

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในบทนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนที่ 1 เป็นการศึกษาอุทกพลศาสตร์ของเม็ดแก้ว โดยพิจารณาจาก วงจรความดันอากาศ สัดส่วนช่องว่าง ความเร็วตามแนวแกน ความเร็วในแนวรัศมีและทิศทางในการเคลื่อนที่ของเม็ดแก้วในแนวรัศมีโดยใช้แผ่นสี ในส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาผลของอนุภาคขนาดใหญ่ที่มีต่ออุทกพลศาสตร์ของเม็ดแก้ว อนุภาคขนาดใหญ่ดังกล่าว คือ เม็ดโพลีเอทิลีน ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าเม็ดแก้วประมาณ 8 เท่า สมบัติทางกายภาพของเม็ดโพลีเอทิลีน ได้แสดงไว้ในบทที่ 3 ตารางที่ 3.1 ในตอนท้ายของบทนี้เป็นการเปรียบเทียบความเร็วของเม็ดแก้วในระบบที่มีและไม่มีอิทธิพลของเม็ดพลาสติกทั้งแนวตั้งและแนวนอน

4.1 อุทกพลศาสตร์ของเม็ดแก้ว

4.1.1 ผลของความเร็วอากาศต่อวงจรความดัน

ปริมาณเม็ดแก้วทั้งหมดที่อยู่ในระบบ หรือปริมาณของของแข็งเริ่มต้น (Solid inventory, I_s) คือ 10 กิโลกรัม หรือความสูงของเม็ดแก้วที่ท่อป้อนกลับ (H_{oc}) ก่อนเริ่มการทดลองเท่ากับ 63 เซนติเมตร ที่ความเร็วอากาศอยู่ในช่วง 7-9 เมตรต่อวินาที พบว่าอัตราการหมุนเวียนของของแข็งอยู่ในระหว่าง 72-80 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวินาที ความดันของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆของโรเตอร์และท่อป้อนกลับอ่านค่าได้จากเครื่องวัดความดันเชิงตัวเลข มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรน้ำ รูปที่ 4.1 แสดงวงจรความดันอากาศในเครื่องฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยได้แบ่งการพิจารณาออกเป็น 3 ช่วงตลอดความสูงของโรเตอร์ ได้แก่ ช่วงทางด้านล่างของโรเตอร์ คือที่ตำแหน่งความสูงต่ำกว่า 65 เซนติเมตร จากตัวกระจายอากาศ ช่วงตอนกลาง คือที่ตำแหน่งความสูงระหว่าง 65-300 เซนติเมตร จากตัวกระจายอากาศ และช่วงตอนบนของโรเตอร์ คือที่ตำแหน่งความสูงระหว่าง 300-370 เซนติเมตร จากตัวกระจายอากาศ

เมื่อพิจารณาช่วงทางด้านล่างของโรเตอร์ พบว่าที่ความเร็วอากาศ 7 และ 8 เมตรต่อวินาที ความดันอากาศค่อนข้างคงที่ตลอดความสูงของช่วงทางด้านล่างของโรเตอร์ แต่ที่ความเร็วอากาศ 9 เมตรต่อวินาทีพบว่าความดันอากาศค่อยๆ ลดลงเมื่อความสูงของช่วงทางด้านล่างของโรเตอร์เพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากที่ความเร็วอากาศ 7 และ 8 เมตรต่อวินาที พบว่าความหนาแน่นเบดในช่วงนี้ ค่อนข้างมีความสม่ำเสมอ ส่งผลให้ความดันไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ที่ความเร็วอากาศเท่ากับ 9 เมตรต่อวินาที พบว่าเม็ดแก้วที่ไหลป้อนกลับไปยังโรเตอร์ถูกอากาศพัดขึ้นไปทางด้านบนของโรเตอร์ได้เกือบทั้งหมด ความหนาแน่นของเบดมีค่าไม่คงที่ โดยบริเวณใกล้กับตัวกระจาย

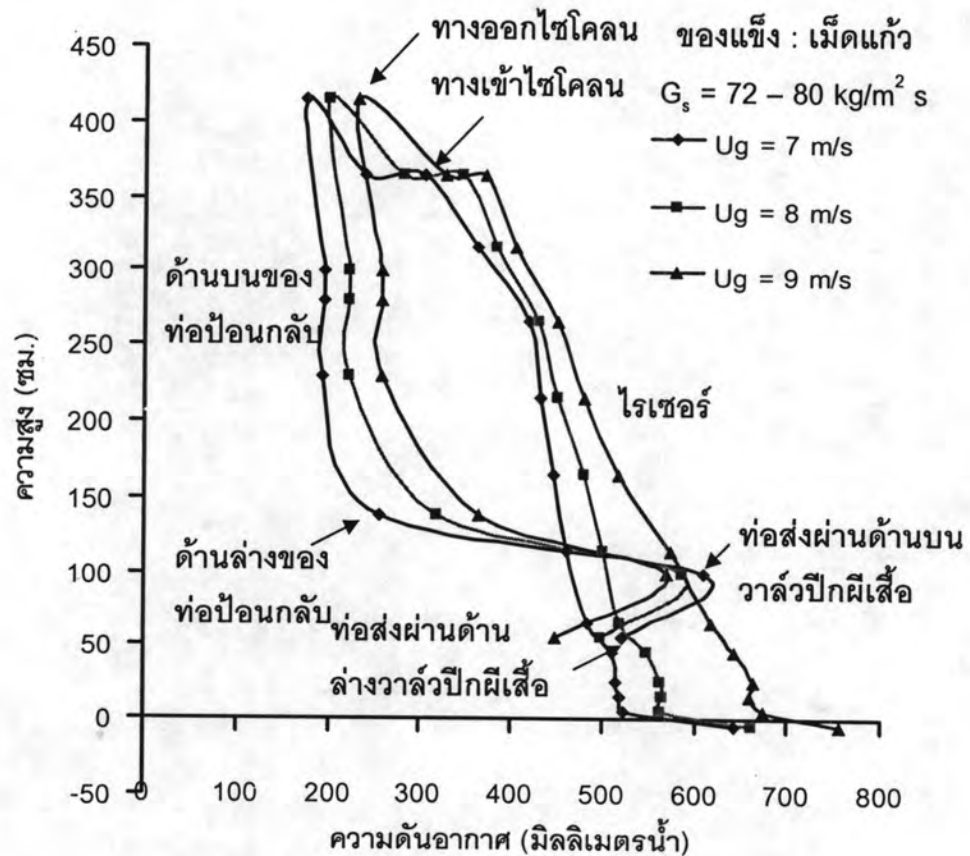
อากาศมีปริมาณเม็ดแก้วอยู่เบาบาง ดังนั้นความดันอากาศบริเวณนี้จึงค่อนข้างคงที่ เมื่ออากาศเริ่มสัมผัสกับเม็ดแก้วทางตอนบนความดันอากาศจะค่อยๆ ลดลง

สำหรับช่วงตอนกลาง และทางตอนบนของโรเซออร์ พบว่าความดันอากาศลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันทั้ง 3 ความเร็วอากาศ โดยความดันอากาศที่ตำแหน่งบนสุดของโรเซออร์ และตำแหน่งก่อนเข้าไซโคลนมีความดันอากาศใกล้เคียงกัน เนื่องจากทั้งสองตำแหน่งอยู่ในระดับความสูงที่เท่ากัน โดยความดันอากาศที่ต่ำสุดของระบบอยู่ที่ทางออกของไซโคลน

ในทางด้านบนของท่อป้อนกลับพบว่าหลังจากเม็ดแก้วออกจากไซโคลนเข้าสู่ท่อป้อนกลับความดันอากาศทางส่วนบนที่อยู่เหนือระดับของเบดค่อนข้างคงที่ เนื่องจากในทางด้านบนของท่อป้อนกลับมีการตกกลับอย่างอิสระของเม็ดแก้วโดยไม่มีการสะสม ซึ่งแตกต่างจากส่วนล่างของท่อป้อนกลับที่อยู่ในสภาวะเบดแบบฟองอากาศ (Bubbling bed) มีการสะสมของเม็ดแก้วที่ความสูงคงที่

และเมื่อพิจารณาที่ท่อส่งผ่าน พบว่าความดันอากาศเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ท่อส่งผ่านทางด้านบนวาล์วปีกผีเสื้อ เนื่องจากมีปริมาณเม็ดแก้วเต็มท่อตลอดเวลา ส่วนทางด้านล่างวาล์วปีกผีเสื้อ มีความดันอากาศลดลง เนื่องจากเม็ดแก้วที่เคลื่อนที่ผ่านท่อส่งผ่านทางด้านล่างวาล์วปีกผีเสื้อมีปริมาณน้อยกว่า จึงทำให้ความดันอากาศที่บริเวณนี้ลดลง

เมื่อพิจารณาถึงผลของความเร็วอากาศที่มีต่อวงจรความดันพบว่า ความดันภายในระบบเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วอากาศเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีปริมาณอากาศเพิ่มขึ้น ทำให้รูปแบบของวงจรความดันคล้ายคลึงกันที่ทุกความเร็วอากาศที่ใช้ในการทดลอง ดังนั้นข้อมูลจากวงจรความดันเพียงอย่างเดียวไม่สามารถจำแนกถึงรูปแบบการไหลในแต่ละความเร็วอากาศได้จึงจำเป็นต้องนำข้อมูลความดันมาคำนวณสัดส่วนช่องว่างภายในท่อโรเซออร์ต่อไป



รูปที่ 4.1 วงจรความดันของเครื่องฟลูอิดไรซ์แบบหมุนเวียนที่ความเร็วอากาศในช่วง 7-9 เมตรต่อวินาที

4.1.2 ผลของความเร็วอากาศที่มีต่อความดันอากาศและสัดส่วนช่องว่าง

ความดันของอากาศในแต่ละตำแหน่งในโรเตอร์สามารถนำไปคำนวณหาค่าสัดส่วนช่องว่าง ได้ดังสมการที่ (4.1) (Li Z.Q. และคณะ, 2004)

$$\varepsilon = 1 - \frac{\Delta P}{\Delta L g \rho_s} \quad (4.1)$$

- โดยที่
- ε = สัดส่วนช่องว่าง
 - ΔP = ผลต่างของความดันของอากาศสองตำแหน่งที่ติดกัน, กิโลกรัมต่อเมตรต่อวินาที²
 - ΔL = ระยะห่างระหว่างความดันของอากาศสองตำแหน่งติดกัน, เมตร
 - ρ_s = ความหนาแน่นของของแข็ง, กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
 - g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าเท่ากับ 9.8 เมตรต่อวินาที²

