บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 เครื่องฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน (Circulating Fluidized Bed, CFB)

เครื่องฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียนในงานวิจัยนี้ได้สร้างขึ้นใหม่ มีส่วนประกอบที่สำคัญแสดงในรูปที่ 3.1 มีดังต่อไปนี้

3.1.1 **ท่อไรเซอร์** (Riser) ท่อไรเซอร์ทำจากท่อพลาสติกใส (Acrylic) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5 เซนติเมตร ความหนา 5 มิลลิเมตร สูง 4 เมตร เพื่อให้สามารถเห็นรูปแบบการเคลื่อนที่ของของแข็งภายในได้อย่างชัดเจนด้วยตาเปล่า บริเวณด้านล่างของไรเซอร์มีตัวกระจายอากาศ (Air Distributor) เป็นแบบแผ่นตะแกรงแผ่นเดียว (Single Perforated Plate) ที่มีความละเอียด 60 mesh (250 ไมโครเมตร) โดยส่วนบนได้ปรับปรุงทางออกของของแข็งโดยมีถังทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 เซนติเมตร และสูง 60 เซนติเมตร หรือ Splash plate ครอบอยู่ (แทนที่ทางออกที่ไม่สมมาตร) เพื่อลดผลของทางออก ทำให้ของแข็งสามารถตกลงอย่างอิสระ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 แสดงการเคลื่อนที่ของเม็ดแก้วที่บริเวณทางออกที่ไม่สมมาตร และทางออกที่ปรับปรุงในงานวิจัยนี้ โดยที่ผนังท่อไรเซอร์มีการเจาะรูขนาด1/4 นิ้วตลอดความสูง เพื่อติดตั้งจุดวัดความดันอากาศ (Pressure Tap) สำหรับวัดค่าความดันของอากาศตามความสูงของไรเซอร์ โดยแต่ละตำแหน่งห่างจากตัวกระจายอากาศเป็นระยะ -5, 5,10, 25, 45, 65, 115, 165, 215, 265, 315 และ 365 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยตำแหน่งที่ -5 เซนติเมตร หมายถึงตำแหน่งที่อยู่ต่ำกว่าตัวกระจายอากาศ 5 เซนติเมตร ส่วนตำแหน่งอื่นๆ อยู่เหนือตัวกระจายอากาศ

