

## บรรณานุกรม

1. ประดิษฐ์ เทอดทูล, *ท่อความร้อน*, เชียงใหม่, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2536
2. A. Faghri, *Heat Pipe Science and Technology*, Washington DC : Taylor & Francis, 1995.
3. P. Dunn and D.A. Reay, *Heat Pipes* , 3rd Edition., Pergamon Press. Oxford England., 1982.
4. M.S. Ahamed, M. Mochizuki, K. Mashiko, Y. Saito, T. Mabuchi and Y. Horiuchi, *Experimental Study of Thin Flat Heat Pipe with a Special Fiber Wick Structure*, 9th International Heat Pipe Symposium, Malaysia, 2008. pp 81
5. S.H. Moon, G. Hwang, H.G. Yun, T.G. Choy and Y.II Kang, *Improving Thermal Performance of Miniature Heat Pipe for Notebook PC Cooling*, Microelectronics Reliability, South Korea, 2001. pp 135-140
6. K.S. Ong, Md. Haider-E-Alahi, *Performance of a R-134a-Filled Thermosyphon*, Applied Thermal Engineering, Malaysia & Singapore, 2003. pp 2373-2381
7. R. Kempers, D. Ewing, C.Y. Ching, *Effect of number of mesh layers and fluid loading on the performance of screen mesh wicked heat pipes*, Applied Thermal Engineering, Canada, 2005. pp 589-595.
8. S.C. Wong, Y.H. Kao, *Visualization and Performance Measurement of Operating Mesh-Wicked Heat Pipes*, Int. Journal of Heat and Mass Transfer, Taiwan, 2008. pp 4249-4259
9. S. Launay , V. Sartre, J. Bonjour , *Parametric Analysis of Loop Heat Pipe Operation : A Literature Review*, Int. Journal of thermal Sciences, France, 2006. pp 621-636
10. Z. Ming, L. Zhongliang, M. Guoyuan, C. Shuiyuan, *The Experimental Study on Flat Plate Heat Pipe of Magnetic Working Fluid*, Experimental Thermal and Fluid Science, China, 2009. pp 1100-1105
11. L. Blank, A. Tarquin, *Engineering Economy*, The McGraw-Hill Companies, Inc., America , 2002.

ภาคผนวก

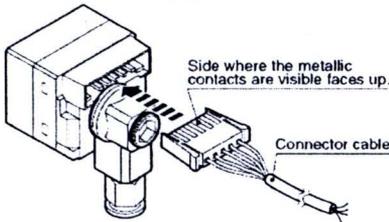
ภาคผนวก ก

รายละเอียดของอุปกรณ์และผลการทดลองการกระจายตัว  
ของความดันสุญญากาศภายในท่อความร้อน

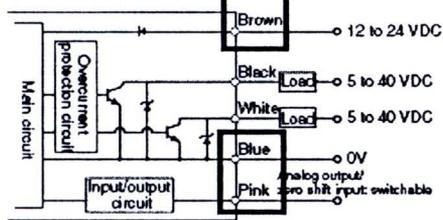
การติดตั้งเกจวัดความดันแบบดิจิตอลหลังจากประกอบเข้ากับเครื่องควบคุมปริมาณสารทำงานและสภาวะสุญญากาศแล้ว จะต้องต่อสัญญาณไปยัง Data logger ตามแบบมาตรฐานของผู้ผลิตดังรูปที่ ก-1 และ ก-2

**5. Connection Method and Diagrams**

Insert the included connector-tipped cable into the sensor's connector. Position the connector so that the side of the connector where the metallic contacts are visible is facing up.



**Input/output circuit (AP-C30W/C31W/C33W)**



รูปที่ ก-1 ลักษณะการต่อสายสัญญาณตามแบบมาตรฐานของผู้ผลิต

High-Precision Temperature/  
Voltage Measurement Unit  
• NR-TH08



Input Signal:	Thermocouple/RTD/ $\pm 50$ V
Input Channels:	8
Repeatability:	16-bit ( $\Delta\Sigma$ A/D converter)
Sampling Frequency:	10 Hz
Memory:	200 K Data

**Isolated channels provide excellent reliability**

A highly-versatile general purpose unit that accepts  $\pm 50$  V analog voltage input in addition to thermocouples and RTDs. Input channels are isolated via a high voltage semiconductor relay, providing excellent noise resistance.

