



การออกแบบและทดลองเครื่องอบแห้งชนิดฟลูอิดไลซ์เบด

Design and Experiment of fluidized bed dryer

โดย

นางสาวชัชรี ไทยสุชาติ 37014086

นางสาวพรนภา จักรวิชัยธำรง 37014279

นางสาวเสาวณีพร พรหมช่วย 37014545

วัน เดือน ปี... 1 ต.ค. 2541
เลขทะเบียน... 038640
เลขเรียกหนังสือ... T 449100651 ก.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดำเนินการตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประจำปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้... 038640 ...การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ประจำปีการศึกษา 2540

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและทดลองเครื่องอบแห้งชนิดฟลูอิด ไคซ์เบค

ผู้จัดทำ

- 1.นางสาวชัชรี ไทยสุชาติ
- 2.นางสาวพรนภา จักรวิชัยธารง
- 3.นางสาวเสาวณีชัย พรหมช่วย



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(นางสาวกุศุมาลัย เลิศชาญวุฒิ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)

การออกแบบและทดลองเครื่องอบแห้งชนิดฟลูอิดไคซ์เบด

นางสาวชัชรี ไทยสุชาติ

นางสาวพรนภา จักรวิชัยธำรง

นางสาวเสาวณีชัย พรหมช่วย

อาจารย์กุสุมาลย์ เกษชาญวุฒิ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2540

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ศึกษาออกแบบและทดลองเครื่องอบแห้งชนิดฟลูอิดไคซ์เบด หลักการทำงานจะใช้ลมเป่าจากพัดลมและมอเตอร์ผ่านขดลวดความร้อน โดยใช้ความเร็วลมที่สามารถทำให้เมล็ดพืชเกิดฟลูอิดไคซ์ได้

จากผลการทดลองชุดทดลองเครื่องอบแห้งชนิดฟลูอิดไคซ์เบดสามารถใช้ได้กับเมล็ดข้าวเปลือกเท่านั้นโดยความเร็วเริ่มต้นในการเกิดฟลูอิดไคซ์ชั้นคือ 0.85920 เมตรต่อวินาที และมีอัตราการไหลของลมมากที่สุดคือ 0.16361 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งความเร็วเริ่มต้นในการเกิดฟลูอิดไคซ์ไม่ขึ้นกับน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป แต่ขึ้นกับค่าความหนาแน่นเนื้อ สัดส่วนช่องว่าง เส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดพืช และเฟดเตอร์รูปร่างของเมล็ดพืช สำหรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ผลต่างความดันในหอบเพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่าเมื่อความเร็วและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความเร็วในการอบแห้งจะลดลง

(๗)

Design and experimental of fluidized bed dryer

Ms. Chatcharee Thaisuchat

Ms. Pornanpa Jakrawitchamrong

Ms. Saowanee Phromchaay

Ms. Kusumant Lerchanwut Advisor

1997

ABSTRACT

This project studies the designing and experiment of fluidized bed dryer. The term “fluidization” is used to describe the condition of fully suspended particles, since the suspension behave like a dense fluid. The fluidized solids can be drained from the bed through pipes and valves just like a liquid with the warm air from a heater.

According to experiment of the fluidized bed dryer, fluidized bed dryer suit for field paddy only and the minimum velocity is 0.8592 m/sec at fluidization. The maximum volume flow rate of the air is 0.16361 m³/sec . The initial moisture content at fluidization doesn't depend on different weight, but depends on solid density, void fraction, average diameter and shape factor of the grains. While the air's velocity and temperature gradually increase, the drying time reduces.

สารบัญ

	<u>หน้า</u>
บทคัดย่อ	(ก)-(ข)
สารบัญ	(ค)-(ง)
สารบัญรูปภาพ	(จ)-(ซ)
สารบัญตาราง	(ช)
<u>บทที่ 1</u> บทนำ	
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
<u>บทที่ 2</u> ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 ทฤษฎีฟลูอิดไดซ์เซชัน	2
2.2 ทฤษฎีการอบแห้ง	6
2.3 สมบัติเชิงเรขาคณิตของวัสดุเกษตร	10
2.4 การวัดอัตราการไหลของอากาศ	12
2.5 พัดลม	19
<u>บทที่ 3</u> การออกแบบและการสร้าง	
3.1 การออกแบบพัดลมและขดลวดความร้อน	27
3.2 การออกแบบออร์ฟิสและท่อส่งลม	30
3.3 ลักษณะและขนาดของส่วนประกอบชุดทดลองการอบแห้งชนิดฟลูอิดไดซ์เบด	32

สารบัญ (ต่อ)

	<u>หน้า</u>
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	
- การทดลองที่ 1 การหาคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดพืช	38
- การทดลองที่ 2 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความดันลมที่ออร์ฟิสกับอัตราการไหล	44
- การทดลองที่ 3 การหาความสัมพันธ์ของความเร็วลมและความดันในท่ออบ	48
- การทดลองที่ 4 การหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความเร็วลมของท่อการอบแห้งข้าวเปลือก	59
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	70
ภาคผนวก	71
เอกสารอ้างอิง	86



สารบัญรูปรภาพ

<u>รูปที่</u>	<u>หน้า</u>
2.1 ผลลดความดันที่เกิดขึ้นในชั้นของเม็คของแข็งที่สภาพต่าง ๆ	2
2.2 การหาเส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุด a, b และ c	11
2.3 การวัดอัตราการไหลแบบวัดความดันคิฟเฟอเรนเชียล	12
2.4 แสดงการเกิดความดันตกคร่อมตัววัดแบบออริฟิส	14
2.5 ค่า C_d ของออริฟิสแบบต่าง ๆ	14
2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ C_d กับ R_D ของออริฟิส	15
2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Y กับอัตราส่วน P_2/P_1	16
2.8 ออริฟิสที่พบใช้งานอยู่โดยทั่วไป	17
2.9 Straightening Vanes ที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไป	18
2.10 อุปกรณ์ที่ใส่หน้าตัววัด เพื่อให้การไหลเป็นแบบราบเรียบ	19
2.11 ลักษณะของใบพัดลมแบบ โค้งหลังทั้ง 2 แบบ	20
2.12 สมรรถนะของใบพัดลมแบบ โค้งหลังทั้ง 2 แบบ	21
2.13 พัดลมตามแนวแกนทั้งแบบทิว์บ์แอกเซียลและแวนแอกเซียล	22
2.14 ความสัมพันธ์ของความดันสถิตที่เกิดขึ้นกับปริมาณลมที่ได้ของพัดลมแบบ ใบพัด โค้งหน้า	22
2.15 ลักษณะของใบพัดปลายโค้ง	23
2.16 ความสัมพันธ์ของกราฟแสดงค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของพัดลมแบบใบพัดตรง	24
2.17 พัดลมที่ใช้จ่ายลมสะอาด มีท่อทางเข้าเป็นรูปกรวย ภายในเป็นคอคอด	25
2.18 ท่อเพิ่มขนาดซึ่งจะช่วยให้การไหลของลมมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น	26
3.1 แสดงขนาดของออริฟิส	30
3.2 แสดงลักษณะท่อส่งลม	32
3.3 ส่วนกระจายลม	33
3.4 แผ่นคลีของถังอบแห้ง	34
3.5 ชุดทดลองการอบแห้งชนิดฟลูอิด ไคซ์เบค	35
3.6 แสดงขนาดและส่วนประกอบชุดทดลองการอบแห้งชนิดฟลูอิด ไคซ์เบค	36

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

<u>รูปที่</u>	<u>หน้า</u>
3.7 โครงสำหรับตั้งชุดทดลอง	37
4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความดันลมกับอัตราการไหล	46
4.2 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของข้าวเปลือกกระหว่างความเร็วลมและความดันที่น้ำหนักต่าง ๆ	50
4.3 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของถั่วเขียวระหว่างความเร็วลมและความดันที่น้ำหนักต่าง ๆ	51
4.4 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของข้าวโพคระหว่างความเร็วลมและความดันที่น้ำหนักต่าง ๆ	52
4.5 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันที่น้ำหนัก 30 กรัมของเมล็ดพืชแต่ละชนิด	53
4.6 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันที่น้ำหนัก 50 กรัมของเมล็ดพืชแต่ละชนิด	54
4.7 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันที่น้ำหนัก 70 กรัมของเมล็ดพืชแต่ละชนิด	55
4.8 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันที่น้ำหนัก 90 กรัมของเมล็ดพืชแต่ละชนิด	56
4.9 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันที่น้ำหนัก 110 กรัมของเมล็ดพืชแต่ละชนิด	57
4.10 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความชื้นของข้าวเปลือกที่อุณหภูมิตั้ง 50 องศาเซลเซียส ความชื้นเริ่มต้น 28.1 เปอร์เซ็นต์	60
4.11 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความชื้นของข้าวเปลือกที่อุณหภูมิตั้ง 60 องศาเซลเซียส ความชื้นเริ่มต้น 28.1 เปอร์เซ็นต์	61
4.12 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความชื้นของข้าวเปลือกที่อุณหภูมิตั้ง 70 องศาเซลเซียส ความชื้นเริ่มต้น 28.1 เปอร์เซ็นต์	62

สารบัญญรูปภาพ (ต่อ)

<u>รูปที่</u>	<u>หน้า</u>
4.13 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความชื้นของข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความชื้นเริ่มต้น 28.1 เปอร์เซ็นต์	63
4.14 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความชื้นของข้าวเปลือก ณ อุณหภูมิ ต่าง ๆ ที่ความเร็วลม 1.77 เมตร/วินาที ความชื้นเริ่มต้น 28.1 เปอร์เซ็นต์	64
4.15 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความชื้นของข้าวเปลือก ณ อุณหภูมิ ต่าง ๆ ที่ความเร็วลม 1.89 เมตร/วินาที ความชื้นเริ่มต้น 28.1 เปอร์เซ็นต์	65
4.16 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความชื้นของข้าวเปลือก ณ อุณหภูมิ ต่าง ๆ ที่ความเร็วลม 2.03 เมตร/วินาที ความชื้นเริ่มต้น 28.1 เปอร์เซ็นต์	66
4.17 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความชื้นของข้าวเปลือก ณ อุณหภูมิ ต่าง ๆ ที่ความเร็วลม 2.15 เมตร/วินาที ความชื้นเริ่มต้น 28.1 เปอร์เซ็นต์	67
4.18 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความชื้นของข้าวเปลือก ณ อุณหภูมิ ต่าง ๆ ที่ความเร็วลม 2.21 เมตร/วินาที ความชื้นเริ่มต้น 28.1 เปอร์เซ็นต์	68
ผ.1 กราฟอ่านค่า A และ B ของออริฟิส	81
ผ.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงทิศทางของความเร็วในข้อต่อและข้องอรวมถึงอุปกรณ์อื่น ๆ	82
ผ.3 เครื่องวัดความชื้นของเมล็ดพืช	84
ผ.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองที่ 1	85

สารบัญตาราง

<u>ตารางที่</u>	<u>หน้า</u>
4.1 การทดลองหาค่าคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าวเปลือก 50 เมล็ด	40
4.2 การทดลองหาค่าคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าวโพด 50 เมล็ด	41
4.3 การทดลองหาค่าคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดถั่วเขียว 50 เมล็ด	42
4.4 แสดงค่าน้ำหนักและปริมาตรของเมล็ดพืชทั้ง 3 ชนิด	43
4.5 แสดงค่าความหนาแน่นเนื้อ, สัดส่วนช่องว่าง, เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต และแฟลคเตอร์รูปร่างของเมล็ดพืชแต่ละชนิด	43
ผ.1 ผลการทดลองหาความดันลมที่อริฟิสกับอัตราการไหลในท่อ	71
ผ.2 ผลการทดลองหาความเร็วลมและผลต่างความดันในหอบของข้าวเปลือกที่น้ำหนักต่าง ๆ	72
ผ.3 ผลการทดลองหาความเร็วลมและผลต่างความดันในหอบของถั่วเขียวที่น้ำหนักต่าง ๆ	73
ผ.4 ผลการทดลองหาความเร็วลมและผลต่างความดันในหอบของข้าวโพดที่น้ำหนักต่าง ๆ	74
ผ.5 ผลการทดลองหาความชื้นของข้าวเปลือกเมื่ออุณหภูมิ, ความเร็วลม และเวลาเปลี่ยนแปลง	75
ผ.6 คุณสมบัติของอากาศแห้งที่ความดันบรรยากาศ	78
ผ.7 ความชื้นของเมล็ดพันธุ์พืชแต่ละชนิดที่ใช้กำหนดระยะเวลาการเก็บเกี่ยว	79
ผ.8 อุณหภูมิที่ใช้อบความชื้นของเมล็ดพันธุ์พืชชนิดต่าง ๆ	80

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

เครื่องอบแห้งชนิดฟลูอิด ไคซ์เบค เป็นเครื่องมืออบแห้งที่เหมาะสมกับวัสดุที่มีน้ำหนักเบา และมีขนาดเล็ก ลักษณะการเกิดฟลูอิด ไคซ์เบคคือ กระทำโดยการพ่นลมร้อนผ่านทางด้านล่างของอนุภาคอาหารขึ้นไป เมื่อลมมีความเร็วสูงก็จะทำให้ชั้นของอนุภาคขยายตัวในอากาศ ชั้นของอนุภาคถูกรบกวนจนทำให้มีลักษณะว่าอนุภาคอาหารนั้นกำลังเดือด และถ้าหากว่าความเร็วลมยังเพิ่มขึ้นอนุภาคอาหารนั้นจะถูกพาตัวเคลื่อนที่ไปโดยลมนั้น

ในการศึกษาการอบแห้งมักจะมีการจำลองเครื่องมืออบแห้ง และกำหนดสภาวะการทำงานให้ได้สภาวะเดียวกับการทำงานจริง ผลที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องอบแห้งในอุตสาหกรรมได้

การอบแห้งวิธีนี้เป็น การเพิ่มพื้นที่ผิวทำแห้งอย่างมีประสิทธิภาพสูงที่สุดภายใต้พื้นที่จำกัด ด้วยเหตุนี้การอบแห้งโดยเครื่องอบแห้งชนิดฟลูอิด ไคซ์เบคจึงนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลายอย่างจากแนวทางนี้เองจึงนำมาสู่การสร้างและทดลองเครื่องอบแห้งชนิดฟลูอิด ไคซ์เบค โดยใช้เมล็ดพืชที่มีรูปร่างแตกต่างกัน 3 ชนิด เพื่อศึกษาหลักการทำงานของเครื่องและสามารถนำไปใช้งาน ได้จริง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อออกแบบและทดลองการอบแห้งแบบฟลูอิด ไคซ์เบค
2. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิด ไคซ์เบค
3. เพื่อหาผลลดความดันในขณะเกิดฟลูอิด ไคซ์เบค
4. เพื่อหาค่าความเร็วต่ำสุดขณะเริ่มเกิดฟลูอิด ไคซ์เบค
5. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างผลลดความดันและความเร็วลม

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ใช้หาอัตราการอบแห้งของเมล็ดพืชได้
2. ใช้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งเมล็ดพืช

บทที่ 2

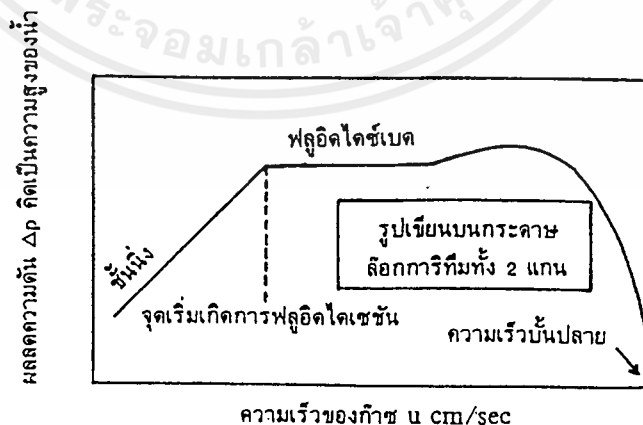
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทฤษฎีฟลูอิดไดซ์เซชัน

ฟลูอิดไดซ์เซชัน ใช้อธิบายปรากฏการณ์ที่ของแข็งที่มีลักษณะเป็นเม็ดที่บรรจุอยู่ในหอทดลองเป็นชั้นของเม็ดของของแข็งสัมผัสกับของไหล ซึ่งเดิมของแข็งถูกวางไว้บนตะแกรงในหอทดลอง ส่วนของไหลอาจเป็นก๊าซหรือของเหลวถูกปล่อยให้ผ่านมาทางด้านล่างของตะแกรงที่รองรับเม็ดของแข็ง ของไหลจะไหลผ่านชั้นเม็ดของแข็งแล้วไหลออกทางส่วนบนของหอทดลอง เมื่อเพิ่มความเร็วของของไหลให้มากขึ้นเรื่อย ๆ จนเม็ดของแข็งขยับตัว และลอยตัวเป็นอิสระไม่เกาะติดกัน ของแข็งที่อยู่ในลักษณะนี้จะมีคุณสมบัติคล้ายของไหล เรียกสถานะนี้ว่า ฟลูอิดไดซ์เซชัน

2.1.1 การเปลี่ยนแปลงของผลตกความดันในชั้นของฟลูอิดไดซ์เบดอันเนื่องมาจากความเร็วของก๊าซ

ถึงไบนึงมีเม็ดของแข็งบรรจุอยู่ภายใน สูง L_0 เมื่อให้ก๊าซไหลผ่านชั้นของเม็ดของแข็งนี้จากทางด้านล่างขึ้นข้างบนโดยให้อัตราความเร็วการไหลของก๊าซเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แล้ววัดผลต่างของความดันระหว่างด้านล่างและด้านบนของชั้นของเม็ดของแข็งนี้ จะพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของผลตกความดัน Δp ตามความเร็วของก๊าซจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ผลตกความดันที่เกิดในชั้นของเม็ดของแข็งที่สภาพต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนึ่ง ผลลคความดัน Δp นี้เป็นค่าอันเนื่องมาจากการที่ก๊าซไหลผ่านชั้นของเม็ดของแข็งเท่านั้น โดยได้หักผลลคความดันอันเนื่องจากแผ่นตะแกรงซึ่งรองรับชั้นของเม็ดของแข็งอยู่ออกไปแล้ว และความเร็วของก๊าซที่ไหลผ่านชั้นของเม็ดของแข็งนั้นคิดเป็นความเร็วของก๊าซที่ไหลผ่านถึงเปล่าที่ไม่มีอะไรบรรจุอยู่ภายใน นั่นคือ เท่ากับอัตราการไหลเชิงปริมาตรของก๊าซหารด้วยพื้นที่หน้าตัดของถัง

2.1.2 ผลลคความดันของชั้นของเม็ดของแข็งที่อยู่นิ่ง (Fixed bed)

จากรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าในขณะที่ความเร็วของก๊าซที่ไหลผ่านชั้นของเม็ดของแข็งยังต่ำอยู่นั้น ก๊าซจะไหลไปตามช่องว่างระหว่างเม็ดของของแข็ง โดยที่เม็ดของแข็งที่บรรจุอยู่ยังคงอยู่นิ่งกับที่ เนื่องจากเม็ดของแข็งโดยปรกติมีขนาดเล็ก ดังนั้นการไหลของก๊าซในระหว่างชั้นของของแข็งจึงอยู่ในย่านการไหลแบบราบเรียบ (laminar flow) ดังนั้น ในช่วงนี้ผลลคความดันจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วของก๊าซที่เพิ่มขึ้น

อนึ่ง ความสัมพันธ์ระหว่างผลลคความดัน Δp นี้กับตัวแปรอื่น ๆ สามารถแสดงได้ด้วยสมการต่อไปนี้ (Carman & Kozeny's equation)

$$\Delta p = \frac{180 \cdot u \cdot \mu_F \cdot L_0}{g_c \cdot (\phi_s \cdot D_p)^2} \cdot \frac{(1 - \epsilon)^2}{\epsilon^3} \quad \dots\dots(2.1)$$

เมื่อ	u	ความเร็วของของไหล , เมตร/วินาที
	μ_F	ความหนืด , นิวตัน/เมตร.วินาที
	L_0	ความสูงของชั้นของเม็ดของแข็ง , เมตร
	g_c	9.81 เมตร/วินาที ²
	ϕ_s	สัมประสิทธิ์เชิงรูปร่าง (shape factor), ไม่มีหน่วย (ในกรณีของทรงกลม ϕ_s จะเท่ากับ 1 แต่อนุภาคของแข็งทั่ว ๆ ไปมีค่าน้อยกว่า 1)
	ϵ	อัตราส่วนช่องว่าง (void fraction)
	D_p	เส้นผ่านศูนย์กลางเชิงเรขาคณิตของวัสดุ, เมตร

2.1.3 ผลลคของความดันในขณะเกิดฟลูอิดไดเซชัน

จากย่านของชั้นเม็ดของแข็งที่อยู่นิ่งที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อที่แล้ว เมื่อเพิ่มความเร็วของก๊าซขึ้นอีกเรื่อย ๆ จนถึงค่าคงที่ค่าหนึ่ง ปรากฏว่าแรงกระทำของก๊าซที่ไหลผ่านชั้นของเม็ดของแข็งจะสมดุลกับแรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อเม็ดของแข็งพอดี ดังนั้นเม็ดของแข็งจะเริ่มขยับ

ตัวและเคลื่อนที่ในลักษณะแขวนลอยอยู่ในกระแสก๊าซที่ไหลผ่าน ปรากฏการณ์นี้มีชื่อเรียกว่า การเกิดฟลูอิดไดเซชัน จากรูป 2.1 จะเห็นได้ว่า ขณะเกิดฟลูอิดไดเซชัน ผลลคความดันภายในชั้นของแข็งจะไม่เปลี่ยนแปลง แม้ว่าความเร็วของก๊าซที่ไหลผ่านจะเพิ่มขึ้นก็ตาม อย่างไรก็ตาม ในขณะทีความเร็วของก๊าซเพิ่มขึ้นนั้น ความสูงของเม็ดของแข็งซึ่งเกิดการฟลูอิดไดเซชันอยู่นั้นจะสูงขึ้นด้วย เนื่องจากเม็ดของแข็งทั้งหมดสามารถแขวนลอยอยู่ได้ในก๊าซซึ่งไหลขึ้นมาจากข้างล่าง ผลลคความดันของก๊าซที่ไหลผ่านชั้นของฟลูอิดไดซ์เบคและน้ำหนักของชั้นเม็ดของแข็งที่บรรจุอยู่จะสัมพันธ์กันดังสมการต่อไปนี้

$$\Delta p = \frac{w_s}{A_T} \quad \text{.....(2.2)}$$

เมื่อ W_s น้ำหนักรวมของเม็ดของแข็ง, กิโลกรัม
 A_T พื้นที่หน้าตัดของภาชนะบรรจุ, เมตร²

2.1.4 การคำนวณหาความเร็วต่ำสุดในการฟลูอิดไดเซชัน (\bar{V}_{OM}) คำนวณจากความดันลคที่เกิดขึ้นภายในเบค

$$\Delta p = \frac{g}{g_c} (1 - \varepsilon) (\rho_p - \rho) L \quad \text{.....(2.3)}$$

เมื่อ ρ_p ความหนาแน่นของอนุภาคของแข็ง, กิโลกรัม/เมตร³
 ρ ความหนาแน่นของของไหล, กิโลกรัม/เมตร³
 g ค่าความเร่งโน้มถ่วง, เมตร/วินาที²

ในภาวะเริ่มเกิดฟลูอิดไดเซชัน อัตราส่วนช่องว่าง ε จะเป็นอัตราส่วนช่องว่างที่น้อยที่สุด (mimimum porosity) ε_M ดังนั้น

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{g}{g_c} (1 - \varepsilon_M) (\rho_p - \rho) \quad \text{.....(2.4)}$$

และจากสมการ Ergun สำหรับความดันตกใน packed bed

$$\frac{\Delta p g_c}{L} = \frac{150 \mu \bar{V}_0 (1-\epsilon)^2}{\phi_s^2 D_p^2 \epsilon^3} + \frac{1.75 \rho \bar{V}_0^2 (1-\epsilon)}{\phi_s D_p^2 \epsilon^3} \quad \text{.....(2.5)}$$

แทนในสมการที่ภาวะเริ่มเกิดฟลูอิดไดเซชัน เพื่อหาความเร็วต่ำสุด \bar{V}_{OM}

$$\frac{150 \mu \bar{V}_{OM} (1-\epsilon_M)}{\phi_s^2 D_p^2 \epsilon_M^3} + \frac{1.75 \rho \bar{V}_{OM}^2}{\phi_s D_p^2 \epsilon_M^3} = g(\rho_p - \rho) \quad \text{.....(2.6)}$$

สำหรับอนุภาคขนาดเล็กที่มีลักษณะการไหลเป็นแบบ laminar และมีเรย์โนลด์คัมเบอร์ $N_{re,p} < 1$ สมการสำหรับความเร็วต่ำสุดจะได้

$$\bar{V}_{OM} \approx \frac{g(\rho_p - \rho)}{150 \mu} \frac{\epsilon_M^3}{1-\epsilon_M} \phi_s^2 D_p^2 \quad \text{.....(2.7)}$$

สำหรับอนุภาคขนาดใหญ่ที่มีลักษณะการไหลเป็นแบบ laminar และมี $N_{re,p} > 10^3$ สมการสำหรับความเร็วต่ำสุดจะได้

$$\bar{V}_{OM} \approx \left[\frac{\phi_s D_p g(\rho_p - \rho) \epsilon_M^3}{1.75 \rho} \right]^{1/2} \quad \text{.....(2.8)}$$

สำหรับการตกอย่างอิสระของอนุภาคในอากาศ ความเร็วสุดท้ายของอนุภาคคำนวณได้จาก

$$u_t = \frac{g D_p^2 (\rho_p - \rho)}{18 \mu} \quad \text{.....(2.9)}$$

ที่ค่า N_{re} ต่ำ ๆ ความเร็วสุดท้ายของอนุภาคและความเร็วต่ำสุดของอนุภาคต่างก็แปรผันตามเทอม D_p^2 , $(\rho_p - \rho)$ และ $1/\mu$ ดังนั้น อัตราส่วน u_t / \bar{V}_{OM} จึงขึ้นอยู่กับค่า ϵ (void fraction) ที่ภาวะเริ่มเกิดฟลูอิดไดเซชัน (minimum fluidization)

สำหรับอนุภาคขนาดเล็ก

$$\begin{aligned} \frac{u_i}{\bar{V}_{OM}} &= \frac{gD_p^2(\rho_p - \rho)}{18\mu} \frac{150\mu}{g(\rho_p - \rho)\phi_s^2 D_p^2} \frac{1 - \varepsilon_M}{\varepsilon_M^3} \\ &= \frac{8.33(1 - \varepsilon_M)}{\phi_s^2 \varepsilon_M^3} \end{aligned} \quad \text{.....(2.10)}$$

ถ้าเป็นอนุภาคทรงกลม จะได้ว่า $\varepsilon_M \approx 0.45$ และ $u_i = 50\bar{V}_{OM}$ (ความเร็วสุดท้ายเป็น 50 เท่าของความเร็วต่ำสุด) ดังนั้นเบคสามารถทำให้เกิดการฟลูอิดไดซ์ที่ความเร็ว 10 mm/sec และสามารถใช้ความเร็วได้สูงถึง 400 mm/sec โดยที่อนุภาคไม่ถูกเป่าลอยปลิวไป

สำหรับอนุภาคขนาดใหญ่ ความเร็วสุดท้ายหาจาก Newton's law คือ

$$u_i = 1.75 \sqrt{\frac{gD_p(\rho_p - \rho)}{\rho}} \quad \text{.....(2.11)}$$

สำหรับอนุภาคทรงกลม ที่มี $N_{re,p} > 10^3$

$$\begin{aligned} \frac{u_i}{\bar{V}_{OM}} &= 1.75 \left[\frac{gD_p(\rho_p - \rho)}{\rho} \right]^{1/2} \left[\frac{1.75\rho}{gD_p(\rho_p - \rho)\varepsilon_M^3} \right]^{1/2} \\ &= \frac{2.32}{\varepsilon_M^{3/2}} \end{aligned} \quad \text{.....(2.12)}$$

2.2 ทฤษฎีการอบแห้ง

การอบแห้งเป็นกระบวนการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมอาหารและมักจะเป็นปฏิบัติการหน่วนสุดท้ายเสมอ

จุดประสงค์ของการอบแห้ง เพื่อรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้เก็บไว้ได้นาน ลดปริมาณและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ในการเก็บและส่ง ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่อาจจะเกิดจากความชื้นภายในผลิตภัณฑ์

2.2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง

ในการทำแห้งอาหารต่างๆ ไป มีปัจจัยหลายประการที่จะทำให้การอบแห้งนั้นเกิดได้เร็วหรือช้า ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

1. ลักษณะธรรมชาติของอาหาร อาหารที่มีลักษณะเป็นรูปทรงแฉกๆ จึงมีอัตราการอบแห้งเร็ว นอกจากนั้นพื้นที่ผิวของอาหารก็จะมีผลต่ออัตราการอบแห้งมาก อาหารที่มีพื้นที่ผิวมาก การอบแห้งก็จะทำได้เร็วขึ้น
2. ขนาดและรูปร่างของอาหาร ส่วนใหญ่จะคำนึงถึงเฉพาะความหนาของอาหารเนื่องจากอัตราการอบแห้งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของอาหาร ยิ่งอาหารหนามากเท่าไร การอบแห้งจะเกิดขึ้นได้ช้าลง
3. ปริมาณอาหารที่ใส่ในเครื่องอบแห้งและการจัดเรียงเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่ง การใส่ปริมาณอาหารมากเกินไป จะทำให้การอบแห้งทำได้ไม่ทั่วถึง โดยเฉพาะบริเวณช่วงกลางๆ น้ำจะระเหยออกได้ไม่ดี ความร้อนเข้าไปไม่ค่อยถึง ยิ่งถ้าจัดเรียงตัวกันไม่ดีแล้ว ก็จะทำให้อัตราการอบแห้งเกิดได้ช้ามาก
4. ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของลม ความชื้นของอากาศเป็นสิ่งสำคัญมาก การระเหยน้ำออกจะทำได้ดีหรือไม่ขึ้นกับความชื้นของอากาศ และความเร็วของลม นอกจากนั้นอุณหภูมิที่ใช้ออบก็จะเป็นปัจจัยที่สำคัญเช่นกัน
5. ความดัน เกี่ยวเนื่องกับการระเหยของน้ำ เนื่องจากในที่ความดันต่ำๆ ลงมา น้ำก็จะเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ดังนั้นการทำแห้งภายใต้ความดัน จะทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น

