

## บทที่ 4

### การสร้างแบบจำลองและการทดลอง

#### 4.1 การสร้างแบบจำลอง

โครงการเล่มนี้ การสร้างรูปแบบจำลองของชุดหัวฉีดของของไหลสองชนิดได้แก่ของไหลปฐมภูมิ (Primary Fluid) เป็นน้ำและของไหลทุติยภูมิ (Secondary Fluid) เป็นอากาศด้วยโปรแกรมออโต้แคด (Autocad) เพื่อกำหนดขนาดการสร้างอุปกรณ์การทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.1ก รายละเอียดของตัวแปรของขนาดและระยะต่างๆถูกกำหนดด้วยตัวแปรดังนี้

$D_j$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด (น้ำ)

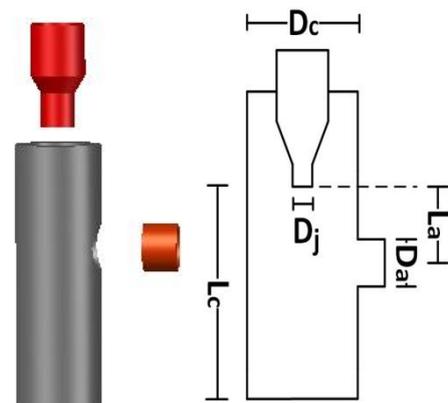
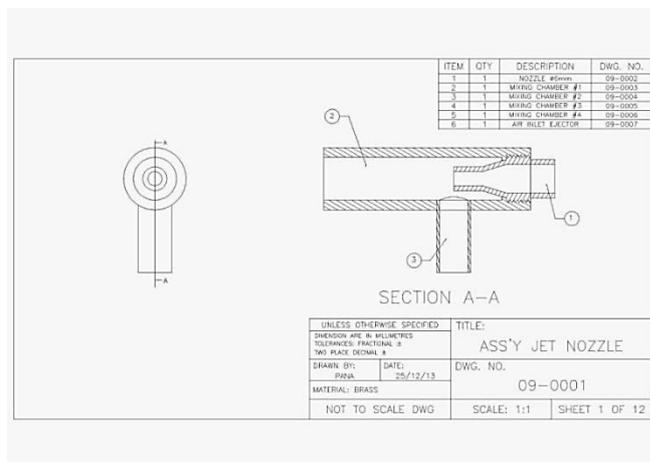
$D_a$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูอากาศ

$D_c$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม

$L_c$  คือ ความยาวของห้องผสมโดยเริ่มจากปลายของหัวฉีด

$L_a$  คือ ตำแหน่งของรูอากาศโดยเริ่มจากปลายของหัวฉีดไปถึงจุดกึ่งกลางของรูอากาศ

ดังแสดงในรูปที่ 4.1ข



(ก)

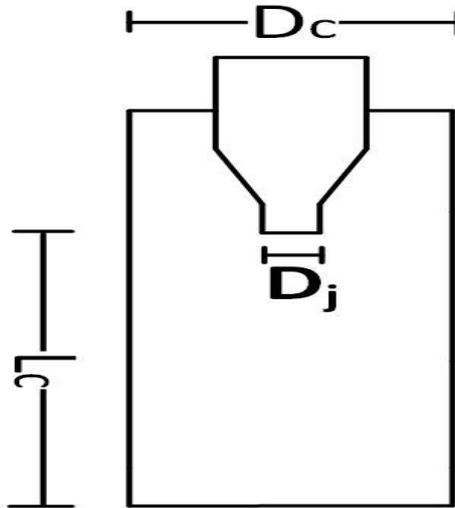
(ข)

รูปที่ 4.1 (ก) แบบของชุดหัวฉีดที่ใช้ในการสร้างจริง, (ข) ตัวแปรของระยะต่างๆ ในชุดทดลองหัวฉีด

#### 4.1.1 การสร้างรูปร่างหัวฉีดด้วยโปรแกรมแกมบิท (GAMBIT)

รูปแบบของชุดหัวฉีดที่สร้างด้วยโปรแกรมแกมบิท (GAMBIT) นั้นถูกสร้างแบบจำลองโดยให้แบบของชุดหัวฉีดเป็นแบบไม่มีรูอากาศ เนื่องจากโปรแกรมแกมบิท (GAMBIT) เป็นโปรแกรมที่สร้างแบบและกำหนดเงื่อนไขของชุดหัวฉีดก่อนส่งไปยังโปรแกรมแอนซิสฟลูเอนท์ (ANSYS FLUENT) เพื่อทำการสร้างจำลองและคำนวณรูปแบบการไหล [21,22] การใช้โปรแกรมแอนซิสฟลูเอนท์ (ANSYS FLUENT) นี้ไม่สามารถสร้างแบบจำลองการไหลของของไหลทั้งสองซึ่งก็คือน้ำและอากาศรวมกันได้ แต่สามารถจำลอง

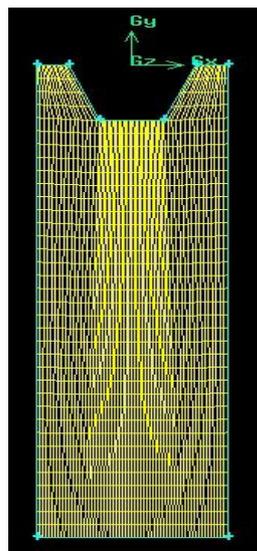
การไหลเฉพาะของไหลที่ออกจากหัวฉีด (น้ำ) ได้เท่านั้น ดังนั้นแบบที่ได้จากการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมแกมบิท (GAMBIT) จึงไม่มีรูอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.2