- ! Isolated channels
- !  $\Delta\Sigma$  type A/D converter
- ! Uniform heat distribution

PC Interface Unit  
NR-500



Method:	PC Direct
PC Connection:	USB
External Memory:	-
Power Supply:	NR-U2

**Ultra-Compact Body, Size of a Cigarette Pack**

The ultra-compact body of this PC direct data collection interface unit is so incredibly small and thin that it can fit in a shirt pocket. USB eliminates the hassle of initial setup.

- ! Ultra-compact, lightweight design
- ! Supports high-speed trigger
- ! Status LED

รูปที่ ก-2 Data Logger ยี่ห้อ Keyence ซึ่งประกอบด้วยส่วนวัดแรงดันไฟฟ้า (Voltage measurement unit) รุ่น NR-TH08 และ ส่วนต่อขยายกับคอมพิวเตอร์ (PC interface unit) รุ่น NR-500

หลังจากได้ผลของการวัดแรงดันไฟฟ้า หากเราต้องการรู้แรงดันภายในท่อความร้อนต้องนำมาแปลงค่าย้อนกลับจากแรงดันไฟฟ้าเป็นแรงดันภายในท่อความร้อนโดยใช้ตารางเทียบค่า ดังรูปที่ ก-3

#### ■ Analog output

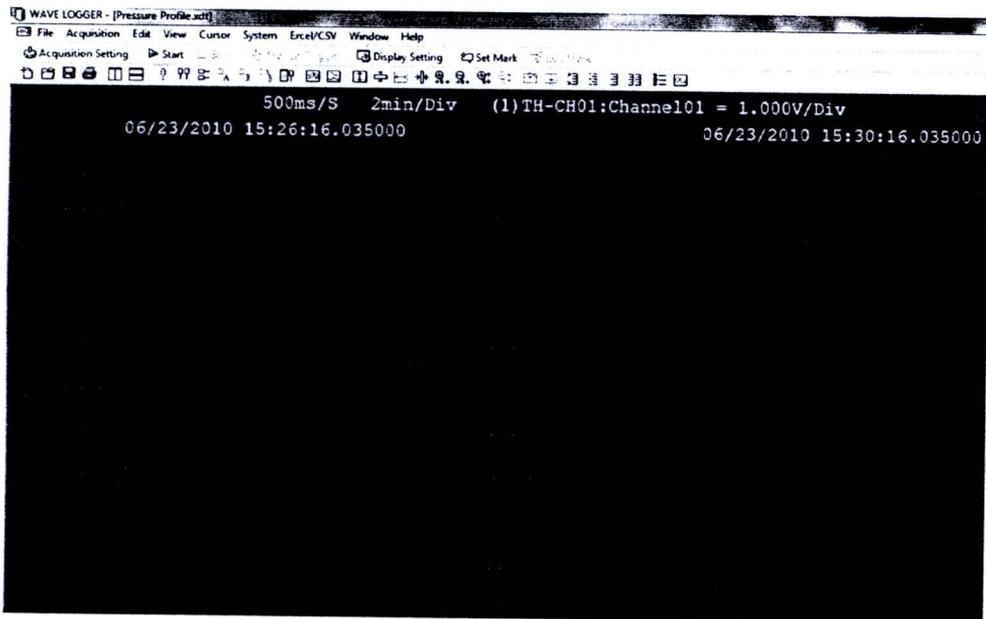
A voltage corresponding to the pressure value is output. (When using Pa units)

	Model		1 to 5V
	AP-C30W/C30WP	AP-C31W/C31WP	
Negative pressure range	—	—	-101.3 to 0 kPa
Positive pressure range	—	—	0 to 100.0 kPa
Compound pressure range	—	—	-101.3 to 101.3 kPa
—	Normal mode	—	0 to -101.3 kPa
—	Focus mode	—	20.0 to -20.0 kPa
—	—	Normal mode	0 to 1.000 MPa
—	—	Focus mode	-200 to 200 kPa

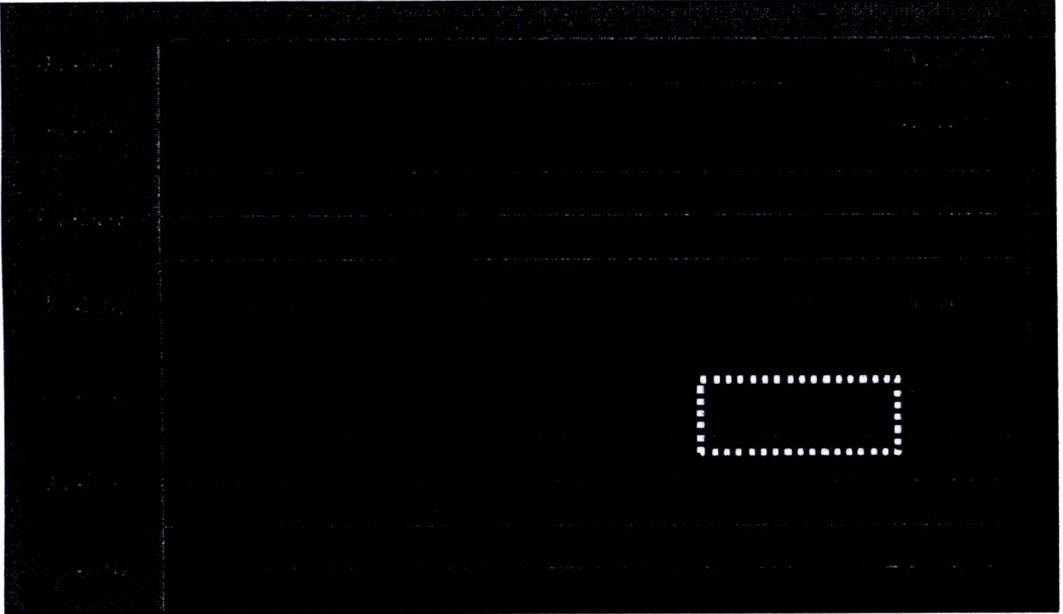
\* The pressure value of the focus mode is based on the selected center pressure.

รูปที่ ก-3 ตารางการแปลงค่าจากแรงดันไฟฟ้าเป็นแรงดันทางกลของผู้ผลิต

หลังจากต่อระบบทุกอย่างเข้าด้วยกันแล้ว จึงเริ่มการทำงานของเครื่องควบคุมปริมาณสารทำงาน และสถานะสูญญากาศตามปกติจนครบรอบการทำงาน พร้อมเก็บบันทึกแรงดันไฟฟ้าซึ่งแสดงให้เห็นดังรูปที่ ก-4



รูปที่ ก-4 ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าที่ได้สัญญาณจากเกจวัดความดันแบบดิจิตอลในช่วงการทำงานของเครื่อง 1 รอบปกติ



รูปที่ 3-5 ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าที่ได้สัญญาณจากเกจวัดความดันแบบดิจิตอลหลังจากเกิดการดูดอากาศเพื่อทำสุญญากาศแล้ว

ซึ่งจากกราฟในรูปที่ 3-4 จะเห็นได้ว่าในส่วนขั้นตอนแรกแรงดันไฟฟ้าจะอยู่ที่ 5 โวลต์ เทียบเป็นความดันที่บรรยากาศคือ 0 กิโลปาสคาล แต่หลังจากเครื่องทำการดูดอากาศเพื่อทำสุญญากาศแรงดันไฟฟ้าตกลงอย่างทันทีทันใดจาก 5 โวลต์มาอยู่ที่ใกล้ๆ 1 โวลต์ ซึ่งเทียบเป็นความดันสุญญากาศที่ประมาณ -90 กิโลปาสคาล ถึง -101.3 กิโลปาสคาล และจากกราฟในรูปที่ 3-5 แรงดันมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเล็กน้อยในขณะที่เครื่องทำงานเนื่องจากการเดือดของสารทำงาน ซึ่งจะเห็นว่า ความดันสุญญากาศไม่สมบูรณ์อาจเป็นเพราะความสามารถของระบบสุญญากาศ (Vacuum system) ซึ่งเกี่ยวข้องกับชนิดของปั๊ม และการตรวจสอบ การดูแล บำรุงรักษา อาการรั่วของข้อต่อต่างๆในระบบอีกด้วย

