



ระบบการหาสมบัติทางอากาศ  
พลศาสตร์ของวัสดุเกษตร

AERODYNAMIC PROPERTIES OF  
AGRICULTURAL MATERIALS  
MEASURING SYSTEM



โดย  
นายกำพล ศลินนท์  
นางสาวประภา แซ่ตัน  
นายพิรพงษ์ อังชนารักษ์สกุล

วัน เดือน ปี... 18 มี. ค. 2537.  
เลขทะเบียน... 034488  
เลขเรียกหนังสือ... T 27088 ก 6.

ปริศานาพินธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2537

ปฏิญานิพนธ์ปีการศึกษา 2537

ภาควิชา วิศวกรรมเกษตร

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบการหาสมบัติทางอากาศพลศาสตร์ของวัสดุเกษตร

ผู้จัดทำ

1. นายการณย์ คดีพันธ์
2. นางสาวประภา แซ่ตัน
3. นายนิรพงษ์ อังธนารักษ์สกุล

.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ปานพนัส ศิริสมบูรณ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์สาทิป รัตนภาสกร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบการหาสมบัติทางอากาศ  
พลศาสตร์ของวัสดุเกษตร

AERODYNAMIC PROPERTIES OF  
AGRICULTURAL MATERIALS  
MEASURING SYSTEM

นายภาวิทย์ ศลิพันธ์  
นางสาวประภา แซ่ตัน  
นายพีรพงษ์ อังชนารักษ์สกุล  
อาจารย์ปานนัส ศิริสมบูรณ์  
อาจารย์สาทิป รัตนภาสกร  
ปีการศึกษา 2537

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อที่จะสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับหาค่าสมบัติทางอากาศพลศาสตร์ของวัสดุทางการเกษตร ได้แก่ความเร็วสุดท้ายที่น้อยที่สุดสามารถทำให้วัสดุลอยตัวอยู่ได้ และสัมประสิทธิ์แรงต้านทาน ตัวเครื่องประกอบด้วยชุดลมแบบแรงเหวี่ยงเป็นแหล่งจ่ายลมเข้าไปในห้องอากาศแล้วกระแสอากาศจะถูกส่งผ่านไปยังท่อพลาสติกใสในแนวตั้งซึ่งมีตะแกรงอยู่กึ่งกลางท่อ ใช้สำหรับวางวัสดุทดสอบ การทดสอบครั้งนี้ใช้เมล็ดถั่วเหลืองที่มีน้ำหนักต่างกัน 5 ระดับ ระหว่าง (0.09 - 0.22 กรัม) ที่มีความชื้น 9.7 % (ความชื้นมาตรฐานเปียก) ค่าความเร็วสุดท้ายต่ำสุดได้จากการเทียบค่าความถี่ของ Inverter จากค่าความเร็วสุดท้ายและค่าสมบัติทางกายภาพของวัสดุ สามารถคำนวณหาสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานได้ ค่าความเร็วสุดท้ายของถั่วเหลืองอยู่ระหว่าง 9.94-11.30 m/s และสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานเท่ากับ 0.70 - 0.75

AERODYNAMIC PROPERTIES OF  
AGRICULTURAL MATERIALS  
MEASURING SYSTEM

Karan : Sadiphan ..

Perapong Aungthanasuksakul

Prapa SAE-TAN

Panmanas Sirisomboon          Advisor

Satip Rattanaphasakorn      Advisor

1994

ABSTRACT

The objective of this study is to develop the prototype of measuring unit for aerodynamic properties of agricultural materials include minimum terminal velocity and drag coefficient. The unit has acentrifugal fan to generate air stream into an air chamber where the air passes through a vertical transparent plastic tube. At the middle of the tube, installed the wire screen, where the test material is seated. The minimum terminal velocity is read from a graph which relate the electric current frequency supplied to the centrifugal fan and the air velocity. Drag coefficient can be calculated from the terminal velocity and physical properties of materials. The experiment conducted using the same variety soybean seeds (Chieng Mai 60) of 5 different weights (0.09 - 0.22 g.) when the moisture content is 9.7 % (wet basis). As a result, the minimum terminal velocity of the soybean is 9.94 - 11.30 m/s and drag coefficient is 0.70 - 0.75.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง

หน้า

บทที่ 1 บทนำ

- |     |  |   |
|-----|--|---|
| 1.1 | ความสำคัญของระบบการหาค่าสมบัติทางอากาศพลศาสตร์ของวัสดุเกษตร            | 1 |
| 1.2 | วัตถุประสงค์ของการสร้างระบบการหาค่าสมบัติทางอากาศพลศาสตร์ของวัสดุเกษตร | 1 |

บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการ

- |     |                                   |    |
|-----|-----------------------------------|----|
| 2.1 | ลักษณะการไหลของทองไหล             | 2  |
| 2.2 | ทฤษฎีการไหลในท่อ                  | 3  |
| 2.3 | ลักษณะหน้าตัดความเร็วในท่อ 2 ชั้น | 14 |

บทที่ 3 การออกแบบ และ การสร้าง

- |     |  |    |
|-----|--|----|
| 3.1 | องค์ประกอบของระบบการหาค่าสมบัติทางอากาศพลศาสตร์ของวัสดุเกษตร | 20 |
| 3.2 | หลักการและหน้าที่ขององค์ประกอบต่าง ๆ                         | 23 |
| 3.3 | การเลือกพัดลม  | 24 |
| 3.4 | แบบชิ้นส่วน  | 33 |

บทที่ 4 การทดลอง

- |     |                         |    |
|-----|-------------------------|----|
| 4.1 | วัตถุประสงค์ของการทดลอง | 40 |
| 4.2 | วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง | 40 |
| 4.3 | การวัดความเร็วในท่อ     | 40 |
| 4.4 | วิธีการทดลอง            | 43 |
| 4.5 | ผลการทดลองและสรุป       | 50 |

**สารบัญ (ต่อ)**

<u>เรื่อง</u>	<u>หน้า</u>
<u>บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ</u>	
5.1 สรุปผลการทดลอง	55
5.2 ข้อเสนอแนะ	56
<u>ภาคผนวก</u>	
ภาคผนวก ก	57
ภาคผนวก ข	59
ภาคผนวก ค	61
ภาคผนวก ง	63
<u>กิตติกรรมประกาศ</u>	64
<u>เอกสารอ้างอิง</u>	65

## สารบัญภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 การไหลในช่องทางเข้าของท่อ	4
รูปที่ 2.2 ปริมาตรควบคุมสำหรับการวิเคราะห์การกระจายแรงเฉือนในท่อกลม	4
รูปที่ 2.3 รูปแบบของความเร็วปั่นป่วนของของไหลในท่อเรียบ	8
รูปที่ 2.4 ลักษณะหน้าตัดความเร็วในท่อ 2 ชั้น	9
รูปที่ 2.5 ตัวประกอบความเสียดทานในท่อกลมสำหรับการไหลปรับตัวสมบูรณ์	13
รูปที่ 2.6 วัตถุประสงค์สาระภายใต้กระแสอากาศ	14
รูปที่ 2.7 ค่า $C_D$ ของทรงกระบอกและรูปทรงอื่น ๆ ใน 2 มิติ	18
รูปที่ 2.8 ค่า $C_D$ ของทรงกลมและรูปทรงอื่น ๆ ใน 3 มิติ	19
รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของเครื่องมือทดสอบสมรรถนะทางอากาศพลศาสตร์ของวัสดุเกษตร	22
รูปที่ 3.2 ลักษณะทางทัศนศาสตร์ของวัสดุเกษตร	23
รูปที่ 3.3 พัฒนแบบใบพัด	27
รูปที่ 3.4 พัฒนแบบแรงเหวี่ยง	28
รูปที่ 3.5 พัฒนแบบไหลตามแกน	29
รูปที่ 3.6 สมรรถนะของพัดลม	31
รูปที่ 3.7 ชั้นส่วนห้องอากาศ	34
รูปที่ 3.8 ท่อวัดความเร็วลม	36
รูปที่ 3.9 ชั้นส่วนท่อลด	37
รูปที่ 3.10 ท่อลด	38
รูปที่ 3.11 พัฒนและมอเตอร์	38
รูปที่ 4.1 ตำแหน่งที่ใช้วัดความเร็วภายในท่อ	41
รูปที่ 4.2 ตำแหน่งในหน้าตัดท่อ	41

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปภาพ		หน้า
รูปที่ 4.3	การติดตั้งเครื่องความเร็วมอเตอร์	47
รูปที่ 4.4	องค์ประกอบของระบบการวัดสมบัติทางอากาศพลศาสตร์	48
รูปที่ 4.5	เมล็ดถั่วเหลืองขณะทดลองหาความเร็วสุดท้าย	49
รูปที่ 4.6	ความสัมพันธ์ของความเร็ว และความถี่	52
รูปที่ 4.7	ความสัมพันธ์ของเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเรขาคณิต และน้ำหนัก	52
รูปที่ 4.8	ความสัมพันธ์ของความเป็นทรงกลม และน้ำหนัก	53
รูปที่ 4.9	ความสัมพันธ์ของพื้นที่ภาพฉาย และน้ำหนัก	53
รูปที่ 4.10	ความสัมพันธ์ของความเร็วสุดท้ายค่าสุด และน้ำหนัก	54
รูปที่ 4.11	ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทาน และน้ำหนักรวม	54

## สารบัญ

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1	12
ค่า K และ $L_u/D$ สำหรับประตูน้ำ และข้อต่อ	
ตารางที่ 3.1	20
รายการที่ในส่วนประกอบ	
ตารางที่ 4.1	42
ค่าความเร็วในหน้าตัดที่ความถี่ต่าง ๆ	
ตารางที่ 4.2	44
ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเรขาคณิต (GMD) ของเมล็ดแก้วเหลือง	
ตารางที่ 4.3	46
ค่าความถี่และความเร็วสุดท้ายต่ำสุดของเมล็ดแก้วเหลืองตัวอย่างที่น้ำหนักต่าง ๆ กัน	
ตารางที่ 4.4	51
ค่าเฉลี่ยสมบัติของเมล็ดแก้วเหลืองที่เพิ่งใช้ใหม่ 60 ความถี่ 9.7 % (ฐานเปียก)	

## บทนำ

พฤติกรรมทางอากาศพลศาสตร์ของวัสดุเกษตร ได้รับความสนใจมากขึ้นในปัจจุบัน จากหลาย ๆ วงการโดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักรกลการเกษตร ที่ใช้คัตแยกเมล็ดธัญพืชออกจากสิ่งเจือปน เพื่อให้เครื่องจักรเหล่านั้นมีประสิทธิภาพ ประหยัด พลังงานและลดการสูญเสียเมล็ดธัญพืช

### 1.1 ความสำคัญของระบบการหาค่าสมบัติทางอากาศพลศาสตร์ของวัสดุเกษตร

1. สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทาน ( $C_D$ ) และความเร็วสุดท้าย ( $V_u$ ) ของวัสดุเกษตร เช่น ถั่วเหลือง และฟางถั่วเหลือง
2. สามารถนำค่าที่หามาได้ มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องจักรกลการเกษตร เช่น เครื่องนวด เครื่องสีข้าว และเครื่องคัดขนาดเมล็ดพืช เป็นต้น

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการสร้างระบบการหาค่าสมบัติทางอากาศพลศาสตร์ของวัสดุเกษตร

1. เพื่อสร้างอุปกรณ์ทดสอบสมบัติทางอากาศพลศาสตร์ของวัสดุเกษตร เพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการสมบัติทางกายภาพ และวิศวกรรมของข้าววัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร
2. เพื่อหาค่า  $C_D$  และ  $V_u$  ของวัสดุเกษตร คือ เมล็ดถั่วเหลือง

## บทที่ 2

### ทฤษฎี และ หลักการ

#### 2.1 ลักษณะการไหลของของไหล [3]

ของไหล (Fluid) หมายถึงสสารที่สามารถไหลได้ โดยมีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปตามภาชนะที่บรรจุ อาจแบ่งการไหลของไหลออกเป็นหลายอย่าง โดยอาศัยหลักการแบ่งที่แตกต่างกัน

2.1.1 ใช้เวลาในการพิจารณา แบ่งการไหลเป็น 2 แบบ คือ

1. การไหลแบบคงตัว (Steady Flow) คือ การไหลซึ่งสมบัติของไหลที่จุดใด ๆ ในของไหลนั้นเท่ากัน (ทั้งขนาดและทิศทาง) ในขณะหนึ่งที่กำหนด

2. การไหลแบบไม่คงตัว (Unsteady Flow) คือ การไหลซึ่งสมบัติของของไหลที่จุดใด ๆ ในของไหลนั้นเปลี่ยนแปลงตามเวลา

2.1.2 ใช้เส้นกระแส (Stream Line) พิจารณาแบ่งการไหลเป็น 2 แบบ คือ

1. การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) คือ การไหลซึ่งมีเส้นกระแสจัดตัวกันอย่างเป็นระเบียบ สำหรับการไหลแบบราบเรียบในท่อจะมีค่า Re (Reynolds Number)  $< 2300$

2. การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) คือ การไหลซึ่งมีเส้นกระแสการไหลจัดตัวอย่างไม่สม่ำเสมอ สำหรับการไหลแบบปั่นป่วนในท่อ  $Re > 4000$

Re คือ อัตราส่วนระหว่างแรงความเฉื่อยกับแรงความหนืด

$$\begin{aligned} Re &= \frac{\text{แรงความเฉื่อย}}{\text{แรงความหนืด}} \\ &= \frac{\rho V^2 L^2}{\mu V L} \\ &= \frac{\rho V L}{\mu} \end{aligned} \tag{2.1}$$

เมื่อ  $\rho$  = ความหนาแน่น ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$v$  = ความเร็ว ( $\text{m}/\text{s}$ )

$L$  = ความยาวของวัสดุ ( $\text{m}$ )

$\mu$  = ความหนืดสัมบูรณ์ ( $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ )

### 2.1.3 ใช้ความหนาแน่นพิจารณา

1. การไหลแบบอัดตัวไม่ได้ (Incompressible Flow) คือ การไหลที่ไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นของของไหล

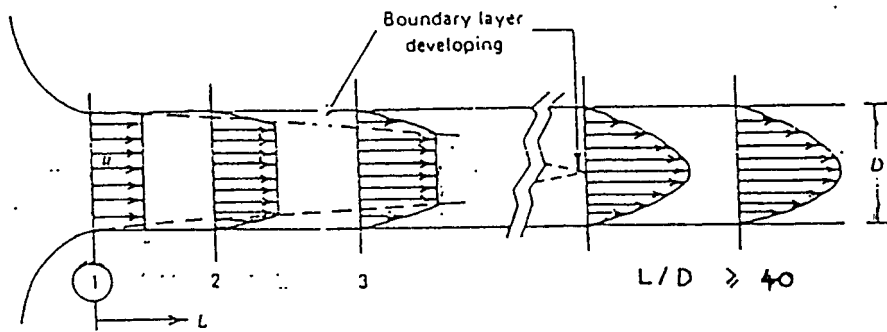
2. การไหลแบบอัดตัวได้ (Compressible Flow) คือ การไหลที่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นของของไหล

โดยส่วนมากแล้วการไหลของของเหลว จัดว่าเป็นการไหลแบบอัดตัวไม่ได้ และปกติการไหลของก๊าซจัดว่าเป็นการไหลแบบอัดตัวได้ แต่การไหลของก๊าซจะจัดว่าเป็นการไหลแบบอัดตัวไม่ได้คือเมื่อการไหลของก๊าซนั้นมีตัวเลขแมค (Mach Number)  $M < 0.3$  ซึ่ง  $M = v/C$  โดยที่  $v$  คือ ความเร็วของการไหล และ  $C$  คือ ความเร็วของเสียงที่สภาวะเดียวกันกับการไหลนั้น

### 2.2 ทฤษฎีการไหลในท่อ [3]

ในการไหลจากแหล่งหรือภาชนะเข้าสู่ช่องทางปิด เช่น เส้นท่อ โดยมีของไหลอยู่เต็มหน้าตัดการไหล การกระจายของความเร็วจะเริ่มเปลี่ยนแปลง เมื่อเข้าสู่ช่องทางปิด การเปลี่ยนแปลงนี้จะเกิดขึ้นในช่วงความยาวระยะหนึ่งหลังจากนั้นจะคงสภาพเดิมโดยตลอด

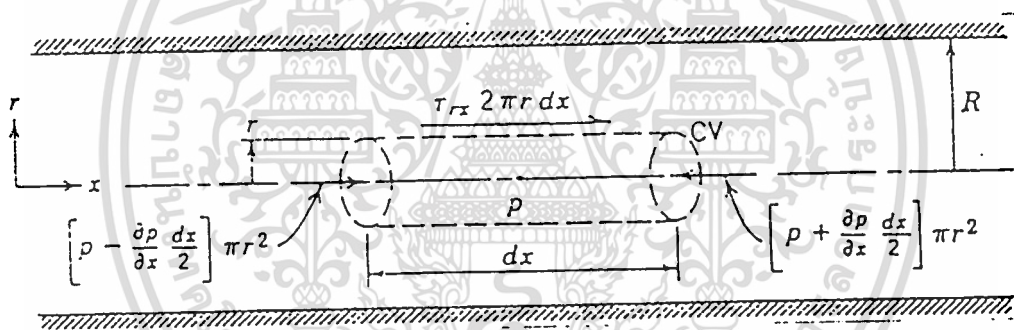
ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การไหลช่วงทางเข้าของท่อ [4]

### 2.2.1 การไหลเต็มแบบราบเรียบในท่อกลม

การไหลเต็มแบบราบเรียบในท่อกลม พิจารณาจากรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ปริมาตรควบคุมสำหรับการวิเคราะห์การกระจายแรงเฉือนในท่อกลม [7]

เมื่อพิจารณาปริมาตรควบคุมรูปทรงกระบอกตันพบว่า "ผลรวมของแรงทั้งหมด (แรงกระทำที่พื้นผิว  $F_{sx}$  และ แรงกระทำวัตถุ  $F_{bx}$ ) ที่กระทำต่อปริมาตรควบคุมที่ปราศจากความเร่งนั้น เท่ากับผลรวมของอัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมภายในปริมาตรควบคุม และ อัตราการไหลออกโดยสุทธิของโมเมนตัมข้ามผิวควบคุม" ได้สมการโมเมนตัมสำหรับปริมาตรควบคุม

$$F_{sx} + F_{bx} = \frac{\partial}{\partial t} \left( \int_{CV} u_r \, dV \right) + \int_{CS} u_r \, \vec{v} \, dA \quad (2.2)$$

เมื่อ

$$\text{อัตราการเปลี่ยนแปลงมวลภายในปริมาตรควบคุม } \frac{\partial (\int_{cv} \rho dV)}{\partial t} = 0$$

สำหรับการไหลแบบคงตัว (steady flow)

$$\text{อัตราการไหลออกโดยสุทธิของโมเมนตัมข้ามผิวควบคุม } \int_{cv} \rho \vec{v} d\vec{A} = 0$$

สำหรับการไหลแบบเต็มท่อ (fully developed flow)

$$\text{แรงกระทำวัตถุที่กระทำต่อปริมาตรควบคุม } F_{bx} = 0 \text{ สำหรับท่อแนวราบ}$$

