

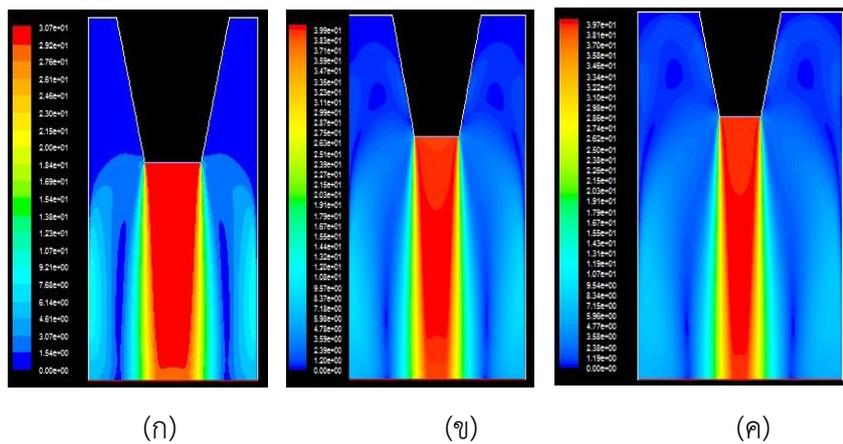
## บทที่ 5

### ผลการสร้างแบบจำลองและการทดลอง

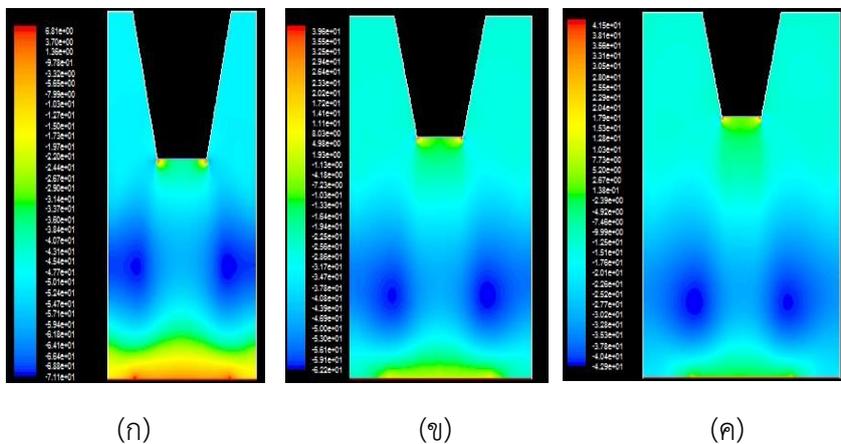
#### 5.1 ผลการสร้างแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลองทำขึ้นเพื่อหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม ( $D_c$ ) และความยาวห้องผสม ( $L_c$ ) โดยกำหนดให้เส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด ( $D_j$ ) เป็น 6 มิลลิเมตรในทุกการสร้างแบบจำลอง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางห้องผสม ( $D_c$ ) กำหนดให้มีค่าเป็น  $3D_j$ ,  $4D_j$ ,  $5D_j$  และที่ความยาวของห้องผสม ( $L_c$ ) มีค่าเป็น  $3D_j$ ,  $6D_j$  และ  $9D_j$  ที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อนาที ผลการสร้างแบบจำลองสามารถแสดงเป็นแผนผังความเร็ว และแผนผังความดันที่ขนาดต่างๆ เพื่อดูพฤติกรรมการไหลของของไหลที่เกิดขึ้นในการสร้างแบบจำลองการไหลด้วยโปรแกรมฟลูเอนท์ (Fluent)

ผลการสร้างแบบจำลองที่มีขนาดของความยาวของห้องผสม ( $L_c$ ) เท่ากับ  $3D_j$  เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม ( $D_c$ ) มีค่าเท่ากับ  $3D_j$ ,  $4D_j$  และ  $5D_j$  แสดงดังรูปที่ 5.1 และ 5.2

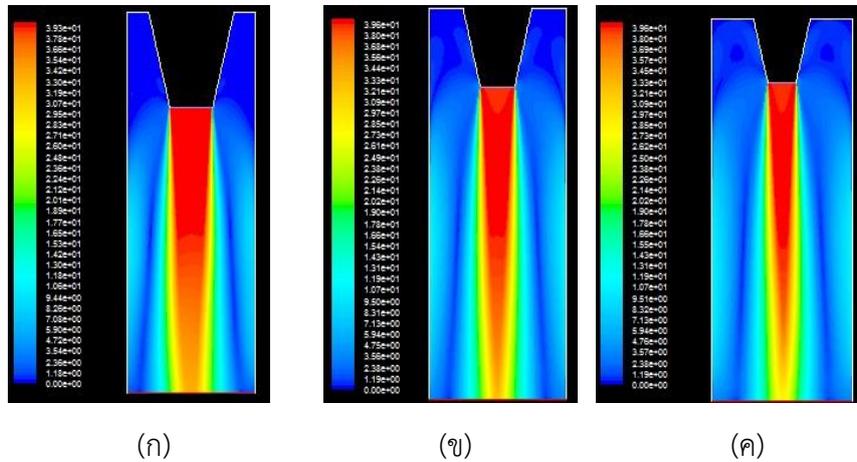


รูปที่ 5.1 แผนผังความเร็วเมื่อ  $L_c$  เท่ากับ  $3D_j$  ที่ (ก)  $D_c = 3D_j$ , (ข)  $D_c = 4D_j$  และ (ค)  $D_c = 5D_j$

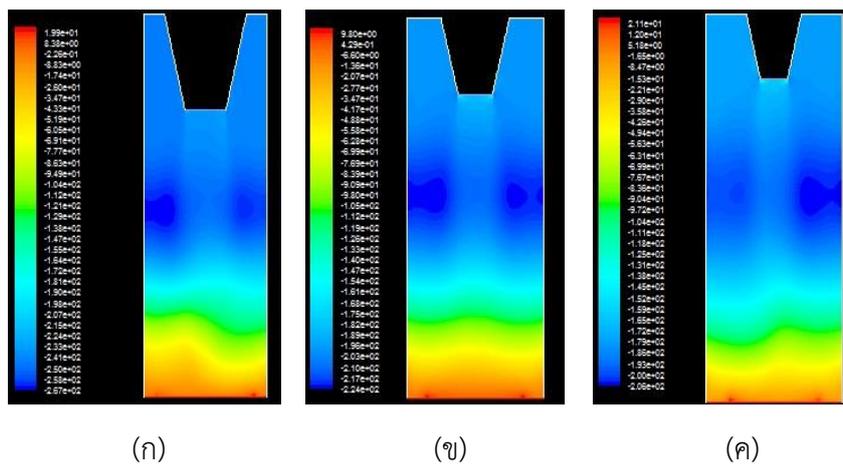


รูปที่ 5.2 แผนผังความดันเมื่อ  $L_c$  เท่ากับ  $3D_j$  ที่ (ก)  $D_c = 3D_j$ , (ข)  $D_c = 4D_j$  และ (ค)  $D_c = 5D_j$

ผลการสร้างแบบจำลองที่มีขนาดของความยาวของห้องผสม ( $L_c$ ) เท่ากับ  $6D_j$  เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของห้องผสม ( $D_c$ ) มีค่าเท่ากับ  $3D_j$ ,  $4D_j$  และ  $5D_j$  แสดงดังรูปที่ 5.3 และ 5.4

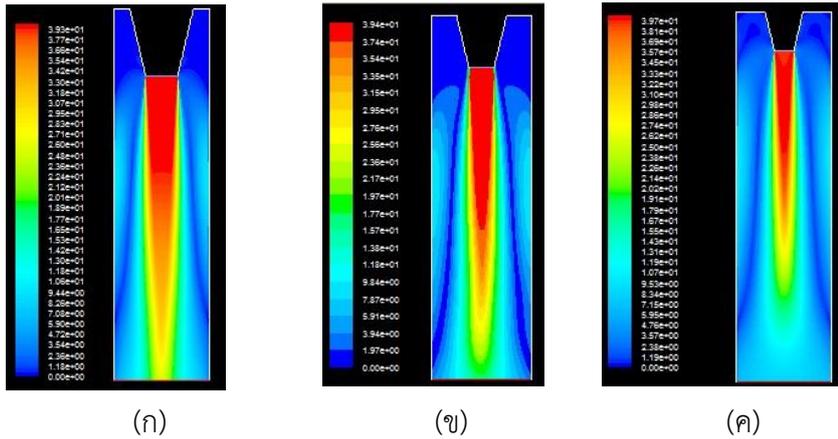


รูปที่ 5.3 แผนผังความเร็วเมื่อ  $L_c$  เท่ากับ  $6D_j$  ที่ (ก)  $D_c = 3D_j$ , (ข)  $D_c = 4D_j$  และ (ค)  $D_c = 5D_j$

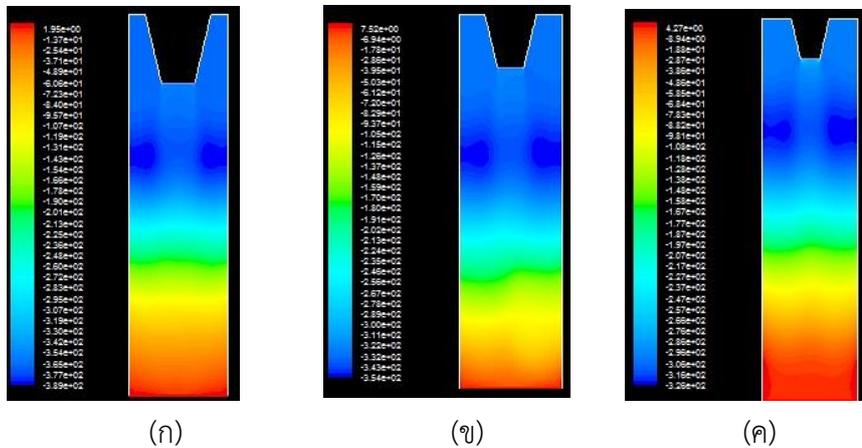


รูปที่ 5.4 แผนผังความดันเมื่อ  $L_c$  เท่ากับ  $6D_j$  ที่ (ก)  $D_c = 3D_j$ , (ข)  $D_c = 4D_j$  และ (ค)  $D_c = 5D_j$

ผลการสร้างแบบจำลองที่มีขนาดของความยาวของห้องผสม ( $L_c$ ) เท่ากับ  $6D_j$  เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของห้องผสม ( $D_c$ ) มีค่าเท่ากับ  $3D_j$ ,  $4D_j$  และ  $5D_j$  แสดงดังรูปที่ 5.5 และ 5.6

