บทที่ 4

การออกแบบชุดทดลอง

4-1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบชุดทดลองแบบออริฟิสเพื่อใช้ประกอบกับเครื่องสร้างปรากฏการณ์คาวิเทชันในการทำให้เกิดปรากฏการณ์คาวิเทชันเพื่อที่จะวัดสัญญาณการสั่นสะเทือน โดยการออกแบบจะใช้ข้อมูลจากการทดลองและผลสรุปของการทดลองของ Fang, K.S., Kooslhof,Sweeney,C.E,Stripling,T.C [6 หน้า 167-183]

4-2 เครื่องสร้างปรากฏการณ์คาวิเทชัน

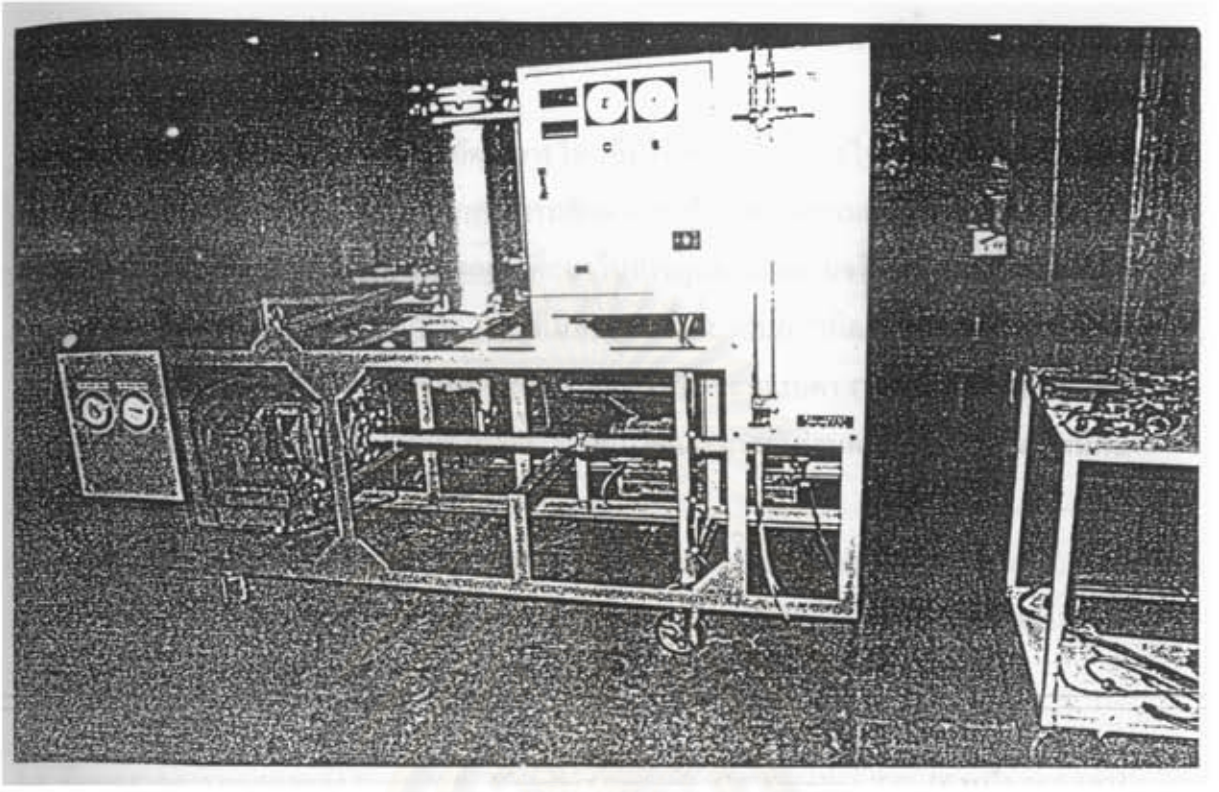
เป็นเครื่องมือที่ใช้สร้างปรากฏการณ์คาวิเทชันที่ผลิตโดยบริษัท Tokyo Meter Co.,LTD. Model CPE-2412B โดยจะสังเกตปรากฏการณ์คาวิเทชันที่บริเวณชิ้นส่วนที่ใช้ในการสังเกตปรากฏการณ์คาวิเทชัน(Observation Device)ในที่นี้จะกล่าวเพียงหลักการคร่าวๆโดยจะกล่าวอย่างละเอียดในภาคผนวก ข.

เครื่องสร้างปรากฏการณ์คาวิเทชันมีหลักการทำงานคร่าวๆคือระบบจะมีปั๊ม 2 ตัวคือ

1) ปั๊มที่ใช้สำหรับลดความดันในระบบ (Vacuum Pump)
2) ปั๊มที่ใช้หมุนเวียนน้ำในระบบ

น้ำในระบบจะถูกลดความดันที่ถังลดความดัน (Decompression Tank) โดยความดันจะยังไม่ลดถึงความดันไอของน้ำ ปั๊มที่ใช้หมุนเวียนน้ำจะหมุนเวียนน้ำในระบบจนถึงบริเวณจุดที่ใช้สังเกตปรากฏการณ์คาวิเทชัน (Observation Device) ซึ่งจะมีโมเดล (Model)วางอยู่ เมื่อน้ำไหลผ่านโมเดลจะทำให้ความดันลดลงจนต่ำกว่าความดันไอ ทำให้เกิดฟองอากาศขึ้น เมื่อความดันล้อมรอบฟองอากาศเพิ่มขึ้นมากกว่าความดันฟองอากาศจะทำให้ฟองอากาศแตกตัว ซึ่งเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดก็คือปรากฏการณ์คาวิเทชันนั่นเอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-1 เครื่องสร้างปรากฏการณ์คาวิเทชัน