2.2.2 การแบ่งประเภทเครื่องมือการอบแห้งชนิดต่าง ๆ

ปัจจุบันมีเครื่องมืออบแห้งหลายชนิด จึงจำเป็นต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับวัสดุที่จะอบแห้ง วิธีการแบ่งเครื่องอบแห้งโดยวิธีการถ่ายเทความร้อนสามารถแบ่งเป็น

1. เครื่องอบแห้งที่อาศัยการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน เช่น เครื่องอบแห้งแบบถาด เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม เป็นต้น
2. เครื่องอบแห้งที่อาศัยการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อน เช่น เตาอบเครื่องอบแห้งแบบครัม เป็นต้น
3. เครื่องอบแห้งที่อาศัยการถ่ายเทความร้อนแบบการแผ่รังสีความร้อน เช่น เครื่องอบแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์ เป็นต้น

การแบ่งเครื่องอบแห้งตามลักษณะทางกายภาพของวัสดุ จะทำได้โดยดูลักษณะที่เหมาะสม เช่น วัสดุที่มีลักษณะเป็นผงควรใช้เครื่องอบแห้งที่มีการกระจายวัสดุหรือที่มีลักษณะเป็นชิ้นจะต้องใช้การวางวัสดุกับภาชนะแล้วใช้ความร้อนเป่าผ่าน เป็นต้น

2.2.3 ชนิดของเครื่องอบแห้งที่สำคัญ

1.เครื่องอบแห้งแบบถาด

เครื่องอบแห้งแบบนี้เป็นแบบที่ง่ายที่สุด วัสดุจะถูกวางบนถาดมีจำนวน 10 ถึงมากกว่า 20 ชั้น มักใช้ความร้อนไหลผ่านขนานกับถาด การทำงานมีลักษณะไม่ต่อเนื่องและใช้ขอบแห้งวัสดุที่มีปริมาณไม่มากนัก ข้อเสียของเครื่องอบแห้งชนิดนี้ จะพบว่าบริเวณใกล้ทางเข้าของอากาศร้อนการแห้งของวัสดุจะเร็วกว่าบริเวณทางออกของอากาศร้อน ดังนั้น จึงต้องมีการสลับถาดเสมอ เครื่องอบแห้งวัสดุแบบถาดเหมาะสมจะใช้อบวัสดุที่เป็นชิ้น เช่น ผลไม้ เป็นต้น

2.เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์

ลักษณะของเครื่องอบแห้งชนิดนี้ จะคล้ายกับเครื่องอบแห้งแบบถาดที่ทำงานต่อเนื่องโดยใช้การเคลื่อนที่ของวัสดุที่ถูกอบแห้งผ่านอุโมงค์ มักใช้รถเข็นเป็นตัวพาวัสดุเคลื่อนที่ผ่านอากาศร้อนที่ไหลตั้งฉากสวนทางหรือไหลตามวัสดุก็ได้ ปัญหาที่อาจเกิดกับเครื่องอบแห้งชนิดนี้ คือ การกระจายของอากาศร้อนไม่สม่ำเสมอ ทำให้วัสดุแห้งไม่เท่ากัน

3.เครื่องอบแห้งแบบโรตารี

เป็นเครื่องอบแห้งที่อบแห้งวัสดุ โดยการหมุนอยู่ภายในทรงกระบอกที่มีลมร้อนไหลผ่าน อัตราการอบแห้งจะสูง และต้องใช้ปริมาณอากาศร้อนมาก ความร้อนรอบของอากาศจะต้องพอเหมาะเพื่อให้การตกของวัสดุดีที่สุด มักใช้อบแห้งวัสดุที่เป็นผลึก เช่น น้ำตาล

4.เครื่องอบแห้งแบบครีม

เป็นเครื่องอบแห้งที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกปิด ภายในทรงกระบอกมีการให้ความร้อน วัสดุที่ถูกอบแห้งมีลักษณะเป็น Slurry หรือ Paste วัสดุที่แห้งจะติดที่ผิวของทรงกระบอก ซึ่งจะต้องมีมีดขูดออก

5.เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

เป็นเครื่องอบแห้งที่เป็นผลิตภัณฑ์แบบของเหลว เมื่ออบแห้งแล้วจะได้วัสดุที่เป็นผงนำไปละลายได้ง่าย การอบแห้งจะใช้การพ่นสารละลายเป็นฝอย สวนทางหรือไหลตามกับอากาศมักใช้อบแห้งกับวัสดุที่ต้องการเป็นผงละเอียด เช่น กาแฟ นม เป็นต้น

6. เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม

เป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้กับวัสดุที่เป็นผงหรือฝุ่น สามารถถูกพาไปกับลมร้อนได้ง่าย การอบแห้งจะเกิดขณะที่วัสดุพาไปกับลมร้อน และออกจากลมร้อนที่ไซโคลน วัสดุที่ใช้ในการอบแห้งแบบนี้ เช่น แป้ง เม็ดพลาสติก เป็นต้น

7. เครื่องอบแห้งชนิดฟลูอิด ไคซ์เบคแบบตัน

เป็นเครื่องอบแห้งที่เหมาะสมที่เข้ากับวัสดุที่มีการกระจายขนาดแตกต่างกันมาก ๆ หรือวัสดุที่มีความเหนียว เครื่องอบแห้งชนิดนี้อาศัยการถั่นโดยใช้ Vibration motor เพื่อให้วัสดุเกิดการฟลูอิด ไคซ์ และมีลมร้อนผ่านขึ้นมากับวัสดุ เพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนและมวลสาร

8. เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิด ไคซ์เบค

เครื่องอบแห้งชนิดนี้จะใช้วัสดุที่มีขนาดเล็ก ลมร้อนจะเป็นตัวทำให้วัสดุลอยตัวและเคลื่อนไหวในอากาศได้ วัสดุที่อบแห้งจะมีน้ำหนักลดลงเรื่อย ๆ ผลัดกันที่ใช้ในการอบแห้งแบบนี้ เช่น ผงชูรส เป็นต้น

2.2.4 ความชื้นในวัสดุ

1. ปริมาณความชื้น (คิดจากวัสดุเปียก) และอัตราส่วนความชื้น (คิดจากวัสดุแห้ง)

วิธีแสดงความชื้น (น้ำ) ที่มีอยู่ในวัสดุเปียกมี 2 แบบ คือ อัตราส่วนความชื้น ซึ่งคิดโดยเปรียบเทียบกับวัสดุแห้ง (ไรรน้ำ) และปริมาณความชื้น ซึ่งคิดโดยเปรียบเทียบกับวัสดุเปียก แบบแรก จะเรียกสั้น ๆ ว่า ปริมาณความชื้น ถ้าให้ W [kg water/kg dry stock] เป็นอัตราส่วนความชื้น (แบบแรก) และ w [kg water/kg wet stock] เป็นปริมาณความชื้น (แบบหลัง) ความสัมพันธ์ระหว่างสองแบบนี้จะเป็นดังนี้

$$w = \frac{W}{(1+W)} \quad \text{.....(2.13)}$$

$$W = \frac{w}{(1-w)} \quad \text{.....(2.14)}$$

2. อัตราส่วนความชื้นสมดุล

เมื่อวางวัสดุเปียกไว้ในก๊าซ (หรืออากาศ) ที่มีอุณหภูมิคงที่และความชื้นคงที่ วัสดุนั้นจะแห้งขึ้นหรือดูดความชื้นเพิ่ม จนเข้าสู่ภาวะสมดุล อัตราส่วนความชื้นในกรณีนี้มีชื่อเรียกว่า อัตราส่วนความชื้นสมดุล ค่าของอัตราส่วนความชื้นสมดุลจะขึ้นกับประเภทของวัสดุ, อุณหภูมิ และความชื้นของก๊าซ (อากาศ)

3. อัตราส่วนความชื้นอิสระ

อัตราส่วนความชื้นในวัสดุที่สามารถกำจัดได้โดยการอบแห้งจะเท่ากับผลต่างระหว่าง อัตราส่วนความชื้นแรกเริ่มของวัสดุ และอัตราส่วนความชื้นสมดุล ภายใต้เงื่อนไขการอบแห้งนั้น ๆ อัตราส่วนความชื้นที่กำจัดออกได้นี้มีชื่อเรียกว่า อัตราส่วนความชื้นอิสระ

4. อัตราส่วนความชื้นวิกฤต

ในระหว่างการอบแห้ง อัตราส่วนความชื้นที่อัตราการอบแห้งเปลี่ยนจากช่วงการอบแห้งที่เร็วคงที่เป็นช่วงความเร็วลดลง เรียกว่า อัตราส่วนความชื้นวิกฤต ค่าของอัตราส่วนความชื้นวิกฤตนี้จะเปลี่ยนตามประเภทของวัสดุ วิธีการอบแห้ง เงื่อนไขการอบแห้ง เป็นต้น

2.3 สมบัติเชิงเรขาคณิตของวัสดุเกษตร

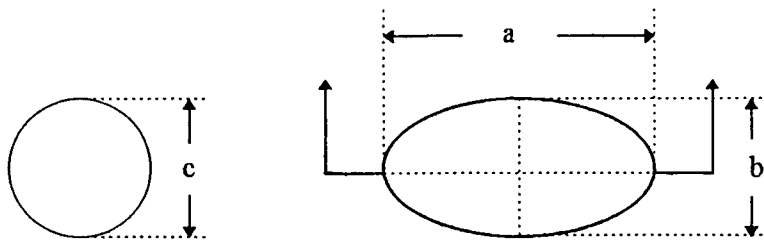
2.3.1 เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (Geometric mean diameter, GMD)

หากวัสดุมีรูปร่างเป็นทรงกลมสามารถกำหนดขนาดจากเส้นผ่านศูนย์กลางได้เลย หากมีรูปร่างคล้ายทรงกลมหรือไม่เป็นทรงกลม สามารถกำหนดขนาดจากเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตซึ่งพิจารณาได้ง่ายๆ จากการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุด (a) เส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุดที่ตั้งฉากกับ a (b) และเส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุดที่ตั้งฉากกับ a และ b (c) นั่นคือ a, b และ c ไม่จำเป็นต้องตัดกันที่จุดเดียวกันแล้วนำมาคำนวณจากสูตร ดังนี้

$$GMD = (abc)^{1/3} \quad \dots\dots(2.15)$$

(เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต $GMD =$ เส้นผ่านศูนย์กลาง D_p)

การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ ทำได้โดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์หรือไมโครมิเตอร์ และการวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง a , b และ c แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การหาเส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุด a, b และ c

2.3.2 แฟกเตอร์รูปร่าง (Shape factor, Φ_s)

การบ่งชี้รูปร่างของวัสดุอาจระบุโดยแฟกเตอร์รูปร่าง เช่นค่าความเป็นทรงกลม (sphericity) นับเป็นแฟกเตอร์รูปร่างชนิดหนึ่ง ค่าความเป็นทรงกลมหาได้จาก

$$\begin{aligned} \text{ความเป็นทรงกลม} &= \frac{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต}}{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุด}} \\ &= \frac{(abc)^{1/3}}{a} \end{aligned} \quad \text{.....(2.16)}$$

2.3.3 ความพรุน (Porosity, ϵ)

ความพรุนหรืออัตราส่วนช่องว่าง (Void Fraction) เป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงปริมาณช่องว่างที่มีอยู่ในกองวัสดุปริมาณมวล ความพรุนมีค่าเท่ากับสัดส่วนของปริมาณอากาศต่อปริมาตรรวม เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\epsilon = \frac{\text{ปริมาตรของอากาศที่แทรกอยู่ตามรูพรุน}}{\text{ปริมาตรรวมของวัสดุ}} \quad \text{.....(2.17)}$$

ค่าความพรุนเปลี่ยนแปลงตามรูปร่าง ขนาด และลักษณะผิวของวัสดุ

2.3.4 ความหนาแน่นเนื้อ (Solid Density, ρ_{Solid})

หมายถึง อัตราส่วนระหว่างมวล (M) ต่อปริมาตรเนื้อวัสดุ (V_{solid})

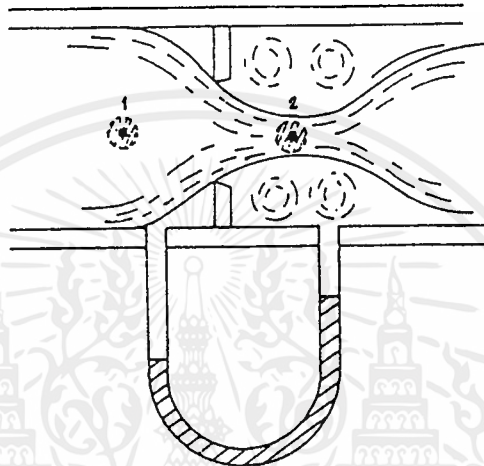
$$\rho_{\text{Solid}} = M / V_{\text{Solid}} \quad \text{.....(2.18)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การวัดอัตราการไหลของอากาศ

2.4.1 การวัดอัตราการไหลแบบวัดความดันคิฟเฟอร์แมนเชี่ยล

หลักการ อาศัยทฤษฎีของ Bernoulli ที่กล่าวว่า “ของไหลแบบ Steady (อัตราการไหลสม่ำเสมอหรือเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ) ที่ปราศจากแรงเสียดทานแล้วผลบวก Velocity head, Pressure และ Elevation head ในทุกจุดของท่อจะเป็นค่าคงที่” ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การวัดอัตราการไหลแบบวัดความดันคิฟเฟอร์แมนเชี่ยล
กรณีที่เป็นของเหลว

ถ้ากำหนดให้ V_1 คือ ความเร็วของ Fluid ที่จุด 1

V_2 คือ ความเร็วของ Fluid ที่จุด 2

P_1 คือ ความดันแบบ Static ที่จุด 1

P_2 คือ ความดันแบบ Static ที่จุด 2

Z_1 คือ ระดับความสูง ณ จุดศูนย์กลางของท่อที่จุด 1

Z_2 คือ ระดับความสูง ณ จุดศูนย์กลางของท่อที่จุด 2

g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

ρ คือ ค่าความหนาแน่นของ Fluid

ตามสมการของ Bernoulli เปรียบเทียบที่จุด 1 และจุด 2 จะได้

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho_1} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho_2} + Z_2 \quad \text{.....(2.19)}$$

จากสมการ (2.19) เนื่องจากระดับ $Z_1 = Z_2$ และ $\rho_1 = \rho_2$ \therefore จะได้

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} = \frac{P_1 - P_2}{\rho} \quad \text{.....(2.20)}$$

เนื่องจากสภาพการไหลเป็นแบบต่อเนื่อง (continuity flow) ดังนั้น P ปริมาณการไหลของ fluid ที่ผ่านพื้นที่หน้าตัด ณ จุดใด ๆ ของท่อจะต้องมีค่าคงที่เสมอ นั่นคือ ปริมาณการไหล ณ จุด 1 และจุด 2 จะต้องมามีค่าเท่ากัน ถ้าให้ A_1 และ A_2 คือพื้นที่หน้าตัดที่จุด 1 และจุด 2 ตามลำดับ

$$\text{จะได้ } A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad \text{.....(2.21)}$$

$$\text{จากสมการ (2.21) } V_1 = \frac{A_2}{A_1} V_2 \quad \text{.....(2.22)}$$

นำค่า V_1 ใน (2.22) และค่าในสมการ (2.20) จะได้

$$V_2^2 \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right] = 2g \frac{(P_1 - P_2)}{\rho} \quad \text{.....(2.23)}$$

\therefore จะได้

$$V_2 = \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{\rho \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right]}} \quad \text{.....(2.24)}$$

V_2 เป็นความเร็วของ fluid ผ่านเวนจูรี ดังนั้นปริมาณการไหล $Q = A_2 V_2$

$$\text{ดังนั้น จากสมการที่ (2.24) } A_2 V_2 = A_2 \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{\rho \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right]}} \quad \text{.....(2.25)}$$

ถ้าให้ $P_1 - P_2 = \Delta P$

$$\text{และอัตราส่วน } \frac{A_2}{A_1} = \beta \quad \text{จะได้ } Q = A_2 \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{\rho} / (1 - \beta^2)} \quad \text{.....(2.26)}$$

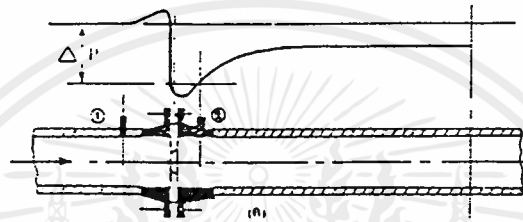
ผลที่ได้จากสมการ (2.26) เป็นค่า Q ที่ได้จากทฤษฎีเท่านั้น ในทางปฏิบัติจริงแล้ว ค่า Q ที่ได้จะมีค่าต่ำกว่า Q ทางทฤษฎี ดังนั้น จะต้องมีค่าสัมประสิทธิ์อีกตัวหนึ่ง มาคูณเพื่อให้ได้ค่า Q ที่แท้จริง สัมประสิทธิ์ตัวนี้ได้จากการทดลองเรียกว่า Coefficient of Discharge

C_d = ค่า Discharge จริงจากการทดลอง/ค่า Discharge จากทฤษฎี
 คำนวณสมการ (2.26) จะเป็น

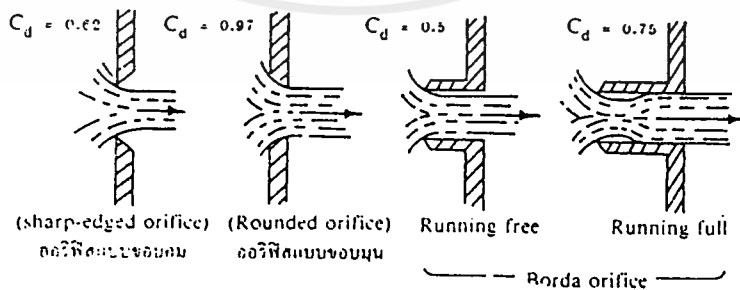
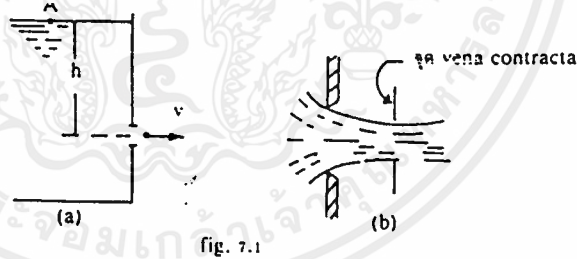
$$Q = A_2 C_d \sqrt{\frac{2g(\Delta P)}{\rho} / (1 - \beta^2)} \quad \dots\dots(2.27)$$

2.4.2 ค่า Coefficient of Discharge

ของไหลเมื่อถูกรีดผ่านหน้าออริฟิสเกิดเป็นลำ (jet) ลักษณะจะเป็นดังรูปที่ 2.4 จุดที่คอดที่สุดของลำเรียกว่า Vena Contracta ค่าของ C_d จะแปรเปลี่ยนไปตามลักษณะและความยาวของท่อออริฟิส ตามรูป 2.5



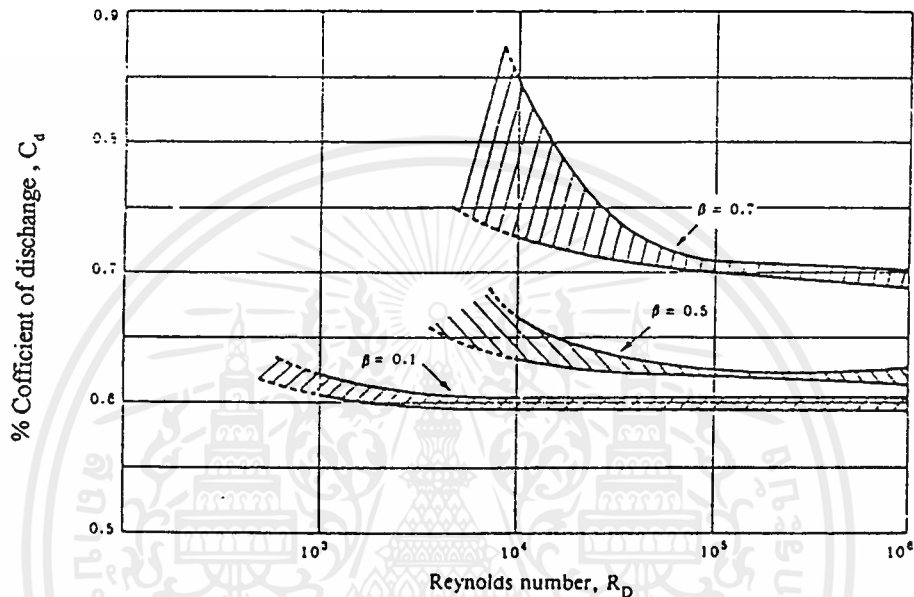
รูปที่ 2.4 แสดงการเกิดความดันตกคร่อมตัววัดแบบออริฟิส



รูปที่ 2.5 ค่า C_d ของออริฟิสแบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อค่า Reynold Number เปลี่ยนไปค่าของ C_d ก็จะเปลี่ยนไปด้วย โดยเฉพาะในย่านการไหลต่ำ ๆ จะเปลี่ยนแปลงมาก ความสัมพันธ์ของ C_d กับ R_D ของออริฟิสจะเป็นไปตามรูปที่ 2.6 คือ ในย่าน R_D ต่ำ ๆ ค่า C_d จะสูงขึ้นและจะลดลงจนมีค่าเกือบคงที่ที่ R_D มากกว่า 10^5 ค่า β ของออริฟิสที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีค่า C_d ต่อกว่าค่า C_d ของออริฟิสที่มีขนาดใหญ่กว่าแบบที่มี β ใหญ่กว่า นี่เป็นเหตุผลอันหนึ่งในการกำจัดขนาดของ β ไม่ให้เกิน 0.75 แต่อย่างไรก็ดี ค่า β สูง ๆ จะให้ค่า C_d มากกว่า β ขนาดเล็ก



รูปที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ C_d กับ R_D ของออริฟิส

ในก๊าซและไอ ในกรณีของไหลที่ต้องการวัดการไหลเป็นก๊าซหรือไอ ซึ่งเป็นสารที่อัดตัวลง (Compressible fluids) ทำให้ค่าความหนาแน่นของ fluid ไม่เท่ากันในจุด 1 และจุด 2 แต่เนื่องจาก $P_1 \neq P_2$ ดังนั้นจึงต้องกำหนดตัวประกอบอีกตัวหนึ่ง คือแฟคเตอร์การขยาย (expansion factor, Y) เข้ามาร่วมด้วยดังสมการ

$$Q = A_2 C_d Y \sqrt{\frac{2g(\Delta P)}{\rho_1} / (1 - \beta^2)} \quad \dots\dots(2.28)$$

ในทางทฤษฎี

$$Y = \left\{ \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{2/k} \left(\frac{k}{k-1} \right) \left[\frac{1 - (P_2/P_1)^{(k-1)/k}}{1 - (P_2 - P_1)} \right] \left[\frac{1 - (A_2/A_1)^2}{1 - (A_2/A_1)^2 (P_2/P_1)^{2/k}} \right] \right\}^{1/2} \quad \dots\dots(2.29)$$

$$\text{เมื่อ } k = \frac{C_p}{C_v}$$

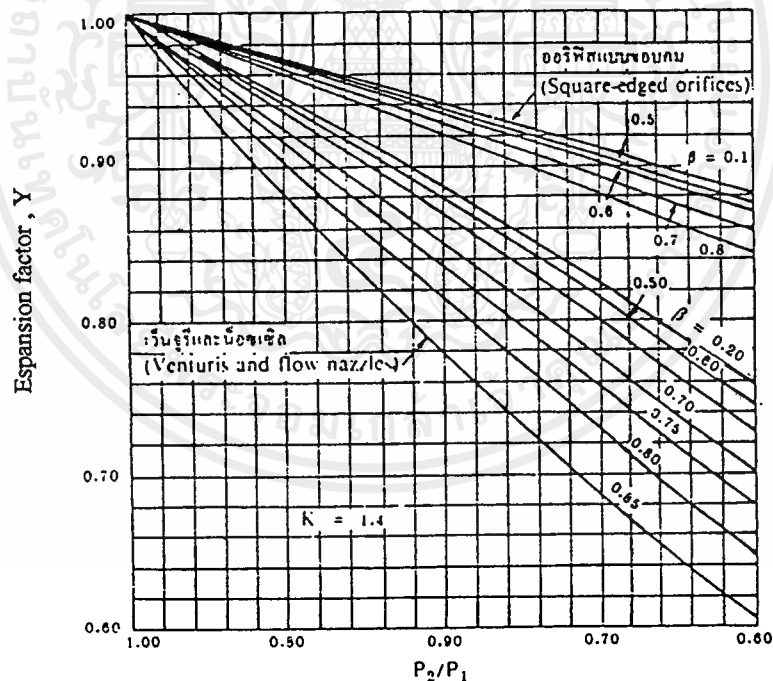
C_p = ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่

C_v = ความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่

สำหรับออร์ฟิสแบบขอบเป็นมุมฉากค่าที่ได้จากการทดลอง กำหนดได้ดังนี้

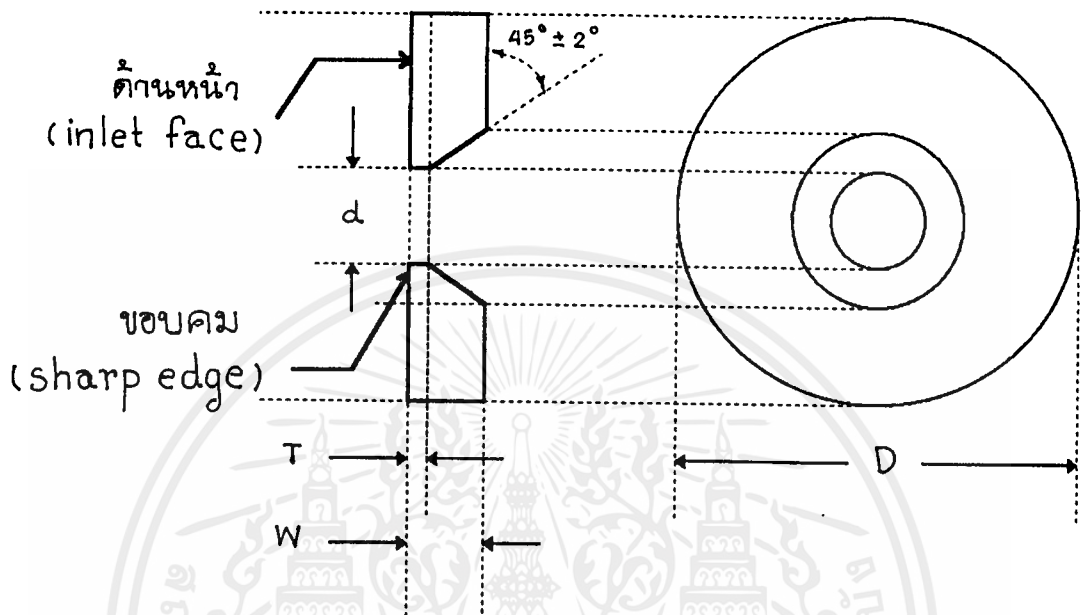
$$Y = 1 - \left[0.41 + 0.35 \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right] \frac{P_1 - P_2}{kP_1} \quad \dots\dots(2.30)$$

กราฟในรูปที่ 2.7 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ของ Y และอัตราส่วน P_2/P_1 ในตัววัดที่เป็นออร์ฟิส (ด้านบน) และเวนจูรีกับนีอซเซิล (ด้านล่าง) เมื่อกำหนดให้ $k = 1.4$



รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ของ Expansion factor Y กับอัตราส่วนระหว่าง P_2/P_1 ที่เปลี่ยนแปลงในตัววัดแบบออร์ฟิส, เวนจูรี และนีอซเซิล

ออริฟิสที่พบใช้งานอยู่โดยทั่วไปจะมีรูปดังรูปที่ 2.8 ช่องออริฟิสทางด้านของไหลไหลเข้าจะเป็นมุมฉาก ทางด้านออกจะผายออกประมาณ 45° เพื่อเป็นการลดความเสียดทานลงให้เหลือเท่าที่จำเป็นสำหรับการวัด



รูปที่ 2.8 ออริฟิสที่พบใช้งานอยู่โดยทั่วไป

ความหนาของแผ่นออริฟิส จะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามขนาดของท่อหรือเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ของช่องออริฟิส ความหนาที่สำคัญคือ ขอบในออริฟิส (orifice edge) ระยะความหนา T ตามรูป 2.8 จะต้องมีค่าไม่เกินค่าเหล่านี้

$T \leq 0.02 D$ เมื่อ D คือระยะเส้นผ่านศูนย์กลางท่อด้านในของท่อ
 หรือ $T \leq d/8$ d คือระยะเส้นผ่านศูนย์กลางท่อของช่องออริฟิส
 (ใช้ค่าน้อยกว่า) T คือค่าความหนา

เพราะระยะเส้นผ่านศูนย์กลางท่อของช่องออริฟิสจะมีผลโดยตรงต่อค่า Coefficient of Discharge แต่ค่าความหนาของแผ่นออริฟิสจะมีความหนากว่าระยะความหนา T ได้ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ความแข็งแรงของแผ่นออริฟิสมากขึ้น แต่หลังขอบในออริฟิสจะต้องผายปากออกประมาณ 45° แผ่นออริฟิสแบบนี้ใช้วัดอัตราการไหลได้ทางเดียวเท่านั้นตามทิศทางในรูป แต่ถ้าจะให้วัดได้สองทาง ตัวแผ่นออริฟิสจะต้องมีความหนาเท่ากับระยะความหนา T และจุดวัดความดันทั้งสองจะต้องห่างจากออริฟิสเท่ากัน