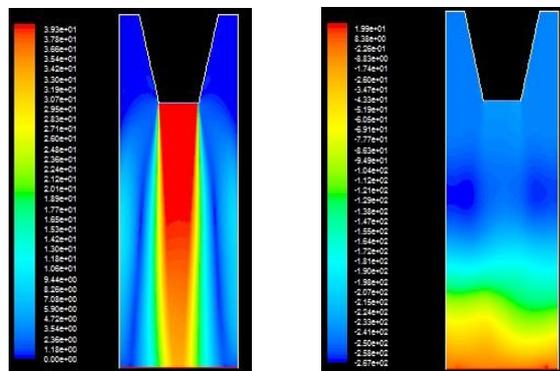


รูปที่ 5.5 แผนผังความเร็วเมื่อ  $L_c$  เท่ากับ  $9D_j$  ที่ (ก)  $D_c = 3D_j$ , (ข)  $D_c = 4D_j$  และ (ค)  $D_c = 5D_j$



รูปที่ 5.6 แผนผังความดันเมื่อ  $L_c$  เท่ากับ  $9D_j$  ที่ (ก)  $D_c = 3D_j$ , (ข)  $D_c = 4D_j$  และ (ค)  $D_c = 5D_j$

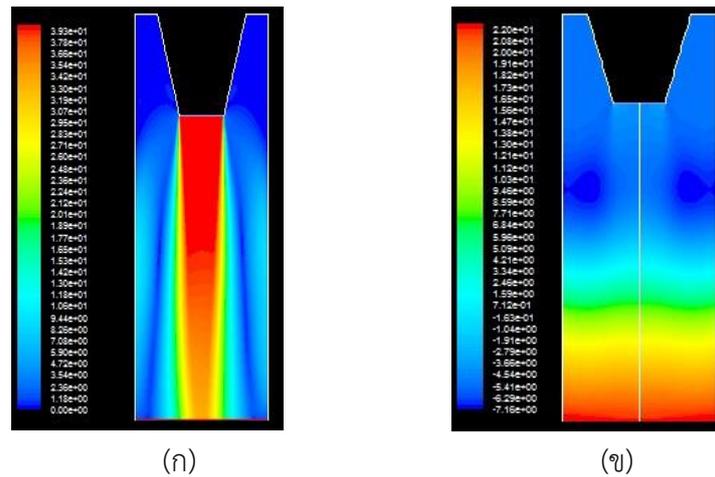
อัตราส่วนเชิงมิติที่เหมาะสมต่อการนำไปคำนวณต่อของเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวห้องผสมคือที่  $D_c = 3D_j$  และ  $L_c = 6D_j$  เพราะเป็นช่วงขนาดที่มีความสมบูรณ์ของแกนกลาง (Core) และการกระจายตัวของเจ็ทโดยไม่เกิดการชนผนัง ดังแสดงในรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 แผนผังความเร็ว (ซ้าย) และแผนผังความดัน (ขวา) ที่  $D_c$  เท่ากับ  $3D_j$  และ  $L_c$  เท่ากับ  $6D_j$

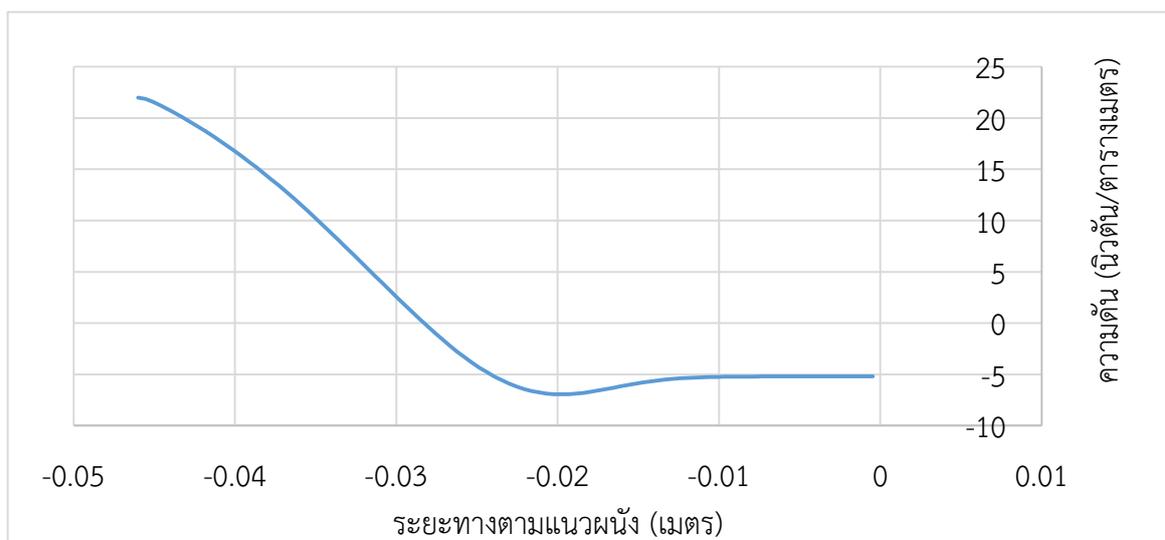
เมื่อได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวที่เหมาะสมของห้องผสมแล้ว การสร้างแบบจำลองในขั้นต่อไปถูกสร้างขึ้นเพื่อพิจารณาตำแหน่งของรูอากาศ ( $L_a$ ) โดยกำหนดให้มีอัตราการไหลของน้ำทั้งหมด 4 ค่า คือ 20.10, 18.67, 17.24, 15.81 ลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่เหมาะสมของรูอากาศสามารถวิเคราะห์ได้จากแผนผังความดัน ณ บริเวณที่มีความดันต่ำที่สุด

เมื่ออัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 20.10 ลิตรต่อนาที แผนผังความดันและแผนผังความเร็วแสดงได้ดังรูปที่ 5.8

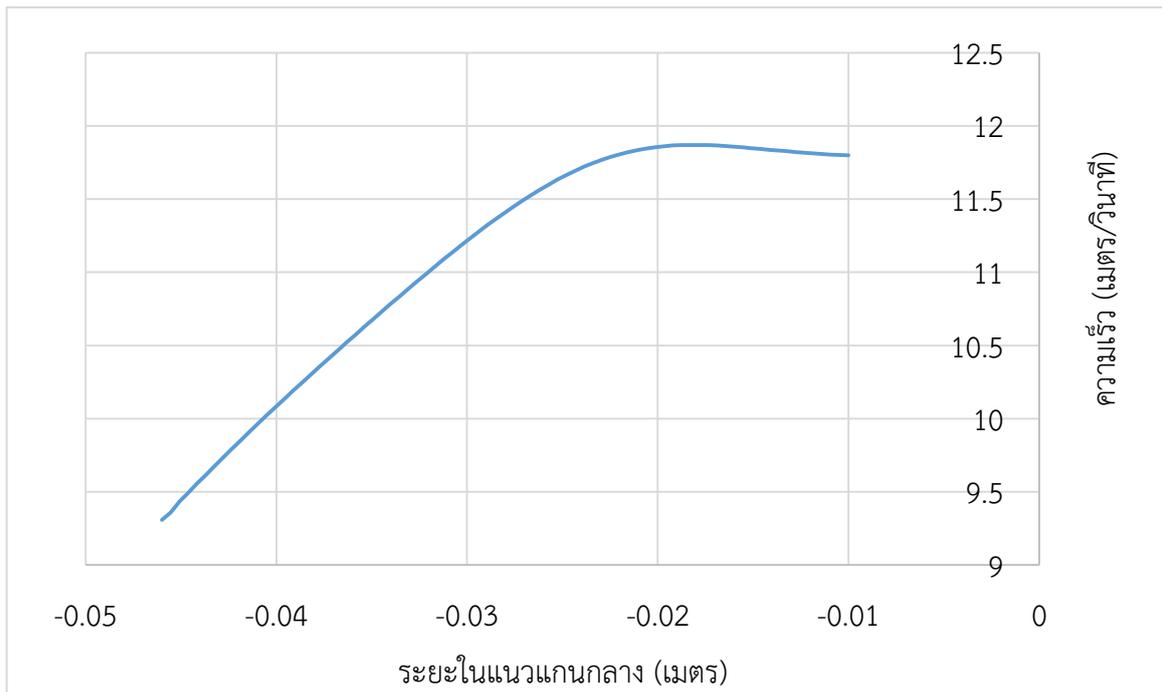


รูปที่ 5.8 (ก) แผนผังความเร็วและ (ข) แผนผังความดัน ที่อัตราการไหลของน้ำ 20.10 ลิตรต่อนาที

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ตำแหน่งต่างๆตามแนวผนังของห้องผสมและความเร็วเจ็ทที่แกนกลางต่อระยะทางจากปลายหัวฉีดเมื่ออัตราการไหลของน้ำเป็น 20.10 ลิตรต่อนาที แสดงดังรูปที่ 5.9 และ 5.10 ตามลำดับ

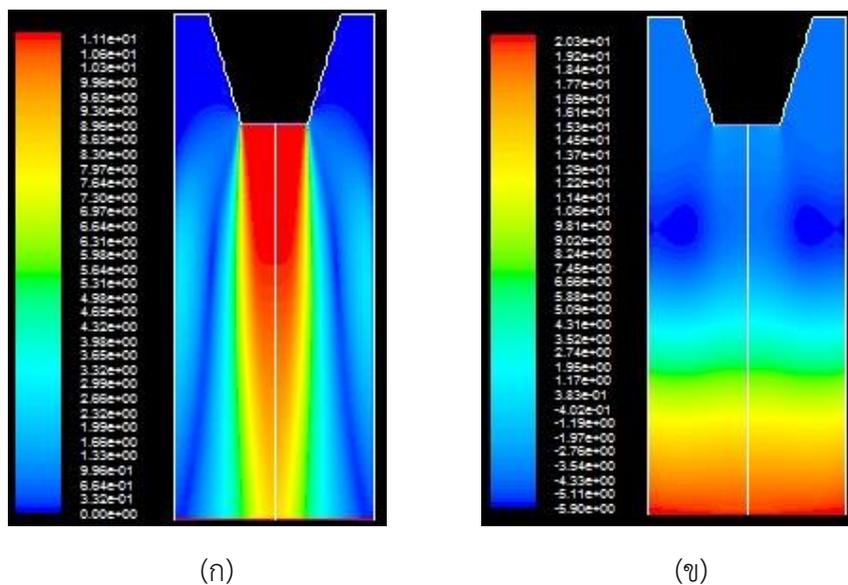


รูปที่ 5.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันและระยะทางตามแนวผนังเมื่ออัตราการไหลเป็น 20.10 ลิตรต่อนาที