แรงกระทำที่พื้นผิวกระทำต่อปริมาตรควบคุม  $F_{bx}$  เกิดจากแรงเนื่องจากความดัน และแรงเนื่องจากความเค้นเฉือนกระทำที่พื้นผิวปริมาตรควบคุม

$$F_{bx} = [p - (\partial p / \partial x)(dx/2)]\pi r^2 - [p + (\partial p / \partial x)(dx/2)]\pi r^2 + \tau_{rx} 2\pi r dx \quad (2.3)$$

$$\tau_{rx} = (r/2)(\partial p / \partial x) \quad (2.4)$$

เมื่อ  $(\partial p / \partial x)$  = ความดันที่เปลี่ยนไปตามแนวแกน

$p$  = ความดันที่จุดกึ่งกลางปริมาตรควบคุม

$\tau_{rx}$  = แรงเฉือนในระนาบ  $rx$

$r$  = รัศมีของปริมาตรควบคุม

$dx$  = ความยาวของปริมาตรควบคุม

เมื่อเป็นการไหลแบบราบเรียบ  $\tau_{rx} = \mu(du/dr)$  และเงื่อนไขของปัญหา คือ ที่  $r = R$ ,  $u = 0$  (ไม่มีการลื่นไหลที่ผนังท่อ) และ  $r = 0$ ,  $u = U$  จะได้การกระจายของความเร็วคือ

$$du/dr = (r/2\mu) (\partial p / \partial x) \quad (2.5)$$

อินทิเกรต

$$u = (r^2/4\mu) (\partial p / \partial x) + c \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ที่ } r = R, u = 0;$$

$$c = (-R^2/4\mu)(\partial p/\partial x) \quad (2.7)$$

$$u = [(r^2 - R^2)/(4\mu)](\partial p/\partial x) \quad (2.8)$$

$$\text{ที่ } r = 0, u = U;$$

$$U = c = (-R^2/4\mu)(\partial p/\partial x) \quad (2.9)$$

$$\text{เมื่อ } U = \text{ความเร็วสูงสุด (ม/ส)}$$

$$R = \text{รัศมีของท่อ (ม)}$$

### 2.2.2 การไหลเต็มแบบปั่นป่วนในท่อกลม

ในการไหลแบบปั่นป่วน ซึ่งมีการชน ๆ ลง ๆ ของความเร็วจะเกิดการถ่ายเทโมเมนตัมระหว่างชั้นของไหล เป็นผลให้เกิดการไหลวนเล็ก ๆ จำนวนมากมาย ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นจะประกอบด้วย ส่วนของความหนืด และส่วนของความปั่นป่วน ความเค้นเฉือนของความปั่นป่วนสามารถกำหนดได้ 2 แบบ คือ

แบบที่ 1 กำหนดให้อยู่ในรูปคล้ายกับการไหลแบบราบไว้คือ

$$\tau_{\text{urb}} = \mu (du/dy) \quad (2.10)$$

$$\text{เมื่อ } y = R - r$$

โดยที่  $\epsilon$  เรียกว่า ความหนืดของการไหลวน (Eddy Viscosity) มีค่าไม่คงที่ สำหรับการไหลและอุณหภูมิที่กำหนด แต่จะขึ้นอยู่กับสภาพความปั่นป่วนของการไหล ดังนั้นความเค้นเฉือนทั้งหมดที่เกิดขึ้น คือ

$$\tau_{rx} = \mu(du/dy) + \eta(du/dy) \quad \text{_____} \quad (2.11)$$

เมื่อ  $\mu = \rho\nu$ ,  $\eta = \rho\varepsilon$

$$\tau_{rx} = \rho(\nu + \varepsilon)(du/dy) \quad \text{_____} \quad (2.12)$$

เมื่อ  $\rho$  = ความหนาแน่น ( $\text{kg/m}^3$ )

$\varepsilon$  = ความหนืดจลนศาสตร์ของการไหลวน (Kinematic Eddy Viscosity)  $\text{m}^2/\text{s}$

$\nu$  = ความหนืดเชิงจลน (Kinematic Viscosity)  $\text{m}^2/\text{s}$

แบบที่ 2 กำหนดให้อยู่ในรูปของความเร็วส่วนที่ขึ้น ๆ ลง ๆ คือ

$$\tau_{rx} = -\rho \overline{uv'} \quad \text{_____} \quad (2.13)$$

โดยที่  $u'$  และ  $v'$  คือ ความเร็วในส่วนที่ขึ้น ๆ ลง ๆ ในแนวแกน x และ y ตามลำดับ  $\overline{uv'}$  คือ ค่าเฉลี่ยต่อเวลาของผลคูณ  $u'$  และ  $v'$  จัดเป็นรูปสมการของความเค้นเฉือน ซึ่งเรียกว่า ความเค้นเรย์โนลด์ (Reynold Stress) ดังนั้นความเค้นเฉือนทั้งหมดที่เกิดขึ้น คือ

$$\tau = \mu(d\bar{u}/dy) - \rho \overline{uv'} \quad \text{_____} \quad (2.14)$$

โดยที่  $\bar{u}$  = ความเร็วเฉลี่ย

$$\tau/\rho = \nu(du/dy) - \overline{uv'} \quad \text{_____} \quad (2.15)$$

เทอม  $\tau/p$  มักใช้เป็นค่าพิจารณาในการไหลแบบปั่นป่วน มีหน่วยเป็นความเร็ว กำลังสองจึงกำหนดให้  $u_* = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}}$  เรียกว่าความเร็วเสียดทาน (Friction Velocity) โดยที่  $\tau_w$  คือแรงเฉือนที่ชั้นติดผนังท่อ

ในบริเวณติดกับผนังท่อ ความเค้นเฉือนในส่วนของความหนืดจะมีอิทธิพลสูง ใน ส่วนของความปั่นป่วนจะมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้น  $\tau_w = \mu [d\bar{u}/dy]_{y=0}$

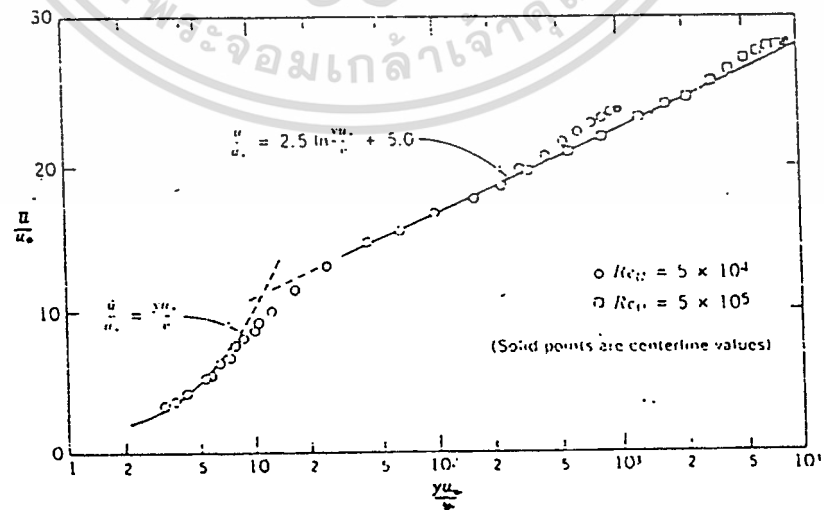
การกระจายของความเร็วสำหรับท่อผิวเรียบ (Smooth Pipe) ในบริเวณที่ เรียกว่า Viscous Sublayer Region ซึ่งมีค่า  $0 < y u_* < 5$  นี้คือ

$$\bar{u}/u_* = (y u_*/\nu) \tag{2.16}$$

โดยที่  $y = R - r$

ในบริเวณห่างจากผนังท่อออกไป จะอยู่ในอิทธิพลของความหนืดและความปั่นป่วน การกระจายของความเร็วสำหรับท่อผิวเรียบ พิจารณาจากรูปที่ 2.3 และได้สมการคือ

$$\bar{u}/u_* = 2.5 \ln (y u_*/\nu) + 5.0 \tag{2.17}$$



รูปที่ 2.3 รูปแบบของความเร็วยื่นปั่นป่วนของของไหลในท่อเรียบ [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



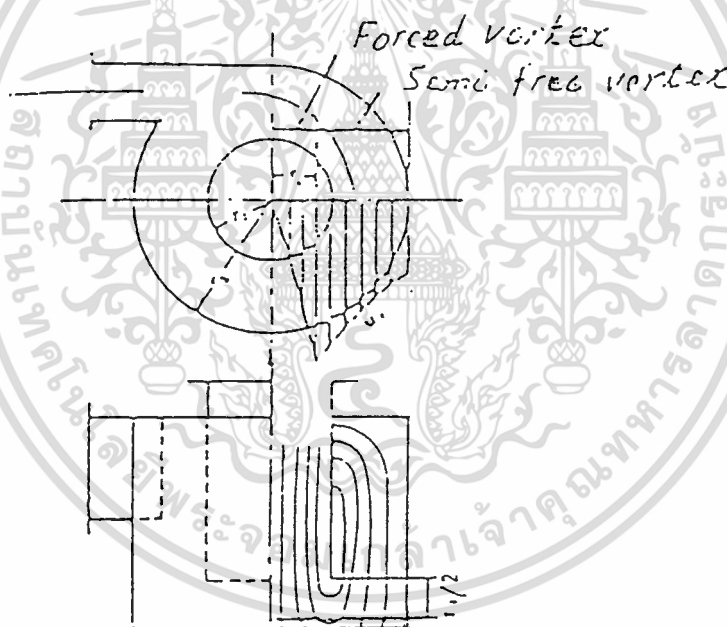
ในบริเวณใกล้เส้นศูนย์กลางท่อ จะอยู่ในอิทธิพลของความปั่นป่วน การกระจาย  
ของความเร็วสำหรับท่อผิวเรียบ คือ

$$(U-u)/u_* = 2.2 \ln (R/y) \quad (2.18)$$

โดยที่ U คือ ความเร็วที่แนวเส้นศูนย์กลางท่อ

### 2.2.3 ลักษณะหน้าตัดความเร็วในท่อ 2 ชั้น

เมื่อลมผ่านเข้ามาในท่อ 2 ชั้น โดยผ่านเข้ามาในวงแหวนชั้นนอก ลมจะหมุนวน  
ในท่อชั้นนอกและหากท่อด้านล่างปิดลมจะหมุนวนในทิศทางเดียวกัน กลับขึ้นมาและผ่านเข้าสู่ท่อชั้น  
ใน โดยมีลักษณะหน้าตัดของลมดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะหน้าตัดความเร็วในท่อ 2 ชั้น [11]

ลมหมุนในท่อชั้นนอกจึงมีลักษณะเป็น semi free vortex ซึ่งอนุภาคของของไหล  
เคลื่อนที่เป็นส่วนโค้งของวงกลมด้วยความเร็วแปรผกผันกับระยะทางจากศูนย์กลาง ส่วนลม  
หมุนชั้นในมีลักษณะเป็น force vortex [11] กรณีของ force vortex เมื่อของไหลหมุน  
รอบแกนท่อด้วยความเร็วเชิงมุมคงที่ ไม่มีความเค้นเฉือนเกิดในของไหลและมีเพียงความ

แรงที่เกิดขึ้น ในทิศทางตามแนวรัศมีพุ่งเข้าสู่แกนของกาเหาะหมุน ความดันที่จุดใด ๆ เท่ากับผลคูณของน้ำหนักจำเพาะและระยะทางจากผิวอิสระด้านบนตามแนวตั้ง [14]

การไหลของอนุภาคในแนวรัศมีกับส่วนโค้งของวงกลมมีค่าความเร็วเป็นศูนย์และความดันไม่เปลี่ยนแปลงตลอดเส้นทาง

ส่วนการไหลของอนุภาคในแนวรัศมี อนุภาคที่มีผิวอิสระขนาด  $\delta A$  และมีพื้นที่หน้าตัด  $\delta A$  และความดันที่  $r$  เท่ากับ  $p$  แล้วจะเห็นว่า ผิวด้านตรงกลางจะมีความดันเท่ากับ  $p + (\partial p / \partial r) \delta r$  และ ความเร่งเท่ากับ  $-\omega^2 r$  ดังนี้

$$p \delta A - (p + \frac{\partial p}{\partial r} \delta r) \delta A = \frac{\delta A \delta r \chi}{g} (-\omega^2 r) \quad (2.19)$$

หารตลอดด้วยปริมาตร  $\delta A \delta r$  จะได้

$$(\partial p / \partial r) = (\chi / g) \omega^2 r \quad (2.20)$$

เมื่อ  $p$  เป็นฟังก์ชันของ  $y$  และ  $r$  ดังนี้

$$dp = (\partial p / \partial y) dy + (\partial p / \partial r) dr \quad (2.21)$$

แทนค่า  $(\partial p / \partial y)$  และ  $(\partial p / \partial r)$

$$dp = -\chi dy + (\chi / g) \omega^2 r dr \quad (2.22)$$

หาก  $\chi =$  ค่าคงที่

$$p = (\chi / g) \omega^2 r^2 / 2 - \chi y + c \quad (2.23)$$

เมื่อ  $r = 0$ ,  $y = 0$  และ  $p = p_0$  ดังนั้น  $c = p_0$

$$p = p_0 + \chi \omega^2 r^2 / 2g - \chi y \quad (2.24)$$

เมื่อ  $y = 0$ ,  $p_0 = 0$  จะได้

$$h = p / \chi = \omega^2 r^2 / 2g \quad (2.25)$$

ซึ่งทราบถึงความดันในรูปของความสูง หรือความลึกของของไหลเปลี่ยนแปลงตามรัศมียกกำลังสอง ผิวของความดันที่เท่ากันจึงเป็นรูปของนาราโบลอยด์ ค่าความดันที่ระดับใด ๆ จะแปรผันตามรัศมียกกำลังสอง นั่นคือระยะทางจากแกนกลางมาก ความดันยิ่งมากขึ้นคือความเร็วลมจะยิ่งมาก ส่วนตอนกลางจะมีค่าน้อย ดังรูปที่ 2.4

## 2.2.4 การสูญเสียกำลังงานในท่อ [1]

การสูญเสียกำลังงานในท่อ เนื่องจากความต้านทานสามารถแบ่งออกเป็น

1. การสูญเสียหลัก (Major Loss) ส่วนใหญ่เกิดจากความเสียดทานของผิวท่อ ขนาดของท่อ ความยาวของท่อ และความเร็วในการไหล ถ้าของไหลไหลในผิวท่อที่ขรุขระ ความยาวของท่อมาก และความเร็วในการไหลสูง การสูญเสียกำลังงานจะสูงตามไปด้วย แต่การสูญเสียกำลังงานจะลดลงถ้าท่อมีขนาดโตขึ้น

แฟคเตอร์ของความเสียดทาน ( $f$ ) เป็นแฟคเตอร์ที่ไม่มีหน่วย ใช้สำหรับหาการสูญเสียหลัก ประดิษฐ์แฟคเตอร์ของความเสียดทานนี้แปรผกผันตาม  $Re$  แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

ก. แฟคเตอร์ของความเสียดทานของการไหลแบบราบเรียบ

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2.26)$$

ข. แฟคเตอร์ของความเสียดทานของการไหลแบบปั่นป่วน ประดิษฐ์ในการไหลของของไหลแบบปั่นป่วนไม่มีสูตรหาค่า  $f$  ที่แน่นอน เราทราบเพียงแต่ว่า  $f$  เป็นฟังก์ชันของ  $Re$  และความขรุขระของท่อ ( $e$ ) ดังนั้นค่า  $f$  จึงต้องหาจากกราฟ รูปที่ 2.4 ที่ได้จากการทดลอง

การคำนวณค่าการสูญเสียหลักในท่อกลมหาได้จาก

$$h_{L_e} = \frac{fLV^2}{D2g} \quad (2.27)$$

เมื่อ  $h_{L_e}$  = ค่าการสูญเสียหลัก (ม)

$f$  = แฟคเตอร์ของความเสียดทาน

$L$  = ความยาวท่อ (ม)

$D$  = เส้นผ่านศูนย์กลางในท่อกลม (ม)

$V$  = ความเร็วในการไหลของของไหล (ม/ส)

$g$  = อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (ม/ส<sup>2</sup>)

2. การสูญเสียรอง (Minor Loss) หมายถึง การสูญเสียกำลังงาน เนื่องจากการไหลของของไหลในท่อเมื่อของไหลผ่าน ข้อต่อ ข้ออ ล้น ในกรณีที่เป็นท่อ สั้น ๆ การสูญเสียจะมีผลต่อการไหลของของไหลมาก ดังตารางที่ 2.1

การคำนวณค่าการสูญเสียรองหาได้จาก

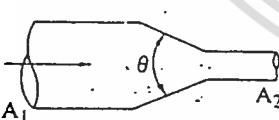
$$h_{L_m} = \frac{K_L V^2}{2g} \quad (2.28)$$

เมื่อ  $h_{L_m}$  = การสูญเสียรอง (ม)

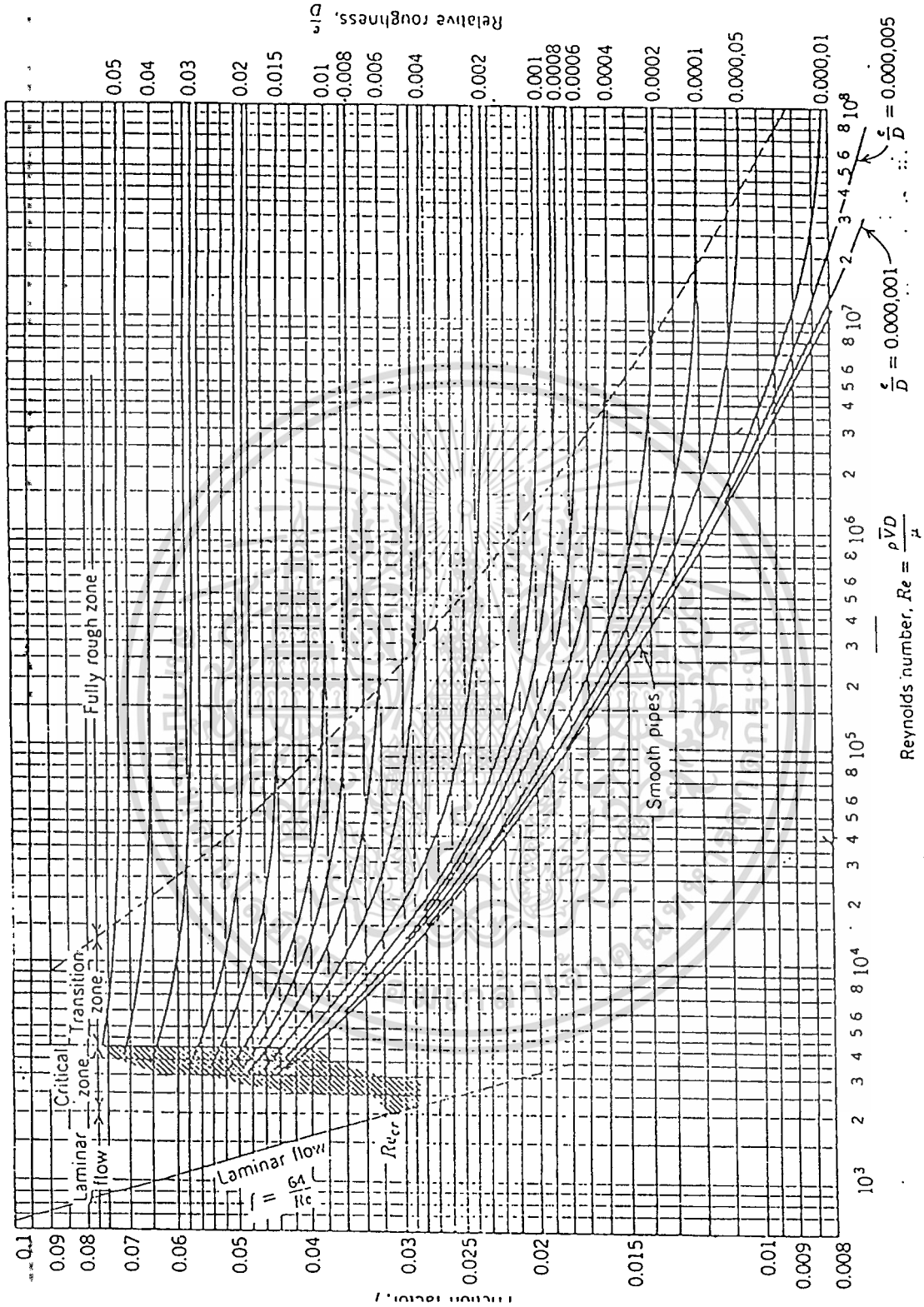
$K_L$  = สัมประสิทธิ์ของการสูญเสีย

$V$  = ความเร็วในการไหลของของไหล (ม/ส)

$g$  = อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (ม/ส<sup>2</sup>)

มุมทางกรวย, $\theta$ , องศา								
	$A_2/A_1$	10	15-40	50-60	90	120	150	180
	0.50	0.05	0.05	0.06	0.12	0.18	0.24	0.26
	0.25	0.05	0.04	0.07	0.17	0.27	0.35	0.41
	0.10	0.05	0.05	0.08	0.19	0.29	0.37	0.43

ตารางที่ 2.1 ค่า  $K$  และ  $Le/D$  สำหรับประตุน้ำและข้อต่อ [3]



รูปที่ 2.5 ตัวประกอบความเสียดทานในท่อกลมสำหรับการไหลปรับตัวสมบูรณ์ [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