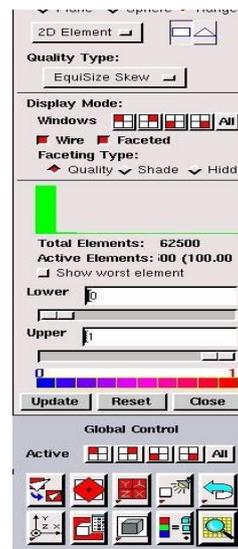
รูปที่ 4.2 แบบจำลองของชุดหัวฉีดด้วยโปรแกรมแกมบิท (GAMBIT)

#### 4.1.2 การสร้างขอบเขตย่อยด้วยโปรแกรมแกมบิท (GAMBIT)

การสร้างขอบเขตย่อย (mesh) คือการแบ่งพื้นที่ภายในแบบจำลองชุดหัวฉีดเป็นช่องเล็กๆ ความละเอียดของการแบ่งนั้น ขึ้นอยู่กับค่าความคลาดเคลื่อนของผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลอง จำนวนขอบเขตย่อยที่ใช้เพิ่มขึ้นเมื่อรูปจำลองมีการเปลี่ยนแปลงขนาด ขอบเขตย่อยที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองอยู่ในช่วง 60,000 ถึง 80,000 ช่องดังแสดงในรูปที่ 4.3



(ก)

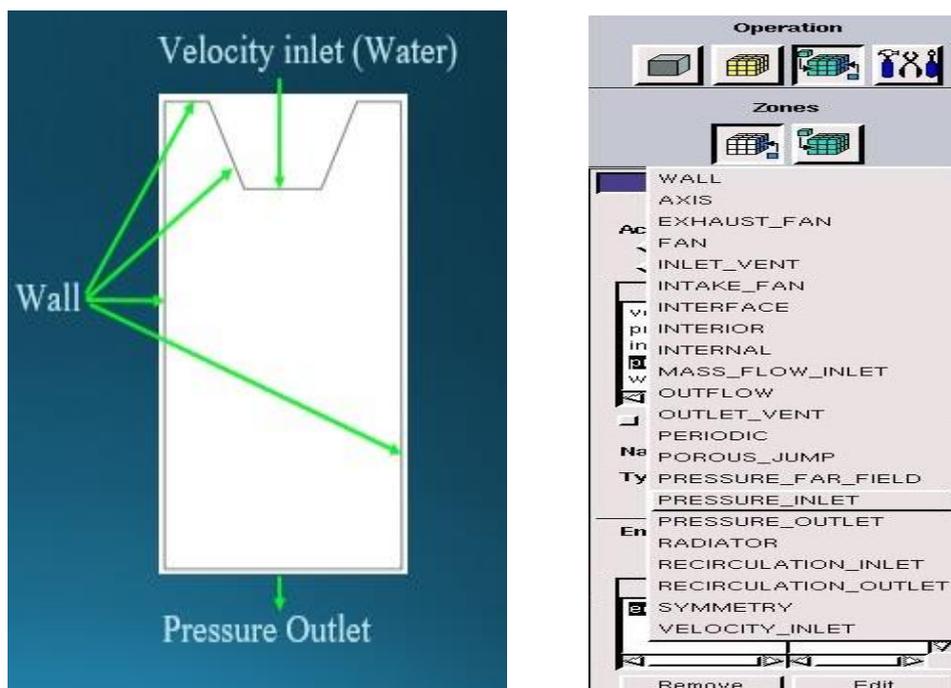


(ข)

รูปที่ 4.3 (ก) รูปแบบของขอบเขตย่อยของชุดหัวฉีด, (ข) จำนวนขอบเขตย่อย

#### 4.1.3 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) ของหัวฉีดด้วยโปรแกรมแกมบิท (GAMBIT)

การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) เป็นการกำหนดเงื่อนไขของการสร้างแบบจำลองเฉพาะในแต่ละด้านหรือแต่ละพื้นที่ประกอบด้วย (1) ความเร็วของของไหลป้อน (น้ำ) ที่ออกจากหัวฉีดเข้าสู่ห้องผสมกำหนดเป็น Velocity inlet , (2) ทางออกของของไหลป้อนกำหนดเป็น Pressure Outlet และ (3) พื้นผิวอื่นๆกำหนดเป็น wall ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของชุดหัวฉีด

#### 4.1.4 การกำหนดเงื่อนไขค่าเริ่มต้น (Initial Condition)

การสร้างแบบจำลองในการทดลองนี้สร้างขึ้นในระบบพิกัดฉากโดยที่แกนกลางของห้องผสมอยู่ในแนวแกนตั้ง (y-component) เพราะฉะนั้นการสร้างแบบจำลองต้องนำค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (g) มาพิจารณาด้วย ของไหลป้อนที่ใช้ในการทดลองคือน้ำซึ่งมีความหนาแน่น 998.2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความหนืด 0.001003 กิโลกรัมต่อเมตรวินาทีความดันและอุณหภูมิภายนอกพิจารณาที่ความดันบรรยากาศ (1 atm) และอุณหภูมิห้อง (25 °C) ที่สภาวะคงตัว (Steady State)

#### 4.1.5 การกำหนดเงื่อนไขตัวแปร (Variable Condition) และสภาวะการแก้ปัญหา

โปรแกรมแอนซิสฟลูเอนท์ (ANSYS FLUENT) เป็นการนำรูปแบบของชุดหัวฉีดที่มีการสร้างขอบเขตย่อยและกำหนดเงื่อนไขขอบเขตจากโปรแกรมแกมบิท (GAMBIT) มาจำลอง ซึ่งมีการสร้างแบบจำลองของชุดหัวฉีดหลายค่าแตกต่างกันออกไป การพิจารณาการสร้างแบบจำลองเป็นการไหลแบบป้อนป่วนในสภาวะคงตัว (Steady State) มีผนังที่ไม่เคลื่อนที่และไม่ลื่นไหลจึงใช้รูปแบบการคำนวณแบบ no-slip function ซึ่งรูปแบบการไหลแบบป้อนป่วน ใช้หลักการคำนวณในรูปแบบของ

