

รายการอ้างอิง

1. Fox R.W. and Mcdonal A.T. **Introduction to Fluid Mechanics**, 4th ed. New York : John Wiley & Sons,1994.
2. Hammit F.G. **Cavitation and Multiphase Flow Phenomena**. New York :McGraw Hill, 1980.
3. Papoulis A. **The Fourier Integral and its Applications** .McGraw Hill,1992.
4. Ball J. and Stripling T. **Predicting Cavitation in Sudden Enlargement**. J.Hydraul. Div. ASCE.101(HY7) (1975): 857-870
5. Knapp. R.T. **Recent investigations of the mechanics of Cavitation and Cavitation damage**. Trans, Am. Soc Mech. Eng. 77 (1966) : 1045-1054
6. Govindarajan R. **Cavitation Size Scale Effects**. Fort Collins :Thesis Colorado State University ,1972.
7. J. Paul Tullis **Hydraulics of Pipelines**. New York :John Wiley&Sons ,1989. .
8. The Fluid Engineering Conference.**Cavitation and Multiphase Flow Forum –1993** ASME, 1993.
9. Robert T. Knapp and James W. **Cavitation** . New York : McGraw Hill,1970.
10. Taylor I.J. **The Vibration Analysis Handbook**.Vibration Consultants Inc ,1994.
11. Knapp R.T. **Recent Investigations of the Mechanics of Cavitation and Cavitation Damage**. Trans. ASME (1955) : 1045-1054
12. Wood G.M.And F. G. Hammitt **Cavitation Studies with Rotating Disk**. Trans, ASME,Vol. 89 (1967) : 98-110
13. Hammitt F.G. **Initial Phases of Damage to Test Specimens in a Cavitating Venturi**.Trans, ASME, Vol. 87 (1965) : 453-464
14. Hammitt F. G. **Observations on Cavitation Damage in a Flowing System**. Trans. ASME, , vol. 85 (1963) : 347-359
15. Johnson. V. E., and T. Hsieh **The Influence of Entrained Gas Nuclei Trajectories on Cavitation Inception** , Proc. Sixth Naval Hydrodynamics Symp. Washington, 1966.
16. Garcia. R. and F.G. Hammitt **Cavitation Damage and Correlations with Materials and Fluid Properties**, Trans. ASME,Vol. 89 (1967) : 753-763

17. Hammitt F.G. and A.N. El Hasrouni. **Predictive Capability For Cavitation Damage from Bubble Collapse Pulse Count Spectra, Proc. Conf. Scaling for Performance Prediction in Rotodynamic Machines.** Scotland : University of Stirling, 1977.
18. Hammitt M.K. D.E. **Cavitation Damage Prediction. Wear (Elsevier) 52 (1979) : 243-262**
19. M.J. Robinson F.G. Hammitt **Detailed Damage Characteristics in a Cavitating Venturi. Trans. ASME (1967) : 161-173**



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

เครื่องวิเคราะห์และเก็บข้อมูลชนิด FFT (FFT Data Collector and Analyzer)