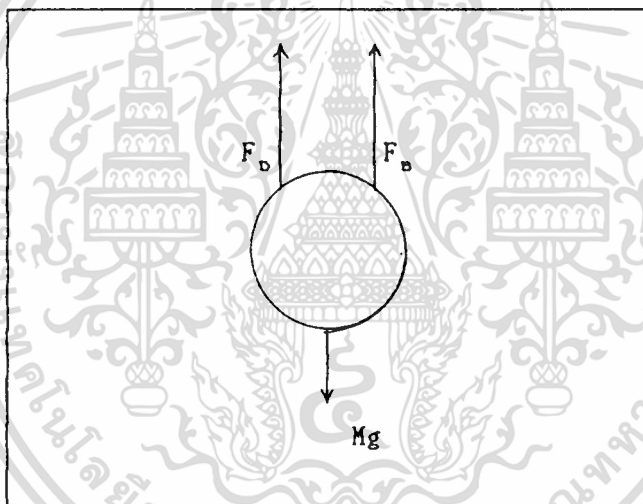
## 2.3 สมบัติทางอากาศพลศาสตร์ของวัสดุเกษตร

### 2.3.1 ความเร็วสุดท้าย (Terminal Velocity)

สมบัติทางอากาศพลศาสตร์ของอนุภาค หากจากสมการที่มีเงื่อนไขให้อนุภาค ลอยหยุดนิ่งในกระแสอากาศ ซึ่งแรงในแนวตั้งสมดุลกัน ดังรูปที่ 2.6

$$\Sigma F_v = 0$$

$$F_D + F_b - Mg = 0 \quad \text{_____ (2.29)}$$



รูปที่ 2.6 วัตถุตกอิสระภายใต้กระแสอากาศ

เมื่อ  $F_D$  = แรงต้านทาน (Drag Force)

$F_b$  = แรงพองในของไหล (Buoyancy Force)

$Mg$  = แรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (Gravity Force)

$$F_D = (1/2) C_D \rho_a A_p v_r^2$$

$$F_b = \rho_a g V_p$$

- เมื่อ  $C_D =$  ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทาน
- $\rho_a =$  ความหนาแน่นอากาศ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
- $A_D =$  พื้นที่ภาพฉาย ( $\text{m}^2$ )
- $v_a =$  ความเร็วสุดท้าย ( $\text{m}/\text{s}$ )
- $\rho_o =$  ความหนาแน่นอนุภาค ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
- $V_D =$  ปริมาตรของอนุภาค ( $\text{m}^3$ )

เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่ไปในของไหลแล้ว เมื่อแรงลัพธ์กระทำในแนวตั้งเท่ากับศูนย์ อนุภาค จะมีความเร็วคงที่เท่ากับความเร็วสุดท้าย  $v_a$  หรืออยู่หนึ่ง  
 ิ่งจะได้

$$F_D + F_g = Mg$$

$$(1/2)C_D \rho_a A_D v_a^2 + \rho_a g V_D = \rho_o g V_D$$

$$(1/2)C_D \rho_a A_D v_a^2 = (\rho_o - \rho_a) g V_D \quad (2.30)$$

เนื่องจากความหนาแน่นของอากาศมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับความหนาแน่นของ อนุภาค จึงตัดแรงพุ่งออกได้ ( $F_D$ )  
 จะได้

$$(1/2)C_D \rho_a A_D v_a^2 = \rho_o g V_D$$

$$v_a^2 = \frac{2(\rho_o g V_D)}{C_D \rho_a A_D} \quad (2.31)$$

สำหรับทรงกลม

$$A_D = (1/4) \pi d^2$$

$$M = (1/6) \pi \rho_o d^3$$

เมื่อ  $d =$  เส้นผ่านศูนย์กลาง (ม)

Lapple[12] (อ้างโดย Gorial และ O'Callaghan[8]) ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานของอนุภาคทรงกลมมีค่า 0.44 ในช่วง  $Re = 1,000$  ถึง  $200,000$  แทนค่าในสมการ (2.31)

$$V_c^2 = 3gd(\rho_p/\rho_f) \quad (2.32)$$

ซึ่ง  $Re$  หาจาก  $Re = (\rho_f v_c d/\mu)$

สำหรับทรงกระบอกวงตัวในแนวราบ

$$A_p = dL$$

$$M = (\pi/4)\rho_p d^2 L$$

Schiller[13] (อ้างโดย Gorial และ O'Callaghan[8]) พบว่าเมื่อ  $Re < 50$  ถ้าวัตถุนั้นมีรูปร่างค่อนข้างกลม สามารถใช้สูตรของทรงกลมประมาณค่า  $C_D$  และใช้เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลย์ ถ้า  $Re > 50$  ไม่สามารถใช้สูตรของทรงกลมได้

หากวัตถุมีรูปร่างใกล้เคียงทรงกลม เช่น วัตถุสี่เหลี่ยม อาจใช้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลย์โดยปริมาตรของทรงกลมในการคำนวณได้ หากวัตถุมีรูปร่างไม่ใกล้เคียงทรงกลมหรือรูปทรงเรขาคณิต ค่าที่ได้จากค่าสมมูลย์จะมีข้อผิดพลาดมาก

Heywood[9] (อ้างโดย Gorial และ O'Callaghan[8]) ทำนายค่าความเร็วสุดท้ายของเม็ดวัสดุที่มีรูปร่างไม่เป็นทรงกลม โดยอาศัยแฟคเตอร์รูปร่าง ( $Z$ ) มีค่า  $\pi/6Z$  เพื่อแก้ไขค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานของทรงกลม

$$V_c^2 = \frac{4g\rho_f(6Z/\pi)}{3\rho_p(0.44)} \quad (2.33)$$

ค่า  $Z$  ของเม็ดวัสดุโดยทั่วไปมีค่าประมาณ 0.4 ขณะที่ทรงกลม  $Z$  คือ  $\pi/6$

Tiwari[16] (อ้างโดย Gorial และ O'Callaghan[8]) ได้ทดสอบการแยกตัวออกจากเศษฝุ่นเศษใบไม้ โดยใช้อัลม พบว่า ค่าความเร็วที่ถ่วงลอยหยุดนิ่ง จากการทดสอบมีค่าน้อยกว่าจากการคำนวณเชื่อว่าเป็นผลจากการปั่น และการหมุนของตัวในกระแสอากาศ

Bilanski และ Lal[6] (อ้างโดย Gorial และ O'Callaghan[8]) พบว่า ความเร็วสุดท้ายของเมล็ดธัญพืช และฟาง แปรผันตามความยาววัสดุ

Bilanski et al.[5] และ Bilanski และ Lal[6] (อ้างโดย Gorial และ O'Callaghan[8]) สรุปว่าการหมุนของอนุภาคในกระแสอากาศ เป็นสาเหตุให้เกิด แรงต้านทานสูงขึ้น และความเร็วจุดสุดท้ายต่ำลง

### 2.3.2 สัมประสิทธิ์แรงต้านทานทางอากาศพลศาสตร์ (Drag Coefficient)

เมื่อวัตถุจมอยู่ในของไหลที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $V$  จะเกิดความแตกต่างของความดันรอบวัตถุ ความแตกต่างของความดันทำให้เกิดแรงยก (Lift) นอกจากนี้ยังมีแรงเฉื่อย ทำให้เกิดแรงเสียดทานของวัตถุต่อของไหล (Drag หรือ Friction)

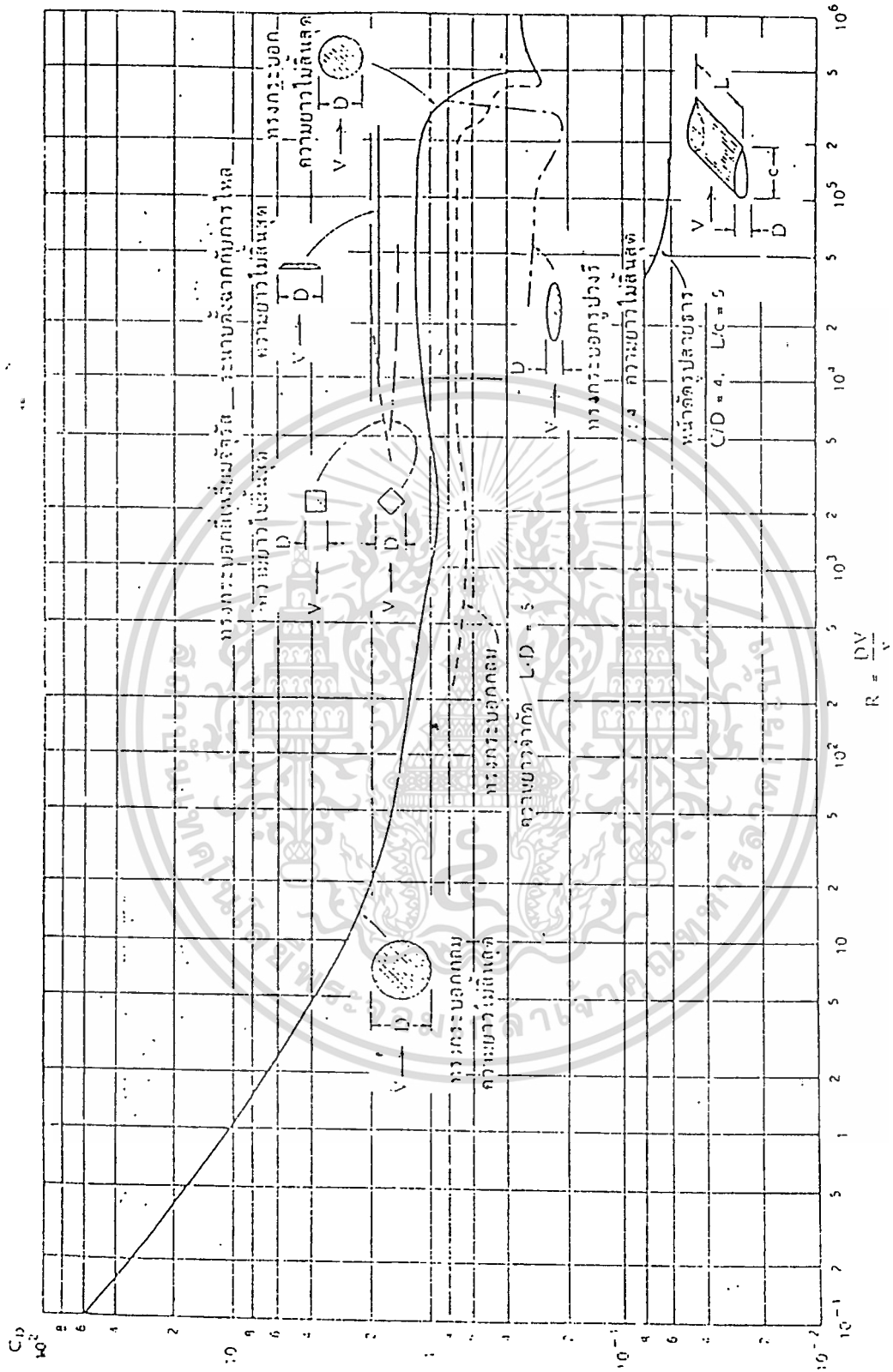
ผลรวมของแรงต้านทานของวัตถุต่อของไหล (Drag Force) หาได้จาก ผลรวมของแรงย่อย 2 แรง คือ แรงเสียดทาน และแรงยก

$$F_D = C_D A_D \rho_a v_a^2 / 2 \quad (2.34)$$

เมื่อ  $F_D$  = แรงต้านทานรวม

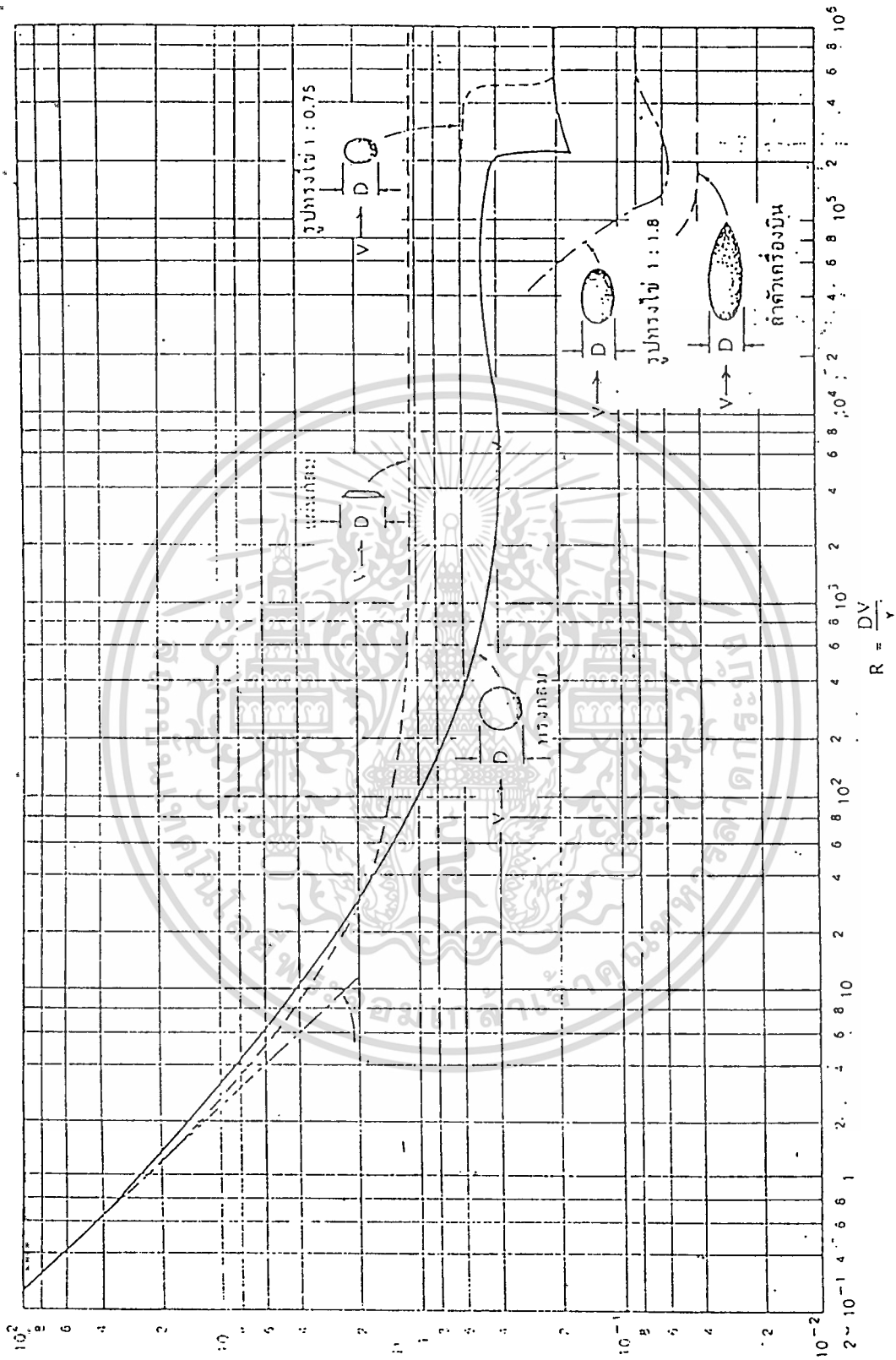
$C_D$  = สัมประสิทธิ์แรงต้านทาน

ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานของเมล็ดธัญพืชนั้น หาได้จากการทดลอง โดยวัดค่า ความเร็วของกระแสอากาศ ที่ทำให้อนุภาคลอยหยุดนิ่ง แล้วนำมาแทนค่าในสมการที่ (2.31) ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วเนื่องจากรูปร่างลักษณะ ของเมล็ดธัญพืชมีรูปร่างที่ไม่ใช่รูปทรงเรขาคณิต ดังนั้นจึงต้องจัดให้อยู่ในรูปทรงทางเรขาคณิตดังรูปที่ 2.7 และ 2.8 ค่าที่ใกล้เคียงสุด คือ ทรงกลม และทรงกระบอก เพื่อสะดวกในการหาค่า  $Re$  ซึ่งต้องนำไปใช้หาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานอีกที



รูปที่ 2.7 ค่า  $C_D$  ของทรงกระบอกและรูปทรงอื่น ๆ ใน 2 มิติ [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ค่า  $C_D$  ของทรงกลมและรูปทรงอื่น ๆ ใน 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### การออกแบบและการสร้าง

#### 3.1 องค์ประกอบของระบบการหาสมบัติทางอากาศพลศาสตร์ของวัสดุเกษตร

การออกแบบ (Planning Design Drawing) รายละเอียดแสดงในรูปที่ 3.1  
และในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รายการชิ้นส่วนประกอบ

No.	Parts name	Materials	Size(mm)	Amount
1	Fan blower	FY-06FCS-B	D=181.00	1
2	Flexible hose	Plastic canvas	139*139*250	1
3	Air chamber	Clear acrylic plate	450*450*450	1
4	Air deflector	Clear acrylic plate	450*185*10	3
5	Air collector	Galvanized steel	D=200,D=143, L=325	1
6	Bell mouth	Galvanized steel	D=200,L=50	1
7	Working part	Clear acrylic pipe	D=143,L=1000	1
		Wire mesh screen		1
		Locking set		1
8	Wood frame	Wood chip		2
9	Bolt 1	Steel	M 4, L=35	15
10	Bolt 2	Steel	M 6, L=40	28
11	Nut 1	Steel	M 4	15

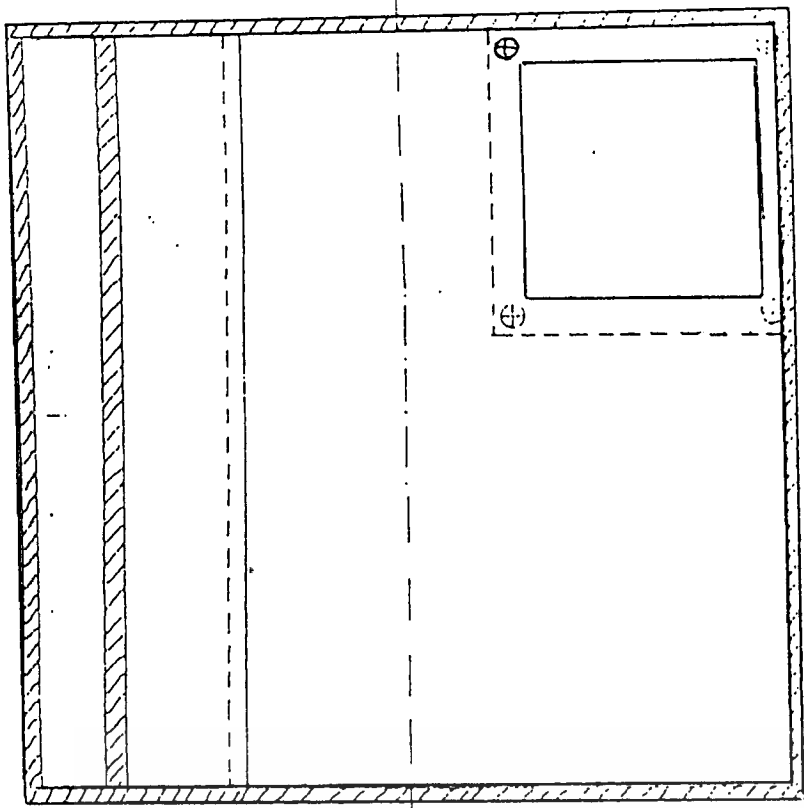
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

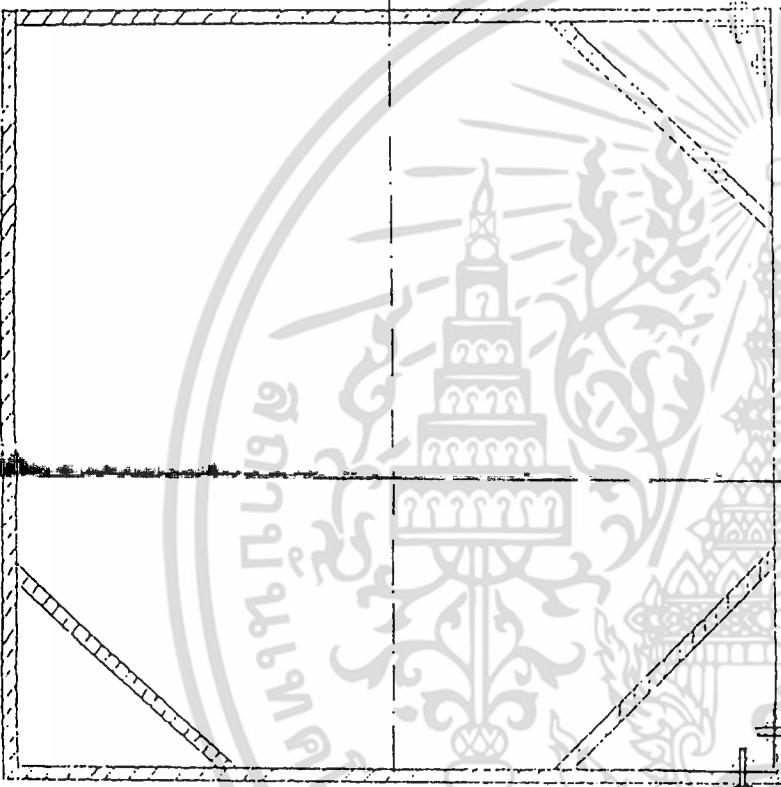
12	Nut 2	Steel	M 6	28
13	Nylon net	Nylon	300*300	1
14	Angle steel	Steel	40*40 ,t=2	2