ขนาดช่องออริฟิสจะบอกเป็นอัตราส่วนกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ เรียกว่า อัตราส่วนเบต้า (β ratio) ค่าของ β นี้ มีขีดจำกัดเพื่อให้ผลของการวัดมีความเที่ยงตรง สำหรับ ของไหลที่เป็นของเหลวค่า β จะอยู่ระหว่าง 0.15 ถึง 0.75 และที่เป็นก๊าซหรือไอ เช่น ไอน้ำ ค่า β จะอยู่ระหว่าง 0.20 ถึง 0.70 แต่ค่าที่ดีที่สุดควรอยู่ระหว่าง 0.40 ถึง 0.60

ค่า β นี้ ขึ้นอยู่กับวิธีการต่อจุดวัดความดันด้วย ถ้าเป็นแบบการต่อจุดวัดผลต่างความดันที่หน้าแปลนกับออริฟิส ค่า β สามารถกำหนดได้ระหว่าง 0.15 ถึง 0.70 แต่ถ้าเป็นการต่อจุดวัดผลต่างความดันที่ท่อส่ง ค่า β ควรอยู่ระหว่าง 0.20 ถึง 0.67

การกำหนด β ในทางปฏิบัติจะต้องกำหนดจากผลต่างความดันสูงสุดที่ต้องการ เมื่อค่าอัตราการไหลในระบบสูงสุด เช่น ผลต่างความดันสูงสุด 100 นิ้วของน้ำ แล้วคำนวณย้อนกลับมาหาค่า β

2.4.3 การติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของลมและส่วนประกอบอื่น ๆ

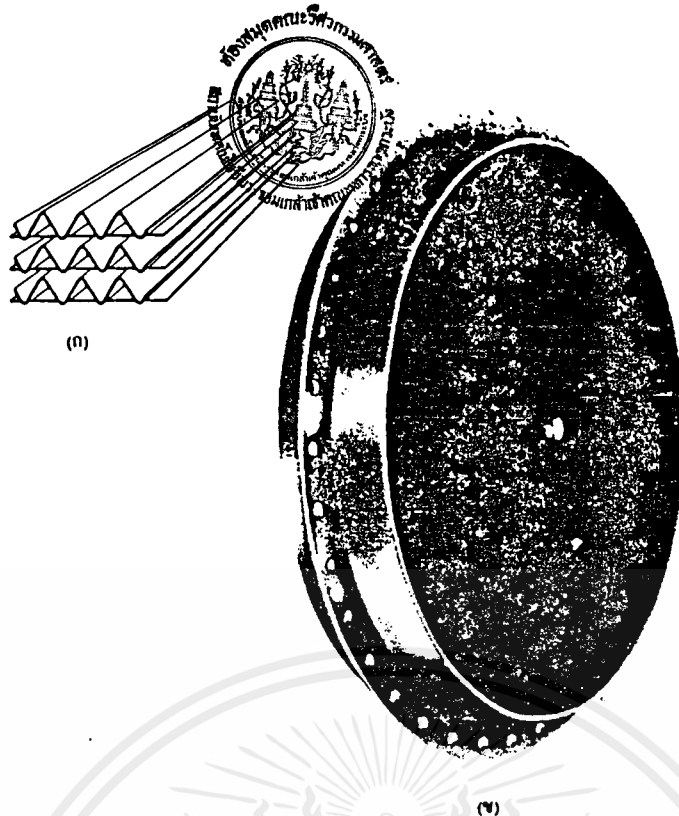
ความถูกต้องของการวัดมิได้อยู่ที่ตัวอุปกรณ์การวัดเท่านั้น แต่ยังมีส่วนอื่น ๆ ที่สามารถส่งผลกระทบต่อค่าที่วัดได้ เช่น การขบท่อ, การติดตั้งวาล์ว, ข้อต่อ, ข้องอ สิ่งเหล่านี้ล้วนมีผลต่อรูปร่างและทิศทางของความเร็วทั้งสิ้น

ท่อตรงสำหรับจัดลม (Straightening Vanes)

ในกรณีที่ไม่สามารถวางท่อตรงให้ได้ความยาวตามที่กำหนด อาจเนื่องจากไม่มีพื้นที่พอ จึงจำเป็นต้องลดขนาดความยาวลง ในกรณีนี้จะต้องใช้ท่อตรงสำหรับจัดลมเข้าช่อง โดยมันจะช่วยให้รูปร่างและทิศทางของความเร็วเป็นระเบียบได้เร็วขึ้น แบบที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปดังรูป



รูปที่ 2.9 Straightening Vanes ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน



รูปที่ 2.10 (ก) เป็นอุปกรณ์ที่ใส่หน้าตัววัด เพื่อให้การไหลเป็นแบบราบเรียบ และ
(ข) ใช้กับก๊าซด้วยจุดประสงค์อันเดียวกัน

2.5 พัดลม

สิ่งที่ทราบกันดีแล้วว่าพัดลมและอุปกรณ์ประกอบและติดตั้งเพื่อใช้งาน หากมีการเลือกใช้ โดยอาศัยหลักการพื้นฐานที่ถูกต้อง การใช้งานและการบำรุงรักษาที่ดีแล้วย่อมช่วยให้ประสิทธิภาพการทำงานของพัดลมเป็นไปด้วยดี ผู้เลือกใช้พัดลมจะต้องเรียนรู้ถึงแบบพัดลม และการเลือกใช้ให้เหมาะสมกับการทำงาน เช่น จะเลือกใช้ให้เหมาะสมกับสภาพของลมที่เป่าผ่านได้อย่างไร ซึ่งลมที่เป่าผ่านนั้นอาจเป็นลมที่มีคุณสมบัติที่ก่กร่อนต้องเลือกใช้วัสดุของพัดลมให้เหมาะสมด้วย

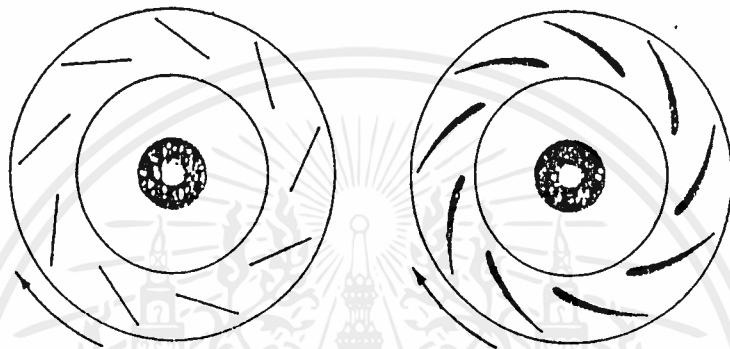
2.5.1 หลักการพื้นฐาน

แบบของพัดลมจะมีอยู่หลายแบบซึ่งแต่ละแบบจะมีหลักการทำงานที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปจะจัดแบ่งตามลักษณะของใบพัดลมได้เป็น 5 แบบ คือ

1. พัดลมแบบใบพัดโค้งหลัง (backward-inclined fan)
2. พัดลมตามแนวแกน (axial fan)
3. พัดลมแบบใบพัดโค้งหน้า (forward curve fan)
4. พัดลมแบบใบพัดปลายโค้ง (radial tip fan)
5. พัดลมแบบใบพัดตรง (radial blade fan)

2.5.2 พัฒนแบบใบพัดโค้งหลัง

ลักษณะโดยทั่วไปได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.11 พัฒนชนิดนี้ยังแบ่งออกเป็นแบบใบพัดชั้นเดียวและแบบใบพัดแอร์ฟอยล์ ใบพัดแบบแอร์ฟอยล์จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าถึง 90 % เสียงที่เกิดจากการทำงานก็น้อยกว่า ส่วนพัฒนแบบใบพัดเดี่ยวจะมีคุณสมบัติรับความชื้นที่ปะปนมากับลมได้ซึ่งความชื้นนี้อาจทำให้พัฒนแบบแอร์ฟอยล์เกิดความเสียหายได้ ประสิทธิภาพทางกลของพัฒนที่มีใบพัดชั้นเดียวคือที่ 84% หรือมากกว่า

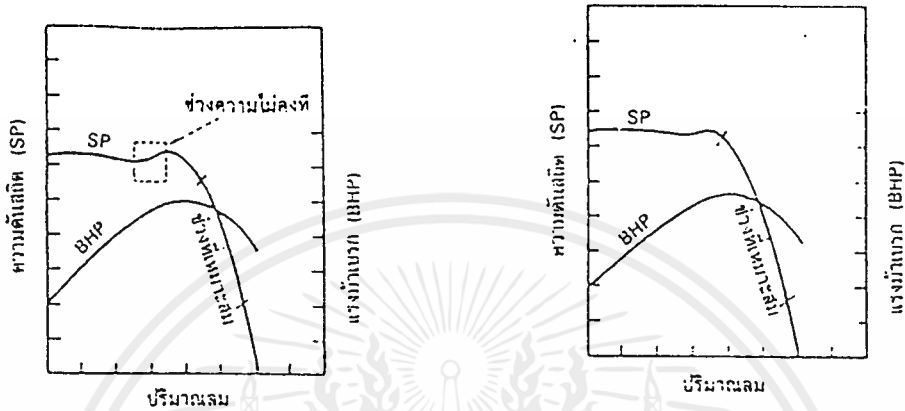


รูปที่ 2.11 ลักษณะของใบพัดพัฒนแบบโค้งหลังทั้งสองแบบ ด้านซ้ายเป็นใบพัดแบบชั้นเดียว และด้านขวาเป็นใบพัดแบบแอร์ฟอยล์

ข้อดีของพัฒนแบบนี้ก็คือ จะไม่เกิดอาการโอเวอร์โหลตขณะทำงานคุณลักษณะของพัฒนแบบนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.12 จะเห็นว่าเมื่อให้แรงม้าเบรค (Brake Horse Power : BHP) เพิ่มขึ้นปริมาณการไหลก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เมื่อถึงจุดหนึ่งเส้นโค้งก็จะตกลง การเลือกขนาดของมอเตอร์ของพัฒนต้องเลือกที่จุดนี้จะทำให้ได้แรงม้าเบรคสูงสุดที่จะไม่ทำให้เกิดโอเวอร์โหลตต่อพัฒน เส้นโค้งแสดงค่าความดันสถิต (Static Pressure : SP) ของพัฒนแบบใบพัดชั้นเดียวได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.12 (ด้านซ้าย) จะเห็นว่าในช่วงความไม่คงที่ของความดันอยู่ เส้นโค้งที่เอียงลงจะมีความดันสูงแต่ปริมาณการไหลของลมต่ำ ซึ่งเกิดจากการที่อากาศวิ่งเข้าไป-มาระหว่างใบพัด ลมเกิดการชะงักเป็นผลให้พัฒนไม่คงที่อยู่ช่วงหนึ่งอันเป็นจุดค้อยอย่างหนึ่งของใบพัดชั้นเดียว ส่วนรูปที่ 2.12 (ด้านขวา) เป็นเส้นโค้งแสดงสมรรถนะของใบพัดโค้งหลังแบบแอร์ฟอยล์ จะเห็นว่าช่วงความดันสถิตจะคงที่กว่า พัฒนแบบแอร์ฟอยล์จึงสามารถนำไปใช้ระบายลมที่มีปริมาณและความดันทานการไหลที่แตกต่างกันมากๆ ได้ทั้งนี้เพราะใบพัดแบบแอร์ฟอยล์จะมีความลึกทำให้ลมที่ผ่านมายังใบพัดขยายตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัดลมแบบใบพัดโค้งหลังอาจจะติดตั้งอยู่เป็นชุดเดียวเป็นลักษณะหอยโข่ง และมีท่อทางออกของลมตั้งฉากกับทางเข้าทำให้ลมไหลผ่านใบพัดได้โดยตรงซึ่งจะไม่มีผลต่อสมรรถนะของแรงม้าเบรกและความดันสถิต แต่จะมีประโยชน์เมื่อออกแบบให้พัดลมเอียงศูนย์กับท่อจะช่วยประหยัดเนื้อที่ในการติดตั้งได้ พัดลมแบบใบพัดโค้งหลังมักจะถูกนำไปใช้ในระบบทำความร้อน ระบบระบายอากาศ ระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ ระบายฝุ่น ควัน เป็นต้น

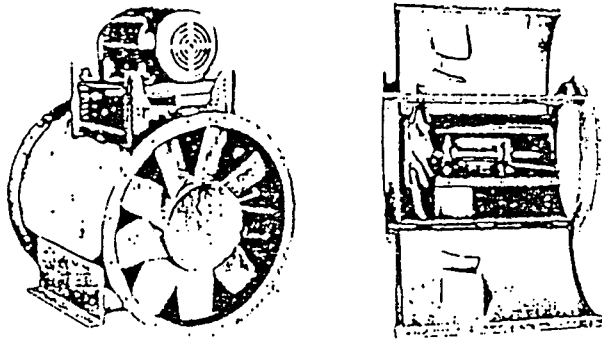


รูปที่ 2.12 สมรรถนะของพัดลมแบบใบพัดโค้งหลังทั้งสองแบบ ด้านซ้ายเป็นใบพัดแบบซี่นาคี และด้านขวาเป็นใบพัดแบบแอร์ฟอยล์

2.5.3 พัดลมตามแนวแกน

โดยปกติพัดลมตามแนวแกนที่นิยมใช้กันจะเป็นแบบโพลเพลเตอร์ (Propeller) ที่มักพบเห็นได้เสมอๆ เช่น พัดลมติดหน้าต่าง พัดลมระบายอากาศที่ติดตั้งอยู่บนหลังคา และพัดลมที่ใช้ในท่อลม ลักษณะของพัดลมแบบนี้แสดงไว้ในรูปที่ 2.13 ตัวพัดลมจะติดตั้งในตัวถังรูปทรงกระบอกที่เรียกว่า ทิวบ์แอกเซียล (Tube Axial) ซึ่งจะมีใบพัดแอร์ฟอยล์ใช้ระบายอากาศที่ความดันต่ำ ส่วนพัดลมอีกแบบหนึ่งเรียกว่า แวนแอกเซียล (Van Axial) ซึ่งจะมีใบพัดติดตั้งเข้าไปเพื่อผลทางอากาศพลศาสตร์ ทำให้พัดลมชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูงสุดของพัดลมตามแนวแกนซึ่งจะนำไปใช้ขนถ่ายลมสะอาดที่มีความดันระหว่าง 8 - 10 นิ้วน้ำ มีประสิทธิภาพมากกว่า 85% และยังสามารถออกแบบใช้งานพัดลมที่มีความดันสูงๆ ได้ เช่นการนำไปติดตั้งในปล่องไฟเพื่อพาแก๊สไอเสียที่ผ่านการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากหม้อน้ำออกไปทิ้งภายนอก

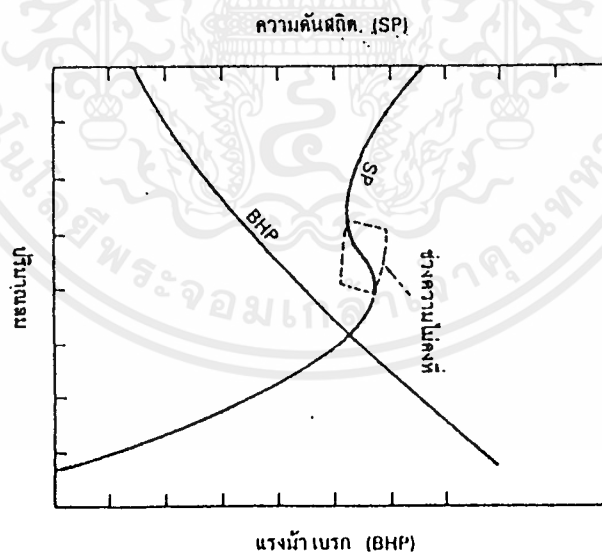
พัดลมตามแนวแกนจะมีอุปกรณ์ประกอบด้วย มอเตอร์ แบร์ริง และชุดขับพร้อมฝาครอบเพื่อนำลมออกไปใช้งาน พัดลมแบบนี้จะใช้กับงานกับลมที่สะอาด มีอุณหภูมิไม่สูง ข้อดีคือ เสียงที่เกิดจากการทำงานจะดิ่งน้อยกว่าพัดลมแบบแรงเหวี่ยง มักจะใช้กับงานที่ต้องการระบายอากาศที่ไม่ต้องการความดันสูง ตัวอย่างของงานเช่น ติดตั้งไว้บนหลังคาเพื่อระบายอากาศ



รูปที่ 2.13 พัดลมตามแนวแกนทั้งแบบทวิขั้วแอกเวียลและแวนแอกเซียล

2.5.4 พัดลมแบบใบพัดโค้งหน้า

พัดลมชนิดนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า พัดลมทรงกระรอก (Squirrel cage) ลมที่ออกจากพัดลมจะวิ่งออกด้วยความเร็วที่สูงกว่าความเร็วที่ปลายใบพัดซึ่งนำไปใช้กับงานที่ต้องการปริมาณลมต่ำถึงปานกลางที่ความดันต่ำๆ ใบของพัดลมมีรูปร่างคล้ายด้วยกาแฟลักษณะใบแอ่นโค้งไปข้างหน้า ลมที่ไหลผ่านจะต้องมีความสะอาดมากอันเป็นข้อจำกัดของพัดลมแบบนี้



รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ของความดันสถิตที่เกิดขึ้นกับปริมาณลมที่ได้ของพัดลมแบบใบพัดโค้งหน้า

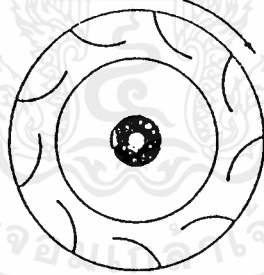
ในรูปที่ 2.14 เป็นเส้นโค้งแสดงสมรรถนะของพัดลมจะเห็นว่าที่ด้านซ้ายมือเป็นค่าความดันสถิตที่จะเกิดขึ้นสูงสุด และจะมีช่วงความไม่แน่นอนของความดันเกิดขึ้นซึ่งในการใช้งานต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักเฉียงจากจุดนี้ ตามกราฟเมื่อค่าแรงม้าเบรกเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณลมเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อเปรียบเทียบในด้านสมรรถนะที่เท่ากันกับพัดลมชนิดอื่นๆ แล้วพัดลมใบพัดโค้งหน้าจะใช้รอบความเร็วที่ต่ำกว่า สามารถนำไปใช้งานกับลมที่มีอุณหภูมิสูง ซึ่งถือเป็นคุณสมบัติพิเศษของพัดลมแบบนี้ ตัวอย่างของงานเช่น ใช้กับอุปกรณ์ให้ความร้อนสำหรับเครื่องอบแห้งที่จำเป็นต้องใช้ลมร้อนสำหรับหมุนเวียนและอบแห้งชิ้นงาน เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีข้อดีอีกอย่างคือ เมื่อเปรียบเทียบในทางประสิทธิภาพทางกลที่เท่ากันกับพัดลมชนิดอื่นๆ เนื่องจากพัดลมแบบนี้หมุนที่ความเร็วรอบที่ต่ำกว่าจึงทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่น้อยกว่า เสียงที่เกิดก็จะน้อยกว่าด้วย

2.5.5 พัดลมแบบใบพัดปลายโค้ง

ใบพัดของพัดลมชนิดนี้จะมีช่องว่างระหว่างปลายโค้งแต่ละใบ ซึ่งมีความแข็งแรงมาก การออกแบบเช่นนี้เพื่อให้ใบพัดขนถ่ายวัสดุไปพร้อมๆ กับกระแสลมได้ ลักษณะของใบพัดแสดงไว้ในรูปที่ 2.15 จากรูปจะเห็นว่ามุมของใบพัดจะต่ำเพื่อให้ใบพัดปะทะกับลมที่จะถูกดูดผ่านเข้ามาแล้วเกิดการรบกวนน้อยที่สุด ส่วนปลายของใบพัดจะโค้งเพื่อให้ลมที่ไหลผ่านมีความเร็วมากขึ้นสร้างให้เกิดความดันส่งวัสดุไปตามแนวโค้งของใบพัด พัดลมแบบนี้จึงสามารถรับลมที่มีความสกปรก ได้ซึ่งพัดลมแบบใบพัดโค้งหลังและพัดลมแบบใบพัดโค้งหน้าไม่สามารถกระทำได้ อย่างไรก็ตามพัดลมแบบนี้ไม่สามารถที่จะขนถ่ายวัสดุที่เป็นผงได้ ซึ่งถ้าจำเป็นจะต้องขนถ่ายวัสดุประเภทนี้พัดลมแบบใบพัดตรงจะเหมาะสมกว่า

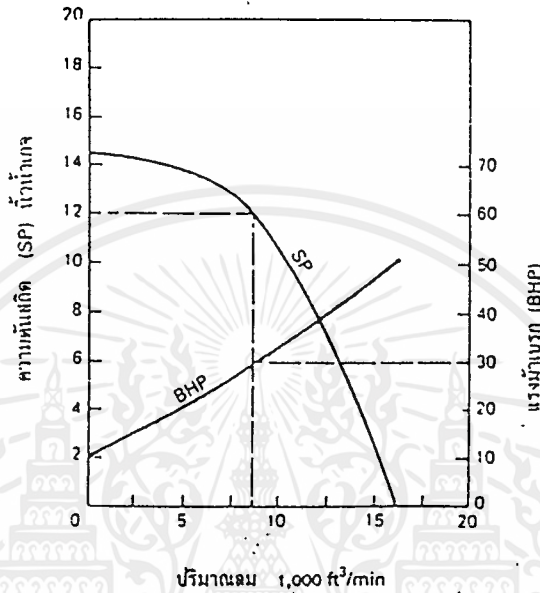


รูปที่ 2.15 ลักษณะของใบพัดปลายโค้ง

2.5.6 พัดลมแบบใบพัดตรง

มีงานบางอย่างจำเป็นต้องใช้พัดลมเพื่อการขนถ่ายวัสดุ พัดลมแบบใบพัดตรงได้ถูกออกแบบมาสำหรับงานอุตสาหกรรมที่ต้องการปริมาณลมต่ำๆ ไปจนถึงสูงๆ ที่มีความดันสูงๆ ได้ด้วย ทั้งนี้เพื่อจะได้เกิดแรงสำหรับเคลื่อนย้ายขนถ่ายฝุ่น เศษไม้ หรือเศษโลหะออกไปจากจุดที่ต้องการไปยังจุดอื่น ลักษณะของใบพัดจะสร้างง่ายซ่อมง่าย มีโครงสร้างที่แข็งแรงทำจากวัสดุประเภทโลหะผสมที่ทนต่อการกัดสีได้ดี ปกติพัดลมแบบนี้จะทำงานหมุนที่ความเร็วรอบต่ำกว่าพัดลมแบบ

ทุกชนิดยกเว้นพัดลมแบบใบพัดโค้งเท่านั้น เมื่อพัดลมหมุนใช้งานที่รอบความเร็วต่ำ เศษฝุ่น เศษวัสดุที่ต้องการขนถ่ายก็ผ่านไปอย่างช้าๆ ทำให้เกิดการสึกหรอไม่มากนัก รูปที่ 2.16 แสดงความสัมพันธ์ของความดันสถิตกับค่าแรงม้าเบรก จะเห็นว่าเมื่อค่าปริมาณลมเพิ่มขึ้นค่าแรงม้าเบรกก็เพิ่มขึ้นเช่นกันการเลือกใช้พัดลมสำหรับจุดลมที่มีความสกปรกจะมีค่าความหนาแน่นที่ไม่แน่นอนดังนั้นจะต้องเผื่อค่าเอาไว้บ้างเพื่อให้ได้ปริมาณลมที่เหมาะสม



รูปที่ 2.16 ความสัมพันธ์ของกราฟแสดงค่าคุณสมบัติต่างๆ ของพัดลมแบบใบพัดตรง

2.5.7 การเลือกใช้พัดลม

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเมื่อต้องเลือกใช้พัดลมก็คือ ต้องทราบค่าปริมาณลมสมรรถนะที่ต้องการ ข้อจำกัดด้านแบบของพัดลม ต้องทราบว่าลมที่เป่าผ่านพัดลมมีอุณหภูมิประมาณเท่าไร มีสารเคมีหรือสารกัดกร่อนปะปนมาหรือไม่ ต้องทราบขนาดและพื้นที่ที่พัดลมต้องใช้ในการติดตั้ง มีเสียงที่เกิดจากการทำงานมากไปหรือไม่ และสุดท้ายต้องหาด้านทุนและค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้เพื่อการทำงาน

2.5.8 สมรรถนะของพัดลม

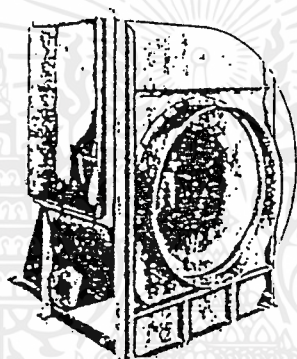
พัดลมแต่ละตัวจะมีสมรรถนะที่แตกต่างกันไป ค่าสมรรถนะเป็นค่าความต้องการปริมาณลม ความดันสถิต เพื่อเอาชนะความต้านทานการไหลของลม สำหรับการหาค่าความต้องการนี้จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายๆ อย่าง ดังจะได้กล่าวต่อไป

สิ่งที่มักจะกล่าวถึงอันดับแรกคือ ความแม่นยำในการคำนวณหาค่าความต้านทานลมในระบบ จะเห็นว่าความสัมพันธ์ของเส้นโค้งของค่าความดันสถิตจะมีช่วงที่ให้ปริมาณลมจำเพาะอยู่ช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่งซึ่งจะมีความผิดพลาดเล็กน้อย ในขณะที่เส้นแสดงปริมาณการไหลจะมีช่วงการเปลี่ยนแปลงที่ค่อนข้างใหญ่คั้งนั้นการเลือกใช้พัคลมจะต้องเผื่อความต้องการแรงม้าเบรกเอาไว้เพื่อกันพัคลมทำงานมากเกินไป อีกอย่างหนึ่ง พัคลมแต่ละแบบจะมีความเร็วในการหมุนไม่เท่ากันเมื่ออยู่ในสภาวะเหมือนกัน หรืออย่างพัคลมแบบโพรเพลเตอร์ หรือพัคลมที่ติดตั้งเพื่อระบายอากาศบนหลังคาเป็นพัคลมที่สามารถทำงานได้ด้วยตัวเอง ในขณะที่พัคลมแบบอื่นๆ ต้องใช้ท่อลมต่อทั้งที่ทางเข้าและทางออกหรือทางใดทางหนึ่ง สิ่งเหล่านี้ทำให้การคิดสมรรถนะของพัคลมแตกต่างกันไป

สำหรับพัคลมที่ใช้จ่ายลมสะอาดเพื่อขบวนการผลิตต่างๆ มักจะไม่มีท่อลมที่ท่อทางเข้า ส่วนพัคลมแบบใบพัดแรงเหวี่ยง (centrifugal) การนำไปใช้งานมักจะมีการทำทางเข้าของลมเป็นรูปกรวยภายในเป็นคอคอดเพื่อลดความเร็วลมให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด พัคลมแบบใบพัดปลายโค้งก็มีการจัดทำในแบบนี้เช่นกันดังแสดงในรูปที่ 2.17

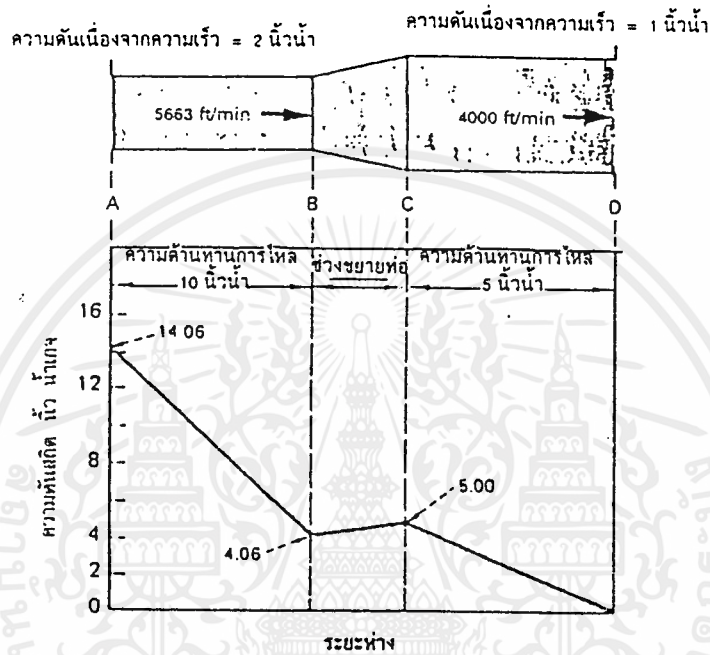


รูปที่ 2.17 พัคลมที่ใช้จ่ายลมสะอาด มีท่อทางเข้าเป็นรูปกรวย ภายในเป็นคอคอด

พัคลมตามแนวแกนปกติจะมีท่อตีมาด้วยเสมอทั้งที่ทางเข้าและทางออก แต่อาจจะมีการติดตั้งท่อทางออกแยกต่างหากเพื่อเปลี่ยนพลังงานจลน์ของลมที่มีความเร็วให้เป็นความดันสถิต วิธีการนี้จะเป็นการเพิ่มพื้นที่ทางออกทำให้ได้ความดันสถิตที่ดีขึ้นอันเป็นประโยชน์โดยรวมต่อระบบของพัคลม เพราะเมื่อลมไหลเข้าสู่ท่อจะเกิดการขยายตัวออก ความดันสถิตจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากความเร็วของลม พลังงานจลน์ก็จะลดลง ในขณะที่ความดันรวมมีค่าคงที่ จะมีการสูญเสียความดันบ้างก็เพียงเล็กน้อย ซึ่งไม่มีผลต่อประสิทธิภาพมากนัก