ผลของความเร็วอากาศที่มีต่อความดันของอากาศและสัดส่วนช่องว่าง แสดงได้ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ จากรูปที่ 4.2 พบว่า เมื่อความเร็วอากาศเพิ่มขึ้นความดันอากาศในโรเตอร์

เพิ่มขึ้นแต่ความดันอากาศภายในโรเซอร์ลดลงตามความสูงของโรเซอร์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ สมชาย (สมชาย , 2004), คันสนีย์ (คันสนีย์, 2005) และยังสอดคล้องกับงานวิจัยในต่างประเทศ อื่นๆ เช่น Nieuwland J.J. (Nieuwland J.J. และคณะ, 1997) Pugsley T. S. (Pugsley T.S. และ คณะ, 1996) และ Schlichthaeile P. (Schlichthaeile P. และคณะ, 1999) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ระบบความดันภายในเครื่องฟลูอิดิซ์เบดแบบหมุนเวียนในงานวิจัยนี้มีความถูกต้อง ในกรณีที่ ความดันอากาศภายในระบบแตกต่างจากงานวิจัยอื่นๆ ดังได้เกิดในตอนเริ่มต้นทำงานวิจัย ซึ่ง พบว่าเกิดจากการรั่วไหลของอากาศ (Leak) บริเวณรอยต่อ หรือเกิดการหมุนเวียนอย่างไม่ต่อเนื่อง หรือเกิดการอุดตันที่จุดวัดความดัน หลังจากการแก้ไขเสร็จสิ้นสมบูรณ์แล้วจึงได้รูปแบบความดัน อากาศตลอดโรเซอร์อย่างถูกต้องดังรูปที่ 4.2

รูปที่ 4.3 แสดงสัดส่วนช่องว่างอากาศตลอดความสูงของโรเซอร์ ที่ความเร็วอากาศในช่วง 7-9 เมตรต่อวินาที โดยมีอัตราการไหลป้อนกลับของของแข็งที่ความเร็วอากาศต่างๆ อยู่ในช่วง 72-80 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ พบว่าเมื่อความเร็วอากาศเพิ่มขึ้นจาก 7 ถึง 9 เมตรต่อวินาที สัดส่วนช่องว่างเพิ่มขึ้นทุกๆ ตำแหน่งตลอดความสูงของโรเซอร์ และเพิ่มขึ้นเมื่อ ความสูงของโรเซอร์เพิ่มขึ้น ที่ทุกๆ ความเร็วอากาศ เมื่อพิจารณาที่ความเร็วอากาศเท่ากับ 7 เมตร ต่อวินาที พบว่าทางด้านล่างของโรเซอร์มีสัดส่วนช่องว่างน้อยที่สุดและค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อความสูง ของโรเซอร์เพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่ทางตอนกลางของโรเซอร์ (ความสูงประมาณ 200 เซนติเมตร) ลักษณะการไหลของเม็ดแก้วในโรเซอร์ที่เปลี่ยนจากการไหลแบบหนาแน่นทางด้านล่างเป็นการ ไหลแบบเบาบางทางด้านบน เรียกว่ารูปแบบการขนส่งแบบวัฏภาคหนาแน่น (Dense phase transport regime) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kim S.W. (Kim S.W. และคณะ 1999) และที่ ความเร็วอากาศเท่ากับ 8 และ 9 เมตรต่อวินาที พบว่ามีรูปแบบของสัดส่วนช่องว่างที่แตกต่างจาก รูปแบบสัดส่วนช่องว่างที่ความเร็วอากาศเท่ากับ 7 เมตรต่อวินาที โดยมีลักษณะเป็นรูปตัวเอส (S-Shape) โดยสามารถแบ่งโพรไฟล์เป็น 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงเบดหนาแน่นทางด้านล่าง (Bottom dense section) ช่วงการเปลี่ยนแปลง (Transition section) และช่วงเบดเบาบางทางด้านบน (Dilute dense section) ช่วงการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่างช่วงเบดหนาแน่นทางด้านล่างและเบด เบาบางทางด้านบน

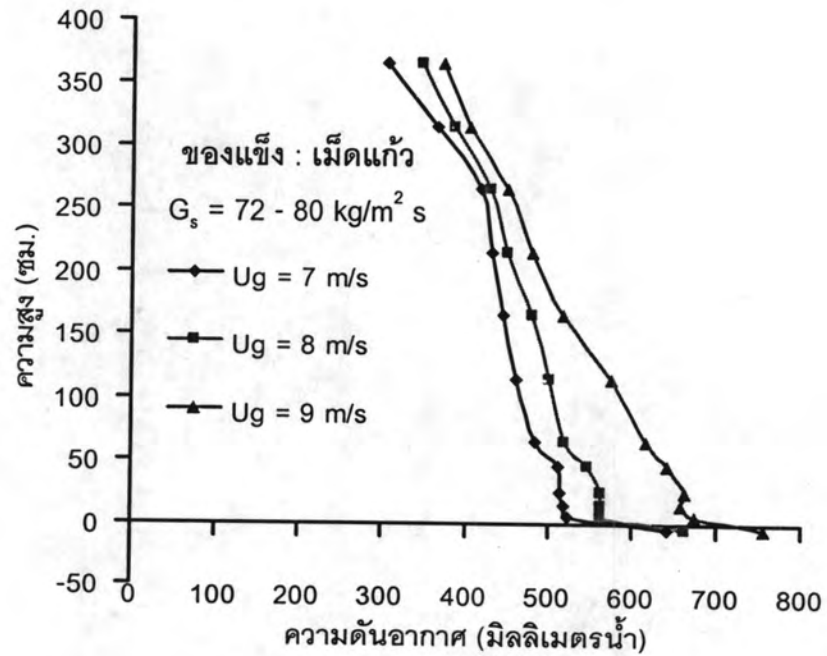
เมื่อพิจารณาในแต่ละช่วงการไหล พบว่าช่วงหนาแน่นทางด้านล่างมีสัดส่วนช่องว่างน้อย ที่สุด และค่อยๆ ลดลงเมื่อความสูงของช่วงหนาแน่นทางด้านล่างเพิ่มสูงขึ้น แสดงได้ว่าผลต่างของ ความดันอากาศต่อหนึ่งหน่วยความสูงมีค่าสูงสุด และค่อยๆ ลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น เนื่องจาก เป็นบริเวณที่อยู่ใกล้กับที่ป้อนกลับของเม็ดแก้วจึงทำให้มีการกระจายตัวของเม็ดแก้วอยู่อย่าง หนาแน่นสูงที่สุด และค่อยๆ ลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น

สำหรับช่วงการเปลี่ยนแปลง พบว่ามีรูปแบบสัดส่วนช่องว่างคงที่ตลอดแนวแกน เนื่องจากผลต่างของความดันอากาศต่อหนึ่งหน่วยความสูงคงที่ตลอดแนวแกน แสดงว่ามีการกระจายตัวของเม็ดแก้วสม่ำเสมอ

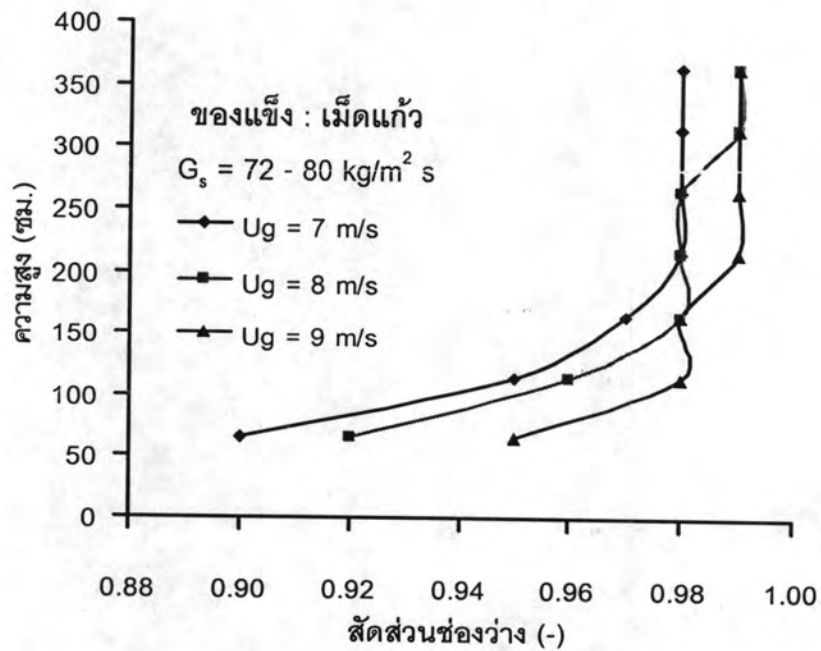
ในช่วงเบดเบาบางทางด้านบน พบว่ารูปแบบสัดส่วนช่องว่างคล้ายคลึงกับช่วงการเปลี่ยนแปลง แต่มีค่ามากกว่า เนื่องจากผลต่างของความดันอากาศต่อหนึ่งหน่วยความสูงของช่วงเบดเบาบางทางด้านบนลดลง แสดงว่ามีปริมาณของเม็ดแก้วลดลง

เมื่อพิจารณาผลของความเร็วอากาศต่อรูปแบบสัดส่วนช่องว่างตลอดความสูงของไรเซอร์ของทั้งสองความเร็วอากาศ พบว่าเมื่อความเร็วอากาศเพิ่มขึ้น ทำให้เข้าสู่ช่วงการเปลี่ยนแปลงเร็วขึ้น และมีความกว้างของช่วงการเปลี่ยนแปลงลดลง โดยความกว้างของช่วงเบดเบาบางทางด้านบนเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากที่ความเร็วอากาศเท่ากับ 8 เมตรต่อวินาที พบช่วงการเปลี่ยนแปลงอยู่ที่ตำแหน่งความสูง 150-300 เซนติเมตร และช่วงเบดเบาบางทางด้านบนอยู่ที่ตำแหน่งความสูง 300-370 เซนติเมตร แต่ที่ความเร็วอากาศเท่ากับ 9 เมตรต่อวินาที พบช่วงการเปลี่ยนแปลงอยู่ที่ตำแหน่งความสูง 100-200 เซนติเมตร และช่วงเบดเบาบางทางด้านบนที่ตำแหน่งความสูง 200-370 เซนติเมตร เนื่องจากความเร็วอากาศเพิ่มขึ้นทำให้แรงต้านการเคลื่อนที่ (Drag force) ที่กระทำต่อเม็ดแก้วเพิ่มขึ้น (Grace J.R., 1997) ดังนั้นเม็ดแก้วจึงมีการเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกับอากาศได้มากขึ้น จึงทำให้มีการกระจายตัวของเม็ดแก้วที่สม่ำเสมอตลอดแนวแกนมากขึ้น โดยรูปแบบสัดส่วนช่องว่างที่ความเร็วอากาศทั้งสองเป็นลักษณะพิเศษของขอบเขตฟลูอิไดเซชันที่ความเร็วสูง (Fast fluidization regime) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Monazam E.R. (Monazam E.R. และคณะ, 2005)