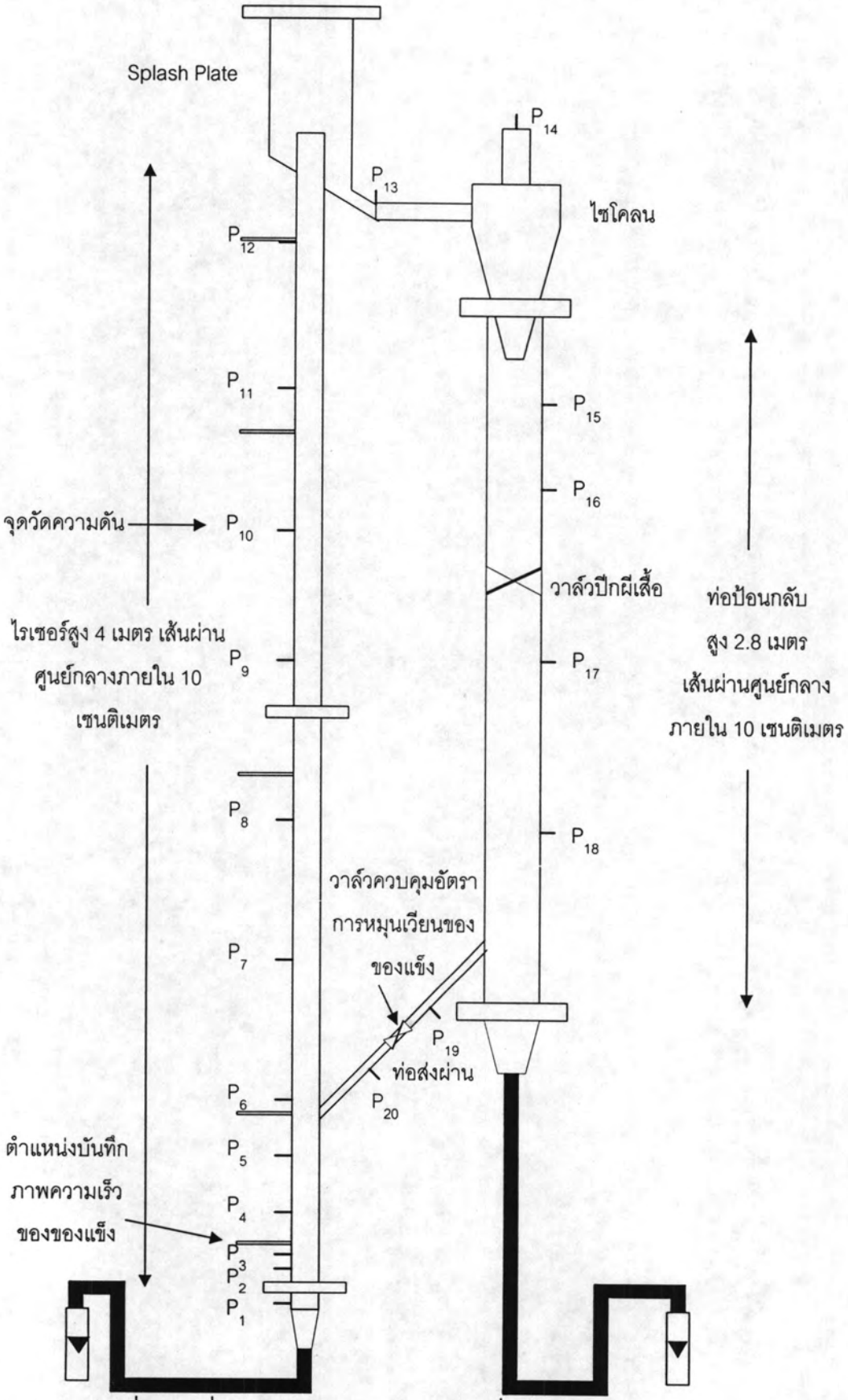
ในการบันทึกภาพของแข็งภายในท่อไรเซอร์นั้น บริเวณผนังท่อไรเซอร์จะถูกเจาะรูเพิ่มขึ้นเพื่อสอดโพรบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.5 เซนติเมตร และยาว 10 เซนติเมตร สำหรับการบันทึกภาพภายในท่อไรเซอร์ตามความสูง ที่ตำแหน่งความสูง 30, 60, 180, 300 และ 370 เซนติเมตร จากตัวกระจายอากาศ แสดงดังรูปที่ 3.1 และสำหรับการบันทึกภาพของของแข็งภายในท่อไรเซอร์ตามแนวรัศมีจะสอดโพรบเข้าไปที่ตำแหน่งต่างๆ ตามแนวรัศมี ได้แก่ตำแหน่ง 0, 0.6, 1.8 และ 2.5 เซนติเมตร จากกึ่งกลางไรเซอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 แสดงตำแหน่งโพรบที่ใช้ในบันทึกความเร็วตามแนวรัศมี

3.1.2 **ไซโคลน** (Cyclone) เป็นอุปกรณ์สำหรับแยกอนุภาคจากอากาศ เพื่อป้องกันการฟุ้งกระจาย และยังเป็นการนำเอาของแข็งป้อนกลับเข้ามาเพื่อให้เกิดการหมุนเวียนด้วย ในงานวิจัยนี้ไซโคลนทำจากแผ่นสแตนเลสหนา 2 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกไซโคลน (D_c) เท่ากับ 12 เซนติเมตร และสูง 50 เซนติเมตร

3.1.3 **ท่อป้อนกลับ** (Downcomer) เป็นส่วนที่ต่อจากไซโคลน มีหน้าที่รองรับอนุภาคที่ถูกแยกโดยไซโคลนแล้วนำไปป้อนกลับเข้าสู่ไรเซอร์อีกครั้ง โดยทำงานภายใต้ภาวะฟลูอิไดซ์เบดแบบฟองอากาศ เพื่อให้ของแข็งสามารถเกิดการหมุนเวียนในระบบได้ง่ายยิ่งขึ้น ท่อป้อนกลับทำจากท่อพลาสติกใส (Acrylic) เช่นเดียวกับไรเซอร์ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10 เซนติเมตร ความหนา 5 มิลลิเมตร สูง 280 เซนติเมตร โดยที่ความสูง 150 เซนติเมตร จากตัวกระจายอากาศได้ติดตั้งวาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร เพื่อใช้ในการวัดอัตราการหมุนเวียนของของแข็งภายในระบบ