Renormalization-group (RNG)  $k-\epsilon$  model ซึ่งเป็นรูปแบบจำลองที่มีความแม่นยำในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนที่กว้างโดยการใช้เทคนิคทางสถิติอย่างแม่นยำ และมีความคล้ายคลึงกับ Standard  $k-\epsilon$  model ซึ่งเป็นโมเดลมาตรฐานที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง

สำหรับการคำนวณผลเฉลย จะกำหนดเป็นวิธีการคำนวณหาผลเฉลยแบบ SIMPLE (semi-implicit method for pressure link equation) เป็นวิธีที่ใช้หลักการเดาค่าความดัน แล้วนำไปคำนวณหาค่าความเร็วและปริมาณสเกลาร์อื่นๆ จากสมการนาเวียร์-สโตกส์ และตรวจสอบโดยสมการอนุรักษ์มวล หากค่าทั้งหมดมีความสอดคล้องกับสมการควบคุมแสดงว่าค่าความดันที่เดามีความถูกต้อง หากไม่สอดคล้องจะเดาค่าความดันใหม่บนฐานของค่าความดัน และความเร็วที่คำนวณได้ และวิธีผลต่างต้นลมอันดับหนึ่ง (First order upwind) มีคุณสมบัติจำกัดขอบสูง ทำให้ผลเฉลยไม่กระเพื่อม (oscillatory solution) เป็นข้อดีทั้งในเสถียรภาพการคำนวณ และการลู่ออกของผลเฉลย แต่ในขณะเดียวกัน ทำให้เกิดพฤติกรรมการแพร่เชิงตัวเลข (numerical diffusive) เนื่องจากลักษณะผลเฉลยเสมือนถูกถ่วงน้ำหนักจากค่าที่ตำแหน่งต้นลมเป็นหลัก สำหรับกรณีที่มีการไหลซับซ้อน แบบแผนวิธีนี้จะทำให้คุณสมบัติความเข้ากันได้ลดลง

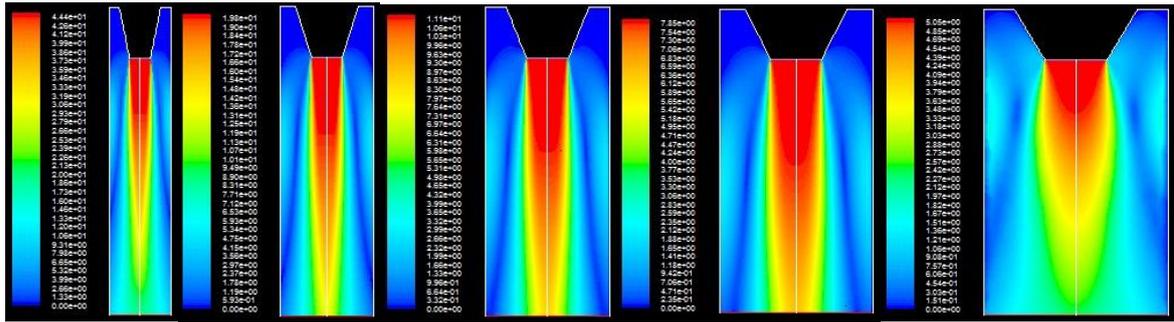
#### 4.1.6 กรณีศึกษา

กรณีศึกษาที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองนี้ได้ทำการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วของของไหลปฐุมุมุมิที่ทางเข้า เส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีด ( $D_j$ ) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของห้องผสม ( $D_c$ ) ความยาวของห้องผสม ( $L_c$ ) ดังนี้

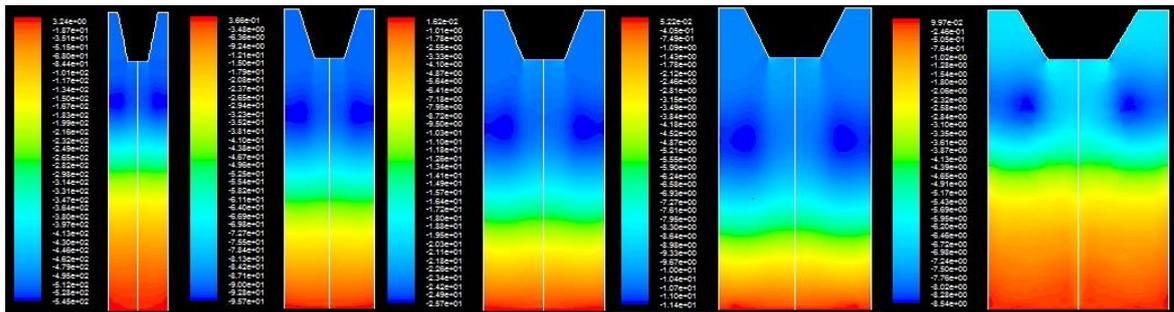
- กำหนดอัตราการไหลของของไหลปฐุมุมุมิที่ทางเข้าเป็น 2, 4, 6, 8 และ 10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
- ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีด ( $D_j$ ) เป็น 4, 6, 8, 10 และ 12 มิลลิเมตร
- ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของห้องผสม ( $D_c$ ) เป็น 2, 2.5, 3, 4 และ 5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีด ( $2D_j, 2.5D_j, 3D_j, 4D_j, 5D_j$ )
- ขนาดความยาวของห้องผสมนับจากปลายหัวฉีด ( $L_c$ ) เป็น 1, 2 และ 3 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของห้องผสม ( $D_j$ )

การศึกษาการสร้างแบบจำลองการไหลของของไหลโดยใช้โปรแกรมแอนซิสฟลูเอนท์ (ANSYS FLUENT) และการศึกษาแบบจำลองการไหลของชุดหัวฉีดที่มีการสร้างแบบจำลองของไหลสองชนิดที่ตัวแปรค่าต่างๆแสดงได้ดังรูป 4.5