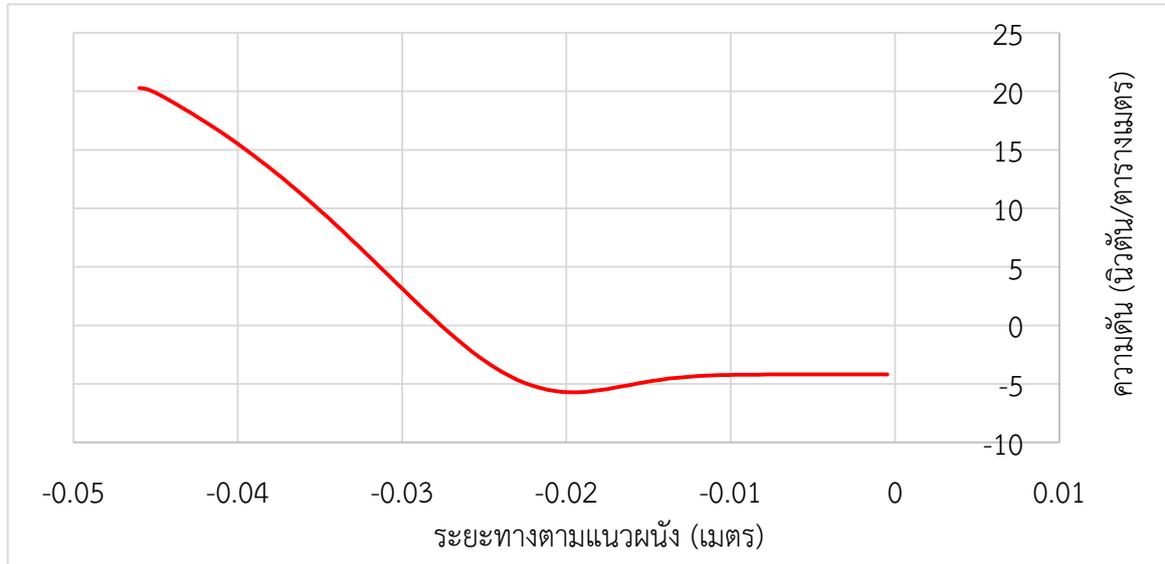
รูปที่ 5.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วแกนกลางของเจ็ทและระยะทางจากปลายหัวฉีด  
เมื่ออัตราการไหลเป็น 20.10 ลิตรต่อนาที

เมื่ออัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 18.6 ลิตรต่อนาที แผนผังความดันและแผนผังความเร็วแสดงได้ดัง  
รูปที่ 5.11

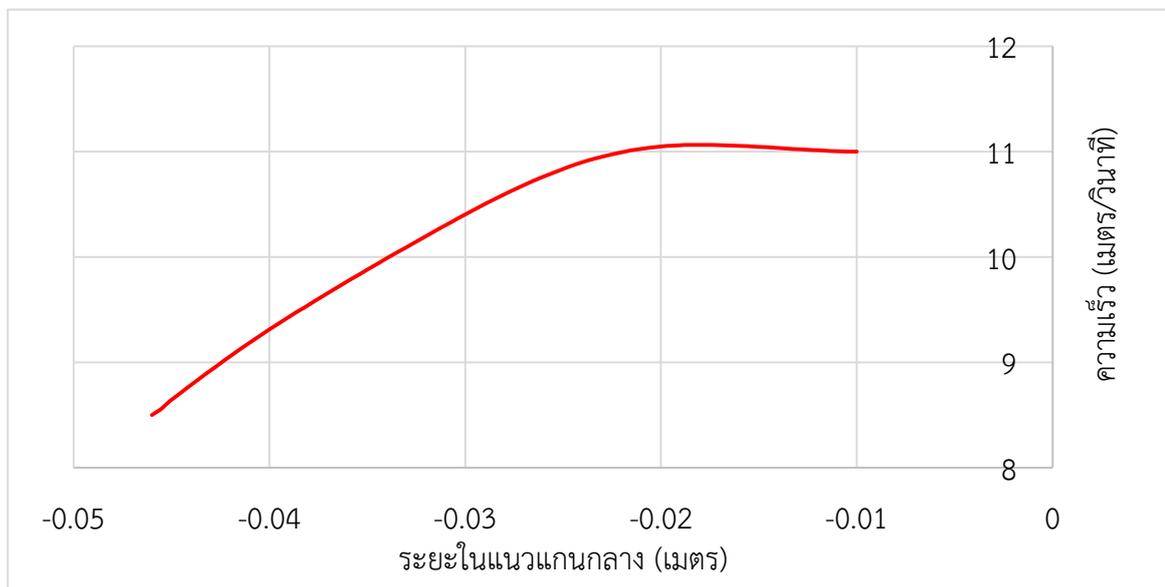


รูปที่ 5.11 (ก) แผนผังความเร็วและ (ข) แผนผังความดัน ที่อัตราการไหลของน้ำ 18.67 ลิตรต่อนาที

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ตำแหน่งต่างๆ ตามแนวผนังของห้องผสมและความเร็วเจ็ทที่แกนกลางต่อระยะทางจากปลายหัวฉีดเมื่ออัตราการไหลของน้ำเป็น 18.67 ลิตรต่อนาที แสดงดังรูปที่ 5.12 และ 5.13 ตามลำดับ

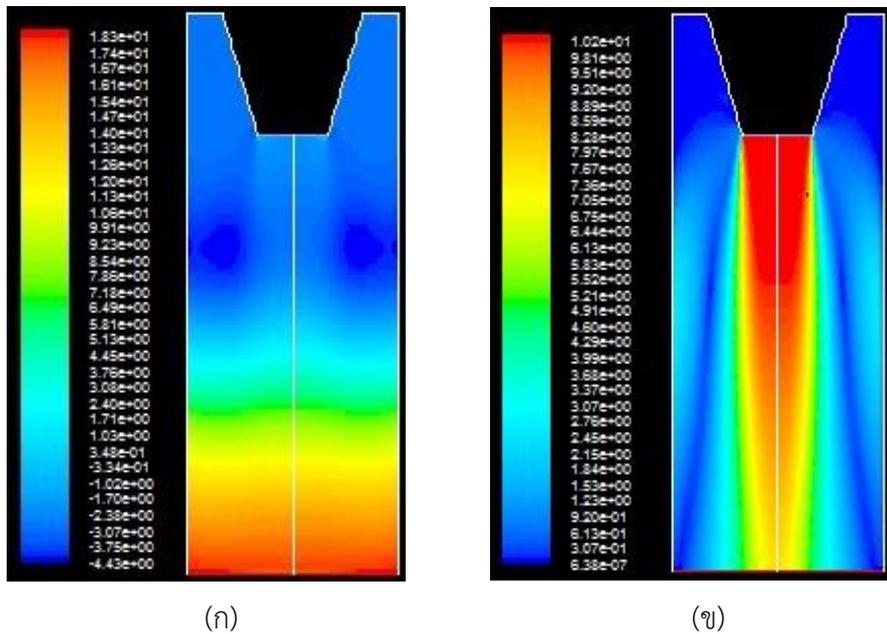


รูปที่ 5.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันและระยะทางตามแนวผนังเมื่ออัตราการไหลเป็น 18.67 ลิตรต่อนาที



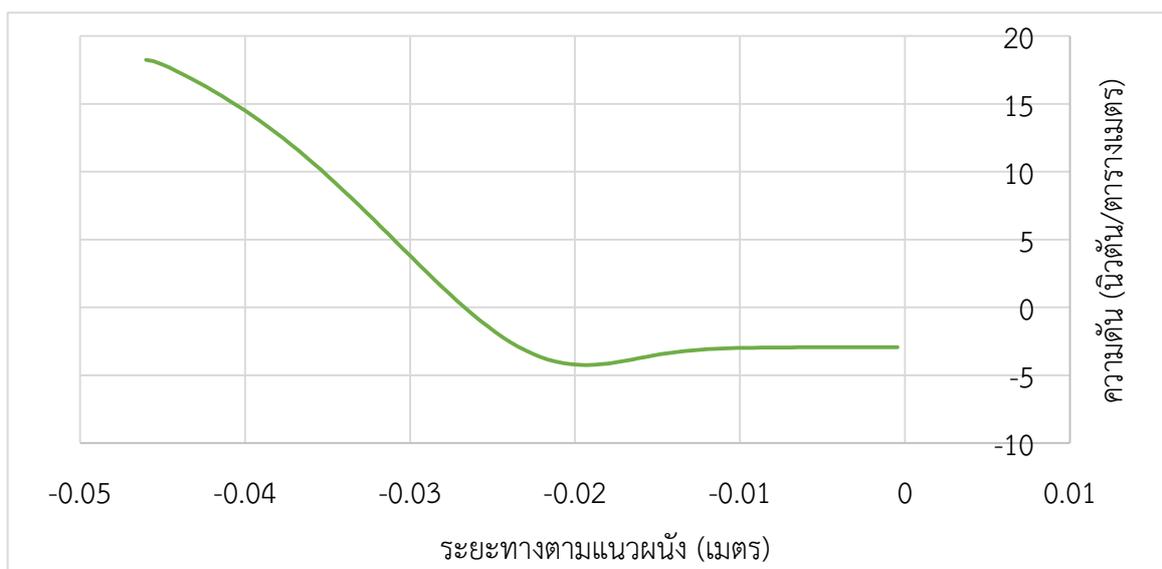
รูปที่ 5.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วแกนกลางของเจ็ทและระยะทางจากปลายหัวฉีดเมื่ออัตราการไหลเป็น 18.67 ลิตรต่อนาที

เมื่ออัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 17.24 ลิตรต่อนาที แผนผังความดันและแผนผังความเร็วแสดงได้ดังรูปที่ 5.14

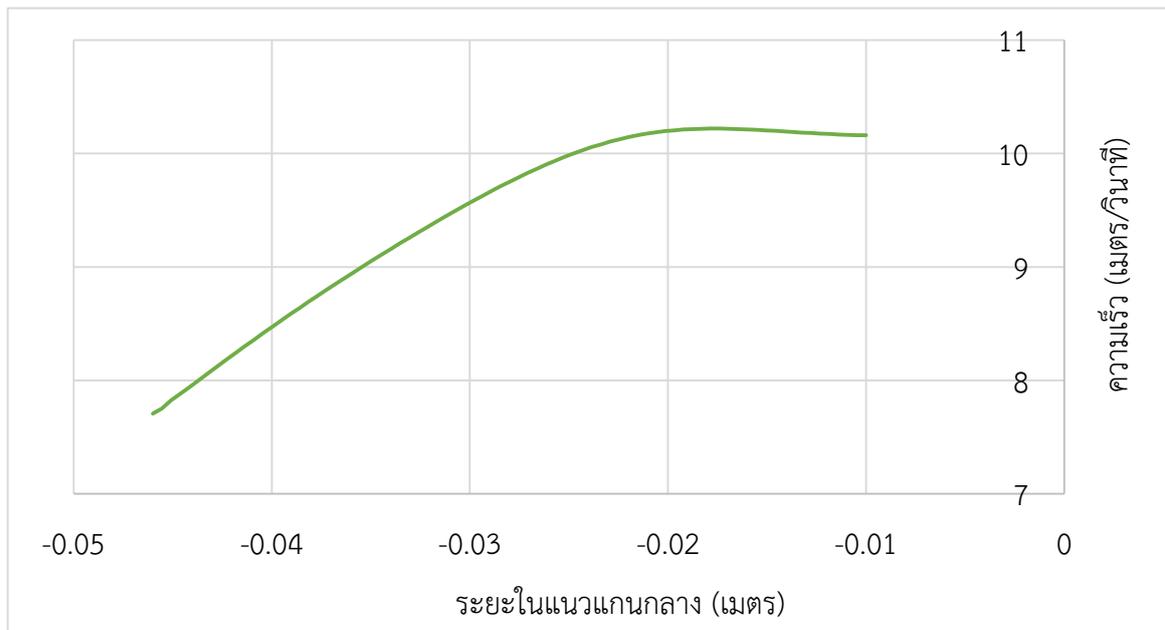


รูปที่ 5.14 (ก) แผนผังความเร็วและ (ข) แผนผังความดัน ที่อัตราการไหลของน้ำ 17.24 ลิตรต่อนาที