3.1.4 **ท่อส่งผ่าน** (Transfer line) ทำหน้าที่ลำเลียงอนุภาคจากส่วนล่างของท่อป้อนกลับไปยังไรเซอร์ มีลักษณะเป็นท่อเอียงเชื่อมต่อระหว่างไรเซอร์กับท่อป้อนกลับ ทำจากท่อพลาสติกใส (Acrylic) เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3 เซนติเมตร ความหนา 3 มิลลิเมตร ยาว 75 เซนติเมตร โดยวางทำมุม 45 องศากับแนวระดับ มีวาล์วปีกผีเสื้อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร เพื่อควบคุมอัตราการหมุนเวียนของของแข็งตามต้องการ

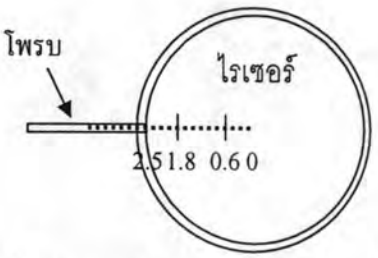
3.1.5 **อุปกรณ์วัดความดัน** อุปกรณ์วัดความดันที่ใช้ในการทดลองนี้คือเครื่องวัดความดัน เชิงตัวเลข (Digital Pressure) ของบริษัทYokogawa รุ่น EJA120 Style: S2 มีช่วงการวัด 0-1000 มิลลิเมตรน้ำ ความคลาดเคลื่อน 0.2%



รูปที่ 3.1 เครื่องฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียนที่ใช้ในการทดลอง

ทางออกที่ไม่สมมาตร ทางออกที่ปรับปรุง (Splash plate)

รูปที่ 3.2 การเคลื่อนที่ของเม็ดแก้วบริเวณทางออกที่ไม่สมมาตรและทางออกที่ปรับปรุงในงานวิจัยนี้



รูปที่ 3.3 ตำแหน่งโพรบที่ใช้ในการบันทึกภาพการเคลื่อนที่ของเม็ดแก้วในแนวรัศมี

3.2 **เทคนิค** Particle Image Velocimetry (PIV)

เทคนิค PIV เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวัดความเร็วและทิศทางการไหลของของไหล เนื่องเทคนิค PIV มีข้อดี คือ สามารถวัดความเร็วของอนุภาคที่มีความเร็วสูงได้ และเป็นการวัดความเร็วแบบทันทีทันใด (Instantaneous Velocity) ตามตำแหน่งที่ต้องการ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้สำหรับการวัดความเร็วของของแข็งที่อยู่ในไรเซอร์ ประกอบด้วยส่วนสำคัญต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.4

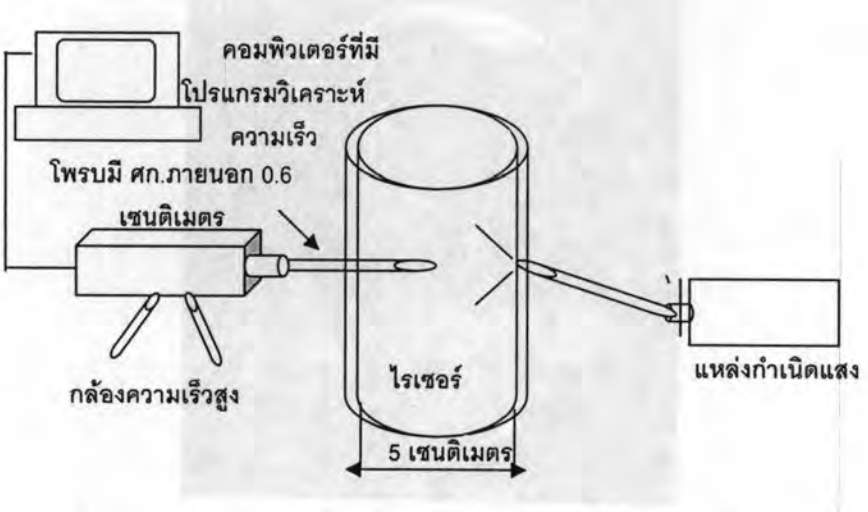
3.2.1 **กล้องความเร็วสูงชนิด** CCD (Charge Coupled Device) **ของบริษัท** Sony **รุ่น** SSC-DC58AP พร้อมเลนส์ สามารถปรับความเร็วหน้ากล้องได้ 10 ค่าตั้งแต่ 1/25 ถึง 1/10000 วินาที ใช้สำหรับบันทึกภาพของของแข็งที่เคลื่อนที่ในไรเซอร์ โดยวางไว้ติดกับโพรบในด้านตรงข้ามกับด้านที่ใส่เข้าไปภายในท่อไรเซอร์ในตำแหน่งที่ต้องการ แล้วทำการปรับระยะโฟกัส กำลังขยายของเลนส์ และปรับความเร็วหน้ากล้องจนเห็นภาพเส้นการเคลื่อนที่ของเม็ดแก้วได้ชัดเจน นำภาพที่บันทึกได้มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพต่อไป