และจากรูปแบบสัดส่วนช่องว่างที่ความเร็วอากาศทั้งสาม สามารถแบ่งรูปแบบการไหลได้ 2 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบการขนส่งแบบวัฏภาคหนาแน่น และฟลูอิไดเซชันที่ความเร็วสูง โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Xu G. (Xu G. และคณะ, 2003) และ Issangya A.S. (Issangya A.S. และคณะ, 1999)



รูปที่ 4.2 ความดันอากาศตลอดความสูงของโรเตอร์ในระบบเม็ดแก้ว-อากาศ ที่ความเร็วอากาศ ในช่วง 7-9 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.3 สัดส่วนช่องว่างตลอดความสูงของโรเตอร์ ในระบบเม็ดแก้ว-อากาศ ที่ความเร็วอากาศ ในช่วง 7-9 เมตรต่อวินาที

4.1.3 ผลของความเร็วกาศต่อความเร็วตามแนวแกนของเม็ดแก้ว

การทดลองนี้ศึกษาผลของความเร็วกาศที่มีต่อความเร็วของเม็ดแก้วตามความสูงของไรเซอร์ ที่ตำแหน่ง 30, 60, 180, 300 และ 370 เซนติเมตร จากตัวกระจายอากาศตามลำดับ โดยสอดโพรบเข้าไปที่กึ่งกลางไรเซอร์ ดังรูปที่ 3.3 ที่ความเร็วกาศเท่ากับ 7, 8 และ 9 เมตรต่อวินาที อัตราการหมุนเวียนของของแข็งอยู่ระหว่าง 72-80 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวินาที รูปที่ 4.4 แสดงความเร็วตามแนวแกนของเม็ดแก้ว ซึ่งมีรูปแบบคล้ายคลึงกันทุกความเร็วกาศ จะเห็นว่าความเร็วตามแนวแกนของเม็ดแก้วเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วกาศเพิ่มขึ้น สามารถแบ่งไรเซอร์ออกได้เป็น 3 ช่วง ได้แก่ 1) ช่วงแรกบริเวณด้านล่างของไรเซอร์ (ความสูง 30 เซนติเมตร จากตัวกระจายอากาศ) พบว่าความเร็วของเม็ดแก้วต่ำที่สุด โดยเรียกช่วงนี้ว่า ช่วงทางด้านล่าง (Bottom section) 2) ช่วงหนาแน่นทางด้านล่าง (Bottom dense section) คือที่ความสูง 60 เซนติเมตร จากตัวกระจายอากาศ โดยความเร็วของเม็ดแก้วเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจากช่วงทางด้านล่าง และ 3) ช่วงความเร่ง (Acceleration section) คือที่ความสูงระหว่าง 180-370 เซนติเมตร พบว่าความเร็วของเม็ดแก้วเพิ่มขึ้นเมื่อความสูงของไรเซอร์เพิ่มสูงขึ้น สามารถอธิบายปรากฏการณ์นี้ได้ดังนี้

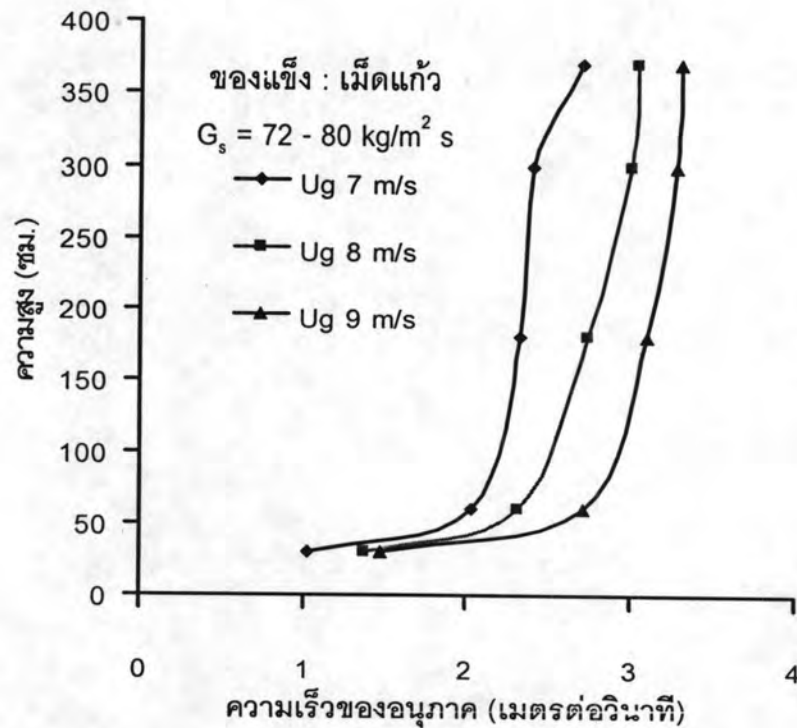
ในทางด้านล่างของไรเซอร์ ซึ่งเป็นบริเวณที่ต่ำกว่าตำแหน่งที่ป้อนกลับของของแข็ง ดังนั้นเม็ดแก้วส่วนใหญ่ที่เคลื่อนที่ผ่านบริเวณนี้คือเม็ดแก้วที่เคลื่อนที่ตกกลับลงมา จึงทำให้ความเร็วของเม็ดแก้วที่ช่วงด้านล่างของไรเซอร์ต่ำที่สุด

สำหรับช่วงหนาแน่นทางด้านล่างเป็นบริเวณที่สูงกว่าตำแหน่งป้อนกลับของเม็ดแก้ว ดังนั้นเม็ดแก้วที่เคลื่อนที่ผ่านส่วนใหญ่เป็นเม็ดแก้วที่เคลื่อนที่ขึ้น จึงทำให้ความเร็วของเม็ดแก้วเพิ่มสูงขึ้นจากช่วงทางด้านล่าง แต่ความเร็วของเม็ดแก้วในช่วงนี้ต่ำกว่าในช่วงความเร่ง เนื่องจากในช่วงหนาแน่นทางด้านล่างมีปริมาณของเม็ดแก้วมากที่สุด แสดงดังรูปที่ 4.3 จึงมีการชนกันของเม็ดแก้วเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานมากขึ้น ดังนั้นความเร็วของเม็ดแก้วในช่วงหนาแน่นทางด้านล่างจึงต่ำกว่าช่วงความเร่ง

และช่วงความเร่งมีการกระจายตัวของเม็ดแก้วตลอดความสูงของไรเซอร์ไม่เท่ากัน ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.3 โดยเมื่อความสูงของไรเซอร์เพิ่มสูงขึ้นความหนาแน่นของเม็ดแก้วลดลง จึงมีการชนกันของเม็ดแก้วน้อยลงทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานน้อยลง ดังนั้นความเร็วของเม็ดแก้วค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อความสูงของไรเซอร์เพิ่มสูงขึ้น

รูปแบบการไหลของทั้งสามความเร็วกาศมีความสอดคล้องกับการทดลองของ Parssinen J.H. (Parssinen J.H. และคณะ, 2001) ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวของไอน้ำมันหนัก (FCC) ที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 67 ไมครอน และความหนาแน่น 1500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็นวัสดุเบด ในเครื่องฟลูอิดไรซ์เบดแบบหมุนเวียนที่มีไรเซอร์สูง 1000 เซนติเมตร โดยแบ่งช่วงการไหลของของแข็งตลอดความสูงของไรเซอร์เป็น 4 ส่วน คือ 1) ช่วงหนาแน่นทาง

ด้านล่าง (Bottom dense section) 2) ช่วงการเปลี่ยนแปลงบริเวณกลางไรเซอร์ (Middle intermediate dense section) 3) ช่วงเบดเบาบางทางด้านบน (Dilute section) และ 4) ช่วงทางออก (Exit section) ส่วนในงานวิจัยนี้จากรูปที่ 4.4 สามารถแบ่งช่วงการไหลของของแข็งตลอดความสูงของไรเซอร์นี้ได้ 3 ช่วง ได้แก่ 1) ช่วงทางด้านล่าง 2) ช่วงหนาแน่นทางด้านล่าง และ 3) ช่วงความเร่ง



รูปที่ 4.4 ความเร็วเม็ดแก้วตลอดความสูงของไรเซอร์ในระบบเม็ดแก้ว-อากาศ ที่ความเร็วอากาศ ในช่วง 7-9 เมตรต่อวินาที

4.1.4 ความเร็วตามแนวรัศมีของเม็ดแก้วตลอดความสูงของไรเซอร์

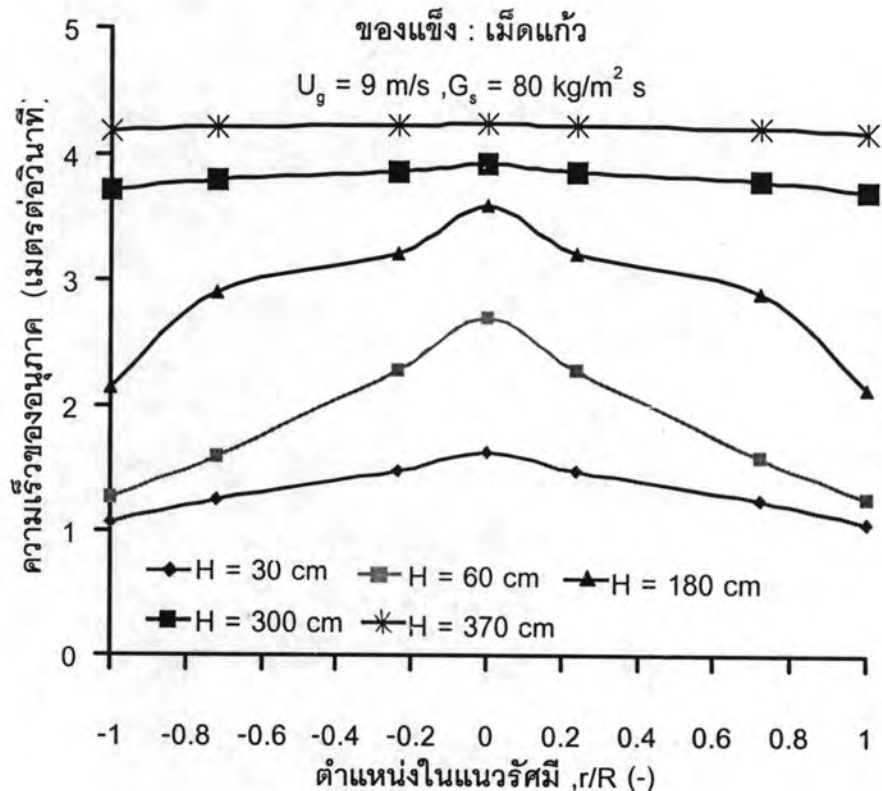
ตำแหน่งในแนวรัศมีที่ทำการศึกษาการเคลื่อนที่ของเม็ดแก้ว ได้แก่ 0, 0.6, 1.8 และ 2.5 เซนติเมตร จากกึ่งกลางไรเซอร์ ดังนั้นตำแหน่ง 2.5 เซนติเมตร จากกึ่งกลางคือที่ผนังของไรเซอร์นั่นเอง โดยตั้งสมมุติฐานว่าการเคลื่อนที่ของของแข็งมีลักษณะสมมาตร เช่น ตำแหน่งที่ 0.6 และ -0.6 จากกึ่งกลางไรเซอร์มีความเร็วเท่ากัน โดยอัตราส่วนระหว่างตำแหน่งต่างๆ ในแนวรัศมีต่อรัศมีของท่อไรเซอร์ หรือ r/R เท่ากับ -1, -0.24, -0.72, 0, 0.24, 0.72 และ 1 (Benyahia S. และคณะ, 2000)

