

ก๊าซฟลูอิดไดเซชัน

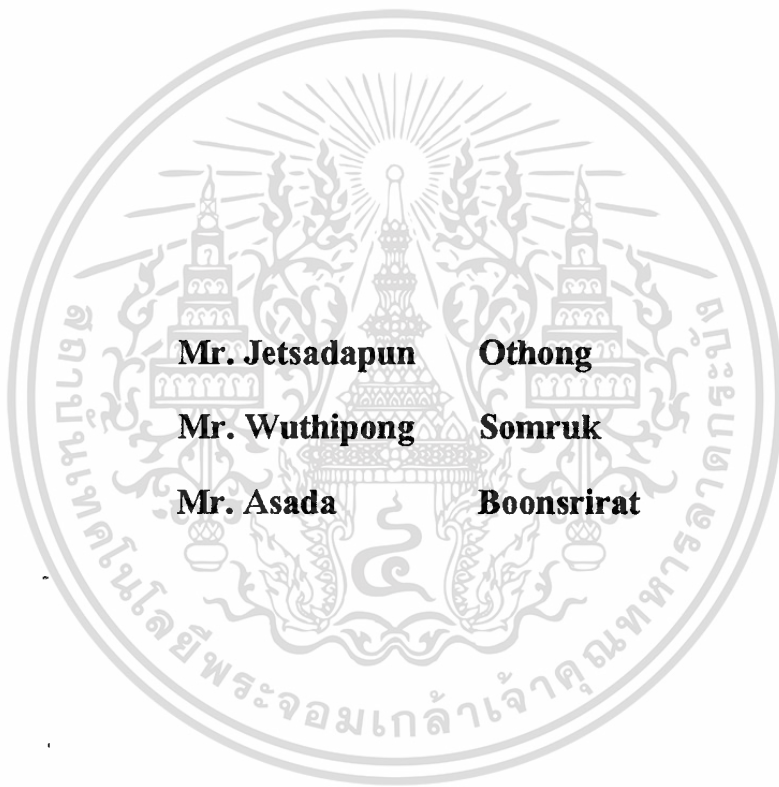


นายเจษฎาพันธ์ โอทอง
นายวุฒิพงษ์ โสมิตรักษ์
นายอัษฎา บุญศรีรัตน์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เล่มนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เลขที่.....
เลขทะเบียน..... 33984ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
วัน, เดือน, ปี 27. 0. 2542

GAS FLUIDIZATION



Mr. Jetsadapun

Othong

Mr. Wuthipong

Somruk

Mr. Asada

Boonsrirat

**A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Bachelor of Chemical Engineering
Faculty of Engineering**

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ โดยอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา **1998** ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

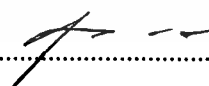
ปริญญานิพนธ์เรื่อง ก๊าซฟลูอิดโคเซชัน
โดย นายเจษฎาพันธ์ โอทอง รหัสประจำตัว 38014088
นายวุฒิพงษ์ โสมรักษ์ รหัสประจำตัว 38014483
นายอัษฎา บุญศรีรัตน์ รหัสประจำตัว 38014645

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา อ. บุญชัย โชควิทยาวิชัย
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร. ไพศาล นาคพิพัฒน์

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(อ. บุญชัย โชควิทยาวิชัย)


..... กรรมการ
(ดร. ไพศาล นาคพิพัฒน์)


..... กรรมการ
(ดร. ประกอบ กิจไชยา)


..... กรรมการ
(อ. สันติ วัฒนานูสรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	ก๊าซฟลูอิดไคเซชัน		
โดย	นายเจษฎาพันธ์ โอทอง	รหัสประจำตัว	38014088
	นายวุฒิพงษ์ โสมรักษ์	รหัสประจำตัว	38014483
	นายอัมภา บุญศรีรัตน์	รหัสประจำตัว	38014645
อาจารย์ที่ปรึกษา	นายบุญชัย โชควิวิวัฒนิชัย		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์		
ปริญญาบัตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง		

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการสร้างเครื่องมือทดลองก๊าซฟลูอิดไคเซชัน เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์การศึกษาปรากฏการณ์ฟลูอิดไคเซชันในระบบอากาศ-ของแข็ง เครื่องมือทดลองที่สร้างขึ้นเป็นคอลัมน์อะคิลิคใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10 เซนติเมตร ความสูง 100 เซนติเมตร มีอุปกรณ์ต้นกำลังเป็นเครื่องเป่าอากาศขนาด 1 แรงม้า เพื่อขับดันอากาศเข้าสู่คอลัมน์ทดลอง และระบบวาล์วบายพาสเป็นอุปกรณ์ควบคุมความเร็วอากาศ

เครื่องมือการทดลองที่สร้างขึ้นสามารถใช้ศึกษาปรากฏการณ์ก๊าซฟลูอิดไคเซชันของอนุภาคต่าง ๆ ได้แก่ เม็ดพลาสติกกระสุนปืนลมทรงกลม เม็ดพลาสติกใส เม็ดคั่วเหลือง และเม็ดคั่วแดง โดยทำการผ่านอากาศเข้าไปช้า ๆ ผ่านเบคอนุภาคของแข็ง หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ค่าความดันลดตกคร่อมเบดมากขึ้นและทำให้แต่ละอนุภาคเริ่มขยับเคลื่อนไหว เมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศมากขึ้นอีกจนอนุภาคเกิดการลอยขึ้นไปตามกระแสลมเบดที่มีลักษณะเหมือนของไหลนี้เรียกว่า ฟลูอิดไคซ์เบด ที่จุดนี้ความดันลดตกคร่อมเบดมีค่าคงที่แต่ความสูงเบดยังคงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามความเร็วอากาศที่เพิ่มขึ้น โดยเครื่องมือการทดลองนี้มีขีดความสามารถรองรับอนุภาคเม็ดพลาสติกกระสุนปืนลมทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร ความหนาแน่น 962 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ได้สูงสุด 2.26 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	Gas Fluidization		
By	Mr. Jetsadapun	Othong	ID.38014088
	Mr. Wuthipong	Somruk	ID.38014483
	Mr. Asada	Boonsrirat	ID.38014645
Advisor	Mr. Boonchai	Chotiviriyavanich	
Co-Advisor	Dr. Paisal	Nakpipat	
Report for	Bachelor Degree of Chemical Engineering Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		

Abstract

This project is to invent a gas – solid fluidization equipment that can be used to study fluidization phenomenon. The equipment consists of a 100 cm height acrylic column with 10 cm inner diameter, a 1 Hp blower designed for supply air to the column and a by - pass valves system for the gas flow rate control.

This equipment is used to study fluidization phenomena of 4 particle types. These 4 types of particles are yellow plastic particles, transparent plastic particles, soybeans and red skin beans. The steps of fluidization phenomena are observed as following, air at a low velocity is passed through a bed of solid particles. When the air velocity is increased, the pressure drop and the drag on individual particles increase, and eventually the particles start to move and become suspended in the gas stream. Until the bed is fluidized, the pressure drop across the bed stays constant, but the bed height continues to increase with increase flow rate.

The maximum capacity of the equipment that uses yellow plastic particles, which has 0.6 cm diameter and the density of 962 kg/m^3 , is 2.26 kg.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สามารถสำเร็จได้ เพราะความช่วยเหลือ ข้อเสนอแนะ และกำลังใจจาก บุคคลหลายท่าน ทางผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณทุกท่านมา ณ โอกาสนี้

1. อาจารย์บุญชัย โชติวิริยวณิชช์ สำหรับคำปรึกษา ข้อเสนอแนะ ที่ทำให้โครงการนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี
2. คร.ไพศาล นาคพิพัฒน์ สำหรับกำลังใจผลักดันและการสนับสนุนให้เกิดโครงการนี้ สำเร็จได้ด้วยดี
3. อาจารย์สุรนต์ อารีรัตน์ ที่เอื้อเพื่อเมล็ดพลาสติกใสสำหรับการศึกษาทดลอง
4. อาจารย์ทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้อันเป็นพื้นฐานในการนำไปใช้ในโครงการ นี้และในอนาคตต่อไป
5. คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านเครื่องมือการก่อสร้าง และความสะดวก ในการใช้ห้องปฏิบัติการ
6. เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจตลอดมา
7. เพื่อนชุมนุมเครื่องกลที่ช่วยให้คำปรึกษาที่ดีตลอดมา
8. ขอบขอบคุณพ่อ คุณแม่ สำหรับกำลังใจ และกำลังใจทรัพย์เพื่อโครงการวิจัยนี้

เกษฎาพันธ์ โอทอง

วุฒิพงษ์ โสมิตรักษ์

อัมภา บุญศรีรัตน์

9 มีนาคม 2542

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ณ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์.....	ชา

บทที่

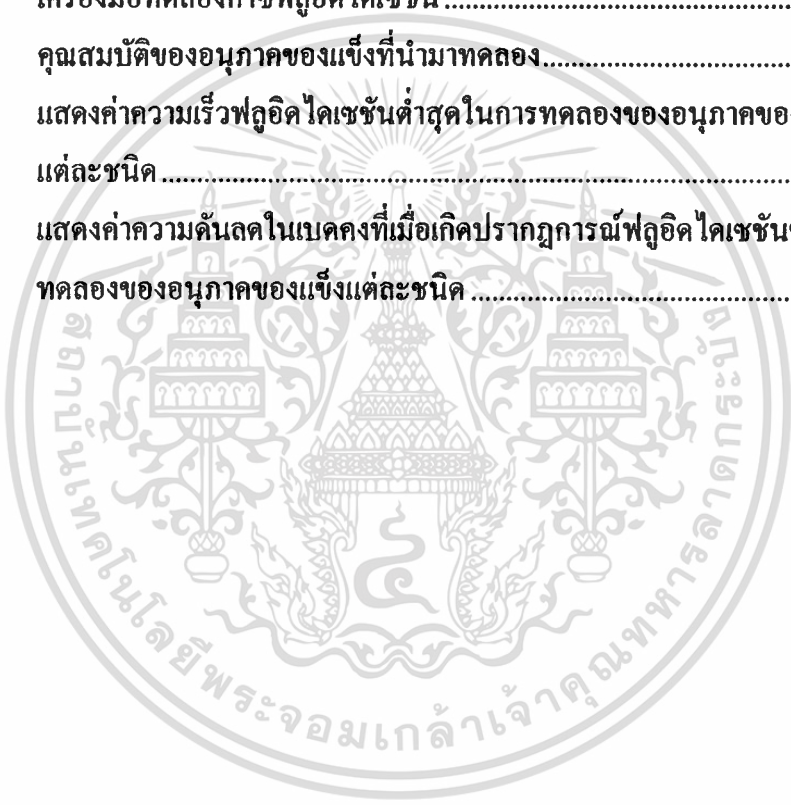
1. บทนำ	
1.1 มุทเหตุจูงใจ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2. ฟลูอิดไดเซชัน.....	3
2.1 ประเภทของฟลูอิด ไดเซชัน.....	3
2.2 ปฏิกิริยาการฟลูอิด ไดเซชัน.....	3
2.3 ความเร็วต่ำสุดของของไหลที่ทำให้เกิดฟลูอิด ไดเซชัน (U_{mf}).....	7
2.4 ความเร็วเริ่มหลุดลอยหรือความเร็วตกอิสระของอนุภาคของแข็ง (U_0).....	11
3. การออกแบบ.....	13
3.1 การออกแบบคอลัมน์ทดลอง.....	13
3.2 การออกแบบแผ่นกระจายอากาศ.....	15
3.3 ระบบท่อและวาล์วปรับความเร็วอากาศ.....	19
3.4 อุปกรณ์วัดความดัน.....	22
3.5 การหาค่าความสูญเสียรวมในระบบทางเดินอากาศของชุดทดลอง ก๊าซฟลูอิด ไดเซชัน (H_T).....	22
3.6 การใช้พลังงาน.....	24

3.7	ความสามารถในการใช้งานของเครื่องมือทดลองก๊าซฟลูอิด ไคเซชัน	24
3.8	โครงสร้างภายนอก.....	25
4.	การทดลองศึกษาชนิดของแผ่นกระจายอากาศ	34
4.1	ขั้นตอนการทดลอง	34
4.2	วิธีการทดลอง.....	34
4.3	ผลการทดลอง.....	36
4.4	สรุปผลการทดลอง.....	37
5.	การทดลองศึกษาปรากฏการณ์ก๊าซฟลูอิด ไคเซชัน	39
5.1	การทดลองศึกษาความผันผวนในเบด ความสูงเบด และความเร็ว ฟลูอิด ไคเซชันต่ำสุด.....	39
5.2	วิธีการทดลอง.....	42
5.3	การวิเคราะห์ข้อมูล.....	43
5.4	ผลการทดลอง.....	43
5.5	สรุปผลการทดลอง	58
5.6	การหาความสัมพันธ์ในการขยายตัวของเบด	61
5.7	การทดลองหาข้อจำกัดการใช้งานของเครื่องมือทดลอง	63
6.	สรุปผลการดำเนินงาน	64
	เอกสารอ้างอิง	65
ภาคผนวก		
ก.	การคำนวณออกแบบคอลัมน์ทดลอง.....	ก-1
ข.	การคำนวณออกแบบแผ่นกระจายอากาศ	ข-1
ค.	การหาค่าความสูญเสียรวมในระบบทางเดินอากาศของเครื่องมือทดลอง ก๊าซฟลูอิด ไคเซชันและพลังงานที่ใช้จริงของเครื่องมือ	ค-1
ง.	การคำนวณหาความสามารถสูงสุดในการใช้งานของเครื่องมือทดลอง	ง-1
จ.	ข้อมูลผลการทดลอง	จ-1
ฉ.	เครื่องมือวัดความเร็วก๊าซ	ฉ-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1.1	แสดงผลการคำนวณการออกแบบคอลัมน์ทดลอง.....	14
ตารางที่ 3.2.1	แสดงผลการคำนวณตัวแปรสำคัญในการออกแบบแผ่นกระจายอากาศ	16
ตารางที่ 3.2.2	แสดงรายละเอียดการออกแบบแผ่นกระจายอากาศแต่ละชนิด.....	16
ตารางที่ 3.5.1	แสดงผลการคำนวณหาค่าการสูญเสียในระบบทางเดินของอากาศผ่าน เครื่องมือทดลองก๊าซฟลูอิด ไคเซชัน	23
ตารางที่ 5.1.1	คุณสมบัติของอนุภาคของแข็งที่นำมาทดลอง.....	39
ตารางที่ 5.5.1	แสดงค่าความเร็วฟลูอิด ไคเซชันต่ำสุดในการทดลองของอนุภาคของแข็ง แต่ละชนิด	59
ตารางที่ 5.5.2	แสดงค่าความดันลดในเบดคงที่เมื่อเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิด ไคเซชันของการ ทดลองของอนุภาคของแข็งแต่ละชนิด	60



สารบัญญรูปภาพ

รูปที่ 2.2.1	แสดงลักษณะการเกิดฟลูอิด ไคเซชันแบบต่างๆ	5
รูปที่ 2.2.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดในเบดกับความเร็วของของไหล ที่ไหลผ่านเบด	6
รูปที่ 2.3.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดในเบดกับความเร็วของของไหล ที่ไหลผ่านเบด เมื่ออนุภาคของแข็งมีขนาดใกล้เคียงกัน	8
รูปที่ 2.3.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดในเบดกับความเร็วของของไหล ที่ไหลผ่านเบด เมื่ออนุภาคของแข็งมีการกระจายขนาดที่ดี	8
รูปที่ 3.1.1	แสดงความดันที่เกิด ณ ตำแหน่งต่างๆ ในชุดการทดลอง	13
รูปที่ 3.1.2	ภาพถ่าย 2 มิติแสดงการออกแบบส่วนของคอดัมน์	14
รูปที่ 3.2.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,or}$ กับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ (Re_c)	16
รูปที่ 3.2.2	แผ่นกระจายอากาศแบบที่ 1	17
รูปที่ 3.2.3	แผ่นกระจายอากาศแบบที่ 2	17
รูปที่ 3.2.4	แผ่นกระจายอากาศแบบที่ 3	18
รูปที่ 3.2.5	แผ่นกระจายอากาศแบบที่ 4	18
รูปที่ 3.2.6	แผ่นกระจายอากาศแบบที่ 5	19
รูปที่ 3.3.1	ภาพถ่าย 2 มิติแสดงการออกแบบส่วนของระบบท่อและวาล์วควบคุม	20
รูปที่ 3.3.2	ส่วนของระบบท่อและวาล์วควบคุม	21
รูปที่ 3.3.3	ส่วนของชุดกระจายอากาศภายในข้อต่อลด	21
รูปที่ 3.4.1	อุปกรณ์วัดความดันลด	22
รูปที่ 3.8.1	ภาพ 3 มิติแสดง โครงสร้างของเครื่องเป่าอากาศ	26
รูปที่ 3.8.2	โครงสร้างของเครื่องเป่าอากาศ	26
รูปที่ 3.8.3	ภาพ 2 มิติแสดง โครงสร้างของคอดัมน์ทดลองและระบบวาล์วปรับความเร็วลม	27
รูปที่ 3.8.4	ภาพ 3 มิติแสดง โครงสร้างของคอดัมน์ทดลองและระบบวาล์วปรับความเร็วลม	28
รูปที่ 3.8.5	ภาพ 2 มิติ แสดง โครงสร้างโดยรวมของเครื่องมือทดลองก๊าซฟลูอิด ไคเซชัน	29
รูปที่ 3.8.6	ภาพ 2 มิติ แสดง โครงสร้างโดยรวมด้านบนของเครื่องมือทดลอง ก๊าซฟลูอิด ไคเซชัน	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8.7	โครงสร้างโดยรวมของเครื่องมือทดลองก๊าซฟลูอิดไดเซชัน (ก) ภาพด้านหน้า (ข) ภาพด้านซ้าย (ค) ภาพด้านขวา.....	31
รูปที่ 3.8.7 (ต่อ)	โครงสร้างโดยรวมของเครื่องมือทดลองก๊าซฟลูอิดไดเซชัน (ก) ภาพด้านหน้า (ข) ภาพด้านซ้าย (ค) ภาพด้านขวา.....	32
รูปที่ 3.8.7 (ต่อ)	โครงสร้างโดยรวมของเครื่องมือทดลองก๊าซฟลูอิดไดเซชัน (ก) ภาพด้านหน้า (ข) ภาพด้านซ้าย (ค) ภาพด้านขวา.....	33
รูปที่ 4.3.1	แสดง แคลลิเบรชัน เคิร์ฟ ของแผ่นกระจายอากาศแต่ละชนิด.....	36
รูปที่ 4.3.2	แสดงความดันตกในเบด ของแผ่นกระจายอากาศแต่ละชนิด ที่ความสูงเบด 4 เซนติเมตร.....	36
รูปที่ 4.3.3	แสดงความดันตกในเบด ของแผ่นกระจายอากาศแต่ละชนิด ที่ความสูงเบด 6 เซนติเมตร.....	37
รูปที่ 5.1.1	เม็ดพลาสติกกระสุนปืนอัดลม.....	40
รูปที่ 5.1.2	เม็ดพลาสติกใส.....	40
รูปที่ 5.1.3	เม็ดถั่วเหลือง.....	41
รูปที่ 5.1.4	เม็ดถั่วแดง.....	41
รูปที่ 5.4.1	แคลลิเบรชัน เคิร์ฟ ของแผ่นกระจายอากาศชนิดตะแกรง ขนาดรูเปิด 2 mm × 2 mm.....	43
รูปที่ 5.4.2	การเปลี่ยนแปลงความดันตกในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศของเม็ด พลาสติกกระสุนปืนลมเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 4 เซนติเมตร.....	44
รูปที่ 5.4.3	การเปลี่ยนแปลงความดันตกในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศของเม็ด พลาสติกกระสุนปืนลมเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 6 เซนติเมตร.....	45
รูปที่ 5.4.4	การเปลี่ยนแปลงความดันตกในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศของเม็ด พลาสติกกระสุนปืนลมเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 8 เซนติเมตร.....	45
รูปที่ 5.4.5	การเปลี่ยนแปลงความดันตกในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศของเม็ด พลาสติกกระสุนปืนลมเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 10 เซนติเมตร.....	46
รูปที่ 5.4.6	การเปลี่ยนแปลงความดันตกในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศของเม็ด พลาสติกกระสุนปืนลมเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 12 เซนติเมตร.....	46
รูปที่ 5.4.7	การเปลี่ยนแปลงความดันตกในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศ ของเม็ดพลาสติกใสเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 4 เซนติเมตร.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.4.8 การเปลี่ยนแปลงความดันลดในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศ
ของเม็ดพลาสติกใสเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 6 เซนติเมตร 47

รูปที่ 5.4.9 การเปลี่ยนแปลงความดันลดในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศ
ของเม็ดพลาสติกใสเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 8 เซนติเมตร 48

รูปที่ 5.4.10 การเปลี่ยนแปลงความดันลดในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศของเม็ด
พลาสติกใสเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 10 เซนติเมตร 48

รูปที่ 5.4.11 การเปลี่ยนแปลงความดันลดในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศ
ของเม็ดพลาสติกใสเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 12 เซนติเมตร 49

รูปที่ 5.4.12 การเปลี่ยนแปลงความดันลดในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศ
ของเม็ดสีดำเหลืองเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 4 เซนติเมตร 49

รูปที่ 5.4.13 การเปลี่ยนแปลงความดันลดในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศ
ของเม็ดสีดำเหลืองเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 6 เซนติเมตร 50

รูปที่ 5.4.14 การเปลี่ยนแปลงความดันลดในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศ
ของเม็ดสีดำเหลืองเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 8 เซนติเมตร 50

รูปที่ 5.4.15 การเปลี่ยนแปลงความดันลดในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศ
ของเม็ดสีดำเหลืองเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 10 เซนติเมตร 51

รูปที่ 5.4.16 การเปลี่ยนแปลงความดันลดในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศ
ของเม็ดสีดำเหลืองเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 12 เซนติเมตร 51

รูปที่ 5.4.17 การเปลี่ยนแปลงความดันลดในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศ
ของเม็ดสีดำแดงเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 4 เซนติเมตร 52

รูปที่ 5.4.18 การเปลี่ยนแปลงความดันลดในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศ
ของเม็ดสีดำแดงเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 6 เซนติเมตร 52

รูปที่ 5.4.19 การเปลี่ยนแปลงความดันลดในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศ
ของเม็ดสีดำแดงเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 8 เซนติเมตร 53

รูปที่ 5.4.20 การเปลี่ยนแปลงความดันลดในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศ
ของเม็ดสีดำแดงเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 10 เซนติเมตร 53

รูปที่ 5.4.21 การเปลี่ยนแปลงความดันลดในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศ
ของเม็ดสีดำแดงเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 12 เซนติเมตร 54

รูปที่ 5.4.22 ปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชันของเม็ดพลาสติกกระสุนปืนลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับครูใช้สอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ขงเริ่มเกิดฟลูอิด ไดเซชัน 54

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.4.23	ปรากฏการณ์ฟลูอิด ไคเซชันของเม็ดพลาสติกใสขณะเกิดฟลูอิด ไคเซชัน.....	55
รูปที่ 5.4.24	การเกิดฟองก๊าซฟลูอิด ไคเซชันของเม็ดพลาสติกกระสุนปืนลม.....	56
รูปที่ 5.4.25	การเกิดปรากฏการณ์สติกกิ้งของเม็ดพลาสติกกระสุนปืนลม.....	57
รูปที่ 5.4.26	การเกิดสะเก็ดเป่าตัดเบด ของเม็ดคั่วแดง	58
รูปที่ 5.6.1	ความสัมพันธ์ของ Re_p กับ $(1-\epsilon) / \epsilon^3$	62



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์

- A_t = พื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์ท่อลง
 C_d = สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน
 d_p = เส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดอนุภาค
 \bar{d}_p = เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเม็ดอนุภาค
 g = ค่าแรงโน้มถ่วงของโลก
 g_c = ค่าคงตัวของการแปลงหน่วยของค่าแรงโน้มถ่วงของโลก
 L = ความยาวของท่อ
 L_m = ความสูงของเบดเริ่มต้น
 L_{mf} = ความสูงของเบดขณะเริ่มฟลูอิดไคเซชัน
 Re_p = ค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์เทียบกับขนาดอนุภาค
 Re_t = ค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์เทียบกับขนาดคอลัมน์ท่อลง
 U_0 = ความเร็วของของไหลที่ผ่านคอลัมน์เปล่า
 U_{mf} = ความเร็วของของไหลที่ผ่านเบดขณะเริ่มฟลูอิดไคเซชัน
 U_t = ความเร็วของของไหลที่ทำให้เม็ดของแข็งในเบดเริ่มหลุดลอย
 U_{or} = ความเร็วของของไหลที่ไหลผ่านรูออริฟิส
 P = ความดัน
 ΔP_b = ความดันตกภายในเบด
 ΔP_d = ความดันตกระหว่างแผ่นกระจายอากาศ
 ε_m = อัตราส่วนช่องว่างภายในเบดขณะเบดนิ่ง
 ε_{mf} = อัตราส่วนช่องว่างภายในเบดขณะเริ่มเกิดฟลูอิดไคเซชัน
 ϕ_s = แฟกเตอร์รูปร่างที่แตกต่างจากทรงกลม
 μ = ความหนืดของของไหล
 ρ_g = ความหนาแน่นของของไหล
 ρ_s = ความหนาแน่นของเม็ดของแข็ง
 N_{or} = จำนวนรูออริฟิสต่อหน่วยพื้นที่ของแผ่นกระจายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ Q กรณีใดๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $C_{d,or}$ = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของรูออริฟิส
 h_{L1} = ค่าความสูญเสียเนื่องจากความดันในคอถัมน้อะคิลิด
 h_{L2} = ค่าความสูญเสียเนื่องจากความดันที่เกิดจากแผ่นกระจายอากาศ
 h_{L3} = ค่าความสูญเสียเนื่องจากคอถัมน้อะคิลิด และท่อ PVC ขนาด 4 นิ้ว
 h_{L4} = ค่าความสูญเสียเนื่องจากท่อ PVC และท่อส่งอากาศจากเครื่องเป่าอากาศขนาด 2 นิ้ว
 h_{L5} = ค่าความสูญเสียเนื่องจากการขยายขนาดของพื้นที่หน้าตัดท่อ
 h_{L6} = ค่าความสูญเสียเนื่องจากวาล์วประตูน้ำทองเหลืองและข้อต่อ PVC 3 ทาง
 H_T = ค่าความสูญเสียรวมของระบบทางเดินอากาศ
 f = Fanning friction factor



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ฟลูอิดไคเซชัน เป็นการปฏิบัติการแบบหนึ่งซึ่งทำให้อนุภาคของแข็งที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์และวางอยู่บนตะแกรงเปลี่ยนสถานะจากอนุภาคของแข็งที่อยู่นิ่ง เป็นอนุภาคของแข็งที่มีสถานะคล้ายของไหล เมื่อมีของไหลไหลสัมผัสผ่านอนุภาคของแข็งในคอลัมน์นั้น บริเวณที่อนุภาคของแข็งที่อยู่ภายในคอลัมน์ตั้งแต่แผ่นกระจายของไหลนิยมเรียกว่า เบด (Bed) ถ้าอนุภาคของแข็งอยู่นิ่งเรียกว่า เบดนิ่ง (Fixed Bed) ถ้าอนุภาคของแข็งทั้งหมดมีพฤติกรรมคล้ายของไหลเรียกว่า ฟลูอิดไคซ์เบด (Fluidized Bed) กล่าวคือมีการไหลหมุนเวียนของอนุภาคของแข็งภายในเบดหรือคอลัมน์ตลอด ลักษณะปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นได้โดยทำการอัดของไหลที่มีทิศทางการไหลตรงข้ามกับแรงโน้มถ่วง ให้ไหลผ่านตะแกรง และไหลสัมผัสผ่านอนุภาคของแข็งในเบดนั้น ของไหลนี้อาจเป็นของเหลว ก๊าซ หรือของเหลวผสมกับก๊าซก็ได้ เมื่อเพิ่มความเร็วให้กับของไหลมากขึ้นเรื่อยๆ จนในที่สุดจะเห็นอนุภาคของแข็งขยับตัวและลอยขึ้น และลอยขึ้นเป็นอิสระต่อกัน เกิดเป็นปรากฏการณ์ฟลูอิดไคเซชันขึ้น การเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไคเซชันนั้นต้องอาศัยองค์ประกอบต่าง ๆ เช่น คอลัมน์ แผ่นกระจายของไหล (Distributor) อนุภาคของแข็งที่ใช้เป็นเบด เป็นต้น

1.1 มूलเหตุจูงใจ

ในกระบวนการอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและอุตสาหกรรมเคมีในปัจจุบัน ได้มีการนำเทคโนโลยีด้านฟลูอิดไคเซชันมาใช้ในกระบวนการผลิตกันอย่างกว้างขวาง เช่น กระบวนการอบแห้ง กระบวนการแตกตัวโมเลกุลด้วยความร้อน (Catalytic Cracking) กระบวนการเคลือบผิว กระบวนการทำอนุภาคของแข็งให้โตขึ้น (Agglomeration) เป็นต้น ดังนั้นการศึกษาในด้านทฤษฎีและการทดลองปฏิบัติถึงพฤติกรรมและการเกิดฟลูอิดไคเซชันเบื้องต้น จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งสำหรับนักศึกษาวิศวกรรมเคมีและปิโตรเคมี ที่จะต้องเรียนรู้และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้

ด้วยเหตุนี้จึงมีความสนใจที่จะทำการสร้างเครื่องมือทดลองก๊าซฟลูอิดไคเซชันขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาภาคปฏิบัติเบื้องต้นของปรากฏการณ์ฟลูอิดไคเซชัน โดยจัดทำเครื่องมือทดลองอย่างง่าย ให้เห็นปรากฏการณ์ฟลูอิดไคเซชันอย่างชัดเจนและสามารถศึกษาผลกระทบของตัวแปรไม่วอร์มใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คิดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่าง ๆ ได้แก่ ความเร็วของก๊าซ ความดันลดในเบด การขยายตัวของเบด เป็นต้น เพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงหลักการเบื้องต้นของปรากฏการณ์ฟลูอิด ไคเซชันมากขึ้น อันจะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 ออกแบบและสร้างเครื่องมือชุดทดลองฟลูอิด ไคเซชันแบบก๊าซฟลูอิด ไคเซชัน
- 1.2.2 ศึกษาพฤติกรรมการเกิดฟลูอิด ไคเซชันในระบบอากาศ - ของแข็ง
- 1.2.3 ทำการทดลองศึกษาผลกระทบของตัวแปรและปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดฟลูอิด ไคเซชันในระบบอากาศ - ของแข็ง
- 1.2.4 จัดทำเป็นอุปกรณ์ทดลองในวิชาการทดลองทางวิศวกรรมเคมี 1 หรือ 2

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.3.1 ทำการออกแบบเครื่องมือชุดทดลองฟลูอิด ไคเซชันแบบก๊าซฟลูอิด ไคเซชัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของคอลัมน์ 10 เซนติเมตร โดยมีอากาศเป็นของไหลและมีเม็ดพลาสติกกระสุนปืนลมเป็นของแข็งที่ใช้ในการคำนวณออกแบบเครื่องมือ
- 1.3.2 สร้างเครื่องมือชุดทดลองฟลูอิด ไคเซชันแบบก๊าซฟลูอิด ไคเซชันตามการออกแบบ เพื่อใช้ในการทดลองศึกษาปรากฏการณ์ฟลูอิด ไคเซชัน
- 1.3.3 ทำการทดลอง เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของตัวแปรและปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบก๊าซฟลูอิด ไคเซชัน เช่น ผลของอนุภาคของแข็งรูปแบบต่าง ๆ ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงความสูงของเบด พฤติกรรมของของแข็งกับแผ่นกระจายอากาศที่แตกต่างกัน เป็นต้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 มีความรู้และความเข้าใจในการออกแบบเครื่องมือชุดทดลองฟลูอิด ไคเซชันในระบบก๊าซ - ของแข็ง
- 1.4.2 มีความรู้และความเข้าใจในปรากฏการณ์ฟลูอิด ไคเซชันมากขึ้น
- 1.4.3 สามารถใช้เป็นอุปกรณ์ทดลองในวิชาการทดลองทางวิศวกรรมเคมี 1 หรือ 2
- 1.4.4 สามารถวิเคราะห์และแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างดำเนินโครงการ

บทที่ 2

ฟลูอิดไดเซชัน

2.1 ประเภทของฟลูอิดไดเซชัน

กระบวนการฟลูอิดไดเซชันสามารถแบ่งได้สองประเภทด้วยกัน [3] คือ

2.1.1 ฟลูอิดไดเซชันสองสถานะ (Two - phase Fluidization) หมายความว่าภายในคอลัมน์ทดลองหรือเบดที่ใช้งานจะประกอบด้วยสองสถานะ คือของแข็งกับของไหล ของไหลนี้อาจจะเป็นก๊าซหรือของเหลวก็ได้ ดังนั้นฟลูอิดไดเซชันสองสถานะจึงแบ่งได้อีก 2 ประเภทคือ

- 1) ก๊าซฟลูอิดไดเซชัน (Gas Fluidization)
- 2) ฟลูอิดไดเซชันของเหลว (Liquid Fluidization)

2.1.2 ฟลูอิดไดเซชันสามสถานะ (Three-phase Fluidization) หมายความว่าภายในคอลัมน์ทดลองหรือเบดที่ใช้งานจะประกอบด้วยของทั้งสามสถานะอยู่พร้อมกัน คือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ

2.2 ปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชัน

ปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชันเกิดขึ้นได้หลายลักษณะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบบางประการ เช่น ความเร็วของของไหล ชนิดของเม็ดวัสดุที่ประกอบกันเป็นเบด ลักษณะของแผ่นกระจายของไหล เมื่อความเร็วของของไหลเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ความดันตกในเบดเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังรูปที่ 2.2.1 ลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อค่อย ๆ เพิ่มความเร็วของของไหลสรุปได้ดังนี้คือ

2.2.1 เมื่อป้อนของไหลด้วยความเร็วต่ำ ๆ ของไหลจะไหลผ่านช่องว่างระหว่างอนุภาคของแข็งไปโดยไม่ทำให้อนุภาคของแข็งเคลื่อนที่ เบดลักษณะนี้เรียกว่า เบดนิ่ง (Fixed bed)

2.2.2 เมื่อความเร็วของของไหลสูงขึ้นอนุภาคของแข็งจะเคลื่อนที่ห่างออกจากกัน ลักษณะนี้เรียกว่า เบดขยายตัว (Expanded bed)

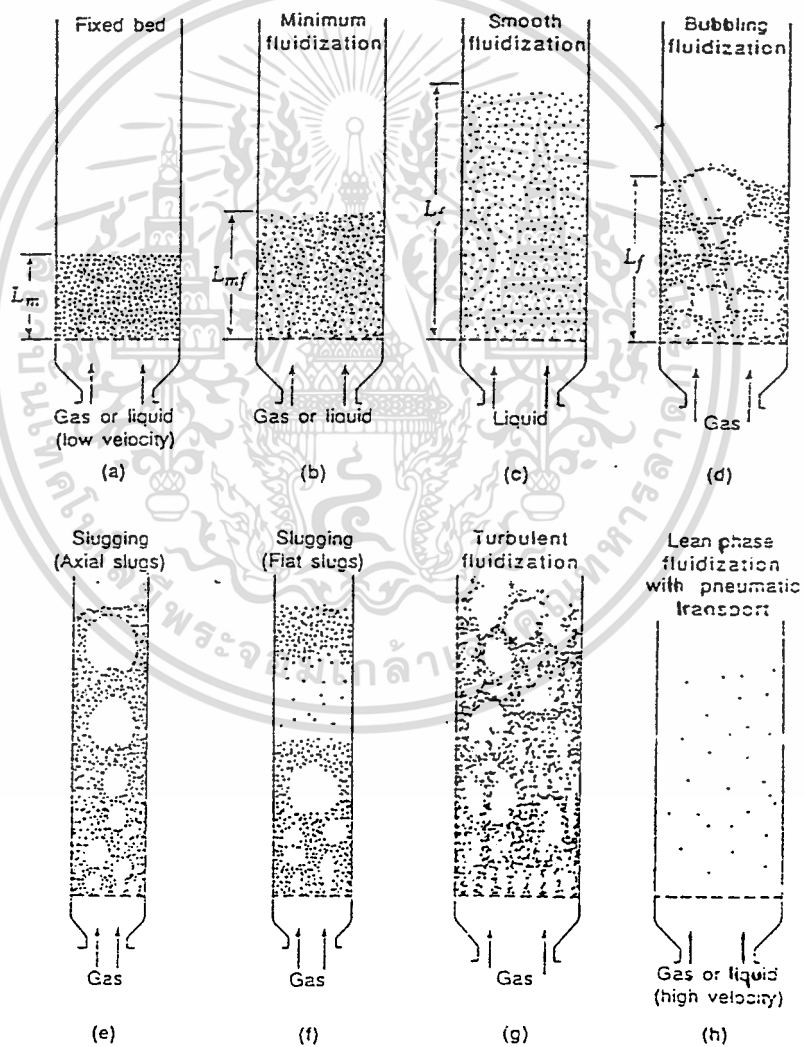
2.2.3 เมื่อเพิ่มความเร็วของของไหลขึ้นอีกจนถึงจุด ๆ หนึ่ง ซึ่งแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคของแข็งกับของไหลสมดุลกับน้ำหนักของอนุภาคของแข็งและแรงกระทำระหว่างอนุภาคของแข็งในแนวตั้งหายไปอนุภาคของแข็งที่ประกอบกันเป็นเบดจะลอยตัวเป็นอิสระ แรงกระทำไม่อาจรวมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คิดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากความดันลดระหว่างหน้าตัดใด ๆ ของเบดจะเท่ากับน้ำหนักของของไหลและอนุภาคของแข็งระหว่างหน้าตัดนั้นๆ เบดในสภาพเช่นนี้เป็นเบดที่เริ่มฟลูอิดไดซ์ เรียกเบดในลักษณะนี้ว่า อินซิเพียนฟลูอิดไดซ์เบด (Incipiently Fluidized Bed) หรือเบดที่มีสภาพฟลูอิดไดซ์ขั้นต่ำสุด (Minimum Fluidization)

2.2.4 เมื่อของไหลมีความเร็วมากกว่าความเร็วที่กล่าวในหัวข้อ 2.2.3 อนุภาคของแข็งจะเคลื่อนตัวห่างจากกันมากขึ้นตามความเร็วของของไหล จะเริ่มเกิดฟองก๊าซ (Bubbles) เกิดขึ้น อนุภาคของแข็งเริ่มไหลหมุนเวียนดีขึ้น เมื่อความเร็วของของไหลเพิ่มสูงขึ้น จะทำให้เกิดการผสมผสานและการไหลเวียนของของแข็งจะรุนแรงยิ่งขึ้น เบดในลักษณะนี้เรียกว่า บับบลิ้งฟลูอิดไดซ์เบด (Bubbling Fluidized Bed) ส่วนของเบดที่ไม่รวมฟองเรียกว่า อิมัลชันเฟส (Emulsion Phase)

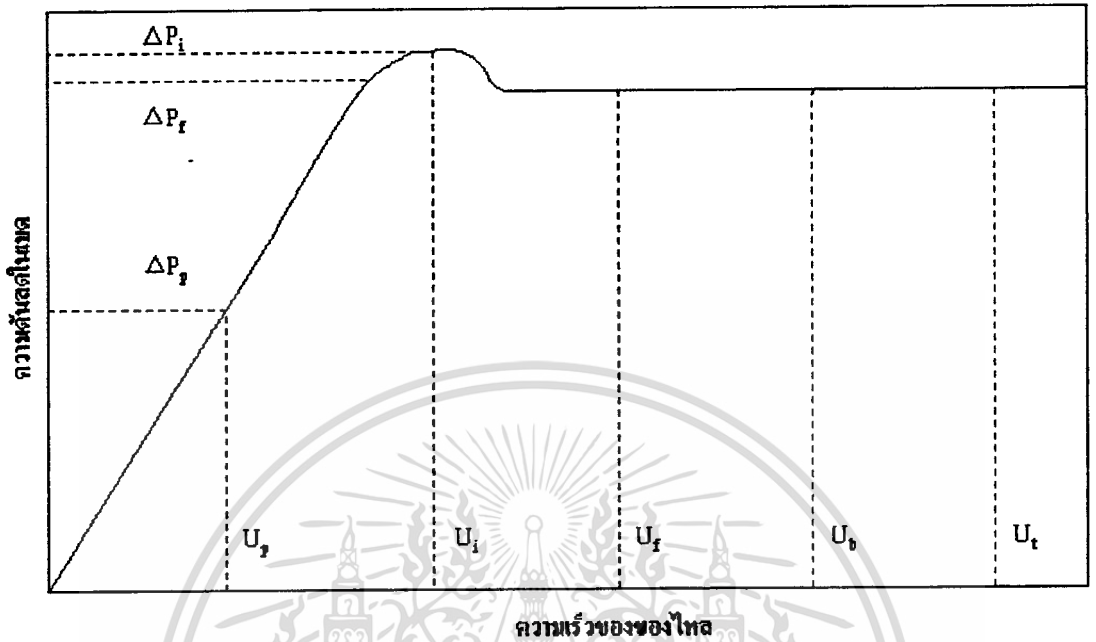
2.2.5 ฟลูอิดไดซ์เบดที่สามารถบ่งบอกระดับเบดได้เรียกว่า ฟลูอิดไดซ์เบดแบบหนาแน่น (Dense Phase Fluidized Bed) และเมื่อความเร็วของของไหลมากกว่าความเร็วขณะหลุดลอย (Terminal Velocity) อนุภาคของแข็งจะหลุดลอยไปกับกระแสการไหลของของไหล สถานะเรียกว่า ฟลูอิดไดซ์เบดแบบเจือจาง (Lean Phase Fluidized Bed) หรือการขนถ่ายด้วยของไหล (Pneumatic or Hydraulic Transport)

ฟลูอิดไดซ์เบดที่ของไหลเป็นของเหลว การขยายตัวของเบดเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ การลอยตัวและการหมุนรอบตัวเองของอนุภาคของแข็งเป็นไปอย่างช้า ๆ เราเรียกเบดแบบนี้ว่าเบดสม่ำเสมอ (Smoothly Fluidized Bed) ฟลูอิดไดซ์เบดที่ของไหลเป็นก๊าซลักษณะของเบดจะแตกต่างจากของเหลวมาก เพราะเมื่อความเร็วของก๊าซสูงกว่าความเร็วที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์ขั้นแล้วก๊าซส่วนหนึ่งยังทำหน้าที่ให้เกิดการลอยตัวของอนุภาคของแข็งเหมือนเดิม แต่มีอีกส่วนหนึ่งรวมตัวแล้วก่อตัวเป็นฟองก๊าซเกิดขึ้น ฟองก๊าซจะแทรกตัวเองขึ้นมายังบนผิวหน้าของเบด และแตกตัวในที่สุด การเคลื่อนที่ของอนุภาคของแข็งภายในเบดจะเคลื่อนที่อย่างไม่เป็นระเบียบ



รูปที่ 2.2.1 แสดงลักษณะการเกิดฟลูอิดไลเซชันแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- U_p = ความเร็วฟลูอิด ไคเซชันสำหรับแพ็คเบด
(Fluidization velocity for packed bed)
- U_i = ความเร็วฟลูอิด ไคเซชันสำหรับอินซิเพียนฟลูอิด ไคซ์เบด
(Fluidization velocity for incipient fluidized bed)
- U_f = ความเร็วฟลูอิด ไคเซชันสำหรับฟลูอิด ไคซ์เบด
(Fluidization velocity for fluidized bed)
- U_b = ความเร็วฟลูอิด ไคเซชันสำหรับบับบลิ้งฟลูอิด ไคซ์เบด
(Fluidization velocity for bubbling fluidized bed)
- U_t = ความเร็วฟลูอิด ไคเซชันสำหรับทรานสปอร์ตเบด
(Fluidization velocity for transported bed)

รูปที่ 2.2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกในเบดกับความเร็วจของของไหลที่ผ่านเบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ความเร็วต่ำสุดของของไหลที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชัน (U_{mf})

การหาความเร็วดังกล่าวทำได้ 2 วิธี คือ วิธีการทดลองและวิธีการคำนวณ

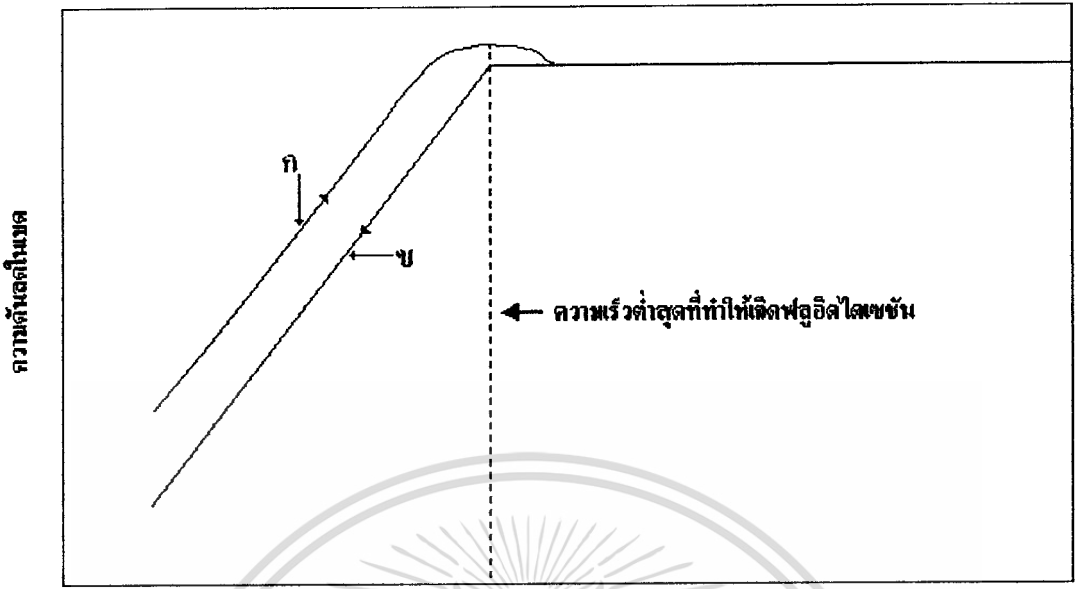
2.3.1 วิธีการทดลอง

ทำการทดลองและบันทึกค่าความเร็วของของไหลที่ไหลผ่านเบดและค่าความดันตกในเบด แล้วนำค่ามาพล็อตกราฟระหว่างค่าความเร็วของของไหลกับค่าความดันตกในเบด ค่าของความเร็ว U_{mf} สามารถหาได้จากกราฟดังแสดงในรูปที่ 2.3.1 และรูปที่ 2.3.2

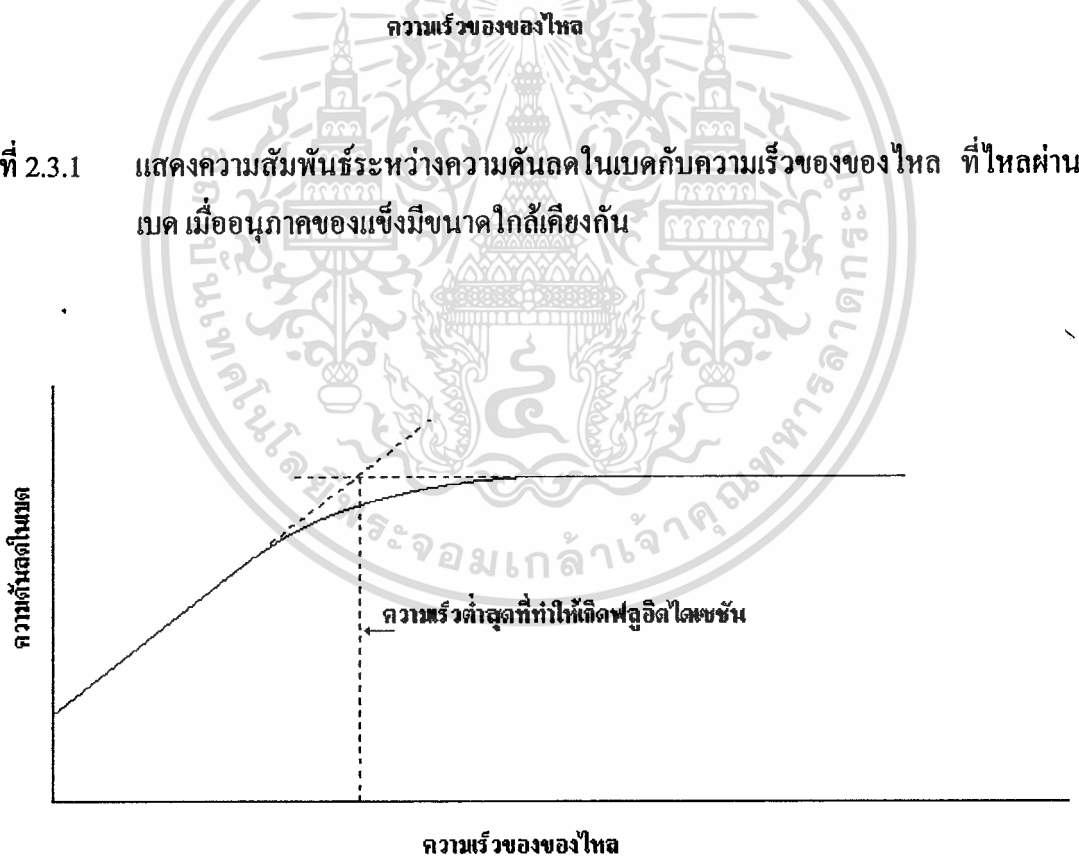
ในรูปที่ 2.3.2 เป็นการทดลองของอนุภาคของแข็งที่มีขนาดใกล้เคียงกัน จะสังเกตเห็นว่าเส้นกราฟมีความแตกต่างกันระหว่างขณะเพิ่มและลดความเร็วของของไหล เส้นกราฟขณะเพิ่มความเร็ว (เส้น ก) ในบริเวณที่ใกล้เคียงกับความเร็ว U_{mf} ความดันตกในเบดจะเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากความเร็วในช่วงนี้จะต้องใช้แรงดันมากเป็นพิเศษ ในการเอาชนะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของแข็งให้แยกออกจากกัน เมื่อเกิดการจัดเรียงตัวเรียบร้อยแล้ว ความดันตกจะค่อย ๆ ลดลงและคงที่ในช่วงความเร็วของของไหลช่วงหนึ่ง

สำหรับเส้นกราฟขณะลดความดัน (เส้น ข) ในช่วงที่ความเร็วเกินกว่าความเร็ว U_{mf} เส้นกราฟจะใกล้เคียงกับเส้น ก แต่ในช่วงหลังเส้น ข จะขนานกับเส้น ก ความดันตกขณะลดความเร็วจะมีค่าน้อยกว่า ทั้งนี้เป็นเพราะขณะเบดเปลี่ยนจากสภาพฟลูอิดไดซ์เข้าสู่เบดนิ่งนั้น อนุภาคของแข็งจัดเรียงตัวเองแล้วทำให้ไม่ต้องสูญเสียพลังงานภายในการจัดตัวเองอีก และถ้าทำการทดลองซ้ำในเบดเดิมอีก เส้นกราฟขณะเพิ่มความเร็วจะใกล้เคียงกับเส้น ข ขณะลดความเร็วในการทดลองครั้งแรก

สำหรับอนุภาคของแข็งที่มีการกระจายขนาดที่ดี (Size Distribution) ลักษณะของกราฟที่ได้จะราบเรียบกว่า ดังรูปที่ 2.3.2



รูปที่ 2.3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดในเบดกับความเร็วของของไหล ที่ไหลผ่านเบด เมื่ออนุภาคของแข็งมีขนาดใกล้เคียงกัน



รูปที่ 2.3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดในเบดกับความเร็วของของไหล ที่ไหลผ่านเบด เมื่ออนุภาคของแข็งมีการกระจายขนาดที่คี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยไม่หวังผลตอบแทนเพื่อวัตถุประสงค์ทางวิชาการที่ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ทฤษฎีการคำนวณฟลูอิดไคเซชัน

ขณะที่อนุภาคของแข็งเริ่มลอยตัวเป็นอิสระแสดงว่า อนุภาคของแข็งกำลังอยู่ในสมดุลของแรง ซึ่งได้แก่แรงที่เกิดจากน้ำหนักของอนุภาคของแข็ง แรงพยุงของของไหล (Bouyance Force) และแรงต้านทานการไหล (Drag Force) อาจเขียนในสมการสมดุลแรงต่าง ๆ ได้ดังนี้

$$[\text{แรงพยุงของของไหล}] + [\text{แรงต้านทานการไหล}] = [\text{น้ำหนักของอนุภาคของแข็งในเบด}] \quad (2.3.1a)$$

$$[\text{ความดันลดในเบด}][\text{พื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์}] = [\text{ปริมาตรของเบด}][\text{แฟรคชันของของแข็ง}][\text{น้ำหนักจำเพาะของของแข็ง}] \quad (2.3.1b)$$

$$\Delta P_b A_c = w = [A_c L_{mf}] [1 - \epsilon_{mf}] [\rho_s - \rho_g] \frac{g}{g_c} \quad (2.3.1c)$$

จัดเทอมใหม่ สำหรับสภาพฟลูอิดไคเซชันต่ำสุด

$$\frac{\Delta P_b}{L_{mf}} = [1 - \epsilon_{mf}] [\rho_s - \rho_g] \frac{g}{g_c} \quad (2.3.2)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความดันลด (ΔP) ในเบดหนึ่งกับความเร็วยของไหลที่ไหลผ่านเบดและขนาดของอนุภาคของแข็ง [2] ซึ่งเป็นสมการของ Ergun คือ

$$\frac{\Delta P_b}{L} g_c = \frac{150(1 - \epsilon_m)^2 \mu U_0}{\epsilon_m^3 (\phi_s \cdot d_p)^2} + \frac{1.75(1 - \epsilon_m) \rho_g U_0^2}{\epsilon_m^3 (\phi_s \cdot d_p)} \quad (2.3.3)$$

เทอมแรกทางด้านขวาของสมการที่ 2.3.3 แทนการสูญเสียความดันเนื่องจากผลของความเสียดทาน เทอมที่สองเป็นผลของการสูญเสียพลังงานจลน์ ที่ $Re_p < 20$ โดยที่ผลของแรงเสียดทานจะมีค่ามากกว่า ดังนั้นสมการที่ 2.3.3 สามารถตัดเทอมที่สองได้เป็น

$$\text{เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ} \quad \frac{\Delta P_b}{L} g_c = \frac{150(1 - \epsilon_m)^2 \mu U_0}{\epsilon_m^3 (\phi_s \cdot d_p)^2} \quad \text{อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์(2.3.4) การค้า} \\ \text{ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้}$$

ที่ $Re_p > 1000$ ผลของการสูญเสียพลังงานจลน์จะมีค่ามากกว่าผลของแรงเสียดทาน สมการที่ 2.3.3 จัดใหม่ได้เป็นดังนี้

$$\frac{\Delta P_b}{L} g_c = \frac{1.75(1-\epsilon_m)\rho_g U_0^2}{\epsilon_m^3(\phi_s \cdot d_p)} \quad (2.3.5)$$

ซึ่งสมการของ Ergun นี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับสมการที่ 2.3.3 ได้ เมื่อเบดอยู่ที่จุดเริ่มเกิดฟลูอิด ไคเซชัน ดังนั้นจะแทนสมการที่ 2.3.3 ลงในสมการที่ 2.3.2 ในขณะที่เริ่มเกิดฟลูอิด ไคเซชัน ได้ดังสมการที่ 2.3.6

$$\frac{1.75}{\epsilon_{mf}^3 \phi_s} \left[\frac{d_p U_{mf} \rho_g}{\mu} \right]^2 + \frac{150(1-\epsilon_{mf})(U_{mf} d_p \rho_g)}{\mu \epsilon_{mf}^3 \phi_s^2} = \frac{d_p^3 \rho_g (\rho_s - \rho_g) g}{\mu^2} \quad (2.3.6)$$

ที่ $Re_p < 20$ และอนุภาคของแข็งมีขนาดเล็ก แทนค่าสมการที่ 2.3.4 ลงในสมการที่ 2.3.2 แล้วหาค่า U_{mf} จะได้

$$U_{mf} = \frac{(\phi_s d_p)^2 (\rho_s - \rho_g) g \epsilon_{mf}^3}{150 \mu (1 - \epsilon_{mf})} \quad (2.3.7)$$

สำหรับอนุภาคของแข็งขนาดใหญ่ และ $Re_p > 1000$ แทนค่าสมการที่ 2.3.5 ลงในสมการที่ 2.3.2 แล้วหาค่า U_{mf} จะได้

$$U_{mf} = \left[\frac{\phi_s d_p (\rho_s - \rho_g) g \epsilon_{mf}^3}{1.75 \rho_g} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.3.8)$$

ถ้าไม่ทราบค่าของ ϵ_{mf} และ ϕ_s Wen และ Yu (1966) แนะนำให้ใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\frac{1}{\phi_s \epsilon_{mf}^3} = 14 \quad (2.3.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{1 - \epsilon_{mf}}{\phi_s^2 \epsilon_{mf}^3} = 11 \quad (2.3.10)$$

แทนค่าสมการที่ 2.3.10 ลงในสมการที่ 2.3.6 แล้วหาค่า U_{mf} จะได้

$$U_{mf} = \frac{\mu}{d_p \rho_g} \left[\left\{ (33.7)^2 + \frac{0.0408 d_p^3 \rho_g (\rho_s - \rho_g) g}{\mu^2} \right\}^{\frac{1}{2}} - 33.7 \right] \quad (2.3.11)$$

สมการที่ 2.3.11 นี้ มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 34 % ในช่วง $0.001 < Re_p < 4000$

2.4 ความเร็วเริ่มหลุดลอยหรือความเร็วตกอิสระของอนุภาคของแข็ง (U_t)

ความเร็วของไหลที่ไหลผ่านฟลูอิดไดซ์เบดถูกจำกัดด้วยความเร็ว U_{mf} และความเร็ว U_t ความเร็ว U_t นี้สามารถหาได้จากวิธีการของกลศาสตร์ของไหล ซึ่งแสดงไว้ดังสมการ

$$U_t = \left[\frac{4d_p g (\rho_s - \rho_g)}{3\rho_g C_d} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.4.1)$$

โดยที่ C_d เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Drag Coefficient) ซึ่งหาได้จากการทดลอง และจากการทดลองพบว่าค่า C_d ขึ้นอยู่กับค่า Re_p ดังสมการ

$$C_d = \frac{24}{Re_p} \quad \text{เมื่อ } Re_p < 0.4 \quad (2.4.2)$$

$$C_d = \frac{10}{\sqrt{Re_p}} \quad \text{เมื่อ } 0.4 < Re_p < 500 \quad (2.4.3)$$

$$C_d = 0.43 \quad \text{เมื่อ } 500 < Re_p < 200,000 \text{ หรือ } 1,000 < Re_p \quad (2.4.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ ห้ามเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์
 ไม่จะได้อีกทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$U_{t,\text{spherical}} = \frac{g(\rho_s - \rho_g)d_p^2}{18\mu} \quad \text{เมื่อ } Re_p < 0.4 \quad (2.4.5)$$

$$U_{t,\text{spherical}} = d_p \left[\frac{4(\rho_s - \rho_g)^2 g^2}{225\rho_g\mu} \right]^{\frac{1}{3}} \quad \text{เมื่อ } 0.4 < Re_p < 500 \quad (2.4.6)$$

$$U_{t,\text{spherical}} = \left[\frac{3.1g(\rho_s - \rho_g)d_p}{\rho_g} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{เมื่อ } 500 < Re_p < 200,000 \text{ หรือ } 1,000 < Re_p \quad (2.4.7)$$

เพื่อหลีกเลี่ยงมิให้อนุภาคของแข็งหลุดลอยออกจากเบด ความเร็วของของไหลที่ใช้ในระบบฟลูอิดไคซ์เบดจะต้องมีค่าอยู่ระหว่างความเร็ว U_{mf} และความเร็ว U_t ในการคำนวณหาความเร็ว U_{mf} เนื่องจากอนุภาคของแข็งมีการกระจายขนาด ดังนั้นขนาดของอนุภาคของแข็งที่ใช้จะเป็นขนาดโดยเฉลี่ย ส่วนการคำนวณความเร็ว U_t จะใช้ขนาดของอนุภาคของแข็งที่เล็กที่สุดที่ปะปนอยู่ในเบด

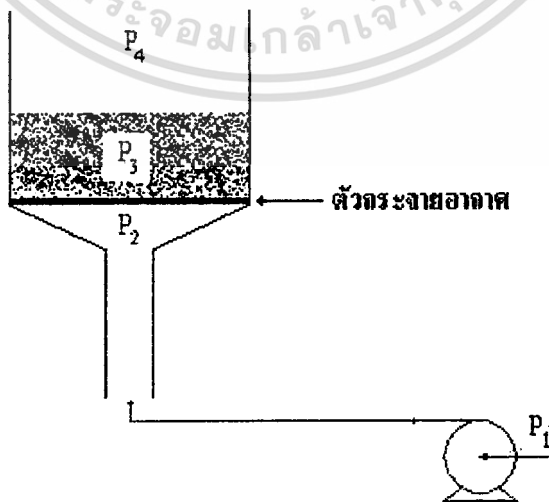
บทที่ 3

การออกแบบ

3.1 การออกแบบคอลัมน์ทดลอง

ในการคำนวณการออกแบบคอลัมน์การทดลองจะใช้ข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. พลาตติคกระสุนปืนลมทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 0.6 เซนติเมตร
2. ค่าแฟคเตอร์รูปร่าง (ϕ_p) เท่ากับ 1
3. อัตราส่วนช่องว่างเริ่มต้นของเม็ดพลาตติคกระสุนปืนอัดลม (ϵ_m) เท่ากับ 0.45
4. อัตราส่วนช่องว่างขณะเกิดฟลูอิดไคซ์เบคของเม็ดพลาตติคกระสุนปืนอัดลม (ϵ_{mf}) เท่ากับ 0.55
5. ความหนาแน่นของเม็ดพลาตติคกระสุนปืนอัดลมทรงกลมเท่ากับ 962 kg/m^3
6. อุณหภูมิขณะทำการทดลอง 30 องศาเซลเซียส
7. ความหนืดของอากาศ (μ) เท่ากับ $1.866 \times 10^{-5} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$
8. ความหนาแน่นของอากาศเท่ากับ $1.165 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$
9. ความสูงของเบคเริ่มต้น (L_m) เท่ากับ 0.3 เมตร



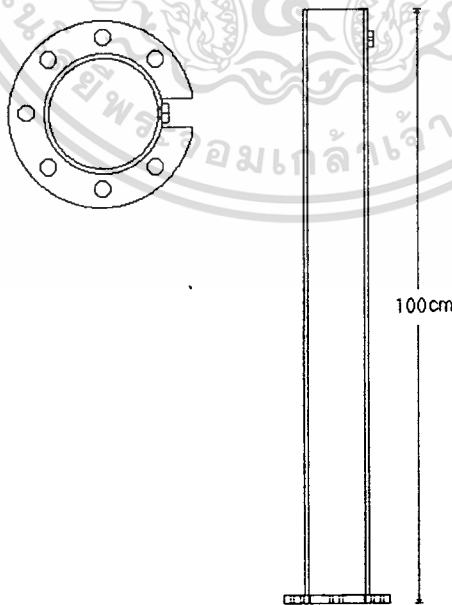
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.1.1 แสดงความดันที่เกิดขึ้น ตำแหน่งต่างๆ ในชุดการทดลอง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นหากมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับรายละเอียดขั้นตอนการคำนวณหาตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบคอลัมน์ทดลองได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก และได้สรุปผลการคำนวณตามตารางที่ 3.1.1

ตารางที่ 3.1.1 แสดงผลการคำนวณการออกแบบคอลัมน์ทดลอง

ตัวแปร	ผลการคำนวณ
L_{mf}	0.3670 m
ΔP_b	0.1540 atm
U_o	1.5289 m/s
U_{mf}	2.0974 m/s
U_t	12.2689 m/s

คอลัมน์ทดลองที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 10 เซนติเมตร ความสูง 100 เซนติเมตร คอลัมน์ที่ใช้เป็นพลาสติกอะคริลิกใส เพื่อให้สามารถมองเห็นการกระจายตัวของอนุภาคของแข็งในขณะที่เกิดฟลูอิดไดเซชันได้อย่างชัดเจน บริเวณส่วนบนสุดและล่างสุดของคอลัมน์ได้ทำการต่ออุปกรณ์วัดความดันเพื่อใช้วัดค่าความดันลด สำหรับรายละเอียดในการออกแบบจะแสดงดังในรูปที่ 3.1.2



3.2 การออกแบบแผ่นกระจายอากาศ

การออกแบบแผ่นกระจายอากาศนั้นมีสิ่งที่สำคัญคือ ความดันลดยกของก๊าซที่เกิดจากแผ่นกระจายอากาศ สำหรับกฎของการคำนวณความดันลดยกบนแผ่นกระจายอากาศนั้น สมการที่สามารถใช้ในการออกแบบได้ดี [5] คือ

$$\Delta P_d = (0.2 \text{ ถึง } 0.4) \Delta P_b \quad (3.2.1)$$

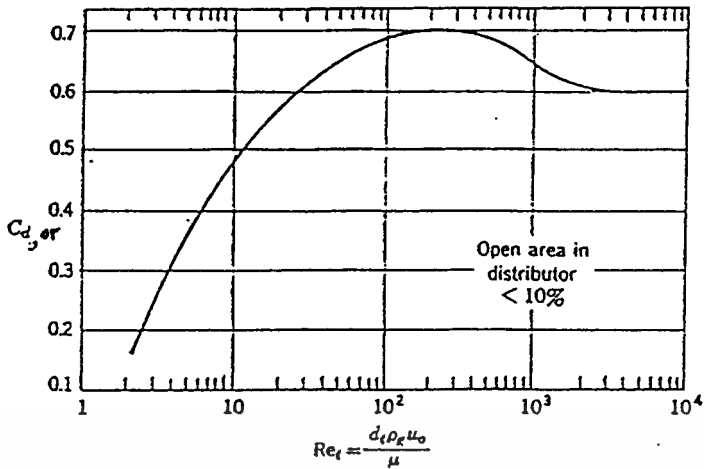
ในการออกแบบแผ่นกระจายอากาศนั้นมีขั้นตอนการออกแบบดังนี้คือ

1. คำนวณหาความดันลดยกที่เกิดจากแผ่นกระจายอากาศจากสมการที่ 3.2.1
2. คำนวณหา Reynolds Number (Re_p) และเลือกค่าสัมประสิทธิ์ของออริฟิส (Orifice coefficient $C_{d,or}$) ที่เหมาะสมจากรูปที่ 3.2.1
3. หาความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านรูออริฟิส จากสมการ

$$U_{or} = C_{d,or} \left(2g_c \frac{\Delta P_d}{\rho_g} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.2.2)$$

เมื่ออัตราส่วนของ U_o/U_{or} มีค่าไม่เกิน 10 % สามารถพิจารณางานวนรูออริฟิสต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของแผ่นกระจายอากาศ (N_{or}) และขนาดของรูออริฟิส (d_p) ที่สอดคล้องตามสมการ

$$U_o = \frac{\pi}{4} d_{or}^2 U_{or} N_{or} \quad (3.2.3)$$



รูปที่ 3.2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,or}$ กับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ (Re_d)

ในการคำนวณออกแบบแผ่นกระจายอากาศเพื่อใช้กับเครื่องมือการทดลองนี้ได้ทำการคำนวณตัวแปรที่สำคัญ สำหรับใช้ในการออกแบบแผ่นกระจายดังกล่าวในภาคผนวก ข และผลการคำนวณได้สรุปไว้ในตารางที่ 3.2.1 สำหรับการออกแบบลักษณะแผ่นกระจายอากาศได้ออกแบบแผ่นกระจายอากาศให้มีขนาดของรูเปิดและจำนวนรูเปิดต่อพื้นที่แผ่นกระจายอากาศแตกต่างกัน จำนวน 5 ชนิด ซึ่งรายละเอียดการคำนวณได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข และตารางที่ 3.2.2

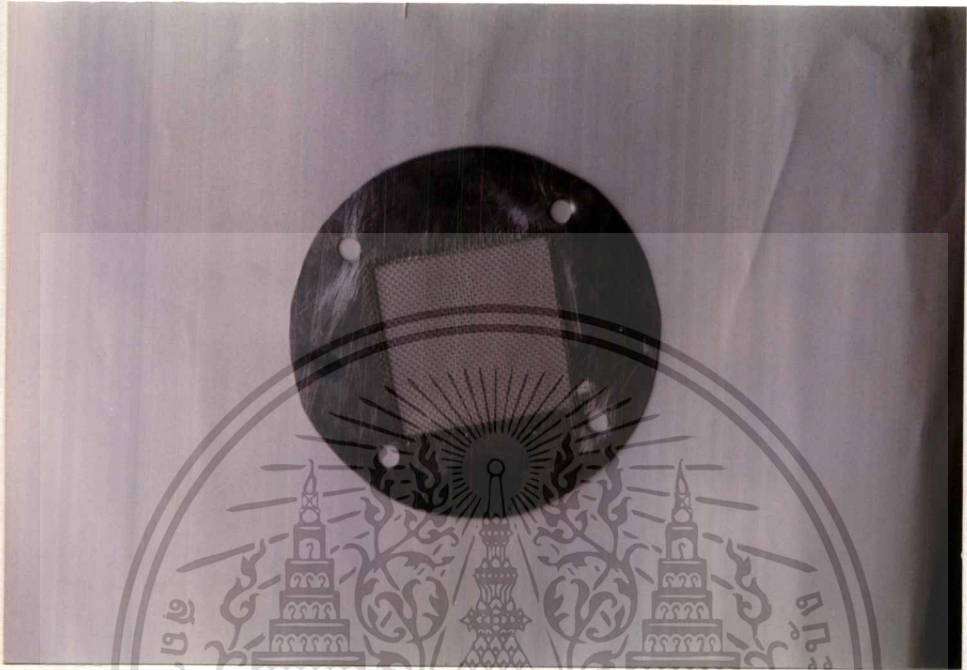
ตารางที่ 3.2.1 แสดงผลการคำนวณตัวแปรสำคัญในการออกแบบแผ่นกระจายอากาศ

ตัวแปร	ผลการคำนวณ
ΔP_d	724.498 Pa
U_{or}	21.165 m/s

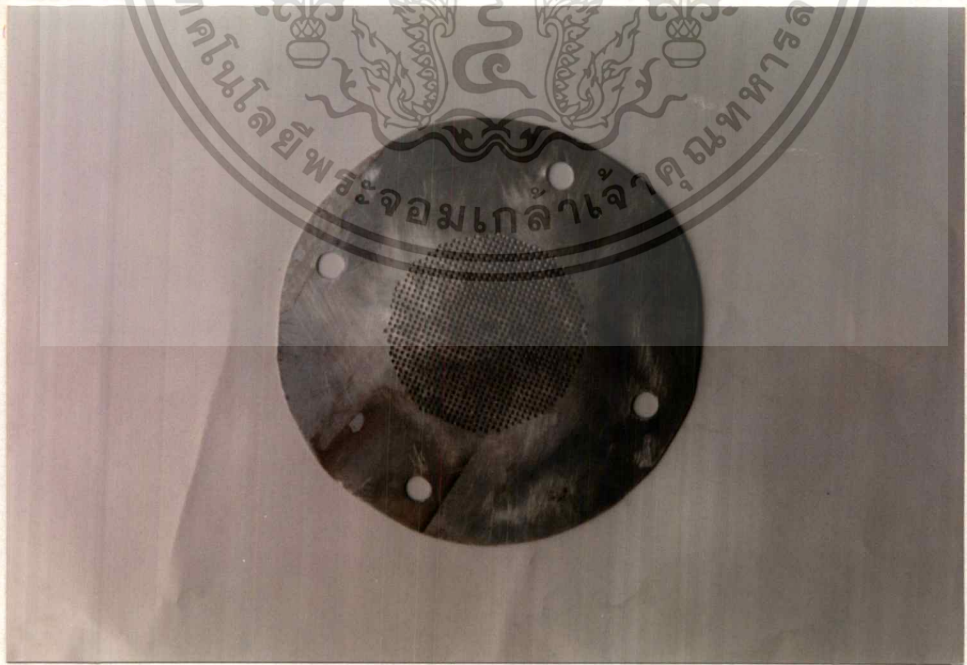
ตารางที่ 3.2.2 แสดงรายละเอียดการออกแบบแผ่นกระจายอากาศแต่ละชนิด

ชนิดของแผ่นกระจายอากาศ	ขนาดรูเปิด	N_{or} จากการคำนวณ	N_{or} ที่ใช้จริง
แบบที่ 1	2 mm × 2 mm	-	25 รู/cm ²
แบบที่ 2	$d_p = 2.0$ mm	2.5 รู/cm ²	20 รู/cm ²
แบบที่ 3	$d_p = 1.0$ mm	10 รู/cm ²	30 รู/cm ²
แบบที่ 4	$d_p = 0.5$ mm	40 รู/cm ²	16 รู/cm ²
แบบที่ 5	$d_p = 5.0$ mm	0.4 รู/cm ²	2 รู/cm ²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นสำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้นแบบที่ 5 ห้ามมิให้ตัดแปลหรือทำซ้ำเอกสารทุกครั้งที่ 2 รู/cm² นำไปใช้



รูปที่ 3.2.2 แผ่นกระจายอากาศแบบที่ 1



รูปที่ 3.2.3 แผ่นกระจายอากาศแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

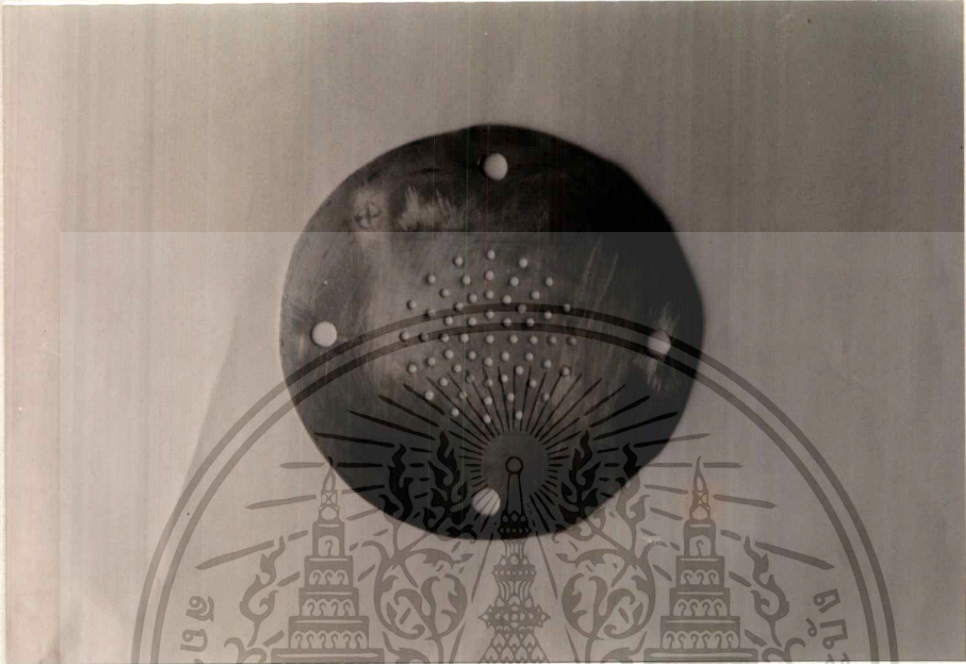


รูปที่ 3.2.4 แผ่นกระจายอากาศแบบที่ 3



รูปที่ 3.2.5 แผ่นกระจายอากาศแบบที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ทำซ้ำหรือดัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2.6 แผ่นกระจายอากาศแบบที่ 5

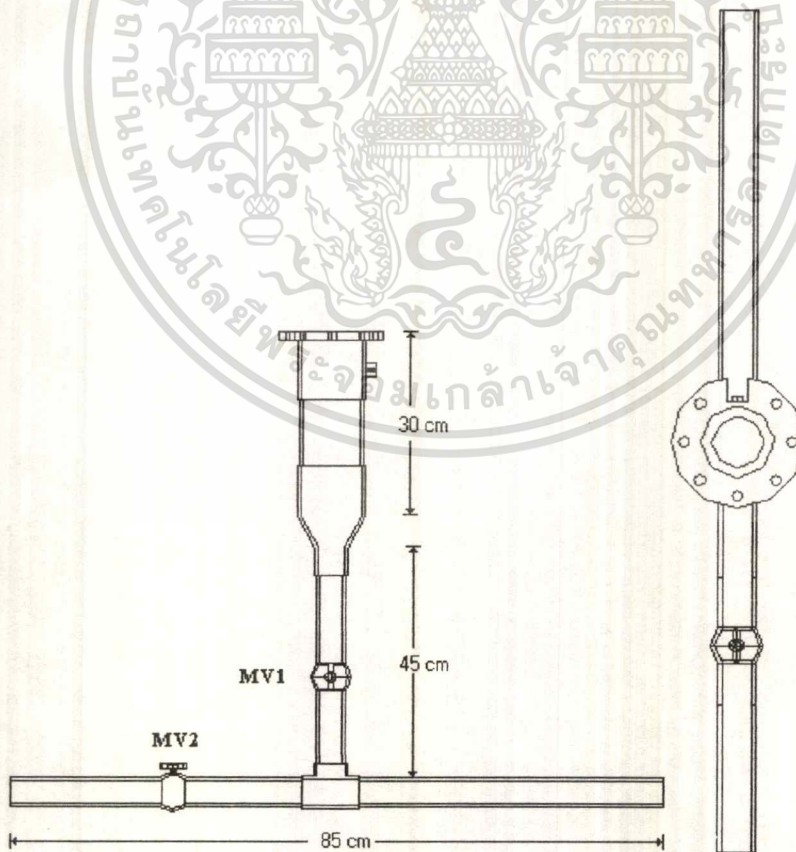
3.3 ระบบท่อและวาล์วปรับความเร็วอากาศ

อากาศที่ออกมาจากเครื่องเป่าอากาศจะผ่านออกมาตามท่อขนาด 2 นิ้ว ยาว 1 เมตร ซึ่งท่อดังกล่าวนี้ จะต่อเข้ากับส่วนของระบบท่อและวาล์วควบคุมความเร็วอากาศที่ติดตั้งในส่วนล่างสุดของชุดคอยล์น้ำทดลอง ระบบท่อและวาล์วควบคุมความเร็วของอากาศประกอบด้วยท่อ PVC ขนาด 2 นิ้ว อากาศจากเครื่องเป่าอากาศจะผ่านท่อขนาด 2 นิ้วนี้เข้ามาสู่ส่วนข้อต่อ 3 ทาง ซึ่งทำหน้าที่แยกกระแสของอากาศให้ไหลเป็นสองทางคือ อากาศส่วนหนึ่งจะไหลขึ้นด้านบนเข้าสู่ส่วนของคอยล์น้ำฟลูอิดไดเซชัน และอากาศอีกส่วนหนึ่งจะไหลผ่านในแนวตรงปล่อยออกสู่บรรยากาศ