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ตำแหน่งต่างๆตามแนวผนังของห้องผสมและความเร็วเจ็ทที่แกนกลางต่อระยะทางจากปลายหัวฉีดเมื่ออัตราการไหลของน้ำเป็น 17.24 ลิตรต่อนาที แสดงดังรูปที่ 5.15 และ 5.16 ตามลำดับ

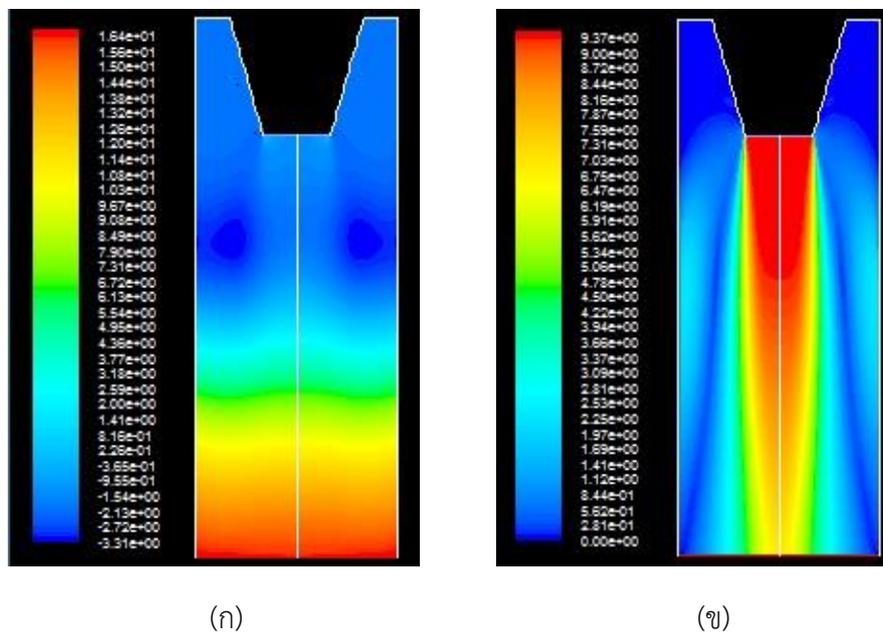


รูปที่ 5.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันและระยะทางตามแนวผนัง เมื่ออัตราการไหลเป็น 17.24 ลิตรต่อนาที



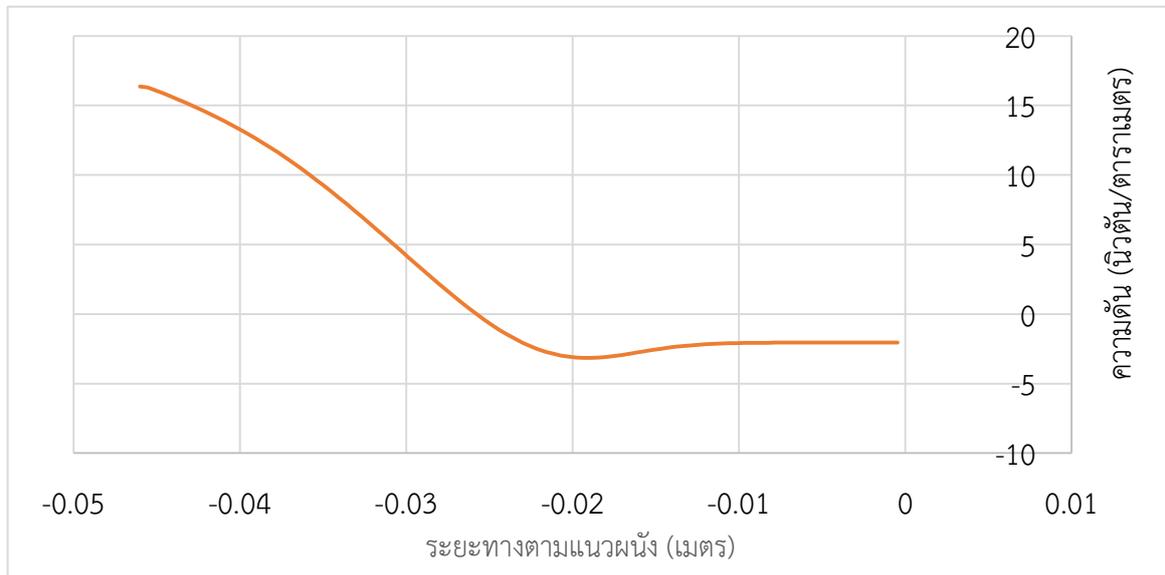
รูปที่ 5.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วแกนกลางของเจ็ทและระยะทางจากปลายหัวฉีด  
เมื่ออัตราการไหลเป็น 17.24 ลิตรต่อนาที

เมื่ออัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 15.81 ลิตรต่อนาที แผนผังความดันและแผนผังความเร็วแสดงได้ดัง  
รูปที่ 5.17

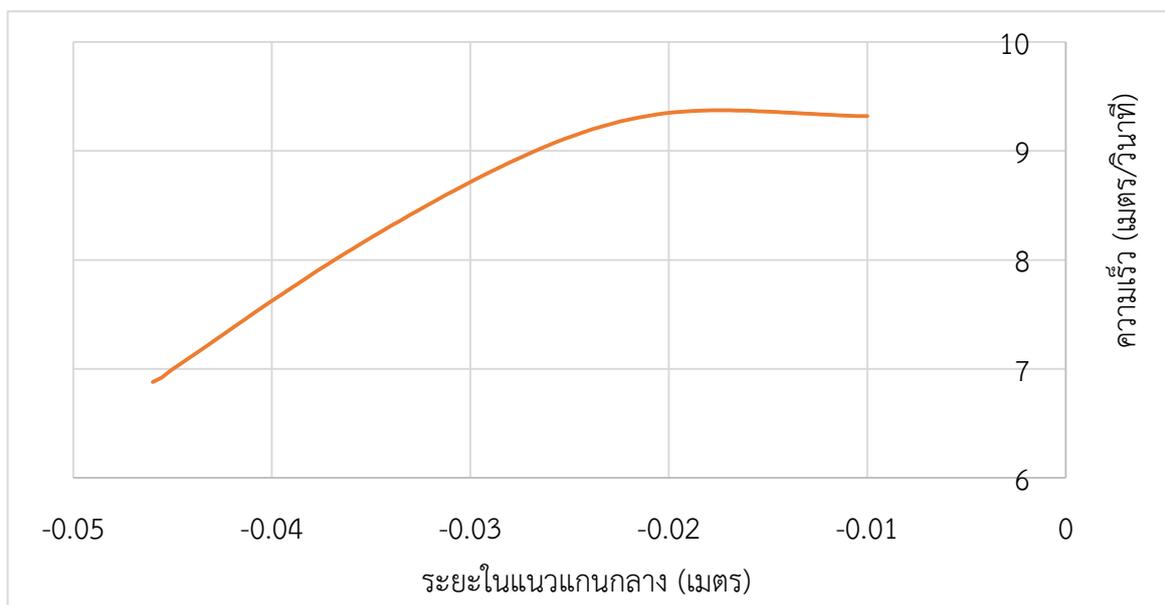


รูปที่ 5.17 (ก) แผนผังความเร็วและ (ข) แผนผังความดัน ที่อัตราการไหลของน้ำ 15.81 ลิตรต่อนาที

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ตำแหน่งต่างๆตามแนวผนังของห้องผสมและความเร็วเจ็ทที่แกนกลางต่อระยะทางจากปลายหัวฉีดเมื่ออัตราการไหลของน้ำเป็น 15.81 ลิตรต่อนาที แสดงดังรูปที่ 5.18 และ 5.19 ตามลำดับ



รูปที่ 5.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วแกนกลางของเจ็ทและระยะทางจากปลายหัวฉีดเมื่ออัตราการไหลเป็น 15.81 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 5.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วแกนกลางของเจ็ทและระยะทางจากปลายหัวฉีดเมื่ออัตราการไหลเป็น 15.81 ลิตรต่อนาที

ตำแหน่งที่เหมาะสมของรูอากาศ ( $L_a$ ) สามารถพิจารณาได้จากกราฟของความดันในทุกๆอัตราการไหล จุดที่มีความดันต่ำที่สุดคือจุดที่มีระยะทางตามแนวผนังเป็น -0.02 เมตร ซึ่งก็คือ 12 มิลลิเมตร ( $2D_j$ ) จากปลายหัวฉีดไม่ว่าในอัตราการไหลเท่าใดก็ตาม ดังนั้น ตำแหน่งของรูอากาศที่เหมาะสมคือ  $2D_j$

อัตราการไหลของอากาศที่ถูกเหนี่ยวนำสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการแบร์นูลลี (Bernoulli's Equation) ในแต่ละอัตราการไหลของน้ำ พิจารณาโดยให้จุดที่หนึ่งคือจุดที่มีความดันต่ำที่สุดตามแนวผนัง และจุดที่สองเทียบกับบรรยากาศ ความดัน ณ จุดที่หนึ่งที่ใช้คำนวณในสมการคือความดันที่ต่ำที่สุดที่ได้จากกราฟของอัตราการไหลนั้นๆ ขนาดของรูอากาศ ( $D_2$ ) กำหนดให้เป็น  $2D_1$  ขั้นตอนการคำนวณสามารถทำได้ดังวิธีการต่อไปนี้

จากสมการแบร์นูลลี (Bernoulli's Equation)

$$\frac{P_1}{\rho_a g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho_a g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2$$

$$\frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2 - P_1}{\rho_a g} + \frac{v_2^2}{2g} + (z_2 - z_1)$$

$$v_1^2 = 2g \left( \frac{P_2 - P_1}{\rho_a g} + \frac{v_2^2}{2g} + (z_2 - z_1) \right) \quad (5.1)$$

และจาก  $Q = Av$  (5.2)

เมื่อนำสมการที่ (2) แทนในสมการที่ (1) ได้

$$\left( \frac{Q_1}{A_1} \right)^2 = 2g \left( \frac{P_2 - P_1}{\rho_a g} + \frac{v_2^2}{2g} + (z_2 - z_1) \right) \quad (5.3)$$

เมื่อความดันที่จุดสองคือบรรยากาศ และ ความเร็วที่จุดสองมีค่าน้อยมาก ดังนั้น

$$\left( \frac{Q_1}{A_1} \right)^2 = 2g \left( \frac{0 - P_1}{\rho_a g} + \frac{0}{2g} + (z_2 - z_1) \right)$$

$$Q_1 = A_1 \sqrt{2g \left( \frac{-P_1}{\rho_a g} + (z_2 - z_1) \right)}$$

$$Q_{a,sim} = A_1 \sqrt{2g \left( \frac{-P_1}{\rho_a g} + (z_2 - z_1) \right)} \quad (5.4)$$