รูปที่ 4.5 แสดงความเร็วตามแนวรัศมีที่อัตราส่วน r/R เท่ากับ -1, -0.72, -0.24, 0, 0.24, 0.72 และ 1 ที่ความสูง 30, 60, 180, 300 และ 370 เซนติเมตรจากตัวกระจายอากาศ เมื่อความเร็วอากาศคงที่เท่ากับ 9 เมตรต่อวินาที และอัตราการหมุนเวียนของของแข็งเท่ากับ 80

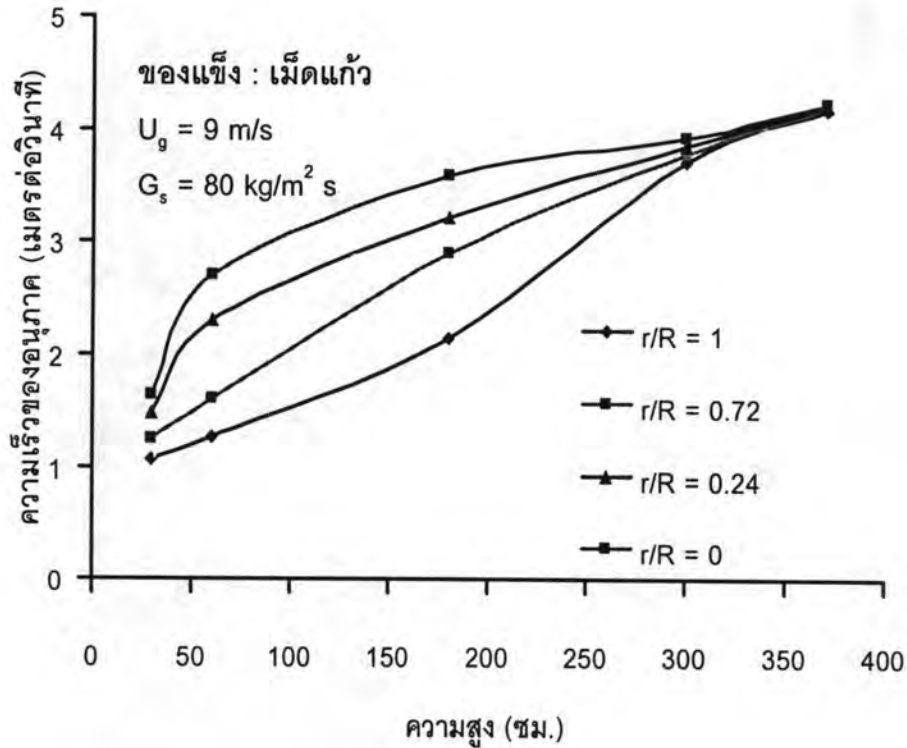
กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวินาที พบว่าที่ความสูง 30 เซนติเมตร จากตัวกระจายอากาศ ความเร็วของเม็ดแก้วสูงสุดบริเวณกึ่งกลางไรเซอร์และค่อยๆ ลดลงเมื่อเข้าใกล้ผนัง โดยที่ผนังและบริเวณใกล้เคียง ($r/R = 1$ (-1) และ 0.72 (-0.72)) เม็ดแก้วมีความเร็วใกล้เคียงกัน ที่ตำแหน่ง 60 เซนติเมตร จากตัวกระจายอากาศ พบว่าเม็ดแก้วที่กึ่งกลางไรเซอร์และบริเวณใกล้เคียง ($r/R = 0$ และ 0.24 (-0.24)) มีความเร็วเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ที่บริเวณผนังเม็ดแก้วยังมีความเร็วใกล้เคียงกับที่ตำแหน่งความสูง 30 เซนติเมตร ที่ตำแหน่ง 180 เซนติเมตร จากตัวกระจายอากาศ พบว่าความเร็วของเม็ดแก้วเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันทุกตำแหน่งตามแนวรัศมี จะสังเกตเห็นว่าที่ตำแหน่งความสูง 60 และ 180 เซนติเมตร จากตัวกระจายอากาศ รูปแบบความเร็วในแนวรัศมีมีความแตกต่างของความเร็วบริเวณกึ่งกลางไรเซอร์และบริเวณผนังอย่างชัดเจน ซึ่งแสดงถึงรูปแบบการเคลื่อนที่ของของเม็ดแก้วเป็นแบบคอร์-แอนนูลาร์ โดยบริเวณคอร์มีปริมาณเม็ดแก้วอยู่อย่างเบาบางทำให้มีการชนกันของเม็ดแก้วน้อย จึงทำให้ความเร็วของเม็ดแก้วบริเวณคอร์สูงกว่าส่วนของแอนนูลาร์ซึ่งมีปริมาณเม็ดแก้วอยู่อย่างหนาแน่นทำให้เกิดการชนกันของเม็ดแก้วมากกว่าความเร็วของเม็ดแก้วบริเวณแอนนูลาร์จึงช้าลง สอดคล้องกับผลการวิจัยของคันสนีย์ (คันสนีย์, 2005) ,Huilin L. (Huilin L. และคณะ, 2006) และ Gidaspow D. (Gidaspow D. และคณะ, 2004) ที่ความสูง 300 และ 370 เซนติเมตร จากตัวกระจายอากาศ พบว่าเม็ดแก้วมีความเร็วใกล้เคียงกันตลอดทั้งแนวรัศมี เนื่องจากบริเวณนี้มีความหนาแน่นของเม็ดแก้วต่ำที่สุด โอกาสที่เม็ดแก้วจะรวมกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่หรือคลัสเตอร์(Cluster) ลดลง อนุภาคเกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอตลอดแนวรัศมี ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Parssinen J.H. (Parssinen J.H. และคณะ 2005) ที่อธิบายไว้ว่าบริเวณที่มีปริมาณของอนุภาคอยู่อย่างหนาแน่นจะมีโอกาสเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่หรือคลัสเตอร์ของอนุภาคมากขึ้น เมื่อสังเกตรูปแบบความเร็วตลอดแนวรัศมีจนถึงด้านบนของไรเซอร์ พบว่าบริเวณคอร์ขยายบริเวณจากกึ่งกลางไรเซอร์ไปยังผนังไรเซอร์เมื่อความสูงของไรเซอร์เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Bai D. (Bai D. และคณะ, 1995) ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวของไอน้ำมัน (FCC) เป็นวัสดุเบด ในเครื่องฟลูอิดไคต์เบดแบบหมุนเวียนที่มีไรเซอร์สูง 3 เมตร

รูปที่ 4.6 แสดงความเร็วเม็ดแก้วตลอดความสูงของไรเซอร์ ที่อัตราส่วน r/R เท่ากับ 0, 0.24, 0.72 และ 1 เมื่อความเร็วอากาศคงที่เท่ากับ 9 เมตรต่อวินาที และอัตราการหมุนเวียนของแข็งเท่ากับ 80 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวินาที พบว่าที่กึ่งกลางไรเซอร์และบริเวณใกล้เคียง ($r/R = 0$ และ 0.24) ความเร็วเม็ดแก้วเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ตำแหน่ง 60 เซนติเมตร จากตัวกระจายอากาศ โดยความเร็วของเม็ดแก้วเพิ่มขึ้นเมื่อความสูงของไรเซอร์เพิ่มขึ้น และความเร็วของเม็ดแก้วเริ่มคงที่ที่ตำแหน่ง 300 เซนติเมตร จากตัวกระจายอากาศ บริเวณใกล้ผนัง ($r/R = 0.72$) พบว่าความเร็วของเม็ดแก้วที่ตำแหน่ง 30 และ 60 เซนติเมตร จากตัวกระจายอากาศ เพิ่มขึ้น

เล็กน้อยหรือเกือบคงที่ โดยความเร็วของเม็ดแก้วเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ตำแหน่งความสูง 180 เซนติเมตร จากตัวกระจายอากาศ และบริเวณผนังโรเตอร์ ($r/R = 1$) ความเร็วของเม็ดแก้วเกือบคงที่ที่ตำแหน่งต่ำกว่า 300 เซนติเมตร จากตัวกระจายอากาศ โดยที่ตำแหน่ง 300 เซนติเมตร จากตัวกระจายอากาศ ความเร็วของเม็ดแก้วเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ตำแหน่งกึ่งกลางโรเตอร์พบการเคลื่อนที่ของเม็ดแก้วด้วยความเร่งตั้งแต่ทางด้านล่างของโรเตอร์ โดยบริเวณใกล้เคียงผนังโรเตอร์ พบการเคลื่อนที่ของเม็ดแก้วด้วยความเร่งที่ตอนกลางของโรเตอร์ และบริเวณผนังพบการเคลื่อนที่ของเม็ดแก้วด้วยความเร่งที่ด้านบนของโรเตอร์ นั้นแสดงได้ว่าการเคลื่อนที่ของเม็ดแก้วด้วยความเร่งจากการสัมผัสกันระหว่างเม็ดแก้วและอากาศเริ่มที่บริเวณกึ่งกลางโรเตอร์ และขยายไปยังผนังโรเตอร์เมื่อความสูงของโรเตอร์เพิ่มขึ้น Parssinen J.H.(Parssine J.H. และคณะ, 2005)



รูปที่ 4.5 ความเร็วตามแนวรัศมีของเม็ดแก้วในระบบเม็ดแก้ว-อากาศ ที่ตำแหน่งความสูง 30, 60, 180, 300 และ 370 เซนติเมตรจากตัวกระจายอากาศ ที่ความเร็วอากาศ 9 เมตรต่อวินาที