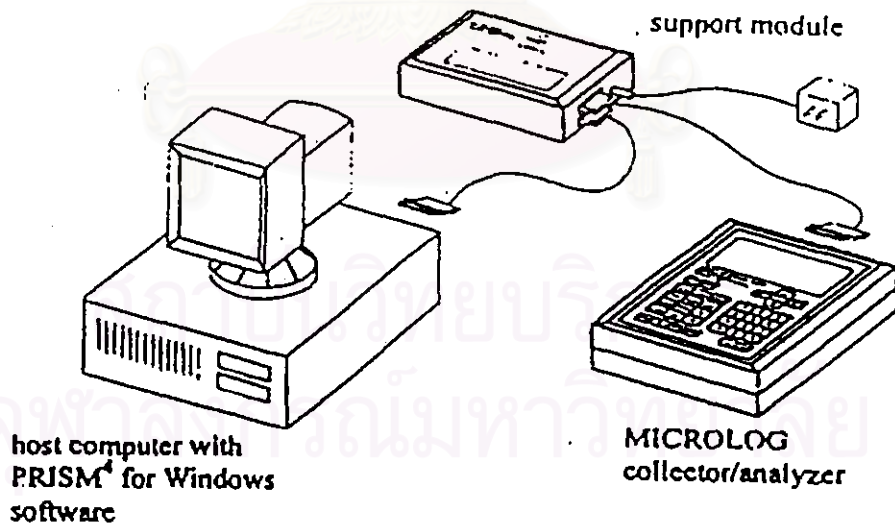
จะเป็นเครื่องที่มีสามารถสูงกว่ามิเตอร์วัดการสั่นสะเทือนธรรมดา ตัวเครื่องจะสามารถวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนเป็นทั้งแบบรวม (Overall Value) และสัญญาณบนโดเมนความถี่เป็นอย่างดี เครื่องบางเครื่องจะวัดมุมเฟสและทำสมมูลได้ด้วย และมักจะสามารถแสดงผลเป็นกราฟของสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่บนจอภาพ ในเครื่องที่มีราคาแพงจะมีฟังก์ชันการทำงานที่ซับซ้อนขึ้น เช่นการเก็บข้อมูลได้มากขึ้น และสามารถถ่ายข้อมูลและประมวลผลโดยคอมพิวเตอร์ได้และมักจะออกแบบให้สามารถเคลื่อนย้ายสะดวก รวมทั้งมีขนาดเล็กและเบา

เครื่องมือวัด

เครื่องมือวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องแบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆคือ

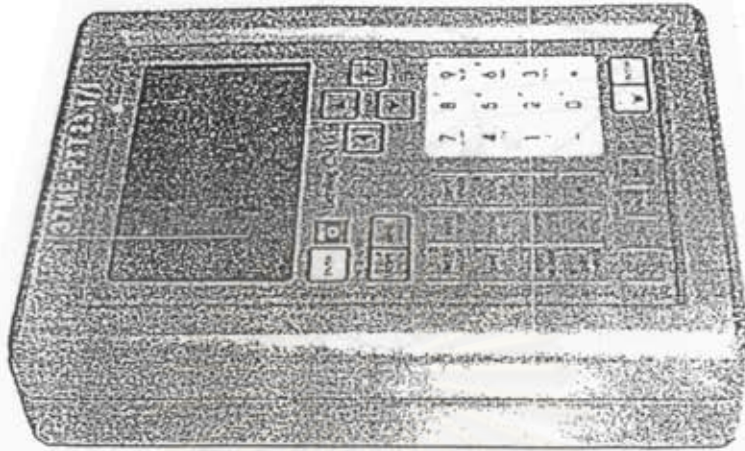
- ระบบ Microlog/PRISM ของบริษัท SKF
- หัวทรานสดิวเซอร์สำหรับวัดการสั่นสะเทือน
- StrobeLite

ระบบ Microlog/PRISM ของบริษัท SKF



รูปที่ ก-1 ระบบ Microlog/PRISM ของบริษัท SKF

1) Microlog Data Collector รุ่น CMVA10



รูปที่ ก-2 Microlog Data Collector รุ่น CMVA10

Microlog เป็นเครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูลและวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน สามารถทำการเก็บรวบรวมข้อมูลในการบำรุงรักษาเครื่องจักรตามสภาพเช่น การสั่นสะเทือน ความดัน การไหล

Microlog เป็นเครื่องเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลแบบ FFT สามารถวัดสัญญาณการสั่นสะเทือน ทั้งสัญญาณบนโดเมนเวลาและสัญญาณบนโดเมนความถี่ ซึ่งการแปลงสัญญาณจากโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่จะใช้โดยวิธีการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว จอภาพของเครื่องเป็นแบบ LCD (Liquid Crystal Display) ใช้แสดงข้อมูลต่างๆ

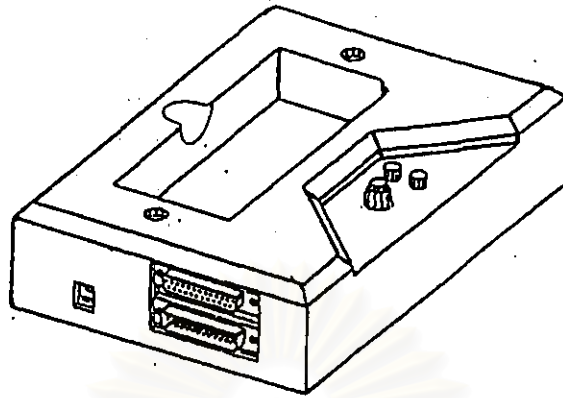
2) Host Computer และ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ PRISM[®] สำหรับ Windows