เมื่อพื้นที่หน้าตัดที่จุด 1 คือ

$$A_1 = \frac{\pi}{4} D_a^2$$

กำหนดให้  $D_a = 2D_j = 12$  มิลลิเมตร จะได้  $A_1=0.000113$  ตารางเมตร และ  $z_1 = z_2$   
 ฉะนั้นอัตราการไหลของอากาศที่ได้จากการจำลองแสดงดังสมการต่อไปนี้

$$Q_{a,sim} = 6.78 \sqrt{\frac{-2P_1}{\rho_a}} \quad (5.5)$$

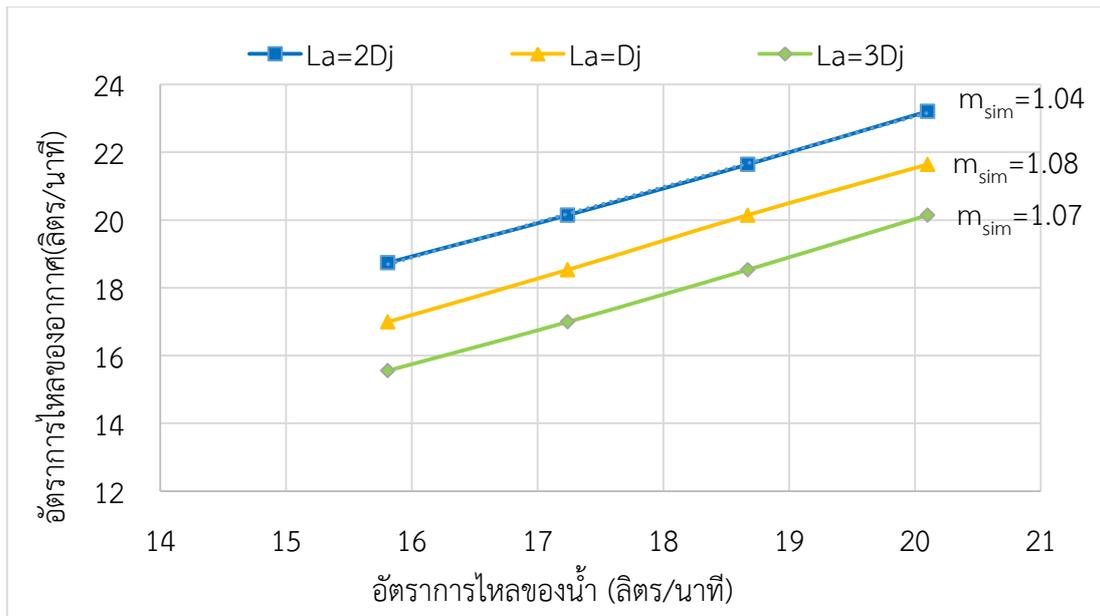
เมื่อ  $Q_{a,sim}$  = อัตราการไหลของอากาศที่ได้จากการจำลอง (l/min)  
 $P_1$  = ความดันที่ต่ำที่สุดที่ได้จากกราฟ ณ อัตราการไหลนั้นๆ ( $N/m^2$ )  
 $\rho_a$  = ความหนาแน่นของอากาศ =  $1.18$  ( $kg/m^3$ )

อัตราการไหลของอากาศที่ได้จากการคำนวณแสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 5.1 อัตราการไหลของอากาศที่ได้จากการคำนวณ

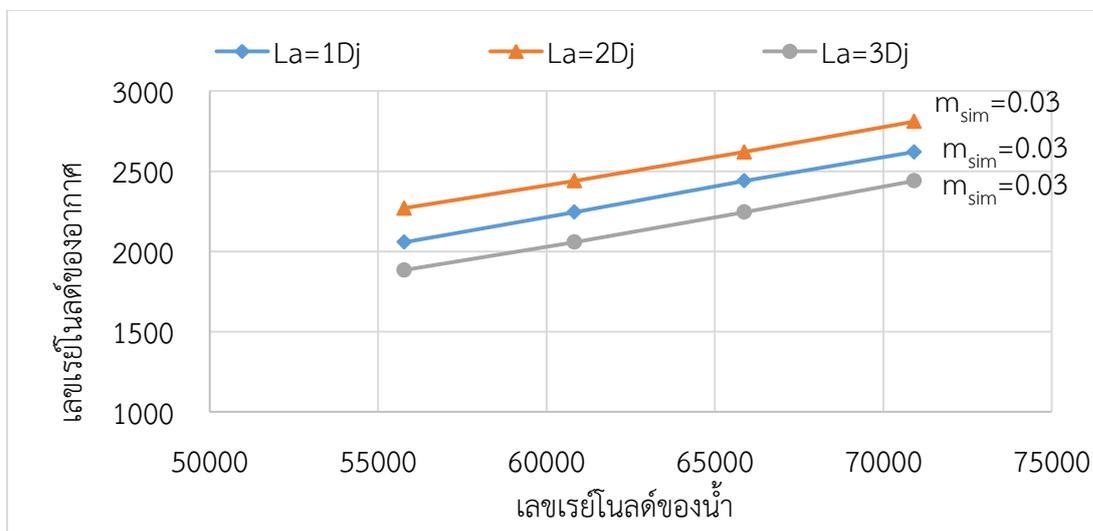
อัตราการไหลของน้ำ (l/min)	อัตราการไหลของอากาศ (l/min)		
	$L_a=D_j$	$L_a=2D_j$	$L_a=3D_j$
20.1	21.63	23.2	20.14
18.67	20.14	21.63	18.53
17.24	18.53	20.14	16.99
15.81	16.99	18.74	15.55

อัตราการไหลของอากาศที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ความดันต่ำสุดของอัตราการไหลแต่ละค่า เมื่อเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของรูอากาศ ( $L_a$ ) เป็น  $1D_j$ ,  $2D_j$  และ  $3D_j$  สามารถเขียนเป็นกราฟเทียบความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของน้ำได้ ดังรูปที่ 5.20



รูปที่ 5.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำและอากาศจากการสร้างแบบจำลอง

ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลสามารถเปลี่ยนเป็นความสัมพันธ์ของตัวแปรไร้มิติได้คือเลขเรย์โนลด์ เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์และนำไปใช้งานในสถานะต่างๆ กราฟความสัมพันธ์ของเลขเรย์โนลด์ของน้ำและอากาศแสดงดังรูปที่ 5.21

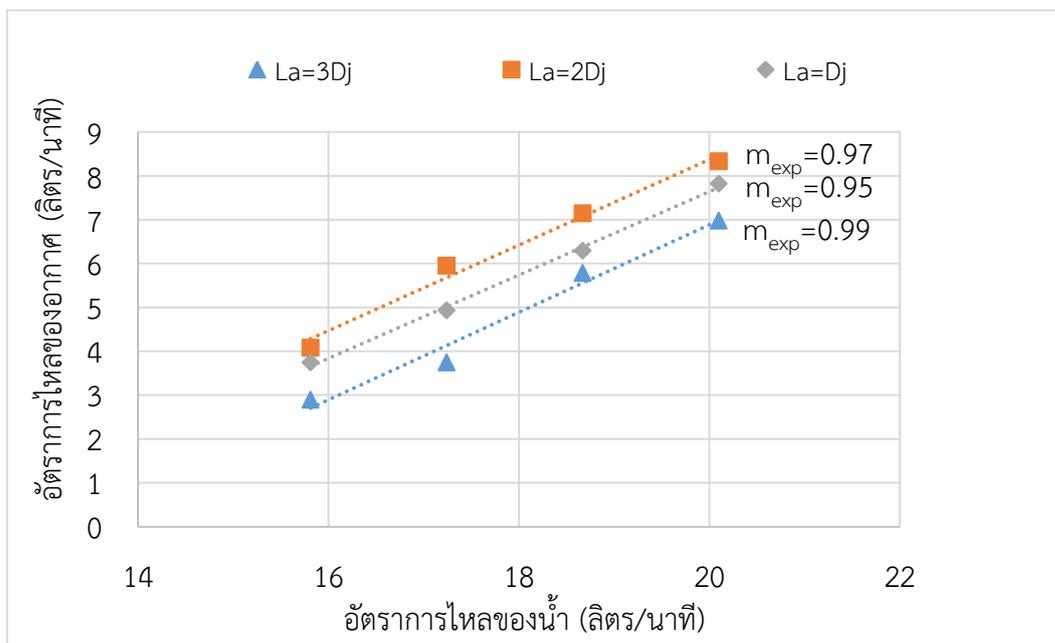


รูปที่ 5.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเรย์โนลด์น้ำและอากาศของ  $L_a$  ต่างๆที่ได้จากการจำลอง

กราฟที่ 5.20 และ 5.21 บ่งบอกว่าตำแหน่งของรูอากาศ ( $L_a$ ) ที่ทำให้อัตราการไหลของอากาศมีค่ามากที่สุดคือ  $2D_j$  รองลงมาเป็น  $1D_j$  และ  $3D_j$  ตามลำดับ แนวโน้มของความสัมพันธ์เป็นกราฟเส้นตรง โดยที่คุณสมบัติของของไหลทั้งสองชนิดมีผลต่อความสามารถในการเหนี่ยวนำ ดังแสดงในกราฟของเลขเรย์โนลด์

## 5.2 ผลการทดลอง

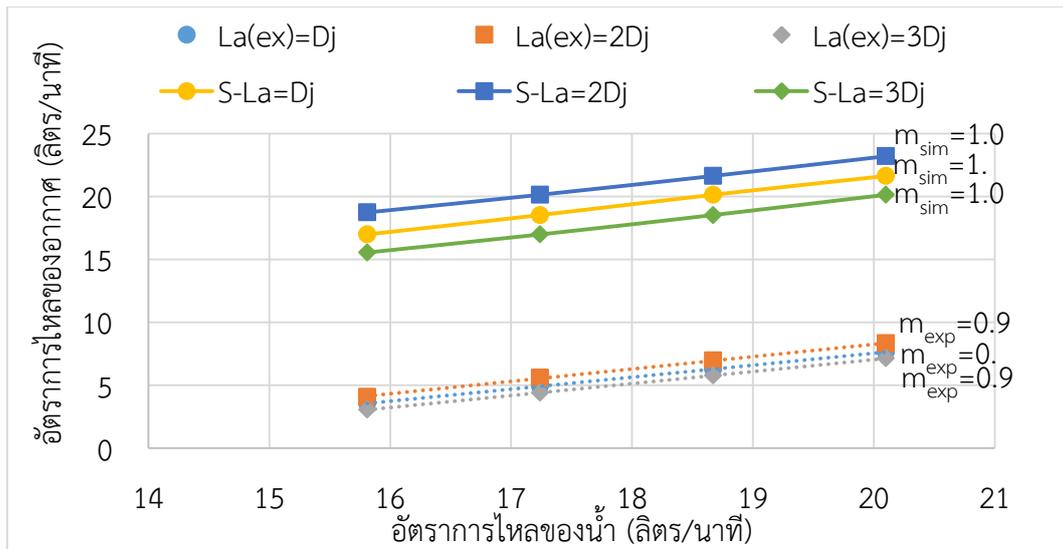
การทดลองของหัวฉีดขนาด 6 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางห้องผสมเท่ากับ 18 มิลลิเมตร ( $D_c = 3D_j$ ) ความยาวห้องผสมเท่ากับ 36 มิลลิเมตร ( $L_c = 6D_j$ ) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูอากาศเท่ากับ 12 มิลลิเมตร และที่ตำแหน่งรูอากาศเท่ากับ  $1D_j$ ,  $2D_j$  และ  $3D_j$  เพื่อหาตำแหน่งรูอากาศที่เหมาะสมเมื่ออัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 20.1, 18.67, 17.24 และ 15.81 ลิตรต่อนาที ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 5.22 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำกับอัตราการไหลของอากาศในหน่วย ลิตรต่อนาที



รูปที่ 5.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำกับอัตราการไหลของอากาศที่  $L_a$  ต่างๆ จากการทดลอง

กราฟในรูปที่ 5.22 แสดงให้เห็นว่าที่ตำแหน่งของรูอากาศ ( $L_a$ ) เป็น  $2D_j$  อัตราการไหลของอากาศที่ถูกเหนี่ยวนำมีค่าสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลอง และที่ตำแหน่งของรูอากาศเป็น  $1D_j$  และ  $3D_j$  ก็มีอัตราการไหลลดน้อยลงไปตามลำดับเช่นเดียวกัน

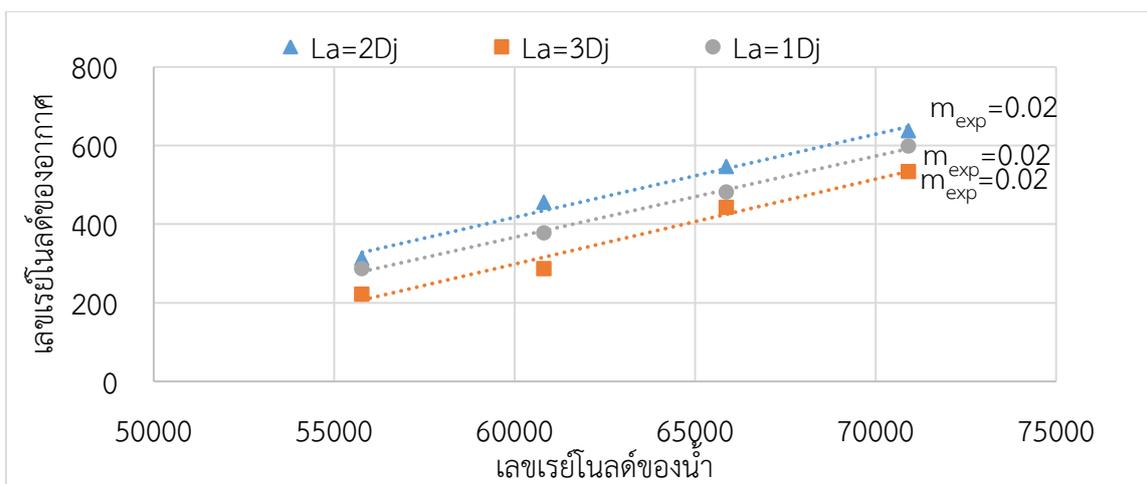
ค่าอัตราการไหลของอากาศต่ออัตราการไหลของน้ำที่ได้จากการทดลองที่ตำแหน่งของทางเข้าอากาศต่างๆเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองสามารถแสดงได้ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 5.23 กราฟเปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศและน้ำของการทดลองและการสร้างแบบจำลองที่ตำแหน่งรูอากาศต่างๆ

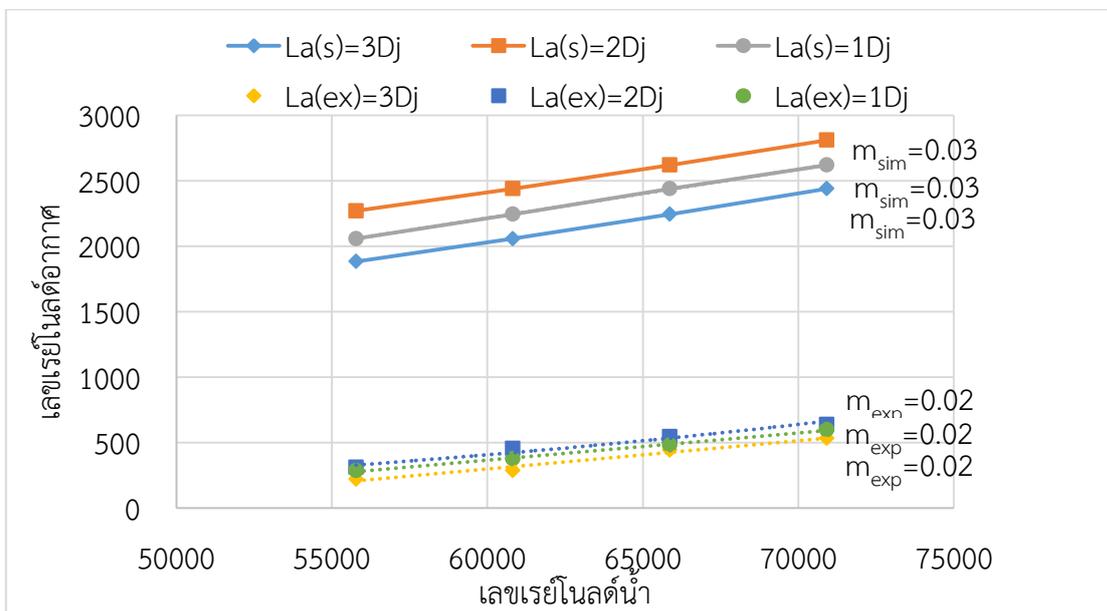
กราฟทุกเส้นในรูปที่ 5.23 มีแนวโน้มเป็นฟังก์ชันเชิงเส้น ความชันเฉลี่ยของกราฟจากการทดลอง ( $m_{exp,avg}$ ) ในรูปที่ 5.23 มีค่าเป็น 0.97 และความชันเฉลี่ยของกราฟจากการสร้างแบบจำลอง ( $m_{sim,avg}$ ) มีค่าเป็น 1.06 ค่าคลาดเคลื่อนของความชันเฉลี่ยระหว่างกราฟจากการสร้างแบบจำลองและกราฟจากการทดลองมีค่าเป็น 9.28% ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ โดยมีตำแหน่งของรูอากาศ ( $L_a$ ) ที่มีอัตราการไหลของอากาศที่ดีที่สุดคือ  $2D_j$

ค่าอัตราการไหลของน้ำและอากาศสามารถเปลี่ยนไปเป็นตัวแปรไร้มิติได้คือเลขเรย์โนลด์ ซึ่งความสัมพันธ์ของเลขเรย์โนลด์ของน้ำกับเลขเรย์โนลด์ของอากาศที่ได้จากการทดลองที่ตำแหน่งรูอากาศ ( $L_a$ ) เท่ากับ  $1D_j$ ,  $2D_j$  และ  $3D_j$  แสดงดังรูปที่ 5.24



รูปที่ 5.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์น้ำและอากาศที่  $L_a$  ต่างๆจากการทดลอง

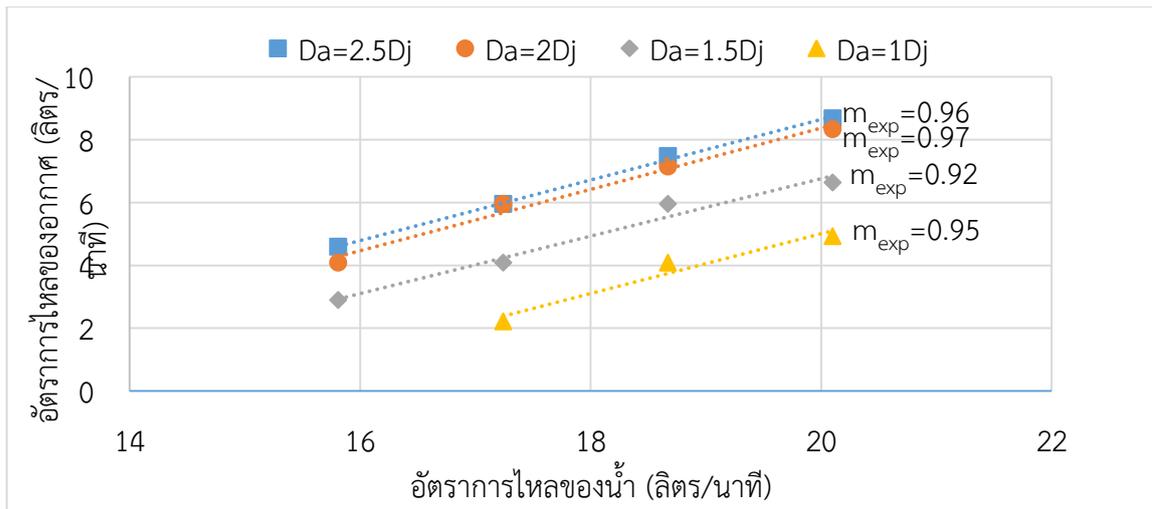
เลขเรย์โนลด์ของอากาศและน้ำที่ได้จากการทดลองที่ตำแหน่งของทางเข้าอากาศต่างๆเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.25



รูปที่ 5.25 กราฟเปรียบเทียบเลขเรย์โนลด์ของอากาศและน้ำของการทดลองและการสร้างแบบจำลองที่ตำแหน่งรูอากาศต่างๆ

แนวโน้มของกราฟความสัมพันธ์ของเลขเรย์โนลด์ของอากาศและน้ำบ่งชี้ให้เห็นว่าคุณสมบัติเฉพาะของของไหลทั้งสองชนิดส่งผลกระทบต่อความชันของกราฟ ทั้งความแตกต่างของความหนาแน่นและความแตกต่างของความหนืด