- $Q = 2 \text{ m}^3/\text{hr}$ ,  $D_j = 4, 6, 8, 10$  และ  $12 \text{ mm}$ ,  $D_c = 3D_j$ ,  $L_c = 60 \text{ mm}$



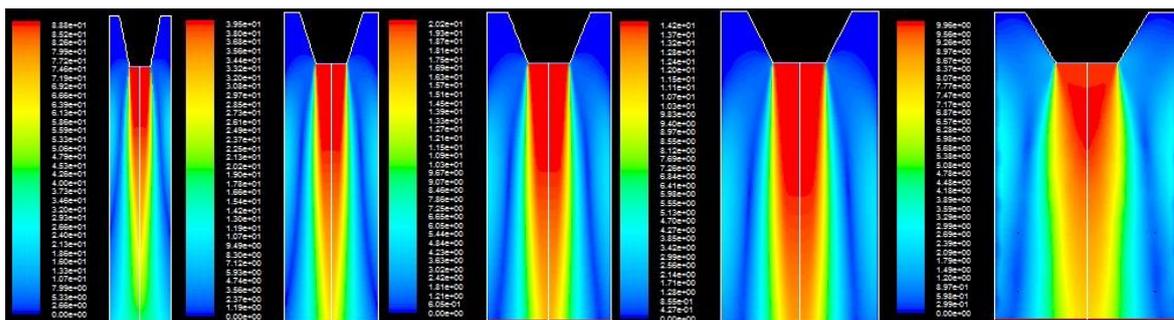
(ก) แผนผังความเร็ว



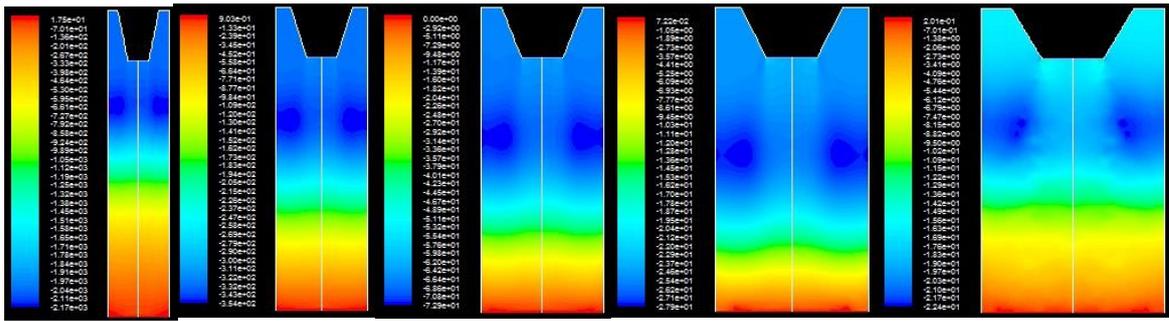
(ข) แผนผังความดัน

รูปที่ 4.5 แผนผังความเร็วและแผนผังความดันที่อัตราการไหล 2 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงและที่  $D_j$  เท่ากับ 4,6,8,10 และ 12 มิลลิเมตรตามลำดับ

- $Q = 4 \text{ m}^3/\text{hr}$ ,  $D_j = 4, 6, 8, 10$  และ  $12 \text{ mm}$ ,  $D_c = 3D_j$  mm,  $L_c = 60 \text{ mm}$



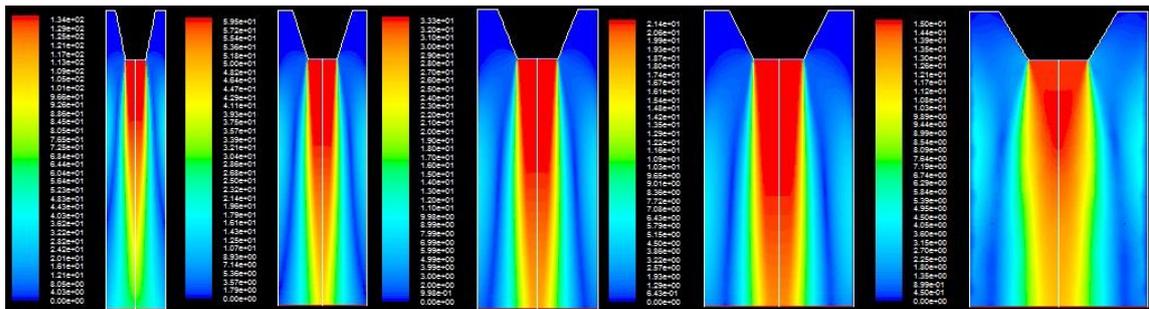
(ก) แผนผังความเร็ว



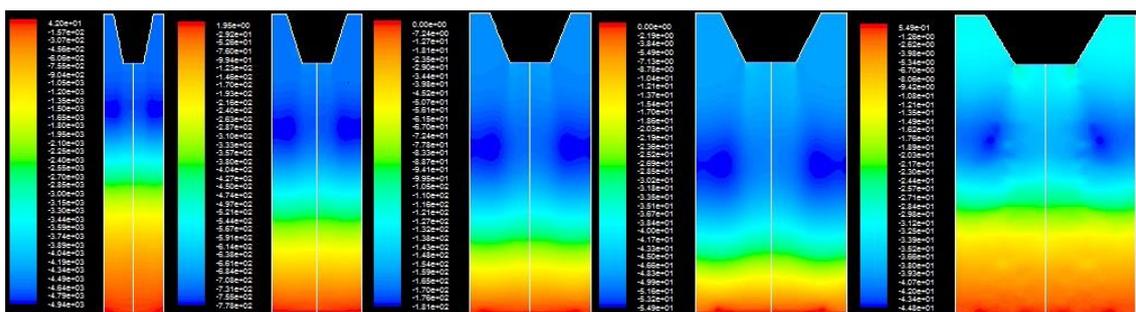
(ข) แผนผังความดัน

รูปที่ 4.6 แผนผังความเร็วและแผนผังความดันที่อัตราการไหล 4 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงและที่  $D_j$  เท่ากับ 4,6,8,10 และ 12 มิลลิเมตรตามลำดับ