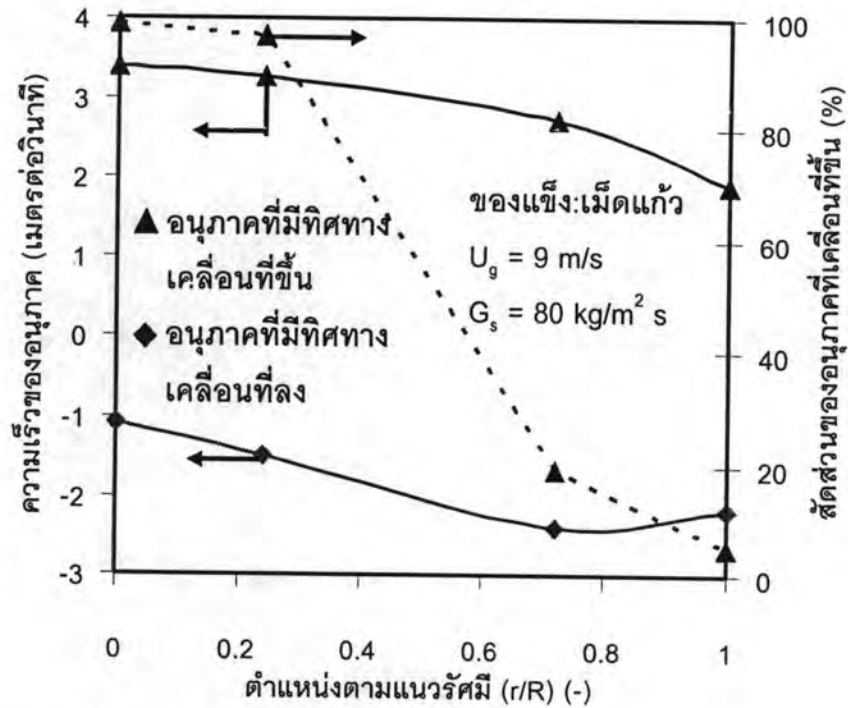


รูปที่ 4.6 ความเร็วเม็ดแก้วตลอดความสูงโรเตอร์ ที่ตำแหน่งต่างๆ ตามแนวรัศมี ที่ความเร็วอากาศ 9 เมตรต่อวินาที

4.1.5 ทิศทางการเคลื่อนที่ของเม็ดแก้วภายในโรเตอร์

รูปที่ 4.7 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ และสัดส่วนของเม็ดแก้วที่เคลื่อนที่ขึ้นตลอดแนวรัศมี โดยใช้แผ่นสี ที่ตำแหน่งความสูง 180 เซนติเมตร จากตัวกระจายอากาศ เมื่อความเร็วอากาศคงที่เท่ากับ 9 เมตรต่อวินาที และอัตราการหมุนเวียนของของแข็งเท่ากับ 80 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวินาที เหตุผลในการเลือกตำแหน่งความสูง 180 เซนติเมตร จากตัวกระจายอากาศ เนื่องจากในหัวข้อที่ 4.1.3 ได้สรุปว่าที่ตำแหน่งความสูง 180 เซนติเมตร เกิดการไหลแบบคอร์-แอนนูลาร์ ดังนั้นเพื่อเป็นการยืนยันจึงได้ทำการศึกษาถึงทิศทางการเคลื่อนที่ของเม็ดแก้วที่ตำแหน่งความสูงนี้ จากรูปที่ 4.7 พบว่าเม็ดแก้วที่เคลื่อนที่ขึ้นมีความเร็วสูงสุดที่บริเวณกึ่งกลางโรเตอร์ และค่อยลดลงเมื่อเข้าไปใกล้ผนังโรเตอร์ แต่สำหรับเม็ดแก้วที่เคลื่อนที่ลง มีรูปแบบความเร็วตามแนวรัศมีแตกต่างออกไป คือ บริเวณกึ่งกลางโรเตอร์เม็ดแก้วเคลื่อนที่ลงด้วยความเร็วต่ำสุด และค่อยเพิ่มขึ้นเมื่อใกล้ผนังโรเตอร์ แต่ลดลงอีกครั้งที่บริเวณผนังโรเตอร์ และเมื่อพิจารณาสัดส่วนของอนุภาคที่เคลื่อนที่ขึ้นและลงตลอดแนวรัศมี พบว่าบริเวณกึ่งกลางโรเตอร์ ($r/R = 0$ และ 0.24) เม็ดแก้วเคลื่อนที่ขึ้นประมาณร้อยละ 97-99 โดยบริเวณผนังโรเตอร์ ($r/R = 0.72$ และ 1) เม็ดแก้วเคลื่อนที่ขึ้นประมาณร้อยละ 5-20 จะเห็นได้ว่าบริเวณกึ่งกลางโรเตอร์เม็ดแก้วส่วนใหญ่เคลื่อนที่ขึ้น ในขณะที่บริเวณผนังโรเตอร์เม็ดแก้วส่วนใหญ่เคลื่อนที่ลง เนื่องจากในการเคลื่อนที่ของอนุภาคนั้นมีแรงที่กระทำกับ

อนุภาค คือ แรงจากแรงโน้มถ่วง (Gravity Force) แรงลอยตัว (Buoyancy Force) และแรงต้านการเคลื่อนที่ (Drag Force) (Grace J.R., และคณะ, 1997 และ Parsinen J.H. และคณะ, 2005) โดยในตอนต้นที่ 4.1.3 สรุปไว้ว่าที่ตำแหน่งความสูงเท่ากับ 180 เซนติเมตร จากตัวกระจายอากาศเกิดการไหลแบบคอร์-แอนนูลาร์ ซึ่งที่บริเวณผนังและบริเวณใกล้เคียง ($r/R = 1$ และ 0.72 ตามลำดับ) เป็นการไหลแบบแอนนูลาร์ มีความหนาแน่นของเม็ดแก้วสูง ดังนั้นเม็ดแก้วที่เคลื่อนที่บริเวณแอนนูลาร์จึงมีโอกาสรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่หรือคลัสเตอร์ (Benyahia S. และคณะ, 2000) โดยขนาดของแรงโน้มถ่วงของโลกขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค ดังนั้นอนุภาคที่อยู่ในบริเวณแอนนูลาร์จึงมีแรงกระทำจากแรงโน้มถ่วงของโลกเพิ่มขึ้น และผลเนื่องจากแรงต้านการเคลื่อนที่ลดลง (Parsinen J.H. และคณะ, 2005) จึงทำให้เม็ดแก้วเคลื่อนที่ลงเป็นส่วนใหญ่ โดยความเร็วของเม็ดแก้วที่เคลื่อนที่ขึ้นลดลง และความเร็วของเม็ดแก้วที่เคลื่อนที่ลงเพิ่มขึ้น แต่ที่บริเวณผนังมีความเร็วของเม็ดแก้วที่เคลื่อนที่ลงลดลงจากบริเวณใกล้เคียงอาจเนื่องมาจากแรงเสียดทานของเม็ดแก้วกับผนัง สำหรับบริเวณกึ่งกลางไรเซอร์และบริเวณใกล้เคียง ($r/R = 0$ และ 0.24 ตามลำดับ) ความเร็วอากาศมีความเร็วสูงกว่าบริเวณผนังเนื่องจากการไหลแบบคอร์ และมีความหนาแน่นของเม็ดแก้วต่ำ ดังนั้นเม็ดแก้วบริเวณคอร์มีโอกาสรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่หรือคลัสเตอร์ลดลง ซึ่งทำให้แรงที่กระทำจากแรงโน้มถ่วงของโลกลดลง โดยผลของแรงต้านการเคลื่อนที่และแรงลอยตัวเพิ่มขึ้น (Grace J.R. และคณะ, 1997) จึงทำให้เม็ดแก้วส่วนใหญ่เคลื่อนที่ขึ้นโดยความเร็วของเม็ดแก้วที่มีทิศทางการเคลื่อนที่ขึ้นมากกว่าบริเวณแอนนูลาร์ และความเร็วของเม็ดแก้วที่เคลื่อนที่ลงน้อยกว่าบริเวณแอนนูลาร์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Zhou J. (Zhou J. และคณะ, 1995) ที่ใช้ทรายเป็นวัสดุเบด ในเครื่องฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียนที่มีไรเซอร์สูง 9.4 เมตร



รูปที่ 4.7 ความเร็วของเม็ดแก้วในระบบเม็ดแก้ว-อากาศ ที่มีทิศทางเคลื่อนที่ขึ้นและลง และ สัดส่วนของเม็ดแก้วที่มีทิศทางเคลื่อนที่ขึ้น ในตำแหน่งความสูง 180 เซนติเมตร จากตัว กระจายอากาศ ที่ความเร็วอากาศเท่ากับ 9 เมตรต่อวินาที

4.2 ผลของอนุภาคขนาดใหญ่ที่มีต่ออุทกพลศาสตร์ของเม็ดแก้ว

การทดลองในหัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอนุภาคขนาดใหญ่ที่มีต่ออุทกพลศาสตร์ของเม็ดแก้ว โดยในการทดลองได้ผสมเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีน (HDPE) 5% โดยปริมาตรในเม็ดแก้วที่มีปริมาณเริ่มต้น 10 กิโลกรัม

4.2.1. ผลของความเร็วอากาศที่มีต่อความดันและสัดส่วนช่องว่าง

รูปที่ 4.8 แสดงรูปแบบความดันอากาศตลอดความสูงของโรเตอร์ของระบบที่มีและไม่มี การผสมเม็ดพลาสติก ที่ความเร็วอากาศ 7, 8 และ 9 เมตรต่อวินาที พบอัตราการหมุนเวียนของ ของแข็งในระบบที่มีการผสมเม็ดพลาสติกอยู่ในช่วง 97-106 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวินาที เมื่อ พิจารณารูปแบบความดันอากาศภายในโรเตอร์ของระบบที่มีการผสมเม็ดพลาสติกพบว่าเมื่อ ความเร็วอากาศเพิ่มขึ้นความดันของอากาศภายในโรเตอร์เพิ่มขึ้น แต่ความดันของอากาศลดลง เมื่อความสูงของโรเตอร์เพิ่มขึ้นที่ทุกความเร็วอากาศ ซึ่งมีรูปแบบคล้ายคลึงกับระบบที่ไม่มีการผสม เม็ดพลาสติก แต่จะเห็นว่าความชันของเส้นกราฟความดันของอากาศของระบบที่มีการผสมเม็ด พลาสติกมากกว่าความชันของเส้นกราฟของระบบที่ไม่มีการผสมเม็ดพลาสติกนั่นคือความดันลด ครอบโรเตอร์ในระบบที่มีการผสมเม็ดพลาสติกน้อยกว่าในระบบที่ไม่มีการผสมเม็ดพลาสติก แสดง