ระบบนี้ต้องการความสามารถของคอมพิวเตอร์ไม่ต่ำกว่า IBM-PC 486DX33 MHz หรือเทียบเท่า RAM อย่างน้อย 8 Mbyte และเนื้อที่ใน Harddisk ไม่ต่ำกว่า 240 Mbyte โดยต้องมีเนื้อที่อย่างน้อย 10 Mbyte สำหรับการติดตั้งโปรแกรม

การติดตั้ง PRISM[®] สำหรับ Windows ใช้จัดการและวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บจาก Microlog โดยทำการ Upload ข้อมูลให้โดยอัตโนมัติ

การแสดงผลของข้อมูลทำให้ได้ออกมาในลักษณะต่างๆไม่ว่าเป็นกราฟแสดงแนวโน้ม (Trend Plot) กราฟแสดงสัญญาณการแปลงแบบฟูรีเยร์ (FFT Spectra) กราฟสัญญาณบนโดเมนของเวลา (Time Waveform) และกราฟเชิงขั้ว (Polar Vector Plot)

3) Microlog Support Module รุ่น CMVA 6112 ของบริษัท SKF

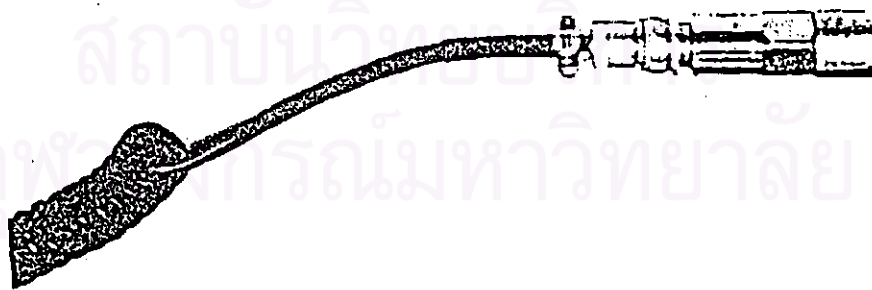


รูปที่ ก-3 Microlog Support module (CMVA6112)

เครื่อง Support Module ทำหน้าที่เชื่อมต่อการทำงานระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์และ Microlog ตัวเครื่องสามารถใช้เป็นที่ชาร์จแบตเตอรี่ และมีช่องสำหรับแบตเตอรี่สำรองของ Microlog โดยระบบการชาร์จไฟแบตเตอรี่จะทำงานทันทีที่เครื่อง Support Module ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ ถ้าต่อเครื่อง Microlog เข้ากับ Support Module แม้ว่ากำลังทำการเก็บข้อมูลอยู่ แบตเตอรี่ในเครื่องจะถูกชาร์จด้วย

หัวทรานสดิวเซอร์สำหรับวัดการสั่นสะเทือน

ในการทดลองนี้ใช้ ทรานสดิวเซอร์สำหรับวัดความเร่ง (Acceleration Transducer or Accelerometer) เป็นทรานสดิวเซอร์สำหรับวัดความเร่งของการสั่นสะเทือน (จากความเร่งสามารถคำนวณหาความเร็วและระยะการเคลื่อนที่ได้) ในการทดลองนี้หัววัดแบบใช้แม่เหล็กในการยึดหัววัด



รูปที่ ก-4 หัวทรานสดิวเซอร์สำหรับวัดความเร่งแบบใช้แม่เหล็กในการติดตั้ง

StrobeLite

Strobelite รุ่น CMSS6165 ของบริษัท SKF เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดเฟสโดยใช้ความถี่กับเครื่อง Micrologi และใช้วัดความเร็วรอบได้