ภาคผนวก ข

การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

### ข-1 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักร

ข-1.1 ปัมสุญญากาศ (Vacuum pump) และเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) โดยในกรณีที่เป็นปั้มแบบปัจจุบันจะคำนวณมูลค่าปัจจุบันโดยคิดค่าเสื่อมราคา แต่ในกรณีที่เป็นปั้มใหม่จะอ้างอิงจากราคาปั้มโดยตรง ในขณะที่เครื่องทำน้ำเย็นก็จะคำนวณมูลค่าปัจจุบันโดยคิดค่าเสื่อมราคา โดยการใช้งานแบบปัจจุบันปั้ม 4 เครื่องต่อพ่วงเข้ากับเครื่องทำน้ำเย็น 1 ชุด

ราคาปั้มแบบใหม่ ที่ Flow rate 100 M3/hr = 100,000 บาท

ราคาปั้มแบบเก่า ที่ Flow rate 50 M3/hr = 70,000 บาท

คำนวณค่าเสื่อมและมูลค่าปัจจุบันของปั้ม

$$\begin{aligned} Dt &= (B - S) / n \\ &= (70000 - 10000) / 10 \\ &= 6,000 \text{ บาท} \end{aligned}$$

และมูลค่าในบัญชีหลัง 8 ปี กำหนดโดย

$$\begin{aligned} Bt &= 70000 - 8(6000) \\ &= 22,000 \text{ บาท} \end{aligned}$$

อ้างอิงจากการผลิตที่ 1,200,000 ชิ้นต่อเดือน

ต้องใช้ปั้ม 8 ตัว ซึ่งราคาปั้มใหม่ =  $8 \times 100,000 = 800,000$  บาท

ต้องใช้ปั้ม 8 ตัว ซึ่งมูลค่าปัจจุบันปั้มเก่า =  $8 \times 22,000 = 176,000$  บาท

ราคา Chiller = 200,000 บาท

คำนวณค่าเสื่อมและมูลค่าปัจจุบันของ chiller

$$\begin{aligned} Dt &= (B - S) / n \\ &= (200000 - 50000) / 10 \\ &= 15,000 \text{ บาท} \end{aligned}$$

และมูลค่าในบัญชีหลัง 8 ปี กำหนดโดย

$$\begin{aligned} Bt &= 200000 - 8(15000) \\ &= 80,000 \text{ บาท} \end{aligned}$$

อ้างอิงจากการผลิตที่ 1,200,000 ชิ้นต่อเดือน

ในกรณีปั๊มใหม่ไม่ต้องใช้ chiller ซึ่งราคา chiller กับระบบใหม่ = 0 บาท

ในกรณีปั๊มปัจจุบันต้องใช้ chiller 2 ตัว ซึ่งมูลค่าปัจจุบัน =  $2 \times 80,000 = 160,000$  บาท

ข-1.2 กระบอกลูกสูบและเพลาหน้าทาง (Cylinder and Slide guide) ใน 1 ยูนิต มี 4 ชุด เดินเครื่องควบคุมสถานะสุญญากาศ 5 ยูนิต รวม 20 ชุด โดยคำนวณมูลค่าปัจจุบันโดยคิดค่าเสื่อมราคา

ราคา Cylinder = 1,500 บาท

ราคา Slide Guide = 20,000 บาท

คำนวณค่าเสื่อมและมูลค่าปัจจุบันของ Cylinder & Guide

$$\begin{aligned} Dt &= (B - S) / n \\ &= (21500 - 2150) / 10 \\ &= 1,935 \text{ บาท} \end{aligned}$$

