เกิดการร่วงหล่นของเมล็ดข้าวในนา จากเอกสารที่ปรากฏปริมาณความสูญเสียนี้อาจมากถึง 15% (9) อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยในประเทศฟิลลิปปินส์ (10) พบว่าการเก็บเกี่ยวข้าวชนิด IR 253 ระหว่าง Dry Season หลังวันที่ควรเก็บเกี่ยว 10 วัน ปริมาณความสูญเสียจะประมาณ 4.06%ของปริมาณผลผลิตทั้งหมด[2] หลังที่เก็บเกี่ยวมาแล้วความชื้นในเมล็ดข้าวมักจะสูงกว่าความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาหรือสำหรับการสี[3] ยกเว้นในภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งระยะเก็บเกี่ยวข้าวนาปี ความชื้นหลังจากปล่อยให้แห้งในนา อาจอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษา (8) ดังนั้นชาวนาจึงต้องนำเอาข้าวที่เก็บเกี่ยวแล้วมาทิ้งตากแดดและลมบนลานข้าวอีกระยะหนึ่งแล้วจึงนวดและนำไปเก็บในยุ้งหรือฉางข้าวหรือจำหน่ายต่อไป ในช่วงที่มีการทิ้งข้าวไว้

---

1. ความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยวในประเทศไทยไม่ปรากฏมีเอกสารรายงานการวิจัย

2. ดูข้อมูลประกอบในตารางที่ 1 ภาคผนวก ข.

3. ความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาและการสีโดยถือหลักสากลคือระหว่าง 12 - 14% กระเปาะเปียก และ 14 - 15% กระเปาะเปียก ตามลำดับ

บนลานข้าวและการขนย้ายข้าวที่นวดแล้วจะเกิดการสูญเสียเนื่องจากการตกหล่นและทำลายโดยนกหนูอีกประมาณ 10 - 25% (11)

ยิ่งไปกว่านั้นระยะเก็บเกี่ยวข้าวนาปรังโดยเฉพาะภาคกลาง[4]จะตรงกับช่วงระยะเวลาฤดูฝนซึ่งมีฝนตกชุก ช่วงเวลาที่ปลอดฝนพอจะมีแสงแดดเพียงพอที่จะทำให้ข้าวแห้งได้นั้นมีอยู่ในช่วงระยะเวลาสั้นๆทำให้ไม่สามารถลดความชื้นในเมล็ดข้าวโดยกรรมวิธีทางธรรมชาติ ความเสียหายที่ตามมาเนื่องจากสาเหตุนี้ เช่น ไม่สามารถเก็บรักษาข้าวไว้ได้ ต้องรีบจำหน่ายไปทั้งๆที่ราคายังต่ำอยู่ ข้าวที่ยังมีความชื้นสูง เมื่อนำไปสีจะหักหรือป่นมาก ถ้าเก็บรักษาไว้ อุณหภูมิของข้าวจะสูงมากกว่าปกติ จะทำให้ข้าวเป็นสีนหนู และถ้าใช้ทำพันธุ์เปอร์เซนต์การงอกจะต่ำ นอกจากนี้สภาพดังกล่าวจะอำนวยให้พวกแมลงที่ชอบอาศัยในยุ้งฉางเจริญเติบโต ทำลายผลผลิตที่เก็บรักษาไว้มากขึ้นอีก แต่ที่สำคัญที่สุดคือ ข้าวที่มีความชื้นสูงหรือข้าวเปียกฝนจะขายได้ในราคาต่ำกว่าปกติประมาณ 100-300 บาทต่อเกวียน หรือบางแห่งพ่อค้าไม่รับซื้อต้องขายให้ผู้เลี้ยงสัตว์เพื่อเป็นอาหารพวกเป็ด ไก่ เป็นต้น (8)

การวิเคราะห์การสูญเสียรายได้ของชาวนาในการวิจัยนี้จะวิเคราะห์โดยประเมินความเสียหายที่เกิดขึ้นในทุกขั้นตอนของการผลิต ตั้งแต่การร่วงหล่นในนาระหว่างการเก็บเกี่ยวจนถึงการเก็บรักษา โดยสรุปความเสียหายที่ประเมินเป็นดังนี้

1. การสูญเสียเนื่องจากการถูกทำลายโดยนก แมลง และสัตว์อื่นๆหลังจากที่ข้าวแก่จัดและมีการทิ้งแห้งในนาโดยยังมิได้เก็บเกี่ยว ประเมินว่าความสูญเสียส่วนนี้ประมาณ 5%ของผลผลิตที่ควรจะได้จริง

2. การสูญเสียเนื่องจากการร่วงหล่นในนาระหว่างการเก็บเกี่ยว ความสูญเสียนี้จะใช้เท่ากับที่ทำการสำรวจในบริเวณภาคกลาง(13) ประมาณ 4.98 - 11.80% หรือ 7.80%โดยเฉลี่ย ของผลผลิตที่ควรจะได้จากการเก็บเกี่ยว

3. การสูญเสียระหว่างการนวดข้าว โดยเฉลี่ยประมาณ 4.6% ของผลผลิตที่ควรจะได้จากการเก็บเกี่ยว(13)

4. การสูญเสียเนื่องจากการร่วงหล่นระหว่างการขนย้ายจากนาข้าวมาที่ลานข้าวและจากลานข้าวไปยังที่เก็บรักษา โดยเฉลี่ยประมาณ 4.6% ของผลผลิตที่ควรจะได้จากการเก็บเกี่ยว(13)

---

4. จากการสำรวจในปี 2521 เนื้อที่เพาะปลูกข้าวนาปรังของภาคกลางคิดเป็น 40.57% ของเนื้อที่เพาะปลูกข้าวนาปรังทั้งประเทศ (12)

5. การสูญเสียเนื่องจากการถูกทำลายของนกและหนูในขณะที่ทิ้งตากไว้ในนาและบนลานข้าวเพื่อรอการนวด ประเมินว่าความสูญเสียส่วนนี้ประมาณ 5%ของผลผลิตที่ควรจะได้จากการเก็บเกี่ยว

6. การสูญเสียอื่นๆ อาทิ การถูกทำลายโดยเชื้อราและแมลงเนื่องจากข้าวที่นำไปเก็บรักษามีความชื้นสูง คุณภาพของการสีข้าวต่ำ (Low Milling Quality) ฯลฯ

เนื่องจากไม่ปรากฏข้อมูลเกี่ยวกับความสูญเสียในลักษณะที่ 2, 3 และ 4 สำหรับภาคอื่นๆ จึงใช้ข้อมูลเฉลี่ยของภาคกลางเป็นค่าประเมินความสูญเสียของภาคอื่นๆด้วย

ในช่วงการเก็บเกี่ยวข้าวนาปี เนื่องจากกรรมวิธีที่ใช้อยู่เดิมให้ผลดีในการลดความชื้น ดังนั้นความสูญเสียที่เห็นได้ชัดคือ ความสูญเสียในลักษณะที่ 1, 2 และ 5 ซึ่งรวมแล้วประมาณ 20.71% ของผลผลิตจริง ถ้าประเมินว่าอาจจะมีวิธีการอย่างอื่นซึ่งสามารถลดความสูญเสียโดยไม่ต้องลงทุนและปริมาณความสูญเสียที่จะยังคงมีอยู่แม้จะแก้ไขปัญหาความชื้นรวมกันประมาณ 5% ดังนั้นความสูญเสียสูงสุดที่จะเกิดขึ้นถ้าไม่มีการแก้ไขปัญหาความชื้นจะประมาณ 15.71% ของรายได้ทั้งหมดที่ได้จากผลผลิต

สำหรับข้าวนาปรัง เปอร์เซนต์ความสูญเสียเนื่องจากการร่วงหล่นระหว่างการเก็บเกี่ยวควรจะมีน้อยกว่ากรณีข้าวนาปี เพราะความชื้นของข้าวและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขณะเก็บเกี่ยวจะสูงกว่าข้าวนาปีและเพราะชาวนาส่วนมากจะพยายามขายผลผลิตโดยเร็ว เปอร์เซนต์ความสูญเสียเนื่องจากการถูกทำลายของนกและหนูควรจะน้อยกว่ากรณีข้าวนาปี ประเมินว่าความสูญเสียสูงสุดถ้าไม่มีการแก้ไขปัญหาความชื้นประมาณ 8.19% นอกจากความสูญเสียดังกล่าว เนื่องจากข้าวมีความชื้นสูง การเก็บรักษาจะทำความเสียหายมากยิ่งกว่าการขายในราคาที่ต่ำกว่าราคาข้าวแห้ง 100-300 บาท (ถ้าขายได้) ในกรณีนี้สมมติว่าราคาที่ต่ำกว่านี้เฉลี่ยประมาณ 200 บาท/เกวียน นั่นคือรายได้สูญเสียเพิ่มขึ้นจากความสูญเสียอื่นๆอีก 200 บาท/เกวียน

จากเปอร์เซนต์ความสูญเสียของข้าวนาปีและข้าวนาปรัง สรุปเป็นความสูญเสียของแต่ละภาคได้ดังตารางที่ 1 ซึ่งแสดงรายได้สูญเสียของผู้ผลิตปี 2520/2521

สมการที่ใช้ในการคำนวณรายได้สูญเสียคือ

สำหรับข้าวนาปี รายได้สูญเสีย = ขนาดที่นา x ผลผลิตเฉลี่ย/ไร่ x $\frac{\text{ราคาขายเฉลี่ย บาท/ตัน}}{1000}$ x 15.71/100

สำหรับข้าวนาปรัง รายได้สูญเสีย = ขนาดที่นา x ผลผลิตเฉลี่ย/ไร่ x $\frac{\text{ราคาขายเฉลี่ย บาท/ตัน}}{1000}$ x 8.19/100 + 200 x $\frac{\text{ขนาดที่นา x ผลผลิตเฉลี่ย/ไร่}}{1000}$

ตารางที่ 2.1 รายได้สูญเสียของผู้ผลิต ปี 2520/2521

ภาค	ราคาขายเฉลี่ย บาท/ตัน[1]	กรณี	ผลผลิตเฉลี่ย ก.ก./ไร่[2]	รายได้สูญเสียคิดตามขนาดที่นา (บาท) 10-19 ไร่	20-49 ไร่	50-100 ไร่	%รายได้สูญเสีย	%พื้นที่เพาะปลูก
กลาง	2145.57	นาปี	345	1163-2209	2326-5698	5814-11629	15.71	11.53
		นาปรัง	539	2192-4164	4383-10738	10957-21915	18.95	38.93
ตะวันออก	2150.94	นาปี	244	825-1567	1649-4040	4123-8245	15.71	6.93
		นาปรัง	541	2203-4185	4406-10794	11014-22088	18.93	16.85
ตะวันตก	2235.91	นาปี	218	766-1455	1532-3752	3829-7658	15.71	5.53
		นาปรัง	560	2338-4442	4675-11455	11688-23377	18.67	25.56
ตะวันออกเฉียงเหนือ	1980.92	นาปี	143	445-846	890-2181	2225-4450	15.71	46.28
		นาปรัง	364	1408-2676	2816-6900	7041-14082	19.53	1.62
เหนือ	1939.53	นาปี	299	911-1731	1822-4464	4555-9111	15.71	21.81
		นาปรัง	486	1856-3526	3712-9094	9280-18560	19.69	9.80
ใต้	2263.19	นาปี	291	1035-1966	2070-5071	5175-10350	15.71	7.92
		นาปรัง	475	1992-3785	3984-9761	9960-19920	18.53	6.24

หมายเหตุ 1 ดูจากตารางที่ 1 ภาคผนวก ก

2 ดูจากตารางที่ 1 ภาคผนวก ก และตารางที่ 2 ภาคผนวก ก

2.2.2 ความจำเป็นของรัฐ

ปัญหาสำคัญปัญหาหนึ่งซึ่งรัฐจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องรีบเร่งแก้ไขคือ ปัญหาเศรษฐกิจตกต่ำ ปัจจัยหนึ่งที่จะช่วยให้เศรษฐกิจของประเทศดีขึ้นก็คือ การเพิ่มผลผลิตรวมของชาติหรือการเพิ่มรายได้ประชาชาติ ดังได้แสดงในข้อ 2.2.1 ให้เห็นถึงความสูญเสียรายได้ของผู้ผลิตซึ่งอาจป้องกันได้โดยการแก้ปัญหาความชื้นสูงในเมล็ดข้าวอันจะเป็นผลให้รายได้ประชาชาติต่ำกว่าที่ควรจะได้ นอกจากนั้นปริมาณที่สูญเสียไปมีผลทำให้รัฐสูญเสียเงินตราต่างประเทศที่อาจหามาได้จากการจำหน่ายข้าวในตลาดต่างประเทศ

เนื่องจากปริมาณข้าวที่ส่งออกจำหน่ายในตลาดต่างประเทศคือปริมาณที่คาดว่าแม้จะนำออกจำหน่ายก็จะไม่ทำให้เกิดภาวะขาดแคลนของการบริโภคภายในประเทศ ดังนั้นจึงอาจถือได้ว่า ปริมาณการผลิตที่สูญเสียไปคือปริมาณที่รัฐอาจนำไปจำหน่ายในตลาดต่างประเทศได้ รายได้ที่รัฐสูญเสียไปเนื่องจากไม่อาจนำเอาผลผลิตที่ควรจะได้ไปจำหน่ายในระยะปี 2510 - 2519 สรุปได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2.2 ความสูญเสียทางเศรษฐกิจ[1]

ปีเพาะปลูก	จำนวนผลผลิต (1000 ตัน)	มูลค่าผลิตผล (ล้านบาท)	มูลค่าผลิตผลที่สูญเสีย[2] (ล้านบาท)
2510	9625	11007.2	1729.23
2511	10348	10161.8	1580.71
2512	13410	11538.4	1812.68
2513	13570	8530.5	1340.14
2514	13744	10994.0	1727.16
2515	12413	16274.1	2556.66
2516	14898	29176.0	4583.86
2517	13386	29880.9	4694.28
2518	15300	30267.8	4755.07
2519	15068	28184.4	4427.77

หมายเหตุ 1 ข้อมูลจากตารางที่ 1 ภาคผนวก ก

2 ประเมินความสูญเสียโดยคิดจากเปอร์เซนต์ความสูญเสียกรณีข้าวนาปีที่อาจจะแก้ไขได้

แม้ว่ามูลค่าสูญเสียทางเศรษฐกิจที่แสดงไว้ในตารางที่ 2 จะเป็นความสูญเสียที่มิอาจเรียกคืนหรือแก้ไขได้ แต่ตัวเลขดังกล่าวย่อมเป็นเครื่องชี้ให้รัฐเห็นได้ว่า รายได้ประชาชาติที่อาจเพิ่มขึ้นจากการแก้ไขปัญหาความชื้นในเมล็ดข้าวมีขนาดเท่าใด

โดยที่จำนวนประชากรของประเทศและโลกเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ปริมาณการบริโภคก็ย่อมเพิ่มตามขึ้นด้วย และโดยที่เนื้อที่เพาะปลูกของประเทศมีจำกัด การค้นคว้าวิจัยเพื่อเพิ่มปริมาณการผลิตเป็นความจำเป็นอย่างยิ่ง แต่ในขณะเดียวกัน ถ้าไม่มีการค้นคว้าวิจัยและพัฒนาวิธีการที่จะช่วยลดความสูญเสียของผลผลิตควบคู่ไปด้วย นอกจากจะทำให้มูลค่าความสูญเสียทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นแล้วยังทำให้การลงทุนเพื่อเพิ่มผลผลิตบางส่วนกลายเป็นการลงทุนที่สูญเปล่าอีกด้วย ประเทศที่ประสบความสำเร็จในการเพิ่มผลผลิตจากนาข้าว เช่น ญี่ปุ่น สาธารณรัฐเกาหลี และสหรัฐอเมริกา[5] คือประเทศที่ประสบความสำเร็จทั้งในการค้นคว้าวิจัยและพัฒนาการเพิ่มปริมาณการผลิตและการลดปริมาณความสูญเสีย แต่จากผลงานที่ปรากฏในประเทศไทย ดูเหมือนว่ารัฐจะมิได้ให้ความสนใจอย่างจริงจังในด้านการค้นคว้าวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีในการเพิ่มปริมาณการผลิตและการลดปริมาณการสูญเสีย จากข้อมูลที่ปรากฏ[6]แสดงว่าการเพิ่มผลผลิตจากนาข้าวได้มาจากการเพิ่มเนื้อที่เพาะปลูกมากกว่าที่จะได้จากการเพิ่มผลผลิตต่อไร่

นอกจากความสูญเสียของปริมาณการผลิตข้าวเปลือกจากปัญหาความชื้นโดยตรงแล้ว การนำข้าวเปลือกที่แห้งได้ความชื้นเหมาะสมไปสีจะได้ปริมาณข้าวสารมากกว่าข้าวเปลือกที่ไม่มีการควบคุมความชื้นที่ระดับเหมาะสม นอกจากนี้จากการวิจัยของ IRRI ,1972(14) แสดงให้เห็นว่ากรรมวิธีในการอบแห้งที่ต่างกันให้ปริมาณ ข้างสาร ข้าวหัว ข้าวหัก ด้วยเปอร์เซนต์ที่ไม่เท่ากัน[7]

โดยสรุป ความจำเป็นของการแก้ปัญหาความชื้นโดยการใช้อุปกรณ์อบแห้ข้าวนั้น เป็นความจำเป็นของชาวนา เพราะเป็นวิธีเพิ่มรายได้จากเนื้อที่ทำกินอันจำกัด และเป็นความจำเป็นของรัฐเพราะเป็นวิธีการเพิ่มรายได้ประชาชาติวิธีหนึ่ง ความแตกต่างระหว่างความจำเป็นของรัฐและชาวนาที่พอมองเห็นจากขนาดของความสูญเสียก็คือ เมื่อพิจารณาเฉพาะรายได้สูญเสีย อาจไม่ใช่ความจำเป็นสำหรับชาวนาทุกคนที่จะต้องมีอุปกรณ์อบแห้งข้าวถ้าอุปกรณ์ดังกล่าวมีราคาแพงกว่ารายได้สูญเสียและถ้าไม่มีกำลังเงินพอที่จะใช้ในการจัดซื้อ แต่ในระดับรัฐ ขนาดของความสูญเสียมีขนาดใหญ่และนับวันจะเป็นปัญหาสำคัญยิ่งขึ้น ดังนั้นแม้ในบริเวณเกษตรกรรมบางแห่งซึ่งประโยชน์ที่ได้รับจากอุปกรณ์อบ

---

5 ดูข้อมูลประกอบจากตารางที่ 4 ภาคผนวก ภ

6 ในตารางที่ 1 ภาคผนวก ก

7 ดูข้อมูลประกอบในตารางที่ 2 และ 3 ภาคผนวก ข

แห้งข้าวโดยเฉลี่ยแต่ละครัวเรือนไม่มากพอที่จะทำให้ชาวนาลงทุนซื้ออุปกรณ์ไว้เป็นกรรมสิทธิ์ ก็น่าที่รัฐจะสนับสนุนให้มีการรวมทุนในลักษณะสหกรณ์ เพื่อให้ชาวนาในบริเวณดังกล่าวได้มีอุปกรณ์ไว้ใช้

2.3 การคาดหมายลักษณะที่เหมาะสมของเครื่องอบแห้งข้าว

ในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ใดๆ สิ่งสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงคือ อุปกรณ์นั้นๆควรเป็นที่ยอมรับของผู้ใช้ ดังนั้น เพื่อความสำเร็จในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ จึงควรมีการศึกษาพฤติกรรมผู้ใช้อุปกรณ์เพื่อใช้ในการออกแบบและเพื่อหาลู่ทางในการเผยแพร่อุปกรณ์ไปสู่ผู้ใช้ เนื่องจากการศึกษาพฤติกรรมของการยอมรับเทคโนโลยีใหม่ๆของเกษตรกรโดยเฉพาะชาวนา ต้องอาศัยเวลา กำลังคนและค่าใช้จ่ายสูง ผลที่ได้จากการลงทุนเพียงเพื่อศึกษาเทคโนโลยีชนิดหนึ่งชนิดใดโดยเฉพาะอาจไม่เป็นการลงทุนที่ได้ประโยชน์สูงสุด การศึกษาควรกระทำสำหรับเทคโนโลยีหลายๆชนิดพร้อมๆกัน

โดยไม่มีการศึกษาพฤติกรรมผู้ใช้โดยตรง ลักษณะที่เหมาะสมของเครื่องอบแห้งข้าวในการวิจัยนี้คาดหมายจาก ฐานะทางเศรษฐกิจ ระดับการศึกษาและการใช้เทคโนโลยีใหม่ๆ

2.3.1 ลักษณะอุดมคติของเครื่องอบแห้งข้าว

ดังได้กล่าวแล้วในตอนต้นของบทถึงกรรมวิธีตามธรรมชาติที่ชาวนาใช้ทำให้ข้าวแห้ง ลักษณะที่เห็นเด่นชัดจากกรรมวิธีดังกล่าวก็คือ ไม่ต้องลงทุน (ที่เป็นเงิน) ไม่ต้องอาศัยวิชาการหรือเทคโนโลยีขั้นสูง เข้าใจง่าย ใช้ง่าย ไม่ต้องมีการบำรุงรักษา และไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการใช้ ดังนั้นถึงแม้ว่าจะได้ชี้ให้เห็นถึงปัญหาของการใช้กรรมวิธีดังกล่าวแล้วก็ตาม วิธีอบแห้งข้าวแบบใหม่ใดๆที่เสนอเข้าไปใช้แทนก็จะต้องได้รับการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียกับกรรมวิธีเดิมเสมอ จึงอาจกล่าวได้ว่า ลักษณะอุดมคติของเครื่องอบแห้งข้าวคือ ไม่ต้องเสียเงินลงทุน ใช้ง่าย ไม่ต้องการการบำรุงรักษา และไม่มีค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่อง

2.3.2 ลักษณะอุดมคติของผู้ใช้เครื่องอบแห้งข้าว

นอกเหนือจากกรรมวิธีอบแห้งโดยธรรมชาติแล้ว ยังไม่มีวิธีการใดๆที่มีลักษณะเช่นเดียวกับลักษณะอุดมคติที่กล่าวถึงในข้อ 2.3.1 เครื่องอบแห้งข้าวที่อาจเป็นที่ยอมรับของผู้ใช้ก็คือ เครื่องซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับลักษณะอุดมคติ เมื่อไม่สามารถที่จะพัฒนาเครื่องที่มีลักษณะอุดมคติได้ ก็ย่อมหวังไม่ได้ว่าผู้ใช้ทั้งหมดจะยอมรับเครื่องที่พัฒนาขึ้น ดังนั้นในการพัฒนาเครื่องย่อมต้องมีการตั้งลักษณะอุดมคติของผู้ใช้เครื่อง เพื่อจะได้ทราบว่าใครบ้างจะได้รับประโยชน์จากการพัฒนาเครื่องดังกล่าว และในด้านการลงทุนในอุตสาหกรรมเครื่องอบแห้งข้าว ลักษณะอุดมคติของผู้ใช้อาจใช้เป็นเครื่องชี้แนะขนาดของตลาดและใช้เป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์การลงทุน

จากลักษณะอุดมคติของเครื่องอบแห้งข้าว ปัจจัยสำหรับการวิเคราะห์ลักษณะอุดมคติของผู้ใช้ คือ ฐานะทางเศรษฐกิจซึ่งอาจใช้เป็นเครื่องชี้แนะความสามารถในการลงทุนและการใช้จ่ายสำหรับการดำเนินการใช้เครื่อง ระดับการศึกษาซึ่งอาจใช้สำหรับการพิจารณาออกแบบและใช้เครื่อง และการยอมรับเทคโนโลยีใหม่ๆ

2.3.2.1 ฐานะทางเศรษฐกิจ

เนื่องจากเครื่องอบแห้งข้าวเป็นอุปกรณ์การเกษตรใหม่ซึ่งอยู่ระหว่างการวิจัย พัฒนาและเผยแพร่ ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า รายจ่ายทางการเกษตรมิได้หมายรวมถึงค่าใช้จ่ายอันเกิดจากการใช้เครื่องดังกล่าว จากข้อมูลที่ปรากฏ[8] ครัวเรือนที่มีเนื้อที่ถือครอง 15-29.9 ไร่ มีรายได้สุทธิ 7162.75 บาท ถึงแม้ว่าข้อมูลดังกล่าวจะหมายรวมถึงงานเกษตรทุกด้านไม่เฉพาะแต่การทำนา แต่ตัวเลขดังกล่าวพอจะชี้ให้เห็นว่ารายได้ของเกษตรกรที่มีเนื้อที่ถือครอง 15-29.9 ไร่ มีฐานะทางเศรษฐกิจที่ยากจน การจับจ่ายใช้สอยเพื่อสิ่งอื่นนอกเหนือจากปัจจัยในการดำรงชีพแทบเป็นไปไม่ได้ ดังนั้นการลงทุนเพื่อซื้อเครื่องอบแห้งข้าวด้วยรายได้ของตนเองเป็นเรื่องที่ไม่น่าจะเป็นไปได้ ในกรณีที่ต้องการใช้เครื่องดังกล่าว ชาวนามีทางเลือกอยู่สามประการคือ กู้ยืมเงินมาลงทุน หรือรวมทุนกันในลักษณะสหกรณ์ในการซื้อเครื่องมาใช้ร่วมกัน หรือเช่าบริการจากผู้ที่มีเครื่องดังกล่าว แต่ไม่ว่าจะเป็นวิธีใด ปัญหาที่ต้องคำนึงถึงคือเงินที่ลงทุนไปเพื่อการอบแห้งนี้คุ้มหรือไม่กับผลตอบแทนที่จะได้

จากข้อมูลที่ปรากฏ[9] ในปี 2519 จำนวนครัวเรือนที่มีขนาดเนื้อที่ถือครอง 20 ไร่ขึ้นไปมีประมาณ 50% หรือมากกว่า นั่นคืออุปกรณ์ใดที่ผู้ที่มีเนื้อที่ถือครอง 20 ไร่ สามารถจัดซื้อหรือลงทุนได้โดยไม่เดือดร้อนและได้ผลตอบแทนการลงทุนที่เหมาะสม ก็ย่อมประมาณได้ว่าครึ่งหนึ่งของเกษตรกรของประเทศจะสามารถลงทุนได้เช่นเดียวกัน ดังนั้นถ้าจะถือเอาเป้าหมายในการแก้ปัญหาของ 50%ของเกษตรกรของประเทศเป็นเป้าหมายอุดมคติ ฐานะทางเศรษฐกิจของผู้ใช้เครื่องควรเป็นผู้ที่มีเนื้อที่ถือครอง 20 ไร่

2.3.2.2 ระดับการศึกษา

จากการสำรวจในปี 2519 (8) เกษตรกรส่วนใหญ่จบการศึกษาชั้นประถมศึกษา โดยจำแนกตามภาคได้ดังตารางที่ 3

---

8 ดูข้อมูลประกอบจากตารางที่ 5 ภาคผนวก ก

9 ดูข้อมูลประกอบจากตารางที่ 6 ภาคผนวก ก

ตารางที่ 2.3 ระดับการศึกษา

ภาค	ชั้นประถมศึกษา (%)	สูงกว่าหรือต่ำกว่า ชั้นประถมศึกษา (%)
ตะวันออกเฉียงเหนือ	98.90	1.10
เหนือ	86.60	13.40
กลาง	86.38	13.62
ใต้	88.00	12.00

โดยทั่วไป ระดับการศึกษาอาจใช้เป็นเครื่องชี้แนะความสามารถในการเรียนรู้และยอมรับหรือปรับตัวให้เข้ากับเทคโนโลยีใหม่ๆได้ แต่ไม่ได้หมายความว่าระดับการศึกษาจะเป็นเครื่องกำหนดความถนัดในการใช้เครื่องจักรกลหรือการยอมรับเทคโนโลยีใหม่ อย่างไรก็ตามระดับการศึกษาจะเป็นปัจจัยที่จะต้องคำนึงถึง เมื่อมีการออกแบบหรือถ่ายทอดเทคโนโลยีใหม่ให้กับเกษตรกร ดังนั้น ลักษณะอุดมคติอีกประการหนึ่งของผู้ใช้เครื่องอบแห้งข้าวคือ มีความรู้ระดับประถมศึกษา

2.3.2.3 การใช้เทคโนโลยีใหม่

เทคโนโลยีในงานเกษตรกรรมซึ่งอาจจำแนกเป็นสองประเภทใหญ่ๆคือ เทคโนโลยีเพื่อการเพิ่มปริมาณการผลิตและเทคโนโลยีเพื่อการลดต้นทุนการผลิต ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 เทคโนโลยีเพื่อการเพิ่มปริมาณการผลิตดูเหมือนว่าจะเป็นที่ยอมรับของชาวนาได้ง่ายกว่าการยอมรับเทคโนโลยีเพื่อการลดต้นทุนการผลิต ทั้งนี้เพราะประโยชน์ของเทคโนโลยีเพื่อการเพิ่มปริมาณการผลิตส่วนใหญ่จะเห็นได้ชัดเจน เช่น การใช้ระบบการชลประทาน ทำให้สามารถปลูกข้าวได้มากกว่า 1 ครั้ง การปลูกข้าวพันธุ์พิเศษทำให้ผลผลิตต่อไร่สูง การใช้ปุ๋ยทำให้โตเร็ว ผลผลิตสูง เป็นต้น แต่เมื่อพูดถึงเทคโนโลยีเพื่อการลดต้นทุนการผลิตนั้นชาวนามักจะเห็นว่าเป็นสิ่งที่ทำให้สิ้นเปลือง เช่น การใช้ยาปราบศัตรูพืช การใช้เครื่องจักรกลการเกษตร เป็นต้น เพราะเทคโนโลยีเหล่านี้ต้องมีการลงทุนที่เห็นเป็นตัวเงินโดยที่ผลตอบแทนการลงทุนต้องอาศัยการวิเคราะห์เป็นส่วนใหญ่ มิได้เห็นชัดเจนอย่างเทคโนโลยีเพื่อการเพิ่มปริมาณการผลิต

โดยยึดถือเอาประโยชน์ที่เห็นเด่นชัดของเทคโนโลยีเป็นเครื่องช่วยตัดสินการยอมรับเทคโนโลยีของชาวนา จะเห็นว่าชาวนาที่คุ้นเคยกับเทคโนโลยีเพื่อการลดต้นทุนการผลิตมีแนวโน้มที่จะยอมรับการใช้เครื่องอบแห้งข้าวในการลดความชื้นได้ง่ายกว่าผู้ที่ไม่คุ้นเคยกับเทคโนโลยีประเภทนี้ ดังนั้น ลักษณะอุดมคติอีกประการหนึ่งที่จะใช้ในการวิจัยนี้ก็คือ ผู้ใช้ควรเป็นผู้ที่คุ้นเคยกับการใช้เทคโนโลยีเพื่อการลดต้นทุนการผลิตโดยเฉพาะการใช้เครื่องจักรกลการเกษตร

โดยสรุปผู้ใช้ควรมีลักษณะอุดมคติดังต่อไปนี้

1. มีเนื้อที่ถือครองตั้งแต่ 20 ไร่ ขึ้นไป

2. จบชั้นประถมศึกษา

3. เป็นผู้ที่คุ้นเคยกับการใช้เครื่องจักรกลการเกษตร

2.3.3 ลักษณะที่เหมาะสมของเครื่องอบแห้งข้าว

จากการวิเคราะห์ความจำเป็นของผู้ผลิตซึ่งได้แบ่งการสูญเสียผลผลิตออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงเก็บเกี่ยวและช่วงหลังเก็บเกี่ยว การแก้ปัญหาความสูญเสียในช่วงการเก็บเกี่ยวอาจทำได้โดยการเก็บเกี่ยวที่ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม สำหรับช่วงหลังการเก็บเกี่ยว ความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการถูกทำลายของนกหนูระหว่างการตากบนลานข้าว การขนย้าย และการถูกทำลายโดยเชื้อรา แมลง และเชื้อโรคอื่นๆ เมื่อเก็บรักษาที่ปริมาณความชื้นไม่เหมาะสม การแก้ปัญหาอาจทำได้โดยใช้เครื่องอบแห้งข้าวที่ปกปิด มิดชิด นกหนูไม่สามารถเข้าไปทำลายได้

เครื่องอบแห้งที่เหมาะสมแบบหนึ่งคือ เครื่องซึ่งมีลักษณะเป็นส่วนหนึ่งของยุ้งหรือฉางข้าว ชาวนานำข้าวที่ผ่านการนวดหลังเก็บเกี่ยว(โดยไม่ต้องรอตากแห้ง)ใส่เข้าในเครื่อง หลังจากอบแห้งได้ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (12-14%)สามารถถ่ายเทจากเครื่องไปยังส่วนที่ใช้เก็บรักษาด้วยวิธีง่ายๆ

จากลักษณะของเครื่องที่เหมาะสม ลักษณะอุดมคติของผู้ใช้ที่จะต้องเพิ่มเติมจากเดิมก็คือผู้ใช้ต้องเป็นผู้ที่มียุ้งหรือฉางสำหรับเก็บรักษาข้าว จากการสำรวจในปี 2519 (8) พบว่าผู้ที่ใช้ยุ้งหรือฉางข้าวในการเก็บรักษาข้าวแต่ละภาค เป็นดังนี้คือ

ตารางที่ 2.4 จำนวนเกษตรกรที่มียุ้งหรือฉาง

ภาค	คิดเป็นร้อยละของเกษตรกรแต่ละภาค (%)
ตะวันออกเฉียงเหนือ	77.20
เหนือ	88.43
กลาง	37.97
ใต้	39.00

เนื่องจากการอบแห้งในที่นี้เป็นการอบเฉพาะข้าวเปลือกไม่รวมฟางข้าวและส่วนอื่นๆของข้าว ดังนั้นผู้ใช้ตะต้องนวดข้าวหลังการเก็บเกี่ยวโดยไม่ต้องปล่อยให้แห้ง ถ้ารวมเอาความต้องการลักษณะนี้กับความต้องการเทคนิคใหม่ๆในการเก็บเกี่ยว การใช้เครื่องจักรกลการเกษตรที่สามาถเก็บเกี่ยว

และนวดข้าวได้ในเวลาเดียวกัน น่าจะเป็นเทคนิคซึ่งควรแก่การให้ความสนใจวิจัยและพัฒนาขึ้นใช้ภายในประเทศ

ลักษณะโดยสังเขปทางวิศวกรรมของเครื่องอบแห้งข้าวซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของยุ้งหรือฉางข้าว อาจสรุปได้ดังนี้

1. เครื่องอบแห้งข้าวเป็นส่วนหนึ่งของด้านบนของยุ้ง
2. ใช้หลังคาเป็นแผ่นดูดพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์
3. ใช้พัดลมดูดลมให้ผ่านหลังคาเข้าไปยังเครื่องอบแห้ง
4. การถ่ายเทของข้าวที่แห้งแล้วลงสู่ส่วนที่ใช้สำหรับเก็บข้าวแห้งโดยใช้แรงดึงดูดของโลก

จากลักษณะดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ส่วนที่จะต้องใช้เครื่องจักรกลหรือแหล่งจ่ายกำลังงานเพิ่มเข้ากับเครื่องอบแห้งนี้ คือมอเตอร์ที่จะหมุนพัดลม ซึ่งอาจจะเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าหรือมอเตอร์ของรถไถนาขนาดเล็กซึ่งอาจถอดมาใช้ร่วมกับเครื่องอบแห้งเป็นการชั่วคราว

2.4 <u>การคาดคะเนความต้องการใช้เครื่องอบแห้งข้าว</u>

การคาดคะเนความต้องการใช้เครื่องอบแห้งข้าวในประเทศอาศัยพิจารณาจากความต้องการรถไถนา[10] ทั้งนี้เนื่องจากมอเตอร์ของรถไถนาสามารถนำไปใช้หมุนพัดลมของเครื่องอบข้าวได้ ดังนั้นชาวนาที่มีรถไถนาอยู่แล้วย่อมสามารถเป็นเจ้าของเครื่องอบแห้งข้าวได้ไม่ยากนัก อย่างไรก็ตามเนื่องจากเครื่องอบแห้งข้าวเป็นเครื่องมือทางการเกษตรที่ยังใหม่ต่อชาวนาในประเทศอยู่มาก ชาวนาส่วนใหญ่อาจจะยังไม่ยอมรับเทคนิคใหม่นี้ ดังนั้นในขั้นแรกคาดว่าเครื่องอบแห้งข้าวจะขายได้ในลักษณะที่ชาวนาใช้ร่วมกันเป็นระบบสหกรณ์ นอกจากนี้จะขายได้ในหมู่ชาวนาที่มีฐานะค่อนข้างดีและชาวนาที่ได้รับการเผยแพร่วิชาการด้านเทคนิคและเห็นคุณประโยชน์ของเครื่องอบแห้งข้าว

จากการสำรวจข้อมูลเกี่ยวกับชาวนาปี 2519 (8) ดังตารางที่ 5 และ 6 แสดงว่า ชาวนาของประเทศเฉพาะกลุ่มที่มีฐานะค่อนข้างดีซึ่งเป็นกลุ่มที่สามารถจัดหาสิ่งที่ต้องการได้มีจำนวนเฉลี่ยร้อยละ 10.65 โดยที่ในแต่ละภาคนั้นปรากฏว่า สัดส่วนของชาวนากลุ่มที่มีฐานะค่อนข้างดีมีร้อยละสูงสุดในภาคกลางเมื่อเทียบกับภาคอื่นๆ ชาวนาที่มีฐานะพอใช้ ไม่มีหนี้สินมีจำนวนเฉลี่ยร้อยละ 60.93 ส่วนชาวนาที่ได้รับการเผยแพร่วิชาการด้านเทคนิคจากรัฐอย่างน้อยปีละครั้งมีจำนวนเฉลี่ยร้อยละ 30.525 ดังนั้นจึงคาดว่าเครื่องอบแห้งข้าวจะเริ่มนำมาใช้ในหมู่ชาวนาเหล่านี้คือ

1. ชาวนาที่มีฐานะดีซึ่งเป็นกลุ่มที่สามารถจัดหาสิ่งที่ตนต้องการได้ ชาวนากลุ่มนี้มี 10.65% ของทั้งประเทศ

---

10 ดูภาคผนวก ค.

ตารางที่ 2.5

ฐานะของชาวนา

ภาค	ค่อนข้างดี (%)	พอใช้ (%)	ยากจน (%)	ไม่มีบันทึก (%)
ตะวันออกเฉียงเหนือ	11.8	59.1	26.9	2.2
เหนือ	9.5	61.4	18.1	11.0
กลาง	13.3	63.2	23.0	0.5
ใต้	8.0	60.0	29.0	3.0

หมายเหตุ ค่อนข้างดี = สามารถมีสิ่งจำเป็นที่ตนต้องการได้

พอใช้ = ไม่มีหนี้สิน

ยากจน = มีหนี้สิน

ตารางที่ 2.6

การรับการเผยแพร่วิชาการด้านเทคนิค

ภาค	ปีละครั้ง	ทุก 2 - 3 เดือน	ทุก 4-6 เดือน	ไม่ได้รับการเผยแพร่
ตะวันออกเฉียงเหนือ	12.9	16.1	6.5	64.5
เหนือ	7.9	14.2	4.7	73.2
กลาง	13.9	8.7	9.2	68.2
ใต้	16.0	4.0	8.0	72.0

2. ชาวนากลุ่มที่ได้รับการเผยแพร่วิชาการด้านเทคนิคจากรัฐอย่างน้อยปีละครั้ง มีจำนวนเฉลี่ย 30.525%

3. ชาวนากลุ่มที่ไม่มีหนี้สินมีฐานะอยู่ในขั้นพอใช้ ชาวนากลุ่มนี้อาจจะใช้เครื่องอบแห้งข้าวในลักษณะกลุ่มสหกรณ์หรือเช่าจากนายทุน

เนื่องจากตลาดของรถไถนาขนาดเล็กส่วนใหญ่จะเป็นชาวนาและจากตารางที่ 7 แสดงว่า ชาวนาในภาคกลางส่วนใหญ่จะเป็น เจ้าของรถไถนาขนาดเล็กและมีฐานะค่อนข้างดี ดังนั้นจากเหตุผลทั้งหมดนี้จึงคาดว่า อุปสงค์ของเครื่องอบแห้งข้าวจะมีอย่างน้อยที่สุดประมาณ 12% ของรถไถนาขนาดเล็ก (ผู้วิจัย) ซึ่งปริมาณความต้องการเครื่องอบแห้งข้าวโดยคำนวณจาก 12% ของความต้องการรถไถนา สรุปได้ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 2.7

การใช้รถไถนาขนาดเล็กในการทำนา (8)

ภาค	ชนิด 2 ล้อ (%)	ชนิด 4 ล้อ (%)	ไม่ใช้ (%)
ตะวันออกเฉียงเหนือ	2	-	98
เหนือ	-	-	100
กลาง	44.39	9.24	46.37
ใต้	1	-	99

ตารางที่ 2.8

การคาดคะเนความต้องการเครื่องอบแห้งข้าว

ปี	รถไถนาขนาดเล็ก[11] ชนิด 2 และ 4 ล้อ	เครื่องอบแห้งข้าว
2525	33191	3983
2526	33648	4038
2527	30281	3634
2528	31283	3754
2529	31784	3814
2530	32297	3876

11 ดูวิธีการคำนวณในภาคผนวก ค.