รูปที่ ก-5 StrobeLite รุ่น CMSS6165

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

เครื่องสร้างปรากฏการณ์คาวิตेशन

เป็นเครื่องมือที่ใช้สร้างปรากฏการณ์คาวิตेशनที่ผลิตโดยบริษัท Tokyo Meter Co.,Ltd. Model CPE-2412B โดยสังเกตปรากฏการณ์คาวิตेशनที่บริเวณชิ้นส่วนที่ใช้ในการสังเกตปรากฏการณ์คาวิตेशन (Observation Device)

เครื่องสร้างปรากฏการณ์คาวิตेशनมีหลักการทำงานคร่าวๆคือระบบจะมีปั๊ม 2 ตัวคือ

- 1) ปั๊มที่ใช้สำหรับลดความดันในระบบ (Vacuum Pump)
- 2) ปั๊มที่ใช้หมุนเวียนน้ำในระบบ

น้ำในระบบจะถูกลดความดันที่ถังลดความดัน (Decompression Tank) โดยความดันจะยังไม่ลดถึงความดันไอของน้ำ ปั๊มที่ใช้หมุนเวียนน้ำจะหมุนเวียนน้ำในระบบจนถึงบริเวณจุดที่ใช้สังเกตปรากฏการณ์คาวิตेशन (Observation Device) ซึ่งจะมีโมเดล (Model)วางอยู่ เมื่อน้ำไหลผ่านโมเดลจะทำให้ความดันลดลงจนต่ำกว่าความดันไอ ทำให้เกิดฟองอากาศขึ้น เมื่อความดันล้อมรอบฟองอากาศเพิ่มขึ้นมากกว่าความดันฟองอากาศจะทำให้ฟองอากาศแตกตัว ซึ่งเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดก็คือปรากฏการณ์คาวิตेशनนั่นเอง

รายละเอียด

1) ระบบหมุนเวียนน้ำและปั๊ม

ปั๊มหมุนเวียนน้ำในระบบ	25 m ³ /h
มอเตอร์ขับเคลื่อน	3.7 kW
Compound Pressure Gauge (Range)	-76 cmHg ถึง 2 kg/c m ³ G

2) Decompression Tank

เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm) x ความสูง (mm)	254 x 850
Vacuum Gauge (Range)	-76 cmHg-0
Thermometer	-50 ถึง 199.9 C (Digital Indicator)
Water Level Gauge	length 300 mm

3) Vacuum Pump และมอเตอร์ของ Vacuum Pump

Maximum Vacuum Pressure	-500 mmHg
Driving Motor	1.5 kW

4) Cavitation Observation Device

Compound Pressure Gauge (Range)	-76 cmHg ถึง 2 kg/c m ³ G
---------------------------------	--------------------------------------