- $Q = 6 \text{ m}^3/\text{hr}$ ,  $D_j = 4,6,8,10$  และ  $12 \text{ mm}$ ,  $D_c = 3D_j$ ,  $L_c = 60 \text{ mm}$



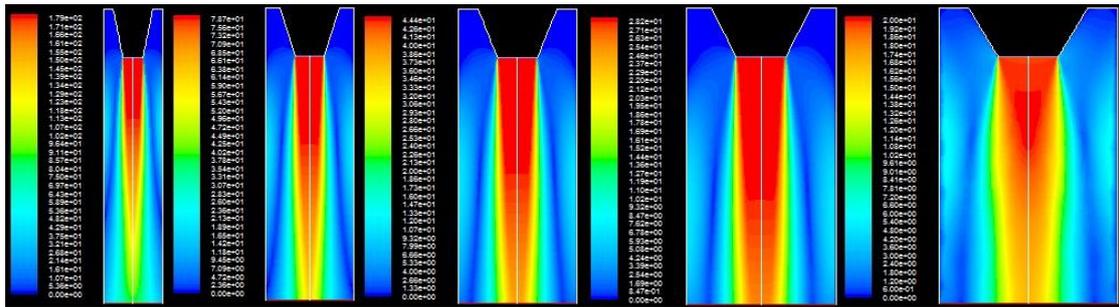
(ก) แผนผังความเร็ว



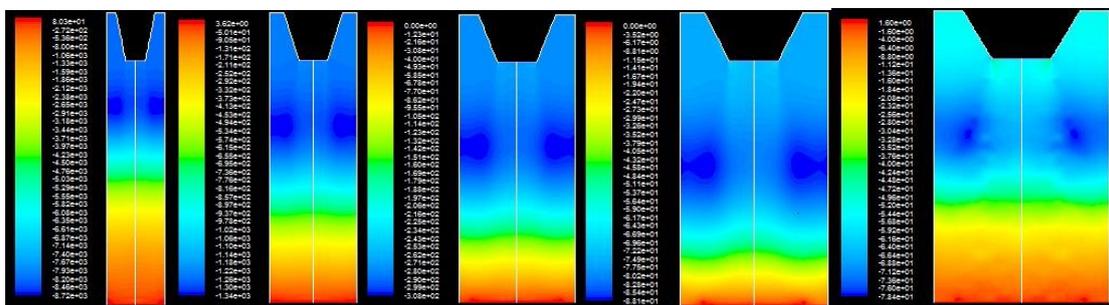
(ข) แผนผังความดัน

รูปที่ 4.7 แผนผังความเร็วและแผนผังความดันที่อัตราการไหล 6 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงและขนาด  $D_j$  เท่ากับ 4,6,8,10 และ 12 มิลลิเมตรตามลำดับ

- $Q = 8 \text{ m}^3/\text{hr}$ ,  $D_j = 4,6,8,10$  และ  $12 \text{ mm}$ ,  $D_c = 3D_j$ ,  $L_c = 60 \text{ mm}$



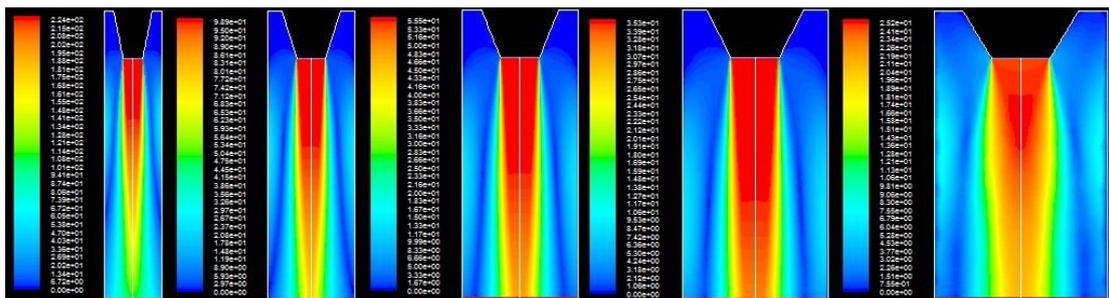
(ก) แผนผังความเร็ว



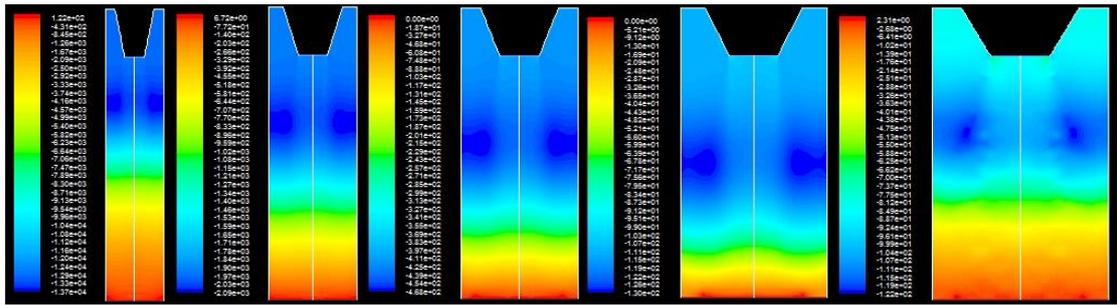
(ข) แผนผังความดัน

รูปที่ 4.8 แผนผังความเร็วและแผนผังความดันที่อัตราการไหล 8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงและขนาด  $D_j$  เท่ากับ 4,6,8,10 และ 12 มิลลิเมตรตามลำดับ

- $Q = 10 \text{ m}^3/\text{hr}$ ,  $D_j = 4,6,8,10$  และ  $12 \text{ mm}$ ,  $D_c = 3D_j$ ,  $L_c = 60 \text{ mm}$



(ก) แผนผังความเร็ว



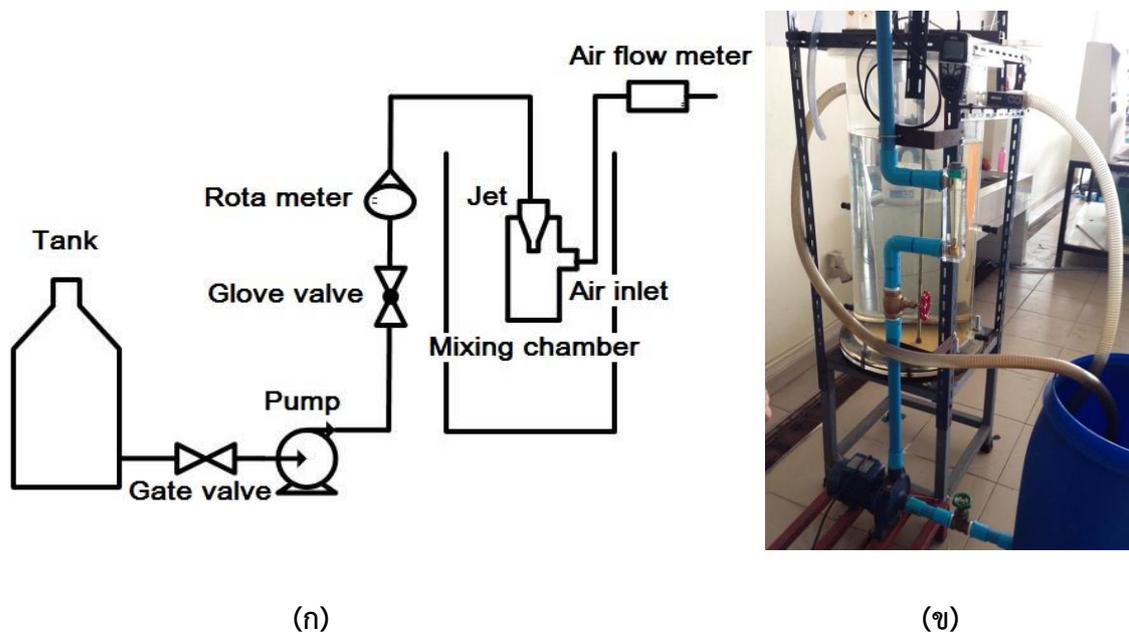
(ข) แผนผังความดัน

รูปที่ 4.9 แผนผังความเร็วและแผนผังความดันที่อัตราการไหล 10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงและขนาด  $D_j$  เท่ากับ 4,6,8,10 และ 12 มิลลิเมตรตามลำดับ

## 4.2 ชุดทดลองและวิธีการทดลอง

### 4.2.1 อุปกรณ์การทดลอง

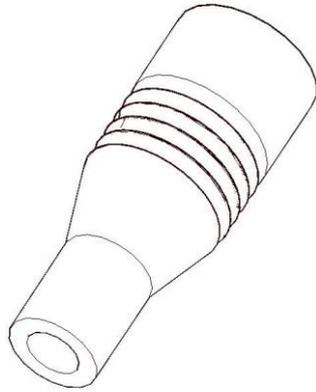
การออกแบบเจ็ทเหนี่ยวนำอากาศได้ออกแบบตามวิธีการออกแบบ โดยแยกส่วนของการออกแบบชุดทดลองหัวฉีดเหนี่ยวนำออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ [20] คือ ขั้นตอนการออกแบบความยาวห้องผสม และขั้นตอนการออกแบบขนาดของทางเข้าอากาศ ชุดทดลองหัวฉีดเหนี่ยวนำนี้ถูกติดตั้งที่ความสูงเดียวกันทุกครั้งที่เปลี่ยนค่าการทดลอง โดย อุปกรณ์ทุกชิ้นถูกติดตั้งให้ไม่มีการเคลื่อนไหว และกำหนดจุดที่ติดตั้งอุปกรณ์ตายตัว ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 (ก) แผนผังโครงสร้างชุดทดลอง, (ข) การติดตั้งชุดทดลองของจริง

#### 4.2.1.1 หัวฉีดเหนี่ยวนำอากาศ (Jet Head)

ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดเหนี่ยวนำอากาศที่นำมาใช้ในการทดลอง ถูกออกแบบให้มีขนาดเดียวที่ 6 มิลลิเมตร การออกแบบขนาดและสัดส่วนจะเป็นไปตามหลักมาตรฐาน ASME (American Society Mechanical Engineering) ดังแสดงในรูปที่ 4.11



(ก)

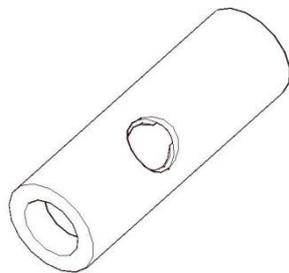


(ข)

รูปที่ 4.11 (ก) แบบของหัวฉีดที่ใช้ในการสร้างจริง, (ข) หัวฉีดเจ็ทที่ใช้ในการทดลอง

#### 4.2.1.2 ห้องผสม (Mixing Chamber)

ห้องผสมที่ใช้ในโครงการนี้มีทั้งหมด 6 แบบ ซึ่งการออกแบบจะเปลี่ยนแปลงระยะ และขนาดของทางเข้าอากาศอัตราส่วนที่เหมาะสมของความยาวห้องผสมต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีดเหนี่ยวนำ ( $L/D_j$ ) มีค่าระหว่าง 4 ถึง 9 ซึ่งอัตราส่วนของห้องผสมที่ใช้ในการทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 6 โดยมีความยาวจากปลายหัวฉีดถึงทางออก 36 มิลลิเมตร โครงการนี้ได้ออกแบบให้ทางเข้าอากาศอยู่ทางด้านข้างของห้องผสมและอยู่ห่างจากปลายหัวฉีด (เทียบจากจุดศูนย์กลางของทางเข้าอากาศ) เป็นระยะทาง 1, 2 และ 3 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีด ( $1D_j$ ,  $2D_j$ ,  $3D_j$ ) ซึ่งจะเป็น 6, 12 และ 18 มิลลิเมตร ตามลำดับโดยให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอากาศเป็น  $2D_j$  (12 มิลลิเมตร) แสดงดังรูปที่ 4.12



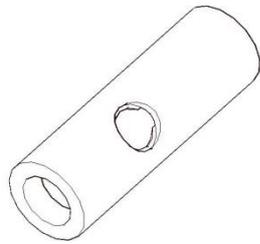
(ก)



(ข)

รูปที่ 4.12 (ก) แบบของห้องผสมที่ใช้ในการสร้างจริง, (ข) ห้องผสมขนาดต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

หลังจากทำการทดลองของขนาดห้องผสมที่ระยะ 6, 12 และ 18 มิลลิเมตร เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมหนึ่งตำแหน่งและนำตำแหน่งที่ได้มาศึกษาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูอากาศที่เหมาะสมโดยทำการสร้างห้องผสมที่มีขนาดรูอากาศเท่ากับ  $1D_j$ ,  $1.5D_j$ ,  $2D_j$  และ  $2.5D_j$  (6, 9, 12 และ 15 มิลลิเมตร ตามลำดับ) ในที่นี้ขนาด  $2D_j$  ทำการสร้างก่อนหน้านี้ดังนั้นจึงมีการสร้างห้องผสมเพิ่มอีกสามขนาดคือ  $1D_j$ ,  $1.5D_j$  และ  $2.5D_j$  ดังแสดงในรูปที่ 4.1



(ก)

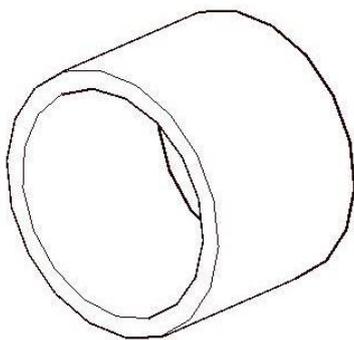


(ข)

รูปที่ 4.13 (ก) แบบของห้องผสมที่ใช้ในการสร้างจริง, (ข) ห้องผสมขนาดต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

#### 4.2.1.3 หัวต่อท่ออากาศ (Air Inlet)

หัวต่อท่ออากาศเป็นส่วนเชื่อมต่อระหว่างทางเข้าอากาศกับสายยางโดยทำหน้าที่ส่งต่อของไหลทุติยภูมิซึ่งก็คืออากาศในโครงการนี้ อากาศจะถูกดูดผ่านหัวต่อนี้ไปผสมกับของไหลปฐมภูมิคือน้ำในห้องผสม ในที่นี้ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของรูอากาศจะมีทั้งหมด 4 ขนาด คือ  $1D_j$ ,  $1.5D_j$ ,  $2D_j$  และ  $2.5D_j$  ซึ่งมีหัวต่อท่ออากาศทั้งหมด 6 ชิ้นคือ  $1D_j$  1 ชิ้น,  $1.5D_j$  1 ชิ้น,  $2D_j$  3 ชิ้นและ  $2.5D_j$  1 ชิ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.14



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.14 (ก) แบบของรูอากาศที่ใช้ในการสร้างจริง, (ข) หัวต่อท่ออากาศที่ใช้ในการทดลอง

#### 4.2.2 ถังผสม (Mixing Tank)

ถังใสจะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สังเกตลักษณะของกระแสเจ็ทที่ออกจากชุดหัวฉีดเหนี่ยวนำ รวมถึงลักษณะฟองอากาศที่เกิดขึ้น มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร สูง 90 เซนติเมตร มีรูระบายน้ำ 6 รู มีมาตรวัดความจุในหน่วยลิตรที่ด้านข้างของถัง ฐานรองยึดติดกับโครงเหล็กที่ใช้รองรับถังด้วยน็อต โดยที่น้ำจะไหลเข้าจากด้านบนซึ่งเปิดออกสู่บรรยากาศของถังผสม และมีการระบายน้ำออกที่รูระบายน้ำด้านข้างที่สูงที่สุดทั้งสองรูเพื่อให้การทดลองอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady State)



รูปที่ 4.15 ถังผสม (Mixing-Tank) ที่ใช้ในการทดลอง

#### 4.2.3 ระบบสูบน้ำ ท่อ และอุปกรณ์ต่างๆ (Water Pump, pipes and Tools)

ประกอบด้วยเครื่องส่งกำลังเพื่อสูบน้ำเข้าไปไหลเวียนในระบบ ท่อพีวีซี วาล์ว ข้อต่อ และสายยาง

##### 4.2.3.1 เครื่องสูบน้ำ

เครื่องสูบน้ำที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง (Centrifugal Water Pump, Wizz WCP130) กำลังขับ 0.5 Hp (370.6 Watt) แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ให้อัตราการไหลสูงสุดได้ 90L/min เฮดสูงสุด 22 เมตร



รูปที่ 4.16 เครื่องสูบน้ำที่ใช้ในการทดลอง

#### 4.2.3.2 วาล์ว(Valve)

วาล์ว เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการไหลของของไหล

- Gate Valve

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปิดปิดน้ำที่จะถูกดูดเข้ามาไหลเวียนในระบบโดยปั้มน้ำ ถูกติดตั้งอยู่ระหว่างถังบรรจุน้ำและปั้มน้ำ สามารถป้องกันการไหลกลับของน้ำได้



รูปที่ 4.17 เกทวาล์ว

- Globe Valve

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมอัตราการไหลของของไหลปฐุมุมิ โดยจะถูกติดตั้งอยู่ก่อนเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 โกลบวาล์ว