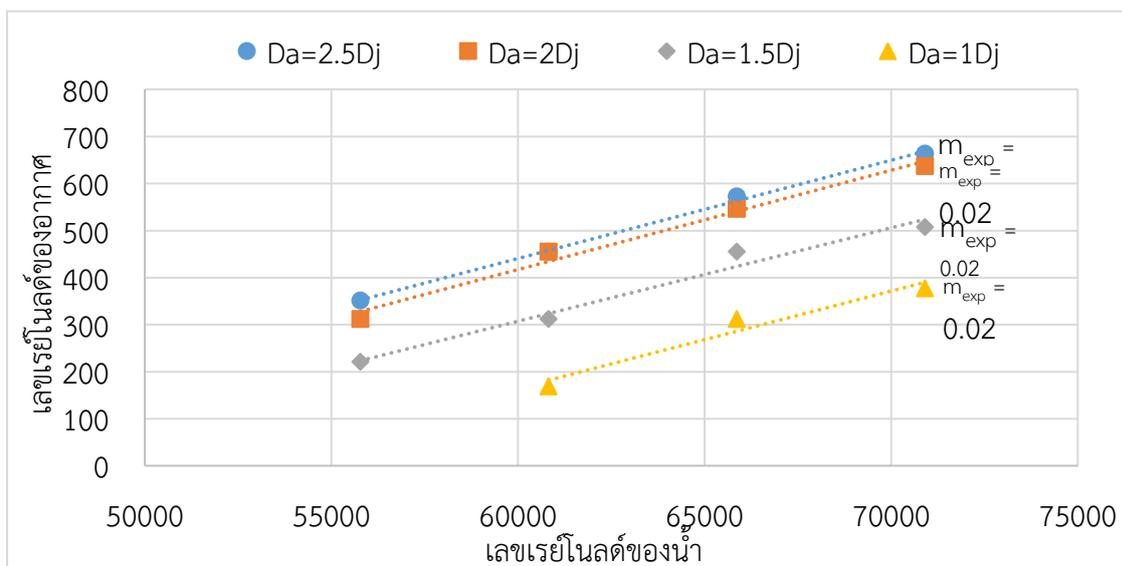
การหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูอากาศ ( $D_a$ ) ที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลอง โดยกำหนดให้เส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด ( $D_j$ ) มีค่า 6 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของห้องผสม ( $D_c$  และ  $L_c$ ) เป็น 18 มิลลิเมตร (3D<sub>j</sub>) และ 36 มิลลิเมตร (6D<sub>j</sub>) ตามลำดับ (จากรูปที่ 5.7) ตำแหน่งของรูอากาศอยู่ที่ 12 มิลลิเมตร (2D<sub>j</sub>) จากปลายหัวฉีด (จากรูปที่ 5.23) อัตราการไหลเป็น 20.10, 18.67, 17.24 และ 15.81 ลิตรต่อนาที การทดลองนี้เป็นการเปลี่ยนขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของรูอากาศ ( $D_a$ ) ไปทั้งหมด 4 ครั้ง คือ 1D<sub>j</sub>, 1.5D<sub>j</sub>, 2D<sub>j</sub> และ 2.5D<sub>j</sub> ผลการทดลองแสดงได้ดังกราฟในรูปที่ 5.26



รูปที่ 5.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำกับอัตราการไหลของอากาศที่  $D_a$  ต่างๆ

กราฟข้างต้นสามารถกล่าวได้ว่าที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูอากาศ ( $D_a$ ) มีค่าเป็น  $2.5D_j$  มีอัตราการไหลของอากาศสูงสุด กราฟทุกเส้นในรูปที่ 5.26 ยังคงมีแนวโน้มเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นอยู่ โดยที่ความชันเฉลี่ยของกราฟทั้ง 4 เส้นคือ 0.94 โดยที่ระยะห่าง (gap) ระหว่างกราฟแต่ละเส้นมีค่าลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งที่กราฟของ  $D_a = 2D_j$  และของ  $D_a = 2.5D_j$  นั้นแทบไม่ห่างกัน จึงสามารถกล่าวได้ว่าจุดที่  $D_a = 2.5D_j$  นี้เป็นจุดที่มีอัตราการไหลสูงสุด ดังนั้นถึงแม้ว่าเราจะเพิ่มขนาดของรูอากาศให้ใหญ่ขึ้น อัตราการไหลของอากาศที่ได้ อาจไม่ต่างกับที่  $2.5D_j$

ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำและอากาศที่ได้จากการทดลองที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูอากาศ ( $D_a$ ) เท่ากับ  $1D_j$ ,  $1.5D_j$ ,  $2D_j$  และ  $2.5D_j$  สามารถแสดงให้อยู่ในรูปของความสัมพันธ์ของตัวแปรไร้มิติหรือเลขเรย์โนลด์ได้ ดังรูปที่ 5.27



รูปที่ 5.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์น้ำและอากาศที่  $D_a$  ต่างๆ

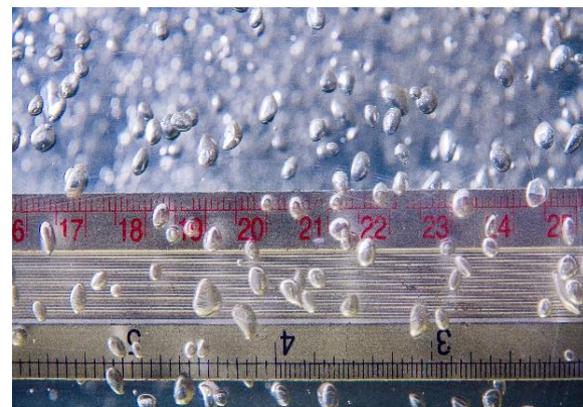
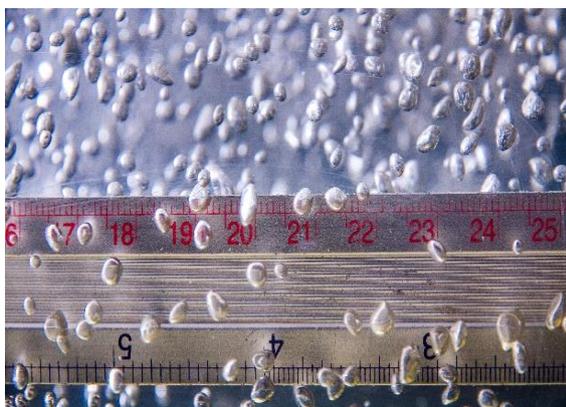
สมรรถนะการเติมอากาศแสดงในปริมาณของกิโลกรัมออกซิเจนต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ทำการทดลองโดยหาปริมาณกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบโดยใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Clamp on power meter) ผลของปริมาณการเติมอากาศแสดงดังตารางที่ 2 สมรรถนะการเติมอากาศสูงสุดคือ 0.36 กิโลกรัมออกซิเจนต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ในระบบการเติมอากาศที่ใช้ในอุตสาหกรรม สมรรถนะการเติมอากาศมีค่าประมาณ 0.6-3.9 กิโลกรัมออกซิเจนต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

ตารางที่ 5.2 อัตราการไหลของน้ำเทียบกับปริมาณการเหนี่ยวนำอากาศ

อัตราการไหลของน้ำ (ลิตร/นาท)	สมรรถนะการเติมอากาศ (kgO <sub>2</sub> /kW*Hr.)
20.1	0.36
18.67	0.31
17.24	0.25
15.81	0.19

การถ่ายภาพฟองอากาศเพื่อดูขนาดฟองอากาศ ขนาดฟองอากาศส่งผลต่อการถ่ายเทออกซิเจนในน้ำ ดังนั้นการศึกษาขนาดฟองอากาศจึงศึกษาโดยการถ่ายภาพด้วยกล้อง Canon EOS 7D ที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 20.1, 18.67, 17.24 และ 15.81 ลิตรต่อนาท ขนาดหัวฉีดที่ทำการถ่ายภาพคือ L<sub>a</sub> เท่ากับ 1D<sub>j</sub>, 2D<sub>j</sub>, 3D<sub>j</sub> และ D<sub>a</sub> เท่ากับ 1D<sub>j</sub>, 1.5D<sub>j</sub>, 2D<sub>j</sub> และ 2.5D<sub>j</sub>

ภาพถ่ายขนาดฟองอากาศที่ L<sub>a</sub> เท่ากับ 1D<sub>j</sub> และอัตราการไหลของน้ำ (Q<sub>w</sub>) เท่ากับ 20.1, 18.67, 17.24 และ 15.81 ลิตรต่อนาทที่แสดงดังรูปที่ 5.28 (ก), (ข), (ค) และ (ง) ตามลำดับ

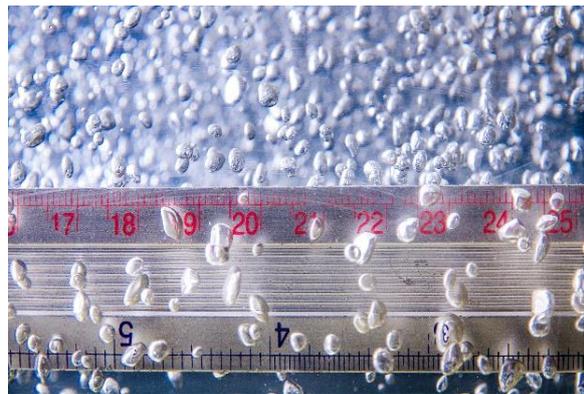
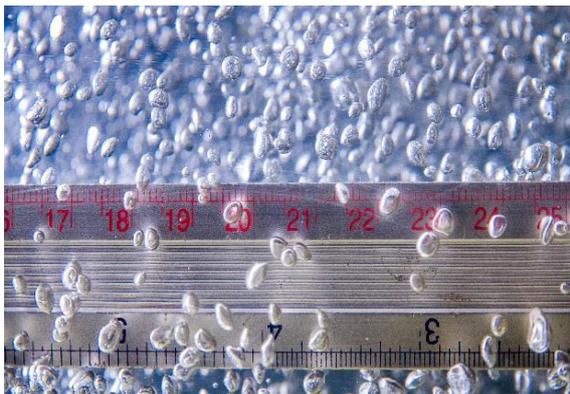


(ก) ขนาดฟองอากาศที่ Q<sub>w</sub> เท่ากับ 20.1 ลิตร/นาท (ข) ขนาดฟองอากาศที่ Q<sub>w</sub> เท่ากับ 18.67 ลิตร/นาท

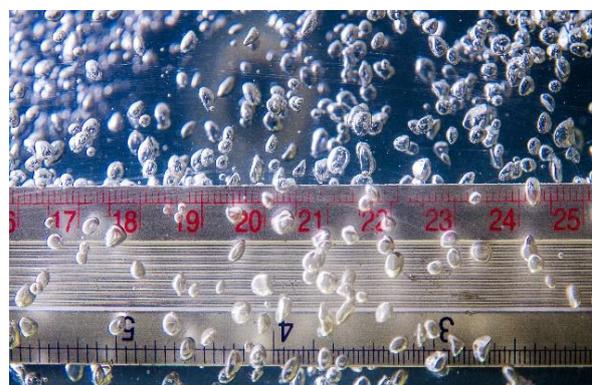
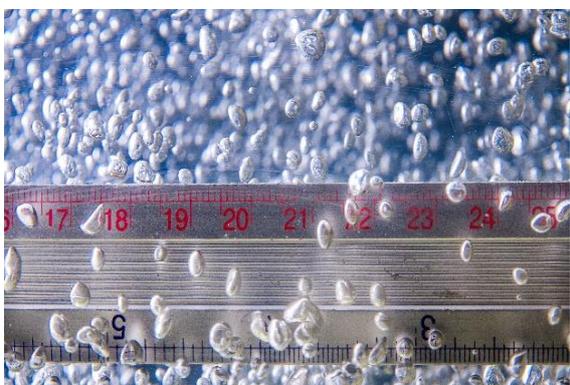