5) Model ที่ Observation Device

Blade,Cylinder

6) Flow Meter

Orifice,U-Shaped Manometer

7) Stroboscope

Flash Rate 100-12000 rpm

8) Watt Meter

5.5 kW

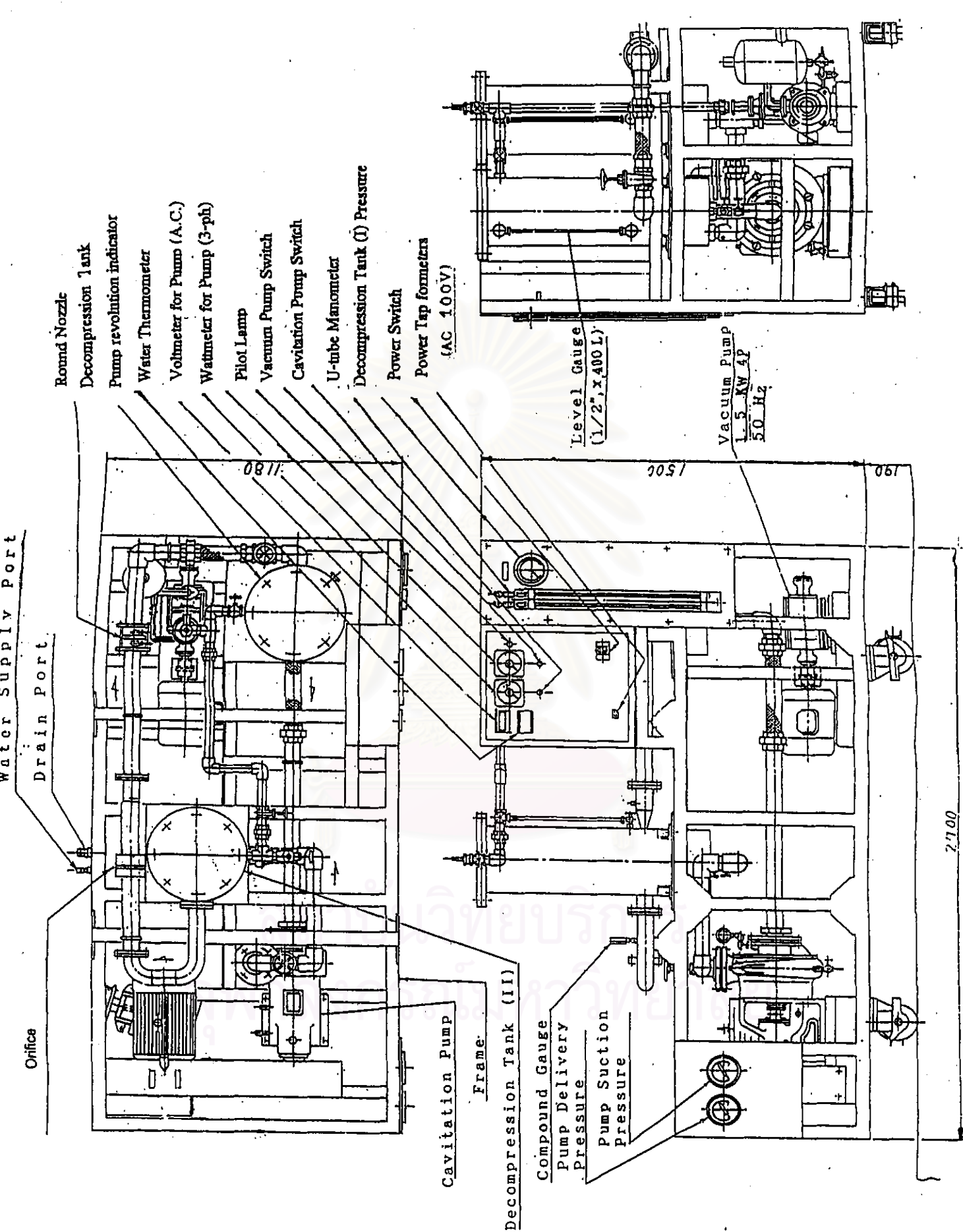
Service Required

1) AC 200/220 V,50/60 Hz , 3- Phase Power Supply

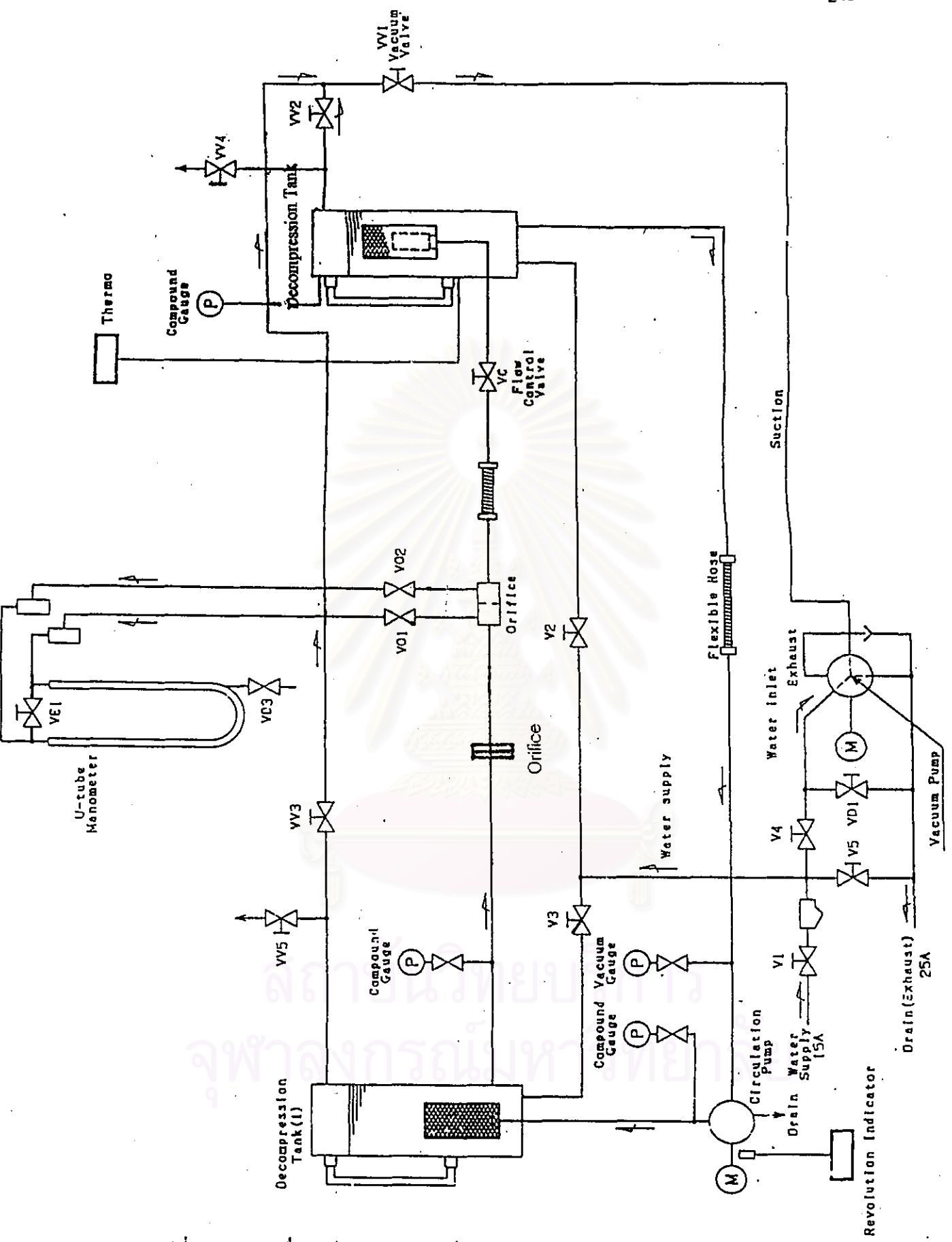