ได้ว่าอนุภาคขนาดใหญ่ช่วยให้เม็ดแก้วสะสมอยู่ทางด้านล่างลดลง และเม็ดแก้วเคลื่อนที่ขึ้นไปทางด้านบนของโรเตอร์เพิ่มขึ้น (Choi J.-H. และคณะ, 1995)

รูปที่ 4.9 แสดงสัดส่วนช่องว่างตลอดความสูงของโรเตอร์ของระบบเม็ดแก้วที่มีและไม่มี การผสมเม็ดพลาสติก ที่ความเร็วอากาศ 7,8 และ 9 เมตรต่อวินาที โดยอัตราการหมุนเวียนของ ของแข็งของระบบที่มีการผสมเม็ดพลาสติกอยู่ในช่วง 97-106 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวินาที พบว่าสามารถแบ่งรูปแบบการไหลของเม็ดแก้วที่ความเร็วอากาศต่างๆ ได้ 2 รูปแบบ ได้แก่ ที่ ความเร็วอากาศเท่ากับ 7 เมตรต่อวินาที พบรูปแบบการขนส่งแบบเบตหนาแน่น และที่ความเร็ว อากาศเท่ากับ 8 และ 9 เมตรต่อวินาที พบรูปแบบการขนส่งแบบฟลูอิโดซ์เบตที่สภาวะความเร็วสูง ซึ่งได้อธิบายไว้ในตอนที่ 4.1.2 เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนช่องว่างของระบบเม็ดแก้วที่มีและไม่มี การผสมเม็ดพลาสติก โดยแบ่งช่วงการพิจารณาออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงทางด้านล่างของโรเตอร์ ช่วงกึ่งกลางโรเตอร์ และช่วงทางด้านบนของโรเตอร์

ในทางด้านล่างของโรเตอร์ (ที่ตำแหน่งความสูง 60 เซนติเมตร จากตัวกระจายอากาศ) โดยระหว่างการทดลองสามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่าอย่างชัดเจนว่าปริมาณของเม็ดแก้วทาง ด้านล่างของโรเตอร์ ในระบบที่มีการผสมเม็ดพลาสติกมีปริมาณของเม็ดแก้วน้อยกว่าระบบที่ไม่มี การผสมเม็ดพลาสติก โดยสอดคล้องกับสัดส่วนช่องว่างที่คำนวณได้จากสมการที่ 4.1 ซึ่งพบว่าใน ระบบที่มีการผสมเม็ดพลาสติกมีค่าสัดส่วนช่องว่างทางด้านล่างของโรเตอร์มากกว่าระบบที่ไม่มี การผสมเม็ดพลาสติก (ยกตัวอย่างเช่น ที่ความเร็วอากาศเท่ากับ 7 เมตรต่อวินาที ในระบบที่ไม่มี การผสมเม็ดพลาสติกพบว่าสัดส่วนช่องว่างทางด้านล่างของโรเตอร์อยู่ในช่วง 0.90 ซึ่งในระบบที่มี การผสมเม็ดพลาสติกอยู่ในช่วง 0.94) และเมื่อพิจารณาบริเวณกึ่งกลางและที่ด้านบนโรเตอร์ พบว่าสัดส่วนช่องว่างของทั้งสองระบบคล้ายคลึงกัน อาจเนื่องมาจากอนุภาคขนาดใหญ่ช่วยลด การรวมกลุ่มกันของเม็ดแก้ว โดยเฉพาะบริเวณทางด้านล่างของโรเตอร์ซึ่งเป็นส่วนที่มีปริมาณของ เม็ดแก้วอยู่อย่างหนาแน่น จึงทำให้เม็ดแก้วสามารถเคลื่อนที่ภายในอากาศได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้การ สะสมเม็ดแก้วที่บริเวณด้านล่างโรเตอร์ลดลง และเคลื่อนที่ขึ้นไปทางด้านบนโรเตอร์เพิ่มขึ้น โดย บริเวณกึ่งกลางและทางด้านบนโรเตอร์มีการสะสมของเม็ดแก้วเบาบางกว่าที่ด้านล่างของโรเตอร์ จึงไม่ค่อยเห็นผลการเปลี่ยนแปลงมากนัก และซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kim S.H. (Kim S.H. และคณะ, 1999) ที่ทำการศึกษาผลของอนุภาคขนาดใหญ่ที่มีต่ออุทกพลศาสตร์ของ อนุภาคขนาดเล็ก ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของเม็ดแก้วที่มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ ที่ผสมในผงพอลิเอทิลีน และพีวีซี ซึ่งอนุภาคมีขนาดเล็ก สำหรับบริเวณกึ่งกลางและด้านบนของโรเตอร์

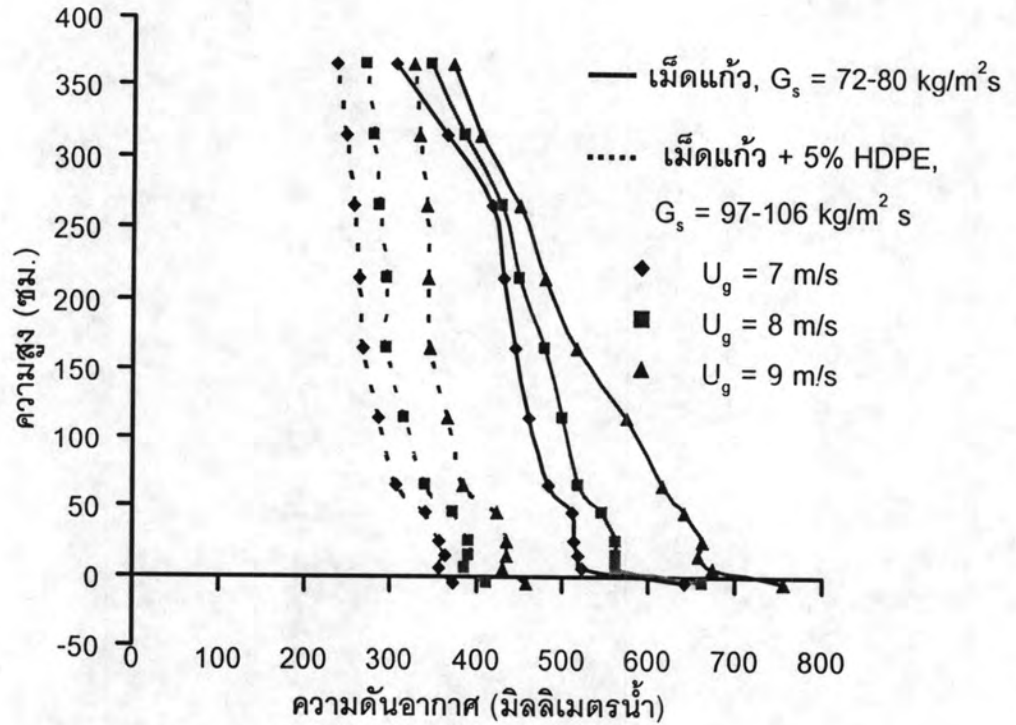
เมื่อพิจารณาที่ความเร็วอากาศ 7 เมตรต่อวินาที พบว่าที่ระบบของเม็ดแก้วที่มีการผสม เม็ดพลาสติกมีช่วงเบตหนาแน่นทางด้านล่างอยู่ในช่วงความสูง 50-150 เซนติเมตร จากตัว กระจายอากาศ สำหรับระบบของเม็ดแก้วที่ไม่มีส่วนผสมเม็ดพลาสติกมีช่วงเบตหนาแน่นทาง

ด้านล่างอยู่ในช่วงความสูง 50-200 เซนติเมตร จากตัวกระจายอากาศ ซึ่งจะเห็นได้ว่าช่วงเบดหนาแน่นทางด้านล่างในระบบที่มีการผสมเม็ดพลาสติกมีความกว้างน้อยกว่าในระบบที่มีการผสมเม็ดพลาสติก

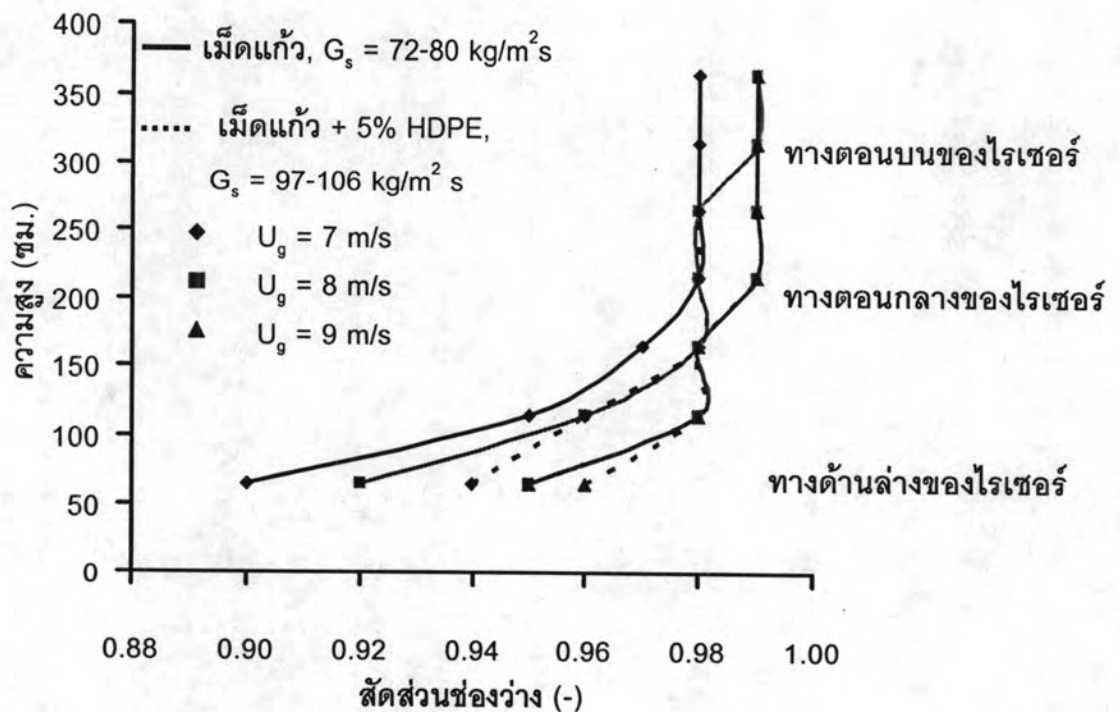
และที่ความเร็วอากาศ 8 และ 9 เมตรต่อวินาที สำหรับระบบที่มีการผสมเม็ดพลาสติก มีช่วงการเปลี่ยนแปลง ที่ตำแหน่งความสูง 65-200 เซนติเมตร ในทั้งสองความเร็วอากาศ โดยที่ระบบที่ไม่มีการผสมเม็ดพลาสติก มีช่วงการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 100-300 เซนติเมตร ที่ความเร็วอากาศเท่ากับ 8 เมตรต่อวินาที และอยู่ในช่วงที่ 65-200 เซนติเมตร ที่ความเร็วอากาศเท่ากับ 9 เมตรต่อวินาที ดังนั้นจะเห็นได้ว่ารูปแบบสัดส่วนช่องว่างตลอดความสูงของโรเตอร์ที่ความเร็วอากาศเท่ากับ 8 เมตรต่อวินาที ในระบบที่มีการผสมเม็ดพลาสติก มีรูปแบบคล้ายคลึงกับรูปแบบสัดส่วนช่องว่างที่ความเร็วอากาศ 9 เมตรต่อวินาที ของระบบที่ไม่มีการผสมเม็ดพลาสติก นั้นแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการผสมเม็ดพลาสติกในระบบของเม็ดแก้วทำให้รูปแบบการไหลของเม็ดแก้วคล้ายคลึงกับรูปแบบการไหลของเม็ดแก้วที่ความเร็วอากาศที่สูงกว่าในระบบที่ไม่มีการผสมเม็ดพลาสติก หรือมีการพัฒนารูปแบบการไหลที่เร็วขึ้น (Fast flow develop) แต่รูปแบบสัดส่วนช่องว่างที่ความเร็วอากาศ 9 เมตรต่อวินาที ของระบบที่มีและไม่มีการผสมเม็ดพลาสติกคล้ายคลึงกัน อาจเนื่องมาจากที่ความเร็วอากาศนี้มีการกระจายตัวของเม็ดแก้วภายในโรเตอร์อยู่อย่างเบาบาง ดังนั้นจึงไม่เห็นผลการเปลี่ยนแปลงมากนัก

จากการเปรียบเทียบรูปแบบสัดส่วนช่องว่างตลอดความสูงของโรเตอร์ ในรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าการเคลื่อนที่ของเม็ดแก้วภายในโรเตอร์ของระบบที่มีการผสมเม็ดพลาสติกมีการเคลื่อนที่ได้ดีขึ้น เนื่องจากมีความกว้างของช่วงเบดหนาแน่นลดลง โดยมีความกว้างของช่วงเบดเบาบางทางด้านบนเพิ่มขึ้น และมีการพัฒนารูปแบบการไหลที่เร็วขึ้น ซึ่งแสดงว่าอนุภาคขนาดใหญ่ช่วยให้เม็ดแก้วเคลื่อนที่ได้ดีขึ้น





รูปที่ 4.8 ความดันอากาศตลอดความสูงของโรเซอริในระบบเม็ดแก้ว-อากาศ และเม็ดแก้ว-เม็ดพลาสติก-อากาศ ที่ความเร็วอากาศในช่วง 7-9 เมตรต่อวินาที



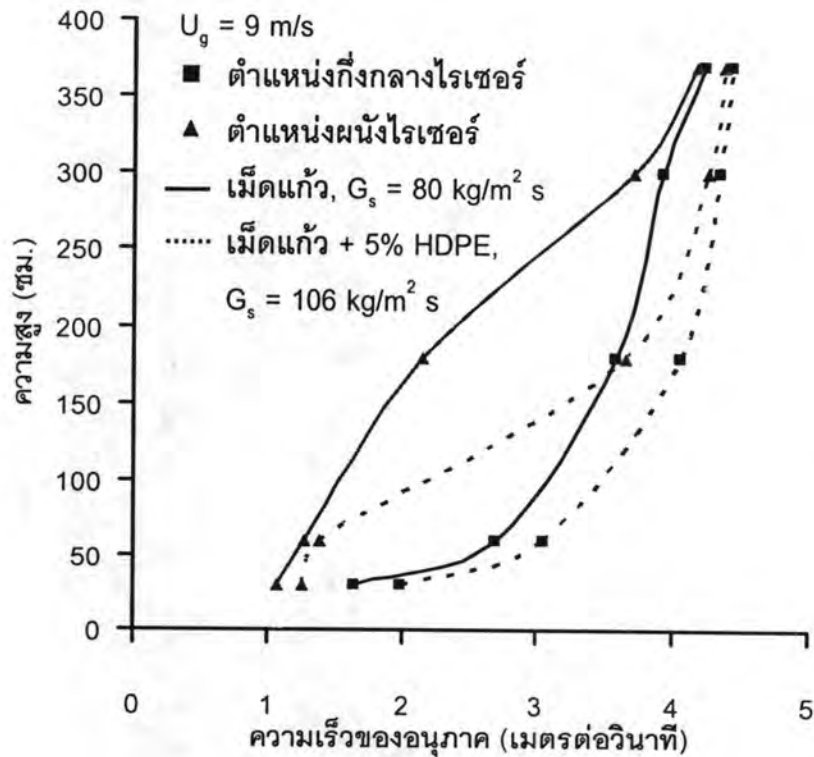
รูปที่ 4.9 สัดส่วนช่องว่างของอากาศตลอดความสูงของโรเซอริของโรเซอริในระบบเม็ดแก้ว-เม็ดพลาสติก-อากาศ ที่ความเร็วอากาศในช่วง 7-9 เมตรต่อวินาที

4.2.2 ผลของอนุภาคขนาดใหญ่ที่มีต่อความเร็วของเม็ดแก้วตลอดความสูงไรเซอร์

รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบความเร็วของเม็ดแก้วตลอดความสูงของไรเซอร์ระหว่างระบบที่มีและไม่มีการผสมเม็ดพลาสติก ณ บริเวณกึ่งกลางและผนังไรเซอร์ ที่ความเร็วอากาศเท่ากับ 9 เมตรต่อวินาที โดยอัตราการหมุนเวียนของของแข็งในระบบที่มีและไม่มีการผสมเม็ดพลาสติกเท่ากับ 106 และ 80 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ สาเหตุที่อัตราการหมุนเวียนของของแข็งทั้งสองระบบไม่เท่ากัน โดยระบบที่มีการผสมเม็ดพลาสติกมีอัตราการหมุนเวียนของของแข็งมากกว่าระบบที่ไม่มีการผสมเม็ดพลาสติกประมาณร้อยละ 32 นั้นแสดงให้เห็นว่าการผสมเม็ดพลาสติกทำให้การไหลของเม็ดแก้วดีขึ้น ที่ช่องเปิดของวาล์วควบคุมการป้อนกลับของเม็ดแก้วที่ท่อส่งผ่านคองท์ ซึ่งได้ทดลองทำการควบคุมอัตราการหมุนเวียนของของแข็งของระบบที่มีการผสมเม็ดพลาสติกให้เท่ากับ 80 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวินาที พบว่าภายในไรเซอร์มีปริมาณของเม็ดแก้วอยู่อย่างเบาบาง ทำให้การเคลื่อนที่ของเม็ดแก้วภายในไรเซอร์ไม่ได้อยู่ในขอบเขตของฟลูอิดเซชันที่ความเร็วสูง ซึ่งเป็นรูปแบบการไหลที่ต้องการในงานวิจัยนี้

เมื่อพิจารณารูปแบบความเร็วตลอดความสูงของไรเซอร์ที่บริเวณกึ่งกลางไรเซอร์ พบว่ามีรูปแบบเช่นเดียวกันกับในระบบที่ไม่มีการผสมเม็ดพลาสติก และสามารถแบ่งช่วงการไหลของเม็ดแก้วภายในไรเซอร์ได้ 3 ช่วงเช่นเดียวกัน ได้แก่ ช่วงทางด้านล่าง ช่วงหนาแน่นทางด้านล่าง และช่วงความเร่ง ซึ่งได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 4.1.3

เมื่อพิจารณาที่รูปแบบความเร็วของเม็ดแก้วตลอดความสูงของไรเซอร์ที่บริเวณผนัง พบว่าในระบบที่ไม่มีการผสมเม็ดพลาสติกความเร็วของเม็ดแก้วเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ที่ตำแหน่งความสูง 300 เซนติเมตร จากตัวกระจายอากาศ โดยความเร็วของเม็ดแก้วที่บริเวณกึ่งกลางไรเซอร์และบริเวณผนังมีความเร็วใกล้เคียงกันที่ตำแหน่งความสูงนี้ แต่ในระบบที่มีการผสมเม็ดพลาสติกพบว่าความเร็วของเม็ดแก้วเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ตำแหน่งความสูง 180 เซนติเมตร จากตัวกระจายอากาศ และพบว่าความเร็วของเม็ดแก้วที่บริเวณผนังและบริเวณกึ่งกลางไรเซอร์มีค่าใกล้เคียงกันที่ตำแหน่งความสูงนี้ ซึ่งเห็นได้ว่าระบบที่มีการผสมเม็ดพลาสติกความเร็วของเม็ดแก้วใกล้เคียงกันตลอดแนวรัศมีที่ตำแหน่งความสูงลดลง แสดงได้ว่าอนุภาคขนาดใหญ่ช่วยทำให้ลักษณะการไหลของเม็ดแก้วตามแนวรัศมีมีความสม่ำเสมอมากขึ้น เนื่องจากลักษณะการไหลของอนุภาคขนาดใหญ่มีทิศทางเคลื่อนที่ลง จึงมีการเคลื่อนที่บริเวณผนังท่อ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Hirschberg B. (Hirschberg B. และคณะ, 1998) ซึ่งอธิบายว่าของแข็งขนาดใหญ่ที่ผสมอยู่นั้น ส่วนใหญ่จะเคลื่อนที่ลงอยู่บริเวณผนังมากกว่าที่จะเคลื่อนที่ขึ้นที่บริเวณกึ่งกลางท่อ ดังนั้นการมีอนุภาคขนาดใหญ่ที่บริเวณผนัง จึงทำให้เม็ดแก้วที่มีการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่หรือคลัสเตอร์ (cluster) บริเวณผนังเกิดการแตกออกเป็นกลุ่มก้อนขนาดเล็กลงจึงทำให้เคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น