3.2.2 **โปรแกรมวิเคราะห์ภาพ** Image Pro Plus V.4.5.1 **ใช้ในการเก็บภาพที่บันทึกได้จากกล้องความเร็วสูง และนำภาพที่ได้มาหาความยาวของเส้นที่แสดงการเคลื่อนที่ของของแข็งแต่

ละอนุภาค โดยติดตั้งอยู่กับเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งใช้สำหรับรับภาพและทำการประมวลผลที่ได้จากการทดลองโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ภาพ Image Pro Plus V.4.5.1

โปรแกรมนี้มีความสามารถในการบันทึกภาพตามระยะห่างของเวลาที่กำหนด สามารถปรับความเข้มและความสว่างของภาพได้ อีกทั้งจะเรียงลำดับภาพที่บันทึกได้และเขียนแฟ้มข้อมูลเป็นแบบ TIFF และ BMP ในการหาเส้นความยาวของของแข็งที่เคลื่อนที่โปรแกรมจะแสดงข้อมูลการวิเคราะห์ระยะทางที่ลากได้ออกมาเป็นหน่วยตามที่ได้ทำค่าเทียบ (Calibration) และค่าเทียบยังสามารถเก็บบันทึกและสร้างใหม่เพื่อนำมาใช้ได้ ส่วนข้อมูลที่วิเคราะห์ออกมาได้นี้ก็สามารถส่งข้อมูลไปยังโปรแกรม Excel ได้

3.2.3 **แหล่งกำเนิดแสง** (Optical Fiber light source) ประกอบด้วยไฟฮาโลเจน ที่มีกำลัง 150 วัตต์สามารถปรับความเข้มแสดงได้ตั้งแต่ 0 -100 % และท่อกระจายแสง (Dual Fiber Optic Gooseneck)ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร และความยาว 61 เซนติเมตร วางอยู่ด้านตรงข้ามกับกล้องความเร็วสูง เพื่อทำให้ภาพที่บันทึกได้มีความชัดเจน ทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ภาพมากขึ้น



รูปที่ 3.4 ระบบ PIV

การเคลื่อนที่ของเม็ดแก้วที่บันทึกภาพได้จากกล้องความเร็วสูงที่ปรากฏบนหน้าจอคอมพิวเตอร์แสดงดังรูปที่ 3.5 โดยเส้นการเคลื่อนที่มีขนาดต่างๆ กัน โดยเส้นที่หนาและสั้นแสดงถึงการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ จึงเคลื่อนที่ช้า และเส้นที่บางและยาว แสดงถึงการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีขนาดเล็ก จึงเคลื่อนที่ได้เร็ว จากรูปที่ 3.5 สามารถบันทึกภาพการเคลื่อนที่ของเม็ดแก้วได้ทั้งหมด 9 อนุภาค เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ จะสามารถทำการวัดความยาวและมุมการเคลื่อนที่เฉพาะเส้นที่ชัดเจน ซึ่งได้ทั้งหมด 6 เส้น เนื่องจากเส้นที่เหลือมีเส้นในการเคลื่อนที่ติดกับโพรบ หรือมีเส้นการเคลื่อนที่ซ้อนทับกันทำให้เห็นไม่ชัดเจน โดย

สามารถวิเคราะห์ภาพเพื่อหาระยะทางและมุมของการเคลื่อนที่ที่แท้จริงได้จากโปรแกรม วิเคราะห์ภาพ Image Pro Plus เมื่อทำการวิเคราะห์ภาพทั้งหมดแล้วจึงนำข้อมูลมาคำนวณความเร็วของของแข็งจากสมการที่ 3.1 (Tartan M. และคณะ, 2004)

$$C_r = (L/t)\cos\theta \quad (3.1)$$

$$C_z = (L/t)\sin\theta \quad (3.2)$$

โดยที่ C_r คือ ความเร็วของของแข็งในแนวรัศมี (Radial Velocity), เมตรต่อวินาที

C_z คือ ความเร็วของของแข็งในแนวแกน (Axial Velocity), เมตรต่อวินาที

L คือ ระยะทางที่ของแข็งเคลื่อนที่ได้, เมตร

t คือ เวลาที่เม็ดแก้วใช้ในการเคลื่อนที่, วินาที หาได้จากส่วนกลับของความเร็วหน้ากล้อง

θ คือ มุมที่ของแข็งเคลื่อนที่วัดจากแกน x โดยเริ่มจากวัฏภาคที่ 1

รูปที่ 3.5 ตัวอย่างภาพการเคลื่อนที่ของเม็ดแก้วที่บันทึกได้จากเทคนิค PIV

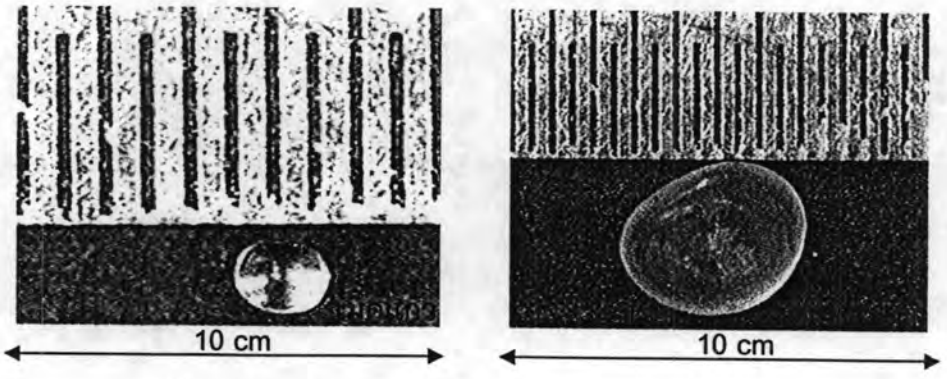
3.3 อนุภาคของแข็งที่ใช้ในการทดลอง

ของแข็งที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ เม็ดแก้วและเม็ดพลาสติก (HDPE) แสดงได้ดังรูปที่ 3.6 โดยเม็ดแก้วมีลักษณะเป็นทรงกลม ใสและโปร่งแสง สำหรับเม็ดพลาสติกลักษณะเป็นวงรี สีขาวขุ่นและโปร่งแสง โดยเม็ดพลาสติกมีขนาดใหญ่กว่าเม็ดแก้วประมาณ 8 เท่า และมีขนาดใหญ่กว่าโพรบที่ใช้ในการบันทึกภาพ ทำให้ไม่สามารถบันทึกภาพการเคลื่อนที่ของเม็ดพลาสติกได้ ดังนั้นในการทดลองที่ใช้สารป้อนเป็นของผสมระหว่างเม็ดแก้วและเม็ดพลาสติกจึงติดตามการเคลื่อนที่ของเม็ดแก้วเพียงอย่างเดียว

สมบัติต่างๆ ของเม็ดแก้วและเม็ดพลาสติกแสดงดังตารางที่ 3.1 โดยทำการวัดขนาดของเม็ดแก้วด้วยเครื่องวิเคราะห์ Particle size analyzer พบว่าเม็ดแก้วที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 170-800 ไมครอน ซึ่งสามารถคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (Sauter mean diameter, SMD) จากสมการ $SMD = \bar{d}_{32}$ โดย $d_{32} = 6\times(V_p/A_p)$ ได้เท่ากับ 512 ไมครอน ดังแสดงในภาคผนวก สำหรับเม็ดพลาสติกมีขนาดของอนุภาคที่ใหญ่ไม่สามารถวัดขนาดได้ด้วยเครื่องวิเคราะห์ Particle size analyzer และรูปร่างของเม็ดพลาสติกไม่เป็นทรงกลม จึงแสดงขนาดของอนุภาคในรูปของเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า (Equivalent diameter) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ $d_e = 1.55A^{0.625}/P^{0.2}$ ดังแสดงในภาคผนวก โดยค่าความหนาแน่นของเม็ดแก้วและเม็ดพลาสติกหาได้จากการแทนที่น้ำ ส่วนการจำแนกกลุ่มของของแข็งตามลักษณะโดยวิธีของ Geldart นั้นพบว่าเม็ดแก้วจัดอยู่ในกลุ่ม B และเม็ดพลาสติกจัดอยู่ในกลุ่ม D