2) Water Supply เวลาเดินเครื่อง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ข-1 แบบเครื่องสร้างปรากฏการณ์คาวิเทชัน (Cavitation Phenomenon Experimental Apparatus)



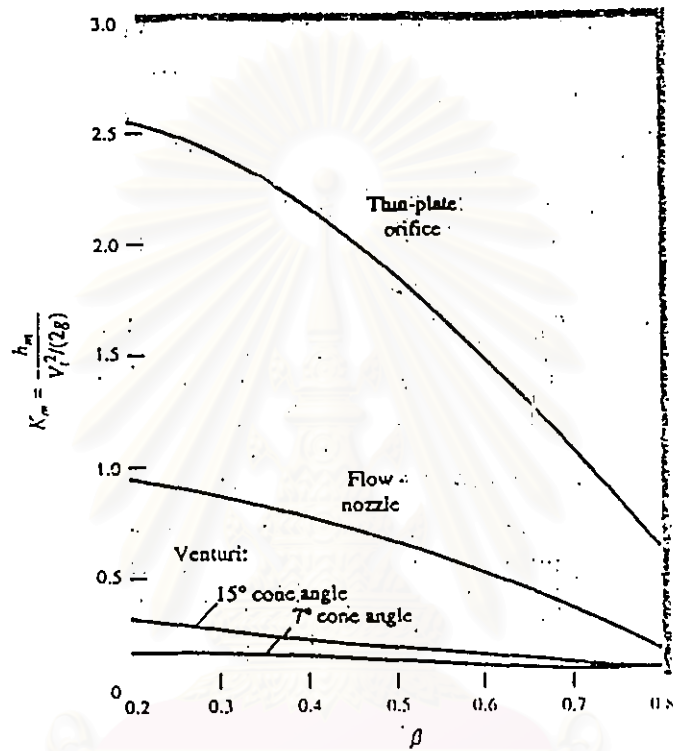
รูปที่ ข-2 แบบเครื่องสร้างปรากฏการณ์คาวิทชัน (Cavitation Phenomenon Experimental Apparatus)