#### 4.2.3.3 สายยาง (Rubber Tube)

การทดลองนี้จะใช้สายยาง 2 ชนิด ชนิดแรกคือสายยางขนาดเล็ก เส้นผ่าศูนย์กลาง  $\frac{3}{4}$  นิ้ว ใช้เพื่อเชื่อมต่อท่อพีวีซีกับหัวฉีดทั้งด้านทางเข้าปฐุมุมิและทุติยภูมิ ชนิดที่สองคือสายยางขนาดใหญ่ ถูกต่อเข้ากับรูระบายน้ำที่สูงที่สุดของทั้งสองด้านเพื่อระบายน้ำออกสู่ถังบรรจุน้ำทำให้ระดับน้ำในการทดลองคงที่



รูปที่ 4.19 สายยางขนาดใหญ่

#### 4.2.3.4 ชุดท่อพีวีซี (PVC pipes and joints)

ท่อพีวีซีที่บที่ใช้ในการทดลองนี้ใช้ในการส่งผ่านน้ำ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง  $\frac{3}{4}$  นิ้ว (19.05 เซนติเมตร) มีสีฟ้า เชื่อมต่อกันด้วยข้อต่อ  $90^{\circ}$  3 ชั้น และข้อเกลียวด้วยกาวเชื่อม



รูปที่ 4.20 ชุดท่อพีวีซี

#### 4.2.4 เครื่องมือวัด (Measuring Equipment)

เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลองนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ เครื่องมือวัดอัตราการไหลของอากาศที่ถูกเหนี่ยวนำเข้าไปในระบบผ่านทางท่อพีวีซีใส และเครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำที่ถูกสูบผ่านเครื่องส่งกำลังเข้าสู่ระบบ

4.2.4.1 เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ (Thermo anemometer) เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นของบริษัท KIMO INSTRUMENT ดังแสดงในรูปที่ 4.21 ซึ่งใช้วัดความเร็วของอากาศอยู่ในช่วง 0.15-30 m/s ความละเอียดในการวัด 0.01 m/s ความแม่นยำในการวัด  $\pm 3\%$  ทำการสอบเทียบ(Calibration)มาจากโรงงาน



รูปที่ 4.21 เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ (Thermo anemometer)

4.2.4.2 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ (Rota Meter) เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในการทดลองใช้ของบริษัท Nitto Instruments Model Z-500, Series Z-5032 ใช้วัดอัตราการไหลของน้ำบริเวณก่อนท่อทางเข้าปฐุมฤมิขณะทำการทดลอง โดยสามารถวัดอัตราการไหลของน้ำอยู่ในช่วง 10-65 LPM ที่ความดันสูงสุด 10 bar ช่วงอุณหภูมิจำกัดที่ 60 °C และมีค่าความแม่นยำ  $\pm 5\%$  ดังแสดงในรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ

4.2.4.3 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Clamp on Power meter) เป็นอุปกรณ์ในการวัดกำลังไฟฟ้า สามารถวัดค่าของ แอมป์ (Amp), โวลต์ (Volt), เพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power factor) และกำลัง (Power)



รูปที่ 4.23 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า

#### 4.2.5 กล้องถ่ายภาพฟองอากาศ (Canon EOS 7D)



รูปที่ 4.24 กล้องถ่ายภาพฟองอากาศ

### 4.3 วิธีการทดลอง

ในการทดลองชุดหัวฉีดนั้นต้องมีการติดตั้งชุดหัวฉีด ปรับอัตราการไหลต่างๆ รวมถึงการที่ทำให้น้ำในถังอยู่ในสภาวะคงที่นั้น ทำได้ดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. ติดตั้งชุดหัวฉีดเหนี่ยวนำในถังผสมที่ตำแหน่ง 75 เซนติเมตร จากกันถึงแนวตั้งและอุณหภูมิในการติดตั้งอยู่ที่ 25 °C
2. บรรจุน้ำในถังผสมจนกระทั่งมีปริมาตร 0.287 ลูกบาศก์เมตร หรือที่ความสูงของระดับน้ำอยู่ที่ 55 เซนติเมตร จากกันถึงผสม และเปิดรูระบายน้ำเพื่อให้ระดับน้ำคงที่ (steady state)
3. ปรับอัตราการไหลของน้ำไปยังค่าที่ต้องการ เริ่มที่ 20.1 ลิตรต่อนาที
4. ต่อสายยางถ่ายน้ำสู่ถังเก็บ รอจนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว
5. เริ่มทำการวัดค่าความเร็วของอากาศ โดยนับเอาค่าที่แสดงบนจอเครื่องวัดนานที่สุด และบ่อยครั้งที่ที่สุด
6. เปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำเป็นค่า 18.67, 17.24 และ 15.81 ลิตรต่อนาที และทำซ้ำตั้งแต่ 1- 5
7. เปลี่ยนตำแหน่งของรูอากาศเป็นจำนวนเท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวฉีด ได้แก่ ตำแหน่งของรูอากาศ ( $L_c$ ) เป็น 1, 2 และ 3 เท่าของ เส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีด ( $D_j$ ) และทำซ้ำตั้งแต่ 1 ถึง 6
8. เปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูอากาศเป็นจำนวนเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางรูอากาศ ( $D_a$ ) เป็น 1, 1.5, 2 และ 2.5 เท่า และทำซ้ำตั้งแต่ 1 ถึง 6
9. วัดกำลังของไฟฟ้าที่ใช้ด้วย Clamp-On Power Meter
10. ถ่ายภาพขนาดฟองอากาศทุกอัตราการไหลในข้อ 7 และทุกขนาดหัวฉีดในข้อ 8 และ 9 ด้วยกล้อง Canon EOS 7D เพื่อหาขนาดของฟองอากาศ