ตัวเลขที่ประเมินความต้องการใช้เครื่องอบแห้งข้าวดูเหมือนจะเป็นปริมาณที่ค่อนข้างน้อย ทั้งนี้คาดหมายว่าจะเป็นไปในช่วงแรกของการเข้าสู่ตลาด เนื่องจากชาวนาส่วนใหญ่มักจะไม่ยอมรับเทคนิคใหม่ๆไปใช้ในการลดต้นทุนการผลิต สิ่งนี้อาจแก้ไขได้โดยการสาธิตเผยแพร่ให้รู้จักการใช้และแสดงประโยชน์ของเครื่องอบแห้งข้าวอย่างกว้างขวาง จากข้อมูลในตารางที่ 6 แสดงว่าชาวนาทั้งประเทศโดยเฉลี่ยแล้วได้รับการเผยแพร่วิชาการด้านเทคนิคไม่น้อยกว่าปีละครั้ง มีเพียงร้อยละ 30.525 เท่านั้น ส่วนชาวนาที่ไม่ได้รับการเผยแพร่วิชาการฯเลยมีถึงร้อยละ 69.475โดยเฉลี่ย ดังนั้นหากชาวนาได้รับความรู้ในการลดต้นทุนการผลิตแผนใหม่มากขึ้น ก็ย่อมจะเห็นประโยชน์ของเครื่องจักรกลการเกษตรมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามคาดว่าเครื่องอบแห้งข้าวจะเข้าสู่ตลาดได้ไม่ยากนัก ทั้งนี้เพราะเครื่องอบแห้งข้าวไม่ใช่เครื่องจักรกลการเกษตรชนิดแรกที่เสนอแนะให้ชาวนาใช้ ชาวนาจำนวนมากโดยเฉพาะภาคกลางใช้เครื่องจักรกลการเกษตรในการผลิตอยู่แล้ว ดังนั้นหากมีทุนทรัพย์พอและเชื่อว่าเครื่องอบแห้งข้าวจะช่วยลดต้นทุนการผลิตอันจะนำมาซึ่งรายได้ที่เพิ่มขึ้น ก็ย่อมจะพอใจที่จะใช้เครื่องอบแห้งข้าว

บทที่ 3

ทฤษฎีการอบแห้งข้าว

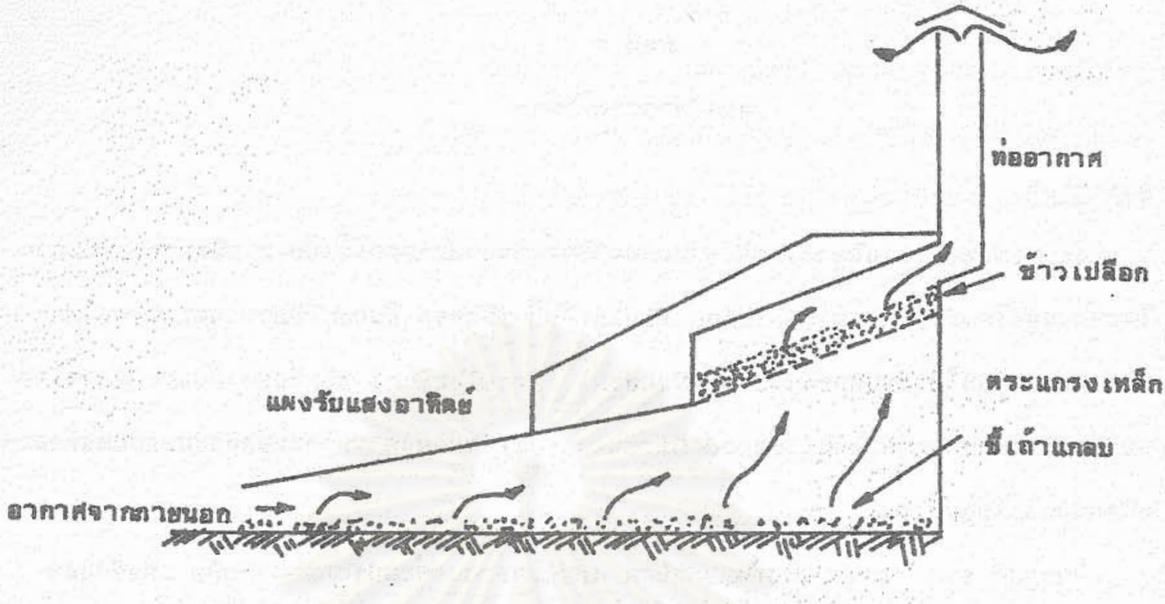
3.1 คำนำ

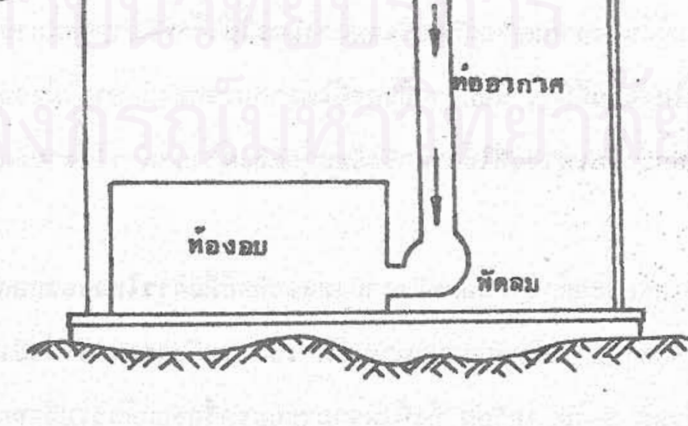
ระบบอบแห้งข้าวเปลือกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์อาจจำแนกออกได้เป็น 2 ชนิดตามลักษณะการไหลของของไหลที่ใช้ทำงาน (Working Fluid) ดังนี้ ชนิดแรกเป็นแบบที่มีการไหลของของไหลทำงานหมุนเวียนในระบบตามธรรมชาติ (Natural Circulation) ชนิดที่สองเป็นแบบที่มีการไหลของของไหลทำงานแบบบังคับ (Forced Circulation) แผนผังการทำงานของระบบอบแห้งทั้งสองชนิดแสดงไว้ในรูปที่ 3.1

จากรูปที่ 3.1 ระบบอบแห้งทั้งสองชนิดต่างก็ประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญคือ แผงรับแสงอาทิตย์ และตู้อบแห้ง แต่ระบบอบแห้งชนิดที่มีการไหลของของไหลแบบบังคับ จะมีส่วนประกอบสำคัญเพิ่มขึ้นอีกอันหนึ่งคือ พัดลมดูดอากาศ ในระบบอบแห้งที่มีการไหลของของไหลแบบธรรมชาติ อากาศที่เป็นของไหลทำงานจะไหลผ่านระบบโดยอาศัยความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของอากาศในตู้อบแห้งและอากาศที่ทางเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ ส่วนในระบบอบแห้งที่มีการไหลของของไหลทำงานแบบบังคับ การไหลของอากาศภายในระบบเกิดขึ้นจากพัดลมดูดอากาศซึ่งทำหน้าที่ดูดอากาศเย็นผ่านเข้าไปรับความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์แล้วผ่านต่อไปลดความชื้นของข้าวในตู้อบแห้ง

ได้มีการวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งสองชนิดในหลายหน่วยงาน (5, 19, 20, 21) แต่งานวิจัยที่ทำมักจะเป็นงานที่ทำในห้องปฏิบัติการโดยสร้างเครื่องอบข้าวเปลือกเพื่อทดลองเก็บข้อมูลเท่านั้น เนื่องจากสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัวและตัวแปรเหล่านั้นมีค่าแปรผันตามสถานที่ที่จะใช้เครื่องอบแห้ง ดังนั้นเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งทดลองและใช้ได้ผลดีสำหรับสถานที่หนึ่งไม่ได้หมายความว่าจะใช้ได้ผลดีในสถานที่อื่นๆ นอกจากนั้นผลที่ได้จากการทดลองอาจไม่ตรงกับผลที่จะได้จากการใช้งานจริงโดยเฉพาะเมื่อเครื่องที่ใช้งานจริงมีขนาดและสภาวะการใช้งานที่แตกต่างจากเครื่องที่ใช้ในการทดลอง

โดยทั่วไปเครื่องอบข้าวเปลือกพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการไหลของของไหลทำงานหมุนเวียนตามธรรมชาตินั้นจะเหมาะสำหรับงานขนาดเล็ก เช่น ระดับครอบครัวซึ่งมีเนื้อที่เพาะปลูกน้อยโดยผลิตได้ครอบครัวละ 5-10 เกวียน ทั้งนี้เพราะระบบเครื่องอบข้าวเปลือกแบบนี้จะอบชั้นข้าวได้หนาไม่เกิน 15 ซม. (5) ดังนั้นจึงต้องการเนื้อที่มากในการติดตั้งเครื่องอบสำหรับงานอบแห้งที่มีขนาดใหญ่ หรือในระดับอุตสาหกรรมไซโล หรือระดับสหกรณ์ ซึ่งควรใช้ระบบที่มีการไหลเวียนของของไหล





รูปที่ 3.1 ระบบการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

แบบบังคับจะเหมาะสมกว่า เพราะมีประสิทธิภาพในการลดความชื้นดีกว่า

ปัญหาสำคัญอย่างยิ่งประการหนึ่งในการออกแบบอุปกรณ์ที่ทำงานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ก็คือ การที่แหล่งพลังงานของอุปกรณ์คือ พลังงานแสงอาทิตย์ ผันแปรตามตามเวลาและสถานที่ใช้งาน จากปัญหาดังกล่าวทำให้การออกแบบ การคำนวณหาประสิทธิภาพ การคาดคะเนพฤติกรรม ฯลฯ ของอุปกรณ์ที่ทำงานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ไม่อาจใช้สูตรสำเร็จที่เคยใช้กับอุปกรณ์ชนิดเดียวกันที่ทำงานด้วย ไฟฟ้า น้ำมัน/ก๊าซ โดยตรง ในปัจจุบันมีเทคนิคการคำนวณเพียงชนิดเดียวที่ประสบผลสำเร็จและเป็นที่ยอมรับใช้งานในทางปฏิบัติอยู่ในประเทศต่างๆในการคำนวณเพื่อออกแบบหรือคาดคะเนพฤติกรรมของระบบงานหรืออุปกรณ์ที่ใช้พลังงานจากความร้อนของแสงอาทิตย์ เทคนิคนั้นคือ การจำลองแบบปัญหา(Simulation) โดยใช้คอมพิวเตอร์

ในการวิจัยนี้ ได้ใช้เทคนิคการจำลองแบบปัญหาในการออกแบบเครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อว่าเครื่องที่ออกแบบนี้จะสามารถนำไปใช้ในสถานที่ใดก็ได้และจะสร้างให้มีขนาดเล็กหรือใหญ่ตามความต้องการในการใช้งานได้

3.2 <u>การจำลองแบบปัญหา</u> (22)

การจำลองแบบปัญหาหมายถึง ขบวนการหรือวิธีการออกแบบ แบบจำลองของระบบงานซึ่งสามารถใช้แทนระบบงานจริง และดำเนินการใช้แบบจำลองนั้นในการศึกษาพฤติกรรมของระบบงานจริง และ/หรือ ใช้ในการวิเคราะห์หาข้อมูลอันเกิดจากการใช้กุศโลบายต่างๆในการดำเนินงานของระบบงาน

จากคำจำกัดความจะเห็นว่า การใช้การจำลองแบบปัญหาในการแก้ปัญหาใดๆ จะประกอบด้วยขั้นตอนใหญ่ๆสองขั้นตอน กล่าวคือ ขั้นตอนที่หนึ่งจะเป็นการสร้างรูปแบบปัญหาหรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า แบบจำลอง(Simulation Model) ซึ่งสามารถให้คำตอบหรือผลลัพธ์ที่ผู้วิเคราะห์มั่นใจว่าควรจะเป็นคำตอบหรือผลลัพธ์ที่ได้จากระบบงานจริง และขั้นตอนที่สองเป็นการนำเอาแบบจำลองปัญหาไปใช้ในการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาข้อมูลที่ต้องการ

เนื่องจากการจำลองแบบปัญหาต่างจากเทคนิคอื่นๆในเทคนิคของการวิจัยดำเนินงาน(Operations Research)ตรงที่ไม่มีสูตรหรือหลักเกณฑ์ตายตัวในการสร้างรูปแบบปัญหาและในการวิเคราะห์หลักเกณฑ์ต่างๆที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองก็ดี หรือการทดลองใช้แบบจำลองปัญหาก็ดี เป็นเพียงข้อเสนอแนะหรือแนวทางที่ควรจะได้มาซึ่งข้อมูล คำตอบหรือผลลัพธ์ที่ถูกต้อง ข้อมูลต่างๆที่ได้จากการจำลองแบบปัญหาจะถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงเพียงใด ขึ้นกับความรู้ความเข้าใจและความสามารถของผู้จำลองแบบปัญหา และผู้วิเคราะห์เอง หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการจำลองแบบปัญหาส่วนใหญ่

ได้มาจากหลักเกณฑ์ทางการวิเคราะห์ระบบ (System Analysis) ซึ่งเสนอแนะขบวนการดำเนินการจำลองแบบปัญหาไว้ดังนี้

1. แจกแจงอธิบายปัญหาที่ต้องการวิเคราะห์
2. ให้คำจำกัดความของระบบงาน จำกัดขอบเขตของระบบงานที่จะศึกษารวมทั้งขอบข่ายวัตถุประสงค์และวิธีการวัดประสิทธิภาพของระบบงาน
3. ออกแบบรูปแบบปัญหา ลดหรือแปลงจากระบบงานจริงไปเป็นรูปแบบปัญหาในลักษณะของแผนผังการทำงานเชิงตรรกวิทยา
4. จัดเตรียมข้อมูล ศึกษาพิจารณาข้อมูลที่ต้องการวิเคราะห์ รวมทั้งจัดเตรียมและเปลี่ยนข้อมูลให้อยู่ในลักษณะที่จะใช้กับรูปแบบปัญหาได้
5. สร้างรูปแบบปัญหา เปลี่ยนรูปแบบปัญหาในข้อที่ 3 ไปเป็นภาษาที่ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ได้
6. ทดสอบความมีเหตุผลสมควรที่จะเชื่อว่า รูปแบบปัญหานั้นเป็นรูปแบบที่ถูกต้อง
7. วางแผนการใช้กุศโลบาย ออกแบบการทดลองที่จะนำเอารูปแบบปัญหาไปใช้เพื่อหาข้อมูลที่ต้องการ
8. วางแผนการดำเนินกุศโลบาย ศึกษาพิจารณาว่าการออกแบบการทดลองในข้อ 7 จะนำไปใช้กับรูปแบบปัญหาได้อย่างไร
9. ทำการทดลองกับรูปแบบปัญหาเพื่อหาข้อมูลต่างๆที่ต้องการ
10. ตีความจากข้อมูลที่ได้จากการทดลองว่า จะประยุกต์ใช้กับระบบงานจริงได้อย่างไร
11. นำข้อมูลที่ได้จากข้อ 10. ไปใช้
12. ทำเอกสารประกอบการใช้รูปแบบปัญหา ข้อมูล และเสนอแนะปัญหาหรือข้อจำกัดต่างๆของแบบจำลองปัญหา

จากขั้นตอนทั้ง 12 ขั้นตอน 6 ขั้นตอนแรกเป็นหลักเกณฑ์หรือข้อเสนอแนะในการสร้างแบบจำลองปัญหา ส่วน 6 ขั้นตอนหลังเป็นหลักเกณฑ์หรือข้อเสนอแนะในการใช้แบบจำลองปัญหาในการแก้ปัญหาที่ต้องการวิเคราะห์

3.3 <u>การจำลองแบบเครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์</u>

จากการศึกษาเบื้องต้น คณะผู้วิจัยมีความเห็นว่าลักษณะที่เหมาะสมแบบหนึ่งของเครื่องอบแห้งข้าวพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะใช้ในประเทศคือเครื่องอบแห้งข้าวประเภทที่การไหลของของไหลเป็นแบบบังคับ โดยมีลักษณะของเครื่องดังนี้

ลักษณะของเครื่องดังแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งเป็นการดัดแปลงใช้เนื้อที่ส่วนบนติดกับหลังคาของยุ้งข้าวทำเป็นห้องอบแห้ง ใช้หลังคาของยุ้งข้าวซึ่งจะทำด้วยเหล็กอาบสังกะสีทาด้วยสีดำ ทำหน้าที่เป็นแผ่นดูดพลังงานปิดด้วยกระจกใส อากาศจากภายนอกยุ้งจะถูกดูดให้ไหลผ่านแผ่นดูด เพื่อรับความร้อนแล้วผ่านเข้าไปในห้องอบโดยใช้พัดลมดูด อากาศร้อนที่ผ่านเข้าไปในห้องอบจะไหลผ่านชั้นข้าวเปลือกชื้น ลดความชื้นออกจากเมล็ดข้าวเปลือก ทำให้อากาศร้อนเย็นลงและมีความชื้นมากขึ้นแล้วผ่านออกจากยุ้งไป ข้าวเปลือกที่แห้งแล้วก็จะถูกปล่อยให้ไหลลงไปเก็บยังที่ว่างบนพื้นของยุ้งข้าวโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก การอบแห้งกระทำในเวลากลางวัน ไม่มีการทำความร้อนเสริมและไม่มีถังเก็บสะสมความร้อน

จากลักษณะดังกล่าวของเครื่องแยกออกเป็นระบบย่อย 2 ระบบทำงานต่อเนื่องกันคือ ระบบการรับและดูดกลืนพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์และระบบการอบแห้งข้าวโดยที่มีพัดลมดูดอากาศเป็นตัวบังคับการไหลเวียนของอากาศระหว่างระบบย่อยทั้งสอง ดังนั้นการจำลองแบบปัญหาของเครื่องอบแห้งข้าวจะเกี่ยวข้องอยู่กับพารามิเตอร์และความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆของระบบย่อยทั้งสอง

3.3.1 <u>แผงรับแสงอาทิตย์</u>

แผงรับแสงอาทิตย์ทำหน้าที่ดูดพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งตกลงบนแผงและแปลงพลังงานนี้ให้เป็นพลังงานความร้อนแล้วถ่ายให้กับของไหลที่ผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ ทำให้ของไหลมีอุณหภูมิสูงขึ้นและสามารถนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้งาน

แผงรับแสงอาทิตย์ที่จะใช้ในเครื่องอบแห้งเป็นแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่น(Flat Plate Solar Collector) ซึ่งมีสมการในการคำนวณหาพลังงานดังนี้

$$Q_u = AF'(H_T\tau\alpha - u_L(T_m - T_a)) \qquad ......1$$

เมื่อ Q_u = อัตราการสะสมพลังงานของแผงรับแสงอาทิตย์ มีหน่วยเป็นกิโลจูลล์ต่อชั่วโมง

A = พื้นที่ของแผงรับแสงอาทิตย์ มีหน่วยเป็นตารางเมตร

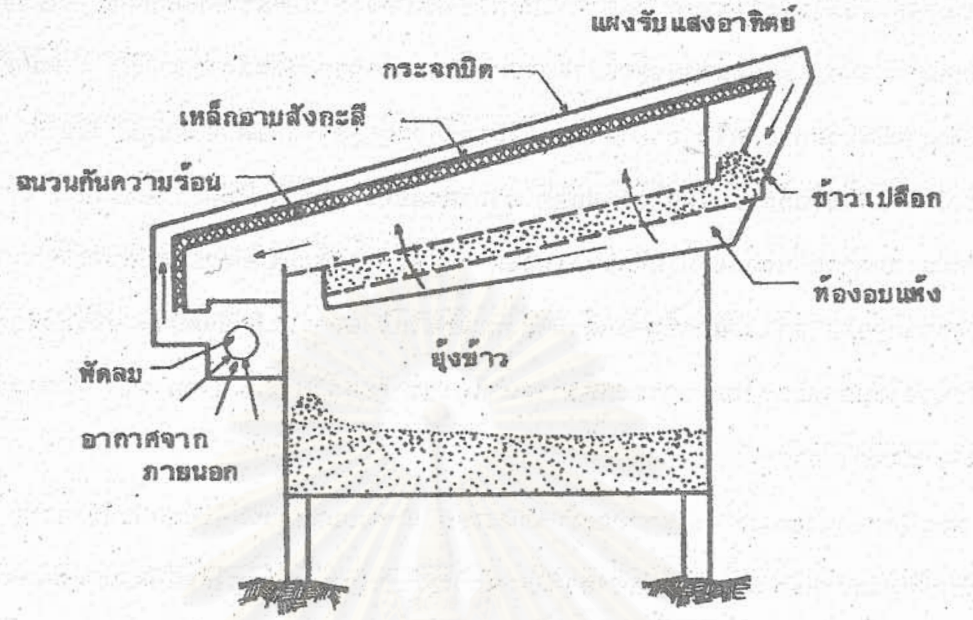
F' = แฟคเตอร์ที่แสดงประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์

H_T = ความเข้มของแสงอาทิตย์บนแผงรับแสงอาทิตย์มีหน่วยเป็น กิโลจูลล์/ตร.เมตร-ชม.

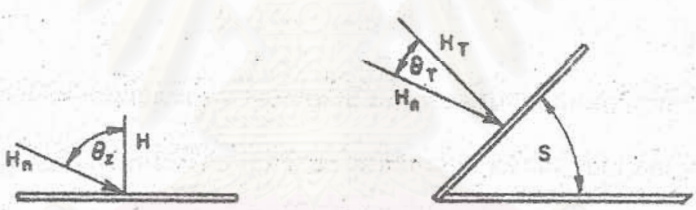
τ = ค่าการผ่านทะลุกระจกของแสงอาทิตย์

α = ค่าการดูดพลังงานแสงอาทิตย์ของแผ่นดูด

u_L = ความร้อนทั้งหมดของแผงรับแสงอาทิตย์ที่สูญเสียไปมีหน่วยเป็น กิโลจูลล์/ตร.เมตร-ชม.^{o}ซ



รูปที่ 3.2 ลักษณะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 3.3 ความเข้มของแสงอาทิตย์บนพื้นราบและบนพื้นเอียง

รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ของอัตราการอบแห้งของเมล็ดพืชและเวลาที่ใช้สัมผัส

T_m = อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในแผงรับแสงอาทิตย์, ^{o}ซ

T_a = อุณหภูมิของบรรยากาศ, ^{o}ซ

เนื่องจากแผงรับแสงอาทิตย์ชนิดนี้เป็นที่รู้จักกันดีตัวแปรค่าต่างๆ เช่น F', u_L,.. ซึ่งแสดงไว้ในเอกสารอ้างอิง (23,24) ดังนี้

$$F' = (1 + (h_r u_t)/(h_1 h_r + h_2 u_t + h_2 h_r + h_1 h_2))^{-1} \qquad ......2$$

$$u_L = u_t/(1+ u_t h_2/(h_1 h_2 + h_1 h_r + h_2 h_r)) \qquad ......3$$

$$h_r = 3.6\sigma(T_p^2 + T_c^2)(T_p + T_c)/(1/\varepsilon_p + 1/\varepsilon_g - 1) \qquad ......4$$

$$u_t = 3.6(\varepsilon_g \sigma(T_p^2 + T_s^2)(T_p + T_s) + 5.8 + 3.7\omega) \qquad ......5$$

เมื่อ h_r = สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีของแผ่นดูดแสงอาทิตย์มีหน่วยเป็น กิโลจูลส์/ตร.เมตร-ชม. ^{o}ซ

h_1 = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างอากาศกับกระจกมีหน่วยเป็น กิโลจูลส์/ตร.เมตร-ชม. ^{o}ซ

u_t = สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านบนของแผงรับแสงอาทิตย์มีหน่วยเป็น กิโลจูลส์/ตร.เมตร-ชม. ^{o}ซ

h_2 = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างอากาศกับแผ่นดูดพลังงาน มีหน่วยเป็น กิโลจูลส์/ตร.เมตร-ชม. ^{o}ซ

T_c = อุณหภูมิของกระจก, ^{o}ซ

T_p = อุณหภูมิของแผ่นดูดพลังงาน, ^{o}ซ

T_s = อุณหภูมิของบรรยากาศ, ^{o}ซ

σ = ค่าคงที่ของสเตเฟ่น-โบลท์แมนน์ มีหน่วยเป็นวัตต์/ตร.เมตร-^{o}ซ

ε_g = ค่าการปล่อยพลังงานออกของกระจก

ε_p = ค่าการปล่อยพลังงานออกของแผ่นดูดพลังงานแสงอาทิตย์

ω = ความเร็วของลม, เมตร/วินาที

การคำนวณหาอุณหภูมิของอากาศที่ออกจากแผงรับแสงอาทิตย์ T_h และประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ η กระทำได้โดยใช้สมการที่ 6 และ 7 ตามลำดับ

$$T_h = T_a + Q_u/\dot{m}C_p \qquad ......6$$

$$\eta = Q_u/(AH_T) \times 100 \qquad ......7$$

เมื่อ T_h = อุณหภูมิของอากาศที่ออกจากแผงรับแสงอาทิตย์, $^oซ$

η = ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์, %

$\dot{m}$ = อัตราการไหลของมวลของอากาศที่ผ่านแผงรับแสงอาทิตย์, กิโลกรัม/ชม.

C_p = ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศ, กิโลจูลล์/กิโลกรัม-$^oซ$

H_T = ความเข้มของแสงอาทิตย์แบบทั้งหมดบนพื้นเอียง, กิโลจูลล์/ตร.เมตร-ชม.

3.3.2 <u>ความเข้มของแสงอาทิตย์บนพื้นเอียง</u>

โดยทั่วไปการวัดความเข้มของแสงอาทิตย์มักนิยมวัดเป็นความเข้มทั้งหมดที่ตกลงบนพื้นราบ ถ้าแผงรับแสงอาทิตย์เป็นพื้นเอียงก็จำเป็นจะต้องเปลี่ยนค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่วัดได้บนพื้นราบเป็นความเข้มบนพื้นเอียง การคำนวณหาค่าความเข้มของแสงอาทิตย์แบบทั้งหมดบนพื้นเอียงนั้น เราไม่สามารถคำนวณได้โดยตรง เพราะความเข้มของแสงอาทิตย์แบบทั้งหมดประกอบด้วย ความเข้มของแสงอาทิตย์แบบรังสีตรง(Beam Radiation) และความเข้มของแสงอาทิตย์แบบรังสีกระจาย(Diffuse Radiation) Liu และ Jordan (25) ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงอาทิตย์แบบรังสีกระจายและความเข้มของแสงอาทิตย์แบบทั้งหมดไว้ดังนี้

$$H_D = H_R(1.0045 + 2.6313k_t^3 - 3.5227k_t^2 + 0.04349k_t) \qquad ......8$$

โดยที่

$$k_t = H_R/H_o \qquad ......9$$

$$H_o = (1 + 0.033\cos(360n/365))s_c\cos\theta_z \qquad .....10$$

และ

$$H_B = H_R - H_D$$

เมื่อ H_D = ความเข้มของแสงอาทิตย์แบบรังสีกระจายบนพื้นราบ, กิโลจูลล์/ตร.เมตร-ชม.

H_B = ความเข้มของแสงอาทิตย์แบบรังสีตรงบนพื้นราบ, กิโลจูลล์/ตร.เมตร-ชม.

H_R = ความเข้มของแสงอาทิตย์แบบทั้งหมดบนพื้นราบ, กิโลจูลล์/ตร.เมตร-ชม.

H_o = ความเข้มของแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศ(Extraterrestrial Radiation), กิโลจูลล์/ตร.เมตร-ชม.

s_c = ค่าคงที่สุริยะ(Solar Constant) กิโลจูลล์/ตร.เมตร-ชม.

n = วันที่ของปี

θ_z มุมตกกระทบของแสงอาทิตย์บนพื้นราบ, องศา

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศในเขตลมมรสุม จึงมีเมฆมากตลอดปี(26) ดังนั้นการกระจายของความเข้มของแสงอาทิตย์แบบรังสีกระจายจึงสม่ำเสมอตลอดทั่วท้องฟ้า(27) การคำนวณหาค่า

ความเข้มของแสงอาทิตย์แบบทั้งหมดบนพื้นเอียงจึงได้ดังสมการที่ 11

$$H_T = H_B R_B + H_D \qquad .....11$$

เมื่อ H_T = ความเข้มของแสงอาทิตย์แบบทั้งหมดบนพื้นเอียง, กิโลจูลล์/ตร.เมตร-ชม.

R_B = อัตราส่วนของความเข้มของแสงอาทิตย์บนพื้นเอียงต่อความเข้มของแสงอาทิตย์บนพื้นราบ

3.3.3 <u>มุมเอียงของแผงรับแสงอาทิตย์</u>

มุมเอียงของแผงรับแสงอาทิตย์มีผลต่อประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์คือ ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์จะมีค่ามากที่สุดเมื่อมุมเอียงของแผงรับแสงอาทิตย์ทำให้เกิดอัตราส่วนของความเข้มของแสงอาทิตย์บนพื้นเอียงต่อความเข้มของแสงอาทิตย์บนพื้นราบ R_B มีค่ามากที่สุด(27) รูปที่ 3.3 แสดงความเข้มของแสงอาทิตย์บนพื้นราบและบนพื้นเอียง

อัตราส่วนของความเข้มของแสงอาทิตย์บนพื้นเอียงต่อความเข้มของแสงอาทิตย์บนพื้นราบ R_B คือ

$$R_B = H_T/H = H_N\cos\Theta_T/H_N\cos\Theta_z = \cos\Theta_T/\cos\Theta_z \qquad .....12$$

$\cos\Theta_T$ และ $\cos\Theta_z$ คำนวณได้จากสมการที่ 13 และ 14

$$\cos\Theta_T = \sin\delta\sin\phi\cos S - \sin\delta\cos\phi\sin S\cos r + \cos\delta\cos\phi\cos S\cos\omega$$
$$+ \cos\delta\sin\phi\sin S\cos r\cos\omega + \cos\delta\sin S\sin r\sin\omega \qquad .....13$$

$$\cos\Theta_z = \sin\delta\sin\phi + \cos\delta\cos\phi\cos\omega \qquad .....14$$

เมื่อ Θ_T = มุมตกกระทบของแสงอาทิตย์บนพื้นเอียง

Θ_z = มุมตกกระทบของแสงอาทิตย์บนพื้นราบ

ϕ = Latitude Angle

δ = Declination Angle = 23.45 sin(284 + n)360/365

n = วันที่ของปี

ω = Hour Angle

S = มุมเอียงของแผงรับแสงอาทิตย์

r = มุมอาซิมุทของผิวหน้าของแผงรับแสงอาทิตย์(Surface Azimuth Angle)

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีค่าความเข้มของแสงอาทิตย์สูงและคงที่เกือบตลอดปี ในการที่จะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ตลอดปีและให้แผงรับแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงสุด ควรวางแผงรับแสงอาทิตย์ให้มีมุมเอียงของแผงใกล้เคียงกับค่าของมุมแลตติจูดที่แผงรับแสงอาทิตย์ตั้งอยู่(27) เพราะการวางแผงแบบนี้ อัตราส่วนของความเข้มของแสงอาทิตย์บนพื้นเอียงต่อความเข้มของแสงอาทิตย์บนพื้นราบเฉลี่ยทั้งปีจะมีค่ามากที่สุด

3.3.4 <u>อัตราการอบแห้ง</u>

เมื่อ เมล็ดพืชสัมผัสกับกระแสอากาศที่มีอุณหภูมิและความชื้นคงที่ ความชื้นใน เมล็ดพืชจะลดลง เมื่อเวลา เพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ของอัตราการอบแห้งของ เมล็ดพืชและ เวลาที่ใช้สัมผัสได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์นี้อาจแสดงได้ดังสมการที่ 15

$$M - M_E = \Delta Me^{-kt} \qquad ....15$$

เมื่อ M =ความชื้นของ เมล็ดพืชที่ เวลาใดๆ

M_E=ความชื้นสมดุลย์

ΔM =ผลต่างของความชื้น เริ่มแรก M_o และความชื้นสมดุลย์ M_E

k =ค่าคงที่ของการอบแห้ง

ความชื้น เหล่านี้จะแสดงในรูปของความชื้นแบบ มาตรฐานแห้ง

อัตราส่วนความชื้นของ เมล็ดพืช m อาจให้นิยามได้ดังนี้

$$m = (M - M_E)/(M_o - M_E) = e^{-kt} \qquad ....16$$

3.3.5 <u>อุณหภูมิของอากาศเปลี่ยนแปลงในขณะอบแห้ง</u>

เมื่อเริ่มต้นอบข้าวเปลือก อากาศจะเคลื่อนลอยตัวผ่าน เมล็ดข้าวเปลือกในห้องอบแห้ง อุณหภูมิของอากาศจะลดลง เมื่ออากาศ เคลื่อนตัวลอยสูงขึ้น และอุณหภูมิของอากาศจะลดลงด้วยอัตราลดต่ำลง เมื่ออากาศยิ่ง เคลื่อนตัวสูงขึ้นสู่ส่วนบนของห้องอบ ถ้าอุณหภูมิของอากาศที่ลอยตัวสู่ส่วนบนของห้องอบเป็นอุณหภูมิสมดุลย์แล้ว อุณหภูมิของอากาศจะไม่ลดลงอีกเมื่อลอยตัวสูงขึ้นไปอีก ดังนั้น อุณหภูมิสมดุลย์ T_e จึงเป็นอุณหภูมิซึ่งความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอยู่ในสมดุลย์กับความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่ระดับต่างๆในห้องอบ T กับอุณหภูมิสมดุลย์ของอากาศ T_e มีดังนี้

$$T - T_e = (T_o - T_e)e^{-cx} \qquad ....17$$

เมื่อ T_o = อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศตอนเริ่มต้นของห้องอบ

c = อัตราการเย็นตัว

x = ระยะทางจากส่วนล่างของห้องอบไปยังบริเวณที่อากาศมีอุณหภูมิ T

3.3.6 <u>ห้องอบข้าวเปลือก</u>

รูปที่ 3.5 แสดงห้องอบข้าวเปลือกซึ่งประกอบด้วยชั้นข้าวเปลือก จากการพิจารณาชั้นบางๆ δx ของเมล็ดข้าวเปลือกที่ความสูง x จากส่วนล่างของห้องอบ อากาศร้อนที่มีอัตราการไหลของมวล $\dot{m}$ และอุณหภูมิตรงทางเข้าห้องอบ T_i ไหลผ่านชั้นข้าวเปลือก ภายหลังเวลาผ่านไปเล็กน้อย δt อากาศร้อนนี้จะไหลมาอยู่ที่ตำแหน่ง $x + \delta x$ และอุณหภูมิของอากาศตอนนี้จะลดลงเป็น $T_i - \delta T_i$ ส่วนความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก M จะลดลงเล็กน้อยเป็น $M - \delta M$ ถ้าสมมติว่า ชั้นข้าวเปลือกอยู่ในสภาวะอาเดียแบติคแล้ว สมการพลังงานของชั้นข้าวเปลือกนี้คือ

$$WA\delta x\delta MH_{fg}/100 = \dot{m}A\delta tC_p\delta T$$

หรือ $$\delta M/\delta t = P\delta T/\delta x \qquad ......18$$

เมื่อ W = ความหนาแน่นของเมล็ดข้าวเปลือกแห้ง = $499.7+8.33(100M_o/(M_o+100))$

A = พื้นที่หน้าตัดของกระแสอากาศที่ผ่านเมล็ดข้าวเปลือกซึ่งมีค่าเท่ากับพื้นที่หน้าตัดของห้องอบ

H_{fg} = ค่าความร้อนแฝง ของการระเหยกลายเป็นไอของเมล็ดข้าวเปลือก

C_p = ค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ของอากาศ

$P = 100\dot{m}C_p/WH_{fg}$

สำหรับขบวนการอบแห้งเมล็ดพืช เราทราบว่า

$$\begin{array}{llll} \text{เมื่อ } t = 0 & M = M_o & \text{และ} & T = (T_o - T_e)e^{-cx} + T_e \\ \text{เมื่อ } t = \infty & M = M_E & & \\ \text{เมื่อ } x = 0 & T = T_o & \text{และ} & M = (M_o - M_E)e^{-kt} + M_E \\ \text{เมื่อ } x = \infty & T = T_e & & \end{array} \qquad ......19$$

สมการที่ 19 อาจเขียนใหม่ได้เป็น

$$M - M_E = (M_o - M_E)e^{cx}/(e^{cx} + e^{kt} - 1) \qquad .....20$$

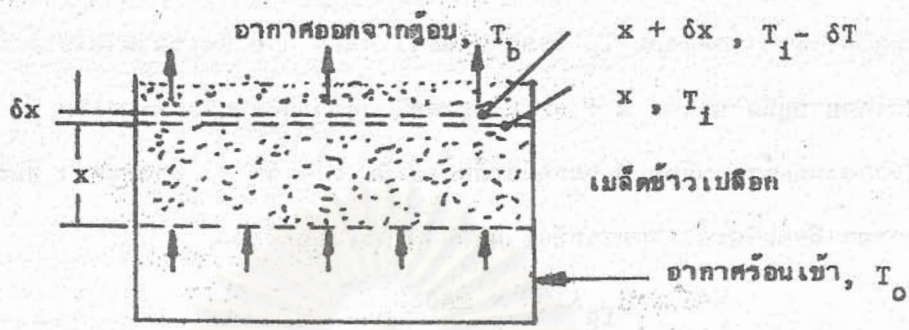
$$T - T_e = (T_o - T_e)e^{kt}/(e^{cx} + e^{kt} - 1) \qquad .....21$$

เมื่อ $$C = k(M_o - M_E)/(P(T_o - T_e)$$

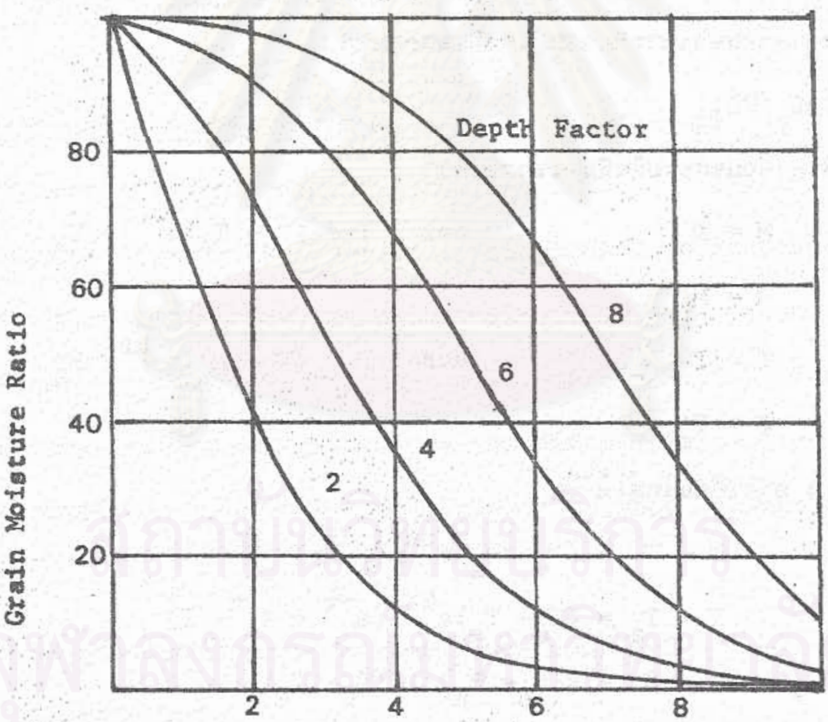
เพื่อให้สมการที่ 20 และ 21 เป็นสมการแบบง่ายๆ Hukill (28) ได้แนะนำให้จัดกลุ่มตัวแปรและค่าคงที่ในสมการให้เป็นกลุ่มไร้มิติ เช่น กลุ่มที่เกี่ยวกับเวลา (Y) และกลุ่มที่เกี่ยวกับระยะทาง (D) ดังนี้

$$Y = t/P \qquad ......22$$

และ $$D = xWH_{fg}(M_o - M_E)/(100\dot{m}C_pP(T_o - T_e)) \qquad ......23$$



รูปที่ 3.5 ห้องอบข้าวเปลือก



รูปที่ 3.6 อัตราส่วนความชื้นที่ D และ Y

เมื่อ P = เวลาที่ใช้ในการอบข้าวเปลือกที่ทำให้ข้าวเปลือกมีอัตราส่วนความชื้นลดลงครึ่งหนึ่ง ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

D = ความหนาสมดุลย์ เป็นความหนาที่บรรจุเมล็ดพืชเพียงพอที่จะทำให้ความร้อนที่ต้องการสำหรับระเหยความชื้นของเมล็ดพืชจากอัตราส่วนความชื้นเริ่มต้น m = 1.0 เป็นอัตราส่วนความชื้นสุดท้าย m = 0

T_o = อุณหภูมิของอากาศที่เข้าห้องอบแห้ง

T_e = อุณหภูมิสมดุลย์ของอากาศเมื่อออกจากห้องอบแห้ง

การคำนวณหาค่าอุณหภูมิสมดุลย์ T_e ทำได้โดยการใช้สมการที่ 24 (29,30) อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศตรงทางเข้าและสมการต่างๆในเอกสารอ้างอิง(31)

$$1 - RHE = \exp(-3.45366\times10^{-5}(T_o + 46.20056)M_o^{2.4451}) \qquad ......24$$

เมื่อ RHE = ความชื้นสัมพัทธ์สมดุลย์ของอากาศ

โดยใช้สมการที่ 22 และ 23 สมการที่ 20 อาจเขียนได้ใหม่ดังนี้

$$(M - M_E)/(M_o - M_E) = m = 2^D/(2^D + 2^Y - 1) \qquad ......25$$

เมื่อ M_E = ความชื้นสมดุลย์ของข้าวเปลือกซึ่งคำนวณได้โดยใช้สมการที่ 26 (32,33)

$$1 - RHH = \exp(-3.45366\times10^{-5}(T_o + 46.20056)M_E^{2.4451}) \qquad ......26$$

เมื่อ RHH =ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ผ่านเข้าห้องอบแห้ง

สำหรับข้าวเปลือก ค่า P อาจคำนวณได้โดยสมการต่อไปนี้ (34,35)

$$m = 0.5 = 0.75(e^{-GP} + 0.25e^{-4GP} + 0.1111e^{-9GP}) \qquad ....27$$

และ $$G = 8860\exp(-3415/(T_o + 273.15)) \text{ ต่อชั่วโมง} \qquad ....28$$

คำตอบของสมการที่ 25 คืออัตราส่วนความชื้นที่ D และ Y ต่างๆได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.6

เมื่อคำนวณหาค่ามวลของไอน้ำที่ถูกดึงออกจากเมล็ดพืชได้ ก็สามารถหาอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ออกจากห้องอบแห้ง T_b ได้โดยสมการที่ 29

$$T_b = T_o - m_w H_{fg}/(\dot{m}C_p \Delta t) \qquad ....29$$

เมื่อ m_w = มวลของไอน้ำที่ถูกดึงออกจากเมล็ดพืชในระหว่างเวลา Δt

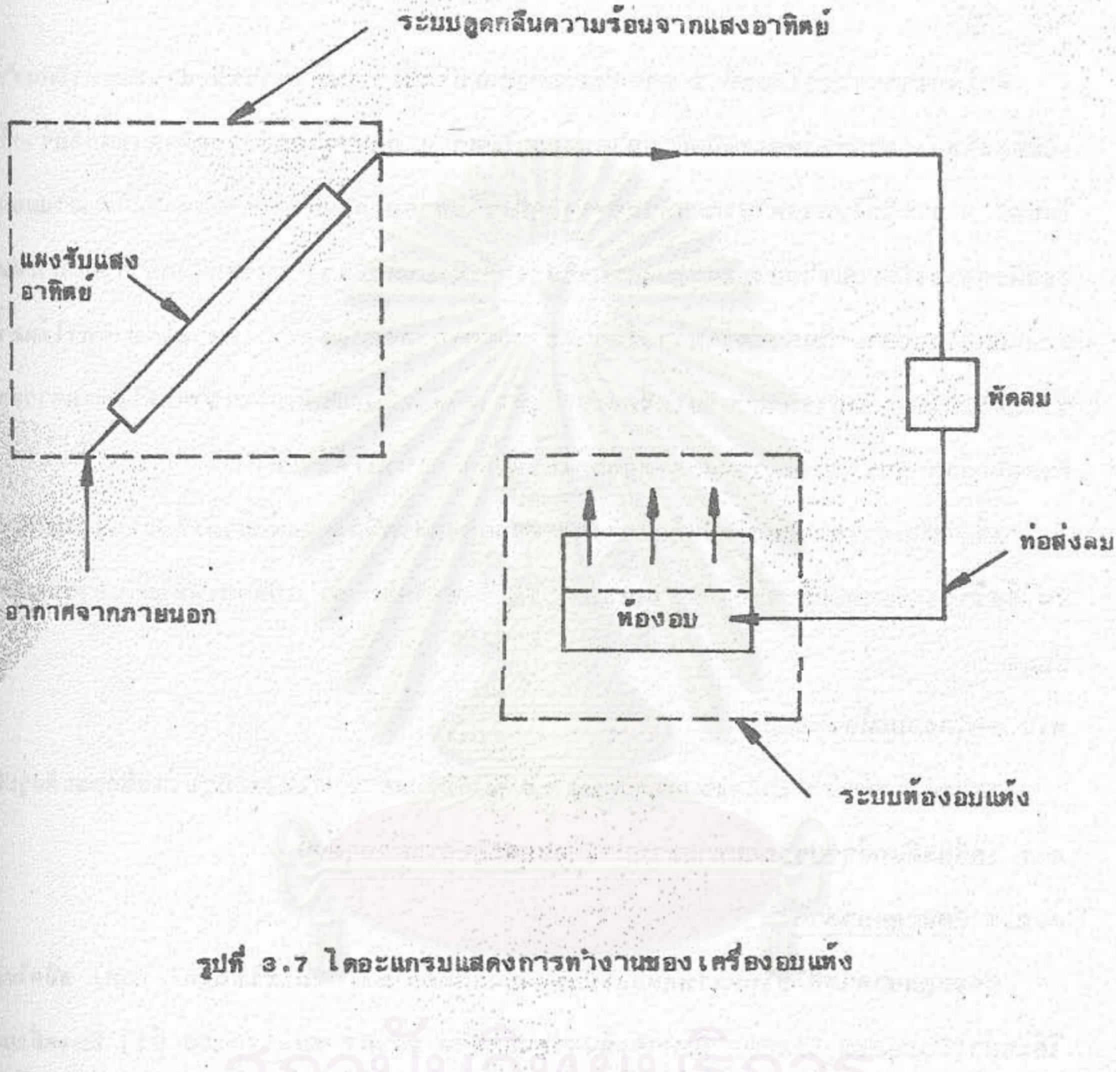
ความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกที่คาดคะเนโดยแบบจำลองก็คือความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกที่ตำแหน่งซึ่งต่างจากฐานของห้องอบขึ้นไปเป็นระยะทาง x สำหรับการวิจัยนี้ค่า x ก็คือความหนาของชั้นข้าวเปลือกในห้องอบแห้ง

3.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์

ดังได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.3 ลักษณะการทำงานของเครื่องอบแห้งข้าวพลังงานแสงอาทิตย์จะประกอบด้วยการทำงานที่ต่อเนื่องกันของสองระบบย่อยคือ ระบบดูดกลืนความร้อนจากแสงอาทิตย์และ ระบบห้องอบแห้ง โดยมีพัดลมดูดทำหน้าที่บังคับการไหลเวียนของอากาศภายในเครื่อง ลักษณะการทำงานดังกล่าวอาจเขียนเป็นไดอะแกรม ดังรูปที่ 3.7

ในไดอะแกรม นอกเหนือจากระบบย่อยทั้งสองที่กล่าวถึงแล้ว การจำลองแบบการทำงานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้คอมพิวเตอร์ยังต้องมีระบบย่อยอีกอีกระบบหนึ่งคือระบบที่ทำหน้าที่คำนวณหรือให้ข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปรและพารามิเตอร์ที่ขึ้นกับเวลา

จากไดอะแกรมในรูปที่ 3.7 และสมการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณในระบบย่อยในหัวข้อ 3.3 นำไปสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการออกแบบเครื่องอบแห้งข้าวดังรายละเอียดที่ปรากฏในภาคผนวก ง.