4-3การออกแบบชุดทดลองเพื่อใช้ประกอบกับเครื่องสร้างปรากฏการณ์คาวิเทชัน(Cavitation Phenomenon Experimental Apparatus)

จะแบ่งการออกแบบเป็น 2 ชิ้นส่วนสำคัญด้วยกันคือ

1) ชิ้นส่วนที่ใช้สร้างปรากฏการณ์คาวิเทชัน เป็นชิ้นส่วนที่ใช้ลดความดันในระบบการไหลให้ต่ำกว่าความดันไอของของเหลวเพื่อทำให้ปรากฏการณ์คาวิเทชัน

2) ชิ้นส่วนที่ใช้ในการสังเกตปรากฏการณ์คาวิเทชัน(Observation Device) จะใช้วัสดุโปร่งใสในการทำชิ้นส่วนนี้เพื่อจะได้สามารถสังเกตปรากฏการณ์คาวิเทชันได้ชัดเจนและสามารถถ่ายรูปปรากฏการณ์คาวิเทชันเพื่อประกอบในการทดลอง โดยในที่นี้จะใช้ท่ออะคลิลิกใส

4-4 การเลือกชนิดของชิ้นส่วนที่ใช้สร้างปรากฏการณ์คาวิเทชัน

ปรากฏการณ์คาวิเทชันมักเกิดขึ้นในอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนของอุปกรณ์ที่ทำให้ความดันลดลงเมื่อไหลผ่านเช่น เวนทูรี (Venturi) วาล์ว หรือ ออริฟิส แต่ในวิทยานิพนธ์นี้จะเลือกใช้ออริฟิส เนื่องจาก

1) ออริฟิสเป็นอุปกรณ์การวัดอัตราการไหลที่มีใช้อย่างแพร่หลายในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมหลายๆประเภท ดังนั้นหากสามารถศึกษาและเข้าใจพฤติกรรมการเกิดปรากฏการณ์คาวิเทชันที่เกิดจากออริฟิสก็จะสามารถนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้กับงานจริงในอุตสาหกรรมได้

2)ได้มีการศึกษาข้อมูลรวมทั้งความรู้ที่มีพื้นฐานที่เกี่ยวกับการเกิดปรากฏการณ์คาวิเทชันในออริฟิสเพียงพอที่จะใช้ในการออกแบบชุดทดลอง กล่าวคือ จะทราบค่า σ_2 ที่ทำให้เกิดคาวิเทชันในระดับต่าง ๆ รวมทั้งทราบถึงการแปลงมาตราส่วนขนาดและมาตราส่วนความดันให้เหมาะสมกับระบบที่ต้องการได้

3) ออริฟิสเป็นอุปกรณ์ที่สร้างง่าย ราคาถูก

4) ออริฟิสสามารถเปลี่ยนอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางออริฟิสได้ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเกิดปรากฏการณ์คาวิเทชัน

4-5 ข้อมูลจากการทดลองของ Fang, K.S., Kooslhof,Sweeney,C.E,Stripling,T.C [6 หน้า 167-183]

เป็นข้อมูลจากการทดลองเกี่ยวกับตัวเลขในการบ่งชี้ถึงระดับความรุนแรงของปรากฏการณ์คาวิเทชันสำหรับออริฟิสที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้วความดันก่อนเข้าออริฟิส (Orifice Upstream Pressure) 90 psi (620 kPa) และ P_{vgo} = -12.2 psi (-84 kPa) โดยในการวิจัยชิ้นนี้จะใช้ผลการทดลองของ Fang, K.S., Kooslhof,Sweeney,C.E,Stripling,T.C [6 หน้า 167-183] มาเป็นพื้นฐานเบื้องต้นในการออกแบบชุดทดลองและทำการปรับแต่งเพื่อให้ใช้ประกอบกับเครื่องสร้างปรากฏการณ์คาวิเทชัน ซึ่งเมื่อได้สร้างชุดทดลองแล้วปรากฏว่าสามารถสร้างปรากฏการณ์คาวิเทชันได้จริง ข้อมูลจากการทดลองของ Fang, K.S., Kooslhof,Sweeney,C.E,Stripling,T.C จะสามารถสรุปดังตาราง 4-1 และ รูปที่ 4-2 ถึงรูปที่ 4-3

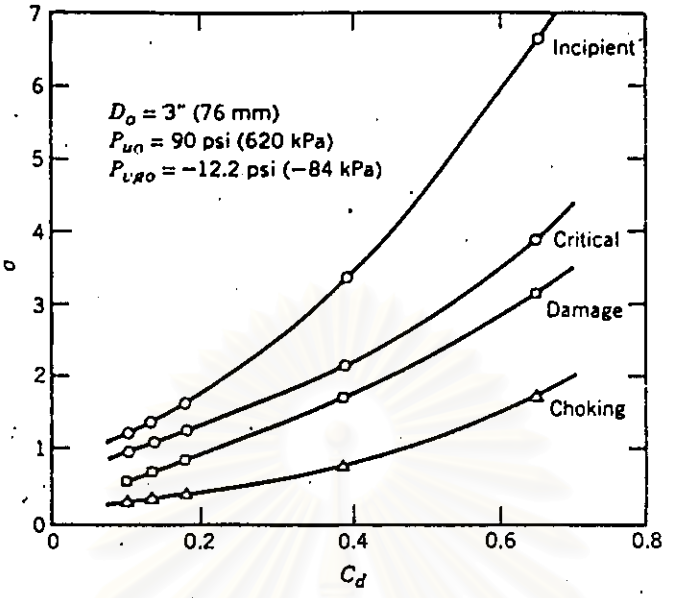
ตารางที่ 4-1 ข้อจำกัดของปรากฏการณ์คาวิเทชันสำหรับออริฟิสจากการทดลองของ Fang, K.S., Kooslhof,Sweeney,C.E,Stripling,T.C

d_o/D	A_p/A_o	C_d	σ_i	σ_c	σ_{id}	σ_{ch}
0.389	6.60	0.100	1.10	0.96	0.45	0.27
0.444	5.06	0.133	1.30	1.00	0.67	0.32
0.500	4.00	0.179	1.62	1.20	0.83	0.39
0.667	2.25	0.385	3.38	2.16	1.73	0.74
0.800	1.56	0.648	6.62	3.89	3.19	1.78

หมายเหตุ :D = 3 นิ้ว P_{uo}= 90 psi, P_{vgo}= -12.2 psi, d_o = เส้นผ่านศูนย์กลางออริฟิส, D = เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ , A_p = พื้นที่หน้าตัดท่อ , A_o = พื้นที่หน้าตัดออริฟิส σ_i = ค่า Cavitation Number ที่ก่อให้เกิดคาวิเทชัน เริ่มต้น, σ_c = ค่า Cavitation Number ที่ก่อให้เกิดคาวิเทชันวิกฤต, σ_{id} = ค่า Cavitation Number ที่ก่อให้เกิดคาวิเทชันที่เริ่มก่อความเสียหาย, σ_{ch} = ค่า Cavitation Number ที่ก่อให้เกิดคาวิเทชั่นแบบโช้กกิ้งคาวิเทชัน (Choking Cavitation)

ตารางที่4-1เป็นตารางที่ได้จากการสรุปผลการทดลองของFang,K.S., Kooslhof,Sweeney,C.E,Stripling,T.C [6 หน้า 167-183] โดยในตารางจะแสดงค่า σ ที่ระดับความรุนแรงต่างๆของปรากฏการณ์คาวิเทชันที่เกิดโดยออริฟิสที่มีอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางออริฟิสกับเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ(d_o/D)ต่างๆกัน

ในการทดลองจะใช้ออริฟิสในการทำให้เกิดปรากฏการณ์คาวิเทชัน โดยท่อของชุดทดลองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว และใช้ออริฟิสที่มีอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางออริฟิสกับเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ(d_o/D)ต่างๆกันในการทดลองและเก็บข้อมูล โดยมีความดันก่อนเข้าออริฟิส (Oirfice Upstream Pressure) 90 psi (620 kPa) และ ความดันไอของของเหลว (P_{vgo}) = -12.2 psi (-84 kPa) ผลการทดลองของ Fang,K.S., Kooslhof,Sweeney,C.E,Stripling,T.C [6 หน้า 167-183] นอกจากมีการสรุปผลการทดลองเป็นตารางแล้วยังมีการสรุปผลการทดลองเป็นกราฟดังแสดงในรูปที่ 4-2 และรูปที่ 4-3



รูปที่ 4-2 แสดงข้อมูลของปรากฏการณ์คาวิเทชันสำหรับออริฟิสจากการทดลองของ Fang, K.S., Kooslhof,Sweeney,C.E,Stripling,T.C

$$\sigma_i = 0.62+4.4C_d+6.6C_d^2+1.3C_d^3 \quad (4.1)$$

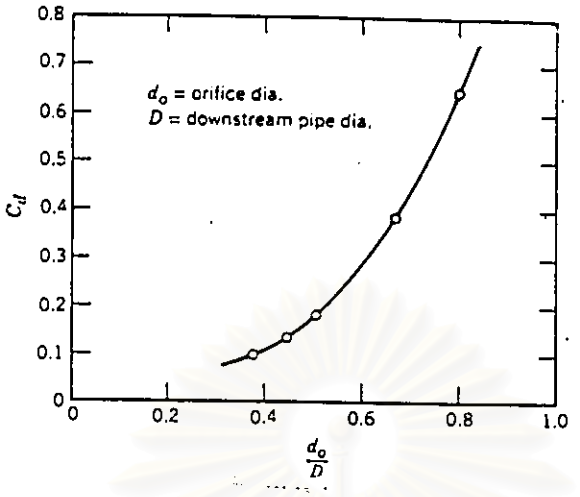
$$\sigma_c = 0.78+1.0C_d+7.9C_d^2+3.2C_d^3 \quad (4.2)$$

$$\sigma_{id} = -0.11+6.5C_d-7.6C_d^2+8.6C_d^3 \quad (4.3)$$

$$\sigma_{ch} = 0.15+1.2C_d-0.31C_d^2+3.3C_d^3 \quad (4.4)$$

รูปที่4-2 เป็นการแสดงผลการทดลองของ Fang,K.S., Kooslhof,Sweeney,C.E,Stripling,T.C [6 หน้า 167-183] โดยนำค่า σ ของปรากฏการณ์คาวิเทชันในระดับความรุนแรงต่างๆ ที่ได้จากการทดลองมาทำการวาดกราฟเทียบกับสัมประสิทธิ์การปลดปล่อย (Discharge Coefficient)ของออริฟิส โดยค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อย (Discharge Coefficient) ของ ออริฟิสจะได้จากการทดลองเช่นกันโดยจะแสดงผลการทดลองในรูปที่ 4-3

สมการที่ (4.1) ถึง สมการที่ (4.4) เป็นการนำกราฟของรูปที่ 4-2 มาเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ เพื่อง่ายในการใช้งาน



รูปที่ 4-3 แสดงสัมประสิทธิ์การปลดปล่อย (Discharge Coefficients)ของออริฟิสจากการทดลอง ของ Fang, K.S., Kooslhof,Sweeney,C.E,Stripling,T.C

$$C_d = 0.019+0.083B-0.203B^2+1.35B^3 \quad (4.5)$$

$$B = d_o/D \quad (4.6)$$

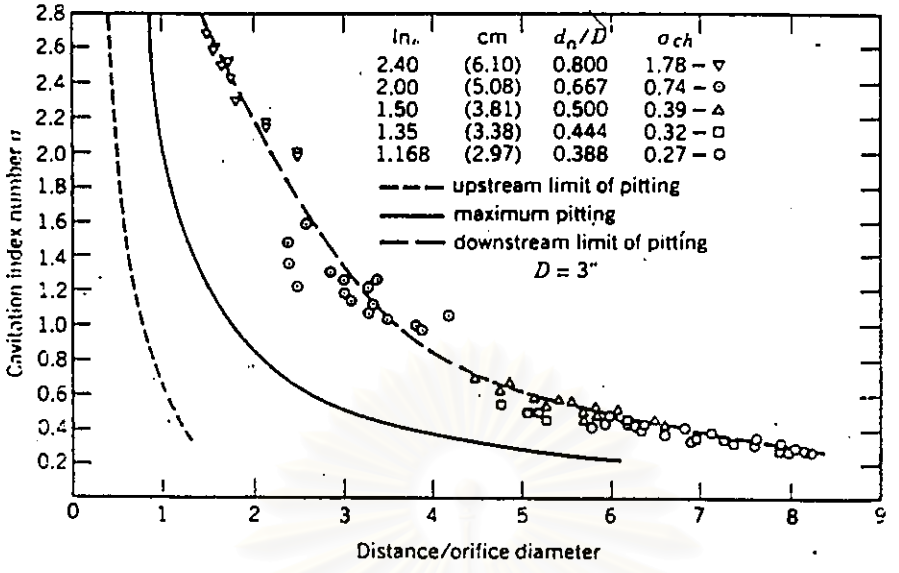
$$B = 0.193+2.34C_d-3.94C_d^2+2.73\ C_d^3 \quad (4.7)$$

รูปที่4-3 เป็นการแสดงผลการทดลองของ Fang,K.S., Kooslhof,Sweeney,C.E,Stripling,T.C [6 หน้า 167-183] โดยกราฟจะแสดงสัมประสิทธิ์การปลดปล่อย (Discharge Coefficients) ของออริฟิสเทียบกับค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางออริฟิสกับเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ(d_o/D)ต่างๆ

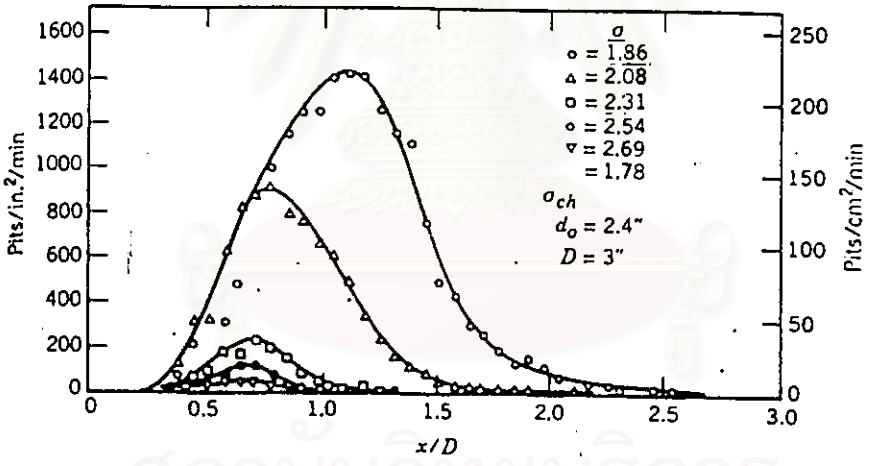
สมการที่ (4.5) ถึงสมการที่ (4.7) เป็นการนำกราฟของรูปที่ 4-3 มาเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ เพื่อง่ายในการใช้งาน

4-6 <u>บริเวณที่เกิดความเสียหายเนื่องจากปรากฏการณ์คาวิเทชัน</u>

ถ้าเราต้องการทำให้เกิดปรากฏการณ์คาวิเทชันในออริฟิสเราต้องทราบแนวโน้มว่าจะเกิดความเสียหายที่บริเวณใดเพื่อใช้ในการออกแบบชุดทดลอง จากผลการทดลองได้ระบุให้เห็นบริเวณที่เกิดความเสียหายของท่อขนาด 3 นิ้ว ซึ่งโดยทั่วไปความเสียหายจะเกิดไกลออกไปจากออริฟิสเมื่อค่า d/D ลดลงเป็นดังรูปที่ 4-4 และ 4-5



รูปที่ 4-4 เขตการเกิดหลุมด้านออกจากออริฟิส



รูปที่ 4-5 การกระจายของหลุมด้านออกจากออริฟิส

รูปที่ 4-4 และ 4-5 เป็นการแสดงผลการทดลองจากการทดลองทั้งหมด 165 การทดลอง [6 หน้า 170-171] เพื่อศึกษาขอบเขตของการเสียหายเนื่องจากปรากฏการณ์คาวิเทชันโดยใช้ระดับความรุนแรงของ ปรากฏการณ์คาวิเทชันตั้งแต่ คาวิเทชันแบบเริ่มก่อความเสียหายจนถึงโชกกิ้งคาวิเทชัน ผลการศึกษา [6 หน้า 170-171] พบว่าเมื่อ Cavitation Number ลดลง หลุมความเสียหายจะไกลจากบริเวณหลังออริฟิสขึ้นเรื่อย ๆ และความหนาแน่นของหลุมความเสียหายก็จะเพิ่มขึ้น

4-7 มาตราส่วนขนาดและมาตราส่วนความดัน

เราไม่สามารถนำข้อมูลจากการทดลองของFang,K.S.,Kooslhof,Sweeney,C.E,Stripling, T.C [6 หน้า 167-183] มาใช้ในการออกแบบโดยตรงเพราะเราต้องคำนึงถึงผลจากมาตราส่วนซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการประมาณค่านอกช่วงจากข้อมูลในการทดลองไปยังระบบที่มีอยู่

จากการศึกษาของ Ball,J. W.,Tullis, J. P., and Stripling, T. Knapp. R.T. [4,5] พบว่าคาวิเทชันเริ่มก่อและคาวิเทชันวิกฤตที่เกิดขึ้นในออริฟิสไม่มีผลมาจากมาตราส่วนความดัน (Pressure Scale Effect) ดังนั้นค่า σ_i และ σ_c จากรูปที่ 4-1 ถึง 4-2 และ ตาราง 4-1 จึงใช้ได้กับทุกค่าความดัน แต่จะต้องมีการปรับแต่งค่า σ_i และ σ_c เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเปลี่ยนไป เราสามารถคำนวณค่าผลจากมาตราส่วนขนาดจากสมการดังนี้

$$SSE = (D/d)^y \qquad (4.8)$$

โดย SSE = มาตราส่วนขนาดซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการประมาณการปรับแต่งค่านอกช่วงจากข้อมูลในการทดลองไปยังระบบที่มีอยู่

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่ออ้างอิง

และตัวเลขยกกำลัง y คำนวณจาก

$$y = 0.3\ K^{-0.25} \qquad (4.9)$$

และ

$$K = (1/C_d^2)-1 \qquad (4.10)$$

โดย C_d = Discharge Coefficients For Orifices

K = สัมประสิทธิ์การสูญเสีย

ดังนั้นจากการปรับค่าผลจากมาตราส่วน (Scale Effect Adjustment) จะได้ว่า

$$\sigma_i = SSE \times \sigma_{io} \qquad (4.11)$$

$$\sigma_c = SSE \times \sigma_{co} \qquad (4.12)$$

โดย σ_{io} และ σ_{co} คือข้อมูลจากปรากฏการณ์คาวิเทชันที่อ้างอิงจากท่อขนาด d

สำหรับโชกกิ้งคาวิเทชัน (Choking Cavitation)ได้มีการศึกษา [4,5] ครอบคลุมช่วงกว้างของความดันและขนาด พบว่าไม่มีผลจากมาตราส่วน ดังนั้นค่า σ_{ch} ใช้ได้กับทุกค่าความดันและขนาด

ส่วนคาวิเทชันในระดับความเสียหายเริ่มก่อ (Incipient Damage) ได้มีการศึกษา [4,5] จะไม่มีผลจากมาตราส่วนขนาด แต่จะมีผลจากมาตราส่วนความดันซึ่งสามารถคำนวณจากสมการดังนี้

$$\sigma_{id} = PSE \times \sigma_{ido} \qquad (4.13)$$

โดย

$$PSE = [(P_d - P_{vg}) / (P_{do} - P_{vgo})]^{0.19} \quad (4.14)$$

หรือ

$$PSE = [(P_u - P_{vg}) / (P_{uo} - P_{vgo})]^{0.19} \quad (4.15)$$

โดย PSE = มาตราส่วนความดันซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการประมาณการปรับแต่งค่านอกช่วงจากข้อมูลในการทดลองไปยังระบบที่มีอยู่

σ_{ido} คือพารามิเตอร์ที่บ่งชี้ถึงระดับความเสียหายเริ่มก่อของคาวิเทชันจากการ ทดลอง

P_{do},P_{uo} และ P_{vgo}คือภาวะความดันต่างๆในการทดลอง

P_u ,P_d และ P_{vg} คือภาวะความดันต่างๆของระบบที่กำลังสนใจ

4-8 <u>การคำนวณเพื่อออกแบบชุดทดลองประกอบกับเครื่องสร้างปรากฏการณ์คาวิเทชัน</u>

หาค่า σ_i ,σ_c ,σ_{id} และ σ_{ch} ที่ต้องการโดยเลือกเลือกเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ(D)และอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางออริฟิส (B = d_0/D) โดยจะใช้ข้อมูลจากการทดลอง Fang, K.S., Kooslhof,Sweeney,C.E,Stripling,T.C [6 หน้า 167-183] เป็นพื้นฐานการออกแบบ

$$Vm = \frac{Qa}{Am} \quad (4.16)$$

$$Am = \pi \frac{d_0^2}{4} \quad (4.17)$$

Vm = ความเร็วของของเหลวขณะผ่านออริฟิส (m/s)

Qa = อัตราการไหลของเหลวในระบบ (m^3/s)

d_0 = เส้นผ่านศูนย์กลางออริฟิส

Am = พื้นที่หน้าตัดออริฟิส (m^2)

<u>ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ</u>

1) เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อในเครื่องสร้างปรากฏการณ์คาวิเทชันมีขนาด 2 นิ้ว
2) ใช้ B=0.3,0.4 และ 0.5
3) ใช้ P_u= -5 mmHg สำหรับB=0.3

   P_u= -10 mmHg สำหรับB=0.4

   P_u= -15 mmHg สำหรับB=0.5

ที่สามารถเลือก P_uได้ตามต้องการเพราะเครื่องสร้างปรากฏการณ์คาวิเทชันมีปั๊มสำหรับลดความดัน (vacuum pump) ซึ่งใช้ลดความดัน

<u>สำหรับออริฟิส B=0.3</u> P_u= -5 mmHg อุณหภูมิ 30 °C

จากสมการ (4.1)-(4.15) แทนค่าลงไป

$C_d = 0.019+0.083(0.3)-0.203(0.3)^2+1.35(0.3)^3 = 0.06208$

$\sigma_i = 0.62+4.4C_d+6.6C_d^2+1.3C_d^3 = 0.919$

$\sigma_c = 0.78+1.0C_d+7.9C_d^2+3.2C_d^3 = 0.873$

$\sigma_{id} = -0.11+6.5C_d-7.6C_d^2+8.6C_d^3 = 0.2911$

$\sigma_{ch} = 0.15+1.2C_d-0.31C_d^2+3.3C_d^3 = 0.224$

$K = (1/0.06208^2)-1 = 258.47$

$y = 0.3\ K^{-0.25} = 7.482 \times 10^{-2}$

$SSE = (D/d)^y = 0.97$

$PSE = [(P_u-P_{vg})/(P_{uo}-P_{vgo})]^{0.19}$ P_{vg} ได้จากตาราง ค-1 ในภาคผนวก ค

$PSE = 0.8072$

จากสมการ 4-11 4-12 และ 4-13 นำผลจากมาตราส่วนขนาด และผลจากมาตราส่วนความดันมาคำนวณจะได้

$\sigma_i = 0.8915$

$\sigma_c = 0.8469$

$\sigma_{id} = 0.235$

$\sigma_{ch} = 0.224$

$\sigma_2 = (\sigma + 1)K_1$ K_1 จากรูปที่ ค-1ในภาคผนวก ค

$\sigma_{i2} = 4.5396$

$\sigma_{c2} = 4.43256$

$\sigma_{id2} = 2.964$

$\sigma_{ch2} = 2.9376$

นำ σ_{i2} และσ_{ch2} มาคำนวณหา Qa

จากสมการ (3.4)

$$\sigma_2 = \frac{2(P_u - P_{vg})}{\rho V m^2}$$

แทนค่าโดยใช้ $\sigma_2=\sigma_{i2} = 4.5396$

P_u=-5 mmHg

P_{vg} และ ρ ที่ 30 °C

d_o=0.015 m

$$Vm = \sqrt{\frac{2(P_u - P_{vg})}{\rho \sigma_2}}$$

แทนค่า จะได้ Vm = 6.324 m/s

จากสมการ (4.16) และ สมการ (4.17)

$$Vm = \frac{Qa}{Am}$$

$$Am = \pi \frac{d_0^2}{4}$$

Qa = Vm x Am

Qa = 6.324 x π x $0.015^2/4$

Qa = 1.117×10^{-3} m^3/s

จากสมการ (3.4)

$$\sigma_2 = \frac{2(P_u - P_{vg})}{\rho Vm^2}$$

แทนค่าโดยใช้ $\sigma_2 = \sigma_{ch2} = 2.9376$

$\sigma_{ch2} = 2.9376$

P_u=-5 mmHg

P_{vg} และ ρ ที่ 30 °C

d_o=0.015 m

$$Vm = \sqrt{\frac{2(P_u - P_{vg})}{\rho \sigma_2}}$$

แทนค่า จะได้ Vm = 7.862 m/s

จากสมการ (4.16) และ สมการ (4.17)

$$Vm = \frac{Qa}{Am}$$

$$Am = \pi \frac{d_0^2}{4}$$

Qa = Vm x Am

Qa = 7.862 x π x $0.015^2/4$

Qa = 1.389×10^{-3} m^3/s

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>สำหรับออริฟิส B=0.4</u> P_u= -10 mmHg อุณหภูมิ 30 °C

จากสมการ (4.1)-(4.15) แทนค่าลงไป

C_d = $0.019+0.083(0.4)-0.203(0.4)^2+1.35(0.4)^3$ = 0.106

σ_i = $0.62+4.4C_d+6.6C_d^2+1.3C_d^3$ = 1.163

σ_c = $0.78+1.0C_d+7.9C_d^2+3.2C_d^3$ = 0.993

σ_{id} = $-0.11+6.5C_d-7.6C_d^2+8.6C_d^3$ = 0.547

σ_{ch} = $0.15+1.2C_d-0.31C_d^2+3.3C_d^3$ = 0.293

K = $(1/0.106^2)-1$ = 87.798

y = $0.3\ K^{-0.25}$ = 9.8×10^{-2}

SSE = $(D/d)^y$ = 0.961

PSE = $[(P_u-P_{vg})/(P_{uo}-P_{vgo})]^{0.19}$ P_{vg} ได้จากตาราง ค-1 ในภาคผนวก ค

PSE = 0.667

จากสมการ 4-11 4-12 และ 4-13 นำผลจากมาตราส่วนขนาด และผลจากมาตราส่วนความดันมาคำนวณจะได้

σ_i = 1.11769

σ_c = 0.9543

σ_{id} = 0.365

σ_{ch} = 0.293

σ_2 = $(\sigma + 1)K_1$ K_1 จากรูปที่ ค-1 ในภาคผนวก ค

σ_{i2} = 4.484

σ_{c2} = 4.38

σ_{id2} = 2.907

σ_{ch2} = 2.754

นำ σ_{i2} และ σ_{ch2} มาคำนวณหา Qa

จากสมการ (3.4)

$$\sigma_2 = \frac{2(P_u - P_{vg})}{\rho V m^2}$$

แทนค่าโดยใช้ $\sigma_2=\sigma_{i2}$ = 4.487

P_u=-10 mmHg

P_{vg} และ ρ ที่ 30 °C

d_o=0.020m

$$Vm = \sqrt{\frac{2(P_u - P_{vg})}{\rho \sigma_2}}$$

แทนค่า จะได้ Vm = 6.122 m/s

จากสมการ (4.16) และ สมการ (4.17)

$$Vm = \frac{Qa}{Am}$$

$$Am = \pi \frac{d_0^2}{4}$$

Qa = Vm x Am

Qa = 6.122 x π x $0.020^2/4$

Qa = 1.923×10^{-3} m^3/s

จากสมการ (3.4)

$$\sigma_2 = \frac{2(P_u - P_{vg})}{\rho Vm^2}$$

แทนค่าโดยใช้ $\sigma_2 = \sigma_{ch2} = 2.754$

P_u=-10 mmHg

P_{vg} และ ρ ที่ 30 °C

d_o=0.020 m

$$Vm = \sqrt{\frac{2(P_u - P_{vg})}{\rho \sigma_2}}$$

แทนค่า จะได้ Vm = 7.814 m/s

จากสมการ (4.16) และ สมการ (4.17)

$$Vm = \frac{Qa}{Am}$$

$$Am = \pi \frac{d_0^2}{4}$$

Qa = Vm x Am

Qa = 7.814 x π x $0.020^2/4$

Qa = 2.455×10^{-3} m^3/s

<u>สำหรับออริฟิส B=0.5</u> P_u= -15 mmHg อุณหภูมิ 30 °C

จากสมการ (4.1)-(4.15) แทนค่าลงไป

$C_d = 0.019+0.083(0.5)-0.203(0.5)^2+1.35(0.5)^3 = 0.1785$

$\sigma_i = 0.62+4.4C_d+6.6C_d^2+1.3C_d^3 = 1.62$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

σ_c $= 0.78+1.0C_d+7.9C_d^2+3.2C_d^3$ $= 1.22$

σ_{id} $= -0.11+6.5C_d-7.6C_d^2+8.6C_d^3$ $= 0.86$

σ_{ch} $= 0.15+1.2C_d-0.31C_d^2+3.3C_d^3$ $= 0.37$

K $= (1/0.1785^2)-1$ $= 30.385$

y $= 0.3\ K^{-0.25}$ $=0.1277$

SSE $= (D/d)^y$ $= 0.949$

PSE $= [(P_u-P_{vg})/(P_{uo}-P_{vgo})]^{0.19}$ P_{vg} ได้จากตาราง ค-1ในภาคผนวก ค

PSE $= 0.657$

จากสมการ 4-11 4-12 และ 4-13 นำผลจากมาตราส่วนขนาด และผลจากมาตราส่วนความดันมาคำนวณจะได้

σ_i $= 1.51$

σ_c $= 1.17$

σ_{id} $= 0.565$

σ_{ch} $= 0.37$

σ_2 $= (\sigma + 1)K_1$ K_1 จากรูปที่ ค-1ในภาคผนวก ค

σ_{i2} $= 4.716$

σ_{c2} $= 3.996$

σ_{id2} $= 2.867$

σ_{ch2} $= 2.466$

นำ σ_{i2} และσ_{ch2} มาคำนวณหา Qa

จากสมการ (3.4)

$$\sigma_2 = \frac{2(P_u - P_{vg})}{\rho Vm^2}$$

แทนค่าโดยใช้ $\sigma_2=\sigma_{i2} = 4.716$

P_u=-15 mmHg

P_{vg} และ ρ ที่ 30 °C

d_o=0.025 m

$$Vm = \sqrt{\frac{2(P_u - P_{vg})}{\rho\sigma_2}}$$

แทนค่า จะได้ Vm = 5.73 m/s

จากสมการ (4.16) และ สมการ (4.17)

$$Vm = \frac{Qa}{Am}$$

$$Am = \pi \frac{d_o^2}{4}$$

$Qa = Vm \times Am$

$Qa = 5.73 \times \pi \times 0.020^2/4$

$Qa = 2.812 \times 10^{-3}\ m^3/s$

จากสมการ (3.4)

$$\sigma_2 = \frac{2(P_u - P_{vg})}{\rho Vm^2}$$

แทนค่าโดยใช้ $\sigma_2 = \sigma_{ch2} = 2.466$

P_u=-15 mmHg

P_{vg} และ ρ ที่ 30 °C

d_o=0.025 m

$$Vm = \sqrt{\frac{2(P_u - P_{vg})}{\rho \sigma_2}}$$

แทนค่า จะได้ $Vm = 7.922\ m/s$

จากสมการ (4.16) และ สมการ (4.17)

$$Vm = \frac{Qa}{Am}$$

$$Am = \pi \frac{d_o^2}{4}$$

$Qa = Vm \times Am$

$Qa = 7.922 \times \pi \times 0.020^2/4$

$Qa = 3.889 \times 10^{-3}\ m^3/s$

นำ Qa น้อยและมากที่สุดคือ $Qa = 1.389 \times 10^{-3}\ m^3/s$ $Qa = 3.889 \times 10^{-3}\ m^3/s$ มาเปรียบเทียบกับอัตราการไหลปกติของเครื่องสร้างปรากฏการณ์คาวิเทชันคือ $5 \times 10^{-3}\ m^3/s$ ปรากฏว่าสามารถทำได้ตามที่คำนวณ

ระยะทางของระยะหลังออริฟิสที่ทำให้เกิดความเสียหาย(ท่อขนาด 3 นิ้ว) จากรูปที่ 4-4 พบว่า distance/orifice diameter มีระยะประมาณ 10 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางออริฟิส ดังนั้นแนวโน้มของชุดทดลองนี้จึงออกแบบให้มีระยะอย่างน้อย 10 เท่าของเส้นผ่านศูนย์ออริฟิสที่มี B มากที่สุดคือมีระยะอย่างน้อย 250 mm ในที่นี้จะใช้ 510 mm