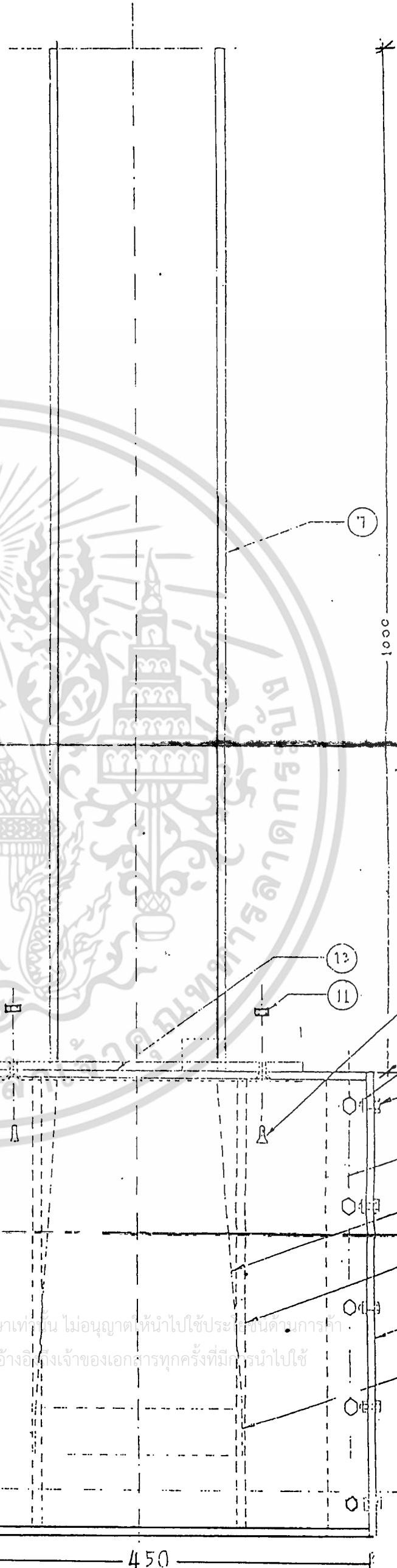
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SECTION A-A



SECTION B-B



B

450

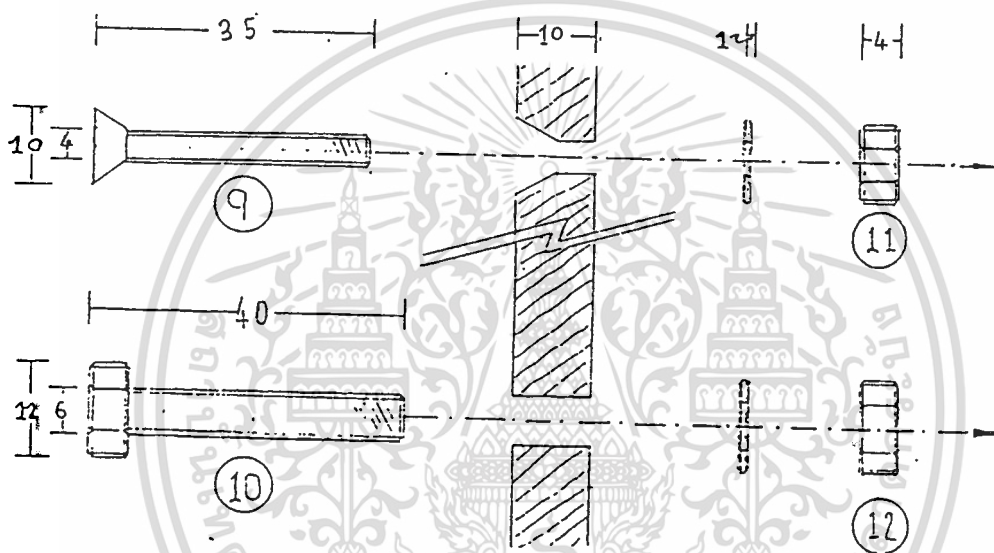
B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตีพิมพ์ในนิตยสาร และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบเครื่องมือทดสอบคุณสมบัติทางอากาศพลศาสตร์ของวัสดุเกษตร

### 3.2 หลักการและหน้าที่ขององค์ประกอบต่าง ๆ

เนื่องจากระบบการหาสมบัติทางอากาศพลศาสตร์ จัดเป็นเครื่องมือวัด ค่าต่าง ๆ จะต้องมีความแม่นยำสูง การสร้างต้องประณีต หัวของสลิคเกลียวต้องเรียบเสมอผิวภายในห้องอากาศ ดังรูปที่ 3.2 เพื่อให้ลมในระบบมีความสม่ำเสมอ และ เครื่องมือวัดมีความสิ้นสะเทือนน้อยที่สุด



รูปที่ 3.2 ลักษณะการติดสลิคเกลียวภายในเครื่อง

ลมที่ใช้ในระบบได้จากพัดลมแบบ (Centrifugal Forward Blade) โดยลมจะเข้าทางด้านข้างของห้องอากาศ (Air Chamber) เนื่องจากพัดลมมีการสิ้นสะเทือนจึงต้องต่อท่อผ้าใบระหว่างของพัดลมเพื่อลดการสิ้นสะเทือน

ลมที่เป่าเข้าห้องอากาศจะถูกเปลี่ยนทิศทางโดยแผ่นกั้น (Air Deflector) จำนวน 3 แผ่น ซึ่งอยู่แต่ละมุมของห้องอากาศและรักษาพลังงานจลน์ของอากาศ

การหมุนของอากาศทำให้กระแสอากาศกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในแนวรัศมี เข้าไปในปากกระชัง (Bell Mouth) ซึ่งทำให้ profile ความเร็วดีขึ้น

ในส่วนล่างของท่อมีกรับกระจายอากาศ (Air Guide Vane) มีหน้าที่ช่วยกระจายลม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะโดยใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การเลือกพัดลม

#### 3.3.1 การคำนวณปริมาณลมที่ต้องการ

จากข้อมูล สัมพันธ์ ไชยเทพ [1] จะทราบว่าค่าความเร็วสุดท้ายของเมล็ดตัณยูพืช มีค่าประมาณ 8-18 เมตรต่อวินาที เพราะฉะนั้นเครื่องจึงถูกตั้งค่าความเร็วไว้ประมาณ 8-20 เมตรต่อวินาที จากค่าความเร็วดังกล่าวสามารถคำนวณปริมาณลมที่ต้องการได้จากสมการ

$$Q = VA * 60 * 10^{-6} \quad (3.1)$$

$$Q = V\pi / 4 D^2 * 60 * 10^{-6} \quad (3.2)$$

เมื่อ

$$Q = \text{ปริมาณลม (cmm)}$$

$$V = \text{ความเร็วลม (m/s)}$$

$$A = \text{พื้นที่หน้าตัดภายในท่อ (mm}^2\text{)}$$

$$D = \text{เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (mm)}$$

เมื่อ  $V = 8 \text{ m/s};$

$$Q = 8 * \pi / 4 * (143)^2 * 60 * 10^{-6}$$

$$= 7.71 \quad \text{cmm}$$

เมื่อ  $V = 20 \text{ m/s};$

$$Q = 20 * \pi / 4 * (143)^2 * 60 * 10^{-6}$$

$$= 19.27 \quad \text{cmm}$$

#### 3.3.2 การคำนวณการสูญเสียความดันลมสถิต (Static Pressure)

การสูญเสียความดันลมสถิต ภายในเครื่องแบ่งเป็นหัวข้อย่อย ๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การสูญเสียเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งตามแนวตั้ง โดยคิดเป็น ความสูงของอากาศ แล้วแปลงเป็นค่าความสูงของน้ำ

ความสูงของท่อวัดความเร็วลม	1000.00	มม
ความหนาของผนังด้านบนห้องอากาศ	10.00	มม
ความสูงของตัวกระจายลม	375.00	มม
ครึ่งหนึ่งของช่องว่างใต้ตัวกระจายลม	37.50	มม
รวมความสูงทั้งหมด	1422.50	มม

แปลงความสูงของอากาศเป็นความสูงของน้ำ โดยคุณอัตราส่วนระหว่าง ความหนาแน่นของอากาศต่อความหนาแน่นของน้ำ ซึ่งเท่ากับ

$$h = (1.2/1000) * 1422.5 = 1.707 \text{ มม}$$

2. การสูญเสียภายในท่อวัดความเร็วลมคำนวณจากสมการที่ 2.20 โดยคุณอัตราส่วนระหว่าง ความหนาแน่นของอากาศต่อความหนาแน่นของน้ำ ซึ่งเท่ากับ

$$h_{Lc} = \frac{fLV^2(1.2/1000)}{2Dg} \quad (3.3)$$

จากรูปที่ 2.4 หาค่า  $f = 0.04$  (ใช้ค่าที่อธิบาย)

เมื่อ  $V = 8 \text{ m/s}$  ;

$$h_{Lc} = \frac{(0.04)(1000)(8*1000)^2(1.2/1000)}{2(143)(9.81*1000)}$$

$$= 1.09 \text{ มม}$$

เมื่อ  $V = 20 \text{ m/s}$  ;

$$h_{Lc} = \frac{(0.04)(1000)(20*1000)^2(1.2/1000)}{2(143)(9.81*1000)}$$

$$= 6.84 \text{ มม}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การสูญเสียในท่อลดคิดจากสมการที่ 2.21 โดยคูณอัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของอากาศต่อความหนาแน่นของน้ำ ซึ่งเท่ากับ

$$h_{L_m} = \frac{K_L V^2 (1.2/1000)}{2g} \quad (3.4)$$

จากตารางที่ 2.1 ได้  $K_L = 0.05$  ( $L_e = 28.26$ ,  $A_1/A_2 = 0.59$ )

เมื่อ  $V = 8$  m/s ;

$$h_{L_m} = \frac{(0.05) (8 \cdot 1000)^2 (1.2/1000)}{2(9.81 \cdot 1000)}$$

$$= 0.196 \text{ mm}$$

เมื่อ  $V = 20$  m/s ;

$$h_{L_m} = \frac{(0.05) (20 \cdot 1000)^2 (1.2/1000)}{2(9.81 \cdot 1000)}$$

$$= 1.223 \text{ mm}$$

4. การสูญเสียในครีบริบายอากาศ

5. การสูญเสียในตาข่ายในลอน

6. การสูญเสียในห้องอากาศ

7. การสูญเสียในท่อทางเข้าอากาศ

การสูญเสียในสี่ลักษณะหลัง มีหลักการคำนวณที่อยู่ชากอาจใช้วิธีคิดรวมไว้ในค่า

ความปลอดภัย โดยกำหนดค่าความปลอดภัยไว้เท่ากับ 2

การสูญเสียทั้งหมด

เมื่อ  $V = 8$  m/s ;

$$\text{total loss} = 1.707 + 1.09 + 0.196 = 2.993 \text{ mm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $V = 20 \text{ m/s}$  ;

$$\text{total loss} = 1.707 + 6.84 + 1.223 = 9.770 \text{ mm}_w$$

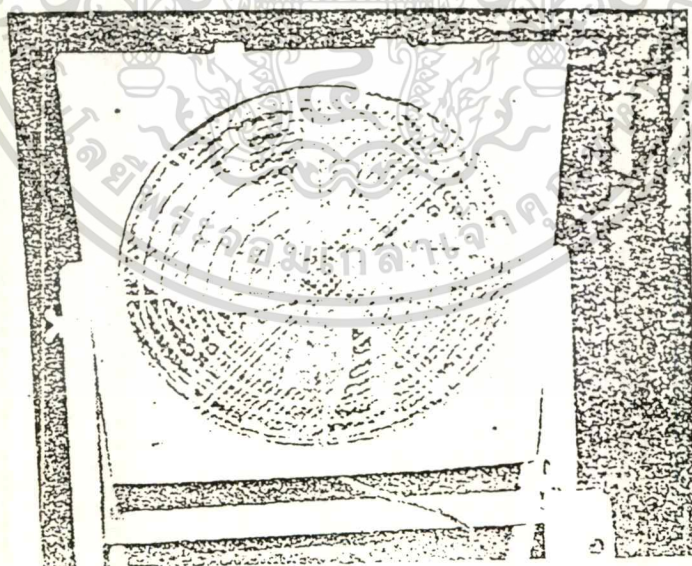
เมื่อคิดรวมค่าความปลอตกัยแล้วจะได้ช่วงความดันใช้งาน SP อยู่ในช่วง

5.99 - 19.54  $\text{mm}_w$  เมื่อความเร็วลมอยู่ในช่วง 8 - 20  $\text{m/s}$

### 3.3.3 การเลือกชนิดของพัดลม [12]

พัดลมที่พบในอุตสาหกรรมแบ่งเป็น

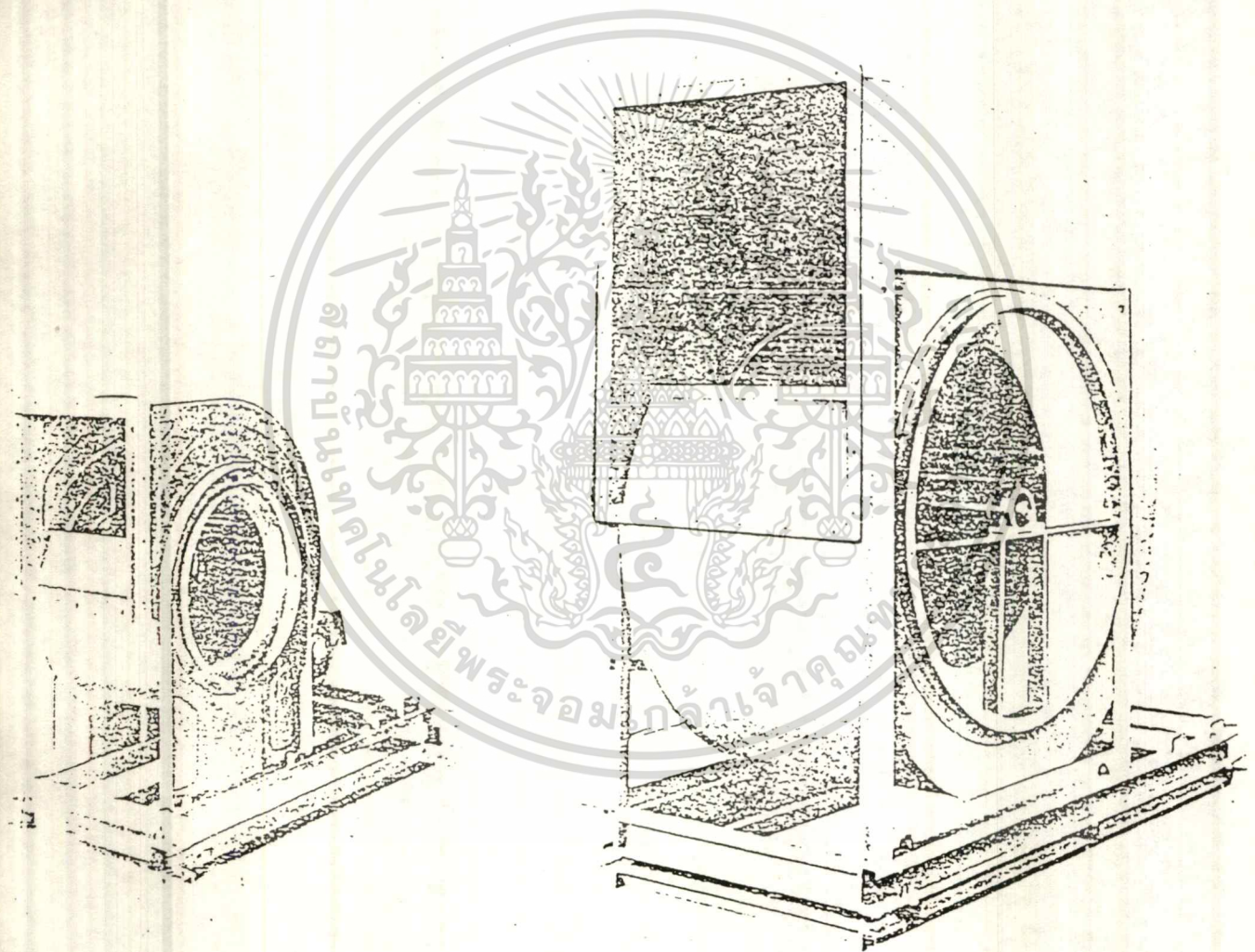
1. พัดลมแบบใบพัด (Propeller Fan) เหมาะสำหรับการติดตั้งแบบ free blow มักไม่ต่อกับท่อลม มีราคาถูกและติดตั้งง่าย ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 พัดลมแบบใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. พัดลมแบบแรงเหวี่ยง (Centrifugal Fan) เหมาะสำหรับการติดตั้ง  
 ในระบบที่ต้องใช้ความดันลมสถิตตั้งแต่ 0.5 นิ้วน้ำขึ้นไป เหตุที่เลือกใช้พัดลมชนิดนี้เพราะใน  
 เครื่องมีการสูญเสียความดันสถิตย่ ดึงได้กล่าวมาแล้วดังรูปที่ 3.4

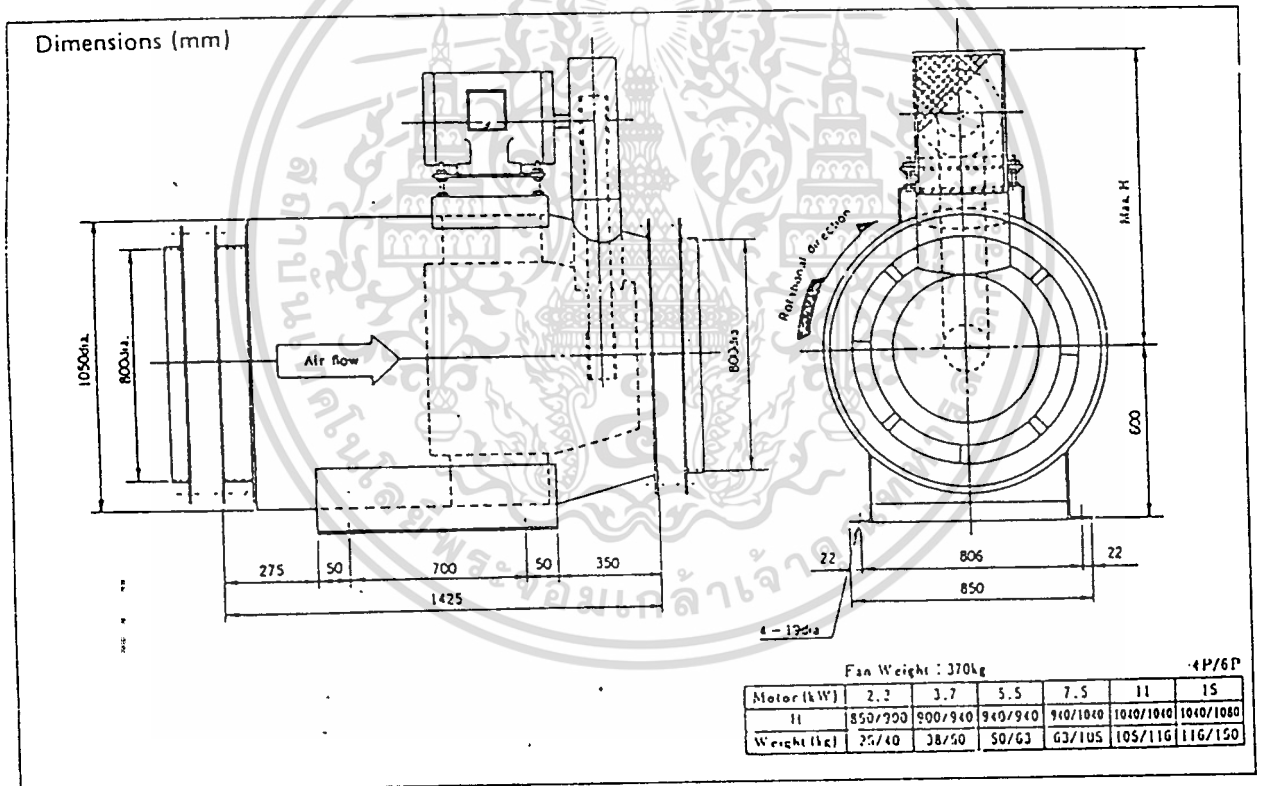


รูปที่ 3.4 พัดลมแบบแรงเหวี่ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.พัดลมแบบไหลตามแกน (Axial Flow Fan) มีราคาถูกให้ความดันต่ำ