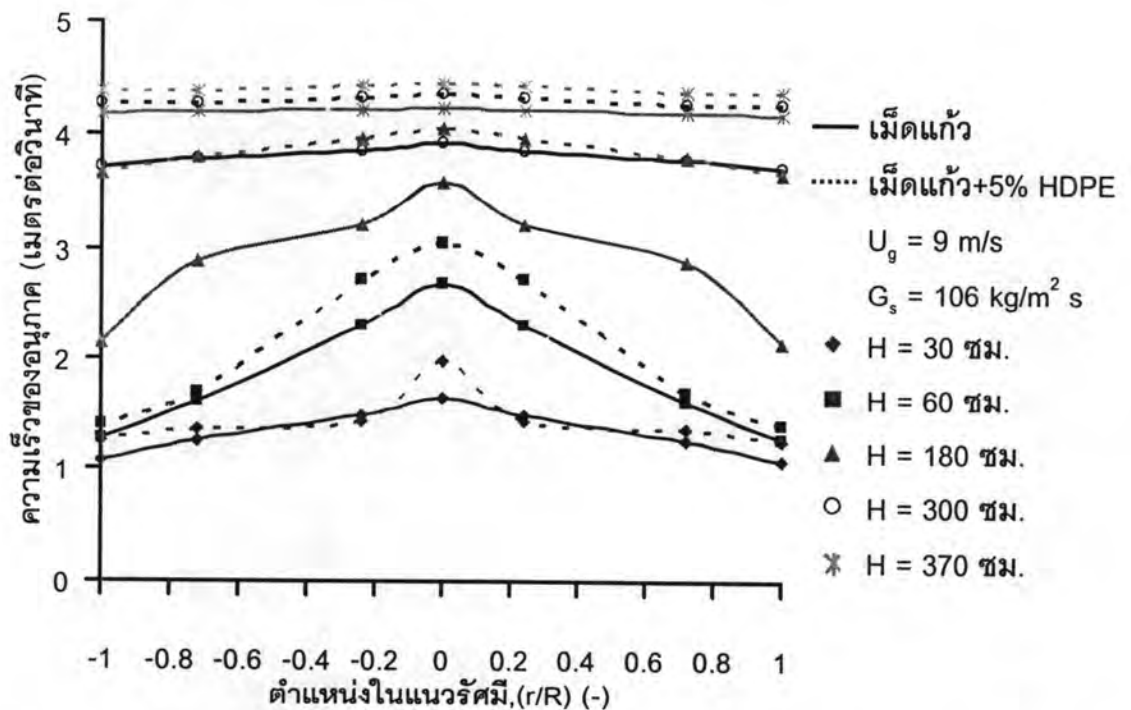
รูปที่ 4.10 ความเร็วของเม็ดแก้วตลอดความสูงของโรเตอร์ในระบบที่มีและไม่มีการผลิตเม็ดพลาสติก (HDPE) 5% โดยปริมาตร ที่บริเวณกึ่งกลางและผนังของท่อโรเตอร์ ความเร็วอากาศ 9 เมตรต่อวินาที

4.2.3 ผลของอนุภาคขนาดใหญ่ที่มีต่อความเร็วตามแนวรัศมีของเม็ดแก้ว

รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบความเร็วตามแนวรัศมีของเม็ดแก้วในระบบที่มีและไม่มีการผลิตเม็ดพลาสติก ที่ 5 ตำแหน่งตามแนวความสูงของโรเตอร์ และความเร็วอากาศเท่ากับ 9 เมตรต่อวินาที โดยอัตราการหมุนเวียนของของแข็งของระบบที่มีการผลิตเม็ดพลาสติกเท่ากับ 106 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวินาที และสำหรับระบบที่ไม่มีการผลิตเม็ดพลาสติกเท่ากับ 80 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวินาที พบว่าทางด้านล่างโรเตอร์ ได้แก่ ที่ตำแหน่งความสูง 30 และ 60 เซนติเมตร จากตัวกระจายอากาศ ความเร็วตามแนวรัศมีของเม็ดแก้วในระบบที่มีและไม่มีการผลิตเม็ดพลาสติก มีรูปแบบความเร็วที่คล้ายคลึงกัน แต่ที่ตำแหน่งความสูง 180 เซนติเมตร รูปแบบความเร็วตามแนวรัศมีของเม็ดแก้วในระบบที่มีและไม่มีการผลิตเม็ดพลาสติก มีความแตกต่างกันอย่างมาก โดยในระบบที่มีเฉพาะเม็ดแก้วบริเวณกึ่งกลางโรเตอร์เม็ดแก้วมีความเร็วมากที่สุดและลดลงเมื่อเข้าใกล้ผนัง แต่ในระบบที่มีการผลิตเม็ดพลาสติก พบว่าเม็ดแก้วมีความแตกต่างของความเร็วในแนวรัศมีเพียงเล็กน้อย ส่วนทางด้านบนโรเตอร์ รูปแบบความเร็วตามแนวรัศมีของเม็ดแก้วของทั้งสองระบบมีรูปแบบคล้ายคลึงกัน โดยความเร็วของเม็ดแก้วในระบบที่มีการผลิตเม็ดพลาสติกสูงกว่าความเร็วของเม็ดแก้วในระบบที่ไม่มีการผลิตเม็ดพลาสติกทุกๆ ตำแหน่ง แสดงถึง

ผลของอนุภาคขนาดใหญ่มีผลต่อรูปแบบความเร็วตามแนวรัศมีของเม็ดแก้วที่ตำแหน่งกึ่งกลางและด้านบนของโรเตอร์ เนื่องจาก ทางด้านล่างโรเตอร์เม็ดแก้วอยู่กันอย่างหนาแน่น ทำให้มีการชนกันของอนุภาค เกิดการสูญเสียพลังงาน ถึงแม้ว่าการมีอยู่ของอนุภาคขนาดใหญ่ช่วยลดการเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของเม็ดแก้วภายในอากาศได้ง่าย แต่เม็ดแก้วก็ยังเกิดการชนกันเองโดยเฉพาะบริเวณผนังโรเตอร์ ดังนั้นความเร็วของระบบเม็ดแก้วที่มีการผสมเม็ดพลาสติกสูงกว่าระบบที่ไม่มีการผสมเม็ดพลาสติกเฉพาะบริเวณกึ่งกลางโรเตอร์

สำหรับทางด้านบนของโรเตอร์ ในระบบของเม็ดแก้วที่มีการผสมเม็ดพลาสติก มีการกระจายตัวของอนุภาคเป็นอนุภาคขนาดเดียวกันตลอดทั้งแนวรัศมีมากขึ้น ไม่รวมกันเป็นกลุ่มก้อน เนื่องจากเม็ดพลาสติกที่ผสมในระบบเม็ดแก้วส่วนใหญ่จะมีการเคลื่อนที่อยู่บริเวณผนังโรเตอร์ เป็นผลทำให้คลัสเตอร์ของเม็ดแก้วที่บริเวณผนังโรเตอร์แตกออกเป็นอนุภาคขนาดเล็ก โดยอนุภาคขนาดเล็กส่วนใหญ่จะเคลื่อนที่ขึ้น (Hirschberg B. และคณะ, 1998) ดังนั้นจึงทำให้รูปแบบความเร็วตามแนวรัศมีที่ตำแหน่งความสูง 180 เซนติเมตร จากตัวกระจายอากาศ ในระบบที่มีการผสมเม็ดพลาสติกมีรูปแบบความเร็วตลอดแนวรัศมีเป็นเส้นตรง หรือมีความเร็วเท่ากันตลอดทั้งแนวรัศมี



รูปที่ 4.11 ความเร็วตามแนวรัศมีของเม็ดแก้วในระบบที่มีและไม่มีการผสมเม็ดพลาสติกที่ตำแหน่งความสูง 5 ตำแหน่ง จากตัวกระจายอากาศ ที่ความเร็วอากาศ 9 เมตรต่อวินาที

4.3 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับงานวิจัยอื่น

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค่าผลของอนุภาคขนาดใหญ่ที่มีต่ออุทกพลศาสตร์ของเม็ดแก้ว ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Kim S.H.(Kim S.H. และคณะ, 1999) ที่ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลของอนุภาคขนาดใหญ่ที่มีต่อการกวัดไกว (Fluctuation) ของความดันภายในไรเซอร์ แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบรายละเอียดการทดลองระหว่างงานวิจัยนี้กับงานวิจัยของ Kim S.H. (Kim S.H.และคณะ,1999)

รายละเอียดการทดลอง	Kim S.H. (1999)	อ้ออำไพ (2006)
อนุภาคขนาดเล็กที่ใช้ในงานวิจัย (Fine particle)	ผงพลาสติกพอลิเอทิลีน ($d_p=538 \mu\text{m}, \rho_p=370 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$) และพอลิไวนิลคลอไรด์ ($d_p=109 \mu\text{m}, \rho_p=530 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$)	เม็ดแก้ว ($d_p=512 \mu\text{m}, \rho_p=2200 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$)
อนุภาคขนาดใหญ่ที่ใช้ในงานวิจัย (Coarse particle)	เม็ดแก้ว ($d_p=2000 \mu\text{m}, \rho_p=1560 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$)	เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นสูง (HDPE, $d_p=4472 \mu\text{m}, \rho_p=860 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$)
ขนาดของไรเซอร์	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 5 เซนติเมตร และสูง 250 เซนติเมตร	เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน เท่ากับ 5 เซนติเมตร และสูง 400 เซนติเมตร
ปริมาณของอนุภาคขนาดใหญ่ที่ผสม	ร้อยละ 5 โดยปริมาตรของอนุภาคขนาดเล็ก	ร้อยละ 5 โดยปริมาตรของอนุภาคขนาดเล็ก
สภาวะการทดลอง	ความเร็วอากาศ 1.3-1.6 เมตรต่อวินาที	ความเร็วอากาศ 7-9 เมตรต่อวินาที
ตัวแปรที่ทำการศึกษา	การกวัดไกวของความดันภายในไรเซอร์ (Pressure fluctuation)	1) สัดส่วนช่องว่าง 2) ความเร็วของอนุภาคขนาดเล็ก
ผลการทดลอง	การผสมอนุภาคขนาดใหญ่ทำให้การกวัดไกวของความดันภายในไรเซอร์ลดลง	การผสมอนุภาคขนาดใหญ่ทำให้ความเร็วของอนุภาคขนาดเล็กตามแนวรัศมีมีความสม่ำเสมอมากขึ้น

d_p คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของอนุภาค (ไมครอน, μm)

ρ_p คือ ความหนาแน่นของอนุภาค (กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวินาที, $\text{kg/m}^2 \text{ s}$)

จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้และงานวิจัยของ Kim S.H. ซึ่งได้ใช้ของแข็งที่เป็นวัสดุเบดแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4.1 แต่พบว่าผลการทดลองที่ได้ในงานวิจัยมีความสอดคล้องกัน นั่นคือการผสมอนุภาคขนาดใหญ่ช่วยให้การไหลของอนุภาคขนาดเล็กภายในโรเตอร์มีความสม่ำเสมอมากขึ้น เนื่องจากอนุภาคขนาดใหญ่ช่วยลดการรวมตัวของอนุภาคขนาดเล็กเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่หรือคลัสเตอร์