4-9 <u>แบบชุดทดลองและออริฟิส</u>

รูปที่ 4-6 เป็นรูปแสดงแบบชุดทดลองแบบออริฟิสซึ่งสามารถแบ่งเป็น 2 ชิ้นส่วนใหญ่คือ

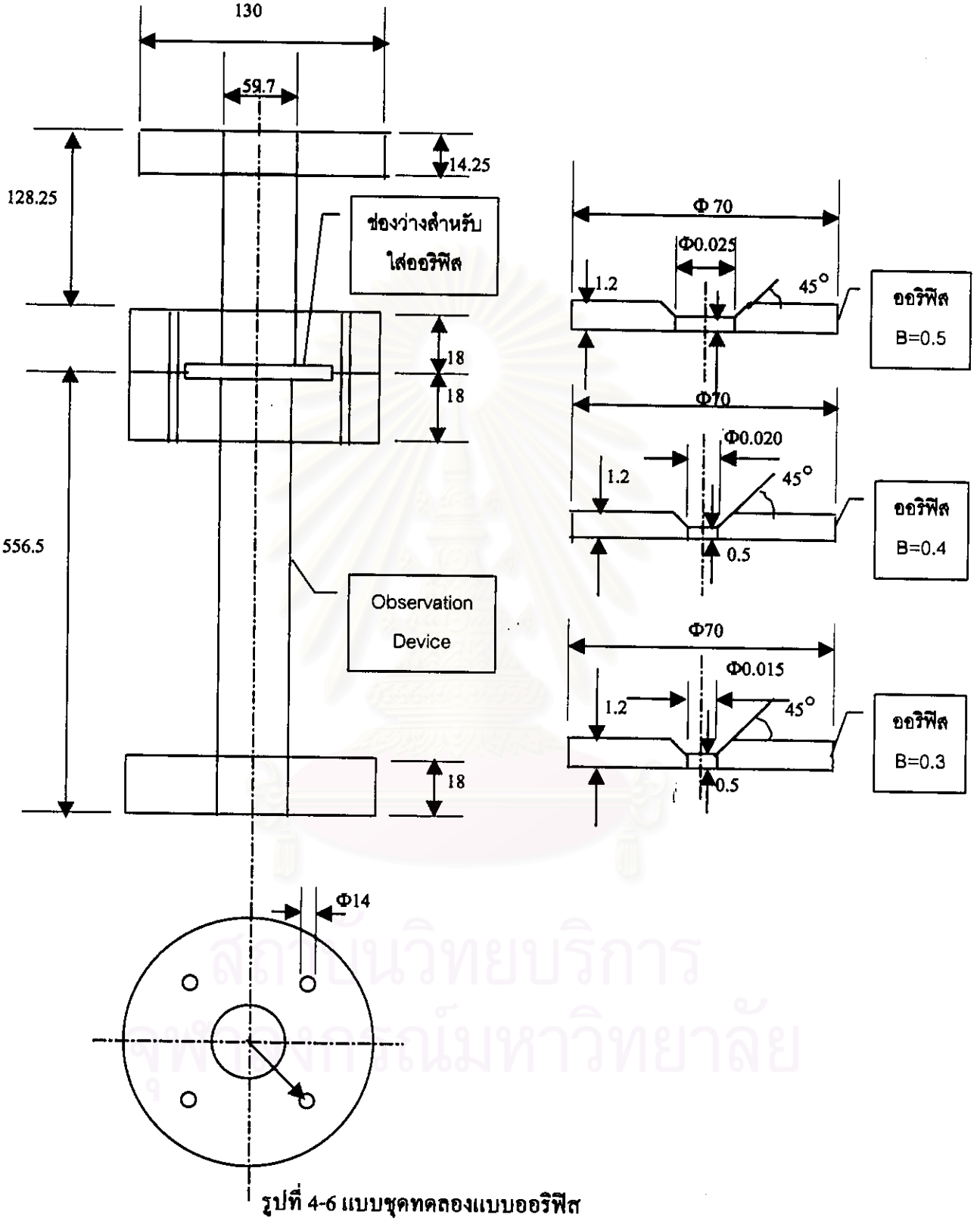
1) ชิ้นส่วนที่ใช้ในการสังเกตปรากฏการณ์คาวิเทชัน (Observation Device)

ชิ้นส่วนในส่วนนี้ใช้เพื่อสังเกตปรากฏการณ์คาวิเทชันจึงใช้วัสดุโปร่งใสในการทำ ในงานวิจัยนี้ใช้ท่ออะคลิลิกใสโดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2 นิ้ว และประกอบกับเครื่องสร้างปรากฏการณ์คาวิเทชันโดยใช้หน้าแปลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 130 เซนติเมตรและมีขนาดดังแบบ

2) ออริฟิสขนาดต่างๆ

ชิ้นส่วนนี้จะใช้ในการทำให้เกิดปรากฏการณ์คาวิเทชัน เนื่องจากต้องการหลีกเลี่ยงการเกิดสนิมจึงใช้อลูมิเนียมในการทำออริฟิส มีขนาดดังแสดงในแบบ ออริฟิสจะประกอบกับชิ้นส่วนที่ใช้ในการสังเกตปรากฏการณ์คาวิเทชัน (Observation Device) ในช่องว่างสำหรับใส่ออริฟิสดังแสดงในแบบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-6 แบบชุดทดลองแบบออริฟิส