มักพบว่ามีเสียงดัง ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 พัดลมแบบไหลตามแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.4 การเลือกขนาดพัดลมจากกราฟ Air Performance

จากการคำนวณที่กล่าวมาแล้ว

ปริมาณลมอยู่ในช่วง 7.71-19.27 cmm

ความดันลมอยู่ในช่วง 5.99-19.54 mm

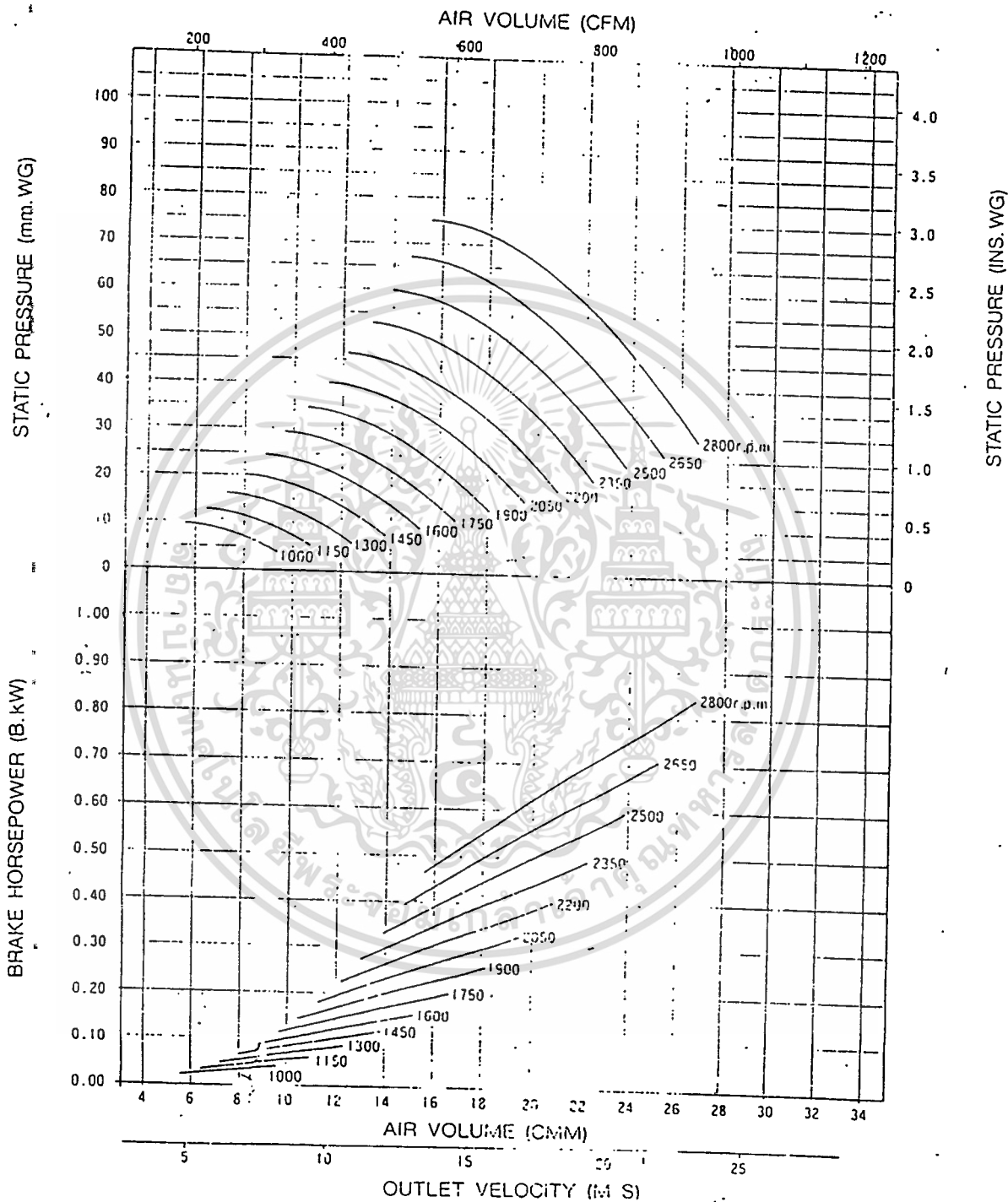
นำไปเลือกค่า RPM จากกราฟรูปที่ 3.6

ซึ่งได้ค่าประมาณ 1000-2200 RPM

และได้ค่าแรงม้า 0.05-0.40 B.kw



AIR PERFORMANCE



\* Fans selected in shaded area must have oversized shaft and bearings and a heavy wheel.

รูปที่ 3.6 สมรรถนะของพัดลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.5 การเลือกมอเตอร์

เลือกจากกราฟรูปที่ 3.5 ของพัดลมซึ่งคำนวณได้ไม่เกิน 0.40 B.kw โดยสามารถปรับค่า RPM ของมอเตอร์ได้จากเครื่อง Inverter ดังสมการ

$$\text{ความเร็วเชิงโคโรนัส} = \frac{120 * (\text{Hz})}{4 \text{ pole}} \text{ RPM} \quad (3.5)$$

เมื่อหักค่า slip 5% จะได้ค่าความเร็วพิกัด

### 3.3.6 การหาความเร็วรอบเพื่อการทดสอบ

จากหัวข้อที่ผ่านมาสามารถหาจำนวนรอบที่ต้องการของพัดลมอยู่ในช่วง 1000-2200 RPM และทราบว่าเครื่อง Inverter สามารถปรับค่าความถี่ได้ตั้งแต่ 0.5-400 Hz เลือกความถี่ที่ตกลงในสมการที่ 3.5 ได้

เมื่อ ความถี่ = 30 Hz ;

$$\begin{aligned} \text{ความเร็วพิกัด} &= (120/4) * 30 * (95/100) \\ &= 855 \text{ RPM} \end{aligned}$$

$$\text{อัตราทดรอบ} = \frac{\text{ความเร็วพัดลม}}{\text{ความเร็วพิกัด}} \quad (3.6)$$

$$= \frac{1000}{855}$$

$$= 1.17$$

เพราะฉะนั้นสามารถหาความถี่สูงสุดที่ใช้ทดสอบได้จาก

$$\begin{aligned} \text{ความเร็วพิกัดสูงสุด} &= \frac{\text{ความเร็วพัฒนา}}{\text{อัตราทดรอบ}} \\ &= \frac{2200}{1.17} \end{aligned}$$

$$= 1881 \text{ RPM}$$

$$\begin{aligned} \text{ความถี่สูงสุด} &= (1881) * (4/120) * (100/95) \\ &= 66 \text{ Hz} \end{aligned}$$

### 3.4 แบบชิ้นส่วน

#### 3.4.1 ห้องอากาศ

ห้องอากาศทำจากแผ่นพลาสติกใสหนา 10 มม. มีปริมาตร  $450 * 450 * 450 \text{ mm}^3$

ใช้น้ำยาติดพลาสติกในการประกอบ

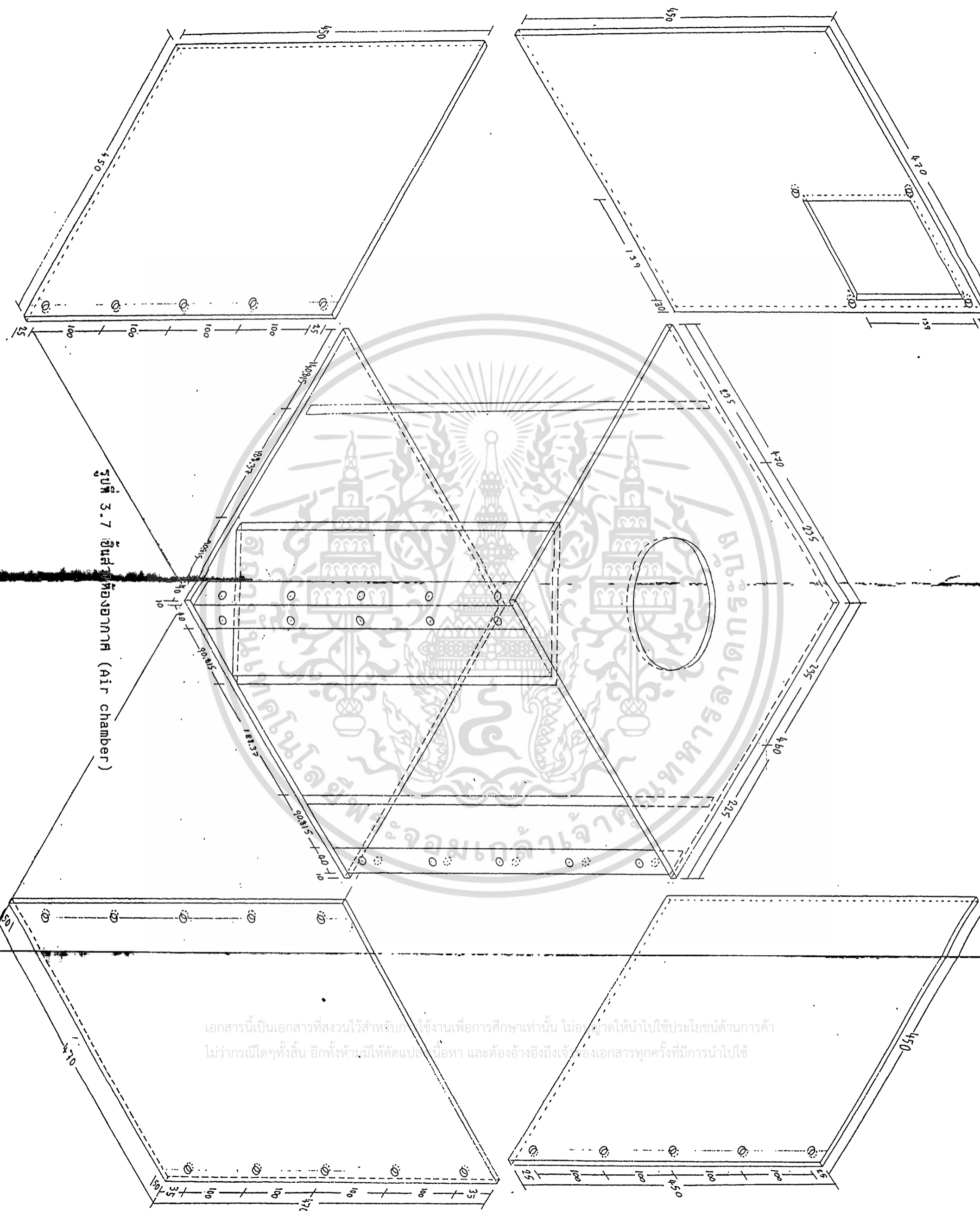
ห้องอากาศทุกเจาะ 2 ด้าน ด้านบนและด้านข้าง ด้านข้างเจาะเป็นรูสี่เหลี่ยมขนาด  $139 * 139 \text{ mm}^2$  เพื่อเป็นทางเข้าของลมจากพัดลม

ด้านบนถูกเจาะเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 143 มม. เป็นทางออกของลมสู่เข้าสู่ท่อวัดความเร็วลม และมีแผ่นตาข่ายไนลอนกั้นอยู่

ด้านข้างด้านหนึ่งของห้องอากาศยึดติดกับด้านอื่น ๆ โดสใช้สลักเกลียวและแป้นเกลียวซึ่งทำให้สามารถถอดออกได้ดังรูปที่ 3.7

#### 3.4.2 ท่อทางเข้าอากาศ

ท่อทางเข้าอากาศทำจากแผ่นผ้าใบ เย็บเป็นท่อสี่เหลี่ยม  $139 * 139 \text{ มม}$  ยาว 250 มม. ด้านที่ติดกับทางออกของพัดลม และทางเข้าห้องอากาศ ถูกประกบด้วยแผ่นไม้อัด



รูปที่ 3.7 อินสตาห้องอากาศ (Air chamber)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.3 ท่อวัดความเร็วลม

มีลักษณะเป็นท่อกลมทำจากแผ่นพลาสติกใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 143 มม หนา 3 มม ยาว 1000 มม แบ่งเป็น 2 คอน เพื่อใส่ตะแกรงวางวัสดุไว้ตรงกลาง ยาวคอนละ 500 มม. ดังรูปที่ 3.8

### 3.4.4 ท่อลด

ท่อลดมีลักษณะเป็นท่อทราซลดขนาด ทำจากแผ่นสังกะสี เส้นผ่านศูนย์กลาง 200 มม ลดลงเหลือ 143 มม สูง 325 มม ปลายด้านบนมีหน้าแปลนสังกะสี เพื่อไว้ยึดติดกับห้องอากาศ ด้านล่างแบ่งเป็นช่องสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ ภายในบรรจุหลอดเพื่อการหมุนวนของอากาศ ดังรูปที่ 3.9 และ 3.10

### 3.4.5 พัดลม

พัดลมเป็นแบบ Centrifugal Forward Blade รุ่น FY-06FCS-B ขนาดใบพัด 181.00 มม ขนาดทางออก 0.019  $m^2$  Tip speed 0.0095 \* RPM ดังรูปที่ 3.11

### 3.4.6 มอเตอร์

มอเตอร์เป็นแบบ Three Phase Induction Motor ขนาด 1 แรงม้า แบบ 4 pole ความถี่ 50 Hz สักดา 220 Volt ใช้กระแส 2 Amp จำนวนรอบ 1400 RPM ดังรูปที่ 3.11

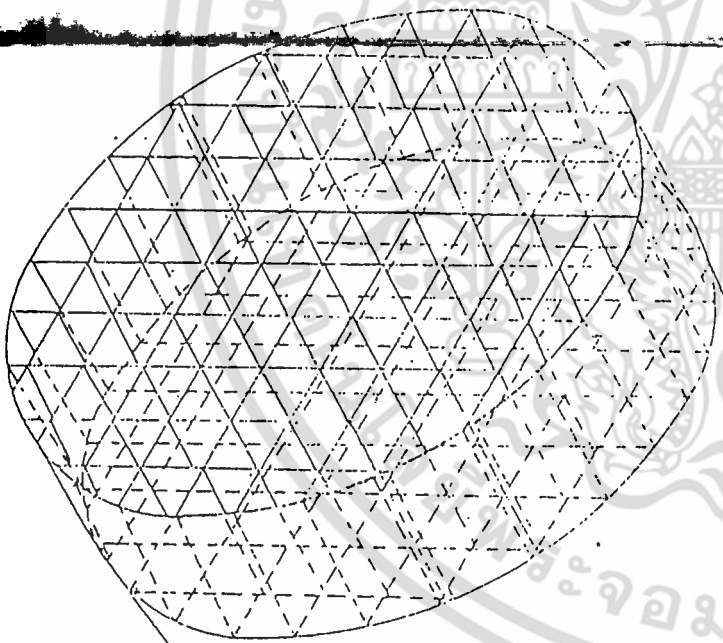
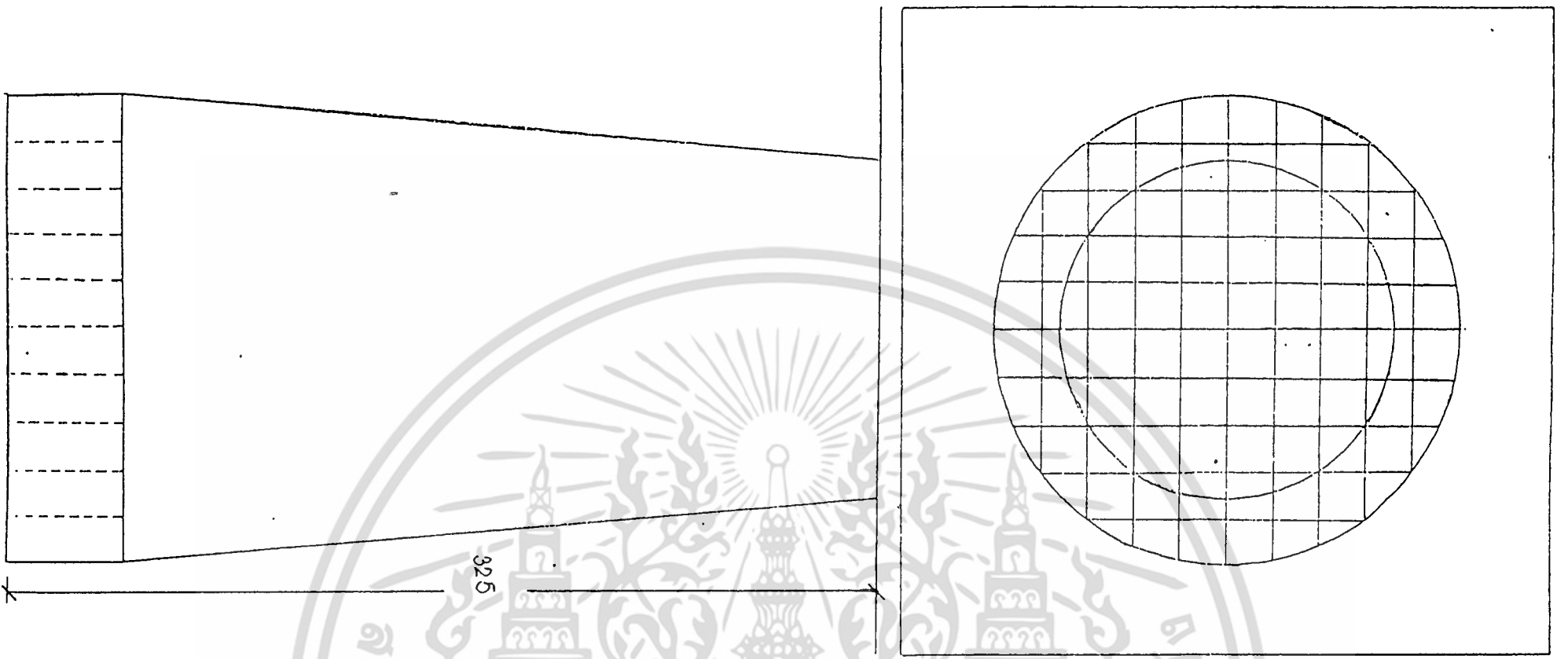
### 3.4.7 Inverter

Inverter รุ่น AF-502-3A7 แบบ Series General Purpose Transistor Inverter แหล่งจ่าย 200 Volt/50 Hz 200-230 Volt/60 Hz Rate Capacity 6.9 KVA (3.7 KW) Output Current 17.4 A Frequency Range 0.5 - 400 Hz

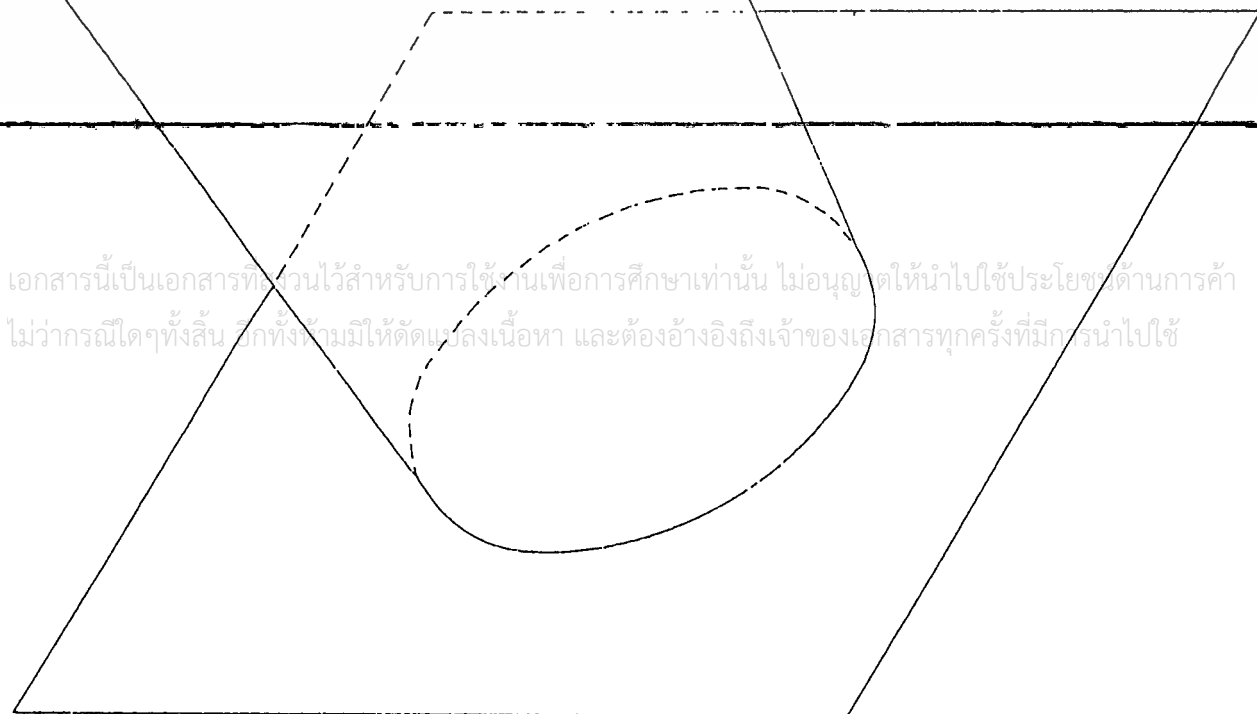


รูปที่ 3.8 ท่อวัดความเร็วลม

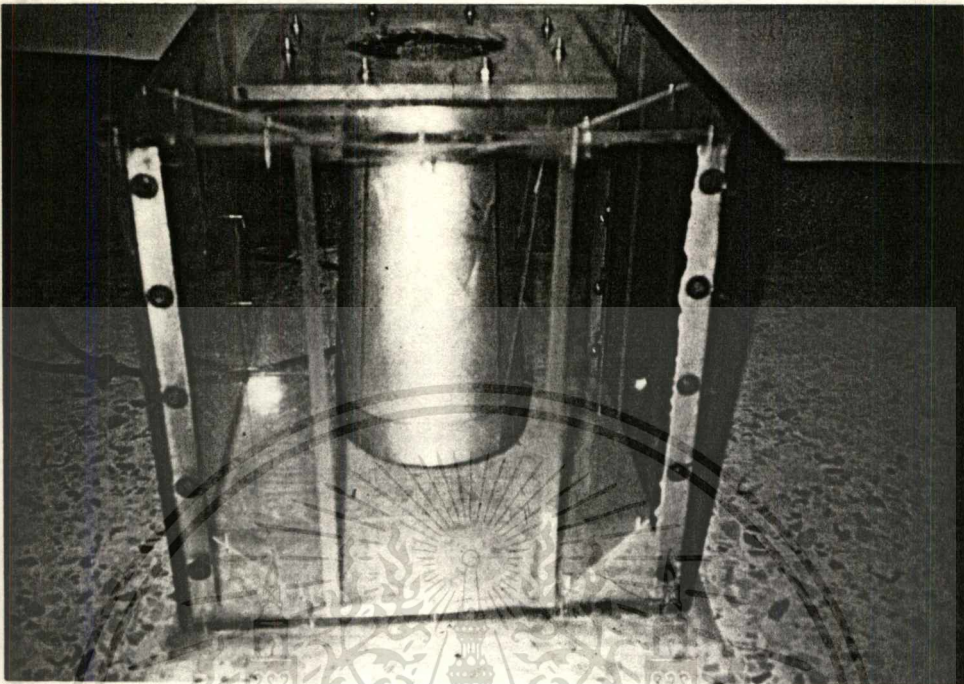
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



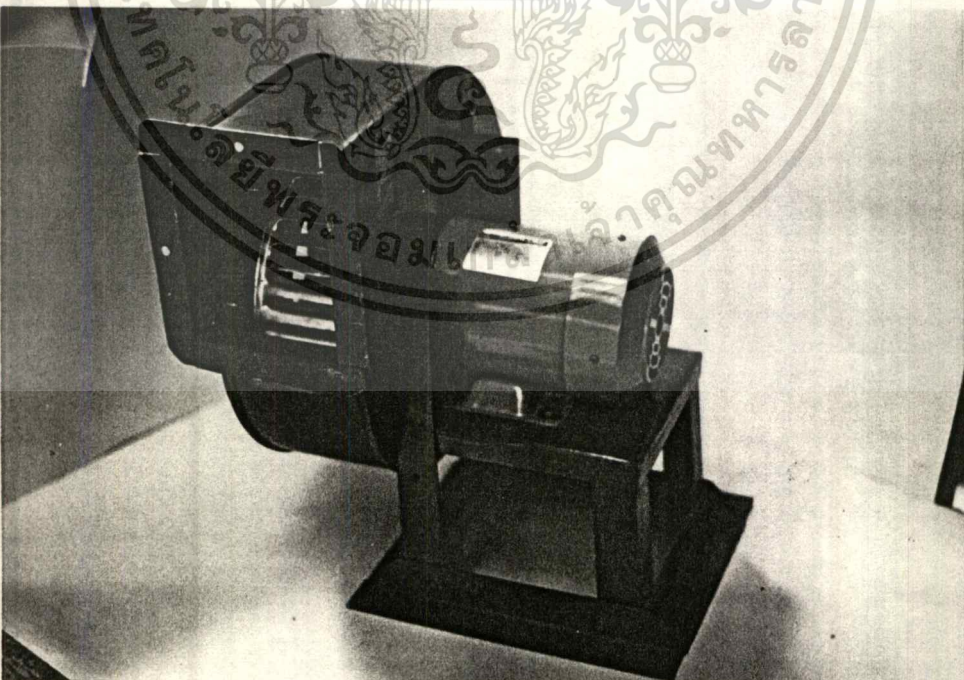
รูปที่ 3.9 ชิ้นส่วนท่อลม (Air collector)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ขยงไว้สำหรับการใช้เานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้



รูปที่ 3.10 ทอลด



รูปที่ 3.11 พัดลมและมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลอง

ลักษณะการลอยตัวของเมล็ดพืชที่นำมาทดลอง มีลักษณะไม่สมมาตรและความเร็วลมหน้าตัดไม่สม่ำเสมอมีผลทำให้เมล็ดหมุนตัว ผลที่ตามมาคือพื้นที่ภาพฉาย (Projection Area) เปลี่ยนไป พิจารณาสมการ 2.31

เนื่องจากค่าความเร็วสุดท้าย ( $v_t$ ) ผกผันกับพื้นที่ภาพฉาย เมื่อเมล็ดหมุนตัวในลักษณะที่ทำให้พื้นที่ภาพฉายมีค่ามากขึ้น ความเร็วสุดท้ายจะน้อยลง

เมื่อเมล็ดหมุนตัวในลักษณะที่ทำให้พื้นที่ภาพฉายมีค่าน้อยลง ความเร็วสุดท้ายจะมากขึ้น

$A_{p,max}$  จะได้ค่า  $v_{t,min}$

$A_{p,min}$  จะได้ค่า  $v_{t,max}$

เครื่องมือวัดความเร็วสุดท้ายมีลักษณะเป็นท่อกลม เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากันตลอดทั้งความยาวท่อ พิจารณาสมการที่ 3.2

$$Q = 1/4 \pi D^2 v * 60 * 10^{-6}$$

เมื่อให้ปริมาณลมเข้าคงที่ เพราะฉะนั้นความเร็วของลมในท่อจะคงที่ตลอดความยาวท่อ แม้ว่าจะมีความดันตกคร่อมอยู่บ้างก็มีค่าเล็กน้อยไม่มีผลต่อความเร็วลมช่วงที่ทำงาน

จากการวิเคราะห์ลักษณะการลอยตัวของเมล็ดตัวอย่าง ทำให้ทราบว่าค่าความเร็วสุดท้ายเปลี่ยนแปลงโดยผกผันกับค่าพื้นที่ภาพฉายของเมล็ดทำให้ได้ค่าความเร็วสุดท้ายมีลักษณะเป็นช่วงความเร็วโดย

$v_{t,min}$  อ่านค่าเมื่อเมล็ดตัวอย่างเริ่มลอยแยกตัวออกจากตะแกรงและรักษาสมดุลย์ในแนวตั้ง

#### 4.1 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

เพื่อหาค่าความเร็วสุดท้าย และลักษณะของการลอยตัวอย่างอิสระของวัสดุที่นำมาทดลอง ซึ่งสามารถใช้ข้อมูลที่ทำได้เป็นแนวทางในการศึกษา เกี่ยวกับการทำความสะอาด และการคัดแยกเมล็ดพืช

#### 4.2 วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง

##### 1. เมล็ดถั่วเหลืองตัวอย่าง

##### วิธีเลือกตัวอย่าง

นำเมล็ดถั่วเหลือง (พันธุ์เชียงใหม่ 60) ซึ่งเก็บเกี่ยวจากพื้นที่เดียวกัน แบ่งเป็น 5 กลุ่มตามน้ำหนักเมล็ด กลุ่มที่ 1 (0.09 กรัม) กลุ่มที่ 2 (0.12 กรัม) กลุ่มที่ 3 (0.15 กรัม) กลุ่มที่ 4 (0.19 กรัม) กลุ่มที่ 5 (0.22 กรัม) กลุ่มละ 5 เมล็ด

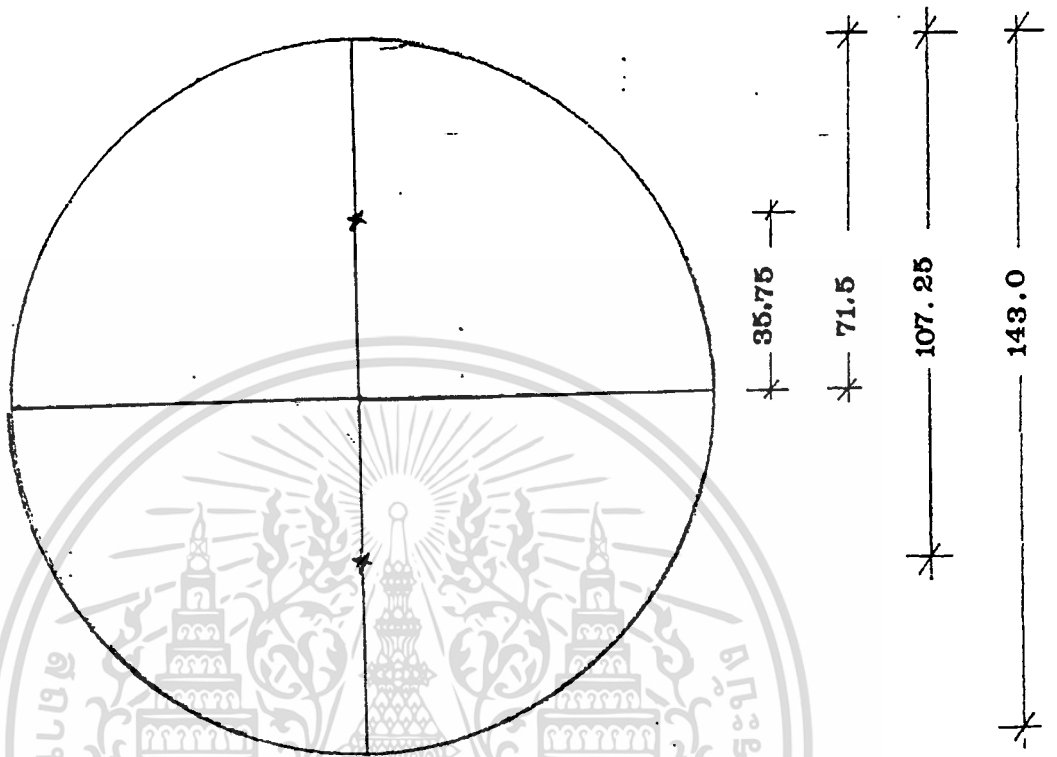
2. ระบบการหาสมบัติทางอากาศพลศาสตร์	1	เครื่อง
3. เครื่องวัดความเร็วลมแบบดิจิตอล (0.03-25.41 m/s)	1	เครื่อง
4. เครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ (ทศนิยม 2 ตำแหน่ง)	1	เครื่อง
5. เครื่องอบแห้ง (0 - 220 องศาเซลเซียส)	1	เครื่อง
6. ไมโครมิเตอร์ (0-10 มิลลิเมตร)	1	อัน
7. Pycnometer (ขนาด 24 cc.)	1	ใบ

#### 4.3 การวัดความเร็วในท่อ

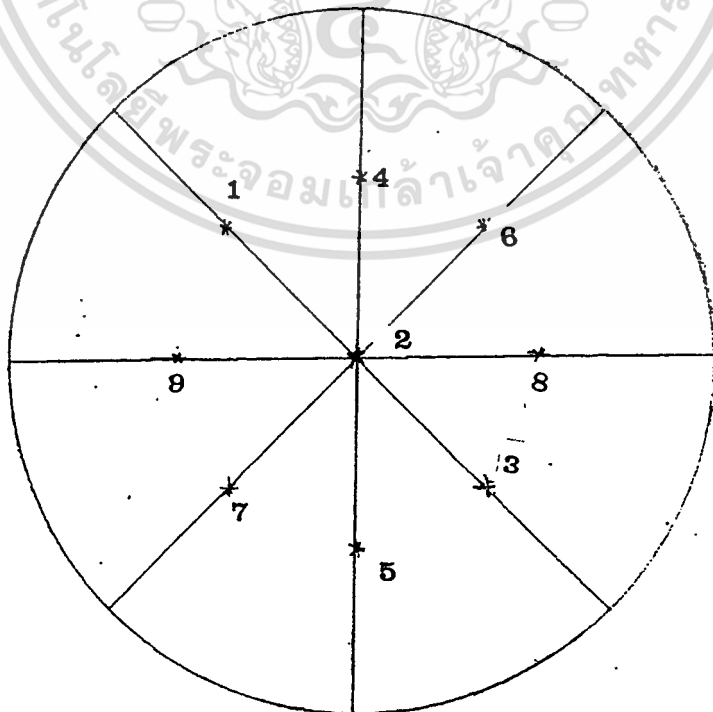
การกำหนดตำแหน่งวัดความเร็วในท่อ ดังรูปที่ 4.1 จัดเครื่องมือวัดความเร็วให้อยู่ในตำแหน่งที่ 1 ดังรูปที่ 4.2 เปิดเครื่อง Inverter ตั้งค่าความถี่ไว้ที่ความถี่เริ่มต้น แล้วบันทึกค่าความเร็วในตารางที่ 4.1 เปลี่ยนตำแหน่งที่วัดไปจนครบทั้งหน้าตัดภายในท่อ จากนั้นจึงปรับค่าความถี่เพิ่มขึ้นตามที่กำหนด แล้วปฏิบัติเหมือนข้างต้น (ในการทดลองนี้ ค่าความถี่เริ่มต้นคือ 54 Hz. จากนั้นปรับค่าความถี่เพิ่มขึ้นทีละ 4 Hz. จนถึง 70 Hz.) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องแม่นยำขึ้น

การทดลองนี้ทำ 3 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ตำแหน่งที่ใช้วัดความเร็วภายในหน้าตัดท่อ



รูปที่ 4.2 ตำแหน่งในหน้าตัดท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับลูกค้าใช้งานเพื่อตรวจสอบและยืนยันข้อมูลเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าความเร็วในหน้าตัดที่ความถี่ต่าง ๆ

V (m/s) ที่ตำแหน่งต่างๆ										
f (Hz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Avg
54	9.37	10.04	9.36	9.37	9.35	9.57	9.19	9.81	8.66	9.413
	9.39	10.04	9.40	9.45	9.26	9.54	9.07	9.86	8.65	9.406
	9.48	10.08	9.32	9.39	9.26	9.59	9.01	9.80	8.59	9.391
58	9.92	10.67	9.97	10.05	9.87	10.16	9.81	10.48	9.19	10.013
	10.16	10.70	10.00	10.15	9.93	10.28	9.80	10.47	9.16	10.072
	10.09	10.58	9.94	10.12	9.90	10.13	9.73	10.40	9.10	9.998
62	10.88	11.39	10.74	10.58	10.52	10.86	10.30	11.27	9.85	10.710
	10.72	11.49	10.65	10.74	10.53	10.94	10.34	11.16	9.82	10.710
	10.80	11.39	10.50	10.84	10.50	10.79	10.55	11.15	9.70	10.690
66	11.24	12.11	11.26	11.38	11.39	11.42	10.83	11.90	10.24	11.307
	11.44	12.20	11.32	11.38	11.03	11.51	10.99	11.63	10.38	11.320
	11.28	11.97	11.21	11.42	11.05	11.53	10.96	11.78	10.26	11.273
70	11.98	12.71	11.86	12.09	11.58	12.18	11.49	12.62	10.66	11.907
	12.02	12.87	11.87	12.03	11.69	12.20	11.59	12.62	10.93	11.980
	11.99	12.67	11.84	11.90	11.65	12.10	11.53	12.57	10.64	11.876

#### 4.4 วิธีการทดลอง

##### 4.4.1 การวัดสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างวัสดุที่จะนำมาทดสอบ โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์
2. วัดความกว้าง ยาว หนาของเมล็ดโดยใช้ไมโครมิเตอร์ และคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเรขาคณิต (GMD) แต่ละเมล็ดในกลุ่ม แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง บันทึกค่าในตารางที่ 4.2

$$\text{เมื่อ } GMD = (abc)^{1/3}$$

a = เส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุด

b = เส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุดที่ตั้งฉากกับ a

c = เส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุดที่ตั้งฉากกับ a, b

3. การหาพื้นที่ภาพฉาย โดยใช้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของกลุ่ม

$$\text{เมื่อ } A_p = \pi/4 (GMD)^2$$

$A_p$  = พื้นที่ภาพฉาย

4. การหาความเป็นทรงกลม

$$\text{ความเป็นทรงกลม} = \frac{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต}}{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางที่ยาวที่สุด}}$$

5. การหาความชื้น (ทำภายหลังวัดความเร็วสุดท้าย)

$$\% MC = \frac{\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักเปียก}} * 100$$

$$\% MC = \text{ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น}$$

$$\text{น้ำหนักเปียก} = \text{น้ำหนักเมล็ดก่อนอบแห้ง}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่น้ำหนักแห้งรับ = การน้ำหนักเมล็ดหลังอบแห้งนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเรขาคณิต (GMD) ของเมล็ดถั่วเหลือง

		1	2	3	4	5	Average
weight 0.09	a	6.07	6.62	6.03	5.90	5.98	
	b	5.52	5.59	5.62	5.52	5.56	
	c	4.51	3.77	4.47	4.45	4.26	
	GMD	5.34	5.19	5.33	5.25	5.21	5.26
weight 0.12	a	6.46	6.38	6.13	6.57	6.76	
	b	5.77	5.86	5.97	5.75	5.94	
	c	4.73	4.93	4.84	4.59	4.66	
	GMD	5.61	5.69	5.62	5.58	5.72	5.64
weight 0.15	a	7.39	7.47	6.88	6.78	6.82	
	b	6.50	6.80	6.16	6.20	6.37	
	c	5.07	4.81	5.33	5.18	5.17	
	GMD	6.24	6.25	6.09	6.02	6.08	6.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้วงเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

weight 0.19	a	7.68	7.59	7.91	7.76	7.58	
	b	6.70	6.81	7.10	6.74	6.92	
	c	5.49	5.60	5.45	5.61	5.81	
	GMD	6.56	6.61	6.74	6.64	6.73	6.66
weight 0.22	a	7.59	8.18	7.85	7.99	7.93	
	b	7.02	7.14	7.10	7.08	6.96	
	c	6.09	6.01	6.94	6.01	5.78	
	GMD	6.87	7.05	7.29	6.98	6.85	7.01

## 4.4.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. นำเมล็ดขนาด 0.09 กรัม 1 เมล็ด วางบนตะแกรง เปิดเครื่องที่ความถี่เริ่มต้น 54 Hz สังเกตว่าภายใน 3 นาที ถ้าเมล็ดไม่ลอยขึ้นตะแกรง ให้เพิ่มความถี่ขึ้นทีละ 1 Hz แล้วสังเกตเหมือนเดิมจนกว่า เมล็ดจะลอยขึ้นความสูงของตะแกรงจึงบันทึกค่าความถี่ก่อนเมล็ดลอยขึ้นความสูงของตะแกรงลงในตารางที่ 4.3

2. เปลี่ยนเมล็ดตัวอย่างที่ทำซ้ำในข้อ 1 จนกว่าจะครบ 5 กลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างละ 5 เมล็ดแล้วหาความถี่เฉลี่ย

3. นำค่าความถี่เฉลี่ย มาเทียบหาความเร็วสุดท้าย จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสุดท้าย กับค่าความถี่เฉลี่ย

4. นำค่าความเร็วสุดท้ายของเมล็ดที่น้ำหนักต่างๆไปเขียนกราฟน้ำหนักกับความถี่เฉลี่ย

5. นำเมล็ดที่ทดลองเสร็จแล้วไปหาค่า เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (GMD)

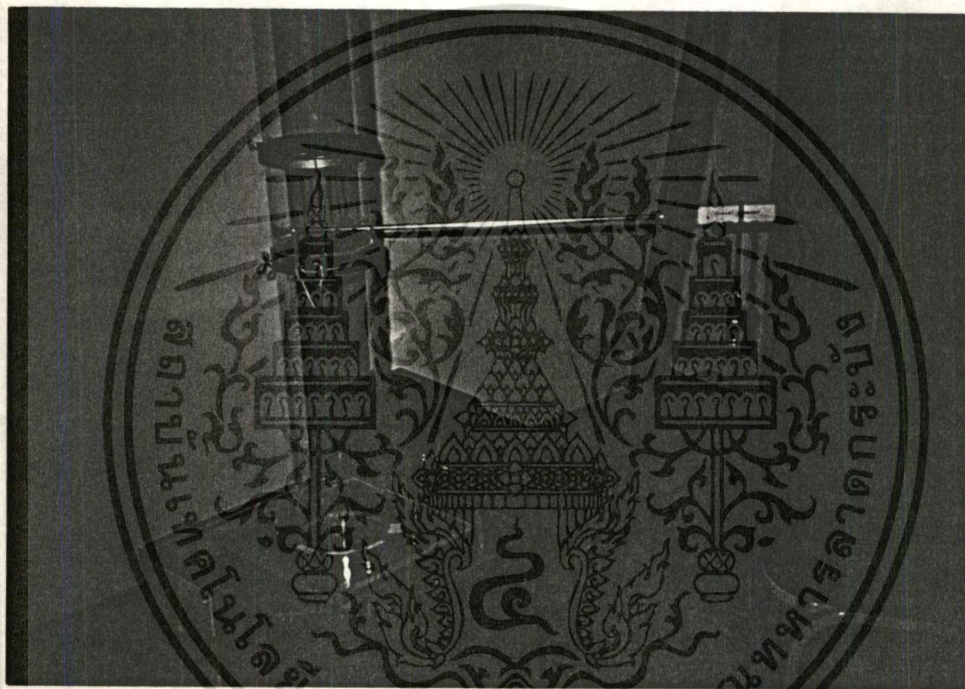
6. นำเมล็ดที่ทดลองเสร็จแล้วไปหาค่า % MC (wet basis) ตามวิธีการในข้อ 4.4.1

ตารางที่ 4.3 ความถี่และความเร็วสุดท้ายค่าสุดของเมล็ดข้าวเหลืองตัวอย่างที่น้ำหนักต่าง ๆ กัน

	1	2	3	4	5	$f_{max}$ (Hz.)	$f_{min}$ (Hz.)	$V_{(min)}$ (m/s)
0.09	58	60	58	56	60	58.4	57.4	9.926
0.12	58	62	63	59	65	61.1	60.4	10.433
0.15	64	64	61	60	61	62.0	61.0	10.534
0.19	66	67	64	61	67	65.0	64.0	11.002
0.22	66	67	68	69	65	67.0	66.0	11.300

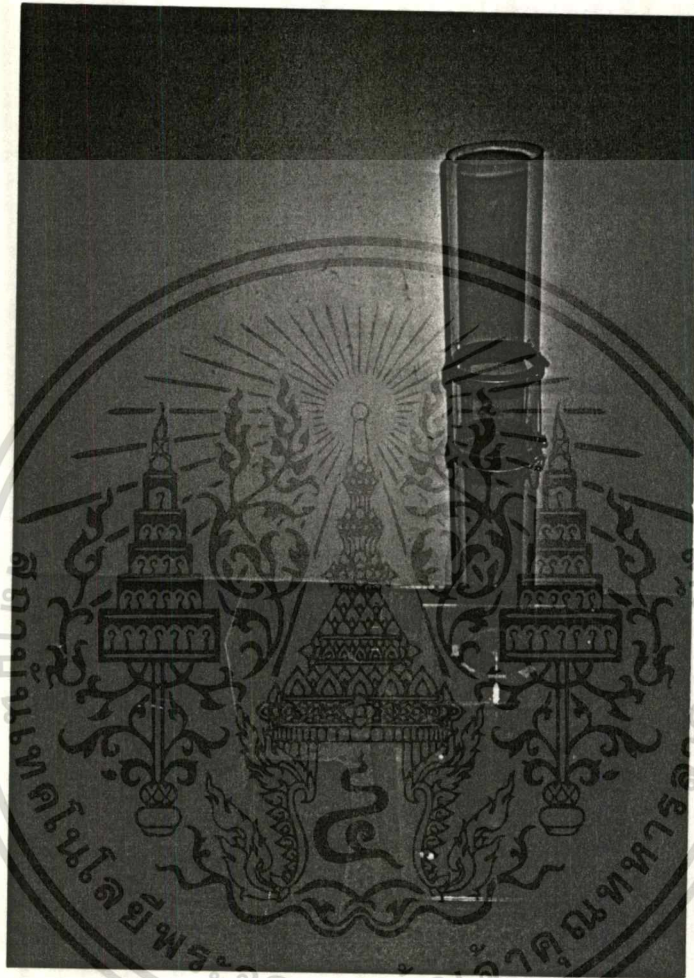
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มอนอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 การติดตั้งเครื่องความเร็วลมในท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 องค์ประกอบของระบบการวัดสมบัติทางอากาศพลศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 เมล็ดถั่วเหลืองขณะทดลองหาความเร็วสุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.5 ผลการทดลองและสรุป

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบสร้าง ทดสอบ และประเมินผล ระบบการหาค่าสมบัติทางอากาศพลศาสตร์ของวัสดุทางการเกษตร ซึ่งกรณีนี้ใช้เมล็ดถั่วเหลือง ได้ผลดังนี้

1. ระบบการหาค่าสมบัติทางอากาศพลศาสตร์ที่สร้างขึ้นสามารถปรับความเร็วลมได้ใน ช่วงซึ่งมีกราฟเปลี่ยนความถี่เป็นค่าความเร็วสุดท้ายที่น้อยที่สุด ในช่วง 0 – 70 Hz เทียบเป็น ความเร็วลมในช่วง 0 – 12 m/s

2. ค่าความเร็วที่วัดได้จากระบบ สัมพันธ์กับค่าความถี่ของอินเวอร์เตอร์แสดงได้ดัง สมการต่อไปนี้

$$V = (0.1565) f + 0.977 \tag{4.1}$$

โดยมีค่า Correlation = 0.9997

ดังแสดงในรูปที่ 4.6

3. สมบัติทางอากาศพลศาสตร์ของเมล็ดถั่วเหลืองที่มีน้ำหนักต่างๆ กันในช่วง 0.09-0.22 กรัม แสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต

$$GMD = 13.68681 (w) + 4.0342 \tag{4.2}$$

โดยมีค่า Correlation = 0.9985

ดังแสดงในรูปที่ 4.7

ความเป็นทรงกลม

$$Spherity = 0.11905 (w) + 0.8517 \tag{4.3}$$

โดยมีค่า Correlation = 0.8797

ดังแสดงในรูปที่ 4.8

พื้นที่ภาพฉาย

$$A_p = 131.88095 (w) + 9.6383 \tag{4.4}$$

โดยมีค่า Correlation = 0.9991

ดังแสดงในรูปที่ 4.9

4. สมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าวเหลืองที่น้ำหนักต่างๆ กันในช่วง 0.09-0.22

กรัม แสดงในสมการต่อไปนี้

ค่าความเร็วสุดท้ายต่ำสุด

$$V_{L_{min}} = 9.97802 (w) + 9.90954 \quad (4.5)$$

โดยมีค่า Correlation = 0.9883

ดังแสดงในรูปที่ 4.10

สัมประสิทธิ์แรงต้านทาน

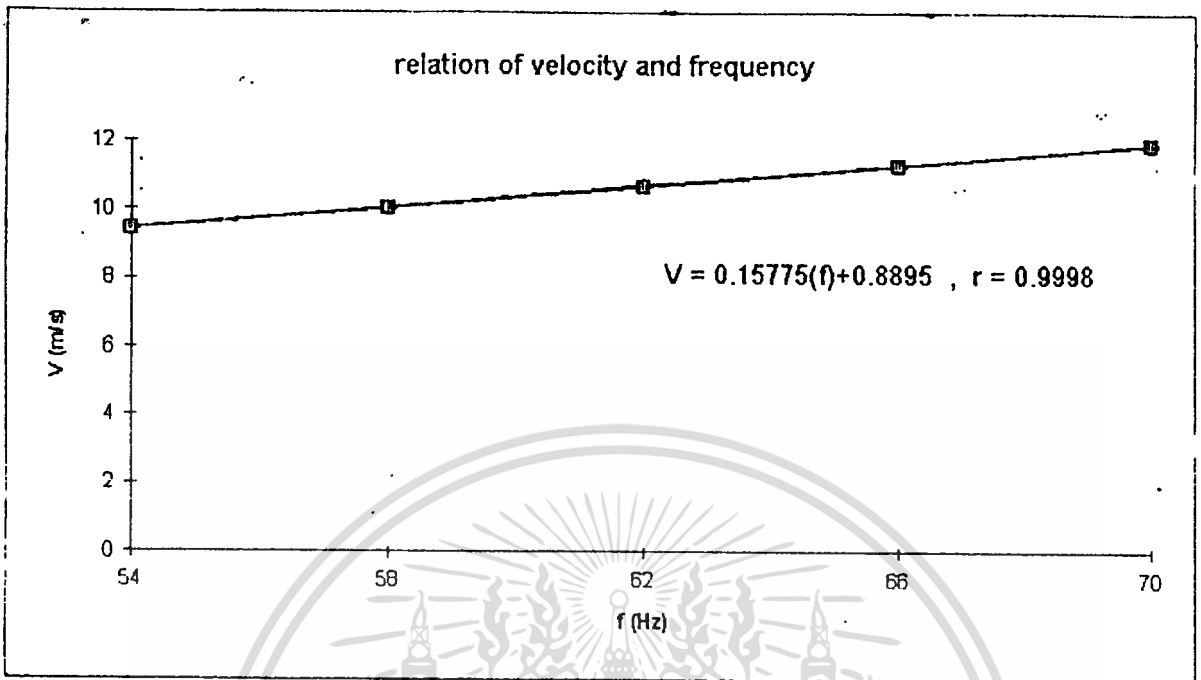
$$C_D = 0.2967 (w) + 0.6823 \quad (4.6)$$

โดยมีค่า Correlation = 0.7151

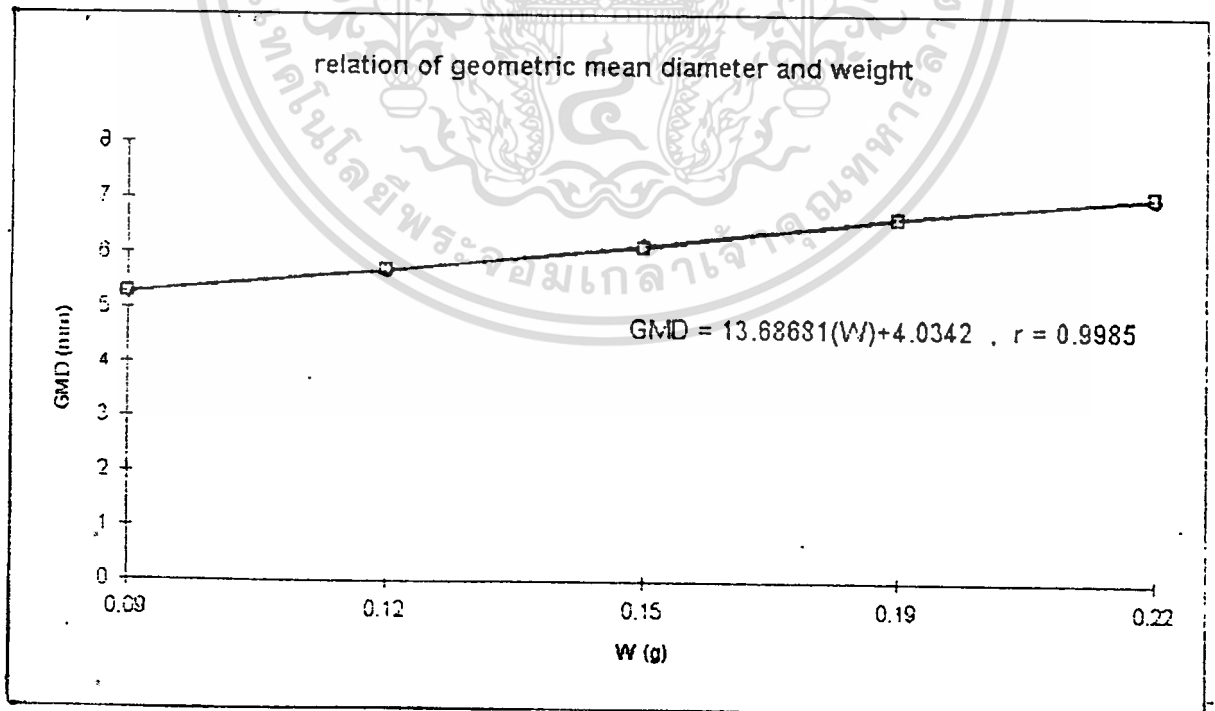
ดังแสดงในรูปที่ 4.11

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยสมบัติของเมล็ดข้าวเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ความชื้น 9.7 % (ฐานเปียก)

น้ำหนัก	GMD	Sphericity	$A_D$	$V_L$	$C_D$
0.09	5.26	0.86	21.75	9.94	0.71
0.12	5.64	0.87	25.00	10.42	0.70
0.15	6.14	0.87	29.58	10.51	0.75
0.19	6.66	0.86	34.82	10.99	0.74
0.22	7.01	0.88	38.59	11.30	0.74

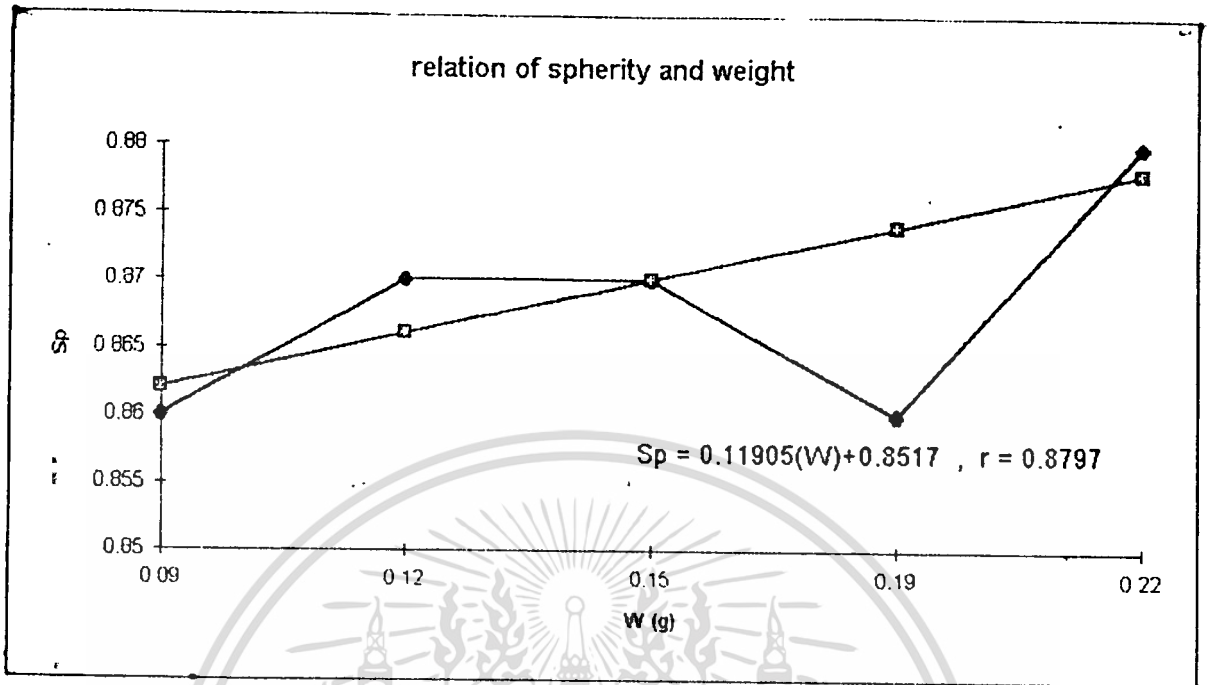


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของความเร็วและความถี่

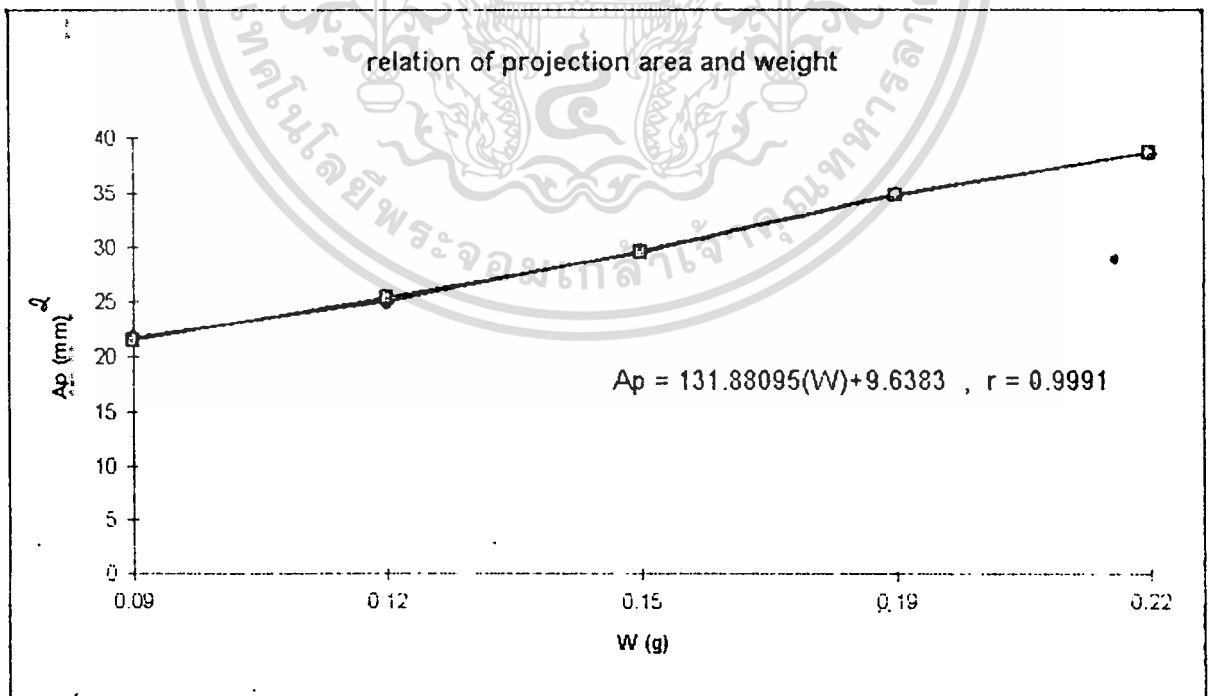


รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเรขาคณิตและน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

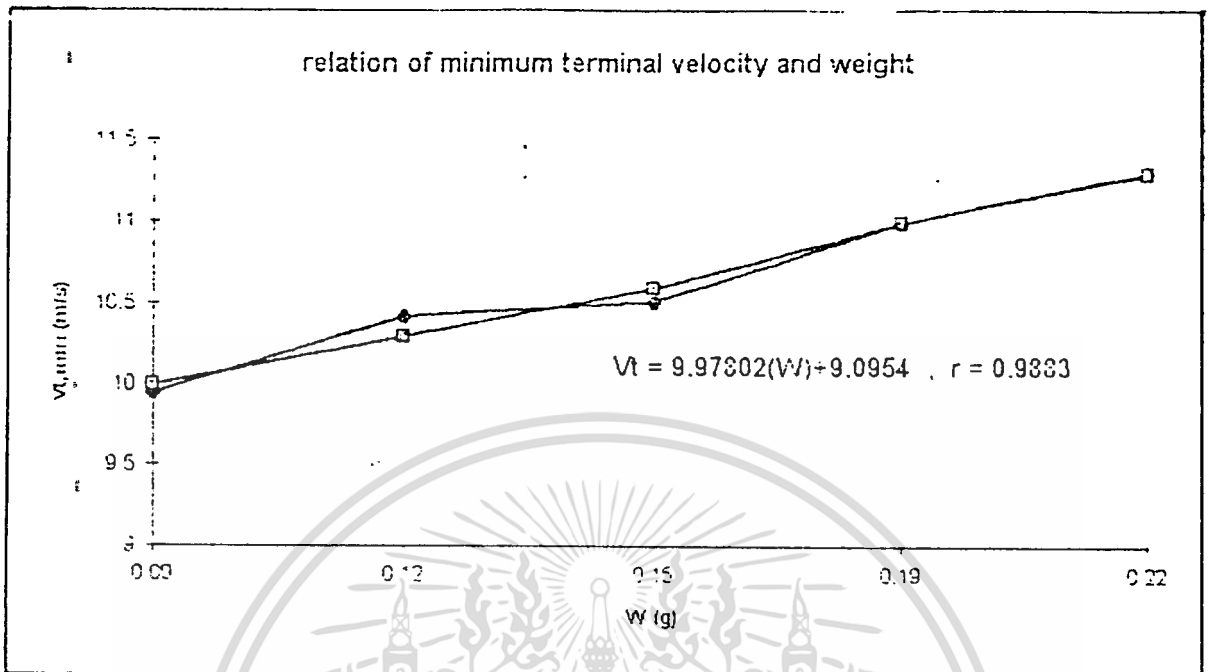


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของความเป็ทรงกลมและน้ำหนัก

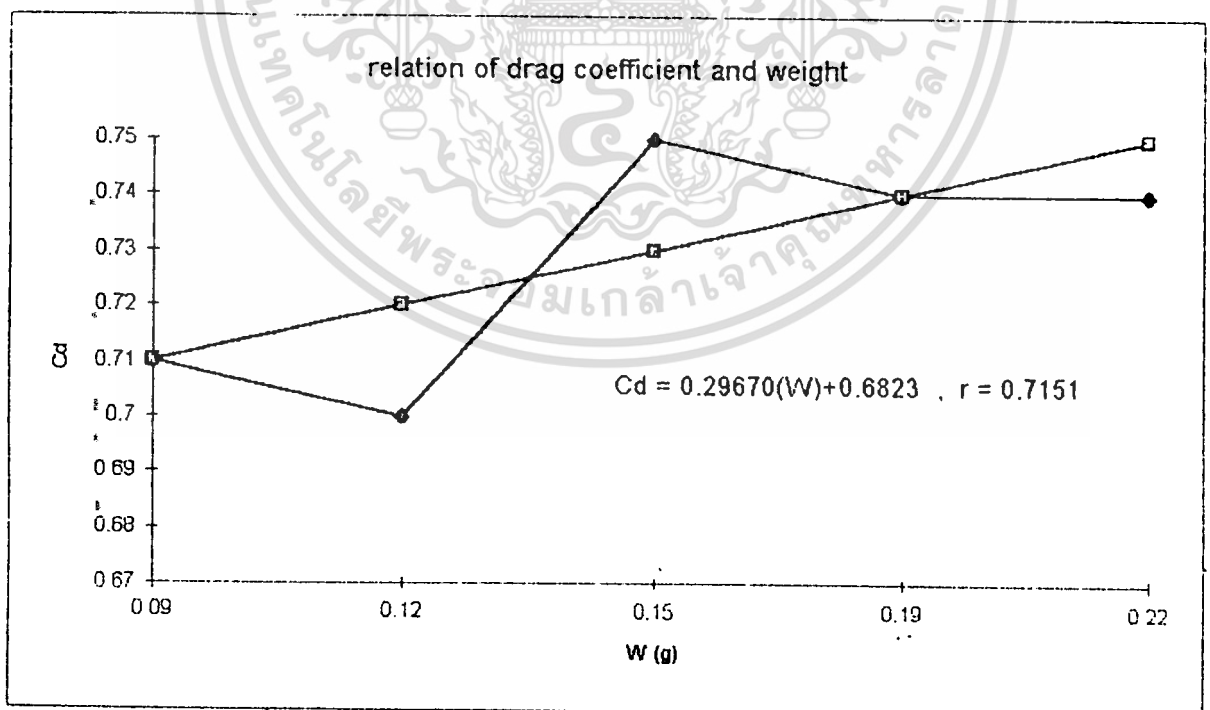


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ของพื้นที่ภาพฉายและน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ของความเร็วสุดท้ายค่าสุดและน้ำหนัก



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานและน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผล และ ข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

การหาค่าความเร็วสุดท้ายและค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทาน ได้มีผู้ทำการวิจัย และเสนอวิธีการหาค่ามาแล้วหลายวิธี [8],[15]

คณะผู้วิจัยขอเสนอวิธีหาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทาน และค่าความเร็วสุดท้าย อีกวิธีหนึ่งโดยใช้ระบบการหาสมบัติทางอากาศพลศาสตร์ที่ได้สร้างขึ้น โดยเสนอเงื่อนไขดังนี้

ค่าความเร็วสุดท้ายค่าสุดท้ายที่ ขณะที่วัตถุลอยตัวและรักษาสัมดุลย์ในแนวดิ่งไว้ ได้ ภายใน 3 นาที หากเกิน 3 นาทีแล้ววัตถุเสียสมดุลย์ในแนวดิ่ง โดยลอยขึ้นสูงผ่านตะแกรงของเครื่องวัดถือว่าความเร็วขณะนั้นสูงกว่าค่าความเร็วสุดท้ายค่าสุดท้ายของวัตถุ

ในการทดลองนี้ สามารถปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ โดยใช้การปรับ ความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้าพัดลมโดยใช้ Inverter ทำให้ความเร็วรอบเปลี่ยนแปลง

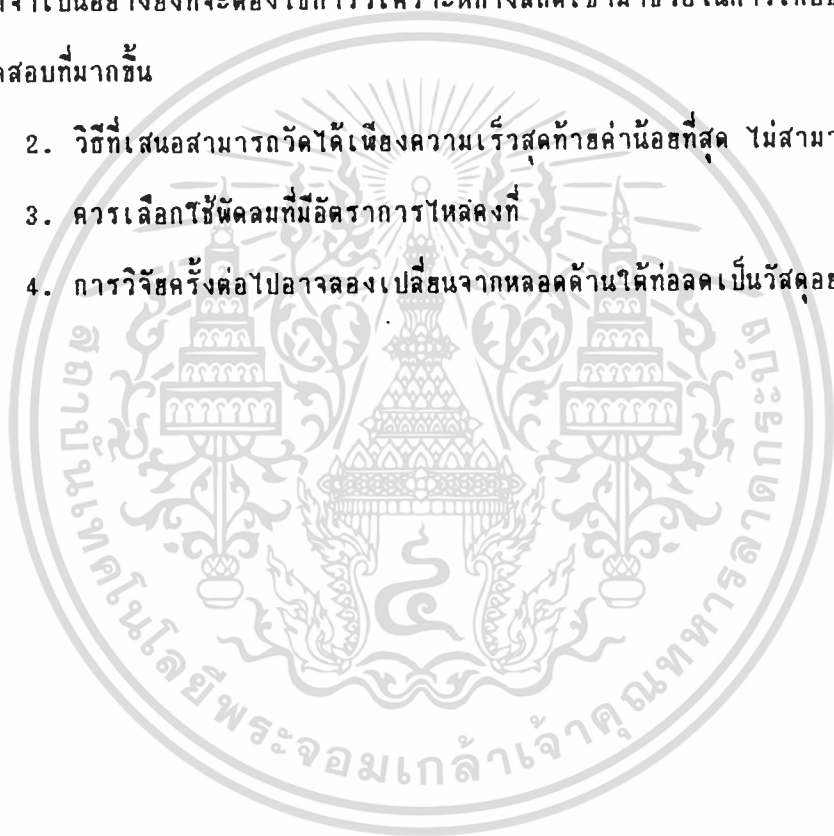
การหาค่าความเร็วลมในท่อได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความเร็วลม การหาสมบัติทางอากาศพลศาสตร์เพียงแต่นำวัสดุที่ต้องการทดสอบวางบนตะแกรง สังกัดเมื่อเมล็ดลอย ใช้ค่าความถี่ที่ปรากฏบน Inverter ก็สามารถหาค่าความเร็วสุดท้ายค่าสุดท้ายจากกราฟได้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

### เครื่องวัดสมบัติทางอากาศพลศาสตร์

1. งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางการทดลองให้เหมาะสมกับระบบฯ แต่เนื่องจากเป็นการทดลองเกี่ยวกับ Fluid Dynamic ซึ่งของไหลมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา หากต้องการข้อมูลที่มีความแม่นยำจำเป็นต้องใช้การวิเคราะห์ทางสถิติเข้ามาช่วยในการเก็บข้อมูลคือต้องมีตัวอย่างทดสอบที่มากขึ้น

2. วิธีที่เสนอสามารถวัดได้เพียงความเร็วสุดท้ายค่าน้อยที่สุด ไม่สามารถวัดค่าสูงสุดได้
3. ควรเลือกใช้พัดลมที่มีอัตราการไหลคงที่
4. การวิจัยครั้งต่อไปอาจลองเปลี่ยนจากหลอดด้านใต้ที่อลดเป็นวัสดุอย่างอื่น



## ภาคผนวก ก

### วิธีการหาความชื้น (Moisture Content) [10]

#### 1. การบด (Grinding)

ถ้าเมล็ดมีความชื้น 17% ให้อบได้ ถ้าเกินจาก 17% ต้องไปทำ Pre-drying ก่อน

#### ข้อระวังในการบด

- 1.1 เครื่องบดจะต้องไม่ดูดซับเมล็ดที่บดแล้ว
- 1.2 ในระหว่างการบดไม่ควรให้เมล็ดสัมผัสอากาศ
- 1.3 ความเร็วในการบดไม่ควรเร็วเกินไปจนเป็นเหตุให้เมล็ดที่ถูกบดเกิดความร้อนได้

#### 2. การ Pre-drying

เหตุที่ต้องทำ Pre-drying เพราะเหตุว่าเมล็ดมีความชื้นมากกว่า 17% โดยทำที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5-10 นาที ขึ้นอยู่กับความชื้นในเมล็ด หลังจากการทำ Pre-drying จะต้องนำกลับไปใส่ในกระป๋องทันที เพื่อไม่ให้โดนความชื้นได้อีก

#### 3. การเข้าตู้อบที่อุณหภูมิสูง

ตู้อบจะถูกตั้งไว้ที่ 130-133 องศาเซลเซียส เมล็ดถูกอบ 1-2 ชั่วโมง เสร็จแล้วนำมาเก็บไว้ที่ desicator เพื่อรอให้เย็นเป็นเวลา 30-45 นาที

### ขั้นตอนการทดสอบ

1. ชั่งน้ำหนักกระป๋องใส่ตัวอย่าง
2. กรณีที่ต้อง Pre-drying นำเมล็ดไป Pre-drying ก่อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
3. ชั่งน้ำหนักหลัง Pre-drying
4. นำเมล็ดที่ Pre-drying ไปบดแล้วแบ่งออกเป็น 2 ตัวอย่าง ๆ ละ 5 กรัม
5. แล้วนำไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
6. ชั่งน้ำหนักหลังอบ
7. นำข้อมูลที่ได้ในข้อ 1,3,6 มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

$$\%MC = \frac{(M_2 - M_3) * 100}{(M_2 - M_1)}$$

$M_1$  = น้ำหนักกระป๋อง

$M_2$  = น้ำหนักกระป๋อง + น้ำหนักเมล็ดก่อนอบ

$M_3$  = น้ำหนักกระป๋อง + น้ำหนักเมล็ดหลังอบ

## ภาคผนวก ข

การหาความหนาแน่นของแก้วเหลือง

ความหนาแน่น ( $\rho$ ) คำนวณได้จากสูตร

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

เมื่อ  $m$  = น้ำหนักของวัสดุ (g)

$V$  = ปริมาตรของวัสดุ ( $\text{cm}^3$ )

โดยน้ำหนักของแก้วเหลืองหาได้จากการชั่ง ส่วนปริมาตรได้จากการแทนที่โทลูอีน  
ด้วยแก้วเหลืองในขวด Pycnometer แล้วนำมาคำนวณหาปริมาตร

## วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักแก้วเหลือง บันทึกผล
2. ชั่งน้ำหนักขวด Pycnometer พร้อมฝา บันทึกผล
3. เติมโทลูอีนลงขวด Pycnometer จนเต็มขวดปิดฝา นำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกผล
4. ใส่แก้วเหลืองจากข้อ 1 ลงแทนที่โทลูอีน นำไปชั่งอีกครั้ง บันทึกผล

น้ำหนักของโทลูอีนได้จากน้ำหนักที่ได้จากข้อ 3 ลบด้วยน้ำหนักขวดเปล่าจากข้อ 2

เมื่อเราทราบความหนาแน่นของโทลูอีน นำไปแทนค่าในสูตรที่ (1) เราจะได้ปริมาตรของ  
ขวด Pycnometer

เมื่อนำน้ำหนักที่ได้จากข้อ 4 ลบด้วยน้ำหนักแก้วเหลืองจากข้อ 1 ลบน้ำหนักขวดเปล่า  
จากข้อ 2 จะได้น้ำหนักของโทลูอีนที่เหลืออยู่ในขวด นำค่านี้นำมาคำนวณหาปริมาตรของ

โทลูอีนที่เหลืออยู่ในขวดโดยใช้สมการที่ (1) เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นคำนวณปริมาตรของถั่วเหลืองจาก

$$\text{ปริมาตรของถั่วเหลือง} = \text{ปริมาตรขวด} - \text{ปริมาตรโหลอื่น}$$

นำปริมาตรและน้ำหนักของถั่วเหลืองมาแทนค่าในสมการที่ (1) จะได้ค่าความหนาแน่นของถั่วเหลือง



## ภาคผนวก ค

ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

1. ตรวจเอกสาร		ค้นคว้าเรื่องที่เกี่ยวข้องจากวารสารทางวิชาการ และหนังสือ
2. ศึกษาทฤษฎี		ค้นคว้าเรื่องที่เกี่ยวข้องจากวารสารทางวิชาการ และหนังสือ
ส่งรายงานครั้งที่ 1	15 ส.ค.37	
สอบทฤษฎีและวิธีดำเนินงาน	29 ส.ค.37	
3. ออกแบบ		<p>1) ออกแบบร่าง (sketch design)</p> <p>2) คำนวณ ชิ้นส่วนที่สำคัญ เช่น ความยาวของท่อ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ โดยอาศัยทฤษฎีทางอากาศพลศาสตร์ของวัสดุ และคำนวณขนาดของพัดลมและมอเตอร์ขับ โดยใช้ทฤษฎีของไหลภายในท่อ</p> <p>3) เขียนผังงานออกแบบ (planning design)</p> <p>4) เขียนแบบชิ้นส่วน (part design)</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สร้างเครื่อง : :		1) เตรียมวัสดุ, ชิ้นส่วน ตามแบบ 2) ประกอบ
ส่งรายงานครั้งที่ 2		
สอบความก้าวหน้าโครงการ	12 ธ.ค. 37	
5. ทดสอบ		1) วางแผนการทดลอง 2) เตรียมวัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง 3) ทดลอง ตามแผนการทดลอง
6. สรุปผลการทดลอง		วิเคราะห์ข้อมูล และสรุปผลการทดลอง
ส่งรายงานฉบับร่าง	27 ก.พ. 38	
สอบปลายภาค	14 มี.ค. 38	
ส่งรายงาน, โครงการ		
ฉบับสมบูรณ์พร้อมสไลด์	28 มี.ค. 38	

## ภาคผนวก ง

งบประมาณ

รายการ	ราคา	
1) พัดลม Centrifugal fan เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 นิ้ว พร้อมมอเตอร์ขนาด 1/2 แรงม้า	3,000	บาท
2) ท่อผ้าใบขนาด 139*139*250 มม	350	บาท
3) แผ่นพลาสติกใส	3,100	บาท
4) ท่อกระจายความเร็ว (สังกะสี)	350	บาท
5) ท่อพลาสติกใส เส้นผ่านศูนย์กลาง 143 มม สยาว 1000 มม	1,626	บาท
6) น้ำยาติดพลาสติก	50	บาท
7) เหล็กฉากขนาด 40*40 มม หน้า 2 มม	200	บาท
8) แผ่นซีลยาง	200	บาท
9) อื่น ๆ	<u>1,000</u>	บาท
รวม	<u>9,876</u>	บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จขึ้นได้ด้วยความอนุเคราะห์จากหลายท่านด้วยกัน คณะ

ผู้จัดทำขอขอบคุณ

อาจารย์ปานมนัส สิริสมบุรณ์, อาจารย์สาทิป รัตนภาสกร, อาจารย์สัมพันธ์ ไชยเทนมู เชียงใหม่ ให้คำปรึกษา อาจารย์ประยุทธ สุวรรณชีวะกร ม.เกษตรศาสตร์ให้สัมภาษณ์เรื่อง

มีอิทธิพลเร็วลม อาจารย์ประจำภาควิชาทุกท่าน เจ้าหน้าที่ธุรการประจำภาค

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือด้านต่าง ๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์. (2525). กลศาสตร์ของไหล. โรงพิมพ์ ก. วิจารณ์: กรุงเทพ.  
270 หน้า.
2. บริษัท เอ็มแอนดอ์ จำกัด. (2535). คู่มือวิศวกรเครื่องกล. พิมพ์ครั้งที่ 3. บริษัท เอเชีย  
เพรส: กรุงเทพ. 1005 หน้า.
3. สมาน เจริญกิจกุล และ มนต์วี พิรุณเกษตร. (2521). กลศาสตร์ของไหล. บริษัท ซีเอ็ดดู  
เคชั่น: กรุงเทพ. 584 หน้า.
4. Benedict, R. P. (1980). Fundamentals of pipe flow. Wiley  
Interscience Publication. USA.
5. Bilanski, W. K., Collins, S. H., and Chu, P. (1982). Aerodynamic  
properties of seed grain. Agricultural Engineering.  
43(3):p 216-219.
6. Bilanski, W. K., and Lal, R. (1965). Behaviour of threshed  
materials in a vertical wind tunnel. Transactions of the  
American Society of Agricultural Engineers. 8(3):p 411.
7. Fox, R. W., and McDonald, A. T. (1934). Introduction to fluid  
mechanics. 3<sup>rd</sup> ed. Wiley Singapore. 741 p.
8. Gorial, B. Y., and O'Callaghan, J. R. (1990). Journal of  
Agricultural Engineering Research. 46:p 275-290.
9. Heywood, H. (1948). Calculation of particle terminal velocity.  
Journal of Imperial College Chemical Engineering Society.  
4(17).

10. International Seed Testing Association, (1985) "Moisture Content",  
J. Seed Science and Technology, International Rule of  
Seed Testing 1985", 13(2)p 338-341.
11. Kano, T. (1991). Technics of bulk solid handlings with  
emphasis on pneumatic conveying (เทคนิคการขนถ่ายโดยใช้ลมในท่อ)  
โครงการเทคโนโลยีพลังงาน สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น กรุงเทพฯ.
12. Lapple, C. E. (1956). Fluid and particle mechanics. University  
of Delaware: Newyork.
13. Schiller, L. (1932). Fallversuche mit kugeln and scheiben  
(Drop tests with spheres and discs). Handbook Experimental  
Physics, 4(2):p 338.
14. Streeter, V. L. (1975). Fluid mechanics. McGraw-Hill Kogakusha Ltd,  
USA.
15. Sumpun Chaitep. (1990). Aerodynamic Drag Characteristics of Cereal  
Grains and Granulated Fertilizers. Thesis submitted for the  
degree of Doctor of Philosophy, University of New England.
16. Tiwari, S. N. Aerodynamic behaviour of dry edible beans and  
associated materials in pneumatic separation. M. S. Thesis  
in Agricultural Engineering, University of Maine, Orono,  
Maine, 1962.