รูปที่ 3.7 ไดอะแกรมแสดงการทำงานของเครื่องอบแห้ง

บทที่ 4

การคำนวณออกแบบเครื่องอบแห้งข้าว

4.1 คำนำ

ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 การคำนวณออกแบบเครื่องอบแห้งข้าวพลังงานแสงอาทิตย์จำเป็นต้องใช้การคำนวณโดยเทคนิคการจำลองแบบปัญหา จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นในบทที่ 3 อาจใช้ในการคำนวณหาตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการออกแบบเครื่องอบแห้งข้าว ถ้าแบบจำลองดังกล่าวเป็นแบบจำลองของระบบงานจริง(เครื่องอบแห้งข้าว) การทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นว่าจะใช้แทนเครื่องอบแห้งข้าวได้หรือไม่อาจทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่ดีที่สุดคือการทดสอบกับเครื่องอบแห้งข้าวจริง เพื่อเปรียบเทียบว่าผลที่ได้จากการทดลองกับผลที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองอยู่ในวิสัยที่จะยอมรับได้ว่าเท่ากัน

เพื่อใช้ในการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องอบแห้งข้าวพลังงานแสงอาทิตย์ จึงได้สร้างเครื่องอบแห้งจำลองขนาดความจุ 50 กิโลกรัมของข้าวเปลือกเพื่อใช้ในการทดลองหาข้อมูล

4.2 เครื่องอบแห้งจำลอง

เครื่องอบแห้งข้าวจำลองขนาดความจุ 50 กิโลกรัมของข้าวเปลือกมีรูปร่างลักษณะดังรูปที่ 4.1 เครื่องดังกล่าวประกอบด้วยส่วนประกอบและอุปกรณ์ต่างๆดังนี้

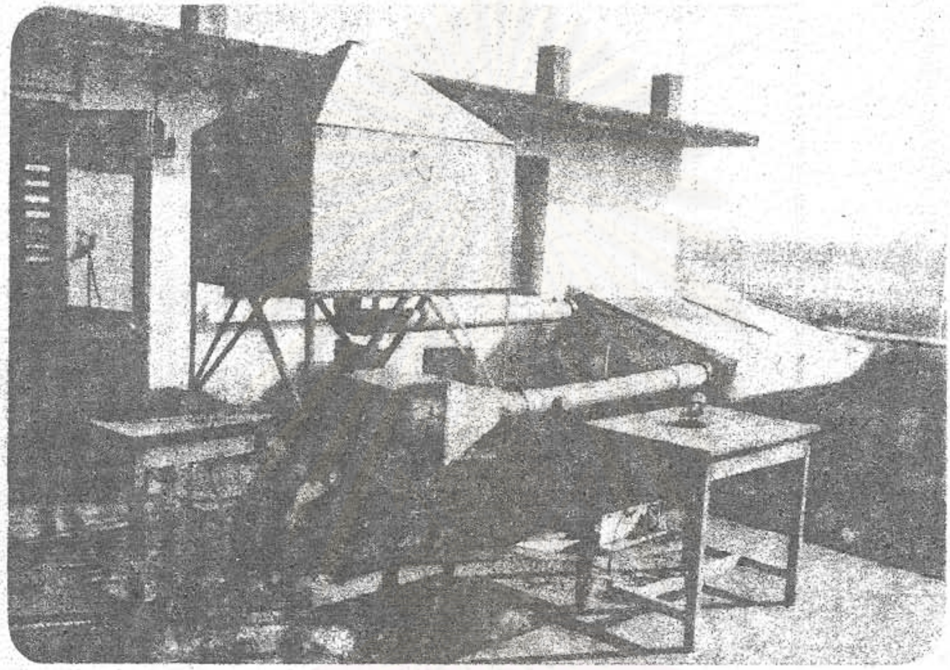
4.2.1 พัดลมดูดอากาศ

พัดลมดูดอากาศที่ใช้ในการทดลองเป็นพัดลมแบบหอยโข่ง(Centrifugal Fan) ชนิดใบพัดโค้งหน้า(Forward Blade) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 26.67 ซม.(10.50 นิ้ว) ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 1 เฟส ขนาด 0.75 กิโลวัตต์(1 แรงม้า) แรงเคลื่อนไฟฟ้า 220 โวลท์ ความถี่ 50 รอบต่อวินาทีและมีรอบหมุนขณะทำงานเต็มที่ 1440 รอบต่อนาที

4.2.2 แผงรับแสงอาทิตย์

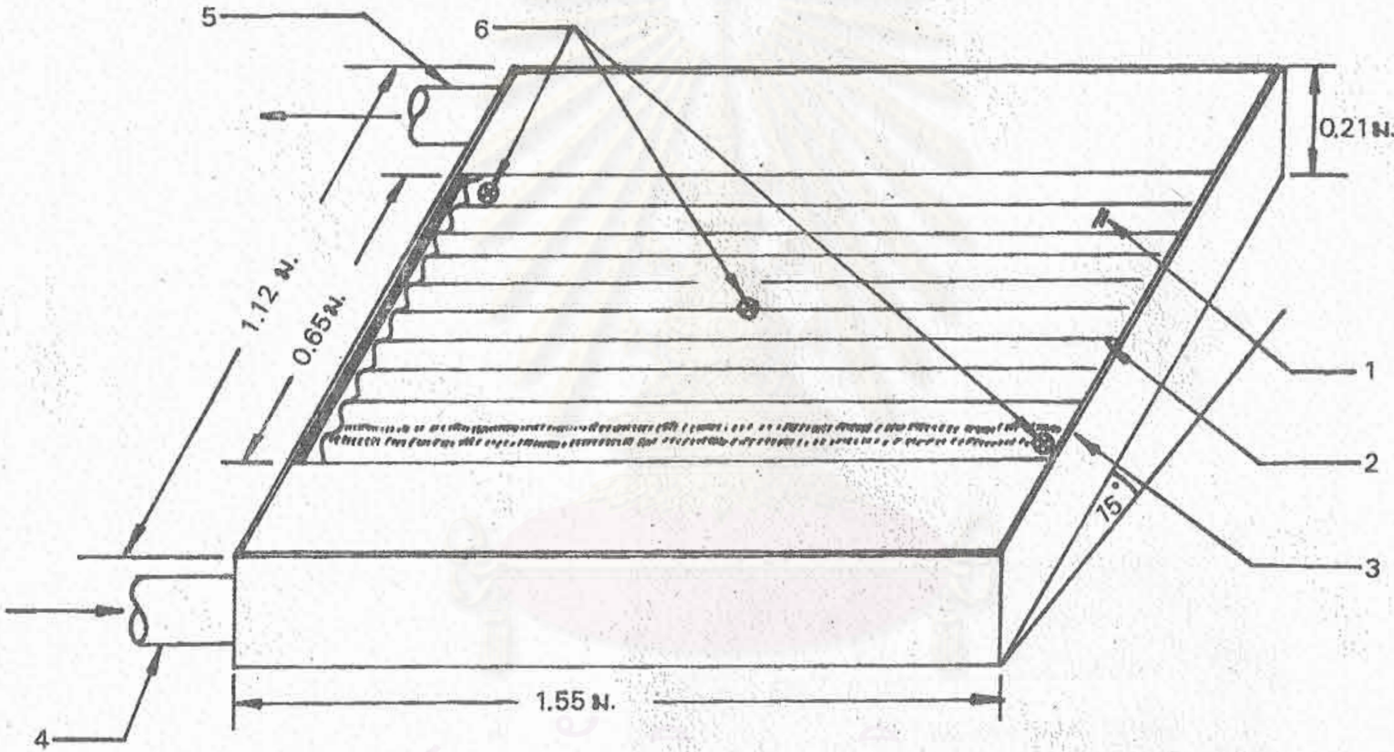
แผงรับแสงอาทิตย์มีลักษณะเป็นกล่องรูปสี่เหลี่ยม ทำด้วยไม้อัดหนา 10 มม. มีขนาด 1.55×1.12×0.21 เมตร พื้นที่ในการรับแสงอาทิตย์มีขนาด 1.0 ตร.เมตร(1.53×0.65 เมตร) ภายในแผงรับแสงอาทิตย์มีแผ่นสังกะสีลอนใหญ่ทาสีดำเป็นแผ่นดูดพลังงานแสงอาทิตย์

ด้านข้างและด้านล่างของแผงมีฉนวนโฟมหนา 25.4 มม. หุ้มอยู่ ท่ออากาศเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ซึ่งต่อมาจากพัดลมดูดอากาศจะเข้าทางด้านข้างของแผงรับแสงอาทิตย์ในด้านต่ำ และท่ออากาศออกจากแผงรับแสงอาทิตย์อยู่ทางด้านข้างแต่อยู่ในด้านบน (ดูรูปที่ 4.2)



รูปที่ 4.1 เครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดจำลอง

1. กระจกครอบหนา 2 มิลลิเมตร
2. สังกะสีลอนใหญ่ ทาสีดำด้าน
3. ไม้อัดหนา 10 มิลลิเมตร
4. ท่ออากาศเข้าแผงรับ
5. ท่ออากาศออกจากแผงรับ
6. ตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิที่แผ่นดูด



รูปที่ 4.2 ขนาดและส่วนประกอบของแผงรับแสงอาทิตย์

ทั้งนี้เพื่อให้มีการใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยที่สุด แผงรับแสงอาทิตย์เอียงทำมุม 15 องศากับแนวราบ และหันหน้าไปทางทิศใต้ อากาศจะไหลผ่านบริเวณช่องว่างระหว่างกระจกกับแผ่นดูดแสงอาทิตย์ในลักษณะขวางกับลอนของสังกะสีออกทางท่ออากาศไปยังตู้อบข้าวเปลือก

4.2.3 ตู้อบข้าวเปลือก

ตู้อบข้าวเปลือกเป็นตู้สี่เหลี่ยมด้านบนเปิด ประกอบด้วยไม้อัดหนา 10 มม. มีขนาด 1.0 1.0 0.61 เมตร และมีโครงเป็นไม้ระแนงขนาด 25.4 มม. (1 นิ้ว) ภายในตู้อบมีตระแกรงเหล็กสำหรับรองรับข้าวเปลือกที่ต้องการอบ ตระแกรงเหล็กมีจำนวนรูเท่ากับ 60 รูต่อตารางนิ้ว และขนาดของรูเท่ากับ 2.38 มม.(0.0938 นิ้ว) คิดเป็นพื้นที่ของรูเท่ากับ 41.42% ของพื้นที่ทั้งหมด ทางด้านล่างของตู้อบมีท่ออากาศที่ต่อมาจากแผงรับแสงอาทิตย์ขนาด 107.95 มม.(4.25 นิ้ว) สวมอยู่ เพื่อเป็นท่ออากาศร้อนที่ผ่านเข้าอบข้าวเปลือก ตู้อบข้าวเปลือกที่สร้างขึ้นแสดงในรูปที่ 4.3

4.2.4 อุปกรณ์อื่นๆ

อุปกรณ์อื่นๆได้แก่ท่ออากาศเข้าและท่ออากาศออกจากแผงรับแสงอาทิตย์ เป็นท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใน 107.95 มม. และมีความหนา 3.175 มม.(0.125 นิ้ว)

4.3 เครื่องมือวัดผลการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการบันทึกผลการทดลองประกอบด้วย

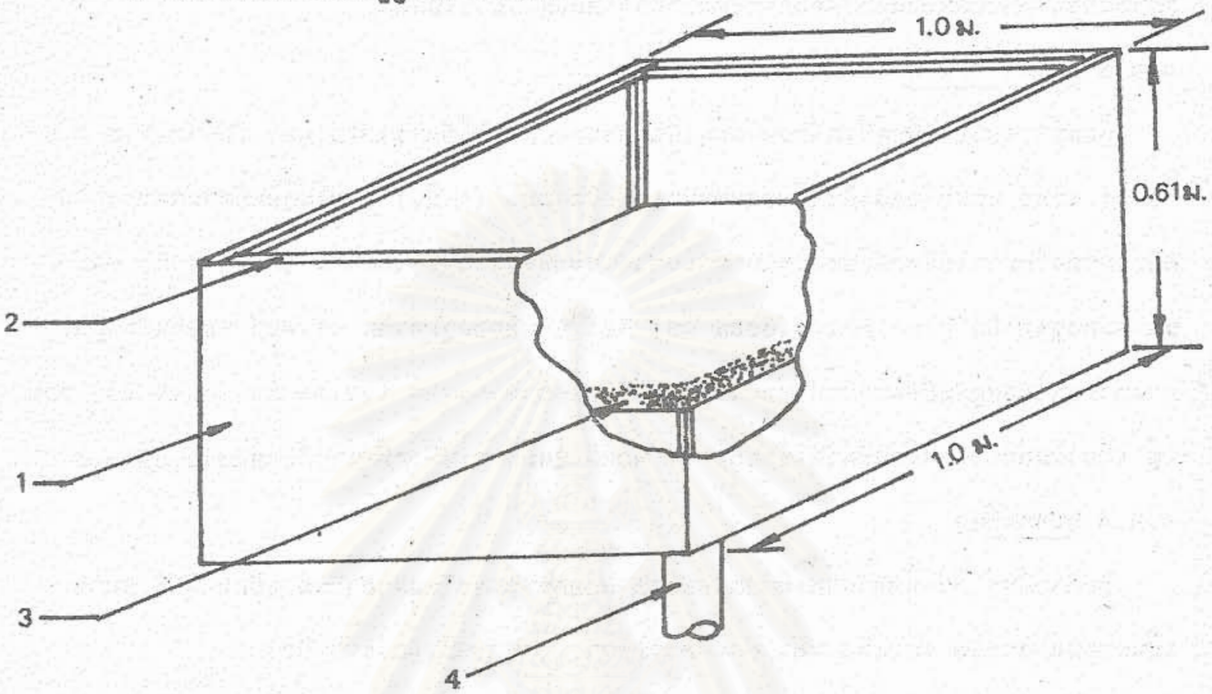
4.3.1 ไพราโนมิเตอร์

ใช้บันทึกค่าความเข้มของแสงอาทิตย์บนพื้นราบ ไพราโนมิเตอร์ที่ใช้เป็นแบบ CM 6 ของบริษัท Kipp & Zonen ใช้ร่วมกับเครื่องบันทึกค่าซึ่งบันทึกเป็นกราฟในรูปของแรงเคลื่อนไฟฟ้า สามารถบันทึกค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้ในช่วง 0 ถึง 0.5, 1, 2, 5, 10, 20 และ 50 มิลลิโวลท์ ความเร็วของกระดาษบันทึกเท่ากับ 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 และ 500 มิลลิเมตรต่อนาที ไพราโนมิเตอร์มีค่าคงที่เท่ากับ 8.1 มิลลิโวลท์ต่อคาลอรีต่อตารางเซนติเมตรต่อนาที สำหรับการบันทึกค่าของไพราโนมิเตอร์ที่ใช้ เลือกวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าในช่วง 0 - 20 มิลลิโวลท์ และเมื่อเปลี่ยนค่าเป็นค่าความเข้มของแสงอาทิตย์จะได้ค่าละเอียดถึง 20.67 กิโลจูลล์ต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง

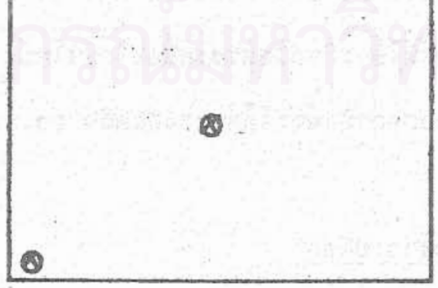
4.3.2 เครื่องวัดความชื้นของข้าวเปลือก

เป็นแบบ G178 M/C ของบริษัท Protimeter Ltd. ใช้วัดความชื้นของข้าวเปลือกได้ในช่วง 10% ถึง 32% มาตรฐานเปียก และสามารถวัดได้ละเอียดถึง 0.1% มาตรฐานเปียก

1. ไม้อัดหนา 10 มิลลิเมตร
2. โครงไม้ระแนงขนาด 25.4 มิลลิเมตร
3. ตระแกรงเหล็กรองรับข้าวเปลือก
4. ท่ออากาศร้อนเข้าสู่ตู้อบข้าวเปลือก



รูปที่ 4.3 ขนาดและส่วนประกอบของตู้อบข้าวเปลือก



รูปที่ 4.4 ตำแหน่งที่วัดความชื้นของข้าวเปลือกในตู้อบข้าวเปลือก

เครื่องวัดความชื้นของข้าวเปลือกนี้ ใช้วัดโดยวิธีวัดค่าความต้านทานของไฟฟ้า (Electrical Resistance Method) (36) การวัดความชื้นของข้าวเปลือกกระทำโดยการนำข้าวเปลือกบริเวณชั้นบนสุดของชั้นข้าวเปลือกที่ตำแหน่งต่างๆ 3 ตำแหน่งของตู้อบข้าวเปลือก (ดูรูปที่ 4.4) มารวมกันและบดให้ละเอียดเพื่อวัดค่าความชื้นของข้าวเปลือกในช่วงเวลาที่ครบ 15 นาที

4.3.3 เทอร์โมมิเตอร์

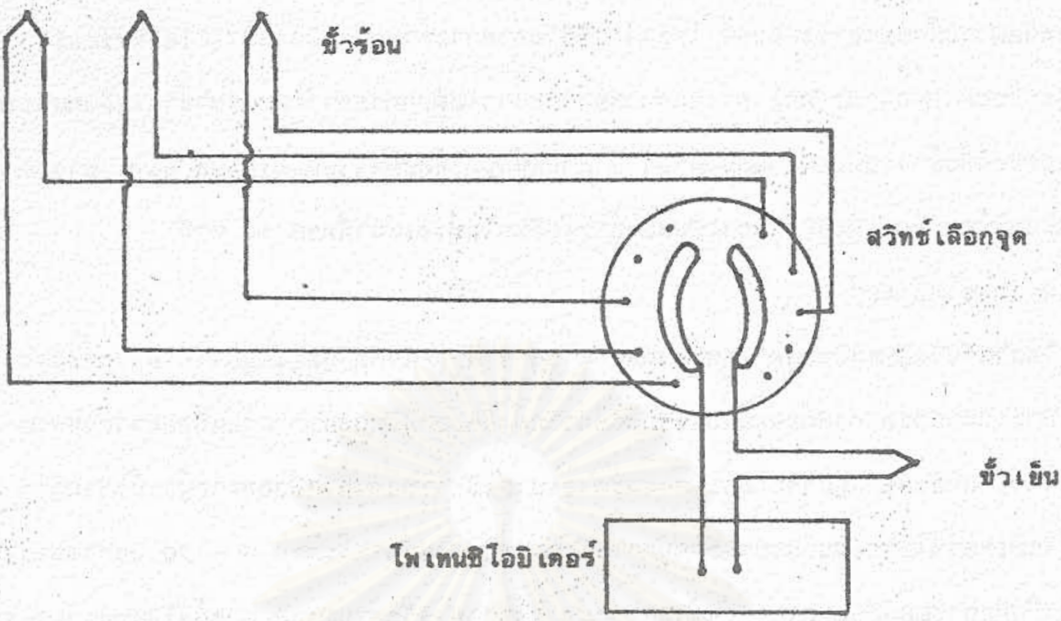
ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆ 3 ตำแหน่งคือ วัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกของอากาศก่อนเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ วัดอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ออกจากแผงรับแสงอาทิตย์ และวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกของอากาศที่ออกจากตู้อบข้าวเปลือก เทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้วัดเป็นแบบปรอท สามารถวัดอุณหภูมิของอากาศในช่วง 0 - 50 องศาเซลเซียส ในการบันทึกค่าอุณหภูมิของอากาศที่แต่ละตำแหน่ง ได้จากการวัดค่าอุณหภูมิ 3 ครั้งในช่วงเวลา 15 นาที หรือจากการวัดค่าอุณหภูมิทุกๆ 5 นาที และนำค่าที่วัดได้เฉลี่ยเป็นค่าเดียว

4.3.4 เทอร์โมคอปเปิลและโพเทนชิโอมิเตอร์

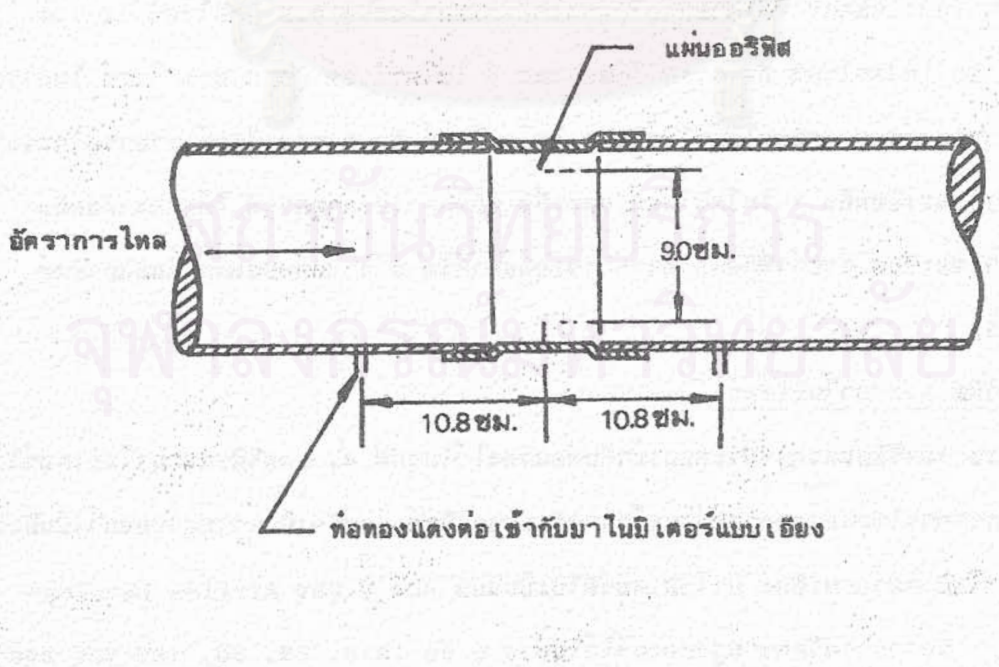
ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิที่แผ่นดูดแสงอาทิตย์ (Absorber Plate Temperature) ของแผงรับแสงอาทิตย์ โดยต่อเทอร์โมคอปเปิลซึ่งเป็นแบบไอออน-คอนสแตนแตน (Iron-Constantan) เข้ากับแผ่นดูดแสงอาทิตย์ และใช้โพเทนชิโอมิเตอร์วัดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า และเปลี่ยนค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเป็นค่าอุณหภูมิ โพเทนชิโอมิเตอร์ที่ใช้วัดเป็นแบบ P.3 หมายเลข 18195 ของ Croydon Precision Instrument Co) สามารถวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าในช่วง 0.8 มิลลิโวลท์ ถึง 1.8 มิลลิโวลท์, 50 ไมโครโวลท์ ถึง 0.18 โวลท์ และ 5 ไมโครโวลท์ ถึง 0.018 โวลท์ ในการทดลองเลือกช่วงของค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าในช่วง 5 ไมโครโวลท์ ถึง 0.018 โวลท์ สามารถวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้ละเอียดถึง 1 ไมโครโวลท์ และเมื่อเปลี่ยนค่าเป็นค่าอุณหภูมิ ได้ค่าละเอียดถึง 0.02 องศาเซลเซียส ส่วนค่าที่บันทึกได้จากการเฉลี่ยค่าที่วัด 3 ตำแหน่งบนแผ่นดูดแสงอาทิตย์ (ดูรูปที่ 4.5)

4.3.5 ออริฟิส และ มาโนมิเตอร์

ลักษณะของออริฟิสและการประกอบเข้ากับท่อแสดงไว้ในรูปที่ 4.6 ออริฟิสและมาโนมิเตอร์ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ โดยวัดเป็นความสูงของน้ำเป็นมิลลิเมตรจากมาโนมิเตอร์แบบเอียง มาโนมิเตอร์ที่ใช้เป็นแบบ 434 V ของ Airflow Developments Co. ซึ่งสามารถวัดความสูงของน้ำได้ในช่วง 0 ถึง 12.5, 25, 50, 125 และ 250 มิลลิเมตร และนำค่าความสูงของน้ำที่วัดได้มาเปลี่ยนเป็นค่าอัตราการของอากาศที่ได้ปรับค่าโดยใช้



รูปที่ 4.5 การจัดวงจรเพื่อวัดอุณหภูมิของแผ่นดูดของแผงรับแสงอาทิตย์



รูปที่ 4.6 ขนาดและตำแหน่งของออริฟิส

เครื่องมือวัดความเร็วของอากาศ(Air Velocity Meter) แบบ 115 AV ของ Dwyer Instruments Inc. ดังนี้

$$Q = 86.49\sqrt{H}$$

หรือ

$$\dot{m} = 104.13\sqrt{H}$$

เมื่อ Q = อัตราการไหลของอากาศ, ลบ.ม./ชม.

$\dot{m}$ = อัตราการไหลของมวลของอากาศ, กก./ชม.

H = ความสูงของน้ำ, มม.

ในการวัดค่าความสูงของน้ำโดยมาโนมิเตอร์แบบเอียง เลือกวัดความสูงของน้ำในช่วง 0 - 25 มิลลิเมตร สามารถวัดได้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร ทำให้สามารถวัดอัตราการไหลของอากาศได้ละเอียดถึง 8.65 ลบ.ม./ชม.

4.3.6 <u>วัตต์มิเตอร์</u>

ใช้สำหรับวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการหมุนมอเตอร์เพื่อขับเคลื่อนพัดลมดูดอากาศ โดยวัดเป็นหน่วย(Unit หรือ กิโลวัตต์-ชั่วโมง) วัตต์มิเตอร์ที่ใช้สามารถวัดได้ละเอียด 0.1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง โดยบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้เมื่อสิ้นสุดการทดลองแต่ละครั้ง

4.3.7 <u>นาฬิกาจับเวลา</u>

ใช้สำหรับจับเวลาในการวัดค่าต่างๆขณะทำการทดลอง

4.4 <u>วิธีการทดลอง</u>

ในการทดลอง ได้ทดลองอบข้าวเปลือกนาปีซึ่งเก็บเกี่ยวจากนาจำนวน 10 ครั้ง แต่ละครั้งทำการอบข้าวเปลือกจำนวน 50 กิโลกรัม โดยมีอัตราการไหลของอากาศคงที่เท่ากับ 273.51 ลบ.ม./ชม.(329.29 กก./ชม.) และใช้อากาศร้อนที่ผ่านเข้าอบข้าวเปลือกมีอุณหภูมิไม่เกิน 45°ซ เพื่อป้องกันการแตกหักของข้าวเปลือกเมื่อนำข้าวเปลือกไปสี ความชื้นสุดท้ายของข้าวที่อบประมาณ 14% มาตรฐานเปียก (16.28% มาตรฐานแห้ง) จากการทดลองทำการบันทึกค่าเวลาขณะทำการทดลอง ความเข้มของแสงอาทิตย์บนพื้นราบ ความชื้นของข้าวเปลือก อุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้ายังแผงรับแสงอาทิตย์ อุณหภูมิของอากาศร้อนที่ออกจากแผงรับแสงอาทิตย์ อุณหภูมิที่แผ่นดูดแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกของอากาศที่ออกจากตู้อบข้าวเปลือก

4.5 ผลการทดลอง

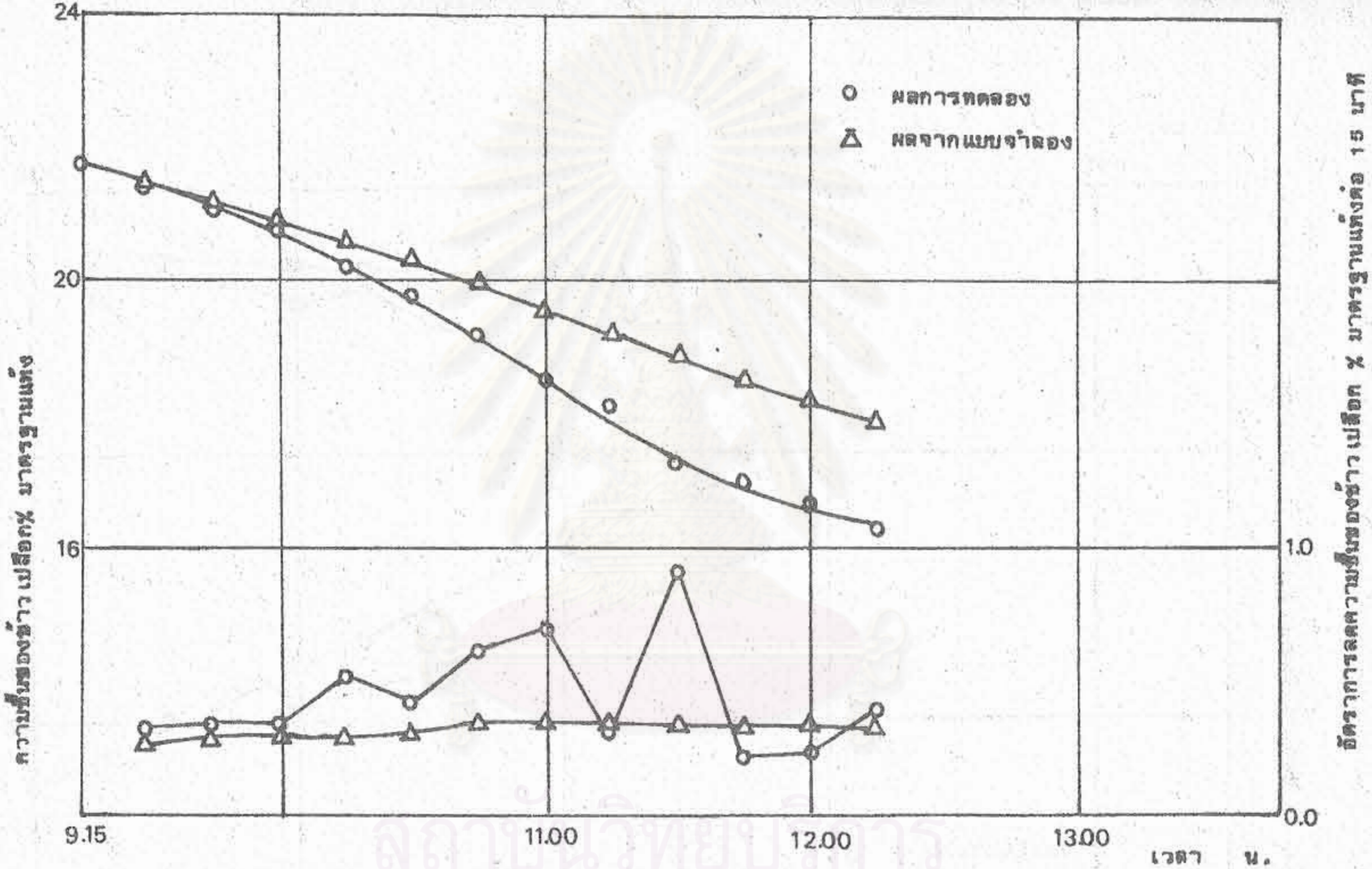
การเปรียบเทียบผลการทดลองและผลจากการจำลองแบบทางคณิตศาสตร์ ได้ทำการเปรียบเทียบค่าความชื้นของข้าวเปลือก อัตราการลดความชื้นของข้าวเปลือก อุณหภูมิของอากาศที่ออกจากแผงรับแสงอาทิตย์ อุณหภูมิที่แผ่นดูดแสงอาทิตย์ อุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกของอากาศที่ออกจากตู้อบข้าวเปลือก และประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ โดยเทียบกับเวลาที่ทำการอบดังนี้

4.5.1 การเปรียบเทียบความชื้นและอัตราการลดความชื้นของข้าวเปลือก

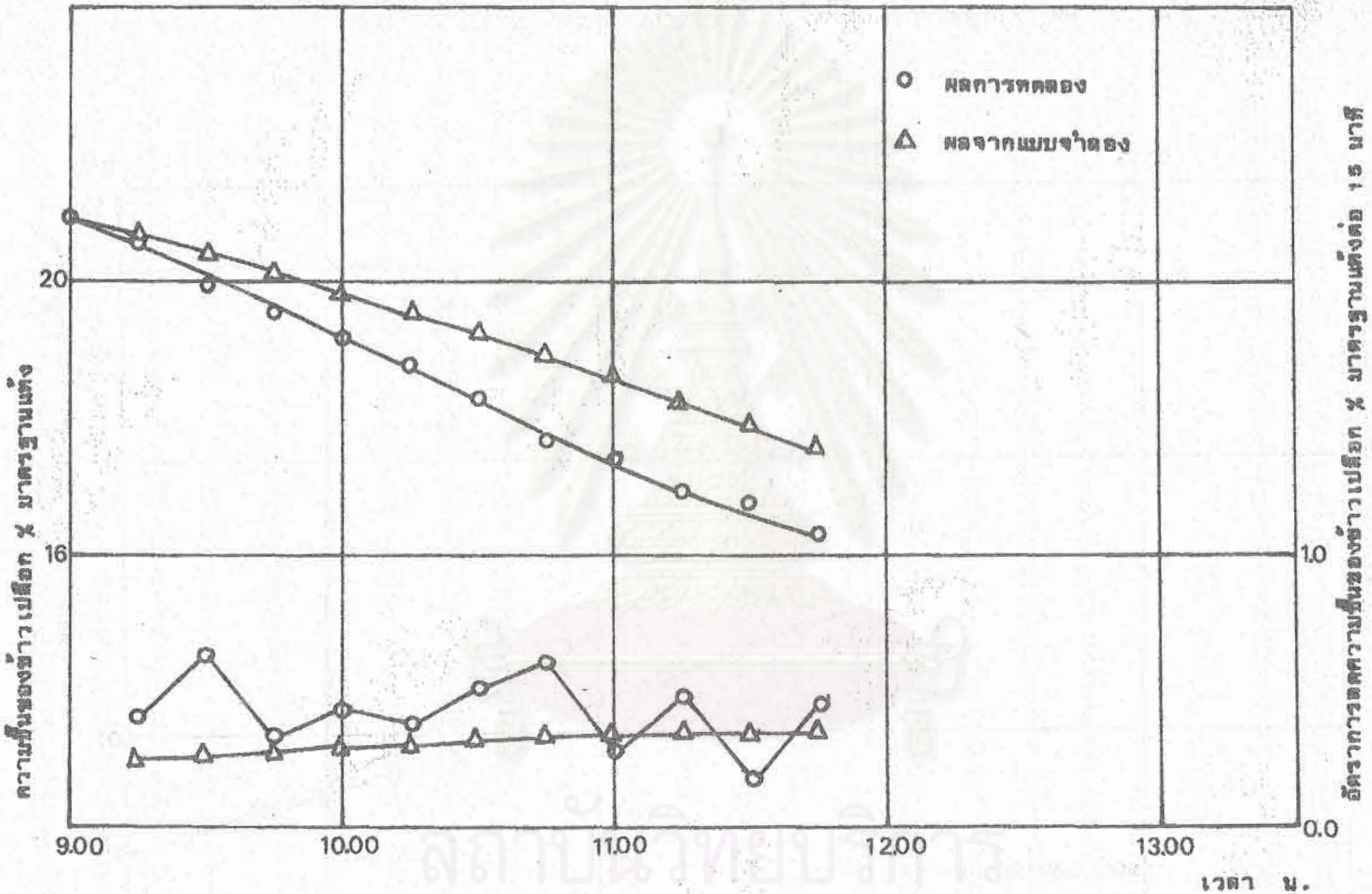
ผลการเปรียบเทียบความชื้นของข้าวเปลือกชั้นบนสุดจากผลการทดลองกับผลจากการจำลองแบบทางคณิตศาสตร์พบว่า ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบมีค่าแตกต่างกัน และจะมีค่าแตกต่างกันมากขึ้นเมื่อเวลาที่ใช้ในการอบข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น โดยมีค่าความชื้นของข้าวเปลือกเมื่อสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 0.02 - 1.72% มาตรฐานแห้ง และค่าความชื้นของข้าวเปลือกที่ได้จากการทดลองมีค่าต่ำกว่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ รูปที่ 4. 7ถึง 4. 9 แสดงค่าความชื้นของข้าวเปลือก จากรูปดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ค่าความชื้นของข้าวเปลือกแบ่งเป็น 3 ช่วง กล่าวคือ ในช่วงแรก ค่าความชื้นของข้าวเปลือกมีค่าลดลงทีละน้อย และมีค่าลดลงมากขึ้นในช่วงกลาง ต่อจากนั้นในช่วงสุดท้ายค่าความชื้นของข้าวเปลือกจะมีค่าลดลงทีละน้อย ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงแรกของการทดลอง อากาศที่ผ่านเข้าอบข้าวเปลือกจะพาความชื้นของข้าวเปลือกจากด้านล่างขึ้นมา ทำให้ความชื้นของข้าวเปลือกบริเวณชั้นบนถูกพาออกไปได้น้อย จากนั้นในช่วงกลางของการทดลอง อากาศจะพาความชื้นบริเวณชั้นบนได้มากขึ้น และในช่วงสุดท้ายของการทดลอง ความชื้นของข้าวเปลือกบริเวณชั้นบนจะมีค่าลดลงและเข้าใกล้ความชื้นสมดุลย์ของข้าวเปลือก ทำให้ข้าวเปลือกถูกพาความชื้นออกไปได้น้อยลง

ส่วนอัตราการลดความชื้นของข้าวเปลือกนั้น ผลการเปรียบเทียบพบว่า อัตราการลดความชื้นของข้าวเปลือกจากการทดลองมีค่าสูงกว่าผลที่ได้จากการจำลองแบบเฉลี่ยประมาณ 0.09% มาตรฐานแห้งต่อช่วงเวลา 15 นาที และยังพบว่า อัตราการลดความชื้นของข้าวเปลือกจากการทดลองมีค่ากระจายมากกว่าผลจากแบบจำลอง

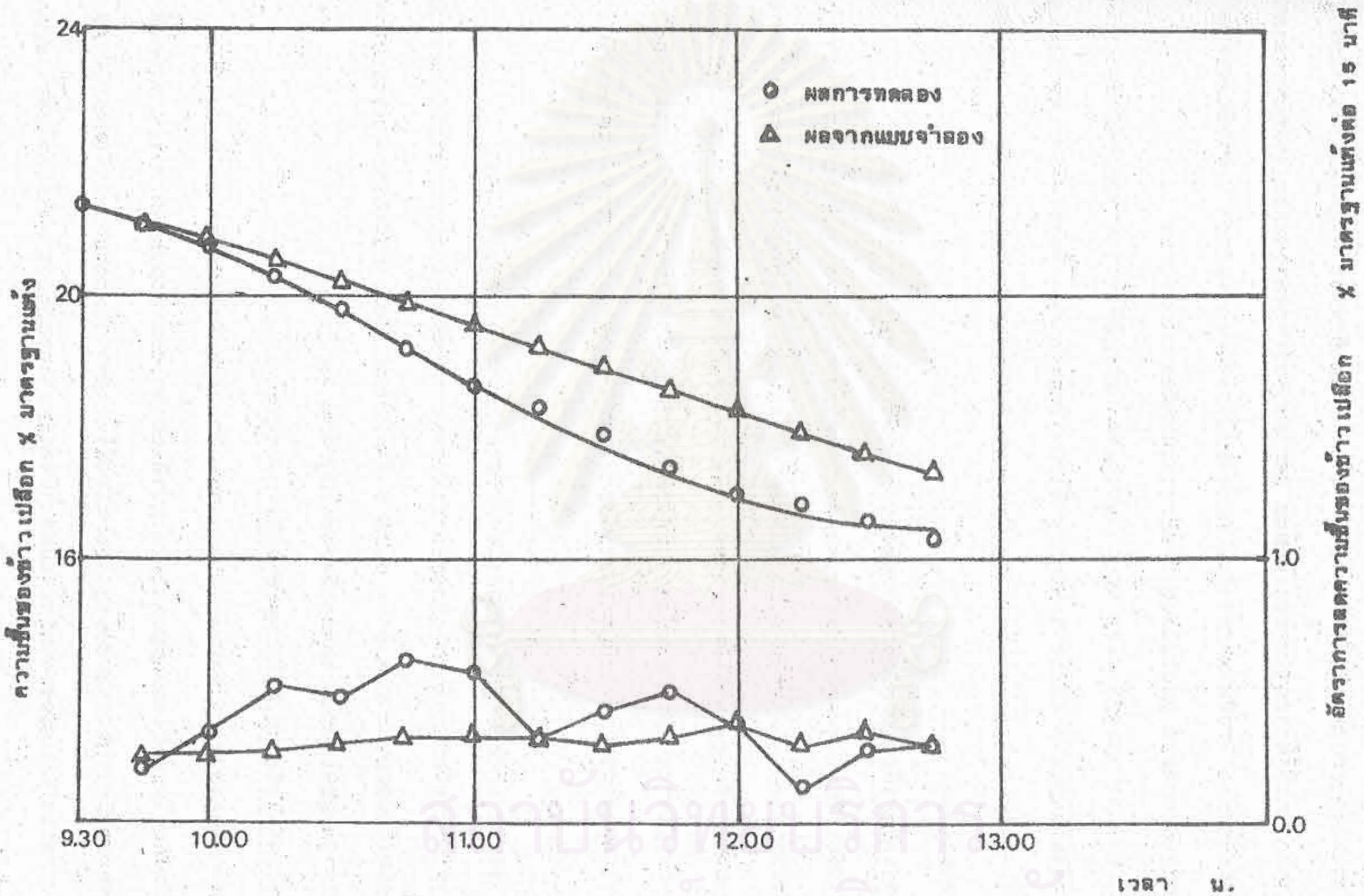
สำหรับสาเหตุที่ทำให้ความชื้นของข้าวเปลือกจากการจำลองแบบมีค่าแตกต่างจากผลการทดลองอาจเนื่องมาจาก ความผิดพลาดในการทดลองและการวัดค่า และเนื่องมาจากขบวนการอบแห้งเป็นขบวนการต่อเนื่อง การใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณค่าย่อมมีความผิดพลาดเนื่องจากการประมาณค่าต่อเนื่องด้วยค่าแบบเป็นช่วง อย่างไรก็ตามผลที่ได้อยู่ในวิสัยที่จะยอมรับ การจำลองแบบทางคณิตศาสตร์



รูปที่ 4.7 ความชื้นและอัตราการลดความชื้นของข้าวเปลือกที่เวลาใดๆ (25 ธันวาคม 2523)



รูปที่ 4.8 ความชื้นและอัตราการลดความชื้นของข้าวเปลือกที่เวลาใดๆ (26 ธันวาคม 2523)



รูปที่ 4.9 ความชื้นและอัตราการลดความชื้นของข้าวเปลือกที่เวลาใดๆ (6 มกราคม 2524)

4.5.2 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของอากาศที่ออกจากแผงรับแสงอาทิตย์

ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิของอากาศที่ออกจากแผงรับแสงอาทิตย์พบว่า ผลที่ได้ มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าแตกต่างของอุณหภูมิเท่ากับ 0.01 - 2.55° ซ และยังพบว่า ค่าอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองมีค่าต่ำกว่าผลที่ได้จากการทดลองเล็กน้อย และในช่วงแรกของการทดลอง อุณหภูมิของอากาศที่ออกจากแผงรับแสงอาทิตย์มีค่าแตกต่างกันมากกว่าในช่วงหลังของการทดลอง ซึ่งอาจมีผลมาจากในช่วงแรกของการทดลอง แผงรับแสงอาทิตย์มีการสะสมพลังงานไว้บางส่วน

จากรูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.12 พบว่า ในช่วงแรกค่าอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองมีค่าสูงกว่าผลจากการจำลองแบบมาก และต่อจากนั้นอุณหภูมิที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ในรูปที่ 4.12 พบว่าอุณหภูมิมีค่าเปลี่ยนแปลงไปมากในช่วงเวลาต่างๆซึ่งเป็นผลมาจากความไม่สม่ำเสมอของพลังงานแสงอาทิตย์ในวันที่ทำการทดลอง

4.5.3 การเปรียบเทียบอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ออกจากตู้อบข้าวเปลือก

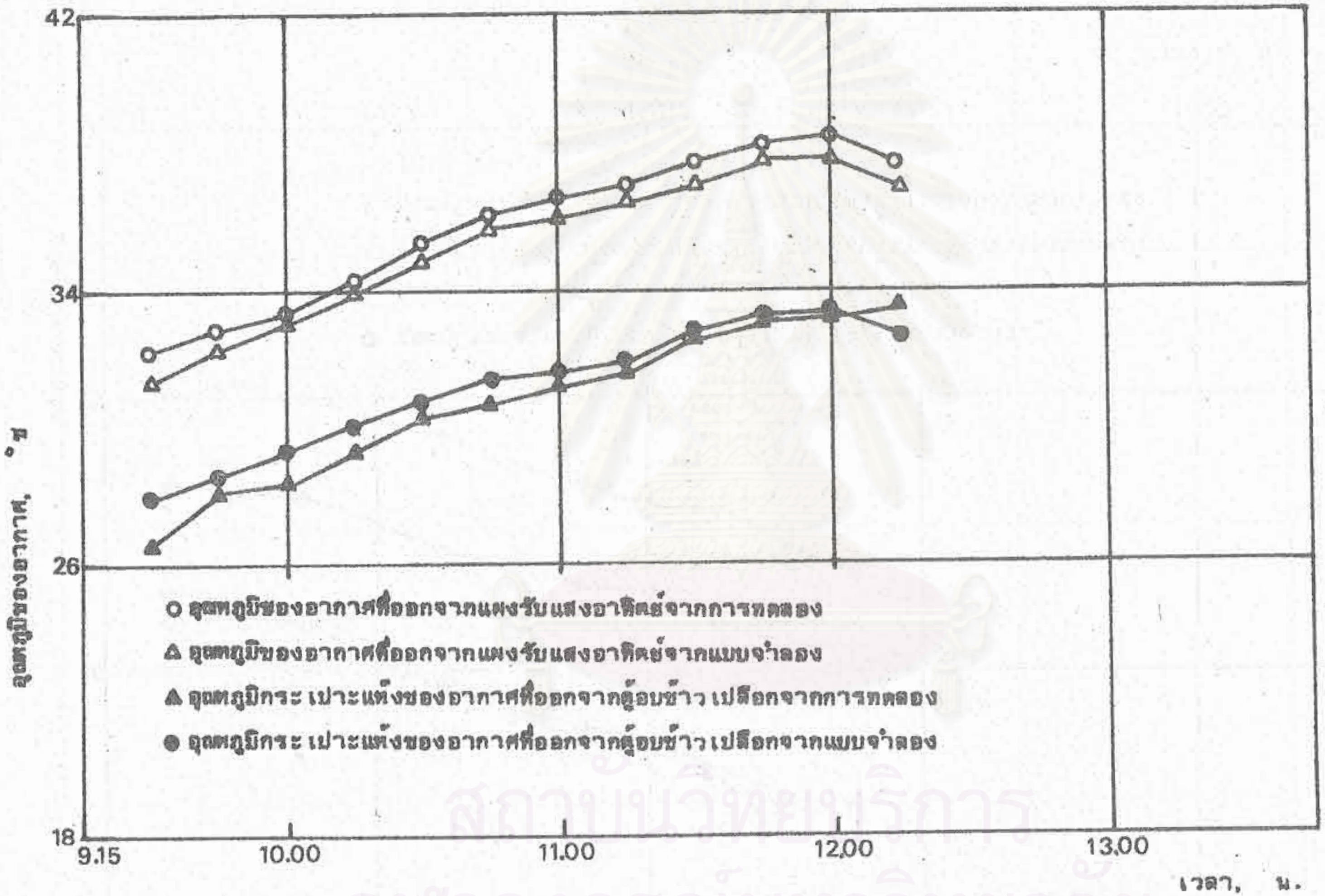
การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ออกจากตู้อบข้าวเปลือกพบว่า ผลการเปรียบเทียบมีค่าแตกต่างกันเท่ากับ 0.01 - 3.60° ซ และพบว่า ค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ได้จากแบบจำลองมีค่าสูงกว่าที่ได้จากการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.10 ถึง 4.12 ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการที่ค่าอัตราการลดความชื้นของข้าวเปลือกที่ได้จากแบบจำลองมีค่าต่ำกว่าผลการทดลอง ดังนั้นจึงทำให้การคำนวณค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ออกจากตู้อบแห้งจากแบบจำลองมีค่าสูงกว่าผลการทดลอง

4.5.4 การเปรียบเทียบอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่ออกจากตู้อบข้าวเปลือก

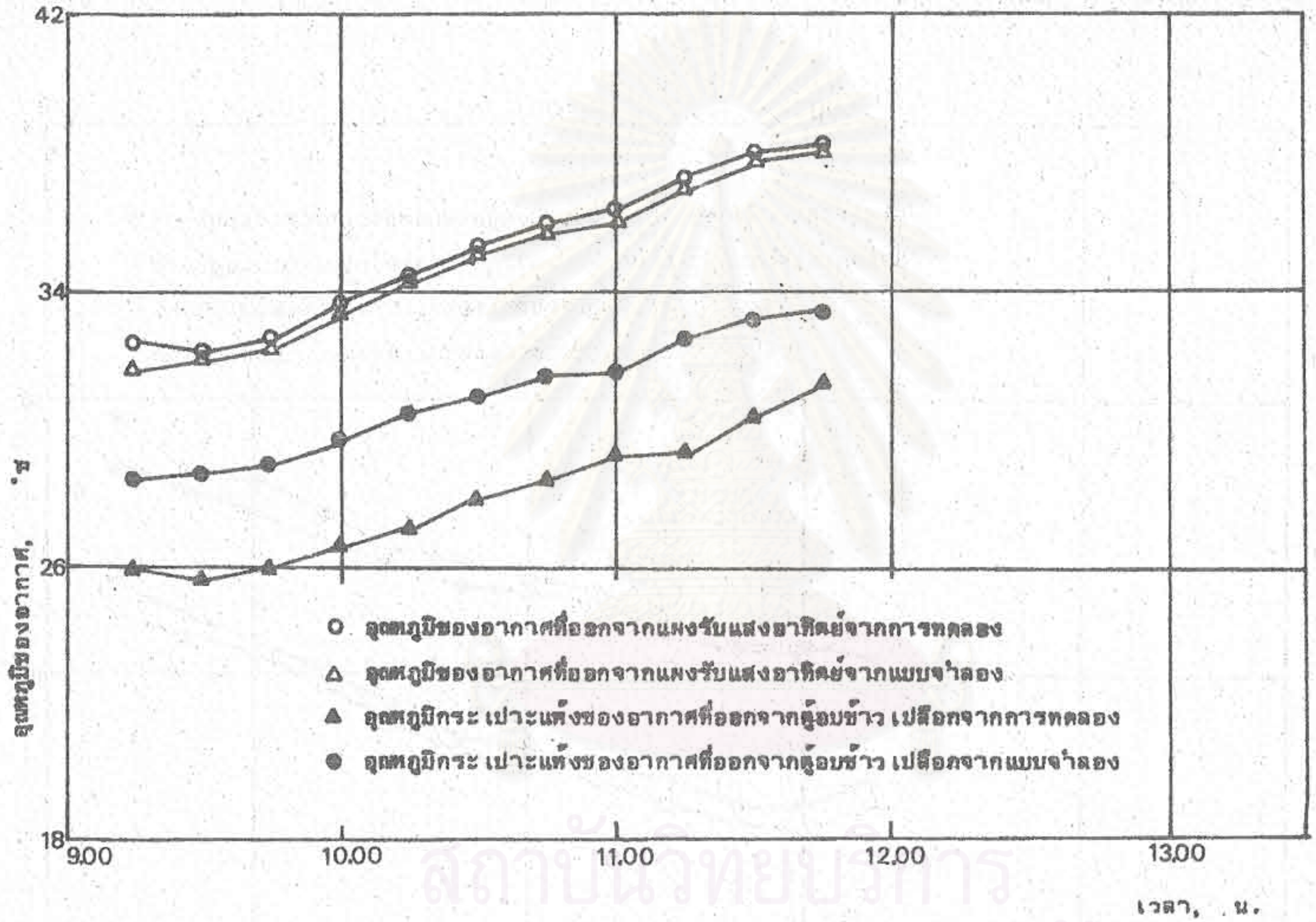
ผลการเปรียบเทียบของค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่ออกจากตู้อบข้าวเปลือกพบว่า มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยประมาณ 0.01 - 0.95° ซ โดยที่ค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกที่ได้จากแบบจำลองมีค่าสูงกว่าค่าอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.13 ถึง 4.15

4.5.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์

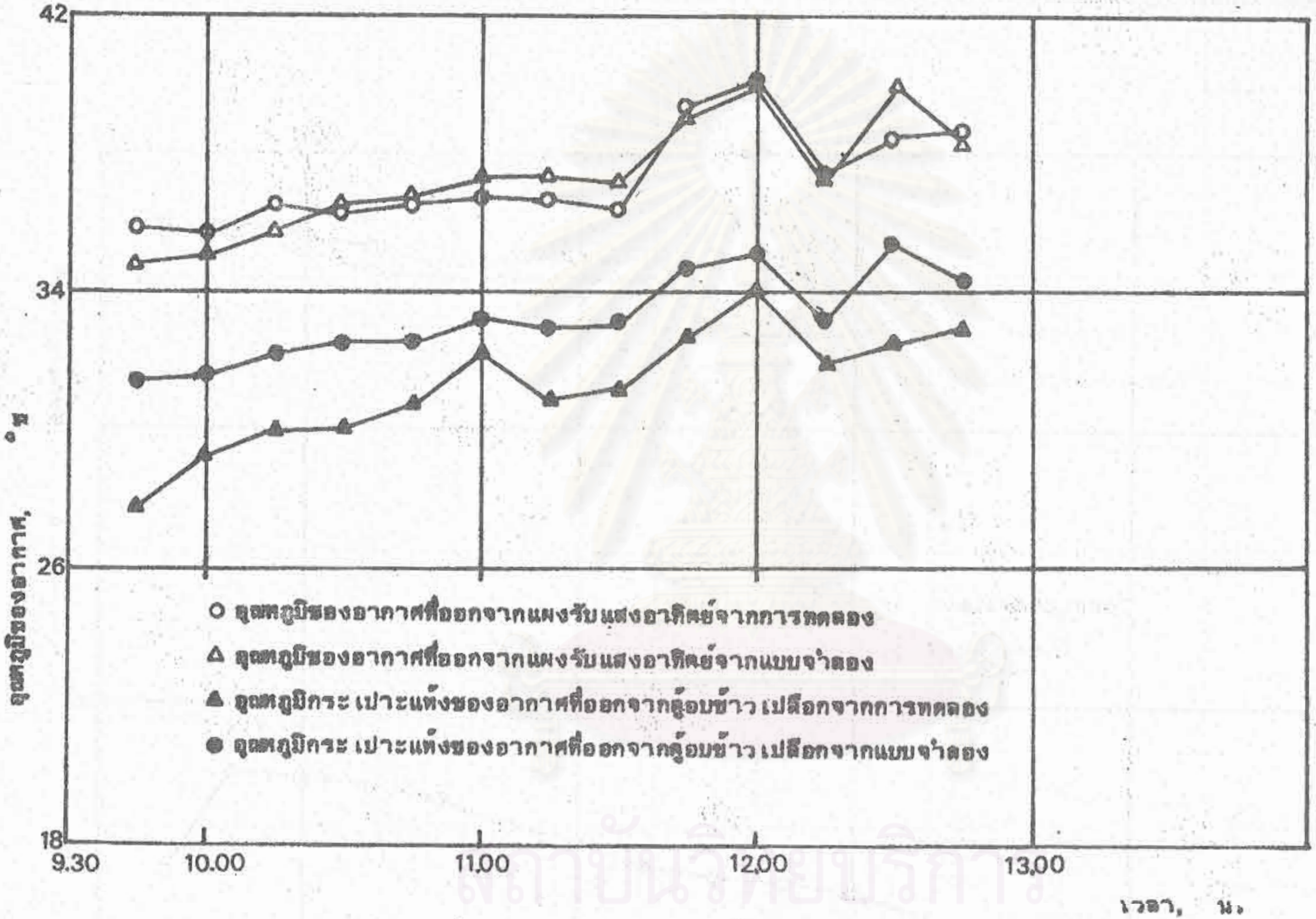
จากผลการทดลองและจากแบบจำลองพบว่าค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์มีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่าที่ได้จากแบบจำลองต่ำกว่าที่ได้จากการทดลองประมาณ 4.16% และผลที่ได้จากการทดลองมีการกระจายของข้อมูลในขณะที่ผลที่ได้จากการจำลองแบบมีค่าเกือบจะคงที่ ทั้งนี้เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของพลังงานแสงอาทิตย์ระหว่างการทดลอง ทำให้มีค่าไม่สม่ำเสมอรวมทั้งมีผลให้อุณหภูมิของอากาศที่ใช้อบไม่สม่ำเสมอ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวบางครั้งไม่อาจตรวจจับได้ด้วยเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองทำให้ข้อมูลที่ใส่ในแบบจำลองมีความผิดพลาด



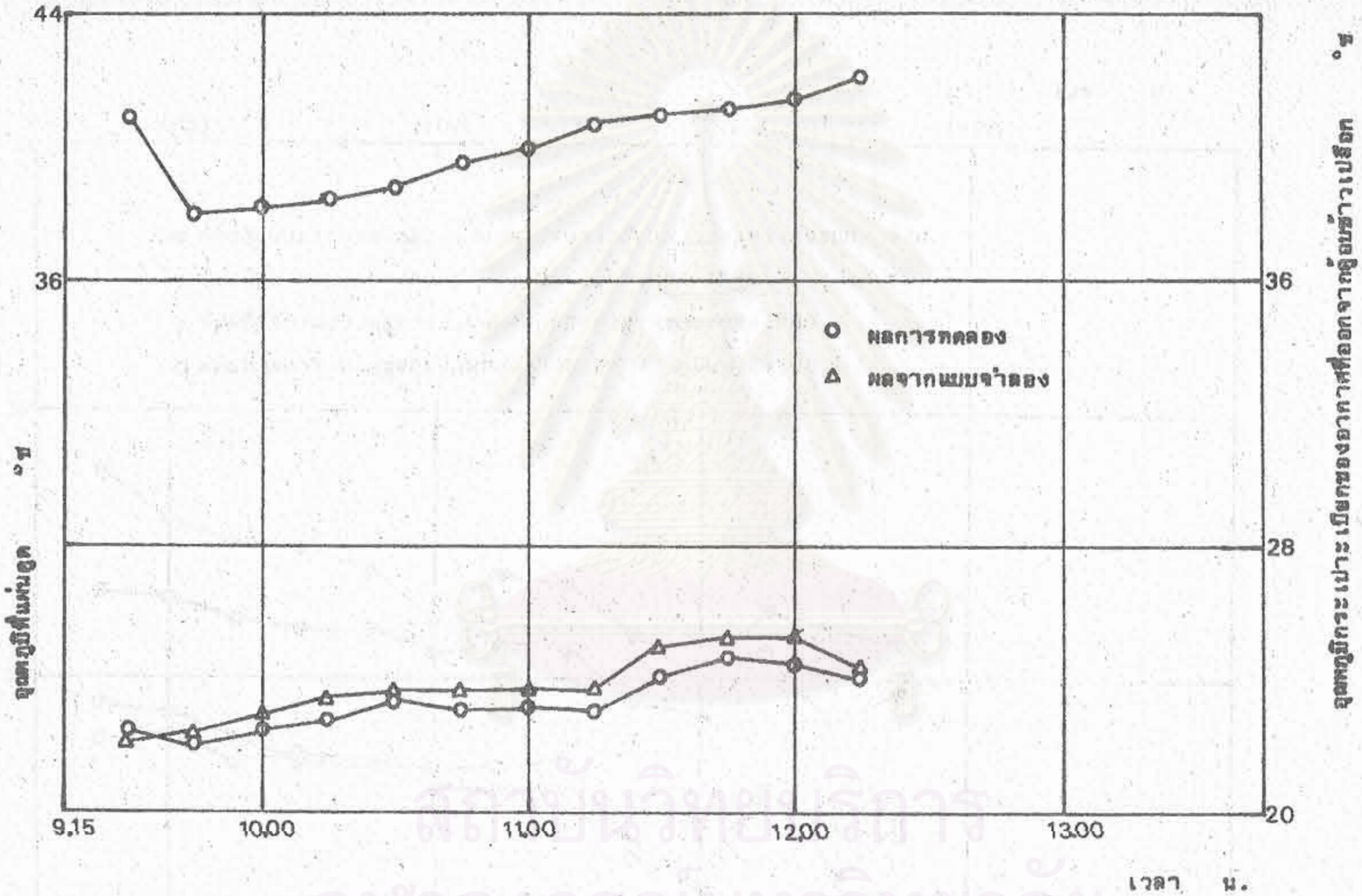
รูปที่ 4.10 อุณหภูมิของอากาศที่ออกจากแผงรับแสงอาทิตย์และอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ออกจากตู้อบข้าวเปลือก (25 ธันวาคม 2523)



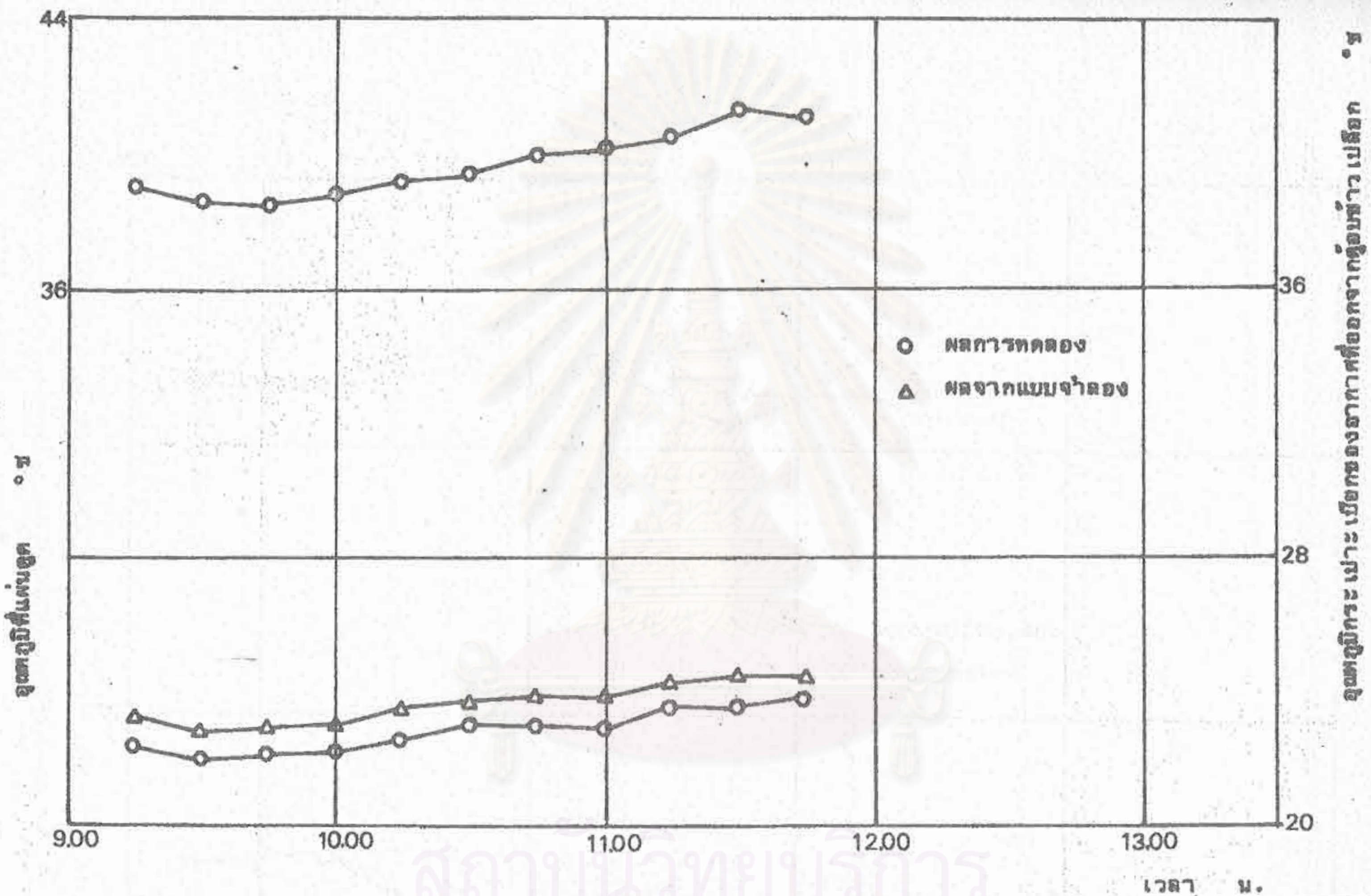
รูปที่ 4.11 อุณหภูมิของอากาศที่ออกจากแผงรับแสงอาทิตย์และอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ออกจากตู้อบข้าวเปลือก (26 ธันวาคม 2523)



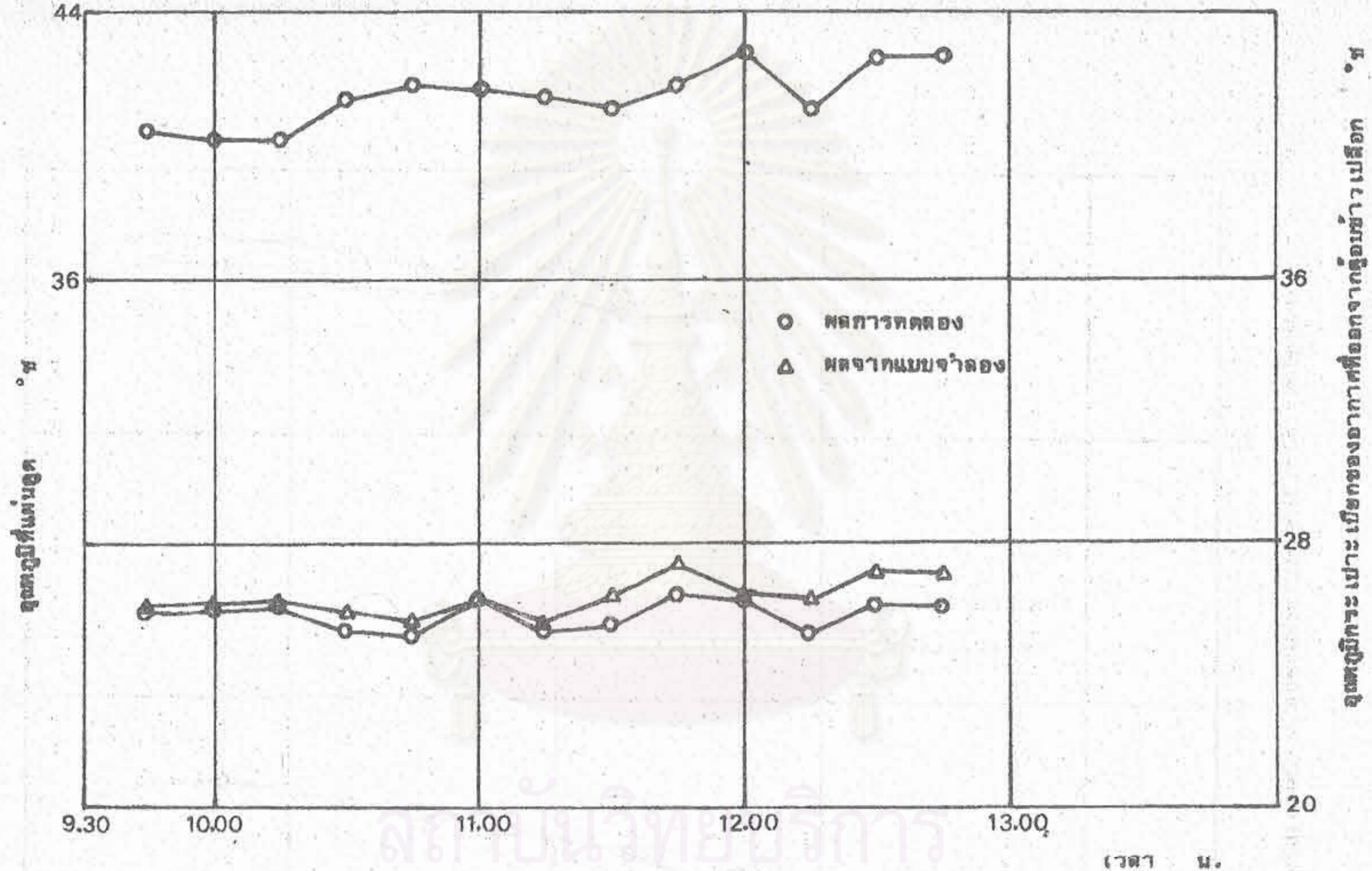
รูปที่ 4.12 อุณหภูมิของอากาศที่ออกจากแผงรับแสงอาทิตย์และอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ออกจากตู้อบข้าวเปลือก (6 มกราคม 2524)



รูปที่ 4.13 อุณหภูมิที่แผ่นดูดและอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่ออกจากตู้อบข้าวเปลือก(25 ธันวาคม 2523)



รูปที่ 4.14 อุณหภูมิที่แผ่นดูดและอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่ออกจากตู้อบข้าวเปลือก (26 ธันวาคม 2523)



รูปที่ 4.15 อุณหภูมิที่แผ่นดูดและอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่ออกจากตู้อบข้าวเปลือก (6 มกราคม 2524)

4.5.6 การเปรียบเทียบอุณหภูมิที่แผ่นดูดพลังงานแสงอาทิตย์

ค่าอุณหภูมิที่แผ่นดูดแสงอาทิตย์จากการทดลองพบว่ามีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศที่ออกจากแผงรับแสงอาทิตย์เท่ากับ 1.8 - 8.86°ซ นอกจากนั้น ในช่วงแรกของการทดลองค่าอุณหภูมิที่แผ่นดูดแสงอาทิตย์มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศที่ออกจากแผงรับแสงอาทิตย์มาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่แผงรับแสงอาทิตย์ได้สะสมพลังงานความร้อนไว้บางส่วน

4.5.7 สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองอบแห้งข้าวเปลือก 50 กิโลกรัม ขนาดแผงรับแสงอาทิตย์ 1 ตร.เมตร ความชื้นของข้าวเปลือกเริ่มแรก 21-23% มาตรฐานแห้ง อัตราการไหลของอากาศเข้าตู้อบ 273.51 ลบ.ม./ชม. กำหนดความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือก 16.3% มาตรฐานแห้ง วัดอุณหภูมิอากาศที่ไหลเข้าห้องอบได้ประมาณ 31.0 - 40.90°ซ เวลาที่ใช้ในการอบประมาณ 2.75 - 4.25 ชม. หรือมีอัตราลดความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.41% มาตรฐานแห้งต่อช่วงเวลา 15 นาที คำนวณประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์ได้เท่ากับ 78.13%* จากข้อมูลที่ได้ใส่พารามิเตอร์และตัวแปรต่างๆที่ได้จากการทดลองให้กับแบบจำลอง กำหนดปริมาณข้าวเปลือกที่เข้าอบแห้ง 50 กิโลกรัม อัตราการไหลของอากาศเข้าตู้อบ 273.51 ลบ.ม./ชม. ขนาดของแผงรับแสงอาทิตย์ 1 ตร.ม. ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนพื้นราบ ความชื้นแรกเริ่มของข้าวเปลือก และระยะเวลาที่ใช้ในการอบเท่ากับที่ได้และที่ใช้ในการทดลอง วัดค่าความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือก อุณหภูมิของอากาศที่เข้าตู้อบ และประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์ โดยเฉลี่ยได้ความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกประมาณ 15.85 - 17.98% มาตรฐานแห้ง อุณหภูมิของอากาศที่เข้าตู้อบประมาณ 30.51 - 40.90°ซ อัตราการลดความชื้น 0.32% มาตรฐานแห้งต่อช่วงเวลา 15 นาที และประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์เท่ากับ 74.97%*

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองแสดงไว้ในภาคผนวก จ. หรือที่แสดงในรูปที่ 4.7 - 4.15 โดยสรุป ผลการทดสอบแสดงว่า แบบจำลองน่าจะใช้แทนระบบงานจริงในการคำนวณออกแบบ ศึกษาและคาดคะเนพฤติกรรมของระบบงานได้

---

* ประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์ (η) คำนวณได้จากสมการ

$$\eta = \dot{m}C_p(T_o - T_i)/H_T$$

เมื่อ $\dot{m}$ = อัตราการไหลของอากาศเข้าแผงฯ (จากการทดลอง) C_p = ความร้อนจำเพาะของอากาศ T_i, T_o = อุณหภูมิของอากาศที่ทางไหลเข้าและออกจากแผงฯ (จากการทดลอง) H_T = อัตราพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกบนระนาบที่ติดตั้งแผงฯ (จากการทดลอง)

อุณหภูมิของแผ่นดูดแสงอาทิตย์เฉลี่ยขณะทำการทดลอง (ดูรูปที่4.14) อยู่ในช่วง38-42°ซ ในขณะที่อุณหภูมิบรรยากาศประมาณ 30-33°ซ อัตราความร้อนสูญเสียจากแผงรับแสงอาทิตย์ต่ำหรือประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงฯสูง

4.6 การทดลองเพื่อการประยุกต์ใช้งาน

จากการทดสอบกับเครื่องอบข้าวขนาดย่อส่วน พบว่าการคำนวณออกแบบเครื่องอบข้าวโดยการจำลองแบบถูกต้อง จากแบบจำลองดังกล่าวอาจใช้ในการคำนวณออกแบบเครื่องอบข้าวขนาดใดก็ได้สำหรับสถานที่ที่จะติดตั้งเครื่องอบข้าวนั้นๆ

จากเครื่องอบข้าวขนาดย่อส่วนยังได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาเกี่ยวกับความแตกต่างของผลของการสีข้าวที่ผ่านการอบด้วยเครื่องกับการตากธรรมชาติและเพื่อศึกษาผลของการไม่อบแห้งไม่ว่าด้วยวิธีใด

4.6.1 วิธีดำเนินการทดลอง

1. การอบ

ในการทดลอง ได้ทำการสุ่มตัวอย่างข้าวเปลือก 10% ที่มีความชื้นสูงกว่า 18% มาใช้ในการทดลอง ในการอบแต่ละครั้ง ใช้ตัวอย่างข้าวเปลือก 15 - 50 ก.ก. ความหนาของชั้นข้าวที่อบ 5 - 10 ซม. ทำการอบจนกระทั่งความชื้นลดลงใกล้เคียง 14% แล้วบันทึกเวลาที่ใช้ในการอบเพื่อใช้ในการหาเวลาที่ชาวนาควรจะใช้ในการอบ

2. การแปรสภาพ

ข้าวที่ผ่านการอบจะถูกนำไปแปรสภาพ โดยใช้เครื่องสีข้าวของกรมวิชาการเกษตร เพื่อหาเปอร์เซนต์ข้าวหัวที่ได้จากการสี และเทียบกับมาตรฐานที่หน่วยราชการอื่นๆเคยทดสอบไว้ เมื่อแปรสภาพเสร็จได้นำบางส่วนไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อทดสอบช่วงเวลาที่ข้าวจะมีมอดขึ้นหรือกลายสภาพเป็นข้าวเสีย

3. การทดลอง

นำข้าวที่มีความชื้นระดับต่างๆครั้งละ 15 - 50 ก.ก. ใส่ลงในช่องอบ เกลี่ยผิวข้าวเปลือกให้เรียบแล้วปิดฝาครอบเพื่อป้องกันความร้อนจากการแผ่รังสีโดยตรงของดวงอาทิตย์ ในการทดลองทำการวัดความชื้นของข้าวเปลือกทุกๆ 15 นาที เพื่อดูว่าความชื้นลดลงเหลือใกล้เคียงกับ 14% หรือยัง ทำการเกลี่ยข้าวเปลือกทุกๆ 1 ชม. เพื่อมิให้ส่วนล่างของข้าวเปลือกที่อยู่ติดลมร้อน แห้งเกินไป

เมื่อข้าวเปลือกมีความชื้นลดลงใกล้เคียงกับค่าความชื้น 14% หยุดเครื่องอบแล้วนำข้าวที่อบแห้งแล้วออกจากเครื่องทิ้งไว้ให้เย็นตัวลงในอากาศเพื่อลดความเครียดที่เกิดขึ้นระหว่างการอบ นำข้าวเปลือกที่อบแล้วไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักหลังการอบ แล้วดำเนินการทดลองกับตัวอย่างข้าวส่วนอื่นๆต่อไป

4. ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1

ผลการใช้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือก

ตัวอย่างที่	ความชื้นก่อนอบ wb	น.น.ก่อนอบ kg	ความชื้นหลังอบ wb	น.น.หลังอบ kg	เวลาอบ ชม.	ความหนาชั้นข้าว(ซม.)
1	16.0	25	13.0	24.2	0.45	10.3
2	15.2	25	13.0	24.1	1.15	9.0
3	15.6	25	13.0	24.1	1.15	9.0
4	18.5	15	13.0	14.0	1.46	5.0
5	17.2	16.5	13.0	15.2	1.38	6.0
6	17.3	50	13.0	47.0	4.15	10.0
7	17.8	50	13.6	46.5	3.30	10.0
8	17.7	50	13.7	46.7	3.00	10.0
9	17.2	50	14.0	47.0	2.45	10.0
10	18.5	50	14.3	46.0	4.15	10.0
11	18.2	50	14.3	46.0	3.45	10.0
12	17.6	50	14.3	47.0	3.15	10.0
13	17.5	50	14.3	47.0	3.00	10.0
14	17.7	50	14.4	47.0	3.00	10.0
15	17.6	50	13.7	47.0	3.00	10.0

ตารางที่ 4.2

ผลการอบโดยการตากลาน

ตัวอย่างที่	ความชื้นก่อนอบ	น.น.ก่อนอบ	ความชื้นหลังอบ	น.น.หลังอบ	เวลาอบ	ความหนา
	wb	kg	wb	kg	ชม.	ชั้นข้าว (ซม.)
1	16.0	10	13.0	9.2	2.0	3.5
2	17.6	10	16.3	9.8	5.2	3.5
3	18.5	15	13.5	14.0	6.2	5.0
4	17.8	15	13.6	14.2	5.5	5.0
5	17.2	15	14.4	14.5	6.3	5.0
6	17.7	15	15.4	14.2	6.2	5.0
7	18.0	15	16.0	14.5	6.5	5.0
8	17.6	15	15.2	14.0	5.8	5.0
9	18.2	15	16.0	14.2	6.2	5.0
10	17.7	15	14.8	14.3	5.3	5.0

ตารางที่ 4.3

ผลการแปรสภาพข้าว

ตัวอย่างที่	น.น.ข้าวเปลือก	ความชื้น	น.น.ข้าวหัว	น.น.ข้าวท่อน	น.น.ปลายข้าว	น.น.รำ
	kg	wb	kg	kg	kg	kg
1	73.8	14.0	28.0	18.8	2.3	6.0
2	76.7	14.0	25.7	16.1	1.7	5.6
3	63.8	13.8	28.8	11.1	1.3	6.5
4	69.0	14.0	30.2	10.9	1.3	5.2
5	58.7	11.2	17.6	14.9	3.5	9.6
6	60.0	11.1	16.7	15.0	4.0	10.2

อัตราการแปรรูปข้าวเปลือกเป็นข้าวสาร

เฉลี่ยการสีข้าวเปลือก 1 ตัน (1000 กก.) จะได้ข้าวต้น ข้าวหัก ปลายข้าวและรำ โดยประมาณดังนี้

ชนิดของข้าวเปลือก / ชนิดของข้าวสารที่สีได้	100% ชั้น 2 ก.ก.	5% ก.ก.	10% ก.ก.	15% ก.ก.	25% ก.ก.	ขนข. 10% ก.ก.	ขนข. 10% ก.ก.
ข้าวต้น (ข้าวหัว)	450	460	450	450	460	450	400
ข้าวหัก เอ.วันเลิศพิเศษ	30	–	–	–	–	–	–
ข้าวหัก เอ.วัน เลิศ	125	145	–	–	–	–	–
ข้าวหัก เอ.วัน พิเศษ	–	–	150	147	–	150	200
ข้าวหัก เอ.วัน ธรรมดา	–	–	–	–	132	–	–
ปลายข้าว ซี.วัน เลิศ	40	40	–	–	–	–	–
ปลายข้าว ซี.วัน พิเศษ	–	–	–	–	–	30	30
ปลายข้าว ซี.วัน ธรรมดา	–	–	45	45	50	–	–
ปลายข้าว ซี.ทรี	15	15	15	18	18	12	14
รวมเนื้อข้าว	660	660	660	660	660	642	644
รำข้าวขาว	80	75	72	70	65	75	75
รำข้าวกล้อง	30	30	30	30	30	30	30
รวมทั้งหมด	770	765	762	760	755	747	749

ที่มา : กองสหกรณ์การเกษตร
กรมส่งเสริมสหกรณ์

4.6.2 <u>การสรุปผลการทดลอง</u>

ตารางที่ 4.5

ผลการใช้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือก

ตัวอย่างที่	น.น.ที่หายไป (%)	เวลา/น.น./ความหนาชั้นข้าว (นาที)
1	3.2	0.17
2	3.6	0.33
3	3.6	0.33
4	6.7	1.41
5	7.9	0.99
6	6.0	0.51
7	7.0	0.42
8	6.6	0.36
9	6.0	0.33
10	8.0	0.51
11	8.0	0.45
12	6.0	0.39
13	6.0	0.36
14	6.0	0.36
15	6.0	0.36
เฉลี่ย	6.04	0.51

ตารางที่ 4.6

ผลการอบโดยการตากลาน

ตัวอย่างที่	น.น.ที่หายไป (%)	เวลา/น.น./ความหนาชั้นข้าว (นาที)
1	8.0	3.43
2	2.0	9.14
3	6.7	5.07
4	5.3	4.67
5	3.0	5.20
6	5.3	5.07
7	3.0	5.47
8	6.7	4.40
9	5.3	5.07
10	4.7	4.04
เฉลี่ย	3.33	5.19

จากตารางที่ 4.5 และ 4.6 จะเห็นได้ว่า น.น.ที่หายไปเนื่องจากการอบแห้งนั้นดูเหมือนว่า การอบโดยใช้เครื่องจะทำให้ น.น.ของข้าวหายไปมากกว่าการตากลาน แต่การสรุปในลักษณะดังกล่าวไม่อาจกระทำได้ เนื่องจากการทดลองมิได้กระทำเป็นคู่ ความชื้นก่อนและหลังการอบของสองการทดลองไม่เท่ากัน สาเหตุที่ทำให้ไม่อาจกระทำการทดลองแบบเป็นคู่ได้เพราะการตากลานนั้นไม่อาจควบคุมความชื้นสุดท้ายของข้าวได้ เนื่องจากการทดลองจะต้องกระทำให้เสร็จในแต่ละวัน เพื่อป้องกันการกลับไปดูดความชื้นในตอนกลางคืนของข้าวที่ตากลาน ดังนั้นจึงไม่อาจรอจนได้ความชื้นเท่ากับที่ได้จากเครื่อง ส่วนการอบโดยใช้เครื่อง การวัดค่าความชื้นในการทดลองได้ทำการวัดเป็นช่วงไม่อาจควบคุมความชื้นได้แน่นอน แต่ในขณะเดียวกัน จะเห็นได้ชัดว่าการอบแห้งโดยใช้เครื่องใช้เวลาน้อยกว่าการตากลานมาก แสดงว่า เครื่องอบแห้งมีประสิทธิภาพดีกว่าการตากลาน

จากตารางที่ 4.7 แสดงว่าการแปรสภาพข้าวที่ผ่านเครื่องอบแห้งให้ ข้าวหัว/ข้าวเปลือก และส่วนที่ใช้ประโยชน์/ข้าวเปลือก ต่ำกว่ามาตรฐานการแปรสภาพข้าวที่ทำไว้โดยกองสหกรณ์การเกษตร ความแตกต่างดังกล่าวอาจเนื่องมาจากปริมาณข้าวเปลือกที่ใส่เข้าในเครื่องสีข้าว ในกรณีของการทดลองมีปริมาณน้อยกว่าที่กองสหกรณ์การเกษตรมาก ความเสียหายที่เกิดขึ้นระหว่างการสี เช่น การตกหล่น

ตารางที่ 4.7

ผลการแปรสภาพข้าว

ตัวอย่างที่	ข้าวหัว/ข้าวเปลือก (%)	ส่วนใช้ประโยชน์/ข้าวเปลือก[1] (%)
1	37.84	74.66
2	33.51	64.02
3	45.41	74.76
4	43.77	68.99
5	28.98	77.68
6	27.83	76.50

1. ส่วนใช้ประโยชน์ = ข้าวหัว + ข้าวท่อน + ปลายข้าว + รำข้าว

จึงให้ผลเด่นชัดกว่า

หลังจากนำข้าวเปลือกไปสีเป็นข้าวสารแล้ว ได้ทดลองเก็บข้าวสารที่มีความชื้น 14% นั้นไว้เป็นเวลา 8 เดือน พบว่าไม่มีโรคข้าว หรือมีแมลงหรือเชื้อราเกิดขึ้น ส่วนข้าวสารที่มีความชื้น 17 - 18% หลังจากเก็บไว้เพียงเดือนเดียวก็ปรากฏมีแมลงและมอดเกิดขึ้น

บทที่ 5

ต้นแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก

ในบทที่ 4 ที่ผ่านมา ได้กล่าวถึงการออกแบบและการสร้างเครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดความจุ 50 ก.ก. ชื้นเพื่อใช้ในการทดลอง เก็บข้อมูลสำหรับใช้ออกแบบเครื่องอบข้าวขนาดใช้งานจริง ซึ่งควรมีขนาดความจุข้าวเปลือก 1000 ก.ก. การออกแบบเครื่องอบข้าวขนาดจริงจะใช้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบข้าวไม่เกิน 6 ชั่วโมง ส่วนเวลาที่เหลือสำหรับวันนั้นๆจะใช้เพื่อการนำข้าวที่แห้งได้ความชื้นที่ต้องการแล้วไปเก็บและนำข้าวที่ชื้นบรรจุเข้าเครื่องเพื่อรอการอบในวันต่อไป

5.1 <u>เครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์</u>

เครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วยส่วนประกอบคือ แผงรับแสงอาทิตย์ ห้องอบ ระบบท่อส่งอากาศร้อน และพัดลม สมมติฐานที่ใช้ในการออกแบบเครื่องอบข้าวขนาดใช้งานจริงมีดังนี้

1. ขนาดความจุข้าวเปลือกของเครื่องอบ 1000 ก.ก. ห้องอบติดตั้งเอียงทำมุมกับระนาบระดับความหนาของชั้นข้าวเปลือก 0.15 ม. ห้องอบติดตั้งอยู่ภายในยุ้งข้าวซึ่งกำหนดให้มีขนาดแต่ละห้องเท่ากับ 4 x 4 x 4 ม.

2. แผงรับแสงอาทิตย์จะใช้หลังคาของยุ้งข้าวซึ่งเป็นสังกะสีลูกฟูกเป็นแผ่นดูดแสงอาทิตย์ แล้วปิดด้านบนด้วยกระจกใส ขนาดของแผงรับแสงอาทิตย์ที่ใช้ต้องจ่ายลมร้อนอุณหภูมิไม่เกิน 43 ซ ในปริมาณที่อบข้าวความชื้นประมาณ 21% มาตรฐานเปียก ให้ลดลงเหลือ 14% มาตรฐานเปียก ในเวลาไม่เกิน 6 ชั่วโมง

<u>ขนาดของเครื่องอบ</u>

สมการที่ใช้คำนวณปริมาตรของข้าวเปลือกคือ

ปริมาตรข้าวเปลือก = น.น.ข้าวเปลือก/ความหนาแน่นข้าวเปลือก

ความหนาแน่นข้าวเปลือก $= 499.70 + 8.33(M_o \times 100/M_o + 100)$

เมื่อ M_o = ความชื้นเริ่มแรกของข้าวเปลือกเป็นมาตรฐานแห้ง

โดยใช้สมการข้างบน สำหรับข้าวเปลือกที่ความชื้นประมาณ 21% จะได้ความหนาแน่นข้าวเปลือกเท่ากับ 645 ก.ก./ม^3 สำหรับเครื่องอบขนาด 1000 ก.ก. ปริมาตรห้องอบจะเท่ากับ 1.55 ม^3

<u>ขนาดแผงรับแสงอาทิตย์</u>

พิจารณาจากผลการทดลองของเครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดจำลองตามที่กล่าวถึงในบทที่ 4 แผงรับแสงอาทิตย์ที่ใช้สำหรับเครื่องอบข้าวขนาดจริงจะเท่ากับ 16 ม^2 และมีรายละเอียดดังนี้

โดยที่แผงรับแสงอาทิตย์จะติดตั้งบนหลังคายุ้งข้าวซึ่งกำหนดให้มีขนาด 4 X 4 X 4 ม หลังคาจะยื่นจากยุ้งข้าว เป็นกันสาดไปทางด้านหน้าและด้านหลังด้านละ 1 เมตร การพิจารณาขนาดความกว้างและความยาวของแผงรับแสงอาทิตย์มีรายละเอียดที่ใช้ในการพิจารณาดังนี้

1. โดยการเลือกใช้ขนาดของกระจกใสมาตรฐาน (ความหนา 3 มม.) ขนาด 36 นิ้ว x 42 นิ้ว นำมาวางต่อกันบนหลังคายุ้งข้าวให้ได้พื้นที่รับแสงอาทิตย์ 16 $ม^3$ การเลือกตำแหน่งวางกระจกและคานรองรับกระจกจะขึ้นกับ bending stress ที่เกิดจากบรรยากาศและน้ำหนักของกระจก โดยที่ bending stress ที่เกิดขึ้นต้องไม่เกิน bending stress ของกระจกซึ่งเท่ากับ 1000 lb_f/in^2 (37)

2. ความสูงของแผงรับแสงอาทิตย์หมายถึงช่องที่อากาศไหลผ่านตามความยาวของแผง ความสูงของช่องดังกล่าวมีผลโดยตรงกับประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์ ในขณะเดียวกันก็มีผลโดยตรงต่อความดันซึ่งสูญเสียเมื่ออากาศไหลผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ด้วย เช่น ถ้าความสูงดังกล่าวมีค่าน้อย แฟคเตอร์ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์จะมีค่าสูงซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงด้วย ในขณะเดียวกันก็จะทำให้การสูญเสียความดันของอากาศเมื่อไหลผ่านแผงรับแสงอาทิตย์สูงทำให้ต้องใช้กำลังงานในการหมุนพัดลมสูงตามไปด้วย ดังนั้นการพิจารณาความสูงของแผงจึงต้องเลือกความสูงที่จะให้ผลประโยชน์ตอบแทนรายปีสูงสุด

จากการพิจารณาเบื้องต้นพบว่าแผงรับแสงอาทิตย์ควรมีขนาดตามที่แสดงในรูปที่ 5.1 แผงรับแสงอาทิตย์แบ่งเป็น 3 ช่อง แต่ละช่องกว้างเท่ากับกระจกหนึ่งแผ่นหรือ 42" (1.07 ม) ความยาวของแผงซึ่งวางตามแนวลาดชันของหลังคาประกอบด้วยกระจก 64 แผ่น ขนาดความยาว 36" (92 ซม.) วางต่อกันเป็นความยาวทั้งหมด 5.0 ม. การคำนวณขนาดความสูงของแผงรับแสงอาทิตย์มีดังนี้

<u>อัตราการไหลของอากาศผ่านแผงรับแสงอาทิตย์</u>

เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน อัตราการไหลจะเป็นแบบที่อัตราการไหลคงที่ การคำนวณหาอัตราการไหลสูงสุดคำนวณได้โดยใช้ข้อมูลจากการทดลองเครื่องอบข้าวขนาดจำลองตามที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 ซึ่งพบว่า อัตราพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดจะอยู่ช่วงเวลา 12.00 - 13.00 น. มีค่าประมาณ 2800 กิโลจูลล์/$ม^2$ชม. และโดยการใช้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์เป็น 75% และอุณหภูมิสูงสุดของอากาศร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ไม่เกิน 43 ซ อัตราการไหลของอากาศผ่านแผงรับแสงอาทิตย์จะมีค่าเป็น 190 กิโลจูลล์/$ม^2$ชม. หรืออัตราการไหลของอากาศในเครื่องอบข้าวเท่ากับ 3054 ก.ก./ชม. จากแผงรับแสงอาทิตย์ที่ออกแบบไว้แบ่งเป็น 3 ช่อง แต่ละช่องมีอากาศไหลผ่านเท่ากับ 1018 ก.ก./ชม.

ความสูงของแผงรับแสงอาทิตย์

ลำดับขั้นตอนในการคำนวณความสูงของแผงรับแสงอาทิตย์มีดังนี้

1. คำนวณอัตราพลังงานที่ได้จากแผงรับแสงอาทิตย์ Q_u คำนวณโดยใช้สมการที่ 1

$$Q_u = AF'(H_T\tau_\alpha - u_L(T_m - T_a)) \qquad ......5.1$$

เมื่อ F' คำนวณได้โดยใช้สมการที่ 2

$$F' = (1 + (h_r u_t/(h_r h_1 + h_2 u_t + h_2 h_r + h_1 h_2)))^{-1} \qquad ......5.2$$

และ u_L คำนวณโดยใช้สมการที่ 3

$$u_L = u_t/(1 + u_t h_2/(h_1 h_2 + h_1 h_r + h_2 h_r)) \qquad ......5.3$$

โดยกำหนดความสูงของแผงรับแสงอาทิตย์เป็น d เมตร อัตราพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 2800 กิโลจูลล์ อัตราการไหลของอากาศผ่านแผงเป็น 190 ก.ก./ม^{2}ชม. อุณหภูมิของบรรยากาศเฉลี่ย 32 ซ และลักษณะของแผงเป็นแบบที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.1 แล้วใช้สมการที่ 1 ถึง 3 อัตราพลังงานที่ได้จากแผงรับแสงอาทิตย์ Q_u จะคำนวณได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.1

Friction Loss เมื่ออากาศไหลผ่านแผงรับแสงอาทิตย์

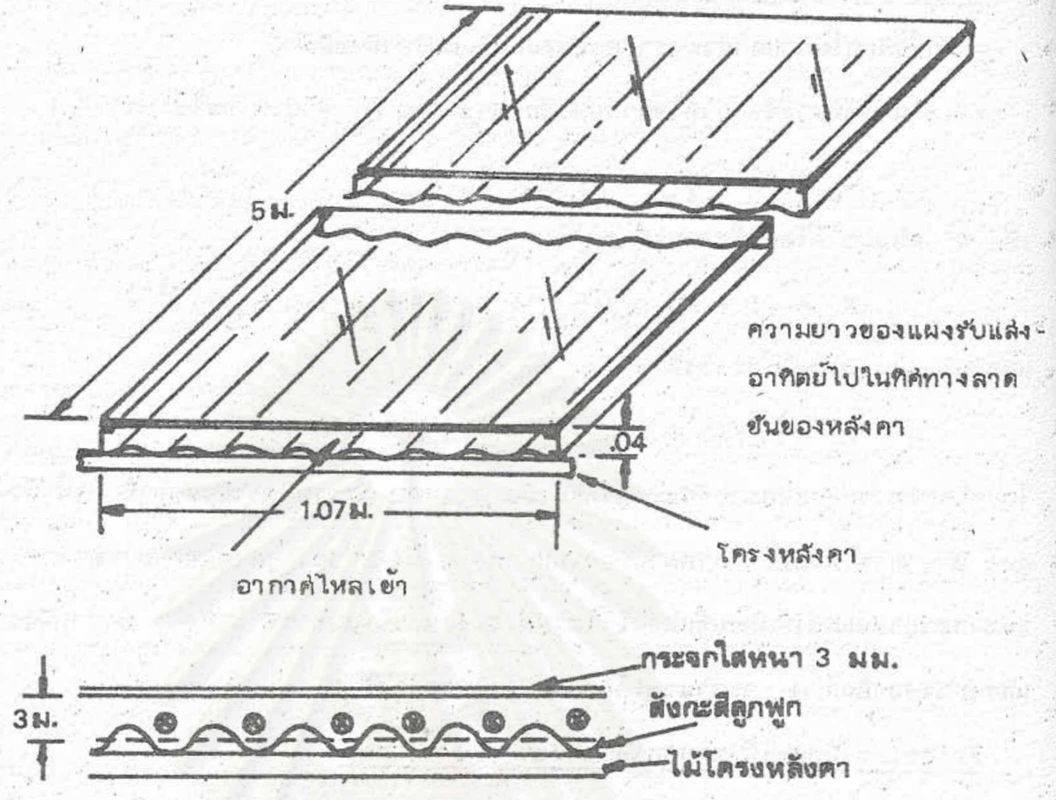
ช่องว่างในแผงรับแสงอาทิตย์ที่อากาศไหลผ่าน เปรียบเหมือนท่อสี่เหลี่ยม โดยการเปลี่ยนท่อเหลี่ยมดังกล่าวเป็นท่อกลมขนาดที่ให้ Friction Loss ต่อหน่วยความยาวคงเดิม จะได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเป็น d_c เมตร จากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง d_c ที่ได้กับอัตราการไหลของอากาศที่ต้องการ Friction Loss เมื่ออากาศไหลผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ขนาดพื้นที่หน้าตัด 1.07 ม x d_cม จะคำนวณได้(38) สมการที่ใช้ในการเปลี่ยนท่อเหลี่ยมให้เป็นท่อกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง d_c (38)คือ

$$d_c = 1.30(ab)^{0.625}/(a + b)^{0.25} \qquad ....5.4$$

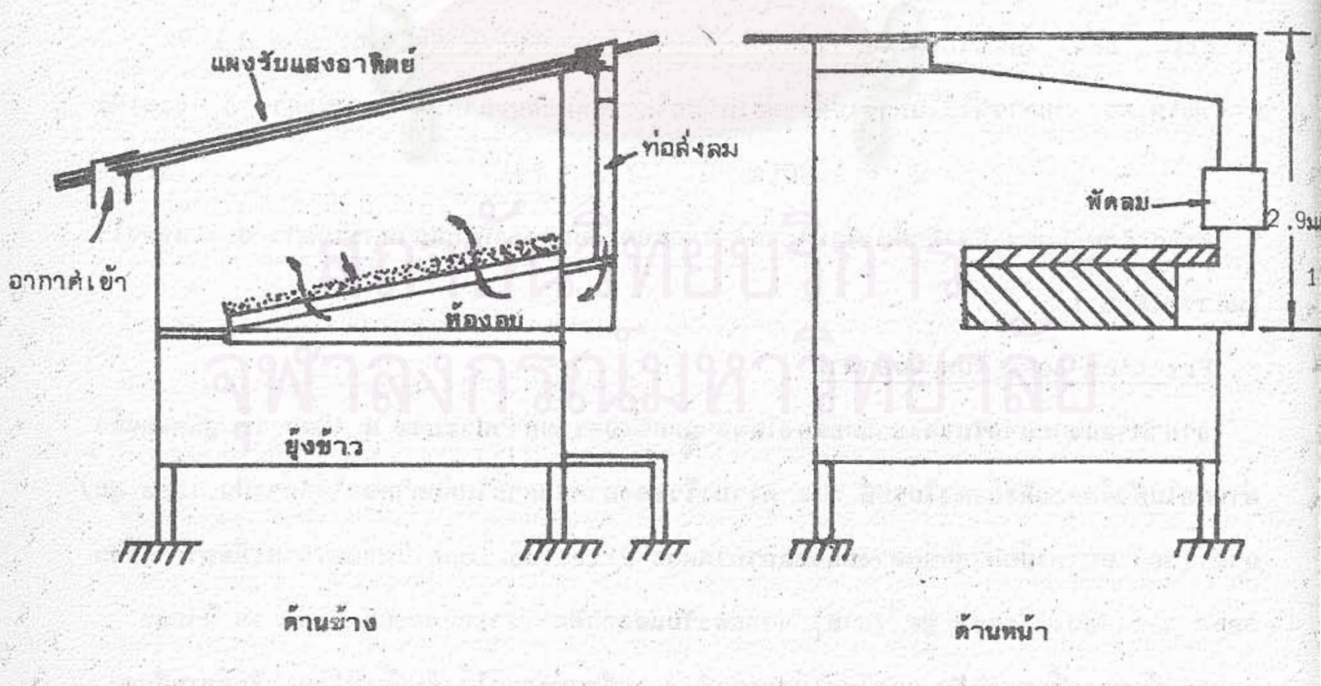
Friction Loss ซึ่งเกิดขึ้นเมื่ออากาศไหลผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ขนาดความยาว 5 ม แสดงไว้ในตารางที่ 5.1

Friction Loss ในท่อส่งอากาศ

อากาศร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ต้องไหลผ่านท่อซึ่งมีความยาวประมาณ 8 เมตร เข้าสู่พัดลมแล้วผ่านต่อไปยังห้องอบดังแสดงในรูปที่ 5.2 ความเร็วของอากาศภายในท่อกำหนดให้มีค่าเป็น 1200 ฟุต/นาที (38) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่ออากาศและ Friction Loss ในท่ออากาศเมื่ออากาศร้อน 3054 ก.ก./ชม. (1614 ฟุต^3/นาที) จากแผงรับแสงอาทิตย์เข้าเครื่องอบมีค่าเป็น 16 นิ้วและ 0.026 นิ้วของน้ำตามลำดับ และโดยใช้สมการที่ 4 เปลี่ยนท่อกลมให้เป็นท่อเหลี่ยมจะได้ท่อเหลี่ยม



รูปที่ 5.1 ลักษณะของแผงรับแสงอาทิตย์ที่ใช้ในเครื่องอบข้าวแสงอาทิตย์



รูปที่ 5.2 แสดงท่อส่งอากาศร้อนและห้องอบข้าว

ตารางที่ 5.1

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและ Friction Loss ในแผงรับแสงอาทิตย์

อัตราการไหล ของอากาศ	d m.	R_e [1]	u_L kJ/m^2K	F'	q_u $watt/m^2$	η %	d_c [2] in.	h_{1_c} [3] in.water
kg/hr	(in.)							
1016.0	0.02	29216	14.98	0.958	569	73.2	4.54	1.650
=37.93	(.79)							
lb/min	0.03		13.58	0.926	556	71.4	5.82	0.450
	(1.18)							
	0.04		12.62	0.893	540	69.4	6.94	0.190
	(1.57)							
	0.05		11.92	0.868	528	67.8	7.98	0.075
	(1.97)							
	0.06		11.38	0.846	517	66.5	8.92	0.041
	(2.36)							
	0.08		10.63	0.812	499	64.2	10.63	0.018
	(3.15)							
	0.10		10.11	0.787	486	62.5	12.16	0.009
	(3.93)							

1. $R_e = \dot{m}D_H/Af\mu = 1016(2 \times d)/(1.07 \times d) \times \mu$
2. $d_c = 1.30(ab)^{0.625}/(a + b)^{0.25}$ $a = 107/2.54 = 42.12$ in. $b = d$ in.
3. h_1 = Friction Loss เมื่ออากาศไหลผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ซึ่งยาว 5 เมตร

ขนาด 21" x 11"

นอกจากท่ออากาศแล้ว ระบบท่อส่งอากาศยังประกอบด้วยท่องอ 90° 3อัน การหาFriction Loss ในท่องอ ทำได้โดยเปลี่ยนท่องอให้เป็นท่อตรงซึ่งมีขนาดความยาวที่ให้ Friction Loss เท่ากับท่องอ แล้วใช้แผนภูมิในเอกสารอ้างอิง (38)เพื่อหาค่า Friction Loss ซึ่งจะให้ค่า Friction Loss เท่ากับ 0.029 นิ้วของน้ำ Friction Loss ที่เหลือได้แก่ Friction Loss ที่ทางอากาศไหลออกและเข้าจากพัดลม ที่ทางอากาศไหลออกและไหลเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ซึ่งกำหนดให้มี Friction Loss เท่ากับ 20% ของ Friction Loss ในระบบท่อ นั่นคือ Friction Loss ทั้งหมดในระบบท่อส่งอากาศมีค่าเท่ากับผลบวกของ Friction Loss ในท่อ ในท่องอ และที่ทางไหลออกและไหลเข้าพัดลมและแผงรับแสงอาทิตย์ ซึ่งเท่ากับ 0.066 นิ้วของน้ำ

Bending Stress บนกระจกปิดบนแผงรับแสงอาทิตย์

กระจกใสที่ใช้ปิดด้านบนแผงรับแสงอาทิตย์เป็นกระจกใสหนา 3 มม. โดยที่ระบบส่งอากาศร้อนได้ออกแบบในลักษณะที่ติดตั้งพัดลมหลังแผงรับแสงอาทิตย์ ทำให้ความดันภายในแผงรับแสงอาทิตย์จะเป็นความดันที่ต่ำกว่าความดันบรรยากาศ กระจกใสปิดด้านบนจึงต้องออกแบบให้สามารถรับแรงกดบรรยากาศได้

รูปที่ 5.3 แสดงภาคตัดของแผงรับแสงอาทิตย์ ด้านบนของกระจกจะมีแรงดันเนื่องจากความดันของบรรยากาศและความดันเนื่องจากน้ำหนักของกระจก

ความเค้นเนื่องจากการโก่งงอสูงสุดของกระจก = $6M/bh^2$

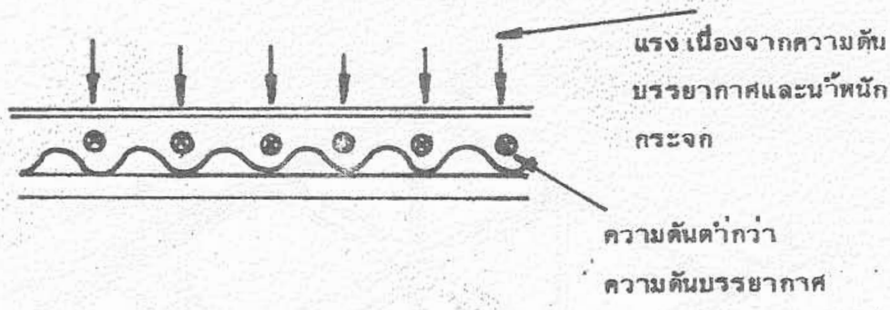
เมื่อ M = โมเมนต์เนื่องจากการโก่งงอสูงสุด(ปอนด์-นิ้ว)

b = ความกว้างเป็นนิ้ว

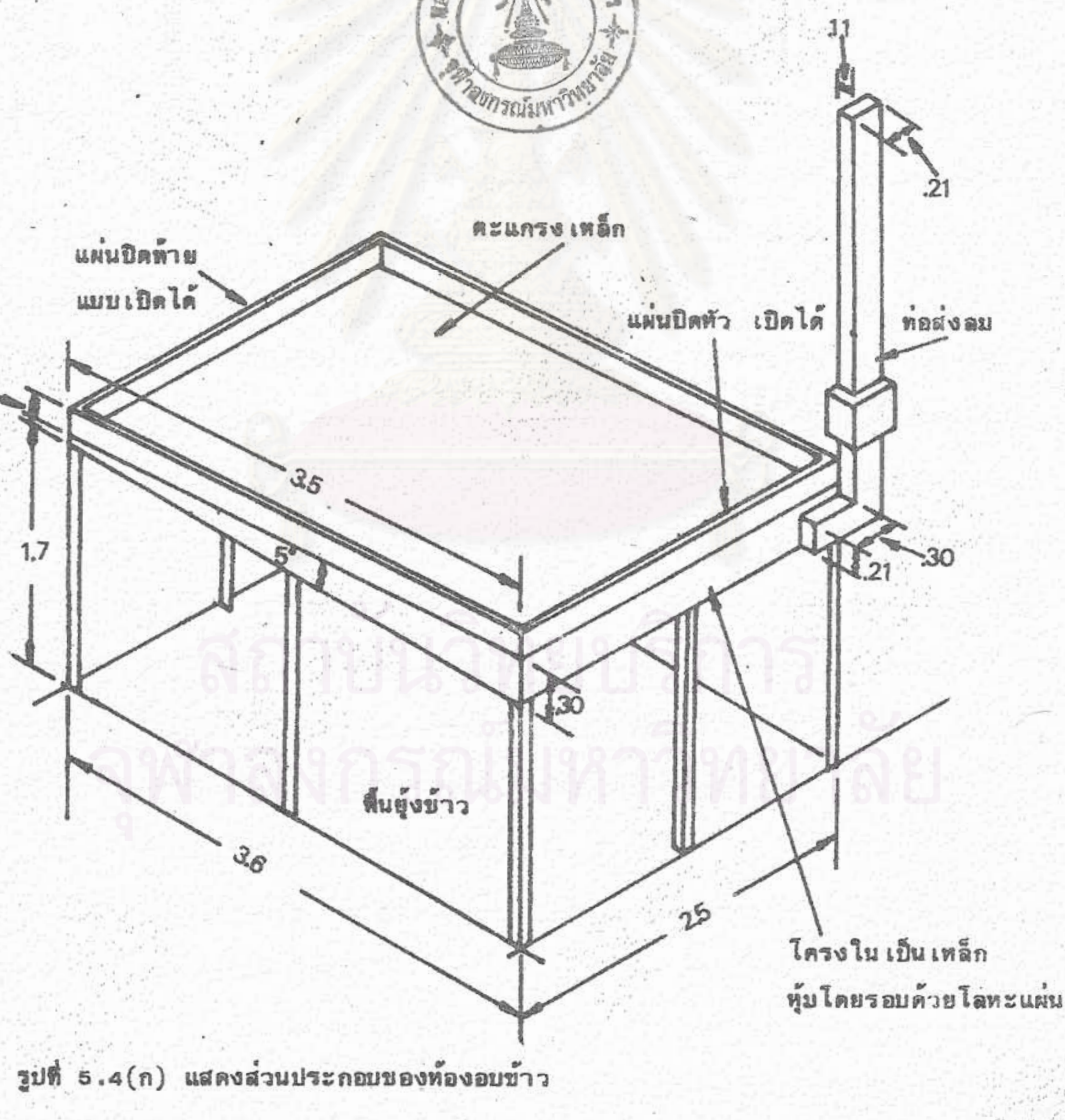
h = ความหนาเป็นนิ้ว

กระจกใสที่ใช้ทำแผงรับแสงอาทิตย์จะให้ Tensile Stress สูงสุด 1000 ปอนด์/นิ้ว^2 ดังนั้นเหล็กตัว C ที่รองรับกระจกต้องอยู่ในลักษณะที่ให้ค่า 1 เหมาะสมที่จะทำให้ Stress ที่เกิดในกระจกไม่เกิน 1000 ปอนด์/นิ้ว^2 (37)

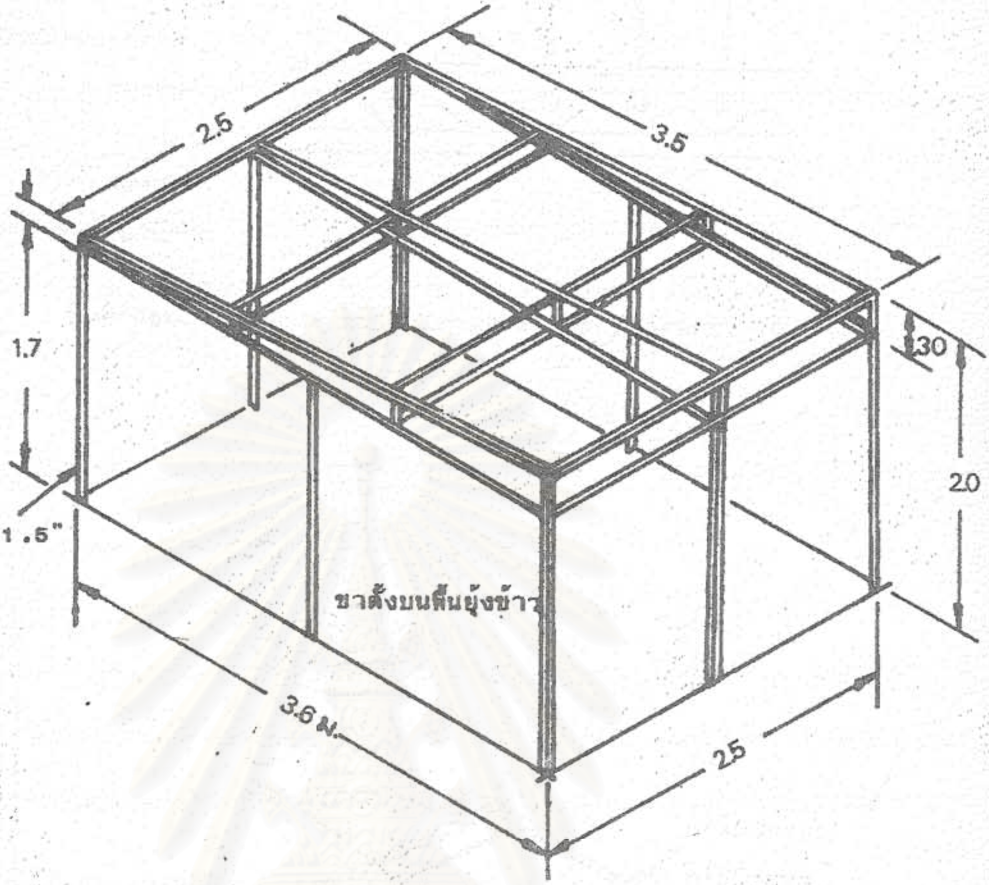
โดยแทนค่า b = 1 นิ้ว และ h = 3 มม. จะได้ M_{max} = 0.194 ฟุต-ปอนด์ โมเมนต์เนื่องจากการโก่งงอ ประกอบด้วยโมเมนต์เนื่องจากน้ำหนักของกระจก และโมเมนต์เนื่องจากแรงกดของอากาศบนกระจก กระจกใสขนาดความหนา 3 มม.ที่ใช้ น้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่มีค่าเป็น 0.01073 ปอนด์/นิ้ว^2 หรือถ้ากำหนดให้กระจกกว้าง 1 นิ้ว น้ำหนักต่อหน่วยความยาวของกระจกเท่ากับ 0.01073 ปอนด์/นิ้ว



รูปที่ 5.3 แรงภายนอกที่กระทำบนกระจกปิดด้านบนแผงรับแสงอาทิตย์



รูปที่ 5.4(ก) แสดงส่วนประกอบของห้องอบข้าว



รูปที่ 5.4(ข) แสดงโครงเหล็กภายในห้องอบ

ส่วนแรงกดของบรรยากาศจะขึ้นกับระยะห่างระหว่างกระจกกับแผ่นดูดแสงอาทิตย์ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดต่อไป

สมการของโมเมนต์เนื่องจากการโก่งงอสูงสุด $M_{max} = Wl^2/8x12$

เมื่อ W = Uniform Load เนื่องจากน้ำหนักกระจกและความดันบรรยากาศ

l = ระยะห่างของตัวรองรับกระจก

แทนค่า M_{max} เท่ากับ 0.194 ฟุต-ปอนด์ และ l = 42 นิ้ว ในสมการของโมเมนต์เนื่องจากการโก่งงอ จะได้ W เท่ากับ 0.1265 ปอนด์/นิ้ว^2 แต่โดยที่ Uniform Load เนื่องจากน้ำหนักของกระจกเท่ากับ 0.01073 ปอนด์/นิ้ว^2 จึงเหลือ Uniform Load เนื่องจากแรงกดของบรรยากาศเท่ากับ 0.1158 ปอนด์/นิ้ว^2 หรือเท่ากับความดันเนื่องจากความสูงน้ำ 0.267 นิ้วของน้ำ

ในกรณีที่กระจกซึ่งใช้ระยะห่างของตัวรับกระจก 42 นิ้ว ให้ค่า Uniform Load เนื่องจากความดันบรรยากาศต่ำ ก็อาจต้องเพิ่มตัวรองรับกระจกเข้าไปอีก เช่นถ้าเพิ่มตัวรองรับกระจกเข้าไปตรงกลาง 1 ตัว จะทำให้ค่า l ลดลงเป็น 21 นิ้ว ซึ่งจะทำให้กระจกที่ติดตั้งลักษณะนี้รับแรงกดของบรรยากาศเทียบเท่าแรงดันเทียบเท่าความสูงของน้ำเท่ากับ 1.142 นิ้วของน้ำเป็นต้น

<u>การสูญเสียความดันเมื่ออากาศไหลผ่านข้าวเปลือก</u>

จากเครื่องอบข้าวดังแสดงในรูปที่ 5.4 อากาศร้อนจากพัดลมไหลเข้าทางส่วนล่างของชั้นข้าวผ่านตระแกรงลวด ชั้นข้าวเปลือก และไหลออกจากยุ้งข้าวทางด้านหลัง เมื่อคำนึงถึงขนาดของยุ้งข้าวและช่องว่างสำหรับการขนถ่ายข้าวหลังการอบแห้งแล้ว พื้นที่หน้าตัดของชั้นข้าวซึ่งตั้งฉากกับทิศทางการไหลของอากาศเท่ากับ 3.5 x 2.5 เมตร หรือ 8.75 ม^2 (94.2 ฟุต^2) สำหรับข้าวเปลือกปริมาณ 1000 ก.ก.(1.55 ม^3) ความสูงของชั้นข้าวจะเท่ากับ 0.177 ม อัตราการไหลของอากาศในระบบเท่ากับ 1614 ฟุต^3/นาที ดังนั้นความเร็วลมเมื่อผ่านชั้นข้าวเท่ากับ 17.14 ฟุต/นาที โดยใช้รูปที่ 5.5 ความดันที่สูญเสียเมื่อไหลผ่านชั้นข้าวของอากาศเท่ากับ 0.167 นิ้วของน้ำ ส่วนความดันของอากาศเมื่อไหลผ่านตระแกรงโลหะที่รองรับข้าวเปลือก คำนวณได้จากสมการ

ความดันสูญเสียเมื่ออากาศผ่านตระแกรง, $P_{sh} = Cp_{\nu}$

เมื่อ C = สัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันของอากาศเมื่อไหลผ่านตระแกรง และ p_{ν} = ความดันเนื่องจากความเร็วของการไหล โดยที่

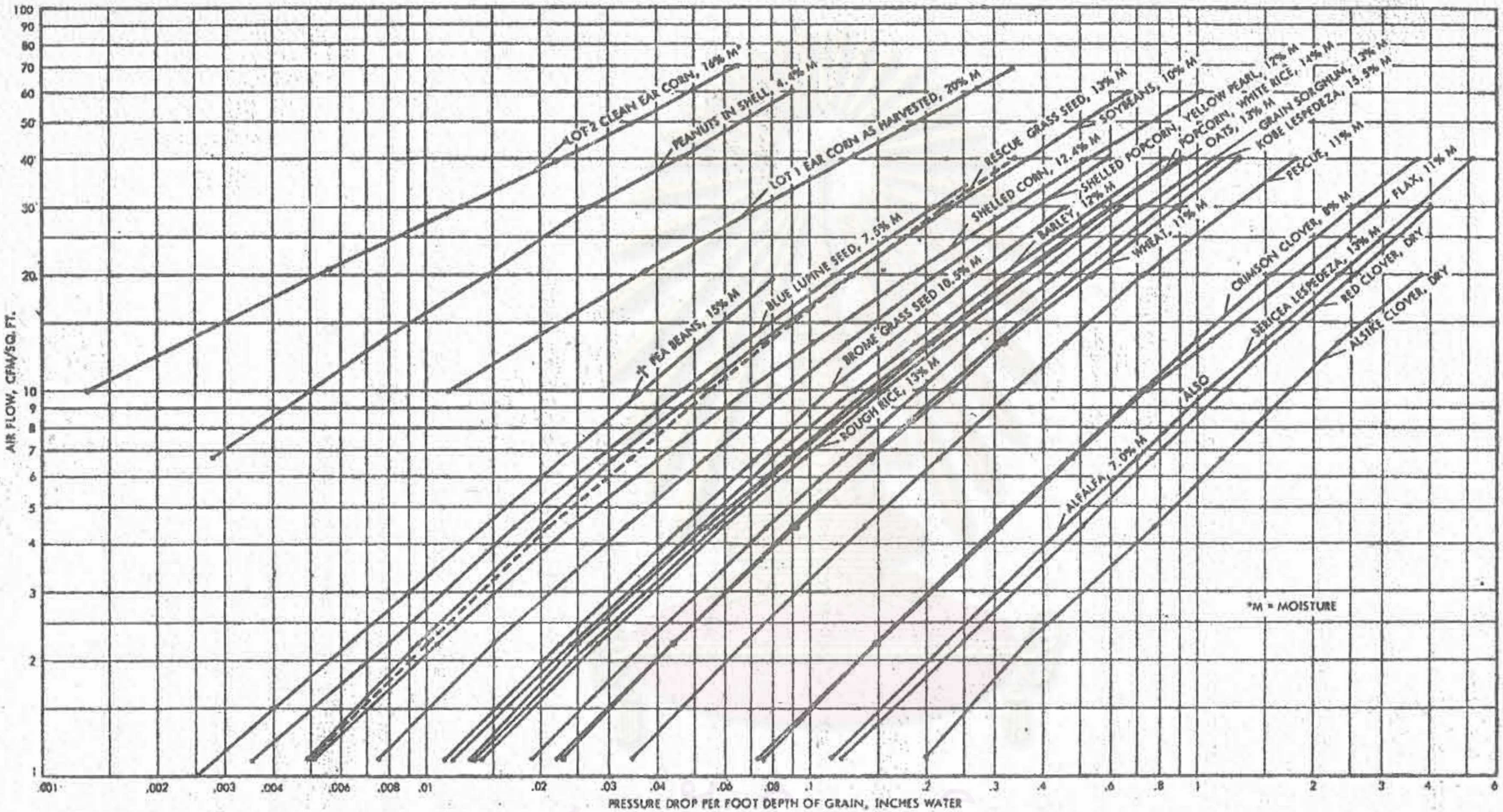
$$p = 12\nu^2 d_a/2gd_w$$

เมื่อ ν = ความเร็ว ฟุต/วินาที d_a และ d_w คือความหนาแน่นของอากาศและน้ำตามลำดับ

ASAE Data: ASAE D272

RESISTANCE TO AIR FLOW THROUGH GRAINS AND STORAGE COMPONENTS

Approved by the ASAE Committee on Technical Data; adopted by ASAE 1948; revised 1954, 1962; reconfirmed without change by Electric Power and Processing Division Technical Committee, December 1968, December 1973.



NOTES: This chart gives values for a loose fill (not packed) of clean, relatively dry grain.

For a loose fill of clean grain having high moisture content (in equilibrium with relative humidities exceeding 85 percent), use only 80 percent of the indicated pressure drop for a given rate of air flow.

Packing of the grain in a bin may cause 50 percent higher resistance to air flow than the values shown.

When foreign material is mixed with grain no specific correction can be recommended. However, it should be noted that resistance to air flow is increased if the foreign material is finer than the grain, and resistance to air flow is decreased if the foreign material is coarser than the grain.

REFERENCE: Resistance of Grains and Seeds to Air Flow, C. K. Shedd, AGRICULTURAL ENGINEERING, vol. 34, September, 1953.

รูปที่ 5.5 Friction Loss เมื่ออากาศไหลผ่านชั้นข้าว

สำหรับตระแกรงเหล็กที่เลือกมาใช้ อัตราส่วนของพื้นที่ที่อากาศไหลผ่านได้ต่อพื้นที่ทั้งหมดเท่ากับ 0.5 ดังนั้นค่าของ C (38) มีค่าเป็น 2.11 ดังนั้นความดันที่สูญเสียเมื่ออากาศไหลผ่านตระแกรงมีค่าเป็น

$$P_{sh} = 2.11 \times 12 \times (17.14/60) \times 1/(14 \times 62.4 \times 2 \times 32.2)$$
$$= 0.00004 \text{ นิ้วของน้ำ}$$

<u>กำลังงานสำหรับใช้ดันอากาศให้ไหลผ่านแผงรับแสงอาทิตย์</u>

สมการที่ใช้คำนวณกำลังงานที่ให้พัดลมคือ (38)

$$P = q \times P_t \times d_w/(530.8 \times \eta_m)$$

เมื่อ P = กำลังงานไฟฟ้าที่ต้องใส่ให้พัดลม วัตต์

q = อัตราการไหลของอากาศ ฟุต^3/นาที = 1614 ฟุต^3/นาที

P_t = Total Head ที่พัดลม นิ้วของน้ำ = ความดันสูญเสียที่ชั้นข้าวและที่ตระแกรง + ความดันที่สูญเสียในระบบท่อส่งอากาศ + ความดันที่สูญเสียในแผงรับแสงอาทิตย์

d_w = ความหนาแน่นของน้ำ ปอนด์/ฟุต^3

η_m = ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าเป็นกำลังงานกลเพื่อหมุนพัดลม = 65% (38)

ตารางที่ 5.2 แสดงความดันทั้งหมดที่สูญเสียเมื่ออากาศไหลผ่านเครื่องอบข้าว และกำลังงานที่ต้องใช้ในการดันอากาศให้ไหลผ่านเครื่องอบข้าว

เครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์จะถูกใช้ในช่วงเวลาจำกัด คือระยะเวลาหลังจากเก็บเกี่ยวข้าวเท่านั้น โดยการตั้งสมมติฐานว่า เครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์ที่ออกแบบจะนำไปใช้ในระดับสหกรณ์ซึ่งมีสมาชิกหมุนเวียนนำข้าวเข้ามาอบให้แห้ง จึงอาจกำหนดช่วงเวลาที่ใช้งานเครื่องอบเป็น 3 เดือนต่อปี ดังนั้นผลตอบแทนที่จะได้จากเครื่องอบต่อปีจึงใช้กำหนดระยะเวลาการใช้งาน 3 เดือนสำหรับการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ที่กล่าวถึงต่อไปในบทที่ 6

ดังที่เคยกล่าวมาแล้ว แผงรับแสงอาทิตย์ที่มีช่องอากาศเล็กจะให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง นั่นก็หมายถึงพลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์จากแสงอาทิตย์จะสูงตามไปด้วย แต่ในขณะเดียวกัน Friction Loss เมื่ออากาศไหลผ่านจะสูงหรือต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการหมุนพัดลมสูงด้วย ในทางกลับกัน ถ้าช่องอากาศโต พลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ได้จากแสงอาทิตย์จะน้อยกว่าแต่พลังงานไฟฟ้าที่ต้องการใช้หมุนพัดลมก็จะน้อยกว่าด้วย การตัดสินว่าจะใช้ช่องอากาศโตเท่าใดจะพิจารณาที่ผลตอบแทนในรูปพลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ได้เป็นสำคัญ สำหรับระบบอบแห้งแสงอาทิตย์ซึ่งใช้งานประมาณ 3 เดือนต่อปี ราคา

ตารางที่ 5.2

ขนาดช่องว่าง d (m)	h_{1_c} นิ้วของน้ำ	h_{1_p} นิ้วของน้ำ	h_{1_r} นิ้วของน้ำ	h_{1_t} นิ้วของน้ำ	P วัตต์	P_d กิโลจูลล์	ค่าตอบแทนรายวัน(บาท)
0.02	1.650			1.883	550	11880	43.86
0.03	0.450			0.683	199	4298	46.46
0.04	0.190			0.423	124	2678	45.89
0.05	0.075	0.066	0.167	0.308	90	1944	45.15
0.06	0.041			0.274	80	1728	44.38
0.08	0.018			0.251	74	1598	42.88
0.10	0.009			0.242	70	1512	41.75

h_{1_c} = Friction Loss ในแผงรับแสงอาทิตย์

h_{1_p} = Friction Loss ในระบบท่อ

h_{1_r} = Friction Loss ในข้าว

h_{1_t} = Friction Loss ทั้งหมด

P = กำลังงานใช้ในพัดลม

P_d = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อวัน (ระบบทำงาน 6 ชั่วโมง/วัน)

ของพลังงานแสงอาทิตย์จะประมาณ 0.257 บาท/ เมก.จูลล์ (39) ส่วนราคาค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ 1.75 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือเท่ากับ 0.4861 บาท/ เมก.จูลล์ สมการหาค่าตอบแทนของเครื่องอบข้าวคือ

ค่าตอบแทนรายวัน = พลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์รายวัน x ราคาต่อพลังงานแสงอาทิตย์

- พลังงานไฟฟ้าที่ใช้รายวัน x ราคาต่อหน่วยพลังงานไฟฟ้า

เครื่องอบข้าวที่ออกแบบให้ทำงานวันละ 6 ชั่วโมง พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกบนแผงรับแสงอาทิตย์เท่ากับ 17000 กิโลจูลล์/$ม^2$ ผลการคำนวณค่าตอบแทนรายวันแสดงไว้ในตารางที่ 5.2

จากผลการคำนวณแสดงว่า ช่องอากาศไหลผ่านขนาด 3 ซม. ให้ค่าตอบแทนสูงสุด จึงเลือกมาใช้งานต่อไป

<u>รูปร่างของเครื่องอบข้าว</u>

จากขั้นตอนสำหรับการออกแบบที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เครื่องอบข้าวขนาด 1000 กิโลกรัม จะมีรูปร่างและรายละเอียด ดังนี้

<u>แผงรับแสงอาทิตย์</u>

ขนาดของแผงรับแสงอาทิตย์แสดงไว้ในรูปที่ 5.1 และ 5.6 ช่องอากาศไหลเข้าแบ่งเป็น 3 ช่อง แต่ละช่องกว้างเท่ากับขนาดกระจกมาตรฐาน 42 นิ้ว ตรงกลางของแต่ละช่องจะมีตัวรับกระจกติดตั้งไว้เพื่อให้ Bending Stress ซึ่งเกิดจากแรงกดจากความดันบรรยากาศไม่เกิน 1000 ปอนด์/นิ้ว^2 ตัวรองรับกระจกหลักมี 3 ชิ้น ยาวชิ้นละ 5 เมตร เป็นเหล็กรูปตัว C ขนาดความสูง 1.5 นิ้ว การติดตั้งเหล็กรูปตัว C ให้ติดตั้งไปบนสังกะสีมุงหลังคาตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.1 และ 5.6

ที่รอยต่อของกระจกแต่ละชิ้นจะมีแผ่นโลหะครอบและมีสกรูยึดแผ่นครอบให้ติดกับโครงรองรับกระจก เพื่อกันไม่ให้น้ำฝนไหลลงแผ่นดูดแสงอาทิตย์

<u>ห้องอบข้าว</u>

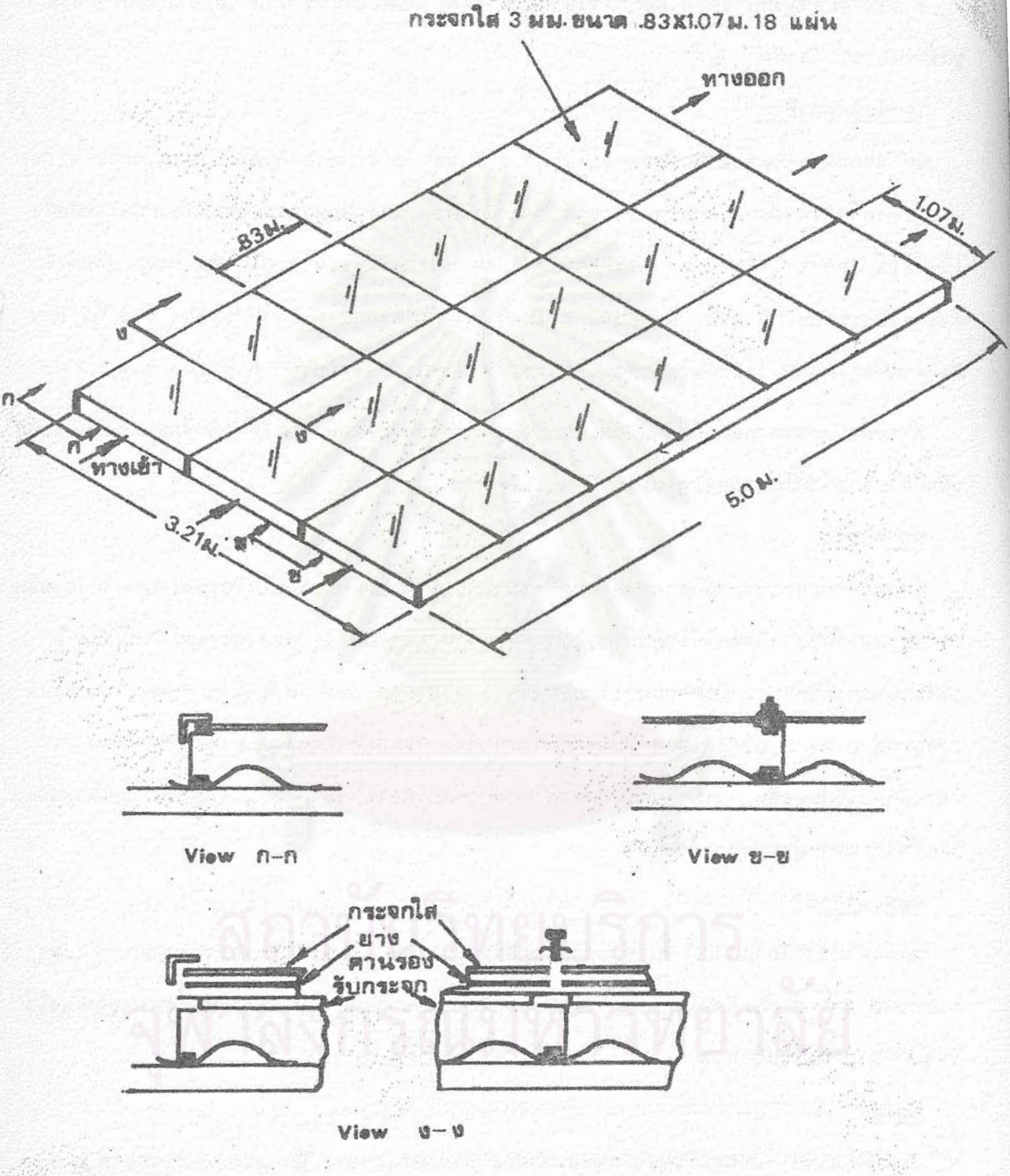
ห้องอบข้าวประกอบด้วยโครงเหล็กฉากซึ่งเชื่อมต่อเข้าด้วยกันตามลักษณะในรูปที่ 5.4 โครงเหล็กฉากอยู่บนขาตั้งซึ่งจะติดตั้งไว้ในยุ้งข้าวสูงจากพื้นเท่ากับ 1.7 ม. โดยรอบโครงเหล็กจะบุไว้ด้วยโลหะแผ่นยกเว้นด้านบนเป็นตระแกรงโลหะขนาด 3.5 X 2.5 เมตร ด้านหน้าทางมุมขวาเจาะเป็นช่องขนาด 0.21 X 0.11 เมตร ให้อากาศร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ไหลเข้าห้องอบ ด้านบนตระแกรงมีขอบไม้กั้นสูงขึ้น 0.18 เมตรโดยรอบ อากาศร้อนไหลเข้าห้องอบผ่านตระแกรง ชั้นข้าวเปลือกและไหลออกจากยุ้งข้าวทางด้านหลัง

<u>ท่อส่งอากาศ</u>

ท่อส่งอากาศเป็นโลหะแผ่นขึ้นรูปเป็นท่อสี่เหลี่ยมขนาด 21" X 11" ความยาวทั้งหมด 8 เมตร และท่องอ 90° 3 ตัว โดยรอบท่อหุ้มไว้ด้วยฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว การติดตั้งท่อส่งอากาศแสดงไว้ในรูปที่ 5.2 และรูปที่ 5.4

<u>พัดลม</u>

พัดลมเป็นแบบ Centrifugal ขนาด Wheel Diameter 13.5 นิ้ว ส่วนมอเตอร์ขนาด 0.5 แรงม้า พัดลมติดตั้งบริเวณเหนือห้องอบตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.6 แสดงส่วนประกอบย่อยของแผงรับแสงอาทิตย์

5.2 วิธีใช้และการบำรุงรักษาเครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์

5.2.1 การใช้เครื่องอบข้าว

การบรรจุข้าวเปลือกเข้าห้องอบ

ให้บรรจุข้าวเปลือกเข้าทางด้านหน้าของยุ้งข้าวโดยเปิดแผ่นปิดหัวและปิดแผ่นปิดท้ายของห้องอบข้าว (รูปที่ 5.4 ก) แล้วเทข้าวเปลือกเข้าห้องอบ ในขณะเดียวกันก็คอยเกลี่ยให้ระดับข้าวเปลือกไม่ให้สูงเกินแผ่นปิดด้านข้างของห้องอบ เมื่อได้ข้าวเปลือกเต็มเสมอขอบที่กั้นแล้ว ให้ปิดแผ่นปิดหัว และให้พัดลมเริ่มทำงาน การบรรจุข้าวเปลือกเข้ายุ้ง ให้ทำในตอนเช้าไม่ควรเกินเวลา 8.00 น. หลังจากเริ่มให้เครื่องอบข้าวทำงานไปแล้วประมาณ 2 ชั่วโมง ให้นำข้าวเปลือกชั้นบนสุดมาวัดค่าความชื้น และควรนำข้าวชั้นบนของห้องอบมาวัดความชื้นทุกชั่วโมง เมื่อความชื้นของข้าวลดลงใกล้ระดับความชื้นที่ต้องการ ให้ตรวจสอบความชื้นของข้าวบ่อยครั้งขึ้น เช่น ทุกครึ่งชั่วโมง เมื่อได้ความชื้นที่ต้องการแล้ว ให้ปิดพัดลมแล้วเปิดแผ่นปิดท้ายห้องอบ ปล่อยให้ข้าวเปลือกไหลลงพื้นยุ้งข้าวเพื่อเก็บหรือรอจำหน่ายหรือเพื่อรอขนถ่ายไปไว้ที่เก็บแห่งอื่นต่อไป

การวัดความชื้นของข้าวเปลือกทำได้หลายวิธี เช่น การใช้เครื่องวัดความชื้น(Moisture Meter) ซึ่งทำได้รวดเร็วและให้ผลถูกต้อง หรือใช้การชั่งน้ำหนัก โดยการนำข้าวเปลือกขนาดปริมาตรหนึ่งมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาความหนาแน่นของข้าวเปลือกซึ่งมีหน่วยเป็น กิโลกรัม/ม^3 แล้วใช้สมการ

$$\text{ความหนาแน่นข้าวเปลือก} = 499.70 + 8.39(M_o \times 100)/(M_o + 100)$$

เพื่อคำนวณความชื้น M_o (มาตรฐานแห้ง)ต่อไป การวัดความชื้นโดยวิธีการชั่งน้ำหนักจะเป็นหัวข้อหนึ่งซึ่งคณะผู้วิจัยเครื่องอบข้าวจะศึกษาต่อไป เมื่อนำเครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์ไปติดตั้งใช้งาน

ถ้าบรรจุข้าวตามปริมาตรห้องอบที่ออกแบบไว้ และอัตราพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับเฉลี่ย คือประมาณ 17000 กิโลจูลส์/วันม^2 ข้าวเปลือกที่ความชื้นเริ่มต้น 21% จะลดลงเหลือ 14% ในเวลาไม่เกิน 6 ชั่วโมง แต่ถ้าอัตราพลังงานแสงอาทิตย์สูงไปกว่านี้ ระยะเวลาอบแห้งจะลดลงไป ทั้งนี้ผู้ใช้ต้องคอยตรวจสอบความชื้นข้าวเปลือกเป็นระยะไป

ในกรณีที่มีข้าวเปลือกไม่เต็มห้องอบ เวลาที่ใช้อบจะลดลงด้วย ซึ่งผู้ใช้เครื่องอบต้องคอยตรวจสอบความชื้นของข้าวเปลือกตามรายละเอียดที่เคยกล่าวมาแล้ว

5.2.2 การบำรุงรักษาเครื่อง

เมื่อก่อนเริ่มเดินเครื่องในแต่ละปี ควรตรวจสอบรูรอยรั่วตามท่อส่งอากาศและที่ห้องอบ การตรวจทำได้อย่างง่ายๆโดยปิดอากาศไม่ให้ออกจากห้องอบ แล้วเปิดพัดลม ตรวจดูตามรอยต่อของท่อลมและ

ของห้องอบ ถ้าพบรอยรั่วก็อุดเสีย หลังจากนั้นก็ตรวจลูกระจกที่ปิดด้านบนแผงรับแสงอาทิตย์ให้อยู่ในสภาพเรียบร้อยไม่มีการแตกหักเสียหาย นอกจากนั้นในระหว่างเวลาที่ไม่ได้ใช้งานเครื่องอบข้าว ถ้าพบว่ามีกระจกที่ปิดแผงรับแสงอาทิตย์แตก ควรรีบเปลี่ยน ทั้งนี้เพื่อกันไม่ให้ฝนซึ่งถ้ารั่วลงบนแผ่นดูดแสงอาทิตย์แล้ว จะทำให้อายุการใช้งานของสีที่ทาไว้ลดลง ทำให้ต้องทาสีใหม่ก่อนเวลาอันควร

บทที่ 6

การวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่าย

6.1 คำนำ

หลังจากที่ได้ออกแบบทดสอบเครื่องรวมทั้งหาวิธีที่จะเสนอแนะวิธีการใช้อย่างง่ายๆสำหรับผู้ใช้ที่ไม่มีความรู้ทางด้านวิศวกรรมมากนัก ก่อนที่จะนำไปเผยแพร่สิ่งที่จำเป็นจะต้องศึกษาก็คือค่าใช้จ่ายที่จะเกิดสำหรับการใช้เครื่อง ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ว่า การอบแห้งข้าวด้วยเทคนิคต่างๆมีคู่แข่งขันที่เป็นที่นิยมใช้งานอยู่แล้วคือ การอบแห้งด้วยวิธีธรรมชาติ ซึ่งการอบแห้งดังกล่าว ชาวนาไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายที่เห็นเป็นตัวเงินที่จะต้องจ่ายออกไป ดังนั้นวิธีการอบแห้งใดก็แล้วแต่ที่ขาดคุณสมบัติข้อใดข้อหนึ่งของการอบแห้งแบบอุดมคติย่อมจะหวังไม่ได้ว่าจะเป็นที่ยอมรับของผู้ใช้ทุกคน จะเห็นได้ว่าเครื่องอบแห้งข้าวพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นในการวิจัยนี้ก็ขาดคุณสมบัติของเครื่องอบแห้งอุดมคติ กล่าวคือ จะต้องใช้เงินลงทุน จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องและจะต้องมีการซ่อมบำรุง ดังนั้นเครื่องอบแห้งดังกล่าวย่อมมิใช่เครื่องที่ชาวนาทุกคนจะนำไปใช้ได้ ในการวิจัยนี้จะอาศัยความได้เปรียบเสียเปรียบทางเศรษฐศาสตร์เป็นเครื่องชี้แนะว่าผู้ใช้ประเภทใดที่จะเหมาะสมสำหรับการใช้เครื่องอบแห้งที่ได้พัฒนาขึ้น โดยเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่างๆที่จะเกิดขึ้นเมื่อใช้เครื่องอบแห้ง ได้แก่ เงินลงทุน การบำรุงรักษา ค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่อง และความเสียหายที่มีผลทางตรงและทางอ้อมต่อคุณภาพ น้ำหนักและราคาข้าวเปลือก

6.2 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย

ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงและติดตั้งเครื่องอบแห้งข้าวเข้ากับยุ้งฉางเดิมและการอบข้าวเปลือกประกอบด้วยค่าใช้จ่ายดังต่อไปนี้

6.2.1 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนติดตั้ง ดัดแปลงยุ้งฉางข้าวเปลือก

จากการสำรวจยุ้งฉางข้าวเปลือก ยุ้งฉางส่วนใหญ่จะมีขนาด 4x4x4 เมตร ซึ่งในการวิจัยนี้ใช้เป็นขนาดสำหรับการใช้งาน ค่าใช้จ่ายสำหรับการลงทุนดัดแปลง ติดตั้งเครื่องอบแห้งจะประกอบด้วย

1. ค่าวัสดุ

กระจกปิดด้านบนแผงรับแสงอาทิตย์ขนาด 36" x 42"

จำนวน 18 แผ่น ราคาแผ่นละ 100 บาท 1800.- บาท

สีทาแผงรับแสงอาทิตย์ประกอบด้วย Primer สำหรับทาสังกะสี และสีดำด้าน ราคาตารางเมตรละ 45 บาท	720.- บาท
โลหะแผ่นใช้ทำเป็นท่อลมและตู้อบ ขนาดพื้นที่ 170 ฟุต^2 ราคาตารางฟุตละ 8 บาท	1360.- บาท
เหล็กฉากขนาด 1 1/2" อย่างหนา ทำโครงตู้อบจำนวน 10 เส้น ราคาเส้นละ 110 บาท	1100.- บาท
เหล็กรูปตัว C ขนาด 1 1/2" เพื่อทำแผงปิดข้างแผงรับแสงอาทิตย์ จำนวน 4 เส้น ราคาเส้นละ 100 บาท	400.- บาท
อลูมิเนียมฉาก 3/4" ทำขอบยึดกระจก 4 เส้น ราคาเส้นละ 60 บาท	240.- บาท
อลูมิเนียมรูปตัว C ครอบรอยต่อกระจก จำนวน 5 เส้น ราคาเส้นละ 60 บาท	300.- บาท
สังกะสีแผ่นขนาดความหนา 1.2 มม. พับขึ้นรูปเป็นรูปตัว C ยาวชิ้นละ 1.07 ม. จำนวน 21 เส้น ราคาเส้นละ 25 บาท	525.- บาท
ตะแกรงเหล็กรองข้าวขนาด 3.6 x 2.5 เมตร ขนาดเบอร์ 6 ราคาตารางเมตรละ 70 บาท	1220.- บาท
สกรูเกลียวปล่อยและ bolt and nut ใช้ในการประกอบแผงรับแสงอาทิตย์	550.- บาท
ยางรองกระจกความยาว 45 เมตร ราคาเมตรละ 5 บาท	225.- บาท
รวมราคาค่าวัสดุ	8440.- บาท

2. ค่าแรงประกอบและติดตั้งเครื่องอบข้าว

ค่าแรงในการดัดแปลงหลังคาให้เป็นแผงรับแสงอาทิตย์ ซึ่งรวมถึงค่าทาสีหลังคายุ้งให้เป็นสีดำ ค่าแรงติดตั้งคานรองรับกระจก ใส่กระจก ราคาตารางเมตรละ 250 บาท	4000.- บาท
ค่าแรงในการประกอบและติดตั้งท่อส่งอากาศ ราคาตารางเมตรละ 100 บาท	800.- บาท

ค่าแรงประกอบและติดตั้งตู้อบ รวมถึงค่าแรงประกอบและติดตั้ง
โครงเหล็กตู้อบ ค่าแรงหุ้มโครงเหล็กด้วยโลหะแผ่น และค่าแรง
ติดตั้งท่อส่งอากาศร้อนเข้าตู้อบ 1600.- บาท

รวมค่าแรงงาน 6400.- บาท

รวมค่าสร้างเครื่อง 14840.- บาท

6.2.2 ค่าพัดลมดูดอากาศพร้อมมอเตอร์ชุดละ 4500.- บาท

รวมเงินลงทุน 19340.- บาท

6.2.3 ค่าบำรุงรักษา 10% ของเงินลงทุน 1934.- บาท

6.2.4 ค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่อง

ค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องในที่นี้ไม่รวมค่าแรงงานสำหรับการขนย้ายข้าวเปลือก จึงมีเฉพาะค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับหมุนพัดลมซึ่งแปรตามระยะเวลาที่ใช้งานเครื่อง

6.2.5 การวิเคราะห์

สมมติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของเครื่องอบแห้งข้าวประกอบด้วย

1. ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นประกอบด้วย เงินลงทุน และค่าใช้จ่ายสำหรับการบำรุงรักษาและใช้งานเครื่องอบ ไม่รวมค่าสร้างยุ้งข้าวและค่าแรงงานในการขนย้ายข้าวเปลือกเข้าเครื่องอบ (ยุ้งข้าว) เพราะเป็นงานที่ต้องกระทำอยู่โดยปกติแม้ไม่มีเครื่องอบ

2. การใช้เครื่องแต่ละครั้งไม่ว่าจะอบเต็ม 1000 กิโลกรัมหรือไม่ ให้ใช้เครื่องนาน 6 ชม.

3. อายุการใช้งานของเครื่องอบ 10 ปี ไม่มีมูลค่าซาก

4. ใช้พลังงานไฟฟ้าในการหมุนพัดลม ราคาค่าพลังงานไฟฟ้า หน่วยละ 2.20 บาท

5. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ร้อยละ 17 ต่อปี

6. การสูญเสียน้ำหนักข้าวคือการสูญเสียรายได้ คิดร้อยละ 6 (ดูหัวข้อ 4.6)

ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการสร้างและใช้งานเครื่องอบแห้งข้าวประกอบด้วยค่าใช้จ่าย 2 ประเภทคือ ค่าใช้จ่ายคงตัว(Fixed Costs) และค่าใช้จ่ายแปรผัน(Variable Cost)

ค่าใช้จ่ายคงตัวในกรณีนี้ได้แก่ค่าใช้จ่ายในการมีเครื่องอบแห้งข้าวไว้ใช้และค่าบำรุงรักษาประจำปี ค่าใช้จ่ายส่วนนี้ไม่ว่าจะมีการใช้เครื่องอบแห้งหรือไม่ ผู้ที่มีเครื่องอบแห้งไว้ในครอบครองก็จะต้องเสียค่าใช้จ่าย

ค่าใช้จ่ายแปรผัน ก็คือค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องอบแห้ง ซึ่งในที่นี้ก็คือค่าพลังงานไฟฟ้า

การคำนวณ

เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ที่จะได้รับจากการมีเครื่องอบแห้งไว้ใช้ การคำนวณค่าใช้จ่ายจะคำนวณเป็นค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี

ให้ D = ค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปีของเงินลงทุน

M = ค่าบำรุงรักษารายปี

E = ค่าพลังงานไฟฟ้า

$$D = (P - F)(A/P_{i,n}) + Fi$$

เมื่อ P = เงินลงทุนสร้างเครื่อง

F = มูลค่าซาก

i = อัตราดอกเบี้ยเงินกู้

$(A/P_{i,n})$ = แฟคเตอร์สำหรับการเปลี่ยนเป็นมูลค่าเทียบเท่ารายปี (40)

n = อายุการใช้งานของเครื่อง

เนื่องจาก $F = 0$

$$D = 19340(A/P_{17,10})$$

$$= 19340(0.215)$$

$$= 4158$$

M = 10% ของเงินลงทุน

$$M = 1934$$

ค่าใช้จ่ายตายตัว = 4158 + 1934

= 6092

จากสมมติฐานว่าการใช้เครื่องแต่ละครั้งใช้นาน 6 ชม. เนื่องจากมอเตอร์ที่ใช้หมุนพัดลมเป็นขนาด 0.5 แรงม้า ดังนั้น

$$E = 0.5(746)(6)(2.2)/1000$$

= 5 บาท/ครั้ง

เนื่องจากขนาดของเนื้อที่ถือครองจะเป็นเครื่องชี้แนะขนาดของกำลังผลิตจากนาข้าว การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ที่ชาวนาจะได้รับจึงสรุปตามขนาดของเนื้อที่ถือครองตั้งแต่ 20 ไร่ขึ้นไป (ดูสมมติฐานของการพัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวในบทที่ 2) โดยที่ตารางที่ 6.1 แสดงการเปรียบเทียบ

ค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ในกรณีที่มีการทำนาปีละครั้ง และตารางที่ 6.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ในกรณีที่มีการทำนาปีละ 2 ครั้ง

ตัวอย่างการคำนวณ

ในกรณีที่ชาวนาเป็นผู้มีเนื้อที่ถือครอง 20 ไร่ อยู่ในภาคกลาง ทำนาปีละครั้ง

จากตารางที่ 2.1 ชาวนาผู้นี้จะผลิตข้าวได้ปีละ = 20 x 345

= 6900 ก.ก.

การอบข้าวจะต้องใช้เครื่อง 7 ครั้ง

ค่าพลังงานไฟฟ้า = 7 x 5

= 35 บาท

ค่าใช้จ่ายต่อปี = 6092 + 35

= 6127 บาท

จากตารางที่ 2.1 ผลประโยชน์ที่ชาวนาจะได้รับจากการอบแห้งข้าวคือ 2326 บาท แต่เนื่องจากจะมีการสูญเสียน้ำหนัก 6% ดังนั้นผลประโยชน์ที่ชาวนาจะได้รับคือ 2326 x 0.94 = 2186 บาท

เนื่องจากค่าใช้จ่ายสูงกว่าผลประโยชน์ที่จะได้รับ จึงไม่คุ้มที่จะลงทุน

ในกรณีเดียวกัน ถ้าชาวนาผู้นี้ทำนาปีละ 2 ครั้ง

จากตารางที่ 2.1

ผลผลิตข้าวนาปี = 6900 ก.ก.

ผลผลิตข้าวนาปรัง = 10780 ก.ก.

ผลผลิตจากนาข้าว = 17680 ก.ก.

การอบข้าวจะต้องใช้เครื่อง 18 ครั้ง

ค่าพลังงานไฟฟ้า = 18 x 5

= 90 บาท

ค่าใช้จ่ายต่อปี = 6092 + 90

= 6182 บาท

จากตารางที่ 2.1 ผลประโยชน์ที่ชาวนาผู้นี้จะได้รับ = (2326 + 4383) x 0.94

= 6306 บาท

เนื่องจากค่าใช้จ่ายต่ำกว่าเงินลงทุน จึงเป็นการคุ้มค่าที่จะลงทุน

ตารางที่ 6.1

ค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ กรณีปลูกข้าวปีละครั้ง

ภาค	ขนาดเนื้อที่ถือครอง			
	20 - 49 ไร่		50 - 100 ไร่	
	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ผลประโยชน์ (บาท)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ผลประโยชน์ (บาท)
กลาง	6127 - 6177	2186 - 5356	6182 - 6267	5465 - 10931
ตะวันออก	6117 - 6152	1550 - 3798	6157 - 6217	3876 - 7750
ตะวันตก	6117 - 6147	1440 - 3527	6147 - 6202	3599 - 7198
ตะวันออกเฉียงเหนือ	6107 - 6132	837 - 2050	6132 - 6167	2091 - 4183
เหนือ	6122 - 6167	1713 - 4196	6167 - 6242	4282 - 8564
ใต้	6122 - 6167	1946 - 4767	6167 - 6242	4864 - 9729

ตารางที่ 6.2

ค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ กรณีปลูกข้าวปีละ 2 ครั้ง

ภาค	ขนาดเนื้อที่ถือครอง			
	20 - 49 ไร่		50 - 100 ไร่	
	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ผลประโยชน์ (บาท)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ผลประโยชน์ (บาท)
กลาง	6182 - 6312	6306 - 15450	6316 - 6537	15765 - 31531
ตะวันออก	6172 - 6287	5692 - 13944	6292 - 6487	14229 - 28513
ตะวันตก	6172 - 6287	5835 - 14295	6287 - 6482	14586 - 29173
ตะวันออกเฉียงเหนือ	6147 - 6217	3484 - 8536	6222 - 6297	8710 - 17420
เหนือ	6172 - 6287	5202 - 12744	6292 - 6487	13005 - 26011
ใต้	6172 - 6282	5691 - 13942	6292 - 6477	14227 - 28454

<u>สรุปผลการวิเคราะห์</u>

จากการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ของการมีเครื่องอบแห้งข้าว ข้อสรุปที่ค่อนข้างเด่นชัด คือ

๑. ในกรณีของการผลิตข้าวปีละครั้ง ผู้มีเครื่องอบแห้งข้าวควรเป็นชาวนาที่มีเนื้อที่ครองประมาณ ๔๐ ไร่หรือมากกว่า

๒. ในกรณีของการผลิตข้าวปีละ 2 ครั้ง ชาวนาเฉพาะภาคกลางที่มีเนื้อที่ถือครองมากกว่า 20 ไร่ และชาวนาภาคอื่นๆที่มีเนื้อที่ถือครองมากกว่า 30 ไร่ขึ้นไป ควรพิจารณาใช้เครื่องอบแห้งข้าว

การวิเคราะห์เปรียบเทียบที่กระทำในบทนี้ เป็นเพียงตัวเลขที่ได้จากการวิเคราะห์ในทางเศรษฐศาสตร์ ในสภาพความเป็นจริงแล้วปัจจัยที่สำคัญในการเลือกใช้เครื่องอบแห้งข้าวไม่ใช่ตัวเลขทางเศรษฐศาสตร์ ทั้งนี้เพราะฐานะทางเศรษฐกิจของชาวนาส่วนใหญ่ไม่เอื้ออำนวยต่อการพิจารณาลงทุนในการลดต้นทุนการผลิต เพราะรายได้ที่หามาได้มีความจำเป็นต่อการดำรงชีพและการลงทุนในการผลิต เช่น การซื้อพันธุ์ข้าว การซื้อปุ๋ย ฯลฯ มากกว่าที่จะนำไปใช้ในการลงทุนสำหรับการลดต้นทุนการผลิต ดังนั้นแม้ว่าจะเป็นการเหมาะสมในทางเศรษฐศาสตร์ที่ชาวนาควรจะมีเครื่องอบแห้งข้าวไว้ครอบครอง ก็ไม่ได้หมายความว่าชาวนาจะซื้อเครื่องอบแห้งข้าวไว้ใช้

จากการวิเคราะห์ พบว่าระยะเวลาสำหรับการใช้งานของเครื่องอบแห้งอยู่ระหว่า ๓ - ๔๙ วัน ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ค่อนข้างสั้น ทำให้การมีเครื่องอบแห้งข้าวไว้ในครอบครองกลายเป็นภาระสำหรับการบำรุงรักษามากกว่าที่จะมีไว้ใช้งาน ดังนั้นเพื่อช่วยให้เครื่องอบแห้งข้าวเป็นที่นิยมใช้ เห็นควรเสนอแนะให้เป็นการใช้ในระดับสหกรณ์ซึ่งนอกจากจะใช้เพื่อการบริการสมาชิกของสหกรณ์ในการอบแห้งข้าวแล้ว ยังอาจใช้เครื่องอบแห้งในการอบแห้งพืชผลในการเกษตรอื่นๆ อันจะทำให้ระยะเวลาการใช้ประโยชน์ของเครื่องอบแห้งนานขึ้นและมีผลประโยชน์ในการใช้มากขึ้น

บทที่ 7

สรุปผลการวิจัย

7.1 สรุปผลการวิจัย

วัตถุประสงค์หลักของการวิจัยและพัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวพลังงานแสงอาทิตย์ ก็เพื่อให้ได้มาซึ่งรูปแบบของเครื่องอบแห้งข้าวพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถสร้างได้ในราคาถูก ใช้ง่าย ดูแลรักษาง่าย และมีประสิทธิภาพดี

การวิจัยและพัฒนา นอกเหนือจากจะเป็นความใคร่รู้ของนักวิชาการแล้ว ความหวังสูงสุดก็คือ การที่ผลการวิจัยและพัฒนานั้นสามารถก่อให้เกิดผลกระทบที่ดีต่อเศรษฐกิจและสังคม กล่าวคือได้มีการนำเอาผลงานนั้นๆไปใช้ประโยชน์ ดังนั้นการที่จะดำเนินการวิจัยและพัฒนาให้ได้ผลสมดังที่ตั้งความหวังไว้ จึงต้องมีการศึกษาถึงความต้องการของผู้ที่จะใช้ประโยชน์จากงานวิจัยและพัฒนานี้ เพื่อจะได้เป็นแนวทางในการสร้างผลงานให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้

ผู้ที่จะใช้ประโยชน์จากผลการวิจัยและพัฒนานี้มีได้หลายระดับ เช่น ชาวนา สหกรณ์ อุตสาหกรรม และหน่วยราชการ ผลงานที่จะก่อให้เกิดผลกระทบที่ดีที่สุดก็คือผลงานที่เป็นที่ยอมรับของชาวนาซึ่งเป็นประชาชนส่วนใหญ่ของประเทศ ดังนั้นการเริ่มต้นการวิจัยและพัฒนานี้จึงเริ่มต้นด้วยการตั้งเป้าหมายที่จะให้ได้มาซึ่งเครื่องอบแห้งข้าวที่คาดหมายว่าน่าจะเป็นที่ยอมรับของชาวนา

จากการศึกษาถึงขนาดของความสูญเสียอันอาจจะเกิดขึ้นเมื่อไม่มีเครื่องอบแห้งข้าว เราได้ใช้ขนาดความสูญเสียดังกล่าวเป็นดัชนีสำหรับเปรียบเทียบขนาดของความจำเป็นที่ทั้งชาวนาและรัฐที่จะต้องมีเครื่องอบแห้งข้าวที่มีประสิทธิภาพดีแทนการตากแห้งด้วยแดดและลมโดยธรรมชาติ อีกทั้งขนาดของความสูญเสียดังกล่าวก็จะเป็นเครื่องชี้บอกถึงส่วนของต้นทุนการผลิตที่ชาวนาอาจประหยัดได้ถ้าใช้เครื่องอบแห้ง ผลการศึกษาแสดงว่าเป็นความจำเป็นทั้งของรัฐและชาวนาที่จะต้องมีเครื่องอบแห้งข้าว แต่ความจำเป็นดังกล่าวในระดับชาวนาส่วนมากยังจำเป็นน้อยกว่าความจำเป็นที่จะต้องใช้จ่ายเงินเพื่อการยังชีพและเพื่อการผลิต

จากการศึกษาด้านพื้นฐานความรู้และความเข้าใจด้านเทคนิคของชาวนาซึ่งเป็นลูกค้ากลุ่มเป้าหมาย เราได้กำหนดลักษณะทั้งของผู้ใช้และของเครื่องอบแห้งข้าวที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาด้านเทคนิค นอกจากนั้น จากพื้นฐานทางเทคนิคและพื้นฐานทางเศรษฐกิจ ยังได้คาดหมายถึงขนาดความต้องการใช้เครื่องอบแห้งข้าวที่มีคุณสมบัติตามลักษณะที่กำหนดไว้สำหรับการพัฒนาซึ่งในการวิจัยนี้กำหนดไว้ว่าเครื่องอบแห้งที่เหมาะสมควรเป็นส่วนหนึ่งของยุ้งหรือฉางข้าวที่ชาวนามีอยู่เดิม โดยการดัดแปลงส่วนที่ติดกับ

หลังคายุ้งให้เป็นห้องอบแห้ง ส่วนที่เหลือของยุ้งยังคงใช้เป็นส่วนที่ใช้เก็บข้าว หลังคาของยุ้งที่ทำด้วยเหล็กอาบสังกะสีจะได้รับการดัดแปลงให้ทำหน้าที่เป็นแผ่นดูดพลังงานความร้อนจากแสงของดวงอาทิตย์ปิดด้วยกระจก ลมร้อนจะถูกดูดเข้าไปยังห้องอบด้วยพัดลมดูดที่อาจทำงานด้วยกระแสไฟฟ้าหรือด้วยเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันซึ่งอาจถอดมาจากเครื่องจักรกลการเกษตรอื่นๆ

จากลักษณะสมบัติที่เหมาะสมกับพื้นฐานความรู้และฐานะทางเศรษฐกิจของชาวนา การวิจัยและพัฒนาทางด้านเทคนิคของเครื่องอบแห้งได้เริ่มด้วยการคำนวณออกแบบโดยเทคนิคการจำลองแบบปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์ ความถูกต้องของรูปแบบของเครื่องที่ได้จากการคำนวณด้วยเทคนิคดังกล่าวได้รับการทดสอบโดยการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณกับผลที่ได้จากการทดลองจากเครื่องอบแห้งข้าวพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดการอบแห้งคราวละไม่เกิน 50 กิโลกรัม ผลการทดสอบปรากฏว่า รูปแบบที่คำนวณไว้มีความถูกต้องอยู่ในวิสัยของการยอมรับเชิงวิศวกรรม ดังนั้นแบบจำลองของเครื่องอบแห้งข้าวซึ่งสร้างขึ้นเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จึงเป็นแบบที่ถูกต้องของเครื่องอบแห้งข้าวซึ่งอาจนำไปใช้ในการคำนวณออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งข้าวที่มีขีดความสามารถต่างๆ ณ สถานที่ใดก็ได้

เครื่องอบแห้งขนาดจำลองที่สร้างขึ้น นอกจากจะใช้ในการทดสอบความถูกต้องของการออกแบบแล้วยังได้ใช้ในการทดลองผลการอบข้าวเปลือกที่มีความชื้นต่างๆให้ลดลงเหลือความชื้นระหว่าง 13 - 16% มาตรฐานเปียก เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาประโยชน์ที่จะได้รับจากการอบแห้งข้าว

จากค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องอบแห้งข้าวขนาดจำลองและข้อมูลราคาวัสดุที่จำเป็นในการสร้างเครื่องอบแห้งขนาดที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานจริง เราได้วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายต่างๆที่จะเกิดขึ้น จากการกำหนดขนาดที่เหมาะสมของเครื่องอบแห้ง โดยพิจารณาจากขนาดมาตรฐานของยุ้งหรือฉางข้าวที่จะใช้ส่วนหนึ่งเป็นเครื่องอบแห้ง พบว่าขนาดที่เหมาะสมคือเครื่องที่มีขนาดอบแห้งข้าววันละ 1 ตันโดยเฉลี่ยหรือประมาณ 2 ตันในวันที่มีแดดดี จากการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายและประโยชน์ที่จะได้รับ ผู้ที่เหมาะสมที่จะใช้เครื่องที่พัฒนาขึ้นนี้คือชาวนาที่รวมกลุ่มกันเป็นสหกรณ์

7.2 <u>ปัญหาและอุปสรรค</u>

ปัญหาและอุปสรรคในการจัดทำการวิจัยและพัฒนานั้นมีอยู่นานาประการ การที่การวิจัยและพัฒนานี้สำเร็จลุล่วงได้ ย่อมแสดงว่า ปัญหาและอุปสรรคเหล่านั้นสามารถแก้ไขได้ ปัญหาและอุปสรรคที่อาจจะเกิดขึ้นในการเผยแพร่ผลงานนี้ไปยังผู้ใช้คือกลุ่มชาวนาหรือสหกรณ์ เท่าที่มองเห็นเด่นชัดได้แก่

1. การอบแห้งข้าวเป็นผลให้น้ำหนักของข้าวลดลง โดยความเชื่อของชาวนา น้ำหนักที่ลดลงคือ

รายได้ที่จะสูญเสียไป และเชื่อว่ารายได้ที่ได้จากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากความชื้นน่าจะมากกว่าเงินที่สูญเสียไปเนื่องจากการที่พ่อค้าคนกลางหรือผู้รับซื้อข้าวหักราคาข้าวชื้น ดังนั้นในความเชื่อของชาวนาส่วนใหญ่ การลดความชื้นคือการลดรายได้ การที่จะนำเอาเครื่องอบแห้งข้าวไปเสนอแนะให้ใช้ย่อมค้านกับความเชื่อที่มีอยู่เดิมของชาวนา

2. ระยะเวลาสำหรับความต้องการในการใช้เครื่องอบแห้งข้าวมีเพียงช่วงสั้นๆหลังการเก็บเกี่ยว แต่การดูแลรักษาอีกทั้งค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเป็นงานและรายจ่ายสม่ำเสมอตลอดปี ทำให้การมีเครื่องอบแห้งข้าวกลายเป็นภาระที่เพิ่มขึ้นจนไม่น่าจะคุ้มที่จะมี

7.3 ข้อเสนอแนะ

การแก้ไขปัญหาและอุปสรรคในการใช้ประโยชน์จากเครื่องอบแห้งข้าวจำเป็นต้องได้รับความร่วมมือจากหลายๆฝ่ายทั้งผู้ที่พัฒนาและผู้ที่จะใช้ประโยชน์เครื่องอบแห้งข้าวและฝ่ายที่ทำการเผยแพร่วิทยาการใหม่นี้ไปยังผู้ใช้ประโยชน์ซึ่งน่าจะเป็นหน่วยงานของรัฐ การแก้ไขปัญหาในข้อที่ 1 เกี่ยวกับความเชื่อของชาวนาจะเป็นปัญหาที่เกี่ยวพันกับงานของหลายหน่วยงานทั้งฝ่ายผู้ผลิต (ชาวนา) ผู้รับซื้อข้าว (พ่อค้าคนกลาง องค์การคลังสินค้า โรงสี สหกรณ์) และผู้แปรสภาพและเก็บรักษาข้าว (โรงสี องค์การคลังสินค้า สหกรณ์) การแก้ไขปัญหาอาจจะต้องกระทำในหลายๆด้านและใช้เวลานานในการแก้ไข ทั้งนี้เพราะการที่จะทำให้ชาวนาเปลี่ยนความเชื่อควรที่จะแก้ที่การให้ความรู้ความเข้าใจด้านเศรษฐศาสตร์การผลิตและสาธิตความรู้ดังกล่าว นอกจากนั้นทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องยังจะต้องมีความจริงใจและมีความยุติธรรมที่จะช่วยให้ความเชื่อดังกล่าวเปลี่ยนไปในทางที่ถูกต้อง มีหน่วยงานและอุปกรณ์ที่สามารถปฏิบัติงานให้เป็นที่เชื่อถือกันทั้งฝ่ายชาวนาและผู้รับซื้อข้าว

สำหรับการแก้ปัญหาในข้อที่ 2 อาจแก้ไขได้โดยการที่ผู้ใช้ที่เหมาะสมควรเป็นสหกรณ์ซึ่งควรจะให้บริการการอบแห้งพืชผลการเกษตรอื่นๆของเกษตรกรในสหกรณ์เพื่อทำให้ระยะเวลาการใช้ประโยชน์ของเครื่องอบแห้งยาวนานขึ้น การแก้ไขปัญหาในลักษณะนี้จึงจำเป็นต้องมีการวิจัยและพัฒนาในการดัดแปลงเครื่องอบแห้งข้าวที่ได้กระทำไว้ในการวิจัยนี้ให้สามารถใช้เป็นเครื่องอบแห้งพืชผลด้านเกษตรอื่นๆด้วยได้

7.4 งานวิจัยที่ควรดำเนินการต่อ

1. การวิจัยและพัฒนาเครื่องอบแห้งพืชผลการเกษตรด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

2. การวิจัยการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ในอุตสาหกรรมการเกษตร

๓. การพัฒนาและใช้งานเครื่องอบแห้งข้าวขนาดใช้งานจริง

นอกจากการวิจัยและพัฒนาในเรื่องของการประยุกต์ใช้งานของเครื่องอบแห้งที่น่าจะมีการศึกษาเพื่อให้ถึงขั้นของการนำไปใช้งานจริงได้ ยังมีงานวิจัยอีกแขนงหนึ่งซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการคำนวณออกแบบ นั่นคือการวิจัยเกี่ยวกับพารามิเตอร์และตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณออกแบบ เช่น ลักษณะสมบัติของการอบแห้งของพืชผล(Drying Characteristics)

เอกสารอ้างอิง

1. Post-Harvest Prevention of Waste and Loss of Food Grains: Training Manual, Published by Asian Productivity Organization, Tokyo, Japan, 1977

2. Khan, A.U.; et al, Accelerated Drying of Rice Using Heat Conduction Media, Presentation at the 1973 Annual Meeting American Society of Agricultural Engineers, University of Kentucky, Kentucky, June 17-20, 1973

3. สมศักดิ์ วิระวณิชย์, การอบเมล็ดพืช, เอกสารวิชาการวิศวกรรมประยุกต์เพื่อการเกษตร, ฉบับปฐมฤกษ์, 1 กุมภาพันธ์ 2521

4. Semiannual Progress Report No. 3-21, Published by Agricultural Engineering Department, The International Rice Research Institute, Manila, Philippines, 1967-1975

5. Exell, R.H.B., and Kornsakoo, S., A Low Cost Solar Rice Dryer, A.I.T. Report, Bangkok, 1977

6. Thongswang, M. et al, Rice Post-Harvest Technology, Technical Report, Published by Department of Agriculture, Bangkok, 1977

7. Exell, R.H.B., and Saricali, K., The Availability of Solar Energy in Thailand, Published by A.I.T., Bangkok, 1975

8. การสำรวจวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวของพืชบางชนิดทั่วประเทศ, โดยฝ่ายวิศวกรรมการเก็บรักษาและแปรสภาพ, กองเกษตรวิศวกรรม, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

9. Sales Promotion Media, Bulter Manufacturing Co., U.S.A.

10. Semiannual Progress Report No. 16, Agricultural Engineering Department, The International Rice Research Institute, Manila, Philippines, 1973

12. รายงานผลการสำรวจการผลิตข้าวนาปรัง พ.ศ. 2521, โดยศูนย์สถิติการเกษตร, เอกสารสถิติการเกษตร เลขที่ 76, พฤษภาคม 2521

13. วาสนา สิงหโกวินท์, อัตราการสูญเสียของผลผลิตการเกษตร, ข้าว, รายงานผลงานวิจัย, สภาวิจัยแห่งชาติ, 2519

14. Semiannual Progress Report No. 15, Agricultural Engineering Department, The International Rice Research Institute, Manila, Philippines, 1972

15. แผนพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 5 พ.ศ. 2525-2529

16. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปีเพาะปลูก 2522/2523 เอกสารสถิติการเกษตรเลขที่ 134

17. Chinapant, U., Market of and Demand for the Domestic Produced Small Farm Tractor in Thailand, Master's Thesis, Faculty of Economics, Thammasat University, 1974

18. สุวิทย์ ศิษย์นเรนทร์, รายงานการสำรวจโรงงานผลิตและประกอบรถไถนาขนาดเล็ก, กองบริการอุตสาหกรรม, กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม, ธันวาคม 2519-เมษายน 2520

19. สุรินทร์ พงศ์ศุภสมิทธ์, มนัส คำแสง และ เรวัต พ่อค้า, เครื่องอบเมล็ดพลังงานแสงอาทิตย์, วารสารแม่โจ้, 4 : 1, 2523

20. สุวัฒน์ ไทยนะ, ตู้อบแห้งด้วยแสงอาทิตย์, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี, 2522

21. สุรศักดิ์ บำรุงวงศ์, การศึกษาและออกแบบการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการบ่มใบยาสูบ, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2523

22. Shannon, R.E., Systems Simulation: the art and science, Prentice-Hall Inc., 1975

23. Duffie, J.A., and Beckman, W.A., Solar Energy Thermal Process, John Wiley & Sons Inc., New York, 1974

24. McAdams, W.C., Heat Transmission, Third Edition, McGraw-Hill, New York, 1954

25. Liu, B.Y.H., and Jordan, R.C., The Interrelationship and Characteristic Distribution of Direct, Diffuse and Total Solar Radiation, <u>Solar Energy</u>, 4 : 3, 1960

26. กระทรวงคมนาคม, กรมอุตุนิยมวิทยา, กองภูมิอากาศ, <u>สถิติภูมิอากาศของประเทศไทยในคาบ 25 ปี(พ.ศ. 2494-2518)</u>, มกราคม 2520

27. Hottel, H.C., and Woertz, B.B., Performance of Flat-Plate Solar Heat Collectors, <u>Trans. ASME</u>, Vol. 64, 1942

28. Hukill, W.V., Drying of Grain, <u>Storage of Cereal Grain and Their Products</u>, J.A. Anderson and A.W. Alcock (Editors), Am. Assoc. Cereal Chem., St. Paul, Minn., 1954

29. Hall, C.W., <u>Drying Farm Crops</u>, Agri. Consulting Assoc., Reynoldsburg, Ohio, 1957

30. Brooker, D.B., Bakker-Arkema, F.W., and Hall, C.W., <u>Drying Cereal Grains</u>, AVI Publishing Co., Westport, Conn., 1974

31. Brooker, D.B., Mathematical Model of the Psychrometric Chart, <u>Tran. ASAE</u>, 10 : 4, 1967

32. Henderson , S.M., A Basic Concept of Equilibrium Moisture Content, <u>Agri. Eng.</u>, 33 : 1, 1952

33. Pfost, H.B., Maurer, S.G., Chung, D.S., and Milliken, G.A., Summarizing and Reporting Equilibrium Moisture Data for Grains, <u>ASAE Paper No. 76-3520</u>, ASAE, St. Joseph, Mich, 1976

34. Henderson, S.W., and Perry, R.L., <u>Agricultural Processing Engineering</u>, Third Edition, AVI Publishing Co., Westport, Conn., 1976

35. Chancellor, W.J., Characteristics of Conducted Heat Drying and Their Comparison with Those of Their Other Drying Methods, <u>Tran. ASAE</u>, 11 : 6, 1968

36. Araullo, E.V., De Padua, D.B., and Michael Graham, <u>Rice: Post-Harvest Technology</u>, International Development Research Center, Ottawa, 1976

37. Carmichael, C. (Editor), <u>Kent's Mechanical Engineers' Handbook</u>, 12nd edition, John Wiley & Sons inc., New York

38. Severns, W.H., and Fellows, H.S., <u>Air Conditioning and Refrigeration</u>, John Wiley & Sons Inc., New York, 1958

39. ปัญญา พิทักษ์กุล, <u>การใช้ประโยชน์ของพลังงานแสงอาทิตย์กับอุตสาหกรรมการอบแห้งอาหารในประเทศไทย</u>, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525

40. Thuesen, H.G., Fabrycky, W.J., and Thuesen, G.J., <u>Engineering Economy</u>, 4th edition, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1971

ภาคผนวก

ตารางที่ 1 ข้าว : เนื้อที่เพาะปลูก จำนวนผลิตผล (ข้าวเปลือก) และมูลค่าของผลิตผลตามราคาที่เกษตรกรขายได้ พ.ศ. ๒๕๐๕–๒๕๑๙

Table 1 Rice : Planted Area, Production (Paddy) and Farm Value,- 1962–1976.

ปีเพาะปลูก เริ่ม เม.ย.	Year beginning April	เนื้อที่เพาะปลูก Planted area	เนื้อที่เก็บเกี่ยว Harvested area	เฉลี่ยผลได้ต่อไร่(๑) Average yield (1)	จำนวนผลิตผล Production	ราคาที่เกษตรกรขายได้ Farm price	มูลค่าของผลิตผลตามราคาที่เกษตรกรขายได้ Farm Value
		๑,๐๐๐ ไร่ 1,000 rai	๑,๐๐๐ ไร่ 1,000 rai	ไร่ละ–ก.ก. kg. per rai	๑,๐๐๐ ตัน 1,000 tons	เกวียนละ–บาท baht per kwien	ล้านบาท million baht
๒๕๐๕/๐๖	1962/63	41,168	38,696	267	10,992	—	—
๒๕๐๖/๐๗	1963/64	41,229	39,715	281	11,585	—	—
๒๕๐๗/๐๘	1964/65	40,872	37,316	278	11,362	—	—
๒๕๐๘/๐๙	1965/66	40,961	37,247	268	10,978	—	—
๒๕๐๙/๑๐	1966/67	46,454	43,759	257	11,947	1,157.46	13,828.2
๒๕๑๐/๑๑	1967/68	41,612	36,296	231	9,625	1,143.60	11,007.2
๒๕๑๑/๑๒	1968/69	45,173	39,602	229	10,348	972.34	10,061.8
๒๕๑๒/๑๓(๓)	1969/70(3)	47,400	45,370	283	13,410	860.43	11,538.4
๒๕๑๓/๑๔(๓)	1970/71(3)	46,840	42,839	290	13,570	628.63	8,530.5
๒๕๑๔/๑๕(๓)	1971/72(3)	47,043	44,347	292	13,744	799.91	10,994.0
๒๕๑๕/๑๖	1972/73	45,931	42,375	270	12,413	1,311.05	16,274.1
๒๕๑๖/๑๗	1973/74	52,270	48,394	285	14,898	1,958.52	29,178.0
๒๕๑๗/๑๘	1974/75	49,889	45,833	268	13,386	2,232.25	29,880.9
๒๕๑๘/๑๙	1975/76	55,602	52,393	275	15,300	1,978.29(r)	30,267.8(r)
๒๕๑๙/๒๐	1976/77	53,595	—	281	15,068	1,870.48(๒)	28,184.4

(๑) คิดจากเนื้อที่เพาะปลูกจริง ๆ (โดยหัก คันนา, ทางเดิน, จอมปลวก, ตอไม้, พุ่มไม้ออก)

(1) Averaged by planted area. (Excluded dike, path, anthill, stump and bush.)

(๒) ราคาที่เกษตรกรขายได้ มกราคม–กรกฎาคม

(2) Farm price, from January–July.

(๓) ไม่รวมผลของการทำนาปรัง

(3) Second crop not included.

ที่มา กองเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ตารางที่ 2 แสดงเนื้อที่เพาะปลูก ผลผลิตและผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ของข้าวนาปี แยกเป็นข้าวเจ้าและข้าวเหนียวเป็นรายจังหวัดและเขตเกษตรเศรษฐกิจปีเพาะปลูก 2520/21

จังหวัด	เนื้อที่เพาะปลูก (ไร่)		ผลผลิต (ตัน)		ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ (กก.)	
	ข้าวเจ้า	ข้าวเหนียว	ข้าวเจ้า	ข้าวเหนียว	ข้าวเจ้า	ข้าวเหนียว
รวมทั้งประเทศ	33,556,332	19,908,852	8,432,649	3,902,205	251	196
เขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 1	366,299	5,478,929	93,009	1,022,161	254	187
– นครพนม	21,176	993,761	3,713	185,527	175	187
– สกลนคร	11,658	1,370,622	1,871	273,446	160	200
– หนองคาย	128,527	721,748	32,733	162,109	255	225
– อุดรธานี	204,938	2,392,798	54,692	401,079	267	168
เขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 2	268,546	3,198,439	32,198	336,030	120	105
– ยโสธร	57,334	630,607	9,322	83,277	163	132
– อุบลราชธานี	211,212	2,567,832	22,876	252,753	108	98
เขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 3	541,783	5,382,110	105,352	674,931	194	125
– กาฬสินธุ์	92,004	738,901	31,676	149,171	344	202
– ขอนแก่น	236,344	1,491,862	60,794	261,038	257	175
– มหาสารคาม	101,366	1,632,307	4,942	196,148	49	120
– ร้อยเอ็ด	112,069	1,519,040	7,940	68,574	71	45
เขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 4	4,503,437	765,629	620,502	32,516	138	42
– บุรีรัมย์	1,643,074	338,907	329,432	9,995	200	29
– ศรีสะเกษ	1,167,529	355,609	56,860	7,520	49	21
– สุรินทร์	1,692,834	71,113	234,210	15,001	138	211
เขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 5	2,842,475	987,379	398,024	163,119	140	165
– ชัยภูมิ	623,693	892,696	157,045	156,557	252	175
– นครราชสีมา	2,218,782	94,683	240,979	6,562	109	69

จังหวัด	เนื้อที่เพาะปลูก (ไร่)		ผลผลิต (ตัน)		ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ (กก.)	
	ข้าวเจ้า	ข้าวเหนียว	ข้าวเจ้า	ข้าวเหนียว	ข้าวเจ้า	ข้าวเหนียว
ตรเศรษฐกิจที่ 6	3,050,284	539,140	599,173	102,791	196	191
รสวรรค์	1,656,717	4,949	295,394	1,239	178	250
พชรบูรณ์	711,711	123,409	230,820	41,647	324	337
ลย	-	410,782	-	59,905	-	146
ทัยธานี	681,856	-	72,959	-	107	
ตรเศรษฐกิจที่ 7	2,005,502	-	688,693	-	343	-
พบุรี	1,203,015	-	407,822	-	339	
ระบุรี	802,487	-	280,871	-	350	-
ตรเศรษฐกิจที่ 8	3,417,428	150,916	791,428	43,134	232	286
ำแพงเพชร	747,868	25,570	96,452	3,845	129	150
าก	102,647	94,596	37,710	29,311	367	310
จิตร	1,625,013	5,869	406,042	975	250	166
ษณุโลก	941,900	24,881	251,224	9,003	267	362
ตรเศรษฐกิจที่ 9	1,033,915	1,185,202	317,573	475,192	307	401
าน	1,792	239,940	873	107,423	487	448
พร	259	332,031	161	163,457	622	492
ำปาง	56,701	485,946	2,368	165,310	42	340
โขทัย	635,719	22,170	166,902	5,290	263	239
ตรดิตถ์	339,444	105,115	147,269	33,712	434	321
ตรเศรษฐกิจที่ 10	543,992	2,150,109	243,261	1,037,300	447	482
ชียงใหม่	99,318	558,998	51,656	278,706	520	499
ชียงราย	379,576	1,343,253	160,543	643,704	423	479
ม่ฮ่องสอน	59,340	54,237	29,415	29,408	496	542
ำพูน	5,758	193,621	1,647	85,482	286	441

จังหวัด	เนื้อที่เพาะปลูก (ไร่)		ผลผลิต (ตัน)		ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ (กก.)	
	ข้าวเจ้า	ข้าวเหนียว	ข้าวเจ้า	ข้าวเหนียว	ข้าวเจ้า	ข้าวเหนียว
เขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 11	6,135,643	4,010	2,125,294	59	346	15
– ชัยนาท	707,919	–	247,772	–	350	–
– นครนายก	741,731	–	244,029	–	329	–
– นครปฐม	290,663	3,883	118,976	20	409	5
– นนทบุรี	113,507	–	57,142	–	503	–
– ปทุมธานี	739,620	–	232,367	–	314	–
– อยุธยา	996,557	127	323,490	39	325	307
– สิงห์บุรี	455,403	–	207,598	–	456	–
– สุพรรณบุรี	1,185,300	–	359,146	–	303	–
– อ่างทอง	541 991	–	226,558	–	418	–
– กรุงเทพฯ	362,952	–	108,216	–	298	–
เขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 12	1,305,667	–	343,726	–	263	–
– กาญจนบุรี	224,477	–	41,427	–	185	–
– ประจวบคีรีขันธ์	55,601	–	19,535	–	351	–
– เพชรบุรี	536,820	–	136,517	–	254	–
– ราชบุรี	488,769	–	146,247	–	299	–
เขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 13	2,160,475	40,609	525,045	6,261	243	1[illegible]
– ฉะเชิงเทรา	1,079,075	1,525	358,232	519	332	3[illegible]
– ปราจีนบุรี	1,081,400	39,084	166,813	5,742	154	1[illegible]
เขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 14	411,255	–	133,599	–	325	
– สมุทรปราการ	238,196	–	77,568	–	326	
– สมุทรสาคร	166,189	–	53,815	–	324	
– สมุทรสงคราม	6,870	–	2,216	–	323	

จังหวัด	เนื้อที่เพาะปลูก (ไร่)		ผลผลิต (ตัน)		ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ (กก.)	
	ข้าวเจ้า	ข้าวเหนียว	ข้าวเจ้า	ข้าวเหนียว	ข้าวเจ้า	ข้าวเหนียว
เขตรเศรษฐกิจที่ 15	463,247	7,987	96,906	2,300	209	288
ชลบุรี	321,996	–	65,687	–	204	–
ระยอง	141,251	7,987	31,219	2,300	221	288
เขตรเศรษฐกิจที่ 16	284,062	5,678	89,708	1,803	316	318
จันทบุรี	222,235	4,049	69,075	1,336	311	330
ตราด	61,827	1,629	20,633	467	334	287
เขตรเศรษฐกิจที่ 17	3,114,746	6,461	934,625	2,823	300	437
ชุมพร	181,999	–	46,596	–	256	–
นครศรีธรรมราช	1,402,417	–	429,406	–	306	–
พัทลุง	438,274	6,461	148,617	2,823	339	437
สงขลา	702,086	–	210,655	–	300	–
สุราษฎร์ธานี	389,970	–	99,351	–	255	–
เขตรเศรษฐกิจที่ 18	573,524	6,254	155,891	1,785	272	285
กระบี่	162,013	5,063	46,325	1,519	286	300
ตรัง	195,677	1,191	53,058	266	271	223
พังงา	39,109	–	12,704	–	325	–
ภูเก็ต	11,759	–	3,532	–	300	–
ระนอง	9,317	–	2,817	–	302	–
สตูล	155,649	–	37,455	–	241	–
เขตรเศรษฐกิจที่ 19	534,051	–	138,642	–	260	–
นราธิวาส	206,739	–	43,266	–	209	–
ปัตตานี	243,758	–	68,978	–	283	–
ยะลา	83,554	–	26,398	–	316	–

ที่มา กองเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ตารางที่ 3 เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิตและผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่และร้อยละผลผลิตของข้าวเจ้าและข้าวเหนียว นาปรัง เป็นรายภาค ปี 2521

ภาค	ชนิดของข้าว	เนื้อที่เพาะปลูก (ไร่)	เนื้อที่เก็บเกี่ยว (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)	ผลผลิต ร้อยละ	ผลผลิตเฉลี่ยต่อ เนื้อที่เพาะปลูก (กก./ไร่)	เนื้อที่เก็บเ (กก./ไ
กลาง	ข้าวเจ้า	1,187,466	1,159,159	639,409	99.82	538	552
	ข้าวเหนียว	1,918	1,918	1,166	0.18	608	608
ตะวันออก	ข้าวเจ้า	501,819	498,486	271,286	100.00	541	544
	ข้าวเหนียว	-	-	-	-	-	-
ตะวันตก	ข้าวเจ้า	761,433	735,113	426,305	100.00	560	580
	ข้าวเหนียว	-	-	-	-	-	-
เหนือ	ข้าวเจ้า	290,525	255,015	141,195	99.58	486	554
	ข้าวเหนียว	1,500	1,500	594	0.42	396	396
ตะวันออก	ข้าวเจ้า	47,734	46,654	17,453	99.37	366	374
เฉียงเหนือ	ข้าวเหนียว	523	523	111	0.63	212	212
ใต้	ข้าวเจ้า	185,883	180,584	88,298	100.00	475	489
	ข้าวเหนียว	-	-	-	-	-	-
รวม	ข้าวเจ้า	2,974,860	2,875,011	1,583,946	99.88	532	551
	ข้าวเหนียว	3,941	3,941	1,871	0.12	475	475

ร้อยละ หมายถึง ร้อยละของแต่ละภาคของข้าวนาปรัง

ที่มา : กองเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ตารางที่ 4 ข้าว : ผลการทำนาของประเทศไทย และของบางประเทศ พ.ศ. ๒๕๑๖–๒๕๑๘

Table 4 Rice : Farming in Thailand and Selected Countries, 1973–1975.

ประเทศ	Country	เนื้อที่เก็บเกี่ยว Harvested area			ผลได้เฉลี่ยต่อไร่ Average yield			จำนวนผลิตผล Production		
		๒๕๑๖ 1973	๒๕๑๗ 1974	๒๕๑๘ 1975	๒๕๑๖ 1973	๒๕๑๗ 1974	๒๕๑๘ 1975	๒๕๑๖ 1973	๒๕๑๗ 1974	๒๕๑๘ 1975
		๑,๐๐๐ ไร่ 1,000 rai			ไร่ละ–กก. kg. per rai			๑,๐๐๐ ตัน 1,000 tons		
ไทย	Thailand	48,394	45,831	53,250	308	292	283	14,898	13,386	15,092
พม่า	Burma	30,494	30,525	31,944	282	281	292	8,602	8,583	9,339
สหพันธ์รัฐมาเลเซีย	Fed. Malasia	4,619	4,625	4,812	426	453	417	1,967	2,093	2,005
ฟิลิปปินส์	Philippines	21,481	22,119	23,125	260	256	282	5,594	5,660	6,512
จีน	China	217,025F	220,175F	225,000F	516	523	518	111,954F	115,213F	116,470F
ญี่ปุ่น	Japan	16,387	17,025	17,281	963	938	990	15,778	15,963	17,101
สาธารณรัฐเกาหลี	Korea Rep.	7,387	7,531	7,612	792	820	852	5,854	6,178	6,485
สหรัฐอเมริกา	U.S.A.	5,487	6,412	7,087	767	795	817	4,208	5,098	5,789
บราซิล	Brazil	29,969	27,362	32,806	239	237	234	7,167	6,483	7,674
อินเดีย	India	239,281	237,012	241,250F	276	255	292	66,077	60,380	70,500F
ปากีสถาน	Pakistan	9,450	10,025	10,469	390	346	363	3,682	3,470	3,804
บังคลาเทศ	Bangladesh	61,737	61,900	63,231	289	274	292	17,863	16,930	18,468
อินโดนีเซีย	Indonesia	52,525	53,356	53,744	409	426	430	21,500	22,732	23,100
รวมทั้งโลก	World Total	846,812	848,856	880,500	382	378	391	323,163	321,040	343,871

ที่มา : ประเทศไทยได้จากกองเศรษฐกิจการเกษตร

ประเทศอื่น ๆ ได้จากหนังสือรายงานประจำปีขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ–กรุงโรม

Sources : Thailand : Division of Agricultural Economics.

Other : Production yearbook 1975, Food and Agricultural Organization of the United Nations–Rome.

ตารางที่ 5

บาท/ครัวเรือน (Baht Household)

ปี Year	ภาค Region	ขนาดเนื้อที่ถือครอง (Size of Cultivated Area Under Management) ต่ำกว่า ๒ ไร่ (Less than 2 Rai)			๒–๕.๙ ไร่ (2–5.9 Rai)			๖–๑๔.๙ ไร่ (6–14.9 Rai)			๑๕–๒๙.๙ ไร่ (15–29.9 Rai)			๓๐–๔๔.๙ ไร่ (30–44.9 Rai)		
		รายได้ในและนอกเกษตร Farm & Non Farm Income	รายจ่ายทางเกษตร Farm Expenses	รายได้สุทธิ Net Cash Farm Income	รายได้ในและนอกเกษตร Farm & Non Farm Income	รายจ่ายทางเกษตร Farm Expenses	รายได้สุทธิ Net Cash Farm Income	รายได้ในและนอกเกษตร Farm & Non Farm Income	รายจ่ายทางเกษตร Farm Expenses	รายได้สุทธิ Net Cash Farm Income	รายได้ในและนอกเกษตร Farm & Non Farm Income	รายจ่ายทางเกษตร Farm Expenses	รายได้สุทธิ Net Cash Farm Income	รายได้ในและนอกเกษตร Farm & Non Farm Income	รายจ่ายทางเกษตร Farm Expenses	รายได้สุทธิ Net Cash Farm Income
๒๕๑๖/๑๗ (1973/74)	กลาง (Central Plain)	20,348.27	14,615.48	5,732.79	18,500.04	2,840.23	15,660.81	13,304.97	5,072.48	8,232.49	15,831.82	6,818.47	9,013.35	19,264.79	7,882.79	11,382.00
	ตะวันออก (East)	32,075.89	9,269.73	22,806.16	48,674.39	10,098.28	38,772.67	21,280.86	10,261.64	11,019.22	18,266.57	7,285.56	10,981.01	17,899.99	8,593.90	9,306.09
	ตะวันออกเฉียงเหนือ (North East)	9,273.17	1,089.88	8,183.29	7,297.07	2,643.05	4,654.02	4,714.58	1,209.57	3,505.01	17,193.01	3,214.70	13,978.31	6,259.90	2,729.65	4,530.25
	เหนือ (North)	9,680.89	1,501.94	8,088.95	10,279.51	1,070.27	9,209.24	7,689.08	1,530.88	6,158.20	11,241.65	2,941.42	8,300.43	13,822.17	5,131.09	8,691.06
	ตะวันตก (West)	26,409.2	16,489.12	9,920.09	32,514.08	16,893.81	15,620.27	19,564.29	13,828.73	5,736.56	15,667.07	9,463.00	6,204.07	22,923.73	9,239.70	13,684.06
	ใต้ (South)	20,447.16	1,485.55	18,961.61	34,830.19	649.51	34,180.68	10,585.16	1,070.37	9,514.79	10,931.19	1,969.35	8,961.84	14,261.11	4,889.06	9,381.05
	เฉลี่ยทั้งประเทศ (Average)	15,212.99	4,243.67	10,969.32	11,613.95	3,274.81	8,339.14	9,495.18	4,305.28	5,189.90	10,123.26	2,960.51	7,162.75	12,336.76	4,333.24	8,003.52

หมายเหตุ : ภาคกลางได้แก่จังหวัด กรุงเทพ ฯ อยุธยา ลพบุรี ชัยนาท สิงห์บุรี อ่างทอง สระบุรี ปทุมธานีและนนทบุรี
ภาคตะวันออกได้แก่ ฉะเชิงเทรา นครนายก ปราจีนบุรี ชลบุรี ระยอง ตราด จันทบุรี และสมุทรปราการ
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้แก่ กาฬสินธุ์ ขอนแก่น ชัยภูมิ นครพนม นครราชสีมา บุรีรัมย์ มหาสารคาม ร้อยเอ็ด เลย สกลนคร ศรีสะเกษ สุรินทร์ หนองคาย อุดรธานี อุบลราชธานีและยโสธร

ที่มา กองเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ตารางที่ 6 ตารางแสดงร้อยละของจำนวนฟาร์มแยกตามขนาดเนื้อที่ถือครอง

PERCENTAGE OF FARM HOUSEHOLDS ACCORDING TO SIZES OF FARM HOLDING FOR AGRICULTURE

ขนาดเนื้อที่ถือครอง Size of Farm Holding	๒๕๐๖ 1/ 1963	๒๕๐๗ * 1964	๒๕๐๘ * 1965	๒๕๐๙ * 1966	๒๕๑๐ * 1967	๒๕๑๑ * 1968	๒๕๑๒ * 1969	๒๕๑๓ 2/ 1970	๒๕๑๔ * 1971	๒๕๑๕ * 1972	๒๕๑๖ * 1973	๒๕๑๗ * 1974
น้อยกว่า 2 Less than	3.96	3.48	3.06	2.69	2.37	2.08	1.83	1.61	1.42	1.24	1.09	0.96
2 — 5.9	14.56	13 21	11.99	10.88	9.87	8.95	8.12	7.37	6.69	6.07	5.50	4.99
6 — 14.9	29.38	28.83	28.29	27.76	27.24	26.73	26.23	25.74	25.26	24.78	24.32	23.87
15 — 29.9	27.51	27.91	28.32	28.79	29.15	29.57	30.00	30 44	30.89	31.34	31.79	32.25
30 — 44.9	13.15	13.53	13.93	14.33	14.75	15.18	15.63	16.08	16.55	17.03	17.53	18.04
45 — 59.9	6.01	6.35	6.72	7.10	7.51	7.94	8 40	8.87	9.38	9.92	10.49	11.09
60 — 139 9	5.08	5.53	6.03	6.57	7.15	7.80	8.50	9.25	10.08	10.99	11.97	13.04
มากกว่า 140 More than	0.35	0.38	0.42	0.45	0.49	0.54	0.95	0.64	0.70	0.76	0.83	0.90

ที่มา 1/ สำมะโนเกษตร ปี ๒๕๐๖ สำนักงานสถิติแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรี
2/ กองเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
* ประมาณการโดย กองเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

Source 1/ Agriculture census 1963. National Statistical Organization, Office of the Prime Ministry
2/ DAE., Ministry of Agriculture and Co-operatives
* Estimate by DAE. Ministry of Agriculture and Co-operatives

Table 1 Grain loss of 4 rice varieties harvested at different harvest dates, Gapan, Nueva Ecija (wet, 1972 and dry, 1973).

Variety	Type of irrigation	Treatment (Date of harvest) -6 M. C. at harvest %	-6 Grain loss (kg/ha)	0 (Harvest) M. C. at harvest %	0 (Harvest) Grain loss (kg/ha)	+6 M. C. at harvest %	+6 Grain loss (kg/ha)
Wet Season							
IR 20	Irrigated	23.4	15.0 (0.45%)[1/]	20.8	27.5 (0.80%)	18.0	44.6 (1.30%)
	Rainfed	23.7	8.4 (0.40%)	19.5	20.8 (0.97%)	16.8	34.8 (1.65%)

Variety	Type of irrigation	Treatment (Date of harvest) -5 M. C. at harvest %	-5 Grain loss (kg/ha)	0 M. C. at harvest %	0 Grain loss (kg/ha)	+5 M. C. at harvest %	+5 Grain loss (kg/ha)	+10 M. C. at harvest %	+10 Grain loss (kg/ha)
Dry Season									
IR 20	Irrigated	22.4	38.8 (1.00%)	20.0	61.7 (1.43%)	16.6	74.1 (2.06%)	15.3	74.0 (2.08%)
IR 24	Irrigated	23.1	23.6 (0.79%)	20.1	37.0 (1.27%)	18.2	46.0 (1.73%)	15.6	46.8 (2.00%)
C4-63	Irrigated	23.0	58.9 (1.64%)	20.6	78.9 (2.17%)	16.6	74.6 (2.10%)	15.4	87.9 (2.68%)
IR 253	Irrigated	23.2	82.3 (2.47%)	20.5	102.6 (3.03%)	18.7	102.3 (3.19%)	16.3	128.8 (4.06%)

1/ Figures in parentheses indicate grain loss as a percent of total grain yield.

Table 2 Rough rice yield and percent head and milled rice yields for mechanically and sun-dried IR747 samples harvested at 10 different dates. IRRI, 1972 wet season.

Days of harvest (DS)*	M.C. at harvest	Rough rice yield (kg/ha)	Mechanical			Sun-dried		
			Head rice %	Broken rice %	Total milled %	Head rice %	Broken rice %	Total milled %
105	23.8	5933	62.7	9.1	71.8	56.5	15.7	72.2
108	22.7	6200	64.4	7.6	72.0	54.2	18.0	72.2
111	20.4	6533	62.1	9.9	72.0	46.3	25.2	71.5
114	19.1	6233	63.7	8.7	72.4	59.2	13.5	72.7
117	18.8	5400	62.9	9.4	72.3	53.7	18.3	72.0
120	17.9	5267	58.4	14.3	72.7	54.5	19.0	73.5
123	17.2	5100	45.1	26.9	72.0	41.6	31.3	72.9
126	17.5	5400	44.2	27.8	72.0	38.2	34.7	72.9
129	19.2	4433	39.7	31.2	70.9	17.7	52.0	69.7
132	20.9	5133	34.0	36.7	70.7	13.9	55.3	69.2

*Days after seeding.

Table 3 Rough rice yield and percent head and milled rice yields for mechanically and sun-dried IR24 samples harvested on 10 different dates, IRRI, 1972 wet season.

Days of harvest (DS)*	M.C. at harvest	Rough rice yield (kg/ha)	Mechanical			Sun-dried		
			Head rice %	Broken rice %	Total milled %	Head rice %	Broken rice %	Total milled %
113	24.5	2533	44.3	23.8	68.1	31.5	37.2	68.7
116	21.7	2667	51.6	17.1	68.7	33.8	35.7	69.5
119	19.5	2200	54.5	14.6	69.1	46.8	22.2	69.0
122	17.4	1833	51.0	17.0	68.0	47.0	21.0	68.0
125	23.6	1567	35.8	30.7	66.5	19.3	47.0	66.3
128	16.2	933	44.5	20.5	65.0	40.8	25.0	65.8
131	18.0	900	-	-	-	26.6	38.3	64.9
134	19.6	200	-	-	-	-	-	-
137	-	-	-	-	-	-	-	-
140	-	-	-	-	-	-	-	-

*Days after seeding.

ภาคผนวก ค.

การคาดคะเนความต้องการรถไถนาขนาดเล็ก

การคำนวณหาความต้องการเครื่องอบแห้งข้าวในประเทศ พ.ศ. 2523 - 2530 ได้อาศัยความต้องการใช้รถไถนาขนาดเล็กเป็นเกณฑ์เพราะคาดว่าชาวนาที่เป็นเจ้าของรถไถนาย่อมมีโอกาสเป็นเจ้าของเครื่องอบแห้งข้าวได้ไม่ยากนัก จากการที่ภาวะการตลาดของรถไถนาขนาดเล็กขึ้นกับภาวะการเกษตรในปีที่ผ่านมา หากการทำเกษตรกรรมได้ผลดีและจำหน่ายได้ราคาดี เกษตรมีรายได้สูง ปริมาณความต้องการรถไถนาอาจจะสูงตามไปด้วย และในทางกลับกันปริมาณความต้องการจะลดน้อยลงถ้ารายได้เกษตรกรต่ำลง

ค.1 <u>การคาดคะเนความต้องการรถไถนาขนาดเล็กชนิด 2 ล้อ</u>

การคำนวณได้ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการใช้รถไถนาขนาดเล็กชนิด 2 ล้อ และมูลค่าข้าวที่ชาวนาขายได้ โดยใช้สมการ

$$Y = 1.94 + 0.4X$$

โดยที่ Y = ความต้องการใช้รถไถนาขนาดเล็กชนิด 2 ล้อ (พันคัน)

X = มูลค่าข้าวที่ชาวนาขายได้ (พันล้านบาท)

และค่าคงที่ในสมการได้จากการคำนวณโดยอาศัยข้อมูลในตารางที่ ค.1 และวิธีการดังต่อไปนี้

จากสมการถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear Regression Equation)

$$Y = a + bX$$

โดยที่

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

$$b = \frac{n \sum_i X_i Y_i - (\sum_i X_i)(\sum_i Y_i)}{n \sum_i X_i^2 - (\sum_i X_i)^2}$$

จากตาราง ค.1

$$\sum_i X_i = 262.2$$

$$\sum_i Y_i = 124.34$$

$$\sum_i X_i Y_i = 3659.87$$

$$\sum_i X_i^2 = 7884.99$$

ข้อมูลในการคำนวณสมการความต้องการรถไถนา

ปี*	มูลค่าข้าวที่ขายได้ (พันล้านบาท) X_i	ความต้องการรถไถนาขนาดเล็ก (พันคัน) Y_i	X_i^2	XY	$(X_i-\bar{X})^2$	$(Y_i-\bar{Y})^2$	$(X_i-\bar{X})(Y_i-\bar{Y})$
2513	8.71	5.1 (1)	75.69	44.42	306.6	53.73	128.35
2514	10.99	6.81	120.78	74.84	231.95	31.58	85.59
2515	16.27	8.40	264.71	136.67	99.00	16.24	40.10
2516	29.18	10.83	851.47	316.02	8.76	2.56	4.74
2517	29.88	14.50	892.81	433.26	13.40	4.28	7.58
2518	30.27	14.50	916.27	438.92	16.40	4.28	8.38
2519	28.18	14.00 (2)	794.11	394.52	3.84	2.46	3.08
2520	32.96	15.4	1086.36	507.58	45.43	8.82	20.02
2521	40.43	16.5	1634.58	667.10	201.82	16.56	57.83
2522	35.33	18.3	1248.21	646.54	82.99	34.46	53.48
	262.20	124.34	7884.99	3659.87	1010.29	174.97	409.15

* ปีเพาะปลูก 2522/23 เขียนในตารางเป็น ปี 2522

1 ปี 2513-2518 ใช้ข้อมูลจาก ฝ่ายวิศวกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2 ปี 2519-2522 ใช้ข้อมูลจากวิทยานิพนธ์เรื่อง การปรับปรุงการผลิตรถไถนาขนาดเล็กของโรงงานอุตสาหกรรมภายในประเทศ ของ นาย ธนากร เกียรติบรรลือ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2522

$$b = (10(3659.87) - (262.2)(124.34))/(10(7884.99)-(262.2)^2)$$
$$= 0.40$$
$$a = (124.34/10) - 0.40(262.2/10)$$
$$= 1.94$$
$$r = 409.15/\sqrt{(1010.29)(174.97)}$$
$$= 0.97$$

เพราะว่า r มีค่าใกล้ 1 แสดงว่า ความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าข้าวกับความต้องการรถไถนา เป็นไปในลักษณะ เชิง เส้นตรง และเนื่องจากค่า r มีค่าเป็นบวก แสดงว่า เมื่อมูลค่าข้าว เพิ่มขึ้นความต้องการรถไถนา เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

จากสมการ $Y = 1.94 + 0.4X$ จะคาดคะเนความต้องการใช้รถไถนาขนาดเล็กชนิด 2 ล้อของประเทศในปีต่างๆได้ดังตารางที่ ค.2

ตารางที่ ค.2

การคาดคะเนความต้องการใช้รถไถนาขนาดเล็กชนิด 2 ล้อ

ปี	มูลค่าข้าวที่ชาวนาขายได้[1] (พันล้านบาท)	ความต้องการรถไถนาขนาดเล็ก (พันคัน)
2523	33.02	15.15
2524	34.01	15.54
2525	35.03	15.95
2526	36.08	16.37
2527	37.16	16.80
2528	38.28	17.25
2529	39.43	17.71
2530	40.61	18.18

1 จากการคำนวณโดยใช้ตัวเลขการคาดคะเนการผลิตในแต่ละปีของแผนพัฒนา (15) ซึ่งคาดว่า ผลผลิตข้าว เพิ่มขึ้น เฉลี่ยร้อยละ 3 ต่อปี คูณด้วยราคาเฉลี่ยข้าว เปลือกเจ้าที่ชาวนาขายได้ระหว่างปี 2515-2522 (16) ซึ่งมีค่าประมาณ 2034.32 บาท/ เกวียน

ความต้องการใช้รถไถนาขนาดเล็กชนิด 2 ล้อ ที่คำนวณได้นี้เป็นความต้องการใหม่ สำหรับชาวนาที่มีรถไถนาอยู่แล้วจะมีความต้องการทดแทนรถไถนาเก่าอยู่ด้วย ดังนั้นความต้องการรถไถนาขนาดเล็กชนิด 2 ล้อที่แท้จริงจึงเป็นผลรวมของความต้องการใหม่และความต้องการทดแทน

ในการวิจัยนี้สมมติให้อายุการใช้งานของรถไถนาขนาดเล็กชนิด 2 ล้อเท่ากับ 7 ปี เมื่อครบ 7 ปีแล้ว ในปีที่ 8 ชาวนาจะซื้อรถไถนาใหม่ ความต้องการรถไถนาขนาดเล็กชนิด 2 ล้อ ในปี พ.ศ. 2523 - 2530 จะเป็นดังตารางที่ ค.2

ตารางที่ ค.3

การคาดคะเนความต้องการใช้รถไถนาขนาดเล็กชนิด 2 ล้อ

ปี	ความต้องการที่คำนวณได้จากสมการ	ความต้องการทดแทน[1]	รวม
2523	15150	8400	23550
2524	15540	10830	26370
2525	15950	14500	30450
2526	16370	14500	30870
2527	16800	10981	27781
2528	17250	11450	28700
2529	17710	11450	29160
2530	18180	11450	29630

1 วิทยานิพนธ์เรื่อง การปรับปรุงการผลิตรถไถนาขนาดเล็กของโรงงานอุตสาหกรรมภายในประเทศ ของ นาย ธนากร เกียรติบรรลือ 2522 โดยใช้สมมติฐานว่า ชาวนาที่ครอบครองรถไถนา เมื่อ 7 ปีที่แล้ว เมื่อสิ้นปีที่ 7 ชาวนาทุกคนจะซื้อรถไถนาใหม่

ค.2 <u>การคาดคะเนความต้องการใช้รถไถนาขนาดเล็กชนิด 4 ล้อ</u>

จากการคาดคะเนปริมาณความต้องการรถไถนาขนาดเล็กของประเทศในอาเซีย โดย ECAFE ได้ประมาณไว้ว่า ปริมาณความต้องการจะเพิ่มขึ้นปีละ 12.5% จนถึงปี 2528 และปริมาณความต้องการรถไถนาชนิด 4 ล้อ เป็น 9% ของรถไถนาชนิด 2 ล้อ และจากกองบริการอุตสาหกรรม กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม(17) ประมาณไว้ว่า ความต้องการรถไถนาขนาดเล็กชนิด 4 ล้อจะเป็น 18%ของชนิด 2 ล้อ ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงใช้ตัวเลขประมาณของ ECAFE เป็น

เกณฑ์ เพราะมีค่าต่ำกว่าของกองบริการอุตสาหกรรม จากการคาดคะเนรถไถนาขนาดเล็กชนิด 2 ล้อ ดังในตารางที่ ค.3 จะได้ปริมาณความต้องการรถไถนาขนาดเล็กชนิด 4 ล้อ ดังตารางที่ ค.4

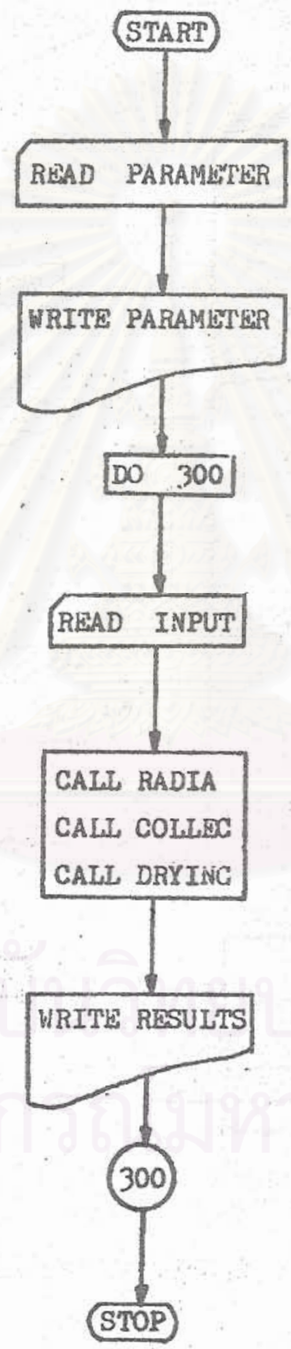
ตารางที่ ค.4

การคาดคะเนความต้องการรถไถนาขนาดเล็กชนิด 4 ล้อ

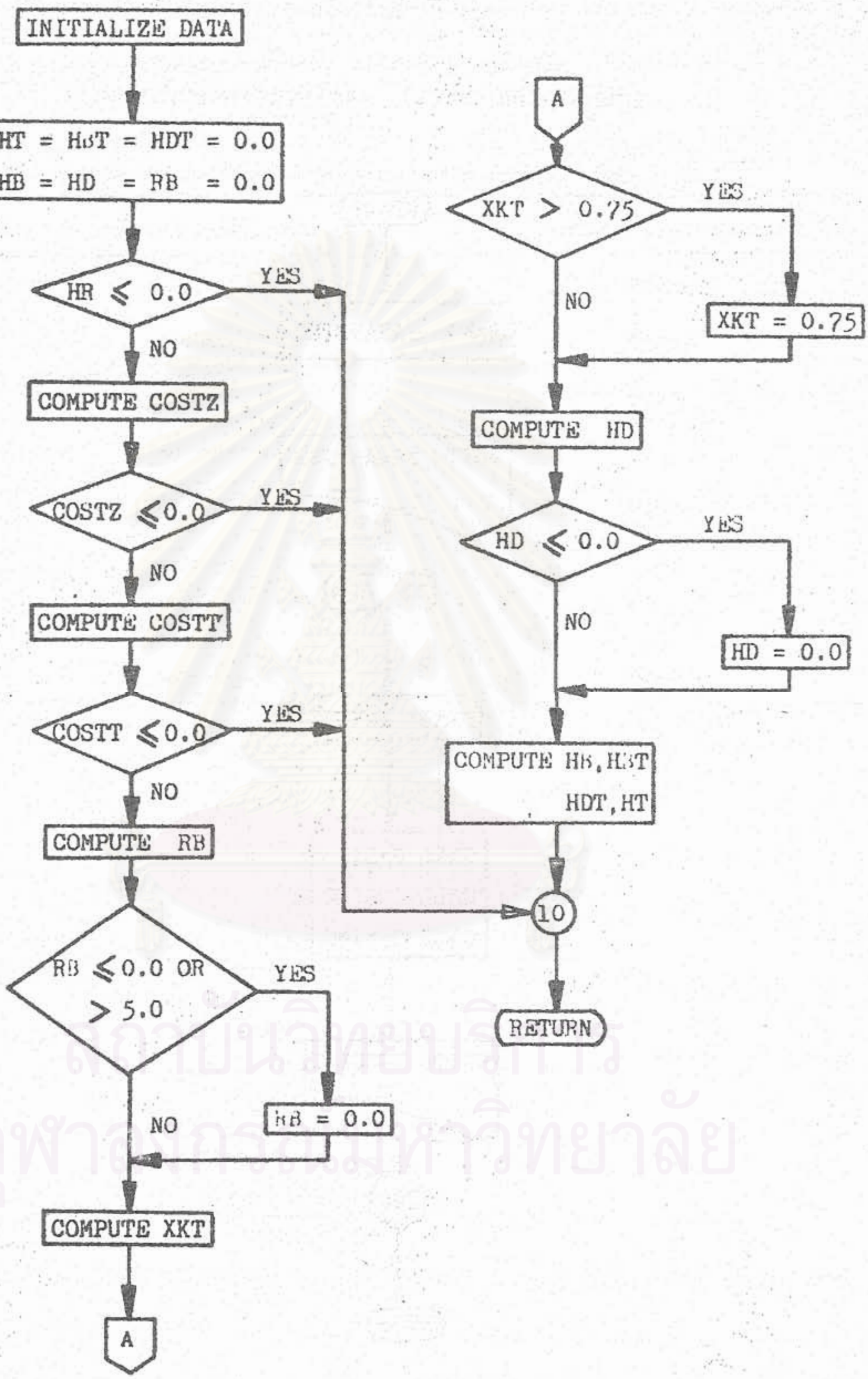
ปี	ความต้องการรถไถนาชนิด 2 ล้อ	ความต้องการรถไถนาชนิด 4 ล้อ
2523	23550	2120
2524	26370	2373
2525	30450	2741
2526	30870	2778
2527	27781	2500
2528	28700	2583
2529	29160	2624
2530	29630	2667

ภาคผนวก ง.

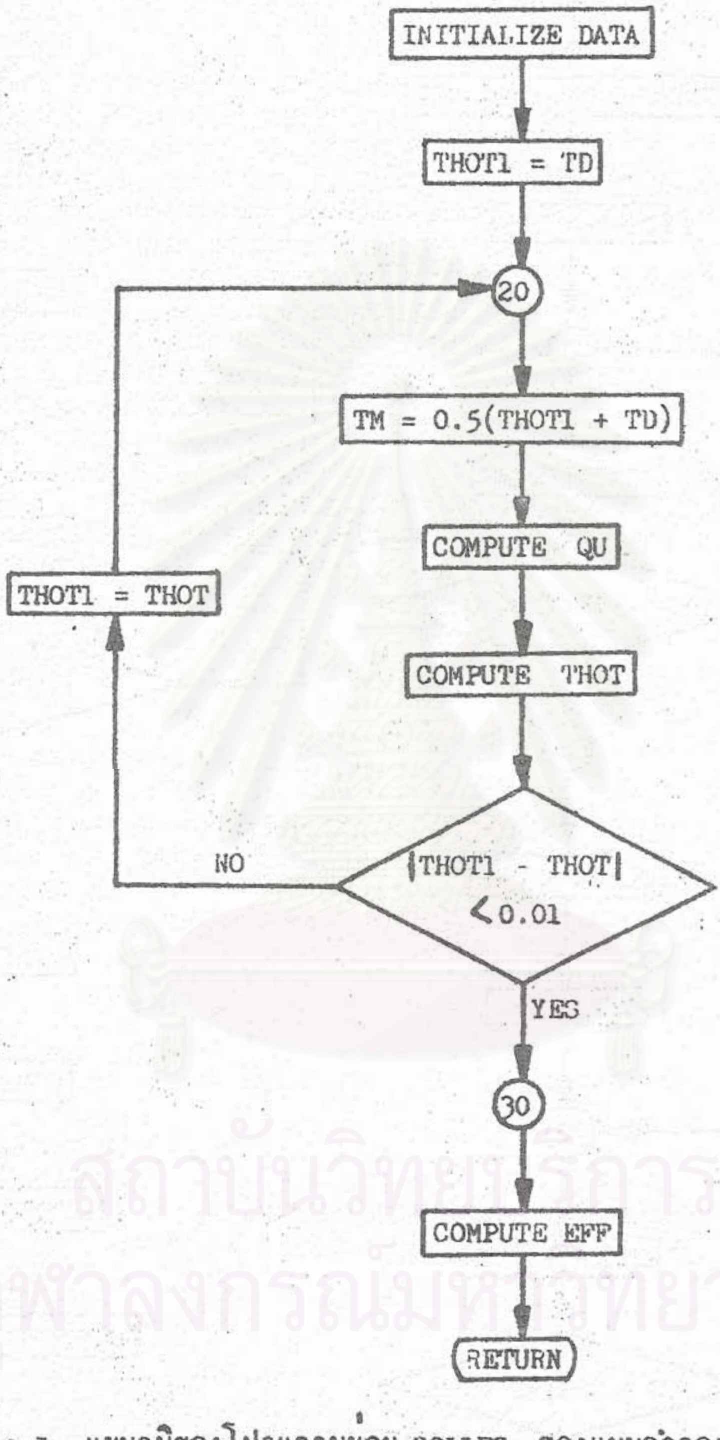
แผนภูมิ(Flow chart) และโปรแกรมคอมพิวเตอร์



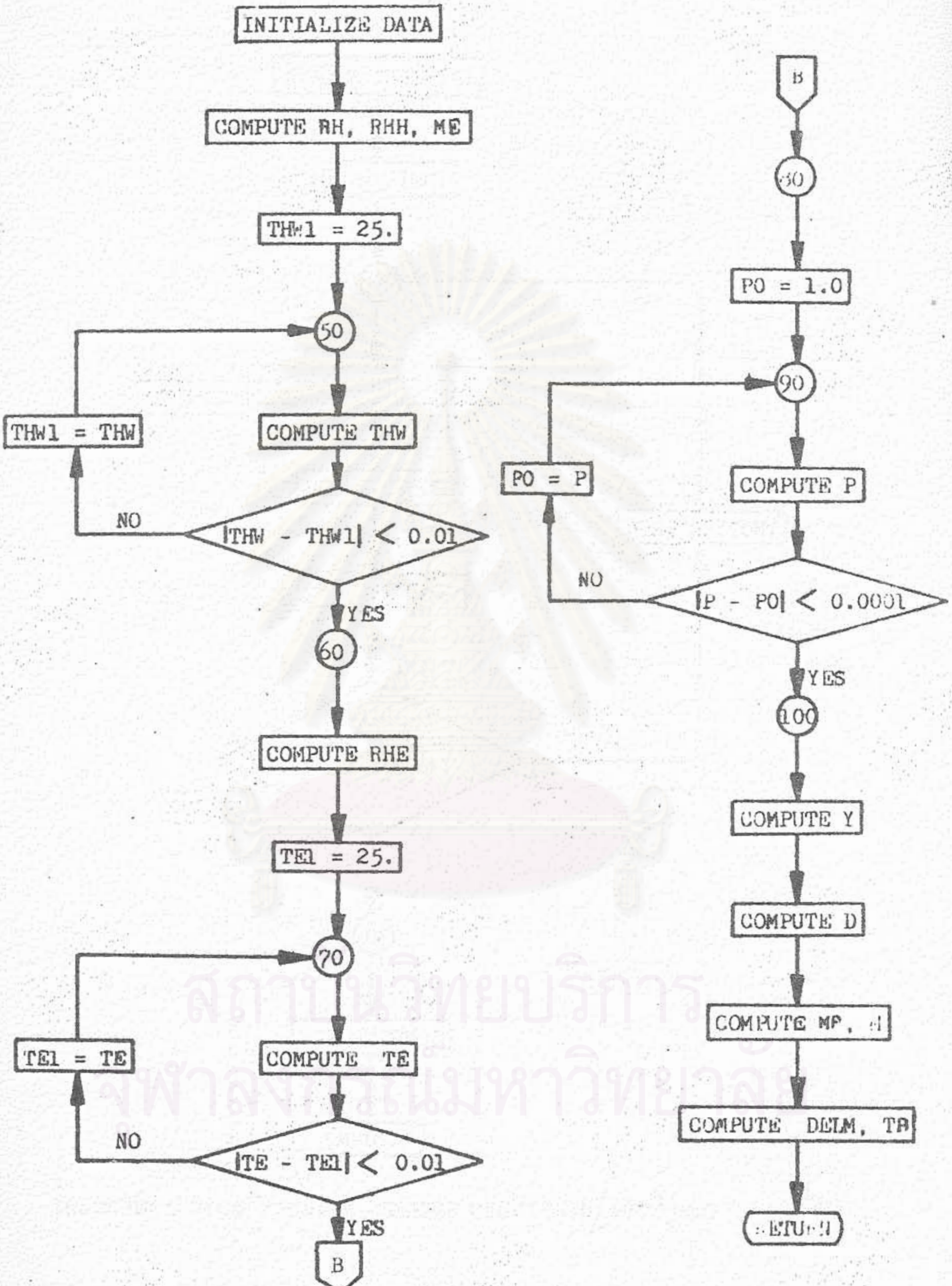
รูปที่ ง.1 แผนภูมิของโปรแกรมหลักของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์



รูปที่ ง.2 แผนภูมิของโปรแกรมย่อย RADIA ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์



รูปที่ ง.3 แผนภูมิของโปรแกรมย่อย COLLEC ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์