ตารางที่ 3.1 แสดงสมบัติต่างๆ ของของแข็งที่ใช้ในงานวิจัย

สมบัติทางกายภาพ	เม็ดแก้ว (Glassbead)	เม็ดพลาสติก (HDPE)	หน่วย
ขนาดเฉลี่ยของอนุภาค (d_p)	512	-	ไมครอน
เส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า	-	4.47	มิลลิเมตร
ความหนาแน่นของอนุภาค (ρ_s)	2200	860	กก.ต่อ ลบ.ม.
ความหนาแน่นบัลค์ (ρ_b)	1550	530	กก.ต่อ ลบ.ม.
Geldart classification	B	D	-
ความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิไดซ์เซชั่น(U_{mf})	0.17	1.04	เมตรต่อวินาที
ความเร็วสุดท้ายของอนุภาค (U_t)	3.70	10.00	เมตรต่อวินาที



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างของเม็ดแก้วและเม็ดพลาสติกที่ใช้ในงานวิจัย

3.4 วิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1. การศึกษาอุทกพลศาสตร์ของเม็ดแก้ว ในการทดลองส่วนนี้ศึกษาถึงผลของความเร็วอากาศที่มีต่อความดันอากาศ สัดส่วนช่องว่าง และความเร็วของเม็ดแก้วตลอดความสูง และศึกษารูปแบบความเร็วเม็ดแก้วตามแนวรัศมีตลอดความสูงของไรเซอร์ ที่ความเร็วอากาศค่าหนึ่ง

2. การศึกษาผลของอนุภาคขนาดใหญ่ต่ออุทกพลศาสตร์ของเม็ดแก้ว ในการทดลองส่วนนี้ศึกษาถึงผลของความเร็วอากาศที่มีต่อความดันอากาศ และสัดส่วนช่องว่าง และศึกษาความเร็วของเม็ดแก้วที่อยู่ในของผสมตลอดความสูงและตลอดแนวรัศมีของไรเซอร์ ที่ความเร็วอากาศค่าหนึ่ง และศึกษาถึงผลของเม็ดพลาสติกที่มีต่ออุทกพลศาสตร์ของเม็ดแก้ว

สภาวะการทดลองแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 3.2 สภาวะต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

ของแข็ง	อุทกพลศาสตร์	U_g (เมตรต่อวินาที)	ความสูง (ซม.)	ระยะตามแนวรัศมี (ซม.)
เม็ดแก้ว	- ความดันอากาศและอัตราการหมุนเวียนของของแข็ง	7, 8, 9	-	-
	- ความเร็วตลอดความสูง	7, 8, 9	30, 60, 180,300, 370	0
	- ความเร็วตามแนวรัศมี	9	30,60,180,300, 370	0,0.6,1.8,2.5
	- ทิศทางการเคลื่อนที่	9	180	0,0.6,1.8,2.5
ของผสม*	- ความดันอากาศและอัตราการหมุนเวียนของของแข็ง	7,8,9	-	-
	- ความเร็วตลอดความสูง	9	30,60,180,300,370	0
	- ความเร็วตามแนวรัศมี	9	30,60,180,300,370	0,0.6,1.8,2.5

*ของผสมระหว่างเม็ดแก้วและเม็ดพลาสติกในปริมาณร้อยละ 5 โดยปริมาตร

3.4.1 การศึกษาอุทกพลศาสตร์ของเม็ดแก้ว

3.4.1.1 การวัดความดันอากาศ, สัดส่วนช่องว่างและอัตราการหมุนเวียนของของแข็ง

1. ใส่เม็ดแก้วทางด้านบนของท่อป้อนกลับ แล้วเปิดเครื่องเป่าอากาศที่อัตราการไหลเท่ากับ 400 ลิตรต่อนาที เพื่อให้เกิดฟลูอิไดซ์เบดแบบฟองอากาศ

2.เปิดเครื่องเป่าอากาศให้อากาศผ่านเข้าสู่ท่อไรเซอร์ที่อัตราการไหลที่กำหนด แล้วเปิดวาล์วปีกผีเสื้อที่ท่อส่งผ่านทีละน้อยจนมีร้อยละการเปิดเท่ากับ 50 เพื่อให้เม็ดแก้วจากท่อป้อนกลับไหลเข้าไปในท่อไรเซอร์และเกิดการหมุนเวียน รอให้ระบบการหมุนเวียนของเม็ดแก้วเข้าสู่ภาวะสมดุลปืนเวลา 5 นาที