(ค) ขนาดฟองอากาศที่  $Q_w$  เท่ากับ 17.24 ลิตร/นาทึ (ง) ขนาดฟองอากาศที่  $Q_w$  เท่ากับ 15.81 ลิตร/นาทึ รูปที่ 5.28 (ก), (ข), (ค) และ (ง) ของฟองอากาศที่  $L_a$  เท่ากับ  $1D_j$

ภาพถ่ายขนาดฟองอากาศที่  $L_a$  เท่ากับ  $2D_j$  และอัตราการไหลของน้ำ ( $Q_w$ ) เท่ากับ 20.1, 18.67, 17.24 และ 15.81 ลิตรต่อนาทีแสดงดังรูปที่ 5.29 (ก), (ข), (ค) และ (ง) ตามลำดับ

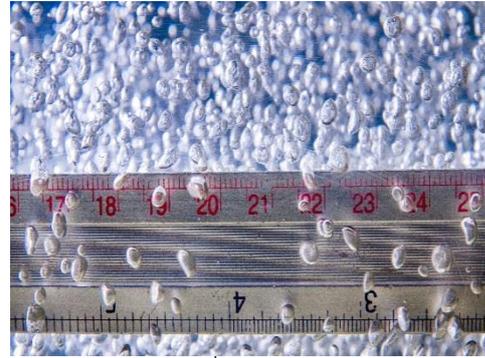
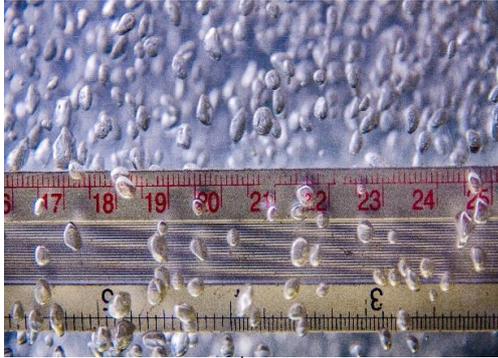


(ก) ขนาดฟองอากาศที่  $Q_w$  เท่ากับ 20.1 ลิตร/นาทึ (ข) ขนาดฟองอากาศที่  $Q_w$  เท่ากับ 18.67 ลิตร/นาทึ

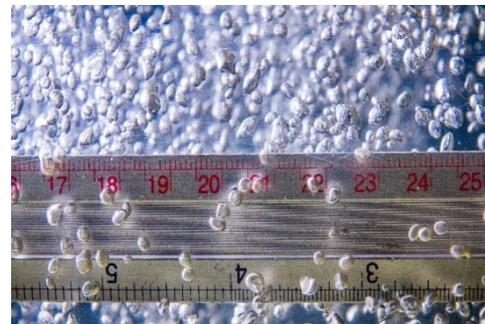


(ค) ขนาดฟองอากาศที่  $Q_w$  เท่ากับ 17.24 ลิตร/นาทึ (ง) ขนาดฟองอากาศที่  $Q_w$  เท่ากับ 15.81 ลิตร/นาทึ รูปที่ 5.29 (ก), (ข), (ค) และ (ง) ของฟองอากาศ ที่  $L_a$  เท่ากับ  $2D_j$

ภาพถ่ายขนาดฟองอากาศที่  $L_a$  เท่ากับ  $3D_j$  และอัตราการไหลของน้ำ ( $Q_w$ ) เท่ากับ 20.1, 18.67, 17.24 และ 15.81 ลิตรต่อนาทีแสดงดังรูปที่ 5.30 (ก), (ข), (ค) และ (ง) ตามลำดับ



(ก) ขนาดฟองอากาศที่  $Q_w$  เท่ากับ 20.1 ลิตร/นาที่ (ข) ขนาดฟองอากาศที่  $Q_w$  เท่ากับ 18.67 ลิตร/นาที่

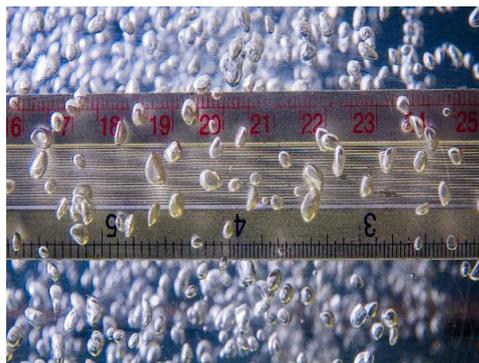
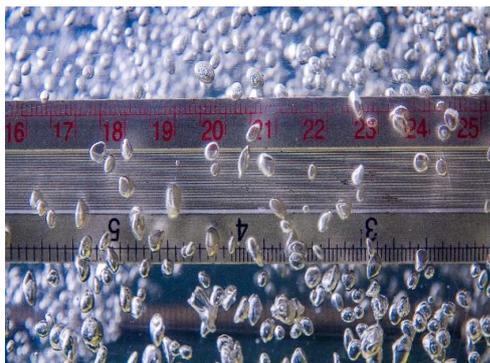


(ค) ขนาดฟองอากาศที่  $Q_w$  เท่ากับ 17.24 ลิตร/นาที่ (ง) ขนาดฟองอากาศที่  $Q_w$  เท่ากับ 15.81 ลิตร/นาที่  
รูปที่ 5.30 (ก), (ข), (ค) และ (ง) ของฟองอากาศ ที่  $L_a$  เท่ากับ  $3D_j$

ภาพถ่ายขนาดฟองอากาศที่  $D_a$  เท่ากับ  $1D_j$  และอัตราการไหลของน้ำ ( $Q_w$ ) เท่ากับ 20.1, 18.67, 17.24 และ 15.81 ลิตรต่อนาทีแสดงดังรูปที่ 5.31 (ก), (ข), (ค) และ (ง) ตามลำดับ

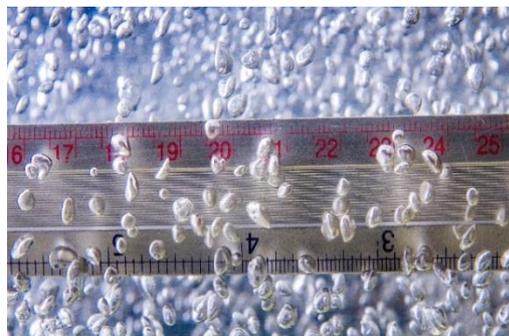


(ก) ขนาดฟองอากาศที่  $Q_w$  เท่ากับ 20.1 ลิตร/นาที่ (ข) ขนาดฟองอากาศที่  $Q_w$  เท่ากับ 18.67 ลิตร/นาที่



(ค) ขนาดฟองอากาศที่  $Q_w$  เท่ากับ 17.24 ลิตร/นาที่ (ง) ขนาดฟองอากาศที่  $Q_w$  เท่ากับ 15.81 ลิตร/นาที่  
รูปที่ 5.31 (ก), (ข), (ค) และ (ง) ของฟองอากาศที่  $D_a$  เท่ากับ  $1D_j$

ภาพถ่ายขนาดฟองอากาศที่  $D_a$  เท่ากับ  $1.5D_j$  และอัตราการไหลของน้ำ ( $Q_w$ ) เท่ากับ 20.1, 18.67, 17.24 และ 15.81 ลิตรต่อนาทีแสดงดังรูปที่ 5.32 (ก), (ข), (ค) และ (ง) ตามลำดับ

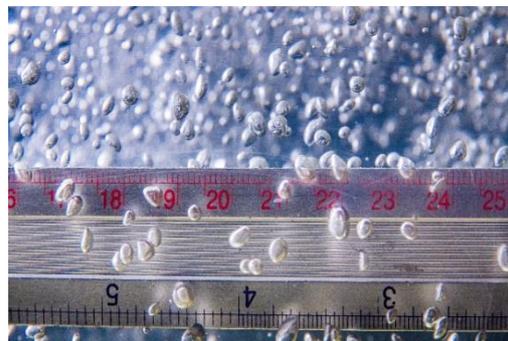
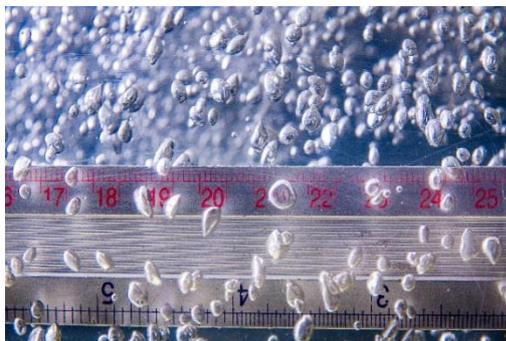


(ก) ขนาดฟองอากาศที่  $Q_w$  เท่ากับ 20.1 ลิตร/นาที่ (ข) ขนาดฟองอากาศที่  $Q_w$  เท่ากับ 18.67 ลิตร/นาที่

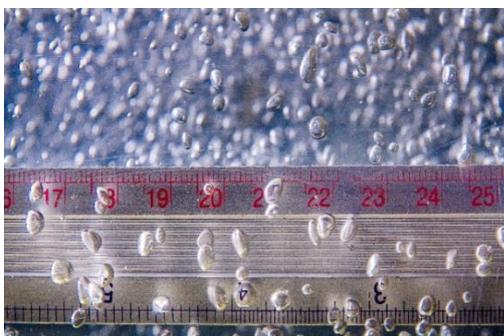


(ค) ขนาดฟองอากาศที่  $Q_w$  เท่ากับ 17.24 ลิตร/นาที่ (ง) ขนาดฟองอากาศที่  $Q_w$  เท่ากับ 15.81 ลิตร/นาที่  
รูปที่ 5.32 (ก), (ข), (ค) และ (ง) ของฟองอากาศที่  $D_a$  เท่ากับ  $1.5D_j$

ภาพถ่ายขนาดฟองอากาศที่  $D_a$  เท่ากับ  $2.5D_j$  และอัตราการไหลของน้ำ ( $Q_w$ ) เท่ากับ 20.1, 18.67, 17.24 และ 15.81 ลิตรต่อนาทีแสดงดังรูปที่ 5.33 (ก), (ข), (ค) และ (ง) ตามลำดับ



(ก) ขนาดฟองอากาศที่  $Q_w$  เท่ากับ 20.1 ลิตร/นาที (ข) ขนาดฟองอากาศที่  $Q_w$  เท่ากับ 18.67 ลิตร/นาที



(ค) ขนาดฟองอากาศที่  $Q_w$  เท่ากับ 17.24 ลิตร/นาที (ง) ขนาดฟองอากาศที่  $Q_w$  เท่ากับ 15.81 ลิตร/นาที  
รูปที่ 5.33 (ก), (ข), (ค) และ (ง) ของฟองอากาศที่  $D_a$  เท่ากับ  $2.5D_j$

ขนาดฟองอากาศที่ได้จากการถ่ายภาพด้วยกล้อง Canon EOS 7D ได้ขนาดฟองอากาศของแต่ละอัตราการไหลที่ขนาดรูอากาศที่แตกต่างกันและที่ตำแหน่งรูอากาศที่แตกต่างกัน ผลคือขนาดฟองอากาศมีขนาดที่ใกล้เคียงกันคือประมาณ 2-3 มิลลิเมตร