รูปที่ 2.18 เป็นตัวอย่างของท่อส่งลมที่มีค่าความแตกต่างของความดันเนื่องจากความเร็วอยู่ 1 นิ้วน้ำ (เกจ) ท่อนี้จะขยายจากเล็ก ไปสู่ใหญ่ตามรูป ที่จุด B และ C มีอัตราส่วนขยายเท่ากับ 1.4 ต่อ 1 มีมุมเอียง 7 องศาสามารถเปลี่ยนความดันเนื่องจากความเร็วไปเป็นความดันที่สถิตด้วยประสิทธิภาพที่สูงถึง 94 เปอร์เซ็นต์ หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่า ระยะ A - B - C - D มีค่าความ

ด้านทานการไหลรวม 14 นิ้วน้ำ แต่ถ้าไม่มีช่วง B - C จะทำให้เกิดความต้านทานรวมถึง 15 นิ้วน้ำ ซึ่งมีค่ามากกว่า 1 นิ้วน้ำ อย่างไรก็ตาม ผลเสียที่ตามมาก็คือ ทำให้ลมที่ไหลเข้าเกิดการไหลอย่างวุ่นวายมากขึ้น



รูปที่ 2.18 ท่อเพิ่มขนาดซึ่งจะช่วยให้การไหลของลมมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้าง

เนื่องจากเครื่องอบแห้งชนิดฟลูอิดไดซ์เบดประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลายอย่าง ซึ่งมีการทำงานต่างกัน ดังนั้นเพื่อให้เกิดความง่ายในการออกแบบ จึงมีการออกแบบแยกชิ้นส่วนแล้วนำมาประกอบกันในภายหลัง วิธีนี้ทำให้เกิดประโยชน์คือ ง่ายในการเคลื่อนย้าย, ง่ายในการซ่อมบำรุง และการดูแลรักษา โดยมีการออกแบบที่ละส่วนดังนี้คือ

1. พัฒลมและขดลวดความร้อน
2. ท่อส่งลมและออริฟิต
3. ลักษณะและขนาดส่วนประกอบของชุดทดลองการอบแห้งชนิดฟลูอิดไดซ์เบด

3.1 การออกแบบพัฒลมและขดลวดความร้อน

ในการคำนวณหาขนาดของพัฒลมและขดลวดความร้อนโดยประมาณ คิดจากความเร็วเริ่มต้นการเกิดฟลูอิดไดซ์ของถั่วเขียว และจากการทดลองที่ 1 ได้คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดถั่วเขียวคือ $\phi_s = 0.81$, $D_p = 4.6$ mm, $\epsilon_m = 0.4$ และจากตาราง ผ.6 $\rho_s = 1.127$ gm/cc, $\mu_F = 18.6 \times 10^{-4}$ gm/cm*sec

แทนค่าลงในสมการที่ (2.6) เพื่อหาความเร็วเริ่มต้น

$$u_{mf} = \frac{g}{180} (\phi_s D_p)^2 \left(\frac{\rho_s}{\mu_F} \right) \left[\frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)} \right]$$

$$= \frac{g}{980} (0.81 * 0.46)^2 \left(\frac{13}{186 * 10^{-4}} \right) \left(\frac{0.4^2}{0.6} \right)$$

จะได้ $u_{mf} = 5.6$ m/sec

จากทฤษฎีในบทที่ 2 $u_t = 50 u_{mf}$

เมื่อ u_t คือ ความเร็วปั่นป่วน หรือ ความเร็วสุดท้ายก่อนที่เม็ดของแข็งจะถูกพัดพา

$$\begin{aligned} \therefore \text{ความเร็วที่ใช้ในการออกแบบ} \quad V &= 20 * u_{mf} \quad \dots\dots(3.1) \\ &= 122 \text{ m/sec} \end{aligned}$$

เมื่อ Q คืออัตราการไหลของอากาศ และ R คือรัศมีของถังอบแห้ง เนื่องจากออกแบบให้รัศมีท่อส่งลมคือ 0.0375 เมตร ดังนั้น รัศมีของถังอบแห้งที่น้อยที่สุดคือ 0.0375 เมตร จากการดำเนินงานเลือกใช้รัศมีถังอบแห้ง 0.05 เมตร

$$\begin{aligned} Q &= V * \pi * R^2 \quad \dots\dots(3.2) \\ &= 122 * \pi * (0.05)^2 \\ &= 0.88 \text{ m}^3/\text{sec} \end{aligned}$$

จากสมการที่ (2.1) หาผลต่างความดัน

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{180 * u * \mu_f * L_o * (1 - \epsilon)^2}{g_c * (\phi_s * D_p)^2 * \epsilon^3} \\ &= \frac{180}{980} * \frac{2800 * 1.18 * 10^{-4} * 5 * (0.6)^2}{(0.81 * 0.457)^2 * (0.4)^3} \\ &= 12.45 \text{ Gm/sec} \end{aligned}$$

ได้ผลต่างความสูงของน้ำ, $\Delta h = 124.5 \text{ mmH}_2\text{O}$

$$\begin{aligned} \text{กำลังพัดลม} &= \rho_{air} * g * \Delta h * Q \quad \dots\dots(3.3) \\ &= 1.127 * 9.81 * 124.5 * 0.88 \\ &\approx 1 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{อัตราการถ่ายเทความร้อน} &= [20 U_{mf} * (n \text{ of tube}) * \pi r^2] * \rho_{air} * C_{p,air} * (T_2 - T_1) \dots(3.4) \\ &= 20 * 5.6 * 8 * \pi * (0.35/100)^2 * 1.127 * 1.013 * (100 - 30) \end{aligned}$$

$$= 2.756 \quad \text{kW}$$

ขนาดขดลวดความร้อนประมาณ 3 kW

จากการคำนวณหาขนาดของพัดลมและขดลวดความร้อนพบว่า จะต้องใช้พัดลมขนาด 1 kW และขดลวดความร้อนขนาด 3 kW แต่ไม่สามารถหา Blower ที่มีขนาดตามที่คำนวณได้ เนื่องจาก Blower มีราคาแพง ดังนั้นจึงใช้ Blower ที่มีคุณสมบัติดังตารางข้างล่าง

BLOWER

MODEL	D-5
R.P.M.	2950
VOLUME	10 m ³ /min
S.T.PRESSURE	180 mmWg

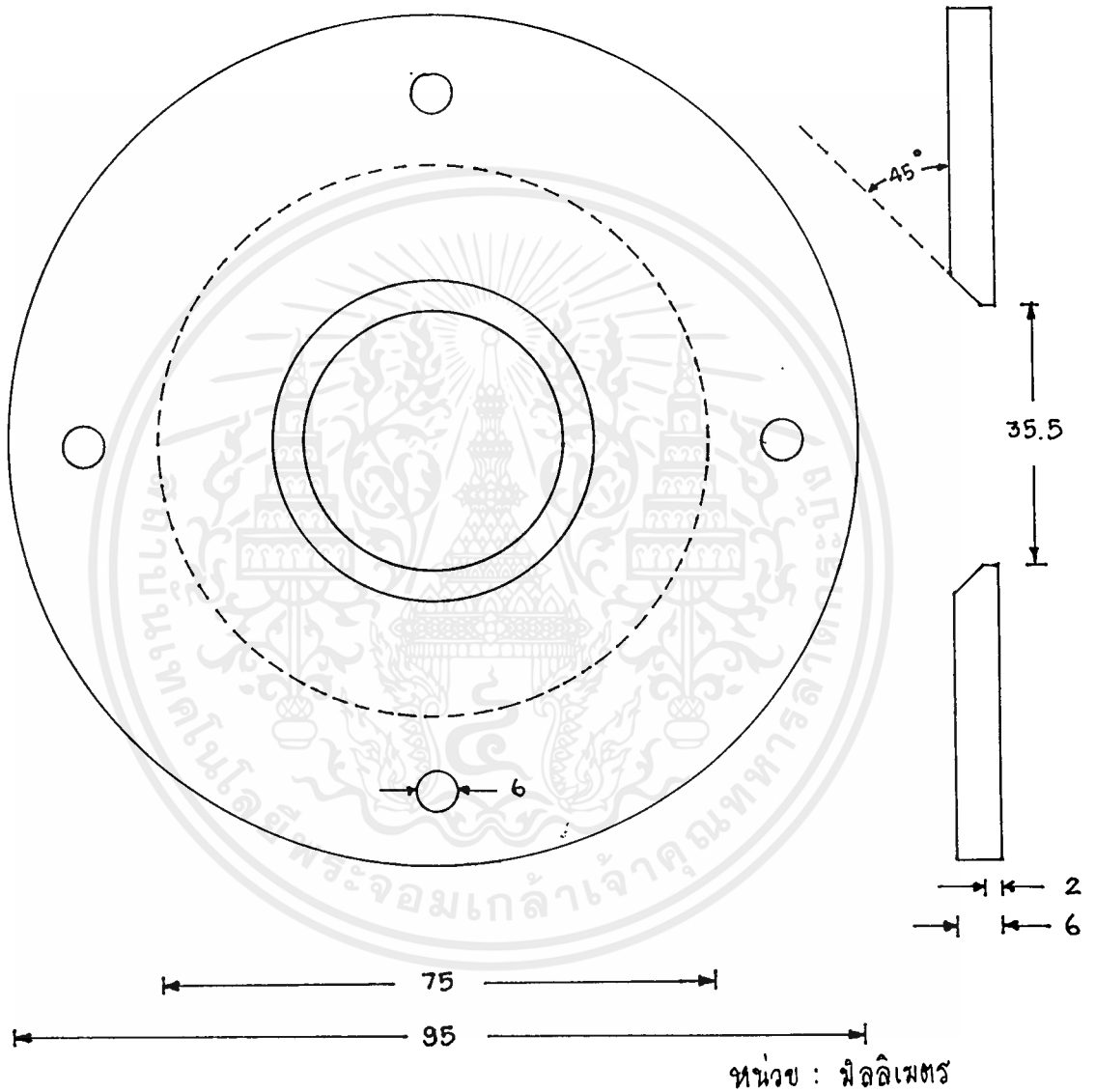
มอเตอร์ 3-phase induction motor

1 HP	2 POLE	TYPE	TEFC
HP 1	2 POLE	FRAME	80
CYCLE	50	RATING	CONT
VOLT 220	380	INS CLASS	E
AMP 3.1	1.8	R.P.M.	3000
BEARING		FRONT	6204
		REAR	6024

3.2 การออกแบบท่อส่งลมและออริฟิต

3.2.1 การออกแบบออริฟิต

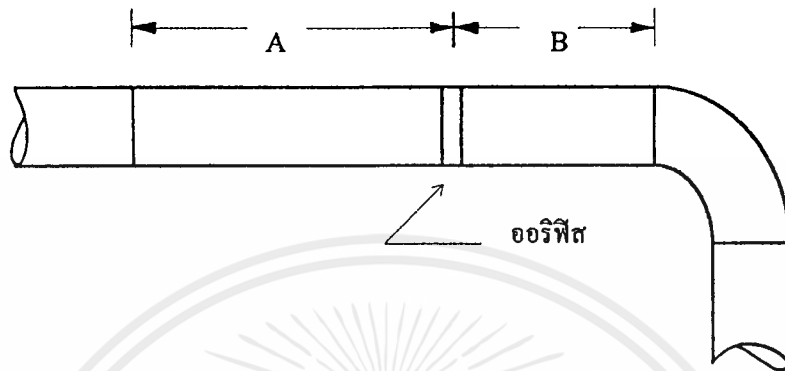
จากทฤษฎีออริฟิตในบทที่ 2 สามารถกำหนดขนาดออริฟิตได้ดังรูป



รูปที่ 3.1 แสดงขนาดของออริฟิต

3.2.2 การออกแบบท่อส่งลม

จากการดำเนินงาน ใช้ท่อส่งลมดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะท่อส่งลม

คำนวณหาค่าอัตราส่วนเบต้า (β) เมื่อ $\beta = d/D$
 $= 3.55 / 7.5 = 0.47$

โดย d คือ ระยะเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องออริฟิศ
 D คือ ระยะเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในของท่อ
 B คือ ระยะจากออริฟิศไปยังข้องอ
 A คือ ระยะจากออริฟิศไปยังท่อขยาย

การคำนวณหาค่า B

จากกราฟรูปที่ ผ.1 ในภาคผนวก ที่ $\beta = 0.47$ จะได้ค่าความยาวอย่างต่ำของท่อหน้าและหลังออริฟิศ (กำหนดเป็นตัวคูณของ Norminal ϕ ของท่อ) เท่ากับ 3.6

Norminal ϕ ของท่อ เท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางผ่านในท่อคือ 7.5 เซนติเมตร

$$\begin{aligned} \therefore B &= 3.6 * \text{Norminal } \phi \text{ ของท่อ} \\ &= 3.6 * 7.5 = 28.8 \text{ cm} = 288 \text{ mm} \end{aligned}$$

ดังนั้น B จะต้องมีระยะห่างจากออริฟิศที่น้อยที่สุดคือ 288 มิลลิเมตร จากการดำเนินงานเลือกใช้ B ที่มีระยะห่างจากออริฟิศ 500 มิลลิเมตร

การคำนวณหาค่า A

จากกราฟรูปที่ ผ.1 ในภาคผนวก ที่ $\beta = 0.47$ จะได้ค่าความยาวตรงอย่างต่ำของท่อหน้าและหลังออริฟิต (กำหนดเป็นตัวคูณของ Norminal ϕ ของท่อ) เท่ากับ 6.5

$$\therefore A = 6.5 * \text{Norminal } \phi \text{ ของท่อ}$$

$$= 6.5 * 7.5$$

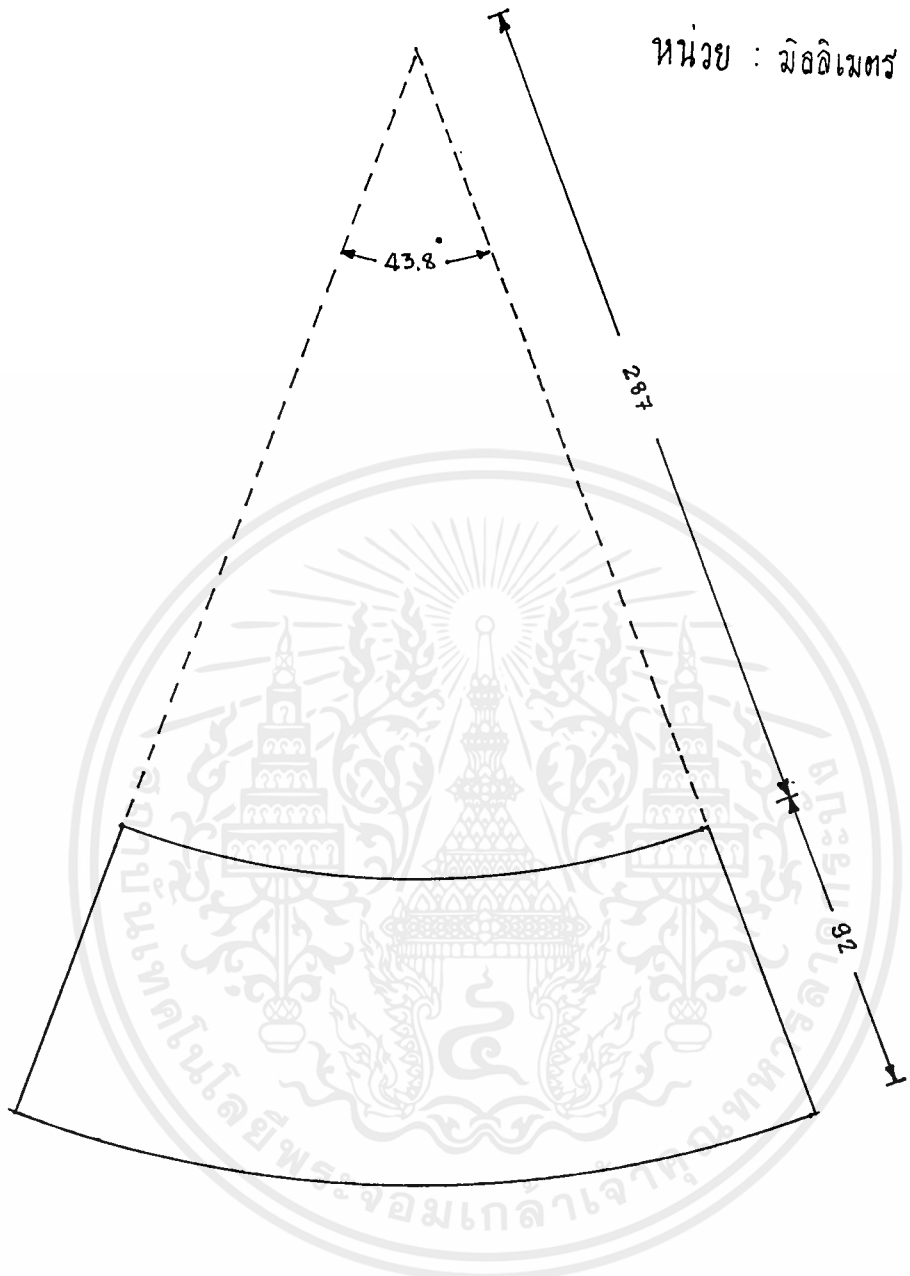
$$= 48.75 \text{ cm}$$

ดังนั้น A จะต้องมียุ่ระยะห่างจากออริฟิตที่น้อยที่สุดคือ 48.75 มิลลิเมตร จากการดำเนินงานเลือกใช้ A ที่มีระยะห่างจากออริฟิต 500 มิลลิเมตร

3.3 ลักษณะและขนาดของส่วนประกอบชุดทดลองการอบแห้งชนิดฟลูอิดไดซ์เบด

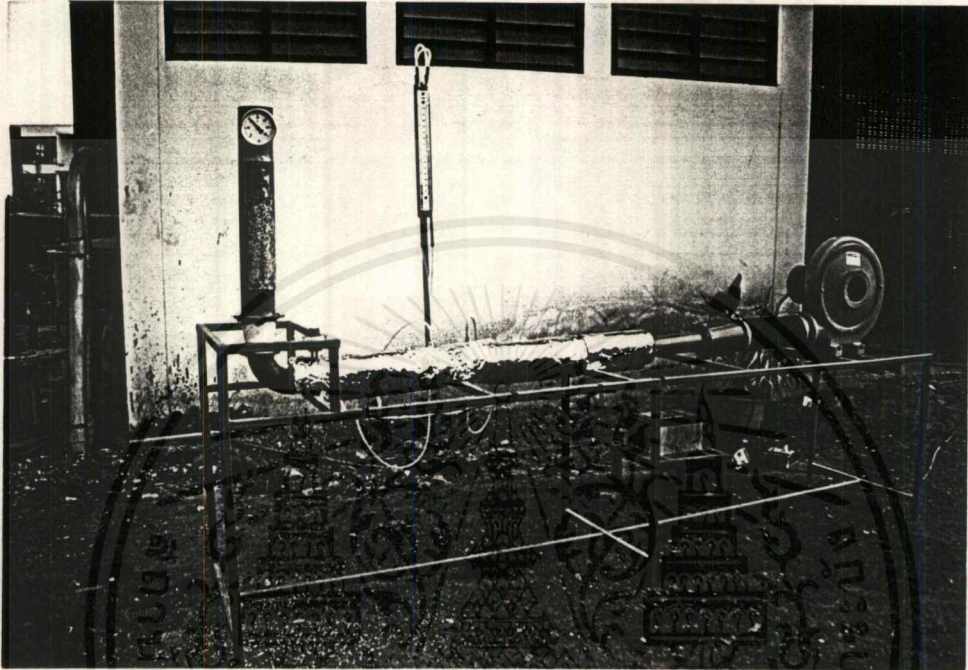
ประกอบด้วย

1. ส่วนกระจายลม
2. ถังอบแห้ง
3. โครงสำหรับตั้งชุดทดลอง



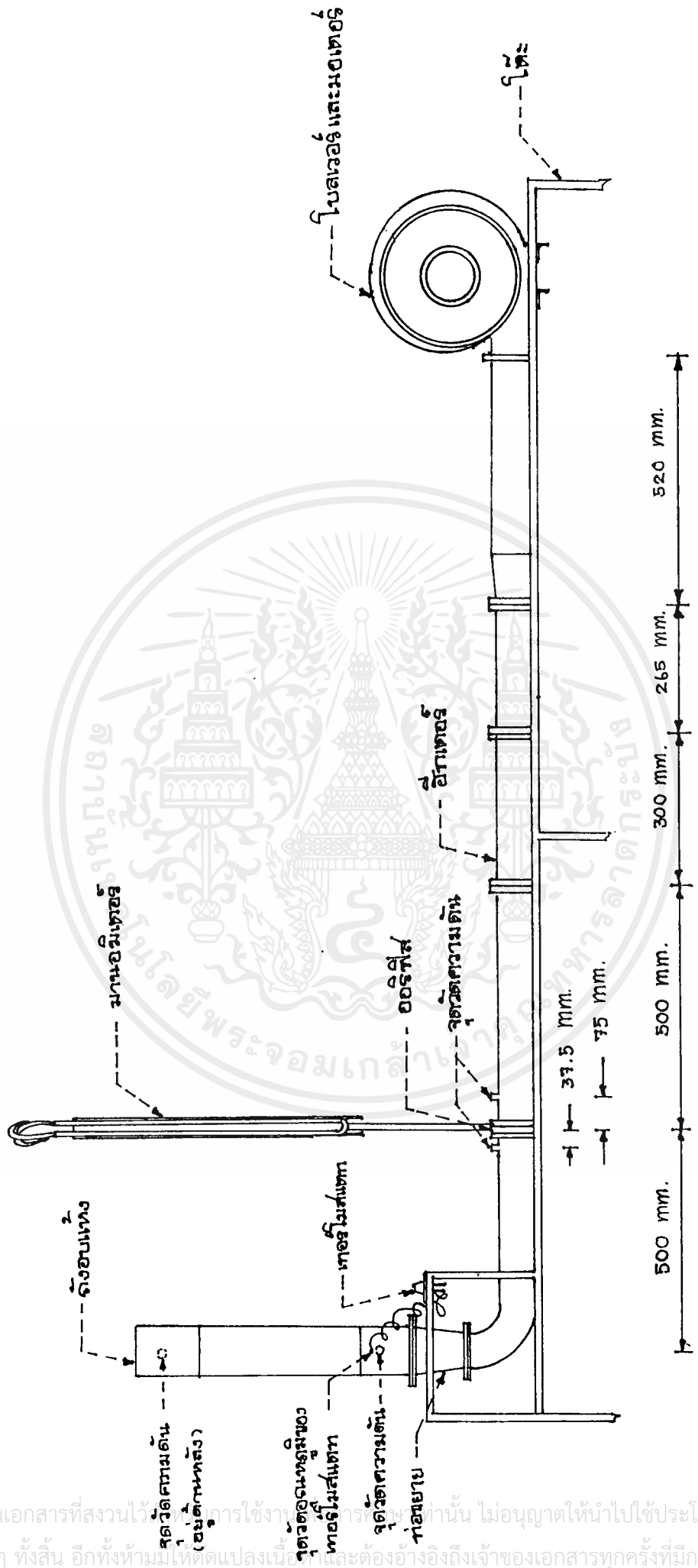
รูปที่ 3.3 ส่วนกระจายลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



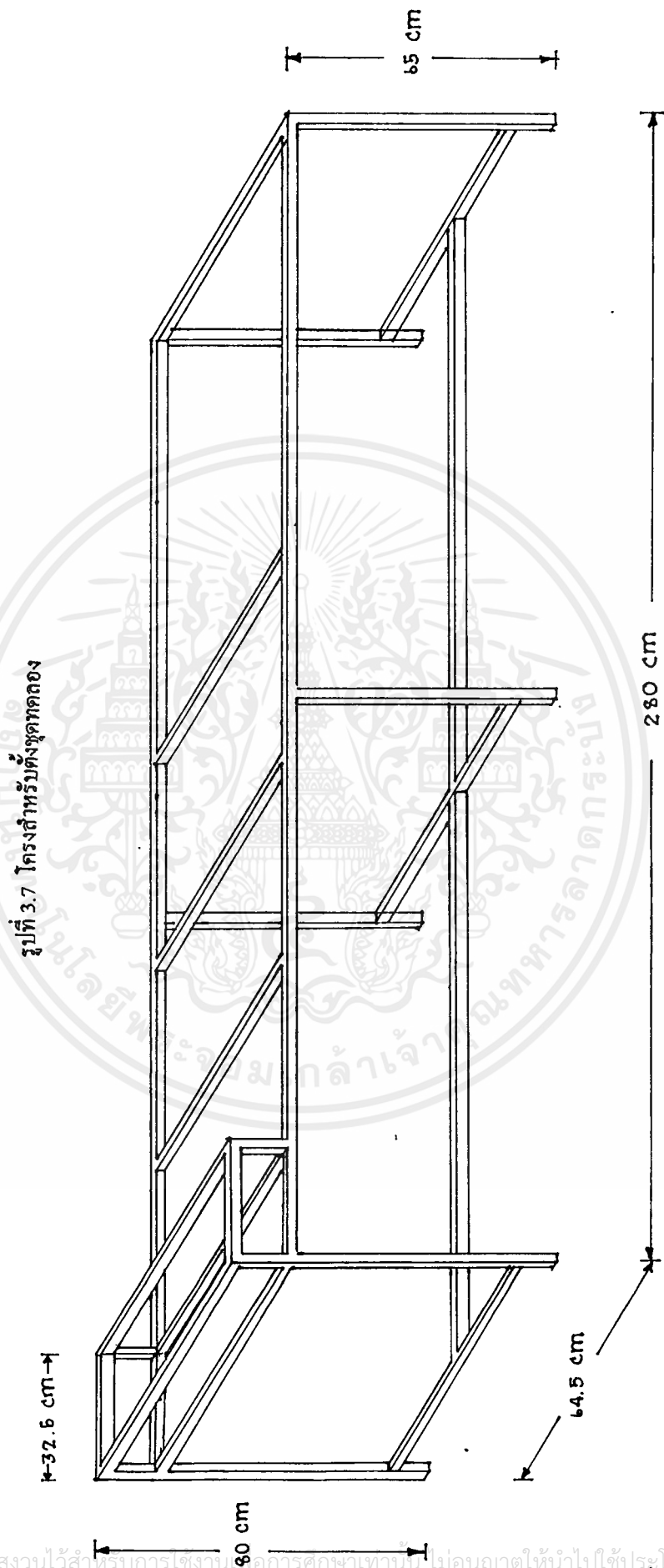
รูปที่ 3.5 ชุดทดลองการเกิดฟลูอิดโคซิมบค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงขนาดและส่วนประกอบชุดทดลองการอบแห้งชนิดฟลูอิด ไลซ์เบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานของนักศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

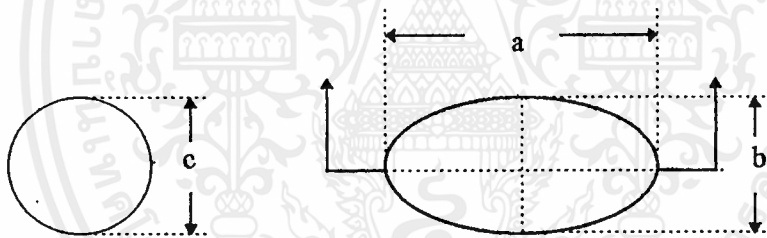
การทดลองที่ 1 การหาคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดพืช

จุดประสงค์ เพื่อหาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต, แฟคเตอร์รูปร่าง, ความหนาแน่นเนื้อ และสัดส่วนช่องว่างของเมล็ดถั่วเขียว, ข้าวเปลือก และข้าวโพด

อุปกรณ์

1. ถั่วเขียว, ข้าวเปลือก และข้าวโพดชนิดละ 50 เมล็ด
2. เวอร์เนียคาลิเปอร์
3. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบคิจิตอล
4. บีกเกอร์
5. หลอดแก้ววัดปริมาตรทรงสูง

วิธีการหาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (GMD)



1. วัดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางมากที่สุด a , b และ c ตามทฤษฎีที่ละเมล็ด
2. บันทึกค่าที่วัดได้
3. คำนวณหาค่า GMD ของแต่ละเมล็ด
4. หา GMD เฉลี่ยจากเมล็ดพืชแต่ละชนิด

วิธีการหาค่าแฟคเตอร์รูปร่าง (Φ_r)

1. นำค่า GMD แต่ละเมล็ดมาหารด้วย a
2. หาค่าเฉลี่ย Φ_r ของเมล็ดพืชแต่ละชนิด

วิธีการหาค่าสัดส่วนช่องว่างและความหนาแน่นเนื้อ

1. ชั่งน้ำหนักเมล็ดพืช (ถั่วเขียวและข้าวโพดชนิดละ 50 เมล็ด ข้าวเปลือก 100 เมล็ด)
2. หาปริมาตรรวมของเมล็ดพืชโดยใส่เมล็ดพืชลงในหลอดแก้ววัดปริมาตรทางสูงแล้วอ่านค่า
3. ใต้น้ำลงในหลอดแก้ววัดปริมาตรทรงสูง บันทึกค่าไว้
4. ใส่มล็ดพืชลงไปแล้วบันทึกค่า จะได้ปริมาตรน้ำ + เมล็ดพืช
5. คำนวณหาค่าสัดส่วนช่องว่างและความหนาแน่นเนื้อ



ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 การทดลองหาคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าวเปลือก 50 เมล็ด

เมล็ดที่	a	b	c	GMD.	Φ_s
1	10.20	2.55	2.15	3.82	0.37
2	10.85	2.65	2.35	4.07	0.38
3	10.10	2.85	2.15	3.96	0.39
4	10.70	2.55	2.15	3.89	0.36
5	10.25	2.60	2.10	3.83	0.37
6	9.80	2.60	2.00	3.71	0.38
7	10.40	2.60	1.70	3.58	0.34
8	8.70	2.60	1.95	3.53	0.41
9	10.40	2.70	2.20	3.95	0.38
10	10.00	2.70	2.00	3.78	0.38
11	9.60	2.55	2.00	3.66	0.38
12	9.00	2.50	2.05	3.59	0.40
13	9.85	2.55	2.15	3.78	0.38
14	10.05	2.70	2.05	3.82	0.38
15	9.25	2.45	1.80	3.44	0.37
16	10.00	2.60	1.95	3.70	0.37
17	10.00	2.60	2.10	3.79	0.38
18	9.65	2.70	1.90	3.67	0.38
19	9.55	2.50	2.10	3.69	0.39
20	9.65	2.60	2.00	3.69	0.38
21	9.00	2.60	1.95	3.57	0.40
22	9.20	2.70	2.00	3.68	0.40
23	11.00	2.55	2.00	3.83	0.35
24	8.80	2.45	1.85	3.42	0.39
25	10.40	2.75	2.15	3.95	0.38

ค่าเฉลี่ย GMD. = 3.68 นิจลินนท์

เมล็ดที่	a	b	c	GMD.	Φ_s
26	10.70	2.45	1.90	3.68	0.34
27	10.00	2.50	2.10	3.74	0.37
28	9.65	2.60	2.00	3.69	0.38
29	11.00	2.90	2.20	4.12	0.37
30	10.25	2.70	2.10	3.87	0.38
31	10.00	2.40	2.10	3.69	0.37
32	10.25	2.70	2.10	3.87	0.38
33	10.00	2.70	2.00	3.78	0.38
34	9.60	2.70	2.25	3.88	0.40
35	9.50	2.00	1.95	3.33	0.35
36	9.50	2.45	2.00	3.60	0.38
37	9.50	2.30	2.00	3.52	0.37
38	8.00	2.45	1.95	3.37	0.42
39	9.80	2.40	2.00	3.61	0.37
40	9.60	2.00	2.00	3.37	0.35
41	10.00	2.30	2.00	3.58	0.36
42	9.60	2.20	2.10	3.54	0.37
43	10.35	2.50	2.00	3.73	0.36
44	9.10	2.20	2.00	3.42	0.38
45	9.60	2.20	1.95	3.45	0.36
46	10.00	2.40	1.60	3.37	0.34
47	10.30	2.45	2.00	3.70	0.36
48	10.30	2.20	1.95	3.54	0.34
49	8.50	2.45	1.80	3.35	0.39
50	10.00	2.60	2.00	3.73	0.37

ค่าเฉลี่ย เพคเตอร์รูปร่าง (Φ_j) = 0.37

ตาราง 4.2 การทดลองหาค่าคุณสมบัติทางกายภาพของเม็ดข้าวโพด 50 เมล็ด

เมล็ดที่	a	b	c	GMD.	Φ_s
1	11.40	8.50	4.75	7.72	0.68
2	10.35	9.70	3.35	6.95	0.67
3	11.50	9.05	3.75	7.31	0.64
4	11.90	9.40	3.85	7.55	0.63
5	11.40	9.40	4.00	7.54	0.66
6	11.35	8.40	3.40	6.87	0.61
7	10.25	9.25	3.30	6.79	0.66
8	9.70	9.80	5.00	7.80	0.80
9	12.30	8.40	4.35	7.66	0.62
10	11.05	9.60	4.35	7.73	0.70
11	10.70	8.25	4.00	7.07	0.66
12	11.30	8.70	4.05	7.36	0.65
13	10.75	8.60	3.95	7.15	0.66
14	10.85	9.30	3.95	7.36	0.68
15	11.40	9.65	3.85	7.51	0.66
16	11.60	8.60	3.70	7.17	0.62
17	11.35	9.50	4.05	7.59	0.67
18	9.40	9.40	4.30	7.24	0.77
19	10.75	9.20	4.00	7.34	0.68
20	10.80	9.90	3.90	7.47	0.69
21	11.60	9.50	3.85	7.51	0.65
22	11.60	9.80	4.40	7.94	0.68
23	11.35	9.20	4.15	7.57	0.67
24	10.05	9.30	4.00	7.20	0.72
25	11.10	8.90	3.90	7.28	0.66

ค่าเฉลี่ย GMD. = 7.33 มิตลินเมตร

เมล็ดที่	a	b	c	GMD.	Φ_s
26	10.25	10.40	4.10	7.59	0.74
27	10.00	8.30	4.40	7.15	0.71
28	9.50	8.30	3.70	6.63	0.70
29	10.75	8.95	3.55	6.99	0.65
30	11.00	9.80	3.65	7.33	0.67
31	10.25	8.35	4.65	7.36	0.72
32	11.30	9.65	4.05	7.62	0.67
33	10.45	9.90	4.15	7.54	0.72
34	10.80	9.50	4.00	7.43	0.69
35	10.55	10.05	3.30	7.05	0.67
36	10.35	9.15	4.40	7.47	0.72
37	10.85	8.90	4.40	7.52	0.69
38	9.90	9.00	4.30	7.26	0.73
39	10.05	8.60	4.55	7.33	0.73
40	9.90	9.10	3.65	6.90	0.70
41	10.70	9.65	3.80	7.32	0.68
42	11.30	9.30	3.55	7.20	0.64
43	11.10	9.00	3.70	7.18	0.65
44	10.25	8.50	3.80	6.92	0.67
45	10.50	10.05	3.80	7.37	0.70
46	11.25	8.55	3.65	7.05	0.63
47	11.70	8.80	3.75	7.28	0.62
48	11.00	9.70	3.80	7.40	0.67
49	11.05	9.95	3.95	7.57	0.69
50	10.30	8.40	4.50	7.30	0.71

ค่าเฉลี่ย แพคเตอร์รูปร่าง (Φ_g) = 0.68

ตาราง 4.3 การทดลองหาค่าคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าว 50 เมล็ด

เมล็ดที่	a	b	c	GMD.	Φ_s
1	5.90	4.20	4.10	4.67	0.79
2	5.85	4.10	3.85	4.52	0.77
3	5.70	4.30	3.95	4.59	0.81
4	5.30	4.50	4.10	4.61	0.87
5	6.10	4.40	4.05	4.77	0.78
6	5.65	4.35	4.20	4.69	0.83
7	6.10	4.40	4.10	4.79	0.79
8	6.10	4.45	3.90	4.73	0.78
9	5.80	4.10	3.90	4.53	0.78
10	5.85	4.40	4.15	4.74	0.81
11	6.65	4.55	4.00	4.95	0.74
12	5.50	4.20	3.90	4.48	0.82
13	5.20	4.00	3.75	4.27	0.82
14	5.45	4.15	3.90	4.45	0.82
15	5.45	4.10	3.95	4.45	0.82
16	5.50	4.00	4.00	4.45	0.81
17	6.30	4.60	4.00	4.88	0.77
18	6.45	4.45	4.15	4.92	0.76
19	5.30	4.00	4.00	4.39	0.83
20	5.65	4.30	4.00	4.60	0.81
21	6.00	4.60	4.15	4.86	0.81
22	6.30	4.10	4.15	4.75	0.75
23	5.35	4.15	4.00	4.46	0.83
24	6.00	4.20	4.00	4.65	0.78
25	5.85	4.90	4.10	4.90	0.84

ค่าเฉลี่ย GMD. = 4.60 มลติเมตร

เมล็ดที่	a	b	c	GMD.	Φ_s
26	5.70	4.30	3.90	4.57	0.80
27	5.30	4.90	4.80	5.00	0.94
28	5.00	4.15	3.95	4.34	0.87
29	5.50	4.45	4.25	4.70	0.86
30	6.15	4.15	3.05	4.27	0.69
31	6.15	4.25	3.85	4.65	0.76
32	5.75	4.95	3.85	4.79	0.83
33	5.00	4.05	3.75	4.23	0.85
34	5.45	3.85	3.75	4.29	0.79
35	5.30	4.10	3.90	4.39	0.83
36	6.00	4.25	4.15	4.73	0.79
37	5.80	4.00	3.80	4.45	0.77
38	5.60	4.10	3.95	4.49	0.80
39	5.45	4.05	3.75	4.36	0.80
40	5.30	4.40	4.00	4.54	0.86
41	6.10	4.22	4.10	4.73	0.77
42	5.50	4.95	3.60	4.61	0.84
43	5.15	4.45	4.35	4.64	0.90
44	5.75	4.00	3.90	4.48	0.78
45	5.70	4.20	4.00	4.58	0.80
46	6.05	4.20	4.50	4.85	0.80
47	5.20	4.30	4.10	4.51	0.87
48	5.60	4.05	3.75	4.40	0.79
49	5.40	4.00	3.75	4.33	0.80
50	6.20	4.30	4.10	4.78	0.77

ค่าเฉลี่ย เพคเตอร์รูปร่าง (Φ_s) = 0.81

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าน้ำหนักและปริมาตรของเมล็ดพืชทั้ง 3 ชนิด

ชนิดเมล็ดพืช	น.น.เมล็ดพืช,g	ปริมาตรรวม,cm ³	ปริมาตรน้ำ,cm ³	ปริมาตรน้ำ+เมล็ด	ปริมาตรเมล็ดพืช
ข้าวเปลือก	5.29	8	60	65	5
ข้าวโพด	25.51	33	60	80	20
ถั่วเขียว	7.82	10	70	76	6

สรุปผลการทดลอง

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความหนาแน่นเนื้อ, สัดส่วนช่องว่าง, เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต(GMD) และแฟคเตอร์รูปร่างของเมล็ดพืชแต่ละชนิด

ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณ	ข้าวเปลือก	ข้าวโพด	ถั่วเขียว
ความหนาแน่นเนื้อ,g/cm ³	1.6	1.27	1.30
สัดส่วนช่องว่าง	0.38	0.39	0.40
GMD, mm	3.68	7.33	4.60
แฟคเตอร์รูปร่าง	0.37	0.68	0.81

การทดลองที่ 2 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ออริฟิตกับอัตราการไหลของลมในท่อ
จุดประสงค์ เพื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ออริฟิตและอัตราการไหลของ
 ลมในท่อ

อุปกรณ์ ชุดทดลองการอบแห้งแบบฟลูอิด ไคซ์เบค

วิธีการทดลอง

1. ปรับความถี่ที่อินเวอร์เตอร์ 8 เฮิรซ์ แล้วอ่านค่าความดันที่ออริฟิต
2. ปรับค่าความถี่เพิ่มขึ้นอีก 2 เฮิรซ์ แล้วอ่านค่าความดันที่ออริฟิต
3. ทำซ้ำข้อ 2 จนกระทั่งถึง 60 เฮิรซ์
4. นำค่าความดันของออริฟิตมาคำนวณอัตราการไหลจากสูตร

$$Q = A_2 C_d Y \sqrt{\frac{2g(\Delta P)}{\rho} / (1 - \beta^2)} \quad \text{.....(2.28)}$$

ในทางทฤษฎี

$$Y = \left\{ \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{2/k} \left(\frac{k}{k-1} \right) \left[\frac{1 - (P_2/P_1)^{(k-1)/k}}{1 - (P_2 - P_1)} \right] \left[\frac{1 - (A_2/A_1)^2}{1 - (A_2/A_1)^2 (P_2/P_1)^{2/k}} \right] \right\}^{1/2} \quad \text{.....(2.29)}$$

$$\text{เมื่อ } k = \frac{C_p}{C_v}$$

สำหรับออริฟิตแบบขอบเป็นมุมฉาก

$$Y = 1 - \left[0.41 + 0.35 \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right] \frac{P_1 - P_2}{kP_1} \quad \text{.....(2.30)}$$

เมื่อ

Q คือ อัตราการไหลของลม

A_2, A_1 คือ พื้นที่หน้าตัดของช่องออริฟิตและท่อส่งลม ตามลำดับ

C_d คือ Coefficient of Discharge

Y คือ แฟคเตอร์การขยาย (Expansion factor)

g คือ ความเร่งโน้มถ่วงของโลก

P_2, P_1 คือ ความดันสถิตที่ช่องออริฟิสและท่อส่งลม ตามลำดับ

β คือ อัตราส่วน A_2/A_1

ρ คือ ค่าความหนาแน่นของของไหล

C_p, C_v คือ ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่และที่ปริมาตรคงที่ ตามลำดับ

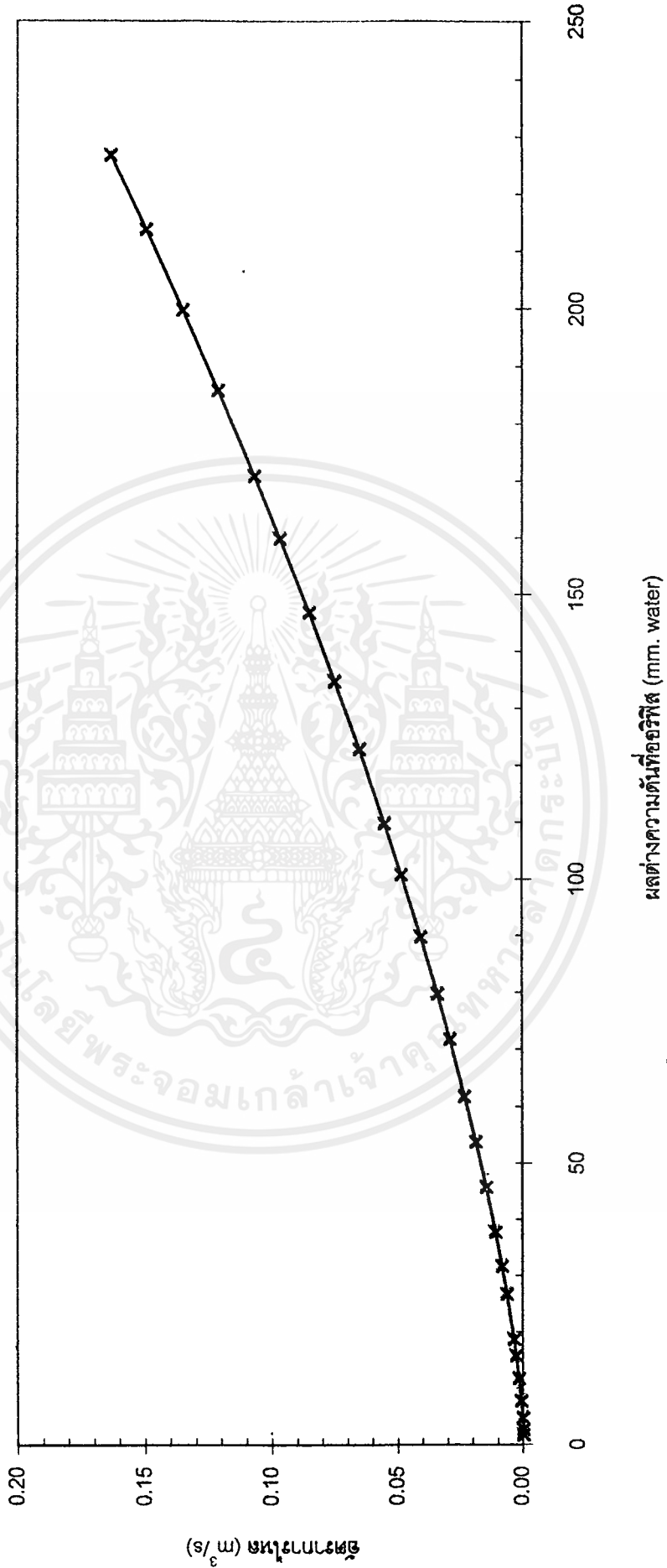
5. สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันลมที่ออริฟิสและอัตราการไหลของลมในท่อ

ผลการทดลอง

ตารางบันทึกผลการทดลองดูในภาคผนวก ตารางที่ ผ.1



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความดันและอัตราการไหล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลองที่ 2

จากการทดลองพบว่า ผลต่างความดันที่ออร์ิพีสมากที่สุด เท่ากับ 227 มิลลิเมตรน้ำ และเมื่อนำค่าไปคำนวณหาอัตราการไหลของลม พบว่าอัตราการไหลที่มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.16361 ลูกบาศก์เมตร/วินาที



การทดลองที่ 3 การหาความสัมพันธ์ของความเร็วลมและความดันในหอบ

- จุดประสงค์
1. เพื่อเปรียบเทียบความเร็วลมที่ทำให้เกิดฟลูอิด ไคซ์เมื่อใช้เมล็ดพืชชนิดต่างกันและเมื่อใช้เมล็ดพืชน้ำหนักต่างกัน
 2. เพื่อเปรียบเทียบความดันที่เปลี่ยนแปลงในหอบเมื่อใช้เมล็ดพืชชนิดต่างกันและเมื่อใช้เมล็ดพืชน้ำหนักต่างกัน

อุปกรณ์

1. ชุดทดลองการอบแห้งแบบฟลูอิด ไคซ์ บ ค
2. เมล็ดข้าวเปลือกปริมาณ 30,50,70,90 และ 110 กรัม
เมล็ดข้าวโพคปริมาณ 30,50,70,90 และ 110 กรัม
เมล็ดถั่วเขียวปริมาณ 30,50,70,90 และ 110 กรัม
3. เครื่องวัดความดันแบบดิจิตอล

วิธีการทดลอง

1. นำเมล็ดข้าวเปลือกขนาด 30 กรัมใส่ในหอบ
2. ตั้งค่าความถี่ที่อินเวอร์เตอร์ 10 เฮิรซ์
3. จดบันทึกค่าผลต่างความดันที่ออริฟิส และค่าความดันที่หอบ
4. เพิ่มค่าความถี่ ครั้งละ 2 เฮิรซ์ แล้วทำซ้ำในข้อ 3 จนกระทั่งถึง 60 เฮิรซ์
5. ทำซ้ำข้อ 1-4 โดยเปลี่ยนขนาดข้าวเปลือกเป็น 50,70,90 และ 110 กรัมตามลำดับ
6. ทำซ้ำข้อ 1-5 โดยเปลี่ยนเป็นเมล็ดข้าวโพคและเมล็ดถั่วเขียวตามลำดับ

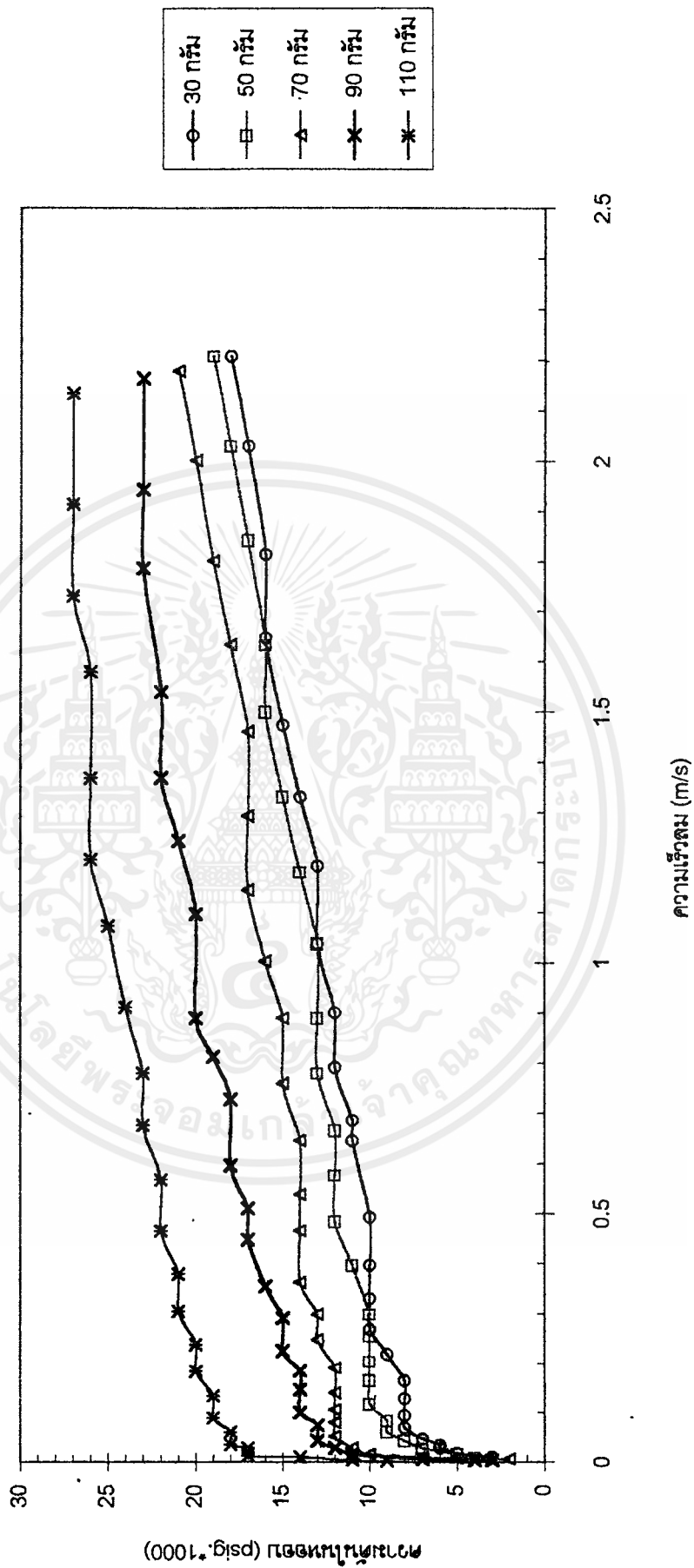
7. สร้างกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับความดันในหอบของเมล็ดพืชแต่ละชนิดที่น้ำหนักต่างกัน
8. สร้างกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับความดันในหอบของเมล็ดพืชต่างชนิดกันที่น้ำหนักเดียวกัน

ผลการทดลอง

ตารางบันทึกผลการทดลองดูในภาคผนวก ตารางที่ ผ.2 ,ผ.3 และ ผ.4

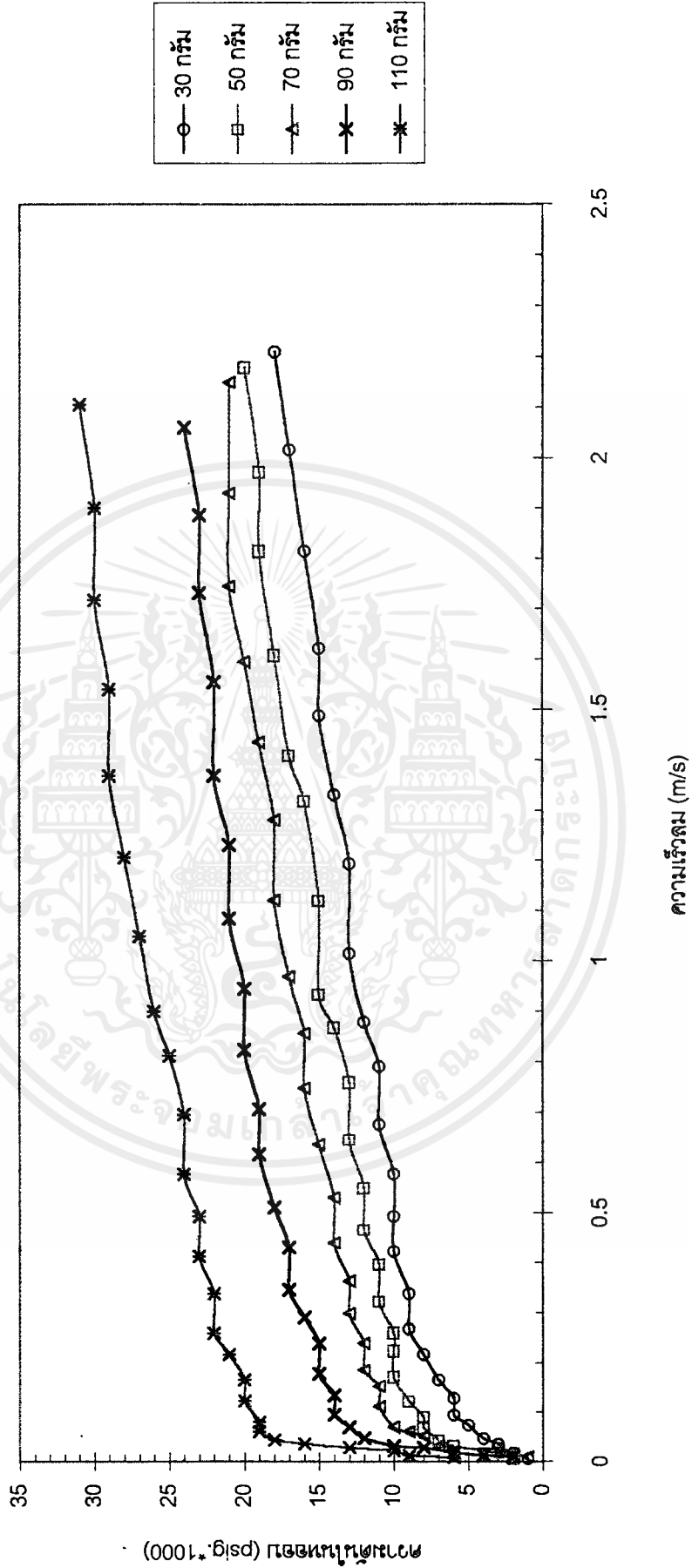


รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของช่วงเปิดกระหว่าความเร็วลมและความดันที่นำหนักต่างๆ



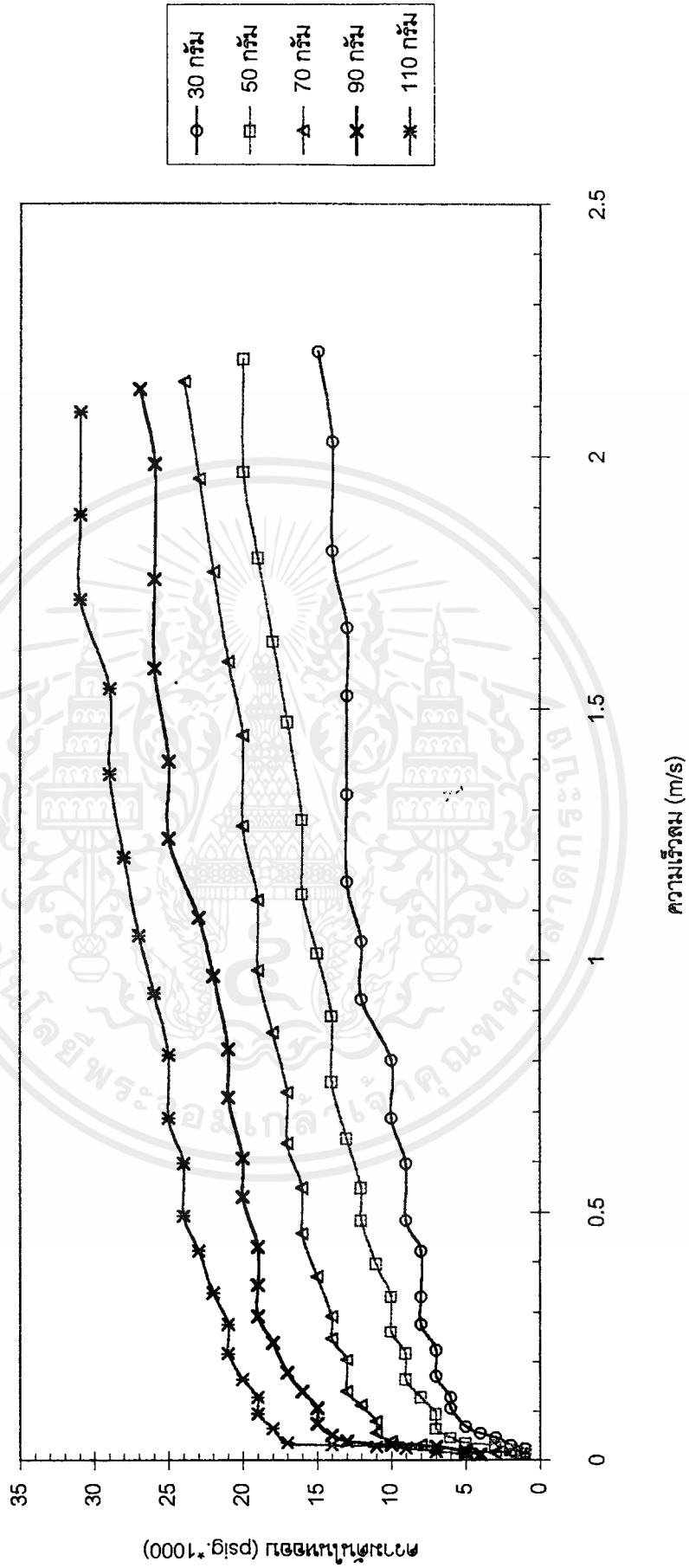
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของตัวแปรระหว่างความเร็วลมและความดันที่หน้าหนักต่างๆ



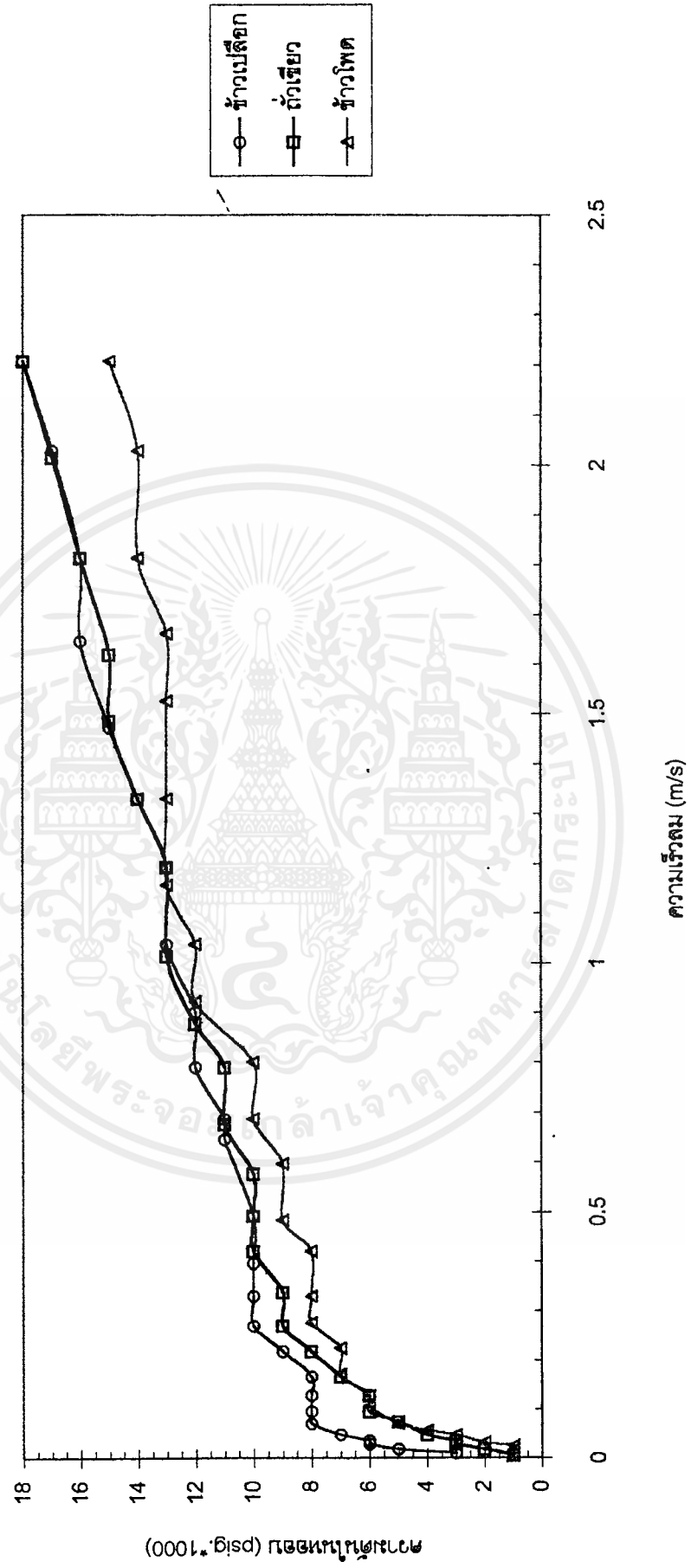
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่าโพตรองเข้าโพตรองระหว่างความเร็วลมและความดันที่นำหนักต่างๆ



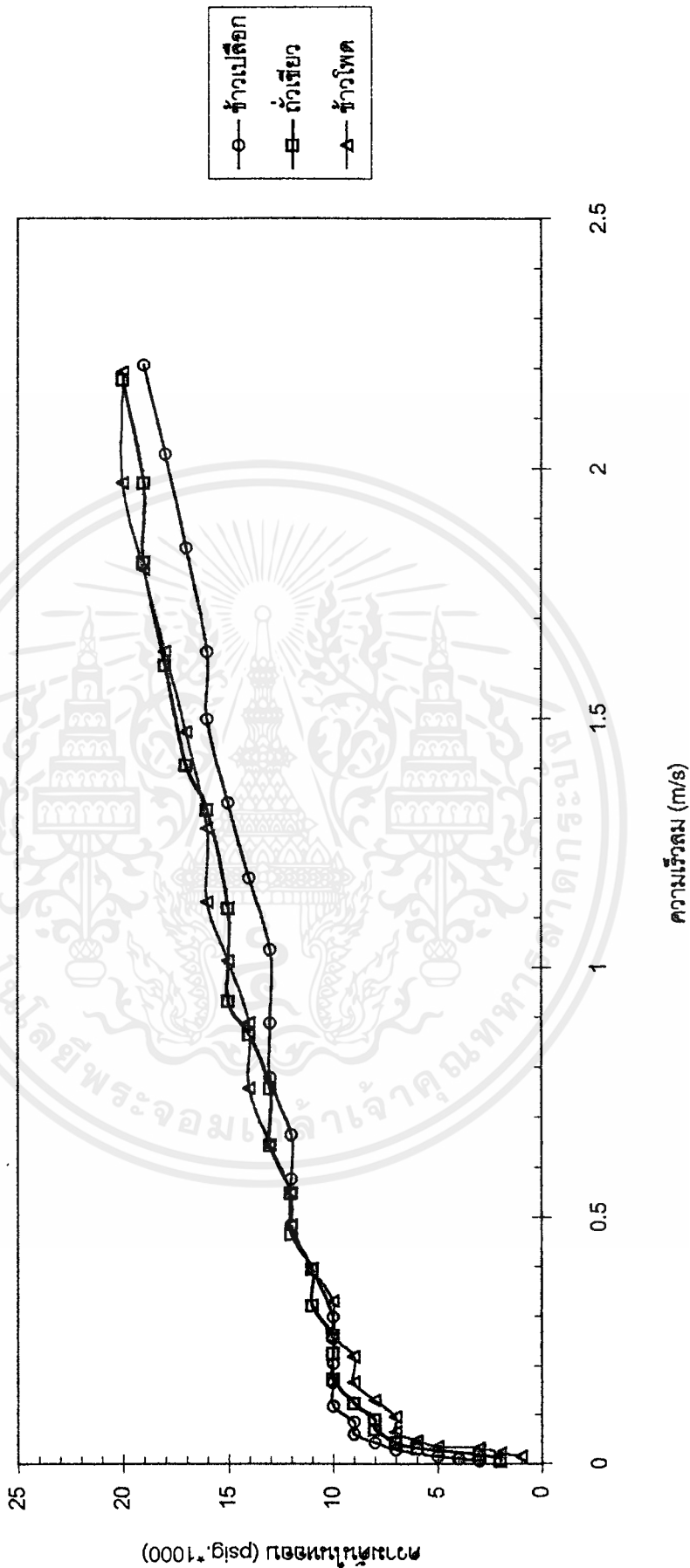
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันที่หน้าหนัก 30 กรัม ของเมล็ดพืชแต่ละชนิด



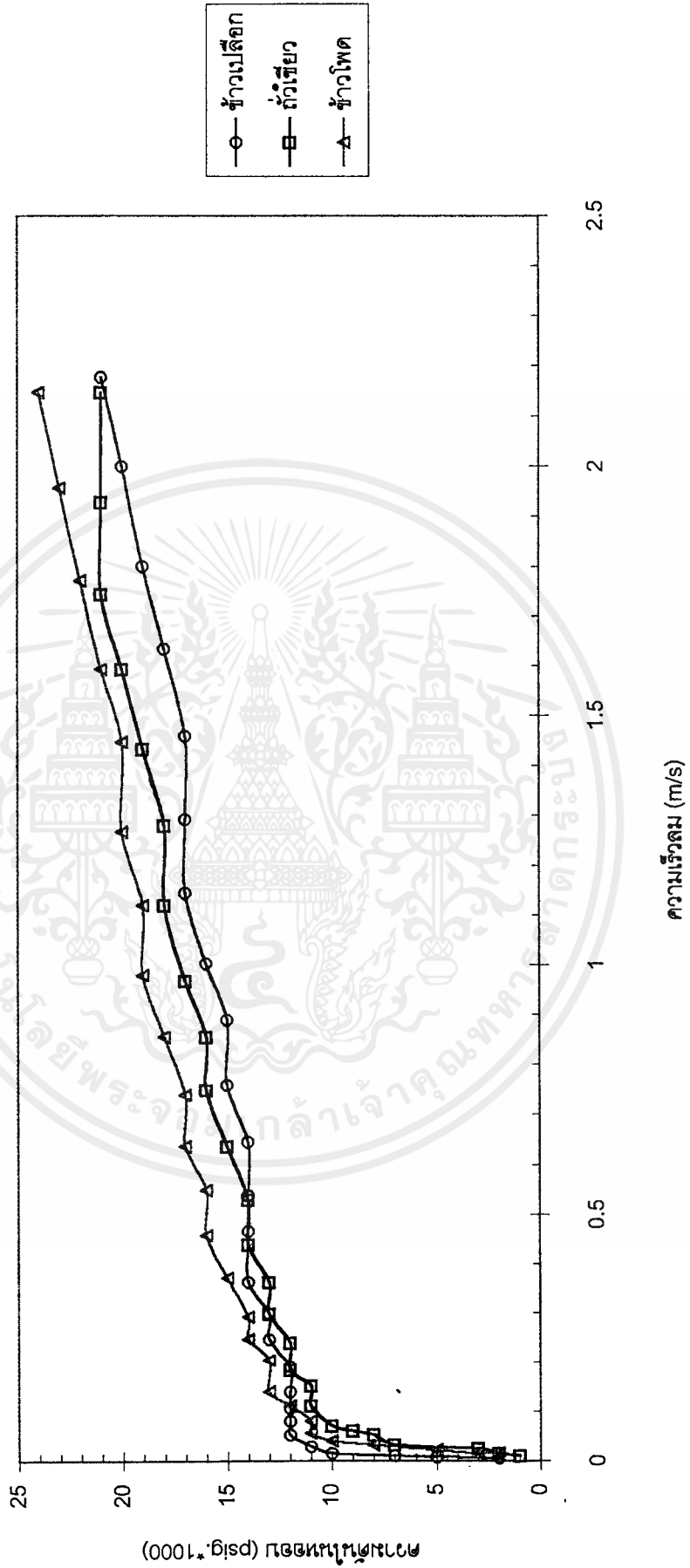
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดัน
ที่น้ำหนัก 50 กรัม ของเมล็ดพืชแต่ละชนิด



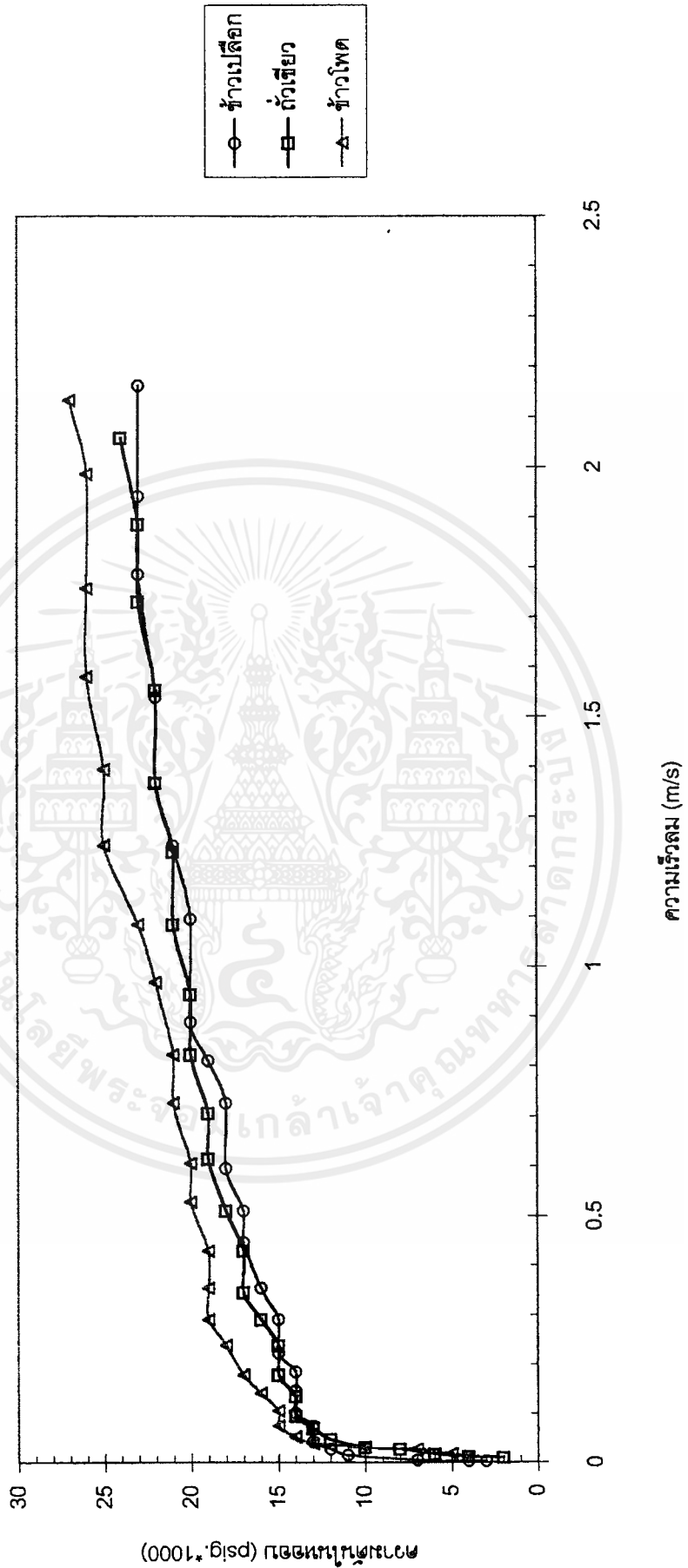
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดัน
ที่น้ำหนัก 70 กรัม ของเมล็ดพืชแต่ละชนิด



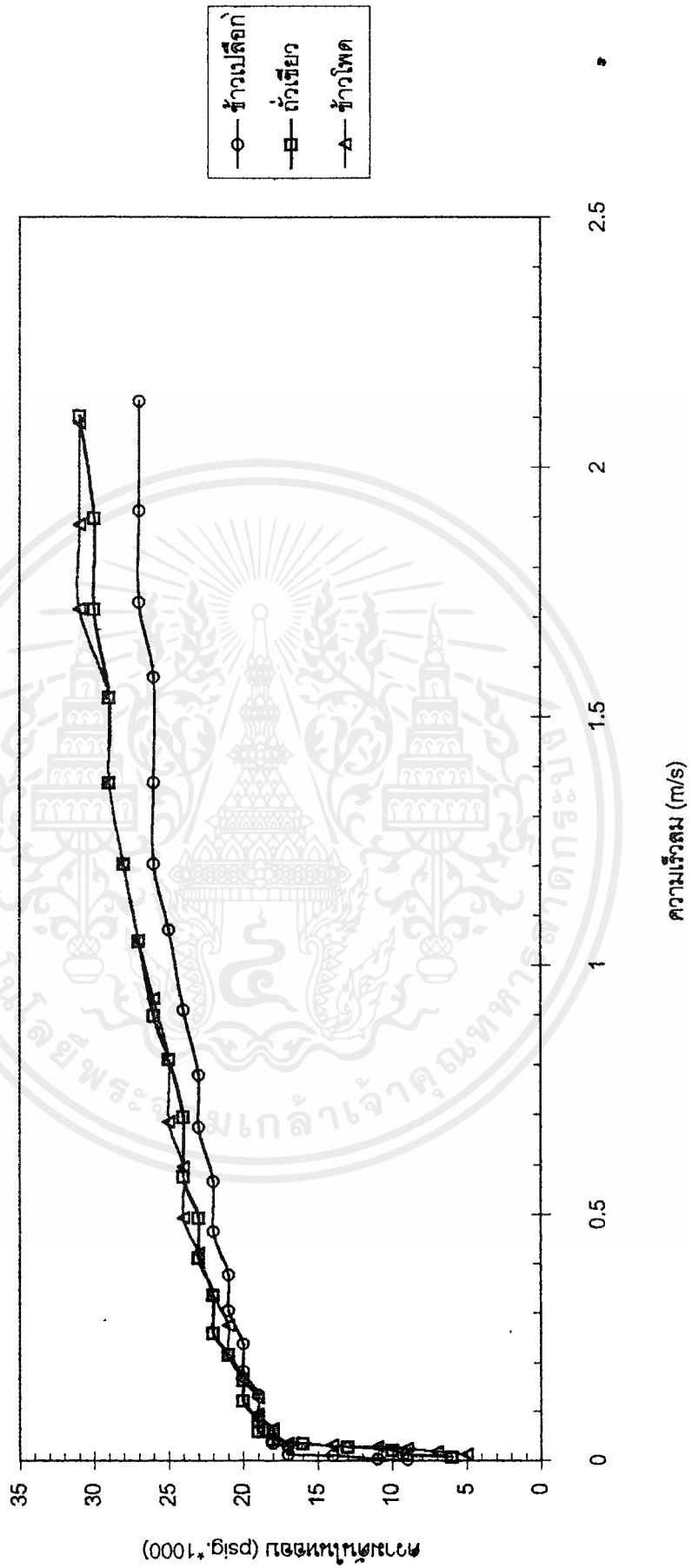
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดัน
ที่น้ำหนัก 90 กรัม ของเมล็ดพืชแต่ละชนิด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบความถี่ธรรมชาติระหว่างความเร็วลมและความดันที่น้ำหนัก 110 กรัม ของเมล็ดพืชแต่ละชนิด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลองที่ 3

จากการทดลองพบว่า ชุดทดลองการเกิดฟลูอิดไดซ์เบคที่สร้างขึ้นนี้ สามารถทำให้เมล็ดข้าวเปลือกเริ่มเกิดฟลูอิดไดซ์เซชันได้ที่ความเร็วลม 0.8592 เมตร/วินาที แต่ถั่วเขียวและข้าวโพดไม่สามารถเกิดฟลูอิดไดซ์ได้

จากการเปรียบเทียบการทดลอง พบว่า ความเร็วเริ่มต้นในการเกิดฟลูอิดไดซ์ไม่ขึ้นกับน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป แต่สำหรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้ผลต่างความดันในหอบเพิ่มขึ้นด้วย



การทดลองที่ 4 การหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความเร็วลมต่อการอบแห้งข้าวเปลือก

จุดประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความเร็วลมในการอบแห้งข้าวเปลือก ที่มีน้ำหนักต่างกัน

อุปกรณ์

1. ชุดทดลองการอบแห้งแบบฟลูอิด ไคซ์เบด
2. เครื่องมือวัดความชื้นเมล็ดพืช (Grain Moisture Tester)

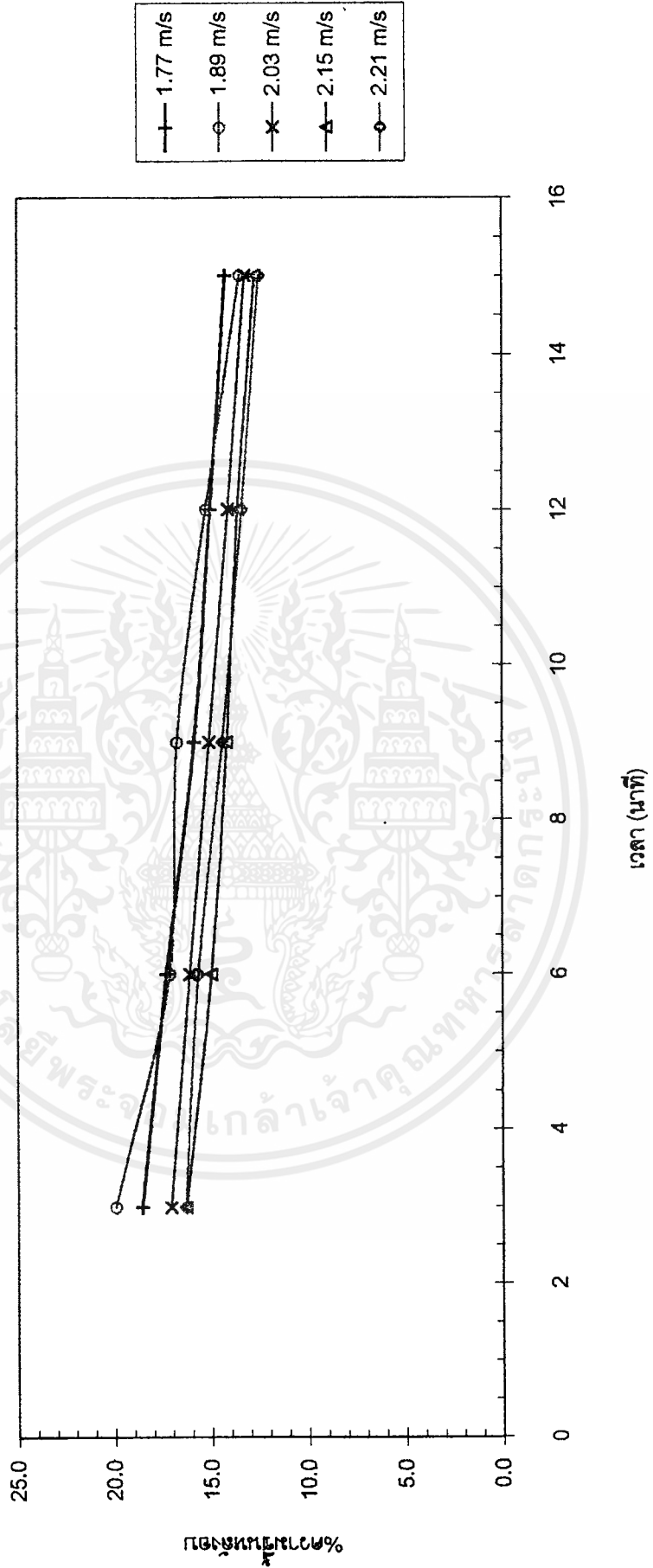
วิธีการทดลอง

1. แห่ข้าวเปลือกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำข้าวเปลือกมาผึ่งไว้ให้ได้ความชื้นของเมล็ด 28%
2. นำข้าวเปลือก 100 กรัมมาอบที่อุณหภูมิ 50 °C ที่ความเร็วลม 1.77 เมตร/วินาที จดบันทึกความชื้นของข้าวเปลือกทุก ๆ 3 นาที รวมทั้งสิ้น 15 นาที
3. ทำซ้ำข้อ 2 เป็นจำนวน 2 ครั้ง แล้วนำค่าความชื้นที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย
4. ทำซ้ำข้อ 2-3 แต่เปลี่ยนความเร็วลมเป็น 1.89, 2.03, 2.15 และ 2.21 เมตร/วินาที ตามลำดับ
5. ทำซ้ำในข้อ 2-4 โดยเปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 60, 70 และ 80 °C ตามลำดับ
6. สร้างกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่ความเร็วลมเท่ากันแต่อุณหภูมิต่างกัน
7. สร้างกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่อุณหภูมิเท่ากันแต่ความเร็วลมต่างกัน

ผลการทดลอง

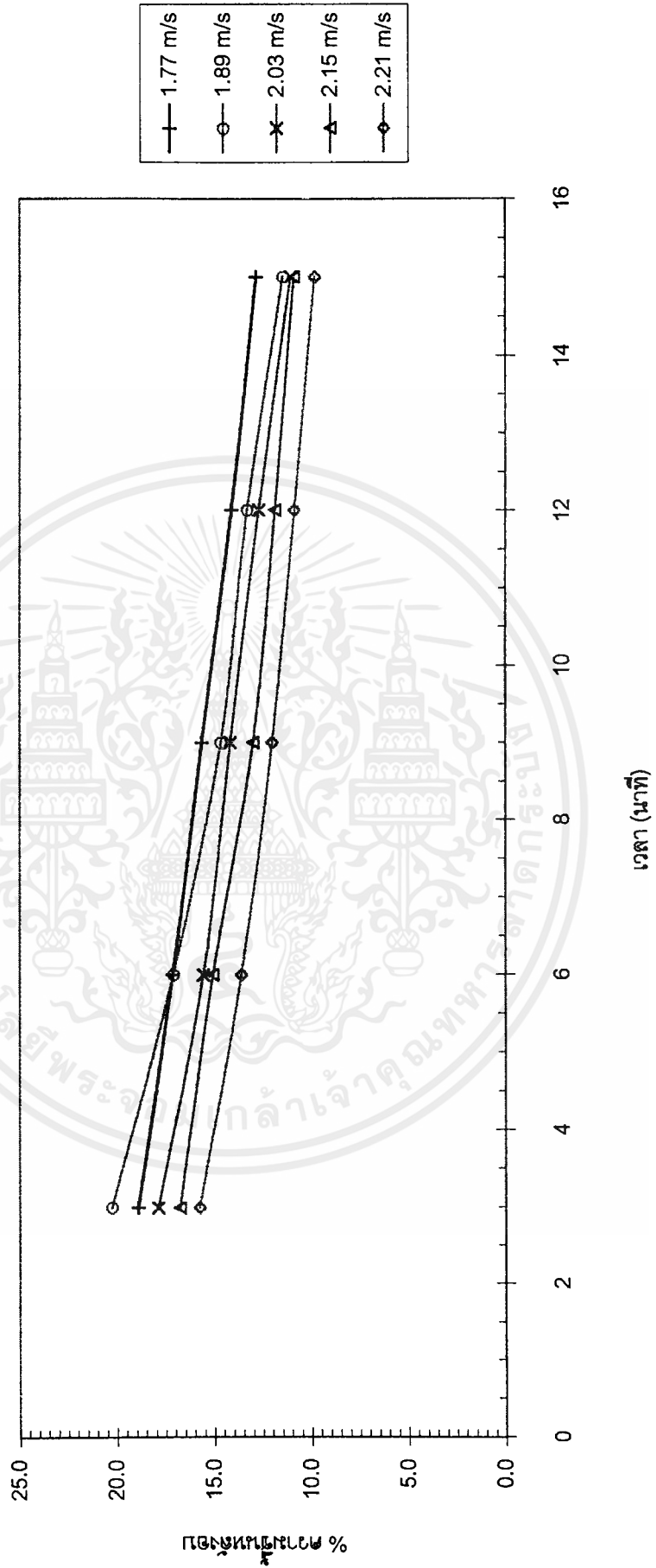
ตารางบันทึกผลการทดลองดูในภาคผนวก ตารางที่ ผ.5

รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเข้มข้นของข้าวเปลือก
ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส, ความชื้นเริ่มต้น 28.1%



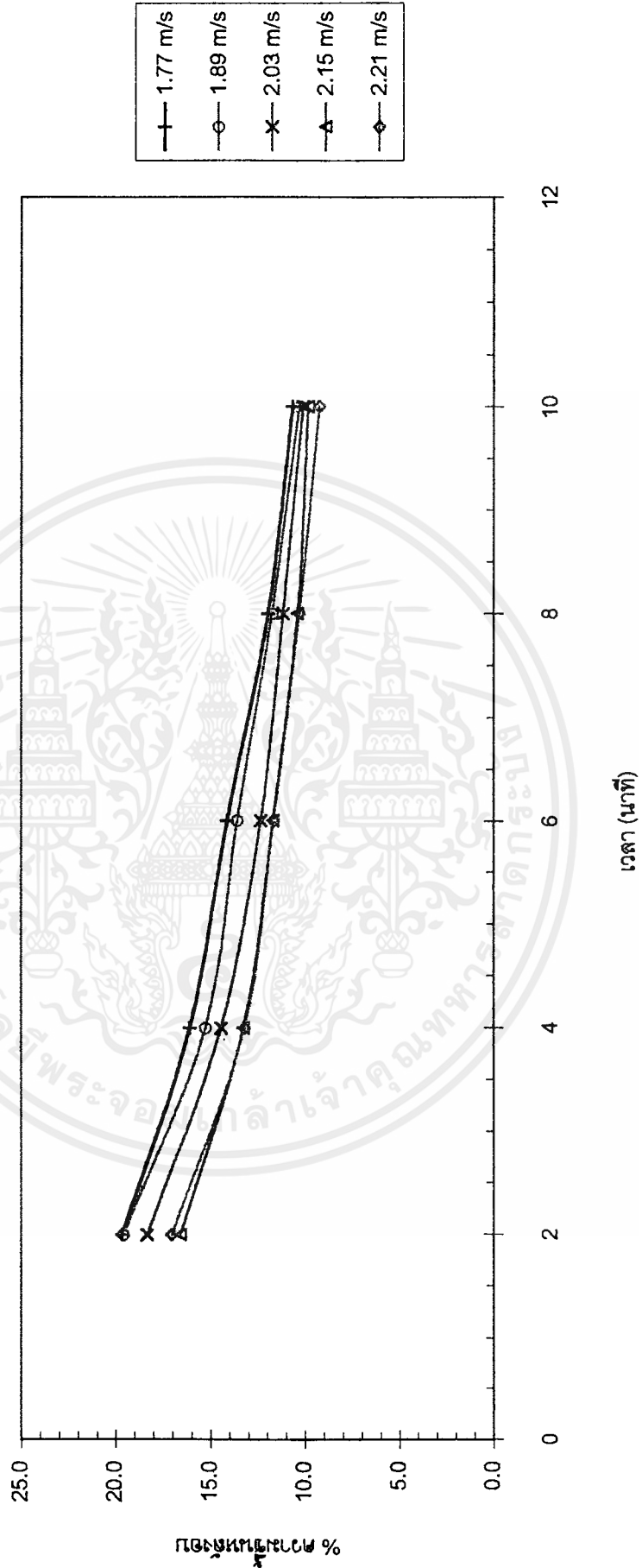
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบความถี่สัมพัทธ์ระหว่างเวลาและความชื้นของข้าวเปลือก
ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส, ความชื้นเริ่มต้น 28.1%



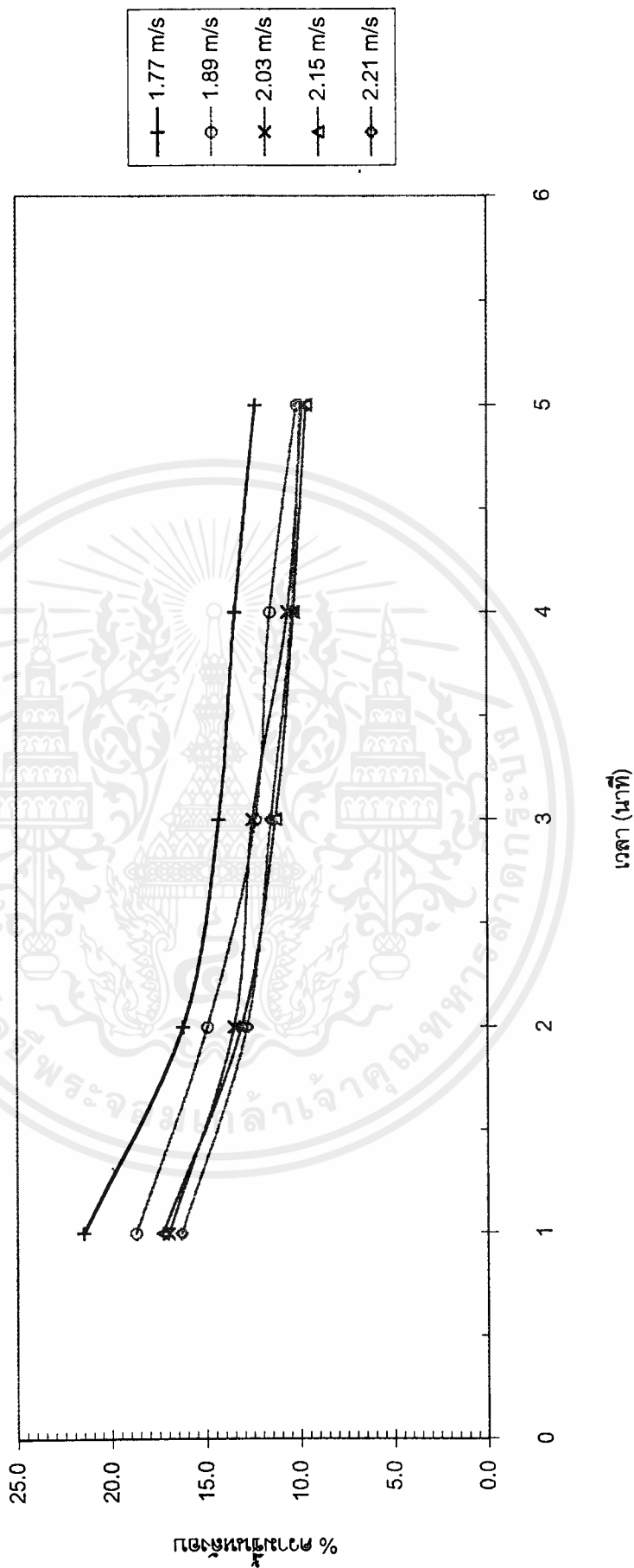
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเข้มข้นของข้าวเปลือก
ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส, ความชื้นเริ่มต้น 28.1%



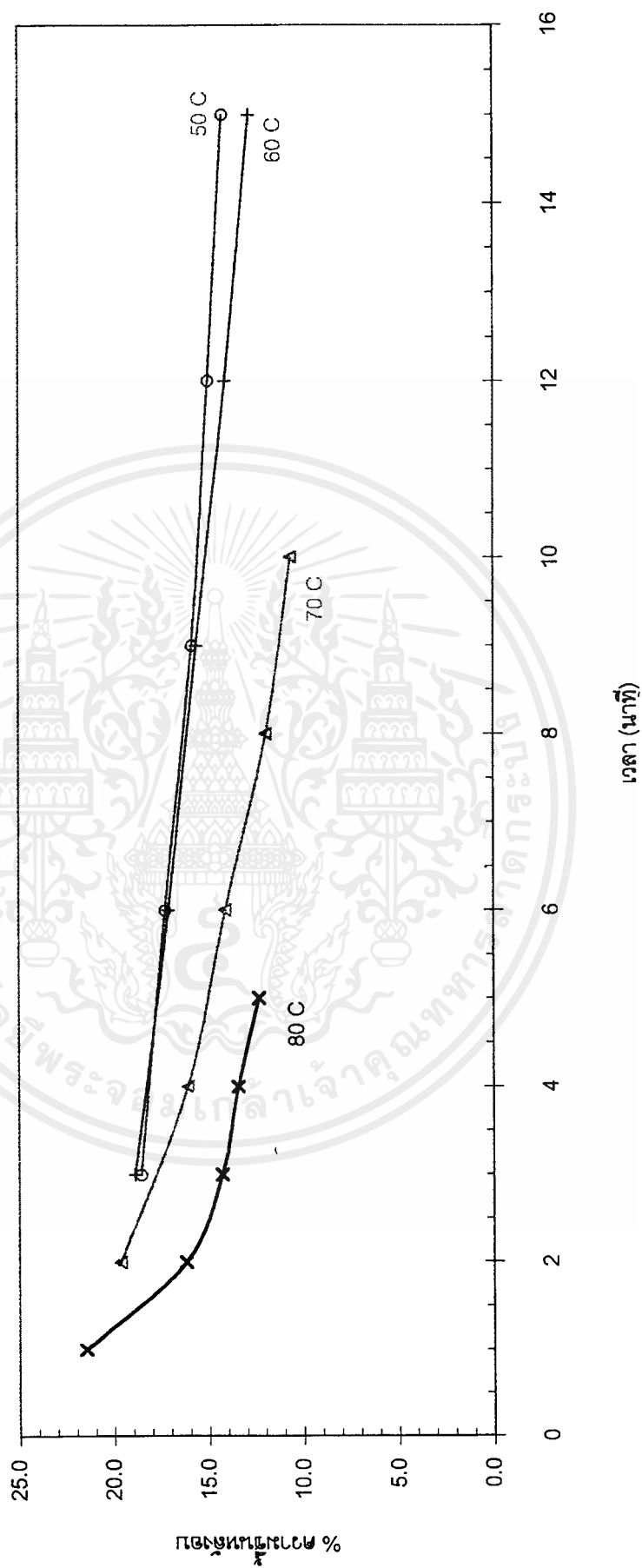
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเข้มข้นของข้าวเปลือก
ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส, ความชื้นเริ่มต้น 28.1%



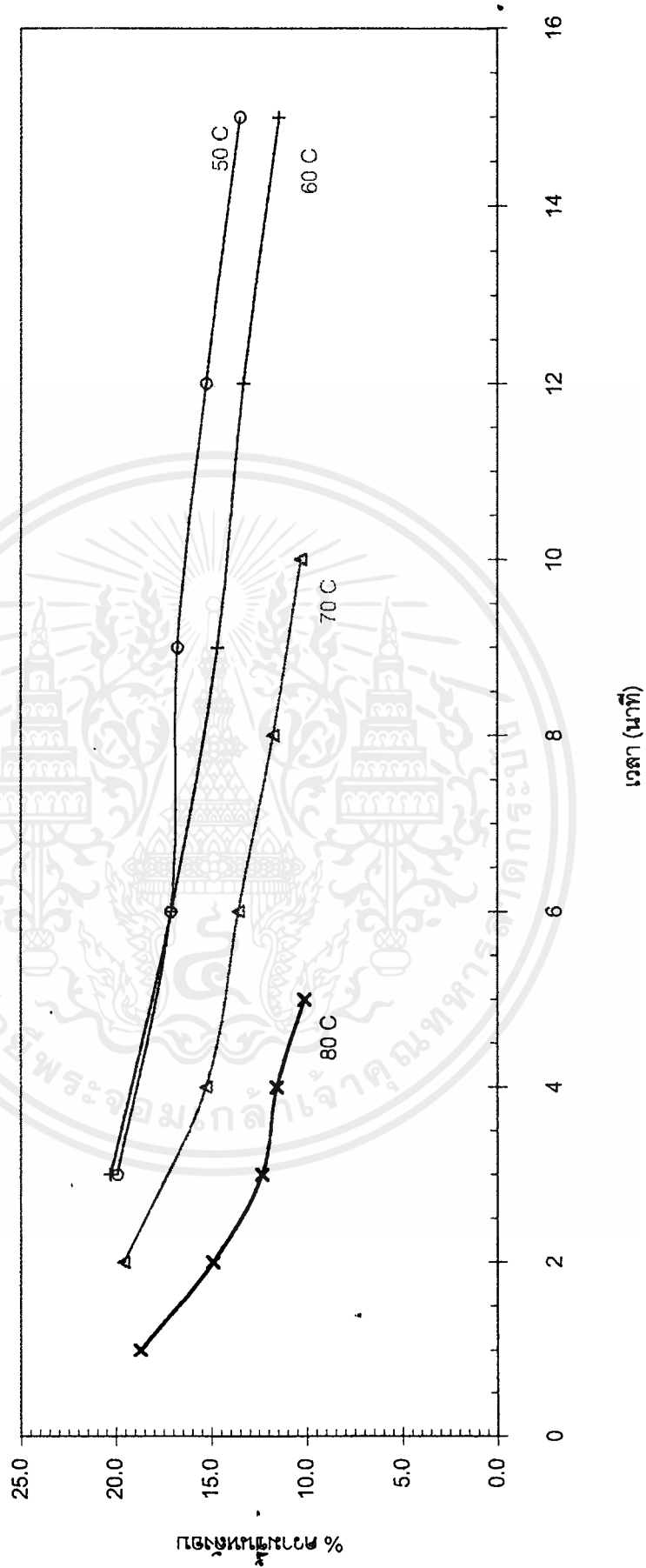
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเข้มข้นของข้าวงอก ณ อุณหภูมิต่างๆ ที่ความเร็วลม 1.77 เมตร/วินาที, ความชื้นเริ่มต้น 28.1%



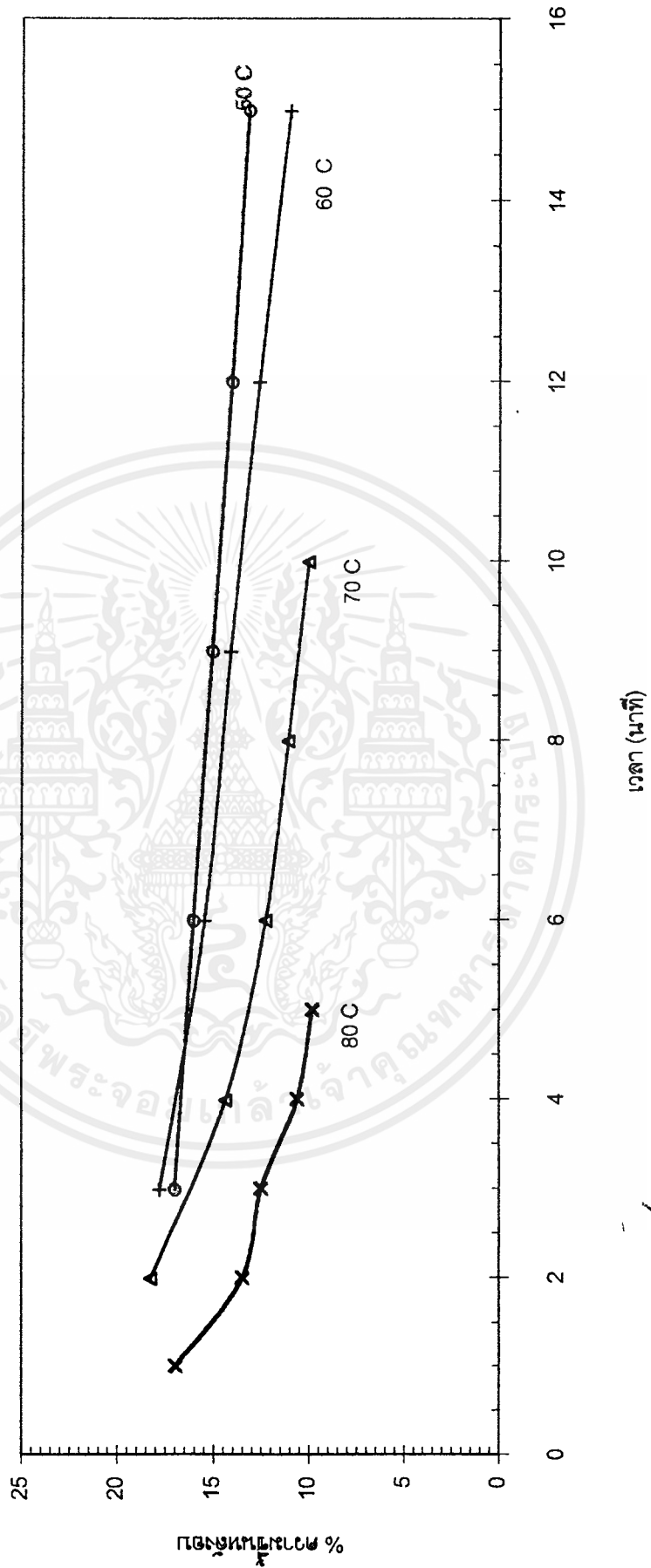
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความชื้นของข้าวเปลือก ณ อุณหภูมิต่างๆ ที่ความเร็วลม 1.89 เมตร/วินาที, ความชื้นเริ่มต้น 28.1%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

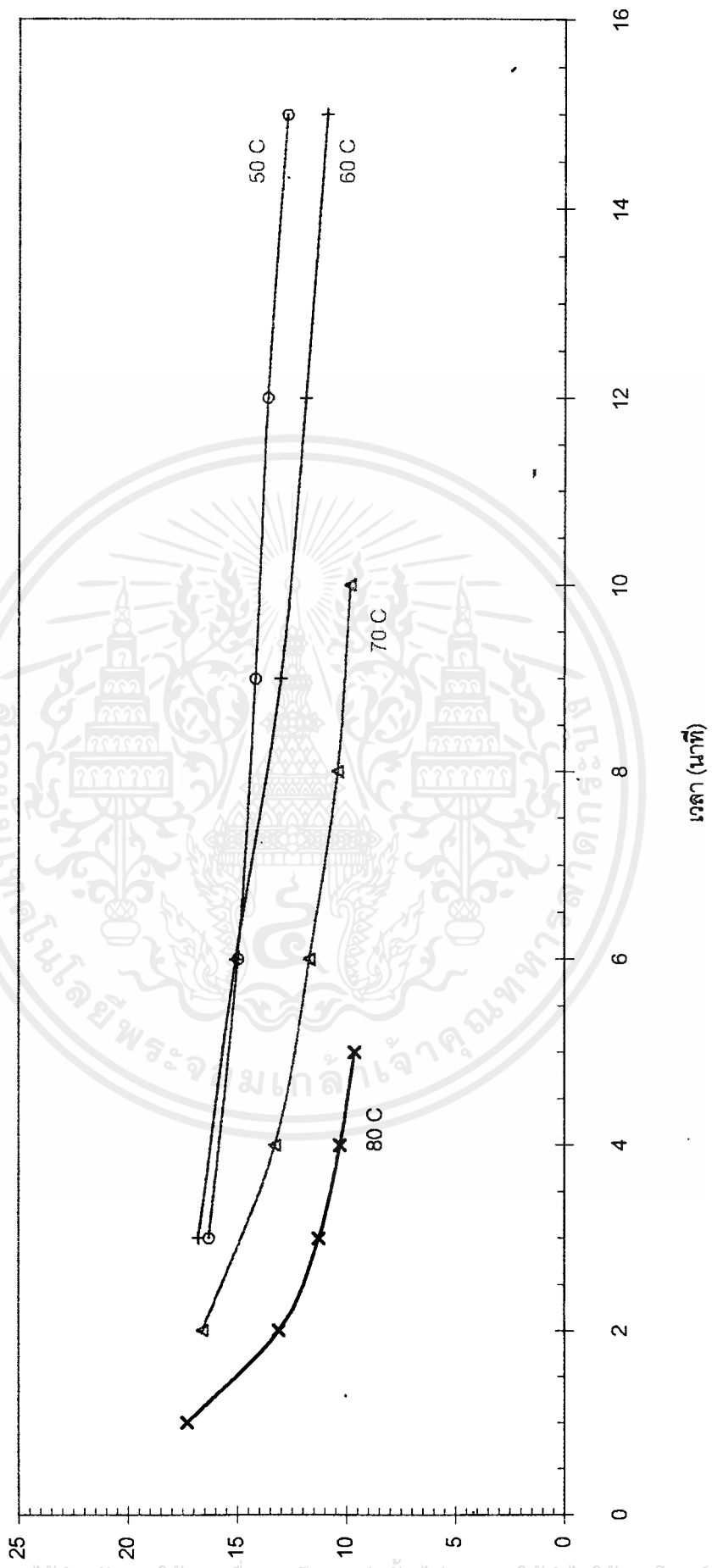
รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเข้มข้นของข้าวเปลือก ณ อุณหภูมิต่างๆ ที่ความเร็วลม 2.03 เมตร/วินาที, ความชื้นเริ่มต้น 28.1%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

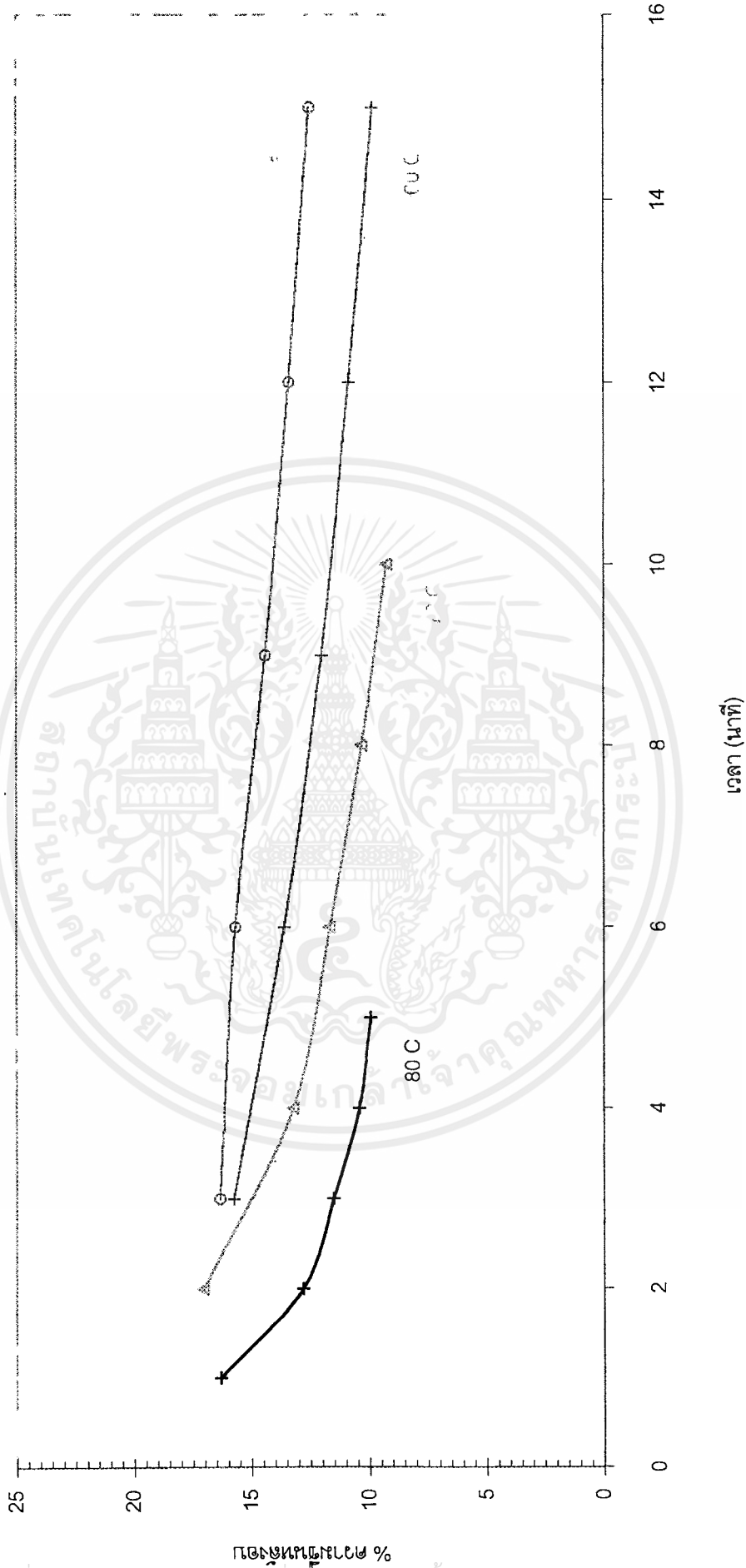
รูปที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเข้มข้นของข้าวเปลือก ณ อุณหภูมิต่างๆ

ที่ความเร็วลม 2.15 เมตร/วินาที, ความชื้นเริ่มต้น 28.1%



รูปที่ 4.18 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเข้มข้นของข้าวเปลือก ณ อุณหภูมิต่างๆ

ที่ความเร็วลม 2.21 เมตร/วินาที, ความชื้นเริ่มต้น 28.1%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลองที่ 4

จากการทดลองพบว่า เมื่อความเร็วและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น เวลาที่ใช้ในการอบแห้งจะลดลง

ข้อเสนอแนะ

การหาความเหมาะสมในการอบแห้งข้าวเปลือก ควรใช้เปอร์เซ็นต์การแตกหักจากการสีข้าวเปลือกมาพิจารณา นอกเหนือจากเปอร์เซ็นต์ความชื้น เพราะอุณหภูมิและความเร็วลมที่ทำให้การอบแห้งเป็นไปอย่างรวดเร็ว ไม่ได้แสดงถึงว่า จะได้ข้าวเปลือกคุณภาพดีหลังจากที่นำมาสีแล้ว



บทที่ 5

บทสรุปและวิจารณ์

จากการทดลองทั้ง 4 การทดลอง สรุปได้ว่า

1. ผลต่างความดันที่ออร์พิสมากที่สุด เท่ากับ 227 มิลลิเมตรน้ำ และเมื่อนำค่าไปคำนวณหา อัตราการไหลของลม พบว่า อัตราการไหลมากที่สุด เท่ากับ 0.16361 ลูกบาศก์เมตร/วินาที

2. ชุดทดลองการเกิดฟลูอิด ไคซ์เบคที่สร้างขึ้นนี้ สามารถทำให้เมล็ดข้าวเปลือกเริ่มเกิดฟลูอิด ไคซ์เซชันได้ที่ความเร็วลม 0.8592 เมตร/วินาที แต่ถั่วเขียวและข้าวโพด ไม่สามารถเกิดฟลูอิด ไคซ์ได้

3. เมื่อความเร็วและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น การอบแห้งจะใช้เวลาน้อยลง

จากการเปรียบเทียบการทดลอง พบว่า ความเร็วเริ่มต้นในการเกิดฟลูอิด ไคซ์ไม่ขึ้นกับน้ำหนัก ที่เปลี่ยนแปลงไป แต่จะขึ้นกับค่าความหนาแน่นเนื้อ ตัดส่วนช่องว่าง เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย และ แฟคเตอร์รูปร่างของเมล็ดพืช สำหรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้ผลต่างความดันในหอบเพิ่มขึ้น ด้วย

แนวทางการปรับปรุงแก้ไขชุดทดลองการอบแห้งแบบฟลูอิด ไคซ์เบค คือ

1. ควรใช้เครื่องวัดความเร็วลมแทนการคำนวณ เพราะจะได้ค่าที่ถูกต้องกว่า

2. ควรใช้พัดลมขนาด 1.3 กิโลวัตต์ผลิตอัตราการไหลได้ 60 ลูกบาศก์เมตร/นาที่ตามที่คำนวณในบทที่ 3

เพราะจะทำให้ชุดทดลองการอบแห้งชนิดฟลูอิด ไคซ์เบคมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

3. หอบแห้งควรเป็นท่อพลาสติกใสทนความร้อนได้มากกว่า 100°C เพราะจะสะดวกในการดู

ปรากฏการณ์อบแห้งแบบฟลูอิด ไคซ์ได้ดีกว่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ผ.1 ผลการทดลองหาความดันลมที่ออริฟิสกับอัตราการไหลในท่อ

ความดัน, (mm. Water)	อัตราการไหล, (m^3/s)	ความเร็วลมในท่อ, (m/s)
2	0.000135	0.001914
3	0.000249	0.003517
5	0.000535	0.007566
8	0.001082	0.015313
12	0.001989	0.028133
16	0.003062	0.043313
19	0.003962	0.056049
27	0.006711	0.094947
32	0.008660	0.122507
38	0.011206	0.158530
46	0.014925	0.211141
54	0.018983	0.268551
62	0.023354	0.330388
72	0.029226	0.413462
80	0.034230	0.484252
90	0.040845	0.577831
101	0.048557	0.686940
110	0.055190	0.780775
123	0.065257	0.923197
135	0.075036	1.061543
147	0.085260	1.206182
160	0.096817	1.369673
171	0.106971	1.513321
186	0.121350	1.716747
200	0.135305	1.914176
214	0.149758	2.118641
227	0.163610	2.314598

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 5.2 ผลการทดลองหาความเร็วลมและผลต่างความดันในท่อของหัวเป่าเลือก ที่น้ำหนักต่างๆ

หัวเป่าเลือก 30 กรัม			หัวเป่าเลือก 50 กรัม			หัวเป่าเลือก 70 กรัม			หัวเป่าเลือก 90 กรัม			หัวเป่าเลือก 110 กรัม		
ความดัน (mm. Water)	ความเร็ว (m/s)	ความดันที่ท่อป (psig*1000)	ความดัน (mm. Water)	ความเร็ว (m/s)	ความดันที่ท่อป (psig*1000)	ความดัน (mm. Water)	ความเร็ว (m/s)	ความดันที่ท่อป (psig*1000)	ความดัน (mm. Water)	ความเร็ว (m/s)	ความดันที่ท่อป (psig*1000)	ความดัน (mm. Water)	ความเร็ว (m/s)	ความดันที่ท่อป (psig*1000)
6	0.009946	3	4	0.005414	3	4	0.005414	2	3	0.003517	3	2	0.001914	9
9	0.018273	5	6	0.009946	4	5	0.007566	5	3	0.003517	4	3	0.003517	11
12	0.028133	6	8	0.015313	5	6	0.009946	7	4	0.005414	7	6	0.009946	14
14	0.035451	6	12	0.028133	7	8	0.015313	10	8	0.015313	11	7	0.012534	17
17	0.047436	7	16	0.043313	8	12	0.028133	11	12	0.028133	12	12	0.028133	17
22	0.069835	8	20	0.060532	9	18	0.051683	12	16	0.043313	13	14	0.035451	18
27	0.094947	8	25	0.084595	9	24	0.079571	12	23	0.074650	13	20	0.060532	18
33	0.128294	8	31	0.116810	10	29	0.105690	12	28	0.100271	14	26	0.089722	19
39	0.164829	8	39	0.164829	10	35	0.140132	12	36	0.146181	14	34	0.134170	19
47	0.218064	9	45	0.204294	10	43	0.190827	12	42	0.184209	14	42	0.184209	20
54	0.268551	10	52	0.253771	10	51	0.246486	13	48	0.225060	15	50	0.239272	20
62	0.330388	10	58	0.298936	10	58	0.298936	13	57	0.291239	15	59	0.306701	21
70	0.396355	10	70	0.396355	11	66	0.362871	14	65	0.354656	16	68	0.379490	21
81	0.493360	10	80	0.484252	12	78	0.466207	14	76	0.448391	17	78	0.466207	22
97	0.646538	11	90	0.577831	12	86	0.539740	14	83	0.511745	17	89	0.568227	22
101	0.686940	11	99	0.666637	12	97	0.646538	14	92	0.597198	18	100	0.676763	23
111	0.791446	12	110	0.780775	13	108	0.759578	15	105	0.728150	18	110	0.780775	23
121	0.900772	12	120	0.889628	13	120	0.889628	15	113	0.812932	19	122	0.911962	24
133	1.038040	13	133	1.038040	13	130	1.003117	16	120	0.889628	20	136	1.073359	25
146	1.193895	13	145	1.181650	14	142	1.145168	17	138	1.097123	20	147	1.206182	26
157	1.331332	14	157	1.331332	15	154	1.293355	17	150	1.243293	21	160	1.369673	26
168	1.473672	15	170	1.500065	16	167	1.460533	17	160	1.369673	22	176	1.580177	26
181	1.647990	16	180	1.634352	16	180	1.634352	18	173	1.539948	22	187	1.730610	27
193	1.814566	16	195	1.842844	17	192	1.800481	19	191	1.786433	23	193	1.814566	27
208	2.030167	17	208	2.030167	18	206	2.00956	20	202	1.942960	23	200	1.914176	27
220	2.208365	18	220	2.208365	19	218	2.178319	21	217	2.163348	23	215	2.133509	27

หมายเหตุ **** เริ่มเกิดปรากฏการณ์ฟลูตไดรชั่น

ตาราง 4.3 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์และความดันในท่อของหัวเข็ม ที่น้ำหนักต่างๆ

หัวเข็ม 30 กรัม			หัวเข็ม 50 กรัม			หัวเข็ม 70 กรัม			หัวเข็ม 90 กรัม			หัวเข็ม 110 กรัม		
ความดัน (mm. Water)	ความเร็ว (m/s)	ความดันที่ท่อ (psig*1000)	ความดัน (mm. Water)	ความเร็ว (m/s)	ความดันที่ท่อ (psig*1000)	ความดัน (mm. Water)	ความเร็ว (m/s)	ความดันที่ท่อ (psig*1000)	ความดัน (mm. Water)	ความเร็ว (m/s)	ความดันที่ท่อ (psig*1000)	ความดัน (mm. Water)	ความเร็ว (m/s)	ความดันที่ท่อ (psig*1000)
4	0.005414	1	4	0.005414	2	6	0.009946	1	6	0.009946	2	5	0.007566	6
9	0.018273	2	6	0.009946	2	8	0.015313	2	7	0.012534	4	7	0.012534	9
12	0.028133	3	9	0.018273	3	11	0.024690	3	9	0.018273	6	10	0.021401	10
14	0.035451	3	13	0.031721	6	13	0.031721	7	12	0.028133	8	12	0.028133	13
17	0.047436	4	16	0.043313	7	18	0.051683	8	13	0.031721	10	14	0.035451	16
23	0.074650	5	22	0.069835	8	20	0.060532	9	17	0.047436	12	16	0.043313	18
27	0.094947	6	26	0.089722	8	22	0.069835	10	22	0.069835	13	20	0.060532	19
33	0.128294	6	32	0.122507	9	30	0.111204	11	27	0.094947	14	24	0.079571	19
39	0.164829	7	40	0.171209	10	37	0.152314	11	34	0.134170	14	32	0.122507	20
47	0.218064	8	48	0.225060	10	42	0.184209	12	41	0.177669	15	39	0.164829	20
54	0.268551	9	53	0.261126	10	50	0.239272	12	50	0.239272	15	47	0.218064	21
63	0.338413	9	61	0.322427	11	58	0.298936	13	57	0.291239	16	53	0.261126	22
73	0.422106	10	70	0.396355	11	66	0.362871	13	64	0.346503	17	63	0.338413	22
81	0.493360	10	78	0.466207	12	75	0.439571	14	74	0.430909	17	72	0.413462	23
90	0.577831	10	87	0.549181	12	85	0.530353	14	83	0.511745	18	81	0.493360	23
100	0.676763	11	97	0.646538	13	96	0.636566	15	94	0.616778	19	90	0.577831	24
111	0.791446	11	108	0.759578	13	107	0.749053	16	103	0.707445	19	102	0.697167	24
119	0.878531	12	118	0.867481	14	117	0.856477	16	114	0.823747	20	113	0.812932	25
131	1.014714	13	124	0.934478	15	127	0.968595	17	125	0.945805	20	121	0.900772	26
146	1.193895	13	140	1.121060	15	140	1.121060	18	137	1.085220	21	134	1.049770	27
157	1.331332	14	156	1.318632	16	153	1.280778	18	149	1.230881	21	147	1.206192	28
169	1.488849	15	163	1.408375	17	165	1.434375	19	160	1.369673	22	160	1.369673	29
179	1.620751	15	178	1.607188	18	177	1.593664	20	174	1.553319	22	173	1.539948	29
193	1.814566	16	193	1.814566	19	188	1.744510	21	187	1.730610	23	186	1.716747	30
207	2.015544	17	204	1.971887	19	201	1.928550	21	198	1.885535	23	199	1.899837	30
220	2.208365	18	218	2.178319	20	216	2.148411	21	210	2.059519	24	213	2.103808	31

ตาราง 4 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์และผลต่างของความดันในหลอดของหัวโถก ที่น้ำหนักต่างๆ

เมล็ดข้าวโพด 30 กรัม			เมล็ดข้าวโพด 50 กรัม			เมล็ดข้าวโพด 70 กรัม			เมล็ดข้าวโพด 90 กรัม			เมล็ดข้าวโพด 110 กรัม		
ความดัน (mm. Water)	ความเร็ว (m/s)	ความดันที่หลอด (psig*1000)	ความดัน (mm. Water)	ความเร็ว (m/s)	ความดันที่หลอด (psig*1000)	ความดัน (mm. Water)	ความเร็ว (m/s)	ความดันที่หลอด (psig*1000)	ความดัน (mm. Water)	ความเร็ว (m/s)	ความดันที่หลอด (psig*1000)	ความดัน (mm. Water)	ความเร็ว (m/s)	ความดันที่หลอด (psig*1000)
8	0.015313	1	8	0.015313	2	8	0.015313	2	7	0.012534	4	7	0.012534	5
11	0.024690	1	10	0.021401	3	8	0.015313	3	9	0.018273	5	9	0.018273	7
13	0.031721	2	13	0.031721	3	10	0.021401	5	12	0.028133	7	11	0.024690	9
17	0.047436	3	14	0.035451	5	13	0.031721	8	13	0.031721	10	12	0.028133	11
19	0.056049	4	17	0.047436	6	15	0.039316	10	15	0.039316	13	13	0.031721	14
22	0.069835	5	21	0.065128	7	19	0.056049	11	18	0.051653	14	14	0.035451	17
28	0.105690	6	27	0.094947	7	24	0.079571	11	23	0.074650	15	21	0.065128	18
33	0.128294	6	33	0.128294	8	30	0.111204	12	29	0.105690	15	27	0.094947	19
40	0.171209	7	39	0.164829	9	35	0.140132	13	35	0.140132	16	33	0.128294	19
48	0.225060	7	47	0.218064	9	45	0.204294	13	41	0.177669	17	39	0.164829	20
55	0.276046	8	53	0.261126	10	51	0.246486	14	50	0.239272	18	47	0.218064	21
62	0.330388	8	62	0.330388	10	57	0.291239	14	57	0.291239	19	55	0.276046	21
73	0.422106	8	70	0.396355	11	67	0.371150	15	65	0.354656	19	63	0.338413	22
80	0.484252	9	80	0.484252	12	77	0.457270	16	74	0.430809	19	73	0.422106	23
92	0.597198	9	87	0.549181	12	87	0.549181	16	85	0.530353	20	81	0.493360	24
101	0.686940	10	97	0.646538	13	96	0.636566	17	93	0.606982	20	92	0.597198	24
112	0.802165	10	108	0.759578	14	106	0.738577	17	105	0.728150	21	101	0.686940	25
123	0.923197	12	120	0.889828	14	117	0.856477	18	114	0.823747	21	113	0.812832	25
133	1.038040	12	131	1.014714	15	128	0.980058	19	127	0.968595	22	124	0.934478	26
143	1.157286	13	141	1.133093	16	140	1.121060	19	137	1.085220	23	134	1.049770	27
157	1.331332	13	153	1.280778	16	152	1.268242	20	150	1.243293	25	147	1.206182	28
172	1.526615	13	168	1.473872	17	166	1.447434	20	162	1.395434	25	160	1.369673	29
182	1.661666	13	180	1.634352	18	177	1.593664	21	176	1.580177	26	173	1.539948	29
193	1.814566	14	192	1.800481	19	190	1.772422	22	189	1.758448	26	186	1.716747	31
208	2.030167	14	204	1.971887	20	203	1.957406	23	205	1.996404	26	198	1.885535	31
220	2.208365	15	219	2.193325	20	216	2.148411	24	215	2.133509	27	212	2.089010	31

หมายเหตุ ไม่เกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเรชั่น

ตาราง ๘.5 ผลการทดสอบหาความชื้นของข้าวเปลือกเมื่ออุณหภูมิ ความเร็วลม และเวลาเปลี่ยนแปลง

ข้าวเปลือกหนัก 100 กรัม

ความชื้นก่อนอบ 28.1 เปอร์เซ็นต์

เครื่องรับความถี่ (เฮิรตซ์)	ผลต่างความชื้น (มิลลิเมตรน้ำ)	ความเร็วลม	เปอร์เซ็นต์ความชื้นหลังอบ																							
			50 เซลเซียส						60 เซลเซียส						70 เซลเซียส						80 เซลเซียส					
			3	6	9	12	15 นาที	3	6	9	12	15 นาที	2	4	6	8	10 นาที	1	2	3	4	5 นาที				
56	190	1.77	17.4	16.3	14.8	13.9	13.1	18.6	16.8	15.3	13.6	12.4	17.7	15.7	13.8	11.2	10.0	22.0	15.4	14.9	13.4	12.1				
			18.8	17.4	15.8	15.3	14.5	18.8	17.4	15.9	14.2	12.8	21.2	16.9	14.5	12.9	11.4	21.9	17.1	14.6	13.7	12.7				
			19.5	18.2	17.0	15.9	15.2	19.3	17.2	15.7	14.5	13.3	20.1	15.7	14.0	11.8	10.6	20.6	16.1	13.4	13.2	12.2				
ค่าเฉลี่ย			18.6	17.3	15.9	15.0	14.3	18.9	17.1	15.6	14.1	12.8	19.7	16.1	14.1	12.0	10.7	21.5	16.2	14.3	13.4	12.3				

เครื่องรับความถี่ (เฮิรตซ์)	ผลต่างความชื้น (มิลลิเมตรน้ำ)	ความเร็วลม	เปอร์เซ็นต์ความชื้นหลังอบ																							
			50 เซลเซียส						60 เซลเซียส						70 เซลเซียส						80 เซลเซียส					
			3	6	9	12	15 นาที	3	6	9	12	15 นาที	2	4	6	8	10 นาที	1	2	3	4	5 นาที				
57	198	1.89	20.3	18.6	16.5	15.5	14.4	20.1	17.0	14.5	13.3	11.8	19.3	16.3	13.8	12.2	10.9	17.6	15.0	11.4	11.0	9.9				
			20.6	15.8	15.2	14.6	12.9	20.2	17.1	14.8	13.4	11.0	20.0	14.3	12.5	11.0	9.9	19.8	15.4	12.8	11.7	10.0				
			18.9	17.0	18.6	15.7	13.2	20.5	17.2	14.7	13.2	11.6	19.5	15.2	14.4	12.0	10.1	18.7	14.3	12.8	12.0	10.5				
ค่าเฉลี่ย			19.9	17.1	16.8	15.3	13.5	20.3	17.1	14.7	13.3	11.5	19.6	15.3	13.6	11.7	10.3	18.7	14.9	12.3	11.6	10.1				

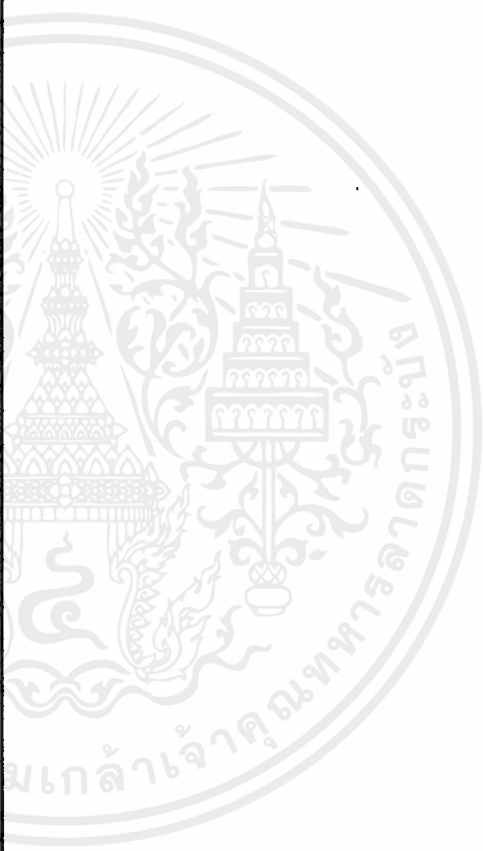
ตาราง ๘.๕(๒๒) ผลการทดลองหาความถี่ของข้าวเปลือกเมื่ออุณหภูมิ ความเร็วลม และเวลาเปลี่ยนแปลง

เครื่องรับความถี่ (เฮิรตซ์)	ผลต่างความดัน (มิลลิเมตรน้ำ)	ความเร็วลม (เมตร/วินาที)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นหลังอบ																			
			50 เซลต์เซียส					60 เซลต์เซียส					70 เซลต์เซียส					80 เซลต์เซียส				
			3	6	9	12	15 นาที	3	6	9	12	15 นาที	2	4	6	8	10 นาที	1	2	3	4	5 นาที
58	208	2.03	16.8	15.3	14.7	14.0	12.9	17.8	15.4	14.3	12.6	10.7	17.1	14.3	12.8	11.6	10.2	17.7	13.9	12.0	10.8	10.2
			17.2	16.3	15.8	14.1	13.2	17.8	15.7	13.9	13.2	11.0	21.4	14.8	12.2	11.2	10.1	15.8	13.3	13.7	10.4	9.3
			17.2	16.7	14.8	14.2	13.6	18.0	15.5	14.3	12.3	11.5	16.5	14.2	12.0	10.7	10.0	17.4	13.3	11.8	10.7	10.0
	ค่าเฉลี่ย		17.1	16.1	15.1	14.1	13.2	17.9	15.5	14.2	12.7	11.1	18.3	14.4	12.3	11.2	17.0	13.5	12.5	10.6	9.8	

เครื่องรับความถี่ (เฮิรตซ์)	ผลต่างความดัน (มิลลิเมตรน้ำ)	ความเร็วลม (เมตร/วินาที)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นหลังอบ																			
			50 เซลต์เซียส					60 เซลต์เซียส					70 เซลต์เซียส					80 เซลต์เซียส				
			3	6	9	12	15 นาที	3	6	9	12	15 นาที	2	4	6	8	10 นาที	1	2	3	4	5 นาที
59	216	2.15	16.8	14.3	14.2	13.2	12.8	16.1	14.4	12.6	11.2	10.7	16.5	13.6	11.7	10.5	9.9	16.7	13.2	11.5	10.4	9.9
			15.9	15.4	14.0	13.4	12.3	17.3	15.0	13.7	12.2	10.6	17.5	13.1	11.8	10.6	9.7	17.5	13.2	11.2	10.4	9.7
			16.2	15.2	14.3	14.3	13.1	16.9	15.8	12.7	12.2	11.4	15.8	13.1	11.6	10.1	9.9	17.7	12.9	11.1	10.1	9.3
	ค่าเฉลี่ย		16.3	15.0	14.2	13.6	12.7	16.8	15.1	13.0	11.9	10.9	16.6	13.3	11.7	10.4	17.3	13.1	11.3	10.3	9.6	

ตาราง ผ.5(ต่อ) ผลการทดสอบหาความชื้นของข้าวเปลือกเมื่ออุณหภูมิ ความเร็วลม และเวลาเปลี่ยนแปลง

เครื่องปรับอากาศ (เฮฟ)	ผลต่างความชื้น (มิลลิเมตรน้ำ)	ความเร็วลม (เมตรวินาที)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นหลังอบ																			
			50 เซลเซียส					60 เซลเซียส					70 เซลเซียส					80 เซลเซียส				
			3	6	9	12	15 นาที	3	6	9	12	15 นาที	2	4	6	8	10 นาที	1	2	3	4	5 นาที
60	220	2.21	16.6	15.8	14.4	13.6	12.3	15.6	12.9	10.6	10.0	9.4	17.4	13.2	11.8	10.2	9.3	16.4	12.7	10.8	10.1	9.7
			16.0	15.4	14.6	13.1	12.4	15.8	14.0	12.8	11.4	10.0	16.7	13.0	11.4	10.2	9.0	16.5	13.1	12.4	10.7	10.1
			16.4	15.8	14.2	13.5	12.9	15.8	13.9	12.6	11.2	10.1	17.0	13.4	11.8	10.5	9.4	16.0	12.6	11.3	10.4	10.0
ค่าเฉลี่ย			16.3	15.7	14.4	13.4	12.5	15.7	13.6	12.0	10.9	9.8	17.0	13.2	11.7	10.3	9.2	16.3	12.8	11.5	10.4	9.9



ตารางที่ ผ.6 คุณสมบัติของอากาศแห้งที่ความดันบรรยากาศ

TABLE A-3. PROPERTIES OF DRY AIR AT ATMOSPHERIC PRESSURE

Temperature t	T	Density ρ	Volumetric coefficient of expansion		Specific heat c_p	Thermal conductivity k	Thermal diffusivity $\alpha \times 10^6$	Viscosity $\mu \times 10^6$	Kinematic viscosity $\nu \times 10^6$	Prandtl number Pr
			$\beta \times 10^3$	1/K						
-20	253.15	1.365	3.97	1.005	0.0226	16.8	16.279	12.0	0.71	
0	273.15	1.292	3.65	1.011	0.0237	19.2	17.456	13.9	0.71	
10	283.15	1.206	3.53	1.010	0.0244	20.7	17.846	14.66	0.71	
20	293.15	1.164	3.41	1.012	0.0251	22.0	18.240	15.7	0.71	
30	303.15	1.127	3.30	1.013	0.0258	23.4	18.682	16.58	0.71	
40	313.15	1.092	3.20	1.014	0.0265	24.8	19.123	17.6	0.71	
50	323.15	1.057	3.10	1.016	0.0272	26.2	19.515	18.58	0.71	
60	333.15	1.025	3.00	1.017	0.0279	27.6	19.907	19.4	0.71	
70	343.15	0.996	2.91	1.018	0.0286	29.2	20.398	20.65	0.71	
80	353.15	0.968	2.83	1.019	0.0293	30.6	20.790	21.5	0.71	
90	363.15	0.942	2.76	1.021	0.0300	32.2	21.231	22.82	0.71	
100	373.15	0.916	2.69	1.022	0.0307	33.6	21.673	23.6	0.71	
120	393.15	0.870	2.55	1.025	0.0320	37.0	22.555	25.9	0.71	
140	413.15	0.827	2.43	1.027	0.0333	40.6	23.340	28.2	0.71	
150	423.15	0.810	2.37	1.028	0.0336	41.2	23.732	29.4	0.71	
160	433.15	0.789	2.31	1.030	0.0344	43.3	24.124	30.6	0.71	
180	453.15	0.755	2.20	1.032	0.0357	47.0	24.909	33.00	0.71	
200	473.15	0.723	2.11	1.035	0.0370	49.7	25.693	35.5	0.71	
250	523.15	0.653	1.89	1.043	0.0400	60.0	27.557	42.2	0.71	

Adapted from: Razajevic, K. 1978. Handbook of Thermodynamic Tables and Charts. Hemisphere Publishing Corporation, Washington.

ตารางที่ ๗.7 ความชื้นของเมล็ดพันธุ์พืชแต่ละชนิดที่ใช้กำหนดระยะเวลาเก็บเกี่ยว โดยเมล็ดพันธุ์เกิด

ความเสียหายน้อยที่สุด

ชนิดพืช	ระดับความชื้น (%)	
	สุกแก่ทางสรีรวิทยา	สุกแก่สำหรับเก็บเกี่ยว
ข้าว	30	17-23
ข้าวบาร์เลย์	40	18-20
ข้าวโพด	30	28-32
ข้าวฟ่าง	30	25-30
ข้าวสาลี	40	16-19
ข้าวโอตส์	40	19-20
ถั่วเหลือง	38	14-16
ถั่วลิสง	32	10
ถั่วอื่น ๆ	50	14-20

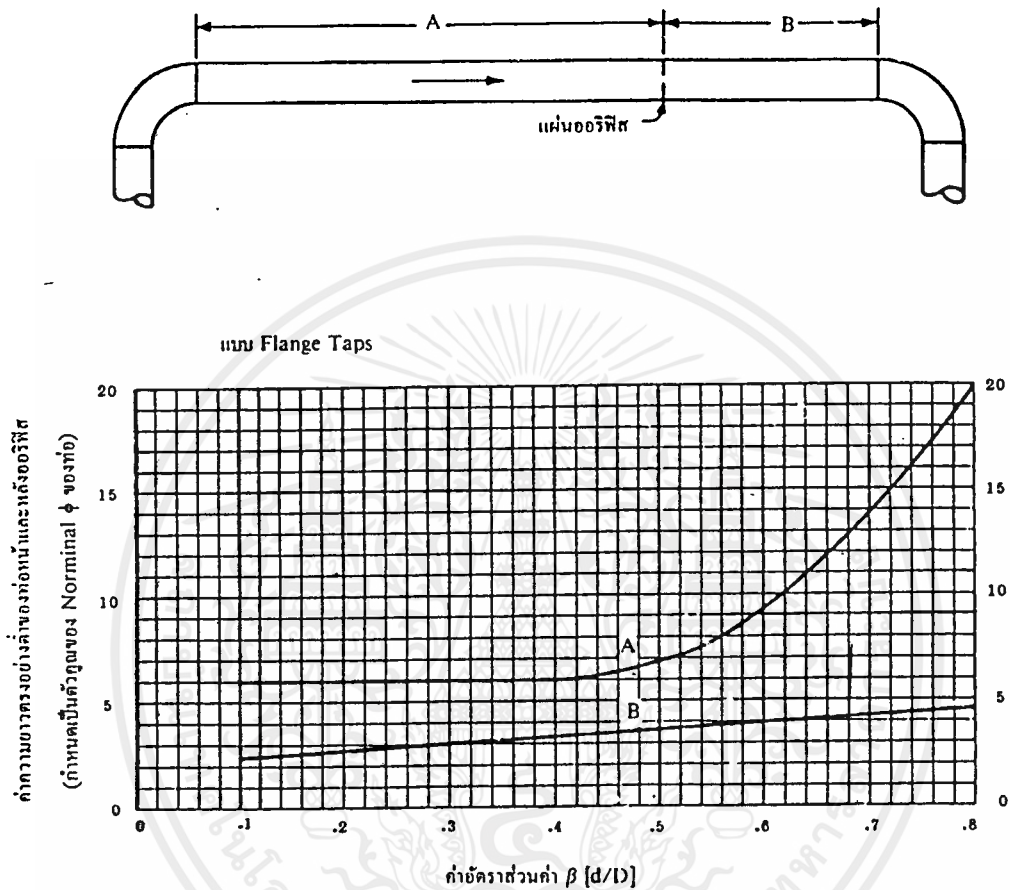
ที่มา : Thomson, 1979.

ตารางที่ ผ.8 อุณหภูมิที่ใช้อบความชื้นของเมล็ดพันธุ์พืชชนิดต่าง ๆ

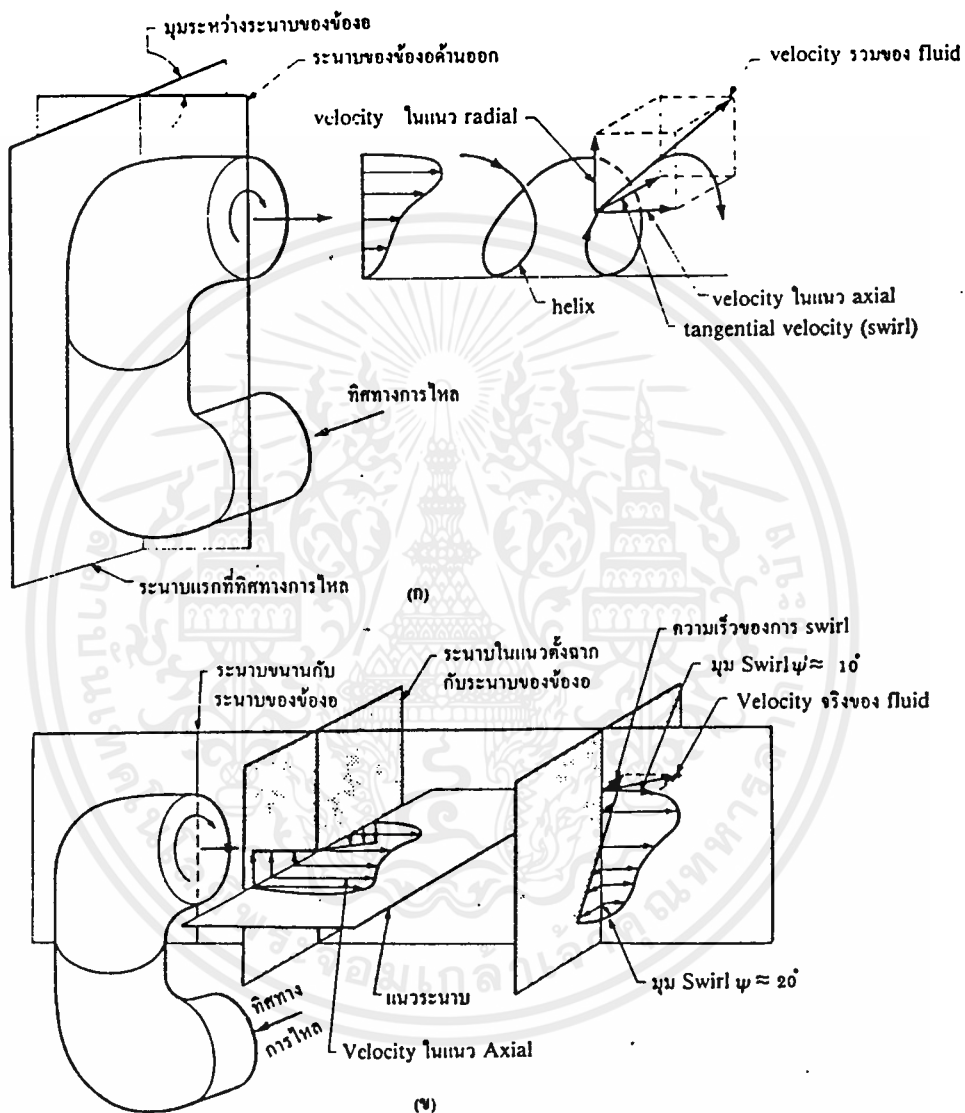
ชนิดพืช	อุณหภูมิที่ใช้ (องศาเซลเซียส)
ข้าว	50-60
ข้าวโพด	40-45
ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ และข้าวโอตส์	43-65
ถั่วลิสง	36
ถั่วเหลือง	30-35
ถั่วอื่น ๆ	40-45
พืชตระกูลกะหล่ำ	27-40
หอมหัวใหญ่	21-23

ที่มา : Thomson, 1979.

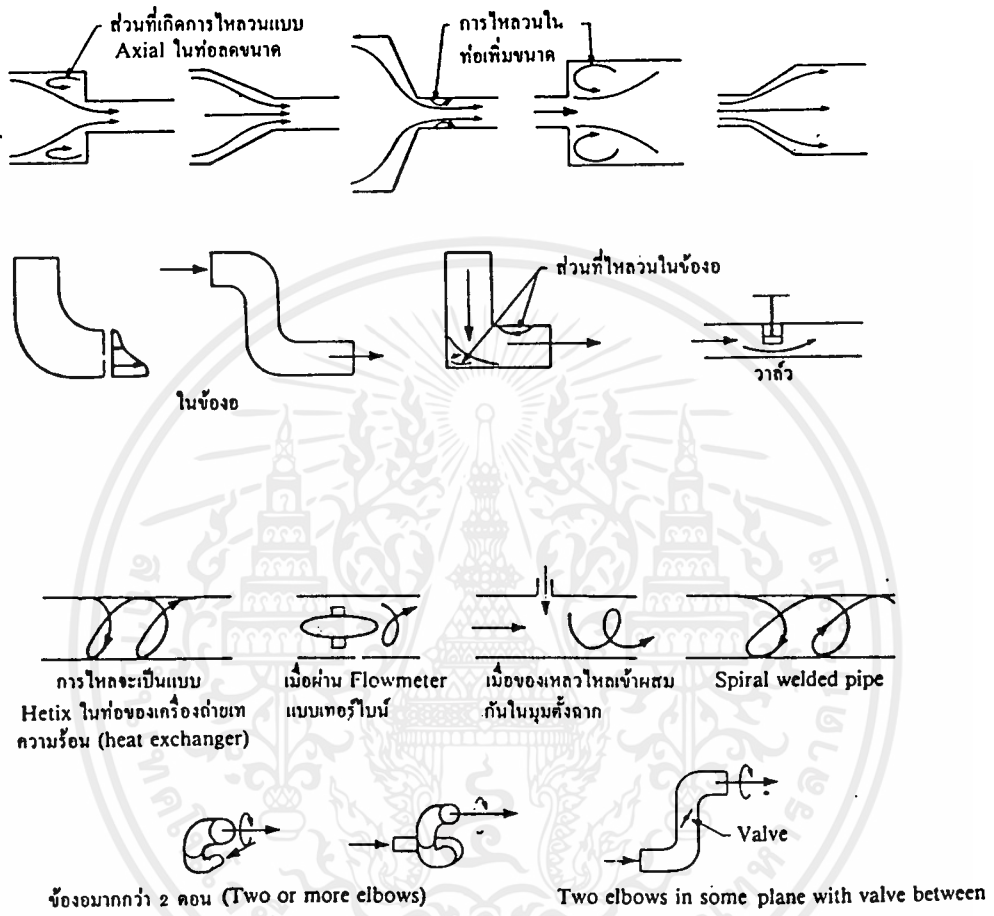
รูปที่ ผ.1 กราฟอ่านค่า A และ B ของออริฟิต



รูปที่ ผ.2 แสดงการเปลี่ยนทิศทางของความเร็วในข้อต่อและข้อออรวมถึงอุปกรณ์อื่น ๆ

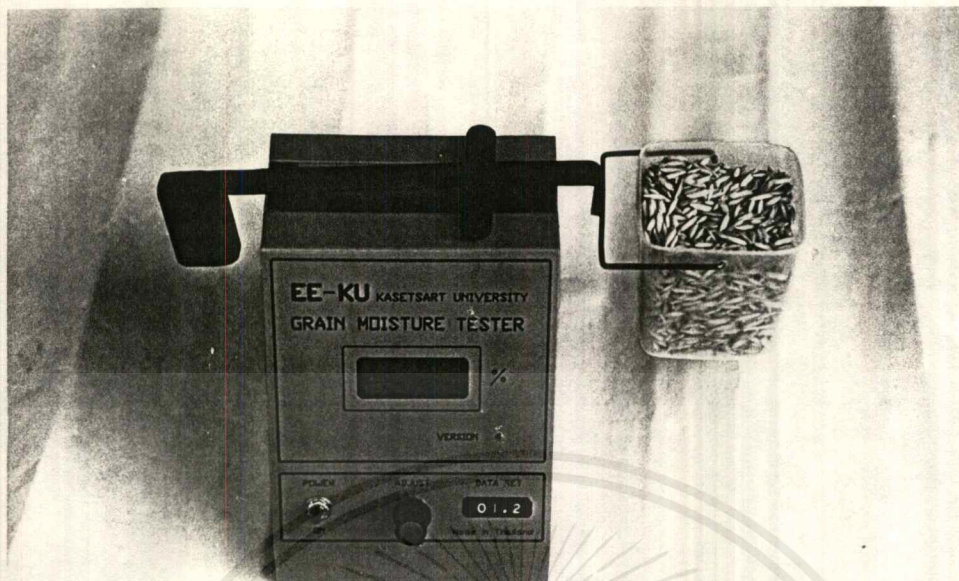


รูปที่ ผ.2(ต่อ) แสดงการเปลี่ยนทิศทางของความเร็วในข้อต่อและข้ออรวมถึงอุปกรณ์อื่น ๆ



(จ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.3 เครื่องวัดความชื้นของเมล็ดพืช (Grain moisture tester)



รูปที่ ผ.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ปานมนัส ศิริสมบูรณ์, พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมวงศ์ และ สาทิพย์ รัตนภาสกร, 2538, " สมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของซีวีวีสดู ", พิมพ์ครั้งที่ 1 , ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
2. วิวัฒน์ ตันตะพาณิชกุล, 2533 , " คู่มืออุปกรณ์การผลิตในอุตสาหกรรมเคมี", สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย ญี่ปุ่น) .
3. สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และ วิไลพร นพรัตน์ไกรลาส, 2533 , " อุปกรณ์ศึกษาการอบแห้งเมล็ดพืชและผลการทดสอบข้าวเปลือก", สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
4. Daizo Kunii, Octave Levenspiel., 1991, " Fluidization Engineering ", 2nd ed., Butterwerth-Heinemann.,USA.
5. Warren, L.M., Julian, C.S., and Peter,H., 1993 , " Unit Operation of Chemical Engineering ", 5th ed., McGraw-Hill , Singapore.