3.วัดความสูงของเม็ดแก้วที่สะสมในทางด้านล่างท่อป้อนกลับในขณะที่เกิดการหมุนเวียน

4.บันทึกค่าความดันอากาศทุกๆ ตำแหน่งในระบบ (P_1-P_{20} ที่แสดงในรูปที่ 3.1) ที่อ่านได้จากเครื่องวัดความดันเชิงตัวเลข

5.ปิดวาล์วปีกผีเสื้อที่คั่นระหว่างกลางท่อป้อนกลับ แล้วทำการจับเวลาที่เม็ดแก้วสะสมบนวาล์วปีกผีเสื้อจนได้ปริมาณเท่ากับ 1 กิโลกรัม

6.ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนอัตราการไหลของอากาศ

7.นำความดันอากาศที่บันทึกได้ และเวลาที่วัดค่าได้ไปคำนวณหาสัดส่วนช่องว่าง และอัตราการหมุนเวียนของของแข็งต่อไป ตามลำดับ

3.4.1.1 การวัดความเร็วของอนุภาคด้วยเทคนิค PIV

1.ใส่เม็ดแก้วทางด้านบนของท่อป้อนกลับ แล้วเปิดเครื่องเป่าอากาศที่อัตราการไหลเท่ากับ 400 ลิตรต่อนาที เพื่อให้เกิดฟลูอิไดซ์เบดแบบฟองอากาศ

2.เปิดเครื่องเป่าอากาศให้อากาศผ่านเข้าสู่ท่อไรเซอร์ที่อัตราการไหลที่กำหนด แล้วเปิดวาล์วปีกผีเสื้อที่ท่อส่งผ่านทีละน้อยจนมีร้อยละการเปิดเท่ากับ 50 เพื่อให้เม็ดแก้วจากท่อป้อนกลับไหลเข้าไปในท่อไรเซอร์และเกิดการหมุนเวียน รอให้ระบบการหมุนเวียนของเม็ดแก้วเข้าสู่ภาวะสมดุลปืนเวลา 5 นาที

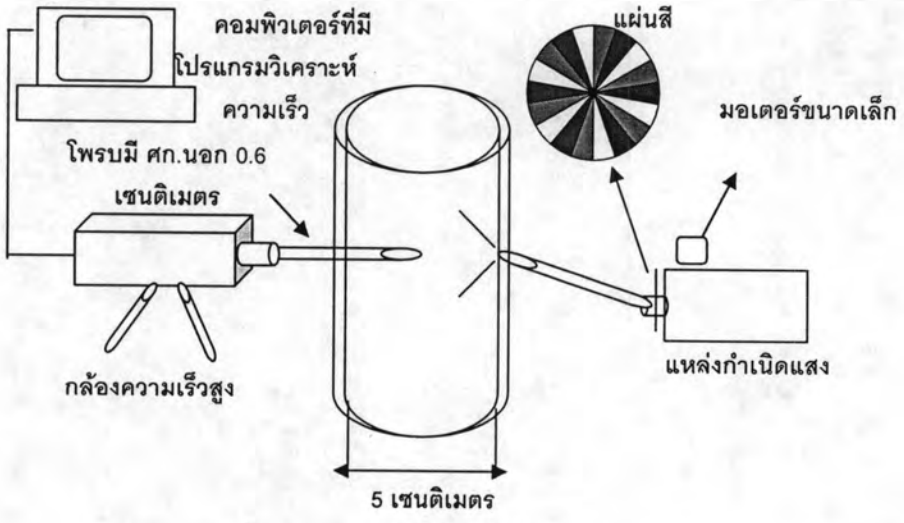
3.วัดความสูงของเม็ดแก้วที่สะสมในทางด้านล่างของท่อป้อนกลับในขณะที่เกิดการหมุนเวียน