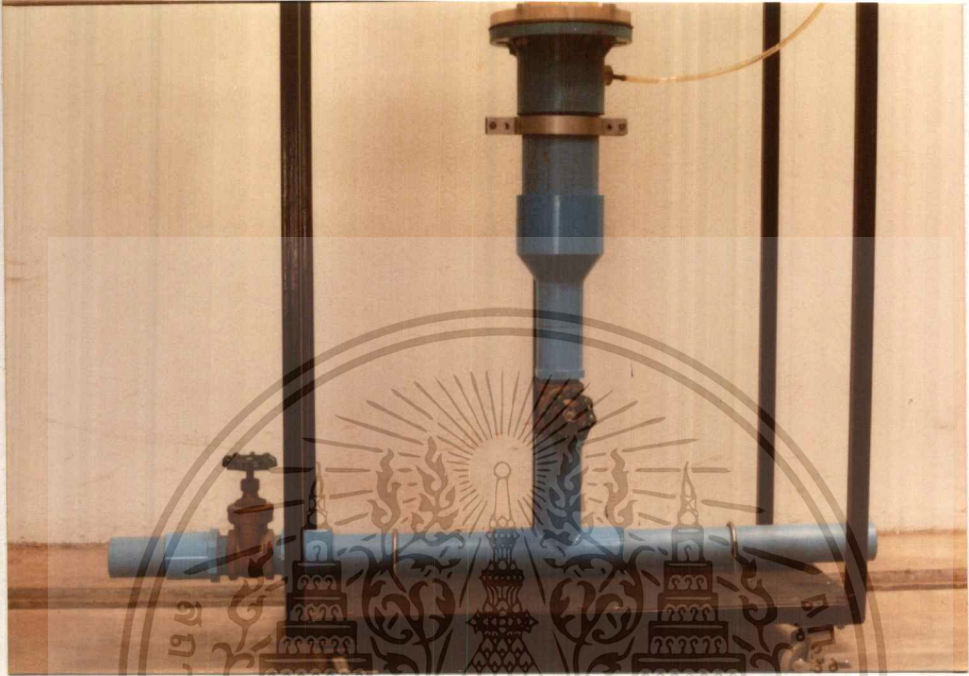
ในการควบคุมอัตราการไหลของอากาศจะใช้ระบบบายพาสวาล์ว (By-pass valves) กล่าวคือ มีวาล์วควบคุมการไหลของอากาศเข้าสู่คอยล์น้ำทดลอง 2 ตัว วาล์วที่ใช้จะเป็นชนิดวาล์วประตูน้ำขนาด 2 นิ้ว โดยที่วาล์วตัวหลัก (MV 1) ติดตั้งก่อนทางเข้าสู่คอยล์น้ำทางด้านบนของข้อต่อ 3 ทาง ทำหน้าที่ควบคุมการไหลเข้าของอากาศเข้าสู่คอยล์น้ำในช่วงความเร็วต่ำ สำหรับวาล์วอีกตัว

(MV 2) ใช้ในการระบายอากาศออกจากระบบ วาล์วตัวนี้จะติดตั้งในทิศทางเดียวกับทิศทางที่อากาศไหลเข้าในส่วนที่อากาศผ่านข้อต่อ 3 ทางมาแล้วดังแสดงในรูปที่ 3.3.1

ในส่วนของอากาศที่ไหลเข้าสู่คอลัมน์หรือบริเวณเหนือ MV 1 นั้นจะทำการขยายขนาดของท่อ PVC ผ่านข้อต่อลด PVC จากขนาด 2 นิ้วไปเป็นขนาด 4 นิ้ว ทำให้ความเร็วของอากาศในส่วนนี้ลดลง การที่ต้องทำการขยายขนาดของท่อ PVC เป็น 4 นิ้ว เพื่อให้การไหลของอากาศมีความสม่ำเสมอในระนาบพื้นที่หน้าตัดเดียวกันก่อนเข้าสู่คอลัมน์ ท่อ PVC 4 นิ้วที่ใช้เป็นชนิด PVC 13.5 มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 10 เซนติเมตรซึ่งเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของคอลัมน์ และขนาดความยาวของท่อ PVC 4 นิ้ว ยาว 30 เซนติเมตร เพียงพอที่จะทำให้การไหลของอากาศผ่านเข้าสู่คอลัมน์ มีความสม่ำเสมอตามแนวพื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์ และเพื่อที่จะทำการกระจายของอากาศก่อนเข้าสู่คอลัมน์เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ จึงได้ทำการติดตั้งชุดกระจายอากาศไว้ในส่วนของข้อต่อลด PVC ดังแสดงในรูปที่ 3.3.3 นอกจากนี้ได้ทำการต่ออุปกรณ์วัดความดันบริเวณทางออกของอากาศก่อนที่จะไหลเข้าสู่ส่วนของคอลัมน์หรือแผ่นกระจายอากาศเพื่อใช้ศึกษาค่าความดันลดในการทดลองก๊าซพลูอิด ไคเซชัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดรูปที่ 3.3.3 ภาพท้าย 2 มิติแสดงการออกแบบส่วนหนึ่งของระบบท่อและวาล์วควบคุมการนำไปใช้



รูปที่ 3.3.2 ส่วนของระบบท่อและวาล์วควบคุม

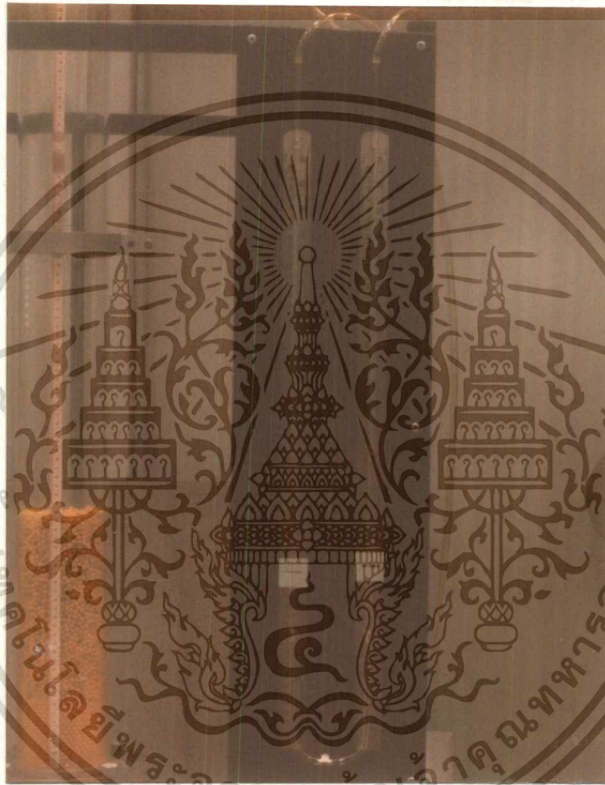


รูปที่ 3.3.3 ส่วนของชุดกระจายอากาศภายในข้อต่อลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีที่ติดต่อแบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 อุปกรณ์วัดความดัน

อุปกรณ์วัดความดันที่ใช้เป็นมาโนมิเตอร์ (Manometer) ที่ทำจากหลอดแก้วรูปตัวยู (U) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ภายในบรรจุด้วยน้ำกลั่นซึ่งเป็นของเหลวบอกระดับการออกแบบอุปกรณ์วัดความดัน สามารถบอกระดับความดันแตกต่างได้ในหน่วยของ cmH_2O โดยมีความสามารถใช้งานวัดความดันแตกต่างได้สูงสุด $25 \text{ cmH}_2\text{O}$ ดังแสดงในรูปที่ 3.4.1



รูปที่ 3.4.1 อุปกรณ์วัดความดันลด

3.5 การหาค่าความสูญเสียรวมในระบบทางเดินอากาศของชุดทดลองก๊าซฟลูอิดไดเซชัน (H_T)

ในระบบทางเดินของอากาศของเครื่องมือทดลองก๊าซฟลูอิดไดเซชันประกอบด้วยชุดคอถัมน์และอุปกรณ์ระบบท่อและวาล์วควบคุมดัง ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. คอถัมน์อะคิลิคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ยาว 100 เซนติเมตร
2. ท่อ PVC ขนาด 4 นิ้ว ความยาวรวมทั้งหมด 30 เซนติเมตร
3. ท่อ PVC ขนาด 2 นิ้ว ความยาวรวมทั้งหมด 130 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแบบลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ข้อต่อลด PVC ขนาด 4 นิ้ว – 2 นิ้ว จำนวน 1 ตัว

5. ข้อต่อ PVC 3 ทาง 90° จำนวน 1 ตัว
6. วาล์วประตูน้ำ (Gate Valve) ทองเหลืองขนาด 2 นิ้ว จำนวน 2 ตัว
7. ท่อส่งอากาศจากเครื่องเป่าอากาศเข้าสู่ชุดอุปกรณ์ปรับความเร็วลมความยาวทั้งหมด 90 เซนติเมตร

ค่าการสูญเสียรวมที่เกิดขึ้นในระบบทางเดินของอากาศในเครื่องมือทดลองชุดนี้ ประกอบด้วยค่าการสูญเสียต่าง ๆ ดังนี้คือ

1. ค่าการสูญเสียเนื่องจากความดันในคอถัมน้อะคิลิค (h_{L1})
2. ค่าการสูญเสียเนื่องจากความดันที่เกิดจากแผ่นกระจายอากาศ (h_{L2})
3. ค่าการสูญเสียเนื่องจากคอถัมน้อะคิลิค และท่อ PVC ขนาด 4 นิ้ว หรือ 10 เซนติเมตร (h_{L3})
4. ค่าการสูญเสียเนื่องจากท่อ PVC และท่อส่งอากาศจากเครื่องเป่าอากาศขนาด 2 นิ้ว หรือ 5 เซนติเมตร (h_{L4})
5. ค่าการสูญเสียเนื่องจากการขยายขนาดของพื้นที่หน้าตัดท่อ (h_{L5})
6. ค่าการสูญเสียเนื่องจากวาล์วประตูน้ำทองเหลืองและข้อต่อ PVC 3 ทาง (h_{L6})

ในการคำนวณหาค่าการสูญเสียต่าง ๆ และค่าการสูญเสียรวมของระบบทางเดินอากาศในเครื่องมือทดลองนี้ได้แสดงรายละเอียดการคำนวณไว้ในภาคผนวก ค และสรุปผลการคำนวณในตารางที่ 3.5.1

ตารางที่ 3.5.1 แสดงผลการคำนวณหาค่าการสูญเสียในระบบทางเดินของอากาศผ่านเครื่องมือทดลองก๊าซฟลูอิดไดเซนซ์

ค่าการสูญเสีย	ผลการคำนวณ (m-air)
h_{L1}	158.54
h_{L2}	63.415
h_{L3}	0.0926
h_{L4}	4.3511
h_{L5}	2.3566
h_{L6}	10.2845
H_T	239.0398

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การใช้พลังงาน

การใช้พลังงานเป็นองค์ประกอบที่สำคัญสำหรับกระบวนการที่ใช้ฟลูอิดไคเซชัน ในการออกแบบกระบวนการจำเป็นต้องออกแบบแหล่งให้พลังงานที่มีค่าพลังงานสูงเพียงพอและมีความเหมาะสม เพื่อช่วยให้การดำเนินงานของระบบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งแหล่งให้พลังงานของเครื่องมือทดลองฟลูอิดไคเซชันคือ เครื่องเป่าอากาศ (Blower)

ในการคำนวณกำลังงานที่ใช้จริงในเครื่องมือทดลองก๊าซฟลูอิดไคเซชันที่ออกแบบขึ้นเพื่อหาขนาดของเครื่องเป่าอากาศนั้น ได้ทำการเผื่อค่าการสูญเสียรวมของระบบ โดยกำหนดให้ตัวคูณความปลอดภัย (Safety Factor) มีค่าเท่ากับ 2 ประสิทธิภาพของเครื่องเป่าอากาศเป็น 60 % และประสิทธิภาพของมอเตอร์ 80 % ซึ่งสามารถทำการคำนวณกำลังงานที่ใช้จริง สำหรับการทดลองได้ 0.27 แรงม้า ดังแสดงรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก ค

ดังนั้นเครื่องเป่าอากาศที่เลือกใช้ต้องมีกำลังของมอเตอร์อย่างต่ำ 0.27 แรงม้า เพื่อความสะดวกในการเลือกซื้อหาเครื่องเป่าอากาศ จึงเลือกใช้เครื่องเป่าอากาศใช้แบบ Turbo Blower ที่มีขนาดกำลังของมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า สำหรับเครื่องมือทดลองนี้ ซึ่งเครื่องเป่าอากาศที่ใช้เป็นของ KEITH BLACKMAN LTD., LONDON มีคุณลักษณะของเครื่องดังนี้

หมายเลขเครื่อง (No.)	568636
ปีที่ผลิต (Date)	1963
ความต่างศักย์ (Volt)	400/440 3NP
กระแสไฟฟ้า (Amp)	1.8
แรงม้า (Hp)	1
จำนวนรอบต่อนาที (Rpm)	2850
Winding Rating	C.M.R.
เฟสไฟฟ้า (Phase)	3 เฟส 50 เฮิรตซ์
ชนิด (Type)	S.E.
เส้นผ่านศูนย์กลางท่ออากาศขาออก	2 นิ้ว

3.7 ความสามารถในการใช้งานของเครื่องมือทดลองก๊าซฟลูอิดไคเซชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารในหัวข้อนี้จะทำการคำนวณหาความสามารถในการใช้งานสูงสุดของเครื่องมือที่สร้าง
ไม่ขึ้น โดยทำการคำนวณหาค่าความหนาแน่นสูงสุดของอนุภาคของแข็งทรงกลม (ρ_p) ที่สามารถใส่

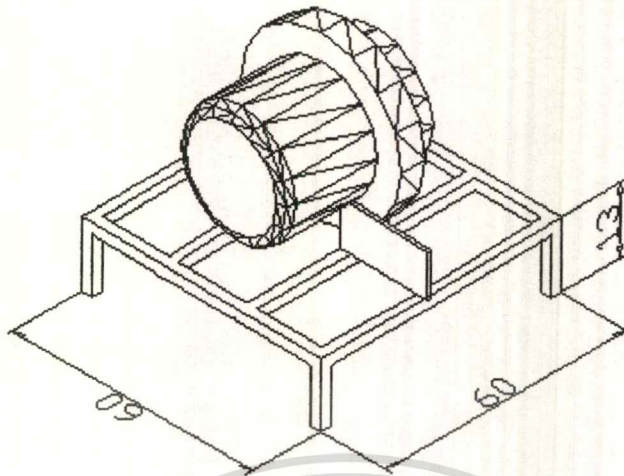
งานกับเครื่องมือนี้ได้ โดยข้อจำกัดในการใช้งานของเครื่องมือที่อยู่ที่อุปกรณ์วัดความดัน โดยสามารถวัดค่าความดันแตกต่างกันได้สูงสุด 25 cmH₂O และกำลังงานของมอเตอร์เครื่องเป่าอากาศ ที่มีกำลังงาน 1 แรงม้า ซึ่งจากผลการคำนวณหาค่าความหนาแน่นสูงสุดของอนุภาคของแข็งที่ใช้ ทดลองตามภาคผนวก ง พบว่าข้อจำกัดของเครื่องมือการทดลองก๊าซฟลูอิดไดเซชันนี้ ถูกจำกัดด้วย ขนาดของอุปกรณ์วัดค่าความดัน จึงทำให้สามารถทำการทดลองกับอนุภาคของแข็งทรงกลมที่มี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตรและความหนาแน่นสูงสุด 1,512.69 kg/m³ ที่ความสูงของเบด เริ่มต้นเท่ากับ 30 เซนติเมตร หรือคิดเป็นค่าความจุ (Capacity) ของเครื่องมือทดลองนี้คือ 3.56 กิโลกรัม

3.8 โครงสร้างภายนอก

สำหรับโครงสร้างของเครื่องมือทดลองก๊าซฟลูอิดไดเซชันที่สร้างขึ้น ประกอบด้วย โครงสร้าง 2 ส่วนคือ โครงสร้างของเครื่องเป่าอากาศ และโครงสร้างของคอลัมน์ทดลองและระบบ วาล์วปรับความเร็วลม ส่วนที่ออกแบบโครงสร้างของเครื่องมือแยกจากกันเพื่อลดปัญหาการสั่น สะเทือนอันเนื่องมาจากการทำงานของเครื่องเป่าอากาศ รายละเอียดของการออกแบบโครงสร้าง มีดังนี้

3.8.1 โครงสร้างของเครื่องเป่าอากาศ

โครงสร้างของเครื่องเป่าอากาศที่ทำการออกแบบ เมื่อวางเครื่องเป่าอากาศ แล้วจะมีมิติ 60 cm × 60 cm × 65 cm วัสดุที่ใช้ประกอบโครงสร้างเป็นเหล็กกล่องขนาด 1 นิ้ว เชื่อมยึดต่อกัน โดยออกแบบให้สามารถรับน้ำหนักของเครื่องเป่าอากาศได้ ดังรูปที่ 3.8.1 และ 3.8.2 การออกแบบได้ออกแบบติดตั้งสวิตช์ตัดกระแสไฟฟ้า (Bticino 3P-30Amp) ไว้บนโครงสร้าง เพื่อสะดวกในการใช้งาน



รูปที่ 3.8.1 ภาพ 3 มิติแสดงโครงสร้างของเครื่องเป่าอากาศ

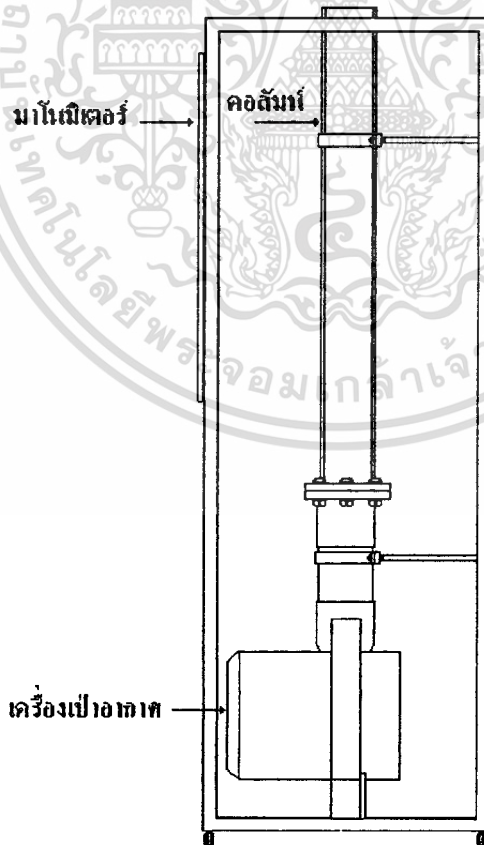


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.8.2 โครงสร้างของเครื่องเป่าอากาศ
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

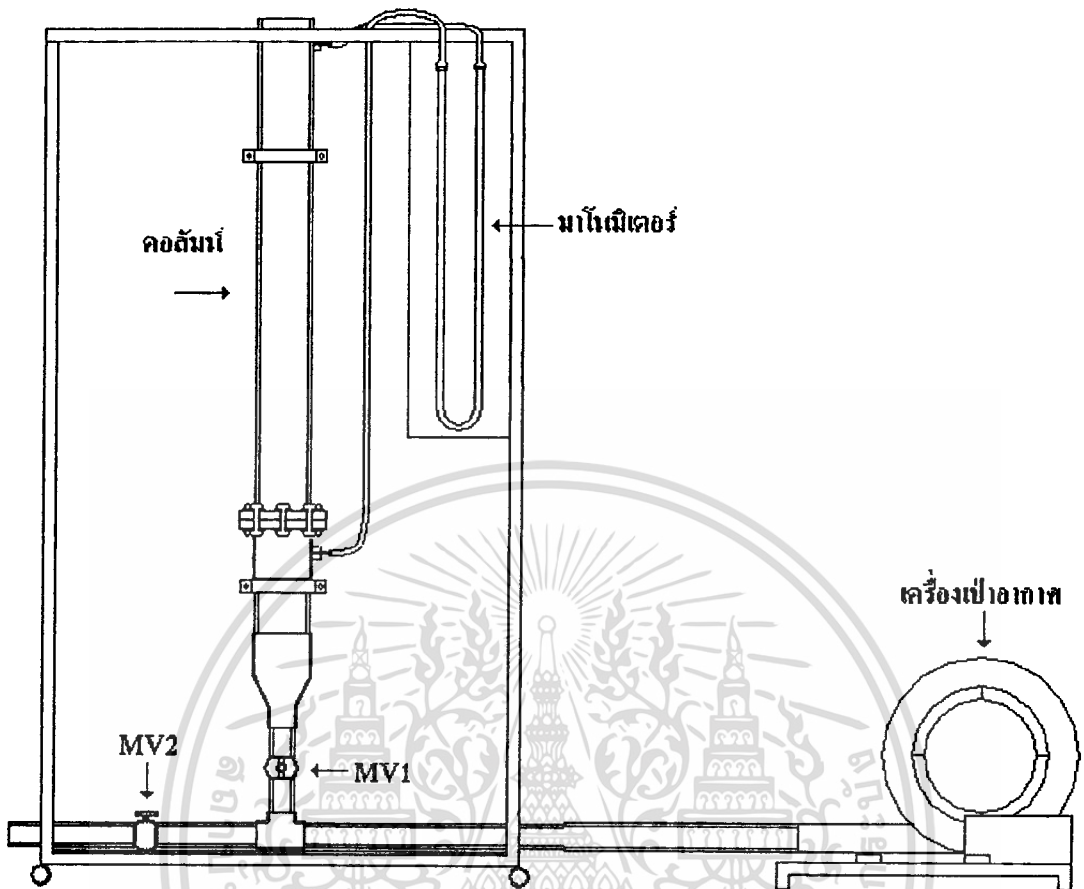
3.8.2 โครงสร้างของคอลัมน์และระบบวาล์วปรับความเร็วลม

สำหรับโครงสร้างของคอลัมน์ทดลองและระบบวาล์วปรับความเร็วลม มีขนาดมิติ 55 cm x 80 cm x 175 cm โครงสร้างภายนอกจะใช้เหล็กกล่องขนาด 1 นิ้ว และแผ่นเหล็กมีความหนา 2 มิลลิเมตร ยึดติดกับส่วนฐานของโครงสร้างเพื่อรองรับน้ำหนักของคอลัมน์ และใช้รองรับระบบวาล์วปรับความเร็วลม นอกจากนี้จะใช้อุปกรณ์จับยึดคอลัมน์ไว้กับตัวโครงสร้าง ดังรูปที่ 3.8.7 สำหรับอุปกรณ์วัดความดัน (Manometer) จะติดตั้งบนแผ่นเหล็ก-สังกะสี ที่ยึดติดบนโครงสร้าง นอกจากนี้โครงสร้างได้ติดตั้งล้อยาง เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้ายและใช้งาน

การออกแบบโครงสร้างของคอลัมน์ทดลองและระบบวาล์วปรับความเร็วลม ได้ออกแบบให้สามารถมองเห็นคอลัมน์ชุดอุปกรณ์วัดความดันได้อย่างชัดเจน และสะดวกต่อการปฏิบัติงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.8.3 และ 3.8.4

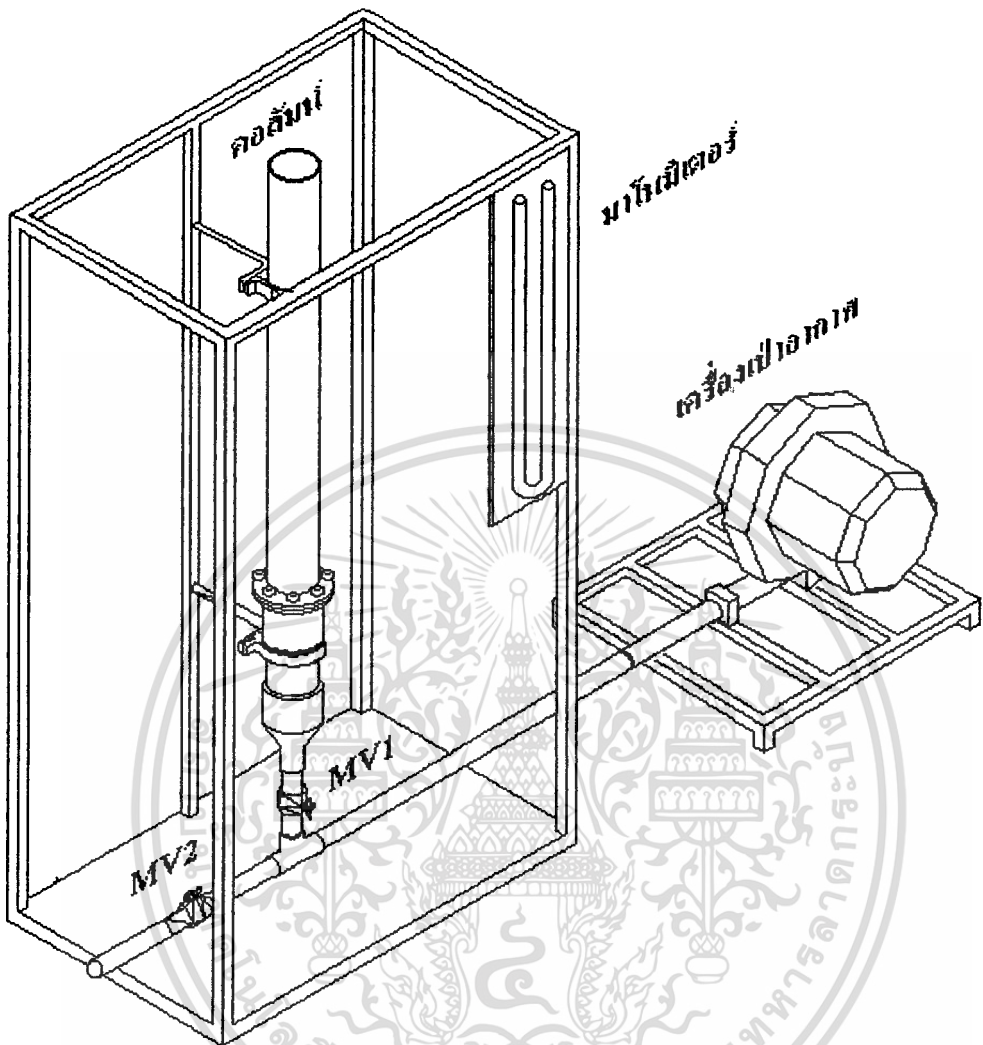


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.8.3 ภาพ 2 มิติแสดง โครงสร้างของคอลัมน์ทดลองและระบบวาล์วปรับความเร็วลม



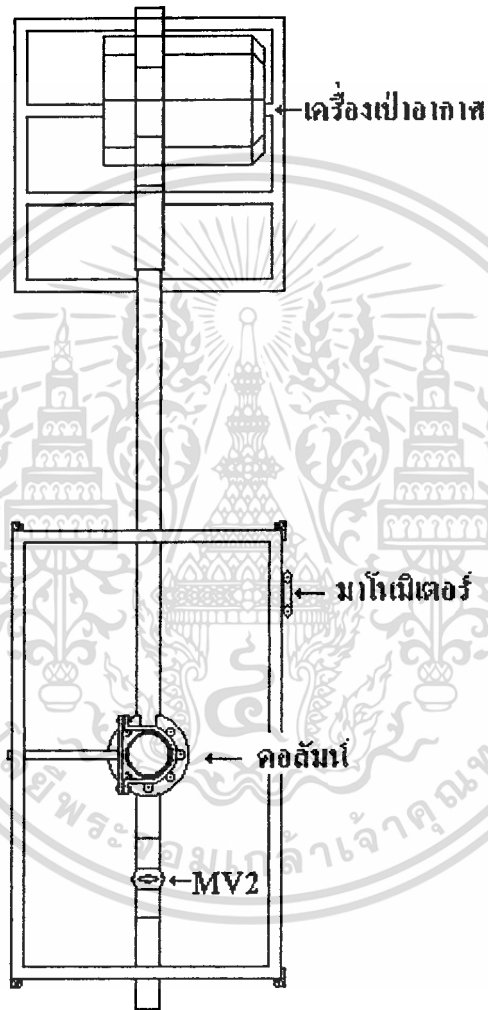
รูปที่ 3.8.4 ภาพ 3 มิติแสดงโครงสร้างของคอลัมน์ทดลองและระบบวาล์วปรับความเร็วลม

สำหรับโครงสร้างภายนอกทั้งสองส่วนได้ทำสี่ก้านสนิม และทำสี่ภายนอกเพื่อความสวยงาม โดยโครงสร้างภายนอกทั้งสองส่วนจะวางห่างกันประมาณ 90 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.8.5 3.8.6 และ 3.8.7



รูปที่ 3.8.5 ภาพ 2 มิติ แสดง โครงสร้างโดยรวมของเครื่องมือทดลองก๊าซฟลูอิด ไคเซชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8.6 ภาพ 2 มิติ แสดง โครงสร้างโดยรวมด้านบนของเครื่องมือทดลองก๊าซฟลูอิดไดเซชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



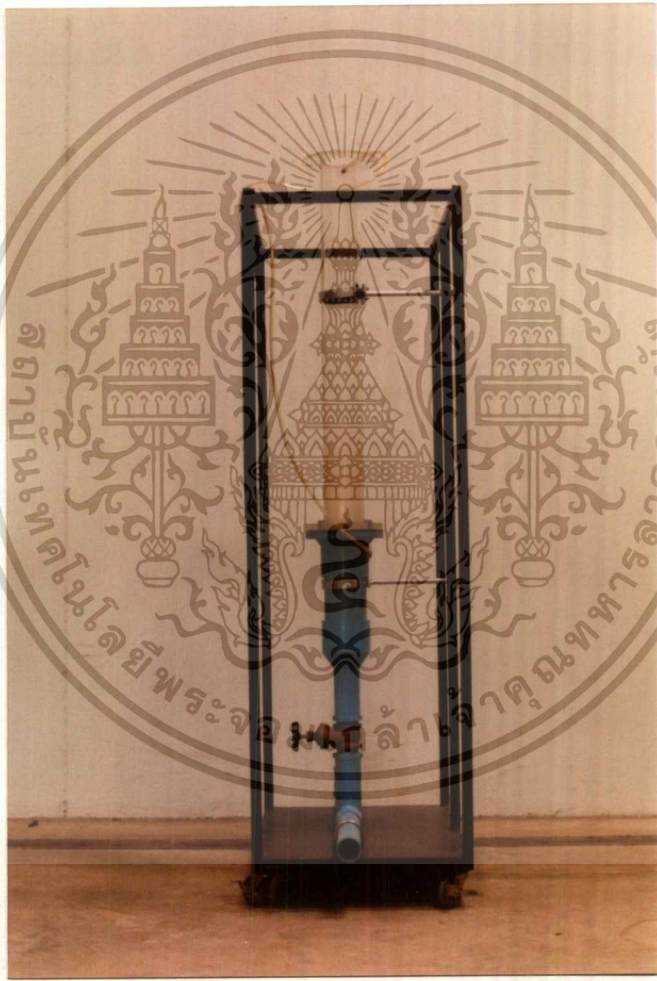
(ก)

รูปที่ 3.8.7 ภาพถ่ายโครงสร้างโดยรวมของเครื่องมือทดลองก๊าซฟลูอิดไดเซชัน
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
(ก) ภาพด้านหน้า (ข) ภาพด้านซ้าย (ค) ภาพด้านขวา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ)

รูปที่ 3.8.7 (ต่อ) ภาพถ่ายโครงสร้างโดยรวมของเครื่องมือทดลองก๊าซฟลูอิดไดเซชัน
 เอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น (ก) ภาพด้านหน้า (จ) ภาพด้านซ้าย (ค) ภาพด้านขวา เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

รูปที่ 3.8.7 (ต่อ) ภาพถ่ายโครงสร้างโดยรวมของเครื่องมือทดลองก๊าซฟลูอิดไดเซชัน

(ก) ภาพด้านหน้า (ข) ภาพด้านซ้าย (ค) ภาพด้านขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองศึกษานิคของแผ่นกระจายอากาศ

4.1 ขั้นตอนการทดลอง

ในบทนี้เป็นการทดลองศึกษาเปรียบเทียบลักษณะพฤติกรรมการเกิดฟลูอิด ไคเซชันที่
เกิดขึ้นจากแผ่นกระจายอากาศแต่ละชนิดดังนี้

แบบที่ 1 ตะแกรงรูเปิดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด $2.0 \text{ mm} \times 2.0 \text{ mm}$ จำนวนรูเปิด 25 รูต่อ
 1 cm^2 ดังรูปที่ 3.2.2

แบบที่ 2 แผ่นกระจายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 2.0 mm จำนวนรูเปิด 20 รู
ต่อ 1 cm^2 ดังรูปที่ 3.2.3

แบบที่ 3 แผ่นกระจายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 1.0 mm จำนวนรูเปิด 30 รู
ต่อ 1 cm^2 ดังรูปที่ 3.2.4

แบบที่ 4 แผ่นกระจายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 0.5 mm จำนวนรูเปิด 16 รู
ต่อ 1 cm^2 ดังรูปที่ 3.2.5

แบบที่ 5 แผ่นกระจายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเปิด 5.0 mm จำนวนรูเปิด 2 รู
ต่อ 1 cm^2 ดังรูปที่ 3.2.6

ในการศึกษาทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความต้านทานของแผ่นกระจายอากาศแต่ละ
ชนิด โดยใช้อนุภาคพลาสติกกระสุนปืนลมทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตรเป็น
อนุภาคของแข็งที่ใช้ในทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 5.1.1

4.2 วิธีการทดลอง

4.2.1 ชุดทดลองก๊าซฟลูอิด ไคเซชันจะทำการต่อตำแหน่งวัดค่าความดันลดไว้สอง
ตำแหน่งเข้ากับมาโนมิเตอร์ คือตำแหน่งแรกที่ทางเข้าของแผ่นกระจายอากาศ และตำแหน่งที่สอง
คือส่วนบนสุดของคอลัมน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 เครื่องมือวัดความเร็วอากาศ จะติดตั้งไว้ด้านบนสุดของคอลัมน์ เพื่อวัดค่าความเร็วของอากาศ

4.2.3 ก่อนดำเนินการทดลองทุกครั้งให้ตรวจสอบสถานะของวาล์วควบคุมทั้งสอง โดยให้สถานะของ MV1 อยู่ในสภาพปิดสุด และสถานะของ MV 2 อยู่ในสภาพเปิดสุด จึงสามารถเดินเครื่องเป่าอากาศเพื่อทำการทดลองได้

4.2.4 ทำการหา แคลลิเบรชัน เคิร์ฟ (Calibration Curve) ระหว่างความเร็วของอากาศ กับความดันลดบนแผ่นกระจายอากาศของแผ่นกระจายอากาศแบบที่ 1 โดยทำการปรับชุดวาล์วควบคุม ค่อย ๆ เพิ่มความเร็วของอากาศเข้าสู่คอลัมน์ บันทึกค่าความเร็วที่ทำการเพิ่มกับค่าความดันลดที่อ่านได้จากมาโนมิเตอร์ นำข้อมูลที่ได้มาสร้าง แคลลิเบรชัน เคิร์ฟ โดยให้แกนตั้งเป็นค่าความดันลด และแกนนอนเป็นค่าความเร็วของอากาศ

4.2.5 การศึกษาปรากฏการณ์การเกิดฟลูอิดไดเซชันในระบบก๊าซฟลูอิดไดเซชัน

1) เติมเม็ดพลาสติกกระสุนปืนลงมลงในคอลัมน์ให้ได้ขนาดความสูง 4 เซนติเมตร ตรวจสอบสถานะของวาล์วควบคุมก่อนการทดลองตามข้อ 4.2.3

2) ดำเนินการทดลองโดยปรับชุดวาล์วควบคุม เพื่อเพิ่มความเร็วของอากาศผ่านคอลัมน์ครั้งละประมาณ 2-3 เมตรต่อวินาที แล้วบันทึกค่าความดันลดและความสูงของเบคจนกระทั้งของแข็งอยู่ในสภาพฟลูอิดไดซ์หรือสังเกตได้จากค่าความดันลดมีค่าคงที่ หลังจากนั้นทำการปรับชุดวาล์วควบคุมเพื่อลดความเร็วของอากาศลงและบันทึกการเปลี่ยนแปลงของความดันลดและความสูงของเบคจนกระทั้งสถานะของวาล์วกลับมาอยู่ในสถานะเริ่มต้น ในระหว่างการทดลองสังเกตปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในคอลัมน์

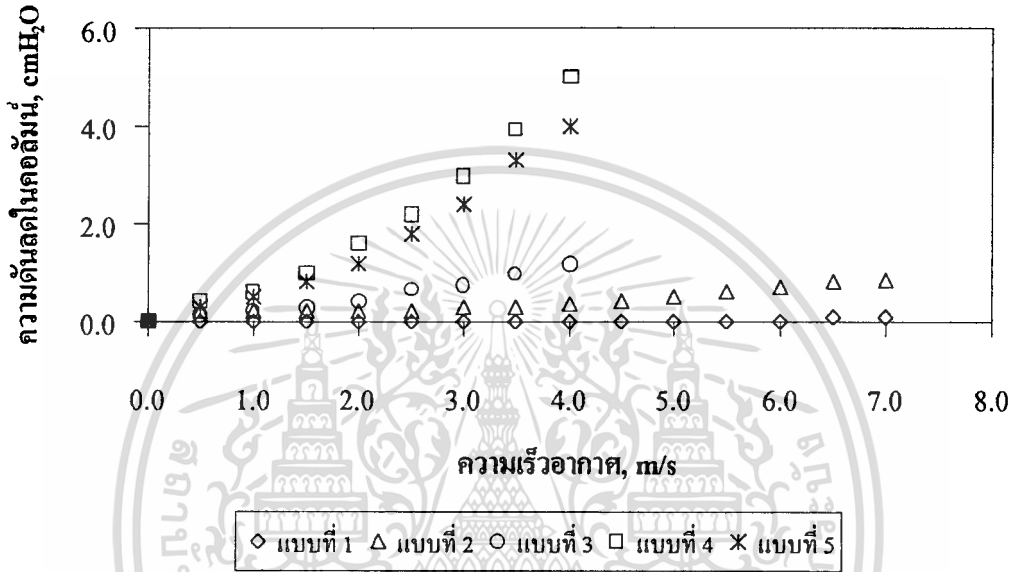
3) ทำการทดลองตามข้อ 1) และ 2) แต่เปลี่ยนความสูงของเบคเริ่มต้นเป็น 6 เซนติเมตร

4.2.6 การศึกษาเปรียบเทียบแผ่นกระจายอากาศแต่ละชนิด โดยเปลี่ยนแผ่นกระจายอากาศเป็นแบบที่ 2 ถึงแบบที่ 5 ตามลำดับ แล้วทำการทดลองตามข้อ 4.2.2 ถึง 4.2.5 จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบ

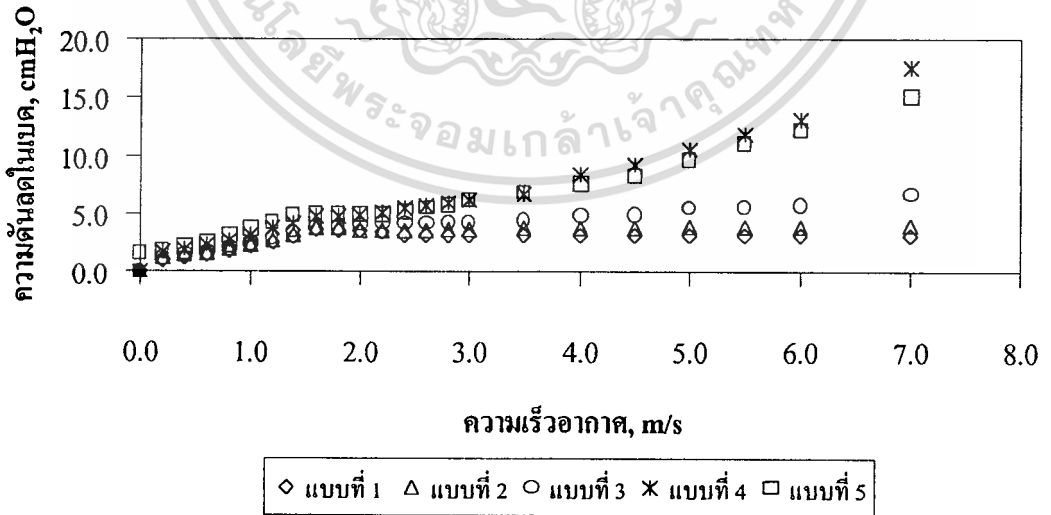
4.3 ผลการทดลอง

จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถนำข้อมูลมาแสดงผลเป็นกราฟ ดังรูปที่

4.3.1 4.3.2 และ 4.3.3

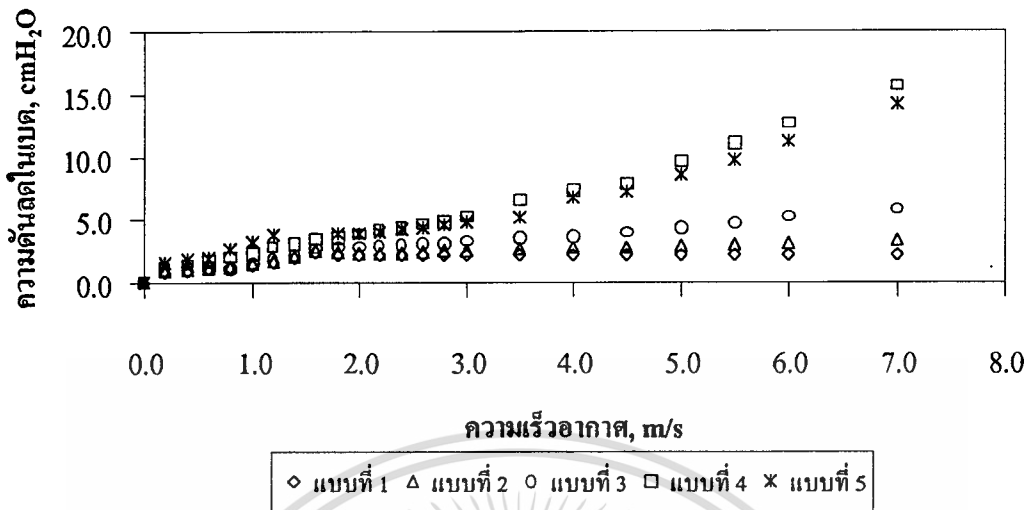


รูปที่ 4.3.1 แสดง แคลลิเบรชัน เคิร์ฟ ของแผ่นกระจายอากาศแต่ละชนิด



รูปที่ 4.3.2 แสดงความดันตกในเบด ของแผ่นกระจายอากาศแต่ละชนิด ที่ความสูงเบด 4 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัยได้



รูปที่ 4.3.3 แสดงความดันลดในเบด ของแผ่นกระจายอากาศแต่ละชนิด ที่ความสูงเบด 6 เซนติเมตร

4.4 สรุปผลการทดลอง

4.4.1 จากการทดลองพบว่าแผ่นกระจายอากาศแต่ละชนิดมีค่าความต้านทานอากาศเรียงตามลำดับจากน้อยไปหามากดังนี้ คือ แบบที่ 1 < แบบที่ 2 < แบบที่ 3 < แบบที่ 5 < แบบที่ 4 โดยสังเกตได้จากความดันลดบนแผ่นกระจายอากาศ ดังรูปที่ 4.3.1

4.4.2 แผ่นกระจายอากาศที่ใช้แบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ กลุ่มแรกประกอบด้วยแผ่นกระจายอากาศแบบที่ 1 แบบที่ 2 และแบบที่ 3 จะมีความหนาแน่นของรูเปิดเท่ากันทั้งแผ่น ทำให้ปริมาณอากาศที่ไหลผ่านแผ่นกระจายอากาศเท่ากันโดยตลอด ส่วนกลุ่มที่สองประกอบด้วยแผ่นกระจายอากาศแบบที่ 4 และแบบที่ 5 ซึ่งจะมีความหนาแน่นของรูเปิดไม่เท่ากัน เนื่องจากรูเปิดกระจายออกตามแนวรัศมี ทำให้บริเวณตรงกลางแผ่นมีความหนาแน่นของรูเปิดมากกว่ารอบนอก มีผลทำให้ปริมาณอากาศที่ไหลผ่านแผ่นกระจายอากาศไม่เท่ากันทั้งแผ่น เมื่อทำการทดลองพบว่าแผ่นกระจายอากาศแบบที่ 4 และแบบที่ 5 จะมีการเกิดฟองก๊าซมากกว่าแผ่นกระจายอากาศแบบที่ 1 แบบที่ 2 และแบบที่ 3 ทั้งนี้อาจสรุปได้ว่าความหนาแน่นของรูเปิดมีผลต่อปริมาณการเกิดฟองก๊าซ

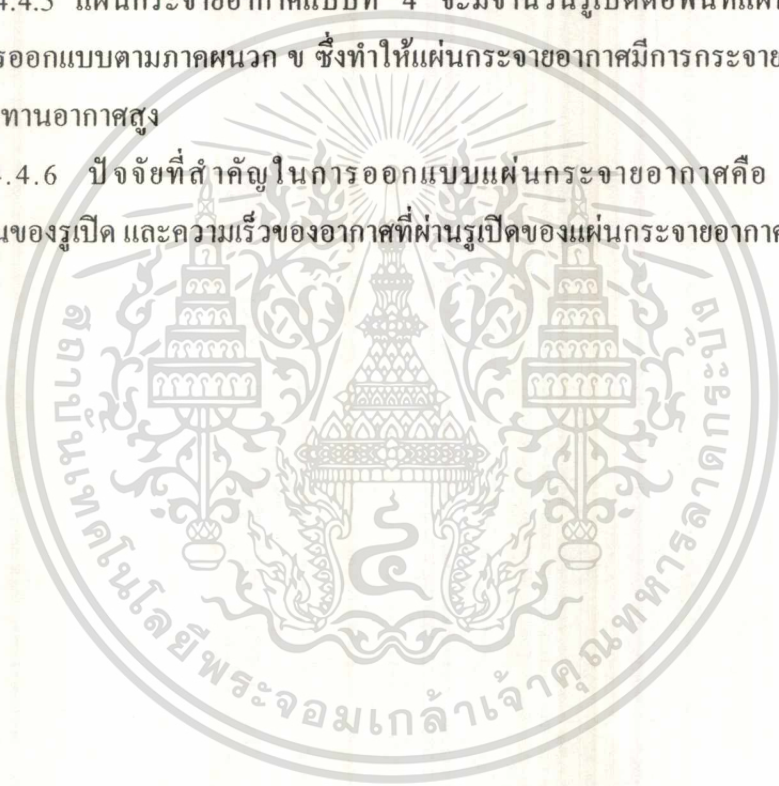
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 จากรูปที่ 4.3.1 สำหรับแผ่นกระจายอากาศแบบที่ 1 ในช่วงความเร็วอากาศน้อยกว่า 6.6 เมตรต่อวินาทีจะมีค่าความดันลดเท่ากับศูนย์ หลังจากที่มีความเร็วอากาศมากกว่า 6.6 เมตรต่อวินาที ค่าความดันลดจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามความเร็วอากาศที่เพิ่มขึ้น

4.4.4 จากรูปที่ 4.3.1 แผ่นกระจายอากาศแบบที่ 2 แบบที่ 3 แบบที่ 4 และแบบที่ 5 ค่าความดันลดจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วอากาศที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแผ่นกระจายอากาศแบบที่ 2 และแบบที่ 3 มีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของความดันลดน้อยกว่าแผ่นกระจายอากาศแบบที่ 4 และแบบที่ 5 ตามความเร็วอากาศที่เพิ่มขึ้น

4.4.5 แผ่นกระจายอากาศแบบที่ 4 จะมีจำนวนรูเปิดต่อพื้นที่แผ่นกระจายอากาศน้อยกว่าค่าการออกแบบตามภาคผนวก ข ซึ่งทำให้แผ่นกระจายอากาศมีการกระจายอากาศไม่ดีและมีค่าความต้านทานอากาศสูง

4.4.6 ปัจจัยที่สำคัญในการออกแบบแผ่นกระจายอากาศคือ ขนาดรูเปิด ความหนาแน่นของรูเปิด และความเร็วของอากาศที่ผ่านรูเปิดของแผ่นกระจายอากาศ



บทที่ 5

การทดลองศึกษาปรากฏการณ์ก๊าซฟลูอิดไดเซชัน

ในบทนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ในปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชันจากเครื่องมือการทดลองที่สร้างขึ้น ได้แก่ การทดลองศึกษาความดันลดในเบด ความสูงเบด ค่าความเร็วฟลูอิดไดเซชันต่ำสุด เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วของอากาศ การศึกษาหาความสัมพันธ์ในการขยายตัวของเบดสำหรับอนุภาคของแข็งชนิดต่าง ๆ การทดสอบสมรรถนะของเครื่องมือทดลองที่สร้างขึ้น ในการหาข้อจำกัดในการใช้งานของเครื่องมือทดลองที่สร้างขึ้นนี้ เพื่อป้องกันข้อผิดพลาดและความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากการทดลอง และเพื่อทดสอบเครื่องมือทดลองให้มั่นใจว่าสามารถเป็นเครื่องมือทดลองปรากฏการณ์ก๊าซฟลูอิดไดเซชันได้

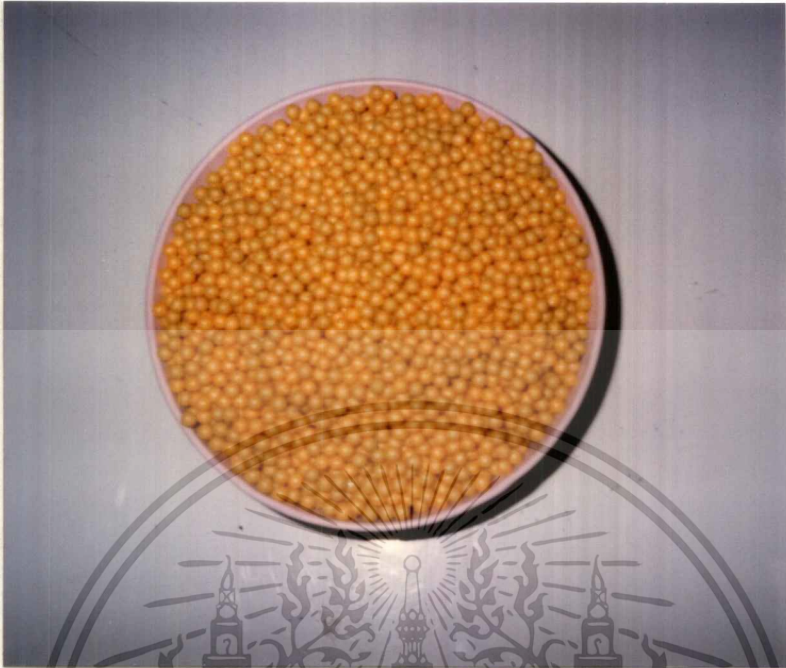
5.1 การทดลองศึกษาความดันลดในเบด ความสูงเบด และความเร็วฟลูอิดไดเซชันต่ำสุด

การดำเนินการทดลองศึกษาปรากฏการณ์ก๊าซฟลูอิดไดเซชันนี้จะใช้ของไหลเป็นอากาศ โดยทำการเปลี่ยนแปลงชนิดของของแข็งและปริมาณความสูงของของแข็งในเบดเริ่มต้น เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความดันลดในเบดและการเปลี่ยนแปลงความสูงเบด เมื่อทำการเพิ่มและลดความเร็วของอากาศ ในการทดลองนี้จะใช้แผ่นกระจายอากาศเป็นตะแกรงรูเปิดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด $2.0 \text{ mm} \times 2.0 \text{ mm}$ มีจำนวนรูเปิด 25 รูต่อพื้นที่ตะแกรง 1 ตารางเซนติเมตร ทำการทดลองโดยใช้ของแข็งชนิดต่าง ๆ จำนวน 4 ชนิดดังแสดงคุณสมบัติในตารางที่ 5.1.1

ตารางที่ 5.1.1 คุณสมบัติของอนุภาคของแข็งที่นำมาทดลอง

ชนิดของของแข็ง	ความหนาแน่น (kg/m^3)	ϵ_m
กระสุนปืนอัดลม	962	0.452
เม็ดพลาสติกใส	964	0.427
เม็ดถั่วเหลือง	1,290	0.427
เม็ดถั่วแดง	1,700	0.411

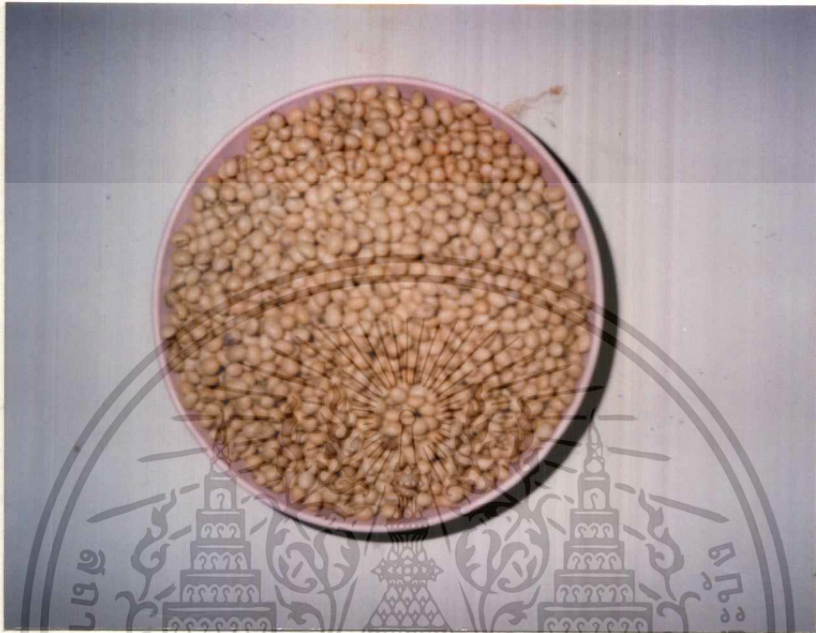
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1.1 เม็ดพลาสติกกระสุนปืนอัดลม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดรูปที่ 5.1.2 เม็ดพลาสติกใส่เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1.3 เมล็ดถั่วเหลือง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 5.1.4 เมล็ดถั่วแดง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 วิธีการทดลอง

5.2.1 ชุดทดลองก๊าซฟลูอิดไดเซชันจะทำการต่อตำแหน่งวัดค่าความดันลดไว้สองตำแหน่งเข้ากับมาโนมิเตอร์ โดยตำแหน่งแรกจะอยู่ตรงทางเข้าแผ่นกระจายอากาศ และตำแหน่งที่สองคือส่วนบนสุดของคอลัมน์

5.2.2 เครื่องมือวัดความเร็วอากาศ จะติดตั้งไว้ด้านบนสุดของคอลัมน์ เพื่อวัดค่าความเร็วของอากาศ

5.2.3 ก่อนดำเนินการทดลองทุกครั้ง ต้องทำการตรวจสอบสถานะของวาล์วควบคุมทั้งสอง โดยให้สถานะของ MVI อยู่ในสภาพปิดสุด และสถานะของ MV 2 อยู่ในสภาพเปิดสุด จึงสามารถเดินเครื่องเป่าอากาศเพื่อทำการทดลองได้

5.2.4 ทำการหาแคลลิเบรชัน เคิร์ฟ ระหว่างความเร็วของอากาศกับความดันลดของแผ่นกระจายอากาศ โดยทำการปรับชุดวาล์วควบคุมอย่างช้า ๆ ในการเพิ่มความเร็วของอากาศที่เข้าสู่คอลัมน์ ทำการบันทึกค่าความเร็วกับค่าความดันลดที่อ่านได้จากมาโนมิเตอร์ นำข้อมูลที่ได้มาสร้างแคลลิเบรชัน เคิร์ฟ โดยให้แกนตั้งเป็นค่าความดันลด และแกนนอนเป็นค่าความเร็วอากาศ

5.2.5 การศึกษาปรากฏการณ์การเกิดฟลูอิดไดเซชันในระบบก๊าซฟลูอิดไดเซชัน

1) หาความหนาแน่นของของแข็งที่ทดลองและค่าอัตราส่วนช่องว่างของเบด โดยใช้วิธีการแทนที่น้ำ

2) เติมของแข็งลงในคอลัมน์ให้ได้ขนาดความสูง 4 เซนติเมตร ตรวจสอบสถานะของวาล์วควบคุมก่อนการทดลองต่อไป

3) ดำเนินการทดลองโดยปรับชุดวาล์วควบคุม เพื่อเพิ่มความเร็วของอากาศผ่านคอลัมน์ครั้งละประมาณ 2-3 เมตรต่อวินาที แล้วบันทึกค่าความดันลดและความสูงของเบดจนกระทั่งของแข็งอยู่ในสภาพฟลูอิดไดซ์หรือสังเกตได้จากค่าความดันลดมีค่าคงที่ หลังจากนั้นทำการปรับชุดวาล์วควบคุมเพื่อลดความเร็วของอากาศลงและบันทึกการเปลี่ยนแปลงของความดันลดและความสูงของเบดจนกระทั่งสถานะของวาล์วกลับมามีค่าอยู่ในสถานะเริ่มต้น ในระหว่างการทดลองสังเกตปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในคอลัมน์

4) ทำการทดลองตามข้อ 2) และ 3) โดยเปลี่ยนขนาดความสูงของเบดเริ่มต้นเป็น 6 8 10 และ 12 เซนติเมตรตามลำดับ ในทุก ๆ ครั้งของการทดลองควรมีการเปลี่ยนของแข็งใหม่หรือทำการกววนของแข็งให้จัดตัวเป็นเบดใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

5.3.1 ทำการหาค่าความดันลดที่แท้จริงในเบดของการทดลองข้อ 5.2.5 ซึ่งจะมีค่าเท่ากับผลต่างของค่าความดันลดในเบดจากการทดลองในข้อ 5.2.5 กับ ค่าความดันลดในคอลัมน์จากการทดลองในข้อ 5.2.4 ณ ค่าความเร็วอากาศเท่ากัน

5.3.2 การคำนวณหาค่าอัตราส่วนช่องว่าง

$$\varepsilon = \frac{\text{ปริมาตรที่ว่าง}}{\text{ปริมาตรเบดทั้งหมด}}$$

$$= \frac{\text{ปริมาตรเบด} - \text{ปริมาตรของแข็ง}}{\text{ปริมาตรเบด}}$$

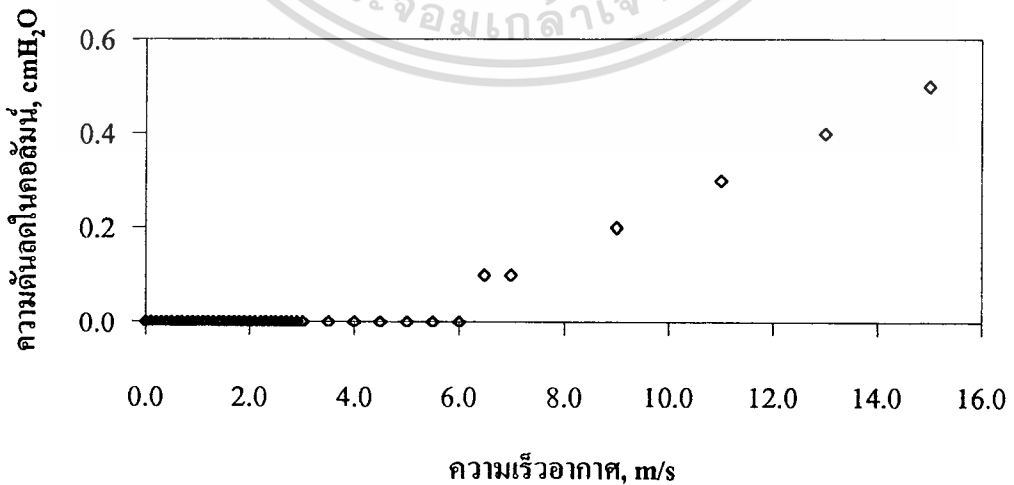
5.3.3 ทำการพล็อตกราฟความดันลดในเบดกับความเร็วของอากาศ

5.3.4 ทำการพล็อตกราฟความสูงของเบดกับความเร็วของอากาศ

5.4 ผลการทดลอง

5.4.1 การทดลองหาแคลลิबरชัน เคิร์ฟ ของแผ่นกระจายอากาศ

จากการทดลองหา แคลลิबरชัน เคิร์ฟ ของแผ่นกระจายอากาศชนิดตะแกรงขนาดรูเปิด $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูป 5.4.1

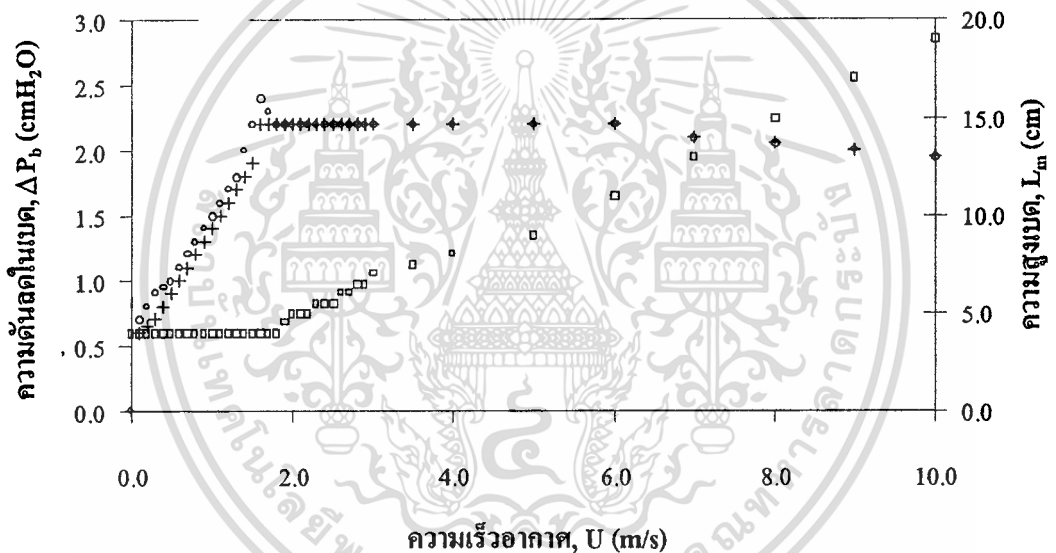


รูปที่ 5.4.1 แคลลิबरชัน เคิร์ฟ ของแผ่นกระจายอากาศชนิดตะแกรงขนาดรูเปิด $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$

ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

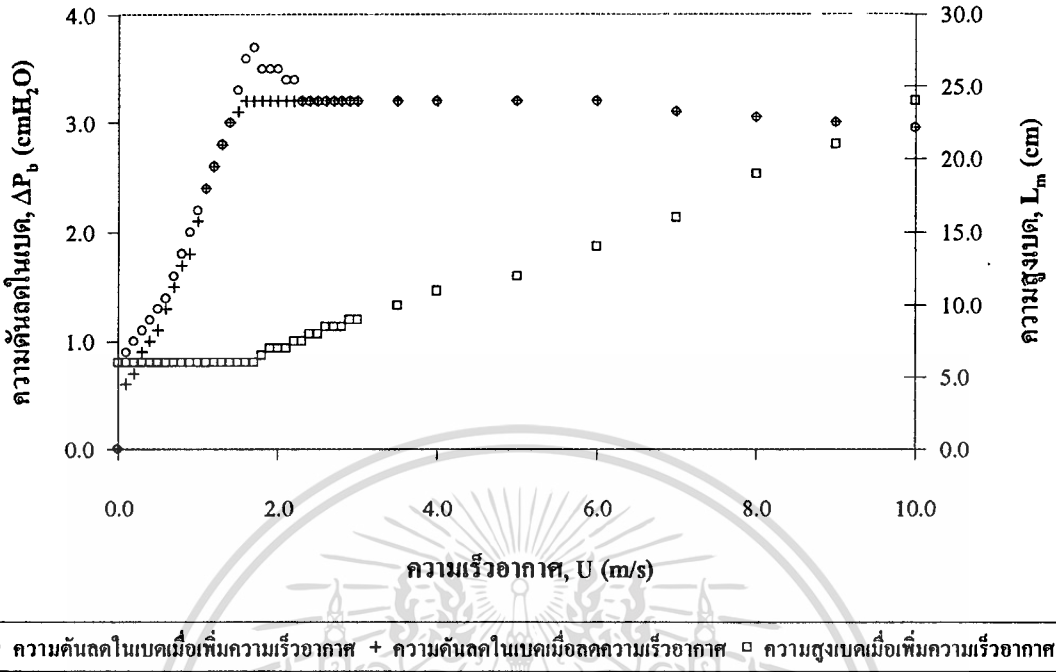
จากรูปที่ 5.4.1 พบว่าที่ความเร็วของอากาศต่ำกว่า 6.6 เมตรต่อวินาที ความเร็วของอากาศไม่มีผลต่อความดันลดบนแผ่นกระจายอากาศ แต่เมื่อความเร็วของอากาศมากกว่า 6.6 เมตรต่อวินาที ความเร็วของอากาศจะมีผลทำให้ความดันลดบนแผ่นกระจายอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความดันลดในเบดในการทดลองหาความดันลดในเบดเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วของอากาศในหัวข้อ 5.4.2 ถึง 5.4.5 ต่อไป

5.4.2 ผลการทดลองเมื่อใช้เม็ดพลาสติกกระสุนปืนลมเป็นอนุภาคของแข็ง

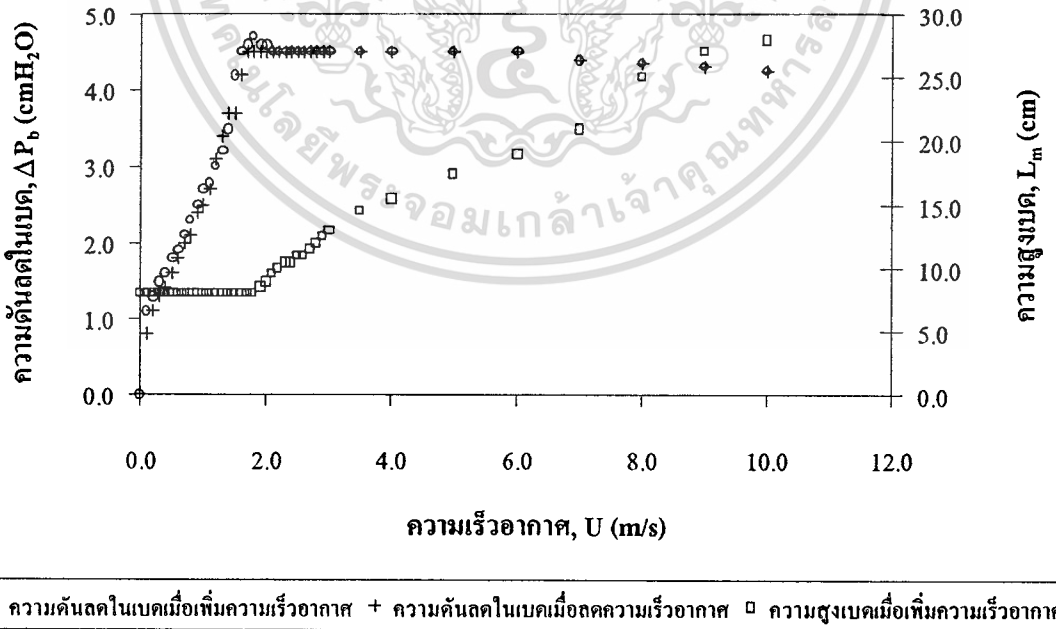


○ ความดันลดในเบดเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ + ความดันลดในเบดเมื่อลดความเร็วอากาศ □ ความสูงเบดเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ

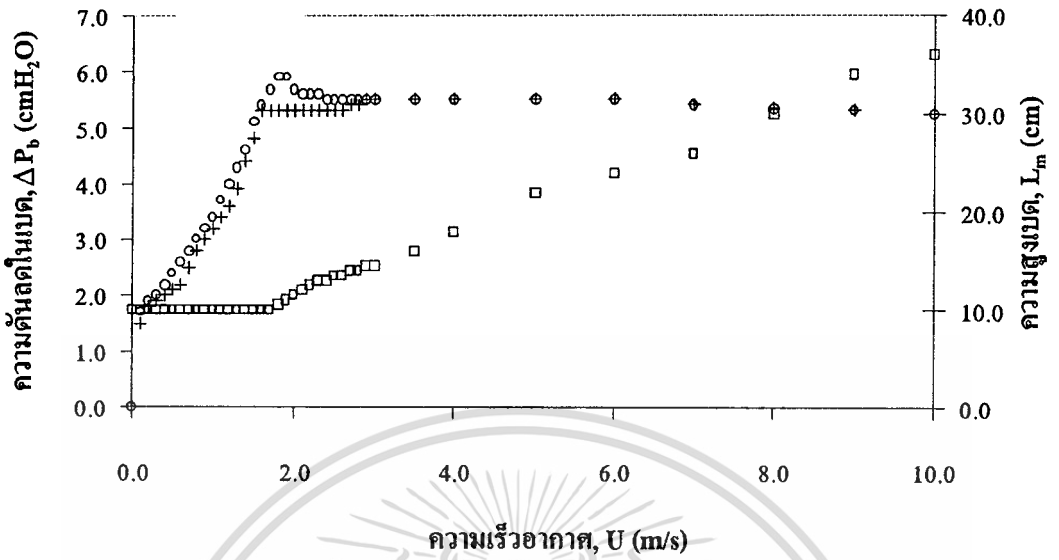
รูปที่ 5.4.2 การเปลี่ยนแปลงความดันลดในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศของเม็ดพลาสติกกระสุนปืนลมเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 4 เซนติเมตร



รูปที่ 5.4.3 การเปลี่ยนแปลงความดันตกในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศของเม็ดพลาสติกกระสุนปืนลมเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 6 เซนติเมตร

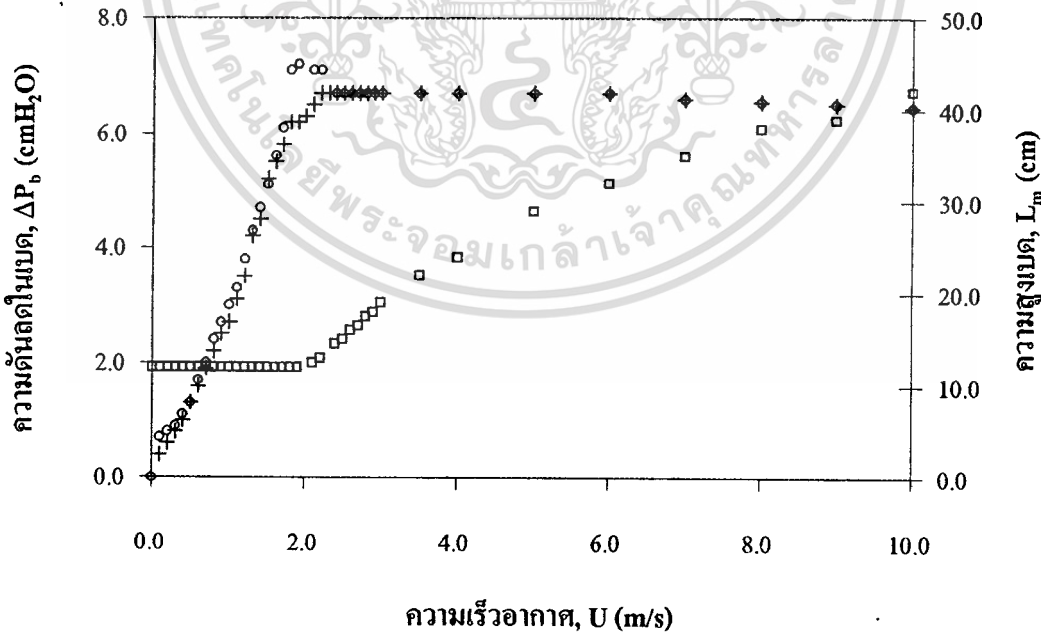


รูปที่ 5.4.4 การเปลี่ยนแปลงความดันตกในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศของเม็ดพลาสติกกระสุนปืนลมเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 8 เซนติเมตร



○ ความดันตกในเบดเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ + ความดันตกในเบดเมื่อลดความเร็วอากาศ □ ความสูงเบดเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ

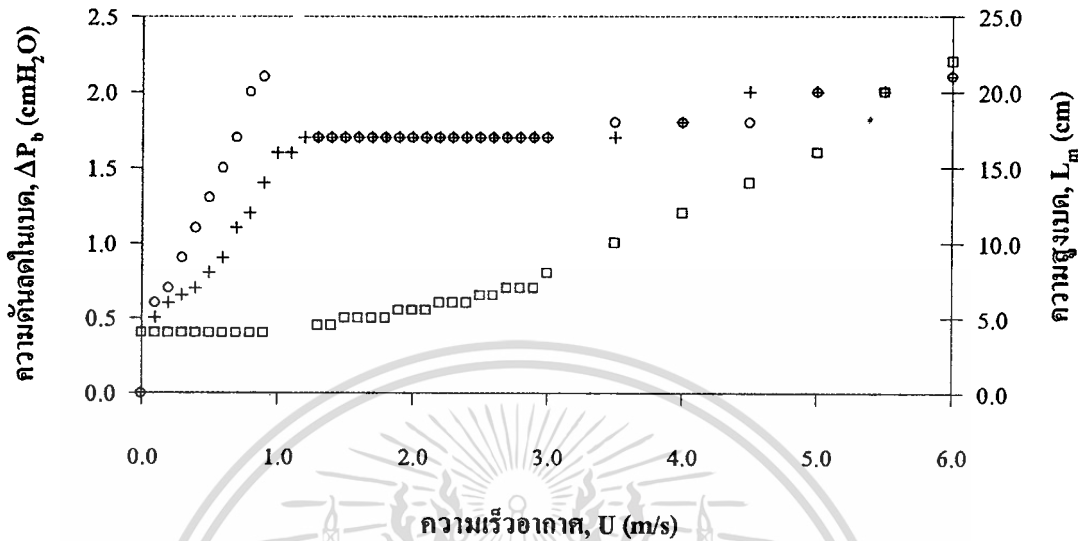
รูปที่ 5.4.5 การเปลี่ยนแปลงความดันตกในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศของเม็ดพลาสติกกระสุนปืนลมเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 10 เซนติเมตร



○ ความดันตกในเบดเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ + ความดันตกในเบดเมื่อลดความเร็วอากาศ □ ความสูงเบดเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ

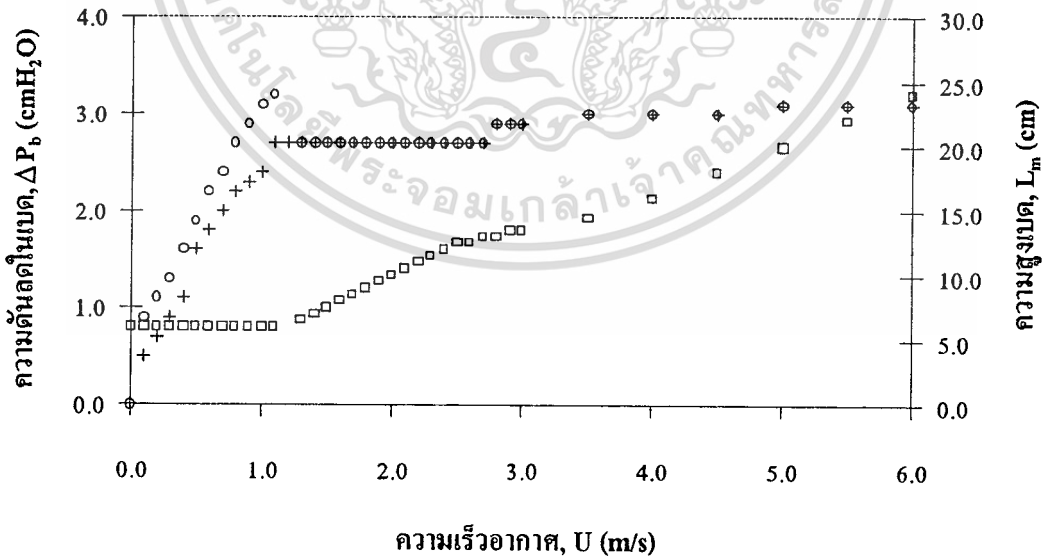
รูปที่ 5.4.6 การเปลี่ยนแปลงความดันตกในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศของเม็ดพลาสติกกระสุนปืนลมเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 12 เซนติเมตร

5.4.3 ผลการทดลองเมื่อใช้เม็ดพลาสติกใสเป็นอนุภาคของแข็ง



○ ความดันตกในเบดเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ + ความดันตกในเบดเมื่อลดความเร็วอากาศ □ ความสูงเบดเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ

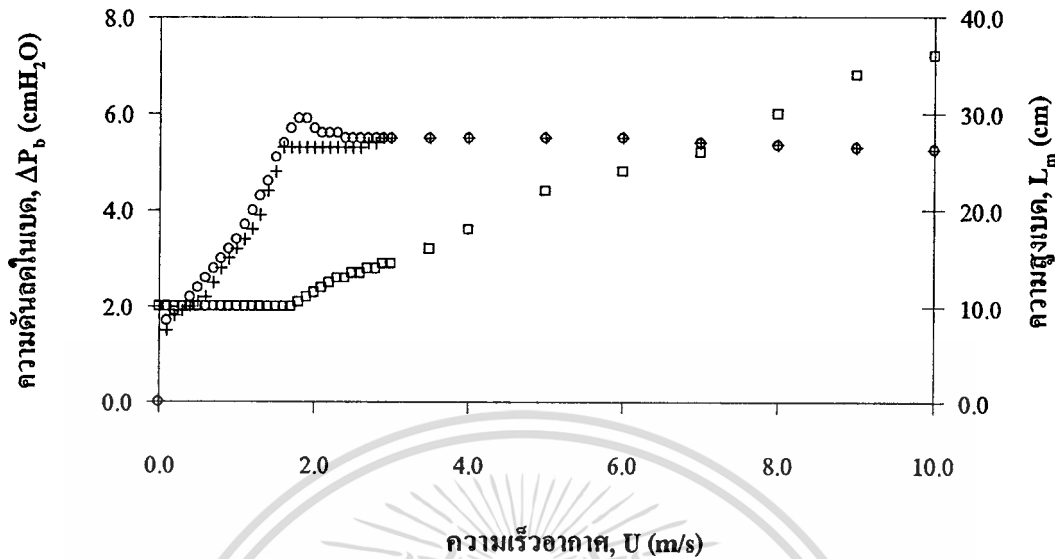
รูปที่ 5.4.7 การเปลี่ยนแปลงความดันตกในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศของเม็ดพลาสติกใสเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 4 เซนติเมตร



○ ความดันตกในเบดเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ + ความดันตกในเบดเมื่อลดความเร็วอากาศ □ ความสูงเบดเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ

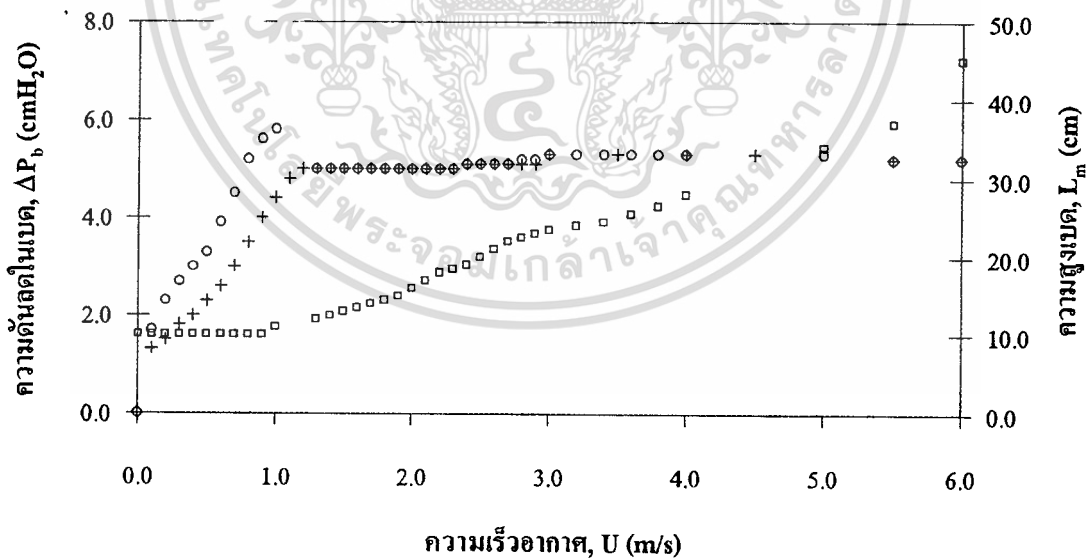
รูปที่ 5.4.8 การเปลี่ยนแปลงความดันตกในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศของเม็ดพลาสติกใสเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 6 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไปอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



○ ความดันตกในเบดเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ + ความดันตกในเบดเมื่อลดความเร็วอากาศ □ ความสูงเบดเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ

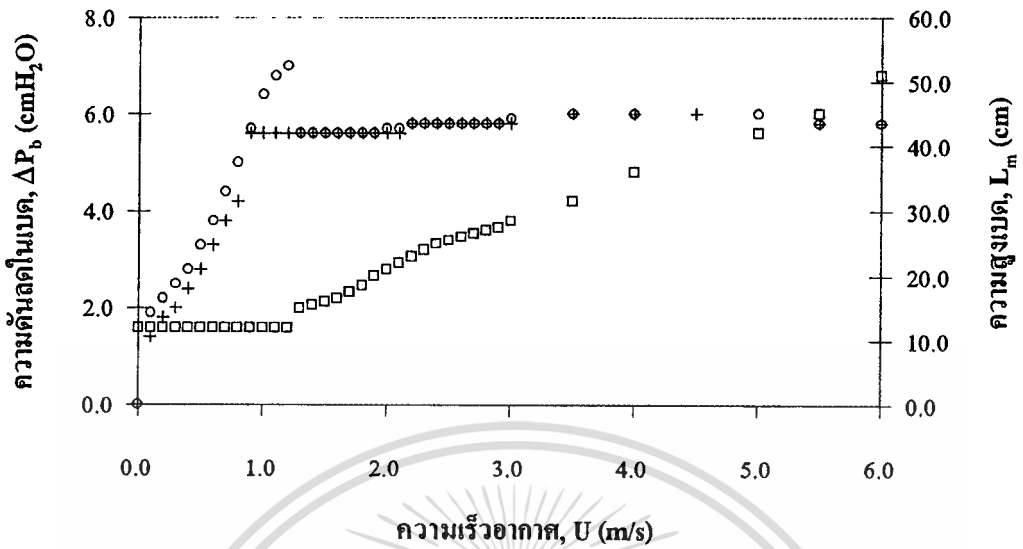
รูปที่ 5.4.9 การเปลี่ยนแปลงความดันตกในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศของเม็ดพลาสติกใสเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 8 เซนติเมตร



○ ความดันตกในเบดเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ + ความดันตกในเบดเมื่อลดความเร็วอากาศ □ ความสูงเบดเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ

รูปที่ 5.4.10 การเปลี่ยนแปลงความดันตกในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศของเม็ดพลาสติกใสเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 10 เซนติเมตร

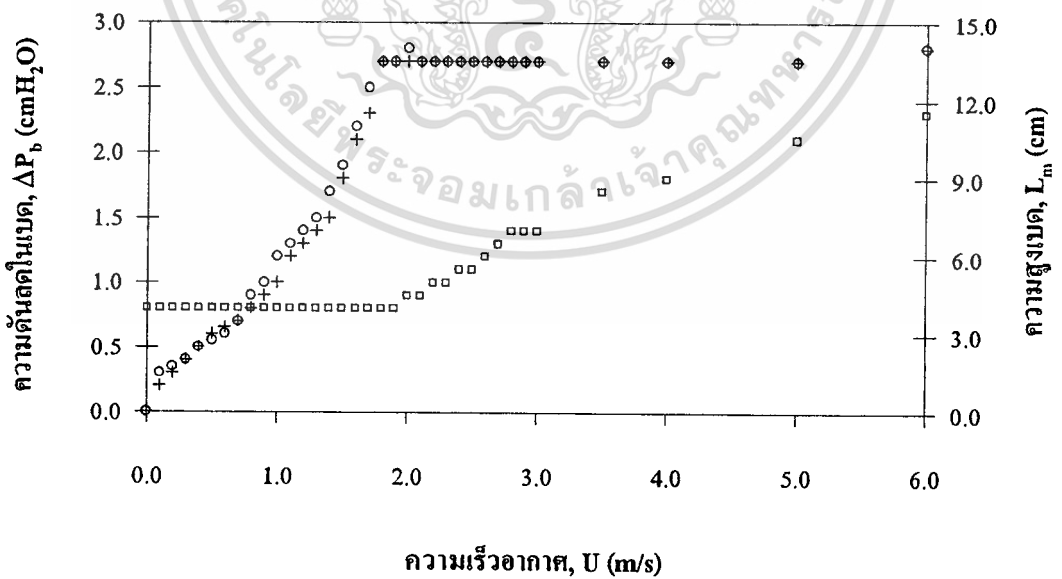
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



○ ความดันตกในเบดเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ + ความดันตกในเบดเมื่อลดความเร็วอากาศ □ ความสูงเบดเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ

รูปที่ 5.4.11 การเปลี่ยนแปลงความดันตกในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศของเม็ดพลาสติกใสเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 12 เซนติเมตร

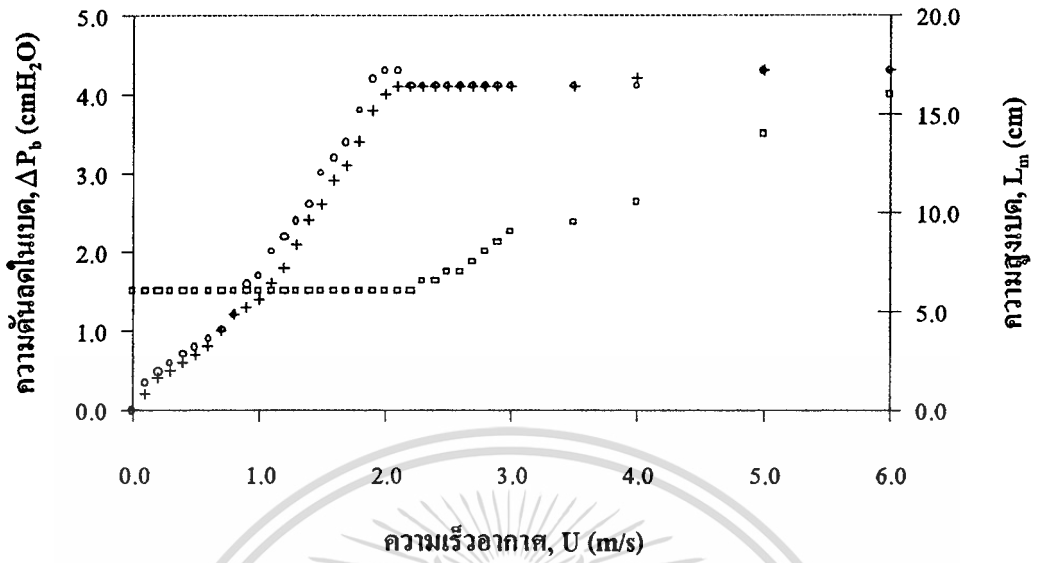
5.4.4 ผลการทดลองเมื่อใช้เม็ดถั่วเหลืองเป็นอนุภาคของแข็ง



○ ความดันตกในเบดเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ + ความดันตกในเบดเมื่อลดความเร็วอากาศ □ ความสูงเบดเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ

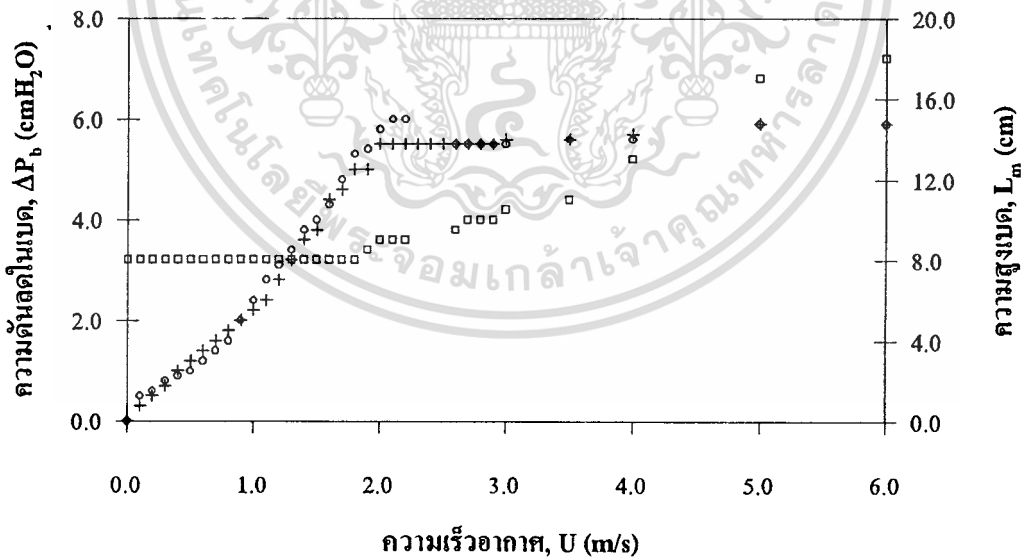
รูปที่ 5.4.12 การเปลี่ยนแปลงความดันตกในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศของเม็ดถั่วเหลืองเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 4 เซนติเมตร

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ออกกฎหมายให้ตัดแปลงเนื้อหาแจ้งต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



○ ความดันสถิตในเบดเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ + ความดันสถิตในเบดเมื่อลดความเร็วอากาศ □ ความสูงเบดเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ

รูปที่ 5.4.13 การเปลี่ยนแปลงความดันสถิตในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศของเม็ดดีด ถั่วเหลืองเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 6 เซนติเมตร

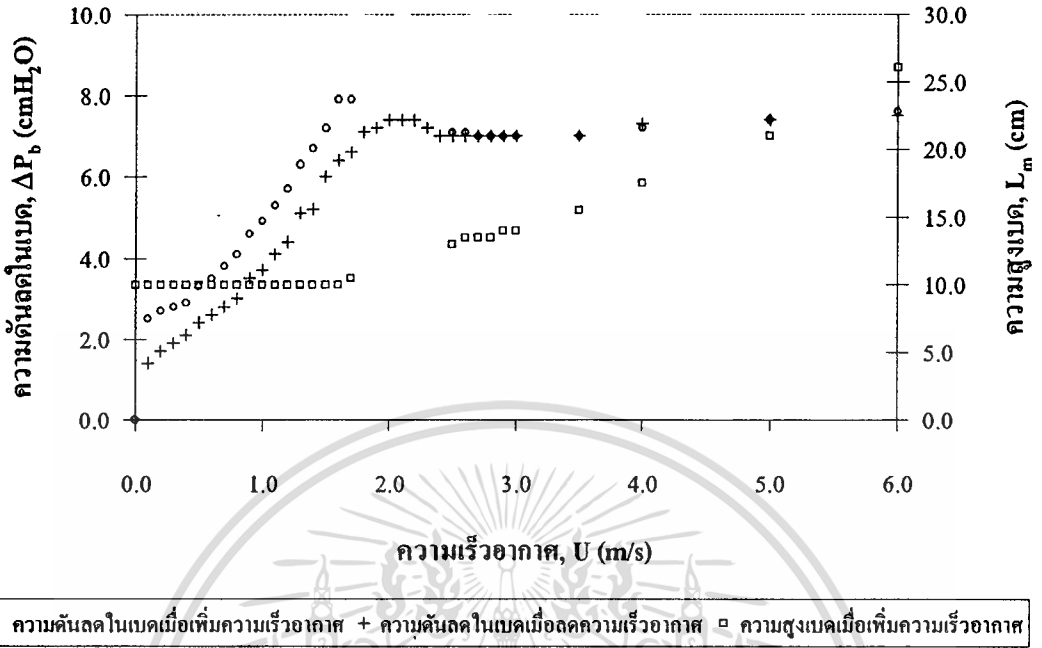


○ ความดันสถิตในเบดเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ + ความดันสถิตในเบดเมื่อลดความเร็วอากาศ □ ความสูงเบดเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ

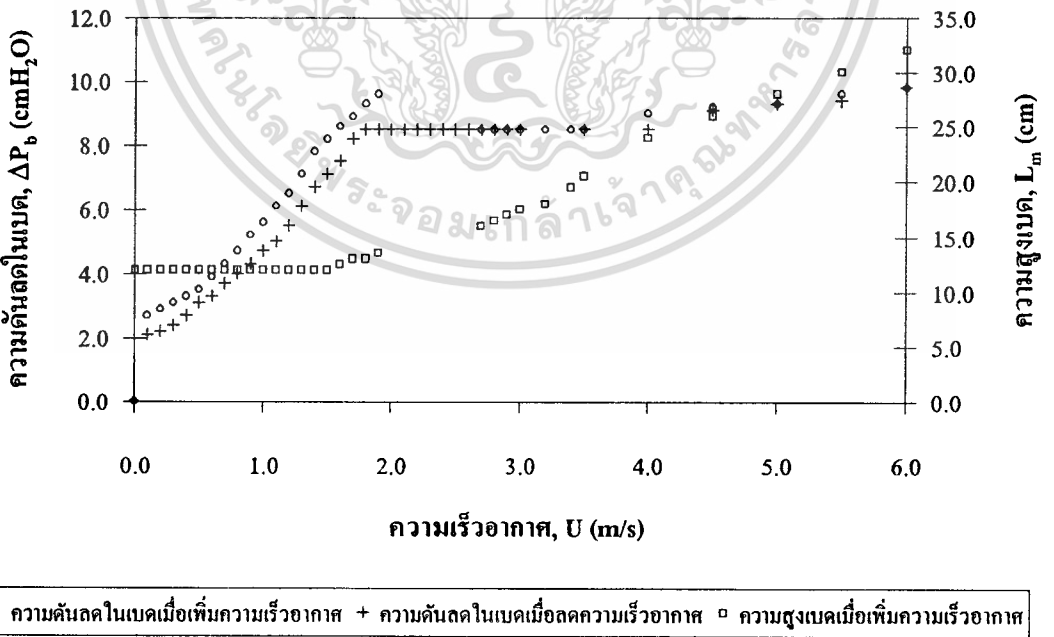
รูปที่ 5.4.14 การเปลี่ยนแปลงความดันสถิตในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศของเม็ดดีด ถั่วเหลืองเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 8 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ เพื่อใช้ในการประชาสัมพันธ์และส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

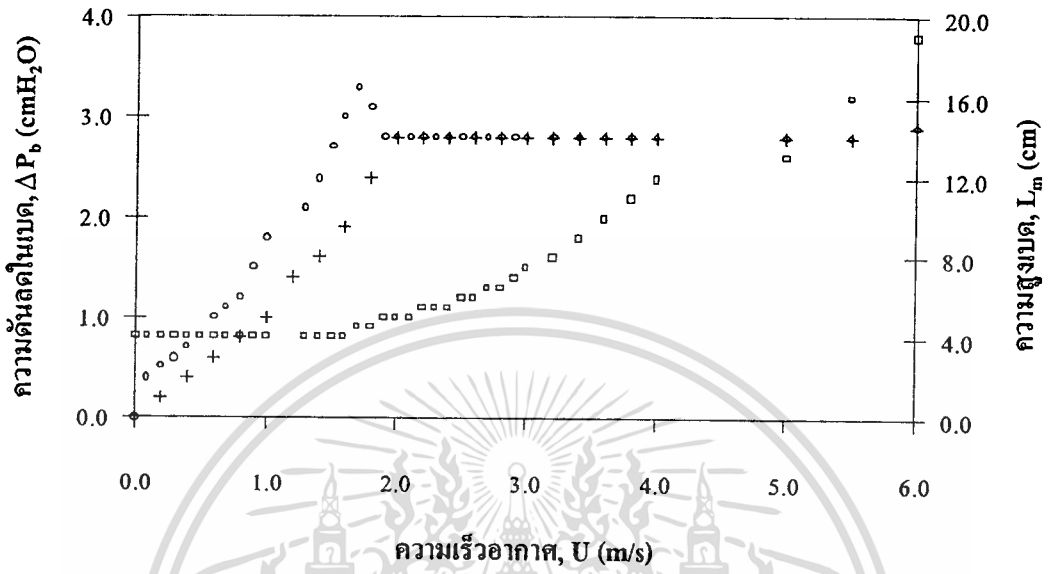


รูปที่ 5.4.15 การเปลี่ยนแปลงความดันตกในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศของเม็ดถั่วเหลืองเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 10 เซนติเมตร



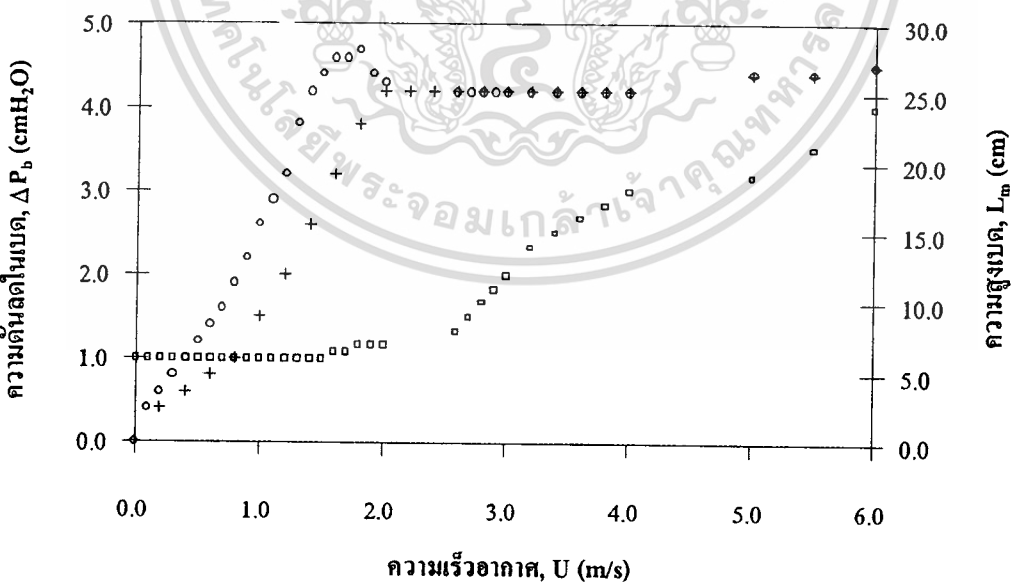
รูปที่ 5.4.16 การเปลี่ยนแปลงความดันตกในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศของเม็ดถั่วเหลืองเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 12 เซนติเมตร

5.4.5 ผลการทดลองเมื่อใช้เม็ดแก้วแดงเป็นอนุภาคของแข็ง



○ ความดันตกในเบดเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ + ความดันตกในเบดเมื่อลดความเร็วอากาศ □ ความสูงเบดเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ

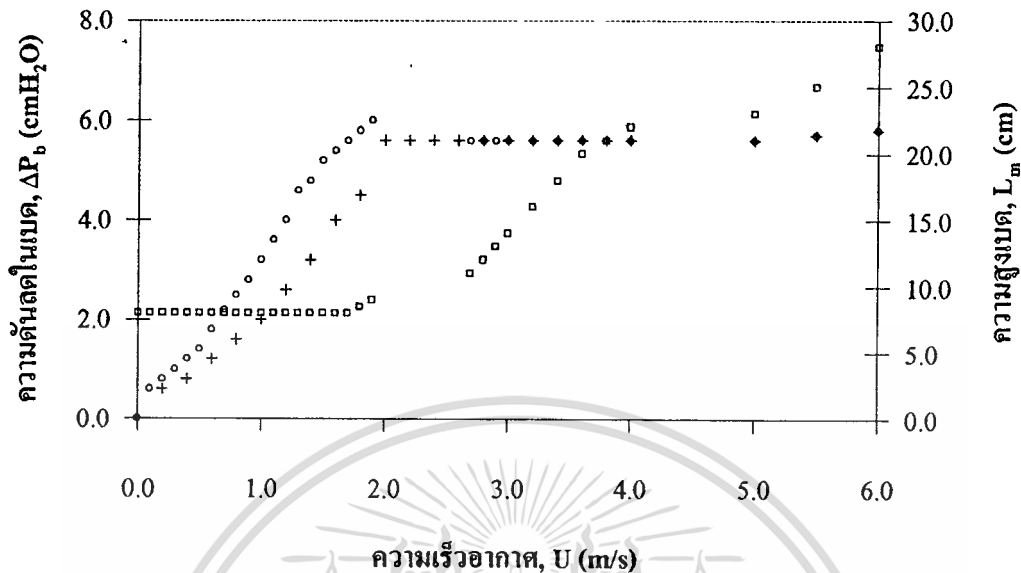
รูปที่ 5.4.17 การเปลี่ยนแปลงความดันตกในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศของเม็ดแก้วแดงเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 4 เซนติเมตร



○ ความดันตกในเบดเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ + ความดันตกในเบดเมื่อลดความเร็วอากาศ □ ความสูงเบดเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ

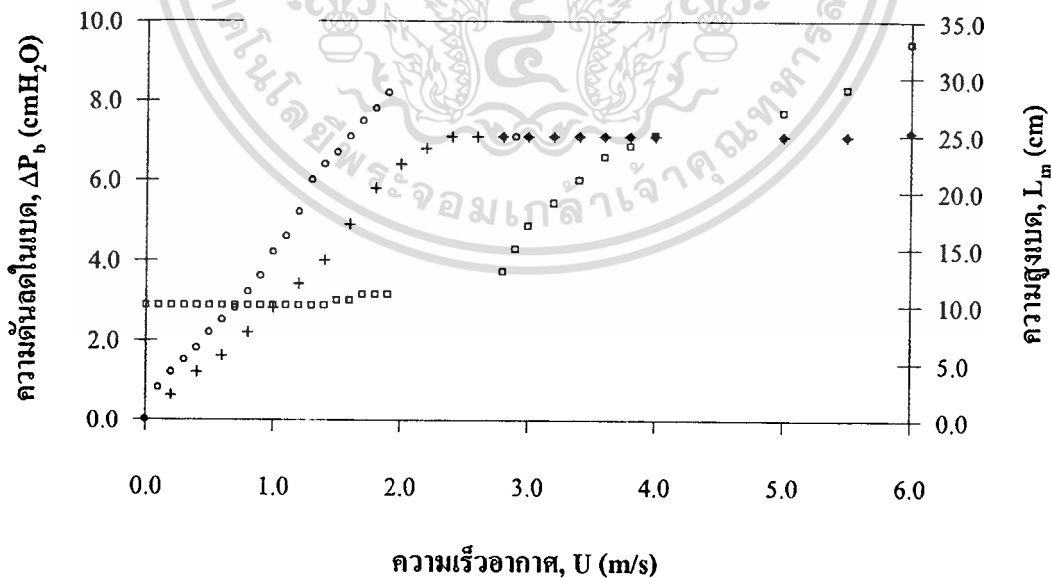
รูปที่ 5.4.18 การเปลี่ยนแปลงความดันตกในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศของเม็ดแก้วแดงเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 6 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ไปยังสื่อออนไลน์หรือเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



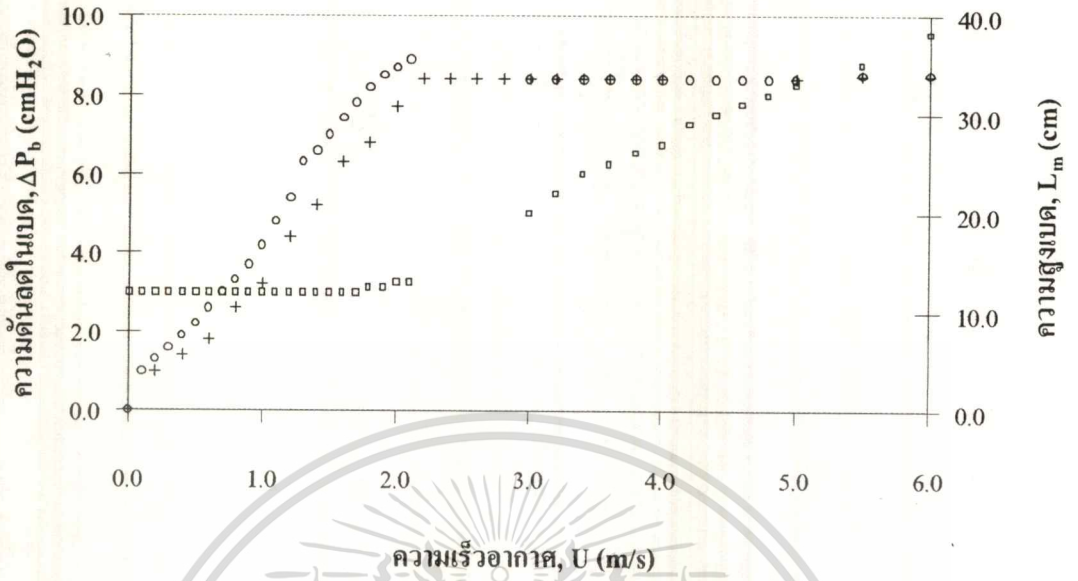
○ ความดันตกในเบดเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ + ความดันตกในเบดเมื่อลดความเร็วอากาศ □ ความสูงเบดเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ

รูปที่ 5.4.19 การเปลี่ยนแปลงความดันตกในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศของเม็ดถั่วแดงเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 8 เซนติเมตร



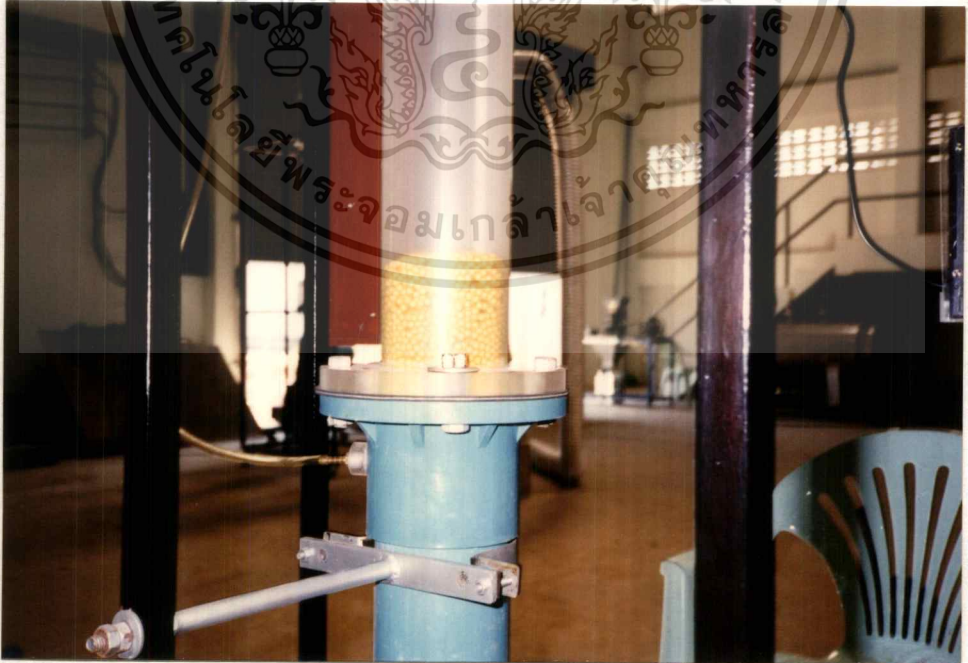
○ ความดันตกในเบดเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ + ความดันตกในเบดเมื่อลดความเร็วอากาศ □ ความสูงเบดเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ

รูปที่ 5.4.20 การเปลี่ยนแปลงความดันตกในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศของเม็ดถั่วแดงเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 10 เซนติเมตร

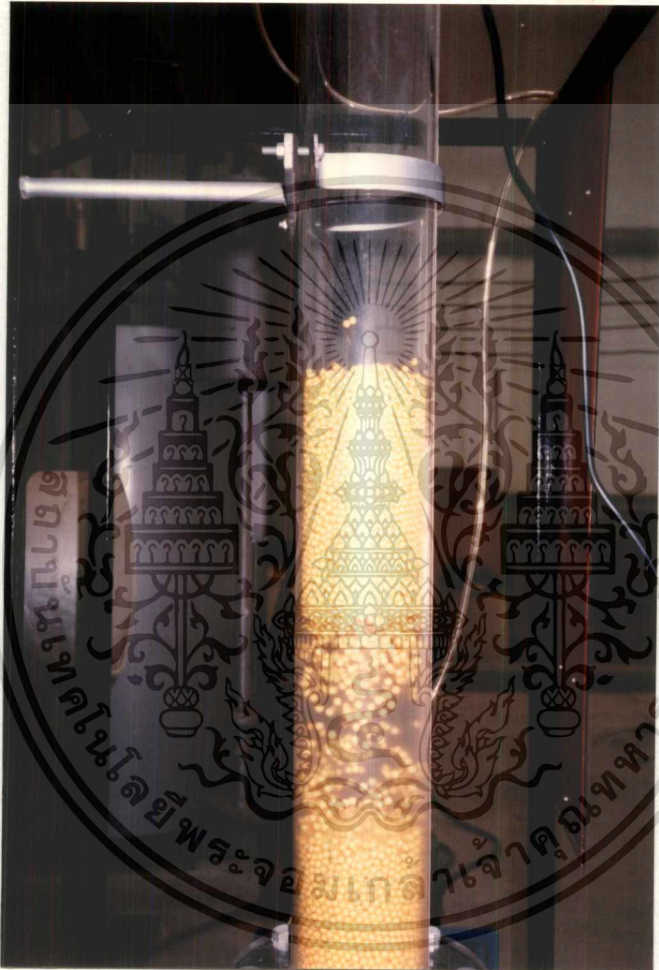


○ ความดันตกในเบดเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ + ความดันตกในเบดเมื่อลดความเร็วอากาศ ◻ ความสูงเบดเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ

รูปที่ 5.4.21 การเปลี่ยนแปลงความดันตกในเบด ความสูงเบดและความเร็วของอากาศของเม็ดดีถั่วแดงเป็นอนุภาคของแข็งความสูงเบดเริ่มต้น 12 เซนติเมตร



เอกสารรูปที่ 5.4.22 ปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชันของเม็ดพลาสติกกระสุนปืนลมขณะเริ่มเกิดฟลูอิดไดเซชัน ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4.23 ปรางค์การณัฟลูอิดไคเซชันของเม็ดพลาสติกในขณะที่เกิดฟลูอิดไคเซชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



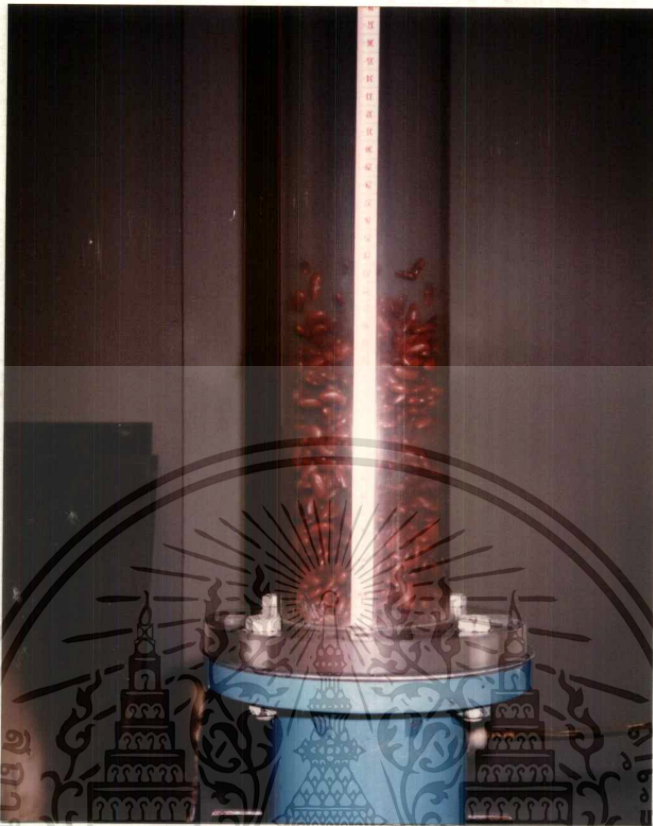
รูปที่ 5.4.24 การเกิดพลาสมาฟลูอออิด ไดเซชันของเม็ดพลาสติกกระสุนปืนลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4.25 การเกิดปรากฏการณ์สลักกิ่งของเม็ดพลาสติกกระสุนปืนลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4.26 การเกิดสะพานเคปต์เบค ของเม็ลต์แก้วแดง

5.5 สรุปผลการทดลอง

5.5.1 จากการทดลองศึกษาปรากฏการณ์ก๊าซฟลูอิดไดเซชันด้วยเครื่องมือนี้ จะให้ผลการทดลองเป็นไปตามทฤษฎีก๊าซฟลูอิดไดเซชัน กล่าวคือเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดในเบดกับความเร็วอากาศของแต่ละการทดลอง จะให้ผลสอดคล้องกับรูปที่ 2.3.1 โดยความดันลดในเบดจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วอากาศที่เพิ่มขึ้นในช่วงความเร็วอากาศต่ำ แล้วจะมีค่าคงที่ ณ ความเร็วอากาศช่วงหนึ่ง ในทำนองเดียวกัน เมื่อทำการลดความเร็วอากาศลง ที่ช่วงความเร็วอากาศต่ำ ความดันลดในเบดจะมีค่าลดลงตามความเร็วอากาศที่ลดลง แต่จะมีค่าน้อยกว่าค่าความดันลดในเบดที่ได้จากการเพิ่มความเร็วอากาศ

5.5.2 จากผลการทดลองในหัวข้อที่ 5.2.5 สามารถหาค่าความเร็วฟลูอิดไดเซชันต่ำสุด (U_{mf}) ได้ดังแสดงในตารางที่ 5.5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5.1 แสดงค่าความเร็วฟลูอิดไคเซชันต่ำสุดในการทดลองของอนุภาคของแข็งแต่ละชนิด

ความสูงเบดเริ่มต้น (cm)	ความเร็วฟลูอิดไคเซชันต่ำสุด (m/s)			
	ชนิดของอนุภาคของแข็ง			
	พลาสติกกระสุนปืนลม	พลาสติกใส	ถั่วเหลือง	ถั่วแดง
4.0	1.6	1.2	2.0	2.0
6.0	1.7	1.1	2.1	2.2
8.0	1.8	1.2	2.2	2.4
10.0	1.9	1.2	2.5	2.6
12.0	2.2	1.2	2.7	2.8

จากตารางที่ 5.5.1 เมื่อพิจารณาความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไคเซชันสำหรับแต่ละอนุภาคของแข็งพบว่า ค่าความเร็วฟลูอิดไคเซชันต่ำสุดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความสูงเบดเริ่มต้นที่เพิ่มขึ้น และค่าความเร็วฟลูอิดไคเซชันต่ำสุดของแต่ละอนุภาคของแข็ง ที่ความสูงเบดเริ่มต้นต่าง ๆ จะมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นผลมาจาก การจัดเรียงตัวของอนุภาค ช่องว่างระหว่างอนุภาค ชนิด รูปทรงและความหนาแน่นของอนุภาคตามสมการที่ 2.3.6 ทำให้ได้ค่าความเร็วฟลูอิดไคเซชันต่ำสุดในลักษณะดังกล่าวข้างต้น

5.5.3 จากกราฟความดันลดในเบคกับความเร็วของอากาศของแต่ละอนุภาคของแข็ง หลังจากช่วงความดันลดในเบคมีค่าคงที่ เมื่อทำการเพิ่มความเร็วของอากาศ จะทำให้ความดันลดในเบคมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มของค่าความดันลดนี้เป็นการแสดงให้เห็นว่า เบคเริ่มเข้าสู่สภาพเอ็นทรainment (Entrainment) (ซึ่งเป็นสภาวะเริ่มต้นของการหลุดลอยออกจากคอลัมน์ทดลองของเบค) ถ้าเพิ่มความเร็วของอากาศมากกว่านี้จะทำให้เบคเกิดการหลุดลอยออกจากคอลัมน์ ความดันลดในเบคจะลดลงอย่างรวดเร็วเพราะความหนาแน่นเบคในคอลัมน์น้อยลง จนกระทั่งความดันลดในเบคเป็นศูนย์เมื่ออนุภาคของแข็งหลุดลอยออกจากคอลัมน์หมด ซึ่งในการทดลองโดยใช้เครื่องมือทดลองที่สร้างขึ้นนี้ ไม่สามารถทำการทดลองถึงปรากฏการณ์อนุภาคของแข็งหลุดลอยได้ เนื่องจากว่าได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร็วของอากาศไว้ที่ส่วนบนสุดของคอลัมน์ ถ้าปล่อยให้อนุภาคของแข็งหลุดลอยไปจะเกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์วัดความเร็วของอากาศได้

5.5.4 จากการทดลองในหัวข้อที่ 5.2.5 สามารถหาค่าความดันลดในเบคคงที่เมื่อเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไลเซชัน ได้ดังแสดงในตารางที่ 5.5.2

ตารางที่ 5.5.2 แสดงค่าความดันลดในเบคคงที่เมื่อเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไลเซชันของการทดลองของอนุภาคของแข็งแต่ละชนิด

ความสูงเบคเริ่มต้น (cm)	ค่าความดันลดในเบคคงที่ (cmH ₂ O)			
	ชนิดของอนุภาคของแข็ง			
	พลาสติกกระสุนปืนลม	พลาสติกใส	ถั่วเหลือง	ถั่วแดง
4.0	2.2	1.7	2.7	2.8
6.0	3.2	2.7	4.1	4.2
8.0	4.5	3.8	5.5	5.6
10.0	5.3	5.0	7.0	7.1
12.0	6.7	5.6	8.5	8.4

จากตารางที่ 5.5.2 เมื่อเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไลเซชันแล้วค่าความดันลดในเบคคงที่ของอนุภาคของแข็งแต่ละชนิดสามารถเรียงลำดับจากมากไปน้อยคือ ค่าความดันคงที่ของ เมล็ดถั่วเหลือง > เมล็ดถั่วแดง > เม็ดพลาสติกใส > เม็ดพลาสติกกระสุนปืนลม ทั้งนี้เนื่องจากความหนาแน่นของเมล็ดถั่วเหลือง > เมล็ดถั่วแดง > เม็ดพลาสติกใส > เม็ดพลาสติกกระสุนปืนลม ซึ่งอนุภาคของแข็งที่มีความหนาแน่นสูงจำเป็นต้องใช้แรงมากในการเอาชนะแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง

อนุภาคของแข็งและน้ำหนักของอนุภาคของแข็ง จึงทำให้ค่าความดันลดในเบดมีค่าสูง ตามสมการที่ 2.3.1b และ 2.3.1c

5.5.5 จากผลการทดลองทุกการทดลอง พบว่าความสูงเบดเมื่อสิ้นสุดการทดลองจะมากกว่าความสูงเบดเริ่มต้นประมาณ 1 เซนติเมตร เนื่องจากภายใต้สภาวะฟลูอิดไดเซชัน จะทำให้การจัดเรียงตัวของอนุภาคจะมีความเป็นระเบียบและช่องว่างระหว่างอนุภาคมากขึ้น เมื่อเทียบกับการจัดเรียงตัวของอนุภาคอย่างแน่นหนาก่อนเริ่มการทดลอง

5.5.6 เมื่อพิจารณากราฟผลการทดลองในหัวข้อ 5.4 พบว่าบนเส้นความดันลดในเบดที่เพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มความเร็วก่อนเกิดฟลูอิดไดเซชัน และบนเส้นความดันลดในเบดที่ลดลงเมื่อทำการลดความเร็วอากาศหลังจากเกิดฟลูอิดไดเซชัน ซึ่งเป็นเส้นกราฟลักษณะ Hysteresis พบว่าเส้นกราฟลักษณะ Hysteresis ที่เกิดขึ้นของอนุภาคเม็ดพลาสติกกระสุนปืนลม จะขนานและเกือบจะซ้อนทับกันมากกว่า เส้นกราฟลักษณะ Hysteresis ของอนุภาคของแข็งชนิดอื่น ๆ นั้น แสดงว่าการจัดตัวของอนุภาคเมื่อเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชันของอนุภาคที่มีความกลมมากจะสูญเสียพลังงานในการจัดระเบียบของอนุภาคน้อย

5.5.7 ผลของการเพิ่มความสูงเบดเริ่มต้นให้สูงขึ้น หรือการเพิ่มน้ำหนักของแข็ง ทำให้ในขณะที่เกิดฟลูอิดไดเซชันจะมีฟองก๊าซเกิดขึ้นด้วย และลักษณะปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชันที่พบในการทดลองจากเครื่องมือนี้ได้แก่ ปรากฏการณ์แชนแนลลิง (Channeling) ปรากฏการณ์สลักกิ้ง (Slugging) และปรากฏการณ์สะเป้าเต็ดเบด

5.5.8 วัตถุที่มีรูปร่างรี ยาว เช่น เมล็ดถั่วเหลือง และเมล็ดถั่วแดงมีโอกาสเกิดปรากฏการณ์สะเป้าเต็ดเบดได้ง่าย ซึ่งจากการทดลองพบว่าเมล็ดถั่วแดงซึ่งมีรูปร่างยาว รี มากกว่าเมล็ดถั่วเหลือง จึงสามารถเห็นปรากฏการณ์สะเป้าเต็ดเบดได้ชัดเจนกว่าเมล็ดถั่วเหลือง

5.6 การหาความสัมพันธ์ในการขยายตัวของเบด

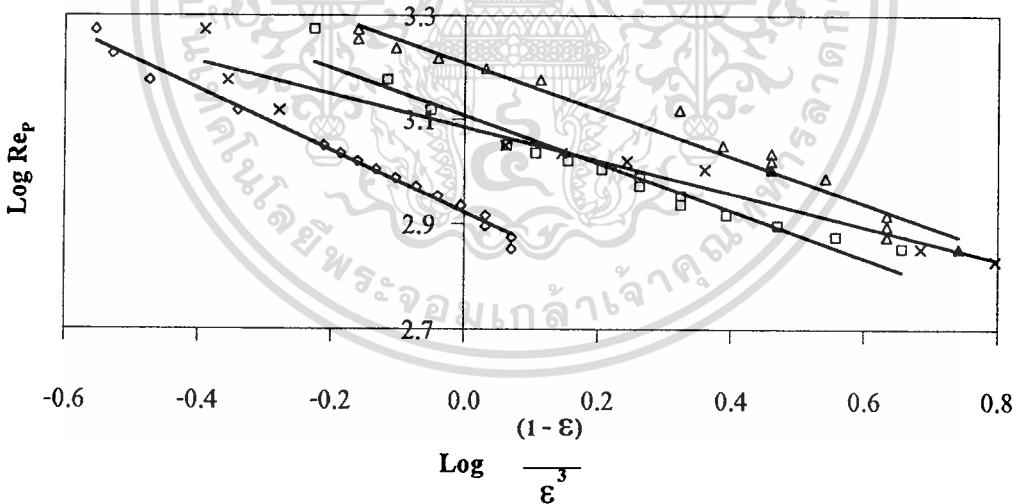
ในปรากฏการณ์ก๊าซฟลูอิดไดเซชัน เมื่อความเร็วของก๊าซเพิ่มขึ้นจะมีก๊าซบางส่วนรวมตัวกันเกิดการก่อตัวเหมือนลูกอากาศ มักเรียกส่วนนี้ว่าฟองก๊าซ (Bubble) และส่วนที่อนุภาคของแข็งลอยตัวอยู่เรียกว่า เบดที่มีของแข็งหนาแน่น (Dense bed หรือ Emulsion phase) ซึ่งเรียกเบดในลักษณะนี้ว่า Aggregate bed ในขณะที่ความเร็วของก๊าซเพิ่มขึ้นจำนวนฟองก๊าซจะมากขึ้น เมื่อฟองก๊าซลอยไปถึงผิวหน้าของเบด อนุภาคของแข็งบางส่วนจะเคลื่อนที่ตามฟองก๊าซ จนถึงผิวหน้าของเบดจะกระจายตัวแล้วตกกลับมายังเบดใหม่ บริเวณที่มีฟองก๊าซและบริเวณเหนือผิวของเบดที่มีฟองก๊าซแตกกระจายเรียกส่วนนี้ว่า เบดที่มีของแข็งน้อย (Lean bed)

ในหัวข้อนี้จะทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ในการขยายตัวของเบคสำหรับอนุภาคของแข็งที่นำมาทดลองในแต่ละชนิด ซึ่งจะแสดงความสัมพันธ์ในรูปของตัวแปรไร้มิติ (Dimensionless) จากสมการที่ 2.3.3 สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้คือ

$$\frac{\Delta P_b g_c d_p \varepsilon^3}{L \rho_g U^2 (1-\varepsilon)} = \frac{150(1-\varepsilon)}{\phi_s^2 Re_p} + \frac{1.75}{\phi_s^2}$$

เมื่อทำการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Re_p กับ $(1-\varepsilon) / \varepsilon^3$ ในมาตราส่วนลอการิทึม ซึ่งโดยปกติแล้วในเบคที่ไม่มีฟองก๊าซเกิดขึ้น จะมีค่าความชันของกราฟเป็น -1.0 แต่สำหรับในเบคที่มีฟองก๊าซเกิดขึ้นปริมาณของ $(1-\varepsilon) / \varepsilon^3$ จะมีค่าน้อยกว่าในเบคปกติที่ใช้อัตราการไหลของก๊าซเท่ากัน ดังนั้นค่าความชันของความสัมพันธ์นี้จะต้องมีค่ามากกว่า -1.0 หรือมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง -1.0 [3]

จากการทดลองสามารถหาความสัมพันธ์ดังกล่าวของของแข็งแต่ละชนิดดังรูปที่ 5.6.1



- | | |
|--|--------------------------------|
| □ เม็ดกระสุนปืนลมนพลาสติก slope = - 0.46 | ◇ เม็ดพลาสติกใส slope = - 0.59 |
| △ ถั่วเหลือง slope = - 0.45 | × ถั่วแดง slope = - 0.32 |

รูปที่ 5.6.1 ความสัมพันธ์ของ Re_p กับ $(1-\varepsilon) / \varepsilon^3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7 การทดลองหาข้อจำกัดด้านการใช้งานของเครื่องมือทดลอง

ในการทดลองในหัวข้อนี้จะทำการหาขีดความสามารถในการใช้งานของเครื่องมือทดลองก๊าซฟลูอิดไดเซชันที่สร้างขึ้น โดยใช้อนุภาคเม็ดพลาสติกกระสุนปืนอัดลมเป็นอนุภาคของแข็งทดสอบ ได้ข้อสรุปดังต่อไปนี้

5.7.1 เครื่องมือทดลองนี้สามารถใช้งานได้กับน้ำหนักอนุภาคของแข็งสูงสุด 2.26 กิโลกรัม (ความสูงเริ่มต้นของเม็ดพลาสติกกระสุนปืนอัดลมคือ 30 เซนติเมตร) เนื่องจากเมื่อเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชัน เบบมีการขยายตัวสูงและมีโอกาสหลุดออกจากคอลัมน์และระดับน้ำในมานิเตอร์มีการแกว่งมาก ค่าความดันลดเกือบเท่า $25 \text{ cmH}_2\text{O}$ ตามค่าการออกแบบสูงสุด

5.7.2 ในการทดลองที่อนุภาคของแข็งเบดสูง ๆ จะเกิดการแกว่งของระดับน้ำในมานิเตอร์มาก เนื่องจากมีการเกิดฟองก๊าซขึ้น และบางครั้งเกิดเป็นปรากฏการณ์แซนแนลถึงปรากฏการณ์สลักกิ่ง และปรากฏการณ์สะเป้าเต็ดเบด

5.7.3 เครื่องมือการทดลองนี้ไม่สามารถทำการทดลองจนถึงปรากฏการณ์อนุภาคหลุดลอยได้ เนื่องจากจะทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์วัดความเร็วอากาศที่ติดตั้งไว้ที่ส่วนบนสุดของคอลัมน์

บทที่ 6

สรุปผลการดำเนินงาน

จากการดำเนินงานศึกษา ออกแบบและสร้างเครื่องมือทดลองก๊าซฟลูอิดไดเซชันที่ผ่าน มาสามารถสรุปผลการดำเนินงาน ได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. จากการออกแบบและสร้างเครื่องมือก๊าซฟลูอิดไดเซชัน เมื่อทำการทดสอบ เครื่องมือ ผลการทดลองที่ได้เป็นที่น่าพอใจ สามารถใช้ในการทดลองศึกษาพฤติกรรมการเกิด ฟลูอิดไดเซชันได้

2. เครื่องมือทดลองที่สร้างขึ้นสามารถใช้งาน ได้กับเม็ดพลาสติกกระสุนปืนลม น้ำหนักเริ่มต้นไม่ควรเกิน 2.26 กิโลกรัม ความสูงของเบดเริ่มต้นไม่ควรเกิน 30 เซนติเมตร ทั้งนี้เพื่อ ป้องกันความเสียหายแก่อุปกรณ์การทดลอง ได้แก่ คอลัมน์ทดลอง เครื่องมือวัดความเร็วอากาศ และมาโนมิเตอร์

3. ชีตความสามารถของเครื่องมือทดลองสามารถรองรับเม็ดพลาสติกกระสุนปืนลม ได้สูงสุด 2.26 กิโลกรัม ซึ่งน้อยกว่าค่าจากการคำนวณออกแบบ (3.56 กิโลกรัม) ทั้งนี้เนื่องจากว่า เครื่องมือการทดลองถูกจำกัดอุปกรณ์วัดความเร็วอากาศที่ติดตั้งไว้ที่ส่วนบนสุดของคอลัมน์ทดลอง

4. เครื่องมือการทดลองนี้ไม่สามารถทำการทดลองจนถึงปรากฏการณ์อนุภาคหลุด ลอยได้ เนื่องจากจะทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์วัดความเร็วอากาศที่ติดตั้งไว้ที่ส่วนบนสุด ของคอลัมน์

5. เครื่องมือการทดลองนี้สามารถวัดความดัน ได้สูงกว่า 25 cmH₂O โดยทำการเปลี่ยน ชนิดของเหลวในมาโนมิเตอร์ ให้มีความหนาแน่นมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. Kunii, D. and Levenspiel, O. **Fluidization Engineering**, 2 nd ed. USA: Butterworth-Heinemann, 1991.
2. Ergun, S. **Chemical Engineering Progress**. 48. 89.,1952.
3. สมศักดิ์ คำรงค์เลิศ. ฟลูอิดไดเซชัน, พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528.
4. McCabe, W. L., Smith, J. C., and Harroitt, P. **Unit Operation of Chemical Engineering**, 4 th ed. Singapore: McGraw-Hill Book Company, 1993.
5. Zuiderweg, F. J. **Proc. Int. Symp. On Fluidization**, A.A.H. Drinkenburg, ed., p 739, Netherland University Press, Amsterdam, 1967.
6. Geankoplis, C. J. **Transport Process and Unit Operation**, 3 rd ed. Singapore: Prenticehall International Editions, 1995.
7. เอกสารประกอบการเรียนวิชากลศาสตร์ของไหล, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
8. Max, S. Peter, and Klaus, D. Timmerhaus. **Plant Design and Economics for Chemical Engineering**, 4 th ed, 478 – 486, Singapore: McGraw-Hill Book Company, 1991
9. มุสตาฟา ชะภา. การออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบต่อเนื่องขนาดโรงงานต้นแบบ, วิทยานิพนธ์ สจร., 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การคำนวณออกแบบคอลัมน์ทดลอง

ในการคำนวณออกแบบคอลัมน์ทดลองจะใช้ข้อมูลเบื้องต้นจากหัวข้อที่ 3.1 ซึ่งรายละเอียดของการออกแบบมีดังนี้

1. การหาความสูงที่เกิดฟลูอิดไคเซชัน

$$\frac{L_{mf}}{L_m} = \frac{(1 - \epsilon_m)}{(1 - \epsilon_{mf})}$$

เมื่อ L_m คือ ความสูงของเบด ณ เวลาเริ่มต้น ($t=0$)
 L_{mf} คือ ความสูงของเบด เมื่อเกิดฟลูอิดไคเซชัน

$$\begin{aligned} L_{mf} &= \frac{(1 - 0.45)}{(1 - 0.55)} (0.3) \\ &= 0.367 \text{ เมตร} \end{aligned}$$

∴ ความสูงที่เกิดฟลูอิดไคเซชันเท่ากับ 0.367 เมตร

2. หาความดันลดในเบด

จากรูปที่ 3.1.1 และสมการที่ 2.3.2

$$\Delta P_b = P_3 - P_4 = L_{mf} (1 - \epsilon_{mf}) (\rho_s - \rho_g) \left(\frac{g}{g_c} \right)$$

$$\Delta P_b = (0.367)(1 - 0.55)(962 - 1.165)(1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ = 158.68 $\frac{\text{kg}_f}{\text{m}^2}$ การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \Delta P_b &= \left(158.68 \frac{\text{kg}_f}{\text{m}^2}\right) \left(0.9678 \frac{\text{atm} \cdot \text{cm}^2}{\text{kg}_f}\right) \left(\frac{1 \text{ m}^2}{10^4 \text{ cm}^2}\right) \\ &= 0.154 \text{ atm} \\ P_3 &= 0.0154 + P_4 \\ &= 0.0154 + 1 \\ &= 1.0154 \text{ atm} \end{aligned}$$

3. หาคความเร็วในคอลัมน์ว่างเปล่า (U_0)

จากสมการที่ 2.3.3

$$\frac{\Delta P_b g_c}{L} = \frac{150(1-\epsilon_m)^2 \mu U_0}{\epsilon_m^3 (\varphi_s d_p)^2} + \frac{1.75(1-\epsilon_m) \rho_g U_0^2}{\epsilon_m^3 (\varphi_s d_p)^2}$$

$$\frac{\left(158.68 \frac{\text{kg}_f}{\text{m}^2}\right) \left(9.80655 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{kg}_f \cdot \text{s}^2}\right)}{(0.3 \text{ m})} = \frac{150(1-0.45)^2 \left(1.866 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}\right) U_0}{(0.45)^3 (1)(0.006 \text{ m})^2} + \frac{1.75(1-0.45) \left(1.165 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) U_0^2}{(0.45)^3 (1)(0.006 \text{ m})^2}$$

คำนวณหาค่าความเร็วในคอลัมน์ว่างเปล่า (U_0) ได้

$$U_0 = 1.5289 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

4. หาคความเร็วของของไหลขณะเริ่มเกิดฟลูอิดไดเซชัน (U_{mf})

จากสมการที่ 2.3.6

$$\frac{1.75}{\epsilon_{mf}^3 \varphi_s} \left[\frac{d_p U_{mf} \rho_g}{\mu} \right]^2 + \frac{150(1-\epsilon_{mf})(U_{mf} d_p \rho_g)}{\mu \epsilon_{mf}^3 \varphi_s} = \frac{d_p^3 \rho_g (\rho_s - \rho_g) g}{\mu^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารส่วนบุคคลที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนุญตเห็นแก่ประโยชน์ส่วนรวม
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{1.75}{(0.55)^3(1)} \left[\frac{0.006 \cdot U_{mf}(1.165)}{1.866 \times 10^{-5}} \right]^2 + \frac{150(1-0.55)(0.006)(1.165)U_{mf}}{(1.866 \times 10^{-5})(0.55)^3(1)}$$

$$= \frac{(0.006)^3(1.165)(962-1.165)(9.80655)}{(1.866 \times 10^{-5})^2}$$

คำนวณหาค่าความเร็วของของไหลขณะเริ่มฟลูอิดไดเซชัน (U_{mf}) ได้

$$U_{mf} = 2.0974 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

5. ความเร็วหลุดลอย (U_t)

$$Re_p = \frac{d_p \rho_g U_{mf}}{\mu}$$

$$= \frac{(0.006)(1.165)(2.0974)}{1.866 \times 10^{-5}}$$

$$= 785.68$$

จากสมการที่ 2.3.12

$$U_t = \left[\frac{4g(\rho_s - \rho_g)d_p}{3\rho_g C_D} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left[\frac{4(9.80655)(962-1.165)(6 \times 10^{-3})}{(3)(1.165)(0.43)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= 12.2689 \text{ m/s}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การคำนวณออกแบบแผ่นกระจายอากาศ

จากข้อมูลการออกแบบในหัวข้อ 3.1 ผลการคำนวณจากภาคผนวก ก และขั้นตอนการออกแบบในหัวข้อ 3.2 สามารถทำการคำนวณออกแบบแผ่นกระจายอากาศได้ดังนี้

1. ความดันลดบนแผ่นกระจายอากาศ

สมมุติให้ความดันลดที่เกิดจากแผ่นกระจายอากาศ (ΔP_d) เท่ากับ

$$\begin{aligned}\Delta P_d &= (0.4)(\Delta P_b) \\ &= P_2 - P_3 \\ &= (0.4) \left(184.776 \frac{\text{kg}_f}{\text{m}^2} \right) \\ &= 73.91 \frac{\text{kg}_f}{\text{m}^2} \\ &= 724.498 \text{ Pa}\end{aligned}$$

2. ความดัน ณ จุดก่อนเข้าแผ่นกระจายอากาศ (P_2)

$$\begin{aligned}P_2 &= (0.4)(0.01788) + 1.01788 \\ &= 1.02324 \text{ atm} \\ &= 103,111.244 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}\end{aligned}$$

3. ความเร็วอากาศผ่านรูออริฟิส (U_{or})

$$Re_t = \frac{d_t Q_g U_o}{\mu}$$

$$= \frac{(0.1 \text{ m}) \left(1.165 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \left(1.5289 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)}{\left(1.866 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \right)}$$

$$= 10,328.917$$

นั่นคือ $Re_t > 1,000$ จากรูปที่ 3.2.1 ได้ค่า $Cd_{or} = 0.6$ หาค่าความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านรูออริฟิสได้ (U_{or}) จากสมการที่ 3.2.2

$$U_{or} = 0.6 \left[\frac{2 \left(9.80655 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{kg}_f \cdot \text{s}^2} \right) \left(73.91 \frac{\text{kg}_f}{\text{m}^2} \right)}{1.165 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$U_{or} = 21.165 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

4. จำนวนรูเปิดต่อพื้นที่ของแผ่นกระจายอากาศ

แฟรคชันของรูเปิดของแผ่นกระจายก๊าซ $\frac{U_o}{U_{or}} = \frac{1.6544}{21.165} = 0.078$ หรือ 7.8 %

จากเงื่อนไขของแฟรคชันรูเปิดของแผ่นกระจายก๊าซจะต้องมีค่าไม่เกิน 10% ดังนั้นการออกแบบแผ่นกระจายอากาศ จะเลือกใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูออริฟิส (d_{or}) ขนาดต่าง ๆ กัน ดังนี้ คือ 0.5 มิลลิเมตร 1.0 มิลลิเมตร 2.0 มิลลิเมตร และ 5.0 มิลลิเมตร เพื่อสามารถรองรับอนุภาคของแข็งได้ ทำการคำนวณหาจำนวนรูเปิดต่อพื้นที่ของแผ่นกระจายอากาศโดยใช้สมการที่ 3.2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 สำหรับ $d_{or} = 0.0005$ เมตร

$$U_o = \frac{\pi}{4} d_{or}^2 U_{or} N_{or}$$

$$1.6544 \frac{m}{s} = \frac{\pi}{4} (0.0005 \text{ m})^2 \left(21.165 \frac{m}{s} \right) N_{or}$$

$$N_{or} = 40 \frac{1}{cm^2}$$

ดังนั้นการออกแบบแผ่นกระจายอากาศขนาดรูออร์ฟิส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร จะต้องมีจำนวนรูเปิดอย่างน้อย 40 รูต่อพื้นที่แผ่นกระจายอากาศ 1 ตารางเซนติเมตร

4.2 สำหรับ $d_{or} = 0.001$ เมตร

$$U_o = \frac{\pi}{4} d_{or}^2 U_{or} N_{or}$$

$$1.6544 \frac{m}{s} = \frac{\pi}{4} (0.001 \text{ m})^2 \left(21.165 \frac{m}{s} \right) N_{or}$$

$$N_{or} = 10 \frac{1}{cm^2}$$

ดังนั้นการออกแบบแผ่นกระจายอากาศขนาดรูออร์ฟิสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร จะต้องมีจำนวนรูเปิดอย่างน้อย 10 รูต่อพื้นที่แผ่นกระจายอากาศ 1 ตารางเซนติเมตร

4.3 สำหรับ $d_{or} = 0.002$ เมตร

$$U_o = \frac{\pi}{4} d_{or}^2 U_{or} N_{or}$$

$$1.6544 \frac{m}{s} = \frac{\pi}{4} (0.002 \text{ m})^2 \left(21.165 \frac{m}{s} \right) N_{or}$$

$$N_{or} = 2.5 \frac{1}{cm^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นได้ อนุมัติให้เผยแพร่โดยไม่มีเงื่อนไขและสงวนลิขสิทธิ์ไว้ ซึ่งเอกสารที่ผู้กรรรมนำขึ้นใช้
 2 มิลลิเมตร จะต้องมีจำนวนรูเปิดอย่างน้อย 2.5 รูต่อพื้นที่แผ่นกระจายอากาศ 1 ตารางเซนติเมตร

4.4 สำหรับ $d_{or} = 0.005$ เมตร

$$U_o = \frac{\pi}{4} d_{or}^2 U_{or} N_{or}$$

$$1.6544 \frac{m}{s} = \frac{\pi}{4} (0.005 \text{ m})^2 \left(21.165 \frac{m}{s} \right) N_{or}$$

$$N_{or} = 0.4 \frac{1}{cm^2}$$

ดังนั้นการออกแบบแผ่นกระจายอากาศขนาดรูอริที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร จะต้องมีจำนวนรูเปิดอย่างน้อย 0.4 รูต่อพื้นที่แผ่นกระจายอากาศ 1 ตารางเซนติเมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การหาค่าความสูญเสียรวมในระบบทางเดินอากาศของเครื่องมือทดลอง ก๊าซฟลูอิดไดเซชันและพลังงานที่แท้จริงของเครื่องมือ

1. การหาค่าความสูญเสียรวมในระบบทางเดินอากาศผ่านเครื่องมือชุดทดลองก๊าซฟลูอิดไดเซชัน

ค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นในเครื่องมือทดลองนี้สามารถคำนวณได้โดยใช้ข้อมูล
ในหัวข้อ 3.5 ซึ่งแสดงรายละเอียดการคำนวณดังต่อไปนี้

1.1 การหาค่าการสูญเสียเนื่องจากความดันในคอลัมน์อะคิลิค (h_{L1})

จากภาคผนวก ก ค่าความดันลดในคอลัมน์ $\Delta P_b = 1,811.244 \text{ Pa}$

$$\begin{aligned} h_{L1} &= \frac{\Delta P_b}{Q_g g} \\ &= \frac{(1,811.244 \text{ Pa})}{(1.165 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})(9.80655 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})} \\ &= 158.54 \text{ m-air} \end{aligned}$$

1.2 การหาค่าการสูญเสียเนื่องจากความดันที่เกิดจากแผ่นกระจายอากาศ (h_{L2})

จากภาคผนวก ข ค่าความดันลดเกิดจากแผ่นกระจายอากาศ $\Delta P_d = 724.498 \text{ Pa}$

$$\begin{aligned} h_{L2} &= \frac{\Delta P_d}{Q_g g} \\ &= \frac{(724.498 \text{ Pa})}{(1.165 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})(9.80655 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})} \\ &= 63.415 \text{ m-air} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 การหาค่าการสูญเสียเนื่องจากคอถ่มน้อะคิลิด และท่อ PVC ขนาด 4 นิ้วหรือ 10 เซนติเมตร (h_{L3})

อัตราการไหลของอากาศในคอถ่มน้อะคิลิด (Q)

$$\begin{aligned} Q &= U_{mf} A \\ &= (2.2669 \frac{\text{m}}{\text{s}}) \left(\frac{\pi}{4} \right) (0.1)^2 \text{m}^2 \\ &= 0.0178 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Re}_{mf} &= \frac{d_t \rho_g U_{mf}}{\mu} \\ &= \frac{(0.1 \text{m}) \left(1.165 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \left(2.2669 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)}{\left(1.866 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \right)} \\ &= 14,152.94 \end{aligned}$$

เนื่องจากคอถ่มน้อะคิลิดและท่อ PVC ขนาด 4 นิ้ว เป็นท่อผิวเรียบ (Smooth tube) ดังนั้นสามารถทำการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การสูญเสีย (Fanning friction factor, f) ได้ [8]

$$\begin{aligned} f &= \frac{0.046}{(\text{Re})^{0.2}} \\ &= \frac{0.046}{(14,152.94)^{0.2}} \\ &= 0.0068 \end{aligned}$$

ค่าความยาวรวมของคอถ่มน้อะคิลิดและท่อ PVC ขนาด 4 นิ้ว มีค่าเท่ากับ 130 เซนติเมตร สามารถหาค่าการสูญเสีย [8]

$$\begin{aligned} h_{L3} &= \frac{2fU^2L}{gd_t} \\ &= \frac{2(0.0068)(2.2669)^2(1.3)}{(9.80655)(0.1)} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ (9.80655)(0.1) ม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะ 0.0926 $\text{m} \cdot \text{air}$ ลงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 การหาค่าการสูญเสียเนื่องจากท่อ PVC และท่อส่งอากาศจากเครื่องเป่าอากาศขนาด 2 นิ้วหรือ 5 เซนติเมตร (h_{L4})

หาความเร็วของอากาศในท่อขนาด 2 นิ้ว

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{Q}{A} \\
 &= \frac{4(0.0178)}{\pi(0.05)^2} \\
 &= 9.0655 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\
 \text{Re} &= \frac{d \rho_g U}{\mu} \\
 &= \frac{(0.05 \text{ m}) \left(1.165 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \left(9.0655 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)}{\left(1.866 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \right)} \\
 &= 28,299.22
 \end{aligned}$$

เนื่องจากท่อ PVC และท่อขนาด 2 นิ้ว เป็นท่อผิวเรียบ (Smooth tube) ดังนั้นสามารถทำการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การสูญเสีย (Fanning friction factor, f) ได้จาก [8]

$$\begin{aligned}
 f &= \frac{0.046}{(\text{Re})^{0.2}} \\
 &= \frac{0.046}{(28,299.22)^{0.2}} \\
 &= 0.0059
 \end{aligned}$$

ค่าความยาวรวมของท่อ PVC และท่อขนาด 2 นิ้วมีค่าเท่ากับ 220 เซนติเมตร สามารถหาค่าการสูญเสีย [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 h_{L4} &= \frac{2fU^2L}{gd_t} \\
 &= \frac{2(0.0059)(9.0655)^2(2.2)}{(9.80655)(0.05)} \\
 &= 4.3511 \quad \text{m - air}
 \end{aligned}$$

- 1.5 การหาค่าการสูญเสียเนื่องจากการขยายขนาดของพื้นที่หน้าตัดท่อ (h_{L5})
 การไหลของอากาศจะไหลผ่านท่อขนาด 2 นิ้วไปยังท่อขนาด 4 นิ้ว โดยผ่าน
 ส่วนของข้อต่อลด PVC 4 นิ้ว - 2 นิ้ว การไหลของอากาศดังกล่าว ทำให้ความเร็วของอากาศจะมีค่า
 ลดลง ซึ่งสามารถหาค่าการสูญเสียเนื่องจากการขยายขนาดของพื้นที่หน้าตัดท่อ [8]

$$h_{L5} = \frac{(U_1 - U_2)^2}{2g\alpha}$$

เมื่อ $\alpha = 1$ เมื่อการไหลเป็นแบบปั่นป่วน (Turbulent flow)

U_1 = ความเร็วของอากาศในท่อ 2 นิ้ว

U_2 = ความเร็วของอากาศในท่อ 4 นิ้ว

ดังนั้น

$$\begin{aligned}
 h_{L5} &= \frac{(9.0655 - 2.2669)^2}{2(9.80655)(1)} \\
 &= 2.3566 \quad \text{m - air}
 \end{aligned}$$

- 1.6 การหาค่าการสูญเสียเนื่องจากวาล์วประตูน้ำทองเหลืองและข้อต่อ PVC 3 ทาง
 สำหรับวาล์วประตูน้ำ $L/d_t = 7$ [8]
 สำหรับข้อต่อ 3 ทาง $L/d_t = 90$ [8]

$$\begin{aligned}
 h_{L6} &= \frac{2fU^2L}{gd_f} \\
 &= \frac{2(0.0059)(9.0655)^2[(2 \times 7) + 90]}{(9.80655)} \\
 &= 10.2845 \text{ m - air}
 \end{aligned}$$

ค่าการสูญเสียรวมในระบบทางเดินอากาศในเครื่องมือทดลองก๊าซฟลูอิด ไคเซชัน (H_T) สามารถหาได้จากผลรวมของค่าความสูญเสียต่าง ๆ คือ

$$\begin{aligned}
 H_T &= h_{L1} + h_{L2} + h_{L3} + h_{L4} + h_{L5} + h_{L6} \\
 H_T &= 158.54 + 63.415 + 0.0926 + 4.3511 + 2.3566 + 10.2845 \\
 &= 239.0398 \text{ m-air}
 \end{aligned}$$

2. การใช้พลังงาน

ในการออกแบบเครื่องมือทดลองชุดนี้เพื่อการปฏิบัติงานจะทำการหาค่าการสูญเสียทั้งหมดของระบบ โดยกำหนดตัวคูณความปลอดภัย (Safety Factor) = 2 ดังนั้นค่าการสูญเสียทั้งหมด

$$\begin{aligned}
 H_T &= 2 \times 239.0398 \\
 &= 478.0796 \text{ m-air}
 \end{aligned}$$

ค่ากำลังงานที่ใช้จริงของเครื่องมือทดลองก๊าซฟลูอิด ไคเซชันสามารถคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned}
 \text{Power} &= \rho_g g H_L Q \\
 &= (1.165)(9.80655)(478.0796)(0.0178) \\
 &= 97.222 \text{ W}
 \end{aligned}$$

เมื่อกำหนดให้

ประสิทธิภาพของเครื่องเป่าอากาศ 60 %

ประสิทธิภาพของมอเตอร์ 80 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ถูกระบุเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}\text{Power} &= \frac{97.222}{(0.6 \times 0.8)} \\ &= 202.545 \text{ W} \\ &= \frac{202.545}{746} \\ &= 0.27 \text{ Hp}\end{aligned}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การคำนวณหาความสามารถสูงสุดในการใช้งานของเครื่องมือทดลอง

การคำนวณหาค่าความหนาแน่นสูงสุดของอนุภาคที่ใช้ทดลอง (ρ_s) ที่สามารถใช้งานกับเครื่องมือที่สร้างขึ้นนี้ได้ โดยกำหนดให้ตัวแปรอื่น ๆ ในข้อ 3.1 มีค่าคงที่ โดยความสามารถในการใช้งานของเครื่องมือนี้มีขีดจำกัดอยู่ที่อุปกรณ์วัดความดันที่สามารถวัดค่าความดันแตกต่างกันได้สูงสุด 25 cm H₂O และกำลังงานของมอเตอร์เครื่องเป่าอากาศที่มีกำลังงาน 1 แรงม้า ผลการคำนวณหาค่าความหนาแน่นสูงสุดของอนุภาคที่ใช้ทดลองมีดังต่อไปนี้

ขนาดของความดันลดคร่อมเบดสูงสุดที่อุปกรณ์วัดความดันสามารถวัดได้ ΔP_b เท่ากับ 25 cmH₂O หรือ 249.628 kg/m² หรือ 0.02416 atm ค่าความหาค่าความหนาแน่นสูงสุดที่สามารถใช้งานกับเครื่องมือนี้ได้โดยใช้ข้อมูลอ้างอิงตามหัวข้อ 3.1 กำหนดให้ตัวแปรต่าง ๆ มีค่าคงที่

จากสมการที่ 2.3.2

$$\Delta P_b = L_{mf} (1 - \epsilon_{mf}) (\rho_s - \rho_g) \left(\frac{g}{g_c} \right)$$

$$\left(249.628 \frac{\text{kg}_f}{\text{m}^2} \right) = (0.367)(1 - 0.55)(\rho_s - 1.165)(1)$$

$$\rho_s = 1,512.69 \text{ kg/m}^3$$

หาความเร็วของของไหลขณะเริ่มเกิดฟลูอิดไดเซชัน (U_{mf}) จากสมการที่ 2.3.6

$$\frac{1.75}{\epsilon_{mf}^3 \varphi_s} \left[\frac{d_p U_{mf} \rho_g}{\mu} \right]^2 + \frac{150(1 - \epsilon_{mf})(U_{mf} d_p \rho_g)}{\mu \epsilon_{mf}^3 \varphi_s} = \frac{d_p^3 \rho_g (\rho_s - \rho_g) g}{\mu^2}$$

$$\frac{1.75}{(0.55)^3 (1)} \left[\frac{0.006 \cdot U_{mf} (1.165)}{1.866 \times 10^{-5}} \right]^2 + \frac{150(1 - 0.55)(0.006)(1.165)U_{mf}}{(1.866 \times 10^{-5})(0.55)^3 (1)}$$

$$= \frac{(0.006)^3 (1.165)(1,512.69 - 1.165)(9.80655)}{(1.866 \times 10^{-5})^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาความเร็วของของไหลขณะเริ่มฟลูอิดไดเซชัน (U_{mf}) ได้

$$U_{mf} = 2.643 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

คำนวณตรวจสอบว่าเครื่องเป่าอากาศสามารถใช้งานได้กับ ความหนาแน่นของอนุภาคที่
ใช้สูงสุดที่คำนวณได้

$$\begin{aligned} \Delta P_d &= (0.4)(\Delta P_b) \\ &= P_2 - P_3 \\ &= (0.4) \left(249.628 \frac{\text{kg}_f}{\text{m}^2} \right) \\ &= 99.85 \frac{\text{kg}_f}{\text{m}^2} \\ &= 978.963 \text{ Pa} \end{aligned}$$

คำนวณหาค่าการสูญเสียทั้งหมดและหาขนาดของมอเตอร์ของเครื่องเป่าอากาศสูงสุด
เมื่อใช้ค่าความดันตกในเบดสูงสุด 25 cmH₂O ในทำนองเดียวกันกับหัวข้อ 3.5 และ 3.6 สามารถ
คำนวณหาขนาดกำลังของมอเตอร์เครื่องเป่าอากาศได้ 0.37 Hp

นั่นคือเครื่องมือการทดลองก๊าซฟลูอิดไดเซชันนี้สามารถทำการทดลองกับอนุภาคของ
แข็งทรงกลมที่มีความหนาแน่นสูงสุด 1,512.69 kg/m³ โดยใช้ขนาดความสูงของเบดเริ่มต้น
30 เซนติเมตร หรือคิดเป็นค่าความจุ (Capacity) ของเครื่องมือทดลองก๊าซฟลูอิดไดเซชันนี้คือ
 $1,512.69 \times \pi \times (0.1)^2 \times 0.3 / 4 = 3.56$ กิโลกรัม เพราะว่าเครื่องมือทดลองก๊าซฟลูอิดไดเซชันนี้
ถูกจำกัดด้วยขนาดของอุปกรณ์วัดค่าความดัน

ภาคผนวก จ
ข้อมูลผลการทดลอง

ภาคผนวกนี้แสดงรายละเอียดผลการทดลองในบทที่ 4 และ บทที่ 5



๓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองการหา Calibration curve ของแผ่นกระจายอากาศ

วันที่	12 มีนาคม 2542
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 1

ความเร็วอากาศ U (m/s)	ความดันลดในเบด ΔP_b (cmH ₂ O)	ความเร็วอากาศ U (m/s)	ความดันลดในเบด ΔP_b (cmH ₂ O)
0.0	0.0	2.2	0.0
0.1	0.0	2.3	0.0
0.2	0.0	2.4	0.0
0.3	0.0	2.5	0.0
0.4	0.0	2.6	0.0
0.5	0.0	2.7	0.0
0.6	0.0	2.8	0.0
0.7	0.0	2.9	0.0
0.8	0.0	3.0	0.0
0.9	0.0	3.5	0.0
1.0	0.0	4.0	0.0
1.1	0.0	4.5	0.0
1.2	0.0	5.0	0.0
1.3	0.0	5.5	0.0
1.4	0.0	6.0	0.0
1.5	0.0	6.5	0.1
1.6	0.0	7.0	0.1
1.7	0.0	9.0	0.2
1.8	0.0	11.0	0.3
1.9	0.0	13.0	0.4
2.0	0.0	15.0	0.5
2.1	0.0		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองการหา Calibration curve ของแผ่นกระจายอากาศ

วันที่	12 มีนาคม 2542
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 2

ความเร็วอากาศ U (m/s)	ความดันตกในเบด ΔP_b (cmH ₂ O)	ความเร็วอากาศ U (m/s)	ความดันตกในเบด ΔP_b (cmH ₂ O)
0.0	0.00	2.0	0.20
0.1	0.20	2.1	0.20
0.2	0.20	2.2	0.20
0.3	0.20	2.3	0.20
0.4	0.20	2.4	0.20
0.5	0.20	2.5	0.20
0.6	0.20	2.6	0.20
0.7	0.20	2.7	0.30
0.8	0.20	2.8	0.30
0.9	0.20	2.9	0.30
1.0	0.20	3.0	0.30
1.1	0.20	3.5	0.30
1.2	0.20	4.0	0.35
1.3	0.20	4.5	0.40
1.4	0.20	5.0	0.50
1.5	0.20	5.5	0.60
1.6	0.20	6.0	0.70
1.7	0.20	6.5	0.80
1.8	0.20	7.0	0.85
1.9	0.20		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองการหา Calibration curve ของแผ่นกระจายอากาศ

วันที่	12 มีนาคม 2542
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 3

ความเร็วอากาศ	ความดันสถิตในเบด	ความเร็วอากาศ	ความดันสถิตในเบด
U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)	U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)
0.0	0.0	2.0	0.4
0.1	0.1	2.1	0.5
0.2	0.1	2.2	0.5
0.3	0.1	2.3	0.6
0.4	0.1	2.4	0.6
0.5	0.2	2.5	0.7
0.6	0.2	2.6	0.7
0.7	0.2	2.7	0.7
0.8	0.2	2.8	0.7
0.9	0.2	2.9	0.8
1.0	0.2	3.0	0.8
1.1	0.3	3.5	1.0
1.2	0.3	4.0	1.2
1.3	0.3	4.5	1.6
1.4	0.3	5.0	1.8
1.5	0.3	5.5	2.2
1.6	0.3	6.0	2.8
1.7	0.4	6.5	3.3
1.8	0.4	7.0	3.7
1.9	0.4		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองการหา Calibration curve ของแผ่นกระจายอากาศ

วันที่	12 มีนาคม 2542
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 4

ความเร็วอากาศ	ความดันลดในเบด	ความเร็วอากาศ	ความดันลดในเบด
U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)	U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)
0	0	2.0	1.6
0.1	0.3	2.1	1.7
0.2	0.4	2.2	1.8
0.3	0.4	2.3	1.9
0.4	0.4	2.4	2.0
0.5	0.4	2.5	2.2
0.6	0.5	2.6	2.3
0.7	0.5	2.7	2.5
0.8	0.5	2.8	2.6
0.9	0.6	2.9	2.7
1.0	0.6	3.0	3.0
1.1	0.7	3.5	3.9
1.2	0.7	4.0	5.0
1.3	0.8	4.5	5.6
1.4	0.9	5.0	7.2
1.5	1.0	5.5	8.7
1.6	1.1	6.0	10.3
1.7	1.2	6.5	11.4
1.8	1.4	7.0	13.5
1.9	1.5		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองการหา Calibration curve ของแผ่นกระจายอากาศ

วันที่	12 มีนาคม 2542
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 5

ความเร็วอากาศ U (m/s)	ความดันตกในเบด ΔP_b (cmH ₂ O)	ความเร็วอากาศ U (m/s)	ความดันตกในเบด ΔP_b (cmH ₂ O)
0	0	2.0	1.2
0.1	0.2	2.1	1.3
0.2	0.2	2.2	1.4
0.3	0.2	2.3	1.6
0.4	0.3	2.4	1.7
0.5	0.3	2.5	1.8
0.6	0.4	2.6	2.0
0.7	0.4	2.7	2.1
0.8	0.5	2.8	2.1
0.9	0.5	2.9	2.2
1.0	0.5	3.0	2.4
1.1	0.6	3.5	3.3
1.2	0.6	4.0	4.0
1.3	0.7	4.5	4.9
1.4	0.7	5.0	5.9
1.5	0.8	5.5	7.2
1.6	0.8	6.0	8.9
1.7	0.9	6.5	9.8
1.8	0.9	7.0	12.0
1.9	1.0		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	12 มีนาคม 2542
อนุภาคของแข็ง	เม็ดพลาสติกกระสุนปืนลม
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 1
ความสูงเบดเริ่มต้น (L_m)	4 cm

เพิ่มความเร็วอากาศ			ลดความเร็วอากาศ	
ความเร็วอากาศ	ความดันตกในเบด	ความสูงเบด	ความเร็วอากาศ	ความดันตกในเบด
U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)	L_m (cm)	U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)
0.0	0.0	4.0	7.0	2.2
0.1	0.7	4.0	6.5	2.2
0.2	0.8	4.0	6.0	2.2
0.3	0.9	4.0	5.5	2.2
0.4	1.0	4.0	5.0	2.2
0.5	1.0	4.0	4.5	2.2
0.6	1.1	4.0	4.0	2.2
0.7	1.2	4.0	3.5	2.2
0.8	1.3	4.0	3.0	2.2
0.9	1.3	4.0	2.9	2.2
1.0	1.4	4.0	2.8	2.2
1.1	1.5	4.0	2.7	2.2
1.2	1.6	4.0	2.6	2.2
1.3	1.8	4.0	2.5	2.2
1.4	2.0	4.0	2.4	2.2
1.5	2.2	4.0	2.3	2.2
1.6	2.4	4.0	2.2	2.2
1.7	2.3	4.0	2.1	2.2
1.8	2.2	4.0	2.0	2.2
1.9	2.2	4.5	1.9	2.2
2.0	2.2	5.0	1.8	2.2
2.1	2.2	5.0	1.7	2.2
2.2	2.2	5.0	1.6	2.2
2.3	2.2	5.5	1.5	1.9
2.4	2.2	5.5	1.4	1.8
2.5	2.2	5.5	1.3	1.7
2.6	2.2	6.0	1.2	1.6
2.7	2.2	6.0	1.1	1.5
2.8	2.2	6.5	1.0	1.4
2.9	2.2	6.5	0.9	1.3
3.0	2.2	7.0	0.8	1.2
3.5	2.2	7.5	0.7	1.1
4.0	2.2	8.0	0.6	1.0
4.5	2.2	8.5	0.5	0.9
5.0	2.2	9.0	0.4	0.8
5.5	2.2	10.0	0.3	0.7
6.0	2.2	11.0	0.2	0.7
6.5	2.2	12.0	0.1	0.6
7.0	2.2	13.0	0.0	0.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ภายใต้เงื่อนไขการใช้งาน ห้ามมิให้นำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	12 มีนาคม 2542
อนุภาคของแข็ง	เม็ดพลาสติกกระสุนปืนลม
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 1
ความสูงเบดเริ่มต้น (L_m)	6 cm

เพิ่มความเร็วอากาศ			ลดความเร็วอากาศ	
ความเร็วอากาศ	ความดันตกในเบด	ความสูงเบด	ความเร็วอากาศ	ความดันตกในเบด
U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)	L_m (cm)	U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)
0.0	0.0	6.0	7.0	3.2
0.1	0.9	6.0	6.5	3.2
0.2	1.0	6.0	6.0	3.2
0.3	1.1	6.0	5.5	3.2
0.4	1.2	6.0	5.0	3.2
0.5	1.3	6.0	4.5	3.2
0.6	1.4	6.0	4.0	3.2
0.7	1.6	6.0	3.5	3.2
0.8	1.8	6.0	3.0	3.2
0.9	2.0	6.0	2.9	3.2
1.0	2.2	6.0	2.8	3.2
1.1	2.4	6.0	2.7	3.2
1.2	2.6	6.0	2.6	3.2
1.3	2.8	6.0	2.5	3.2
1.4	3.0	6.0	2.4	3.2
1.5	3.3	6.0	2.3	3.2
1.6	3.6	6.0	2.2	3.2
1.7	3.7	6.0	2.1	3.2
1.8	3.5	6.5	2.0	3.2
1.9	3.5	7.0	1.9	3.2
2.0	3.5	7.0	1.8	3.2
2.1	3.4	7.0	1.7	3.2
2.2	3.4	7.5	1.6	3.2
2.3	3.2	7.5	1.5	3.1
2.4	3.2	8.0	1.4	3.0
2.5	3.2	8.0	1.3	2.8
2.6	3.2	8.5	1.2	2.6
2.7	3.2	8.5	1.1	2.4
2.8	3.2	8.5	1.0	2.1
2.9	3.2	9.0	0.9	2.0
3.0	3.2	9.5	0.8	1.8
3.5	3.2	10.0	0.7	1.7
4.0	3.2	10.0	0.6	1.5
4.5	3.2	11.0	0.5	1.3
5.0	3.2	12.0	0.4	1.1
5.5	3.2	13.0	0.3	0.9
6.0	3.2	14.0	0.2	0.8
6.5	3.2	15.0	0.1	0.6
7.0	3.2	16.0	0.0	0.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย มุกดาหาร

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

วันที่	12 มีนาคม 2542
อนุภาคของแข็ง	เม็ดพลาสติกกระจุกฝุ่นป็นลม
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 2
ความสูงเบดเริ่มต้น (L_m)	4 cm

เพิ่มความเร็วกาศ			ลดความเร็วกาศ	
ความเร็วกาศ	ความดันตกในเบด	ความสูงเบด	ความเร็วกาศ	ความดันตกในเบด
U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)	L_m (cm)	U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)
0.0	0.0	4.0	7.0	2.5
0.1	0.6	4.0	6.5	2.3
0.2	0.7	4.0	6.0	2.4
0.3	0.8	4.0	5.5	2.4
0.4	0.8	4.0	5.0	2.4
0.5	0.9	4.0	4.5	2.4
0.6	0.9	4.0	4.0	2.4
0.7	1.0	4.0	3.5	2.3
0.8	1.1	4.0	3.0	2.3
0.9	1.2	4.0	2.9	2.2
1.0	1.3	4.0	2.8	2.2
1.1	1.4	4.0	2.7	2.1
1.2	1.5	4.0	2.6	2.2
1.3	1.7	4.0	2.5	2.1
1.4	1.9	4.0	2.4	2.1
1.5	2.1	4.0	2.3	2.1
1.6	2.3	4.0	2.2	2.1
1.7	2.2	4.5	2.1	2.1
1.8	2.2	4.5	2.0	2.1
1.9	2.1	5.0	1.9	2.1
2.0	2.1	5.5	1.8	2.1
2.1	2.1	5.5	1.7	2.1
2.2	2.1	5.5	1.6	2.1
2.3	2.1	6.0	1.5	2.1
2.4	2.1	6.0	1.4	2.0
2.5	2.1	6.5	1.3	1.9
2.6	2.2	6.5	1.2	1.8
2.7	2.2	7.0	1.1	1.7
2.8	2.2	7.0	1.0	1.6
2.9	2.2	7.5	0.9	1.3
3.0	2.2	7.5	0.8	1.1
3.5	2.3	8.0	0.7	1.0
4.0	2.4	9.0	0.6	0.9
4.5	2.4	9.0	0.5	0.8
5.0	2.4	9.0	0.4	0.7
5.5	2.4	10.0	0.3	0.6
6.0	2.4	12.0	0.2	0.5
6.5	2.3	13.0	0.1	0.3
7.0	2.5	15.0	0.0	0.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในกิจการภายในเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือเผยแพร่ได้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางราชการ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ออกให้ตามมติของคณะกรรมการและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำมาไปใช้

วันที่	12 มีนาคม 2542
อนุภาคของแข็ง	เม็ดพลาสติกกระสุนปืนลม
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 2
ความสูงเบดเริ่มต้น (L_m)	4 cm

เพิ่มความเร็วอากาศ			ลดความเร็วอากาศ	
ความเร็วอากาศ	ความดันสถิตในเบด	ความสูงเบด	ความเร็วอากาศ	ความดันสถิตในเบด
U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)	L_m (cm)	U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)
0.0	0.0	6.0	7.0	3.2
0.1	0.9	6.0	6.5	3.2
0.2	1.0	6.0	6.0	3.2
0.3	1.1	6.0	5.5	3.3
0.4	1.2	6.0	5.0	3.4
0.5	1.3	6.0	4.5	3.4
0.6	1.4	6.0	4.0	3.4
0.7	1.5	6.0	3.5	3.3
0.8	1.7	6.0	3.0	3.3
0.9	1.9	6.0	2.9	3.3
1.0	2.1	6.0	2.8	3.3
1.1	2.3	6.0	2.7	3.3
1.2	2.5	6.0	2.6	3.3
1.3	2.7	6.0	2.5	3.3
1.4	3.0	6.0	2.4	3.3
1.5	3.2	6.0	2.3	3.3
1.6	3.5	6.0	2.2	3.3
1.7	3.5	6.5	2.1	3.3
1.8	3.5	7.0	2.0	3.3
1.9	3.3	7.5	1.9	3.3
2.0	3.3	7.5	1.8	3.3
2.1	3.3	8.0	1.7	3.2
2.2	3.3	8.0	1.6	3.1
2.3	3.3	8.5	1.5	3.0
2.4	3.3	8.5	1.4	2.8
2.5	3.3	9.0	1.3	2.5
2.6	3.3	9.0	1.2	2.3
2.7	3.3	9.5	1.1	2.1
2.8	3.3	10.0	1.0	1.9
2.9	3.3	10.5	0.9	1.8
3.0	3.3	11.0	0.8	1.6
3.5	3.4	11.0	0.7	1.4
4.0	3.4	12.0	0.6	1.2
4.5	3.4	12.0	0.5	1.1
5.0	3.4	13.0	0.4	1.0
5.5	3.3	14.0	0.3	1.0
6.0	3.3	15.0	0.2	0.8
6.5	3.2	16.0	0.1	0.6
7.0	3.2	17.0	0.0	0.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในงานวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะพิมพ์ใดๆ ทั้งสิ้น ออกทางทงหนมเหตดแปลงเนอหาและตององงองตงเจาขงเอกสารทุกคร้งที่ม่การนำไปใช้

วันที่	12 มีนาคม 2542
อนุภาคของแข็ง	เม็ดพลาสติกกระสุนปืนลม
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 3
ความสูงเบดเริ่มต้น (L_m)	4 cm

เพิ่มความเร็วยากาศ			ลดความเร็วยากาศ	
ความเร็วยากาศ	ความดันสถิตในเบด	ความสูงเบด	ความเร็วยากาศ	ความดันสถิตในเบด
U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)	L_m (cm)	U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)
0.0	0.0	4.0	7.0	2.0
0.1	0.7	4.0	6.5	2.2
0.2	0.8	4.0	6.0	2.3
0.3	0.8	4.0	5.5	2.5
0.4	0.9	4.0	5.0	2.4
0.5	0.9	4.0	4.5	2.3
0.6	0.9	4.0	4.0	2.4
0.7	1.0	4.0	3.5	2.3
0.8	1.0	4.0	3.0	2.3
0.9	1.1	4.0	2.9	2.3
1.0	1.3	4.0	2.8	2.3
1.1	1.4	4.0	2.7	2.3
1.2	1.5	4.0	2.6	2.3
1.3	1.7	4.0	2.5	2.3
1.4	1.9	4.0	2.4	2.3
1.5	2.1	4.0	2.3	2.3
1.6	2.3	4.0	2.2	2.3
1.7	2.3	4.5	2.1	2.3
1.8	2.3	4.5	2.0	2.4
1.9	2.3	4.5	1.9	2.4
2.0	2.3	5.0	1.8	2.3
2.1	2.3	5.0	1.7	2.2
2.2	2.4	5.5	1.6	2.2
2.3	2.3	5.5	1.5	2.1
2.4	2.4	5.5	1.4	1.9
2.5	2.3	6.0	1.3	1.8
2.6	2.4	6.0	1.2	1.7
2.7	2.4	6.5	1.1	1.6
2.8	2.4	7.0	1.0	1.5
2.9	2.4	7.0	0.9	1.4
3.0	2.4	7.5	0.8	1.3
3.5	2.5	8.0	0.7	1.2
4.0	2.5	9.0	0.6	1.1
4.5	2.4	10.0	0.5	0.9
5.0	2.5	11.0	0.4	0.6
5.5	2.5	12.0	0.3	0.6
6.0	2.4	14.0	0.2	0.5
6.5	2.2	15.0	0.1	0.4
7.0	2.0	17.0	0.0	0.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับโรงเรียนเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้อำนวยการ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	12 มีนาคม 2542
อนุภาคของแข็ง	เม็ดพลาสติกกระสุนปืนลม
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 3
ความสูงเบดเริ่มต้น (L_m)	6 cm

เพิ่มความเร็วยากาศ			ลดความเร็วยากาศ	
ความเร็วยากาศ	ความดันลดในเบด	ความสูงเบด	ความเร็วยากาศ	ความดันลดในเบด
U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)	L_m (cm)	U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)
0.0	0.0	6.0	7.0	3.0
0.1	0.9	6.0	6.5	3.0
0.2	1.1	6.0	6.0	3.0
0.3	1.2	6.0	5.5	3.3
0.4	1.4	6.0	5.0	3.4
0.5	1.4	6.0	4.5	3.4
0.6	1.5	6.0	4.0	3.6
0.7	1.7	6.0	3.5	3.5
0.8	1.9	6.0	3.0	3.3
0.9	2.1	6.0	2.9	3.3
1.0	2.3	6.0	2.8	3.4
1.1	2.4	6.0	2.7	3.4
1.2	2.6	6.0	2.6	3.2
1.3	2.8	6.0	2.5	3.2
1.4	3.1	6.0	2.4	3.3
1.5	3.3	6.0	2.3	3.3
1.6	3.6	6.0	2.2	3.4
1.7	3.5	6.5	2.1	3.4
1.8	3.5	7.0	2.0	3.5
1.9	3.6	7.0	1.9	3.5
2.0	3.6	7.0	1.8	3.5
2.1	3.5	7.5	1.7	3.5
2.2	3.6	7.5	1.6	3.5
2.3	3.5	8.0	1.5	3.4
2.4	3.5	8.0	1.4	3.1
2.5	3.4	8.5	1.3	2.8
2.6	3.4	9.0	1.2	2.6
2.7	3.5	9.0	1.1	2.4
2.8	3.5	9.5	1.0	2.3
2.9	3.4	10.0	0.9	2.0
3.0	3.5	10.0	0.8	1.8
3.5	3.5	11.0	0.7	1.7
4.0	3.6	12.0	0.6	1.5
4.5	3.4	13.0	0.5	1.3
5.0	3.6	14.0	0.4	1.2
5.5	3.4	15.0	0.3	1.1
6.0	3.0	16.0	0.2	1.0
6.5	3.0	17.0	0.1	0.7
7.0	3.0	18.0	0.0	0.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ ห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะโดยใดก็ตาม หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยไว้ล่วงหน้า

วันที่	12 มีนาคม 2542
อนุภาคของแข็ง	เม็ดพลาสติกกระสุนปืนลม
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 4
ความสูงเบดเริ่มต้น (L_m)	4 cm

เพิ่มความเร็วอากาศ			ลดความเร็วอากาศ	
ความเร็วอากาศ	ความดันสถิตในเบด	ความสูงเบด	ความเร็วอากาศ	ความดันสถิตในเบด
U (m/s)	ΔP_s (cmH ₂ O)	L_m (cm)	U (m/s)	ΔP_s (cmH ₂ O)
0.0	0.0	4.0	7.0	2.1
0.1	0.8	4.0	6.5	2.2
0.2	0.8	4.0	6.0	2.3
0.3	0.9	4.0	5.5	2.4
0.4	1.0	4.0	5.0	2.3
0.5	1.2	4.0	4.5	2.2
0.6	1.2	4.0	4.0	2.3
0.7	1.3	4.0	3.5	2.3
0.8	1.4	4.0	3.0	2.3
0.9	1.5	4.0	2.9	2.2
1.0	1.7	4.0	2.8	2.2
1.1	1.8	4.0	2.7	2.2
1.2	2.0	4.0	2.6	2.2
1.3	2.1	4.0	2.5	2.1
1.4	2.2	4.0	2.4	2.2
1.5	2.3	4.0	2.3	2.3
1.6	2.3	4.0	2.2	2.3
1.7	2.3	4.5	2.1	2.3
1.8	2.2	4.5	2.0	2.3
1.9	2.2	4.5	1.9	2.2
2.0	2.2	4.5	1.8	2.1
2.1	2.2	5.0	1.7	2.2
2.2	2.3	5.0	1.6	2.2
2.3	2.3	5.5	1.5	2.1
2.4	2.3	6.0	1.4	2.0
2.5	2.3	6.0	1.3	1.9
2.6	2.3	6.5	1.2	1.8
2.7	2.2	6.5	1.1	1.6
2.8	2.2	6.5	1.0	1.6
2.9	2.2	6.5	0.9	1.4
3.0	2.2	7.0	0.8	1.4
3.5	2.4	8.0	0.7	1.2
4.0	2.3	8.5	0.6	1.0
4.5	2.2	9.0	0.5	0.9
5.0	2.4	10.0	0.4	0.8
5.5	2.4	11.0	0.3	0.7
6.0	2.3	13.0	0.2	0.6
6.5	2.2	14.0	0.1	0.5
7.0	2.1	16.0	0.0	0.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีโทษทางแพ่งและอาญาหากฝ่าฝืนโดยเจตนา

วันที่	12 มีนาคม 2542
อนุภาคของแข็ง	เม็ดพลาสติกกระสุนปืนลม
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 4
ความสูงเบดเริ่มต้น (L_m)	6 cm

เพิ่มความเร็วอากาศ			ลดความเร็วอากาศ	
ความเร็วอากาศ	ความดันลดในเบด	ความสูงเบด	ความเร็วอากาศ	ความดันลดในเบด
U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)	L_m (cm)	U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)
0.0	0.0	6.0	7.0	3.1
0.1	1.2	6.0	6.5	3.3
0.2	1.3	6.0	6.0	3.2
0.3	1.4	6.0	5.5	3.1
0.4	1.5	6.0	5.0	3.2
0.5	1.7	6.0	4.5	3.3
0.6	1.8	6.0	4.0	3.4
0.7	2.0	6.0	3.5	3.2
0.8	2.2	6.0	3.0	3.3
0.9	2.3	6.0	2.9	3.2
1.0	2.6	6.0	2.8	3.2
1.1	2.8	6.0	2.7	3.2
1.2	3.0	6.0	2.6	3.3
1.3	3.1	6.0	2.5	3.3
1.4	3.2	6.0	2.4	3.4
1.5	3.5	6.0	2.3	3.3
1.6	3.6	6.0	2.2	3.3
1.7	3.5	6.0	2.1	3.3
1.8	3.3	6.5	2.0	3.3
1.9	3.3	6.5	1.9	3.3
2.0	3.3	7.0	1.8	3.3
2.1	3.4	7.5	1.7	3.2
2.2	3.3	8.0	1.6	3.2
2.3	3.4	8.0	1.5	3.1
2.4	3.4	8.5	1.4	3.1
2.5	3.4	8.5	1.3	2.9
2.6	3.4	9.0	1.2	2.8
2.7	3.3	9.0	1.1	2.6
2.8	3.3	9.0	1.0	2.4
2.9	3.3	9.5	0.9	2.2
3.0	3.2	9.5	0.8	2.0
3.5	3.2	11.3	0.7	1.8
4.0	3.4	12.0	0.6	1.6
4.5	3.5	12.5	0.5	1.4
5.0	3.3	13.0	0.4	1.3
5.5	3.2	13.5	0.3	1.2
6.0	3.1	14.0	0.2	1.1
6.5	3.3	14.5	0.1	0.8
7.0	3.1	15.0	0.0	0.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการฝึกปฏิบัติงานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ภายนอก

ไม่ว่ากรณีใดๆ หงสน ออกทงห้ามมิให้คัดแบบลงเนื้อหาและต้องอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

วันที่	12 มีนาคม 2542
อนุภาคของแข็ง	เม็ดพลาสติกกระสุนปืนลม
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 5
ความสูงเบดเริ่มต้น (L_m)	4 cm

เพิ่มความเร็วอากาศ			ลดความเร็วอากาศ	
ความเร็วอากาศ	ความดันลดในเบด	ความสูงเบด	ความเร็วอากาศ	ความดันลดในเบด
U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)	L_m (cm)	U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)
0.0	0.0	4.0	7.0	2.2
0.1	1.1	4.0	6.5	2.2
0.2	1.2	4.0	6.0	2.4
0.3	1.3	4.0	5.5	2.5
0.4	1.3	4.0	5.0	2.6
0.5	1.3	4.0	4.5	2.5
0.6	1.4	4.0	4.0	2.6
0.7	1.6	4.0	3.5	2.6
0.8	1.7	4.0	3.0	2.4
0.9	1.9	4.0	2.9	2.5
1.0	2.2	4.0	2.8	2.5
1.1	2.3	4.0	2.7	2.4
1.2	3.2	4.0	2.6	2.4
1.3	3.4	4.0	2.5	2.5
1.7	3.0	4.5	2.4	2.5
1.8	3.0	5.0	2.3	2.5
1.9	2.9	5.0	2.2	2.6
2.0	2.7	5.0	2.1	2.7
2.1	2.6	5.5	2.0	2.6
2.2	2.6	5.5	1.9	2.6
2.3	2.5	5.5	1.8	2.7
2.4	2.5	6.0	1.7	2.8
2.5	2.5	6.0	1.6	2.7
2.6	2.4	6.0	1.5	2.5
2.7	2.4	6.0	1.4	2.4
2.8	2.5	6.5	1.3	2.2
2.9	2.5	6.5	1.2	2.2
3.0	2.4	7.0	1.1	2.0
3.5	2.6	8.0	1.0	1.8
4.0	2.6	8.5	0.9	1.6
4.5	2.5	9.0	0.8	1.5
5.0	2.7	9.5	0.7	1.5
5.5	2.5	10.0	0.6	1.2
6.0	2.3	11.0	0.5	1.1
6.5	2.2	12.0	0.4	1.0
7.0	2.2	14.0	0.3	1.0
			0.2	0.9
			0.1	0.6
			0.0	0.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะในรูปแบบใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง เนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารที่นำมาไปใช้

วันที่	12 มีนาคม 2542
อนุภาคของแข็ง	เม็ดพลาสติกกระจุนป็นลม
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 5
ความสูงเบดเริ่มต้น (L_m)	6 cm

เพิ่มความเร็วอากาศ			ลดความเร็วอากาศ	
ความเร็วอากาศ	ความดันตกในเบด	ความสูงเบด	ความเร็วอากาศ	ความดันตกในเบด
U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)	L_m (cm)	U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)
0.0	0.0	6.0	7.0	3.6
0.1	1.5	6.0	6.5	3.7
0.2	1.6	6.0	6.0	3.5
0.3	1.8	6.0	5.5	3.7
0.4	1.9	6.0	5.0	3.8
0.5	2.1	6.0	4.5	3.5
0.6	2.2	6.0	4.0	3.6
0.7	2.6	6.0	3.5	3.7
0.8	2.7	6.0	3.0	3.8
0.9	2.9	6.0	2.9	3.6
1.0	3.3	6.0	2.8	3.7
1.1	3.4	6.0	2.7	3.5
1.2	3.6	6.0	2.6	3.4
1.3	3.9	6.0	2.5	3.5
1.4	4.2	6.0	2.4	3.5
1.5	4.4	6.0	2.3	3.5
1.6	4.2	6.0	2.2	3.6
1.7	4.1	6.5	2.1	3.7
1.8	4.1	7.0	2.0	3.8
1.9	4.0	7.0	1.9	3.9
2.0	3.8	7.5	1.8	3.9
2.1	3.7	7.5	1.7	3.9
2.2	3.6	8.0	1.6	3.9
2.3	3.5	8.0	1.5	3.8
2.4	3.5	8.0	1.4	3.6
2.5	3.6	8.5	1.3	3.3
2.6	3.5	8.5	1.2	3.1
2.7	3.6	8.5	1.1	2.8
2.8	3.7	9.0	1.0	2.6
2.9	3.7	9.0	0.9	2.4
3.0	3.8	10.0	0.8	2.3
3.5	3.7	10.5	0.7	2.1
4.0	3.6	11.0	0.6	1.8
4.5	3.8	11.5	0.5	1.7
5.0	3.8	12.0	0.4	1.7
5.5	3.7	12.5	0.3	1.6
6.0	3.5	13.0	0.2	1.4
6.5	3.7	13.5	0.1	1.2
7.0	3.6	14.0	0.0	0.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารลับสำหรับ 3.7 ริง เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปยังหน่วยงานอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ควรกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกข้อมูลและข้อเท็จจริงของเอกสารลับนี้ไปใช้

วันที่	10 มีนาคม 2542
อนุภาคของแข็ง	เม็ดพลาสติกกระสุนปืนลม
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 1
ความสูงเบดเริ่มต้น (L_m)	4 cm

เพิ่มความเร็วอากาศ			ลดความเร็วอากาศ	
ความเร็วอากาศ	ความดันสถิตในเบด	ความสูงเบด	ความเร็วอากาศ	ความดันสถิตในเบด
U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)	L_m (cm)	U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)
0.0	0.00	4.0	10.0	1.95
0.1	0.70	4.0	9.0	2.00
0.2	0.80	4.0	8.0	2.05
0.3	0.90	4.0	7.0	2.10
0.4	0.95	4.0	6.0	2.20
0.5	1.00	4.0	5.0	2.20
0.6	1.10	4.0	4.0	2.20
0.7	1.20	4.0	3.5	2.20
0.8	1.30	4.0	3.0	2.20
0.9	1.40	4.0	2.9	2.20
1.0	1.50	4.0	2.8	2.20
1.1	1.60	4.0	2.7	2.20
1.2	1.70	4.0	2.6	2.20
1.3	1.80	4.0	2.5	2.20
1.4	2.00	4.0	2.4	2.20
1.5	2.20	4.0	2.3	2.20
1.6	2.40	4.0	2.2	2.20
1.7	2.30	4.0	2.1	2.20
1.8	2.20	4.0	2.0	2.20
1.9	2.20	4.5	1.9	2.20
2.0	2.20	5.0	1.8	2.20
2.1	2.20	5.0	1.7	2.20
2.2	2.20	5.0	1.6	2.20
2.3	2.20	5.5	1.5	1.90
2.4	2.20	5.5	1.4	1.80
2.5	2.20	5.5	1.3	1.70
2.6	2.20	6.0	1.2	1.60
2.7	2.20	6.0	1.1	1.50
2.8	2.20	6.5	1.0	1.40
2.9	2.20	6.5	0.9	1.30
3.0	2.20	7.0	0.8	1.20
3.5	2.20	7.5	0.7	1.10
4.0	2.20	8.0	0.6	1.00
5.0	2.20	9.0	0.5	0.90
6.0	2.20	11.0	0.4	0.80
7.0	2.10	13.0	0.3	0.70
8.0	2.05	15.0	0.2	0.65
9.0	2.00	17.0	0.1	0.60
10.0	1.95	19.0	0.0	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ก็ตาม หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ โทร. 0-2354-1515

วันที่	10 มีนาคม 2542
อนุภาคของแข็ง	เม็ดพลาสติกกระสุนปืนลม
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 1
ความสูงเบดเริ่มต้น (L_m)	6 cm

เพิ่มความเร็วอากาศ			ลดความเร็วอากาศ	
ความเร็วอากาศ	ความดันลดในเบด	ความสูงเบด	ความเร็วอากาศ	ความดันลดในเบด
U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)	L_m (cm)	U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)
0.0	0.00	6.0	10.0	2.95
0.1	0.90	6.0	9.0	3.00
0.2	1.00	6.0	8.0	3.05
0.3	1.10	6.0	7.0	3.10
0.4	1.20	6.0	6.0	3.20
0.5	1.30	6.0	5.0	3.20
0.6	1.40	6.0	4.0	3.20
0.7	1.60	6.0	3.5	3.20
0.8	1.80	6.0	3.0	3.20
0.9	2.00	6.0	2.9	3.20
1.0	2.20	6.0	2.8	3.20
1.1	2.40	6.0	2.7	3.20
1.2	2.60	6.0	2.6	3.20
1.3	2.80	6.0	2.5	3.20
1.4	3.00	6.0	2.4	3.20
1.5	3.30	6.0	2.3	3.20
1.6	3.60	6.0	2.2	3.20
1.7	3.70	6.0	2.1	3.20
1.8	3.50	6.5	2.0	3.20
1.9	3.50	7.0	1.9	3.20
2.0	3.50	7.0	1.8	3.20
2.1	3.40	7.0	1.7	3.20
2.2	3.40	7.5	1.6	3.20
2.3	3.20	7.5	1.5	3.10
2.4	3.20	8.0	1.4	3.00
2.5	3.20	8.0	1.3	2.80
2.6	3.20	8.5	1.2	2.60
2.7	3.20	8.5	1.1	2.40
2.8	3.20	8.5	1.0	2.10
2.9	3.20	9.0	0.9	1.80
3.0	3.20	9.0	0.8	1.70
3.5	3.20	10.0	0.7	1.50
4.0	3.20	11.0	0.6	1.30
5.0	3.20	12.0	0.5	1.10
6.0	3.20	14.0	0.4	1.00
7.0	3.10	16.0	0.3	0.90
8.0	3.05	19.0	0.2	0.70
9.0	3.00	21.0	0.1	0.60
10.0	2.95	24.0	0.0	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตาม หรือใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตของสำนักงานปศุสัตว์

วันที่	10 มีนาคม 2542
อนุภาคของแข็ง	เม็ดพลาสติกกระสุนปืนลม
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 1
ความสูงเบดเริ่มต้น (L_m)	8 cm

เพิ่มความเร็วอากาศ			ลดความเร็วอากาศ	
ความเร็วอากาศ	ความดันลดในเบด	ความสูงเบด	ความเร็วอากาศ	ความดันลดในเบด
U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)	L_m (cm)	U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)
0.0	0.00	8.0	10.0	4.25
0.1	1.10	8.0	9.0	4.30
0.2	1.30	8.0	8.0	4.35
0.3	1.50	8.0	7.0	4.40
0.4	1.60	8.0	6.0	4.50
0.5	1.80	8.0	5.0	4.50
0.6	1.90	8.0	4.0	4.50
0.7	2.10	8.0	3.5	4.50
0.8	2.30	8.0	3.0	4.50
0.9	2.50	8.0	2.9	4.50
1.0	2.70	8.0	2.8	4.50
1.1	2.80	8.0	2.7	4.50
1.2	3.00	8.0	2.6	4.50
1.3	3.20	8.0	2.5	4.50
1.4	3.50	8.0	2.4	4.50
1.5	4.20	8.0	2.3	4.50
1.6	4.50	8.0	2.2	4.50
1.7	4.60	8.0	2.1	4.50
1.8	4.70	8.0	2.0	4.50
1.9	4.60	8.5	1.9	4.50
2.0	4.60	9.0	1.8	4.50
2.1	4.50	9.5	1.7	4.50
2.2	4.50	10.0	1.6	4.20
2.3	4.50	10.5	1.5	3.70
2.4	4.50	10.5	1.4	3.70
2.5	4.50	11.0	1.3	3.40
2.6	4.50	11.0	1.2	3.10
2.7	4.50	11.5	1.1	2.70
2.8	4.50	12.0	1.0	2.50
2.9	4.50	12.5	0.9	2.40
3.0	4.50	13.0	0.8	2.10
3.5	4.50	14.5	0.7	2.00
4.0	4.50	15.5	0.6	1.80
5.0	4.50	17.5	0.5	1.60
6.0	4.50	19.0	0.4	1.40
7.0	4.40	21.0	0.3	1.30
8.0	4.35	25.0	0.2	1.10
9.0	4.30	27.0	0.1	0.80
10.0	4.25	28.0	0.0	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้ในงานที่เกี่ยวข้องเท่านั้น ห้ามเผยแพร่ไปยังบุคคลอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากสำนักงานการค้ำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ก็ตาม หากมีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหาหรือข้อมูลใดๆ ก็ตาม จะต้องอ้างอิงถึง 0.0 ของเอกสาร 0.00 ของบทนิยามนำไปใช้

วันที่	10 มีนาคม 2542
อนุภาคของแข็ง	เม็ดพลาสติกกระสุนปืนลม
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 1
ความสูงเบดเริ่มต้น (L_m)	10 cm

เพิ่มความเร็วอากาศ			ลดความเร็วอากาศ	
ความเร็วอากาศ	ความดันลดในเบด	ความสูงเบด	ความเร็วอากาศ	ความดันลดในเบด
U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)	L_m (cm)	U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)
0.0	0.00	10.0	10.0	5.25
0.1	1.70	10.0	9.0	5.30
0.2	1.90	10.0	8.0	5.35
0.3	2.00	10.0	7.0	5.40
0.4	2.20	10.0	6.0	5.50
0.5	2.40	10.0	5.0	5.50
0.6	2.60	10.0	4.0	5.50
0.7	2.80	10.0	3.5	5.50
0.8	3.00	10.0	3.0	5.50
0.9	3.20	10.0	2.9	5.50
1.0	3.40	10.0	2.8	5.40
1.1	3.70	10.0	2.7	5.40
1.2	4.00	10.0	2.6	5.30
1.3	4.30	10.0	2.5	5.30
1.4	4.60	10.0	2.4	5.30
1.5	5.10	10.0	2.3	5.30
1.6	5.40	10.0	2.2	5.30
1.7	5.70	10.0	2.1	5.30
1.8	5.90	10.5	2.0	5.30
1.9	5.90	11.0	1.9	5.30
2.0	5.70	11.5	1.8	5.30
2.1	5.60	12.0	1.7	5.30
2.2	5.60	12.5	1.6	5.30
2.3	5.60	13.0	1.5	4.80
2.4	5.50	13.0	1.4	4.40
2.5	5.50	13.5	1.3	3.90
2.6	5.50	13.5	1.2	3.60
2.7	5.50	14.0	1.1	3.40
2.8	5.50	14.0	1.0	3.20
2.9	5.50	14.5	0.9	3.00
3.0	5.50	14.5	0.8	2.80
3.5	5.50	16.0	0.7	2.50
4.0	5.50	18.0	0.6	2.20
5.0	5.50	22.0	0.5	2.10
6.0	5.50	24.0	0.4	2.00
7.0	5.40	26.0	0.3	1.90
8.0	5.35	30.0	0.2	1.80
9.0	5.30	34.0	0.1	1.50
10.0	5.25	36.0	0.0	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะโดยทางใดก็ตาม 10.0 อีกทีหน้ามี 5.25 คแปล เนื้อหา 36.0 ต้องอ้างอิงถึง 0.0 ของเอกสารทุก 0.00 ทมกรนำไปใช้

วันที่	10 มีนาคม 2542
อนุภาคของแข็ง	เม็ดพลาสติกกระสุนปืนลม
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 1
ความสูงเบดเริ่มต้น (L_{in})	12 cm

เพิ่มความเร็วอากาศ			ลดความเร็วอากาศ	
ความเร็วอากาศ	ความดันลดในเบด	ความสูงเบด	ความเร็วอากาศ	ความดันลดในเบด
U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)	L_{in} (cm)	U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)
0.0	0.00	12.0	10.0	6.45
0.1	0.70	12.0	9.0	6.50
0.2	0.80	12.0	8.0	6.55
0.3	0.90	12.0	7.0	6.60
0.4	1.10	12.0	6.0	6.70
0.5	1.30	12.0	5.0	6.70
0.6	1.70	12.0	4.0	6.70
0.7	2.00	12.0	3.5	6.70
0.8	2.40	12.0	3.0	6.70
0.9	2.70	12.0	2.9	6.70
1.0	3.00	12.0	2.8	6.70
1.1	3.30	12.0	2.7	6.70
1.2	3.80	12.0	2.6	6.70
1.3	4.30	12.0	2.5	6.70
1.4	4.70	12.0	2.4	6.70
1.5	5.10	12.0	2.3	6.70
1.6	5.60	12.0	2.2	6.70
1.7	6.10	12.0	2.1	6.50
1.8	7.10	12.0	2.0	6.30
1.9	7.20	12.0	1.9	6.20
2.1	7.10	12.5	1.8	6.20
2.2	7.10	13.0	1.7	5.80
2.4	6.70	14.5	1.6	5.50
2.5	6.70	15.0	1.5	5.20
2.6	6.70	16.0	1.4	4.50
2.7	6.70	16.5	1.3	4.20
2.8	6.70	17.5	1.2	3.50
2.9	6.70	18.0	1.1	3.10
3.0	6.70	19.0	1.0	2.70
3.5	6.70	22.0	0.9	2.50
4.0	6.70	24.0	0.8	2.20
5.0	6.70	29.0	0.7	1.90
6.0	6.70	32.0	0.6	1.60
7.0	6.60	35.0	0.5	1.30
8.0	6.55	38.0	0.4	1.00
9.0	6.50	39.0	0.3	0.80
10.0	6.45	42.0	0.2	0.60
			0.1	0.40
			0.0	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานในเชิงพาณิชย์โดยไม่ได้รับอนุญาตจากหน่วยงานต้นฉบับ
 ไม่ว่าจะโดยใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทั้งหมดการนำไปใช้

วันที่	13 มีนาคม 2542
อนุภาคของแข็ง	เม็ดพลาสติกใส
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 1
ความสูงเบดเริ่มต้น (L_m)	4 cm

เพิ่มความเร็วอากาศ			ลดความเร็วอากาศ	
ความเร็วอากาศ	ความดันลดในเบด	ความสูงเบด	ความเร็วอากาศ	ความดันลดในเบด
U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)	L_m (cm)	U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)
0.0	0.00	4.0	6.0	2.10
0.1	0.60	4.0	5.5	2.00
0.2	0.70	4.0	5.0	2.00
0.3	0.90	4.0	4.5	2.00
0.4	1.10	4.0	4.0	1.80
0.5	1.30	4.0	3.5	1.70
0.6	1.50	4.0	3.0	1.70
0.7	1.70	4.0	2.9	1.70
0.8	2.00	4.0	2.8	1.70
0.9	2.10	4.0	2.7	1.70
1.3	1.70	4.5	2.6	1.70
1.4	1.70	4.5	2.5	1.70
1.5	1.70	5.0	2.4	1.70
1.6	1.70	5.0	2.3	1.70
1.7	1.70	5.0	2.2	1.70
1.8	1.70	5.0	2.1	1.70
1.9	1.70	5.5	2.0	1.70
2.0	1.70	5.5	1.9	1.70
2.1	1.70	5.5	1.8	1.70
2.2	1.70	6.0	1.7	1.70
2.3	1.70	6.0	1.6	1.70
2.4	1.70	6.0	1.5	1.70
2.5	1.70	6.5	1.4	1.70
2.6	1.70	6.5	1.3	1.70
2.7	1.70	7.0	1.2	1.70
2.8	1.70	7.0	1.1	1.60
2.9	1.70	7.0	1.0	1.60
3.0	1.70	8.0	0.9	1.40
3.5	1.80	10.0	0.8	1.20
4.0	1.80	12.0	0.7	1.10
4.5	1.80	14.0	0.6	0.90
5.0	2.00	16.0	0.5	0.80
5.5	2.00	20.0	0.4	0.70
6.0	2.10	22.0	0.3	0.65
			0.2	0.60
			0.1	0.50
			0.0	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	13 มีนาคม 2542
อนุภาคของแข็ง	เม็ดพลาสติกโต
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 1
ความสูงเบดเริ่มต้น (L_m)	6 cm

เพิ่มความเร็วอากาศ			ลดความเร็วอากาศ	
ความเร็วอากาศ	ความดันตกในเบด	ความสูงเบด	ความเร็วอากาศ	ความดันตกในเบด
U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)	L_m (cm)	U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)
0.0	0.00	6.0	6.0	3.10
0.1	0.90	6.0	5.5	3.10
0.2	1.10	6.0	5.0	3.10
0.3	1.30	6.0	4.5	3.00
0.4	1.60	6.0	4.0	3.00
0.5	1.90	6.0	3.5	3.00
0.6	2.20	6.0	3.0	2.90
0.7	2.40	6.0	2.9	2.90
0.8	2.70	6.0	2.8	2.90
0.9	2.90	6.0	2.7	2.70
1.0	3.10	6.0	2.6	2.70
1.1	3.20	6.0	2.5	2.70
1.3	2.70	6.5	2.4	2.70
1.4	2.70	7.0	2.3	2.70
1.5	2.70	7.5	2.2	2.70
1.6	2.70	8.0	2.1	2.70
1.7	2.70	8.5	2.0	2.70
1.8	2.70	9.0	1.9	2.70
1.9	2.70	9.5	1.8	2.70
2.0	2.70	10.0	1.7	2.70
2.1	2.70	10.5	1.6	2.70
2.2	2.70	11.0	1.5	2.70
2.3	2.70	11.5	1.4	2.70
2.4	2.70	12.0	1.3	2.70
2.5	2.70	12.5	1.2	2.70
2.6	2.70	12.5	1.1	2.70
2.7	2.70	13.0	1.0	2.40
2.8	2.90	13.0	0.9	2.30
2.9	2.90	13.5	0.8	2.20
3.0	2.90	13.5	0.7	2.00
3.5	3.00	14.5	0.6	1.80
4.0	3.00	16.0	0.5	1.60
4.5	3.00	18.0	0.4	1.10
5.0	3.10	20.0	0.3	0.90
5.5	3.10	22.0	0.2	0.70
6.0	3.10	24.0	0.1	0.50
			0.0	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ห้ามมิให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากหน่วยงานต้นสังกัด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	13 มีนาคม 2542
อนุภาคของแข็ง	เม็ดพลาสติกใส
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 1
ความสูงเบดเริ่มต้น (L_m)	8 cm

เพิ่มความเร็วอากาศ			ลดความเร็วอากาศ	
ความเร็วอากาศ	ความดันลดในเบด	ความสูงเบด	ความเร็วอากาศ	ความดันลดในเบด
U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)	L_m (cm)	U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)
0.0	0.00	8.0	6.0	4.10
0.1	1.10	8.0	5.5	4.10
0.2	1.30	8.0	5.0	4.10
0.3	1.60	8.0	4.5	4.10
0.4	2.00	8.0	4.0	4.10
0.5	2.40	8.0	3.5	4.00
0.6	2.70	8.0	3.0	4.00
0.7	3.10	8.0	2.9	4.00
0.8	3.40	8.0	2.8	4.00
0.9	4.00	8.5	2.7	4.00
1.0	4.30	9.0	2.6	4.00
1.2	3.80	9.2	2.5	4.00
1.3	3.80	10.0	2.4	4.00
1.4	3.80	10.5	2.3	4.00
1.5	3.80	11.0	2.2	3.90
1.6	3.80	12.0	2.1	3.90
1.7	3.80	12.5	2.0	3.90
1.8	3.80	13.0	1.9	3.80
1.9	3.80	13.5	1.8	3.80
2.0	3.90	13.5	1.7	3.80
2.1	3.90	14.0	1.6	3.80
2.2	3.90	14.0	1.5	3.80
2.3	4.00	14.5	1.4	3.80
2.4	4.00	15.0	1.3	3.70
2.5	4.00	15.5	1.2	3.60
2.6	4.00	16.0	1.1	3.50
2.7	4.00	16.5	1.0	3.40
2.8	4.00	17.0	0.9	3.20
2.9	4.00	17.5	0.8	3.00
3.0	4.00	18.0	0.7	2.70
3.5	4.00	21.0	0.6	2.40
4.0	4.10	25.0	0.5	2.00
4.5	4.10	27.0	0.4	1.80
5.0	4.10	28.0	0.3	1.40
5.5	4.10	32.0	0.2	0.90
6.0	4.10	38.0	0.1	0.70
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	15 มีนาคม 2542
อนุภาคของแข็ง	เม็ดพลาสติกไท
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 1
ความสูงเบดเริ่มต้น (L_m)	10 cm

เพิ่มความเร็วอากาศ			ลดความเร็วอากาศ	
ความเร็วอากาศ	ความดันตกในเบด	ความสูงเบด	ความเร็วอากาศ	ความดันตกในเบด
U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)	L_m (cm)	U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)
0.0	0.00	10.0	6.0	5.20
0.1	1.70	10.0	5.5	5.20
0.2	2.30	10.0	4.5	5.30
0.3	2.70	10.0	4.0	5.30
0.4	3.00	10.0	3.5	5.30
0.5	3.30	10.0	3.0	5.30
0.6	3.90	10.0	2.9	5.10
0.7	4.50	10.0	2.8	5.10
0.8	5.20	10.0	2.7	5.10
0.9	5.60	10.0	2.6	5.10
1.0	5.80	11.0	2.5	5.10
1.3	5.00	12.0	2.4	5.10
1.4	5.00	12.5	2.3	5.00
1.5	5.00	13.0	2.2	5.00
1.6	5.00	13.5	2.1	5.00
1.7	5.00	14.0	2.0	5.00
1.8	5.00	14.5	1.9	5.00
1.9	5.00	15.0	1.8	5.00
2.0	5.00	16.0	1.7	5.00
2.1	5.00	17.0	1.6	5.00
2.2	5.00	18.0	1.5	5.00
2.3	5.00	18.5	1.4	5.00
2.4	5.10	19.0	1.3	5.00
2.5	5.10	20.0	1.2	5.00
2.6	5.10	21.0	1.1	4.80
2.7	5.10	22.0	1.0	4.40
2.8	5.20	22.5	0.9	4.00
2.9	5.20	23.0	0.8	3.50
3.0	5.30	23.5	0.7	3.00
3.2	5.30	24.0	0.6	2.60
3.4	5.30	24.5	0.5	2.30
3.6	5.30	25.5	0.4	2.00
3.8	5.30	26.5	0.3	1.80
4.0	5.30	28.0	0.2	1.50
5.0	5.30	34.0	0.1	1.30
5.5	5.20	37.0	0.0	0.00
6.0	5.20	45.0		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ในเชิงพาณิชย์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	15 มีนาคม 2542
อนุภาคของแข็ง	เม็คพลาสติกใส
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 1
ความสูงเบดเริ่มต้น (L_m)	12 cm

เพิ่มความเร็วอากาศ			ลดความเร็วอากาศ	
ความเร็วอากาศ	ความดันลดในเบด	ความสูงเบด	ความเร็วอากาศ	ความดันลดในเบด
U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)	L_m (cm)	U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)
0.0	0.00	12.0	6.0	5.80
0.1	1.90	12.0	5.5	5.80
0.2	2.20	12.0	4.5	6.00
0.3	2.50	12.0	4.0	6.00
0.4	2.80	12.0	3.5	6.00
0.5	3.30	12.0	3.0	5.80
0.6	3.80	12.0	2.9	5.80
0.7	4.40	12.0	2.8	5.80
0.8	5.00	12.0	2.7	5.80
0.9	5.70	12.0	2.6	5.80
1.0	6.40	12.0	2.5	5.80
1.1	6.80	12.0	2.4	5.80
1.2	7.00	12.0	2.3	5.80
1.3	5.60	15.0	2.2	5.80
1.4	5.60	15.5	2.1	5.60
1.5	5.60	16.0	2.0	5.60
1.6	5.60	16.5	1.9	5.60
1.7	5.60	17.5	1.8	5.60
1.8	5.60	18.5	1.7	5.60
1.9	5.60	20.0	1.6	5.60
2.0	5.70	21.0	1.5	5.60
2.1	5.70	22.0	1.4	5.60
2.2	5.80	23.0	1.3	5.60
2.3	5.80	24.0	1.2	5.60
2.4	5.80	25.0	1.1	5.60
2.5	5.80	25.5	1.0	5.60
2.6	5.80	26.0	0.9	5.60
2.7	5.80	26.5	0.8	4.20
2.8	5.80	27.0	0.7	3.80
2.9	5.80	27.5	0.6	3.30
3.0	5.90	28.5	0.5	2.80
3.5	6.00	31.5	0.4	2.40
4.0	6.00	36.0	0.3	2.00
5.0	6.00	42.0	0.2	1.80
5.5	5.80	45.0	0.1	1.40
6.0	5.80	51.0	0.0	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	9 มีนาคม 2542
อนุภาคของแข็ง	เมล็ดถั่วเหลือง
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 1
ความสูงเบดเริ่มต้น (L_m)	4 cm

เพิ่มความเร็วมวล			ลดความเร็วมวล	
ความเร็วมวล	ความดันตกในเบด	ความสูงเบด	ความเร็วมวล	ความดันตกในเบด
U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)	L_m (cm)	U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)
0.0	0.00	4.0	6.0	2.80
0.1	0.30	4.0	5.0	2.70
0.2	0.35	4.0	4.0	2.70
0.3	0.40	4.0	3.5	2.70
0.4	0.50	4.0	3.0	2.70
0.5	0.55	4.0	2.9	2.70
0.6	0.60	4.0	2.8	2.70
0.7	0.70	4.0	2.7	2.70
0.8	0.90	4.0	2.6	2.70
0.9	1.00	4.0	2.5	2.70
1.0	1.20	4.0	2.4	2.70
1.1	1.30	4.0	2.3	2.70
1.2	1.40	4.0	2.2	2.70
1.3	1.50	4.0	2.1	2.70
1.4	1.70	4.0	2.0	2.70
1.5	1.90	4.0	1.9	2.70
1.6	2.20	4.0	1.8	2.70
1.7	2.50	4.0	1.7	2.30
1.8	2.70	4.0	1.6	2.10
1.9	2.70	4.0	1.5	1.80
2.0	2.80	4.5	1.4	1.50
2.1	2.70	4.5	1.3	1.40
2.2	2.70	5.0	1.2	1.30
2.3	2.70	5.0	1.1	1.20
2.4	2.70	5.5	1.0	1.00
2.5	2.70	5.5	0.9	0.90
2.6	2.70	6.0	0.8	0.80
2.7	2.70	6.5	0.7	0.70
2.8	2.70	7.0	0.6	0.65
2.9	2.70	7.0	0.5	0.60
3.0	2.70	7.0	0.4	0.50
3.5	2.70	8.5	0.3	0.40
4.0	2.70	9.0	0.2	0.30
5.0	2.70	10.5	0.1	0.20
6.0	2.80	11.5	0.0	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	9 มีนาคม 2542
อนุภาคของแข็ง	เมล็ดถั่วเหลือง
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 1
ความสูงเบดเริ่มต้น (L_m)	6 cm

เพิ่มความเร็วอากาศ			ลดความเร็วอากาศ	
ความเร็วอากาศ	ความดันตกในเบด	ความสูงเบด	ความเร็วอากาศ	ความดันตกในเบด
U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)	L_m (cm)	U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)
0.0	0.00	6.0	6.0	4.30
0.1	0.35	6.0	5.0	4.30
0.2	0.50	6.0	4.0	4.20
0.3	0.60	6.0	3.5	4.10
0.4	0.70	6.0	3.0	4.10
0.5	0.80	6.0	2.9	4.10
0.6	0.90	6.0	2.8	4.10
0.7	1.00	6.0	2.7	4.10
0.8	1.20	6.0	2.6	4.10
0.9	1.60	6.0	2.5	4.10
1.0	1.70	6.0	2.4	4.10
1.1	2.00	6.0	2.3	4.10
1.2	2.20	6.0	2.2	4.10
1.3	2.40	6.0	2.1	4.10
1.4	2.60	6.0	2.0	4.00
1.5	3.00	6.0	1.9	3.80
1.6	3.20	6.0	1.8	3.40
1.7	3.40	6.0	1.7	3.10
1.8	3.80	6.0	1.6	2.90
1.9	4.20	6.0	1.5	2.60
2.0	4.30	6.0	1.4	2.40
2.1	4.30	6.0	1.3	2.10
2.2	4.10	6.0	1.2	1.80
2.3	4.10	6.5	1.1	1.60
2.4	4.10	6.5	1.0	1.40
2.5	4.10	7.0	0.9	1.30
2.6	4.10	7.0	0.8	1.20
2.7	4.10	7.5	0.7	1.00
2.8	4.10	8.0	0.6	0.80
2.9	4.10	8.5	0.5	0.70
3.0	4.10	9.0	0.4	0.60
3.5	4.10	9.5	0.3	0.50
4.0	4.10	10.5	0.2	0.40
5.0	4.30	14.0	0.1	0.20
6.0	4.30	16.0	0.0	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	9 มีนาคม 2542
อนุภาคของแข็ง	เม็กลัดั่วเหล็ก
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 1
ความสูงเบดเริ่มต้น (L_m)	8 cm

เพิ่มความเร็วยากาศ			ลดความเร็วยากาศ	
ความเร็วยากาศ	ความดันลดในเบด	ความสูงเบด	ความเร็วยากาศ	ความดันลดในเบด
U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)	L_m (cm)	U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)
0.0	0.00	8.0	6.0	5.90
0.1	0.50	8.0	5.0	5.90
0.2	0.60	8.0	4.0	5.70
0.3	0.80	8.0	3.5	5.60
0.4	0.90	8.0	3.0	5.60
0.5	1.00	8.0	2.9	5.50
0.6	1.20	8.0	2.8	5.50
0.7	1.40	8.0	2.7	5.50
0.8	1.60	8.0	2.6	5.50
0.9	2.00	8.0	2.5	5.50
1.0	2.40	8.0	2.4	5.50
1.1	2.80	8.0	2.3	5.50
1.2	3.10	8.0	2.2	5.50
1.3	3.40	8.0	2.1	5.50
1.4	3.80	8.0	2.0	5.50
1.5	4.00	8.0	1.9	5.00
1.6	4.30	8.0	1.8	5.00
1.7	4.80	8.0	1.7	4.60
1.8	5.30	8.0	1.6	4.40
1.9	5.40	8.5	1.5	3.80
2.0	5.80	9.0	1.4	3.60
2.1	6.00	9.0	1.3	3.20
2.2	6.00	9.0	1.2	2.80
2.6	5.50	9.5	1.1	2.40
2.7	5.50	10.0	1.0	2.20
2.8	5.50	10.0	0.9	2.00
2.9	5.50	10.0	0.8	1.80
3.0	5.50	10.5	0.7	1.60
3.5	5.60	11.0	0.6	1.40
4.0	5.60	13.0	0.5	1.20
5.0	5.90	17.0	0.4	1.00
6.0	5.90	18.0	0.3	0.70
			0.2	0.50
			0.1	0.30
			0.0	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	9 มีนาคม 2542
อนุภาคของแข็ง	เมล็ดถั่วเหลือง
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 1
ความสูงเบดเริ่มต้น (L_m)	10 cm

เพิ่มความเร็วอากาศ			ลดความเร็วอากาศ	
ความเร็วอากาศ	ความดันสถิตในเบด	ความสูงเบด	ความเร็วอากาศ	ความดันสถิตในเบด
U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)	L_m (cm)	U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)
0.0	0.00	10.0	6.0	7.50
0.1	2.50	10.0	5.0	7.40
0.2	2.70	10.0	4.0	7.30
0.3	2.80	10.0	3.5	7.00
0.4	2.90	10.0	3.0	7.00
0.5	3.30	10.0	2.9	7.00
0.6	3.50	10.0	2.8	7.00
0.7	3.80	10.0	2.7	7.00
0.8	4.10	10.0	2.6	7.00
0.9	4.60	10.0	2.5	7.00
1.0	4.90	10.0	2.4	7.00
1.1	5.30	10.0	2.3	7.20
1.2	5.70	10.0	2.2	7.40
1.3	6.30	10.0	2.1	7.40
1.4	6.70	10.0	2.0	7.40
1.5	7.20	10.0	1.9	7.20
1.6	7.90	10.0	1.8	7.10
1.7	7.90	10.5	1.7	6.60
2.5	7.10	13.0	1.6	6.40
2.6	7.10	13.5	1.5	6.00
2.7	7.00	13.5	1.4	5.20
2.8	7.00	13.5	1.3	5.10
2.9	7.00	14.0	1.2	4.40
3.0	7.00	14.0	1.1	4.10
3.5	7.00	15.5	1.0	3.70
4.0	7.20	17.5	0.9	3.50
5.0	7.40	21.0	0.8	3.00
6.0	7.60	26.0	0.7	2.80
			0.6	2.60
			0.5	2.40
			0.4	2.10
			0.3	1.90
			0.2	1.70
			0.1	1.40
			0.0	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	9 มีนาคม 2542
อนุภาคของแข็ง	เมล็ดถั่วเหลือง
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 1
ความสูงเบดเริ่มต้น (L_m)	12 cm

เพิ่มความเร็วอากาศ			ลดความเร็วอากาศ	
ความเร็วอากาศ	ความดันตกในเบด	ความสูงเบด	ความเร็วอากาศ	ความดันตกในเบด
U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)	L_m (cm)	U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)
0.0	0.00	12.0	6.0	9.80
0.1	2.70	12.0	5.5	9.40
0.2	2.90	12.0	5.0	9.30
0.3	3.10	12.0	4.5	9.10
0.4	3.30	12.0	4.0	8.50
0.5	3.50	12.0	3.5	8.50
0.6	3.90	12.0	3.0	8.50
0.7	4.30	12.0	2.9	8.50
0.8	4.70	12.0	2.8	8.50
0.9	5.20	12.0	2.7	8.50
1.0	5.60	12.0	2.6	8.50
1.1	6.10	12.0	2.5	8.50
1.2	6.50	12.0	2.4	8.50
1.3	7.10	12.0	2.3	8.50
1.4	7.80	12.0	2.2	8.50
1.5	8.20	12.0	2.1	8.50
1.6	8.60	12.5	2.0	8.50
1.7	8.90	13.0	1.9	8.50
1.8	9.30	13.0	1.8	8.50
1.9	9.60	13.5	1.7	8.20
2.7	8.50	16.0	1.6	7.50
2.8	8.50	16.5	1.5	7.10
2.9	8.50	17.0	1.4	6.70
3.0	8.50	17.5	1.3	6.10
3.2	8.50	18.0	1.2	5.50
3.4	8.50	19.5	1.1	5.00
3.5	8.50	20.5	1.0	4.70
4.0	9.00	24.0	0.9	4.30
4.5	9.20	26.0	0.8	4.00
5.0	9.30	28.0	0.7	3.70
5.5	9.60	30.0	0.6	3.30
6.0	9.80	32.0	0.5	3.10
			0.4	2.70
			0.3	2.40
			0.2	2.20
			0.1	2.10
			0.0	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ห้ามการนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	15 มีนาคม 2542
อนุภาคของแข็ง	เม็ทติ้วแดง
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 1
ความสูงเบดเริ่มต้น (L_m)	4 cm

เพิ่มความเร็วกาศ			ลดความเร็วกาศ	
ความเร็วกาศ	ความดันลดในเบด	ความสูงเบด	ความเร็วกาศ	ความดันลดในเบด
U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)	L_m (cm)	U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)
0.0	0.00	4.0	6.0	2.90
0.1	0.40	4.0	5.5	2.80
0.2	0.50	4.0	5.0	2.80
0.3	0.60	4.0	4.0	2.80
0.4	0.70	4.0	3.8	2.80
0.5	0.80	4.0	3.6	2.80
0.6	1.00	4.0	3.4	2.80
0.7	1.10	4.0	3.2	2.80
0.8	1.20	4.0	3.0	2.80
0.9	1.50	4.0	2.8	2.80
1.0	1.80	4.0	2.6	2.80
1.3	2.10	4.0	2.4	2.80
1.4	2.40	4.0	2.2	2.80
1.5	2.70	4.0	2.0	2.80
1.6	3.00	4.0	1.8	2.40
1.7	3.30	4.5	1.6	1.90
1.8	3.10	4.5	1.4	1.60
1.9	2.80	5.0	1.2	1.40
2.0	2.80	5.0	1.0	1.00
2.1	2.80	5.0	0.8	0.80
2.2	2.80	5.5	0.6	0.60
2.3	2.80	5.5	0.4	0.40
2.4	2.80	5.5	0.2	0.20
2.5	2.80	6.0	0.0	0.00
2.6	2.80	6.0		
2.7	2.80	6.5		
2.8	2.80	6.5		
2.9	2.80	7.0		
3.0	2.80	7.5		
3.2	2.80	8.0		
3.4	2.80	9.0		
3.6	2.80	10.0		
3.8	2.80	11.0		
4.0	2.80	12.0		
5.0	2.80	13.0		
5.5	2.80	16.0		
6.0	2.90	19.0		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	15 มีนาคม 2542
อนุภาคของแข็ง	เม็กลีควัดแดง
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 1
ความสูงเบดเริ่มต้น (L_m)	6 cm

เพิ่มความเร็วอากาศ			ลดความเร็วอากาศ	
ความเร็วอากาศ	ความดันลดในเบด	ความสูงเบด	ความเร็วอากาศ	ความดันลดในเบด
U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)	L_m (cm)	U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)
0.0	0.00	6.0	6.0	4.50
0.1	0.40	6.0	5.5	4.40
0.2	0.60	6.0	5.0	4.40
0.3	0.80	6.0	4.0	4.20
0.4	1.00	6.0	3.8	4.20
0.5	1.20	6.0	3.6	4.20
0.6	1.40	6.0	3.4	4.20
0.7	1.60	6.0	3.2	4.20
0.8	1.90	6.0	3.0	4.20
0.9	2.20	6.0	2.8	4.20
1.0	2.60	6.0	2.6	4.20
1.1	2.90	6.0	2.4	4.20
1.2	3.20	6.0	2.2	4.20
1.3	3.80	6.0	2.0	4.20
1.4	4.20	6.0	1.8	3.80
1.5	4.40	6.0	1.6	3.20
1.6	4.60	6.5	1.4	2.60
1.7	4.60	6.5	1.2	2.00
1.8	4.70	7.0	1.0	1.50
1.9	4.40	7.0	0.8	1.00
2.0	4.30	7.0	0.6	0.80
2.6	4.20	8.0	0.4	0.60
2.7	4.20	9.0	0.2	0.40
2.8	4.20	10.0	0.0	0.00
2.9	4.20	11.0		
3.0	4.20	12.0		
3.2	4.20	14.0		
3.4	4.20	15.0		
3.6	4.20	16.0		
3.8	4.20	17.0		
4.0	4.20	18.0		
5.0	4.40	19.0		
5.5	4.40	21.0		
6.0	4.50	24.0		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	15 มีนาคม 2542
อนุภาคของแข็ง	เมล็ดถั่วแดง
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 1
ความสูงเบดเริ่มต้น (L_m)	8 cm

เพิ่มความเร็วอากาศ			ลดความเร็วอากาศ	
ความเร็วอากาศ	ความดันตกในเบด	ความสูงเบด	ความเร็วอากาศ	ความดันตกในเบด
U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)	L_m (cm)	U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)
0.0	0.00	8.0	6.0	5.80
0.1	0.60	8.0	5.5	5.70
0.2	0.80	8.0	5.0	5.60
0.3	1.00	8.0	4.0	5.60
0.4	1.20	8.0	3.8	5.60
0.5	1.40	8.0	3.6	5.60
0.6	1.80	8.0	3.4	5.60
0.7	2.20	8.0	3.2	5.60
0.8	2.50	8.0	3.0	5.60
0.9	2.80	8.0	2.8	5.60
1.0	3.20	8.0	2.6	5.60
1.1	3.60	8.0	2.4	5.60
1.2	4.00	8.0	2.2	5.60
1.3	4.60	8.0	2.0	5.60
1.4	4.80	8.0	1.8	4.50
1.5	5.20	8.0	1.6	4.00
1.6	5.40	8.0	1.4	3.20
1.7	5.60	8.0	1.2	2.60
1.8	5.80	8.5	1.0	2.00
1.9	6.00	9.0	0.8	1.60
2.7	5.60	11.0	0.6	1.20
2.8	5.60	12.0	0.4	0.80
2.9	5.60	13.0	0.2	0.60
3.0	5.60	14.0	0.0	0.00
3.2	5.60	16.0		
3.4	5.60	18.0		
3.6	5.60	20.0		
3.8	5.60	21.0		
4.0	5.60	22.0		
5.0	5.60	23.0		
5.5	5.70	25.0		
6.0	5.80	28.0		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	15 มีนาคม 2542
อนุภาคของแข็ง	เม็กลั่วแดง
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 1
ความสูงเบดเริ่มต้น (L_m)	10 cm

เพิ่มความเร็วยาก			ลดความเร็วยาก	
ความเร็วยาก	ความดันตกในเบด	ความสูงเบด	ความเร็วยาก	ความดันตกในเบด
U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)	L_m (cm)	U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)
0.0	0.00	10.0	6.0	7.20
0.1	0.80	10.0	5.5	7.10
0.2	1.20	10.0	5.0	7.10
0.3	1.50	10.0	4.0	7.10
0.4	1.80	10.0	3.8	7.10
0.5	2.20	10.0	3.6	7.10
0.6	2.50	10.0	3.4	7.10
0.7	2.80	10.0	3.2	7.10
0.8	3.20	10.0	3.0	7.10
0.9	3.60	10.0	2.8	7.10
1.0	4.20	10.0	2.6	7.10
1.1	4.60	10.0	2.4	7.10
1.2	5.20	10.0	2.2	6.80
1.3	6.00	10.0	2.0	6.40
1.4	6.40	10.0	1.8	5.80
1.5	6.70	10.5	1.6	4.90
1.6	7.10	10.5	1.4	4.00
1.7	7.50	11.0	1.2	3.40
1.8	7.80	11.0	1.0	2.80
1.9	8.20	11.0	0.8	2.20
2.8	7.10	13.0	0.6	1.60
2.9	7.10	15.0	0.4	1.20
3.0	7.10	17.0	0.2	0.60
3.2	7.10	19.0	0.0	0.00
3.4	7.10	21.0		
3.6	7.10	23.0		
3.8	7.10	24.0		
4.0	7.10	25.0		
5.0	7.10	27.0		
5.5	7.10	29.0		
6.0	7.20	33.0		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	15 มีนาคม 2542
อนุภาคของแข็ง	เมล็ดข้าวแดง
ตัวกระจายอากาศ	แบบที่ 1
ความสูงเบดเริ่มต้น (L_m)	12 cm

เพิ่มความเร็วอากาศ			ลดความเร็วอากาศ	
ความเร็วอากาศ	ความดันลดในเบด	ความสูงเบด	ความเร็วอากาศ	ความดันลดในเบด
U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)	L_m (cm)	U (m/s)	ΔP_b (cmH ₂ O)
0.0	0.00	12.0	6.0	8.50
0.1	1.00	12.0	5.5	8.50
0.2	1.30	12.0	5.0	8.40
0.3	1.60	12.0	4.0	8.40
0.4	1.90	12.0	3.8	8.40
0.5	2.20	12.0	3.6	8.40
0.6	2.60	12.0	3.4	8.40
0.7	3.00	12.0	3.2	8.40
0.8	3.30	12.0	3.0	8.40
0.9	3.70	12.0	2.8	8.40
1.0	4.20	12.0	2.6	8.40
1.1	4.80	12.0	2.4	8.40
1.2	5.40	12.0	2.2	8.40
1.3	6.30	12.0	2.0	7.70
1.4	6.60	12.0	1.8	6.80
1.5	7.00	12.0	1.6	6.30
1.6	7.40	12.0	1.4	5.20
1.7	7.80	12.0	1.2	4.40
1.8	8.20	12.5	1.0	3.20
1.9	8.50	12.5	0.8	2.60
2.0	8.70	13.0	0.6	1.80
2.1	8.90	13.0	0.4	1.40
3.0	8.40	20.0	0.2	1.00
3.2	8.40	22.0	0.0	0.00
3.4	8.40	24.0		
3.6	8.40	25.0		
3.8	8.40	26.0		
4.0	8.40	27.0		
4.2	8.40	29.0		
4.4	8.40	30.0		
4.6	8.40	31.0		
4.8	8.40	32.0		
5.0	8.40	33.0		
5.5	8.50	35.0		
6.0	8.50	38.0		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

เครื่องมือวัดความเร็วก๊าช

เครื่องมือวัดความเร็วก๊าช (Digital Anemometer) จะติดตั้งเครื่องมือไว้ส่วนบนสุดของคอลัมน์ เพื่อวัดความเร็วของอากาศ ซึ่งรายละเอียดของเครื่องมือวัดความเร็วก๊าชมีดังนี้

1. ลักษณะเด่นของเครื่องมือวัดความเร็วก๊าช

- 1.1 เครื่องมือที่ใช้ทำงานง่าย รวดเร็ว และมีความถูกต้อง ซึ่งเครื่องมือนี้จะแยกส่วนของการแสดงผลที่เป็นแบบดิจิทัลกับส่วนตรวจวัดออกจากกัน
- 1.2 มีหน่วยวัดความเร็วลมที่สามารถวัดได้หลายหน่วยคือ m/s, km/h, f/min และ knots
- 1.3 การออกแบบโดยใช้ Ball-bearing ที่มีความเสียดทานต่ำทำให้ใบพัดหมุนได้อย่างอิสระเป็นผลให้มีความถูกต้องทั้งการวัดที่ความเร็วสูงและความเร็วต่ำ
- 1.4 การหมุนของใบพัดมีความไวต่อการไหลของอากาศ
- 1.5 มีฟังก์ชัน DATA HOLD เพื่อใช้หยุดแสดงค่าที่ต้องการได้
- 1.6 มีหน้าจอ LCD ขนาดใหญ่ ง่ายต่อการอ่านค่า
- 1.7 หน้าจอ LCD ใช้พลังงานต่ำและสามารถอ่านได้ชัดเจนในสภาวะที่มีแสงทั่วไป
- 1.8 มีความทนทาน อายุการใช้งานนาน มีความแข็งแรง ทำจากพลาสติก ABS มีน้ำหนักเบา
- 1.9 น้ำหนักเบา เล็กกระทัดรัด สามารถจับถือด้วยมือเดียว
- 1.10 แสดงสัญญาณเตือนเมื่อแบตเตอรี่ต่ำ
- 1.11 การใช้งานได้กว้างขวาง เช่น วัดความเร็วอากาศ วัดความเร็วลม ระบบทำความร้อนและเครื่องปรับอากาศ

2. คุณลักษณะเฉพาะ

2.1 คุณลักษณะทั่วไป

หน้าจอแสดงผล	18 mm LCD (Liquid Crystal Display), 3 ½ digits
ฟังก์ชันการวัด	m/s, km/h, f/min, knots และ Data hold
ช่วงอุณหภูมิในการใช้งาน	0°C ถึง 50 °C (32° F ถึง 122°F)
ความชื้นในการใช้งาน	มากที่สุด 90 %RH (0°C และ 35 °C)
โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจวัด	ใบพัดแบบ Conventional twisted vane arms และออกแบบโดยใช้ Ball bearing ที่มีความเสียดทานต่ำ
แหล่งพลังงาน	ใช้แบตเตอรี่ขนาด 006P DC 9V
การใช้พลังงาน	ประมาณ DC 9 mA
น้ำหนัก	325 g/0.72 lb (รวมแบตเตอรี่)
มิติ	ส่วนของเครื่องมือหลักมีขนาด 168 mm × 80 mm × 35 mm ส่วนของอุปกรณ์ตรวจวัด มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 72 mm
อุปกรณ์มาตรฐานเพิ่มเติม	คู่มือการใช้งานและ Sensor probe

2.2 คุณลักษณะทางไฟฟ้า

Measurement	Range	Resolution	Accuracy
m/s	0.4-30.0 m/s	0.1 m/s	± (2% + 1d) ± 25 m/s
km/h	1.4-108.0 km/h	0.1 km/h	
f/min	80-5910 f/min	10 ft/min	
knots	0.8-58.3 knots	0.1 knots	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้