และมูลค่าในบัญชีหลัง 8 ปี กำหนดโดย

$$\begin{aligned} Bt &= 21500 - 8(1935) \\ &= 6,020 \text{ บาท} \end{aligned}$$

อ้างอิงจากการผลิตที่ 1,200,000 ชิ้นต่อเดือน

ใช้ Cylinder & Guide 20 ชุด มูลค่าปัจจุบัน =  $20 \times 6,020 = 120,400$  บาท

ข-1.3 หัวน้ำร้อน (Water Heater bath) ใน 1 ยูนิต มี 4 เครื่อง เดินเครื่องควบคุมสถานะสุญญากาศ 5 ยูนิต รวม 20 ชุด โดยคำนวณมูลค่าปัจจุบันโดยคิดค่าเสื่อมราคา

จำนวนค่าเสื่อมและมูลค่าปัจจุบันของ Water Heater Bath

$$\begin{aligned} Dt &= (B - S) / n \\ &= (22000 - 2200) / 10 \\ &= 19,800 \text{ บาท} \end{aligned}$$

และมูลค่าในบัญชีหลัง 8 ปี กำหนดโดย

$$\begin{aligned} Bt &= 22000 - 8(1980) \\ &= 6,160 \text{ บาท} \end{aligned}$$

อ้างอิงจากการผลิตที่ 1,200,000 ชิ้นต่อเดือน

ใช้ Water Heater Bath 20 ตัว มูลค่าปัจจุบัน =  $20 \times 6,160 = 123,200$  บาท

ข-1.4 พลังงานที่ใช้กับเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller power consumption) ทำงาน 2 เครื่อง จำนวนที่ค่าพลังงานไฟฟ้า 3 บาท/หน่วย

จำนวนโดยใช้ค่าพลังงานสูงสุดจาก Chiller specification

ค่ากำลังวัตต์ 4.2 kW ทำงาน 24 ชม. 25 วัน / เดือน

ต้นทุนค่าไฟ =  $4.2 \times 24 \times 25 \times 2 \times 3 = 15,120$  บาท / เดือน

ข-1.5 พลังงานที่ใช้กับเครื่องทำลมอัด (Compressor air consumption) จำนวนที่ราคาลมอัดเฉลี่ย (Compressed Air) = 16.2 บาท/1 ลูกบาศก์เมตร/นาที

ราคา Cylinder&Slide Guide = 1,500 บาท และ 20,000 บาท ตามลำดับ

Cylinder Specification ; Bore = 0.032 เมตร , Stroke = 0.3 เมตร

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรกระบอกสูบ} &= 3.14 \times 0.032 \times 0.032 \times 0.3 / 4 \text{ ลบ.ม.} \\ &= 0.00241152 \text{ ลบ.ม.} \end{aligned}$$

ใน 1 รอบ มีเคลื่อนที่ขึ้น-ลง =  $2 \times 0.00241152 = 0.00482304$  ลบ.ม.

1 ยูนิต มี 4 ชุด , เดินเครื่องควบคุมสถานะสุญญากาศ 5 ยูนิต รวม 20 ชุด  
ทำงาน 2 กะ (กะเช้า – กะกลางคืน) ทำงาน 25 วัน/เดือน  
จากการผลิตต่อเดือน จะมีการทำงานรวม 10,416 รอบ/ชุด/เดือน

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนการใช้ลมอัด} &= 0.00482304 \times 20 \times 10416 \times 16.2 \\ &= 16,276.718 \text{ บาท / เดือน} \end{aligned}$$

ข-1.6 พลังงานที่ใช้กับหัวน้ำร้อน (Heater power consumption) คำนวณอ้างอิงจากข้อมูลการใช้พลังงานของฝ่ายวิศวกรรมโรงงาน

$$\begin{aligned} \text{ค่าพลังงานจากการใช้หัวน้ำร้อน} &= 145,807.2 \text{ บาท / ปี / เครื่อง} \\ &= 12,150.6 \text{ บาท / เดือน / เครื่อง} \end{aligned}$$

เครื่องควบคุมสถานะสุญญากาศ 1 ยูนิต มี 4 เครื่อง

$$\text{ค่าพลังงานจากการใช้หัวน้ำร้อน} = 48,602.4 \text{ บาท / เดือน / ยูนิต}$$

เดินเครื่องควบคุมสถานะสุญญากาศ 5 ยูนิต

$$\text{ค่าพลังงานจากการใช้หัวน้ำร้อน} = 243,012 \text{ บาท / เดือน}$$

ข-1.7 ค่าใช้จ่ายการซ่อมบำรุงหัวน้ำร้อน (Heater bath maintenance) ข้อมูลจากการรวบรวม จะมีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยเท่ากับ 699.58 บาท / เดือน

ข-2 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับวิธีการ

คำนวณวิธีการประเมินโดยยึดยอดขายคงที่แบบสูงสุด : ผลผลิตที่เพิ่มขึ้น

$$\text{Cycle time} = \text{Operation time} + \text{Movement}$$

จากการจับเวลาการเคลื่อนไหวนขณะทำงาน ใช้เวลาเฉลี่ย 28 วินาที

$$\text{Cycle time} = \text{Operation time} + 28 \text{ วินาที}$$

ดังนั้น แบบที่ 1 (ปัจจุบัน) ; Cycle time = 60 + 28 = 88 sec.

แบบที่ 2 ; Cycle time = 28.5 + 28 = 56.5 sec.

แบบที่ 3 ; Cycle time = 28.5 + 28 = 56.5 sec.

ข-2.1 การควบคุมสถานะสุญญากาศแบบมีการไล่ก๊าซ (แบบที่1)

$$\text{Productivity} = \text{Output} / \text{Manpower} \quad ; \quad (\text{pcs./MH})$$

1 รอบการทำงานได้ชิ้นงาน 6 ตัว ดังนั้น

$$\text{Output} = (7.5 \text{ hrs} \times 3600 \text{ sec.}) / (88 \text{ sec./} 6 \text{ pcs.}) = 1841 \text{ pcs.}$$

$$\text{Productivity} = 1841 \text{ pcs.} / 7.5 \text{ hrs.} = 245.47 \text{ pcs./MH}$$

อ้างอิงการผลิต 1,200,000 ชิ้น , 1 MH = 55 บาท

$$\text{ใช้ MH} = 1200000 / 245.47 = 4,888.58 \text{ MH}$$

$$\text{คิดเป็นเงิน} = 4888.58 \times 55 = 268,871.9 \text{ บาท}$$

ข-2.2 การควบคุมสถานะสุญญากาศแบบไม่มีการไล่ก๊าซ (แบบที่ 2 และ 3)

$$\text{Productivity} = \text{Output} / \text{Manpower} \quad ; \quad (\text{pcs./MH})$$

1 รอบการทำงานได้ชิ้นงาน 6 ตัว ดังนั้น

$$\text{Output} = (7.5 \text{ hrs} \times 3600 \text{ sec.}) / (56.5 \text{ sec./} 6 \text{ pcs.}) = 2867 \text{ pcs.}$$

$$\text{Productivity} = 2867 \text{ pcs.} / 7.5 \text{ hrs.} = 382.27 \text{ pcs./MH}$$

อ้างอิงการผลิต 1,200,000 ชิ้น , 1 MH = 55 บาท

$$\text{ใช้ MH} = 1200000 / 382.27 = 3,139.14 \text{ MH}$$

$$\text{คิดเป็นเงิน} = 3139.14 \times 55 = 172,652.7 \text{ บาท}$$

### ข-3 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับวัสดุ

#### ข-3.1 ค่าใช้จ่ายสำหรับน้ำดีไอออไนซ์ (DI water)

แม้ว่าปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานในการกำหนดไว้ในการผลิตจริงว่าควรเติมเงินเท่าไรจากค่าที่ต้องการจึงจะเหมาะสม แต่จากการเก็บข้อมูลตัวอย่างในการผลิตจริง การเติมน้ำจะเติมเงิน โดยเฉลี่ย 0.5 มิลลิเมตร / ชั๊น และคำนวณอ้างอิงราคาน้ำ DI (De-Ionized) = 4 บาท / ลิตร

คิดที่การผลิตคงที่ 1,200,000 ชั๊น / เดือน

ดังนั้น ปริมาณที่เติมเงินในแต่ละเดือน =  $0.5 \times 1200000 / 1000 = 600$  ลิตร / เดือน

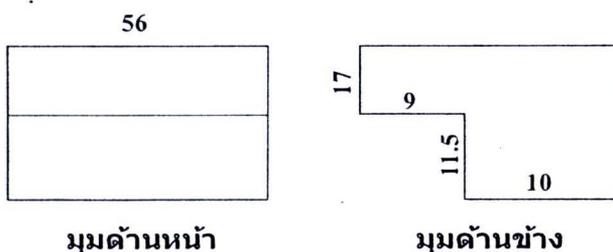
ค่าใช้จ่ายในส่วนที่เติมเงิน =  $600 \times 4 = 2,400$  บาท / เดือน

#### ข-3.2 ค่าใช้จ่ายสำหรับน้ำรีเวิร์สออสโมซิส (RO water)

ในกรณีที่ไม่มีการไล่ก๊าซจะไม่มีกรจุ่มและดัม ดังนั้นในขั้นตอนควบคุมสถานะสุญญากาศจะไม่มีกรใช้น้ำรีเวิร์สออสโมซิสในกระบวนการ แต่สำหรับกรณีที่มีการไล่ก๊าซแบบปัจจุบันจะมีการใช้น้ำรีเวิร์สออสโมซิสซึ่งบรรจุอยู่ในอ่างดังรูปที่ ข-1



แบบร่างของอ่างสำหรับจุ่มและดัมเพื่อความร้อน



รูปที่ ข-1 แบบร่างและขนาดของอ่างใส่น้ำรีเวิร์สออสโมซิสเพื่อการจุ่มและดัม

จากรูปร่างอ่างในรูปที่ ข-1 การเติมน้ำจะเว้นประมาณ 1 ซม. จากขอบอ่าง

ดังนั้น น้ำที่เติมในอ่างมีปริมาตร =  $[(16 \times 19 \times 56) + (11.5 \times 10 \times 56)] / 1000 = 23.464$  ลิตร

ราคาน้ำ RO (Reverse Osmosis) = 0.25 บาท / ลิตร

ต้นทุนน้ำต่ออ่าง = 5.866 บาท

ความถี่ในการเปลี่ยนน้ำ 2 ครั้ง / สัปดาห์

1 ยูนิต มี 4 อ่าง

เดินเครื่องควบคุมสภาวะสุญญากาศ 5 ยูนิต

ต้นทุนน้ำที่ใช้ในแต่ละเดือน =  $5.866 \times 2 \times 4 \times 5 \times 4 = 938.56$  บาท / เดือน

### ข-3.3 ค่าใช้จ่ายของชิ้นงานเสียทางด้านความร้อน (Thermal Defect)

ในการแก้ปัญหาทั้ง 3 ทางเลือกก็มีผลของชิ้นงานเสียทางด้านความร้อนแตกต่างกันไป ซึ่งสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายได้ดังนี้

แบบที่ 1 : Defect 3%

ผลิต 1,200,000 ชิ้น / เดือน

ราคาค่าต้นทุนต่อความร้อน โดยเฉลี่ย = 16 บาท / ชิ้น

ต้นทุนค่าของเสีย =  $1200000 \times 16 \times 0.03 = 576,000$  บาท / เดือน

แบบที่ 2 : Defect 17.57%

ผลิต 1,200,000 ชิ้น / เดือน

ราคาค่าต้นทุนต่อความร้อน โดยเฉลี่ย = 16 บาท / ชิ้น

ต้นทุนค่าของเสีย =  $1200000 \times 16 \times 0.1757 = 3,373,440$  บาท / เดือน

แบบที่ 3 : Defect 2.35%

ผลิต 1,200,000 ชิ้น / เดือน

ราคาค่าต้นทุนต่อความร้อน โดยเฉลี่ย = 16 บาท / ชิ้น

ต้นทุนค่าของเสีย =  $1200000 \times 16 \times 0.0235 = 451,200$  บาท / เดือน



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - สกุล	นายอัสวเทพ ยงสุวรรณศิลป์
วัน เดือน ปี เกิด	15 มิถุนายน 2521
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนวัดสุทธิวาราม ปีการศึกษา 2539 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีการศึกษา 2543 ปริญญานิพนธ์เรื่องการประหยัดพลังงานในระบบลมอัดของอาคารRDiPT