4.บันทึกภาพการเคลื่อนที่ของเม็ดแก้ว

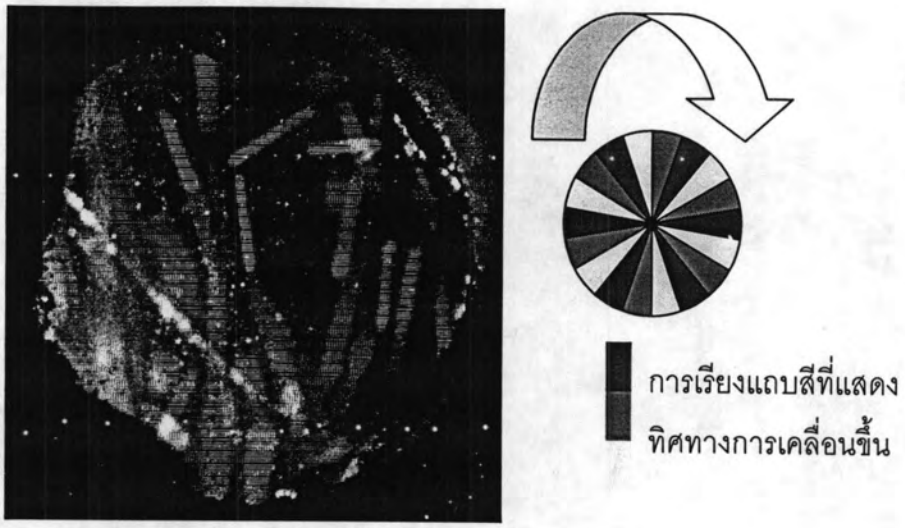
ได้มีการปรับปรุงระบบ PIV ให้สามารถแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ โดยนำแผ่นสีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 10 เซนติเมตร ประกอบด้วย 3 สี ได้แก่ สีแดง สีเหลือง และสีเขียวมาต่อกับมอเตอร์ที่มีการต่อวงจรไฟฟ้าเพื่อให้แผ่นสีหมุนได้อัตโนมัติ นำไปวางไว้หน้าแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับเทียบความยาวมาตรฐานของ

โปรแกรมวิเคราะห์ภาพใหม่ เพื่อให้ได้ความยาวของเส้นการเคลื่อนที่ที่ถูกต้อง โดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านโปรแกรม Image Pro Plus มาปรับเทียบให้ ซึ่งวิธีการปรับเทียบความยาวมาตรฐานแสดงดังภาคผนวก ง.

ระบบ PIV ที่ได้มีการปรับปรุงเพื่อแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของเม็ดแก้ว แสดงดังรูปที่ 3.7 โดยแผ่นสีที่ใช้ต้องนำมาหาขนาด จำนวนช่องและความเร็วของมอเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อให้ภาพที่บันทึกได้มีความชัดเจน สำหรับความเร็วของมอเตอร์ต้องสอดคล้องกับความเร็วของเม็ดแก้ว ซึ่งสามารถปรับความเร็วได้ขณะที่ทำการทดลอง ในการวิเคราะห์ทิศทางการเคลื่อนที่ของเม็ดแก้ว ให้ดูจากการเรียงของแถบสีที่ปรากฏในแต่ละเส้นการเคลื่อนที่ ซึ่งเม็ดแก้วที่มีทิศทางขึ้นและลงจะมีการเรียงของแถบสีที่แตกต่างกัน โดยรูปที่บันทึกได้แสดงดังรูปที่ 3.8 พบว่าในแต่ละเส้นมีการเรียงของแถบจากล่างขึ้นบนเป็นสีเหลือง สีเขียว และสีแดงเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจากการหมุนของแผ่นสีทวนเข็มนาฬิกาแสดงได้ว่าเม็ดแก้วส่วนใหญ่เคลื่อนที่ขึ้น



รูปที่ 3.7 ระบบ PIV ที่มีแผ่นสีประกอบ



รูปที่ 3. 8 ตัวอย่างภาพที่บันทึกได้จากระบบ PIV ที่มีแผ่นสีประกอบ

3.4.2 การศึกษาอุทกพลศาสตร์ของของผสมระหว่างเม็ดแก้วและเม็ดพลาสติก (HDPE)

การทดลองในหัวข้อนี้เปลี่ยนวัสดุเบดเป็นของผสมระหว่างเม็ดแก้วและเม็ดพลาสติก โดยทำการผสมเม็ดพลาสติกในปริมาณร้อยละ 5 โดยปริมาตร ในเม็ดแก้วที่มีน้ำหนักเริ่มต้นเท่ากับ 10 กิโลกรัม ซึ่งมีปริมาตรเท่ากับ 6000 ลบ.ซ.ม. โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 3.4.1