รูปที่ ง.4 แผนภูมิของโปรแกรมย่อย DRYING ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

```
C       MAIN PROGRAM
C
C       THIS PROGRAM SIMULATE  THE PROCESS OF SOLAR RICE DRYER, TO PREDICT THE
C       DRYING OF RICE USING SOLAR ENERGY    .
C
        REAL MO,M
        COMMON DAY, SLOPE, AZMTH,ALAT
        COMMON A,FP,ALF,UL,TAU,FLWRT
        COMMON ABIN,FLWRTB,MC,DEPTH,DTIME
        COMMON TC,HR,TD,TW,TA,HT,THOT,EFF,M,TH,THW,CELM
C       PARAMETER  OFSUBROUTINE RADIA(DATE,DAY,SLOPE,AZMTH)
        READ(1,11) DATE,DAY,SLOPE,AZMTH,ALAT
C       PARAMETER OF SUBROUTINE COLLEC(A,FP,ALF,UL,TAU,FLWRT)
        READ(1,21) A,FP,ALF,UL,TAU,FLWRT
C       PARAMETER OF SUBROUTINE DRYING(TIMEC,ABIN,FL,PTE,MO,WEIGH,DTIME)
        READ(1,31)TIMEO,ABIN,FLWRTB,MC,WEIGH,DTIME
        DTIME1 = DTIME*60.
        BD = 499.70 + 8.33*MC*100./(MC + 100.)
        DEPTH = WEIGH*100./(ABIN*BD)
        WRITE(3,13)DATE,MO,TIMEO,WEIGH,DEPTH,FLWRTB,ABIN,DTIME1,
       *A,SLOPE,AZMTH,FP,ALF,TAU,UL,FLWRT,ALAT
        WRITE(3,43)
        WRITE(3,23) TIMEO,MO
        AM = TIMEC
        IM = TIMEC
        BM = IM
        CM = AM - BM
        TC = BM + CM/0.6 + DTIME/2.
        DO 300  J = 1,20
C       INPUT OF THE PROGRAM(TIME,HR,TD,TW,TA)
        READ(1,4) TIME,HR,TD,TW,TA
        IF(TIME .EQ. 0.0) GO TO 500
        TC1 = TIME + DTIME*0.60
        AM1 = TC1
        IM1 = TC1
        BM1 = TM1
        CM1 = AM1 - BM1
        IF(CM1 .GT. 0.59) TC1 = BM1 + 1. + CM1 - 0.60
        CALL RADIA
        CALL COLLEC
        CALL DRYING
        WRITE(3,33) TC1,HR,M,DELM,TA,TW,THOT,TB,THW,EFF
        TC = TC + DTIME
        MC = M
    300 CONTINUE
    500 CONTINUE
     11 FORMAT(I6,F3.0,3F5.2)
     21 FORMAT(F4.2,2F3.2,F4.1,F3.2,F6.2)
     31 FORMAT(F4.2,F4.2,F6.2,F4.2,F5.2,F3.2)
     13 FORMAT(1H1,//10X,44HSIMULATION OF RICE DRYING USING SOLAR ENERGY
       * /10X,44H********************************************
       * ///12X,17HINITIAL CONDITION,10X,4HDATE,I10
       * /12X,17H*****************,10X,14H**************
       * //13X,16HMOISTURE CONTENT,F12.2,2X,11H% DRY BASIS
```

```
     * /13X,10HTIME START, F18.2
     * /13X,14HWEIGHT OF RICE,F14.2,2X,8HKILOGRAM
     * /13X,13HDEPTH OF RICE,F15.2,2X,10HCENTIMETER
     * /13X,16HDRYING FLOW RATE,F12.2,2X,5HKG/HR
     * /13X,18HAREA OF DRYING BIN,F10.2,2X,5HSQ.M.
     * /13X,13HTIME INTERVAL,F13.0,4X,6HMINUTE
     * //12X,32HSPECIFICATION OF SOLAR COLLECTOR
     * /12X,32H********************************
     * //13X,4HAREA,F24.2,2X,5HSQ.M.
     * /13X,5HSLOPE,F23.2,2X,6HDEGREE
     * /13X,13HAZIMUTH ANGLE,F15.2,2X,6HDEGREE
     * /13X,11HEFF. FACTOR,F17.2
     * /13X,17HPLATE ABSORPTANCE,F11.2
     * /13X,19HCOVER TRANSMITTANCE,F9.2
     * /13X,2HUL,F26.2,2X,13HKJ/SQ.M.-HR-C
     * /13X,9HFLOW RATE,F19.2,2X,5HKG/HR
     * /13X,8HLOCATION,F20.2,2X,6HDEGREE
 43  FORMAT(1H1,///11X,4HTIME,4X,2HHR,6X,2HMC,5X,4HDELM,3X,2HTA,5X,
     * 3HTWA,4X,4HTHOT,3X,2HTR,5X,3HTWB,4X,3HEFF,/11X,4H****,4X,
     * 2H**,6X,2H**,5X,4H****,3X,2H**,5X,3H***,4X,4H****,2X,2H**,5X,
     * 3H***,4X,3H***/)
 23  FORMAT(/10X,F5.2,9X,F7.2)
 41  FORMAT(F4.2,F6.2,3F4.2)
 33  FORMAT(/10X,F5.2,F9.2,8F7.2)
     STOP
     END
```

```
      SUBROUTINE RADIA
C
C  THIS ROUTINE(SOLAR RADIATION PROCESSOR) PROCESSES SOLAR RADIATION
C  DATA MEASURED ON A HORIZONTAL SURFACE TO ESTIMATE THE RADIATION
C  INCIDENT ON A TILTED SURFACE USING AN ASSUMPTION THAT THE DIFFUSE
C  RADIATION IS TAKEN TO BE UNIFORMLY DISTRIBUTED(RC = 1.0)
C  *****PARAMETER*****
C  DAY    - THE DAY OF THE YEAR
C  SLOPE  - THE SLOPE OF THE COLLECTOR SURFACE WITH RESPECT TO THE
C           HORIZONTAL(DEGREE)
C  AZMTH  - THE AZIMUTH OF ORIENTATION ANGLE(DEGREE)
C  *****INPUT*****
C  HR     - THE TOTAL RADIATION INCIDENT ON A HORIZONTAL SURFACE
C           (KJ/SQ.M.-HR)
C  TC     - TIME OF THE DAY
C  *****OUTPUT*****
C  HT     - THE TOTAL RADIATION INCIDENT ON A TILTED SURFACE(KJ/SQ.M.-HR)
C  HBT    - THE BEAM RADIATION INCIDENT ON A TILTED SURFACE(KJ/SQ.M.-HR)
C  HDT    - THE DIFFUSE RADIATION INCIDENT ON A TILTED SURFACE
C           (KJ/SQ.M.-HR)
      DATA RDCONV/0.0174533/,PI/3.1415927/,SC/.871./
      COMMON DAY,SLOPE,AZMTH,ALAT
      COMMON A,FP,ALF,UL,TAL,FLWRT
      COMMON ABIN,FLWRTB,MO,DEPTH,DTIME
      COMMON TC,HR,TD,TW,TA,HT,THOT,EFF,M,TB,THW,DELM
      COSLAT = COS(ALAT*RDCONV)
      SINLAT = SIN(ALAT*RDCONV)
      COSAZM = COS(AZMTH*RDCONV)
      SINAZM = SIN(AZMTH*RDCONV)
      COSSLP = COS(SLOPE*RDCONV)
      SINSLP = SIN(SLOPE*RDCONV)
      HT = 0.0
      HBT = 0.0
      HDT = 0.0
      HB = 0.0
      HD = 0.0
      RB = 0.0
      IF(HR.LE.0.0) GO TO 10
C  COMPUTER SOLAR DECLENATION(DEGREE)
      DECL = 23.45*SIN((284. + DAY)/365.*PI*2.)
      COSDEC = COS(DECL*RDCONV)
      SINDEC = SIN(DECL*RDCONV)
      ECC = 1. + 0.033*COS(2.*PI*DAY/365)
C  ECC IS THE ECCENTRICITY CORRECTION FACTOR FOR THE SOLAR CONSTANT
      HRANG = (12.- TC)*15.
      COSHR =   COS(HRANG*RDCONV)
      SINHR = SIN(DECL*RDCONV)
      COSTZ = SINDEC*SINLAT + COSDEC*COSLAT*COSHR
C  COSTZ IS THE COSINE OF THE ANGLE OF BEAM RADIATION INCIDENT ON
C  HORIZONTAL SURFACE
      IF(COSTZ.LE.0.0) GO TO 10
      HEX = SC*ECC*COSTZ
C  HEX IS THE EXTRATERRESTRIAL RADIATION ON A HORIZONTAL SURFACE
C  SC IS THE SOLAR CONSTANT
```

```
      COSTT = SINDEC*SINLAT*COSSLP - SINDEC*COSLAT*SINSLP*COSAZM
     *        +COSDEC*COSLAT*COSSLP*COSHR
     *        +COSDEC*SINLAT*SINSLP*COSAZM*COSHR
     *        +COSDEC*SINSLP*SINAZM*SINHR
C  COSTT IS THE COSINE OF THE ANGLE OF BEAM RADIATION INCIDENT ON A
C  TILTED SURFACE
      IF(COSTT.LE.0.0) GO TO 10
      RB = COSTT/COSTZ
C  RB IS THE RATE OF BEAM RADIATION ON TILTED SURFACE TO THAT ON
C  HORIZONTAL SURFACE
      IF(RB.LE.0.0 .OR.RB.GT.5.) RB = 0.0
      XKT = HR/HEX
C  XKT IS THE RATIO OF TOTAL RADIATION ON A HORIZONTAL SURFACE TO THE
C  EXTRATERRESTRIAL RADIATION
      IF(XKT.GT.0.75)XKT = 0.75
      HD = HR*(1.0045 + ((2.6313*XKT - 3.5277)*XKT + 0.04349)*XKT)
C  HD IS THE DIFFUSE RADIATION ON A HORIZONTAL SURFACE(KJ/SQ.M.-HR)
      IF(HD.LE.0.0)HD = 0.0
      HB = HR - HD
C  HB IS THE BEAM RADIATION ON A HORIZONTAL SURFACE (KJ/SQ.M.-HR)
      HBT = HB*RB
      HDT = HD
      HT = HBT + HDT
   10 CONTINUE
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE COLLEC
C  THIS ROUTINE(FLAT PLATE COLLECTOR) SIMULATES THE THERMAL PERFORMANCE
C  OF A FLAT PLATE SOLAR COLLECTOR
C  *****PARAMETER*****
C  A        - COLLECTOR AREA(SQ.M.)
C  FP       - COLLECTOR EFFICIENCY FACTOR
C  ALF      - COLLECTOR PLATE ABSORPTANCE
C  TA       - TRANSMITTANCE OF THE COVER
C  FLWRT    - COLLECTOR AIR FLOW RATE(KG/HR)
C  UL       - THE OVERALL ENERGY LOSS COEFFICIENT
C  *****INPUT*****
C  HT       - TOTAL RADIATION INCIDENT ON THE TILTED COLLECTOR SURFACE
C             (KJ/SQ.M.-HR)
C  TD       - INLET AIR TEMPERATURE(C)
C  TA       - AMBIENT TEMPERATURE(C)
C  *****OUTPUT*****
C  QU       - THE USEFUL ENERGY COLLECTION RATE(KJ/HR)
C  THOT     - HOT AIR TEMPERATURE LEAVING THE COLLECTOR(C)
C  EFF      - THE COLLECTOR EFFICIENCY (PERCENT)
      DATA EG/0.88/.SB/5.6697E-08/,CPA/1.005/
      COMMON DAY,SLOPE,AZMTH,ALAT
      COMMON A,FP,ALF,UL,TAU,FLWRT
      COMMON ABIN,FLWRTB,MC,DEPTH,DTIME
      COMMON TC,HR,TD,TW,TA,HT,THOT,EFF,M,TB,THW,DELM
      THOT1 = TD
   20 CONTINUE
      TM = (THOT1 + TD)*0.5
C  TM IS THE MEAN AIR TEMPERATURE
      QU = A*FP*(HT*TAU*ALF - UL*(TM - TA))
      THOT = QU/(FLWRT*CPA) + TD
      IF(ABS(THOT - THOT1).LT.0.01) GO TO 30
      THOT1 = THOT
      GO TO 20
   30 CONTINUE
      EFF = QU/(HR*A)*100.
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE DRYING
C
C  THIS ROUTINE SIMULATE THE PROCESS OF DRYING OF RICE
C  *****PARAMETER*****
C  ABIN        - DRYING BIN AREA(SQ.M.)
C  FLWRTB      - DRYING BIN AIR FLOW RATE (KG/HR)
C  MC          - INITIAL MOISTURE CONTENT OF RICE (% DRY BASIS)
C  DEPTH       - DEPTH OF RICE IN THE DRYING BIN(CENTIMETER)
C  DTIME       - TIME INTERVAL OF DRYING (HOUR)
C  *****INPUT*****
C  TD          - INLET AIR TEMPERATURE ENTERING THE COLLECTOR(C)
C  TW          - WET BULB INLET AIR TEMPERATURE ENTERING THE COLLECTOR(C)
C  THOT        - HOT AIR TEMPERATURE ENTERING THE DRYING BIN(C)
C  *****OUTPUT*****
C  M           - MOISTURE CONTENT OF A RICE AT ANY TIME (%DRY BASIS)
C  TB          - OUTLET AIR TEMPERATURE LEAVING THE DRYING BIN(C)
C  TBW         - WET BULB OUTLET TEMPERATURE LEAVING THE DRYING BIN(C)
      REAL M,MC,ME,MR
      DATA CPA/1.005/,PA/101.325/
      COMMON DAY,SLOPE,AZMTH,ALAT
      COMMON A,FP,ALF,UL,TAU,FLWRT
      COMMON ABIN,FLWRTB,MC,DEPTH,DTIME
      COMMON TC,HR,TD,TW,TA,HT,THOT,EFF,M,TB,THW,DELM
C
C  COMPUTE EQUILIBRIUM MOISTURE CONTENT OF RICE
      TDK = TD + 273.15
      TWK = TW + 273.15
      THOTK = THOT + 273.15
      PSW = 6.89475*EXP(51.5945 - 6834.271/TWK - 5.16923*ALOG(TWK))
C  PSW IS THE SATURATION VAPOR PRESSURE OF THE INLET AIR ENTERING THE
C  COLLECTOR AT THE TW(KPA)
C  HFGI IS THE LATENT HEAT OF VAPORIZATION OF WATER OF THE INLET AIR
C  ENTERING THE COLLECTOR AT TW (KJ/KG)
      HFGI = 2502.5353 - 2.3857*TW
      PV = PSW - CPA*(PA - PSW)/(0.6219*HFGI)*(TD - TW)
C  PV IS THE VAPOR PRESSURE OF THE INLET AIR ENTERING THE COLLECTOR (KPA)
      PS = 6.89475*EXP(51.5945 - 6834.271/TDK - 5.16923*ALOG(TDK))
C  PS IS THE SATURATION VAPOR PRESSURE OF THE INLET AIR ENTERING THE
C  COLLECTOR AT TC(KPA)
      PSH = 6.89475*EXP(51.5945 - 6834.271/THOTK - 5.16923*ALOG(THOTK)
C  PSH IS THE SATURATION VAPOR PRESSURE OF THE OUTLET AIR LEAVING THE
C  COLLECTOR AT THOT(KPA)
      RH = PV/PS
C  RH IS THE RELATIVE HUMIDITY OF THE INLET AIR ENTERING THE COLLECTOR
      RHH = PV/PSH
C  RHH IS THE RELATIVE HUMIDITY OF THE OUTLET AIR LEAVING THE COLLECTOR
      ME = ((-ALOG(1. - RHH))/(3.45366E- 05*(THOT + 46.20056))**(1./2.4451
C
C  COMPUTE THE WET BULB TEMPERATURE OF THE OUT LET AIR LEAVING THE
C  COLLECTOR
      THW1 = 25.
   50 CONTINUE
      HFG2 = 2502.5353 - 2.38576*THW1
C  HFG2 IS THE LATENT HEAT OF VAPORIZATION OF WATER OF THE OUTLET AIR
```

```
C   LEAVING THE COLLECTOR AT THW1(KJ/KG)
          THWK = THW1 +274.15
           PSHW = 6.89575*EXP(51.5945 - 6834.271/THWK - 5.16923*ALOG(THWK)
C   PSHW IS THE SATURATION VAPOR PRESSURE OF THE OUTLET AIR LEAVING THE
C   COLLECTOR AT THW1(KPA)
          R1 = (6334.271/THWK - 5.16923)/THWK
          B1 = CPA * (PA - PSHW)
          B2 = 0.6219*HFG2
          F1 = B1*(THOT - THW1) - B2*(PSHW - PV)
          F2 =-B1 - CPA*(THOT-THW1)*PSHW*R1 - B2*PSHW*R1+0.6219*2.38576*(PSHW-PV)
          THW = THW1 - F1/F2
C   THW IS THE WET BULB TEMPERATURE OF THE OUTLET AIR LEAVING THE
C   COLLECTOR(C)
          IF(ABS(THW-THW1).LT.0.01) GO TO 60
          THW1 = THW
          GO TO 50
       60 CONTINUE
C
C   COMPUTE THE RELATIVE HUMIDITY OF AIR EQUILIBRIUM TO THE MOISTURE
C   CONTENT
          RHE = 1. - EXP(-(3.45366E-05*(THOT+ 46.20056)*(MC**2.4451)))
C
C   COMPUTE THE DRY BULB AIR TEMPERATURE EQUILIBRIUM TO THE MOISTURE
C   CONTENT
          B = B1/B2
          TE1 = 25.
       70 CONTINUE
          TEK = TB1 + 273.15
          PVE = RHE*6.89475*EXP(51.5945-6834.271/TEK-5.16923*ALOG(TEK))
C   PVE IS THE VAPOR PRESSURE OF THE AIR EQUILIBRIUM TO THE MOISTURE
C   CONTENT
          R2 = -(6834.271/TEK+5.16923)/TEK
          F3 = PSHW-B*(TE1-THW)-PVE
          F4 = PVE*R2-B
          TE = TE1-F3/F4
C   TE IS THE AIR TEMPERATURE EQUILIBRIUM TO THE MOISTURE CONTENT
          IF(ABS(TE-TE1).LT.0.01) GO TO 80
          TE1 = TE
          GO TO 70
       80 CONTINUE
C
C   COMPUTE THE TIME UNIT
          G = 8860.*EXP(-3415./THOTK)
          PO = 1.
       90 CONTINUE
          GPO = -G*PO
          F5 = 0.5-0.750*(EXP(GPO)+EXP(4.*GPO))/4.+(EXP(9.*GPO))/9.)
          F6 = 0.750*G*(EXP(GPO)+EXP(4.*GPO)+EXP(9.*GPO))
          P = PO - F5/F6
C   P IS THE PERIOD OF HALF RESPONSE(HR)
          IF(ABS(P-PO).LT.0.0001) GO TO 100
          PO = P
          GO TO 90
      100 CONTINUE
```

```
      Y = DTIME/P
C  Y IS THE TIME UNIT
C
C  COMPUTE THE DEPTH FACTOR
      DEP = DEPTH/100.
C  DEP IS THE DEPTH OF RICE IN THE DRYING BIN(METER)
      BD = 499.70+8.33*MC*100./(MC+100.)
C  BD IS THE BULK DENSITY OF RICE
      HFG = 2502.5353 - 2.38576*THOT
C  HFG IS THE LATENT HEAT OF VAPORIZATION OF MOISTURE IN THE RICE
      W = BD*ABIN*DEP/(1.+MC/100.)
C  W IS WEIGHT OF RICE TO BE DRIED
      D = W*HFG*(MC-ME)/(FLWRTB*CPA*P*(THOT-TE)*100.)
C  D IS THE DEPTH FACTOR
C
C  COMPUTE THE MOISTURE CONTENT OF RICE AT ANY TIME
      MR = 2.**D/(2.**D+2.**Y-1.)
C  MR IS THE MOISTURE RATIO OF RICE
      M = ME + MR*(MC-ME)
      DELM = MC - M
C
C  COMPUTE THE DRY BULB AIR TEMPERATURE LEAVING THE DRYING BIN
      BD1 = 499.70+ 8.33*M*100./(M+100.)
      WW = (BD-BD1)*ABIN*DEP
C  WW IS WEIGHT OF WATER REMOVED
      TB = THOT-WW*HFG/(CPA*FLWRTB*DTIME)
C  TB IS THE AIR TEMPERATURE LEAVING THE DRYING BIN(C)
      RETURN
      END
```

SIMULATION O F RICE DRYING USING SOLAR ENERGY

INITIAL CONDITION	DATE 90181	
MOISTURE CONTENT	21.46%	DRY BASIS
TIME START	9.00	
WEIGHT OF RICE	50.00	KILOGRAM
DEPTH OF RICE	7.73	CENTIMETER
DRYING FLOW RATE	329.29	KG/HR
AREA OF DRYING BIN	1.00	SQ.M.
TIME INTERVAL	15.	MINUTE

SPECIFICATION OF SOLAR COLLECTOR

AREA	1.00	SQ.M.
SLOPE	15.00	DEGREE
AZIMUTH ANGLE	0.0	DEGREE
EFF. FACTOR	0.79	
PLATE ABSORPTANCE	0.95	
COVER TRANSMITTANCE	0.94	
UL	37.30	KJ/SQ.M.-HR-C
FLOW RATE	329.29	KG/HR
LOCATION	13.78	DEGREE

TIME	HR	MC	DELM	TA	TWA	THOT	TB	TWB	EFF
9.00		21.46							
9.15	1281.88	21.23	0.23	28.43	22.63	31.29	28.32	23.42	73.84
9.30	1778.10	20.96	0.27	29.40	23.03	33.49	29.99	24.14	76.12
9.45	1860.80	20.66	0.29	30.10	22.97	34.35	30.56	24.12	75.59
10.00	2005.53	20.36	0.30	30.33	23.23	34.91	31.04	24.46	75.51
10.15	2067.56	20.06	0.30	31.13	24.00	35.82	31.89	25.22	75.11
10.30	2274.31	19.74	0.32	31.70	24.03	36.88	32.65	25.37	75.42
10.45	2357.01	19.40	0.34	32.43	24.07	37.79	33.29	25.45	75.27
11.00	2419.04	19.04	0.36	32.63	23.58	38.12	33.40	24.98	75.13
11.15	2584.49	18.66	0.37	33.00	23.87	38.89	33.93	24.93	75.40
11.30	2625.80	18.29	0.37	33.27	23.67	39.25	34.30	25.23	75.32
11.45	2667.15	17.92	0.37	33.47	23.67	39.54	34.55	25.26	75.31
12.00	2708.50	17.55	0.37	33.77	23.83	39.94	34.98	25.43	75.36

ข้อมูลสำหรับการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ประกอบด้วย

1. ตัวแปรของโปรแกรมย่อย RADIA
2. ตัวแปรของโปรแกรมย่อย COLLEC
3. ตัวแปรของโปรแกรมย่อย DRYING
4. ข้อมูลความเข้มของแสงอาทิตย์และอุณหภูมิของอากาศ

1. ตัวแปรของโปรแกรมย่อย RADIA มี 4 ตัวแปร ได้แก่
   (1) วัน เดือน ปี ช่องที่ 1-6, I6
   (2) วันที่ของปี ช่องที่ 7-9, F3.0
   (3) มุมเอียงของแผงรับแสงอาทิตย์ ช่องที่ 10-14, F5.2
   (4) มุมที่แผงรับแสงอาทิตย์เบนออกจากแนวเหนือ-ใต้, ช่องที่ 15-19, F5.2
   (5) มุมของเส้นรุ้ง ช่องที่ 20-23, F5.2
2. ตัวแปรของโปรแกรมย่อย COLLEC มี 6 ตัวแปร ได้แก่
   (1) พื้นที่ของแผงรับแสงอาทิตย์ ช่องที่ 1-4, F4.2
   (2) Collector efficiency factor ช่องที่ 5-7, F3.2
   (3) ค่าการดูดของแผ่นดูดแสงอาทิตย์ ช่องที่ 8-10, F3.2
   (4) สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนแบบทั้งหมด ช่องที่ 11-14, F4.1
   (5) ค่าการผ่านทะลุกระจก ช่องที่ 15-17, F3.2
   (6) อัตราการไหลของอากาศเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ ช่องที่ 18-23, F6.2
3. ตัวแปรของโปรแกรมย่อย DRYING มี 6 ตัวแปร ได้แก่
   (1) เวลาที่เริ่มทำการอบ ช่องที่ 1-4, F4.2
   (2) พื้นที่ของตู้อบข้าวเปลือก ช่องที่ 5-8, F4.2
   (3) อัตราการไหลของอากาศเข้าตู้อบข้าวเปลือก ช่องที่ 9-14, F6.2
   (4) ความชื้นเริ่มแรกของข้าวเปลือก ช่องที่ 15-19, F4.2
   (5) น้ำหนักเริ่มแรกของข้าวเปลือก ช่องที่ 20-24, F5.2
   (6) ช่วงเวลา ช่องที่ 25-27, F3.2

4. ข้อมูลความเข้มของแสงอาทิตย์และอุณหภูมิของอากาศ มี 5 ตัวแปร ได้แก่

(1) เวลา ช่องที่ 1-4, F4.2

(2) ความเข้มของแสงอาทิตย์ ช่องที่ 5-10, F6.2

(3) อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เข้าแผงรับแสงอาทิตย์ ช่องที่ 11-14, F4.2

(4) อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าแผงรับแสงอาทิตย์ ช่องที่ 15-19, F4.2

(5) อุณหภูมิแวดล้อมของอากาศ ช่องที่ 20-24, F4.2

ภาคผนวก ๑

ข้อมูลการทดลอง

<u>ตารางที่ จ.1</u> ข้อมูลการทดลองอบข้าวเปลือกโดยใช้แสงอาทิตย์(23 ธันวาคม 2523)
กำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับมอเตอร์ 2.9 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

เวลา	แสงอาทิตย์ (กิโลจูล/ม.^{2}-ชม)	ความชื้นของข้าว (%db)	อัตราการลดความชื้น(%db)	อุณหภูมิเข้าแผงรับ(°ซ)		อุณหภูมิออกจากแผงรับ (°ซ)	อุณหภูมิที่แผนดูด (°ซ)	อุณหภูมิออกจากตู้อบ(°ซ)		ประสิทธิภาพของแผงรับ (%)
				กระเปาะแห้ง	กระเปาะเปียก			กระเปาะแห้ง	กระเปาะเปียก	
11.00		20.34								
11.15	2584.44	20.19	0.15	29.03	20.00	36.80	–	27.17	22.33	99.49
11.30	2625.80	20.05	0.14	29.37	20.07	36.30	–	28.50	21.07	67.34
11.45	2625.80	19.86	0.19	29.47	20.03	35.77	–	28.80	21.50	79.40
12.00	2460.39	19.09	0.77	29.93	20.40	35.60	–	30.00	22.53	76.26
12.15	2811.88	18.76	0.33	30.43	20.73	36.67	–	30.60	22.53	73.44
12.30	2853.23	18.50	0.24	30.60	20.67	36.80	–	31.20	22.73	71.91
12.45	2708.50	16.25	0.25	30.73	20.93	36.70	–	31.43	22.50	72.94
13.00	2667.15	18.16	0.09	30.93	21.07	35.73	–	32.17	23.10	59.56

ตารางที่ จ.๑ (ต่อ)

เวลา	แสงอาทิตย์ (กิโลจูล/ม.^{2}-ชม)	ความชื้นของข้าว (%db)	อัตราการลดความชื้น (%db)	อุณหภูมิเข้าแผงรับ (°ซ)		อุณหภูมิออกจากแผงรับ (°ซ)	อุณหภูมิที่แผ่นกูด (°ซ)	อุณหภูมิออกจากตู้อบ (°ซ)		ประสิทธิภาพของแผงรับ (%)
				กระเปาะแห้ง	กระเปาะเปียก			กระเปาะแห้ง	กระเปาะเปียก	
13.15	2625.80	17.69	0.47	31.37	21.33	37.33	–	32.33	22.87	75.12
13.30	2543.09	17.23	0.46	31.53	21.80	37.33	–	32.67	23.13	75.48
13.45	2543.09	16.73	0.50	31.77	22.00	37.40	–	32.93	23.00	73.26
14.00	2543.09	16.50	0.23	31.97	21.83	37.80	–	33.30	23.50	75.87
14.15	2336.34	15.87	0.63	32.00	21.97	37.40	–	33.17	23.30	76.49

ตารางที่ จ.2 ข้อมูลการทดลองอบข้าวเปลือกโดยใช้แสงอาทิตย์(24 ธันวาคม 2523)
กำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับมอเตอร์ 2.1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

เวลา	แสงอาทิตย์ (กิโลจูล/ม.^{2}-ชม)	ความชื้นของข้าว (%db)	อัตราการลดความชื้น(%db)	อุณหภูมิเข้าแผงรับ(°ซ)		อุณหภูมิออกจากแผงรับ (°ซ)	อุณหภูมิที่แผ่นดูด (°ซ)	อุณหภูมิออกจากตู้อบ(°ซ)		ประสิทธิภาพของแผงรับ (%)
				กระเปาะแห้ง	กระเปาะเปียก			กระเปาะแห้ง	กระเปาะเปียก	
9.00		21.95								
9.15	1571.34	21.21	0.74	26.87	20.40	31.03	38.20	26.33	21.50	87.61
9.30	1736.75	20.87	0.34	26.93	20.40	31.00	38.00	26.00	21.50	77.55
9.45	1964.18	20.34	0.53	27.43	20.50	31.87	37.83	26.40	21.37	74.81
10.00	1964.18	20.24	0.10	27.67	20.93	32.63	37.50	27.37	22.03	63.57
10.15	1964.18	19.81	0.43	27.90	20.57	32.00	37.23	27.40	21.83	69.08
10.30	1964.18	19.57	0.24	27.90	20.93	32.57	37.43	26.67	22.33	78.68
10.45	1964.18	19.38	0.19	26.87	21.80	34.10	38.13	29.07	22.80	68.12
11.00	2357.01	18.86	0.52	29.80	21.90	35.10	38.53	29.93	23.00	74.41
11.15	2274.31	18.62	0.24	29.77	21.53	35.20	39.13	30.87	22.97	79.01
11.30	2357.01	18.39	0.23	30.27	21.67	35.60	39.57	31.20	23.00	74.84
11.45	2543.09	17.37	1.02	31.00	21.53	36.37	39.93	31.50	22.90	69.88

ตารางที่ ๑.๒ (ต่อ)

เวลา	แสงอาทิตย์ (กิโลจูล/ม.²-ชม)	ความชื้นของข้าว (%db)	อัตราการลดความชื้น(%db)	อุณหภูมิเข้าแผงรับ(°ซ)		อุณหภูมิออกจากแผงรับ (°ซ)	อุณหภูมิที่แผ่นดูด (°ซ)	อุณหภูมิออกจากตู้อบ(°ซ)		ประสิทธิภาพของแผงรับ (%)
				กระเปาะแห้ง	กระเปาะเปียก			กระเปาะแห้ง	กระเปาะเปียก	
12.00	2543.09	17.10	0.27	31.40	22.43	37.43	40.53	32.27	23.37	78.47
12.15	2543.09	16.69	0.41	31.30	22.53	37.50	40.77	32.87	23.83	80.68
12.30	2460.39	16.14	0.55	31.80	22.80	38.07	40.97	33.60	24.67	84.34

ตารางที่ ๑.๓ ข้อมูลการทดลองอบข้าวเปลือกโดยใช้แสงอาทิตย์(25 ธันวาคม 2523)
กำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับมอเตอร์ 2.0 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

เวลา	แสงอาทิตย์ (กิโลจูล/ม.²-ชม)	ความชื้นของข้าว (%db)	อัตราการลดความชื้น (%db)	อุณหภูมิเข้าแผงรับ(°ซ) กระเปาะแห้ง	อุณหภูมิเข้าแผงรับ(°ซ) กระเปาะเปียก	อุณหภูมิออกจากแผงรับ (°ซ)	อุณหภูมิที่แผ่นดูด (°ซ)	อุณหภูมิออกจากตู้อบ(°ซ) กระเปาะแห้ง	อุณหภูมิออกจากตู้อบ(°ซ) กระเปาะเปียก	ประสิทธิภาพของแผงรับ (%)
9.15		21.80								
9.30	1716.07	21.46	0.34	27.33	20.90	32.07	40.93	26.50	22.50	91.41
9.45	1840.12	21.11	0.35	28.07	21.03	32.87	38.00	28.03	22.07	86.33
10.00	1943.50	20.77	0.34	28.57	21.47	33.30	38.23	28.30	22.47	80.54
10.15	2026.20	20.24	0.53	29.37	21.93	34.33	38.50	29.23	22.83	81.01
10.30	2067.56	19.81	0.43	30.17	22.13	35.40	38.77	30.17	23.37	83.71
10.45	2150.26	19.19	0.62	30.93	22.13	36.17	39.53	30.60	23.13	80.65
11.00	2253.64	18.48	0.71	31.00	22.00	36.63	39.93	31.10	23.23	82.67
11.15	2336.34	18.16	0.32	31.33	22.03	37.10	40.67	31.53	23.10	81.73
11.30	2377.69	17.23	0.93	31.70	23.37	37.73	40.97	32.53	24.07	83.93
11.45	2419.04	17.00	0.23	32.27	23.57	38.27	41.23	33.00	24.67	82.08
12.00	2460.39	16.64	0.36	32.17	23.67	38.43	41.53	33.13	24.47	84.20
12.15	2108.91	16.23	0.41	32.23	22.97	37.67	42.23	33.43	24.07	85.37

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลการทดลองอบข้าวเปลือกโดยใช้แสงอาทิตย์(26 ธันวาคม 2523)

กำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับมอเตอร์ 2.0 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

เวลา	แสงอาทิตย์ (กิโลจูล/ม.^{2}-ชม)	ความชื้นของข้าว (%db)	อัตราการลดความชื้น(%db)	อุณหภูมิเข้าแผงรับ(°ซ)		อุณหภูมิออกจากแผงรับ (°ซ)	อุณหภูมิที่แผ่นดูด (°ซ)	อุณหภูมิออกจากตู้อบ(°ซ)		ประสิทธิภาพของแผงรับ (%)
				กระเปาะแห้ง	กระเปาะเปียก			กระเปาะแห้ง	กระเปาะเปียก	
9.00		20.92								
9.15	1612.69	20.53	0.39	28.00	22.07	32.53	39.00	25.83	22.33	92.95
9.30	1654.04	19.90	0.63	28.33	21.57	32.33	38.53	25.60	22.00	80.03
9.45	1757.42	19.57	0.33	28.43	21.57	32.67	38.53	25.93	22.13	79.84
10.00	1881.48	19.14	0.43	29.10	21.60	33.70	38.77	26.50	22.23	80.91
10.15	2067.56	18.76	0.38	29.67	21.97	34.50	39.23	27.10	22.60	77.31
10.30	2150.26	18.25	0.51	30.27	22.10	35.33	39.43	27.90	23.07	77.88
10.45	2253.64	17.65	0.60	30.63	22.27	36.00	39.93	28.50	23.17	78.86
11.00	2294.99	17.37	0.28	30.83	22.17	36.43	40.23	29.23	23.00	80.75
11.15	2419.04	16.91	0.46	31.70	22.60	37.33	40.50	29.30	23.60	77.02
11.30	2543.09	16.73	0.18	32.10	22.77	38.07	41.33	30.40	23.60	77.69
11.45	2605.12	16.28	0.45	32.27	22.67	38.23	41.13	31.33	23.87	75.71

ตารางที่ จ.5 ข้อมูลการทดลองอบข้าวเปลือกโดยใช้แสงอาทิตย์(30 ธันวาคม 2523)

กำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับมอเตอร์ 2.6 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

เวลา	แสงอาทิตย์ (กิโลจูล/ม.^{2}-ชม)	ความชื้นของข้าว (%db)	อัตราการลดความชื้น (%db)	อุณหภูมิเข้าแผงรับ(°ซ)		อุณหภูมิออกจากแผงรับ (°ซ)	อุณหภูมิที่แผ่นดูด (°ซ)	อุณหภูมิออกจากตู้อบ(°ซ)		ประสิทธิภาพของแผงรับ (%)
				กระเปาะแห้ง	กระเปาะเปียก			กระเปาะแห้ง	กระเปาะเปียก	
9.00		22.95								
9.15	1633.37	22.55	0.40	27.87	21.93	32.13	39.93	26.27	22.67	86.31
9.30	1754.42	22.25	0.30	27.97	21.70	32.20	39.50	25.17	22.30	79.79
9.45	1943.50	22.00	0.25	28.17	21.80	32.50	39.20	25.73	22.47	73.73
10.00	2067.56	21.65	0.35	28.70	22.17	32.43	39.30	26.57	23.17	59.70
10.15	2150.26	21.21	0.44	29.07	22.13	34.13	39.23	26.93	23.00	77.88
10.30	2274.31	21.07	0.14	29.17	22.40	34.50	39.53	27.63	23.60	77.56
10.45	2253.64	20.43	0.64	29.33	22.73	34.80	39.47	28.77	24.00	80.32
11.00	2377.69	19.90	0.53	29.47	22.87	35.13	39.87	29.30	24.57	78.78
11.15	2543.09	19.57	0.33	30.20	23.50	36.07	39.93	29.07	25.00	76.39
11.30	2563.77	19.19	0.38	30.53	24.00	36.07	40.00	29.53	25.33	71.51
11.45	2605.12	18.62	0.57	30.67	23.80	36.90	39.97	30.53	25.00	79.14

ตารางที่ จ.5 (ต่อ)

เวลา	แสงอาทิตย์ (กิโลจูล/ม.^{2}-ชม)	ความชื้นของข้าว (%db)	อัตราการลดความชื้น (%db)	อุณหภูมิเข้าแผงรับ (°ซ)		อุณหภูมิออกจากแผงรับ (°ซ)	อุณหภูมิที่แผนดูด (°ซ)	อุณหภูมิออกจากตู้อบ (°ซ)		ประสิทธิภาพของแผงรับ (%)
				กระเปาะแห้ง	กระเปาะเปียก			กระเปาะแห้ง	กระเปาะเปียก	
12.00	2687.82	18.30	0.32	31.30	24.17	37.40	40.13	31.33	25.67	75.11
12.15	2729.17	17.65	0.65	31.27	24.20	37.60	40.23	31.10	25.67	76.76
12.30	2770.52	17.46	0.19	31.83	24.43	38.27	40.53	31.37	25.50	76.93
12.45	2811.88	16.96	0.50	31.97	25.10	38.53	41.17	32.17	26.60	77.21
13.00	2811.88	16.64	0.32	32.17	23.70	38.63	42.53	31.90	25.00	76.03
13.15	2770.52	16.32	0.32	32.43	24.07	38.93	42.77	32.70	25.50	77.64

ตารางที่ ข.๑ ข้อมูลการทดลองอบข้าวเปลือกโดยใช้แสงอาทิตย์ (5 มกราคม 2524)
กำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับมอเตอร์ 2.1 กิโลวัตต์–ชั่วโมง

เวลา	แสงอาทิตย์ (กิโลจูล/ม.^{2}–ชม)	ความชื้นของข้าว (%db)	อัตราการลดความชื้น (%db)	อุณหภูมิเข้าแผงรับ (°ซ)		อุณหภูมิออกจากแผงรับ (°ซ)	อุณหภูมิที่แผนดูด (°ซ)	อุณหภูมิออกจากตู้อบ (°ซ)		ประสิทธิภาพของแผงรับ (%)
				กระเปาะแห้ง	กระเปาะเปียก			กระเปาะแห้ง	กระเปาะเปียก	
9.00		22.32								
9.15	1529.99	22.05	0.27	29.87	22.77	34.13	40.50	26.83	23.60	92.14
9.30	1612.69	21.80	0.25	30.20	23.00	34.37	40.20	26.93	23.40	85.57
9.45	1716.07	21.41	0.39	30.60	22.93	34.93	40.13	27.17	23.87	83.50
10.00	2005.53	20.82	0.59	31.40	23.17	35.93	40.53	28.30	24.30	74.75
10.15	2026.20	20.43	0.39	31.73	23.30	35.73	40.53	29.33	24.53	65.33
10.30	2232.96	20.05	0.38	31.93	23.47	37.23	41.23	29.63	24.63	78.55
10.45	2253.64	19.57	0.48	32.50	23.90	38.07	41.47	30.77	25.33	81.79
11.00	2419.04	19.26	0.29	32.13	23.93	38.43	41.53	30.93	25.07	86.19
11.15	2460.39	18.86	0.42	33.00	24.10	38.90	42.10	31.53	25.60	79.36
11.30	2543.09	18.53	0.33	33.23	24.23	39.43	42.20	32.17	25.93	79.30
11.45	2584.44	18.11	0.42	33.33	24.37	39.67	42.70	32.93	25.97	81.18
12.00	2543.09	17.60	0.51	33.83	24.83	40.20	43.13	33.00	26.33	82.89

ตารางที่ ๔.๘ (ต่อ)

เวลา	แสงอาทิตย์ (กิโลจูล/ม.^{2}-ชม)	ความชื้นของข้าว (%db)	อัตราการลดความชื้น(%db)	อุณหภูมิเข้าแผงรับ(°ซ)		อุณหภูมิออกจากแผงรับ (°ซ)	อุณหภูมิที่แผ่นดูด (°ซ)	อุณหภูมิออกจากตู้อบ(°ซ)		ประสิทธิภาพของแผงรับ (%)
				กระเปาะแห้ง	กระเปาะเปียก			กระเปาะแห้ง	กระเปาะเปียก	
12.15	2543.09	17.28	0.32	34.03	25.17	40.53	43.00	33.03	26.27	84.59
12.30	2584.44	16.78	0.50	34.23	24.37	40.63	43.13	34.17	26.47	81.95
12.45	2481.07	16.32	0.46	34.23	25.20	40.90	43.83	34.37	26.77	88.97

ตารางที่ จ.7 ข้อมูลการทดลองอบข้าวเปลือกโดยใช้แสงอาทิตย์(6 มกราคม 2524)

กำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับมอเตอร์ 2.0 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

เวลา	แสงอาทิตย์ (กิโลจูล/ม.²-ชม)	ความชื้นของข้าว (%db)	อัตราการลดความชื้น(%db)	อุณหภูมิเข้าแผงรับ(°ซ)		อุณหภูมิออกจากแผงรับ (°ซ)	อุณหภูมิที่แผ่นดูด (°ซ)	อุณหภูมิออกจากตู้อบ(°ซ)		ประสิทธิภาพของแผงรับ (%)
				กระเปาะแห้ง	กระเปาะเปียก			กระเปาะแห้ง	กระเปาะเปียก	
9.30		21.36								
9.45	1695.40	21.16	0.20	30.97	25.00	35.90	40.50	27.83	25.90	96.23
10.00	1819.45	20.82	0.34	30.97	25.00	35.73	40.23	29.27	26.00	86.58
10.15	1922.83	20.29	0.53	31.53	25.03	36.57	40.23	30.03	26.07	86.74
10.30	2046.88	19.81	0.48	32.00	24.67	36.33	41.57	30.10	25.33	70.01
10.45	2129.58	19.19	0.62	32.00	24.27	36.53	41.93	30.83	25.17	70.40
11.00	2170.93	18.62	0.57	32.43	25.03	36.70	41.73	32.20	26.27	65.09
11.15	2294.99	18.30	0.32	32.13	24.33	36.50	41.50	30.93	25.37	63.02
11.30	2357.01	17.88	0.42	31.80	25.03	36.40	41.23	31.17	25.57	64.59
11.45	2377.69	17.37	0.51	33.73	26.03	39.47	41.83	32.77	26.53	79.89
12.00	2439.72	17.00	0.37	34.57	25.07	40.17	42.90	34.07	26.35	75.96
12.15	2129.58	16.87	0.13	32.50	25.03	37.40	41.20	32.00	25.33	76.15
12.30	2625.80	16.60	0.27	34.10	25.67	38.50	42.73	32.63	26.17	55.45
12.45	2170.93	16.32	0.28	33.57	25.83	38.77	42.80	33.00	26.17	79.27

ตารางที่ จ.๘ ข้อมูลการทดลองอบข้าวเปลือกโดยใช้แสงอาทิตย์(7 มกราคม 2524)

กำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับมอเตอร์ 2.0 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

เวลา	แสงอาทิตย์ (กิโลจูล/ม.^{2}-ชม)	ความชื้นของข้าว (%db)	อัตราการลดความชื้น(%db)	อุณหภูมิเข้าแผงรับ(° ซ)		อุณหภูมิออกจากแผงรับ (°ซ)	อุณหภูมิที่แผ่นดูด (° ซ)	อุณหภูมิออกจากตู้อบ(° ซ)		ประสิทธิภาพของแผงรับ (%)
				กระเปาะแห้ง	กระเปาะเปียก			กระเปาะแห้ง	กระเปาะเปียก	
9.30		21.21								
9.45	1778.10	21.02	0.19	30.53	25.50	35.87	38.23	28.57	26.30	99.38
10.00	1778.10	20.63	0.39	31.13	25.23	35.83	38.00	28.67	26.00	87.48
10.15	1860.80	20.39	0.24	31.37	25.47	35.97	38.13	30.00	26.47	81.81
10.30	1778.10	20.00	0.39	31.67	25.70	36.40	38.53	30.00	26.63	88.03
10.45	1612.69	19.52	0.48	32.50	25.77	37.30	39.83	30.83	26.83	98.50
11.00	1943.50	19.28	0.24	32.23	25.60	37.77	39.93	31.67	26.53	94.33
11.15	1695.40	18.62	0.66	32.60	25.50	37.67	40.23	31.73	27.00	98.96
11.30	1529.99	18.25	0.37	33.70	25.63	38.17	40.50	32.43	26.77	96.66
11.45	1488.64	17.69	0.56	33.30	25.53	37.67	41.23	32.87	27.00	97.15
12.00	1529.99	17.14	0.55	33.07	25.60	37.40	41.13	33.17	26.67	93.65
12.15	1240.53	16.73	0.41	32.97	25.37	36.63	40.17	34.50	26.37	97.64
12.30	1323.24	16.32	0.41	33.53	25.67	37.50	40.43	34.33	26.70	99.29

ตารางที่ ข.๑ ข้อมูลการทดลองอบข้าวเปลือกโดยใช้แสงอาทิตย์(8 มกราคม 2524)
กำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับมอเตอร์ 2.1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

เวลา	แสงอาทิตย์ (กิโลจูล/ม.^{2}-ชม)	ความชื้นของข้าว (%db)	อัตราการลดความชื้น(%db)	อุณหภูมิเข้าแผงรับ(°ซ)		อุณหภูมิออกจากแผงรับ (°ซ)	อุณหภูมิที่แผนดูด (°ซ)	อุณหภูมิออกจากตู้อบ(°ซ)		ประสิทธิภาพของแผงรับ (%)
				กระเปาะแห้ง	กระเปาะเปียก			กระเปาะแห้ง	กระเปาะเปียก	
9.30		21.51								
9.45	1571.34	21.26	0.25	30.37	25.43	34.97	39.23	28.00	26.17	96.88
10.00	1447.30	21.11	0.15	30.43	25.50	33.83	39.00	28.60	26.07	77.74
10.15	1757.42	20.77	0.34	30.83	25.73	34.50	39.13	28.50	26.23	69.11
10.30	1674.72	20.39	0.38	31.10	25.87	34.63	39.23	29.33	26.53	69.76
10.45	2294.99	19.95	0.44	32.47	26.13	37.83	40.57	30.73	27.07	77.29
11.00	1964.18	19.38	0.57	32.17	25.43	38.03	41.50	31.90	26.83	98.73
11.15	2398.37	18.76	0.62	31.60	25.27	35.23	41.00	31.83	26.30	50.09
11.30	2357.01	18.48	0.28	32.87	25.57	37.70	41.73	32.43	26.83	67.82
11.45	2274.31	17.97	0.51	33.33	25.23	38.40	42.20	32.40	26.23	73.77
12.00	2687.82	17.69	0.28	33.77	25.13	39.70	42.80	32.53	26.47	73.01
12.15	2770.53	17.00	0.69	34.57	25.13	40.87	43.10	33.50	27.0[illegible]	75.25
12.30	2294.99	16.41	0.59	34.53	25.40	40.07	43.50	34.00	27.30	79.89

ตารางที่ จ.๑๐ ข้อมูลการทดลองอบข้าวเปลือกโดยใช้แสงอาทิตย์(9 มกราคม 2524)
กำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับมอเตอร์ 2.0 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

เวลา	แสงอาทิตย์ (กิโลจูล/ม.^{2}-ชม)	ความชื้นของข้าว (%db)	อัตราการลดความชื้น(%db)	อุณหภูมิเข้าแผงรับ(°ซ) กระเปาะแห้ง	อุณหภูมิเข้าแผงรับ(°ซ) กระเปาะเปียก	อุณหภูมิออกจากแผงรับ (°ซ)	อุณหภูมิที่แผ่นดูด (°ซ)	อุณหภูมิออกจากตู้อบ(°ซ) กระเปาะแห้ง	อุณหภูมิออกจากตู้อบ(°ซ) กระเปาะเปียก	ประสิทธิภาพของแผงรับ (%)
9.00		21.46								
9.15	1281.88	21.26	0.20	28.43	22.63	31.30	36.63	26.00	23.83	74.09
9.30	1778.10	21.16	0.10	29.40	23.03	32.67	37.00	26.90	23.67	60.86
9.45	1860.80	20.53	0.63	30.10	22.97	33.53	37.23	26.93	24.93	61.00
10.00	2005.53	20.19	0.34	30.33	23.23	34.23	38.00	27.67	24.17	64.35
10.15	2067.56	19.76	0.43	31.13	24.00	35.37	38.63	29.30	25.13	67.87
10.30	2274.31	19.38	0.38	31.70	24.03	36.47	39.43	29.20	25.43	69.41
10.45	2357.01	18.72	0.66	32.43	24.07	37.53	39.33	29.80	25.20	71.61
11.00	2419.04	18.16	0.56	32.63	23.53	37.90	40.17	30.17	24.87	72.10
11.15	2584.45	17.60	0.56	33.00	23.37	38.50	40.57	30.53	25.00	70.43
11.30	2625.80	17.14	0.46	33.27	23.67	38.93	41.27	31.40	25.63	71.33
11.45	2667.15	16.64	0.50	33.47	23.67	39.47	41.93	32.50	25.67	74.45
12.00	2708.50	16.23	0.41	33.77	23.83	39.87	43.10	33.17	25.83	74.53