ภาคผนวก ค

ตารางที่ ค-1 Characteristic of water

Temp C	Specific Weight Kgf/m ³	Density kgf.s ² /m ⁴	Saturated Vapor Press kgf/m ²	Kinematic Viscosity Coeff m ² /s
0	999.8	101.96	62	1.794 x 10 ⁻⁶
5	1000	101.97	89	1.535
10	999.7	101.94	125	1.297
15	999.1	101.88	174	1.137
20	998.2	101.79	238	0.996
25	997.1	101.69	323	0.884
30	995.7	101.53	432	0.796
40	992.2	101.18	752	0.663
50	988.1	100.75	1257	0.562

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ก-1 แสดงค่า K_c สำหรับ venturi ออริฟิส และ หัวฉีด

ภาคผนวก ง

เมื่อทราบข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

ดังตัวอย่างตารางที่ 5-1 Exp.No. 2

จากสมการ (5.1)

$$Q_a = \alpha \frac{\pi}{4} d_o^2 \sqrt{2g \Delta p \times 12.6 \times 10^{-3}} \quad (5.1)$$

เมื่อ Δp คือ measured differential pressure (mmHg) โดยวัดคร่อมออริฟิสสำหรับใช้วัด Flow Rate ของ เครื่องสร้างปรากฏการณ์คาวิเทชัน

d_o คือ diameter ของ orifice ที่ใช้วัด flow rate

α flow coefficient

$$\Delta p = 6 \text{ mmHg}$$

$$d_o = 0.03841 \text{ m}$$

$$\alpha = 0.7108$$

นำค่าต่างๆ แทนลงในสมการ (5.1)

$$\text{จะได้ } Q_a = 1.00 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$$

Water Velocity ที่ orifice สำหรับใช้สร้างปรากฏการณ์คาวิเทชัน หาได้จากสมการ

$$V_m = \frac{Q_a}{A_m}$$

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

$$d_o = 0.015 \text{ m}$$

แทนค่าเพื่อหา V_m

$$V_m = 5.67 \text{ m/s}$$

Cavitation Number หาได้จากสมการ

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

โดย ρ ความหนาแน่นของของน้ำที่ 30 C = 101.53 kgf.s²/m⁴

$$P_u = 7474 \text{ kgf/m}^2$$

$$P_{vg} = 432 \text{ kgf/m}^2$$

แทนค่าจะได้ $\sigma_2 = 3.47$

ภาคผนวก จ

การวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนเพื่อหาความถี่ธรรมชาติของชุดทดลองจะใช้เครื่องเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลแบบ FFT ในการวัด

อุปกรณ์

- 1) เครื่องเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลแบบ FFT ของบริษัท SKF รุ่น CMVA10
- 2) หัวทรานส์ดิวเซอร์สำหรับวัดความเร่งแบบใช้แม่เหล็กในการติดตั้ง
- 3) คอมพิวเตอร์เพื่อใช้เก็บและแสดงผล
- 4) ค้อนยาง

วิธีการทดลอง

- 1) ตั้งเครื่องเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลแบบ FFT
- 2) นำหัวทรานส์ดิวเซอร์สำหรับวัดความเร่งแบบใช้แม่เหล็กในการติดตั้งไปติดตั้งที่จุดที่ต้องการวัด
- 3) ใช้ค้อนยางเคาะโครงสร้างที่ต้องการวัดพร้อมทั้งเก็บข้อมูลสัญญาณการสั่นสะเทือน
- 4) ถ่ายเทข้อมูลไปที่คอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้วิจัย

นายประสม ดำรงพงษ์ เกิดวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2518 ที่ จ.สระบุรี สำเร็จการศึกษาหลักสูตรเตรียมวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พ.ศ. 2535 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พ.ศ. 2539 และเข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ.2540



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย