สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# การประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ด้วยสมการถดถอยเชิงพหุ

# EFFICIENCY ESTIMATION OF HEAT PIPE SOLAR COLLECTOR WITH MULTIPLE REGRESSION

T119348

นางสาววรลักษณ์ เถาชาลี
MISS WORALUK THAOCHALEE
นางสาวสุนิสา จ้อยประสิทธิ์
MISS SUNISA JOYPRASITH
นายสุริยา ปรีเปรม
MR. SURIYA PREEPREM

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 119348
วัน,เดือน,ปี - 7 S.A. 2554

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# EFFICIENCY ESTIMATION OF HEAT PIPE SOLAR COLLECTOR WITH MULTIPLE REGRESSION

**MISS WORALUK THAOCHALEE**

**MISS SUNISA JOYPRASITH**

**MR. SURIYA PREEPREM**

**THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT**

**OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF**

**BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**ACADEMIC YEAR 2010**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**คณะวิศวกรรมศาสตร์**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

**ใบรับรองปริญญานิพนธ์**

**หัวข้อปริญญานิพนธ์** การประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ด้วยสมการถดถอยเชิงพหุ

Efficiency Estimation of Heat Pipe Solar Collector with Multiple Regression

**นักศึกษา**

| | | |
|---|---|---|
| นางสาววรลักษณ์ เถาชาลี | รหัสประจำตัว | 50011381 |
| นางสาวสุนิสา จ้อยประสิทธิ์ | รหัสประจำตัว | 50011729 |
| นายสุริยา ปรีเปรม | รหัสประจำตัว | 50011772 |

**หลักสูตร** วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

**อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์**

_____

(ผศ.ดร.สกนธ์ คล่องบุญจิต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หัวข้อปริญญานิพนธ์** การประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ด้วยสมการถดถอยเชิงพหุ

**นักศึกษา** นางสาววรลักษณ์ เถาชาลี รหัสประจำตัว 50011381
นางสาวสุนิสา จ้อยประสิทธิ์ รหัสประจำตัว 50011729
นายสุริยา ปรีเปรม รหัสประจำตัว 50011772

**หลักสูตร** วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

**ปีการศึกษา** 2553

**อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์** ผศ.ดร.สกนธ์ คล่องบุญจิต

## บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้จัดทำขึ้นเพื่อประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ ซึ่งพิจารณาศึกษาตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ 7 ตัวแปร คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์, อุณหภูมิของน้ำภายในถัง, อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม, อุณหภูมิของท่อฮีทไปป์ในหลอดสุญญากาศ, ความเข้มแสงอาทิตย์, แรงดันที่สูญเสียของน้ำ และอัตราการไหลของน้ำ โดยทำการออกแบบชุดลองเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลซึ่งกำหนดอัตราการไหลของน้ำในระบบเป็น 15, 20, 25และ30 ลิตรต่อนาที แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาสร้างสมการความถดถอยเพื่อประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ โดยอาศัยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ (Multiple Regression Analysis) ซึ่งผลการวิเคราะห์สมการความถดถอยได้รูปแบบความสัมพันธ์ที่เหมาะสมคือความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นและยกกำลังสอง (Linear + Squares) โดยได้สมการในการประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์คือ

$$\hat{Y} = -9.20803 - 0.0731495X_1 + 0.276212X_2 + 0.145212X_3 - 5.41040\times10^{-4}X_4 + 0.00411765X_5 + 0.00105806X_6 + 7.30956X_7 + 0.001331257X_1^2 - 0.00349488X_2^2 - 0.00231915X_3^2 - 2.99531\times10^{-6}X_5^2 - 3.83121\times10^{-6}X_6^2 - 7.60177X_7^2 \pm 0.046005856$$

ที่ค่าความแม่นยำของสมการ 99.86 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **Thesis Title** | Efficiency Estimation of Heat Pipe Solar Collector with Multiple Regression |
| **Student** | Miss Woraluk Thaochalee |
| | Miss Sunisa Joyprasith |
| | Mr. Suriya Preeprem |
| **Degree** | Bachelor of Engineering in Industrial Engineering |
| **Academic Year** | 2010 |
| **Thesis Advisor** | Assist. Prof. Dr. Sakon Klongboonjit |


## ABSTRACT

This thesis is purposed to study and estimate on the efficiency of heat pipe solar collector. In this study there are seven related parameters that are considered. These seven parameters are solar intensity, water mass flow rate, loss pressure of water, temperature of heat pipe in vacuum tube, average temperature at solar collector, water temperature in the storage tank and ambient air temperature. During collecting experiment data with the experiment set, the water flows are determined with 15, 20, 25 and 30 L/min. In order to approximate the heat pipe solar collector efficiency, the data is analyzed by formulating mathematical model with the multiple regression method. The results show that the Linear + Squares relationship is property for this study with the equation for solar collector efficiency estimation of $\hat{Y} = -9.20803 - 0.0731495X_1 + 0.276212X_2 + 0.145212X_3 - 5.41040\times10^{-4}X_4 + 0.00411765X_5 + 0.00105806X_6 + 7.30956X_7 + 0.001331257X_1^2 - 0.00349488X_2^2 - 0.00231915X_3^2 - 2.99531\times10^{-6}X_5^2 - 3.83121\times10^{-6}X_6^2 - 7.60177X_7^2 \pm 0.046005856$ with the 99.86% of accuracy.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ด้วยสมการถดถอยเชิงพหุ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี กลุ่มผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องส่งผลให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ดังนี้

ผศ.ดร.สกนธ์ คล่องบุญจิต อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับการให้โอกาสในการศึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือและความเอาใจใส่ในทุกๆ ด้านตลอดเวลาที่ผ่านมา

ผศ.ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับคำแนะนำ และความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน

ดร.ชุมพล ยวงใย กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับคำแนะนำ ความช่วยเหลือ และการชี้แนะแนวทางให้คำปรึกษา รวมถึงข้อเสนอแนะที่ดีต่างๆ มากมาย

คุณระพีพันธุ์ สมรรถานันท์ กรรมการผู้จัดการบริษัทราโวเทค จำกัด กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับความช่วยเหลือในการอนุเคราะห์อุปกรณ์ต่างๆ และเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำการทดลอง

คุณวิกรณ์ วัลลิกุล ผู้จัดการฝ่ายขายบริษัทราโวเทค จำกัด กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับคำแนะนำ และข้อเสนอแนะต่างๆ

คุณชิน ผางนุย และทีมงานทุกคนของบริษัทราโวเทค จำกัด กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับความช่วยเหลือ และคำปรึกษาที่ดีต่างๆ มากมาย

ขอบคุณเพื่อนๆ ในกลุ่มวิจัยทุกคน ที่คอยเป็นกำลังใจ ร่วมทุกข์ร่วมสุข ผ่านอุปสรรคต่างๆ มาด้วยกัน จนทำให้สามารถทำปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณทุกๆความช่วยเหลือและกำลังใจจากบุคคลต่างๆที่มิได้กล่าวถึงในที่นี้เป็นอย่างสูง

นางสาววรลักษณ์ เถาชาลี
นางสาวสุนิสา จ้อยประสิทธิ์
นายสุริยา ปรีเปรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


หน้า

**บทคัดย่อภาษาไทย** ..... ก

**บทคัดย่อภาษาอังกฤษ** ..... ข

**กิตติกรรมประกาศ** ..... ค

**สารบัญ** ..... ง

**สารบัญตาราง** ..... ฉ

**สารบัญรูป** ..... ญ

**สารบัญคำย่อและสัญลักษณ์** ..... ฏ

**บทที่ 1 บทนำ**

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ..... 1

1.2. วัตถุประสงค์ ..... 2

1.3. ขอบเขตการศึกษา ..... 2

1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ..... 2

1.5. แผนการดำเนินงาน ..... 3

**บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง**

2.1. พลังงานแสงอาทิตย์ ..... 6

2.2. ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ..... 7

2.3. กลศาสตร์ของของไหล ..... 10

2.3.1. คุณสมบัติของของไหล ..... 10

2.3.2. ความดันและเฮด ..... 11

2.3.3. การไหลในท่อปิด ..... 15

2.4. วัสดุอุปกรณ์ของชุดทดลอง ..... 17

2.4.1. แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ (Heat Pipe Collector) ..... 17

2.4.2. ถังน้ำเก็บพลังงาน ..... 21

2.4.3. ฉนวนความร้อน ..... 23

2.4.4. ปั๊มน้ำ ..... 23

2.4.5. วาล์ว ..... 24



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


2.4.6. ท่อทองแดง ..... 26
2.4.7. ข้อต่อท่อ ..... 26
2.4.8. ตัววัดความเข้มแสงอาทิตย์ ..... 29
2.4.9. เทอร์โมคัพเปิ้ล ..... 29
2.4.10 ตัววัดความดัน (Pressure Gauge) ..... 29
2.4.11. ตั ววัดอัตราการไหล (Flow Meter) ..... 29
2.4.12. Data Logger ..... 29
2.5. การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ (Multiple Regression Analysis) ..... 30
2.5.1. ความหมายของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ (Multiple Regression Analysis) ..... 30
2.5.2. วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ ..... 30
2.5.3. การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ (Multiple Regression Analysis) ..... 31
2.5.4. เงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ ..... 31
2.5.5. การตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (Measures of Collinearity) ..... 31
2.5.6. วิธีการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการความถดถอย ..... 32
2.5.7. การประมาณค่าพารามิเตอร์ของสมการความถดถอยเชิงพหุ โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด ..... 34
2.5.8. ความหมายของสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน ..... 38
2.5.9. การทดสอบสมการความถดถอยเชิงพหุ ..... 39
2.5.10. การประมาณค่าคลาดเคลื่อนของความถดถอย
(Estimation of Standard Deviation of Regression) ..... 41
2.5.11. การประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ $b_i$ สัมประสิทธิ์ความถดถอย ..... 41
2.5.12. สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงซ้อน (Multiple Coefficient of Determination: $R^2$ หรือ $r^2$) ..... 42
2.5.13. สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงซ้อน (Multiple Coefficients Of Correlation) ..... 43
2.5.14. สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงส่วน (Coefficients of Partial Correlation) ..... 43
2.6. การวิเคราะห์ความถดถอยไม่เชิงเส้น (Nonlinear Regression Analysis) ..... 45
2.6.1. รูปแบบของความถดถอยไม่เชิงเส้น ..... 45
2.6.2. เงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอยไม่เชิงเส้น ..... 46
2.6.3. การแปลงสมการความถดถอยไม่เชิงเส้นให้อยู่ในรูปเชิงเส้น ..... 46
2.6.4. กรณีที่ไม่สามารถแปลสมการความถดถอยไม่เชิงเส้นให้อยู่ในรูปเชิงเส้นได้ ..... 47



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


2.6.5. การประมาณค่าเริ่มต้น ..... 47
2.6.6. ขั้นตอนการวิเคราะห์ความถดถอยไม่เชิงเส้น ..... 48
2.6.7. การตรวจสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์ความถดถอย ..... 48
2.6.8. การปรับสมการความถดถอยเมื่อความคลาดเคลื่อนไม่เป็นไปตามข้อกำหนด ..... 51
2.6.9. การเกิดปัญหา Multicollinearity ..... 51
2.7. การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างค่าแปรปรวนของสองประชากร ..... 53
2.7.1. การทดสอบสมมติฐานแบบข้างเดียว ..... 53
2.7.2. การทดสอบแบบสองข้าง ..... 53
2.7.3. ค่าแปรปรวน (Variance) ..... 54
2.7.4. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : SD) ..... 54
2.8. การประมาณค่าเฉลี่ยประชากร ($\mu$) ..... 55
2.8.1. การประมาณค่าเฉลี่ยประชากรแบบจุด ..... 55
2.8.2. การประมาณค่าเฉลี่ยประชากร ($\mu$) แบบช่วง ..... 55
2.8.3. เมื่อไม่ทราบค่าแปรปรวนประชากร ..... 56
2.9. วรรณกรรม บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 56

**บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย**

3.1. กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ ..... 58
3.2. ชุดทดลอง ..... 58
3.2.1. ออกแบบชุดทดลอง ..... 58
3.2.2. เลือกและคำนวณขนาดของวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในชุดทดลอง ..... 61
3.2.3. ติดตั้งชุดทดลอง ..... 62
3.2.4. การเตรียมชุดทดลอง ..... 63
3.3. การเก็บและบันทึกข้อมูล ..... 63
3.3.1. ออกแบบการเก็บและบันทึกข้อมูล ..... 63
3.3.2. ออกแบบตารางการเก็บและบันทึกข้อมูล ..... 64
3.3.3. การแบ่งชุดข้อมูลที่ได้จากการเก็บและบันทึกผล ..... 65
3.4. การหารูปแบบความสัมพันธ์ที่เหมาะสม ..... 65



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5. การประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงโดยการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ ..... 65
3.6. การตรวจสอบความถูกต้องของสมการความถดถอยเชิงพหุ โดยใช้ข้อมูลชุดที่ 3 ..... 65
3.7. แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน ..... 66

**บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน**

4.1. ทำการเก็บข้อมูลและแบ่งชุดข้อมูล ..... 68
4.2. การหารูปแบบความสัมพันธ์ที่เหมาะสม ..... 68
4.2.1. รูปแบบความสัมพันธ์แบบ Linear ..... 68
4.2.2. รูปแบบความสัมพันธ์แบบ Linear + Interaction ..... 72
4.2.3. รูปแบบความสัมพันธ์แบบ Full Quadratic ..... 79
4.2.4. รูปแบบความสัมพันธ์แบบ Linear + Squares ..... 87
4.3. การประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงโดยการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ ..... 91
4.3.1. ผลการวิเคราะห์ของรูปแบบความสัมพันธ์แบบ Linear ..... 91
4.3.2. ผลการวิเคราะห์ของรูปแบบความสัมพันธ์แบบ Linear + Interaction ..... 91
4.3.3. ผลการวิเคราะห์ของรูปแบบความสัมพันธ์แบบ Full Quadratic ..... 91
4.3.4. ผลการวิเคราะห์ของรูปแบบความสัมพันธ์แบบ Linear + Squares ..... 91
4.4. การประมาณค่าความคาดเคลื่อนของความถดถอยเชิงพหุ ..... 92
4.5. การตรวจสอบความถูกต้องของสมการความถดถอยเชิงพหุ ..... 92
4.5.1. การทดสอบเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างค่าความแปรปรวน ..... 92
4.5.2. การประมาณช่วงของค่าเฉลี่ย ..... 93

**บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ**

5.1. สรุปผลการดำเนินงาน ..... 95
5.2. ข้อเสนอแนะ ..... 96

**หนังสืออ้างอิง**

**ภาคผนวก ก. คุณสมบัติเฉพาะต่างๆ** ..... ผก 1

**ภาคผนวก ข. การคำนวณ** ..... ผข 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

**ภาคผนวก ค. ตารางการแบ่งชุดข้อมูล** ..... ผค 30

**ภาคผนวก ง. ตารางสถิติ** ..... ผง 65




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

หน้า


ตารางที่ 2.1. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ ..... 39
ตารางที่ 2.2. รูปการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์ความถดถอย $\beta_i$ ในขั้นที่ 2 ..... 41
ตารางที่ 2.3. แสดงตัวอย่างการแปลงความถดถอยไม่เชิงเส้นให้อยู่ในรูปเชิงเส้น ..... 47
ตารางที่ 3.1. การระบุตำแหน่งและเลือกอุปกรณ์ในการเก็บและบันทึกข้อมูล ..... 60
ตารางที่ 3.2. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในชุดทดลองมีดังนี้ ..... 61
ตารางที่ 3.3. ตัวอย่างตารางการเก็บและบันทึกข้อมูล ..... 64
ตารางที่ 4.1. ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ความถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบ Linear ..... 68
ตารางที่ 4.2. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบความสัมพันธ์แบบ Linear ..... 69
ตารางที่ 4.3. การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบ Linear ..... 70
ตารางที่ 4.4. ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ความถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบ Linear + Interaction (1) ..... 72
ตารางที่ 4.5. ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ความถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบ Linear + Interaction (2) ..... 74
ตารางที่ 4.6. ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ความถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบ Linear + Interaction (3) ..... 75
ตารางที่ 4.7. ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ความถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบ Linear + Interaction (4) ..... 76
ตารางที่ 4.8. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบความสัมพันธ์แบบ Linear + Interaction ..... 77
ตารางที่ 4.9. การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบ Linear + Interaction ..... 79
ตารางที่ 4.10. ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ความถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบ Full Quadratic (1) ..... 79
ตารางที่ 4.11. ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ความถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบ Full Quadratic (2) ..... 81
ตารางที่ 4.12. ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ความถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบ Full Quadratic (3) ..... 82
ตารางที่ 4.13. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบความสัมพันธ์แบบ Full Quadratic ..... 83
ตารางที่ 4.14. การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบ Full Quadratic ..... 85
ตารางที่ 4.15. ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ความถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบ Linear + Squares ..... 87
ตารางที่ 4.16. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบความสัมพันธ์แบบ Linear + Squares ..... 88
ตารางที่ 4.17. การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบ Linear + Squares ..... 89
ตารางที่ 4.18. สรุปรูปแบบความสัมพันธ์ ..... 94



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

หน้า


รูปที่ 2.1. ระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้งานน้ำร้อนโดยตรง ..... 7
รูปที่ 2.2. ระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแลกเปลี่ยนความร้อน ..... 8
รูปที่ 2.3. ความดันของบรรยากาศ ..... 11
รูปที่ 2.4. คำจำกัดความของเฮดสถิตย์ (Static Head) ..... 13
รูปที่ 2.5. ตำแหน่งที่เกิดการสูญเสียพลังงานหรือเฮดในระบบท่อและอุปกรณ์ ..... 14
รูปที่ 2.6. โครงสร้างของฮีทไปป์ ..... 17
รูปที่ 2.7. ท่อรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ ..... 19
รูปที่ 2.8. การนำท่อพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์หลายท่อมาต่อรวมกัน ..... 20
รูปที่ 2.9. ตัวอย่างแผงพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ ..... 20
รูปที่ 2.10. แสดงการหาพื้นที่รับแสงอาทิตย์ของท่อรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์หนึ่งท่อ ..... 21
รูปที่ 2.11. ตัวอย่างการจัดการการใช้พลังงานความร้อนในถังน้ำเก็บพลังงาน ..... 22
รูปที่ 2.12. ระบบการใช้ถังน้ำเก็บพลังงานใบเดียว ..... 22
รูปที่ 2.13. หลักการทำงานของใบพัดของปั๊มแบบเซนตริฟูกอล ..... 23
รูปที่ 2.14. เกทวาล์ว ..... 25
รูปที่ 2.15. บอล์ลวาล์ว ..... 25
รูปที่ 2.16. เช็ควาล์วแบบยกตัว (ประณต กุลประสูตร, 2545, [10]) ..... 26
รูปที่ 2.17. ข้อต่อตรงแบบต่างๆ ..... 27
รูปที่ 2.18. ข้อต่องอแบบต่างๆ ..... 27
รูปที่ 2.19. ข้อต่อสามทางแบบต่างๆ ..... 28
รูปที่ 2.20. ข้อต่อยูเนียนชนิดต่างๆ ..... 29
รูปที่ 2.21. กราฟความสัมพันธ์ของ X และ Y จากสมการที่ 2.40. ..... 45
รูปที่ 2.22. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง e กับ Y ..... 49
รูปที่ 2.23. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $e_i$ กับ t ..... 49
รูปที่ 2.24. การแจกแจงของ $\alpha$ ..... 50
รูปที่ 2.25. แสดงการแจกแจงแบบปกติโดยการเขียนฮีสโตแกรม ..... 51
รูปที่ 3.1. ชุดทดลองที่ใช้ในการประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ ..... 59
รูปที่ 3.2. แสดงการระบุตำแหน่งในการเก็บและบันทึกข้อมูล ..... 60
รูปที่ 3.3. แสดงการติดตั้งชุดทดลอง ..... 63



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.4. แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน ..... 66
รูปที่ 4.1. แสดงการตรวจสอบเงื่อนไขเบื้องต้นของสมการถดถอยเชิงพหุของรูปแบบความสัมพันธ์แบบ Linear ..... 71
รูปที่ 4.2. แสดงการตรวจสอบเงื่อนไขเบื้องต้นของสมการถดถอยเชิงพหุของรูปแบบความสัมพันธ์
แบบ Linear + Interaction ..... 78
รูปที่ 4.3. แสดงการตรวจสอบเงื่อนไขเบื้องต้นของสมการถดถอยเชิงพหุของรูปแบบความสัมพันธ์
แบบ Full Quadratic ..... 86
รูปที่ 4.4. แสดงการตรวจสอบเงื่อนไขเบื้องต้นของสมการถดถอยเชิงพหุของรูปแบบความสัมพันธ์
แบบ Linear + Squares ..... 90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญคำย่อและสัญลักษณ์

| คำย่อและสัญลักษณ์ | ความหมาย | หน่วย |
|---|---|---|
| $X_1$ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ | (°C) |
| $X_2$ | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง | (°C) |
| $X_3$ | อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม | (°C) |
| $X_4$ | อุณหภูมิของท่อฮีทไปป์ในหลอดสุญญากาศ | (°C) |
| $X_5$ | ความเข้มแสงอาทิตย์ | ($W/m^2$) |
| $X_6$ | แรงดันที่สูญเสียของน้ำ | (kPa) |
| $X_7$ | อัตราการไหลของน้ำ | (kg/s) |
| Y | ประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ | - |
| Coef | ค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอย | - |
| SE Coef | ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอย | - |
| T | ค่าสถิติทดสอบ T-Test | - |
| P | ค่าSignificant t | - |
| Seq SS | ค่าความแปรปรวน | - |
| Adj SS | ค่าความแปรปรวนที่ปรับค่าแล้ว | - |
| Adj MS | ค่าเฉลี่ยของความแปรปรวนที่ปรับค่าแล้ว | - |
| F | ค่าสถิติทดสอบ F-Test | - |
| P | ค่า Significant t F | - |
| Z | ค่าสถิติทดสอบ Z-Test | - |
| $\beta$ | สัมประสิทธิ์ความถดถอย | - |
| e | ค่าความคลาดเคลื่อน | - |
| MSR | Mean Square Regression | - |
| MSE | Mean Square Error | - |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

| คำย่อและสัญลักษณ์ | ความหมาย | หน่วย |
|---|---|---|
| SST | Sum Square of Total | - |
| SSR | Sum Square of Regression | - |
| SSE | Sum Square of Error | - |
| $S^2$ | ค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่าง | - |
| $\sigma^2$ | ค่าความแปรปรวนของกลุ่มประชากร | - |
| $R^2$ | สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุ | - |
| Adj $R^2$ | สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุปรับค่าแล้ว | - |
| r | สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ | - |
| r | ความหนาแน่นของของเหลว | - |
| D | ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ | m |
| $\mu$ | Dynamic Viscosity ของของเหลว | kg/m-s |
| v | Kinematic Viscosity ของของเหลว | $m^2/s$ |
| $h_f$ | การเสียเฮดเนื่องจากความฝืด บอกเป็นความสูงของของเหลว | m |
| f | สัมประสิทธิ์ของความฝืด | - |
| L | ความยาวของท่อ | m |
| V | ความเร็วของการไหลในท่อ | m/s |
| g | ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก | $m/s^2$ |
| $h_L$ | การเสียเฮดเนื่องจากอุปกรณ์ในระบบท่อ | m |
| K | สัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล | - |
| e | ความขรุขระเฉลี่ยของผนังท่อใหม่ | mm |
| $R_e$ | Reynolds Number | - |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ด้วยสมการถดถอยเชิงพหุ ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา กำหนดวัตถุประสงค์ในการจัดทำ ขอบเขตการศึกษา ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และวางแผนการดำเนินงาน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

## 1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันความต้องการใช้ทรัพยากรและพลังงานในการดำรงชีวิตของมนุษย์เพิ่มมากขึ้น ทำให้ทรัพยากรและพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดบนโลกเริ่มจะหมดลง จึงมีการใช้พลังงานทดแทนหรือหาแหล่งพลังงานใหม่เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ที่มีอยู่อย่างไม่จำกัด ซึ่งพบว่าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานได้เปล่าที่มีอยู่อย่างไม่จำกัด สามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบ เช่น การใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในระบบการผลิตน้ำร้อน

พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์สามารถนำมาใช้ในการผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ประโยชน์ในงานต่างๆ ทั้งในระดับครัวเรือน ในระดับธุรกิจขนาดใหญ่หรืออุตสาหกรรม ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ส่วนใหญ่ประกอบด้วย แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์และถังเก็บสะสมความร้อน โดยแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์จะทำให้น้ำภายในถังเก็บสะสมความร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้น ภายในถังอาจจะมีแหล่งพลังงานความร้อนเสริม หรือมีก๊าซร้อนช่วยเสริมในกรณีที่รังสีแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอ แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานความร้อนถ่ายเทให้กับของไหลทำงาน ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์จะใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้นขึ้นอยู่กับหลายๆ ปัจจัยเช่น ความเข้มของแสงอาทิตย์, พื้นที่รับพลังงานแสงอาทิตย์ และอัตราการไหลของน้ำ เป็นต้น หากปัจจัยเหล่านี้เกิดความแปรปรวนจะส่งผลโดยตรงต่อค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นดัชนีที่ใช้บอกความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน

ดังนั้นในระบบการผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ควรคำนึงถึงค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ โครงงานนี้จึงได้ทำการประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ด้วยสมการถดถอยเชิงพหุ เพื่อนำผลที่ได้ไปช่วยในการออกแบบและพัฒนาระบบการผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์
2. เพื่อออกแบบชุดทดลองที่เหมาะสมกับการศึกษาประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์
3. สร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์

## 1.3. ขอบเขตการศึกษา

1. ใช้แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ในหลอดสุญญากาศ ขนาด 3.67 ตารางเมตร ของบริษัท ราโวเทค จำกัด
2. ใช้สมการถดถอยเชิงพหุในการประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์

## 1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้สมการทางคณิตศาสตร์ที่สามารถประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ได้ใกล้เคียงกับสภาพการใช้งานจริง
2. สามารถนำผลที่ได้ไปช่วยในการออกแบบระบบการผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานที่สภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ ให้มีประสิทธิภาพรวมของระบบสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**1.5. แผนการดำเนินงาน**

| ขั้นตอนการดำเนินงาน | แผนการดำเนินงานภาคเรียนที่ 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | แผนการดำเนินงานภาคเรียนที่ 2 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | มิถุนายน | | | | กรกฎาคม | | | | สิงหาคม | | | | กันยายน | | | | ตุลาคม | | | | พฤศจิกายน | | | | ธันวาคม | | | | มกราคม | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| **1. ศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องของ**<br>- ระบบทำน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์<br>- สมการถดถอยเชิงพหุ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **2. ออกแบบชุดทดลองในการประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์**<br>2.1. ออกแบบชุดทดลอง<br>- ศึกษาการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อน<br>- ออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนแบบขั้นพื้นฐานที่สามารถประยุกต์ใช้กับการทดลองได้โดยใช้ระบบแบบแอ็คทีฟ<br>- เลือกวัสดุและอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับชุดทดลองที่ทำการออกแบบ<br>- ระบุตำแหน่งและเลือกอุปกรณ์ในการเก็บและบันทึกข้อมูลของปัจจัยต่างๆ<br>2.2. เลือกและคำนวณขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้ในชุดทดลอง | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

**1.5. แผนการดำเนินงาน (ต่อ)**

| ขั้นตอนการดำเนินงาน | แผนการดำเนินงานภาคเรียนที่ 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | แผนการดำเนินงานภาคเรียนที่ 2 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | มิถุนายน | | | | กรกฎาคม | | | | สิงหาคม | | | | กันยายน | | | | ตุลาคม | | | | พฤศจิกายน | | | | ธันวาคม | | | | มกราคม | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| **3. ติดตั้งชุดทดลอง** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **4. ทดสอบการทำงานของชุดทดลอง**<br>- ทำความสะอาดแผงรับแสงอาทิตย์<br>- เติมน้ำในถังให้ได้ตามที่กำหนด และทำการตั้งค่าอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้วัด<br>-ในวันต่อไปก็จะทำการถ่ายน้ำออกแล้วเติมน้ำเข้าไปใหม่ แล้วทำการทดลองซ้ำ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **5. ทำการทดลองและเก็บข้อมูล**<br>5.1. การเก็บและบันทึกข้อมูล ซึ่งทำการเก็บและบันทึกข้อมูลด้วย<br>- Data Logger<br>-การสังเกต โดยการอ่านค่าจากมาตรวัดแรงดัน<br>5.2. ทำการแบ่งชุดข้อมูลที่ได้จากการเก็บและบันทึกผล เพื่อใช้สร้างและทดสอบสมการ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

**1.5. แผนการดำเนินงาน (ต่อ)**

| ขั้นตอนการดำเนินงาน | แผนการดำเนินงานภาคเรียนที่ 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | แผนการดำเนินงานภาคเรียนที่ 2 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | มิถุนายน | | | | กรกฎาคม | | | | สิงหาคม | | | | กันยายน | | | | ตุลาคม | | | | พฤศจิกายน | | | | ธันวาคม | | | | มกราคม | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| **6. สร้างสมการคณิตศาสตร์**<br>- พิจารณาหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม<br>- พิจารณาหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระแต่ละตัว<br>- วิเคราะห์เพื่อหารูปแบบสมการที่เหมาะสม<br>- นำความสัมพันธ์ที่ได้มารวมเพื่อสร้างเป็นสมการความถดถอยเชิงพหุ<br>- ตรวจสอบเงื่อนไขเบื้องต้นของสมการถดถอยเชิงพหุ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **7. ทำการทดสอบสมการ**<br>แทนค่าชุดข้อมูลแต่ละชุดเพื่อ<br>-หาค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์<br>-ตรวจสอบความถูกต้องและประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของสมการ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **8. สรุปและจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

# บทที่ 2
# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

โครงงานการประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ด้วยสมการถดถอยเชิงพหุ มีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องแบ่งออกเป็น 7 ส่วนหลักคือ 1) พลังงานแสงอาทิตย์ 2) ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ 3) กลศาสตร์ของของไหล 4) วัสดุอุปกรณ์ของชุดทดลอง 5) การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ (Multiple Regression Analysis) 6) การวิเคราะห์ความถดถอยไม่เชิงเส้น (Nonlinear Regression Analysis) และ 7) วรรณกรรม บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้

## 2.1. พลังงานแสงอาทิตย์ (มานะศิลป์ พิมพ์สาร, 2534, [13])

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานปฐมภูมิ (Primary Energy Source) และเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญที่สุดของสิ่งมีชีวิต พลังงานที่เกิดขึ้นบนดวงอาทิตย์เป็นผลจากปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์และทำให้มวลของดวงอาทิตย์ลดลงในอัตราประมาณ $4 \times 10^9$ กิโลกรัม/วินาที พร้อมกับปล่อยพลังงานในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ต่างๆ ในอัตรา $3.85 \times 10^{23}$ กิโลวัตต์ จากปริมาณกำลังงานที่ปล่อยออกมามีกำลังตกกระทบโลกในอัตรา $1.79 \times 10^4$ กิโลวัตต์

ปริมาณพลังงานแสงแดดเมื่อผ่านมาสู่โลกแล้วจะเปลี่ยนแปลงไปดังนี้คือ

30 เปอร์เซ็นต์ = ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่สะท้อนกลับสู่อวกาศ

47 เปอร์เซ็นต์ = ถูกเปลี่ยนไปเป็นความร้อนที่อุณหภูมิต่ำและแผ่รังสีกลับไปสู่อากาศอีกครั้ง

23 เปอร์เซ็นต์ = ทำให้เกิดวัฏจักรในการหมุนเวียนของไอน้ำและ

น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ = จะอยู่ในรูปพลังงานกลของกระแสลม, คลื่นและการสังเคราะห์ของพืช

แม้ว่าปริมาณของแสงอาทิตย์จะมีอยู่อย่างล้นเหลือ แต่จำนวนของพลังงานที่สาดส่องไปบนบรรยากาศของโลกค่อนข้างจะเจือจางคือ ที่ขอบของชั้นบรรยากาศจะมีความร้อน 1.353 กิโลวัตต์/ตารางเมตร บนผิวโลกจะมีความร้อนประมาณ 0.9463 กิโลวัตต์/ตารางเมตร และบรรยากาศของเมฆทำให้พลังงานของแสงอาทิตย์ออกมาในรูปขาดช่วง ทำให้การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้กับระบบที่ทำงานต่อเนื่องประสบปัญหาพอควร

โดยปกติแล้วแสงอาทิตย์ที่เดินทางมาถึงผิวโลกจะแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แสงอาทิตย์แบบตรง (Direct Radiation) และแสงอาทิตย์แบบกระจาย (Diffuse Radiation) ดังนั้น ณ ตำแหน่งใดๆ บนผิวโลกพลังงานแสงอาทิตย์รวม (Global Radiation) ที่ได้รับจะเป็นผลรวมของพลังงานแสงอาทิตย์จากแสงอาทิตย์แบบตรงและแสงอาทิตย์แบบกระจาย

พลังงานแสงอาทิตย์แบบรวม คือ พลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดซึ่งประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์แบบตรงและพลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจาย ที่ได้รับบนระนาบระดับ (Horizontal Surface) ต่อหน่วยเวลาต่อหน่อยพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

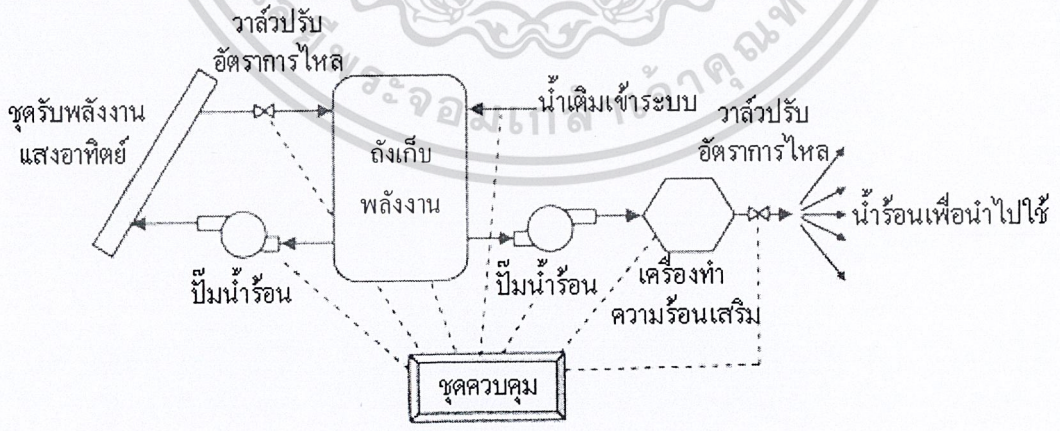
พลังงานแสงอาทิตย์แบบตรง คือ พลังงานที่ได้รับโดยตรงจากดวงอาทิตย์โดยทิศทางของพลังงานจากดวงอาทิตย์มีทิศทางที่แน่นอน แสงอาทิตย์แบบตรงนี้เมื่อมีการบังแสงจะเกิดเงาขึ้นและจะเกิดการสะท้อนที่ผิวของวัตถุที่บังได้ด้วย

พลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจาย คือ พลังงานแสงอาทิตย์แบบตรงที่ถูกเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติไปเนื่องจากสภาพบรรยากาศและภูมิศาสตร์ เช่น มีเมฆหรือหมอกบนท้องฟ้า ทำให้แสงเกิดการสะท้อนหรือกระจายออกทุกทิศทาง พลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจายนี้แม้เราอยู่ในพื้นที่ร่มก็ยังรู้สึกถึงความร้อนและความสว่างของมันได้

## 2.2. ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (สกนธ์ คล่องบุญจิต, 2552, [16])

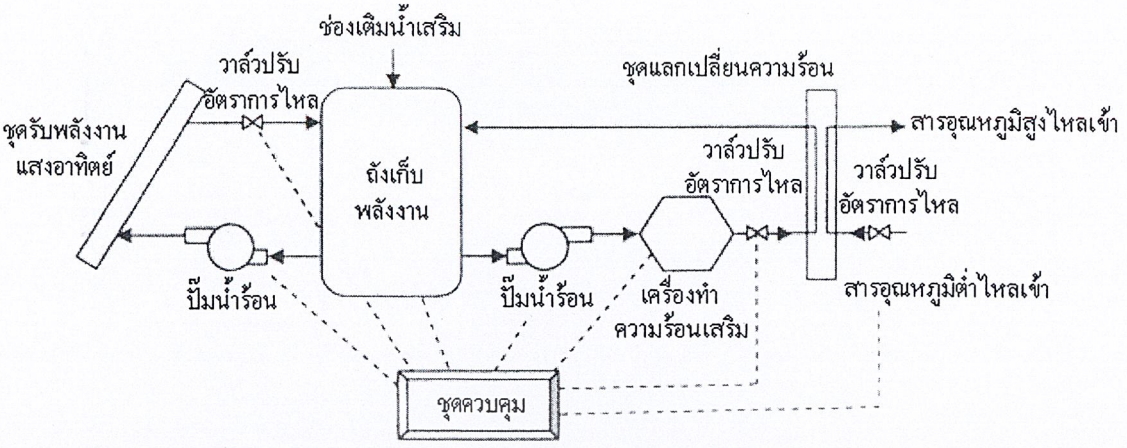
พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์สามารถนำมาใช้ในการผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ประโยชน์ในงานต่างๆ ทั้งในระดับครัวเรือน เช่น ใช้ในการทำความสะอาดเครื่องมือเครื่องใช้ในบ้าน ใช้ในการอุปโภคบริโภค ใช้ในการทำความสะอาดร่างกาย เป็นต้น หรือในระดับธุรกิจขนาดใหญ่หรืออุตสาหกรรม เช่น ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร ใช้ในอุตสาหกรรมการขึ้นรูปโลหะ ใช้ในธุรกิจโรงแรม เป็นต้น นอกจากนี้น้ำร้อนที่ผลิตได้จากพลังงานแสงอาทิตย์นี้ยังสามารถนำไปใช้กับระบบทำความเย็นแบบดูดซึม (Absorption Cooling System) รวมทั้งนำไปใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ด้วย

ระบบการผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์นั้น ปกติแล้วน้ำร้อนที่ได้จะถูกใช้งานใน 2 ลักษณะ คือ 1) น้ำร้อนถูกนำไปใช้โดยตรง ในลักษณะงานเช่นนี้น้ำร้อนจะถูกปล่อยออกไปจากระบบทำให้ต้องมีการเติมน้ำเข้าสู่ระบบและผลิตน้ำร้อนใหม่ขึ้นมาเพื่อใช้งาน นั่นคือระบบจะสูญเสียทั้งน้ำและพลังงานความร้อน เช่น ใช้น้ำร้อนเพื่ออาบน้ำ หรือใช้น้ำร้อนเพื่อลวกไก่ในอุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น และ 2) น้ำร้อนถูกนำไปใช้งานเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนให้แก่สารอื่นๆ เช่น น้ำ อากาศ สารเคมี ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ในลักษณะงานเช่นนี้จะไม่มีการสูญเสียปริมาณน้ำในระบบแต่จะสูญเสียเพียงความร้อนเท่านั้น โครงสร้างโดยทั่วไปของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 2 แบบ เป็นดังรูปที่ 2.1. และ 2.2. ดังนี้




**รูปที่ 2.1. ระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้งานน้ำร้อนโดยตรง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.2. ระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแลกเปลี่ยนความร้อน**

รูปที่ 2.1. เป็นระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้งานน้ำร้อนโดยตรง ส่วนประกอบหลักๆ ของระบบประกอบด้วย

1. ชุดรับพลังงานแสงอาทิตย์ ทำหน้าที่รับพลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาแล้วทำการส่งถ่ายพลังงานให้แก่น้ำในระบบที่ไหลผ่านชุดรับพลังงานแสงอาทิตย์นี้ ผลที่ได้ก็คือน้ำในระบบจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาที่น้ำไหลผ่านชุดรับพลังงานแสงอาทิตย์และแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนชุดรับพลังงานแสงอาทิตย์มีความเข้มเพียงพอ
2. ปั๊มน้ำร้อนทางด้านชุดรับพลังงานแสงอาทิตย์ ปั๊มน้ำร้อนตัวนี้จะทำหน้าที่ขับให้น้ำในระบบไหลออกจากถังเก็บพลังงานเข้าไปสู่ชุดรับพลังงานแสงอาทิตย์ เมื่อน้ำรับพลังงานเสร็จแล้วก็จะไหลกลับเข้าสู่ถังเก็บพลังงาน ต่อจากนั้นพลังงานที่ได้จะถูกถ่ายเทให้แก่น้ำที่อยู่ในถังเก็บพลังงานเป็นการจบหนึ่งรอบการนำน้ำไปรับพลังงานมาจากชุดรับพลังงานแสงอาทิตย์ แล้วการทำงานรอบใหม่ก็จะเริ่มต่อเนื่องกันไปเรื่อย ๆ
ระบบที่มีการใช้ปั๊มน้ำร้อนทางด้านชุดรับพลังงานแสงอาทิตย์นี้บางครั้งจะถูกเรียกว่าเป็นระบบที่มีการบังคับให้น้ำไหลไปในทิศทางที่ต้องการ ในระบบไม่ต้องมีการติดตั้งปั๊มตัวนี้ก็ได้ โดยการทำงานจะให้น้ำไหลวนจากถังเก็บพลังงานมาสู่ชุดรับพลังงานแสงอาทิตย์และไหลกลับไปสู่ถังเก็บพลังงานเองโดยธรรมชาติ โดยยึดหลักที่ว่าเมื่อน้ำรับพลังงานความร้อนแล้วจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นและจะลอยตัวขึ้นไปด้านทางออกของชุดรับพลังงานแสงอาทิตย์แล้วจะไหลกลับเข้าสู่ถังรับพลังงานเอง ทำให้เกิดการนำให้น้ำในถังไหลวนเวียนอย่างต่อเนื่องเอง อย่างไรก็ดีการให้น้ำไหลวนเองโดยธรรมชาตินี้จะมีอัตราการไหลไม่มากนัก และยังต้องการการติดตั้งระบบให้ถูกตำแหน่งเหมาะสมต่อการเกิดการไหลเวียนเองโดยธรรมชาติด้วย ดังนั้นในระบบส่วนใหญ่ที่ต้องการให้เกิดการถ่ายเทพลังงานได้มากและเร็ว รวมทั้งสามารถควบคุมการทำงานได้จึงต้องมีการติดตั้งปั๊มน้ำร้อนทางด้านชุดรับพลังงานแสงอาทิตย์นี้ไว้
3. ถังเก็บพลังงาน ทำหน้าที่เก็บรักษาพลังงานความร้อนที่ได้รับจากพลังงานแสงอาทิตย์ไว้และยังเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งพลังงานความร้อนที่เก็บไว้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ด้วย ถังเก็บพลังงานโดยทั่วไปเป็นถังที่สามารถบรรจุน้ำไว้ได้มากพอต่อการใช้งานในระบบ สร้างจากวัสดุโลหะหรืออโลหะก็ได้แต่ต้องหุ้มด้วยฉนวนความร้อนเป็นอย่างดี ด้วยเทคโนโลยีและความรู้ทางด้านวัสดุศาสตร์ในปัจจุบันสามารถสร้างถังขนาดใหญ่ที่มีน้ำหนักเบาและมีความเป็นฉนวนความร้อนในตัวด้วย ตามทฤษฎีฉนวนความร้อนจะมีประสิทธิภาพ 100 % เพื่อไม่ให้เกิดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูญเสียพลังงานความร้อนที่ได้มาเก็บไว้ให้กับสิ่งแวดล้อม แต่ในทางปฏิบัติไม่มีฉนวนความร้อนใดที่มีประสิทธิภาพ 100% จึงมีการสูญเสียพลังงานให้แก่สิ่งแวดล้อมแต่ไม่ควรมากเกินไป

4. ปั๊มน้ำร้อนทางด้านออกของถังเก็บพลังงาน จะทำหน้าที่ในการจ่ายน้ำร้อนที่อยู่ในถังเก็บพลังงานเข้าไปสู่เครื่องทำความร้อนเสริม แล้วจึงส่งน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิเหมาะสมออกไปใช้งานภายนอก
5. เครื่องทำความร้อนเสริม เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จ่ายพลังงานความร้อนเพิ่มให้แก่น้ำในระบบ เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการเหมาะสมแก่การใช้งานในช่วงบางวันหรือบางฤดูกาลที่ไม่มีแสงอาทิตย์หรือมีแสงอาทิตย์แต่มีความเข้มแสงไม่เพียงพอ ทำให้ถ่ายเทพลังงานความร้อนแก่น้ำในระบบได้น้อยกว่าที่ต้องการนำไปใช้งาน เครื่องทำความร้อนเสริมนี้ถ้าเป็นระบบเล็กๆ อาจจะใช้เป็นเครื่องให้ความร้อนด้วยไฟฟ้าก็ได้ ในระบบใหญ่อาจจะต้องใช้เป็นบอยเลอร์ (Boiler) ที่ใช้เชื้อเพลิงต่างๆ เช่น น้ำมันเตา หรือก๊าซหุงต้ม ช่วยในการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่น้ำก็ได้

ส่วนในระบบที่ต้องการไอน้ำในการใช้งานนั้นจะใช้สตีมบอยเลอร์ (Stream Boiler) ที่ใช้เชื้อเพลิงต่างๆ ติดตั้งไว้ในจุดนี้ เพื่อทำหน้าที่ผลิตไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันเหมาะสมกับการใช้งาน ในระบบเช่นนี้สตีมบอยเลอร์จะเป็นเครื่องทำความร้อนหลักให้แก่ระบบส่วนระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะเป็นเพียงระบบเสริมเท่านั้นโดยจะทำหน้าที่อุ่นน้ำให้ได้อุณหภูมิสูงที่สุดเท่าที่ทำได้ แล้วจึงส่งมาเข้าสตีมบอยเลอร์เพื่อนำไปผลิตเป็นไอน้ำอีกที ซึ่งจะเป็นการลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงลงอย่างมาก

6. วาล์วปรับอัตราการไหลทางด้านชุดรับพลังงานแสงอาทิตย์ ทำหน้าที่ปรับอัตราการไหลของน้ำที่จะไหลผ่านชุดรับพลังงานแสงอาทิตย์ให้เหมาะสม เพื่อที่จะให้ชุดรับพลังงานแสงอาทิตย์ส่งถ่ายพลังงานความร้อนให้แก่น้ำได้มากที่สุด ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่ระบบโดยรวมด้วย
7. วาล์วปรับอัตราการไหลทางด้านหลังเครื่องทำความร้อนเสริม ทำหน้าที่ปรับอัตราการไหลของน้ำร้อนที่จะนำออกไปใช้งานให้เหมาะสมไม่มากหรือน้อยจนเกินไป
8. ชุดเติมน้ำเข้าระบบ ทำหน้าที่เติมน้ำให้เข้าสู่ระบบที่ถังเก็บพลังงาน ทำให้น้ำในระบบอยู่ในระดับที่เหมาะสมแก่การใช้งานตลอดเวลา เนื่องจากระบบนี้เป็นระบบที่น้ำร้อนที่ผลิตได้ถูกนำออกไปใช้งานโดยตรงทำให้ระบบจะสูญเสียทั้งน้ำและพลังงานความร้อนออกจากระบบพร้อมๆ กัน
9. ระบบท่อน้ำ ทำหน้าที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ ในระบบให้เชื่อมต่อถึงกัน ต้องทำการหุ้มฉนวนกันความร้อนให้ดีและทั่วถึงเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความร้อนสูญเสียออกจากระบบมากเกินไป รวมทั้งต้องออกแบบระบบท่อน้ำให้ดีเพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียพลังงานในข้อต่อ ข้องอ หรือท่อทางต่างๆ ซึ่งจะมีผลทำให้ความดันของน้ำ อัตราการไหลของน้ำ และพลังงานความร้อนที่น้ำได้รับสูญเสียไปด้วย
10. ชุดควบคุมการทำงาน ทำหน้าที่รับและส่งสัญญาณควบคุมการทำงานให้แก่อุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ เพื่อให้อุปกรณ์ทุกตัวทำงานสอดคล้องกันอย่างเหมาะสมซึ่งจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดี ชุดควบคุมนี้อาจจะเป็นวงจรอิเลคทรอนิกส์กับตัวรับส่งสัญญาณต่างๆ ที่ทำงานได้ด้วยตัวเอง หรืออาจจะต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ด้วยก็ได้ ทำให้ผู้ควบคุมการทำงานของระบบสามารถทราบถึงสถานะของระบบ ณ เวลาต่างๆ ได้ รวมทั้งทำให้ทราบว่ามีปัญหาใดเกิดขึ้นในระบบหรือไม่เพื่อที่จะทำการแก้ไขได้อย่างรวดเร็วและปลอดภัย

รูปที่ 2.2. เป็นระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแลกเปลี่ยนความร้อน จะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบจะเหมือนกับในระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้งานโดยตรงมาก แต่ระบบนี้จะไม่มีการสูญเสียน้ำออกไปจากระบบ จะมีเพียงการสูญเสียพลังงานความร้อนออกไปจากระบบที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเท่านั้น ทำให้อุปกรณ์หลักที่เพิ่มขึ้นมาคือเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งไว้หลังเครื่องทำความร้อนเสริม มีหน้าที่ถ่ายเทพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากน้ำในระบบให้แก่ความไหลที่ใช้ในการทำงาน เช่น สารเคมีในบ่อชุบโลหะ น้ำยาในบ่อล้างโลหะ สารเคมีในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สารในเครื่องทำความเย็นแบบดูดซึม หรืออากาศร้อนที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต เป็นต้น ส่วนที่ถังเก็บพลังงานเนื่องจากไม่มีการสูญเสียปริมาณน้ำออกจากระบบเลยจึงมีเพียงช่องเติมน้ำเสริมเล็กๆ ให้แก่ระบบเพื่อเติมน้ำให้แก่ระบบในกรณีที่มีการรั่วซึมของน้ำออกจากระบบหรือทำการซ่อมบำรุงเท่านั้นไม่ต้องเติมน้ำเข้าระบบตลอดเวลา

ลองพิจารณาจากโครงสร้างของระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 2 ระบบ ในรูปที่ 2.1. และ 2.2. จะพบว่าในระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์นี้แทบจะเรียกได้ว่าไม่มีส่วนประกอบใดที่มีการเคลื่อนที่เลยขณะทำงานยกเว้นปั๊มน้ำร้อนซึ่งต้องใช้มอเตอร์ในการขับเคลื่อน ทำให้โอกาสที่อุปกรณ์ต่างๆ จะเสียหายเนื่องจากการใช้งานต่ำมาก ส่วนใหญ่ในการบำรุงรักษานั้นจะเน้นที่ซีลและที่ข้อต่อ ข้องอต่างๆ ในระบบท่อน้ำเนื่องจากน้ำที่อยู่ในระบบมีอุณหภูมิสูงซึ่งอาจทำให้ซีลเกิดการเสื่อมสภาพเร็วหรือข้อต่อ ข้องอ เกิดการรั่วซึมง่าย ส่วนคุณภาพของน้ำที่ไหลอยู่ภายในระบบต้องถูกตรวจสอบให้มีคุณภาพที่เหมาะสมอยู่เสมอเพื่อไม่ให้ภายในถังเก็บพลังงานเกิดการผุกร่อนเร็วเกินไป รวมทั้งไม่ทำให้เกิดการอุดตันเนื่องจากตะกรันหรือสิ่งสกปรกในระบบท่อน้ำด้วย ส่วนที่ชุดรับพลังงานแสงอาทิตย์นั้นให้หมั่นทำความสะอาดอยู่เสมอเพื่อให้พื้นผิวรับแสงอาทิตย์ปราศจากฝุ่นละอองหรือสิ่งสกปรกปกคลุมอยู่ทำให้รับพลังงานแสงอาทิตย์ได้ไม่ดีพอ เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบต่ำลง

## 2.3. กลศาสตร์ของของไหล (วิบูลย์ บุญยธโรกุล, 2539, [15])

### 2.3.1. คุณสมบัติของของไหล

คุณสมบัติเบื้องต้นของของไหลที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับปั๊มมีอยู่หลายอย่างด้วยกัน คือ

1. ความหนาแน่น (Density, $\rho$) คืออัตราส่วนของมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร เช่น ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 4°C เป็นต้น
2. น้ำหนักจำเพาะ (Specific weight, $\gamma$) คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรค่าน้ำหนักจำเพาะขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดของโลกและความหนาแน่น โดยสมการ

$$\gamma = \rho g \qquad (2.1.)$$

ในเมื่อ g เป็นความเร่งที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลก

น้ำหนักจำเพาะของน้ำมีค่าเท่ากับ 9810 นิวตันต่อลบ.เมตร ($N/m^3$)

3. ความถ่วงจำเพาะ หรือ ถ.พ. (Specific gravity) ก็คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักจำเพาะ (หรือความหนาแน่น) ของวัตถุต่อน้ำหนักจำเพาะ (หรือความหนาแน่น) ของน้ำที่อุณหภูมิมาตรฐาน โดยปกติใช้ 4°C หรือ 39.2°F ซึ่งความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1.0
4. ความข้นเหนียว (Viscosity) เป็นคุณสมบัติของไหลที่เนื่องมาจากการเกาะกันระหว่างโมเลกุลชนิดเดียวกัน (Cohesive) แล้วก่อให้เกิดความต้านทานต่อการไหลขึ้น คุณสมบัติข้อนี้จะมีผลหรือเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีการไหลเท่านั้น ความข้นเหนียวของของไหลจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความข้นเหนียวที่ใช้มี 2 แบบ คือ Dynamic viscosity ($\mu$) มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อเมตร-วินาที (kg/m-s) และ Kinematic viscosity (v) ซึ่งเท่ากับ Dynamic viscosity หารด้วยความหนาแน่น ($v = \frac{\mu}{\rho}$) และมีหน่วยเป็นตารางเมตรต่อวินาที ($m^2/s$)

5. ความดันไอ (Vapor Pressure) ความดันไอของของเหลวก็คือความดันที่เกิดจากโมเลกุลในรูปไออิ่มตัว (Saturated Vapor) เหนือจากผิวหน้าของของเหลวที่อุณหภูมิที่กำหนดให้ เมื่อความดันไอของของเหลวเท่ากับความกดดันของบรรยากาศหรือความกดดันที่อยู่รอบๆ ของเหลวนั้นก็จะเดือด เช่น ความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 100 °C และที่ระดับน้ำทะเลจะเท่ากับความกดดันของบรรยากาศเป็นต้น อาจกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า ความดันไอที่อุณหภูมิหนึ่งก็คือความดันสัมบูรณ์ (Absolute Pressure) ซึ่งจะทำให้ของเหลวเดือดที่อุณหภูมินั้น ความดันไอจะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

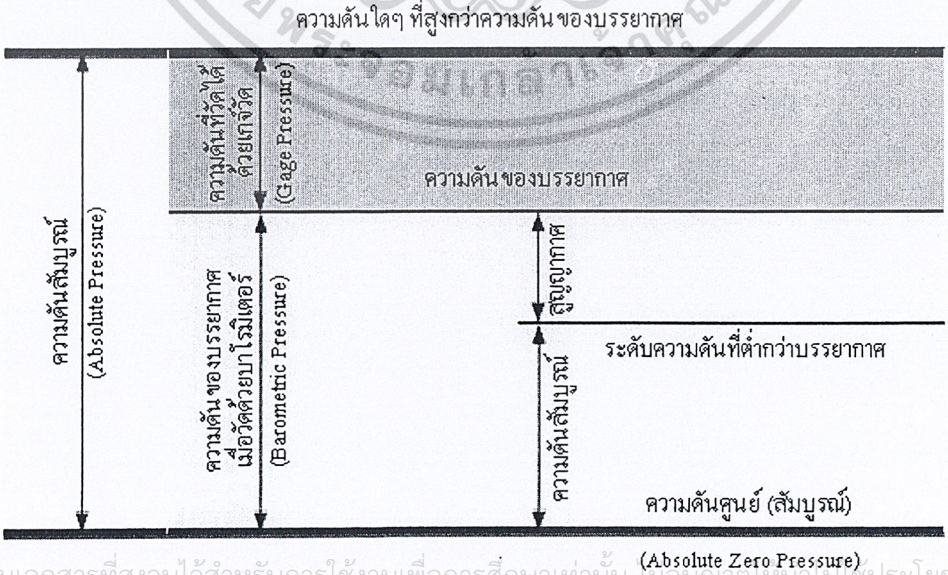
คุณสมบัติของของเหลวข้อนี้มีความสำคัญอย่างมากต่อการทำงานของปั๊มทางด้านดูด (Suction Side) โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าของเหลวที่ต้องการสูบมีอุณหภูมิสูงหรือเป็นของเหลวที่ระเหยได้ง่าย ทั้งนี้เพราะว่าถ้าความดันของของเหลวในปั๊มส่วนนี้ลดลงจนถึงความดันไอแล้วจะทำให้ของเหลวเดือดกลายเป็นไอ และจะเป็นผลให้อัตราการสูบของปั๊มลดลงหรือไม่มีของเหลวไหลมาเข้าปั๊มเลย ดังนั้นจึงต้องกำหนดให้ความดันภายในเรือนปั๊ม (Casing) สูงกว่าความดันไอของของเหลวอยู่ตลอดเวลา

คุณสมบัติของน้ำที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณปั๊มแสดงไว้ในตารางที่ ผก 1. และ ผก 2.

### 2.3.2. ความดันและเฮด

2.3.2.1. <u>ความดันของบรรยากาศ (Atmospheric Pressure)</u>

คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของบรรยากาศต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่บนผิวโลก แต่เนื่องจากว่าลักษณะการวัดความดันมี 2 แบบ ดังนั้น เพื่อมิให้สับสนในการบอกค่าเหล่านี้ขอให้พิจารณาดูจากรูปที่ 2.3.




**รูปที่ 2.3. ความดันของบรรยากาศ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามรูป ความดันของบรรยากาศที่มีค่าศูนย์อย่างแท้จริงหรือไม่มีความดันเลยซึ่งเกิดขึ้นได้โดยการดูดอากาศออกหมดจนเป็นสูญญากาศที่แท้จริงเรียกว่า ความดันศูนย์สัมบูรณ์ (Absolute Zero Pressure) ค่าความดันใดๆ ที่วัดจากความดันพื้นฐานนี้เรียกว่า ความดันสัมบูรณ์ (Absolute Pressure, $P_{abs}$) รวมทั้งความกดดันของบรรยากาศซึ่งมีค่าประมาณเท่ากับ 101.325 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ($kN/m^2$) หรือ 14.7 ปอนด์ต่อตารางนิ้วก็เป็นความดันสัมบูรณ์ด้วย แต่เนื่องจากว่าอุปกรณ์ที่ใช้วัดเรียกว่า บาโรมิเตอร์ (Barometer) ค่าความกดดันของบรรยากาศที่วัดได้จึงเรียกว่า ความดันจากบาโรมิเตอร์ (Barometric Pressure, $P_b$)

อุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันโดยทั่วๆ ไปเป็นเครื่องมือสำหรับวัดค่าที่แตกต่างไปจากความกดดันของบรรยากาศ ค่าที่วัดได้เรียกว่า ความดันจากเกจ (Gauge Pressure, $P_g$) ซึ่งอาจมีค่าได้ทั้งบวกและลบ จากรูปจะเห็นได้ว่าเราอาจเปลี่ยนความดันจากเกจให้เป็นความดันสัมบูรณ์ได้โดย

ความดันสัมบูรณ์ = ความดันจากบาโรมิเตอร์ + ความดันจากเกจ

$$P_{abs} = P_b + P_g \tag{2.2.}$$

ค่าความกดดันของบรรยากาศ หรือความกดดันจากบาโรมิเตอร์อาจคำนวณได้จากสมการ

$$P_b = 1013 - 0.1055\ EL \tag{2.3.}$$

ในเมื่อ $P_b$ เป็นความกดดันของบรรยากาศมีหน่วยเป็นมิลลิบาร์ หนึ่งมิลลิบาร์เท่ากับ 0.0145 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หรือคิดเป็นความสูงของแท่งน้ำที่ 4 °C ได้เท่ากับ 0.010197 เมตร และ EL เป็นระดับความสูงของพื้นผิวที่ต้องการทราบความกดดันเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง มีหน่วยเป็นเมตร

ในการคำนวณเกี่ยวกับการติดตั้งปั๊ม ค่าความกดดันของบรรยากาศที่ใช้มีหน่วยเป็นความสูงของแท่งน้ำหรือเฮดเป็นเมตร ค่าดังกล่าวจะคำนวณได้จากสมการ

$$H_p = 10.33 - 0.00108\ EL \tag{2.4.}$$

โดย $H_p$ เป็นความกดดันของบรรยากาศเทียบให้เป็นความสูงของแท่งน้ำที่ 4 °C มีหน่วยเป็นเมตร

2.3.2.2. <u>เฮดความดัน (Pressure Head, H)</u>

ค่าความดันนอกจากจะบอกเป็นแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ เช่น นิวตันต่อตารางเมตร ($N/m^2$) หรือปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) แล้ว ถ้าเป็นความดันของของเหลวก็มักจะนิยมบอกเป็นแท่งความสูงของของเหลวที่จะก่อให้เกิดความดันที่กำหนดบนผิวหน้าซึ่งรองรับแท่งของเหลวนั้น ความดันซึ่งบอกเป็นแท่งความสูงของของเหลวนี้เรียกว่า เฮดความดัน (Pressure Head)

ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน P และเฮดความดัน H คือ

$$H = \frac{P}{\gamma} = \frac{P}{\rho g} \tag{2.5.}$$

ในเมื่อ $\gamma$ คือน้ำหนักจำเพาะและ $\rho$ คือ ความหนาแน่นของของเหลว g คือความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.3. เฮดความเร็ว (Velocity Head, $H_v$) ของเหลวที่ไหลในท่อหรือทางน้ำเปิดด้วยความเร็วใดๆ นั้นมีพลังงานจลน์อยู่ พลังงานส่วนนี้เมื่อบอกในรูปของเฮด คือ

$$H_v = \frac{V^2}{2g} \qquad (2.6.)$$

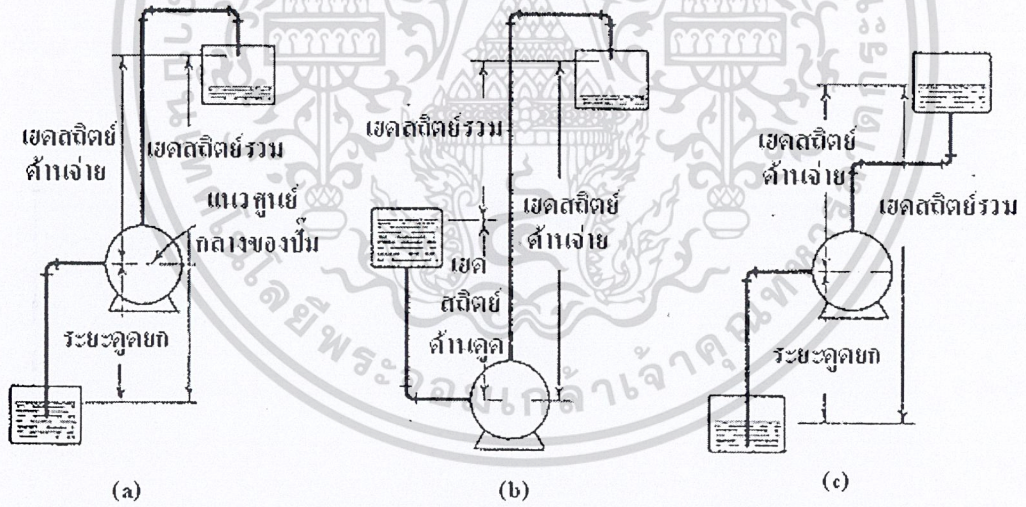
ในเมื่อ V เป็นความเร็วของการไหล และ g เป็นความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

เฮดความเร็วอาจให้คำจำกัดความได้อีกอย่างหนึ่งว่า เป็นความสูงที่ของเหลวตกลงมาด้วยแรงดึงดูดของโลกจนได้ความเร็วเท่ากับความเร็วในการไหลของของเหลวนั้น

2.3.2.4. เฮดสถิตย์ (Static Head)

ในการทำงานของปั๊มโดยทั่วๆ ไปของเหลวจะถูกเพิ่มพลังงานเพื่อให้มันไหลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งซึ่งอยู่สูงกว่า ดังรูปที่ 2.4. ความดันซึ่งคิดเป็นแท่งความสูงของของเหลวที่กระทำต่อศูนย์กลางของปั๊มทั้งทางด้านดูดและด้านจ่ายในขณะที่ความเร็วของการไหลผ่านระบบเป็นศูนย์ เรียกว่า เฮดสถิตย์ (Static Head)

ตามรูป ระยะทางในแนวดิ่งที่บอกเป็นแท่งความสูงของของเหลว หรือเฮด จากศูนย์กลางของปั๊มถึงปลายของท่อจ่ายเรียกว่า เฮดสถิตย์ด้านจ่าย (Static Discharge Head)




**รูปที่ 2.4. คำจำกัดความของเฮดสถิตย์ (Static Head)**

ระยะจากจุดศูนย์กลางของปั๊มถึงระดับผิวของของเหลวที่ปลายของท่อดูดซึ่งอยู่สูงกว่า (รูป b) เรียกว่า เฮดสถิตย์ด้านดูด (Static Suction Head) ถ้าผิวของของเหลวอยู่ต่ำกว่า (รูป a และ c) ความดันที่ศูนย์กลางของปั๊มจะมีค่าเป็นลบ ในกรณีนี้จะเรียกว่า ระยะดูดยก (Static Suction Lift) แทน

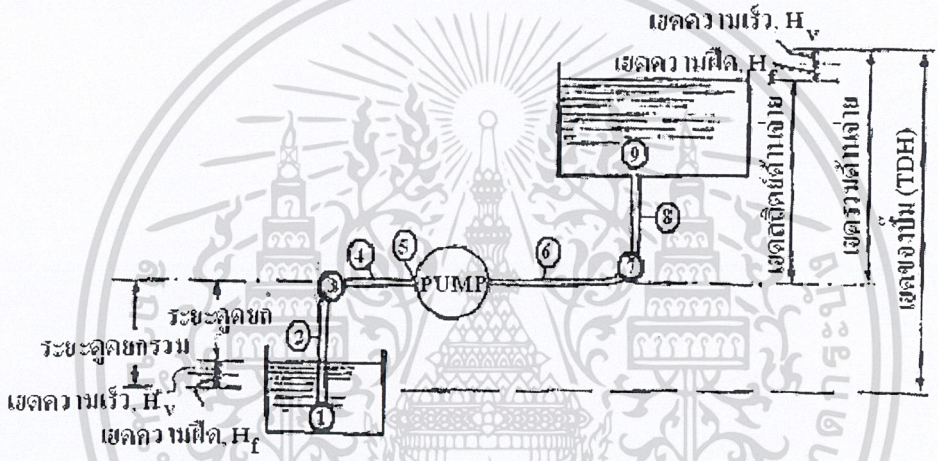
เฮดสถิตย์รวม (Total Static Head) ก็คือผลต่างทางพีชคณิตของเฮดสถิตย์ด้านจ่าย (Static Discharge Head) กับเฮดสถิตย์ด้านดูด (Static Suction Head) ค่าดังกล่าวนี้ เป็นเฮดต่ำสุดที่ปั๊มจะต้องเพิ่มให้แก่ของเหลวก่อนที่จะมีการไหลเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.5. <u>เฮดความฝืด (Friction Head, $H_f$)</u>

ในขณะที่ของเหลวไหลผ่านระบบท่อทั้งทางด้านดูดและด้านจ่ายพลังงานหรือเฮดในการไหลส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปเนื่องจากความฝืดระหว่างของเหลวกับผนังของท่อและส่วนประกอบต่างๆ ซึ่งรวมเรียกว่าเฮดความฝืด (Friction Head)

ในระบบสูบน้ำทั่วๆ ไป การเสียเฮดเนื่องมาจากความฝืดอาจเกิดขึ้นได้หลายจุด ดังรูปที่ 2.5. การเสียเฮดทั้งหมดนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลผ่านระบบท่อซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น ดังนั้นในขณะที่ปั๊มกำลังทำงาน ระยะดูดยกรวมที่เกิดขึ้นจริงจะเท่ากับระยะดูดยก (Static Suction Lift) รวมกับเฮดความฝืดทางด้านดูดทั้งหมด ตั้งแต่จุดที่ 1 ถึง 5 ในกรณีที่ของเหลวทางด้านดูดอยู่สูงกว่าศูนย์กลางของปั๊ม เฮดด้านดูดรวม (Total Suction Head) ที่เกิดขึ้นจริงจะเท่ากับเฮดสถิตย์ด้านดูด (Static Suction Head) ลบด้วยเฮดความฝืดทั้งหมดทางด้านดูด




**จุดที่ 1** เป็นการเสียเฮดความเร็วเนื่องจากการไหลเข้าท่อ (Entrance Loss) ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปทรงและอุปกรณ์ที่ปลายท่อดูด

**จุดที่ 2** เป็นการเสียเฮดเนื่องจากความฝืดระหว่างของเหลวกับผนังของท่อ

**จุดที่ 3** เป็นการเสียเฮดเนื่องจากมีการเปลี่ยนทิศทางการไหล

**จุดที่ 4** เป็นการเสียเฮดในเส้นท่อเหมือนจุดที่ 2

**จุดที่ 5** เป็นการเสียเฮดที่อุปกรณ์ทางด้านดูดของปั๊ม

**รูปที่ 2.5. ตำแหน่งที่เกิดการสูญเสียพลังงานหรือเฮดในระบบท่อและอุปกรณ์**

สำหรับทางด้านจ่ายก็เช่นเดียวกัน คืออาจจะรวมการเสียเฮดที่จุดที่ 6 ถึง 9 เข้าด้วยกันเป็นเฮดของความฝืดและเฮดรวมด้านจ่าย (Total Discharge Head) ที่เกิดขึ้นจริงในขณะที่ปั๊มทำงาน จะเท่ากับเฮดสถิตย์ด้านจ่ายรวมกับเฮดความฝืดทั้งหมดทางด้านจ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.6. เฮดรวมของปั๊ม (Total Dynamic Head) หรือ Total Discharge Head (TDH)

ก็คือ พลังงานทั้งหมดที่บอกในรูปของเฮดที่ปั๊มจะต้องเพิ่มให้แก่ของเหลวเพื่อให้ของเหลวนั้นไหลผ่านระบบท่อด้วยอัตราที่กำหนด หรือ

เฮดรวมของปั๊ม (TDH) = เฮดสถิตย์รวม (Total Static Head) + เฮดความฝืดรวม (Friction Head) (2.7.)

จะเห็นได้ว่า ในส่วนของเฮดสถิตนั้นมีค่าคงที่ โดยขึ้นอยู่กับลักษณะการติดตั้งของระบบ แต่เฮดความฝืดจะผันแปรไปตามอัตราการไหลผ่าน

## 2.3.3. การไหลในท่อปิด

2.3.3.1 นิยามของการไหล

ในงานที่มีการใช้ปั๊มขนส่งของเหลวจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ท่อเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันมากที่สุดจนอาจจะกล่าวได้ว่า ท่อเป็นส่วนหนึ่งของปั๊ม การไหลของของเหลวในท่อเมื่อใช้ร่วมกับปั๊มนี้ส่วนมากจะเป็นการไหลเต็มท่อซึ่งมีกฎเกณฑ์ในการคำนวณแตกต่างกันไปจากการไหลในทางน้ำเปิด ลักษณะการไหลในท่ออาจจำแนกออกได้โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วของการไหลเมื่อเทียบกับเวลา สถานที่ และแรงเฉื่อย (Force of Inertia) ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของของเหลวเมื่อเทียบกับแรงหนืด (Force of Viscosity)

เมื่อความเร็วของการไหลที่จุดใดจุดหนึ่งไม่เปลี่ยนไปตามเวลา การไหลนั้นเรียกว่า Steady Flow ถ้าเปลี่ยนไปตามเวลาก็เรียกว่า Unsteady Flow

ถ้าความเร็วของการไหลในขณะใดขณะหนึ่งไม่เปลี่ยนทั้งขนาดและทิศทางตลอดระยะทางตามเส้นสายน้ำ (Streamline) การไหลนั้นเรียกว่าเป็น Uniform Flow ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงก็เป็น Nonuniform Flow

สำหรับการเปรียบเทียบแรงเฉื่อยกับแรงหนืดนั้นก็เพื่อจะดูว่ามวลของของเหลวที่ไหลอยู่ในท่อนั้นมีการไหลวนและกระแทกกระทั้นกันมากน้อยอย่างไร ถ้าหากแรงหนืดมีค่าสูงเมื่อเทียบกับแรงเฉื่อย การไหลของของเหลวก็จะมีลักษณะคล้ายเป็นแผ่นขนานกันไป การไหลในลักษณะดังกล่าวก็เรียกว่าเป็น “Lamina Flow” แต่ถ้าหากแรงหนืดมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับแรงเฉื่อย การไหลก็จะปั่นป่วน มวลของของเหลวจะมีการไหลวน การไหลในลักษณะนี้เรียกว่า Turbulent Flow

การที่จะบอกว่าการไหลในท่อใดๆ เป็น Lamina หรือ Turbulent ก็ให้พิจารณาจาก Reynolds Number, $R_e$ คือ

$$R_e = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{VD}{v} \qquad (2.8.)$$

ในเมื่อ $\rho$ = ความหนาแน่นของของเหลว

V = ความเร็วของการไหล

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ

$\mu$ = Dynamic Viscosity ของของเหลว

v = Kinematic Viscosity ของของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางปฏิบัติเราถือว่า ถ้า $R_e$ มีค่าไม่เกิน 2,000 การไหลเป็นแบบ Lamina ถ้ามากกว่านี้เป็น Turbulent

การบอกลักษณะการไหลของของเหลวในท่อที่สมบูรณ์จะต้องบอกครบทั้งสามมิติ เช่น การไหลเป็นแบบ Steady, Uniform และ Lamina หรือ Unsteady, Uniform และ Turbulent เป็นต้น การหาการสูญเสียพลังงานในการไหลโดยทั่วๆ ไปแล้วเราถือว่าการไหลเป็นแบบ Steady และ Uniform แต่จะเป็น Lamina หรือ Turbulent จะต้องดูจาก $R_e$

2.3.3.2. <u>การเสียเฮดความฝืด</u>

เป็นที่ยอมรับกันแล้วว่าการเสียเฮดหรือพลังงานเนื่องจากความฝืด (Friction head loss) ในเส้นท่อตรง ไม่ว่าการไหลนั้นจะเป็นแบบ Lamina หรือ Turbulent คำนวณได้จากสูตรของ Darcy-Weisbach คือ

$$h_f = f.\frac{L}{D}.\frac{V^2}{2g} \qquad (2.9.)$$

โดย $h_f$ = การเสียเฮดเนื่องจากความฝืด บอกเป็นความสูงของของเหลว

$f$ = สัมประสิทธิ์ของความฝืด

$L$ = ความยาวของท่อ

$D$ = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ

$V$ = ความเร็วของการไหลในท่อ

$g$ = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

ค่าสัมประสิทธิ์ของความฝืด f ขึ้นอยู่กับทั้งคุณสมบัติของท่อและลักษณะการไหลว่าเป็นแบบ Lamina หรือ Turbulent ในกรณีที่การไหลแบบ Lamina ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวอาจจะหาได้จากสูตร

$$f = \frac{64}{R_e} \quad (\text{Lamina flow}, R_e \leq 2{,}000) \qquad (2.10.)$$

ขอให้สังเกตว่าในกรณีที่การไหลเป็นแบบ Lamina การเสียเฮดจะขึ้นอยู่กับ Reynolds Number เพียงอย่างเดียว ไม่ขึ้นอยู่กับความขรุขระ (Roughness) ของผนังท่อ

เมื่อ Reynolds Number มีค่ามากกว่าประมาณ 3,000 การไหลจะเป็นแบบ Turbulent เสมอไม่ว่าผนังท่อจะเรียบสม่ำเสมอเท่าใดก็ตาม ในกรณีนี้สัมประสิทธิ์ของความฝืดจะขึ้นอยู่กับทั้ง $R_e$ และอัตราส่วนระหว่างความขรุขระของผนังท่อต่อความยาวของเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน $(\frac{\epsilon}{D})$

จากการทดลองให้น้ำไหลผ่านท่อพบว่า ถึงแม้ว่าการไหลจะเป็นแบบ Turbulent ก็ตาม แต่ก็จะมีชั้นบางๆ ติดกับผนังท่อที่การไหลเป็นแบบ Lamina ความหนาของชั้นนี้จะลดลงเมื่อ Reynolds Number เพิ่มขึ้น ถ้าหากว่าความสูงของความขรุขระที่ยื่นออกมาจากผนังท่อน้อยกว่าชั้นความหนาที่การไหลเป็นแบบ Lamina อัตราส่วน $\frac{\epsilon}{D}$ ก็จะไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ของความฝืด f และถือว่าท่อนั้นเป็นท่อเรียบทางชลศาสตร์ (Hydraulically Smooth Pipe)

ในทางตรงกันข้าม ถ้าความสูงของความขรุขระที่ผนังท่อสูงกว่าชั้นที่การไหลเป็นแบบ Lamina ส่วนที่สูงกว่าก็จะก่อให้เกิดความปั่นป่วนในการไหลมากขึ้น และจะมีผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ของความฝืดเพิ่มขึ้นโดยตรง และถ้าผนังท่อขรุขระมากค่าสัมประสิทธิ์ของความฝืดก็จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วน $\frac{\epsilon}{D}$ เพียงอย่างเดียว ไม่ขึ้นกับ $R_e$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.3.3.3. การเสียเฮดเนื่องจากอุปกรณ์ในระบบท่อ

การสูญเสียพลังงานเนื่องจากอุปกรณ์ในระบบท่อ เช่น ข้องอ ประตูน้ำ ซึ่งถือว่าเป็นการสูญเสียส่วนน้อย (Minor Loss) อาจจะคำนวณได้โดยใช้สมการ

$$h_L = K \cdot \frac{V^2}{2g} \qquad (2.11.)$$

โดย $h_L$ = การเสียเฮดเนื่องจากอุปกรณ์ในระบบท่อ

K = สัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหลซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของอุปกรณ์

V = ความเร็วของการไหล

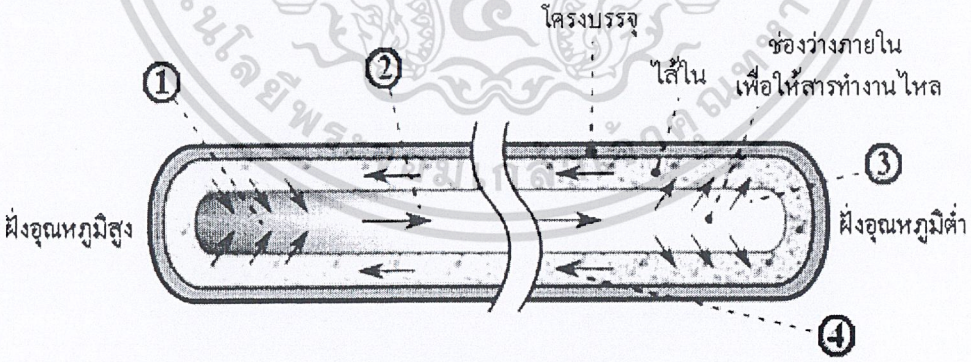
g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

สัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหลของอุปกรณ์ต่างๆ ที่มีการต่อทั้งแบบเกลียว (Screw) และแบบหน้าจาน (Flange) ดูได้จากรูปที่ ผก 1. ขอให้สังเกตว่าในรูปนี้มีสัมประสิทธิ์สำหรับทางไหลเข้าและการเพิ่มขนาดทันที (Sudden Enlargement) ด้วย ส่วนสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานในกรณีอื่นๆ ดูได้จากรูปที่ ผก 2.

## 2.4. วัสดุอุปกรณ์ของชุดทดลอง

### 2.4.1. แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ (Heat Pipe Collector) (สกนธ์ คล่องบุญจิต, 2552, [16])

แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่นำเอาการทำงานของฮีทไปป์ (Heat Pipe) มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานความร้อนแก่น้ำ ก่อนที่จะเข้าหลักการทำงานของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดนี้ ควรจะเริ่มด้วยการทำความเข้าใจหลักการทำงานของตัวฮีทไปป์ก่อน




**รูปที่ 2.6. โครงสร้างของฮีทไปป์**

จากรูปที่ 2.6. โครงสร้างของฮีทไปป์แบ่งเป็น 3 ส่วนหลักๆคือ โครงบรรจุ (Container) สารทำงาน (Working Fluid) และไส้ใน (Wick หรือ Capillary) ซึ่งแต่ละส่วนจะมีรายละเอียดดังนี้

1. โครงบรรจุ (Container) มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกยาวปลายมนข้างในกลวง ทำหน้าที่แยกสารทำงานภายในฮีทไปป์ออกจากบรรยากาศภายนอก ป้องกันการรั่วของระบบ รักษาความดันภายในไว้ให้ต่ำใกล้เคียงสูญญากาศอยู่เสมอ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนให้แก่สารทำงานทางด้านอุณหภูมิสูง และรับความร้อนจากสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

119348

ทำงานทางด้านอุณหภูมิต่ำเพื่อถ่ายเทความร้อนสู่บรรยากาศภายนอก วัสดุที่ใช้ทำโครงบรรจุทำจากโลหะซึ่งจะต้องเข้ากันได้กับสารทำงานไม่เกิดการผุกร่อนง่ายเมื่อสัมผัสกับสารทำงานและบรรยากาศภายนอก มีความแข็งแรงสูง น้ำหนักเบา มีค่าการนำความร้อนที่สูง และง่ายต่อการนำมาขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีต่างๆ เช่น ดัด, เชื่อม และกลึง

2. สารทำงาน (Working Fluid) เป็นของเหลวปริมาณน้อยมากๆที่ถูกบรรจุอยู่ภายในโครงบรรจุ ทำหน้าที่ในการนำส่งความร้อนจากด้านอุณหภูมิสูงไปสู่ด้านอุณหภูมิต่ำกว่า คุณสมบัติของสารทำงานจะต้องเข้ากันได้กับวัสดุที่ใช้ทำโครงบรรจุและไส้ใน มีจุดเดือดต่ำ มีจุดหลอมเหลวต่ำ มีความหนืดต่ำ มีค่าแรงตึงผิวสูง มีค่าการนำความร้อนสูง มีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูง (รับความร้อนได้มาก) และข้อสำคัญคือมีความเสถียรไม่เสียคุณสมบัติต่างๆที่กล่าวมาแล้วได้ง่าย

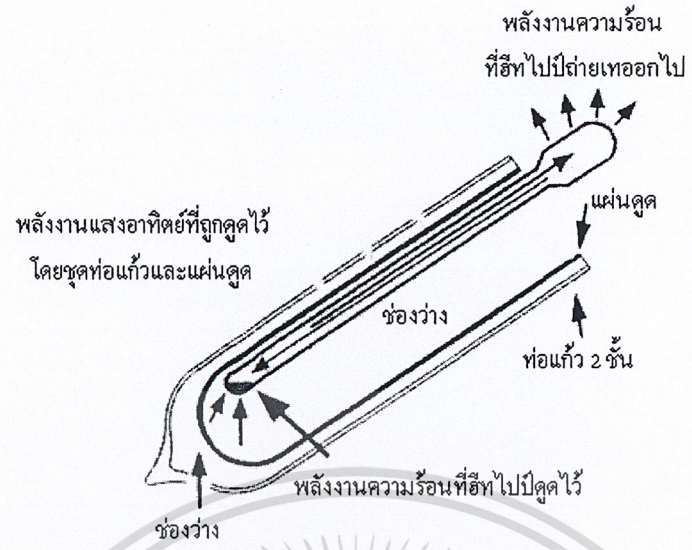
3. ไส้ใน (Wick หรือ Capillary) มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกยาวตรงกลางกลวง ใส่อยู่ภายในโครงบรรจุโดยมีผิวนอกติดกับผิวด้านในของโครงบรรจุ ความพิเศษของไส้ในคือจะมีรูพรุนมากมายที่รูปร่างเป็นท่อทรงกระบอกเล็กๆ ยาวทะลุตลอดตามแนวยาว ทำให้มีโครงสร้างคล้ายโฟม หน้าที่ของไส้ในคือเป็นทางให้สารทำงานที่ฝั่งอุณหภูมิต่ำให้ไหลกลับไปยังฝั่งอุณหภูมิสูงโดยใช้หลักการสร้างให้เกิดความดันคาพิลารีขึ้น (รูมีขนาดเล็กและสารทำงานมีแรงตึงผิวสูง) เพื่อให้สามารถดึงสารทำงานให้ไหลผ่านรูพรุนไปได้ วัสดุที่ใช้ทำไส้ในอาจจะทำจากโลหะ เช่น เหล็ก อลูมิเนียม นิกเกิล หรือทองแดง

การทำงานของฮีทไปป์ ตามรูปที่ 2.6. เริ่มจากเลข 1 เมื่อความร้อนจากบรรยากาศภายนอกฝั่งอุณหภูมิสูงถ่ายเทผ่านโครงบรรจุเข้าไปยังสารทำงานทางปลายด้านฝั่งอุณหภูมิสูง สารทำงานจะเดือดและเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอร้อนยวดยิ่งอย่างรวดเร็ว (สารทำงานมีปริมาณน้อยมากและความดันภายในฮีทไปป์ต่ำมาก) ทำให้สารทำงานภายในสภาพไอร้อนยวดยิ่งพุ่งผ่านไปยังปลายฮีทไปป์ฝั่งอุณหภูมิต่ำด้วยความเร็วสูงมากทิศทางตาม เลข 1 2 และ 3 (ตามทฤษฎีความเร็วในการเคลื่อนที่นี้จะใกล้เคียงหรือเร็วกว่าความเร็วเสียง) เมื่อไปถึงฝั่งอุณหภูมิต่ำที่หมายเลข 3 สารทำงานที่มีความร้อนสะสมอยู่ก็จะถ่ายเทความร้อนผ่านโครงบรรจุไปให้แก่บรรยากาศภายนอกฝั่งอุณหภูมิต่ำอย่างรวดเร็ว แน่นอนว่าสารทำงานก็จะเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วแล้วกลายสภาพกลับเป็นของเหลวเหมือนเดิม แล้วก็จะไหลเข้าไปยังรูพรุนในไส้ในกลับไปยังฝั่งอุณหภูมิสูง (อาศัยความดันคาพิลารีและแรงตึงผิวของสารทำงาน) อีกครั้งหนึ่ง เป็นการครบ 1 รอบทำงาน ต่อจากนั้นรอบการทำงานก็จะเกิดขึ้นไปต่อเนื่องกันไปเรื่อยๆอย่างรวดเร็วมาก ทำให้สามารถถ่ายเทความร้อนจากฝั่งอุณหภูมิสูงไปยังฝั่งที่มีอุณหภูมิต่ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากหลักการทำงานของฮีทไปป์ดังที่กล่าวมาแล้ว ทำให้ทราบว่าฮีทไปป์เป็นอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนที่มีประสิทธิภาพดีมาก จึงมีผู้นำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อให้ทำหน้าที่รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ซึ่งจะสามารถรับได้ทั้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบตรงและพลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจาย ดังในรูปที่ 2.7. เรียกว่าท่อรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์

จากรูปที่ 2.7. จะพบว่าโครงสร้างหลักๆ ของท่อรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ประกอบด้วย 1) ท่อแก้วปลายปิดข้างหนึ่งรูปทรงกระบอกมี 2 ชั้น ซึ่งภายในช่องว่างระหว่างแก้วจะเป็นสูญญากาศ เป็นโครงภายนอกของท่อ 2) แผ่นดูดพลังงานรูปร่างเป็นท่อปลายปิดข้างหนึ่งรูปทรงกระบอกยาวเช่นกันทำจากแผ่นโลหะที่มีค่าการนำความร้อนสูงและเคลือบผิวภายนอกด้วยสีดำหรือทำเป็นผิวที่เลือกรังสี วางติดชิดกับผิวแก้วด้านใน และ 3) ฮีทไปป์ ถูกติดตั้งไว้ด้านในสุดโดยให้วางใกล้ไปทางแผ่นดูดด้านบนที่อยู่ใกล้กับทางที่แสงอาทิตย์ส่องลงมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

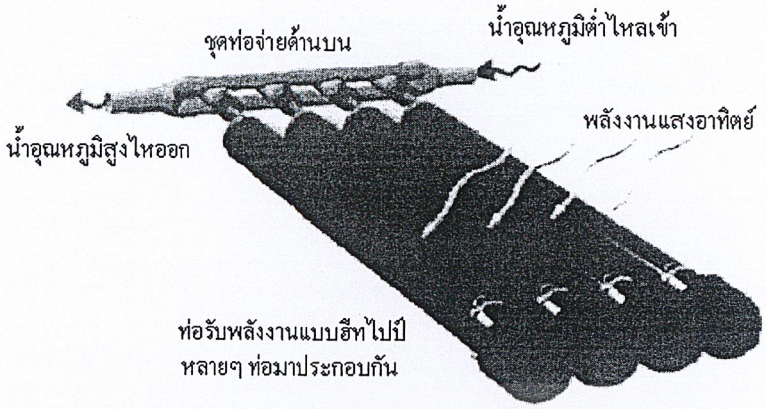



**รูปที่ 2.7. ท่อรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์**

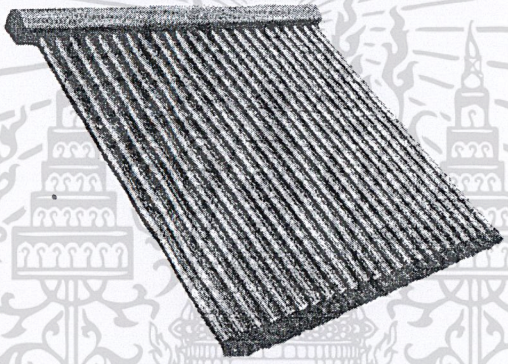
การทำงานของท่อรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์เริ่มด้วยแสงอาทิตย์ทั้งแบบตรงและแบบกระจายส่องผ่านลงมาผ่านท่อแก้วทั้ง 2 ชั้นเข้าไปยังแผ่นดูด (เหมือนกับแผ่นรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นราบที่ต้องมีพลังงานแสงอาทิตย์บางส่วนสะท้อนกลับออกไปสู่บรรยากาศและบางส่วนถูกดูดกลืนไว้โดยท่อแก้วเอง โดยช่องว่างสูญญากาศระหว่างท่อแก้วจะทำหน้าที่เหมือนฉนวนความร้อน) ต่อจากนั้นพลังงานแสงอาทิตย์ที่แผ่นดูดได้รับไว้ก็จะถูกถ่ายเทให้กับฮีทไปป์ ในที่สุดฮีทไปป์ก็จะเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้อยู่ในรูปพลังงานความร้อนแล้วจึงส่งออกไปยังปลายด้านบน

จะเห็นว่าขั้นตอนการเปลี่ยนและส่งถ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ให้อยู่ในรูปพลังงานความร้อนของท่อรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์จะมีประสิทธิภาพดีและรวดเร็วมาก เมื่อนำท่อรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์หลายๆ ท่อมาประกอบกันเข้าเป็นชุดโดยให้ปลายท่อด้านบนที่ทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนออกมาของทุกท่อมาเชื่อมต่อกับชุดท่อจ่ายด้านบน (Top Header) ซึ่งมักทำด้วยทองแดงจะได้เป็นชุดดังในรูปที่ 2.8. และรูป 2.9. ซึ่งเป็นตัวอย่างแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ เมื่อทำการจ่ายน้ำเข้าทางด้านหนึ่งของชุดท่อจ่ายด้านบนน้ำที่ผ่านออกมาก็จะพาเอาความร้อนจากท่อรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์แต่ละท่อออกมาด้วย ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์นี้ถ้าออกแบบให้ดีถูกต้องตามหลักทฤษฎีแล้วจะสามารถส่งน้ำผ่านแผงได้ด้วยอัตราการไหลที่สูงและมีประสิทธิภาพการผลิตน้ำร้อนสูงกว่าแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นราบมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.8. การนำท่อพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์หลายท่อมาต่อรวมกัน**



**รูปที่ 2.9. ตัวอย่างแผงพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์**

สามารถคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของแผงได้จากสมการ ดังนี้

$$\dot{m}C_p(T_{co} - T_{ci}) = \eta_c A_c H$$

$$\eta_c = \frac{\dot{m}Cp(Tco - Tci)}{A_c H} \quad (2.12.)$$

เมื่อ $\eta_c$ คือ ประสิทธิภาพของแผง

$\dot{m}$ คือ อัตราการไหลของน้ำ (kg/s)

$C_p$ คือ ค่าความจุความร้อนของน้ำ เท่ากับ 4.18 kJ / kg- $^{o}$C

$T_{ci}$ คือ อุณหภูมิน้ำที่ไหลเข้าแผง ($^{o}$C)

$T_{co}$ คือ อุณหภูมิน้ำที่ไหลออกจากแผง ($^{o}$C)

$A_c$ คือ พื้นที่รับแสงของแผง ($m^2$)

H คือ ความเข้มแสงอาทิตย์แบบรวมเฉลี่ย ($W/m^2$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ในการคำนวณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ พื้นที่รับแสงอาทิตย์ ($A_c$) จะมีค่าเท่ากับพื้นที่รับแสงอาทิตย์ของแผ่นดูดพลังงานแสงอาทิตย์ครึ่งซีกบนซึ่งหันหน้าขึ้นรับแสงอาทิตย์ ในท่อรับแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์หนึ่งท่อ ($A_t$) คูณด้วยจำนวนท่อทั้งหมด (p) ที่ใช้ประกอบเข้าเป็นแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์หนึ่งแผง เพื่อความเข้าใจในการคำนวณค่าพื้นที่รับพลังงานแสงอาทิตย์ของท่อรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ดังในรูปที่ 2.10. ซึ่งแผ่นดูดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง d เมตร และยาวประมาณ L เมตร จะพบว่าพื้นที่รับพลังงานแสงอาทิตย์ของท่อรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์หนึ่งท่อในหน่วยตารางเมตร มีค่าดังในสมการต่อไปนี้

$$A_t = \pi \frac{d}{2} L \tag{2.13.}$$

และถ้าแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ ประกอบด้วยท่อรับพลังงานแสงอาทิตย์จำนวน p ท่อ จะสามารถหาค่าพื้นที่รับพลังงานแสงอาทิตย์ของแผงหนึ่งแผงในหน่วยตารางเมตร ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} A_c &= pA_t \\ &= pL\pi \frac{d}{2} \end{aligned} \tag{2.14.}$$



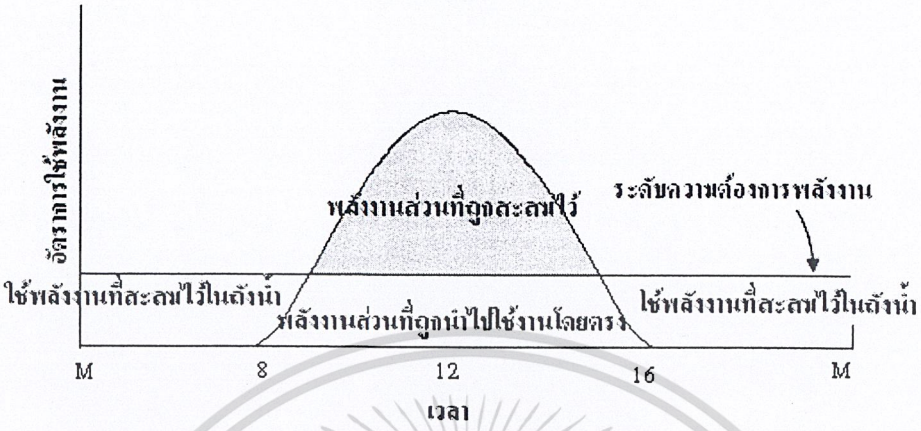

**รูปที่ 2.10. แสดงการหาพื้นที่รับแสงอาทิตย์ของท่อรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์หนึ่งท่อ**

**2.4.2. ถังน้ำเก็บพลังงาน (Water Storage)** (สกนธ์ คล่องบุญจิต, 2552, [16])

ในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ แน่นอนว่าสารที่ใช้ในการรับพลังงานแสงอาทิตย์คือน้ำ ซึ่งจะเก็บพลังงานที่ได้ไว้ในรูปพลังงานความร้อนโดยที่น้ำยังไม่เปลี่ยนสถานะไปเป็นไอน้ำแต่ยังคงมีสถานะเป็นของเหลวอยู่นั่นก็คือน้ำจะเก็บสะสมพลังงานความร้อนเอาไปในรูปของความร้อนสัมผัสนั่นเอง แล้วจากภูมิอากาศของประเทศไทยแล้วภายใน 1 วัน จะมีแสงอาทิตย์ที่สามารถนำมาใช้งานได้เฉลี่ยไม่เกินวันละ 8 ชั่วโมงต่อวัน จึงทำให้ต้องเก็บน้ำร้อนไว้เพื่อใช้งานในเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์อีกถึงประมาณ 16ชั่วโมงต่อวัน อุปกรณ์ที่สามารถนำมาใช้ในการเก็บน้ำร้อนที่ผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพก็คือ ถังน้ำเก็บพลังงาน ซึ่งจะทำหน้าที่หลักในการเก็บพลังงานความร้อนที่ได้ไว้แล้วนำส่งไปใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้สามารถใช้พลังงานความร้อนได้อย่างต่อเนื่องตลอดเวลาแม้ในยามไม่มีแสงอาทิตย์ นอกจากนี้ถังน้ำเก็บพลังงานยังเป็นอุปกรณ์แบ่งแยกระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ออกเป็น 2 ฝั่ง คือ ฝั่งสร้างพลังงานและฝั่งใช้พลังงาน ตัวอย่างกราฟการจัดการการใช้พลังงานความร้อนจากน้ำในถังน้ำเก็บพลังงานใน

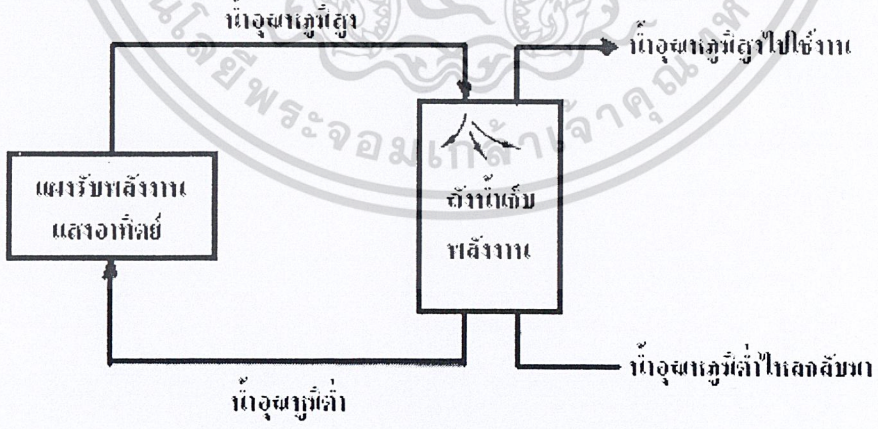
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.11 เป็นตัวอย่างการผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากเวลา 8.00 – 16.00 น. โดยความร้อนที่ได้ส่วนหนึ่งจะถูกนำไปใช้งานโดยตรงและอีกส่วนหนึ่งจะถูกสะสมไว้ใช้ (ส่วนที่แรเงา) ในเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ระหว่างเวลา 16.00 – 24.00 น. และ 24.00 – 8.00 น.




**รูปที่ 2.11. ตัวอย่างการจัดการการใช้พลังงานความร้อนในถังน้ำเก็บพลังงาน**

โครงสร้างของถังน้ำเก็บพลังงานสามารถสร้างถังได้จากโลหะและอโลหะแต่ต้องมีการหุ้มด้วยฉนวนความร้อนอย่างดีเพื่อให้มีการสูญเสียพลังงานความร้อนน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ด้วยเทคโนโลยีวัสดุศาสตร์ในปัจจุบันสามารถสร้างถังน้ำเก็บพลังงานด้วยวัสดุที่เป็นฉนวนความร้อน มีน้ำหนักเบา มีปริมาตรบรรจุที่มาก และยังเกิดการผุกร่อนได้ยากอีกด้วย นอกจากนี้ถังน้ำเก็บพลังงานที่นำมาใช้ในงานบางงานยังเป็นถังที่ทนความดันสูงที่อาจเกิดขึ้นในระบบขณะใช้งานได้อีกด้วย โดยปกติขนาดปริมาตรของถังที่ปลอดภัยในการใช้งานจะมีขนาดประมาณ 1.3 – 1.5 เท่าของปริมาตรน้ำที่ต้องการเก็บไว้ในถัง การใช้งานถังน้ำเก็บพลังงาน มีทั้งระบบที่ใช้ถังใบเดียว ระบบที่ใช้ถัง 2 ใบ และระบบที่ใช้ถัง 3 ใบ




**รูปที่ 2.12. ระบบการใช้ถังน้ำเก็บพลังงานใบเดียว**

จากรูปที่ 2.12. เป็นระบบที่มีการใช้ถังน้ำเก็บพลังงานเพียงใบเดียว ด้วยลักษณะระบบเช่นนี้ น้ำอุณหภูมิสูงและน้ำอุณหภูมิต่ำจะผสมกนอยู่ภายในถังใบเดียว นั่นคืออุณหภูมิของน้ำถังจะไม่คงที่นัก ถ้าเป็นระบบที่ต้องการน้ำ

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณมากๆ จะต้องใช้ถังที่มีขนาดใหญ่ซึ่งจะมีราคาสูงมาก ในการควบคุมการใช้น้ำจะง่ายไม่สลับซับซ้อนอะไรนัก ถ้าใช้กับระบบผลิตน้ำร้อนที่ใช้งานน้ำร้อนโดยตรงจะง่ายมากเนื่องจากน้ำร้อนที่ได้ถูกนำออกจากระบบไปใช้งานโดยตรงเลย ทำให้ไม่มีน้ำอุณหภูมิต่ำไหลกลับมาเข้าถังหลังการใช้งาน

**2.4.3. ฉนวนความร้อน** (สกนธ์ คล่องบุญจิต, 2552, [16])

ในระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ จำเป็นต้องมีการเก็บพลังงานไว้ในระบบให้ดีที่สุดโดยไม่มีการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นเลย หรือถ้าเกิดก็ให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ดังนั้นการใช้ฉนวนความร้อนห่อหุ้มอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบย่อมเป็นสิ่งที่ต้องทำอย่างดีที่สุดเพื่อป้องกันไม่ให้ระบบเกิดการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนและการพาความร้อนไป โดยทั่วไปคุณสมบัติของฉนวนความร้อนที่ดีจะต้องมีดังต่อไปนี้

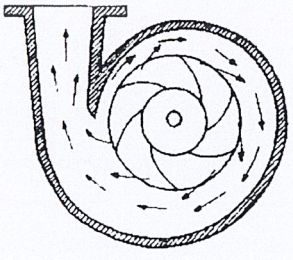
1. มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำ
2. มีความพรุนเพื่อดักให้อากาศหยุดนิ่ง
3. ไม่ลุกติดไฟง่าย
4. น้ำหนักเบา
5. ไม่เกิดเชื้อราง่าย
6. ทนต่อการกัดทำลายของสัตว์
7. ไม่ดูดความชื้นหรืออมน้ำ
8. ผิวต้องเรียบ
9. ติดตั้งได้ง่ายและทำการถอดเปลี่ยนได้สะดวก
10. ทนต่อสภาพกรดและด่างได้ดี
11. ทนต่อสารเคมี
12. รับแรงกดอัดได้ดี
13. ไม่เสียรูปง่าย
14. ทนแสงอาทิตย์ได้ดี
15. ไม่ยุบตัวง่าย
16. ไม่เป็นสารพิษ

**2.4.4. ปั๊มน้ำ** (สกนธ์ คล่องบุญจิต, 2552, [16])

ปั๊มน้ำ เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เพิ่มพลังงานให้แก่น้ำเพื่อให้น้ำมีพลังงานเพียงพอที่จะไหลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ตามต้องการ

2.4.4.1. ปั๊มแบบเซนตริฟูกอล(Centrifugal Pump)

ปั๊มแบบเซนตริฟูกอล หรือปั๊มหอยโข่ง เป็นปั๊มน้ำแบบที่อาศัยการหมุนของใบพัดทำให้น้ำที่ไหลเข้ามายังปั๊มที่บริเวณจุดศูนย์กลางของใบพัด (ช่องทางดูด) จะได้รับพลังงานแล้วเกิดการไหลในแนวสัมผัสเส้นรอบวงของใบพัดทุกๆใบดังรูปที่ 2.13.



**รูปที่ 2.13. หลักการทำงานของใบพัดของปั๊มแบบเซนตริฟูกอล**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นก็คือน้ำจะเกิดการเคลื่อนที่หนีศูนย์กลางขึ้น เมื่อน้ำที่ได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นไหลมายังเส้นรอบวงของใบพัดพลังงานในน้ำก็จะเพิ่มมากขึ้นทั้งความดันและความเร็ว ต่อจากนั้นน้ำที่มีพลังงานเพิ่มขึ้นก็จะไหลรวมกันในตัวปั๊มแล้วไหลออกไปจากปั๊มทางช่องทางออกหรือช่องจ่ายน้ำออกซึ่งจะมีลักษณะภายออก (Diffuser) ซึ่งจะเปลี่ยนพลังงานความเร็วของน้ำให้กลายเป็นพลังงานความดันให้มากขึ้น เมื่อเทียบกับน้ำที่ไหลเข้ามาที่บริเวณศูนย์กลางหรือช่องทางดูดแล้วทั้งความดันและความเร็วของน้ำจะต่ำกว่าน้ำที่ไหลออกจากปั๊มมากทีเดียว จนความดันที่ช่องทางดูดของปั๊มต่ำกว่าความดันบรรยากาศ

**2.4.5. วาล์ว**

วาล์วเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่ง ที่ใช้ปิดกั้นหรือควบคุมการไหลของของไหลที่ไหลผ่านท่อซึ่งอาจจะเป็นของเหลว, น้ำ, ก๊าซ หรือไอน้ำ ให้ไหลผ่านท่อได้ตามความต้องการ การเลือกใช้วาล์วให้เหมาะสมกับงาน ก่อนอื่นจะต้องทราบลักษณะของงานที่จะนำวาล์วไปใช้และความดันใช้งานของระบบ ซึ่งจะต้องเหมาะกับระดับการใช้งานของวาล์ว (Rate Valve) (ประณต กุลประสูตร, 2545, [9])

2.4.5.1. <u>วัสดุโครงสร้างวาล์ว</u> (ตระกาล ก้าวกสิกรรม, 2544, [7])

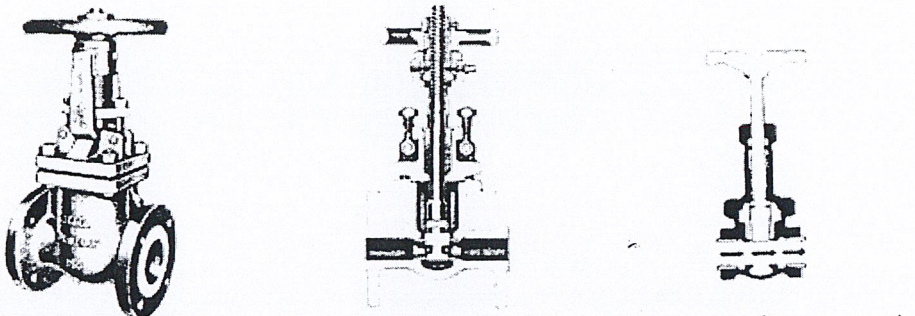
ตัวเรือนวาล์วที่ผลิตออกมาโดยทั่วไปทำจากวัสดุหลายชนิดทั้งโลหะและอโลหะ เช่น เหล็ก เหล็กกล้าผสม ทองเหลือง ทองบรอนซ์ พลาสติก เป็นต้น การเลือกใช้วาล์วที่ทำจากวัสดุชนิดใด ขึ้นอยู่กับหน้าที่ของวาล์ว (เปิด/ปิดหรือปรับอัตราการไหล) อัตราการทนอุณหภูมิและความดันที่ต้องการ ของไหลในระบบและผลของการกัดกร่อนของของไหลนั้น และหากมีวัสดุที่สามารถเลือกได้หลายชนิด สิ่งสุดท้ายในการพิจารณาคือความประหยัด ทั้งในแง่ราคาปัจจุบันและการบำรุงรักษาในอนาคต

1. วาล์วเหล็ก ผลิตขึ้นในหลากหลายชนิดและหลากหลายส่วนประกอบ และผู้ผลิตผลิตออกมาในหลากหลายระดับ (Grade) จึงจำเป็นต้องตรวจสอบชนิดของวาล์วเป็นพิเศษว่ามีคุณลักษณะและคุณสมบัติตรงตามที่ต้องการหรือไม่ ตัวเรือนวาล์วเหล็กหล่อถือเป็นรูปแบบที่ผลิตขึ้นมามากที่สุดในแทบทุกขนาด โดยมีอัตราทนความดันสูงสุดในระดับ 250 SP 450°F (230°C) ใช้วัสดุผสมระหว่างเหล็ก คาร์บอน ซิลิกอน และแมงกานีสเป็นหลัก โดยมีการผลิตออกมาในหลายระดับและส่วนผสม
2. วาล์วทองเหลืองเป็นวาล์วที่ใช้งานในสภาวะไม่วิกฤติ ณ อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 400°F (240°C) และความดันต่ำ เนื่องจากเป็นโลหะผสมระหว่างทองแดงกับสังกะสีจึงทนทานสภาวะได้ไม่สูงนัก

2.5.5.2. <u>เกทวาล์ว (Gate valve)</u> (ประณต กุลประสูตร, 2545, [10])

วาล์วแบบนี้ ดังรูปที่ 2.14. เป็นที่นิยมเรียกกันโดยทั่วไปว่า ประตูน้ำ เนื่องจากวาล์วที่อยู่ภายในมีลักษณะเป็นแผ่นเลื่อนขึ้น-ลงได้เหมือนประตูเมื่อเปิด-ปิดวาล์ว วาล์วแบบนี้ขณะใช้งานจะต้องเปิด-ปิดให้สุด เนื่องจากการรองรับและการบังคับวาล์วไม่มั่นคงพอ จึงอาจทำให้เกิดเสียงดังและเกิดการสึกหรอขึ้นกับชิ้นส่วนภายในได้ถ้าเปิด-ปิดวาล์วไม่เต็มที่ จากลักษณะการสร้างภายในดังกล่าวจึงทำให้วาล์วแบบนี้ไม่สามารถนำไปใช้ควบคุมอัตราการไหลของน้ำได้ จึงถูกนำไปใช้เพื่อการปิดกั้นการไหลของน้ำแต่เพียงอย่างเดียว และใช้ในที่ซึ่งไม่มีการเปิด - ปิดวาล์วบ่อยนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

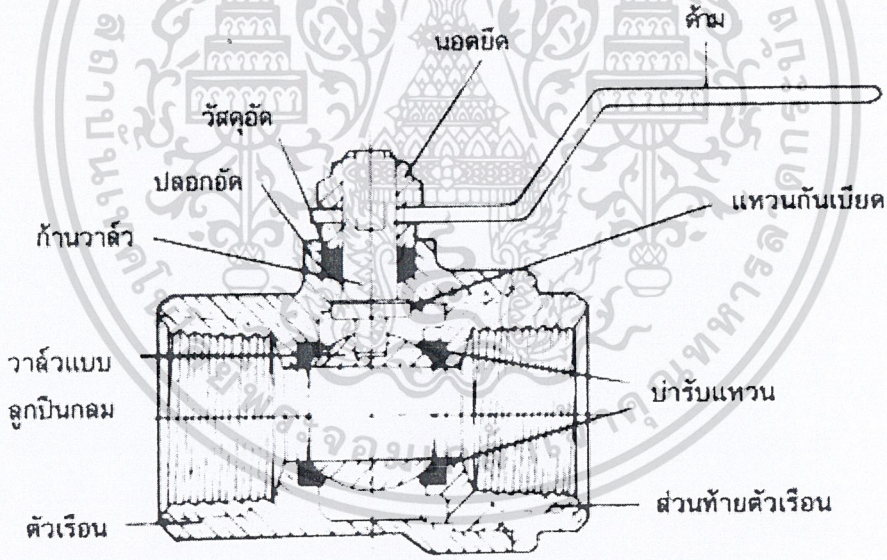


(a) ลักษณะภายนอก (b) ภาพตัด (c) ลักษณะการไหลผ่านวาล์ว

**รูปที่ 2.14. เกทวาล์ว** (ตระการ ก้าวกสิกรรม, 2544, [7])

2.4.5.3. บอล์ลวาล์ว (Ball valve) (ประณต กุลประสูตร, 2545, [10])

วาล์วแบบนี้ดังรูปที่ 2.17 เป็นวาล์วที่ควบคุมการไหลของของไหลด้วยการหมุนวาล์วที่กลมเหมือนลูกบอลที่ได้รับการเจาะรูและสวมอยู่ในเบ้าของบ่าวาล์วรูปวงแหวน ที่ยืดหยุ่นตัวได้ภายในห้องวาล์ว การเปิด-ปิดของวาล์วแบบนี้จะกระทำได้ด้วยการหมุนก้านวาล์วไปเพียง 90 องศา วาล์วแบบนี้เป็นวาล์วที่ใช้สำหรับเปิด-ปิดน้ำแบบธรรมดา ซึ่งสามารถใช้ควบคุมและปรับอัตราการไหลของน้ำได้ด้วย หรืออาจใช้แทนก๊อกเปิด-ปิดก๊าซความดันต่ำได้ด้วย



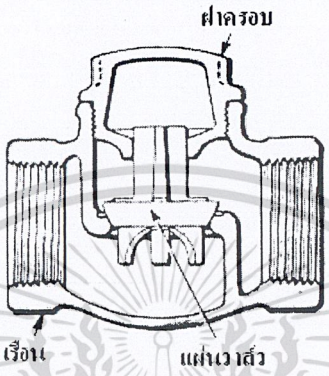

**รูปที่ 2.15. บอล์ลวาล์ว**

2.4.5.4. เช็ควาล์ว (Check valve) (พิภพ สุนทรสมัย, 2539, [12])

เช็ควาล์วทำหน้าที่เป็นประตูน้ำให้ไหลไปทางเดียว เมื่อมีของเหลวไหลในท่อผ่านเช็ควาล์ว จะเกิดความดันผลักให้จานเปิดทางไหลหรือลิ้นเปิด เมื่อของเหลวหยุดไหลจานเปิดทางจะตกลงมาปิดทางส่งของเหลวป้องกันมิให้ของเหลวหรือน้ำไหลย้อนกลับเมื่อความดันของน้ำภายในท่อลดลง แรงที่จะเปิดจานเปิดทางไหลเกิดจากความดันของของเหลวแตกต่างกัน

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช็ควาล์วแบบยกตัว (Lift check valve) วาล์วแบบนี้แผ่นจานปิดทางไหลจะยกตัวลอยขึ้นตรงเมื่อมีของเหลวดันจานขึ้น ถ้าปิดการไหล แผ่นจานปิดการไหลจะตกลงบนบ่ารองแนบสนิทการไหลในแนวเดียว เนื่องจากของเหลวที่ไหลผ่านวาล์วต้องหักมุมถึง 2 ครั้ง จึงทำให้ความดันของเหลวลดลงได้มากกว่าแบบสวิง มักใช้วาล์วกับของเหลวที่เป็นน้ำ น้ำร้อน และอากาศ แก๊ส รวมทั้งไอน้ำด้วย วาล์วชนิดนี้เป็นวาล์วผสม ในการป้องกันน้ำร้อนและน้ำเย็นผ่านในฝั่งตรงข้ามระหว่างวาล์ว อีกทั้งแรงดันน้ำจะลดลงในด้านไหลออกด้วย บางทีอาจใช้ป้องกันการไหลกลับสู่ระบบส่งน้ำเข้าเมื่อแรงดันลดลงมาก




**รูปที่ 2.16. เช็ควาล์วแบบยกตัว** (ประณต กุลประสูตร, 2545, [10])

**2.4.6. ท่อทองแดง** (มาศิษฎ์ พิมพ์สาร, 2548, [14])

ท่อทองแดง นิยมนำมาใช้กับงานท่อสุขภัณฑ์ เพื่อเป็นท่อจ่ายน้ำเย็น น้ำร้อน ท่อทำความอุ่นด้วยน้ำร้อน ท่อระบายน้ำโสโครกและท่อระบายอากาศ ข้อดีของท่อทองแดงคือ ใช้ได้กับอาคารทุกประเภท น้ำหนักเบา ทนต่อการกัดกร่อน ไม่เป็นสนิม การขนย้ายสะดวก ต่อและดัดโค้งง่าย ความต้านทานการไหลต่ำ ทนต่อความเย็นจัดได้ 6 เท่าก่อนจะแตกเสียหาย ข้อเสีย ราคาแพง อัตราการขยายตัวสูงเป็นสองเท่าเมื่อเทียบกับท่อเหล็กอาบสังกะสี ต้องจัดอุปกรณ์รับการขยายตัวและมีความแข็งแรงน้อยกว่าท่อเหล็ก

ท่อทองแดงชนิดเอ็ม (M) เป็นท่อทองแดงชนิดผนังบาง เดินท่อน้ำภายในอาคาร เช่น น้ำเย็นและน้ำร้อน รวมทั้งท่อทำความอุ่นในอาคาร มีทั้งท่อแข็งและท่ออ่อน ความกดดันแตกระเบิด 22.27 MPa (3,230 ปอนด์/ตารางนิ้ว)

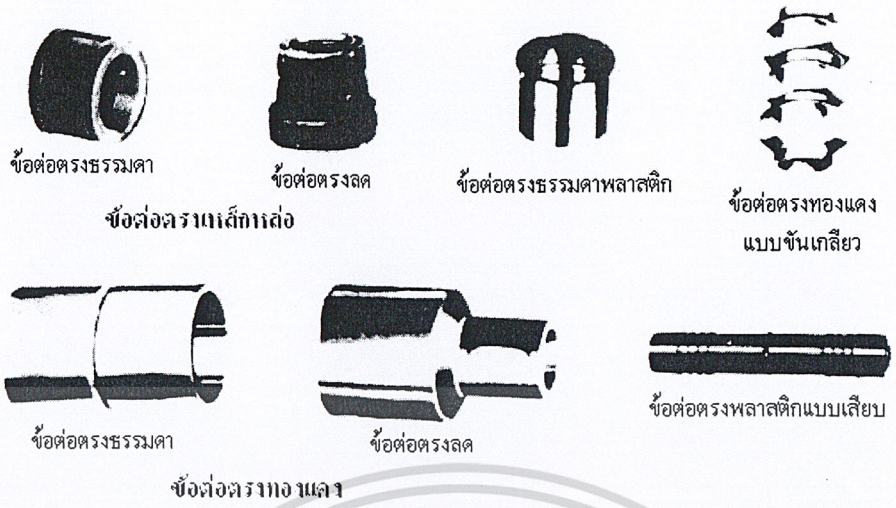
**2.4.7. ข้อต่อท่อ** (ประณต กุลประสูตร, 2545, [10])

ข้อต่อท่อเป็นส่วนประกอบที่ใช่ต่อท่อ ทั้งที่มีขนาดเดียวกันหรือต่างขนาดกันเข้าด้วยกัน ใช้เมื่อต้องการเปลี่ยนทิศทางในการวางท่อ ใช้อุดหรือครอบด้านปลายท่อเมื่อการเดินท่อสิ้นสุดลง

2.4.7.1. <u>ข้อต่อตรง</u>

ข้อต่อตรงดังรูปที่ 2.17. เป็นข้อต่อสั้นๆ ซึ่งที่ปลายทั้งสองด้านจะมีเกลียวอยู่ด้านในหรือไม่มีก็ได้ ใช้สำหรับต่อท่อสองท่อนในแนวตรงเข้าด้วยกัน มีหลายขนาดตามขนาดของท่อ โดยมีขนาดสูงถึง 12 นิ้ว แต่ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปมีขนาดต่ำกว่า 6 นิ้ว แต่ละขนาดจะมีทั้งชนิดข้อต่อธรรมดา (Plain Coupling) ซึ่งใช้ต่อท่อที่มีขนาดเดียวกัน และข้อต่อตรงลด (Reducing Coupling) ซึ่งใช้ต่อท่อที่มีขนาดต่างกัน

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.17. ข้อต่อตรงแบบต่างๆ**

2.4.7.2. ข้อต่องอ

ข้อต่องอ ดังรูปที่ 2.18. เป็นข้อต่องอสั้นๆซึ่งที่ปลายทั้งสองด้านจะมีเกลียวอยู่ด้านในหรือไม่มีก็ได้เช่นเดียวกัน ใช้สำหรับเปลี่ยนทิศทางในการวางท่อหรือเพื่อหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวาง มีหลายแบบแต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุดเป็นแบบ 45 องศา และแบบ 90 องศา มีหลายขนาดแต่ละขนาดก็มีทั้งชนิดข้อต่องอธรรมดาและชนิดข้อต่องอลด




**รูปที่ 2.18. ข้อต่องอแบบต่างๆ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.7.3. ข้อต่อสามทาง

ข้อต่อสามทาง ดังรูปที่ 2.19. เป็นข้อต่อสั้นๆ ที่แยกออกไป 3 ทาง ทางที่แยกออกไปจะทำมุมกับแนวเดิม 90 องศา ที่ปลายทั้ง 3 ด้านมีเกลียวอยู่ด้านในหรือไม่มีก็ได้ ใช้เมื่อต้องการต่อท่อกิ่งหรือท่อแขนงแยกออกจากท่อประธาน มีหลายขนาดแต่ละขนาดมีทั้งชนิดข้อต่อสามทางธรรมดา ชนิดข้อต่อสามทางลด และชนิดข้อต่อสามทางถนน

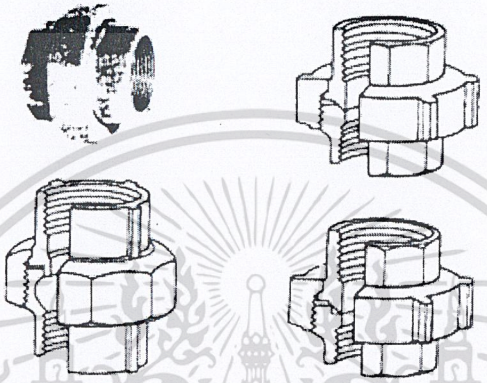



**รูปที่ 2.19. ข้อต่อสามทางแบบต่างๆ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.7.4. ข้อต่อยูเนียน

ข้อต่อยูเนียน ดังรูปที่ 2.20. เป็นข้อต่อที่ใช้ต่อท่อในแนวตรงสองท่อนเข้าด้วยกัน เมื่อท่อทั้งสองไม่สามารถที่จะหมุนเพื่อขันเกลียวเข้าไปในท่อต่อได้ หรือใช้ในที่ซึ่งส่วนหนึ่งของระบบจะต้องถอดออกเพื่อการซ่อมแซมและเปลี่ยนท่อใหม่ มีหลายขนาดแต่ละขนาดก็มีทั้งชนิดหน้าจาน (Flange Union) ซึ่งต้องใช้ประเก็นคั่นกลาง และชนิดกราวน์ดจอยน์ (Ground Joint) ซึ่งเป็นชนิดที่ไม่ต้องใช้ประเก็นคั่น โดยทั่วไปข้อต่อท่อชนิดนี้จะสามารถรับความดันได้สูงถึง 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว



ชนิดหน้าจาน ชนิดกราวน์ดจอยน์

**รูปที่ 2.20. ข้อต่อยูเนียนชนิดต่างๆ**

**2.4.8. ตัววัดความเข้มแสงอาทิตย์**

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์

**2.4.9. เทอร์โมคัพเปิ้ล**

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิของน้ำ

**2.4.10. ตัววัดความดัน (Pressure Gauge)**

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความดันของน้ำ

**2.4.11. ตัววัดอัตราการไหล (Flow Meter)**

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดอัตราการไหลของน้ำ

**2.4.12. Data Logger**

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บและบันทึกค่าข้อมูลต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5. การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ (Multiple Regression Analysis)

**2.5.1 ความหมายของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ (Multiple Regression Analysis)** (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2552, [4])

การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรหลายตัว หรือเป็นเทคนิคการหาสาเหตุหรือหาผล (Causal) ซึ่งประกอบด้วย

1. ตัวแปรตาม (Dependent Variable) จำนวน 1 ตัว และต้องเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ
2. ตัวแปรอิสระ (In pendent Variable) หรือบางครั้งเรียกว่าตัวแปรต้นเหตุหรือตัวแปรสาเหตุอย่างน้อย 2 ตัว หรือกล่าวในรูปทั่วไปว่ามีตัวแปรอิสระ K ตัว โดยที่ $K \geq 2$ โดยที่ตัวแปรอิสระสามารถผสมกันระหว่างตัวแปรเชิงกลุ่มกับตัวแปรเชิงปริมาณ หรือตัวแปรอิสระทุกตัวเป็นตัวแปรเชิงปริมาณก็ได้

**2.5.2. วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ** (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2552, [4])

การวิเคราะห์ความถดถอยอย่างง่ายและการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุมีวัตถุประสงค์หลัก เหมือนกัน ดังนี้

1. เพื่อศึกษาว่าตัวแปรอิสระตัวใดบ้างมีอิทธิพลต่อตัวแปรตามหรือเป็นการศึกษาว่าตัวแปรตามขึ้นกับตัวแปรอิสระหรือปัจจัยใดบ้าง เมื่อใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุแล้วอาจจะไม่มีตัวแปรอิสระตัวแปรใดมีผลต่อตัวแปรตามเลย หรืออาจจะมีเพียง 1 ตัว คือรายได้ หรืออาจจะมี 2 ตัวแปรหรือทั้ง 3 ตัวแปรก็ได้ เพื่อประมาณหรือพยากรณ์ค่าตัวแปรตามเมื่อทราบค่าตัวแปรอิสระ นั่นคือจะพยากรณ์ค่า Y เมื่อทราบค่า $X_1, X_2, \ldots, X_k$
2. จากวัตถุประสงค์ข้อ 1 เมื่อทราบว่าตัวแปรอิสระใดบ้างมีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม ทำให้สามารถจะใช้ตัวแปรอิสระเหล่านั้นพยากรณ์ค่าตัวแปรตาม เช่น ถ้าตรวจสอบแล้วสรุปได้ว่า คะแนนความพอใจขึ้นกับอายุและรายได้ แต่ไม่ขึ้นกับเพศ สมการความถดถอยเชิงพหุจะเป็น

$$\text{คะแนนความพอใจ} = a + b_1 \text{อายุ} + b_3 \text{รายได้} \qquad (2.15.)$$

เมื่อทราบอายุและรายได้ของลูกค้าธนาคารสยาม ก็จะสามารถพยากรณ์หรือประมาณคะแนนความพอใจของลูกค้าได้

**2.5.3. การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ (Multiple Regression Analysis)** (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551, [3])

ถ้ามีตัวแปรอิสระ k ตัว $(X_1, X_2, \ldots, X_k)$ ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม Y โดยที่มีความสัมพันธ์อยู่ในรูปเชิงเส้น จะได้สมการความถดถอยเชิงพหุ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Y และ $X_1, X_2, \ldots, X_k$ ดังนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \ldots + \beta_k X_k + e \qquad (2.16.)$$

โดยที่ $\beta_0$ = ส่วนที่ตัดแกน Y เมื่อกำหนดให้ $X_1 = X_2 = \ldots = X_k = 0$

$\beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_k$ เป็นสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน ( Partial Regression Coefficient ) โดยที่ $\beta_1$ เป็นค่าที่แสดงถึงการแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม Y เมื่อตัวแปรอิสระ $X_1$ เปลี่ยนไป 1 หน่วย โดยที่ตัวแปรอิสระ X ตัวอื่น ๆ มีค่าคงที่ เช่น ถ้า $X_1$ เปลี่ยนไป 1 หน่วย ค่า Y จะเปลี่ยนไป $\beta_1$ หน่วย โดยที่ $X_2, X_3, \ldots, X_k$ มีค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.5.4. เงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ** (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551, [3])

เงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุจะเหมือนกับเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย โดยที่สมการถดถอยเชิงพหุเป็น

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \ldots + \beta_k X_k + e \qquad (2.17.)$$

<u>เงื่อนไขมีดังนี้</u>

1. ความคลาดเคลื่อน e เป็นตัวแปรที่มีการแจกแจงแบบปกติ
2. ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ นั่นคือ $E(e) = 0$
3. ค่าแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนเป็นค่าคงที่ที่ไม่ทราบค่า $V(e) = \sigma_e^2$
4. $e_i$ และ $e_j$ เป็นอิสระต่อกัน ; $i \neq j$ นั่นคือ covariance $(e_i, e_j) = 0$
5. ตัวแประอิสระ $X_i$ และ $X_j$ ต้องเป็นอิสระกัน

**2.5.5. การตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (Measures of Collinearity)** (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551, [3])

เนื่องจากเงื่อนไขข้อหนึ่งของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุคือ ตัวแปรอิสระทุกตัวต้องเป็นอิสระกัน การตรวจสอบเงื่อนไข $\beta$ นี้จะทำโดยการใช้ตัวแปรอิสระตัวหนึ่งเป็นตัวแปรตาม ส่วนตัวแปรอิสระที่เหลือเป็นตัวแปรอิสระ กรณีที่มีตัวแปรอิสระ k ตัว และให้ $X_i$ เป็นตัวแปรตาม สมการถดถอยจะเป็น

$$X_i = \beta_0 X_i + \beta_1 X_1 + \ldots + \beta_{i-1} X_{i-1} + \ldots + \beta_k X_k + e \qquad (2.18.)$$

ตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กันจะให้รายละเอียดที่คล้ายคลึงกันต่อตัวแปรตาม จึงเป็นการยากที่จะแยกอิทธิพลของตัวแปรอิสระแต่ละตัว ค่าสถิติที่ใช้วัดความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ 4 ค่า คือ Tolerance, VIF, Eigen Value และ Condition Index

2.5.5.1. <u>Tolerance</u> ของตัวแปรอิสระ $X_i$ คือ $1 - R_i^2$

โดยที่ $R_i$ = Multiple Correlation Coefficient ของสมการความถดถอย

$$\hat{X}_i = a + b_i X_i + \ldots + b_{i-1} X_{i-1} + b_{i+1} X_{i+1} + \ldots + b_k X_k \qquad (2.19.)$$

หรือเป็นการพยากรณ์ค่า $X_i$ โดยใช้ตัวแปรอิสระตัวอื่นๆ อีก $k - 1$ ตัว

ถ้าค่า tolerance ของตัวแปร $X_i$ มีค่าต่ำ แสดงว่าตัวแปรอิสระ $X_i$ มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระอื่นๆ มาก เนื่องจาก tolerance ของ $X_i = 1 - R^2$ ถ้า tolerance มีค่าน้อยแสดงว่า $R_i^2$ มีมาก และ $R_i^2$ คือสัมประสิทธิ์การตัดสินใจซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $X_i$ กับ X's อื่นๆ มีค่ามาก หรือ X's อื่นๆ สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของ X's ได้มาก นั่นคือ $X_i$ มีความสัมพันธ์กับ X's ตัวอื่นๆมากนั่นเอง หรือกล่าวได้ว่าค่า tolerance มีค่าใกล้ศูนย์ แสดงว่าตัวแปรอิสระ $X_i$ มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระอื่นๆ ($X_1, \ldots X_{i+1}, X_k$) มาก นั่นคือ เกิด Multicollinearity เป็นการขัดแย้งกับเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5.2. VIF (Variance Inflation Factor : VIF )

VIF ของตัวแปรอิสระ $X_i = VIF_i = \frac{1}{1-R_i^2}$ (2.20.)

ถ้า $VIF_i$ มีค่ามาก แสดงว่าตัวแปรอิสระ $X_i$ มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระอื่นๆ มาก

2.5.5.3. Eigenvalue

ผลบวกของค่า Eigenvalue จะต้องเท่ากับ k + 1 (k = จำนวนตัวแปรอิสระ) ถ้าค่า Eigenvalue เข้าใกล้ศูนย์ แสดงว่าตัวแปรอิสระนั้นมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระตัวอื่นๆ

2.5.5.4. Condition Index

ถ้าค่า Condition Index มีค่ามาก เช่น มากกว่า 20 แสดงว่าตัวแปรอิสระนั้นมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระตัวอื่นๆ อย่างมาก

**2.5.6. วิธีการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการความถดถอย** (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2550, [5])

การเลือกตัวแปรอิสระ X สมการความถดถอย จะต้องมีกฎเกณฑ์ในการเลือก นั่นคือ ผู้วิเคราะห์จะต้องพิจารณาว่า มีตัวแปรอิสระใดบ้างที่น่าจะมีความสัมพันธ์กับ Y เทคนิคการเลือกตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม Y มี 5 วิธี ดังนี้

1. วิธี Enter
2. วิธี Remove
3. Backward Elimination
4. Forward Selection
5. Stepwise Regression

ผู้ใช้สามารถเลือกเทคนิคการเลือกตัวแปรอิสระได้หลายวิธี ซึ่งจะทำให้ได้สมการถดถอยหลายๆรูปแบบ ถึงแม้จะเริ่มต้นจากตัวแปรอิสระชุดเดียว

2.5.6.1. วิธี Enter

เป็นเทคนิคการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการความถดถอยในขั้นตอนเดียว ผู้ใช้จะต้องเป็นผู้ตัดใจว่า ตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่ควรที่ควรจะอยู่ในสมการความถดถอย โดยพิจารณาจากค่าสถิติทดสอบ หรือค่า Significance ของสถิติทดสอบ นอกจากนั้นผู้ใช้จะต้องเป็นผู้ที่ตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ โดยพิจารณาจากค่าสถิติที่ได้จากผลลัพธ์

2.5.6.2. วิธี Remove

เป็นเทคนิคที่เลือกตัวแปรอิสระออกจากสมการ วิธีนี้ใช้คู่กับวิธี Enter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.6.3. Backward Elimination

เป็นวิธีเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการความถดถอยโดยให้สมการความถดถอยประกอบด้วยตัวแปรอิสระทั้งหมด (k ตัว) ที่คาดว่าจะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม Y แล้วใช้สถิติทดสอบ t ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ X ทีละตัว

$$H_0 : \beta_i = 0 \text{ .vs. } H_1 : \beta_i \neq 0$$

ผลการทดสอบ จะปฏิเสธ $H_0$ ถ้า $|t| > t_{1-\frac{\alpha}{2};\, n-k-1}$ หรือจะปฏิเสธ $H_0$ ถ้า Sig T < $\alpha$

และจะพิจารณาตัดตัวแปรอิสระที่ไม่มีความสัมพันธ์กับ Y ออกไปขั้นละตัว โดยใช้ผลการทดสอบข้างต้น นั่นคือจะตัดตัวแปรอิสระ X ที่มีค่าสถิติทดสอบ |t| มากที่สุดออกไปจากสมการความถดถอยนั่นคือในแต่ละขั้นจะตัดตัวแปรอิสระที่ไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม Y ออกไปทีละตัวจนกระทั่งไม่มีตัวแปรอิสระตัวใดถูกตัดออกไป สมการความถดถอยที่ประกอบด้วยตัวแปรอิสระที่เหลืออยู่จึงเป็นสมการความถดถอยที่เหมาะสม เนื่องจากตัวแปรอิสระทุกตัวในสมการความถดถอยที่เหมาะสมเป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญ

2.5.6.4. Forward Selection

เป็นวิธีที่มีหลักเกณฑ์ตรงข้ามกับวิธี Backward นั่นคือจะเลือกตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามเข้าสมการ ครั้งละตัว โดยเลือกตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามมากที่สุดเข้าสมการเป็นลำดับแรก การเลือกตัวแปรอิสระตัวแรกเข้าสมการ จะพิจารณาสมการความถดถอยอย่างง่าย นั่นคือสร้างสมการความถดถอยอย่างง่าย ระหว่าง Y กับ X ครั้งละตัว

$$Y = \beta_0 + \beta_i X_i + e \;\; ; i = 1, \ldots k \qquad (2.21.)$$

แล้วเลือกตัวแปรอิสระ X ที่สัมพันธ์กับ Y มาที่สุดโดยพิจารณาสถิติทดสอบ t หรือ F (เนื่องจากสถิติทดสอบ t และ F จะใช้ผลการทดสอบเหมือนกันสำหรับสมการความถดถอยอย่างง่าย) ในการทดสอบ

$$H_0 : \beta_1 = 0 \text{ .vs. } H_1 : \beta_i ; \; i = 1, 2, \ldots k$$

ผลการทดสอบ

1. ยอมรับ $H_0$ ทุกค่าของ i แสดงว่าไม่มีตัวแปรอิสระตัวใดที่มีความสัมพันธ์กับ Y จึงไม่ต้องทำต่อไป
2. ปฏิเสธ $H_0$ สำหรับบางค่าของ i แสดงว่ามี $X_i$ บางตัวที่มีความสัมพันธ์กับ Y ดังนั้น จะเลือกตัวแปรอิสระ X ที่มีความสัมพันธ์กับ Y มากที่สุดเข้าสมการความถดถอยแล้วจึงทำการเลือกตัวแปรอิสระตัวต่อไปโดยวิธีการเดียวกัน นั่นคือจากตัวแปรอิสระที่เหลือจะเลือกตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับ Y อย่างมีนัยสำคัญสูงสุดเข้าสมการความถดถอย ทำเช่นนี้จนกระทั่งไม่มีตัวแปรอิสระตัวใดที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับตัวแปรตาม แสดงว่ามีสมการได้เป็นสมการความถดถอยที่เหมาะสม

2.5.6.5. Stepwise Regression

เป็นวิธีเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการความถดถอยโดยใช้หลักเกณฑ์ของทั้งวิธี Backward Elimination และ วิธี Forward Selection รวมกัน นั่นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 1 จะใช้เกณฑ์ของ Forward โดยการเลือกตัวแปรอิสระ 1 ตัว ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญมากที่สุดเข้าสมการ โดยเลือกตัวแปรที่มีค่าสถิติทดสอบ t ที่มากที่สุด หรือมี Sig T ต่ำสุด เช่นเลือกได้ $X_1$

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + e \qquad (2.22.)$$

ขั้นที่ 2 ใช้เกณฑ์ของ Backward และ Forward นั่นคือจากตัวแปรอิสระที่เหลือ k – 1 ตัว เลือกตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญมากที่สุดเข้าสมการ เช่นได้ $X_2$ สมการถดถอยจะเป็น

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + e \qquad (2.23.)$$

ในขณะเดียวกัน เมื่อนำ $X_2$ เข้าสมการแล้ว ถ้า $X_1$ และ $X_2$ มีความสัมพันธ์กันจะทำให้ค่า $\beta_1$ เปลี่ยนไป จึงต้องทำการทดสอบโดยใช้สถิติทดสอบ t ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ $X_1$ และ Y กับ $X_2$ ใหม่ ซึ่งอาจจะต้องมีการตัดตัวแปรอิสระ $X_1$ ออกไป เนื่องจากยอมรับ $H_0 : \beta_1 = 0$

ขั้นต่อไปจะทำซ้ำขั้นที่ 2 คือ เลือกตัวแปรอิสระที่เหลือเข้าสมการ ในขณะเดียวกันอาจจะต้องตัดตัวแปรอิสระที่อยู่ในสมการอยู่แล้วออกไปจนกระทั่งไม่มีตัวแปรอิสระตัวใดที่ควรนำเข้าสมการ หรือไม่มีตัวแปรอิสระตัวใดที่ควรถูกตัดออกจากสมการจึงหยุด แล้วจะได้สมการความถดถอยที่เหมาะสม

**2.5.7. การประมาณค่าพารามิเตอร์ของสมการความถดถอยเชิงพหุ โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด** (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2550, [5])

จากสมการความถดถอย ซึ่งมีพารามิเตอร์ k + 1 ตัว คือ $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_k$ การประมาณค่า $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_k$ จะต้องใช้ข้อมูลตัวอย่างของตัวแปร $Y, X_1, X_2, \ldots, X_k$ โดยใช้ตัวอย่างขนาด n จากสมการความถดถอยเชิงพหุ

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \ldots + \beta_k X_{ki} + e_i \qquad (2.24.)$$

จะประมาณค่า Y หรือประมาณสมการที่ (2.23.) ด้วยสมการที่ (2.24.)

$$\hat{Y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_{1i} + \hat{\beta}_2 X_{2i} + \ldots + \hat{\beta}_k X_{ki} \qquad (2.25.)$$

หรือ
$$\hat{Y}_i = a + b_1 X_{1i} + b_2 X_{2i} + \ldots + b_k X_{ki} \qquad (2.26.)$$

โดยที่
$$\hat{\beta}_0 = a \; \hat{\beta}_1 = b_1 \; \hat{\beta}_2 = b_2 \; , \; \hat{\beta}_k = b_k$$

ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า $Y_i$ ด้วย $\hat{Y}_i$ คือ $Y_i - \hat{Y}_i = e_i$ (สมการ 2.24. – 2.25.)

การประมาณค่า $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_k$ ด้วยค่า $a, b_1 b_2, \ldots, b_k$ ตามลำดับนั้นยังคงมีเป้าหมายเหมือนกับความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย คือ เพื่อทำให้ผลบวกของค่าคลาดเคลื่อนยกกำลังสองมีค่าน้อยที่สุด โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด นั่นคือหาค่า $a, b_1 b_2, \ldots, b_k$ ที่ทำให้ $\sum_{i=0}^{n} e_i^2 = \sum_{i=0}^{n} (Y_i - \hat{Y}_i)^2$ มีค่าต่ำสุด

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่มีตัวแปรอิสระ 2 ตัว ($X_1X_2$) ที่มีความสัมพันธ์กับ Y สมการความถดถอย คือ

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + e_i \qquad (2.27.)$$

ค่าประมาณของ $Y_i$ คือ $\quad \hat{Y}_i = a + b_1 X_{1i} + b_2 X_{2i} \qquad (2.28.)$

และความคลาดเคลื่อน $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$ ต้องการ $\min \sum_{i=0}^{n} e_i^2 = \min \sum_{i=0}^{n} (Y_i - \hat{Y}_i)^2$ จึงใช้อนุพันธ์เชิงส่วน (Partial Derivative) เทียบกับ a , $b_1$ และ $b_2$ แล้วให้เท่ากับศูนย์ดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial a}\left[\sum_{i=0}^{n}(Y_i - \hat{Y}_i)^2\right] = \frac{\partial}{\partial a}\left[\sum_{i=0}^{n}(Y_i - a - b_1 X_{1i} - b_2 X_{2i})^2\right]$$

$$= -2\sum_{i=0}^{n}(Y_i - a - b_1 X_{1i} - b_2 X_{2i}) = 0$$

หรือ $\quad -2\sum_{i=0}^{n} Y_i + 2na + 2b_1 \sum_{i=0}^{n} X_{1i} + 2b_2 \sum_{i=0}^{n} X_{2i} = 0$

$$na + b_1 \sum_{i=0}^{n} X_{1i} + b_2 \sum_{i=0}^{n} X_{2i} = 0 \qquad (2.29.)$$

$$\frac{\partial}{\partial b_1}\left[\sum_{i=0}^{n}(Y_i - \hat{Y}_i)^2\right] = \frac{\partial}{\partial b_1}\left[\sum_{i=0}^{n}(Y_i - a - b_1 X_{1i} - b_2 X_{2i})^2\right]$$

$$= -2X_{1i}\sum_{i=0}^{n}(Y_i - a - b_1 X_{1i} - b_2 X_{2i}) = 0$$

หรือ $\quad -2\sum X_{1i}Y_i + 2a\sum X_{1i} + 2b_1 X_{1i}^2 + 2b_2 \sum X_{1i}X_{2i} = 0$

$$a\sum X_{1i} + b_1 \sum X_{1i}^2 + b_2 \sum X_{1i}X_{2i} = \sum X_{2i} Y_i \qquad (2.30.)$$

ในทำนองเดียวกัน $\quad \frac{\partial}{\partial b_2}\left[\sum_{i=0}^{n}(Y_i - \hat{Y}_i)^2\right] = 0$ จะได้

$$-2\sum X_{2i}Y_i + 2a\sum X_{2i} + 2b_1 \sum X_{1i}X_{2i} + 2b_2 \sum X_{2i}^2 = 0$$

$$a\sum X_{2i} + b_1 \sum X_{1i}X_{2i} + b_2 \sum X_{1i}^2 = \sum X_{2i} Y_i \qquad (2.31.)$$

สมการ 2.29. , 2.30. และ 2.31. เรียกว่าชุดของสมการปกติ ดังนี้

$$\left.\begin{aligned} na + b_1 \sum X_{1i} + b_2 \sum X_{2i} &= \sum Y_i \\ a\sum X_{1i} + b_1 \sum X_{1i}^2 + b_2 \sum X_{1i}X_{2i} &= \sum X_{1i}Y_i \\ a\sum X_{2i} + b_1 \sum X_{1i}X_{2i} + b_2 \sum X_{2i}^2 &= \sum X_{2i}Y_i \end{aligned}\right\} \qquad (2.32.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การคำนวณหาค่า a ,$b_1$ และ $b_2$ อาจทำได้ 3 วิธีดังนี้**

2.5.7.1. <u>การหาค่า a, $b_1$ และ $b_2$ จากชุดของสมการปกติ 3 สมการ (สมการ 2.32.)</u>

ทำได้โดยการแทนค่า $\sum X_{1i}, \sum X_{2i}, \sum X_{1i}^2, \sum X_{2i}^2, \sum X_{1i}X_{2i}$ ในชุดสมการปกติแล้วจึงหาค่า a, $b_1$ และ $b_2$ ได้โดยแก้สมการปกติ 3 สมการ

2.5.7.2. <u>ใช้เมตริกซ์</u>

ในกรณีที่ $k \geq 2$ การคำนวณหาค่า a, $b_1$, $b_2$, ..., $b_k$ จากชุดของสมการปกติ k + 1สมการอาจจะยุ่งยาก ดังนั้นอาจเขียนชุดสมการปกติ (สมการ 2.25.) ในรูปของเมตริกซ์ ในกรณีที่ k = 2 ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} n & \sum X_1 & \sum X_2 \\ \sum X_1 & \sum X_1^2 & \sum X_1X_2 \\ \sum X_2 & \sum X_1X_2 & \sum X_2^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum Y \\ \sum X_1Y \\ \sum X_2Y \end{bmatrix} \qquad (2.33.)$$

หรือใช้สัญลักษณ์ $$X'Xb = X'Y \qquad (2.34.)$$

โดยที่เมตริกซ์ $$X = \begin{bmatrix} 1X_{11}X_{21} \\ 1X_{12}X_{22} \\ \vdots \ \vdots \ \vdots \\ 1X_{1n}X_{2n} \end{bmatrix} \qquad b = \begin{bmatrix} a \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}$$

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}$$

$$X'X = \begin{bmatrix} n & \sum X_1 & \sum X_2 \\ \sum X_1 & \sum X_1^2 & \sum X_1X_2 \\ \sum X_2 & \sum X_1X_2 & \sum X_2^2 \end{bmatrix}_{(k+1)x(k+1)}$$

$$X'Y = \begin{bmatrix} \sum Y \\ \sum X_1Y \\ \sum X_2Y \end{bmatrix}_{(k+1)x1} \quad \text{และ} \quad b = \begin{bmatrix} a \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = (X'X)^{-1}X'Y$$

กรณีที่มีตัวแปรอิสระในสมการความถดถอยเพียงตัวเดียวคือ X จะได้

เวคเตอร์ $X = \begin{bmatrix} 1 & X_1 \\ 1 & X_2 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & X_n \end{bmatrix}$ $b = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}$ $\therefore X'X = \begin{bmatrix} n & \sum X \\ \sum X & \sum X^2 \end{bmatrix}$

$$b = (X'X)^{-1}X'Y \qquad (2.35.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้นไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ $$b = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n & \sum X \\ \sum X & \sum X^{-2} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum Y \\ \sum XY \end{bmatrix}$$

ในรูปทั่ว ๆ ไป ถ้าเมตริกซ์ $A = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$

จะได้ $$A^{-1} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{d}{D} & -\frac{b}{D} \\ -\frac{c}{D} & \frac{a}{D} \end{bmatrix}$$

โดยที่ D เป็นดีเทอร์มิแนนท์ของเมตริกซ์ A และ $D = ad - bc$

**กรณีที่มีตัวแปรอิสระในสมการความถดถอย 2 ตัว คือ $X_1$ และ $X_2$**

$$X = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{21} \\ 1 & X_{12} & X_{22} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & X_{1n} & X_{2n} \end{bmatrix} \qquad b = \begin{bmatrix} a \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}$$

ดังนั้นเมตริกซ์ X'X จะมีขนาด 3 x 3 โดยที่

$$X'X = \begin{bmatrix} n & \sum X_1 & \sum X_2 \\ \sum X_1 & \sum X_1^2 & \sum X_1 X_2 \\ \sum X_2 & \sum X_1 X_2 & \sum X_2^2 \end{bmatrix} \qquad X'Y = \begin{bmatrix} \sum Y \\ \sum X_1 Y \\ \sum X_2 Y \end{bmatrix}$$

จากสมการ 2.27. จะได้

$$\therefore b = \begin{bmatrix} a \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n & \sum X_1 & \sum X_2 \\ \sum X_1 & \sum X_1^2 & \sum X_1 X_2 \\ \sum X_2 & \sum X_1 X_2 & \sum X_2^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum Y \\ \sum X_1 Y \\ \sum X_2 Y \end{bmatrix}$$

การคำนวณหาเมตริกซ์ผกผันของเมตริกซ์ X'X กรณีที่ $k \geq 2$ ค่อนข้างจะยุ่งยาก ดังนั้นในการหาเมตริกซ์ผกผันของเมตริกซ์ X'X กรณีที่ k = 2 ในรูปสูตรสำเร็จดังนี้

ถ้าให้ $$X'X = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & k \end{bmatrix}$$

จะได้ $$(X'X)^{-1} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & k \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} A & B & C \\ D & E & F \\ G & H & K \end{bmatrix}$$

โดยที่ $$A = \frac{(ek-fh)}{z} \; ; \; B = -\frac{(bk-ch)}{z} \; ; \; C = \frac{(bf-ce)}{z}$$

$$D = \frac{(dk-fg)}{z} \; ; \; E = -\frac{(bk-ch)}{z} \; ; \; F = \frac{(af-cd)}{z}$$

$$G = \frac{(dh-eg)}{z} \; ; \; H = -\frac{(bk-ch)}{z} \; ; \; K = \frac{(ae-bd)}{z}$$

และ Z เป็นดีเทอร์มิแนนท์ของเมตริกซ์ X'X โดยที่ $Z = a(ek - fh) - b(dk - fg) + c(dg - eg)$

ดังนั้น $$\begin{bmatrix} a \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B & C \\ D & E & F \\ G & H & K \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sum Y \\ \sum X_1 Y \\ \sum X_2 Y \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.7.3. <u>การหาค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยโดยใช้วิธีลัด</u>

วิธีนี้จะใช้ค่า $X_1$, $X_2$ และ Y กรณีที่มีตัวแปรอิสระในสมการความถดถอย 2 ตัวที่เบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย โดยกำหนดให้

$$y = Y - \bar{Y}$$
$$x_1 = X_1 - \bar{X}_1$$
และ $$x_2 = X_2 - \bar{X}_2$$

ซึ่งทำให้

$$\left.\begin{aligned} \sum Y &= \sum Y - \bar{Y} = \sum Y - n\bar{Y} = 0 \\ \sum X_1 &= \sum X_1 - \bar{X}_1 = \sum X_1 - n\bar{X}_1 = 0 \\ \sum X_2 &= \sum X_2 - \bar{X}_2 = \sum X_2 - n\bar{X}_2 = 0 \end{aligned}\right\} \quad (2.36.)$$

จากชุดสมการปกติ (สมการ 2.36.) ซึ่งมี 3 สมการแทนค่า $(X_1 - \bar{X}_1)$, $(X_2 - \bar{X}_2)$ และ $(Y - \bar{Y})$ ด้วย $x_1$, $x_2$ และ y ตามลำดับ และจากเงื่อนไขของชุดสมการ 2.35 จะทำให้ชุดสมการปกติเหลือเพียง 2 สมการคือ

$$b_1 \sum x_1^2 + b_2 \sum x_1 x_2 = \sum x_1 y \quad (2.37.)$$

$$b_1 \sum x_1 x_2 + b_2 \sum x_1^2 = \sum x_2 y_1 \quad (2.38.)$$

โดยที่

$$\left.\begin{aligned} \sum x_1^2 &= \sum (X_1 - \bar{X}_1)^2 = \sum X_1^2 - n\bar{X}_1^2 \\ \sum x_1 y &= \sum (X_1 - \bar{X}_1)(Y - \bar{Y}) = \sum X_1 Y - n\bar{X}_1 \bar{Y} \\ \sum x_2^2 &= \sum (X_2 - \bar{X}_2)^2 = \sum X_2^2 - n\bar{X}_2^2 \\ \sum x_1 x_2 &= \sum (X_1 - \bar{X}_1)(X_2 - \bar{X}_2) = \sum X_1 X_2 - n\bar{X}_1 \bar{X}_2 \\ \sum x_2 y &= \sum (X_2 - \bar{X}_2)(Y - \bar{Y}) = \sum X_2 Y - n\bar{X}_2 \bar{Y} \end{aligned}\right\} \quad (2.39.)$$

ดังนั้นเมื่อแทนค่า $\sum x_1^2, \sum x_1 y, \sum x_2^2, \sum x_1 y_2, \sum x_2 y$ ลงในสมการ 2.37. – 2.38. จะทำให้สามารถคำนวณหาค่า $b_1$ และ $b_2$ ได้ แล้วจึงหาค่า a ได้จากสมการ

$$a = Y - b_1 \bar{X}_1 - b_2 \bar{X}_2 \quad (2.40.)$$

**2.5.8. ความหมายของสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน** (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551, [3])

ถ้ามีตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม (Y) 3 ตัวคือ $X_1$, $X_2$ และ $X_3$ สมการความถดถอยเชิงพหุคือ $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + e$

ค่าประมาณของ Y คือ $$\hat{Y} = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 \quad (2.41.)$$

จากสมการ 2.33. ค่าประมาณของ $\beta_0$, $\beta_1$, และ $\beta_3$ คือ a, $b_1$, $b_2$ และ $b_3$ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ a คือ ส่วนหรือระยะตัดแกน Y ซึ่งเมื่อกำหนดให้ $X_1 = X_2 = X_3 = 0$

$b_1$, $b_2$ และ $b_3$ เป็นค่าประมาณของสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน ซึ่งมีหน่วยเหมือน Y และมีความหมายดังนี้

- $b_1$ เป็นค่าที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง Y และ $X_1$ หมายถึง ถ้า $X_1$ เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะทำให้ Y เปลี่ยนไป $b_1$ หน่วย (ขึ้นอยู่กับเครื่องหมายของ $b_1$) โดยที่กำหนดให้ตัวแปรอิสระอื่นๆ คือ $X_2$ และ $X_3$ มีค่าคงที่
- $b_2$ เป็นค่าซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Y และ $X_2$ หมายถึงถ้า $X_2$ เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะทำให้ Y เปลี่ยนไป $b_3$ หน่วย โดยควบคุมให้ $X_1$ และ $X_2$ มีค่าคงที่

**2.5.9. การทดสอบสมการความถดถอยเชิงพหุ** (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551, [2])

<u>ขั้นที่ 1</u> การตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระทุกตัวพร้อมกัน จะใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกทางเดียว (1-way ANOVA) จากสมการความถดถอยเชิงพหุ $Y = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \ldots + \beta_kX_k + e$ ค่าแปรปรวนของ Y = ค่าแปรปรวนที่เกิดจากอิทธิพลของ $X_1, X_2, \ldots, X_k$ + ค่าแปรปรวนอย่างสุ่ม หรือ

$$SST = SSR + SSE \qquad (2.42.)$$

โดยที่ SST ( Sum Square of Total ) คือค่าแปรปรวนของ Y = $\sum_{i=1}^{n} (Y_i - \bar{y})^2$

SSR ( Sum Square of Regression ) คือ ค่าแปรปรวนของ Y เนื่องจากอิทธิพลของ $X_1, \ldots, X_k$

SSR (Sum Square of Error or Sum Square of Residual) คือ ค่าแปรปรวนของ Y เนื่องจากอิทธิพลอื่นๆ หรือเรียกว่าค่าแปรปรวนอย่างสุ่ม = $\sum_{i=1}^{n} (Y_i - \bar{y})^2$

**ตารางที่ 2.1. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ**

| แหล่งแปรปรวน (SV) | องศาอิสระ (DF) | ผลบวกกำลังสอง (SS) | ผลบวกกำลังสองเฉลี่ย (MS) | F |
|---|---|---|---|---|
| ความถดถอย (Regression) | k | SSR | MSR = SSR/k | $\frac{MSR}{MSE}$ |
| ความคลาดเคลื่อน (Error) หรือ Residual | n-k-1 | SSE | MSE = SSE/(n-k-1) | |
| ผลรวม (Total) | n-1 | SST | | |

จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะใช้ในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่าง Y และ $X_1, X_2, \ldots, X_k$ โดยตั้งสมมติฐานไว้ดังนี้

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \ldots \beta_k = 0$

$H_1$ : มี $\beta_i$ อย่างน้อย 1 ค่าที่ $\neq 0$ ; i =1,2, ...,k

หรือ $H_0$ : ตัวแปรตามไม่ขึ้นกับตัวแปรอิสระทั้ง k ตัว

$H_1$ : ตัวแปรตามขึ้นกับตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถิติทดสอบ $F = \frac{MSR}{MSE}$

เขตปฏิเสธ จะปฏิเสธสมมติฐาน $H_0$ ถ้า $F > F_{k,n-k-1;1-\alpha}$

หรือ Significance ของสถิติทดสอบ $F < \alpha$

ผลของการทดสอบสมมติฐานอาจจะเป็น

ก. ยอมรับสมมติฐาน $H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \ldots \beta_k = 0$ ซึ่งสรุปได้ว่า Y ไม่มีความสัมพันธ์กับ X ทั้ง k ตัว ( $X_1, X_2, \ldots, X_k$) ในรูปเชิงเส้น

ข. ปฏิเสธสมมติฐาน $H_0$ ซึ่งสรุปได้ว่า มี $X_i$ อย่างน้อย 1 ตัว ที่มีความสัมพันธ์กับ Y ในรูปเชิงเส้น จึงต้องทดสอบต่อไปว่า $X_i$ ตัวใดที่มีความสัมพันธ์กับ Y โดยใช้สถิติทดสอบ t

ขั้นที่ 2 การตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระทีละตัว

$H_0$ : ตัวแปรตามไม่ขึ้นกับตัวแปรอิสระตัวที่ i ; i = 1, 2, ...,k

$H_1$ : ตัวแปรตามขึ้นกับตัวแปรอิสระตัวที่ i

สถิติทดสอบ T-test และต้องทดสอบทั้งหมด k ครั้ง

**สรุปขั้นตอนการทดสอบความสัมพันธ์**

ในการทดสอบเกี่ยวกับค่า $\beta_i$ เมื่อมีตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัว จะมี 2 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 $H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \ldots \beta_k = 0$

$H_1$ : มี $\beta_i$ อย่างน้อย 1 ค่าที่ $\neq 0$ ; i =1, 2, ..., k

การทดสอบจะใช้ F-test จากตาราง ANOVA

- ถ้ายอมรับสมมติฐาน $H_0$ จะสรุปได้ว่า $X_1, X_2, \ldots, X_k$ ไม่มีความสัมพันธ์กับ Y
- ถ้าปฏิเสธสมมติฐาน $H_0$ จะสรุปได้ว่ามี $X_i$ อย่างน้อย 1 ตัว ที่มีความสัมพันธ์กับ y จึงต้องทดสอบต่อในขั้นที่ 2 ว่ามี x ตัวใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กับ y

ขั้นที่ 2

สมมติฐาน $H_0 : \beta_i = 0$

$H_1 : \beta_i \neq 0$ ; i =1, 2, ..., k

สถิติทดสอบ $t = \frac{b_i - 0}{S_{b_i}}$ หรือใช้สถิติทดสอบ Z ถ้า n มีค่ามาก

เขตปฏิเสธสมมติฐาน $H_0$

จะปฏิเสธสมมติฐาน $H_0$ เมื่อ $t > t_{1-\alpha/2\,;\,n-k-1}$ หรือกล่าวว่าจะปฏิเสธ $H_0$ ถ้า $|t| > t_{1-\alpha/2\,;\,n-k-1}$ หรือ Significance ของสถิติ t < ระดับนัยสำคัญที่กำหนด ($\alpha$)

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.2. รูปการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์ความถดถอย $\beta_i$ ในขั้นที่ 2**

| | การทดสอบแบบด้านเดียว | | การทดสอบแบบสองด้าน |
|---|---|---|---|
| **สมมติฐาน** | $H_0 : \beta_i \leq 0$<br>$H_1 : \beta_i > 0$ | $H_0 : \beta_i \geq 0$<br>$H_1 : \beta_i < 0$ | $H_0 : \beta_i = 0$<br>$H_1 : \beta_i \neq 0$ |
| **สถิติทดสอบ** | $t = b_i / S_{bi}$ | | $t = b_i / S_{bi}$ |
| **เขตปฏิเสธ $H_0$** | $t > t_{1-\alpha ; n-k-1}$<br>หรือ 1. $\frac{Sig.}{2} < \alpha$<br>และ 2. $t > 0$ | $t < -t_{1-\alpha/2 ; n-k-1}$<br>หรือ 1. $\frac{Sig.}{2} < \alpha$<br>และ 2. $t < 0$ | $\lvert t \rvert > t_{1-\alpha/2 ; n-k-1}$<br>หรือ Sig ของ $t < \alpha$ |

**2.5.10. การประมาณค่าคลาดเคลื่อนของความถดถอย (Estimation of Standard Deviation of Regression)** (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2550, [5])

การประมาณค่าคลาดเคลื่อนของความถดถอย หรือเรียกกันว่าการประมาณค่าแปรปรวนของการประมาณความคลาดเคลื่อนซึ่งเกิดจากการพยากรณ์หรือประมาณค่า Y ด้วย $\hat{Y}$ คือ e ในกรณีที่มีตัวแปรอิสระ k ตัว จะได้ค่าแปรปรวนของการประมาณคือ

$$S_e^2 = S_{Y.12...k}^2 = S^2$$

โดยที่

$$S^2 = \frac{SSE}{n-k-1} = \frac{\sum_{i=0}^{n}(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-k-1} \qquad (2.43.)$$

ดังนั้น ความคลาดเคลื่อนหรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าประมาณ คือ

$$S^2 = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{SSE}{n-k-1}} = \sqrt{MSE} \qquad (2.44.)$$

ในกรณีที่มีตัวแปรอิสระ 2 ตัวคือ X1 และ X2 (k = 2)

$$S^2 = \frac{\sum_{i=0}^{n}(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-2-1} = MSE \qquad (2.45.)$$

**2.5.11. การประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ $b_i$ สัมประสิทธิ์ความถดถอย** (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2550, [5])

ในการประมาณค่า $\beta_i$ ด้วยค่า $b_i$ แบบช่วงนั้น เราจะร้องทราบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ $b_i : i = 1, 2, \ldots, k$ โดยที่ค่าแปรปรวนของ $b_i$ คือ $(b) = S^2(b) = (X'X)^{-1}S^2$

ในกรณีที่ $k = 2$ หรือมีตัวแปรอิสระ 2 ตัว คือ $X_1$ และ $X_2$

$$\therefore b = \begin{bmatrix} a \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} \quad S_b^2 = \begin{bmatrix} S_a^2 & S_{a.b_1} & S_{a.b_2} \\ S_{a.b_1} & S_{b_1}^2 & S_{b_1.b_2} \\ S_{a.b_2} & S_{b_2.b_2} & S_b^2 \end{bmatrix} \qquad (2.46.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ $b_i$ คือ

$$S_{b1} = \sqrt{S_{b_1}^2} = \frac{s}{\sqrt{\sum x_1^2(1-r_{12}^2)}} \quad (2.47.)$$

$$S_{b2} = \sqrt{S_{b_2}^2} = \frac{s}{\sqrt{\sum x_2^2(1-r_{12}^2)}} \quad (2.48.)$$

โดยที่ $x_i = (x_{ij} - \bar{X}_i)$

$r_{12}$ = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่าง $X_1$ และ $X_2$

และ $r_{12} = \frac{\sum x_1 x_2}{\sqrt{(\sum x_1^2)(\sum x_2^2)}}$ (2.49.)

**2.5.12. สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงซ้อน (Multiple Coefficient of Determination: $R^2$ หรือ $r^2$)** (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2550, [5])

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงซ้อนเป็นสัดส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ที่ตัวแปรอิสระ ($X_1, X_2, \ldots, X_k$) สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของ Y ได้ หรือกล่าวได้ว่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงซ้อนเป็นสัดส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ของความผันแปร Y ที่มีสาเหตุเนื่องจากความผันแปรของ $X_1, X_2, \ldots$ และ $X_k$ โดยที่สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงซ้อนจะให้สัญลักษณ์ $R^2_{Y.123\ldots k}$ แต่โดยทั่วไปจะใช้ $R^2$

$$r^2 = R^2 = \frac{\text{ความผันแปร Y เนื่องจากอิทธิพลของ } X_1, X_2, \ldots, X_k}{\text{ความผันแปรทั้งหมด}}$$

$$= SSR / SST$$

หรือ $r^2 = R^2 = (SST - SSE)/SST = 1 - SSR / SST$ (2.50.)

โดยที่ $0 \le R^2, r^2 \le 1$

ถ้าค่า $R^2$ ที่ใกล้ 1 จะหมายถึง $X_1, X_2, \ldots, X_k$ มีความสัมพันธ์กับ Y มาก แต่ถ้า $R^2$ เข้าใกล้ศูนย์ หมายถึงค่า $X_1, X_2, \ldots, X_k$ มีความสัมพันธ์กับ Y น้อย

เนื่องจาก SSR จะเพิ่มขึ้นถ้าตัวแปรอิสระ เช่น เดิมมี $X_1$ และ $X_2$ ที่มีความสัมพันธ์กับ Y แต่ถ้าเพิ่มตัวแปรอิสระ $X_3$ เข้าในสมการความถดถอย จะได้ว่า

$$SSR(X_1, X_2, X_3) > SSR(X_1, X_2)$$

โดยที่ $SSR(X_1, X_2, X_3)$ หมายถึง SSR ของสมการความถดถอยที่มีตัวแปรอิสระ $X_1, X_2$ และ $X_3$

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + e \quad (2.51.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ $SSR(X_1, X_2)$ หมายถึง SSR ของสมการความถดถอยที่มีตัวแปรอิสระ $X_1, X_2$

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + e \quad (2.52.)$$

ดังนั้นเมื่อเพิ่มตัวแปรอิสระเข้าสมการความถดถอยจะทำให้ค่า $R^2$ มากขึ้นทั้งที่ตัวแปรอิสระ X ที่เพิ่มขึ้นอาจจะไม่มีความสัมพันธ์กับ Y เลยก็ได้ จึงมีการปรับค่า $R^2$ ให้ถูกต้องขึ้น เรียกว่า Adjusted $R^2$

โดยที่ $R_a^2$ = Adjusted $R^2$

$$R_a^2 = 1 - \frac{SSE/(n-k-1)}{SST/(n-1)} \quad (2.53.)$$

หรือ $$R_a^2 = 1 + \frac{(n-1)}{(n-k-1)}(R^2 - 1)$$

**2.5.13. สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงซ้อน (Multiple Coefficients Of Correlation)** (กัลยา วา-นิชย์บัญชา, 2550, [5])

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงซ้อน ได้จากการถอดรากที่สองของสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงซ้อน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงซ้อน = $R_{Y.123...k} = R = \sqrt{R^2_{Y.12...k}}$ โดยที่ $0 \le R \le 1$

โดยที่สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงซ้อนแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ $X_1, X_2, \ldots, X_k$ ดังนี้

1. R มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ แสดงว่า Y มีความสัมพันธ์กับ $X_1, X_2, \ldots, X_k$ น้อยมาก และถ้า R = 0 แสดงว่า Y ไม่มีความสัมพันธ์กับ $X_1, X_2, \ldots, X_k$ เลย
2. R มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่า Y มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระทั้ง k ตัวมีมาก

**2.5.14. สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงส่วน (Coefficients of Partial Correlation)** (กัลยา วานิชย์-บัญชา, 2550, [5])

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงส่วนเป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ X ตัวใดตัวหนึ่งโดยให้ X ตัวอื่นๆ มีค่าคงที่ เช่นถ้า X ความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระ 3 ตัว $(X_1, X_2, X_3)$

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงส่วนระหว่าง Y กับ $X_i$ โดยกำหนดให้ $X_j$ และ $X_k$ คงที่ $(i \ne j \ne k)$ จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ $X_i$ จริงๆ โดยกำจัดอิทธิพลของ $X_j$ และ $X_k$

<u>สัญลักษณ์ของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงส่วนที่ใช้คือ</u>

$r_{Y1.23}$ = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงส่วนระหว่าง Y กับ $X_1$ โดยกำหนดให้ $X_2$ และ $X_3$ มีค่าคงที่ เป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ $X_1$ โดยให้ $X_2$ และ $X_3$ มีค่าคงที่ จึงเป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ $X_1$ เท่านั้น มิใช่ความสัมพันธ์ของ $X_2$ และ $X_3$ กับ Y

$r_{Y2.13}$ = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงส่วนระหว่าง Y กับ $X_2$ โดยกำหนดให้ $X_1$ และ $X_3$ มีค่าคงที่

$r_{Y2.13}$ = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงส่วนระหว่าง Y กับ $X_3$ โดยกำหนดให้ $X_1$ และ $X_2$ มีค่าคงที่โดยที่ $-1 \le r_{Y1;jk} \le 1$

การคำนวณหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงส่วนทำได้โดยการใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่ายซึ่งเป็นค่าคงที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>สัญลักษณ์ของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย</u>

$r_{Yi}$ = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร Y กับ $X_i$ เป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ $X_i$

$r_{ij}$ = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร $X_i$ กับ $X_j$ โดยที่ $i \neq j$ เช่น $r_{12}, r_{13}, r_{23}$

2.5.14.1. <u>ถ้ามีตัวแปรอิสระ 2 ตัว คือ $X_1$ และ $X_2$ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม Y</u>

สูตรสำหรับคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรคู่ใดคู่หนึ่งเป็นดังนี้

$$r_{12} = \frac{\sum(X_1-\bar{X}_1)(X_2-\bar{X}_2)}{\sqrt{\sum(X_1-\bar{X}_1)^2\sum(X_2-\bar{X}_2)^2}} = \frac{\sum x_1x_2}{\sqrt{(\sum x_1^2)(\sum x_2^2)}} \quad (2.54.)$$

โดยที่ $x_i = X_i - \bar{X}_i \;; i = 1, 2, y = Y - \bar{Y}$

$$r_{Y1} = \frac{\sum(Y-\bar{Y})(X_1-\bar{X}_1)}{\sqrt{\sum(Y-\bar{Y})^2\sum(X_1-\bar{X}_1)^2}} = \frac{\sum yx_1}{\sqrt{(\sum y^2)(\sum x_1^2)}} \quad (2.55.)$$

$$r_{Y2} = \frac{\sum(Y-\bar{Y})(X_2-\bar{X}_2)}{\sqrt{\sum(Y-\bar{Y})^2\sum(X_2-\bar{X}_2)^2}} = \frac{\sum yx_2}{\sqrt{(\sum y^2)(\sum x_2^2)}} \quad (2.56.)$$

ดังนั้นจึงสามารถคำนวณหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงส่วนได้ดังนี้

$r_{Y1.2}$ = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงส่วนระหว่าง Y กับ $X_1$ เมื่อกำหนดให้ $X_2$ คงที่

$$r_{Y1.2} = \frac{r_{Y1}-r_{Y2}.r_{12}}{\sqrt{(1-r_{Y2}^2)(1-r_{12}^2)}} \quad (2.57.)$$

$r_{Y2.1}$ = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงส่วนระหว่าง Y กับ $X_2$ เมื่อกำหนดให้ $X_1$ คงที่

$$r_{Y2.1} = \frac{r_{Y2}-r_{Y1}.r_{12}}{\sqrt{(1-r_{Y1}^2)(1-r_{12}^2)}} \quad (2.58.)$$

2.5.14.2. <u>กรณีที่มีตัวแปรอิสระ 3 ตัว คือ $X_1, X_2$ และ $X_3$ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม Y</u>

การคำนวณหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ $X_1$, Y กับ $X_2$, Y กับ $X_3$, $X_1$ กับ $X_2$, $X_1$ กับ $X_2$, $X_1$ กับ $X_3$, $X_2$ กับ $X_3$ ทำได้โดยใช้สูตรสหสัมพันธ์อย่างง่าย

ส่วนการคำนวณหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงส่วน $r_{Y1.23}, r_{Y2.13}, r_{Y3.12}$ ทำได้ดังนี้

$r_{Y1.23}$ = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงส่วนระหว่าง Y กับ $X_1$ โดยกำหนดให้ $X_2$ และ $X_3$ มีค่าคงที่

$$\left.\begin{aligned} r_{Y1.23} &= \frac{r_{Y1.3}-r_{Y12.3}.r_{Y2.3}}{\sqrt{(1-r_{12.3}^2)(1-r_{Y2.3}^2)}} \\ r_{Y2.13} &= \frac{r_{Y2.3}-r_{Y12.3}.r_{Y1.3}}{\sqrt{(1-r_{12.3}^2)(1-r_{Y1.3}^2)}} \\ r_{Y3.12} &= \frac{r_{Y3.2}-r_{Y31.2}.r_{Y1.2}}{\sqrt{(1-r_{31.2}^2)(1-r_{Y1.2}^2)}} \end{aligned}\right\} \quad (2.59.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6. การวิเคราะห์ความถดถอยไม่เชิงเส้น (Nonlinear Regression Analysis)

การวิเคราะห์ความถดถอย (Regression Analysis) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวแปรขึ้นไปเมื่อเอ่ยคำว่า "การวิเคราะห์ความถดถอย" โดยทั่วไปจะเป็นที่เข้าใจกันว่าเป็นการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น นั่นคือตัวแปรมีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้น ดังแสดงในสมการ 2.39.

$$Y = \beta_0 X_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \ldots + \beta_K X_K + E \qquad (2.60.)$$

จะพบว่าสมการ 2.60. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Y) กับตัวแปรอิสระ ($X_1, X_2, ., X_K$ ) ในรูปเชิงเส้น และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม Y กับ สัมประสิทธิ์ความถดถอย หรือพารามิเตอร์ $\beta_0, \beta_1, \ldots, \beta_k$ ในรูปเชิงเส้นเช่นกัน ซึ่งมาจากการหาสมการที่เหมาะสมเพื่อประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยและพยากรณ์ค่า Y เมื่อกำหนดค่า $X_1, \ldots, X_k$ สำหรับในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ความถดถอยเมื่อความสัมพันธ์ไม่ได้อยู่ในรูปเชิงเส้นซึ่งมักจะพบมากในงานด้านการแพทย์ วิทยาศาสตร์ ฯลฯ และพบบ้างในงานด้าน สังคมศาสตร์ และการตลาด ฯลฯ

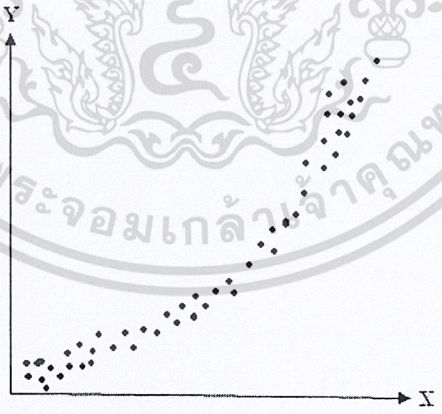
### 2.6.1. รูปแบบของความถดถอยไม่เชิงเส้น (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2548, [6])

การวิเคราะห์ความถดถอยที่ไม่ได้อยู่ในรูปเชิงเส้นนั้นสามารถแบ่งประเภทของรูปแบบ Nonlinear Regression เป็น 2 ประเภทคือ

1. เมื่อตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระในรูปแบบไม่เชิงเส้น เช่น

$$Y = \beta X^2 + E \qquad (2.61.)$$

เมื่อนำสมการที่ (2.61.) ไปพล็อตกราฟ จะได้กราฟดังรูปที่ 2.21.




**รูปที่ 2.21. กราฟความสัมพันธ์ของ X และ Y จากสมการที่ 2.40.**

จากรูปที่ 2.21. จะพบว่า Y และ X มีความสัมพันธ์ในรูป quadratic แต่ถ้าพิจารณาจากสมการ 2.61. จะพบว่าตัวแปรตาม Y สัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์ความถดถอย หรือพารามิเตอร์ $\beta$ ในรูปเชิงเส้น นั่นคือสามารถเขียนสมการ 2.62. เป็น

$$Y = \beta W + E \qquad (2.62.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $W = X^2$ ซึ่งทำให้สมการ 2.62. เป็นสมการเชิงเส้น จึงสามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ $\beta$ โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นได้ตามปกติ

เมื่อตัวเป็นตามกับสัมประสิทธิ์ความถดถอยมีความสัมพันธ์ในรูปไม่เชิงเส้น เช่น

$$Y = e^{\beta x} + E \tag{2.63.}$$

ในกรณีเช่นนี้อาจทำการแปลง (Transform) ให้ความสัมพันธ์ของ Y และ $\beta$ ในรูปเชิงเส้นโดยจะสามารถประมาณค่า take Natural log สมการ 2.63. จะได้สมการ 2.64.

$$\text{In}\,(Y) = \beta X + E \tag{2.64.}$$

จะพบว่าสมการ 2.64. แสดงความสัมพันธ์ของ In(Y) กับ X และ $\beta$ อยู่ในรูปเชิงเส้นโดยจะสามารถประมาณค่า $\beta$ ได้โดยใช้การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นปกติ ถ้าค่าคลาดเคลื่อน (E) เป็นไปตามเงื่อนไข มิฉะนั้นจะต้องใช้วิธี Iteration Algorithm ค่าประมาณที่ได้เป็นค่าประมาณของ In(Y) แต่วัตถุประสงค์คือการประมาณค่า Y ดังนั้นจึงต้องtake Exponential ของ In(Y) คือ exp In(InY) = Y

**2.6.2. เงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอยไม่เชิงเส้น** (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2548, [6])

สำหรับการวิเคราะห์ความถดถอยไม่เชิงเส้นจะมีเงื่อนไขเกี่ยวกับค่าคลาดเคลื่อน (E) ดังนี้

1. E ต้องมีการแจกแจงแบบปกติ หรือ $E - \text{normal}\,(0\,,\,\sigma^2)$
2. $V(E) = \sigma^2$ ต้องคงที่สำหรับแต่ละค่าของ X
3. $E_i$ และ $E_j$ ต้องเป็นอิสระกันและตัวแปรตาม Y มีความสัมพันธ์กับ $\beta$ ในรูปไม่เชิงเส้น

**2.6.3. การแปลงสมการความถดถอยไม่เชิงเส้นให้อยู่ในรูปเชิงเส้น** (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2548, [6])

กรณีที่ Y มีความสัมพันธ์กับ X หรือมีความสัมพันธ์กับ $\beta$ ในรูปไม่เชิงเส้น อาจจะทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรตาม Y เพื่อทำให้สมการใหม่แสดงความสัมพันธ์ของ Y กับ $\beta$ ในรูปเชิงเส้น เช่น

$$E(Y) = \beta_1 e^{-\beta 2x} \tag{2.65.}$$

โดยที่ค่า $\beta_1 > 0$ ทำการ take Natural log สมการ 2.65. จะกลายเป็น

$$\text{In}\,[E(Y)] = \text{In}\,(\beta_1) - \beta_2 X \tag{2.66.}$$

ให้ $\text{In}\,(\beta_1) = A$ และ $-\beta_2 = \beta$ สมการ 2.66. จะกลายเป็น

$$\text{In}\,[E(Y)] = A + \beta X \tag{2.67.}$$

จากสมการ 2.67. จะพบว่า $\text{In}^{[\,E\,(Y)\,]}$ มีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ $\beta$ และ X ในรูปเชิงเส้นจึงสามารถใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความถดถอนเชิงเส้นในการประมาณค่า A และ $\beta$ แล้วจึงหาค่า $E(Y) = e^{\text{In}[\,E(Y)\,]}$

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.3. แสดงตัวอย่างการแปลงความถดถอยไม่เชิงเส้นให้อยู่ในรูปเชิงเส้น**

| สมการไม่เชิงเส้น | สมการเชิงเส้น (ที่แปลงแล้ว ) | การแปลงค่า Y |
|---|---|---|
| $E(Y) = B_1 e^{B2X}$ | $\ln[E(Y)] = \ln(\beta_1) + \beta_2 X = A + \beta X$<br>โดยที่ $A = \ln(\beta_1)$และ$\beta = \beta 2$ | $W = \ln(Y), Y > 0$ |
| $E(Y) = \beta_1^{X}$ | $\ln[E(Y)] = X \ln(\beta_1) = \beta X$<br>โดยที่ $\ln(\beta_1) = \beta$ | $W = \ln(Y), Y > 0$ |
| $E(Y) = \frac{1}{B1-B2}$ | $\ln[\frac{E(Y)}{1-E(Y)}] = A + BX$ | $W = \frac{1}{Y}; Y \neq 0$ |
| $E(Y) = \frac{1}{1+e^{-(A+B)}}$ | $\frac{1}{E(Y)} = \beta_1 - \beta_2 X = A + BX$<br>โดยที่ $A = \beta_1$ และ $-\beta_2 = B$ | $W = \ln(\frac{Y}{1-Y})$<br>โดยที่ $0 < Y < 1$ |

**2.6.4. กรณีที่ไม่สามารถแปลสมการความถดถอยไม่เชิงเส้นให้อยู่ในรูปเชิงเส้นได้** (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2548, [6])

บางครั้งจะไม่สามารถแปลสมการความถดถอยไม่เชิงเส้นให้อยู่ในรูปเชิงเส้นได้ เช่น

$$Y = A + e^{\beta_1 X_1} + e^{\beta 2 X 2} + E \qquad (2.68.)$$

จะพบว่าไม่สามารถแปลงสมการ 2.68. เพื่อทำให้ $X_j$ และ$\beta_j$ มีความสัมพันธ์ในรูปเชิงเส้นได้ จึงต้องประมาณค่า A , $\beta_1$ , $\beta_2$ , $\beta_3$ ด้วย เทคนิคของการวิเคราะห์ความถดถอยไม่เชิงเส้น โดยที่หลักการของการวิเคราะห์ความถดถอยไม่เชิงเส้นจะเหมือนกับของเชิงเส้น คือ ประมาณค่า $\beta$ ที่ทำให้ผลบวกของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสอง ( Sum Square of Error : SSE หรือ SS Residual มีค่าต่ำสุด เพียงแต่ในกรณีของไม่เชิงเส้นจะหาค่า $\beta'$($\beta' = A, \beta_1, \beta_2, \beta_3$) โดยใช้ Iteration Algorithm ซึ่งมีหลายวิธี

**2.6.5. การประมาณค่าเริ่มต้น** (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2548, [6])

ใช้ในการ Iteration Algorithm ประมาณค่า $\beta$ ที่ทำให้ SSE ต่ำสุด ผู้ใช้จะต้องกำหนดค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ทุกตัว ($\beta$ ทุกตัว) ถ้ากำหนดค่าเริ่มต้นไม่ถูกต้อง (ต่างจากค่า $\beta$ ที่ควรจะเป็นมากๆ) อาจจะไม่ได้คำตอบ วิธีการประมาณค่าเริ่มต้นมีหลายวิธี ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะวิธีที่นิยมใช้ 3 วิธี ดังนี้

1. ใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นในการหาค่าเริ่มต้นของค่า โดยจะต้องไม่พิจารณาค่าคลาดเคลื่อน E เช่น

$$Y = e^{A+BX} + E$$

จะได้ $$\ln(Y) = A + BX \qquad (2.69.)$$

จากนั้นประมาณค่า A และ B ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแล้วใช้ค่าดังกล่าวเป็นค่าเริ่มต้นของ A และ B ในการวิเคราะห์ไม่เชิงเส้น

2. ใช้การแทนค่าข้อมูลจริงในสมการไม่เชิงเส้น เช่น $Y = e^{A+BX}$ ถ้าทราบว่า $X = 0, Y = 2$ จะได้ $\ln(Y) = A + BX$ แทนค่า $X = 0$ จะได้ $A = \ln(2)$ เป็นค่าเริ่มต้นของ A

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ใช้วิธีการแก้สมการโดยมีจำนวนสมการเท่ากับจำนวนพารามิเตอร์ เช่น $Y = e^{A + BX}$ ซึ่งมีพารามิเตอร์ 2 ตัว คือ A และ B จึงควรมี 2 สมการ นั่นคือ จะแทนค่า X และ Y จำนวน 2 คู่ จะได้

$$\ln(Y_1) = A + BX_1 \quad (2.70.)$$

$$\ln(Y_2) = A + BX_2 \quad (2.71.)$$

นำสมการ 2.70. ลบออกจากสมการ 2.71. จะได้

$$\ln(Y_1) - \ln(Y_2) = B(X_1 - X_2) \quad (2.72.)$$

$$A = \ln(Y_1) - BX_1 \quad (2.73.)$$

แล้วใช้ค่าจากสมการ 2.73. และ 2.72. เป็นค่าเริ่มต้นของ A และ B ตามลำดับ

**2.6.6. ขั้นตอนการวิเคราะห์ความถดถอยไม่เชิงเส้น** (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2548, [6])

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> : ตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Y) กับตัวแปรอิสระ (X) โดยการพล็อตกราฟว่าความสัมพันธ์จะอยู่ในรูปเชิงเส้นหรือไม่เชิงเส้น

- ถ้าพบว่าความสัมพันธ์อยู่ในรูปเชิงเส้น ให้ใช้การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น
- ถ้าพบว่าความสัมพันธ์อยู่ในรูปไม่เชิงเส้นให้ทำต่อขั้นที่ 2

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> : ตรวจสอบพบว่าฟังก์ชันแสดงความสัมพันธ์ไม่เชิงเส้นอยู่ในรูปแบบใด

**2.6.7. การตรวจสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์ความถดถอย** (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2550, [5])

การที่จะพยากรณ์ค่า Y โดยใช้สมการความถดถอย โดยกำหนดค่า X ได้นั้น ค่าคลาดเคลื่อน (e) จะต้องมีคุณสมบัติตามสมมติฐานที่กล่าวไว้ ถ้าไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่กล่าวไว้ ก็ไม่สามารถนำสมการความถดถอยไปพยากรณ์ค่า Y ได้ ดังนั้นก่อนที่ประมาณหรือพยากรณ์ค่า Y ควรจะต้องตรวจสอบคุณสมบัติทั้ง 4 ข้อที่กำหนดไว้ดังนี้

1. ค่า X ต้องเป็นค่าที่กำหนดไว้ล่วงหน้า ในกรณีนี้สามารถทำได้โดยผู้วิเคราะห์จะต้องเลือกตัวแปรอิสระ X ที่ทราบค่าหรือกำหนดค่าได้
2. e เป็นตัวแปรที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ $E(e) = 0$ และ $V(e) = \sigma^2$

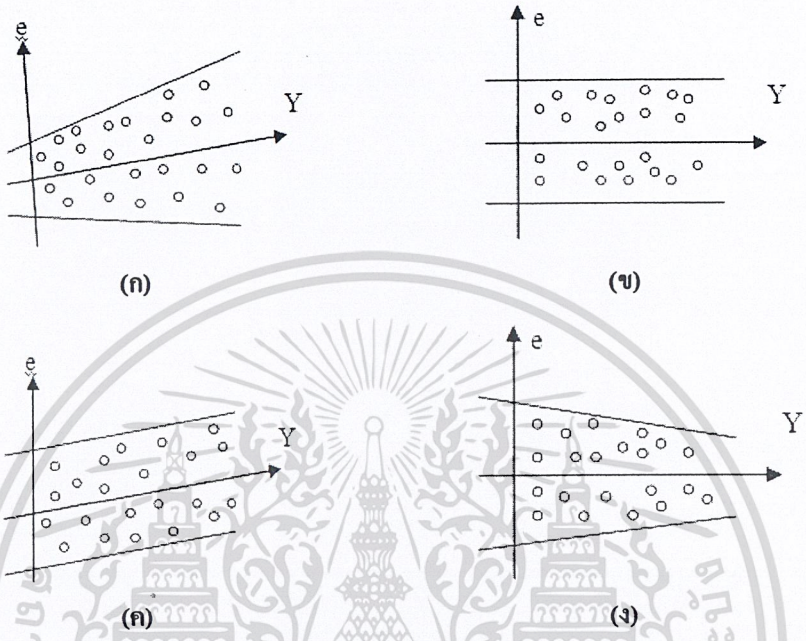
<u>การตรวจสอบว่า $E(e) = 0$</u>

เนื่องจากเราใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดในการประมาณ $\beta_0$ ด้วย a และ $\beta_i$ ด้วย $b_i$ ซึ่งจะทำให้ $\sum e_i = 0$ ดังนั้น $E(e) = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบว่า V(e) = $\sigma^2$

การตรวจสอบว่า V(e) = $\sigma^2$ = ค่าคงที่ จะทำโดยการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง e กับ Y ถ้า V(e) ไม่เท่ากับค่าคงที่จะเรียกว่าเกิดปัญหา Heteroscedastic ดังแสดงในรูปที่ 2.22. (ก) แต่ถ้า V(e) เท่ากับค่าคงที่ ตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ จะเรียกว่า Homoscedastic ดังแสดงในรูปที่ 2.22. (ข) และ 2.22. (ค) และ 2.22. (ง)



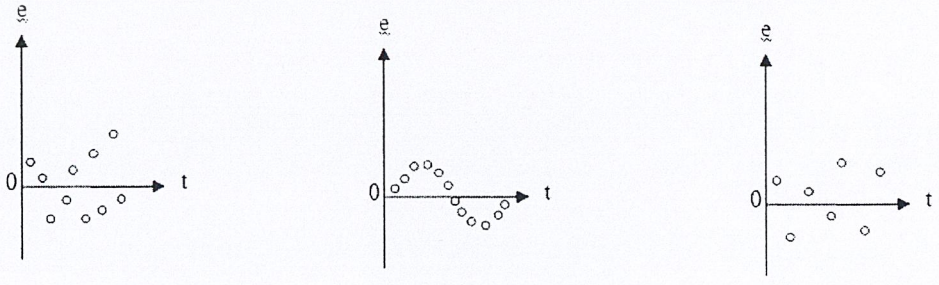

**รูปที่ 2.22. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง e กับ Y**

จากรูปที่ 2.22. (ก) จะพบว่า $\sigma_e^2$ จะมีค่าน้อยเมื่อ $\hat{Y}$ มีค่าน้อย และเมื่อ $\hat{Y}$ มีค่ามาก $\sigma_e^2$ จะมีค่ามากด้วย ในขณะที่รูปที่ 2.22. (ข) และ (ค) ค่า $\sigma_e^2$ จะคงที่เมื่อ Y เปลี่ยนไปส่วนรูปที่ 2.22. (ง) ค่า $\sigma_e^2$ จะมีค่าน้อยเมื่อ Y มีค่ามาก

2.6.7.1. การตรวจสอบ $e_i$ และ $e_j$ เป็นอิสระกัน

การตรวจสอบความเป็นอิสระกันของ $e_i$ และ $e_j$ โดยที่ $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$ และ $e_j = Y_j - \hat{Y}_j$ อาจทำได้ 2 วิธี คือ

1. โดยการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $e_i$ กับ t




**(ก) No Autocorrelation** **(ข) Positive Autocorrelation** **(ค) Negative Correlation**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 2.23. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $e_i$ กับ t**

ถ้า $e_i$ และ $e_j$ มีความสัมพันธ์จะเรียกว่าเกิด Autocorrelation ดังแสดงในรูปที่ 2.23 (ข) และ (ค) โดยรูปที่ 2.23 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $e_i$ และ $e_{t+j}$ ในทางบวกซึ่งเรียกว่าเกิด Positive Autocorrelation ส่วนรูปที่ 2.23 (ค) แสดงความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามหรือทางลบซึ่งเรียกว่า Negative Correlation ส่วนรูปที่ 2.23 (ก) แสดงความเป็นอิสระกันของ $e_i$ และ $e_{t+j}$ ดังนั้นถ้าเขียนกราฟระหว่าง $e_i$ และ t ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.23 (ก) แสดงว่าค่าคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน

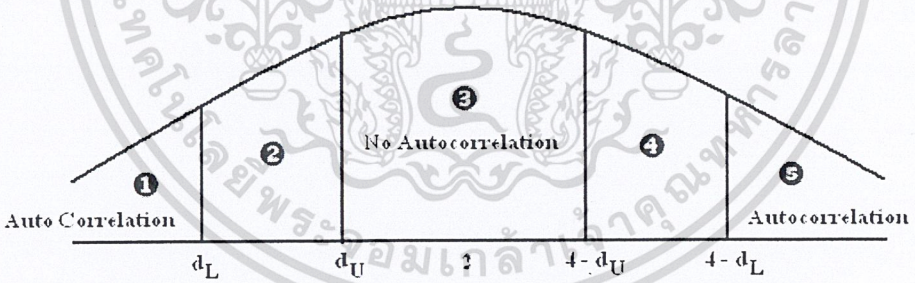
2. ใช้สถิติทดสอบ Durbin – Watson การทดสอบความเป็นอิสระกันของค่าคลาดเคลื่อนเมื่อใช้การทดสอบของ Durbin – Watson เป็นการทดสอบความสัมพันธ์ของ $e_t$ และ $e_{t-1}$ โดยที่ t เป็นช่วงเวลา

$$\text{สถิติทดสอบ Durbin – Watson} = d = \frac{\sum_2^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_1^n e_t^2} \qquad (2.74.)$$

โดยที่ $0 \le d \le 4$ และมีคุณสมบัติดังนี้

1. ถ้าค่าคลาดเคลื่อน ($e_t$) เป็นอิสระกัน ค่า d จะมีค่าใกล้ 2
2. ถ้า $d < 2$ จะแสดงถึงความสัมพันธ์ทางบวกของค่าคลาดเคลื่อน และถ้า $d \approx 0$ ความสัมพันธ์จะมาก
3. ถ้า $d > 0$ จะแสดงถึงความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนในทางลบ และถ้า $d \approx 4$ ความสัมพันธ์จะมาก

การสรุปถึงความเป็นอิสระกันของค่าคลาดเคลื่อน จะทำโดยนำสถิติทดสอบ Durbin – Watson d เทียบกับค่าที่ได้จากตารางของ Durbin – Watson คือ ค่า $d_U$ และ $d_L$ ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดตัวอย่าง (n) จำนวนตัวแปรอิสระ (k) และระดับนัยสำคัญ ($\alpha$) จากรูปที่ 2.26 ถ้าเป็นการทดสอบแบบ 2 ข้างจะใช้ $\frac{\alpha}{2}$ แต่ถ้าทดสอบแบบข้างเดียวจะใช้ การแจกแจงของ Durbin – Watson ซึ่งเป็น 5 ช่วง ดังนี้




**รูปที่ 2.24. การแจกแจงของ $\alpha$**

❶ น้อยกว่า $d_L$

❷ อยู่ระหว่าง $d_L$ และ $d_U$

❸ อยู่ระหว่าง $d_U$ และ $4 - d_L$

❹ อยู่ระหว่าง $4 - d_U$ และ $4 - d_L$

❺ มากกว่า $4 - d_L$

1. ถ้าสถิติทดสอบ d อยู่ในช่วงที่ ❶ หรือ ❺ แสดงว่าค่าคลาดเคลื่อน e จะมีความสัมพันธ์กัน
2. ถ้า d อยู่ในช่วงที่ ❸ แสดงว่าค่าคลาดเคลื่อนไม่มีความสัมพันธ์กัน
3. ถ้า d อยู่ในช่วงที่ ❷ หรือ ❹ แสดงว่ายังไม่สามารถสรุปได้ว่าค่าคลาดเคลื่อนมีความสัมพันธ์กันหรือไม่

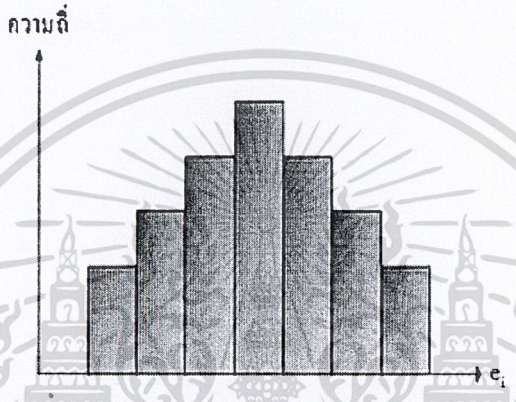
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.7.2. <u>การทดสอบว่า $e_i$ มีการแจกแจงแบบปกติ</u>

การทดสอบว่า $e_i$ มีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ ทำได้ 4 วิธีดังนี้

1. ใช้ Chi – Square Test
2. ใช้ Kolmogorov – Smirnov Test
3. ใช้ Lilliefort Test
4. เขียนฮีสโตแกรม

สำหรับการทดลองโดยใช้ Chi – Square Test , Kolmogorov – Smirnov Test และ Lilliefort Test ได้กล่าวแล้วโดยละเอียดดังนั้นในที่นี้จะอธิบายถึงการเขียนฮิสโตแกรมเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $e_i$ กับความถี่ที่เกิด




**รูปที่ 2.25. แสดงการแจกแจงแบบปกติโดยการเขียนฮีสโตแกรม**

**2.6.8. การปรับสมการความถดถอยเมื่อความคลาดเคลื่อนไม่เป็นไปตามข้อกำหนด** (กัลยา วา-นิชย์บัญชา, 2550, [5])

เมื่อความคลาดเคลื่อน e ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ หรือ ค่าแปรปรวนของ e ไม่ใช่ค่าคงที่ หมายถึงสมการความถดถอยเชิงเส้นนั้นไม่เหมาะสม การแก้ไขทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงเมื่อรูปแบบของตัวแปรตาม Y ดังนี้

1. เมื่อ V(e) เพิ่มขึ้นเมื่อ Y เพิ่มขึ้น หรือเมื่อ แจกแจงของความคลาดเคลื่อน e ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ แต่เบ้ซ้าย ในกรณีนี้ จะให้ $\acute{Y} = \log(Y)$ โดยที่ $Y > 0$ และตัวแปรตามคือ $\acute{Y}$ นั่นคือ $\acute{Y} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \cdots + \beta_k X_k + e$
2. เมื่อ V(e) เป็นสัดส่วนกับ E(Y) หรือ e มีการแจกแจงเบ้ขวา จะต้องให้ $\acute{Y} = Y^2$ สมการความถดถอยคือ $\acute{Y} = Y^2 = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \cdots + \beta_k X_k + e$

**2.6.9. การเกิดปัญหา Multicollinearity** (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2550, [5])

การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนซึ่งศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Y) กับตัวแปรอิสระหลายตัว ($X_1, X_2, \ldots, X_k$ ; $k \geq 2$) นั้น มีข้อกำหนดว่าตัวแปรอิสระเหล่านั้นจะต้องไม่มีความสัมพันธ์กัน แต่ในทางปฏิบัติจะพบว่าตัวแปรอิสระมักจะมีความสัมพันธ์กันเอง การที่ตัวแปร X มีความสัมพันธ์กันจะทำให้เกิดปัญหาที่เรียกว่า Multicollinearity การเกิดปัญหา Multicollinearity จะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ X ถ้าตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันมาก ปัญหา Multicollinearity จะมากด้วย ซึ่งทำให้ผลของการเกิดปัญหา Multicollinearity รุนแรงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.9.1 ผลของการเกิดปัญหา Multicollinearity

การที่ตัวแปรอิสระ X มีความสัมพันธ์กันจะทำให้ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความถดถอยผิดปกติไป ดังนี้

1. ทำให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัมประสิทธิ์ความถดถอย ($S_b$) มีค่าสูงมาก ซึ่งมีผลทำให้สถิติทดสอบ t มีค่าต่ำกว่าปกติ โดยที่ในการทดสอบสัมประสิทธิ์ความถดถอย

$$H_0 : \beta_i = 0 \quad ; i = 1, 2, \ldots, k$$

$$H_1 : \beta_i \neq 0$$

$$\text{สถิติทดสอบ } t = \frac{b_i}{S_{b_i}} \qquad (2.75.)$$

ซึ่งเป็นการทดสอบว่า $X_i$ มีความสัมพันธ์กับ Y หรือไม่ เมื่อสถิติทดสอบ t มีค่าต่ำกว่าปกติ เนื่องจาก $S_b$ มีค่าสูงมากจึงทำให้ยอมรับสมมติฐาน $H_0$ หรือสรุปว่า $X_i$ ไม่มีความสัมพันธ์กับ Y ทั้งที่ความจริง $X_i$ มีความสัมพันธ์กับ Y อย่างมาก นอกจากนั้นเมื่อใช้สถิติทดสอบ F ในการทดสอบสมมติฐาน จะได้ผลสรุปตรงข้ามกับสถิติทดสอบ t

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \cdots = \beta_k = 0$$

$H_1$ : มี $\beta_i$ อย่างน้อย 1 ค่า $\neq 0$

ผลของการทดสอบจะเป็นปฏิเสธ $H_0$ นั่นคือ มี $\beta_i$ อย่างน้อย 1 ค่าไม่เท่ากับศูนย์ หรือมี X อย่างน้อย 1 ตัวที่มีความสัมพันธ์กับ Y แต่เมื่อทำการทดสอบ $\beta$ ทีละตัวหรือทดสอบความสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ X ทีละตัวโดยใช้สถิติทดสอบ t จะยอมรับสมมติฐาน $H_0 : X_i = 0$ ทุกค่าของ i ซึ่งหมายถึงไม่มี $X_i$ ตัวใด ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ Y

สรุปคือ เมื่อตัวแปรอิสระ X มีความสัมพันธ์กันเอง จะมีผลทำการสถิติทดสอบ T มีค่าน้อยกว่าปกติ แต่จะไม่มีผลกระทบต่อสถิติทดสอบ F

2. การที่ตัวแปรอิสระ X มีความสัมพันธ์กันจะทำให้เครื่องหมายของสัมประสิทธิ์ความถดถอย ($\beta$, b) ตรงข้ามกับที่ควรจะเป็น
3. การที่ตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กัน จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอย ($\beta$, b) เปลี่ยนแปลงไป (ไม่คงที่) เมื่อมีตัวแปรอิสระเพิ่มขึ้น

เมื่อตัวแปรอิสระ X ไม่มีความสัมพันธ์กัน สัมประสิทธิ์ความถดถอยจะไม่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีตัวแปร X เพิ่มขึ้น

2.6.9.2. การป้องกันการเกิดปัญหา Multicollinearity

เมื่อเกิดปัญหา Multicollinearity จะทำให้สมการความถดถอยไม่ถูกต้อง ดังนั้นผู้วิเคราะห์จึงต้องหาทางป้องกันการเกิดปัญหาดังกล่าว สำหรับวิธีการป้องกันอาจทำได้ดังนี้

1. คำนวณหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (X) ต่างๆ แล้วทำการทดสอบสมมติฐานว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ของ X แต่ละคู่เป็นศูนย์หรือไม่ ถ้าผลการทดสอบยอมรับว่า ของแต่ละคู่เป็นศูนย์แสดงว่าตัวแปรอิสระ (X) ต่างๆ ไม่มีความสัมพันธ์กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะพบว่าในทางปฏิบัตินั้นการที่จะหาตัวแปร X ที่เป็นอิสระกันทุกคู่เป็นไปได้ยากเนื่องจากตัวแปร X มักจะมีความสัมพันธ์กัน

2. ใช้วิธี Stepwise ซึ่งเป็นวิธีการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการความถดถอย โดยวิธี Stepwise มีหลักเกณฑ์ว่า จะนำตัวแปรอิสระเข้าสมการความถดถอยครั้งละ 1 ตัว ถ้าตัวแปรอิสระที่นำเข้ามีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระที่มีอยู่แล้วในสมการถดถอย วิธี Stepwise จะตัดตัวแปรอิสระที่สัมพันธ์กันตัวใดตัวหนึ่งออกจากสมการความถดถอย

## 2.7. การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างค่าแปรปรวนของสองประชากร

ในบางครั้งเราต้องการเปรียบเทียบค่าแปรปรวนของ 2 ประชากร เช่น ต้องการเปรียบเทียบค่าแปรปรวนของยอดขายกาแฟยี่ห้อ A และ B การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย 2 ประชากร ที่ขนาดตัวอย่างเล็ก และไม่ทราบค่า $\sigma_1^2$ และ $\sigma_2^2$ จะแบ่งเป็น 2 กรณี คือ 1. $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ 2. $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ ดังนั้นก่อนที่จะสามารถทดสอบความแตกต่างระหว่าง $\mu_1$ และ $\mu_1$ ได้ ต้องทดสอบว่า $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ หรือไม่เสียก่อน

ข้อจำกัดในการทดสอบ

1. ตัวอย่างทั้ง 2 ชุดจะต้องสุ่มจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ
2. ตัวอย่างทั้ง 2 ชุดนั้นจะต้องสุ่มอย่างเป็นอิสระกัน

ให้ $s_1^2$ และ $s_2^2$ เป็นค่าแปรปรวนของตัวอย่างที่เลือกจากประชากรที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และประชากรทั้งสองมีการแจกแจงแบบปกติ

$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ $H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ $H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$

$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ หรือ $H_1 : \sigma_1^2 > \sigma_2^2$ หรือ $H_1 : \sigma_1^2 < \sigma_2^2$

จะได้ ① $\frac{s_1^2/\sigma_1^2}{s_2^2/\sigma_2^2}$ มีการแจกแจงแบบ F ดังนั้น $F = \frac{s_1^2/\sigma_1^2}{s_2^2/\sigma_2^2}$

ภายใต้สมมติฐาน $H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ ทำให้ $F = s_1^2/s_2^2$ ซึ่งมีการแจกแจงแบบ F ที่องศาอิสระ $n_1$-1 และ $n_2$-1

หรือถ้าให้ ② $F = \frac{s_2^2/\sigma_2^2}{s_1^2/\sigma_1^2}$ ภายใต้ $H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ จะทำให้มีการแจกแจงแบบ F ที่องศาอิสระ $n_2$-1 และ $n_1$-1

### 2.7.1. การทดสอบสมมติฐานแบบข้างเดียว

1. $H_0 : \sigma_1^2 \leq \sigma_2^2$ หรือ $H_0 : \sigma_1^2 / \sigma_2^2 \leq 1$

   $H_1 : \sigma_1^2 > \sigma_2^2$ $H_1 : \sigma_1^2 / \sigma_2^2 > 1$

สถิติทดสอบ $F = \frac{s_1^2}{s_2^2}$

เขตปฏิเสธ จะปฏิเสธ $H_0$ ถ้า $F > F_{1-\alpha}$ ที่องศาอิสระ $n_1$-1 และ $n_2$-1

2. $H_0 : \sigma_1^2 \leq \sigma_2^2$ หรือ $H_0 : \sigma_1^2 / \sigma_2^2 \leq 1$

   $H_1 : \sigma_2^2 > \sigma_1^2$ $H_1 : \sigma_2^2 / \sigma_1^2 > 1$

สถิติทดสอบ $F = \frac{s_2^2}{s_1^2}$

เขตปฏิเสธ จะปฏิเสธ $H_0$ ถ้า $F > F_{1-\alpha}$ ที่องศาอิสระ $n_2$-1 และ $n_1$-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.7.2. การทดสอบแบบสองข้าง**

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 \quad \text{หรือ} \quad H_0 : \sigma_1^2 / \sigma_2^2 = 1$$
$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \qquad H_1 : \sigma_1^2 / \sigma_2^2 \neq 1$$

<u>สถิติทดสอบ</u> $F = \frac{s_i^2}{s_j^2}$ ถ้า $s_i^2 > s_j^2$ ; $i, j = 1, 2$

<u>เขตปฏิเสธ</u> จะปฏิเสธ $H_0$ ถ้า $F > F_{1-\alpha/2}$ ที่องศาอิสระ $n_2$-1 และ $n_1$-1

**2.7.3. ค่าแปรปรวน (Variance)**

ค่าแปรปรวนเป็นค่าที่ใช้วัดการกระจายที่ใช้กันมากที่สุด โดยที่ค่าแปรปรวนจะพิจารณาจากผลรวมของค่าแตกต่างระหว่างค่าของข้อมูลแต่ละค่ากับค่าเฉลี่ยเลขคณิต ถ้าค่าแตกต่างนั้นมากแสดงว่าข้อมูลมีการกระจายมาก ค่าแตกต่างระห่างค่าของข้อมูลกับค่าเฉลี่ยอาจจะเป็นค่าบวกหรือค่าลบก็ได้แล้วแต่ว่าค่าเฉลี่ยจะมากกว่าหรือน้อยกว่าค่าของข้อมูล ผลรวมของค่าแตกต่างที่เป็นบวกและลบอาจจะกลายเป็นศูนย์ทำให้ผู้วิเคราะห์คาดว่าข้อมูลไม่มีการกระจายเลย จึงต้องกำหนดให้ค่าแปรปรวนเป็นผลรวมของค่าแตกต่างระหว่างข้อมูลแต่ละค่ากับค่าเฉลี่ยเลขคณิตยกกำลังสองแล้วหารด้วย N

2.7.3.1. <u>ค่าแปรปรวนของข้อมูลที่ไม่ได้จัดกลุ่ม</u>

$$\text{ค่าแปรปรวนประชากร } (\sigma^2) = \frac{\sum(x_i-\mu)^2}{N} = \frac{\sum x_i^2-(\sum x_i)^2/N}{N} \qquad (2.76.)$$

2.7.3.2. <u>ค่าแปรปรวนของข้อมูลที่จัดกลุ่มแล้ว</u>

$$\text{ค่าแปรปรวนประชากร } (\sigma^2) = \frac{\sum f_1(x_i-\mu)^2}{N} = \frac{\sum f_i x_i^2-(\sum f x_i)^2/N}{N} \qquad (2.77.)$$

2.7.3.3. <u>หน่วยของความแปรปรวน</u>

เนื่องจากค่าแปรปรวน = $\sum(x_i - \mu)^2 / N$ จึงทำให้หน่วยของค่าแปรปรวนยกกำลังสองไปด้วย เพราะทั้งค่าของข้อมูล (X) และค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\mu$) ต่างก็มีหน่วยเดียวกัน เช่นถ้าค่าของข้อมูลมีหน่วยเป็นบาท ค่าแปรปรวนจะมีหน่วยเป็น (บาท)$^2$ หรือถ้าค่าของข้อมูลมีหน่วยเป็นคน ค่าแปรปรวนก็จะมีหน่วยเป็น (คน)$^2$

**2.7.4. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : SD)**

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน คือ รากที่สองของค่าแปรปรวน

<u>สำหรับข้อมูลที่ไม่ได้จัดกลุ่ม</u>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ข้อมูลประชากร : SD. } = \sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i-\mu)^2}{N}} \qquad (2.78.)$$

ข้อมูลตัวอย่าง : SD. $= s = \sqrt{\frac{\sum(x_i-\bar{x})^2}{n-1}}$ (2.79.)

<u>สำหรับกลุ่มข้อมูลที่จัดกลุ่ม</u>

ข้อมูลประชากร : SD. $= \sigma = \sqrt{\frac{\sum f_i(x_i-\mu)^2}{N}}$ (2.80.)

ข้อมูลตัวอย่าง : SD. $= s = \sqrt{\frac{\sum f_i(x_i-\bar{x})^2}{n-1}}$ (2.81.)

$x_i$ = ค่ากึ่งกลางของชั้นที่ i ; i = 1, 2, ..., k

หน่วยของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะเป็นหน่วยเดียวกับข้อมูล

## 2.8. การประมาณค่าเฉลี่ยประชากร ($\mu$)

### 2.8.1. การประมาณค่าเฉลี่ยประชากรแบบจุด

เราจะประมาณค่าเฉลี่ยประชากร $\mu$ แบบจุดด้วยค่าเฉลี่ยตัวอย่าง $\bar{x}$ ไม่ว่าประชากรจะมีการแจกจงแบบใดก็ตาม โดยที่ $\mu = \frac{\sum x_i}{N}$ และ $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$

โดยที่ $x_i$ = ค่าของลักษณะที่สนใจศึกษาของหน่วยที่ i N = ขนาดประชากร และ n = ขนาดตัวอย่าง

เนื่องจาก $\bar{x}$ เป็นค่าประมาณที่ดีของ $\mu$ ค่าเฉลี่ยของ $\bar{x}$ คือ $\mu$ นั่นคือ ($E(\bar{x}) = \mu$) ดังนั้นค่าประมาณแบบจุดของ $\mu$ คือ $\bar{x}$ นั่นเอง

### 2.8.2. การประมาณค่าเฉลี่ยประชากร ($\mu$) แบบช่วง

เมื่อไม่ทราบค่าเฉลี่ยประชากร $\mu$ จะประมาณ $\mu$ แบบจุดด้วย $\bar{x}$ โดยใช้ข้อมูลตัวอย่างขนาด n แต่ถ้าต้องการประมาณค่า $\mu$ แบบช่วง โดยที่ $L < \mu < U$ การคำนวณหาค่า L และ U จะต้องพิจารณาถึง

ก. การแจกแจงของประชากร

ข. ขนาดตัวอย่าง

ค. ค่าแปรปรวนประชากร ซึ่งอาจจะทราบหรือไม่ทราบ

โดยได้พิจารณาเป็น 3 กรณี ดังนี้

1. ประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ ทราบค่าแปรปรวนประชากร ($\sigma^2$)
2. ประชากรมีการแจกแจงแบบใดๆ (อาจจะมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ก็ได้) และตัวอย่างมีขนาดใหญ่ ($n \geq 30$)
3. ประชากรมีการแจกแจงแบบปกติหรือใกล้เคียงแบบปกติ และไม่ทราบค่าแปรปรวนประชากร และตัวอย่างมีขนาดเล็ก ($n \leq 30$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.8.3. เมื่อไม่ทราบค่าแปรปรวนประชากร**

เมื่อไม่ทราบค่าแปรปรวนประชากร $\sigma^2$ จะประมาณ $\sigma^2$ ด้วยค่าประมาณแบบจุด คือ $S^2$ โดยที่ $S^2$ เป็นค่าแปรปรวนตัวอย่าง

ค่าประมาณแบบช่วงของ $\mu$ ที่ระดับความเชื่อมั่น $(1-\alpha)100\%$ คือ

$$\bar{X} - Z_{1-\frac{\alpha}{2}}\frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{X} + Z_{1-\frac{\alpha}{2}}\frac{s}{\sqrt{n}} \qquad (2.82.)$$

โดยที่ $$s^2 = \frac{\sum(X_i-\bar{X})}{n-1} = \frac{\left[\sum\left(X_i^2-(\sum X_i)\right)^2/n\right]}{n-1}$$

## 2.9. วรรณกรรม บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เบญจมาศ ปุยอ๊อก และวิทยา ยงเจริญ, 2550, [9] ได้ทำโครงการวิจัยหาประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ โดยได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบหลอดแก้วสุญญากาศ ซึ่งมีขนาด 150 ลิตร จำนวน 2 แผง โดยทำการทดสอบที่อาคารสนามกีฬาในร่ม เพื่อทำน้ำร้อนไปใช้บริเวณห้องอาบน้ำชายและห้องอาบน้ำหญิง ในการทดสอบจะทำการตรวจวัดค่าความเข้มรังสีของแสงอาทิตย์ ค่าอุณหภูมิน้ำร้อนออกจากแผงที่ 1 และ 2 ค่าอุณหภูมิน้ำเย็นเข้า และค่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม จากการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพโดยรวมของระบบจะอยู่ในช่วง 42.8 % ถึง 78.5% และสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เฉลี่ย 3,661.68 บาท/ปี และมีระยะเวลาคืนทุน 13.7 ปี

พงศกร จรูญศรีสวัสดิ์, สุพลชัย ขวัญแก้ว และอัศม์เดช อมรเรืองวาณิชย์, 2551, [11] ได้จัดทำปริญญานิพนธ์ขึ้นเพื่อสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทำนายแรงอัดขึ้นรูปในกระบวนการอัดรีดร้อน (Hot Extrusion) โลหะ CK45 ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปร 4 ตัวคือ มุมดาย สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของดาย ความเร็วในการอัดขึ้นรูป และอุณหภูมิชิ้นงาน โดยอาศัยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ (Multiple Linear Regression) ในการสร้างสมการถดถอย ผลจากการทดสอบสมการถดถอยที่สร้างขึ้นมาซึ่งก็คือ สมการที่มีรูปแบบความสัมพันธ์ดังนี้ $\hat{Y} = 694.44 + 381.99X_2 - 154.39\ln X_3 - 414.46\ln X_4$ ไปใช้ทำนายแรงอัดขึ้นรูปในกระบวนการอัดรีดร้อนเมื่อทราบค่าใช้งานของตัวแปรต่างๆ ด้วยความถูกต้องในการทำนาย 89.8 เปอร์เซ็นต์

ธวรรธน์ มาลาหอม, 2550, [8] ได้จัดทำวิทยานิพนธ์ขึ้นเพื่อการศึกษาสมรรถนะของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ ความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน อุณหภูมิน้ำเข้า และออกจากแผง อุณหภูมิอากาศภายนอก และความเร็วลม จากการวิเคราะห์จะได้ค่าประสิทธิภาพของระบบตามสมการ $\eta = -20.615(T_i-T_a)/I + 0.4708$ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ $R^2 = 0.32$ สำหรับช่วงที่ใช้ทดสอบประสิทธิภาพของระบบจะอยู่ในช่วง 22-28% น้ำร้อนมีพลังงานที่สะสมอยู่ในช่วง 3-6 MJ/day และสามารถทำน้ำร้อนได้อุณหภูมิสูงถึง 45.4 °C อุณหภูมิน้ำเริ่มต้นเป็น 29.5 °C การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบทำโดยการใช้แผ่นสะท้อนแสงทำจากอลูมิเนียมฟอยล์ ซึ่งมีค่าการสะท้อนสูง สอดไว้ใต้แผงรับแสงอาทิตย์ เพื่อช่วยให้แผงรับแสงอาทิตย์ดูดซับแสงได้มากขึ้น จากผลการทดสอบปรากฏว่าการใช้แผ่นสะท้อนแสงทำให้น้ำในถังมีอุณหภูมิสะสมตลอดวันสูงขึ้น 3-5 °C และทำให้ระบบมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 11-13%

กีรติ เรืองศรี, ธนัทพัชร์ อุดมธีรสุวัฒน์ และธนพัฒน์ นาคเนาวทิม, 2552, [2] ได้จัดทำปริญญานิพนธ์เพื่อวิจัยออกแบบ และสร้างเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดแผ่นราบ ซึ่งสามารถสร้างใช้ได้เองในครัวเรือน โดยใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ หาประโยชน์เชิงการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องทำน้ำร้อนที่ออกแบบประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ส่วนของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์และส่วนถังเก็บน้ำร้อน ลักษณะตัวเก็บความร้อนแบบแผ่นราบสร้างโดยใช้แผ่นสังกะสีหนา 0.5 มิลลิเมตร เป็นแผ่นดูดรังสี ซึ่งเชื่อมติดกับท่อท่อแดงขนาด 2/8 นิ้ว จำนวน 5 ท่อ บรรจุในกล่องไม้หุ้มด้วยอลูมิเนียมและฉนวนกันความร้อน โดยส่วนด้านบนปิดด้วยกระจกชั้นเดียวที่มีความหนา 5 มิลลิเมตร ส่วนของถังเก็บน้ำร้อนสร้างจากถังพลาสติกความจุ 40 ลิตร หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน ในการทดสอบการทำงานของเครื่อง ได้ติดตั้งเครื่องทำน้ำร้อนให้หันไปทางทิศใต้ และเอียงทำมุม 15 องศากับแนวระดับ ผลการทดสอบพบว่าอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยต่อวันมีค่า 46.14 °C และอุณหภูมิน้ำร้อนสูงสุดมีค่า 55 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ด้วยสมการถดถอยเชิงพหุ มีวิธีการดำเนินงานโดยเริ่มตั้งแต่ กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ ออกแบบชุดทดลอง เลือกวัสดุอุปกรณ์ ติดตั้งและเตรียมชุดทดลอง ออกแบบการเก็บและบันทึกข้อมูล เก็บข้อมูล และนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ด้วยสมการถดถอยเชิงพหุ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

## 3.1. กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์

ในขั้นตอนการดำเนินงานของการประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ด้วยสมการถดถอยเชิงพหุได้กำหนดตัวแปรอิสระ ($X_i$ เมื่อ i = 1, 2, 3, ..., 7) และตัวแปรตาม (Y) ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ดังนี้

$X_1$ = อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ ($^oC$)

$X_2$ = อุณหภูมิของน้ำภายในถัง ($^oC$)

$X_3$ = อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม ($^oC$)

$X_4$ = อุณหภูมิของท่อฮีทไปป์ในหลอดสุญญากาศ ($^oC$)

$X_5$ = ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$)

$X_6$ = แรงดันที่สูญเสียของน้ำ (kPa)

$X_7$ = อัตราการไหลของน้ำ (kg/s)

Y = ประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์

## 3.2. ชุดทดลอง

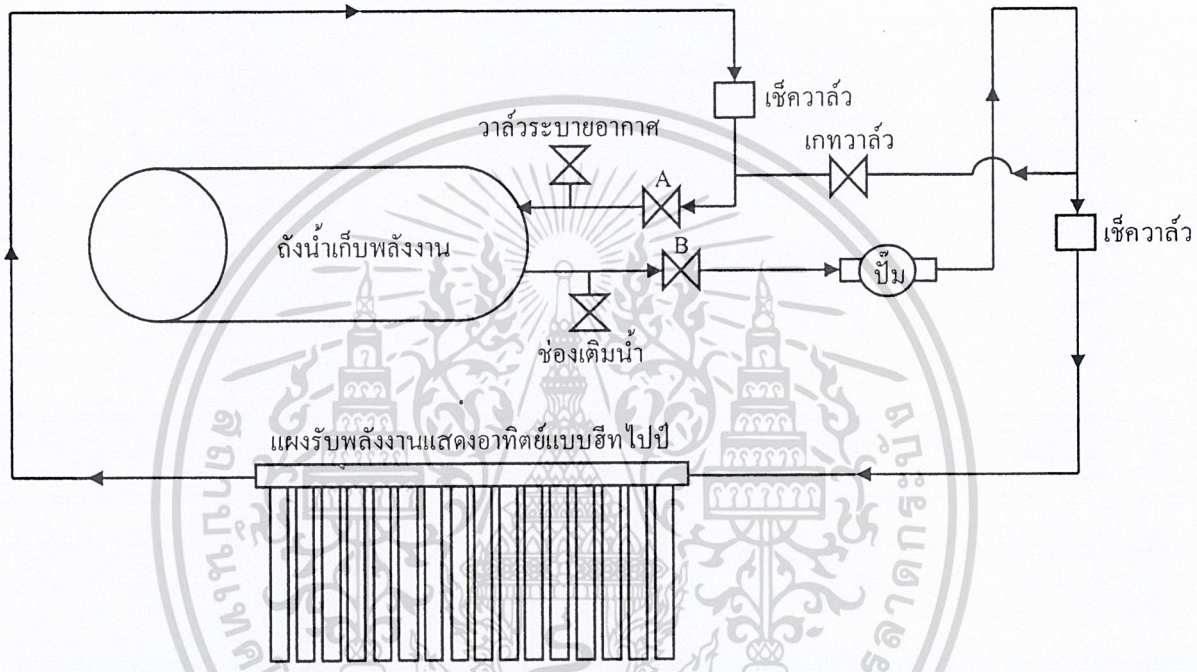
### 3.2.1. ออกแบบชุดทดลอง

ในการประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ โดยใช้ทฤษฎีการผลิตน้ำร้อน ซึ่งมีขั้นตอนในการออกแบบชุดทดลองดังนี้

1. ทำการศึกษาระบบผลิตน้ำร้อน โดยทำการศึกษาจากทฤษฎี บทความและปริญญานิพนธ์ที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้ในการออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนและเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ได้อย่างเหมาะสม
2. ออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนแบบขั้นพื้นฐานที่สามารถประยุกต์ใช้ในการประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ได้ โดยใช้ระบบการทำน้ำร้อนแบบแอ็คทีฟ (Active Solar Heater) ซึ่งเป็นระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีการใช้ปั๊มน้ำแบบใช้ไฟฟ้าในการบังคับการไหลหมุนเวียน ของของเหลวที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 3.1. เป็นภาพชุดทดลองที่ได้ออกแบบ โดยใช้ความรู้จากการศึกษาทฤษฎี บทความและปริญญานิพนธ์ที่เกี่ยวข้อง และขอคำปรึกษาจากผู้เชี่ยวชาญและมีประสบการณ์เกี่ยวกับระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์จากบริษัท ราโวเทค จำกัด เพื่อให้ระบบผลิตน้ำร้อนที่ออกแบบไว้สามารถใช้งานได้จริง อีกทั้งยังสามารถเก็บค่าและบันทึกข้อมูลตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ได้อย่างถูกต้อง




**รูปที่ 3.1. ชุดทดลองที่ใช้ในการประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์**

<u>หลักการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนที่ออกแบบ</u>

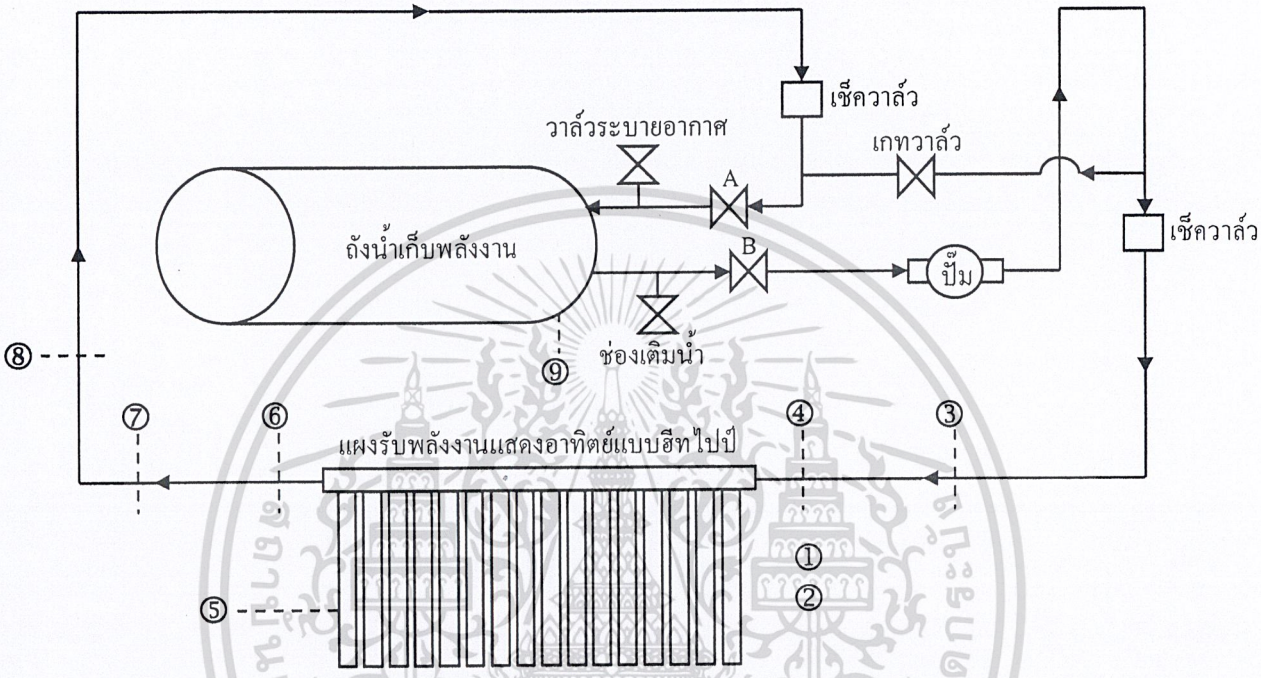
การทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนเริ่มจากเติมน้ำที่วาล์วสำหรับเติมน้ำเข้าถังน้ำเก็บพลังงานจนเต็ม (ในขณะเติมน้ำต้องเปิดวาล์วระบายอากาศ และปิดวาล์ว A, B) จากนั้นปิดวาล์วระบายอากาศ วาล์วสำหรับเติมน้ำ และเปิดวาล์ว A, B แล้วเปิดปั๊มเพื่อให้ระบบเริ่มทำงาน โดยปั๊มจะดูดน้ำจากถังน้ำเก็บพลังงานทำให้น้ำที่ออกจากปั๊มมีความดันและความเร็วเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นน้ำจะไหลผ่านเช็ควาล์ว ซึ่งเป็นวาล์วป้องกันการไหลย้อนกลับของน้ำ แล้วไหลผ่านท่อไปยังแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์เพื่อรับพลังงานความร้อนทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น แล้วไหลผ่านท่อกลับไปยังถังน้ำเก็บพลังงาน

ในการปรับอัตราการไหลของน้ำในระบบ จะทำการปรับโดยหมุนเกทวาล์วเพื่อเพิ่มและลดระดับอัตราการไหลของน้ำ เมื่อหมุนเกทวาล์วน้ำบางส่วนจะไหลย้อนกลับไปยังถังน้ำเก็บพลังงานทำให้อัตราการไหลเพิ่มหรือลดได้ ซึ่งเกทวาล์วจะเชื่อมต่อระหว่างท่อหลังน้ำไหลออกจากปั๊มกับท่อก่อนน้ำไหลเข้าถังน้ำเก็บพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การระบุตำแหน่งและเลือกอุปกรณ์ในการเก็บและบันทึกข้อมูลของปัจจัยต่างๆ ข้างต้น

หลังจากออกแบบชุดทดลองและกำหนดตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ จึงได้ทำการระบุตำแหน่งที่เหมาะสมในการเก็บค่าตัวแปรต่างๆ และเลือกอุปกรณ์ในการเก็บและบันทึกข้อมูล ดังรูปที่ 3.2. และตารางที่ 3.1.




**รูปที่ 3.2. แสดงการระบุตำแหน่งในการเก็บและบันทึกข้อมูล**

**ตารางที่ 3.1. การระบุตำแหน่งและเลือกอุปกรณ์ในการเก็บและบันทึกข้อมูล**

| จุด | บริเวณที่ตรวจวัด | ค่าที่ตรวจวัด | เครื่องที่ใช้ในการตรวจวัด |
|---|---|---|---|
| 1. | ใกล้กับแผงแสงอาทิตย์ | ความเข้มแสงอาทิตย์ | Different Cell |
| 2. | บริเวณภายนอกเหนือแผงรับแสง | อุณหภูมิอากาศภายนอก | เทอร์โมคัพเปิ้ล |
| 3. | ท่อทางเข้าของแผงรับแสงอาทิตย์ | ความดันขาเข้า | Pressure Gauge |
| 4. | ท่อทางเข้าของแผงรับแสงอาทิตย์ | อุณหภูมิของน้ำขาเข้า | เทอร์โมคัพเปิ้ล |
| 5. | ภายในท่อฮีทไปป์ | อุณหภูมิของท่อฮีทไปป์ | เทอร์โมคัพเปิ้ล |
| 6. | ท่อทางออกของแผงรับแสงอาทิตย์ | อุณหภูมิของน้ำขาออก | เทอร์โมคัพเปิ้ล |
| 7. | ท่อทางออกของแผงรับแสงอาทิตย์ | ความดันขาออก | Pressure Gauge |
| 8. | ท่อทางออกของแผงรับแสงอาทิตย์ | อัตราการไหล | ตัววัดอัตราการไหล Ultrasonic |
| 9. | ท่อทางออกของถังเก็บน้ำ | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง | เทอร์โมคัพเปิ้ล |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.2.2. เลือกและคำนวณขนาดของวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในชุดทดลอง**

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในชุดทดลองเพื่อประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ จะทำการเลือกและคำนวณขนาดของวัสดุอุปกรณ์เพื่อให้เหมาะสมและสามารถใช้งานได้จริง โดยใช้หลักการของวิศวกรรมงานท่อภายในอาคาร

ในส่วนของการคำนวณขนาดของวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในชุดทดลอง จะทำการคำนวณเพื่อหาขนาดของปั๊มที่ใช้ในชุดทดลอง จะคำนวณโดยหาเฮดรวมของปั๊ม ซึ่งก็คือค่าพลังงานทั้งหมดที่บอกในรูปเฮดที่ปั๊มจะต้องเพิ่มให้แก่ของเหลวเพื่อให้ของเหลวนั้นไหลผ่านระบบท่อด้วยอัตราที่กำหนด โดยคำนวณจาก

$$\text{เฮดรวมของปั๊ม} = \text{เฮดสถิตย์รวม} + \text{เฮดความฝืดรวม} \qquad (3.1.)$$

จากการคำนวณในภาคผนวก ข พบว่าเฮดรวมของปั๊มเท่ากับ 5.163 เมตร ดังนั้นจะเลือกใช้ปั๊มที่มีขนาดเฮดไม่ต่ำกว่า 5.163 เมตร

**ตารางที่ 3.2. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในชุดทดลองมีดังนี้**

| ลำดับที่ | ชื่อวัสดุและอุปกรณ์ | ชนิด | ขนาด | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|
| 1. | วาล์ว | เกทวาล์ว(ทองเหลือง) | 1 นิ้ว | จำนวน 1 ตัว |
| | | บอลวาล์ว(เหล็ก) | 1 นิ้ว | จำนวน 4 ตัว |
| 2. | ปั๊มเซอร์กูเรชั่น | (ปั๊มหมุนเวียน) | | จำนวน 1 ตัว |
| 3. | ท่อสแตนเลส | | Ø = 1 นิ้ว | ยาว 0.18 เมตร |
| | ท่อ PPR | PVC | Ø = ¾, 1นิ้ว | ยาว 0.2,0.4 เมตร |
| | ท่อทองแดง | M | Ø = 7/8 นิ้ว | ยาว 8.7 เมตร |
| | | | Ø = $1\text{-}\frac{3}{8}$ นิ้ว | ยาว 1 เมตร |
| 4. | ฉนวนในถังเก็บน้ำ | PU Foam | | |
| 5. | ถังเก็บน้ำสแตนเลส | | 200 ลิตร | จำนวน 1 ตัว |
| 6. | DATA LOGGER ยี่ห้อ WISGO | รุ่น DL2200 | | จำนวน 1 ตัว |
| 7. | ตัววัดความเข้มแสง | Different Cell | | จำนวน 1 ตัว |
| 8. | เทอร์โมคัพเปิ้ล | K | | |
| 9. | ตัววัดความดัน | Pressure Gauge | | จำนวน 2 ตัว |
| 10. | ตัววัดอัตราการไหล | Ultrasonic | | จำนวน 1 ตัว |
| 11. | ข้อต่อ 3 ทาง | PPR | Ø = 1 นิ้ว | จำนวน 2 ตัว |
| | | เหล็ก | Ø = ¾ นิ้ว | จำนวน 1 ตัว |
| | | | Ø = 1 นิ้ว | จำนวน 1 ตัว |
| 12. | ข้อต่อตรง | PPR | Ø = ¾ นิ้ว | จำนวน 4 ตัว |
| | | | Ø = 7/8 นิ้ว | จำนวน 1 ตัว |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 3.2. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในชุดทดลองมีดังนี้ (ต่อ)**

| ลำดับที่ | ชื่อวัสดุและอุปกรณ์ | ชนิด | ขนาด | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|
| 12. | ข้อต่อตรง | PPR | Ø = 1 นิ้ว | จำนวน 3 ตัว |
| | | ทองแดง | Ø = 7/8 นิ้ว | จำนวน 1 ตัว |
| | | เหล็ก | Ø = ¾ นิ้ว | จำนวน 4 ตัว |
| | | | Ø = 1 นิ้ว | จำนวน 5 ตัว |
| | | เหล็ก | Ø = $1\frac{1}{2}$ นิ้ว | จำนวน 1 ตัว |
| | | ทองเหลือง | Ø = ¾ นิ้ว | จำนวน 3 ตัว |
| | | | Ø = 1 นิ้ว | จำนวน 1 ตัว |
| 13. | ข้อต่อตรงเหล็ก | UNIONS | Ø = ¾ นิ้ว | จำนวน 2 ตัว |
| | | | Ø = 1 นิ้ว | จำนวน 1 ตัว |
| 14. | ข้องอ 90° | PPR | Ø = ¾ นิ้ว | จำนวน 1 ตัว |
| | | | Ø = 1 นิ้ว | จำนวน 1 ตัว |
| | | ทองแดง | Ø = 7/8 นิ้ว | จำนวน 4 ตัว |
| 15. | Check Valve (ทองเหลือง) | lift | Ø = ¾ นิ้ว | จำนวน 2 ตัว |
| 16. | ข้อต่อลดขนาด | ทองแดง | 1-$\frac{3}{8}$ เป็น $\frac{7}{8}$ | จำนวน 1 ตัว |
| | | PPR | 1 เป็น ¾ | จำนวน 2 ตัว |
| 17. | ข้อต่อเพิ่มขนาด | ทองแดง | $\frac{7}{8}$ เป็น 1-$\frac{3}{8}$ | จำนวน 1 ตัว |
| | | PPR | ¾ เป็น 1 | จำนวน 1 ตัว |
| | | | $\frac{7}{8}$ เป็น 1 | จำนวน 1 ตัว |
| | | เหล็ก | 1 เป็น $1\frac{1}{2}$ | จำนวน 1 ตัว |
| 18. | ฉนวนหุ้มท่อ | ยาง | Ø = 7/8 นิ้ว | 9.7 เมตร |

### 3.2.3. ติดตั้งชุดทดลอง

หลังจากทำการเลือกและคำนวณขนาดของวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในชุดทดลองแล้ว จึงทำการติดตั้งชุดทดลองซึ่งติดตั้งให้แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์หันหน้าไปทางทิศใต้ เพื่อรับแสงอาทิตย์ได้อย่างเต็มที่เนื่องจากประเทศไทยนั้นตั้งอยู่ในซีกโลกเหนือ และแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ทำมุมเอียง 15° กับแนวระดับซึ่งเป็นมุมเอียงที่ตรงกับละติจูดที่ตั้งของชุดทดลองซึ่งทำให้รับพลังงานการแผ่ของรังสีแสงอาทิตย์ได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 3.3. แสดงการติดตั้งชุดทดลอง**

**3.2.4. การเตรียมชุดทดลอง**

ก่อนทำการทดลองเพื่อเก็บและบันทึกข้อมูล ชุดทดลองจะต้องอยู่ในสภาพที่เหมาะสม ดังนั้นจึงต้องมีการเตรียมชุดทดลองเพื่อตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ และป้องกันความคลาดเคลื่อนในการเก็บและบันทึกข้อมูล โดยมีขั้นตอนในการเตรียมชุดทดลองดังนี้

1. ทำความสะอาดแผงรับแสงอาทิตย์ให้สะอาด
2. เติมน้ำในถังให้ได้ตามที่กำหนด และทำการตั้งค่าอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้วัด
3. ทำการบันทึกข้อมูล และสังเกตค่าต่างๆ ว่ามีความผิดปกติหรือไม่ ถ้ามีความผิดปกติก็จะทำการตรวจสอบและแก้ไขต่อไป
4. ในวันต่อไปก็จะทำการถ่ายน้ำออกแล้วเติมน้ำเข้าไปใหม่ แล้วทำการทดลองซ้ำเหมือนเดิม โดยในแต่ละวันจะทำการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำเป็น 15, 20, 25, 30 ลิตร/นาที
5. นำข้อมูลที่บันทึกมาทำการวิเคราะห์เพื่อสร้างสมการความถดถอยที่เหมาะสม

## 3.3. การเก็บและบันทึกข้อมูล

**3.3.1. ออกแบบการเก็บและบันทึกข้อมูล**

การเก็บและบันทึกข้อมูลจากชุดทดลองในการประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์จะเก็บข้อมูลในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ 08.00 – 17.00 น. ซึ่งทำการเก็บและบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 นาทีโดย

3.3.1.1. <u>การเก็บและบันทึกข้อมูลด้วย Data Logger</u>

ทำการเก็บและบันทึกข้อมูล 7 ค่าดังนี้

- อุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ ($T_i$)
- อุณหภูมิของน้ำหลังออกจากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ ($T_o$)
- อุณหภูมิของน้ำภายในถัง ($X_2$)
- อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม ($X_3$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุณหภูมิของท่อฮีทไปป์ในหลอดสุญญากาศ ($X_4$)
- ความเข้มแสงอาทิตย์ ($X_5$)
- อัตราการไหลของน้ำ ($X_7$)

3.3.1.2. <u>การเก็บและบันทึกข้อมูลด้วยการสังเกต</u> โดยการอ่านค่าจากมาตรวัดแรงดัน (Pressure Gauge) ทำการเก็บและบันทึกข้อมูล 2 ค่า ดังนี้

- แรงดันของน้ำก่อนเข้าแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ ($P_i$)
- แรงดันของน้ำหลังออกแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ ($P_o$)

**3.3.2. ออกแบบตารางการเก็บและบันทึกข้อมูล**

การเก็บและบันทึกข้อมูลในการประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ด้วยสมการถดถอยเชิงพหุ จะทำการเก็บค่าตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งสามารถออกแบบตารางการเก็บและบันทึกข้อมูลได้ดังนี้

**ตารางที่ 3.3. ตัวอย่างตารางการเก็บและบันทึกข้อมูล**

| เวลา (นาที) | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง (°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง (°C) | อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อฮีทไปป์ในหลอดสุญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่สูญเสียของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 08.00 | | | | | | | | |
| 08.01 | | | | | | | | |
| … | | | | | | | | |
| … | | | | | | | | |
| … | | | | | | | | |
| … | | | | | | | | |
| … | | | | | | | | |
| … | | | | | | | | |
| … | | | | | | | | |
| … | | | | | | | | |
| … | | | | | | | | |
| 16.59 | | | | | | | | |
| 17.00 | | | | | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.3. การแบ่งชุดข้อมูลที่ได้จากการเก็บและบันทึกผล

หลังการเก็บและบันทึกข้อมูลจาก Data Logger และการสังเกต จะทำการแบ่งข้อมูลทั้งหมดออกเป็น 3 ชุด ดังนี้

- ชุดที่ 1 ใช้ในการสร้างสมการถดถอยเชิงพหุ
- ชุดที่ 2 ใช้แทนค่าสมการถดถอยเชิงพหุที่ได้ เพื่อประมาณค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ของสมการ
- ชุดที่ 3 ใช้ตรวจสอบความถูกต้องของสมการ

## 3.4. การหารูปแบบความสัมพันธ์ที่เหมาะสม

หลังจากที่ได้ทำการแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 3 ชุดแล้ว จะทำการวิเคราะห์รูปแบบความสัมพันธ์เพื่อการแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม ซึ่งในการหารูปแบบความสัมพันธ์ที่เหมาะสมนั้นจะใช้ข้อมูลชุดที่ 1 ที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างจากข้อมูลทั้งหมด โดยใช้โปรแกรมทางสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล (Minitab 16) ซึ่งรูปแบบความสัมพันธ์ของความถดถอยที่จะทำการศึกษาคือรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (Linear), แบบเชิงเส้นและปฏิสัมพันธ์ (Linear + Interaction), แบบครอดราติกส์เต็มรูป (Full Quadratic) และแบบเชิงเส้นและยกกำลังสอง (Linear + Squares)

## 3.5. การประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์โดยการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ

หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์รูปแบบความสัมพันธ์ของความถดถอยในแบบต่างๆ ซึ่งในการประมาณค่าของประสิทธิภาพนั้นก็จะทำการเลือกรูปแบบความสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุด โดยจะพิจารณาจากค่าของสถิติทดสอบ, ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุ ($R^2$) และผลของการตรวจสอบเงื่อนไขเบื้องต้นของสมการถดถอย ซึ่งจะทำให้ได้สมการความถดถอยเชิงพหุในการประมาณค่าประสิทธิภาพได้อย่างเหมาะสม

## 3.6. การประมาณค่าความคาดเคลื่อนของความถดถอยเชิงพหุ โดยใช้ข้อมูลชุดที่ 2

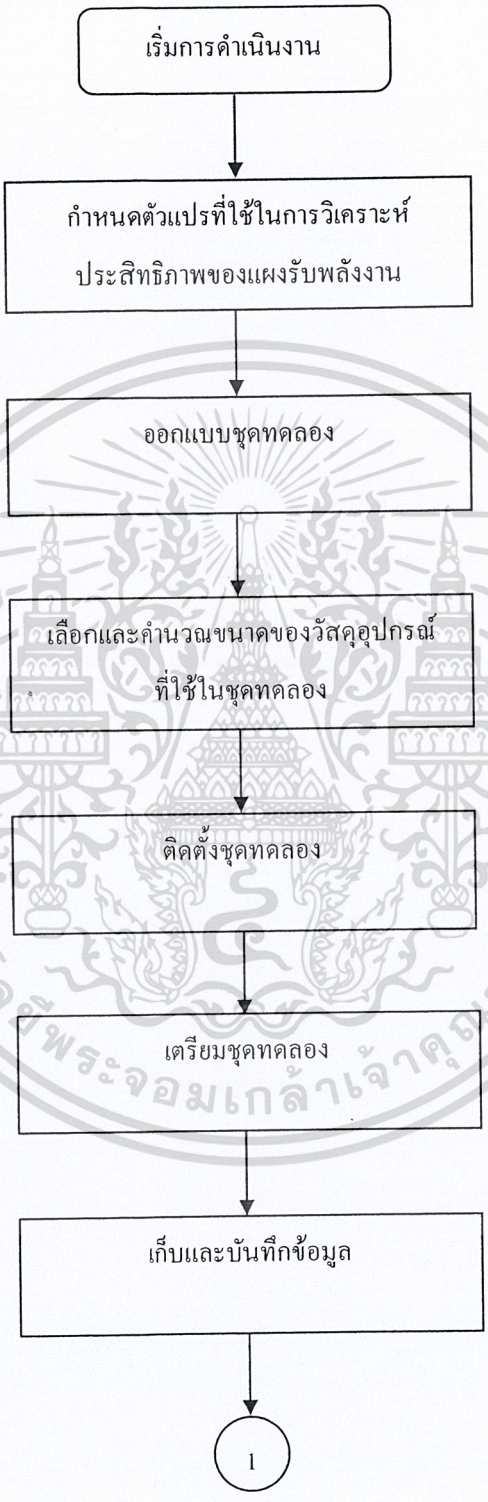
หลังจากที่ได้สมการความถดถอยเชิงพหุที่เหมาะสมแล้ว จะทำการประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของความถดถอยเพื่อเพิ่มความแม่นยำให้กับสมการความถดถอยมากยิ่งขึ้น

## 3.7. การตรวจสอบความถูกต้องของสมการความถดถอยเชิงพหุ โดยใช้ข้อมูลชุดที่ 3

เมื่อได้สมการความถดถอยเชิงพหุที่ได้ทำการประมาณค่าความคลาดเคลื่อนแล้ว เพื่อความถูกต้องของการประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ จึงต้องทำการตรวจสอบความแม่นยำของสมการโดยใช้การทดสอบเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างค่าความแปรปรวน และการประมาณช่วงของค่าเฉลี่ย

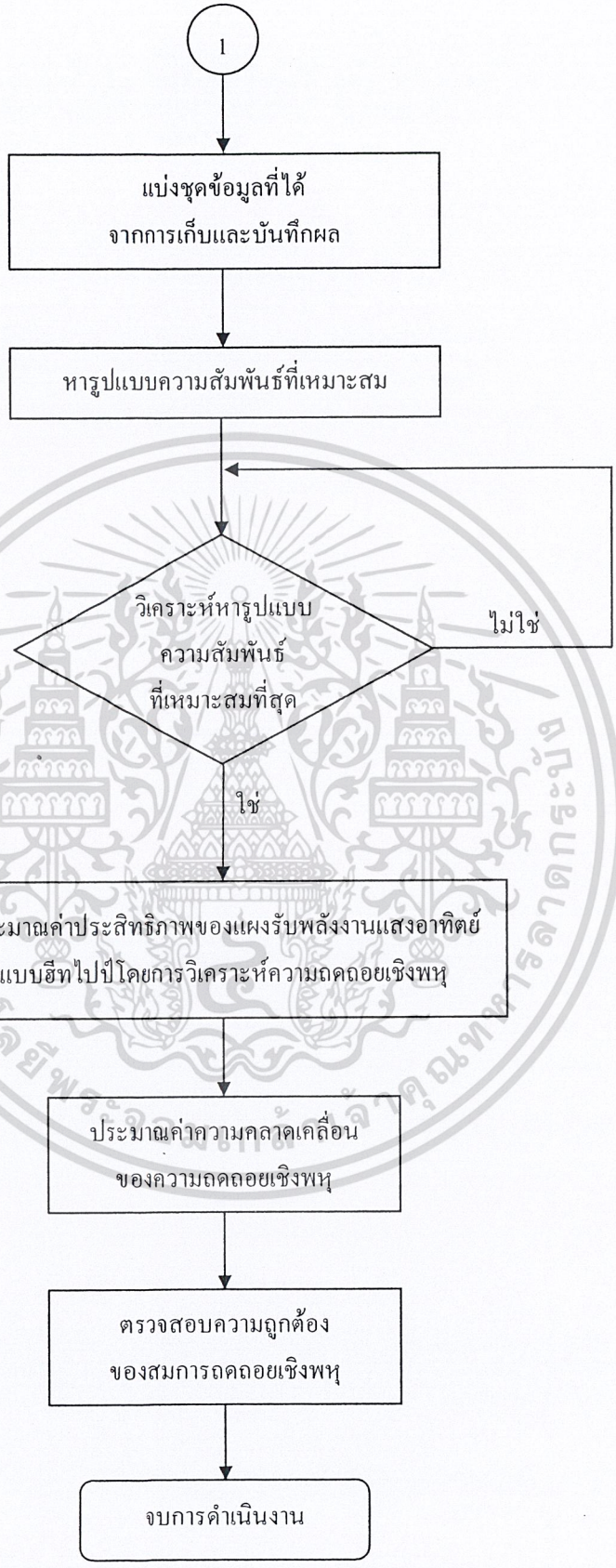
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.8. แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน




**รูปที่ 3.4. แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 3.4. แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน (ต่อ)**

รูปที่ 3.4. เป็นแผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงานในการประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ด้วยสมการถดถอยเชิงพหุ จากรูปแสดงให้เห็นว่าขั้นตอนในการดำเนินงาน จะเริ่มต้นจากการกำหนดตัวแปรที่จะใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ จากนั้นทำการออกแบบชุดทดลองที่จะใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูล รวมถึงการเลือกและคำนวณขนาดที่เหมาะสมของวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในชุดทดลอง แล้วจึงทำการติดตั้งชุดทดลองและเตรียมชุดทดลองให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมก่อนที่จะทำการทดลองเพื่อเก็บและบันทึกข้อมูลในลำดับต่อมา จากนั้นทำการแบ่งชุดข้อมูลที่ได้จากการเก็บและบันทึกผลออกเป็น 3 ชุด แล้วทำการหารูปแบบความสัมพันธ์ที่เหมาะสมเพื่อจะได้วิเคราะห์เลือกรูปแบบความสัมพันธ์ที่เหมาะสที่สุด โดยในขั้นตอนนี้จะได้สมการความถดถอยเชิงพหุเพื่อใช้ในการประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ หลังจากนั้นจึงทำการประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของความถดถอยเชิงพหุเพื่อเพิ่มความแม่นยำให้กับสมการถดถอยเชิงพหุที่ได้ ซึ่งในแต่ขั้นตอนที่ได้กล่าวมานั้นได้อธิบายรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 3.1. ถึง 3.6.

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่4
# ผลการดำเนินงาน

จากการดำเนินการวิจัยในการประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ด้วยสมการถดถอยเชิงพหุ มีผลการดำเนินงานในการเก็บข้อมูล แบ่งชุดข้อมูล การหารูปแบบความสัมพันธ์ที่เหมาะสม การประมาณค่าประสิทธิภาพของแผง การประมาณค่าความคลาดเคลื่อน และการตรวจสอบความถูกต้องของสมการความถดถอยเชิงพหุ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

## 4.1. ทำการเก็บข้อมูลและแบ่งชุดข้อมูล

จากการทดลองและเก็บข้อมูลของตัวแปรอิสระต่างๆ ตั้งแต่ช่วงเวลา 8.00 น. – 17.00 น. แล้วนำข้อมูลที่เก็บได้ทั้งหมดมาทำการแบ่งออกเป็น 3 ชุดข้อมูลโดยการสุ่มตัวอย่าง ซึ่งจะทำการสุ่มตัวอย่างของข้อมูลในช่วงเวลา 10.35 น. - 14.35 น. เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยข้อมูลของตัวแปรต่างๆ ทั้ง 3 ชุดจะแสดงในภาคผนวก ค.

## 4.2. การหารูปแบบความสัมพันธ์ที่เหมาะสม

การพิจารณาเลือกรูปแบบความสัมพันธ์ที่เหมาะสมของการแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม นอกจากจะพิจารณาจากค่าสถิติทดสอบ และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุ ($R^2$) แล้ว จะต้องตรวจสอบเงื่อนไขเกี่ยวกับค่าคลาดเคลื่อนต่างๆที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ซึ่งในการหารูปแบบความสัมพันธ์ที่เหมาะสมนั้นจะใช้ข้อมูลชุดที่ 1 ที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างจากข้อมูลทั้งหมด โดยใช้โปรแกรมทางสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล (Minitab 16)

### 4.2.1. รูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (Linear)

ทำการเลือกรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (Linear) แล้วทำการวิเคราะห์ผล ซึ่งได้ผลดังนี้

**ตารางที่ 4.1. ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ความถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (Linear)**

| Term | Coef. | SE Coef. | T | P |
|---|---|---|---|---|
| **Constant** | 0.70171 | 0.009019 | 77.800 | 0.000 |
| **X1** | 0.90941 | 0.130921 | 6.946 | 0.000 |
| **X2** | -0.88551 | 0.128009 | -6.918 | 0.000 |
| **X3** | -0.02703 | 0.011617 | -2.327 | 0.020 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.1. ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ความถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (Linear) (ต่อ)**

| Term | Coef. | SE Coef. | T | P |
|---|---|---|---|---|
| **X4** | -0.07162 | 0.016125 | -4.441 | 0.000 |
| **X5** | 0.03085 | 0.007994 | 3.859 | 0.000 |
| **X6** | -0.05442 | 0.008719 | -6.242 | 0.000 |
| **X7** | 0.22816 | 0.009657 | 23.627 | 0.000 |

ความหมายของผลลัพธ์จากตารางที่ 4.1.

- Coef หมายถึง ค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอย
- SE Coef หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอย
- T และ P หมายถึง ค่าสถิติทดสอบ T-Test และ ค่าSig t ซึ่งเป็นการทดสอบว่า ตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระแต่ละตัวหรือไม่

โดย สถิติทดสอบ t

$H_0 : \beta_i = 0$

$H_1 : \beta_i \neq 0 \quad ; i = 1,2,3,4,5,6,7$

เขตปฏิเสธ จะปฏิเสธ $H_0$ ถ้า $|t| > t_{1-\alpha/2\,;\,n-k-1}$ หรือ $|t| > t_{.95;568} = 1.64$

ถ้า Sig t $< \alpha$ หรือ Sig t $< 0.05$ ในผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ความถดถอย จะเลือกดูเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระแต่ละตัวก่อน ยังไม่ดูค่าของสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กันเอง เพื่อทำการเลือกว่าจะได้ตัวแปรอิสระใดบ้างเข้าสมการถดถอย ซึ่งเมื่อเทียบกับค่า t หรือค่า Sig t ในตารางที่ 4.1. ทุกตัวปฏิเสธ $H_0$ ดังนั้น Y จึงมีความสัมพันธ์กับ$X_i$ ; i=1,2,3,4,5,6,7

**การแสดงความสัมพันธ์ของสมการความถดถอยแบบเชิงเส้น (Linear)**

S = 0.0786150 PRESS = 3.61182

R-Sq = 76.04% R-Sq(pred) = 75.35% R-Sq(adj) = 75.75%

ซึ่งจากผลข้างต้นมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุของสมการเป็น 75.75%

**ตารางที่ 4.2. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (Linear)**

| Source | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Regression** | 7 | 11.1413 | 11.1413 | 1.59162 | 257.53 | 0.000 |
| **Linear** | 7 | 11.1413 | 11.1413 | 1.59162 | 257.53 | 0.000 |
| **X1** | 1 | 0.2294 | 0.2982 | 0.29820 | 48.25 | 0.000 |
| **X2** | 1 | 3.2887 | 0.2957 | 0.29574 | 47.85 | 0.000 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.2. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (Linear) (ต่อ)**

| Source | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **X3** | 1 | 0.9047 | 0.0335 | 0.03346 | 5.41 | 0.020 |
| **X4** | 1 | 2.3523 | 0.1219 | 0.12192 | 19.73 | 0.000 |
| **X5** | 1 | 0.4311 | 0.0920 | 0.09202 | 14.89 | 0.000 |
| **X6** | 1 | 0.4850 | 0.2408 | 0.24078 | 38.96 | 0.000 |
| **X7** | 1 | 3.4502 | 3.4502 | 3.45018 | 558.25 | 0.000 |
| **Residual Error** | 568 | 3.5104 | 3.5104 | 0.00618 | | |
| **Lack-of-Fit** | 421 | 3.5104 | 3.5104 | 0.00834 | * | * |
| **Pure Error** | 147 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00000 | | |
| **Total** | 575 | 14.6518 | | | | |

ความหมายของผลลัพธ์จากตารางที่ 4.2

- Seq SS และ Adj SS หมายถึง ค่าความแปรปรวน และค่าความแปรปรวนที่ปรับค่าแล้ว
  ซึ่ง SSR คือ ค่าความแปรปรวนของความถดถอย = 11.1413
  SSE คือ ค่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อน = 3.5104
- Adj MS หมายถึง ค่าเฉลี่ยของความแปรปรวนที่ปรับค่าแล้ว
- F และ P หมายถึง ค่าสถิติทดสอบ F-Test และ Sig F ซึ่งเป็นการทดสอบว่ามีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัว ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามหรือไม่

โดย สถิติทดสอบ F

$H_0$ : $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = \beta_6 = \beta_7$

$H_1$ : $\beta_i$ อย่างน้อย 1 ค่าที่ $\neq 0$ ; i = 1,2,3,4,5,6,7

เขตปฏิเสธ จะปฏิเสธ $H_0$ ถ้า $F > F_{1-\alpha/2\,;\,k,\,n-k-1}$ หรือ $F > F_{.95;\,7,568} = 2.01$ ถ้า Sig F $< \alpha$ หรือ Sig F $< 0.05$ ซึ่งเมื่อเทียบกับค่า F หรือค่า Sig F ของ Regression ในตารางที่ 4.2. ปฏิเสธ $H_0$ ดังนั้นมี $\beta_i$ อย่างน้อย 1 ตัวที่ไม่เท่ากับศูนย์ และเมื่อดูผลการทดสอบแต่ละตัวจากตารางที่ 4.2. พบว่า $X_i$ มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม ; i=1,2,3,4,5,6,7

**ตารางที่ 4.3. การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (Linear)**

| Term | Coef |
|---|---|
| **Constant** | 0.278245 |
| **X1** | 0.0783972 |
| **X2** | -0.0766672 |
| **X3** | -0.00458102 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

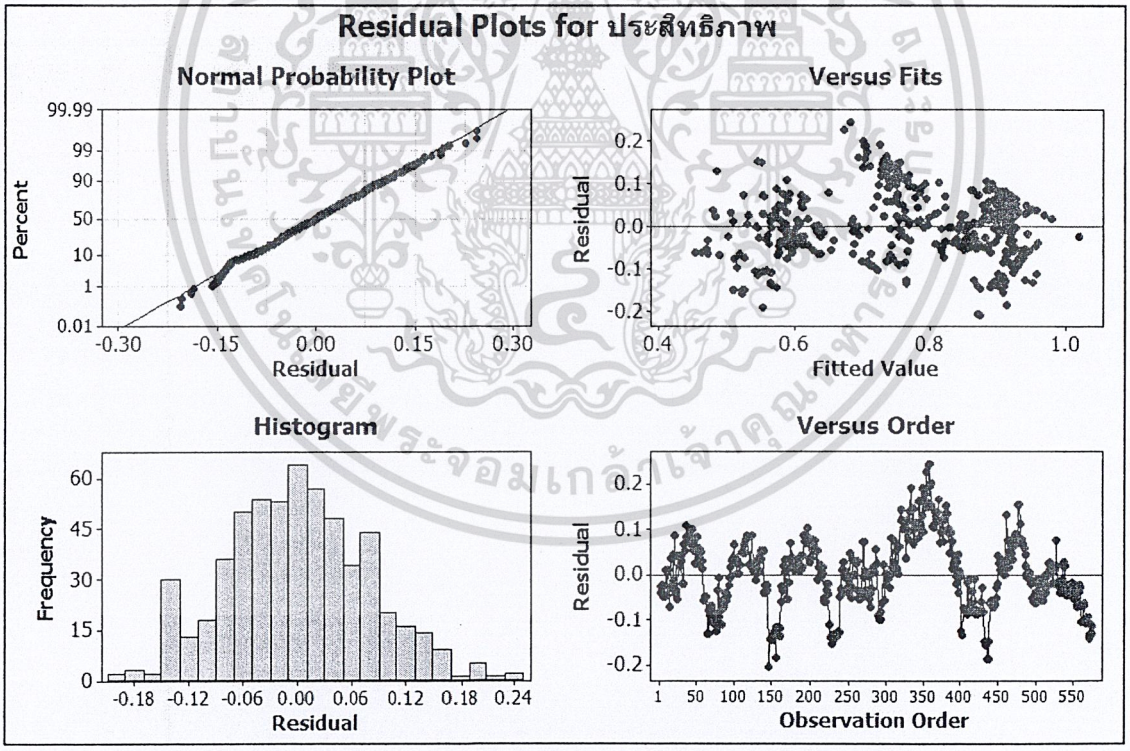
**ตารางที่ 4.3. การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (Linear) (ต่อ)**

| Term | Coef |
|---|---|
| **X4** | -0.00177939 |
| **X5** | 0.000160896 |
| **X6** | -7.25607E-04 |
| **X7** | 1.82529 |

จากตารางที่ 4.3. แสดงค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอย ซึ่งจากการวิเคราะห์ทำให้ได้สมการความถดถอยดังนี้

$$\hat{Y} = 0.278245 + 0.0783972X_1 - 0.0766672X_2 - 0.00458102 - 0.00177939X_4 + 0.000160896 - 7.25607\times10^{-4}X_5 \quad (4.1.)$$

ตรวจสอบเงื่อนไขเบื้องต้นของสมการถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (Linear)




**รูปที่4.1. แสดงการตรวจสอบเงื่อนไขเบื้องต้นของสมการถดถอยเชิงพหุของรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (Linear)**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **กราฟ Normal Probability Plot**

กราฟ Normal Probability Plot เป็นกราฟซึ่งแสดงการตรวจสอบว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ ซึ่งถ้าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ ค่าสังเกต (จุด) ต่างๆ ต้องอยู่บนเส้นตรง จากรูปที่ 4.1. พบว่าจุดต่างๆอยู่บนเส้นส่วนใหญ่ ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

- **กราฟ Histogram**

กราฟ Histogram เป็นกราฟซึ่งแสดงการตรวจสอบว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ ซึ่งถ้าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ แผนภูมิแท่งจะเป็นรูปคล้ายระฆังคว่ำ จากรูปที่ 4.1. พบว่ารูปค่อนข้างใกล้เคียงระฆังคว่ำ ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

- **กราฟ Versus Fits**

กราฟ Versus Fits เป็นกราฟซึ่งแสดงการตรวจสอบค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ หรือค่าแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนคงที่ จากรูปที่4.1. พบว่าค่าคลาดเคลื่อนกระจายอยู่รอบๆค่าศูนย์ แต่ค่าการกระจายไม่ค่อยคงที่ ดังนั้นค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ แต่ค่าแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนไม่คงที่

- **กราฟ Versus Order**

กราฟ Versus Order เป็นกราฟซึ่งแสดงการตรวจสอบว่าค่าคลาดเคลื่อนเป็นอิสระต่อกันหรือไม่ ซึ่งถ้าค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระต่อกัน กราฟจะเป็นรูปแบบที่อิสระ (Random) หรือรูปกราฟไม่มีแนวโน้มไปในทิศทางใดทางหนึ่ง ซึ่งจากรูปที่ 4.1. พบว่ากราฟค่อนข้างเป็นอิสระกัน ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนเป็นอิสระต่อกัน

### 4.2.2. รูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นและปฏิสัมพันธ์ (Linear + Interaction)

ทำการเลือกรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นและปฏิสัมพันธ์ (Linear + Interaction) แล้วทำการวิเคราะห์ผล ซึ่งได้ผลดังนี้

**ตารางที่ 4.4. ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ความถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นและปฏิสัมพันธ์ (Linear + Interaction) (1)**

| Term | Coef | SE Coef | T | P |
|---|---|---|---|---|
| **Constant** | 0.76301 | 0.01841 | 41.443 | 0.000 |
| **X1** | 0.82397 | 0.42375 | 1.944 | 0.052 |
| **X2** | -0.94784 | 0.42023 | -2.256 | 0.024 |
| **X3** | 0.02253 | 0.01910 | 1.180 | 0.239 |
| **X4** | -0.17525 | 0.03990 | -4.392 | 0.000 |
| **X5** | -0.04732 | 0.02292 | -2.064 | 0.039 |
| **X6** | -0.01726 | 0.01726 | -1.000 | 0.318 |
| **X7** | 0.16840 | 0.02316 | 7.271 | 0.000 |
| **X1*X2** | -0.27513 | 0.01285 | -21.419 | 0.000 |
| **X1*X3** | 0.32239 | 0.28094 | 1.148 | 0.252 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.4. ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ความถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นและปฏิสัมพันธ์ (Linear + Interaction) (1) (ต่อ)**

| Term | Coef | SE Coef | T | P |
|---|---|---|---|---|
| **X1*X4** | 2.92586 | 0.62000 | 4.719 | 0.000 |
| **X1*X5** | -1.49729 | 0.23442 | -6.387 | 0.000 |
| **X1*X6** | -1.33589 | 0.30611 | -4.364 | 0.000 |
| **X1*X7** | 1.34833 | 0.13131 | 10.269 | 0.000 |
| **X2*X3** | -0.39368 | 0.27645 | -1.424 | 0.155 |
| **X2*X4** | -3.01677 | 0.61756 | -4.885 | 0.000 |
| **X2*X5** | 1.44047 | 0.22849 | 6.304 | 0.000 |
| **X2*X6** | 1.26156 | 0.30342 | 4.158 | 0.000 |
| **X2*X7** | -1.32580 | 0.13149 | -10.083 | 0.000 |
| **X3*X4** | -0.18900 | 0.04054 | -4.663 | 0.000 |
| **X3*X5** | -0.00371 | 0.01772 | -0.209 | 0.834 |
| **X3*X6** | 0.15514 | 0.01829 | 8.485 | 0.000 |
| **X3*X7** | -0.14815 | 0.02007 | -7.381 | 0.000 |
| **X4*X5** | -0.08656 | 0.05082 | -1.703 | 0.089 |
| **X4*X6** | 0.02545 | 0.04027 | 0.632 | 0.528 |
| **X4*X7** | 0.12433 | 0.03508 | 3.545 | 0.000 |
| **X5*X6** | 0.05696 | 0.01320 | 4.315 | 0.000 |
| **X5*X7** | -0.18075 | 0.01473 | -12.274 | 0.000 |
| **X6*X7** | -0.03275 | 0.01753 | -1.868 | 0.062 |

จากตารางที่ 4.4. แสดงค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอย ซึ่งจากการวิเคราะห์ทำให้ได้สมการความถดถอยดังนี้

$$\begin{aligned}\hat{Y} = {} & -12.1784 - 0.22458X_1 + 0.491848X_2 + 0.15562X_3 + 0.0299028X_4 + 0.00430095X_5 - 0.0106705X_6 \\ & + 11.1474X_7 - 0.00205351X_1X_2 + 0.00471056X_1X_3 + 0.00626657X_1X_4 - 6.73247\times10^{-4}X_1X_5 \\ & - 0.00153551X_1X_6 + 0.929883X_1X_7 - 0.00577708X_2X_3 - 0.00648926X_2X_4 + 0.0006505X_2X_6 \\ & - 0.918305X_2X_7 - 7.95892\times10^{-4}X_3X_4 - 3.27551\times10^{-6}X_3X_5 + 0.000350605X_3X_6 - 0.200887X_3X_7 \\ & - 1.12171\times10^{-5}X_4X_5 + 8.43010\times10^{-6}X_4X_6 + 0.0247123X_4X_7 + 3.96129\times10^{-6}X_5X_6 - 0.007542X_5X_7 \\ & - 0.00349304X_6X_7 \end{aligned} \quad (4.2.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหมายของผลลัพธ์จากตารางที่ 4.4.

- Coef หมายถึง ค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอย
- SE Coef หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอย
- T และ P หมายถึง ค่าสถิติทดสอบ T-Test และ ค่า Sig t ซึ่งเป็นการทดสอบว่า ตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระแต่ละตัวหรือไม่

โดย สถิติทดสอบ t

$H_0 : \beta_i = 0$

$H_1 : \beta_i \neq 0 \quad ; i = 1,2,3,4,5,6,7$

เขตปฏิเสธ จะปฏิเสธ $H_0$ ถ้า $|t| > t_{1-\alpha/2\,;\,n-k-1}$ หรือ $|t| > t_{.95;568} = 1.64$ ถ้า Sig t $< \alpha$ หรือ Sig t $< 0.05$ ในผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ความถดถอย จะเลือกดูเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระแต่ละตัวก่อน ยังไม่ดูค่าของสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กันเอง เพื่อทำการเลือกว่าจะได้ตัวแปรอิสระใดบ้างเข้าสมการถดถอย ซึ่งเมื่อเทียบกับค่า t หรือค่า Sig t ในตารางที่ 4.4. จะได้ว่ายอมรับ $H_0$ คือ $\beta_1, \beta_3, \beta_6 = 0$ เนื่องจาก Sig t $> 0.05$ แต่ $\beta_2, \beta_4, \beta_5, \beta_7 \neq 0$ จึงปฏิเสธ $H_0$ ดังนั้น Y จึงมีความสัมพันธ์กับ$X_i$ ; i = 2, 4, 5, 7 แล้วนำ $X_2$, $X_4$, $X_5$, $X_7$ เข้าสมการถดถอย แต่เพื่อความถูกต้องของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ จึงต้องทำการวิเคราะห์ข้อมูลอีกครั้ง ซึ่งได้ผลดังนี้

**ตารางที่ 4.5. ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ความถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นและปฏิสัมพันธ์ (Linear + Interaction) (2)**

| Term | Coef | SE Coef | T | P |
|---|---|---|---|---|
| **Constant** | 0.697099 | 0.02019 | 34.535 | 0.000 |
| **X2** | 0.209332 | -0.03197 | -6.548 | 0.000 |
| **X4** | -0.208360 | 0.03710 | -5.616 | 0.000 |
| **X5** | -0.006113 | 0.03267 | -0.187 | 0.852 |
| **X7** | 0.174289 | 0.01820 | 9.575 | 0.000 |
| **X2*X4** | -0.280192 | 0.05097 | -5.497 | 0.000 |
| **X2*X5** | -0.125649 | 0.02804 | -4.482 | 0.000 |
| **X2*X7** | -0.018520 | 0.01315 | -1.409 | 0.160 |
| **X4*X5** | -0.172469 | 0.06832 | -2.524 | 0.012 |
| **X4*X7** | 0.114015 | 0.03651 | 3.123 | 0.002 |
| **X5*X7** | -0.097714 | 0.01198 | -8.157 | 0.000 |

$$\hat{Y} = -5.81264 + 0.095612X_2 + 0.031712X_4 + 0.00655572X_5 + 2.69419X_7 - 6.02709\times10^{-4}X_2X_4 - 5.67417\times10^{-4}X_1X_5 - 0.0128278X_2X_7 - 2.23496\times10^{-5}X_4X_5 + 0.0226613X_4X_7 - 0.0040773X_5X_7 \quad (4.3.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย สถิติทดสอบ t

$H_0 : \beta_i = 0$

$H_1 : \beta_i \neq 0 \quad ; i = 2, 4, 5, 7$

เขตปฏิเสธ จะปฏิเสธ $H_0$ ถ้า $|t| > t_{1-\alpha/2\,;\,n-k-1}$ หรือ $|t| > t_{.95;571} = 1.64$ ถ้า Sig t $< \alpha$ หรือ Sig t $< 0.05$ ในผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ความถดถอย จะเลือกดูเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระแต่ละตัวก่อน ยังไม่ดูค่าของสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กันเอง เพื่อทำการเลือกว่าจะได้ตัวแปรอิสระใดบ้างเข้าสมการถดถอย ซึ่งเมื่อเทียบกับค่า t หรือค่า Sig t ในตารางที่ 4.5 จะได้ว่ายอมรับ $H_0$ คือ $\beta_5 = 0$ เนื่องจาก Sig t $> 0.05$ แต่ $\beta_2, \beta_4, \beta_7, \neq 0$ จึงปฏิเสธ $H_0$ ดังนั้น Y จึงมีความสัมพันธ์กับ $X_i$ ; i = 2, 4, 7 แล้วนำ $X_2, X_4, X_7$ เข้าสมการถดถอย แต่เพื่อความถูกต้องของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ จึงต้องทำการวิเคราะห์ข้อมูลอีกครั้ง ซึ่งได้ผลดังนี้

**ตารางที่ 4.6. ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ความถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นและปฏิสัมพันธ์ (Linear + Interaction) (3)**

| Term | Coef | SE Coef | T | P |
|---|---|---|---|---|
| **Constant** | 0.685799 | 0.02161 | 31.736 | 0.000 |
| **X2** | -0.158480 | 0.02655 | -5.968 | 0.000 |
| **X4** | -0.206551 | 0.03938 | -5.245 | 0.000 |
| **X7** | 0.187388 | 0.01841 | 10.178 | 0.000 |
| **X2*X4** | -0.261386 | 0.04968 | -5.261 | 0.000 |
| **X2*X7** | 0.002669 | 0.01415 | 0.189 | 0.850 |
| **X4*X7** | 0.100969 | 0.03615 | 2.793 | 0.005 |

โดย สถิติทดสอบ t

$H_0 : \beta_i = 0$

$H_1 : \beta_i \neq 0 \quad ; i = 2, 4, 7$

เขตปฏิเสธ จะปฏิเสธ $H_0$ ถ้า $|t| > t_{1-\alpha/2\,;\,n-k-1}$ หรือ $|t| > t_{.95;572} = 1.64$ ถ้า Sig t $< \alpha$ หรือ Sig t $< 0.05$ ในผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ความถดถอย จะเลือกดูเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระแต่ละตัวก่อน ยังไม่ดูค่าของสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กันเอง เพื่อทำการเลือกว่าจะได้ตัวแปรอิสระใดบ้างเข้าสมการถดถอย ซึ่งเมื่อเทียบกับค่า t หรือค่า Sig t ในตารางที่ 4.6. จะได้ว่ายอมรับ $H_0$ คือ $\beta_{X2X7} = 0$ เนื่องจาก Sig t $> 0.05$ แต่ $\beta$ ตัวอื่นๆ $\neq 0$ จึงปฏิเสธ $H_0$ ดังนั้น Y จึงมีความสัมพันธ์กับ $X_i$ ; i = 2, 4, 7 แล้วนำ $X_2, X_4, X_7$ เข้าสมการถดถอย แต่เพื่อความถูกต้องของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ จึงต้องทำการวิเคราะห์ข้อมูลอีกครั้ง ซึ่งได้ผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.7. ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ความถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นและปฏิสัมพันธ์ (Linear + Interaction) (4)**

| Term | Coef | SE Coef | T | P |
|---|---|---|---|---|
| **Constant** | 0.68445 | 0.02037 | 33.608 | 0.000 |
| **X2** | -0.16064 | 0.02394 | -6.710 | 0.000 |
| **X4** | -0.20885 | 0.03742 | -5.582 | 0.000 |
| **X7** | 0.18658 | 0.01789 | 10.427 | 0.000 |
| **X2*X4** | -0.26582 | 0.04374 | -6.077 | 0.000 |
| **X4*X7** | 0.09920 | 0.03488 | 2.844 | 0.005 |

โดย สถิติทดสอบ t

$H_0 : \beta_i = 0$

$H_1 : \beta_i \neq 0 \quad ; i = 2,4,7$

เขตปฏิเสธ จะปฏิเสธ $H_0$ ถ้า $|t| > t_{1-\alpha/2 \,:\, n-k-1}$ หรือ $|t| > t_{95;572} = 1.64$ ถ้า Sig t $< \alpha$ หรือ Sig t $< 0.05$ ในผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ความถดถอย จะเลือกดูเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระแต่ละตัวก่อน ยังไม่ดูค่าของสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กันเอง เพื่อทำการเลือกว่าจะได้ตัวแปรอิสระใดบ้างเข้าสมการถดถอย ซึ่งเมื่อเทียบกับค่า t หรือค่า Sig t ในตารางที่ 4.7. ทุกตัวปฏิเสธ $H_0$ ดังนั้น Y จึงมีความสัมพันธ์กับ $X_i$ ; i = 2, 4, 7

**การแสดงความสัมพันธ์ของสมการความถดถอยแบบเชิงเส้นและปฏิสัมพันธ์ (Linear + Interaction)**

S = 0.0840532 PRESS = 4.13824

R-Sq = 72.52% R-Sq(pred) = 71.76% R-Sq(adj) = 72.27%

ซึ่งจากผลข้างต้นมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุของสมการเป็น 72.27%

**ตารางที่ 4.8. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นและปฏิสัมพันธ์ (Linear + Interaction)**

| Source | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Regression** | 5 | 10.6247 | 10.6247 | 2.12495 | 300.77 | 0.000 |
| **Linear** | 3 | 10.3138 | 5.6686 | 1.88952 | 267.45 | 0.000 |
| **X2** | 1 | 0.0983 | 0.3181 | 0.31807 | 45.02 | 0.000 |
| **X4** | 1 | 4.7410 | 0.2201 | 0.22012 | 31.16 | 0.000 |
| **X7** | 1 | 5.4745 | 0.7682 | 0.76818 | 108.73 | 0.000 |
| **Interaction** | 2 | 0.3109 | 0.3109 | 0.15546 | 22.00 | 0.000 |
| **X2*X4** | 1 | 0.2538 | 0.2609 | 0.26094 | 36.93 | 0.000 |

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.8. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบความสัมพันธ์**

**แบบเชิงเส้นและปฏิสัมพันธ์ (Linear + Interaction) (ต่อ)**

| Source | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **X4*X7** | 1 | 0.0571 | 0.0571 | 0.05713 | 8.09 | 0.005 |
| **Residual Error** | 570 | 4.0270 | 4.0270 | 0.00706 | | |
| **Lack-of-Fit** | 420 | 4.0269 | 4.0269 | 0.00959 | 13980.57 | 0.000 |
| **Pure Error** | 150 | 0.0001 | 0.0001 | 0.00000 | | |
| **Total** | 575 | 14.6518 | | | | |

ความหมายของผลลัพธ์จากตารางที่ 4.8.

- Seq SS และ Adj SS หมายถึง ค่าความแปรปรวน และค่าความแปรปรวนที่ปรับค่าแล้ว
  ซึ่ง SSR คือ ค่าความแปรปรวนของความถดถอย = 10.6247
  SSE คือ ค่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อน = 4.0270
- Adj MS หมายถึง ค่าเฉลี่ยของความแปรปรวนที่ปรับค่าแล้ว
- F และ P หมายถึง ค่าสถิติทดสอบ F-Test และ Sig F ซึ่งเป็นการทดสอบว่ามีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัว ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามหรือไม่

โดย สถิติทดสอบ F

$H_0$ : $\beta_2 = \beta_4 = \beta_7$

$H_1$ : $\beta_i$ อย่างน้อย 1 ค่าที่ $\neq 0$ ; i = 2,4,7

เขตปฏิเสธ จะปฏิเสธ $H_0$ ถ้า $F > F_{1-\alpha/2\ ;\ k,\ n-k-1}$ หรือ $F > F_{.95;\ 3,574} = 2.60$ ถ้า Sig F $< \alpha$ หรือ Sig F $< 0.05$ ซึ่งเมื่อเทียบกับค่าF หรือค่า Sig F ของ Regression ในตารางที่ 4.8. ปฏิเสธ $H_0$ ดังนั้นมี $\beta_i$ อย่างน้อย 1 ตัวที่ไม่เท่ากับศูนย์ และเมื่อดูผลการทดสอบแต่ละตัวจากตารางที่ 4.8. พบว่า $X_i$ มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม ; i=2,4,7

**ตารางที่ 4.9. การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์**

**แบบเชิงเส้นและปฏิสัมพันธ์ (Linear + Interaction)**

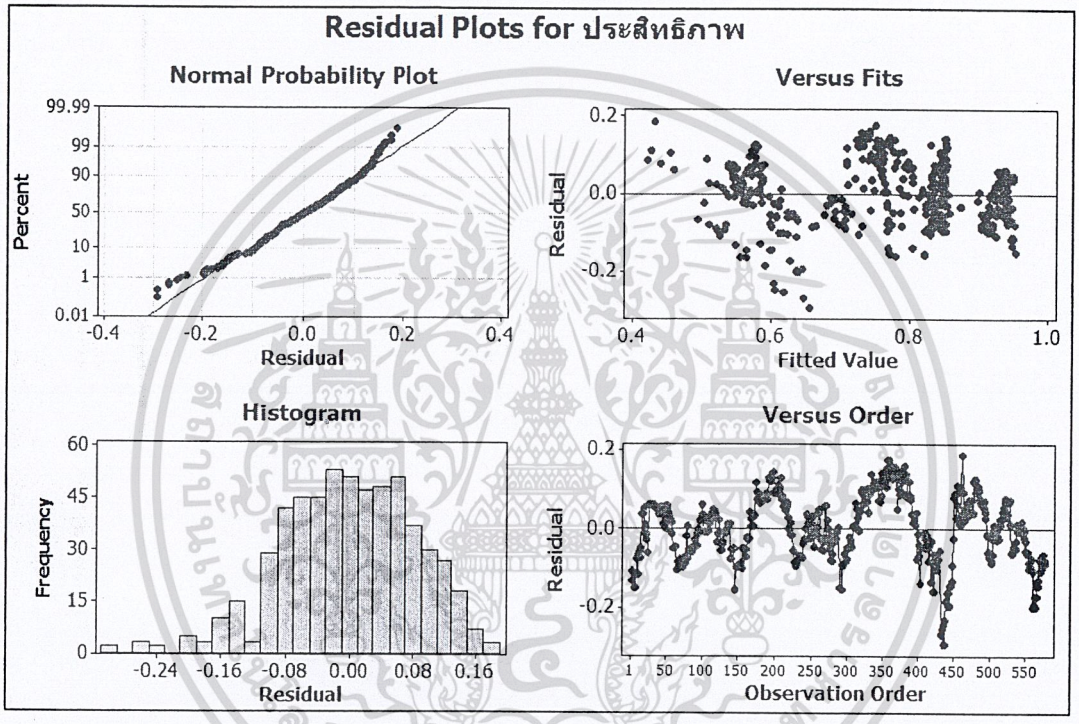
| Term | Coef |
|---|---|
| **Constant** | -0.748160 |
| **X2** | 0.0476450 |
| **X4** | 0.0141483 |
| **X7** | -0.629937 |
| **X2*X4** | -5.71789E-04 |
| **X4*X7** | 0.0197175 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.9. แสดงค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอย ซึ่งจากการวิเคราะห์ทำให้ได้สมการความถดถอยดังนี้

$$\hat{Y} = -0.748160 + 0.0476450X_2 + 0.0141483X_4 - 0.629937X_7 - 5.71789\times10^{-4}X_2X_4 + 0.0197175X_4X_7 \quad (4.4.)$$

<u>ตรวจสอบเงื่อนไขเบื้องต้นของสมการถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นและปฏิสัมพันธ์(Linear + Interaction)</u>




**รูปที่ 4.2. แสดงการตรวจสอบเงื่อนไขเบื้องต้นของสมการถดถอยเชิงพหุ ของรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นและปฏิสัมพันธ์ (Linear + Interaction)**

- **กราฟ Normal Probability Plot**

แสดงการตรวจสอบว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ จากรูปที่ 4.2. พบว่าจุดต่างๆอยู่บนเส้นส่วนใหญ่ ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

- **กราฟ Histogram**

แสดงการตรวจสอบว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ จากรูปที่ 4.2. พบว่ากราฟค่อนข้างเบ้ซ้าย ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

- **กราฟ Versus Fits**

แสดงการตรวจสอบค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ หรือค่าแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนคงที่ จากรูปที่ 4.2. พบว่าค่าคลาดเคลื่อนกระจายอยู่รอบๆค่าศูนย์ แต่ค่าการกระจายไม่ค่อยคงที่ ดังนั้นค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ แต่ค่าแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนไม่คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **กราฟ Versus Order**

แสดงการตรวจสอบว่าค่าคลาดเคลื่อนเป็นอิสระต่อกันหรือไม่ จากรูปที่ 4.2. พบว่ากราฟค่อนข้างเป็นอิสระกัน ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนเป็นอิสระต่อกัน

### 4.2.3. รูปแบบความสัมพันธ์แบบครอดราติกส์เต็มรูป (Full Quadratic)

ทำการเลือกรูปแบบความสัมพันธ์แบบครอดราติกส์เต็มรูป (Full Quadratic) แล้วทำการวิเคราะห์ผล ซึ่งได้ผลดังนี้

**ตารางที่ 4.10. ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ความถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบครอดราติกส์เต็มรูป (Full Quadratic) (1)**

| Term | Coef | SE Coef | T | P |
|---|---|---|---|---|
| Constant | 0.85680 | 0.01642 | 52.169 | 0.000 |
| X1 | 1.05089 | 0.36171 | 2.905 | 0.004 |
| X2 | -1.14401 | 0.35695 | -3.205 | 0.001 |
| X3 | 0.02062 | 0.01793 | 1.150 | 0.251 |
| X4 | -0.19989 | 0.03635 | -5.499 | 0.000 |
| X5 | -0.07656 | 0.01885 | -4.061 | 0.000 |
| X6 | -0.01103 | 0.01792 | -0.615 | 0.539 |
| X7 | 0.15260 | 0.02218 | 6.880 | 0.000 |
| X1*X1 | -1.00332 | 1.50238 | -0.668 | 0.505 |
| X2*X2 | -0.90883 | 1.45155 | -0.626 | 0.532 |
| X3*X3 | -0.01739 | 0.01430 | -1.216 | 0.224 |
| X4*X4 | -0.11445 | 0.02049 | -5.585 | 0.000 |
| X5*X5 | -0.08725 | 0.00932 | -9.365 | 0.000 |
| X6*X6 | -0.03025 | 0.01207 | -2.506 | 0.012 |
| X1*X2 | 1.64351 | 2.94710 | 0.558 | 0.577 |
| X1*X3 | 0.77565 | 0.25729 | 3.015 | 0.003 |
| X1*X4 | 1.11305 | 0.52172 | 2.133 | 0.033 |
| X1*X5 | -0.52340 | 0.19686 | -2.659 | 0.008 |
| X1*X6 | 0.11321 | 0.26186 | 0.432 | 0.666 |
| X1*X7 | -0.28456 | 0.19514 | -1.458 | 0.145 |
| X2*X3 | -0.81306 | 0.25189 | -3.228 | 0.001 |
| X2*X4 | -1.30282 | 0. 52163 | -2.498 | 0.013 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.10. ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ความถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบครอดราติกส์เต็มรูป (Full Quadratic) (1) (ต่อ)**

| Term | Coef | SE Coef | T | P |
|---|---|---|---|---|
| **X2*X5** | 0.46912 | 0.19335 | 2.426 | 0.016 |
| **X2*X7** | 0.18725 | 0.18713 | 1.001 | 0.317 |
| **X3*X4** | -0.07792 | 0.03254 | -2.395 | 0.017 |
| **X3*X5** | 0.00983 | 0.01424 | 0.690 | 0.490 |
| **X3*X6** | 0.10351 | 0.01716 | 6.033 | 0.000 |
| **X3*X7** | -0.05883 | 0.01921 | -3.063 | 0.002 |
| **X4*X5** | -0.08625 | 0.04192 | -2.058 | 0.040 |
| **X4*X6** | 0.01279 | 0.03327 | 0.384 | 0.701 |
| **X4*X7** | -0.06601 | 0.03585 | -1.841 | 0.066 |
| **X5*X6** | 0.02778 | 0.01178 | 2.358 | 0.019 |
| **X5*X7** | -0.10476 | 0.01270 | -8.248 | 0.000 |
| **X6*X7** | 0.05311 | 0.01687 | 3.149 | 0.002 |

จากตารางที่ 4.10. แสดงค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอย ซึ่งจากการวิเคราะห์ทำให้ได้สมการความถดถอยดังนี้

$$\hat{Y} = -14.5198 - 0.193549X_1 + 0.462646X_2 + 0.0814799X_3 + 0.0533038X_5 - 0.0120951X_6 + 18.719X_7$$
$$- 0.00745633X_1^2 - 0.0068127X_2^2 - 4.99662\times10^{-4}X_3^2 - 7.06463\times10^{-5}X_4^2 - 2.37365\times10^{-6}X_5^2$$
$$- 5.3786\times10^{-6}X_6^2 - 10.6099\times10^{-6}X_7^2 + 0.0122669X_1X_2 + 0.011332X_1X_3 + 0.00238392X_1X_4$$
$$- 2.35343\times10^{-4}X_1X_5 + 0.000130122X_1X_6 - 0.196251X_1X_7 - 0.0119313X_2X_3 - 0.00280244X_2X_4$$
$$+ 0.000211849X_2X_5 - 8.65547\times10^{-5}X_2X_6 + 0.129695X_2X_7 - 3.28135\times10^{-4}X_3X_4 + 8.68919\times10^{-6}X_3X_5$$
$$+ 0.00023392X_3X_6 - 0.0797746X_3X_7 - 1.11768\times10^{-5}X_4X_5 + 4.23692\times10^{-6}X_4X_6 - 0.0131191X_4X_7$$
$$+ 1.93172\times10^{-6}X_5X_7 + 0.00566487X_6X_7 \qquad (4.5.)$$

<u>ความหมายของผลลัพธ์จากตารางที่ 4.10.</u>

- Coef หมายถึง ค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอย
- SE Coef หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอย
- T และ P หมายถึง ค่าสถิติทดสอบ T-Test และ ค่า Sig t ซึ่งเป็นการทดสอบว่า ตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระแต่ละตัวหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย สถิติทดสอบ t

$H_0 : \beta_i = 0$

$H_1 : \beta_i \neq 0 \quad ; i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$

เขตปฏิเสธ จะปฏิเสธ $H_0$ ถ้า $|t| > t_{1-\alpha/2 \,;\, n-k-1}$ หรือ $|t| > t_{.95;568} = 1.64$ ถ้า Sig t < $\alpha$ หรือ Sig t < 0.05 ในการผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ความถดถอย จะเลือกดูเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระแต่ละตัวก่อน ยังไม่ดูค่าของสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กันเอง เพื่อทำการเลือกว่าจะได้ตัวแปรอิสระใดบ้างเข้าสมการถดถอย ซึ่งเมื่อเทียบกับค่าt หรือค่า Sig t ในตารางที่ 4.10. จะได้ว่ายอมรับ $H_0$ คือ $\beta_3, \beta_6 = 0$ เนื่องจาก Sig t > 0.05 แต่ $\beta$ ตัวอื่นๆ $\neq 0$ จึงปฏิเสธ $H_0$ ดังนั้น Y จึงมีความสัมพันธ์กับ $X_i$ ; i = 2, 4, 5, 7 แล้วนำ $X_2, X_4, X_5, X_7$ เข้าสมการถดถอย แต่เพื่อความถูกต้องของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ จึงต้องทำการวิเคราะห์ข้อมูลอีกครั้ง ซึ่งได้ผลดังนี้

**ตารางที่ 4.11. ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ความถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบกรอดราติกส์เต็มรูป (Full Quadratic) (2)**

| Term | Coef | SE Coef | T | P |
|---|---|---|---|---|
| Constant | 0.85278 | 0.01571 | 54.286 | 0.000 |
| X1 | 1.05480 | 0.29435 | 3.583 | 0.000 |
| X2 | -1.15755 | 0.29204 | -3.964 | 0.000 |
| X4 | -0.12389 | 0.03041 | -4.074 | 0.000 |
| X5 | -0.09087 | 0.01938 | -4.690 | 0.000 |
| X7 | 0.17626 | 0.01799 | 9.799 | 0.000 |
| X1*X1 | 1.92046 | 1.55512 | 1.235 | 0.217 |
| X2* X2 | 1.74811 | 1.51690 | 1.152 | 0.250 |
| X4*X4 | -0.04677 | 0.01861 | -2.513 | 0.012 |
| X5*X5 | -0.10344 | 0.00900 | -11.487 | 0.000 |
| X7*X7 | -0.11349 | 0.00908 | -12.498 | 0.000 |
| X1*X2 | -3.93200 | 3.06549 | -1.283 | 0.200 |
| X1*X4 | 1.52551 | 0.49763 | 3.066 | 0.002 |
| X1*X5 | -0.91857 | 0.21369 | -4.299 | 0.000 |
| X1*X7 | 0.05160 | 0.17080 | 0.302 | 0.763 |
| X2*X4 | -1.66170 | 0.49663 | -3.346 | 0.001 |
| X2*X5 | 0.82565 | 0.21113 | 3.911 | 0.000 |
| X2*X7 | -0.11909 | 0.16675 | -0.714 | 0.475 |
| X4*X5 | -0.06581 | 0.04125 | -1.595 | 0.111 |
| X4*X7 | 0.02399 | 0.03429 | 0.700 | 0.484 |
| X5*X7 | -0.10156 | 0.01148 | -8.850 | 0.000 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.10. แสดงค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอย ซึ่งจากการวิเคราะห์ทำให้ได้สมการความถดถอยดังนี้

$$\hat{Y} = -13.2064 + 0.110253X_1 + 0.159429X_2 + 0.049975X_4 + 0.00735947X_5 - 0.00836845X_6 + 17.6746X_7$$
$$+ 0.0117348X_1^2 + 0.0117317X_2^2 - 7.7897\times10^{-5}X_4^2 - 2.50491\times10^{-6}X_5^2 - 7.97105\times10^{-6}X_6^2 - 11.1895\times10^{-6}X_7^2$$
$$- 0.0254498X_1X_2 + 0.00281547X_1X_4 - 3.0612\times10^{-4}X_1X_5 + 0.000536222X_1X_6 - 0.176525X_1X_7$$
$$- 0.00333206X_2X_4 + 0.000284225X_2X_5 - 4.31007\times10^{-4}X_2X_6 + 0.0774805X_2X_7 - 1.47176\times10^{-5}X_4X_5$$
$$+ 1.39502\times10^{-5}X_4X_6 - 0.0127812X_4X_7 + 1.33732^{-6}X_5X_6 - 0.00436329X_5X_7 + 0.00902197X_6X_7 \qquad (4.6.)$$

<u>โดย สถิติทดสอบ t</u>

$H_0 : \beta_i = 0$

$H_1 : \beta_i \neq 0 \quad ; i = 1, 2, 3, 4, 5, 7$

<u>เขตปฏิเสธ</u> จะปฏิเสธ $H_0$ ถ้า $|t| > t_{1-\alpha/2;\, n-k-1}$ หรือ $|t| > t_{.95:569} = 1.64$ ถ้า Sig t $< \alpha$ หรือ Sig t $< 0.05$ ในการผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ความถดถอย จะเลือกดูเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระแต่ละตัวก่อน ยังไม่ดูค่าของสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กันเอง เพื่อทำการเลือกว่าจะได้ตัวแปรอิสระใดบ้างเข้าสมการถดถอย ซึ่งเมื่อเทียบกับค่า t หรือค่า Sig t ในตารางที่ 4.11. จะได้ว่ายอมรับ $H_0$ คือ $\beta_{X1X1}$, $\beta_{X2X2}$, $\beta_{X1X2}$, $\beta_{X1X7}$, $\beta_{X2X7}$, $\beta_{X4X5}$, $\beta_{X4X7} = 0$ เนื่องจาก Sig t $> 0.05$ แต่ $\beta$ ตัวอื่นๆ $\neq 0$ จึงปฏิเสธ $H_0$ ดังนั้น Y จึงมีความสัมพันธ์กับ $X_i$ ; i =1,2,3,4,5, 7 แล้วนำ $X_1$, $X_2$, $X_4$, $X_5$, $X_7$ เข้าสมการถดถอย แต่เพื่อความถูกต้องของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ จึงต้องทำการวิเคราะห์ข้อมูลอีกครั้ง ซึ่งได้ผลดังนี้

**ตารางที่ 4.12. ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ความถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบกรอดราติกส์เต็มรูป (Full Quadratic) (3)**

| Term | Coef | SE Coef | T | P |
|---|---|---|---|---|
| **Constant** | 0.78238 | 0.018079 | 43.276 | 0.000 |
| **X1** | 0.99004 | 0.316937 | 3.124 | 0.002 |
| **X2** | -1.15969 | 0.314801 | -3.684 | 0.000 |
| **X4** | -0.21938 | 0.033003 | -6.647 | 0.000 |
| **X5** | 0.02308 | 0.007198 | 3.206 | 0.001 |
| **X7** | 0.16223 | 0.006966 | 23.289 | 0.000 |
| **X4*X4** | -0.14171 | 0.020881 | -6.786 | 0.000 |
| **X5*X5** | -0.17709 | 0.011942 | -14.829 | 0.000 |
| **X7*X7** | -0.05578 | 0.007864 | -7.093 | 0.000 |
| **X1*X4** | 1.35869 | 0.532687 | 2.551 | 0.011 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.12. ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ความถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบครอดราติกส์เต็มรูป (Full Quadratic) (3) (ต่อ)**

| Term | Coef | SE Coef | T | P |
|---|---|---|---|---|
| **X1*X5** | -1.01263 | 0.295147 | -3.431 | 0.001 |
| **X2*X4** | -1.61536 | 0.533776 | -3.026 | 0.003 |
| **X2*X5** | 0.87922 | 0.289177 | 3.040 | 0.002 |
| **X5*X7** | -0.10630 | 0.014975 | -7.099 | 0.000 |

ความหมายของผลลัพธ์จากตารางที่ 4.12.

- Coef หมายถึง ค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอย
- SE Coef หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอย
- T และ P หมายถึง ค่าสถิติทดสอบ T-Test และ ค่า Sig t ซึ่งเป็นการทดสอบว่า ตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระแต่ละตัวหรือไม่

โดย สถิติทดสอบ t

$H_0 : \beta_i = 0$

$H_1 : \beta_i \neq 0 \quad ; i = 1, 2, 4, 5, 7$

เขตปฏิเสธ จะปฏิเสธ $H_0$ ถ้า $|t| > t_{1-\alpha/2\,;\,n-k-1}$ หรือ $|t| > t_{.95;570} = 1.64$ ถ้า Sig t $< \alpha$ หรือ Sig t $< 0.05$ ในการผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ความถดถอย จะเลือกดูเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระแต่ละตัวก่อน ยังไม่ดูค่าของสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กันเอง เพื่อทำการเลือกว่าจะได้ตัวแปรอิสระใดบ้างเข้าสมการถดถอย ซึ่งเมื่อเทียบกับค่า t หรือค่า Sig t ในตารางที่ 4.12. ทุกตัวปฏิเสธ $H_0$ ดังนั้น Y จึงมีความสัมพันธ์กับ $X_i$ ; i = 1, 2, 4, 5, 7

**การแสดงความสัมพันธ์ของสมการความถดถอยแบบครอดราติกส์เต็มรูป (Full Quadratic)**

S = 0.0562250 PRESS = 1.88024

R-Sq = 87.87% R-Sq(pred) = 87.17% R-Sq(adj) = 87.59%

ซึ่งจากผลข้างต้นมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุของสมการเป็น 87.59%

**ตารางที่ 4.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบความสัมพันธ์แบบครอดราติกส์เต็มรูป (Full Quadratic)**

| Source | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Regression** | 13 | 12.8751 | 12.8751 | 0.99040 | 313.29 | 0.000 |
| **Linear** | 5 | 10.8999 | 4.5662 | 0.91325 | 288.89 | 0.000 |
| **X1** | 1 | 0.2294 | 0.0308 | 0.03085 | 9.76 | 0.002 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบความสัมพันธ์แบบครอดราติกส์เต็มรูป (Full Quadratic) (ต่อ)**

| Source | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **X2** | 1 | 3.2887 | 0.0429 | 0.04290 | 13.57 | 0.000 |
| **X4** | 1 | 2.8718 | 0.1397 | 0.13968 | 44.19 | 0.000 |
| **X5** | 1 | 0.5451 | 0.0325 | 0.03250 | 10.28 | 0.001 |
| **X7** | 1 | 3.9649 | 1.7146 | 1.71463 | 542.39 | 0.000 |
| **Square** | 3 | 1.3489 | 1.0705 | 0.35682 | 112.87 | 0.000 |
| **X4*X4** | 1 | 0.0004 | 0.1456 | 0.14560 | 46.06 | 0.000 |
| **X5*X5** | 1 | 1.1443 | 0.6952 | 0.69518 | 219.91 | 0.000 |
| **X7*X7** | 1 | 0.2042 | 0.1591 | 0.15906 | 50.32 | 0.000 |
| **Interaction** | 5 | 0.6264 | 0.6264 | 0.12528 | 39.63 | 0.000 |
| **X1*X4** | 1 | 0.1579 | 0.0206 | 0.02057 | 6.51 | 0.011 |
| **X1*X5** | 1 | 0.0448 | 0.0372 | 0.03721 | 11.77 | 0.001 |
| **X2*X4** | 1 | 0.1528 | 0.0290 | 0.02895 | 9.16 | 0.003 |
| **X2*X5** | 1 | 0.1115 | 0.0292 | 0.02922 | 9.24 | 0.002 |
| **X5*X7** | 1 | 0. 1593 | 0.1593 | 0.15930 | 50.39 | 0.000 |
| **Residual Error** | 562 | 1.7766 | 1.7766 | 0.00316 | | |
| **Lack-of-Fit** | 415 | 1.7766 | 1.7766 | 0.00428 | * | * |
| **Pure Error** | 147 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00000 | | |
| **Total** | 575 | 14.6518 | | | | |

ความหมายของผลลัพธ์จากตารางที่ 4.13.

- Seq SS และ Adj SS หมายถึง ค่าความแปรปรวน และค่าความแปรปรวนที่ปรับค่าแล้ว
  ซึ่ง SSR คือ ค่าความแปรปรวนของความถดถอย = 12.8751
  SSE คือ ค่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อน = 1.7766
- Adj MS หมายถึง ค่าเฉลี่ยของความแปรปรวนที่ปรับค่าแล้ว
- F และ P หมายถึง ค่าสถิติทดสอบ F-Test และ Sig F ซึ่งเป็นการทดสอบว่ามีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัว ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามหรือไม่

โดย สถิติทดสอบ F

$H_0$ : $\beta_1 = \beta_2 = \beta_4 = \beta_5 = \beta_7 = 0$

$H_1$ : $\beta_i$ อย่างน้อย 1 ค่าที่ $\neq 0$ ; i = 1, 2, 4, 5, 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>เขตปฏิเสธ</u> จะปฏิเสธ $H_0$ ถ้า $F > F_{1-\alpha/2\,;\,k,\,n-k-1}$ หรือ $F > F_{.95;\,5,570} = 2.21$ ถ้า Sig F $< \alpha$ หรือ Sig F $< 0.05$ ซึ่งเมื่อเทียบกับค่า F หรือค่า Sig F ของ Regression ในตารางที่ 4.13. ปฏิเสธ $H_0$ ดังนั้นมี $\beta_i$ อย่างน้อย 1 ตัวที่ไม่เท่ากับศูนย์ และเมื่อดูผลการทดสอบแต่ละตัวจากตารางที่ 4.13. พบว่า $X_i$ มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม ; i = 1,2,4,5,7

**ตารางที่ 4.14. การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบกรอดราติกส์เต็มรูป (Full Quadratic)**

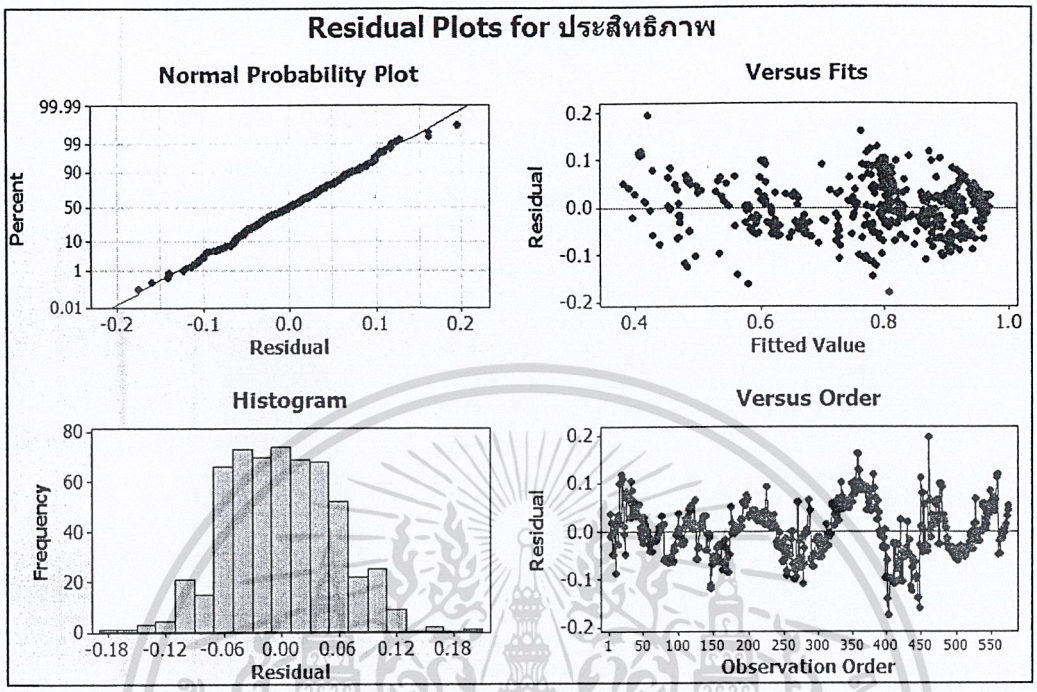
| Term | Coef |
|---|---|
| Constant | -9.10568 |
| X1 | 0.122700 |
| X2 | -0.0320923 |
| X4 | 0.0396371 |
| X5 | 0.0119507 |
| X7 | 7.39101 |
| X4*X4 | -8.74719E-05 |
| X5*X5 | -4.81789E-06 |
| X7*X7 | -3.57010 |
| X1*X4 | 0.00291002 |
| X1*X5 | -4.55324E-04 |
| X2*X4 | -0.00347473 |
| X2*X5 | 0.000397049 |
| X5*X7 | -0.00443561 |

จากตารางที่ 4.14. แสดงค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอย ซึ่งจากการวิเคราะห์ทำให้ได้สมการความถดถอยดังนี้

$$\hat{Y} = -9.10568 + 0.122700X_1 - 0.0320923X_2 + 0.0396371X_4 + 0.0119507X_5 + 7.39101X_7 - 8.74719\times10^{-5}X_4^{\,2} - 4.81789\times10^{-6} - 3.57010X_7^{\,2} + 0.00291002X_1X_2 - 4.55324\times10^{-4}X_1X_5 - 0.00347473X_2X_4 + 0.000397049X_2X_5 - 0.00443561X_5X_7 \quad (4.7.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบเงื่อนไขเบื้องต้นของสมการถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบครอดราติกส์เต็มรูป (Full Quadratic)




**รูปที่ 4.3. แสดงการตรวจสอบเงื่อนไขเบื้องต้นของสมการถดถอยเชิงพหุ ของรูปแบบความสัมพันธ์แบบครอดราติกส์เต็มรูป (Full Quadratic)**

- **กราฟ Normal Probability Plot**

แสดงการตรวจสอบว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ จากรูปที่ 4.3. พบว่าจุดต่างๆอยู่บนเส้นส่วนใหญ่ ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

- **กราฟ Histogram**

แสดงการตรวจสอบว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ จากรูปที่ 4.3. พบว่ากราฟคล้ายระฆังคว่ำ ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

- **กราฟ Versus Fits**

แสดงการตรวจสอบค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ หรือค่าแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนคงที่ จากรูปที่4.3. พบว่าค่าคลาดเคลื่อนกระจายอยู่รอบๆค่าศูนย์ และค่าการกระจายคงที่ ดังนั้นค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ และค่าแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนคงที่

- **กราฟ Versus Order**

แสดงการตรวจสอบว่าค่าคลาดเคลื่อนเป็นอิสระต่อกันหรือไม่ ซึ่งจากรูปที่ 4.3. พบว่ากราฟค่อนข้างเป็นอิสระกัน ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนเป็นอิสระต่อกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.2.4. รูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นและยกกำลังสอง (Linear + Squares)**

ทำการเลือกรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นและยกกำลังสอง (Linear + Squares)แล้วทำการวิเคราะห์ผล ซึ่งได้ผลดังนี้

**ตารางที่ 4.15. ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ความถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นและยกกำลังสอง (Linear + Squares)**

| Term | Coef | SE Coef | T | P |
|---|---|---|---|---|
| **Constant** | 0.90176 | 0.011326 | 79.615 | 0.000 |
| **X1** | 0.59689 | 0.075940 | 7.860 | 0.000 |
| **X2** | -0.58396 | 0.074571 | -7.831 | 0.000 |
| **X3** | -0.04632 | 0.008330 | -5.561 | 0.000 |
| **X4** | -0.02178 | 0.010274 | -2.120 | 0.034 |
| **X5** | -0.09497 | 0.006002 | -15.821 | 0.000 |
| **X6** | -0.02121 | 0.010173 | -2.085 | 0.037 |
| **X7** | 0.20103 | 0.005814 | 34.577 | 0.000 |
| **X1*X1** | 0.17913 | 0.062142 | 2.883 | 0.004 |
| **X2*X2** | -0.46623 | 0.063720 | -7.317 | 0.000 |
| **X3*X3** | -0.08073 | 0.013772 | -5.862 | 0.000 |
| **X5*X5** | -0.11010 | 0.009341 | -11.786 | 0.000 |
| **X6*X6** | -0.02155 | 0.010669 | -2.020 | 0.044 |
| **X7*X7** | -0.11878 | 0.008258 | -14.383 | 0.000 |

ความหมายของผลลัพธ์จากตารางที่ 4.15.

- Coef หมายถึง ค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอย
- SE Coef หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอย
- T และ P หมายถึง ค่าสถิติทดสอบ T-Test และ ค่า Sig t ซึ่งเป็นการทดสอบว่า ตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระแต่ละตัวหรือไม่

โดย สถิติทดสอบ t

$H_0 : \beta_i = 0$

$H_1 : \beta_i \neq 0 \quad ; i = 1,2,3,4,5,6,7$

เขตปฏิเสธ จะปฏิเสธ $H_0$ ถ้า $|t| > t_{1-\alpha/2\,;\,n-k-1}$ หรือ $|t| > t_{.95;570} = 1.64$ ถ้า Sig t $< \alpha$ หรือ Sig t $< 0.05$ ในการผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ความถดถอย จะเลือกดูเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระแต่ละตัวก่อน ยังไม่ดูค่าของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้นำไปดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้

สัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กันเอง เพื่อทำการเลือกว่าจะได้ตัวแปรอิสระใดบ้างเข้าสมการถดถอย ซึ่งเมื่อเทียบกับค่า t หรือค่า Sig t ในตารางที่ 4.15. ทุกตัวปฏิเสธ $H_0$ ดังนั้น Y จึงมีความสัมพันธ์กับ $X_i$ ; i=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

**การแสดงความสัมพันธ์ของสมการความถดถอยแบบเชิงเส้นและยกกำลังสอง (Linear + Squares)**

S = 0.0443586 PRESS = 1.16452

R-Sq = 92.45% R-Sq(pred) = 92.05% R-Sq(adj) = 92.28%

ซึ่งจากผลข้างต้นมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุของสมการเป็น 92.28%

**ตารางที่ 4.16. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นและยกกำลังสอง (Linear + Squares)**

| Source | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Regression** | 13 | 13.5459 | 13.5459 | 1.04199 | 529.55 | 0.000 |
| **Linear** | 7 | 11.1413 | 6.8985 | 0.98550 | 500.84 | 0.000 |
| **X1** | 1 | 0.2294 | 0.1216 | 0.12156 | 61.78 | 0.000 |
| **X2** | 1 | 3.2887 | 0.1207 | 0.12066 | 61.32 | 0.000 |
| **X3** | 1 | 0.9047 | 0.0608 | 0.06085 | 30.92 | 0.000 |
| **X4** | 1 | 2.3523 | 0.0088 | 0.00884 | 4.49 | 0.034 |
| **X5** | 1 | 0.4311 | 0.4925 | 0.49253 | 250.31 | 0.000 |
| **X6** | 1 | 0.4850 | 0.0086 | 0.00856 | 4.35 | 0.037 |
| **X7** | 1 | 3.4502 | 2.3525 | 2.35250 | 1195.57 | 0.000 |
| **Square** | 6 | 2.4046 | 2.4046 | 0.40076 | 203.67 | 0.000 |
| **X1*X1** | 1 | 1.3883 | 0.0164 | 0.01635 | 8.31 | 0.004 |
| **X2*X2** | 1 | 0.0335 | 0.1053 | 0.10534 | 53.54 | 0.000 |
| **X3*X3** | 1 | 0.0885 | 0.0676 | 0.06761 | 34.36 | 0.000 |
| **X5*X5** | 1 | 0.4779 | 0.2734 | 0.27335 | 138.92 | 0.000 |
| **X6*X6** | 1 | 0.0093 | 0.0080 | 0.00803 | 4.08 | 0.044 |
| **X7*X7** | 1 | 0.4071 | 0.4071 | 0.40706 | 206.87 | 0.000 |
| **Residual Error** | 562 | 1.1058 | 1.1058 | 0.00197 | | |
| **Lack-of-Fit** | 415 | 1.1058 | 1.1058 | 0.00266 | * | * |
| **Pure Error** | 147 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00000 | | |
| **Total** | 575 | 14.6518 | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหมายของผลลัพธ์จากตารางที่ 4.16.

- Seq SS และ Adj SS หมายถึงค่าความแปรปรวน และค่าความแปรปรวนที่ปรับค่าแล้ว
  ซึ่ง SSR คือ ค่าความแปรปรวนของความถดถอย = 13.5459
  SSE คือ ค่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อน = 1.1058
- Adj MS หมายถึง ค่าเฉลี่ยของความแปรปรวนที่ปรับค่าแล้ว
- F และ P หมายถึง ค่าสถิติทดสอบ F-Test และ Sig F ซึ่งเป็นการทดสอบว่ามีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัว ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามหรือไม่

โดย สถิติทดสอบ F

$H_0$ : $\beta_2 = \beta_4 = \beta_7$

$H_1$ : $\beta_i$ อย่างน้อย 1 ค่าที่ $\neq 0$ ; i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

เขตปฏิเสธ จะปฏิเสธ $H_0$ ถ้า $F > F_{1-\alpha/2\,;\,k,\,n-k-1}$ หรือ $F > F_{.95;\,7,568} = 2.01$ ถ้า Sig F $< \alpha$ หรือ Sig F $< 0.05$ ซึ่งเมื่อเทียบกับค่า F หรือค่า Sig F ของ Regression ในตารางที่ 4.16 ทุกตัวปฏิเสธ $H_0$ ดังนั้นมี $\beta_i$ อย่างน้อย 1 ตัวที่ไม่เท่ากับศูนย์ และเมื่อดูผลการทดสอบแต่ละตัวจากตารางที่ 4.16 พบว่า $X_i$ มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม ; i = 1,2,3,4,5,6,7

**ตารางที่ 4.17. การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นและยกกำลังสอง (Linear + Squares)**

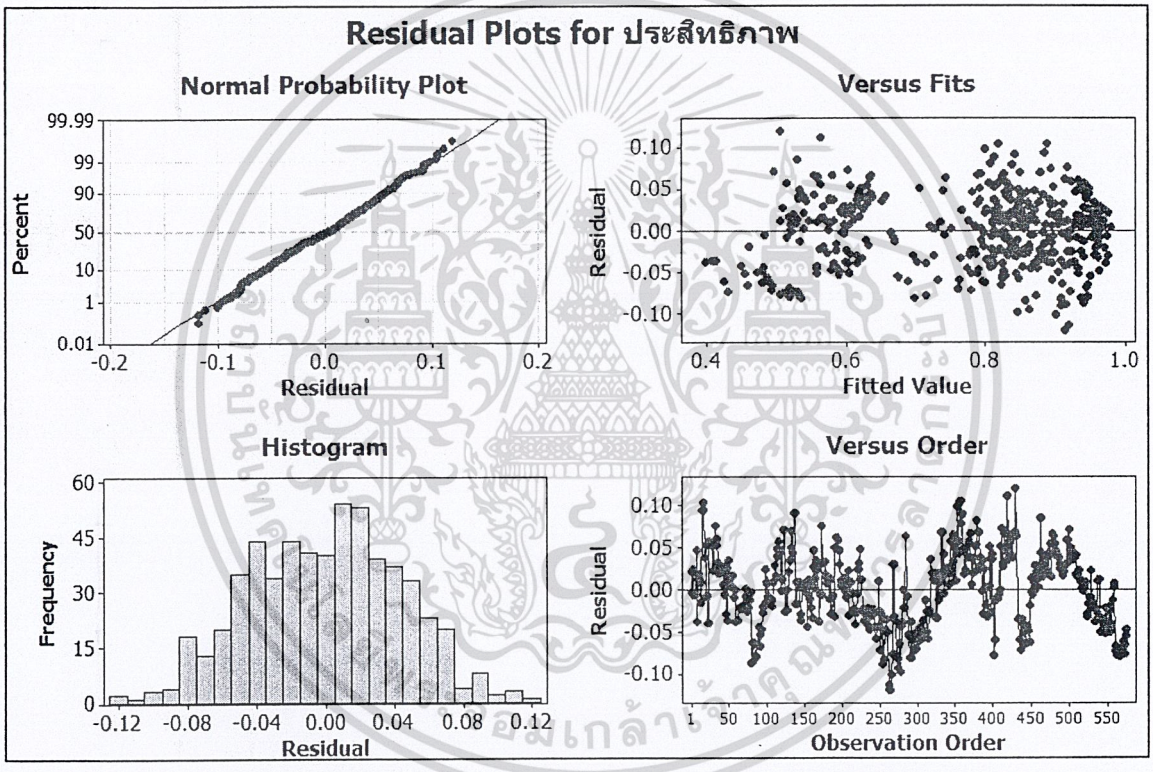
| Term | Coef |
|---|---|
| **Constant** | -9.20803 |
| **X1** | -0.0731495 |
| **X2** | 0.276212 |
| **X3** | 0.145212 |
| **X4** | -5.41040E-04 |
| **X5** | 0.00411765 |
| **X6** | 0.00105806 |
| **X7** | 7.30956 |
| **X1*X1** | 0.00133125 |
| **X2*X2** | -0.00349488 |
| **X3*X3** | -0.00231915 |
| **X5*X5** | -2.99531E-06 |
| **X6*X6** | -3.83121E-06 |
| **X7*X7** | -7.60177 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.17. แสดงค่าประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอย ซึ่งจากการวิเคราะห์ทำให้ได้สมการความถดถอยดังนี้

$$\hat{Y} = -9.20803 - 0.0731495X_1 + 0.276212X_2 + 0.145212X_3 - 5.41040\times10^{-4}X_4 + 0.00411765\,X_5 + 0.00105806\,X_6 + 7.30956\,X_7 + 0.001331257\,X_1X_1 - 0.00349488\,X_2X_2 - 0.00231915\,X_3X_3 - 2.99531\times10^{-6}\,X_5X_5 - 3.83121\times10^{-6}X_6\,X_6 - 7.60177X_7\,X_7 \quad (4.8.)$$

ตรวจสอบเงื่อนไขเบื้องต้นของสมการถดถอยของรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นและยกกำลังสอง (Linear + Squares)




**รูปที่ 4.4. แสดงการตรวจสอบเงื่อนไขเบื้องต้นของสมการถดถอยเชิงพหุของรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นและยกกำลังสอง (Linear + Squares)**

- **กราฟ Normal Probability Plot**

แสดงการตรวจสอบว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ จากรูปที่ 4.4. พบว่าจุดต่างๆอยู่บนเส้นส่วนใหญ่ ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

- **กราฟ Histogram**

แสดงการตรวจสอบว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ จากรูปที่ 4.4. พบว่ากราฟคล้ายระฆังคว่ำ ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **กราฟ Versus Fits**

แสดงการตรวจสอบค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ หรือค่าแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนคงที่จากรูปที่4.4. พบว่าค่าคลาดเคลื่อนกระจายอยู่รอบๆค่าศูนย์ และค่าการกระจายคงที่ ดังนั้นค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ และค่าแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนคงที่

- **กราฟ Versus Order**

แสดงการตรวจสอบว่าค่าคลาดเคลื่อนเป็นอิสระต่อกันหรือไม่ ซึ่งจากรูปที่ 4.4. พบว่ากราฟค่อนข้างเป็นอิสระกัน ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนเป็นอิสระต่อกัน

## 4.3. การประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์โดยการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ

ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ผลของรูปแบบความสัมพันธ์ในแต่ละแบบคือความสัมพันธ์แบบ เชิงเส้น (Linear), เชิงเส้นและปฏิสัมพันธ์ (Linear + Interaction), ครอดราติกส์เต็มรูป (Full Quadratic) และ แบบเชิงเส้นและยกกำลังสอง (Linear + Squares) เพื่อทำการเลือกรูปแบบความสัมพันธ์ที่เหมาะสมในการประมาณค่าประสิทธิภาพ จึงสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้

### 4.3.1. ผลการวิเคราะห์ของรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (Linear)

- ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุ คือ 75.75%
- ผลของการตรวจสอบเงื่อนไขเบื้องต้นของสมการถดถอยตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดทั้งหมด

### 4.3.2. ผลการวิเคราะห์ของรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นและปฏิสัมพันธ์ (Linear + Interaction)

- ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุ คือ 71.96%
- ผลของการตรวจสอบเงื่อนไขเบื้องต้นของสมการถดถอยไม่ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดคือ ค่าความคลาดเคลื่อนไม่เป็นปกติ (เบ้ซ้าย) และค่าการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อนไม่คงที่

### 4.3.3. ผลการวิเคราะห์ของรูปแบบความสัมพันธ์แบบครอดราติกส์เต็มรูป (Full Quadratic)

- ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุ คือ 87.59%
- ผลของการตรวจสอบเงื่อนไขเบื้องต้นของสมการถดถอยตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดทั้งหมด

### 4.3.4. ผลการวิเคราะห์ของรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นและยกกำลังสอง (Linear + Squares)

- ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุ คือ 92.28%
- ผลของการตรวจสอบเงื่อนไขเบื้องต้นของสมการถดถอยตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดทั้งหมด

ดังนั้นจึงได้ทำการเลือกรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นและยกกำลังสอง (Linear + Squares)เป็นรูปแบบที่เหมาะสมในการประมาณค่าประสิทธิภาพ เนื่องจากให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุมากที่สุด และผลของการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบเงื่อนไขเบื้องต้นของสมการถดถอยตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดทั้งหมด จึงได้สมการถดถอยเพื่อใช้ในการประมาณค่าประสิทธิภาพดังนี้

$$\hat{Y} = -9.20803 - 0.0731495X_1 + 0.276212X_2 + 0.145212X_3 - 5.41040\times10^{-4}X_4 + 0.00411765X_5 + 0.00105806X_6 + 7.30956X_7 + 0.001331257X_1^2 - 0.00349488X_2^2 - 0.00231915X_3^2 - 2.99531\times10^{-6}X_5^2 - 3.83121\times10^{-6}X_6^2 - 7.60177X_7^2 + \text{error} \quad (4.9.)$$

## 4.4. การประมาณค่าความคาดเคลื่อนของความถดถอยเชิงพหุ

จากสมการความถดถอยที่ได้ซึ่งเกิดจากการพยากรณ์หรือประมาณค่า Y ด้วย $\hat{Y}$ ซึ่งอาจมีค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ ดังนั้นจึงทำการประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของความถดถอย ซึ่งจะใช้ข้อมูลชุดที่ 2 ใน ผค 2. ที่ได้จากการสุ่มตัวอย่าง ในการหาค่าประมาณของค่าความคลาดเคลื่อนของความถดถอย ดังนี้
จากการคำนวณข้อมูลชุดที่ 2 ซึ่งได้ค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนคือ

$$S^2 = \frac{SSE}{n-k-1} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_i-\hat{Y}_i)^2}{n-k-1}$$

$$= \frac{0.38944314}{192-7-1} = 0.002116539$$

ดังนั้น ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าประมาณ คือ

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{0.046005856} = 0.046005856$$

จึงได้สมการความถดถอยที่ได้ทำการประมาณค่าความคลาดเคลื่อนเป็นดังนี้

$$\hat{Y} = -9.20803 - 0.0731495X_1 + 0.276212X_2 + 0.145212X_3 - 5.41040\times10^{-4}X_4 + 0.00411765X_5 + 0.00105806X_6 + 7.30956X_7 + 0.001331257X_1^2 - 0.00349488X_2^2 - 0.00231915X_3^2 - 2.99531\times10^{-6}X_5^2 - 3.83121\times10^{-6}X_6^2 - 7.60177X_7^2 \pm 0.046005856 \quad (4.10.)$$

## 4.5. การตรวจสอบความถูกต้องของสมการความถดถอยเชิงพหุ

จากสมการความถดถอยที่ได้ทำการประมาณค่าความคลาดเคลื่อนให้กับสมการ เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องและความแม่นยำในการประมาณค่าประสิทธิภาพ โดยใช้ข้อมูลชุดที่3 จาก ผค 3. ที่ได้จากการสุ่ม เพื่อทำการทดสอบเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างค่าความแปรปรวน และการประมาณช่วงของค่าเฉลี่ยดังนี้

### 4.5.1. การทดสอบเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างค่าความแปรปรวน

การทดสอบเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างค่าความแปรปรวน เป็นการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของ Y กับ $\hat{Y}$ ซึ่งใช้การทดสอบแบบ 2 ข้างดังนี้

สมมติฐาน $H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$

$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น มีข้อห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถิติทดสอบ $F = \frac{S_1^2}{S_2^2} = \frac{0.022916559}{0.02562160} = 0.89442341$

เขตปฏิเสธ จะปฏิเสธ $H_0$ ถ้า $F > F_{1-\frac{\alpha}{2}}$ ที่องศาอิสระ $n_1$-1 และ $n_2$-2 ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.10$, $\frac{\alpha}{2} = 0.05$ จากตารางสถิติทดสอบ $F_{0.95;191,191} = 1.00$ ดังนั้น ผลการทดสอบจึงยอมรับ $H_0$ เนื่องจาก $F = 0.89 < 1.00$ อยู่ในเขตยอมรับ $H_0$ จึงสรุปได้ว่า ค่าความแปรปรวนของ Y กับ $\hat{Y}$ ไม่ต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10

### 4.5.2. การประมาณช่วงของค่าเฉลี่ย

จากการทดสอบเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างค่าความแปรปรวน แล้วได้ผลการทดสอบว่าค่าความแปรปรวน Y กับ $\hat{Y}$ นั้นไม่แตกต่างกันจึงทำการหาค่าประมาณช่วงของค่าเฉลี่ย เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าค่า $\hat{Y}$ ที่ได้จากสมการความถดถอยนั้นมีค่าใกล้เคียงกับ Y ซึ่งใช้ข้อมูลชุดที่ 3 ใน ผค 3. ที่ได้จากการสุ่มตัวอย่าง ในการประมาณช่วงของค่าเฉลี่ยดังนี้

กำหนดให้ $\bar{Y}_1$ คือ ค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ที่ได้จากการทดลอง

$\bar{Y}_2$ คือ ค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ที่ได้จากการพยากรณ์

จากข้อมูลชุดที่ 3 ได้ $\bar{Y}_1 = 0.77690782$, $S_1 = 0.16006749$, $\bar{Y}_2 = 0.777994145$

ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$, $\frac{\alpha}{2} = 0.025$ จากตารางสถิติทดสอบ $Z_{0.975} = 1.96$

ดังนั้น ช่วงของค่าเฉลี่ยคือ

$$\bar{Y}_1 - Z_{1-\alpha/2}\frac{S}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{Y}_1 + Z_{1-\alpha/2}\frac{S}{\sqrt{n}}$$

$$0.77690782 - 1.96\left(\frac{0.16006749}{192}\right) < \mu < 0.77690782 + 1.96\left(\frac{0.16006749}{192}\right)$$

$$0.75426615 < \mu < 0.79954950$$

ซึ่งพบว่า $\bar{Y}_2 = 0.777994145$ อยู่ในช่วงของการประมาณค่าเฉลี่ย ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ดังนั้นค่า Y กับ $\hat{Y}$ ที่ได้จึงค่อนข้างใกล้เคียงกัน

จากการตรวจสอบความถูกต้องของสมการความถดถอยเชิงพหุโดยใช้การทดสอบเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างค่าความแปรปรวน และการประมาณช่วงของค่าเฉลี่ย ซึ่งผลสรุปที่ได้จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าค่าของประสิทธิภาพที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยสมการถดถอยเชิงพหุนั้นมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกับค่าประสิทธิภาพจริงที่ได้จากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ ซึ่งได้ความแม่นยำของสมการ 99.86 %

ในการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุเพื่อการประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ สามารถสรุปรูปแบบความสัมพันธ์ได้ดังตารางที่ 4.18. โดยได้ทำการพิจารณาเลือกรูปแบบความสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุดคือ รูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นและยกกำลังสอง (Linear + Square) ซึ่งได้สมการถดถอยเชิงพหุในการประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์เป็นดังนี้

$$\hat{Y} = -9.20803 - 0.0731495X_1 + 0.276212X_2 + 0.145212X_3 - 5.41040\times10^{-4}X_4 + 0.00411765X_5 + 0.00105806X_6 + 7.30956X_7 + 0.001331257X_1^2 - 0.00349488X_2^2 - 0.00231915X_3^2 - 2.99531\times10^{-6}X_5^2 - 3.83121\times10^{-6}X_6^2 - 7.60177X_7^2 \pm 0.046005856$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 4.18. สรุปรูปแบบความสัมพันธ์

| รูปแบบความสัมพันธ์ | สมการความถดถอย | $R^2$ (%) | การตรวจสอบเงื่อนไขเบื้องต้นของสมการถดถอย | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | การแจกแจงเป็นปกติ | ค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ | ค่าความแปรปรวนคงที่ | ค่าคลาดเคลื่อนเป็นอิสระต่อกัน |
| 1. Linear | $\hat{Y} = 0.278245 + 0.0783972X_1 - 0.0766672X_2 - 0.00458102 - 0.00177939X_4 + 0.000160896 - 7.25607\times10^{-4}X_5$ | 75.75 | การแจกแจงเป็นปกติ | ค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ | ค่าความแปรปรวนไม่คงที่ | ค่าคลาดเคลื่อนเป็นอิสระต่อกัน |
| 2. Linear + Interaction | $\hat{Y} = - 0.748160 + 0.0476450X_2 + 0.0141483X_4 - 0.629937X_7 - 5.71789\times10^{-4}X_2X_4 + 0.0197175X_4X_7$ | 72.27 | ค่อนข้างเบ้ซ้าย | ค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ | ค่าความแปรปรวนไม่คงที่ | ค่าคลาดเคลื่อนเป็นอิสระต่อกัน |
| 3. Full Quadratic | $\hat{Y} = - 9.10568 + 0.122700X_1 - 0.0320923X_2 + 0.0396371X_4 + 0.0119507X_5 + 7.39101X_7 - 8.74719\times10^{-5}X_4^2 - 4.81789\times10^{-6} - 3.57010X_7^2 + 0.00291002X_1X_2 - 4.55324\times10^{-4}X_1X_5 - 0.00347473X_2X_4 + 0.000397049X_2X_5 - 0.00443561X_5X_7$ | 87.59 | การแจกแจงเป็นปกติ | ค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ | ค่าความแปรปรวนคงที่ | ค่าคลาดเคลื่อนเป็นอิสระต่อกัน |
| 4. Linear + Squares | $\hat{Y} = - 9.20803 - 0.0731495X_1 + 0.276212X_2 + 0.145212X_3 - 5.41040\times10^{-4}X_4 + 0.00411765 X_5 + 0.00105806 X_6 + 7.30956 X_7 + 0.001331257 X_1^2 - 0.00349488 X_2^2 - 0.00231915X_3^2 - 2.99531\times10^{-6}X_5^2 - 3.83121\times10^{-6}X_6^2 - 7.60177X_7^2$ | 92.28 | การแจกแจงเป็นปกติ | ค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ | ค่าความแปรปรวนคงที่ | ค่าคลาดเคลื่อนเป็นอิสระต่อกัน |

# บทที่ 5
# สรุปและข้อเสนอแนะ

ดังที่กล่าวไปแล้วว่า การประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ด้วยสมการถดถอยเชิงพหุนั้น แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน ทำให้การใช้งานแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ส่วนใหญ่จะใช้กับระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความเข้มแสงอาทิตย์ อัตราการไหลของน้ำเป็นต้น หากปัจจัยเหล่านี้มีความแปรปรวนจะส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ เพื่อให้แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงเป็นที่มาให้เกิดการจัดทำปริญญานิพนธ์นี้ขึ้น ซึ่งการประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ด้วยสมการถดถอยเชิงพหุสามารถสรุปผลการดำเนินงาน และข้อเสนอแนะได้ดังนี้

## 5.1. สรุปผลการดำเนินงาน

ในการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุจะพิจารณาเลือกรูปแบบความสัมพันธ์ที่เหมาะสมเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม ซึ่งใช้ข้อมูลชุดที่ 1 ที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างจากข้อมูลทั้งหมด แล้วพิจารณารูปแบบความสัมพันธ์ต่างๆ คือ รูปแบบความสัมพันธ์ของสมการถดถอยรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (Linear), แบบเชิงเส้นและปฏิสัมพันธ์ (Linear + Interaction), แบบครอดราติกส์เต็มรูป (Full Quadratic) และ แบบเชิงเส้นและยกกำลังสอง (Linear + Squares) แล้วพิจารณาค่าสถิติทดสอบ, ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุ ($R^2$) และผลการตรวจสอบเงื่อนไขเกี่ยวกับค่าคลาดเคลื่อนต่างๆ โดยใช้โปรแกรมทางสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล (Minitab 16) พบว่ารูปแบบความสัมพันธ์แบบ Linear + Square มีความเหมาะสมที่สุด จากนั้นใช้ข้อมูลชุดที่ 2 ประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของความถดถอย และใช้ข้อมูลชุดที่ 3 ตรวจสอบความถูกต้องและความแม่นยำในการประมาณค่าประสิทธิภาพ โดยการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าความแปรปรวน และการประมาณช่วงของค่าเฉลี่ย ซึ่งผลจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าค่าของประสิทธิภาพที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยสมการถดถอยเชิงพหุนั้นมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกับค่าประสิทธิภาพจริงที่ได้จากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ ซึ่งได้ความแม่นยำของสมการ 99.86 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นสมการถดถอยเชิงพหุในการประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์เป็นดังนี้

$$\hat{Y} = -9.20803 - 0.0731495X_1 + 0.276212X_2 + 0.145212X_3 - 5.41040\times10^{-4}X_4 + 0.00411765X_5 + 0.00105806X_6 + 7.30956X_7 + 0.001331257X_1^2 - 0.00349488X_2^2 - 0.00231915X_3^2 - 2.99531\times10^{-6}X_5^2 - 3.83121\times10^{-6}X_6^2 - 7.60177X_7^2 \pm 0.046005856$$

จากสมการข้างต้นพบว่าตัวแปรอิสระทุกตัวที่ทำการศึกษามีผลต่อประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ โดยอัตราการไหล ($X_7$) มีผลต่อประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์มากที่สุดซึ่งพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอย โดยค่าความแม่นยำของสมการที่ได้คือ 99.86 % ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่มีความแม่นยำค่อนข้างสูง เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ความถดถอยมีปริมาณมากและเลือกใช้ข้อมูลของวันที่ท้องฟ้าโปร่งในช่วงเวลา 10.35 น. - 14.35 น. ซึ่งทำให้แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ดังนั้นในการออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์จึงควรพิจารณาอิทธิพลของตัวแปรอิสระแต่ละตัวที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของแผง เพื่อช่วยในการออกแบบระบบให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานที่สภาพแวดล้อมต่างๆ และมีประสิทธิภาพรวมของระบบสูงขึ้น

## 5.2. ข้อเสนอแนะ

ปริญญานิพนธ์การประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ด้วยสมการถดถอยเชิงพหุ ได้ทำการศึกษาทั้งการออกแบบชุดทดลองและการสร้างสมการความถดถอยเชิงพหุ ดังนั้นในการศึกษาเพื่อพัฒนาให้เกิดความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นจึงควรศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่างๆ เพิ่มเติม ควรศึกษาตัวแปรอื่นๆ ที่อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ อาทิเช่น ความเร็วลม เป็นต้น ควรวางแผนการดำเนินงานให้เหมาะสมเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องแม่นยำ ควรพัฒนาออกแบบชุดทดลองให้มีประสิทธิภาพในการเก็บข้อมูลมากยิ่งขึ้นเพื่อให้ได้สมการการประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ที่มีความสมบูรณ์มากที่สุด และนอกจากการใช้สมการถดถอยเชิงพหุในการสร้างสมการแล้วยังมีอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถใช้ในการประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ได้เช่นกัน คือการใช้สมการ $y = \frac{mc\Delta T}{AG}$ ซึ่งสมการนี้จะมีตัวแปรเพียง 3 ตัวคืออัตราการไหลของน้ำ, อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ และความเข้มแสงอาทิตย์ แต่ยังมีตัวแปรอื่นๆที่มีผลต่อประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในขั้นตอนของการกำหนดตัวแปร ซึ่งสามารถรวมผลที่เกิดจากตัวแปรเหล่านั้นเข้ากับสมการ $y = \frac{mc\Delta T}{AG}$ ได้คือกำหนดให้เป็นค่าความคลาดเคลื่อนของสมการ ซึ่งสมการที่ได้จะสามารถใช้ในการประมาณค่าประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# หนังสืออ้างอิง


[1] 4uengineer.com. 4uengineer.com-Piping Fluid Dynamic. 19 พฤษภาคม 2547. 12 กันยายน 2553 <http://www.4uengineer.com/modules.php?name=News&file=print&sid=204>.

[2] กีรติ เรืองศรี, ธนัทพัชร์ อุดมธีรสุวัฒน์ และธนพัฒน์ นาคเนาวทิม. เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์. ปริญญานิพนธ์ . ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2552.

[3] กัลยา วานิชย์บัญชา. การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล. กรุงเทพ: บริษัท ธรรมสาร จำกัด, 2551.

[4] กัลยา วานิชย์บัญชา. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วย Excel. กรุงเทพ: ห้างหุ้นส่วนจำกัดสามลดา, 2552.

[5] กัลยา วานิชย์บัญชา. การวิเคราะห์สถิติ : สถิติสำหรับการบริหารและวิจัย. กรุงเทพ: บริษัท ธรรมสาร จำกัด, 2550.

[6] กัลยา วานิชย์บัญชา. การวิเคราะห์สถิติขั้นสูงด้วย SPSS for Windows. กรุงเทพ: บริษัท ธรรมสาร จำกัด, 2548.

[7] ตระการ ก้าวกสิกรรม. วิศวกรรมระบบท่ออุตสาหกรรม. กรุงเทพ: หจก.นำอักษรการพิมพ์, 2544.

[8] ธวรรธน์ มาลาหอม . การศึกษาสมรรถนะของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์ , วิทยานิพนธ์ . ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2550.

[9] เบญจมาศ ปุยอ๊อก และ วิทยา ยงเจริญ. "การหาประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์." การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย. กรุงเทพ, 2550.

[10] ประณต กุลประสูตร. เทคนิคงานท่อสุขภัณฑ์ภายในอาคาร. กรุงเทพ: แผนกการพิมพ์ โรงเรียนดอนบอสโก, 2545.

[11] พงศกร จรูญศรีสวัสดิ์, สุพลชัย ขวัญแก้ว และอัศม์เดช อมรเรืองวาณิชย์. การทำนายแรงอัดขึ้นรูปในกระบวนการอัดรีดร้อนโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ . ปริญญานิพนธ์ . ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2551.

[12] พิภพ สุนทรสมัย. วิศวกรรมการเดินท่อและตั้งเครื่องสุขภัณฑ์. กรุงเทพ: บริษัท ดวงกมลสมัย จำกัด, 2539.

[13] มานะศิลป์ พิมพ์สาร. ระบบน้ำร้อนในอาคาร. กรุงเทพ: บริษัทเอเซียเพรส จำกัด, 2534.

[14] มานะศิษฎ์ พิมพ์สาร. เทคโนโลยีระบบท่อสุขภัณฑ์. กรุงเทพ: บริษัท เอ็มแอนด์อี จำกัด, 2548.

[15] วิบูลย์ บุญยธโรกุล. ปั๊มและระบบสูบน้ำ. กรุงเทพ, 2539.

[16] สกนธ์ คล่องบุญจิต. ความรู้พื้นฐานระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในงานอุตสาหกรรม. กรุงเทพ: มีน เซอร์วิส ซัพพลาย, 2552.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# ภาคผนวก ก.

## คุณสมบัติเฉพาะต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผก 1. ความถ่วงจำเพาะ (Sp.gr) และความดันไอน้ำที่อุณหภูมิขนาดต่างๆ**

**ค่าความดันไอมีหน่วยเป็นมิลลิบาร์ (mb) และความสูงของแท่งน้ำที่ 4°C มีหน่วยเป็นเมตร**

| Temp. °C | Sp.gr. | Vapor Pressure | | Temp. °C | Sp.gr. | Vapor Pressure | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | mb | m. $H_2O$ | | | mb | m. $H_2O$ |
| 0 | .99987 | 6.1078 | 0.06 | 30 | .99568 | 42.430 | 0.43 |
| 1 | 993 | 6.5662 | 0.07 | 31 | 537 | 44.927 | 0.46 |
| 2 | 997 | 7.0547 | 0.07 | 32 | 506 | 47.551 | 0.48 |
| 3 | 999 | 7.5753 | 0.08 | 33 | 473 | 50.307 | 0.51 |
| 4 | 1.00000 | 8.1294 | 0.08 | 34 | 440 | 53.200 | 0.54 |
| 5 | .99999 | 8.7192 | 0.09 | 35 | .99406 | 55.236 | 0.57 |
| 6 | 997 | 9.3465 | 0.09 | 36 | 371 | 59.422 | 0.60 |
| 7 | 993 | 10.013 | 0.10 | 37 | 336 | 62.762 | 0.64 |
| 8 | 988 | 10.722 | 0.11 | 38 | 300 | 66.264 | 0.67 |
| 9 | 981 | 11.474 | 0.12 | 39 | 263 | 69.934 | 0.71 |
| 10 | .99973 | 12.272 | 0.12 | 40 | .99225 | 73.777 | 0.75 |
| 11 | 963 | 13.119 | 0.13 | 41 | 187 | 77.802 | 0.79 |
| 12 | 952 | 14.017 | 0.14 | 42 | 147 | 82.015 | 0.84 |
| 13 | 940 | 14.969 | 0.15 | 43 | 107 | 85.423 | 0.88 |
| 14 | 927 | 15.977 | 0.16 | 44 | 066 | 91.034 | 0.93 |
| 15 | .99913 | 17.044 | 0.17 | 45 | .99025 | 95.855 | 0.98 |
| 16 | 897 | 18.173 | 0.18 | 46 | .98982 | 100.89 | 1.03 |
| 17 | 880 | 19.367 | 0.20 | 47 | 940 | 106.16 | 1.08 |
| 18 | 862 | 20.630 | 0.21 | 48 | 896 | 111.66 | 1.14 |
| 19 | 843 | 21.964 | 0.22 | 49 | 852 | 117.40 | 1.20 |
| 20 | .99823 | 23.373 | 0.24 | 50 | .98807 | 123.40 | 1.26 |
| 21 | 802 | 24.861 | 0.25 | 51 | 762 | 129.65 | 1.32 |
| 22 | 780 | 26.430 | 0.27 | 52 | 715 | 136.17 | 1.39 |
| 23 | 757 | 28.086 | 0.29 | 53 | 669 | 142.98 | 1.46 |
| 24 | 733 | 29.831 | 0.30 | 54 | 621 | 150.07 | 1.53 |
| 25 | .99708 | 31.671 | 0.32 | 55 | 198573 | 157.46 | 1.60 |
| 26 | 682 | 33.608 | 0.34 | 56 | 523 | 165.16 | 1.68 |
| 27 | 655 | 35.649 | 0.36 | 57 | 473 | 173.18 | 1.76 |
| 28 | 627 | 37.796 | 0.38 | 58 | 424 | 181.53 | 1.85 |
| 29 | 598 | 40.055 | 0.41 | 59 | 374 | 190.22 | 1.94 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผก 1. ความถ่วงจำเพาะ (Sp.gr) และความดันไอน้ำที่อุณหภูมิขนาดต่างๆ**
**ค่าความดันไอมีหน่วยเป็นมิลลิบาร์ (mb) และความสูงของแท่งน้ำที่ 4°C มีหน่วยเป็นเมตร (ต่อ)**

| Temp. °C | Sp.gr. | Vapor Pressure | | Temp. °C | Sp.gr. | Vapor Pressure | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | mb | m. $H_2O$ | | | mb | m. $H_2O$ |
| 60 | .98324 | 199.26 | | 80 | .97183 | 473.67 | 4.83 |
| 61 | 271 | 208.67 | | 81 | 119 | 493.17 | 5.03 |
| 62 | 218 | 218.45 | | 82 | 056 | 513.35 | 5.23 |
| 63 | 165 | 228.61 | | 83 | .96992 | 534.22 | 5.45 |
| 64 | 112 | 239.18 | | 84 | 928 | 555.80 | 5.67 |
| 65 | .98059 | 250.16 | | 85 | .96865 | 578.09 | 5.89 |
| 66 | 003 | 261.56 | | 86 | 799 | 601.13 | 6.13 |
| 67 | .97948 | 273.40 | | 87 | 732 | 624.94 | 6.17 |
| 68 | 892 | 285.74 | | 88 | 666 | 649.53 | 6.62 |
| 69 | 837 | 298.45 | | 89 | 600 | 674.92 | 6.88 |
| 70 | .97781 | 311.69 | | 90 | .96534 | 701.13 | 7.15 |
| 71 | 723 | 325.42 | | 91 | 466 | 728.19 | 7.42 |
| 72 | 664 | 339.65 | | 92 | 397 | 756.11 | 7.71 |
| 73 | 606 | 354.41 | | 93 | 329 | 784.92 | 8.00 |
| 74 | 547 | 369.71 | | 94 | 260 | 814.63 | 8.31 |
| 75 | .97489 | 385.56 | | 95 | .96192 | 845.28 | 8.62 |
| 76 | 428 | 401.98 | | 96 | 121 | 876.88 | 8.94 |
| 77 | 367 | 418.98 | | 97 | 050 | 909.45 | 9.27 |
| 78 | 305 | 436.59 | | 98 | .95980 | 946.02 | 9.62 |
| 79 | 244 | 454.81 | | 99 | 909 | 977.61 | 9.97 |
| | | | | 100 | .95838 | 1013.25 | 10.33 |

ความดันหนึ่งบาร์เทียบเท่ากับความสูงของแท่งน้ำได้เท่ากับ 10.197 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผก 2. คุณสมบัติของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ**

| อุณหภูมิ | | ความหนาแน่น | | Viscosity ($\mu$) | | Kinematic viscosity (v) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| °C | °F | $gm/cm^3$ | $slugs/ft^3$ | kg/m.sec | $lb_f.sec/ft^2$ | $m^2/sec$ | $ft^2/sec$ |
| 0 | 32 | 0.99987 | 1.940 | $1.794 \times 10^{-3}$ | $3.746 \times 10^{-5}$ | $1.794 \times 10^{-6}$ | $1.930 \times 10^{-3}$ |
| 4 | 39 | 1.00000 | 1.941 | 1.568 | 3.274 | 1.568 | 1.687 |
| 5 | 41 | 0.99999 | 1.941 | 1.519 | 3.172 | 1.519 | 1.634 |
| 10 | 50 | 0.99973 | 1.940 | 1.310 | 2.735 | 1.310 | 1.407 |
| 15 | 59 | 0.99913 | 1.940 | 1.145 | 2.391 | 1.146 | 1.233 |
| 20 | 67 | 0.998 | 1.937 | 1.009 | 2.107 | 1.011 | 1.088 |
| 30 | 86 | 0.996 | 1.932 | 0.800 | 1.670 | 0.803 | 0.864 |
| 40 | 104 | 0.992 | 1.925 | 0.654 | 1.366 | 0.659 | 0.709 |
| 50 | 122 | 0.988 | 1.917 | 0.549 | 1.146 | 0.556 | 0.598 |
| 60 | 140 | 0.983 | 1.907 | 0.470 | 0.981 | 0.478 | 0.514 |
| 70 | 158 | 0.978 | 1.897 | 0.407 | 0.850 | 0.416 | 0.448 |
| 80 | 173 | 0.972 | 1.885 | 0.357 | 0.745 | 0.367 | 0.395 |
| 90 | 194 | 0.965 | 1.872 | 0.317 | 0.662 | 0.328 | 0.353 |
| 100 | 212 | 0.958 | 1.858 | $0.284 \times 10^{-3}$ | 0.593 | $0.296 \times 10^{-6}$ | 0.318 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผก 3. ความขรุขระเฉลี่ยของผนังท่อใหม่**

| ชนิดของท่อ | $\in$ เป็น ฟุต | $\in$ เป็น มม. |
|---|---|---|
| ท่อแก้ว ท่อรีดจากทองเหลือง ทองแดง และตะกั่ว | เรียบ | เรียบ |
| ท่อเหล็กเหนียว | $1.5 \times 10^{-4}$ | 0.045 |
| ท่อเหล็กหล่ออาบยางมะตอย | $4.0 \times 10^{-4}$ | 0.120 |
| ท่อเหล็กชุบสังกะสี | $5.0 \times 10^{-4}$ | 0.150 |
| ท่อเหล็กหล่อธรรมดา | $8.5 \times 10^{-4}$ | 0.260 |
| ท่อไม้ | $2.0 \times 10^{-4}$ | 0.610 |
| ท่อคอนกรีต | $4.0 \times 10^{-4}$ | 1.220 |
| ท่อเหล็กม้วนต่อด้วยหมุดย้ำ | $6.0 \times 10^{-4}$ | 1.830 |
| ท่อโลหะลูกฟูก | 0.10 – 0.20 | 30.0 – 60.0 |
| อุโมงค์ขนาดใหญ่ ดาดด้วยคอนกรีต หรือเหล็ก | 0.002 – 0.004 | 0.60 – 1.20 |
| อุโมงค์ที่เจาะด้วยการระเบิดหิน | 1.0 – 2.0 | 300 - 600 |

$\in_0$ เป็นความขรุขระเมื่อเริ่มใช้งาน

$\alpha$ เป็นสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการทดลองซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0002 ถึง 0.007

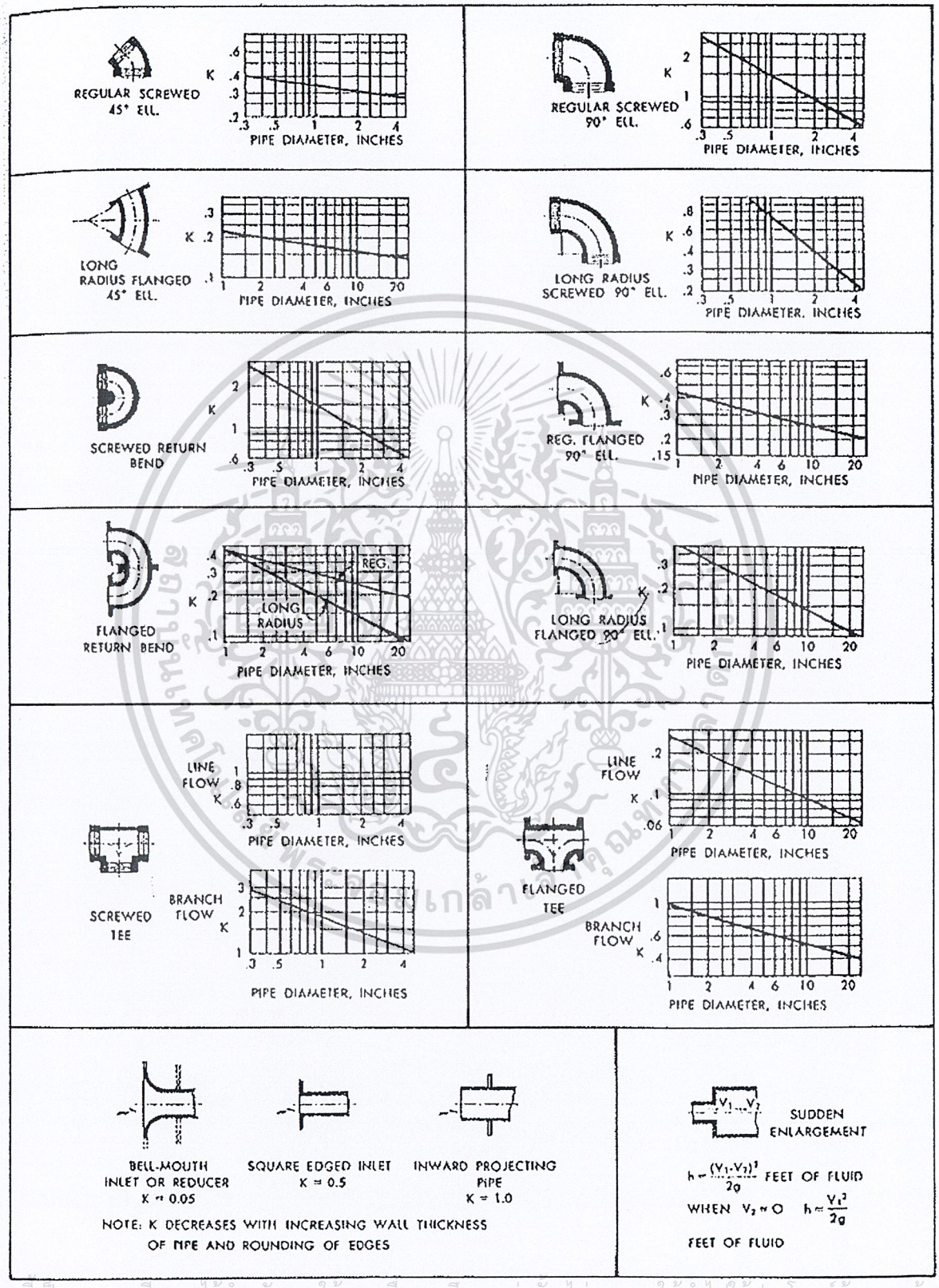
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผก 4. แสดงความขรุขระของผนังท่อ**

| surface | Roughness - ε | |
|---|---|---|
| | millimeters | feet |
| Copper, Lead, Brass, Aluminum (new) | 0.001 - 0.002 | $3.33 - 6.7\ 10^{-6}$ |
| PVC and Plastic Pipes | 0.0015 - 0.007 | $0.5 - 2.33\ 10^{-5}$ |
| Epoxy, Vinyl Ester and Isophthalic pipe | 0.005 | $1.7\ 10^{-5}$ |
| Stainless steel | 0.015 | $5\ 10^{-5}$ |
| Steel commercial pipe | 0.045 - 0.09 | $1.5 - 3\ 10^{-4}$ |
| Stretched steel | 0.015 | $5\ 10^{-5}$ |
| Weld steel | 0.045 | $1.5\ 10^{-4}$ |
| Galvanized steel | 0.15 | $5\ 10^{-4}$ |
| Rusted steel (corrosion) | 0.15 - 4 | $5 - 133\ 10^{-4}$ |
| New cast iron | 0.25 - 0.8 | $8 - 27\ 10^{-4}$ |
| Worn cast iron | 0.8 - 1.5 | $2.7 - 5\ 10^{-3}$ |
| Rusty cast iron | 1.5 - 2.5 | $5 - 8.3\ 10^{-3}$ |
| Sheet or asphalted cast iron | 0.01 - 0.015 | $3.33 - 5\ 10^{-5}$ |
| Smoothed cement | 0.3 | $1\ 10^{-3}$ |
| Ordinary concrete | 0.3 - 1 | $1 - 3.33\ 10^{-3}$ |
| Coarse concrete | 0.3 - 5 | $1 - 16.7\ 10^{-3}$ |
| Well planed wood | 0.18 - 0.9 | $6 - 30\ 10^{-4}$ |
| Ordinary wood | 5 | $16.7\ 10^{-3}$ |

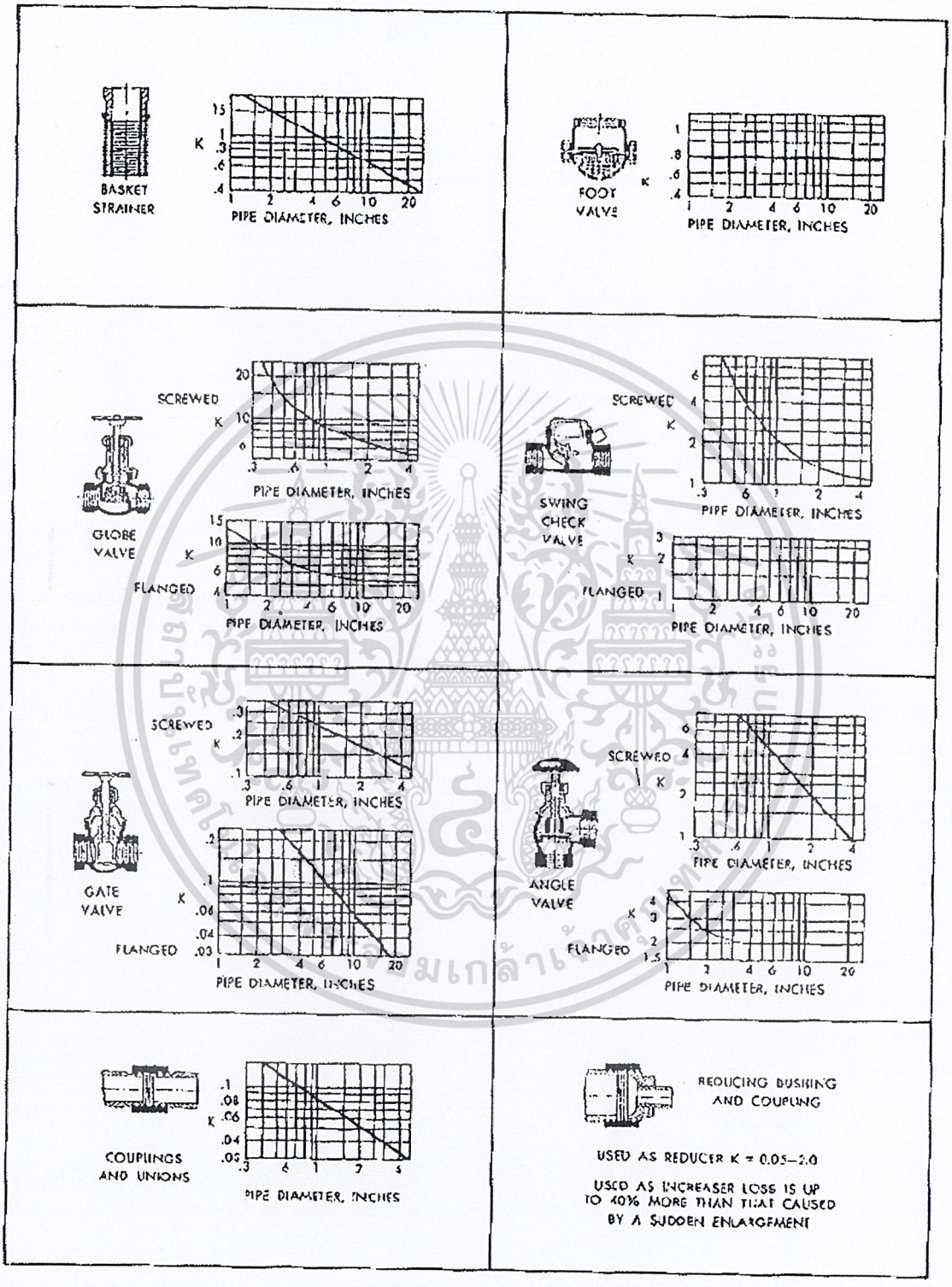
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รูปที่ ผก 1. สัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รูปที่ ผก 1. สัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล (ต่อ)

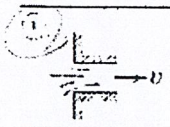



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รูปที่ ผก 2. สัมประสิทธิ์ของการต้านทานการไหล

Use the equation $h_v = kv^2/2g$ unless otherwise indicated. Energy loss $E_L$ equals $h_v$ head loss in feet.

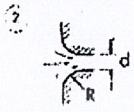
---



Perpendicular square entrance:

$k = 0.50$ if edge is sharp.

---



Perpendicular rounded entrance:

| $R/d$ = | 0.05 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 |
|---|---|---|---|---|---|
| $k$ = | 0.25 | 0.17 | 0.08 | 0.05 | 0.04 |

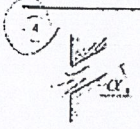
---



Perpendicular reentrant entrance:

$k = 0.8$

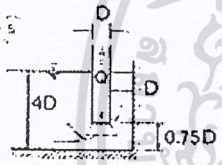
---



Additional loss due to skewed entrance:

$$k = 0.505 + 0.303 \sin\alpha + 0.226 \sin^2\alpha$$

---



Suction pipe in sump with conical mouthpiece:

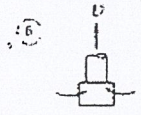
$$E_L = D + \frac{5.6Q}{\sqrt{2g}D^{1.5}} - \frac{v^2}{2g}$$

Without mouthpiece:

$$E_L = 0.53D + \frac{4Q}{\sqrt{2g}D^{1.5}} - \frac{v^2}{2g}$$

Width of sump shown: $3.5D$

---



Strainer bucket:

$k = 10$ with foot valve

$k = 5.5$ without foot valve

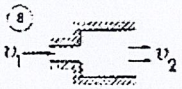
---



Standard Tee, entrance to minor line

$k = 1.8$

---



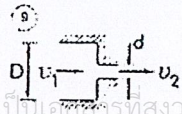
Sudden expansion:

$$E_L = \left(1 - \frac{v_2}{v_1}\right)^2 \frac{v_1^2}{2g}$$

or

$$E_L = \left(\frac{v_1}{v_2} - 1\right)^2 \frac{v_2^2}{2g}$$

---



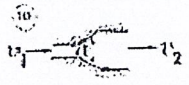
Sudden contraction:

| $(d/D)^2$ = | 0.01 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $k$ = | 0.5 | 0.5 | 0.42 | 0.33 | 0.25 | 0.15 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รูปที่ ผก 2. สัมประสิทธิ์ของการต้านทานการไหล (ต่อ)

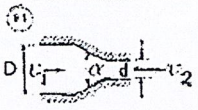
(10) Confusor:



$$E_L = k(v_1^2 - v_2^2)/2g$$

| $\alpha° =$ | 20 | 40 | 60 | 80 |
|---|---|---|---|---|
| $k =$ | 0.20 | 0.28 | 0.32 | 0.35 |

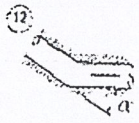
(11) Diffusor:



$$E_L = k(v_1^2 - v_2^2)/2g$$

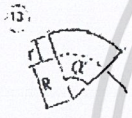
| $\alpha° =$ | 6 | 10 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $k$ for $D = 3d$ | 0.12 | 0.16 | 0.39 | 0.80 | 1.0 | 1.06 | 1.04 | 1.04 | 1.04 |
| $D = 1.5d$ | 0.12 | 0.16 | 0.39 | 0.96 | 1.22 | 1.16 | 1.10 | 1.06 | 1.04 |

(12) Sharp elbow:



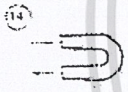
$$k = 67.6 \times 10^{-6}(\alpha°)^{2.17}$$

(13) Bends:



$$k = (0.13 + 1.85(r/R)^{3.5})\sqrt{\alpha°/180°}$$

(14) Close return bend:



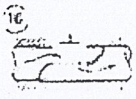
$$k = 2.2$$

(15) Gate valve:



| $e/D =$ | 0 | 1/4 | 3/8 | 1/2 | 5/8 | 3/4 | 7/8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $k =$ | 0.15 | 0.26 | 0.81 | 2.06 | 5.52 | 17.0 | 97.8 |

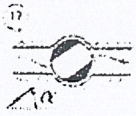
(16) Globe valve:



$k = 10$ when fully open

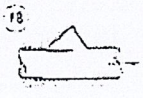
fully open

(17) Rotary valve:



| $\alpha° =$ | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $k =$ | 0.05 | 0.29 | 1.56 | 5.47 | 17.3 | 52.6 | 206 | 485 | $\infty$ |

(18) Check valves:



| | | |
|---|---|---|
| Swing type | $k = 2.5$ | When fully open |
| Ball type | $k = 70.0$ | |
| Lift type | $k = 12.0$ | |

(19) Angle valve:

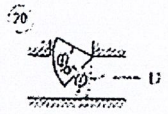


$k = 5.0$ if fully open

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ ผก 2. สัมประสิทธิ์ของการต้านทานการไหล (ต่อ)**

20



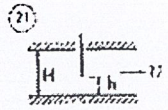
Segment gate in rectangular conduit:

$$k = 0.8\ 1.3\left[\left(\frac{1}{n}\right) - n\right]^2$$

where $n = \varphi/\varphi_0$ = the rate of opening with respect to the central angle.

---

21



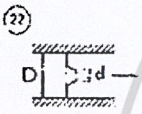
Sluice gate in rectangular conduit:

$$k = 0.3\ 1.9\left[\left(\frac{1}{n}\right) - n\right]^2$$

where $n = h/H$.

---

22



Measuring nozzle:

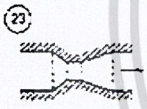
$E_L = 0.3\,\Delta p$ for $d = 0.8D$

$E_L = 0.95\,\Delta p$ for $d = 0.2D$

where $\Delta p$ is the measured pressure drop.

---

23



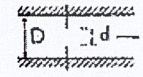
Venturi meter:

$E_L = 0.1\,\Delta p$ to $0.2\,\Delta p$

where $\Delta p$ is the measured pressure drop.

---

24



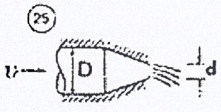
Measuring orifice, square edged:

$$E_L = \Delta p\left(1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2\right)$$

where $\Delta p$ is the measured pressure drop.

---

25

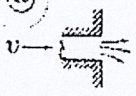


Confusor outlet:

| $d/D$ = | 0.5 | 0.6 | 0.8 | 0.9 |
|---|---|---|---|---|
| $k$ = | 5.5 | 4 | 2.55 | 1.1 |

---

26



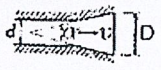
Exit from pipe into reservoir:

$$k = 1.0$$

---

Diffusor outlet for $D/d > 2$:

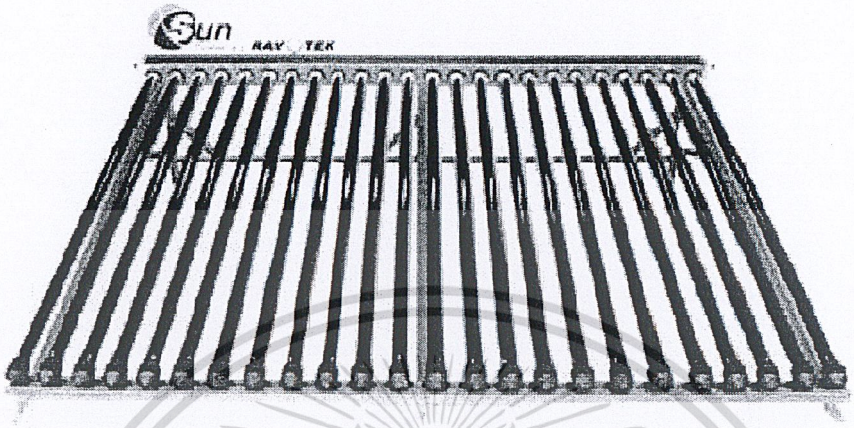
27



| $\alpha°$ = | 8 | 15 | 30 | 45 |
|---|---|---|---|---|
| $k$ = | 0.05 | 0.18 | 0.5 | 0.6 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผก 5. คุณลักษณะเฉพาะของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ รุ่นTPR-24**




| **Model** | **TPR-24** |
|---|---|
| | 24 tubes |
| Dimension | W 2.00 m * L 1.6 m |
| Gross area | 3.2 $m^2$ |
| Absorber area | 2.09 $m^2$ |
| Weight empty | 58 kgs |
| Glass tube type | Borosilicate glass |
| Tube dimension | 47 mm * 1500 mm |
| Structure of Selective Coating | SS-AINx/CU |
| Stagnation Temperature $m^2$ $^0C$ /Kw | 240 |
| Absorption of Selective Coating | 93% |
| Emission of Selective Coating 80 ± 5 $^0C$ | 6.50% |
| Coefficient of Average Heat Loss W/($m^2$ . $^0C$) | 0.7 |
| Vacuum (Pa) | 3.0 + 10-3 |
| Maximum Strength (Mpa) | 0.6 |
| Solar Irradiation for water temperature rise | 3.3Mj/$m^2$ |
| Water flow rate at radiation at 800 W/$m^2$ | 0.06 Kg/s |
| Performance test | ISO 9860-2 |
| Wind load capcity | 10 m/s |
| Efficiency | 57% |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผก 6. แสดงขนาดและลักษณะเฉพาะทางกายภาพ**
**ของท่อทองแดง ชนิด M ตามมาตรฐาน ASTM B88**

| O.D. (in) | Nominal/ Standard Size(in) | Tolerance (in) | Wall Thickness (in) | Tolerance (in) | Theoretical Weight. (lb/ft)(kg/m) | Working Pressure Psi(Mpa) | Diameter of Drilled Holes (in) | Drill Number |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3/8 | 1/4 | 0.0010 | / | / | / | / | 0.025 | 72 |
| 1/2 | 3/8 | 0.0010 | 0.025 | 0.0020 | 0.145(0.216) | 951.20(6.56) | 0.025 | 72 |
| 5/8 | 1/2 | 0.0010 | 0.028 | 0.0030 | 0.204(0.304) | 848.25(5.85) | 0.025 | 72 |
| 3/4 | 5/8 | 0.0010 | / | / | / | / | 0.025 | 72 |
| 7/8 | 3/4 | 0.0010 | 0.032 | 0.0030 | 0.328(0.488) | 685.85(4.73) | 0.031 | 68 |
| 1-1/8 | 1 | 0.0015 | 0.035 | 0.0040 | 0.465(0.692) | 584.35(4.03) | 0.036 | 64 |
| 1-3/8 | 1-1/4 | 0.0015 | 0.042 | 0.0040 | 0.682(1.015) | 578.55(3.99) | 0.042 | 58 |
| 1-5/8 | 1-1/2 | 0.0020 | 0.049 | 0.0050 | 0.94(1.399) | 565.50(3.9) | 0.046 | 56 |
| 2-1/8 | 2 | 0.0020 | 0.058 | 0.0060 | 1.46(2.173) | 503.15(3.47) | 0.052 | 55 |
| 2-5/8 | 2-1/2 | 0.0020 | 0.065 | 0.0060 | 2.03(3.021) | 462.55(3.19) | 0.052 | 55 |
| 3-1/8 | 3 | 0.0020 | 0.072 | 0.0070 | 2.68(3.988) | 427.75(2.95) | 0.052 | 55 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผก 7. การทดสอบการทนแรงดันของท่อไทยพีพี-อาร์**



ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานการทดสอบความดัน

| | | | |
|---|---|---|---|
| ชนิด | ท่อและข้อต่อPP-R | ยี่ห้อ | Thai PP-R |
| ความดันใช้งาน | 2.0 Mpa | Class | SDR6,PN20 |
| ขนาดท่อ | 40 mm | Fittings | Tee,90 Elbow,Round Reducer 40/25 , Thread Coupling 25 |
| | 50mm | Fittings | Tee,90 Elbow,Round Reducer 50/25 , Thread Coupling 25 |
| | 63mm | Fittings | Tee,90 Elbow,Round Reducer 63/25 , Thread Coupling 25 |
| | 75 mm | Fittings | Tee,90 Elbow,Square Reducer 75/63,Round Reducer 63/25, Thread Coupling 25 |
| บริษัทที่ส่งทดสอบ | Thai PP-R Co. Ltd. | | |
| วิธีการทดสอบ | 1.ติดตั้งท่อและข้อต่อ เข้ากับอุปกรณ์ชุดเพิ่มความดัน ค่อยๆอัดน้ำที่อุณหภูมิห้องเข้าในตัววาล์ว 2.เพิ่มความดันของอุปกรณ์ชุดเพิ่มความดันพร้อมปรับวาล์วควบคุมการไหลของน้ำเข้าท่อและข้อต่อให้มีความดัน 3 MPa เป็นเวลา 30 นาที จากนั้น ตรวจสอบการรั่ว | | |
| ผลการทดสอบ | ไม่ปรากฏการรั่วที่ท่อและข้อต่อ ดังนั้นจึงสามารถใช้งานได้ที่ความดัน 2.0 MPa | | |
| ทดสอบโดย | (รศ.ดร.วิทยา ยงเจริญ) | | |
| วันที่ | 27 มกราคม 2550 | | |
| หมายเหตุ | ผลการทดสอบใช้ได้เฉพาะตัวอย่างที่ส่งมาทดสอบเท่านั้น | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผก 8. ค่าความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์รวมในเดือนต่างๆ**

**Global Radiation**

**ปทุมธานี คลองหลวง**

**ละติจูด 14° 04° 13°**

**ลองจิจูด 100° 49° 38°**

| Global Radiation (MJ'm$^2$-hour) | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Time** | **JAN** | **FEB** | **MAR** | **APR** | **MAY** | **JUN** | **JUL** | **AUG** | **SEP** | **OCT** | **NOV** | **DEC** |
| 6-7 | 0.000 | 0.000 | 0.013 | 0.141 | 0.226 | 0.241 | 0.206 | 0.166 | 0.156 | 0.141 | 0.072 | 0.000 |
| 7-8 | 0.265 | 0.306 | 0.399 | 0.517 | 0.602 | 0.626 | 0.617 | 0.598 | 0.596 | 0.588 | 0.553 | 0.476 |
| 8-9 | 0.636 | 0.704 | 0.785 | 0.892 | 0.977 | 1.012 | 1.029 | 1.030 | 1.037 | 1.035 | 1.034 | 1.012 |
| 9-10 | 1.373 | 1.441 | 1.486 | 1.574 | 1.647 | 1.676 | 1.685 | 1.688 | 1.694 | 1.695 | 1.692 | 1.677 |
| 1-11 | 1.974 | 2.061 | 2.122 | 2.192 | 2.229 | 2.231 | 2.225 | 2.249 | 2.253 | 2.246 | 2.242 | 2.229 |
| 11-12 | 2.421 | 2.502 | 2.555 | 2.603 | 2.616 | 2.596 | 2.572 | 2.559 | 2.552 | 2.546 | 2.539 | 2.528 |
| 12-13 | 2.593 | 2.684 | 2.732 | 2.780 | 2.763 | 2.718 | 2.694 | 2.672 | 2.660 | 2.650 | 2.641 | 2.631 |
| 13-14 | 2.468 | 2.605 | 2.665 | 2.684 | 2.637 | 2.588 | 2.556 | 2.528 | 2.507 | 2.481 | 2.463 | 2.450 |
| 14-15 | 2.038 | 2.185 | 2.247 | 2.252 | 2.190 | 2.148 | 2.125 | 2.093 | 2.058 | 2.023 | 1.996 | 1.980 |
| 15-16 | 1.366 | 1.511 | 1.565 | 1.547 | 1.481 | 1.454 | 1.391 | 1.376 | 1.343 | 1.308 | 1.287 | 1.275 |
| 16-17 | 0.832 | 0.969 | 1.025 | 1.022 | 0.994 | 0.998 | 0.962 | 0.930 | 0.855 | 0.763 | 0.708 | 0.721 |
| 17-18 | 0.298 | 0.427 | 0.485 | 0.497 | 0.508 | 0.542 | 0.533 | 0.484 | 0.366 | 0.218 | 0.128 | 0.167 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผก 9. ค่าอุณหภูมิของอากาศในเดือนต่างๆ**

**Temperature**

**ปทุมธานี คลองหลวง**

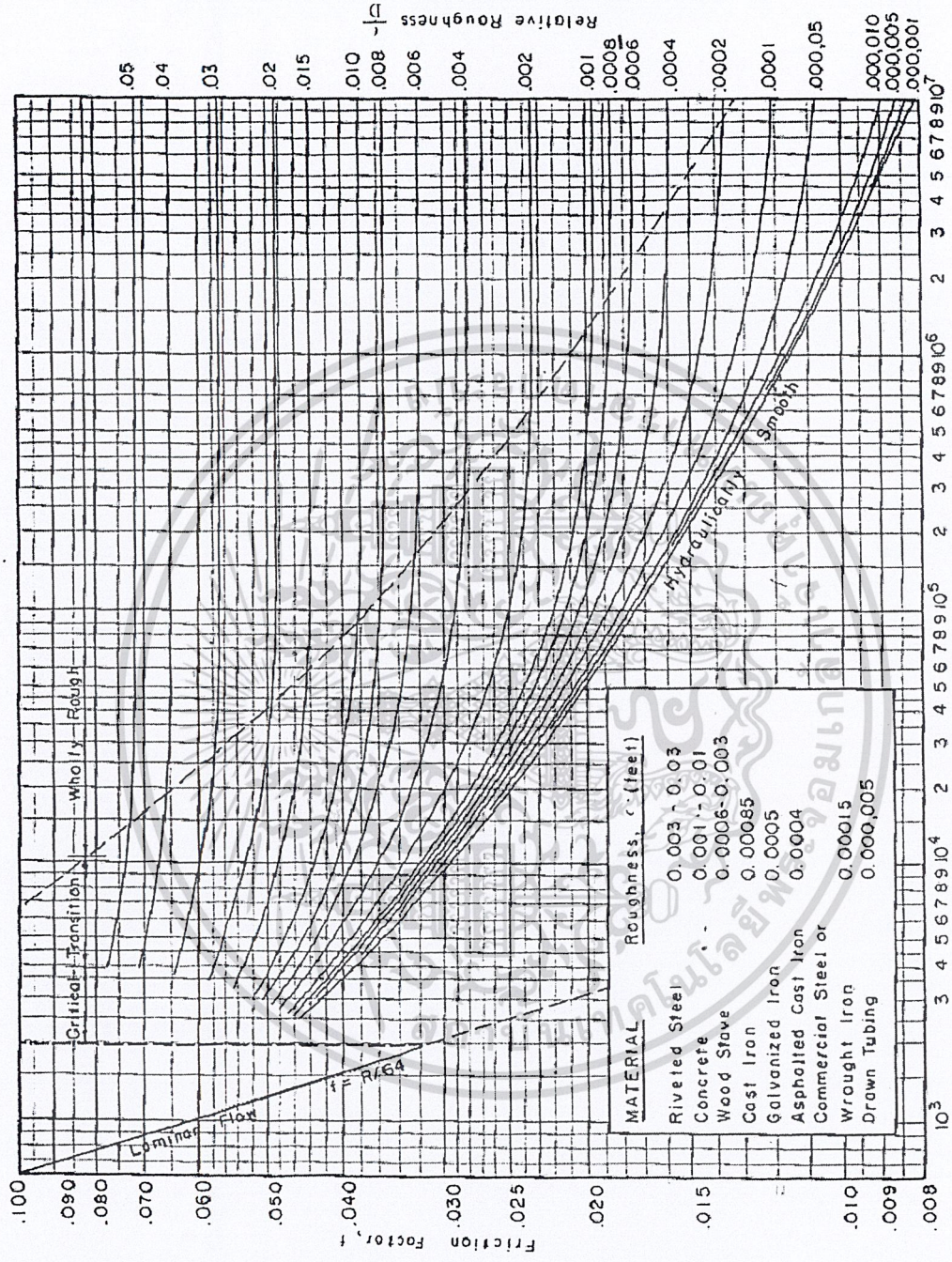
**ละติจูด 14° 04° 13°**

**ลองจิจูด 100° 49° 38°**

| Temperature (C) | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Time** | **JAN** | **FEB** | **MAR** | **APR** | **MAY** | **JUN** | **JUL** | **AUG** | **SEP** | **OCT** | **NOV** | **DEC** |
| 6-7 | 21.6 | 22.9 | 25.2 | 26.3 | 26.5 | 26.3 | 26.1 | 25.7 | 25.4 | 24.9 | 23.0 | 21.4 |
| 7-8 | 22.4 | 23.7 | 26.0 | 27.1 | 27.3 | 27.0 | 26.7 | 26.3 | 26.0 | 25.6 | 23.8 | 22.2 |
| 8-9 | 24.4 | 28.6 | 27.6 | 28.9 | 28.9 | 28.5 | 28.0 | 27.7 | 27.3 | 27.0 | 28.8 | 24.1 |
| 9-10 | 26.4 | 27.4 | 29.7 | 30.7 | 30.5 | 29.9 | 29.4 | 29.0 | 28.6 | 28.4 | 27.1 | 26.0 |
| 1-11 | 28.1 | 29.1 | 31.5 | 32.1 | 31.8 | 31.0 | 30.5 | 30.1 | 29.7 | 29.5 | 28.4 | 27.8 |
| 11-12 | 29.5 | 30.3 | 32.3 | 33.0 | 32.3 | 31.6 | 31.0 | 30.8 | 30.3 | 30.0 | 29.1 | 28.4 |
| 12-13 | 31.0 | 32.0 | 34.1 | 34.4 | 33.4 | 32.6 | 32.0 | 31.6 | 31.2 | 30.9 | 30.2 | 29.9 |
| 13-14 | 31.1 | 33.1 | 34.9 | 35.0 | 33.7 | 32.9 | 32.3 | 31.9 | 31.5 | 31.2 | 30.7 | 30.5 |
| 14-15 | 32.1 | 33.5 | 35.0 | 35.0 | 33.4 | 32.7 | 32.1 | 31.7 | 31.2 | 31.1 | 30.7 | 30.6 |
| 15-16 | 32.5 | 33.8 | 35.2 | 35.0 | 33.0 | 32.5 | 32.0 | 31.6 | 31.0 | 31.0 | 30.7 | 30.7 |
| 16-17 | 31.9 | 33.3 | 34.6 | 34.3 | 32.4 | 31.9 | 31.4 | 31.5 | 30.4 | 30.5 | 30.1 | 30.1 |
| 17-18 | 30.5 | 31.9 | 33.2 | 32.9 | 31.3 | 30.8 | 30.4 | 29.9 | 29.4 | 29.4 | 29.0 | 28.9 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ ผก 3. Moody Diagram สำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์ของความฝืด**





# ภาคผนวก ข.

## การคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การคำนวณ
## การหาเฮดรวมของปั๊ม (TDH)

เฮดรวมของปั๊ม คือพลังงานทั้งหมดที่บอกในรูปเฮดที่ปั๊มจะต้องเพิ่มให้แก่ของเหลวเพื่อให้ของเหลวนั้นไหลผ่านระบบท่อด้วยอัตราที่กำหนด ซึ่งสามารถหาเฮดรวมของปั๊มได้ดังนี้

**เฮดรวมของปั๊ม (TDH) = เฮดสถิตรวม (Total Static Head) + เฮดความฝืดรวม (Friction Head)**

ในการคำนวณนี้จะไม่คำนวณในส่วนของ By Pass เนื่องจากเป็นเส้นทางการไหลของน้ำค่อนข้างน้อยจึงไม่ค่อยมีผลต่อการเสียเฮด

**1. เฮดสถิตย์รวม** คิดจากผลต่างของเฮดสถิตด้านจ่าย (Static Discharge Head) กับเฮดสถิตด้านดูด (Static Suction Head) ซึ่งในระบบของเรานั้นมีค่าผลต่าง เท่ากับ 2 เมตร

ดังนั้น เฮดสถิตย์รวม = 2 เมตร

**2. การเสียความฝืด (Major loss)** เป็นการเสียเฮดเนื่องจากความฝืดของการไหลของของเหลวกับผนังท่อ ซึ่งคิดการไหลเป็นแบบ Turbulent คำนวณได้จากสูตร Darcy - weisbach คือ

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

$$V = \frac{\dot{m}}{1000 \times A} \quad , \quad Re = \frac{VD}{\nu}$$

จากตารางคุณสมบัติของน้ำที่อุณหภูมิ $20^{\circ}C$ , $\nu = 1.011$ ตารางเมตร/วินาที

**2.1. ท่อทองแดง**

**2.1.1. ท่อทองแดงขนาด $\emptyset$ = 7/8 นิ้ว , ยาว 8.7+ 1.7(ส่วนHeader ของแผง) =10.4 เมตร**

$$V = \frac{\dot{m}}{1000 \times A}$$

$$= \frac{20/60}{1000 \times \frac{\pi}{4} \times (\frac{7}{8} \times 0.0254)^2} = 0.859 \text{ เมตร/วินาที}$$

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

$$= \frac{0.859 \times \frac{7}{8} \times 0.0254}{1.011} = 0.0189 \approx 0$$

จากตารางความขรุขระเฉลี่ยของผนังท่อใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\varepsilon_{\text{สแตนเลส}}$ = เรียบ $\approx$ 0 มิลลิเมตร

$$\therefore \frac{\varepsilon}{D} = 0$$

หา f จาก Moody Diagram โดยเปิดจาก Re = 0, $\frac{\varepsilon}{D} = 0$

$$\therefore f = 0.008$$

$$h_f = \frac{0.008 \times 10.4 \times 0.859^2}{\frac{7}{8} \times 0.0254 \times 2 \times 9.81} = 0.141 \text{ เมตร}$$

**2.1.2. ท่อทองแดงขนาด $\emptyset = 1\text{-}\frac{3}{8}$ นิ้ว , ยาว 1 เมตร**

$$V = \frac{\dot{m}}{1000 \times A}$$

$$= \frac{20/60}{1000 \times \frac{\pi}{4} \times (\frac{11}{8} \times 0.0254)^2} = 0.3479 \text{ เมตร/วินาที}$$

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

$$= \frac{0.3479 \times \frac{11}{8} \times 0.0254}{1.011} = 0.012 \approx 0$$

จากตารางความขรุขระเฉลี่ยของผนังท่อใหม่

$\varepsilon_{\text{ท่อทองแดง}}$ = เรียบ $\approx$ 0 มิลลิเมตร

$$\therefore \frac{\varepsilon}{D} = 0$$

หา f จาก Moody Diagram โดยเปิดจาก Re = 0, $\frac{\varepsilon}{D} = 0$

$$\therefore f = 0.008$$

$$h_f = \frac{0.008 \times 1 \times 0.3479^2}{\frac{11}{8} \times 0.0254 \times 2 \times 9.81} = 1.413 \times 10^{-3} \text{ เมตร}$$

รวม $h_{f\text{ของทองแดง}} = 0.1178 + (1.413 \times 10^{-3}) = 0.119$ เมตร

**2.2. ท่อสแตนเลสขนาด $\emptyset = 1$ นิ้ว , ยาว 0.18 เมตร**

$$V = \frac{\dot{m}}{1000 \times A}$$

$$= \frac{20/60}{1000 \times \frac{\pi}{4} \times (1 \times 0.0254)^2} = 0.658 \text{ เมตร/วินาที}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Re} = \frac{VD}{\nu}$$

$$= \frac{0.658 \times 1 \times 0.0254}{1.011} = 0.017 \approx 0$$

จากตารางความขรุขระเฉลี่ยของผนังท่อใหม่

$\varepsilon_{\text{สแตนเลส}}$ = 0.015 มิลลิเมตร

$$\therefore \frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.015}{1 \times 25.4} \approx 0$$

หา f จาก Moody Diagram โดยเปิดจาก Re = 0, $\frac{\varepsilon}{D} = 0$

$\therefore$ f = 0.008

$$h_f = \frac{0.008 \times 0.18 \times 0.658^2}{1 \times 0.0254 \times 2 \times 9.81} = 1.251 \times 10^{-3} \text{ เมตร}$$

**2.3. ท่อPPR**

**2.3.1. ท่อPPRขนาด $\emptyset$ = ¾ นิ้ว , ยาว 0.2 เมตร**

$$V = \frac{\dot{m}}{1000 \times A}$$

$$= \frac{20/60}{1000 \times \frac{\pi}{4} \times (\frac{3}{4} \times 0.0254)^2} = 1.169 \text{ เมตร/วินาที}$$

$$\text{Re} = \frac{VD}{\nu}$$

$$= \frac{1.169 \times \frac{3}{4} \times 0.0254}{1.011} = 0.022 \approx 0$$

จากตารางความขรุขระเฉลี่ยของผนังท่อใหม่

$\varepsilon_{\text{PPR}}$ = 0.0015-0.007 , ใช้ค่าเฉลี่ย = 0.00425 มิลลิเมตร

$$\therefore \frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.00425}{\frac{3}{4} \times 25.4} \approx 0 \text{ มิลลิเมตร}$$

หา f จาก Moody Diagram โดยเปิดจาก Re = 0, $\frac{\varepsilon}{D} = 0$

$\therefore$ f = 0.008

$$h_f = \frac{0.008 \times 0.2 \times 1.169^2}{\frac{3}{4} \times 0.0254 \times 2 \times 9.81} = 5.85 \times 10^{-3} \text{ เมตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.3.2. ท่อPPR ขนาด $\emptyset = 1$ นิ้ว , ยาว 0.4 เมตร**

$$V = \frac{\dot{m}}{1000 \times A}$$

$$= \frac{20/60}{1000 \times \frac{\pi}{4} \times (1 \times 0.0254)^2} = 0.658 \text{ เมตร/วินาที}$$

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

$$= \frac{0.658 \times 1 \times 0.0254}{1.011} = 0.017 \approx 0$$

จากตารางความขรุขระเฉลี่ยของผนังท่อใหม่

$\varepsilon_{PPR}$ = 0.0015-0.007 , ใช้ค่าเฉลี่ย = 0.00425 มิลลิเมตร

$$\therefore \frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.00425}{1 \times 25.4} \approx 0 \text{ มิลลิเมตร}$$

หา f จาก Moody Diagram โดยเปิดจาก Re = 0, $\frac{\varepsilon}{D} = 0$

$$\therefore f = 0.008$$

$$h_f = \frac{0.008 \times 0.4 \times 0.658^2}{1 \times 0.0254 \times 2 \times 9.81} = 2.78 \times 10^{-3} \text{ เมตร}$$

รวม $h_{f \text{ ของ PPR}} = (5.85 \times 10^{-3}) + (2.78 \times 10^{-3}) = 8.63 \times 10^{-3}$ เมตร

<u>การเสียเฮดความฝืด ในท่อ (Major loss)</u>

$$h_f = h_{f(\text{ทองแดง})} + h_{f(\text{สแตนเลส})} + h_{f(PPR)}$$

$$= 0.119 + (1.251 \times 10^{-3}) + (8.63 \times 10^{-3})$$

**$\therefore h_L$ = 0.13319 เมตร**

## 3. การเสียเฮดเนื่องจากอุปกรณ์ในระบบท่อ (Minor loss)

เป็นการสูญเสียพลังงานเนื่องจากอุปกรณ์ในระบบท่อ ซึ่งถือว่าเป็นการสูญเสียส่วนน้อย คำนวณได้โดยใช้สมการ

$$h_L = K \times \frac{V^2}{2g}$$

**3.1. ข้อต่อตรง** สำหรับการเสียเฮดของข้อต่อตรงนั้นจะถือว่ามีการสูญเสียที่น้อยมาก ≈ 0 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.2. Check Valve แบบ lift ขนาด $\emptyset = \frac{3}{4}$ นิ้ว**

จากตารางสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล K = 12

$$V = \frac{\dot{m}}{1000 \times A}$$

$$= \frac{20/60}{1000 \times \frac{\pi}{4} \times (\frac{3}{4} \times 0.0254)^2} = 1.169 \text{ เมตร/วินาที}$$

$$h_L = \frac{12 \times 1.169^2}{2 \times 9.81} = 0.836 \text{ เมตร}$$

**3.3. Gate Valve แบบ screwed ขนาด $\emptyset = \frac{3}{4}$ นิ้ว**

จากตารางสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล

จำนวน 3 ตัว , $\emptyset = \frac{3}{4}$ นิ้ว , K = 0.275

$$V = \frac{\dot{m}}{1000 \times A}$$

$$= \frac{20/60}{1000 \times \frac{\pi}{4} \times (\frac{3}{4} \times 0.0254)^2} = 1.169 \text{ เมตร/วินาที}$$

$$h_L = \frac{0.275 \times 1.169^2}{2 \times 9.81} = 0.0192 \text{ เมตร}$$

**3.4. Globe Valve แบบ screwed (จำนวน 2 ตัว)**

จากตารางสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล

จำนวน 2 ตัว , $\emptyset = \frac{3}{4}$ นิ้ว , K = 10

$$V = \frac{\dot{m}}{1000 \times A}$$

$$= \frac{20/60}{1000 \times \frac{\pi}{4} \times (\frac{3}{4} \times 0.0254)^2} = 1.169 \text{ เมตร/วินาที}$$

จำนวน 2 ตัว , $\emptyset = 1$ นิ้ว , K = 8.8

$$V = \frac{\dot{m}}{1000 \times A}$$

$$= \frac{20/60}{1000 \times \frac{\pi}{4} \times (1 \times 0.0254)^2} = 0.658 \text{ เมตร/วินาที}$$

$$\text{รวม } h_{L \text{ของ globe valve}} = \frac{2 \times 10 \times 1.169^2}{2 \times 9.81} + \frac{8.8 \times 0.658^2}{2 \times 9.81} = 1.587 \text{ เมตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5. ข้องอ 90° (จำนวน 6 ตัว)

จากตารางสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล ของREGULAR SCREWED 90° ELL.

จำนวน 1 ตัว , $\emptyset = \frac{3}{4}$ นิ้ว , K = 1.7

$$V = \frac{\dot{m}}{1000 \times A}$$

$$= \frac{20/60}{1000 \times \frac{\pi}{4} \times (\frac{3}{4} \times 0.0254)^2} = 1.169 \text{ เมตร/วินาที}$$

จำนวน 4 ตัว , $\emptyset = \frac{7}{8}$ นิ้ว , K = 1.6

$$V = \frac{\dot{m}}{1000 \times A}$$

$$= \frac{20/60}{1000 \times \frac{\pi}{4} \times (\frac{7}{8} \times 0.0254)^2} = 0.859 \text{ เมตร/วินาที}$$

จำนวน 1 ตัว , $\emptyset = 1$ นิ้ว , K = 1.5

$$V = \frac{\dot{m}}{1000 \times A}$$

$$= \frac{20/60}{1000 \times \frac{\pi}{4} \times (1 \times 0.0254)^2} = 0.158 \text{ เมตร/วินาที}$$

$$\textbf{รวม } h_{L\text{ของข้องอ}90^\circ} = \frac{1.7 \times 1.169^2}{2 \times 9.81} + \frac{4 \times 1.6 \times 0.859^2}{2 \times 9.81} + \frac{1.5 \times 0.658^2}{2 \times 9.81} = \textbf{0.392 เมตร}$$

### 3.6. ข้อต่อแบบ UNIONS (จำนวน 3 ตัว)

จากตารางสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล ของCOUPLING AND UNIONS

จำนวน 3 ตัว , $\emptyset = \frac{3}{4}$ นิ้ว , K = 0.95

$$V = \frac{\dot{m}}{1000 \times A}$$

$$= \frac{20/60}{1000 \times \frac{\pi}{4} \times (\frac{3}{4} \times 0.0254)^2} = 1.169 \text{ เมตร/วินาที}$$

จำนวน 1 ตัว , $\emptyset = 1$ นิ้ว , K = 0.8

$$V = \frac{\dot{m}}{1000 \times A}$$

$$= \frac{20/60}{1000 \times \frac{\pi}{4} \times (1 \times 0.0254)^2} = 0.658 \text{ เมตร/วินาที}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวม $h_{L\text{ของ}UNIONS} = \frac{3 \times 0.95 \times 1.169^2}{2 \times 9.81} + \frac{0.8 \times 0.658^2}{2 \times 9.81} = 0.216$ เมตร

### 3.7. ข้อต่อลดขนาด

$$E_L = k(v_1^2 - v_2^2)/2g$$

### 3.7.1. ข้อต่อลดขนาดจาก 1 - $\frac{3}{8}$ นิ้ว เป็น $\frac{7}{8}$ นิ้ว (จำนวน 1 ตัว)

$$v_1 A_1 = {}_2A_2$$

$$\dot{m}_1 = v_2 A_2$$

$$\frac{20/60}{1000} = v_2 \times \frac{\pi \times (\frac{7}{8} \times 0.0254)^2}{4}$$

$$v_2 = \frac{20 \times 4}{60 \times 1000 \times \pi \times (\frac{7}{8} \times 0.0254)^2} = 0.752 \text{ เมตร/วินาที}$$

$$v_1 = \frac{20/60}{1000 \times \frac{\pi}{4} \times (\frac{11}{8} \times 0.0254)^2} = 0.348 \text{ เมตร/วินาที}$$

จากตารางสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล ของDiffusor

K ที่ D = 1.5d , $\propto = 60^\circ$

$$\frac{11}{8} \approx 1.5\left(\frac{7}{8}\right)$$

K = 1.22

$$\therefore E_L = \frac{1.22\,(0.348^2 - 0.752^2)}{2 \times 9.81} = -0.028 \text{ เมตร}$$

### 3.7.2. ข้อต่อลดขนาดจาก 1 นิ้ว เป็น $\frac{3}{4}$ นิ้ว (จำนวน 2 ตัว)

$$v_1 A_1 = {}_2A_2$$

$$\dot{m}_1 = v_2 A_2$$

$$\frac{20/60}{1000} = v_2 \times \frac{\pi \times (\frac{3}{4} \times 0.0254)^2}{4}$$

$$v_2 = \frac{20 \times 4}{60 \times 1000 \times \pi \times (\frac{3}{4} \times 0.0254)^2} = 1.169 \text{ เมตร/วินาที}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v_1 = \frac{20/60}{1000 \times \frac{\pi}{4} \times (1 \times 0.0254)^2} = 0.658 \text{ เมตร/วินาที}$$

จากตารางสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล ของDiffusor

K ที่ D = 1.5d , $\propto = 60^{\circ}$

$1 \approx 1.5(\frac{3}{4})$

K = 1.22 จำนวน 2 ตัว

$\therefore E_L = \frac{2 \times 1.22\,(0.658^2 - 1.169^2)}{2 \times 9.81}$ = -0.116 เมตร

รวม $E_{L\text{ข้อต่อลดขนาด}}$ = -0.028 + (-0.116) = -0.144 เมตร

## 3.8. ข้อต่อเพิ่มขนาด

$$E_L = k(v_1^2 - v_2^2)/2g$$

### 3.8.1. ข้อต่อเพิ่มขนาดจาก $\frac{7}{8}$ นิ้ว เป็น $1\frac{3}{8}$ นิ้ว (จำนวน 1 ตัว)

$v_1 A_1 = {}_2A_2$

$\dot{m}_1 = v_2 A_2$

$\frac{20/60}{1000} = v_2 \times \frac{\pi \times (\frac{11}{8} \times 0.0254)^2}{4}$

$v_2 = \frac{20 \times 4}{60 \times 1000 \times \pi \times (\frac{11}{8} \times 0.0254)^2}$ = 0.348 เมตร/วินาที

$v_1 = \frac{20/60}{1000 \times \frac{\pi}{4} \times (\frac{7}{8} \times 0.0254)^2}$ = 0.859 เมตร/วินาที

จากตารางสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล ของConfusor

K ที่ $\propto = 60^{\circ}$

K = 0.32

$\therefore E_L = \frac{0.32 \times (0.859^2 - 0.348^2)}{2 \times 9.81}$ = 0.01 เมตร

### 3.8.2. ข้อต่อเพิ่มขนาดจาก $\frac{3}{4}$ นิ้ว เป็น 1 นิ้ว (จำนวน 1 ตัว)

$v_1 A_1 = {}_2A_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\dot{m}_1 = \nu_2 A_2$$

$$\frac{20/60}{1000} = \nu_2 \times \frac{\pi \times (1 \times 0.0254)^2}{4}$$

$$\nu_2 = \frac{20 \times 4}{60 \times 1000 \times \pi \times (1 \times 0.0254)^2} = 0.658 \text{ เมตร/วินาที}$$

$$\nu_1 = \frac{20/60}{1000 \times \frac{\pi}{4} \times (\frac{3}{4} \times 0.0254)^2} = 1.169 \text{ เมตร/วินาที}$$

จากตารางสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล ของConfusor

K ที่ $\propto = 60^\circ$

K = 0.32

$$\therefore E_L = \frac{0.32 \times (1.169^2 - 0.658^2)}{2 \times 9.81} = 0.015 \text{ เมตร}$$

**3.8.3. ข้อต่อเพิ่มขนาดจาก $\frac{7}{8}$ นิ้ว เป็น 1 นิ้ว (จำนวน 1 ตัว)**

$$\nu_1 A_1 = \nu_2 A_2$$

$$\dot{m}_1 = \nu_2 A_2$$

$$\frac{20/60}{1000} = \nu_2 \times \frac{\pi \times (1 \times 0.0254)^2}{4}$$

$$\nu_2 = \frac{20 \times 4}{60 \times 1000 \times \pi \times (1 \times 0.0254)^2} = 0.658 \text{ เมตร/วินาที}$$

$$\nu_1 = \frac{20/60}{1000 \times \frac{\pi}{4} \times (\frac{7}{8} \times 0.0254)^2} = 0.859 \text{ เมตร/วินาที}$$

จากตารางสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล ของConfusor

K ที่ $\propto = 60^\circ$

K = 0.32

$$\therefore E_L = \frac{0.32 \times (0.859^2 - 0.658^2)}{2 \times 9.81} = 4.973 \times 10^{-3} \text{ เมตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.8.4. ข้อต่อเพิ่มขนาดจาก 1 นิ้ว เป็น $1\frac{1}{2}$ นิ้ว (จำนวน 1 ตัว)

$$\nu_1 A_1 = {}_2A_2$$

$$\dot{m}_1 = \nu_2 A_2$$

$$\frac{20/60}{1000} = \nu_2 \times \frac{\pi \times (\frac{3}{2} \times 0.0254)^2}{4}$$

$$\nu_2 = \frac{20 \times 4}{60 \times 1000 \times \pi \times (\frac{3}{2} \times 0.0254)^2} = 0.292 \text{ เมตร/วินาที}$$

$$\nu_1 = \frac{20/60}{1000 \times \frac{\pi}{4} \times (1 \times 0.0254)^2} = 0.658 \text{ เมตร/วินาที}$$

จากตารางสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล ของConfusor

K ที่ $\alpha = 60^o$

K = 0.32

$$\therefore \mathbf{E_L} = \frac{0.32 \times (0.658^{\ 2} - 0.292^2)}{2 \times 9.81} = \mathbf{5.67 \times 10^{-3}} \text{ เมตร}$$

รวม $E_{L\text{ข้อต่อเพิ่มขนาด}} = 0.01 + 0.15 + (4.973 \times 10^{-3}) + (5.67 \times 10^{-3}) = 0.036$ เมตร

## 3.9. การไหลจากถังน้ำเข้าท่อ ขนาด 1 นิ้ว

จากตารางสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล ของPerpendicular reentrant entrance

K = 0.8

$$V = \frac{\dot{m}}{1000 \times A}$$

$$= \frac{20/60}{1000 \times \frac{\pi}{4} \times (1 \times 0.0254)^2} = 0.658 \text{ เมตร/วินาที}$$

$$h_L = \frac{0.8 \times 0.658^2}{2 \times 9.81} = 0.018 \text{ เมตร}$$

### 3.9.1. การไหลออกจากท่อเข้าถังเก็บน้ำ (ท่อขนาด $\frac{3}{4}$ นิ้ว)

จากตารางสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล ของ Exit from pipe into reservoir

K = 1.0

$$V = \frac{\dot{m}}{1000 \times A}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{20/60}{1000\times\frac{\pi}{4}\times(\frac{3}{4}\times0.0254)^2} = 1.169 \text{ เมตร/วินาที}$$

$$h_L = \frac{1\times 1.169^2}{2\times9.81} = 0.07 \text{ เมตร}$$

<u>การเสียเฮดเนื่องจากอุปกรณ์ในท่อ (Minor loss)</u>

$$h_L = h_{L(\text{Check Valve})} + h_{L(\text{Gate Valve})} + h_{L(\text{Globe Valve})} + h_{L(\text{ข้องอ } 90^\circ)} + h_{L(\text{UNIONS})}$$

$$+ h_{L(\text{ข้อต่อลดขนาด})} + h_{L(\text{ข้อต่อเพิ่มขนาด})} + h_{L(\text{การไหลในเข้าท่อ})} + h_{L(\text{การไหลเข้าถังเก็บน้ำ})}$$

$$= 0.836 + 0.0192 + 1.587 + 0.392 + 0.216 + (-0.144) + 0.036 + 0.018 + 0.07$$

$\therefore h_L = 3.03$ เมตร

## 4. เฮดรวมของปั๊ม

เฮดรวมของปั๊ม = เฮดสถิตย์รวม + Major loss + Minor loss

= 2 + 0.13319 + 3.03

$\therefore$ เฮดรวมของปั๊ม = 5.163 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ค.

## ตารางการแบ่งชุดข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 1. ข้อมูลชุดที่ 1**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง (°C) | อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อส่งไปปิ๊นหลอดสุญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่สูญเสียของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 37.65 | 38.30 | 31.80 | 88.70 | 628.60 | 200.00 | 0.50 | 0.81613828 |
| 2 | 37.95 | 38.50 | 30.60 | 89.50 | 609.74 | 200.00 | 0.50 | 0.84137967 |
| 3 | 38.05 | 38.50 | 33.60 | 90.10 | 612.89 | 200.00 | 0.50 | 0.83706490 |
| 4 | 37.75 | 38.30 | 33.80 | 91.00 | 638.03 | 200.00 | 0.50 | 0.80407712 |
| 5 | 37.75 | 38.30 | 33.80 | 91.00 | 638.03 | 200.00 | 0.50 | 0.80407712 |
| 6 | 37.75 | 38.30 | 33.80 | 91.00 | 638.03 | 200.00 | 0.50 | 0.80407712 |
| 7 | 37.75 | 38.30 | 33.80 | 91.00 | 638.03 | 200.00 | 0.50 | 0.80407712 |
| 8 | 37.90 | 38.40 | 32.60 | 91.00 | 650.60 | 200.00 | 0.50 | 0.87615489 |
| 9 | 38.90 | 39.40 | 31.70 | 89.80 | 685.17 | 200.00 | 0.50 | 0.83194524 |
| 10 | 38.90 | 39.50 | 30.20 | 90.50 | 647.46 | 200.00 | 0.50 | 0.88040807 |
| 11 | 39.20 | 39.80 | 30.30 | 88.00 | 644.32 | 200.00 | 0.50 | 0.88470274 |
| 12 | 39.20 | 39.80 | 30.30 | 88.00 | 644.32 | 200.00 | 0.50 | 0.88470274 |
| 13 | 39.30 | 39.80 | 29.70 | 87.20 | 638.03 | 150.00 | 0.50 | 0.89341903 |
| 14 | 39.40 | 39.80 | 28.70 | 86.60 | 656.89 | 150.00 | 0.50 | 0.86777063 |
| 15 | 39.65 | 40.00 | 28.40 | 85.90 | 641.17 | 150.00 | 0.50 | 0.97794347 |
| 16 | 39.65 | 40.00 | 28.40 | 85.90 | 641.17 | 150.00 | 0.50 | 0.97794347 |
| 17 | 39.65 | 40.00 | 28.40 | 85.90 | 641.17 | 150.00 | 0.50 | 0.97794347 |
| 18 | 39.85 | 40.10 | 28.50 | 86.00 | 631.74 | 150.00 | 0.50 | 0.99253964 |
| 19 | 39.95 | 40.40 | 27.90 | 85.90 | 675.75 | 150.00 | 0.50 | 0.92790916 |
| 20 | 39.45 | 40.70 | 31.50 | 85.80 | 660.03 | 150.00 | 0.50 | 0.95000223 |
| 21 | 40.55 | 41.20 | 29.80 | 88.10 | 688.32 | 100.00 | 0.50 | 0.91096104 |
| 22 | 40.75 | 41.30 | 31.10 | 86.80 | 678.89 | 100.00 | 0.50 | 0.92361328 |
| 23 | 40.65 | 41.50 | 32.50 | 87.60 | 713.46 | 100.00 | 0.50 | 0.87885669 |
| 24 | 40.65 | 41.50 | 32.50 | 87.60 | 713.46 | 100.00 | 0.50 | 0.87885669 |
| 25 | 41.20 | 41.80 | 31.00 | 87.00 | 685.17 | 100.00 | 0.50 | 0.99833429 |
| 26 | 41.40 | 41.80 | 29.70 | 86.40 | 685.17 | 100.00 | 0.50 | 0.99833429 |
| 27 | 41.40 | 41.90 | 32.40 | 87.30 | 685.17 | 100.00 | 0.50 | 0.99833429 |
| 28 | 41.40 | 41.90 | 32.40 | 87.30 | 685.17 | 100.00 | 0.50 | 0.99833429 |
| 29 | 41.60 | 42.10 | 30.20 | 87.10 | 685.17 | 100.00 | 0.50 | 0.99833429 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 1. ข้อมูลชุดที่ 1 (ต่อ)**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง (°C) | อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อสีทาไปปิ๊นหลอดสุญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่สูญเสียของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 42.30 | 42.10 | 30.80 | 87.60 | 685.17 | 100.00 | 0.50 | 0.99833429 |
| 31 | 42.30 | 42.10 | 30.80 | 87.60 | 685.17 | 100.00 | 0.50 | 0.99833429 |
| 32 | 41.00 | 42.10 | 29.10 | 86.70 | 688.32 | 100.00 | 0.50 | 0.99377568 |
| 33 | 41.40 | 42.20 | 31.10 | 86.50 | 688.32 | 100.00 | 0.50 | 0.99377568 |
| 34 | 41.40 | 42.20 | 31.10 | 86.50 | 688.32 | 100.00 | 0.50 | 0.99377568 |
| 35 | 42.20 | 42.70 | 34.30 | 83.90 | 688.32 | 200.00 | 0.50 | 0.99377568 |
| 36 | 42.40 | 42.80 | 30.80 | 86.10 | 691.46 | 200.00 | 0.50 | 0.98925852 |
| 37 | 42.70 | 43.10 | 30.60 | 86.40 | 697.75 | 200.00 | 0.50 | 0.98034628 |
| 38 | 42.70 | 43.10 | 30.60 | 86.40 | 697.75 | 200.00 | 0.50 | 0.98034628 |
| 39 | 43.00 | 43.50 | 34.10 | 86.80 | 704.03 | 200.00 | 0.50 | 0.97159319 |
| 40 | 43.00 | 43.50 | 33.30 | 86.40 | 700.89 | 200.00 | 0.50 | 0.97595011 |
| 41 | 43.00 | 43.50 | 33.30 | 86.40 | 700.89 | 200.00 | 0.50 | 0.97595011 |
| 42 | 43.20 | 43.70 | 32.90 | 85.70 | 691.46 | 200.00 | 0.50 | 0.98925852 |
| 43 | 43.20 | 43.70 | 32.90 | 85.70 | 691.46 | 200.00 | 0.50 | 0.98925852 |
| 44 | 43.40 | 43.60 | 31.70 | 84.30 | 694.60 | 200.00 | 0.50 | 0.98478224 |
| 45 | 43.90 | 44.10 | 33.40 | 85.80 | 707.18 | 200.00 | 0.50 | 0.96727500 |
| 46 | 43.70 | 44.20 | 35.50 | 82.70 | 719.75 | 200.00 | 0.50 | 0.95037937 |
| 47 | 43.80 | 44.10 | 30.40 | 85.40 | 722.89 | 200.00 | 0.50 | 0.94624728 |
| 48 | 44.00 | 44.40 | 32.20 | 85.60 | 732.32 | 200.00 | 0.50 | 0.93406384 |
| 49 | 44.35 | 44.70 | 32.90 | 83.90 | 744.89 | 200.00 | 0.50 | 0.99482397 |
| 50 | 44.55 | 44.90 | 34.20 | 86.00 | 748.03 | 200.00 | 0.50 | 0.99064404 |
| 51 | 44.75 | 45.10 | 29.90 | 86.30 | 754.32 | 200.00 | 0.50 | 0.98238867 |
| 52 | 44.85 | 45.30 | 31.10 | 85.70 | 760.61 | 200.00 | 0.50 | 0.97426976 |
| 53 | 44.65 | 45.00 | 30.10 | 84.80 | 763.75 | 200.00 | 0.50 | 0.97026042 |
| 54 | 44.75 | 45.30 | 31.50 | 85.70 | 770.04 | 200.00 | 0.50 | 0.96233992 |
| 55 | 44.95 | 45.70 | 29.10 | 85.70 | 776.32 | 200.00 | 0.50 | 0.95454770 |
| 56 | 44.95 | 45.70 | 29.10 | 85.70 | 776.32 | 200.00 | 0.50 | 0.95454770 |
| 57 | 45.05 | 45.50 | 31.20 | 84.40 | 779.46 | 200.00 | 0.50 | 0.95069871 |
| 58 | 45.45 | 45.90 | 34.60 | 85.20 | 804.61 | 200.00 | 0.50 | 0.92098938 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 1. ข้อมูลชุดที่ 1 (ต่อ)**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำวกเข้าในถัง (°C) | อุณหภูมิของ สภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อฮีทไปป์ในหลอดสุญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่สูญเสียของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 59 | 45.55 | 45.90 | 30.60 | 85.40 | 839.18 | 200.00 | 0.50 | 0.88304600 |
| 60 | 45.35 | 45.70 | 30.60 | 84.90 | 832.90 | 200.00 | 0.50 | 0.88971049 |
| 61 | 45.35 | 45.70 | 30.60 | 84.90 | 832.90 | 200.00 | 0.50 | 0.88971049 |
| 62 | 45.35 | 45.70 | 30.60 | 84.90 | 832.90 | 200.00 | 0.50 | 0.88971049 |
| 63 | 45.35 | 45.70 | 30.60 | 84.90 | 832.90 | 200.00 | 0.50 | 0.88971049 |
| 64 | 45.75 | 46.10 | 29.30 | 88.00 | 902.04 | 200.00 | 0.50 | 0.82150969 |
| 65 | 45.75 | 46.10 | 29.30 | 88.00 | 902.04 | 200.00 | 0.50 | 0.82150969 |
| 66 | 46.15 | 46.70 | 32.90 | 89.60 | 886.33 | 200.00 | 0.50 | 0.83607546 |
| 67 | 46.15 | 46.70 | 32.90 | 89.60 | 886.33 | 200.00 | 0.50 | 0.83607546 |
| 68 | 46.35 | 46.90 | 32.00 | 89.60 | 892.61 | 200.00 | 0.50 | 0.83018761 |
| 69 | 46.45 | 47.10 | 31.50 | 90.20 | 880.04 | 200.00 | 0.50 | 0.84204743 |
| 70 | 46.85 | 47.30 | 33.20 | 89.10 | 898.90 | 200.00 | 0.50 | 0.82438210 |
| 71 | 46.85 | 47.30 | 33.20 | 89.10 | 898.90 | 200.00 | 0.50 | 0.82438210 |
| 72 | 46.85 | 47.20 | 34.80 | 91.50 | 908.33 | 200.00 | 0.50 | 0.81582450 |
| 73 | 46.95 | 47.60 | 33.00 | 91.10 | 898.90 | 200.00 | 0.50 | 0.82438210 |
| 74 | 47.35 | 47.70 | 33.10 | 91.30 | 886.33 | 200.00 | 0.50 | 0.83607546 |
| 75 | 47.45 | 47.80 | 34.40 | 91.70 | 886.33 | 200.00 | 0.50 | 0.83607546 |
| 76 | 47.95 | 48.30 | 31.00 | 92.50 | 908.33 | 200.00 | 0.50 | 0.81582450 |
| 77 | 48.65 | 49.00 | 33.70 | 92.60 | 839.18 | 200.00 | 0.50 | 0.88304600 |
| 78 | 48.65 | 49.00 | 33.70 | 92.60 | 839.18 | 200.00 | 0.50 | 0.88304600 |
| 79 | 48.65 | 49.00 | 34.10 | 92.20 | 817.18 | 200.00 | 0.50 | 0.90682031 |
| 80 | 48.50 | 48.80 | 33.40 | 91.80 | 826.61 | 200.00 | 0.50 | 0.82751663 |
| 81 | 48.70 | 49.00 | 30.20 | 91.50 | 801.47 | 200.00 | 0.50 | 0.85347794 |
| 82 | 48.90 | 49.10 | 27.50 | 90.60 | 807.75 | 200.00 | 0.50 | 0.84683609 |
| 83 | 48.90 | 49.10 | 27.50 | 90.60 | 807.75 | 200.00 | 0.50 | 0.84683609 |
| 84 | 48.70 | 49.00 | 32.90 | 89.00 | 788.89 | 200.00 | 0.50 | 0.86707918 |
| 85 | 49.00 | 49.20 | 33.70 | 89.10 | 798.32 | 200.00 | 0.50 | 0.85683809 |
| 86 | 49.00 | 49.20 | 33.70 | 89.10 | 798.32 | 200.00 | 0.50 | 0.85683809 |
| 87 | 49.20 | 49.60 | 32.50 | 85.80 | 776.32 | 200.00 | 0.50 | 0.88112095 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 1. ข้อมูลชุดที่ 1 (ต่อ)**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง (°C) | อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อที่ไปยังหลอดสุญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่สูญเสียของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 88 | 49.20 | 49.60 | 32.50 | 85.80 | 776.32 | 200.00 | 0.50 | 0.88112095 |
| 89 | 49.20 | 49.60 | 32.50 | 85.80 | 776.32 | 200.00 | 0.50 | 0.88112095 |
| 90 | 49.10 | 49.40 | 28.00 | 88.30 | 770.04 | 200.00 | 0.50 | 0.88831377 |
| 91 | 49.20 | 49.60 | 32.00 | 87.30 | 779.46 | 200.00 | 0.50 | 0.87756804 |
| 92 | 49.10 | 49.60 | 31.90 | 83.40 | 763.75 | 200.00 | 0.50 | 0.89562500 |
| 93 | 49.00 | 49.40 | 32.00 | 85.90 | 748.03 | 200.00 | 0.50 | 0.91444065 |
| 94 | 49.00 | 49.40 | 32.00 | 85.90 | 748.03 | 200.00 | 0.50 | 0.91444065 |
| 95 | 49.00 | 49.40 | 33.60 | 86.20 | 738.61 | 200.00 | 0.50 | 0.92611436 |
| 96 | 49.10 | 49.50 | 31.60 | 85.50 | 719.75 | 200.00 | 0.50 | 0.95037937 |
| 97 | 49.10 | 49.50 | 31.60 | 85.50 | 719.75 | 200.00 | 0.50 | 0.95037937 |
| 98 | 49.20 | 49.60 | 33.00 | 86.20 | 722.89 | 200.00 | 0.50 | 0.94624728 |
| 99 | 49.60 | 50.00 | 30.20 | 85.20 | 691.46 | 200.00 | 0.50 | 0.98925852 |
| 100 | 49.60 | 50.00 | 29.20 | 84.90 | 710.32 | 200.00 | 0.50 | 0.96299502 |
| 101 | 49.50 | 49.80 | 28.90 | 83.50 | 704.03 | 200.00 | 0.50 | 0.97159319 |
| 102 | 49.60 | 50.00 | 32.40 | 84.10 | 716.60 | 200.00 | 0.50 | 0.95454770 |
| 103 | 49.95 | 50.40 | 28.50 | 83.30 | 675.75 | 200.00 | 0.50 | 0.92790916 |
| 104 | 49.95 | 50.40 | 28.50 | 83.30 | 675.75 | 200.00 | 0.50 | 0.92790916 |
| 105 | 49.95 | 50.40 | 28.50 | 83.30 | 675.75 | 200.00 | 0.50 | 0.92790916 |
| 106 | 49.95 | 50.40 | 28.50 | 83.30 | 675.75 | 200.00 | 0.50 | 0.92790916 |
| 107 | 49.95 | 50.40 | 28.50 | 83.30 | 675.75 | 200.00 | 0.50 | 0.92790916 |
| 108 | 50.05 | 50.50 | 31.50 | 82.20 | 669.46 | 200.00 | 0.50 | 0.93662192 |
| 109 | 50.15 | 50.70 | 31.40 | 82.30 | 656.89 | 200.00 | 0.50 | 0.95454770 |
| 110 | 50.55 | 51.00 | 29.90 | 82.80 | 647.46 | 200.00 | 0.50 | 0.96844888 |
| 111 | 50.55 | 51.00 | 29.90 | 82.80 | 647.46 | 200.00 | 0.50 | 0.96844888 |
| 112 | 50.55 | 50.90 | 30.80 | 82.40 | 647.46 | 200.00 | 0.50 | 0.96844888 |
| 113 | 50.55 | 50.90 | 30.80 | 82.40 | 647.46 | 200.00 | 0.50 | 0.96844888 |
| 114 | 50.55 | 50.80 | 33.80 | 82.20 | 638.03 | 200.00 | 0.50 | 0.98276093 |
| 115 | 50.65 | 50.90 | 33.40 | 82.20 | 631.74 | 200.00 | 0.50 | 0.99253964 |
| 116 | 50.55 | 50.90 | 33.10 | 80.60 | 628.60 | 200.00 | 0.50 | 0.99750234 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 1. ข้อมูลชุดที่ 1 (ต่อ)**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำเกลาในถัง (°C) | อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อสีทาไปป์ในหลอดสุญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่สูญเสียของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 117 | 50.35 | 50.80 | 32.80 | 80.70 | 634.89 | 200.00 | 0.50 | 0.98762608 |
| 118 | 50.35 | 50.80 | 32.80 | 80.70 | 634.89 | 200.00 | 0.50 | 0.98762608 |
| 119 | 50.35 | 50.80 | 32.80 | 80.70 | 634.89 | 200.00 | 0.50 | 0.98762608 |
| 120 | 50.50 | 51.20 | 30.80 | 81.10 | 622.31 | 200.00 | 0.50 | 0.91598011 |
| 121 | 50.80 | 51.30 | 29.70 | 82.20 | 612.89 | 200.00 | 0.50 | 0.93007211 |
| 122 | 50.80 | 51.30 | 29.70 | 82.20 | 612.89 | 200.00 | 0.50 | 0.93007211 |
| 123 | 51.00 | 51.50 | 31.00 | 85.00 | 600.31 | 250.00 | 0.50 | 0.94955006 |
| 124 | 51.00 | 51.50 | 31.00 | 85.00 | 600.31 | 250.00 | 0.50 | 0.94955006 |
| 125 | 50.90 | 51.40 | 32.10 | 85.40 | 653.74 | 250.00 | 0.50 | 0.87194261 |
| 126 | 50.90 | 51.40 | 32.10 | 85.40 | 653.74 | 250.00 | 0.50 | 0.87194261 |
| 127 | 51.10 | 51.70 | 32.60 | 86.50 | 647.46 | 250.00 | 0.50 | 0.88040807 |
| 128 | 51.10 | 51.70 | 32.60 | 86.50 | 647.46 | 250.00 | 0.50 | 0.88040807 |
| 129 | 51.40 | 51.90 | 30.90 | 85.10 | 638.03 | 200.00 | 0.50 | 0.89341903 |
| 130 | 51.70 | 52.30 | 29.60 | 86.70 | 625.46 | 200.00 | 0.50 | 0.91137720 |
| 131 | 51.80 | 52.40 | 28.40 | 85.60 | 625.46 | 200.00 | 0.50 | 0.91137720 |
| 132 | 51.80 | 52.40 | 28.40 | 85.60 | 625.46 | 200.00 | 0.50 | 0.91137720 |
| 133 | 51.90 | 52.50 | 27.10 | 84.80 | 619.17 | 200.00 | 0.50 | 0.92062976 |
| 134 | 52.20 | 52.80 | 33.50 | 86.30 | 619.17 | 200.00 | 0.50 | 0.92062976 |
| 135 | 52.20 | 52.80 | 31.40 | 85.60 | 616.03 | 200.00 | 0.50 | 0.92532685 |
| 136 | 52.50 | 53.00 | 35.30 | 85.50 | 609.74 | 200.00 | 0.50 | 0.93486630 |
| 137 | 52.50 | 53.00 | 35.30 | 85.50 | 609.74 | 200.00 | 0.50 | 0.93486630 |
| 138 | 52.50 | 53.00 | 35.30 | 85.50 | 609.74 | 200.00 | 0.50 | 0.93486630 |
| 139 | 52.55 | 53.20 | 31.40 | 85.90 | 606.60 | 200.00 | 0.50 | 0.84573915 |
| 140 | 52.55 | 53.20 | 31.40 | 85.90 | 606.60 | 200.00 | 0.50 | 0.84573915 |
| 141 | 52.75 | 53.40 | 31.60 | 87.40 | 597.17 | 200.00 | 0.50 | 0.85909293 |
| 142 | 52.75 | 53.40 | 31.60 | 87.40 | 597.17 | 200.00 | 0.50 | 0.85909293 |
| 143 | 52.75 | 53.40 | 31.60 | 87.40 | 597.17 | 200.00 | 0.50 | 0.85909293 |
| 144 | 52.85 | 53.40 | 30.50 | 87.70 | 597.17 | 200.00 | 0.50 | 0.85909293 |
| 145 | 35.30 | 35.20 | 32.80 | 69.40 | 710.318 | 100.00 | 0.4167 | 0.66874654 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 1. ข้อมูลชุดที่ 1 (ต่อ)**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง (°C) | อุณหภูมิของ สภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อสีทาไปป์ไม่หลอดสุญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่สูญเสียของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 146 | 35.20 | 35.30 | 30.50 | 69.40 | 713.461 | 100.00 | 0.4167 | 0.66580052 |
| 147 | 35.75 | 35.70 | 32.70 | 69.90 | 716.604 | 100.00 | 0.4167 | 0.72916838 |
| 148 | 35.75 | 35.70 | 32.70 | 69.90 | 716.604 | 100.00 | 0.4167 | 0.72916838 |
| 149 | 35.65 | 35.70 | 31.40 | 67.70 | 716.604 | 100.00 | 0.4167 | 0.72916838 |
| 150 | 35.65 | 35.70 | 31.40 | 67.70 | 716.604 | 100.00 | 0.4167 | 0.72916838 |
| 151 | 35.75 | 35.80 | 32.00 | 68.40 | 713.461 | 100.00 | 0.4167 | 0.73238057 |
| 152 | 35.75 | 35.80 | 32.00 | 68.40 | 713.461 | 100.00 | 0.4167 | 0.73238057 |
| 153 | 35.75 | 35.80 | 32.00 | 68.40 | 713.461 | 100.00 | 0.4167 | 0.73238057 |
| 154 | 35.95 | 36.10 | 31.80 | 67.40 | 707.175 | 100.00 | 0.4167 | 0.73889062 |
| 155 | 36.95 | 36.50 | 31.50 | 68.50 | 716.604 | 100.00 | 0.4167 | 0.72916838 |
| 156 | 37.30 | 36.80 | 33.50 | 70.90 | 722.890 | 100.00 | 0.4167 | 0.78853940 |
| 157 | 37.90 | 37.30 | 34.70 | 70.70 | 719.747 | 100.00 | 0.4167 | 0.79198281 |
| 158 | 37.60 | 37.10 | 32.70 | 69.10 | 726.033 | 100.00 | 0.4167 | 0.78512581 |
| 159 | 38.00 | 37.50 | 33.20 | 69.90 | 722.890 | 100.00 | 0.4167 | 0.78853940 |
| 160 | 38.00 | 37.50 | 33.20 | 69.90 | 722.890 | 100.00 | 0.4167 | 0.78853940 |
| 161 | 37.80 | 37.40 | 32.00 | 70.60 | 738.605 | 100.00 | 0.4167 | 0.77176197 |
| 162 | 37.65 | 37.60 | 33.90 | 80.30 | 744.891 | 100.00 | 0.4167 | 0.82901998 |
| 163 | 38.75 | 38.20 | 35.10 | 81.30 | 744.891 | 100.00 | 0.4167 | 0.82901998 |
| 164 | 38.85 | 38.70 | 34.80 | 81.80 | 748.034 | 100.00 | 0.4167 | 0.82553670 |
| 165 | 38.65 | 38.60 | 33.10 | 82.30 | 744.891 | 100.00 | 0.4167 | 0.82901998 |
| 166 | 39.60 | 39.30 | 32.90 | 83.40 | 741.748 | 100.00 | 0.4167 | 0.89657375 |
| 167 | 39.50 | 39.50 | 33.80 | 82.90 | 773.178 | 100.00 | 0.4167 | 0.86012767 |
| 168 | 39.60 | 39.70 | 33.40 | 83.60 | 757.463 | 100.00 | 0.4167 | 0.87797264 |
| 169 | 41.00 | 40.30 | 32.40 | 86.70 | 776.321 | 100.00 | 0.4167 | 0.85664537 |
| 170 | 41.00 | 40.30 | 32.40 | 86.70 | 776.321 | 100.00 | 0.4167 | 0.85664537 |
| 171 | 41.20 | 40.50 | 34.50 | 84.90 | 751.177 | 100.00 | 0.4167 | 0.88531969 |
| 172 | 41.20 | 40.50 | 34.50 | 84.90 | 751.177 | 100.00 | 0.4167 | 0.88531969 |
| 173 | 41.20 | 40.50 | 34.50 | 84.90 | 751.177 | 100.00 | 0.4167 | 0.88531969 |
| 174 | 41.25 | 40.60 | 34.90 | 82.70 | 735.462 | 100.00 | 0.4167 | 0.96882512 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 1. ข้อมูลชุดที่ 1 (ต่อ)**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง (°C) | อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อที่ไปยังหลอดสุญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่สูญเสียของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 175 | 41.55 | 40.90 | 33.70 | 83.50 | 754.320 | 100.00 | 0.4167 | 0.94460449 |
| 176 | 41.85 | 41.10 | 35.10 | 84.00 | 770.035 | 100.00 | 0.4167 | 0.92532685 |
| 177 | 41.85 | 41.10 | 35.10 | 84.00 | 770.035 | 100.00 | 0.4167 | 0.92532685 |
| 178 | 41.85 | 41.20 | 34.90 | 83.40 | 763.749 | 100.00 | 0.4167 | 0.93294271 |
| 179 | 41.95 | 41.30 | 34.70 | 82.50 | 776.321 | 100.00 | 0.4167 | 0.91783432 |
| 180 | 42.05 | 41.50 | 32.80 | 83.40 | 760.606 | 100.00 | 0.4167 | 0.93679784 |
| 181 | 42.45 | 41.90 | 35.00 | 82.80 | 773.178 | 100.00 | 0.4167 | 0.92156536 |
| 182 | 42.45 | 41.90 | 35.00 | 82.80 | 773.178 | 100.00 | 0.4167 | 0.92156536 |
| 183 | 42.75 | 42.10 | 33.60 | 83.30 | 770.035 | 100.00 | 0.4167 | 0.92532685 |
| 184 | 42.95 | 42.50 | 35.20 | 83.20 | 770.035 | 100.00 | 0.4167 | 0.92532685 |
| 185 | 42.95 | 42.50 | 35.20 | 83.20 | 770.035 | 100.00 | 0.4167 | 0.92532685 |
| 186 | 43.25 | 42.60 | 32.40 | 81.90 | 766.892 | 100.00 | 0.4167 | 0.92911917 |
| 187 | 43.25 | 42.60 | 32.40 | 81.90 | 766.892 | 100.00 | 0.4167 | 0.92911917 |
| 188 | 43.35 | 42.80 | 33.80 | 82.50 | 754.320 | 100.00 | 0.4167 | 0.94460449 |
| 189 | 43.35 | 42.80 | 33.80 | 82.50 | 754.320 | 100.00 | 0.4167 | 0.94460449 |
| 190 | 43.45 | 42.90 | 32.10 | 82.00 | 766.892 | 100.00 | 0.4167 | 0.92911917 |
| 191 | 43.60 | 43.10 | 34.80 | 83.10 | 773.178 | 100.00 | 0.4167 | 0.98300305 |
| 192 | 43.60 | 43.10 | 34.80 | 83.10 | 773.178 | 100.00 | 0.4167 | 0.98300305 |
| 193 | 43.70 | 43.10 | 35.90 | 82.40 | 779.464 | 100.00 | 0.4167 | 0.97507560 |
| 194 | 43.70 | 43.10 | 35.90 | 82.40 | 779.464 | 100.00 | 0.4167 | 0.97507560 |
| 195 | 43.60 | 43.00 | 35.00 | 82.80 | 779.464 | 100.00 | 0.4167 | 0.97507560 |
| 196 | 43.90 | 43.30 | 35.70 | 83.10 | 773.178 | 100.00 | 0.4167 | 0.98300305 |
| 197 | 43.70 | 43.30 | 33.90 | 83.20 | 763.749 | 100.00 | 0.4167 | 0.99513889 |
| 198 | 44.40 | 43.60 | 34.40 | 83.70 | 763.749 | 100.00 | 0.4167 | 0.99513889 |
| 199 | 44.80 | 44.10 | 35.10 | 85.00 | 807.751 | 100.00 | 0.4167 | 0.94092899 |
| 200 | 44.80 | 44.30 | 34.30 | 84.20 | 807.751 | 100.00 | 0.4167 | 0.94092899 |
| 201 | 44.80 | 44.30 | 34.30 | 84.20 | 807.751 | 100.00 | 0.4167 | 0.94092899 |
| 202 | 44.40 | 44.40 | 32.80 | 84.20 | 801.465 | 100.00 | 0.4167 | 0.94830882 |
| 203 | 44.40 | 44.40 | 32.80 | 84.20 | 801.465 | 100.00 | 0.4167 | 0.94830882 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 1. ข้อมูลชุดที่ 1 (ต่อ)**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง (°C) | อุณหภูมิของ สภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อสีทาไปปิ้น หลอดสูญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่สูญเสียของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 204 | 45.20 | 44.70 | 34.70 | 84.40 | 792.036 | 100.00 | 0.4167 | 0.95959821 |
| 205 | 45.20 | 44.90 | 32.80 | 85.50 | 795.179 | 100.00 | 0.4167 | 0.95580534 |
| 206 | 45.40 | 45.10 | 32.10 | 84.20 | 798.322 | 100.00 | 0.4167 | 0.95204232 |
| 207 | 45.60 | 45.50 | 34.10 | 85.60 | 801.465 | 100.00 | 0.4167 | 0.94830882 |
| 208 | 46.00 | 45.40 | 34.20 | 89.20 | 792.036 | 100.00 | 0.4167 | 0.95959821 |
| 209 | 46.50 | 45.80 | 34.00 | 87.80 | 836.038 | 100.00 | 0.4167 | 0.90909304 |
| 210 | 46.20 | 46.00 | 35.60 | 84.70 | 817.180 | 100.00 | 0.4167 | 0.93007211 |
| 211 | 46.30 | 46.10 | 35.10 | 84.60 | 842.324 | 100.00 | 0.4167 | 0.90230877 |
| 212 | 46.30 | 46.10 | 35.10 | 84.60 | 842.324 | 100.00 | 0.4167 | 0.90230877 |
| 213 | 46.50 | 46.20 | 35.40 | 84.10 | 832.895 | 100.00 | 0.4167 | 0.91252358 |
| 214 | 46.60 | 46.30 | 34.80 | 84.80 | 851.753 | 100.00 | 0.4167 | 0.89232011 |
| 215 | 46.60 | 46.30 | 34.80 | 84.80 | 851.753 | 100.00 | 0.4167 | 0.89232011 |
| 216 | 46.60 | 46.40 | 32.20 | 85.30 | 832.895 | 100.00 | 0.4167 | 0.91252358 |
| 217 | 47.20 | 47.00 | 32.60 | 85.90 | 845.467 | 100.00 | 0.4167 | 0.89895446 |
| 218 | 48.00 | 47.50 | 32.60 | 85.20 | 870.611 | 100.00 | 0.4167 | 0.87299188 |
| 219 | 47.80 | 47.50 | 32.80 | 82.50 | 886.326 | 100.00 | 0.4167 | 0.85751330 |
| 220 | 47.80 | 47.50 | 32.80 | 82.50 | 886.326 | 100.00 | 0.4167 | 0.85751330 |
| 221 | 48.10 | 47.90 | 34.40 | 84.60 | 880.040 | 100.00 | 0.4167 | 0.86363839 |
| 222 | 47.50 | 48.00 | 32.70 | 83.70 | 908.327 | 100.00 | 0.4167 | 0.83674308 |
| 223 | 47.50 | 48.00 | 32.70 | 83.70 | 908.327 | 100.00 | 0.4167 | 0.83674308 |
| 224 | 47.80 | 48.10 | 33.80 | 86.40 | 924.042 | 100.00 | 0.4167 | 0.82251275 |
| 225 | 48.20 | 48.10 | 34.80 | 85.10 | 961.758 | 100.00 | 0.4167 | 0.79025735 |
| 226 | 48.45 | 48.40 | 35.60 | 86.70 | 952.329 | 100.00 | 0.4167 | 0.74820158 |
| 227 | 48.45 | 48.40 | 35.60 | 86.70 | 952.329 | 100.00 | 0.4167 | 0.74820158 |
| 228 | 48.65 | 48.50 | 34.00 | 84.20 | 946.043 | 100.00 | 0.4167 | 0.75317302 |
| 229 | 48.55 | 48.60 | 33.50 | 85.20 | 939.757 | 100.00 | 0.4167 | 0.75821096 |
| 230 | 48.75 | 48.80 | 33.20 | 83.30 | 936.614 | 100.00 | 0.4167 | 0.76075530 |
| 231 | 48.85 | 48.80 | 33.30 | 84.80 | 927.185 | 100.00 | 0.4167 | 0.76849179 |
| 232 | 48.85 | 48.80 | 33.30 | 84.80 | 927.185 | 100.00 | 0.4167 | 0.76849179 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 1. ข้อมูลชุดที่ 1 (ต่อ)**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง (°C) | อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อส่งไปปิ๊นหลอดสุญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่สูญเสียของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 233 | 48.85 | 48.80 | 33.30 | 84.80 | 927.185 | 100.00 | 0.4167 | 0.76849179 |
| 234 | 49.15 | 48.90 | 34.00 | 85.80 | 924.042 | 100.00 | 0.4167 | 0.77110571 |
| 235 | 49.45 | 49.30 | 34.30 | 86.80 | 933.471 | 100.00 | 0.4167 | 0.76331676 |
| 236 | 49.05 | 49.10 | 32.60 | 85.20 | 927.185 | 100.00 | 0.4167 | 0.76849179 |
| 237 | 49.35 | 49.20 | 33.30 | 83.30 | 914.613 | 100.00 | 0.4167 | 0.77905525 |
| 238 | 49.35 | 49.20 | 33.30 | 83.30 | 914.613 | 100.00 | 0.4167 | 0.77905525 |
| 239 | 48.75 | 49.30 | 32.20 | 86.20 | 889.469 | 100.00 | 0.4167 | 0.80107801 |
| 240 | 48.95 | 49.30 | 33.20 | 85.80 | 876.897 | 100.00 | 0.4167 | 0.81256300 |
| 241 | 49.15 | 49.50 | 33.70 | 82.80 | 861.182 | 100.00 | 0.4167 | 0.82739080 |
| 242 | 49.05 | 49.60 | 32.60 | 82.80 | 832.895 | 100.00 | 0.4167 | 0.85549086 |
| 243 | 49.05 | 49.60 | 32.60 | 82.80 | 832.895 | 100.00 | 0.4167 | 0.85549086 |
| 244 | 49.15 | 49.60 | 32.50 | 86.50 | 817.180 | 100.00 | 0.4167 | 0.87194261 |
| 245 | 49.50 | 49.90 | 35.10 | 88.90 | 801.465 | 100.00 | 0.4167 | 0.82977022 |
| 246 | 49.60 | 49.80 | 34.90 | 91.20 | 795.179 | 100.00 | 0.4167 | 0.83632967 |
| 247 | 49.70 | 49.90 | 36.00 | 84.70 | 810.894 | 100.00 | 0.4167 | 0.82012173 |
| 248 | 49.70 | 49.90 | 36.00 | 84.70 | 810.894 | 100.00 | 0.4167 | 0.82012173 |
| 249 | 49.70 | 49.90 | 36.00 | 84.70 | 810.894 | 100.00 | 0.4167 | 0.82012173 |
| 250 | 50.10 | 49.80 | 38.90 | 84.70 | 798.322 | 100.00 | 0.4167 | 0.83303703 |
| 251 | 50.30 | 50.40 | 33.40 | 85.60 | 782.607 | 100.00 | 0.4167 | 0.84976468 |
| 252 | 49.90 | 50.50 | 33.90 | 85.80 | 766.892 | 100.00 | 0.4167 | 0.86717789 |
| 253 | 50.55 | 50.80 | 37.50 | 82.50 | 760.606 | 100.00 | 0.4167 | 0.81189146 |
| 254 | 50.95 | 50.80 | 35.80 | 86.00 | 754.320 | 100.00 | 0.4167 | 0.81865723 |
| 255 | 50.25 | 50.90 | 35.20 | 85.90 | 735.462 | 100.00 | 0.4167 | 0.83964844 |
| 256 | 50.35 | 50.90 | 32.70 | 86.50 | 748.034 | 100.00 | 0.4167 | 0.82553670 |
| 257 | 50.35 | 50.90 | 32.70 | 86.50 | 748.034 | 100.00 | 0.4167 | 0.82553670 |
| 258 | 51.15 | 51.20 | 35.60 | 83.60 | 722.890 | 100.00 | 0.4167 | 0.85425102 |
| 259 | 51.15 | 51.20 | 35.60 | 83.60 | 722.890 | 100.00 | 0.4167 | 0.85425102 |
| 260 | 51.15 | 51.20 | 35.40 | 86.20 | 707.175 | 100.00 | 0.4167 | 0.87323437 |
| 261 | 51.25 | 51.40 | 32.90 | 86.20 | 700.889 | 100.00 | 0.4167 | 0.88106607 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 1. ข้อมูลชุดที่ 1 (ต่อ)**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง (°C) | อุณหภูมิของ สภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อรีทไปปิ้น หลอดสุญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่สูญเสียของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 262 | 51.25 | 51.40 | 32.90 | 86.20 | 700.889 | 100.00 | 0.4167 | 0.88106607 |
| 263 | 51.30 | 51.60 | 32.70 | 86.70 | 707.175 | 100.00 | 0.4167 | 0.80606250 |
| 264 | 51.40 | 51.60 | 33.90 | 84.30 | 716.604 | 100.00 | 0.4167 | 0.79545641 |
| 265 | 51.40 | 51.60 | 33.90 | 84.30 | 716.604 | 100.00 | 0.4167 | 0.79545641 |
| 266 | 51.90 | 52.10 | 34.10 | 87.30 | 713.461 | 100.00 | 0.4167 | 0.79896063 |
| 267 | 51.90 | 52.10 | 34.10 | 87.30 | 713.461 | 100.00 | 0.4167 | 0.79896063 |
| 268 | 52.00 | 52.40 | 34.70 | 83.60 | 716.604 | 100.00 | 0.4167 | 0.79545641 |
| 269 | 52.10 | 52.40 | 35.30 | 85.60 | 638.029 | 100.00 | 0.4167 | 0.89341903 |
| 270 | 52.10 | 52.40 | 35.30 | 85.60 | 638.029 | 100.00 | 0.4167 | 0.89341903 |
| 271 | 52.30 | 52.40 | 35.80 | 80.50 | 675.745 | 100.00 | 0.4167 | 0.84355378 |
| 272 | 52.40 | 52.50 | 34.80 | 86.20 | 669.459 | 100.00 | 0.4167 | 0.85147447 |
| 273 | 52.50 | 52.40 | 34.60 | 86.60 | 688.317 | 100.00 | 0.4167 | 0.82814640 |
| 274 | 52.50 | 52.40 | 34.60 | 86.60 | 688.317 | 100.00 | 0.4167 | 0.82814640 |
| 275 | 52.45 | 52.90 | 34.70 | 86.90 | 675.745 | 100.00 | 0.4167 | 0.77325763 |
| 276 | 52.35 | 52.90 | 33.60 | 89.30 | 678.888 | 100.00 | 0.4167 | 0.76967773 |
| 277 | 52.65 | 53.10 | 36.20 | 85.20 | 688.317 | 100.00 | 0.4167 | 0.75913420 |
| 278 | 52.85 | 53.40 | 32.70 | 86.20 | 644.315 | 100.00 | 0.4167 | 0.81097751 |
| 279 | 53.20 | 53.70 | 32.60 | 86.00 | 634.886 | 100.00 | 0.4167 | 0.74820158 |
| 280 | 53.40 | 53.90 | 34.80 | 85.80 | 619.171 | 100.00 | 0.4167 | 0.76719147 |
| 281 | 53.50 | 53.80 | 34.30 | 86.70 | 603.456 | 100.00 | 0.4167 | 0.78717041 |
| 282 | 53.70 | 53.90 | 36.00 | 86.40 | 594.027 | 150.00 | 0.4167 | 0.79966518 |
| 283 | 53.80 | 53.90 | 35.30 | 86.60 | 594.027 | 150.00 | 0.4167 | 0.79966518 |
| 284 | 53.80 | 53.90 | 35.30 | 86.60 | 594.027 | 150.00 | 0.4167 | 0.79966518 |
| 285 | 53.80 | 53.90 | 35.30 | 86.60 | 594.027 | 150.00 | 0.4167 | 0.79966518 |
| 286 | 53.60 | 54.10 | 37.00 | 87.90 | 587.741 | 150.00 | 0.4167 | 0.80821775 |
| 287 | 53.90 | 54.00 | 33.90 | 87.30 | 578.312 | 150.00 | 0.4167 | 0.82139521 |
| 288 | 53.90 | 54.00 | 33.90 | 87.30 | 578.312 | 150.00 | 0.4167 | 0.82139521 |
| 289 | 38.55 | 38.60 | 27.60 | 81.80 | 672.602 | 100.00 | 0.3333 | 0.62149679 |
| 290 | 38.55 | 38.60 | 27.60 | 81.20 | 672.602 | 100.00 | 0.3333 | 0.62149679 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 1. ข้อมูลชุดที่ 1 (ต่อ)**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง (°C) | อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อสีทาไปป์ในหลอดสุญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่ฐูดเสียของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 291 | 38.95 | 38.90 | 28.20 | 81.60 | 675.745 | 100.00 | 0.3333 | 0.61860610 |
| 292 | 38.95 | 38.90 | 28.20 | 81.60 | 675.745 | 100.00 | 0.3333 | 0.61860610 |
| 293 | 39.70 | 39.10 | 27.80 | 83.10 | 672.602 | 100.00 | 0.3333 | 0.67799649 |
| 294 | 39.70 | 39.30 | 29.10 | 84.00 | 675.745 | 100.00 | 0.3333 | 0.67484302 |
| 295 | 39.70 | 39.30 | 29.10 | 84.00 | 675.745 | 100.00 | 0.3333 | 0.67484302 |
| 296 | 40.45 | 40.80 | 30.30 | 82.70 | 700.889 | 100.00 | 0.3333 | 0.70485286 |
| 297 | 40.95 | 40.50 | 29.20 | 74.70 | 697.746 | 100.00 | 0.3333 | 0.70802787 |
| 298 | 40.95 | 40.50 | 29.20 | 74.70 | 697.746 | 100.00 | 0.3333 | 0.70802787 |
| 299 | 40.45 | 40.70 | 30.40 | 83.80 | 713.461 | 100.00 | 0.3333 | 0.69243254 |
| 300 | 41.10 | 40.60 | 30.70 | 75.90 | 719.747 | 100.00 | 0.3333 | 0.73918395 |
| 301 | 41.10 | 40.60 | 30.70 | 75.90 | 719.747 | 100.00 | 0.3333 | 0.73918395 |
| 302 | 41.10 | 40.60 | 30.70 | 75.90 | 719.747 | 100.00 | 0.3333 | 0.73918395 |
| 303 | 41.20 | 40.60 | 30.80 | 83.70 | 713.461 | 100.00 | 0.3333 | 0.74569659 |
| 304 | 41.70 | 41.00 | 29.80 | 83.90 | 719.747 | 100.00 | 0.3333 | 0.73918395 |
| 305 | 41.70 | 41.40 | 30.00 | 83.40 | 722.890 | 100.00 | 0.3333 | 0.73597011 |
| 306 | 41.80 | 42.70 | 31.00 | 81.20 | 729.176 | 100.00 | 0.3333 | 0.72962554 |
| 307 | 41.80 | 42.70 | 31.00 | 81.20 | 729.176 | 100.00 | 0.3333 | 0.72962554 |
| 308 | 42.95 | 42.40 | 32.00 | 85.10 | 741.748 | 100.00 | 0.3333 | 0.76849179 |
| 309 | 42.25 | 41.80 | 31.20 | 83.60 | 735.462 | 100.00 | 0.3333 | 0.77506010 |
| 310 | 42.75 | 42.10 | 30.60 | 84.00 | 738.605 | 100.00 | 0.3333 | 0.77176197 |
| 311 | 42.95 | 42.40 | 31.90 | 84.20 | 735.462 | 100.00 | 0.3333 | 0.77506010 |
| 312 | 43.50 | 42.90 | 32.70 | 86.30 | 738.605 | 100.00 | 0.3333 | 0.82321277 |
| 313 | 43.50 | 42.90 | 31.60 | 85.90 | 751.177 | 100.00 | 0.3333 | 0.80943515 |
| 314 | 44.00 | 43.20 | 31.60 | 84.50 | 766.892 | 100.00 | 0.3333 | 0.79284836 |
| 315 | 44.20 | 43.40 | 32.30 | 77.80 | 770.035 | 100.00 | 0.3333 | 0.78961224 |
| 316 | 44.20 | 43.40 | 32.30 | 77.80 | 770.035 | 100.00 | 0.3333 | 0.78961224 |
| 317 | 43.40 | 43.40 | 31.40 | 76.30 | 766.892 | 100.00 | 0.3333 | 0.79284836 |
| 318 | 43.90 | 43.60 | 31.10 | 85.20 | 757.463 | 100.00 | 0.3333 | 0.80271784 |
| 319 | 43.85 | 44.00 | 30.50 | 84.90 | 757.463 | 100.00 | 0.3333 | 0.85288771 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 1. ข้อมูลชุดที่ 1 (ต่อ)**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง (°C) | อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อรีกไปปิ้นหลอดรุญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่ผู้ดูดเสียของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 320 | 44.25 | 44.00 | 31.40 | 85.40 | 754.320 | 100.00 | 0.3333 | 0.85644141 |
| 321 | 44.25 | 44.00 | 31.40 | 85.40 | 754.320 | 100.00 | 0.3333 | 0.85644141 |
| 322 | 44.25 | 44.00 | 31.40 | 85.40 | 754.320 | 100.00 | 0.3333 | 0.85644141 |
| 323 | 44.25 | 44.00 | 30.80 | 85.20 | 766.892 | 100.00 | 0.3333 | 0.84240138 |
| 324 | 44.35 | 44.40 | 30.60 | 84.90 | 785.750 | 100.00 | 0.3333 | 0.82218375 |
| 325 | 44.65 | 44.50 | 29.50 | 86.00 | 763.749 | 100.00 | 0.3333 | 0.84586805 |
| 326 | 45.65 | 44.60 | 30.80 | 81.20 | 763.749 | 100.00 | 0.3333 | 0.84586805 |
| 327 | 45.65 | 44.60 | 30.80 | 81.20 | 763.749 | 100.00 | 0.3333 | 0.84586805 |
| 328 | 45.35 | 45.00 | 29.20 | 77.60 | 748.034 | 100.00 | 0.3333 | 0.86363839 |
| 329 | 45.45 | 45.20 | 31.50 | 86.00 | 754.320 | 100.00 | 0.3333 | 0.85644141 |
| 330 | 45.55 | 45.30 | 31.80 | 79.20 | 779.464 | 100.00 | 0.3333 | 0.82881426 |
| 331 | 45.05 | 45.30 | 31.10 | 86.90 | 770.035 | 100.00 | 0.3333 | 0.83896301 |
| 332 | 45.05 | 45.30 | 31.10 | 86.90 | 770.035 | 100.00 | 0.3333 | 0.83896301 |
| 333 | 45.40 | 45.60 | 31.40 | 85.40 | 763.749 | 100.00 | 0.3333 | 0.89562500 |
| 334 | 45.40 | 45.60 | 31.40 | 85.40 | 763.749 | 100.00 | 0.3333 | 0.89562500 |
| 335 | 46.10 | 45.30 | 31.90 | 81.70 | 773.178 | 100.00 | 0.3333 | 0.88470274 |
| 336 | 45.60 | 45.50 | 31.70 | 85.10 | 782.607 | 100.00 | 0.3333 | 0.87404367 |
| 337 | 46.70 | 45.80 | 31.90 | 84.90 | 795.179 | 100.00 | 0.3333 | 0.86022480 |
| 338 | 46.30 | 45.80 | 30.80 | 84.60 | 788.893 | 100.00 | 0.3333 | 0.86707918 |
| 339 | 46.20 | 45.80 | 30.60 | 86.80 | 785.750 | 100.00 | 0.3333 | 0.87054750 |
| 340 | 46.20 | 45.80 | 30.60 | 86.80 | 785.750 | 100.00 | 0.3333 | 0.87054750 |
| 341 | 46.20 | 45.80 | 30.60 | 86.80 | 785.750 | 100.00 | 0.3333 | 0.87054750 |
| 342 | 46.20 | 45.80 | 30.60 | 86.80 | 785.750 | 100.00 | 0.3333 | 0.87054750 |
| 343 | 46.70 | 46.00 | 30.70 | 85.20 | 792.036 | 100.00 | 0.3333 | 0.86363839 |
| 344 | 45.80 | 46.20 | 32.20 | 79.20 | 792.036 | 100.00 | 0.3333 | 0.86363839 |
| 345 | 45.80 | 46.20 | 32.20 | 79.20 | 792.036 | 100.00 | 0.3333 | 0.86363839 |
| 346 | 46.60 | 46.20 | 31.80 | 78.50 | 785.750 | 100.00 | 0.3333 | 0.87054750 |
| 347 | 46.70 | 46.30 | 32.40 | 77.00 | 782.607 | 100.00 | 0.3333 | 0.87404367 |
| 348 | 46.60 | 46.40 | 31.40 | 78.30 | 776.321 | 100.00 | 0.3333 | 0.88112095 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 1. ข้อมูลชุดที่ 1 (ต่อ)**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง (°C) | อุณหภูมิของ สภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อสีดำไปปิ๊นหลอดสุญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่สูญเสียของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 349 | 46.30 | 46.50 | 32.30 | 86.20 | 766.892 | 100.00 | 0.3333 | 0.89195440 |
| 350 | 46.90 | 46.70 | 32.70 | 83.80 | 760.606 | 100.00 | 0.3333 | 0.89932593 |
| 351 | 47.80 | 47.20 | 30.80 | 85.50 | 785.750 | 100.00 | 0.3333 | 0.87054750 |
| 352 | 47.40 | 47.60 | 31.50 | 87.80 | 776.321 | 100.00 | 0.3333 | 0.88112095 |
| 353 | 47.30 | 47.30 | 31.10 | 84.90 | 779.464 | 100.00 | 0.3333 | 0.87756804 |
| 354 | 47.00 | 47.80 | 31.10 | 80.10 | 760.606 | 100.00 | 0.3333 | 0.89932593 |
| 355 | 47.80 | 47.90 | 30.50 | 81.10 | 770.035 | 100.00 | 0.3333 | 0.88831377 |
| 356 | 48.30 | 48.00 | 30.60 | 87.30 | 763.749 | 100.00 | 0.3333 | 0.89562500 |
| 357 | 47.40 | 47.90 | 31.20 | 86.10 | 738.605 | 100.00 | 0.3333 | 0.92611436 |
| 358 | 47.40 | 47.90 | 31.20 | 86.10 | 738.605 | 100.00 | 0.3333 | 0.92611436 |
| 359 | 47.70 | 47.80 | 30.00 | 83.00 | 744.891 | 100.00 | 0.3333 | 0.91829905 |
| 360 | 48.10 | 47.80 | 30.50 | 82.90 | 754.320 | 100.00 | 0.3333 | 0.90682031 |
| 361 | 49.10 | 49.30 | 32.80 | 87.10 | 757.463 | 100.00 | 0.3333 | 0.90305757 |
| 362 | 50.60 | 49.50 | 32.10 | 82.00 | 744.891 | 100.00 | 0.3333 | 0.91829905 |
| 363 | 50.60 | 49.50 | 32.10 | 82.00 | 744.891 | 100.00 | 0.3333 | 0.91829905 |
| 364 | 50.70 | 49.90 | 31.80 | 83.10 | 763.749 | 100.00 | 0.3333 | 0.89562500 |
| 365 | 50.10 | 49.80 | 30.90 | 87.30 | 770.035 | 100.00 | 0.3333 | 0.88831377 |
| 366 | 50.10 | 49.80 | 30.90 | 87.30 | 770.035 | 100.00 | 0.3333 | 0.88831377 |
| 367 | 50.10 | 49.80 | 30.90 | 87.30 | 770.035 | 100.00 | 0.3333 | 0.88831377 |
| 368 | 50.60 | 50.00 | 32.30 | 88.00 | 770.035 | 100.00 | 0.3333 | 0.88831377 |
| 369 | 50.40 | 50.20 | 31.70 | 87.50 | 779.464 | 100.00 | 0.3333 | 0.87756804 |
| 370 | 50.55 | 50.60 | 31.60 | 78.90 | 757.463 | 100.00 | 0.3333 | 0.85288771 |
| 371 | 50.35 | 50.70 | 32.10 | 87.80 | 754.320 | 100.00 | 0.3333 | 0.85644141 |
| 372 | 51.75 | 51.00 | 33.60 | 86.30 | 763.749 | 100.00 | 0.3333 | 0.84586805 |
| 373 | 51.75 | 51.00 | 33.60 | 86.30 | 763.749 | 100.00 | 0.3333 | 0.84586805 |
| 374 | 51.65 | 51.10 | 31.60 | 81.70 | 744.891 | 100.00 | 0.3333 | 0.86728244 |
| 375 | 51.75 | 51.20 | 33.20 | 87.90 | 738.605 | 100.00 | 0.3333 | 0.87466356 |
| 376 | 51.75 | 51.20 | 33.20 | 87.90 | 738.605 | 100.00 | 0.3333 | 0.87466356 |
| 377 | 51.65 | 51.40 | 31.30 | 87.70 | 785.750 | 100.00 | 0.3333 | 0.82218375 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 1. ข้อมูลชุดที่ 1 (ต่อ)**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง (°C) | อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อส่งไปยังหลอดสุญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่สูญเสียของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 378 | 51.65 | 51.60 | 32.10 | 88.30 | 763.749 | 100.00 | 0.3333 | 0.84586805 |
| 379 | 51.85 | 51.60 | 30.40 | 88.00 | 744.891 | 100.00 | 0.3333 | 0.86728244 |
| 380 | 51.95 | 51.80 | 30.20 | 87.70 | 726.033 | 100.00 | 0.3333 | 0.88980925 |
| 381 | 52.25 | 52.10 | 32.40 | 88.40 | 748.034 | 100.00 | 0.3333 | 0.86363839 |
| 382 | 52.05 | 52.00 | 31.70 | 88.60 | 751.177 | 100.00 | 0.3333 | 0.86002484 |
| 383 | 52.05 | 52.00 | 31.70 | 88.60 | 751.177 | 100.00 | 0.3333 | 0.86002484 |
| 384 | 52.60 | 52.20 | 31.80 | 88.20 | 716.604 | 100.00 | 0.3333 | 0.84848684 |
| 385 | 52.50 | 52.40 | 30.70 | 85.30 | 732.319 | 100.00 | 0.3333 | 0.83027897 |
| 386 | 53.30 | 52.60 | 31.30 | 86.40 | 735.462 | 100.00 | 0.3333 | 0.82673077 |
| 387 | 53.30 | 52.60 | 31.30 | 86.40 | 735.462 | 100.00 | 0.3333 | 0.82673077 |
| 388 | 52.80 | 52.60 | 31.50 | 89.90 | 735.462 | 100.00 | 0.3333 | 0.82673077 |
| 389 | 53.25 | 52.70 | 30.00 | 89.80 | 729.176 | 100.00 | 0.3333 | 0.78174165 |
| 390 | 53.35 | 53.30 | 32.00 | 89.50 | 719.747 | 100.00 | 0.3333 | 0.79198281 |
| 391 | 53.55 | 53.10 | 32.00 | 85.80 | 729.176 | 100.00 | 0.3333 | 0.78174165 |
| 392 | 53.55 | 53.10 | 32.00 | 85.80 | 729.176 | 100.00 | 0.3333 | 0.78174165 |
| 393 | 53.55 | 53.20 | 30.60 | 81.70 | 713.461 | 100.00 | 0.3333 | 0.79896063 |
| 394 | 54.00 | 53.70 | 29.50 | 89.30 | 726.033 | 100.00 | 0.3333 | 0.73278409 |
| 395 | 54.30 | 53.90 | 31.90 | 86.90 | 710.318 | 100.00 | 0.3333 | 0.74899613 |
| 396 | 54.20 | 54.10 | 32.00 | 85.40 | 704.032 | 100.00 | 0.3333 | 0.75568359 |
| 397 | 54.80 | 54.70 | 34.60 | 87.90 | 700.889 | 100.00 | 0.3333 | 0.75907231 |
| 398 | 55.15 | 54.90 | 33.60 | 82.70 | 707.175 | 100.00 | 0.3333 | 0.69858750 |
| 399 | 55.05 | 55.40 | 34.20 | 89.50 | 716.604 | 100.00 | 0.3333 | 0.68939556 |
| 400 | 55.05 | 55.40 | 34.20 | 89.50 | 716.604 | 100.00 | 0.3333 | 0.68939556 |
| 401 | 55.55 | 55.60 | 35.00 | 85.70 | 704.032 | 100.00 | 0.3333 | 0.70170619 |
| 402 | 56.60 | 56.00 | 32.80 | 88.90 | 713.461 | 100.00 | 0.3333 | 0.63916850 |
| 403 | 56.80 | 56.30 | 33.70 | 83.30 | 722.890 | 100.00 | 0.3333 | 0.63083152 |
| 404 | 56.80 | 56.50 | 33.30 | 88.90 | 691.460 | 100.00 | 0.3333 | 0.65950568 |
| 405 | 56.80 | 56.50 | 33.30 | 88.90 | 691.460 | 100.00 | 0.3333 | 0.65950568 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 1. ข้อมูลชุดที่ 1 (ต่อ)**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง (°C) | อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อที่ไปยังหลอดสุญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่สูญเสียของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 406 | 56.90 | 56.60 | 33.00 | 88.70 | 691.460 | 100.00 | 0.3333 | 0.65950568 |
| 407 | 56.90 | 56.60 | 33.00 | 88.70 | 691.460 | 100.00 | 0.3333 | 0.65950568 |
| 408 | 56.90 | 56.60 | 33.00 | 88.70 | 691.460 | 100.00 | 0.3333 | 0.65950568 |
| 409 | 57.40 | 56.80 | 34.40 | 90.40 | 688.317 | 100.00 | 0.3333 | 0.66251712 |
| 410 | 56.60 | 56.80 | 32.80 | 90.50 | 675.745 | 100.00 | 0.3333 | 0.67484302 |
| 411 | 57.40 | 56.90 | 33.80 | 87.90 | 685.174 | 100.00 | 0.3333 | 0.66555619 |
| 412 | 56.80 | 57.00 | 33.90 | 89.80 | 672.602 | 100.00 | 0.3333 | 0.67799649 |
| 413 | 56.80 | 57.00 | 33.90 | 89.80 | 672.602 | 100.00 | 0.3333 | 0.67799649 |
| 414 | 57.15 | 57.10 | 33.80 | 86.50 | 644.315 | 100.00 | 0.3333 | 0.64878201 |
| 415 | 57.95 | 57.60 | 32.80 | 90.60 | 641.172 | 100.00 | 0.3333 | 0.65196232 |
| 416 | 57.25 | 57.50 | 33.00 | 89.60 | 644.315 | 100.00 | 0.3333 | 0.64878201 |
| 417 | 57.85 | 57.50 | 31.50 | 88.50 | 628.600 | 100.00 | 0.3333 | 0.66500156 |
| 418 | 57.85 | 57.60 | 32.20 | 80.40 | 625.457 | 100.00 | 0.3333 | 0.66834328 |
| 419 | 57.85 | 57.60 | 32.20 | 80.40 | 625.457 | 100.00 | 0.3333 | 0.66834328 |
| 420 | 57.35 | 57.70 | 31.50 | 88.40 | 619.171 | 100.00 | 0.3333 | 0.67512849 |
| 421 | 57.90 | 57.90 | 34.20 | 82.40 | 612.885 | 100.00 | 0.3333 | 0.62004808 |
| 422 | 57.90 | 57.90 | 34.20 | 82.40 | 612.885 | 100.00 | 0.3333 | 0.62004808 |
| 423 | 57.90 | 57.90 | 34.20 | 82.40 | 612.885 | 100.00 | 0.3333 | 0.62004808 |
| 424 | 58.20 | 58.10 | 33.70 | 89.60 | 606.599 | 100.00 | 0.3333 | 0.62647345 |
| 425 | 57.60 | 57.70 | 32.60 | 88.50 | 616.028 | 100.00 | 0.3333 | 0.61688457 |
| 426 | 57.60 | 57.70 | 32.60 | 88.50 | 616.028 | 100.00 | 0.3333 | 0.61688457 |
| 427 | 57.80 | 57.80 | 31.90 | 89.10 | 612.885 | 100.00 | 0.3333 | 0.62004808 |
| 428 | 57.50 | 57.80 | 32.60 | 86.80 | 609.742 | 100.00 | 0.3333 | 0.62324420 |
| 429 | 57.50 | 57.80 | 32.60 | 86.80 | 609.742 | 100.00 | 0.3333 | 0.62324420 |
| 430 | 57.60 | 58.20 | 33.00 | 88.60 | 606.599 | 100.00 | 0.3333 | 0.62647345 |
| 431 | 58.40 | 58.30 | 33.00 | 90.60 | 609.742 | 100.00 | 0.3333 | 0.62324420 |
| 432 | 58.40 | 58.30 | 33.00 | 90.60 | 609.742 | 100.00 | 0.3333 | 0.62324420 |
| 433 | 38.00 | 37.70 | 31.90 | 98.40 | 603.456 | 100.00 | 0.25 | 0.37784180 |
| 434 | 38.00 | 37.70 | 31.90 | 98.40 | 603.456 | 100.00 | 0.25 | 0.37784180 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 1. ข้อมูลชุดที่ 1 (ต่อ)**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง (°C) | อุณหภูมิของ สภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อสีทาไปป์ไม่หลอดสูญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่สูญเสียของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 435 | 38.20 | 37.80 | 31.00 | 109.80 | 625.457 | 100.00 | 0.25 | 0.36455088 |
| 436 | 38.30 | 38.00 | 31.30 | 113.20 | 634.886 | 100.00 | 0.25 | 0.35913676 |
| 437 | 38.20 | 38.00 | 27.30 | 94.20 | 628.600 | 100.00 | 0.25 | 0.36272812 |
| 438 | 38.20 | 38.00 | 27.30 | 94.20 | 628.600 | 100.00 | 0.25 | 0.36272812 |
| 439 | 38.50 | 38.20 | 28.10 | 112.30 | 612.885 | 100.00 | 0.25 | 0.37202885 |
| 440 | 38.75 | 38.40 | 31.30 | 115.70 | 628.600 | 150.00 | 0.25 | 0.40806914 |
| 441 | 38.95 | 38.60 | 30.70 | 122.90 | 634.886 | 150.00 | 0.25 | 0.40402885 |
| 442 | 38.95 | 38.60 | 30.70 | 122.90 | 634.886 | 150.00 | 0.25 | 0.40402885 |
| 443 | 39.05 | 38.70 | 32.50 | 125.10 | 650.601 | 150.00 | 0.25 | 0.39426970 |
| 444 | 39.30 | 38.80 | 32.40 | 99.20 | 650.601 | 150.00 | 0.25 | 0.43807745 |
| 445 | 39.30 | 38.80 | 32.40 | 99.20 | 650.601 | 150.00 | 0.25 | 0.43807745 |
| 446 | 39.50 | 39.10 | 28.90 | 119.90 | 675.745 | 150.00 | 0.25 | 0.42177689 |
| 447 | 39.50 | 39.10 | 28.90 | 119.90 | 675.745 | 150.00 | 0.25 | 0.42177689 |
| 448 | 39.60 | 39.10 | 32.80 | 124.60 | 682.031 | 150.00 | 0.25 | 0.41788954 |
| 449 | 39.70 | 39.30 | 28.30 | 127.70 | 644.315 | 150.00 | 0.25 | 0.44235137 |
| 450 | 40.25 | 39.80 | 29.10 | 132.70 | 653.744 | 100.00 | 0.25 | 0.47956843 |
| 451 | 40.80 | 40.30 | 30.60 | 145.10 | 660.030 | 100.00 | 0.25 | 0.51818304 |
| 452 | 41.10 | 40.50 | 30.70 | 147.90 | 672.602 | 100.00 | 0.25 | 0.50849737 |
| 453 | 41.10 | 40.50 | 30.70 | 147.90 | 672.602 | 100.00 | 0.25 | 0.50849737 |
| 454 | 41.15 | 40.50 | 30.60 | 126.00 | 688.317 | 100.00 | 0.25 | 0.53829516 |
| 455 | 41.15 | 40.50 | 31.10 | 138.40 | 710.318 | 100.00 | 0.25 | 0.52162230 |
| 456 | 41.35 | 40.70 | 28.70 | 144.80 | 688.317 | 100.00 | 0.25 | 0.53829516 |
| 457 | 41.35 | 40.70 | 28.90 | 122.20 | 678.888 | 100.00 | 0.25 | 0.54577148 |
| 458 | 41.35 | 40.70 | 28.90 | 122.20 | 678.888 | 100.00 | 0.25 | 0.54577148 |
| 459 | 41.55 | 40.90 | 29.80 | 119.30 | 682.031 | 100.00 | 0.25 | 0.54325641 |
| 460 | 41.55 | 40.90 | 29.80 | 119.30 | 682.031 | 100.00 | 0.25 | 0.54325641 |
| 461 | 42.00 | 41.20 | 30.30 | 134.70 | 713.461 | 100.00 | 0.25 | 0.55927244 |
| 462 | 42.00 | 41.40 | 33.50 | 138.60 | 647.458 | 100.00 | 0.25 | 0.61628565 |
| 463 | 42.10 | 41.50 | 32.40 | 121.30 | 666.316 | 100.00 | 0.25 | 0.59884360 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 1. ข้อมูลชุดที่ 1 (ต่อ)**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง (°C) | อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อสีทาไปป์ไม่หลอดสุญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่สูญเสียของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 464 | 42.40 | 41.80 | 30.40 | 111.90 | 682.031 | 100.00 | 0.25 | 0.58504536 |
| 465 | 42.50 | 41.90 | 29.20 | 108.90 | 688.317 | 100.00 | 0.25 | 0.57970248 |
| 466 | 42.85 | 42.20 | 29.60 | 107.20 | 694.603 | 100.00 | 0.25 | 0.61548890 |
| 467 | 43.35 | 42.70 | 30.00 | 104.30 | 691.460 | 100.00 | 0.25 | 0.61828658 |
| 468 | 43.35 | 42.60 | 31.60 | 102.30 | 678.888 | 100.00 | 0.25 | 0.62973633 |
| 469 | 43.65 | 42.80 | 32.10 | 102.60 | 678.888 | 100.00 | 0.25 | 0.62973633 |
| 470 | 43.55 | 42.80 | 29.90 | 101.30 | 688.317 | 100.00 | 0.25 | 0.62110980 |
| 471 | 44.10 | 43.30 | 31.20 | 100.50 | 697.746 | 100.00 | 0.25 | 0.65356419 |
| 472 | 44.10 | 43.30 | 31.20 | 100.50 | 697.746 | 100.00 | 0.25 | 0.65356419 |
| 473 | 44.50 | 43.70 | 32.80 | 99.70 | 688.317 | 100.00 | 0.25 | 0.66251712 |
| 474 | 44.40 | 43.70 | 33.50 | 99.40 | 688.317 | 100.00 | 0.25 | 0.66251712 |
| 475 | 44.40 | 43.70 | 33.50 | 99.40 | 688.317 | 100.00 | 0.25 | 0.66251712 |
| 476 | 45.00 | 44.10 | 34.40 | 99.10 | 726.033 | 150.00 | 0.25 | 0.62810065 |
| 477 | 45.00 | 44.10 | 34.40 | 99.10 | 726.033 | 150.00 | 0.25 | 0.62810065 |
| 478 | 45.55 | 44.80 | 33.00 | 99.20 | 691.460 | 150.00 | 0.25 | 0.70072479 |
| 479 | 45.75 | 44.90 | 33.40 | 99.60 | 688.317 | 150.00 | 0.25 | 0.70392444 |
| 480 | 45.95 | 45.10 | 33.20 | 99.40 | 691.460 | 100.00 | 0.25 | 0.70072479 |
| 481 | 46.05 | 45.20 | 33.70 | 99.00 | 722.890 | 100.00 | 0.25 | 0.67025849 |
| 482 | 46.20 | 45.40 | 30.20 | 99.00 | 748.034 | 100.00 | 0.25 | 0.68583049 |
| 483 | 46.60 | 45.70 | 30.20 | 99.30 | 751.177 | 100.00 | 0.25 | 0.68296090 |
| 484 | 46.60 | 45.70 | 30.90 | 99.30 | 754.320 | 100.00 | 0.25 | 0.68011523 |
| 485 | 46.60 | 45.70 | 30.90 | 99.30 | 754.320 | 100.00 | 0.25 | 0.68011523 |
| 486 | 46.60 | 45.80 | 31.00 | 99.50 | 770.035 | 100.00 | 0.25 | 0.66623533 |
| 487 | 46.70 | 45.80 | 33.20 | 98.30 | 782.607 | 100.00 | 0.25 | 0.65553276 |
| 488 | 46.90 | 46.10 | 30.40 | 98.80 | 804.608 | 100.00 | 0.25 | 0.63760803 |
| 489 | 47.20 | 46.30 | 30.40 | 98.90 | 814.037 | 100.00 | 0.25 | 0.63022261 |
| 490 | 47.30 | 46.30 | 29.50 | 99.10 | 810.894 | 100.00 | 0.25 | 0.63266533 |
| 491 | 47.30 | 46.30 | 29.50 | 99.10 | 810.894 | 100.00 | 0.25 | 0.63266533 |
| 492 | 47.40 | 46.40 | 30.80 | 98.90 | 804.608 | 100.00 | 0.25 | 0.63760803 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 1. ข้อมูลชุดที่ 1 (ต่อ)**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง (°C) | อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อสีดำไปปืนหลอดรูญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่ดูดเมียของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 493 | 47.30 | 46.40 | 30.10 | 99.00 | 826.609 | 100.00 | 0.25 | 0.62063748 |
| 494 | 47.60 | 46.70 | 30.40 | 96.10 | 832.895 | 100.00 | 0.25 | 0.61595342 |
| 495 | 47.80 | 46.90 | 29.10 | 96.10 | 817.180 | 100.00 | 0.25 | 0.62779868 |
| 496 | 47.80 | 46.90 | 29.50 | 92.60 | 858.039 | 100.00 | 0.25 | 0.59790350 |
| 497 | 47.80 | 46.90 | 29.50 | 92.60 | 858.039 | 100.00 | 0.25 | 0.59790350 |
| 498 | 47.50 | 46.90 | 29.80 | 89.90 | 892.612 | 100.00 | 0.25 | 0.57474527 |
| 499 | 47.50 | 46.90 | 29.80 | 89.90 | 892.612 | 100.00 | 0.25 | 0.57474527 |
| 500 | 47.30 | 46.80 | 29.50 | 89.40 | 902.041 | 100.00 | 0.25 | 0.56873748 |
| 501 | 47.30 | 46.80 | 29.50 | 89.40 | 902.041 | 100.00 | 0.25 | 0.56873748 |
| 502 | 47.30 | 46.80 | 29.90 | 86.10 | 880.040 | 150.00 | 0.25 | 0.58295591 |
| 503 | 47.60 | 46.90 | 30.40 | 86.60 | 892.612 | 150.00 | 0.25 | 0.57474527 |
| 504 | 47.80 | 46.90 | 29.70 | 89.30 | 895.755 | 150.00 | 0.25 | 0.57272862 |
| 505 | 48.50 | 47.70 | 31.40 | 93.10 | 886.326 | 150.00 | 0.25 | 0.57882148 |
| 506 | 48.60 | 47.90 | 30.70 | 97.00 | 886.326 | 150.00 | 0.25 | 0.57882148 |
| 507 | 48.70 | 47.90 | 32.50 | 95.20 | 883.183 | 150.00 | 0.25 | 0.58088134 |
| 508 | 48.70 | 47.90 | 32.50 | 95.20 | 883.183 | 150.00 | 0.25 | 0.58088134 |
| 509 | 48.60 | 47.90 | 31.70 | 96.00 | 883.183 | 150.00 | 0.25 | 0.58088134 |
| 510 | 48.95 | 48.20 | 31.20 | 97.30 | 898.898 | 150.00 | 0.25 | 0.53901907 |
| 511 | 48.95 | 48.10 | 32.60 | 98.10 | 902.041 | 150.00 | 0.25 | 0.53714095 |
| 512 | 49.15 | 48.40 | 32.40 | 97.60 | 889.469 | 150.00 | 0.25 | 0.54473305 |
| 513 | 49.15 | 48.80 | 31.20 | 94.50 | 861.182 | 150.00 | 0.25 | 0.56262574 |
| 514 | 49.25 | 48.60 | 32.60 | 97.80 | 851.753 | 100.00 | 0.25 | 0.56885407 |
| 515 | 49.05 | 48.50 | 30.00 | 97.80 | 829.752 | 100.00 | 0.25 | 0.58393732 |
| 516 | 49.05 | 48.50 | 30.00 | 97.80 | 829.752 | 100.00 | 0.25 | 0.58393732 |
| 517 | 49.45 | 48.80 | 30.50 | 98.10 | 839.181 | 150.00 | 0.25 | 0.57737623 |
| 518 | 49.45 | 48.80 | 32.10 | 98.60 | 817.180 | 150.00 | 0.25 | 0.59292097 |
| 519 | 49.95 | 49.20 | 30.10 | 98.90 | 814.037 | 150.00 | 0.25 | 0.59521024 |
| 520 | 50.05 | 49.30 | 33.10 | 98.80 | 807.751 | 150.00 | 0.25 | 0.59984223 |
| 521 | 50.05 | 49.40 | 31.80 | 99.30 | 798.322 | 100.00 | 0.25 | 0.60692698 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 1. ข้อมูลชุดที่ 1 (ต่อ)**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง (°C) | อุณหภูมิของ สภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อสีทาไปป์ไลน์ หลอดสุญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่สูญเสียของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 522 | 50.05 | 49.40 | 31.30 | 99.30 | 788.893 | 100.00 | 0.25 | 0.61418109 |
| 523 | 50.10 | 49.40 | 31.80 | 97.10 | 776.321 | 100.00 | 0.25 | 0.58741397 |
| 524 | 50.10 | 49.30 | 32.30 | 97.40 | 770.035 | 100.00 | 0.25 | 0.59220918 |
| 525 | 50.40 | 49.60 | 32.20 | 97.70 | 738.605 | 100.00 | 0.25 | 0.61740957 |
| 526 | 50.40 | 49.60 | 32.20 | 97.70 | 738.605 | 100.00 | 0.25 | 0.61740957 |
| 527 | 50.40 | 49.70 | 31.40 | 98.10 | 735.462 | 100.00 | 0.25 | 0.62004808 |
| 528 | 50.40 | 49.70 | 31.40 | 98.10 | 735.462 | 100.00 | 0.25 | 0.62004808 |
| 529 | 51.35 | 51.00 | 30.30 | 90.20 | 682.031 | 150.00 | 0.25 | 0.62683432 |
| 530 | 51.90 | 51.60 | 30.70 | 89.10 | 707.175 | 100.00 | 0.25 | 0.56424375 |
| 531 | 51.90 | 51.60 | 30.70 | 89.10 | 707.175 | 100.00 | 0.25 | 0.56424375 |
| 532 | 51.90 | 51.60 | 30.70 | 88.80 | 697.746 | 100.00 | 0.25 | 0.57186867 |
| 533 | 52.10 | 51.40 | 30.30 | 89.20 | 691.460 | 100.00 | 0.25 | 0.57706747 |
| 534 | 51.70 | 51.20 | 29.60 | 88.70 | 688.317 | 100.00 | 0.25 | 0.57970248 |
| 535 | 51.70 | 51.20 | 29.60 | 88.70 | 688.317 | 100.00 | 0.25 | 0.57970248 |
| 536 | 51.70 | 51.20 | 29.60 | 88.70 | 688.317 | 100.00 | 0.25 | 0.57970248 |
| 537 | 51.70 | 51.20 | 32.00 | 90.60 | 688.317 | 100.00 | 0.25 | 0.57970248 |
| 538 | 51.70 | 51.50 | 32.30 | 91.80 | 675.745 | 100.00 | 0.25 | 0.59048764 |
| 539 | 52.20 | 51.70 | 33.70 | 93.00 | 669.459 | 100.00 | 0.25 | 0.59603213 |
| 540 | 52.20 | 51.70 | 33.70 | 93.00 | 669.459 | 100.00 | 0.25 | 0.59603213 |
| 541 | 52.35 | 51.70 | 30.80 | 95.10 | 669.459 | 100.00 | 0.25 | 0.55345841 |
| 542 | 52.15 | 51.50 | 30.10 | 96.10 | 666.316 | 100.00 | 0.25 | 0.55606906 |
| 543 | 52.15 | 51.50 | 30.10 | 96.10 | 666.316 | 100.00 | 0.25 | 0.55606906 |
| 544 | 52.55 | 51.90 | 31.30 | 94.20 | 656.887 | 100.00 | 0.25 | 0.56405091 |
| 545 | 52.25 | 51.60 | 32.20 | 96.70 | 656.887 | 100.00 | 0.25 | 0.56405091 |
| 546 | 52.70 | 52.10 | 33.20 | 96.90 | 641.172 | 100.00 | 0.25 | 0.53342371 |
| 547 | 52.30 | 51.70 | 32.30 | 97.60 | 634.886 | 100.00 | 0.25 | 0.53870514 |
| 548 | 52.50 | 52.20 | 31.80 | 96.10 | 631.743 | 100.00 | 0.25 | 0.54138526 |
| 549 | 52.40 | 51.90 | 30.90 | 94.50 | 628.600 | 100.00 | 0.25 | 0.54409219 |
| 550 | 52.60 | 52.00 | 31.00 | 93.70 | 628.600 | 100.00 | 0.25 | 0.54409219 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 1. ข้อมูลชุดที่ 1 (ต่อ)**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง (°C) | อุณหภูมิของ สภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อฮีทไปป์ในหลอดสุญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่จุดเดือดของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 551 | 52.40 | 51.80 | 30.80 | 91.50 | 628.600 | 100.00 | 0.25 | 0.54409219 |
| 552 | 52.50 | 52.10 | 31.40 | 90.50 | 625.457 | 100.00 | 0.25 | 0.54682632 |
| 553 | 52.50 | 52.10 | 31.40 | 90.50 | 625.457 | 100.00 | 0.25 | 0.54682632 |
| 554 | 52.40 | 52.00 | 29.70 | 90.60 | 622.314 | 100.00 | 0.25 | 0.54958807 |
| 555 | 52.75 | 52.40 | 31.20 | 90.10 | 616.028 | 100.00 | 0.25 | 0.50892977 |
| 556 | 52.75 | 52.30 | 29.70 | 91.10 | 609.742 | 100.00 | 0.25 | 0.51417647 |
| 557 | 52.55 | 52.20 | 30.50 | 89.70 | 606.599 | 100.00 | 0.25 | 0.51684059 |
| 558 | 52.45 | 52.30 | 29.80 | 91.30 | 600.313 | 100.00 | 0.25 | 0.52225254 |
| 559 | 52.55 | 52.60 | 30.70 | 88.80 | 600.313 | 100.00 | 0.25 | 0.52225254 |
| 560 | 52.75 | 52.70 | 30.30 | 87.70 | 594.027 | 100.00 | 0.25 | 0.52777902 |
| 561 | 52.70 | 53.00 | 30.10 | 87.70 | 653.744 | 100.00 | 0.25 | 0.43597130 |
| 562 | 52.90 | 53.00 | 30.30 | 86.90 | 631.743 | 100.00 | 0.25 | 0.45115438 |
| 563 | 52.80 | 53.00 | 30.70 | 87.30 | 647.458 | 100.00 | 0.25 | 0.44020403 |
| 564 | 53.20 | 53.10 | 31.10 | 88.40 | 625.457 | 150.00 | 0.25 | 0.45568860 |
| 565 | 53.20 | 53.10 | 31.10 | 88.40 | 625.457 | 150.00 | 0.25 | 0.45568860 |
| 566 | 53.10 | 53.00 | 31.60 | 90.90 | 625.457 | 150.00 | 0.25 | 0.45568860 |
| 567 | 53.20 | 53.10 | 31.10 | 90.80 | 625.457 | 100.00 | 0.25 | 0.45568860 |
| 568 | 53.50 | 53.20 | 32.80 | 92.10 | 625.457 | 100.00 | 0.25 | 0.45568860 |
| 569 | 53.90 | 53.50 | 32.60 | 96.30 | 622.314 | 100.00 | 0.25 | 0.45799006 |
| 570 | 53.90 | 53.50 | 32.60 | 96.30 | 622.314 | 100.00 | 0.25 | 0.45799006 |
| 571 | 54.45 | 54.10 | 34.30 | 96.60 | 609.742 | 150.00 | 0.25 | 0.42068984 |
| 572 | 54.85 | 54.40 | 33.20 | 96.80 | 597.170 | 100.00 | 0.25 | 0.42954646 |
| 573 | 54.65 | 54.20 | 31.10 | 96.50 | 597.170 | 100.00 | 0.25 | 0.42954646 |
| 574 | 54.95 | 54.50 | 31.70 | 99.00 | 597.170 | 100.00 | 0.25 | 0.42954646 |
| 575 | 54.85 | 54.50 | 31.00 | 97.70 | 594.027 | 100.00 | 0.25 | 0.43181920 |
| 576 | 54.45 | 54.20 | 33.30 | 97.10 | 594.027 | 100.00 | 0.25 | 0.43181920 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 2. ข้อมูลชุดที่ 2**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง (°C) | อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อสีทาไปป์ในหลอดสุญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่ผู้ผู้เสียของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 37.45 | 38.10 | 33.50 | 87.30 | 606.60 | 200.00 | 0.50 | 0.84573915 |
| 2 | 39.55 | 40.00 | 31.30 | 87.10 | 653.74 | 150.00 | 0.50 | 0.95913687 |
| 3 | 40.25 | 40.20 | 28.40 | 85.90 | 660.03 | 150.00 | 0.50 | 0.95000223 |
| 4 | 39.45 | 40.70 | 31.50 | 85.80 | 660.03 | 150.00 | 0.50 | 0.95000223 |
| 5 | 40.15 | 40.80 | 32.40 | 86.90 | 675.75 | 150.00 | 0.50 | 0.92790916 |
| 6 | 40.55 | 41.10 | 30.30 | 87.70 | 694.60 | 100.00 | 0.50 | 0.90271705 |
| 7 | 41.05 | 41.70 | 33.90 | 87.60 | 653.74 | 100.00 | 0.50 | 0.95913687 |
| 8 | 41.40 | 41.80 | 29.70 | 86.40 | 685.17 | 100.00 | 0.50 | 0.99833429 |
| 9 | 41.40 | 41.90 | 32.40 | 87.30 | 685.17 | 100.00 | 0.50 | 0.99833429 |
| 10 | 41.40 | 42.20 | 31.10 | 86.50 | 688.32 | 100.00 | 0.50 | 0.99377568 |
| 11 | 41.80 | 42.30 | 31.80 | 87.50 | 694.60 | 200.00 | 0.50 | 0.98478224 |
| 12 | 42.20 | 42.70 | 34.30 | 83.90 | 688.32 | 200.00 | 0.50 | 0.99377568 |
| 13 | 42.70 | 43.20 | 29.40 | 86.50 | 704.03 | 200.00 | 0.50 | 0.97159319 |
| 14 | 42.80 | 43.10 | 29.60 | 85.70 | 697.75 | 200.00 | 0.50 | 0.98034628 |
| 15 | 42.80 | 43.10 | 29.60 | 85.70 | 697.75 | 200.00 | 0.50 | 0.98034628 |
| 16 | 42.80 | 43.10 | 29.60 | 85.70 | 697.75 | 200.00 | 0.50 | 0.98034628 |
| 17 | 43.20 | 43.70 | 32.90 | 85.70 | 691.46 | 200.00 | 0.50 | 0.98925852 |
| 18 | 44.65 | 45.10 | 30.40 | 85.90 | 744.89 | 200.00 | 0.50 | 0.99482397 |
| 19 | 44.75 | 45.10 | 29.90 | 86.30 | 754.32 | 200.00 | 0.50 | 0.98238867 |
| 20 | 44.85 | 45.30 | 31.10 | 85.70 | 760.61 | 200.00 | 0.50 | 0.97426976 |
| 21 | 45.35 | 45.80 | 30.10 | 85.60 | 782.61 | 200.00 | 0.50 | 0.94688065 |
| 22 | 45.35 | 45.80 | 30.10 | 85.60 | 782.61 | 200.00 | 0.50 | 0.94688065 |
| 23 | 46.35 | 46.90 | 32.00 | 89.60 | 892.61 | 200.00 | 0.50 | 0.83018761 |
| 24 | 46.75 | 47.10 | 30.40 | 90.60 | 892.61 | 200.00 | 0.50 | 0.83018761 |
| 25 | 47.65 | 48.00 | 32.40 | 91.80 | 883.18 | 200.00 | 0.50 | 0.83905082 |
| 26 | 47.75 | 48.10 | 30.50 | 92.60 | 898.90 | 200.00 | 0.50 | 0.82438210 |
| 27 | 47.95 | 48.30 | 33.50 | 91.30 | 902.04 | 200.00 | 0.50 | 0.82150969 |
| 28 | 48.25 | 48.60 | 33.50 | 92.80 | 883.18 | 200.00 | 0.50 | 0.83905082 |
| 29 | 48.70 | 49.00 | 30.20 | 91.50 | 801.47 | 200.00 | 0.50 | 0.85347794 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 2. ข้อมูลชุดที่ 2 (ต่อ)**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง (°C) | อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อสีทาไปปิ้นหลอดสุญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่สูญเสียของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 48.90 | 49.10 | 27.50 | 90.60 | 807.75 | 200.00 | 0.50 | 0.84683609 |
| 31 | 49.00 | 49.40 | 32.00 | 85.90 | 748.03 | 200.00 | 0.50 | 0.91444065 |
| 32 | 49.10 | 49.50 | 31.60 | 85.50 | 719.75 | 200.00 | 0.50 | 0.95037937 |
| 33 | 49.60 | 50.00 | 30.70 | 84.90 | 694.60 | 200.00 | 0.50 | 0.98478224 |
| 34 | 49.60 | 50.00 | 26.20 | 83.60 | 713.46 | 200.00 | 0.50 | 0.95875275 |
| 35 | 50.05 | 50.50 | 31.50 | 82.20 | 669.46 | 200.00 | 0.50 | 0.93662192 |
| 36 | 49.85 | 50.30 | 28.50 | 82.70 | 669.46 | 200.00 | 0.50 | 0.93662192 |
| 37 | 50.05 | 50.60 | 29.70 | 82.70 | 663.17 | 200.00 | 0.50 | 0.94549985 |
| 38 | 50.55 | 50.90 | 29.20 | 82.30 | 647.46 | 200.00 | 0.50 | 0.96844888 |
| 39 | 50.55 | 50.90 | 30.80 | 82.40 | 647.46 | 200.00 | 0.50 | 0.96844888 |
| 40 | 51.05 | 51.10 | 32.30 | 81.00 | 638.03 | 200.00 | 0.50 | 0.98276093 |
| 41 | 51.00 | 51.50 | 32.20 | 83.90 | 609.74 | 200.00 | 0.50 | 0.93486630 |
| 42 | 51.00 | 51.60 | 29.80 | 83.80 | 606.60 | 250.00 | 0.50 | 0.93971017 |
| 43 | 51.00 | 51.60 | 29.80 | 83.80 | 606.60 | 250.00 | 0.50 | 0.93971017 |
| 44 | 52.20 | 52.80 | 31.40 | 85.60 | 616.03 | 200.00 | 0.50 | 0.92532685 |
| 45 | 52.20 | 52.80 | 31.40 | 85.60 | 616.03 | 200.00 | 0.50 | 0.92532685 |
| 46 | 52.65 | 53.20 | 30.40 | 86.40 | 600.31 | 200.00 | 0.50 | 0.85459506 |
| 47 | 52.95 | 53.50 | 28.10 | 88.90 | 597.17 | 200.00 | 0.50 | 0.85909293 |
| 48 | 52.75 | 53.40 | 30.10 | 88.70 | 594.03 | 200.00 | 0.50 | 0.86363839 |
| 49 | 35.50 | 35.30 | 32.90 | 70.90 | 707.175 | 100.00 | 0.4167 | 0.67171875 |
| 50 | 35.65 | 35.70 | 31.40 | 67.70 | 716.604 | 100.00 | 0.4167 | 0.72916838 |
| 51 | 35.75 | 35.80 | 32.00 | 68.40 | 713.461 | 100.00 | 0.4167 | 0.73238057 |
| 52 | 36.95 | 36.50 | 31.50 | 68.50 | 716.604 | 100.00 | 0.4167 | 0.72916838 |
| 53 | 38.85 | 38.70 | 34.80 | 81.80 | 748.034 | 100.00 | 0.4167 | 0.82553670 |
| 54 | 38.65 | 38.60 | 33.10 | 82.30 | 744.891 | 100.00 | 0.4167 | 0.82901998 |
| 55 | 38.75 | 39.00 | 33.60 | 82.20 | 748.034 | 100.00 | 0.4167 | 0.82553670 |
| 56 | 39.60 | 39.70 | 33.40 | 83.60 | 757.463 | 100.00 | 0.4167 | 0.87797264 |
| 57 | 41.00 | 40.30 | 33.50 | 86.20 | 773.178 | 100.00 | 0.4167 | 0.86012767 |
| 58 | 41.00 | 40.30 | 33.30 | 86.50 | 760.606 | 100.00 | 0.4167 | 0.87434465 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 2. ข้อมูลชุดที่ 2 (ต่อ)**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง (°C) | อุณหภูมิของ สภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อสีทาไปป์ไม่หลอดสูญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่สูญเสียของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 59 | 41.25 | 40.60 | 34.90 | 82.70 | 735.462 | 100.00 | 0.4167 | 0.96882512 |
| 60 | 41.55 | 40.90 | 33.70 | 83.50 | 754.320 | 100.00 | 0.4167 | 0.94460449 |
| 61 | 43.05 | 42.30 | 33.10 | 84.00 | 763.749 | 100.00 | 0.4167 | 0.93294271 |
| 62 | 43.05 | 42.30 | 33.10 | 84.00 | 763.749 | 100.00 | 0.4167 | 0.93294271 |
| 63 | 43.70 | 43.10 | 35.90 | 82.40 | 779.464 | 100.00 | 0.4167 | 0.97507560 |
| 64 | 43.60 | 43.00 | 35.00 | 82.80 | 779.464 | 100.00 | 0.4167 | 0.97507560 |
| 65 | 43.90 | 43.20 | 34.00 | 83.40 | 779.464 | 100.00 | 0.4167 | 0.97507560 |
| 66 | 46.00 | 45.50 | 33.00 | 86.00 | 795.179 | 100.00 | 0.4167 | 0.95580534 |
| 67 | 45.60 | 45.50 | 34.10 | 85.60 | 801.465 | 100.00 | 0.4167 | 0.94830882 |
| 68 | 46.00 | 45.40 | 34.20 | 89.20 | 792.036 | 100.00 | 0.4167 | 0.95959821 |
| 69 | 46.30 | 45.80 | 34.50 | 85.90 | 845.467 | 100.00 | 0.4167 | 0.89895446 |
| 70 | 46.00 | 46.00 | 35.00 | 84.70 | 839.181 | 100.00 | 0.4167 | 0.90568820 |
| 71 | 46.00 | 46.10 | 33.60 | 84.30 | 810.894 | 100.00 | 0.4167 | 0.93728198 |
| 72 | 46.60 | 46.70 | 32.60 | 84.60 | 839.181 | 100.00 | 0.4167 | 0.90568820 |
| 73 | 47.20 | 47.00 | 32.60 | 85.90 | 845.467 | 100.00 | 0.4167 | 0.89895446 |
| 74 | 47.60 | 47.90 | 34.50 | 82.10 | 886.326 | 100.00 | 0.4167 | 0.85751330 |
| 75 | 47.60 | 47.90 | 34.50 | 82.10 | 886.326 | 100.00 | 0.4167 | 0.85751330 |
| 76 | 47.70 | 48.00 | 35.00 | 84.00 | 920.899 | 100.00 | 0.4167 | 0.82531997 |
| 77 | 48.20 | 48.00 | 35.50 | 84.60 | 927.185 | 100.00 | 0.4167 | 0.81972458 |
| 78 | 48.45 | 48.40 | 35.60 | 86.70 | 952.329 | 100.00 | 0.4167 | 0.74820158 |
| 79 | 48.75 | 48.80 | 33.20 | 83.30 | 936.614 | 100.00 | 0.4167 | 0.76075530 |
| 80 | 48.85 | 48.80 | 33.30 | 84.80 | 927.185 | 100.00 | 0.4167 | 0.76849179 |
| 81 | 49.65 | 49.30 | 33.40 | 85.40 | 920.899 | 100.00 | 0.4167 | 0.77373747 |
| 82 | 49.65 | 49.30 | 33.40 | 85.40 | 920.899 | 100.00 | 0.4167 | 0.77373747 |
| 83 | 50.10 | 50.60 | 33.40 | 86.30 | 773.178 | 100.00 | 0.4167 | 0.86012767 |
| 84 | 50.10 | 50.60 | 33.30 | 84.30 | 770.035 | 100.00 | 0.4167 | 0.86363839 |
| 85 | 50.25 | 50.90 | 35.20 | 85.90 | 735.462 | 100.00 | 0.4167 | 0.83964844 |
| 86 | 50.45 | 51.00 | 35.40 | 86.00 | 732.319 | 100.00 | 0.4167 | 0.84325208 |
| 87 | 51.25 | 51.40 | 32.90 | 86.20 | 700.889 | 100.00 | 0.4167 | 0.88106607 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 2. ข้อมูลชุดที่ 2 (ต่อ)**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง (°C) | อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อสีทาไปป์ไม่หลอดรุญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่ผู้ดูดเสียของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 88 | 51.30 | 51.60 | 32.70 | 86.70 | 707.175 | 100.00 | 0.4167 | 0.80606250 |
| 89 | 51.40 | 51.60 | 33.90 | 84.30 | 716.604 | 100.00 | 0.4167 | 0.79545641 |
| 90 | 52.35 | 52.90 | 33.00 | 86.20 | 666.316 | 100.00 | 0.4167 | 0.78419996 |
| 91 | 52.95 | 53.20 | 37.30 | 87.30 | 710.318 | 100.00 | 0.4167 | 0.73562120 |
| 92 | 53.05 | 53.20 | 35.30 | 87.10 | 660.030 | 100.00 | 0.4167 | 0.79166853 |
| 93 | 53.05 | 53.20 | 35.30 | 87.10 | 660.030 | 100.00 | 0.4167 | 0.79166853 |
| 94 | 53.20 | 53.70 | 32.60 | 86.00 | 634.886 | 100.00 | 0.4167 | 0.74820158 |
| 95 | 53.40 | 53.80 | 35.00 | 86.40 | 606.599 | 100.00 | 0.4167 | 0.78309181 |
| 96 | 53.90 | 54.00 | 33.90 | 87.30 | 578.312 | 150.00 | 0.4167 | 0.82139521 |
| 97 | 39.70 | 39.30 | 29.10 | 84.00 | 675.745 | 100.00 | 0.3333 | 0.67484302 |
| 98 | 40.45 | 40.10 | 28.20 | 84.40 | 697.746 | 100.00 | 0.3333 | 0.70802787 |
| 99 | 41.20 | 40.60 | 29.10 | 83.10 | 700.889 | 100.00 | 0.3333 | 0.75907231 |
| 100 | 42.20 | 41.50 | 30.10 | 81.00 | 722.890 | 100.00 | 0.3333 | 0.73597011 |
| 101 | 41.50 | 40.80 | 31.10 | 83.60 | 707.175 | 100.00 | 0.3333 | 0.75232500 |
| 102 | 41.70 | 41.00 | 29.80 | 83.90 | 719.747 | 100.00 | 0.3333 | 0.73918395 |
| 103 | 42.25 | 41.80 | 31.20 | 83.60 | 735.462 | 100.00 | 0.3333 | 0.77506010 |
| 104 | 43.30 | 42.50 | 30.20 | 79.40 | 732.319 | 100.00 | 0.3333 | 0.83027897 |
| 105 | 43.80 | 43.30 | 31.20 | 77.60 | 760.606 | 100.00 | 0.3333 | 0.79940083 |
| 106 | 43.50 | 43.20 | 31.10 | 86.00 | 760.606 | 100.00 | 0.3333 | 0.79940083 |
| 107 | 44.10 | 43.40 | 32.00 | 85.90 | 763.749 | 100.00 | 0.3333 | 0.79611111 |
| 108 | 45.15 | 44.90 | 32.70 | 86.00 | 760.606 | 100.00 | 0.3333 | 0.84936338 |
| 109 | 45.40 | 45.60 | 31.40 | 85.40 | 763.749 | 100.00 | 0.3333 | 0.89562500 |
| 110 | 46.10 | 45.30 | 31.90 | 81.70 | 773.178 | 100.00 | 0.3333 | 0.88470274 |
| 111 | 46.10 | 45.30 | 31.90 | 81.70 | 773.178 | 100.00 | 0.3333 | 0.88470274 |
| 112 | 46.80 | 46.10 | 30.30 | 86.80 | 779.464 | 100.00 | 0.3333 | 0.87756804 |
| 113 | 46.60 | 46.10 | 32.70 | 86.60 | 788.893 | 100.00 | 0.3333 | 0.86707918 |
| 114 | 47.30 | 47.30 | 31.10 | 84.90 | 779.464 | 100.00 | 0.3333 | 0.87756804 |
| 115 | 47.10 | 47.30 | 30.40 | 87.40 | 757.463 | 100.00 | 0.3333 | 0.90305757 |
| 116 | 47.80 | 47.90 | 30.50 | 81.10 | 770.035 | 100.00 | 0.3333 | 0.88831377 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 2. ข้อมูลชุดที่ 2 (ต่อ)**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในอ่าง (°C) | อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อสีทาไปป์ในหลอดสุญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่สูญเสียของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 117 | 47.80 | 47.90 | 30.50 | 81.10 | 770.035 | 100.00 | 0.3333 | 0.88831377 |
| 118 | 47.20 | 48.00 | 29.90 | 82.40 | 763.749 | 100.00 | 0.3333 | 0.89562500 |
| 119 | 49.00 | 48.60 | 33.00 | 86.50 | 766.892 | 100.00 | 0.3333 | 0.89195440 |
| 120 | 49.00 | 48.60 | 33.00 | 86.50 | 766.892 | 100.00 | 0.3333 | 0.89195440 |
| 121 | 49.10 | 49.30 | 32.80 | 87.10 | 757.463 | 100.00 | 0.3333 | 0.90305757 |
| 122 | 50.50 | 49.60 | 32.80 | 84.30 | 766.892 | 100.00 | 0.3333 | 0.89195440 |
| 123 | 50.50 | 49.60 | 32.80 | 84.30 | 766.892 | 100.00 | 0.3333 | 0.89195440 |
| 124 | 51.45 | 51.20 | 31.60 | 80.80 | 751.177 | 100.00 | 0.3333 | 0.86002484 |
| 125 | 51.85 | 51.60 | 30.40 | 88.00 | 744.891 | 100.00 | 0.3333 | 0.86728244 |
| 126 | 53.30 | 52.60 | 31.30 | 86.40 | 735.462 | 100.00 | 0.3333 | 0.82673077 |
| 127 | 53.30 | 52.60 | 31.30 | 86.40 | 735.462 | 100.00 | 0.3333 | 0.82673077 |
| 128 | 53.35 | 53.30 | 32.00 | 89.50 | 719.747 | 100.00 | 0.3333 | 0.79198281 |
| 129 | 53.65 | 53.40 | 31.40 | 87.70 | 675.745 | 100.00 | 0.3333 | 0.84355378 |
| 130 | 53.65 | 53.60 | 31.70 | 86.90 | 722.890 | 100.00 | 0.3333 | 0.78853940 |
| 131 | 54.00 | 53.70 | 29.50 | 89.30 | 726.033 | 100.00 | 0.3333 | 0.73278409 |
| 132 | 54.20 | 54.10 | 32.00 | 85.40 | 704.032 | 100.00 | 0.3333 | 0.75568359 |
| 133 | 55.05 | 55.40 | 34.20 | 89.50 | 716.604 | 100.00 | 0.3333 | 0.68939556 |
| 134 | 56.70 | 56.70 | 34.20 | 84.60 | 700.889 | 100.00 | 0.3333 | 0.65063341 |
| 135 | 57.40 | 57.00 | 33.70 | 89.90 | 672.602 | 100.00 | 0.3333 | 0.67799649 |
| 136 | 56.60 | 56.90 | 34.30 | 87.80 | 685.174 | 100.00 | 0.3333 | 0.66555619 |
| 137 | 56.65 | 57.30 | 33.50 | 90.30 | 644.315 | 100.00 | 0.3333 | 0.64878201 |
| 138 | 57.55 | 57.30 | 32.00 | 88.60 | 647.458 | 100.00 | 0.3333 | 0.64563258 |
| 139 | 57.15 | 57.30 | 33.00 | 81.90 | 650.601 | 100.00 | 0.3333 | 0.64251359 |
| 140 | 57.85 | 57.60 | 32.20 | 80.40 | 625.457 | 100.00 | 0.3333 | 0.66834328 |
| 141 | 57.35 | 57.70 | 31.50 | 88.40 | 619.171 | 100.00 | 0.3333 | 0.67512849 |
| 142 | 57.35 | 57.90 | 32.50 | 89.90 | 606.599 | 100.00 | 0.3333 | 0.68912079 |
| 143 | 58.10 | 57.80 | 32.50 | 87.60 | 619.171 | 100.00 | 0.3333 | 0.61375317 |
| 144 | 58.40 | 58.30 | 33.00 | 90.60 | 609.742 | 100.00 | 0.3333 | 0.62324420 |
| 145 | 38.95 | 38.60 | 30.70 | 122.90 | 634.886 | 150.00 | 0.25 | 0.40402885 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 2. ข้อมูลชุดที่ 2 (ต่อ)**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง (°C) | อุณหภูมิของ ฉภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อสีทาไปป์ไนหลอดสุญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่สูญเสียของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 146 | 39.25 | 38.80 | 32.20 | 107.00 | 660.030 | 150.00 | 0.25 | 0.38863728 |
| 147 | 39.50 | 39.10 | 28.90 | 119.90 | 675.745 | 150.00 | 0.25 | 0.42177689 |
| 148 | 39.70 | 39.30 | 28.30 | 127.70 | 644.315 | 150.00 | 0.25 | 0.44235137 |
| 149 | 41.10 | 40.50 | 30.70 | 147.90 | 672.602 | 100.00 | 0.25 | 0.50849737 |
| 150 | 41.15 | 40.50 | 31.10 | 138.40 | 710.318 | 100.00 | 0.25 | 0.52162230 |
| 151 | 41.35 | 40.70 | 28.70 | 144.80 | 688.317 | 100.00 | 0.25 | 0.53829516 |
| 152 | 42.85 | 42.20 | 29.60 | 107.20 | 694.603 | 100.00 | 0.25 | 0.61548890 |
| 153 | 43.05 | 42.30 | 29.50 | 107.20 | 678.888 | 100.00 | 0.25 | 0.62973633 |
| 154 | 43.05 | 42.30 | 29.50 | 107.20 | 678.888 | 100.00 | 0.25 | 0.62973633 |
| 155 | 43.05 | 42.40 | 30.20 | 105.50 | 682.031 | 100.00 | 0.25 | 0.62683432 |
| 156 | 43.05 | 42.40 | 30.20 | 105.50 | 682.031 | 100.00 | 0.25 | 0.62683432 |
| 157 | 43.55 | 42.80 | 29.90 | 101.30 | 688.317 | 100.00 | 0.25 | 0.62110980 |
| 158 | 43.55 | 42.80 | 30.00 | 100.30 | 700.889 | 100.00 | 0.25 | 0.60996882 |
| 159 | 43.75 | 43.00 | 32.30 | 100.50 | 694.603 | 100.00 | 0.25 | 0.61548890 |
| 160 | 44.90 | 44.10 | 32.10 | 99.00 | 719.747 | 150.00 | 0.25 | 0.63358624 |
| 161 | 45.65 | 44.90 | 33.30 | 98.90 | 707.175 | 100.00 | 0.25 | 0.68515312 |
| 162 | 46.20 | 45.40 | 30.40 | 99.40 | 732.319 | 100.00 | 0.25 | 0.70054788 |
| 163 | 46.60 | 45.70 | 30.20 | 99.30 | 751.177 | 100.00 | 0.25 | 0.68296090 |
| 164 | 47.50 | 46.90 | 29.20 | 91.50 | 892.612 | 100.00 | 0.25 | 0.57474527 |
| 165 | 47.50 | 46.90 | 29.20 | 91.50 | 892.612 | 100.00 | 0.25 | 0.57474527 |
| 166 | 47.60 | 47.00 | 28.90 | 88.00 | 883.183 | 100.00 | 0.25 | 0.58088134 |
| 167 | 47.60 | 46.90 | 30.40 | 86.60 | 892.612 | 150.00 | 0.25 | 0.57474527 |
| 168 | 47.80 | 46.90 | 29.70 | 89.30 | 895.755 | 150.00 | 0.25 | 0.57272862 |
| 169 | 48.70 | 47.90 | 32.50 | 95.20 | 883.183 | 150.00 | 0.25 | 0.58088134 |
| 170 | 48.95 | 48.20 | 31.20 | 97.30 | 898.898 | 150.00 | 0.25 | 0.53901907 |
| 171 | 48.95 | 48.10 | 32.60 | 98.10 | 902.041 | 150.00 | 0.25 | 0.53714095 |
| 172 | 49.45 | 48.70 | 30.50 | 97.80 | 823.466 | 150.00 | 0.25 | 0.58839486 |
| 173 | 49.45 | 48.70 | 30.50 | 97.80 | 823.466 | 150.00 | 0.25 | 0.58839486 |
| 174 | 49.95 | 49.20 | 30.10 | 98.90 | 814.037 | 150.00 | 0.25 | 0.59521024 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 2. ข้อมูลชุดที่ 2 (ต่อ)**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง (°C) | อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อยึกไปปิ้นหลอดสูญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่สูญเสียของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 175 | 50.05 | 49.30 | 33.10 | 98.80 | 807.751 | 150.00 | 0.25 | 0.59984223 |
| 176 | 50.10 | 49.40 | 31.80 | 97.10 | 776.321 | 100.00 | 0.25 | 0.58741397 |
| 177 | 50.30 | 49.50 | 32.70 | 98.10 | 779.464 | 150.00 | 0.25 | 0.58504536 |
| 178 | 50.65 | 50.00 | 30.00 | 93.00 | 710.318 | 150.00 | 0.25 | 0.60187189 |
| 179 | 51.70 | 51.20 | 32.00 | 90.60 | 688.317 | 100.00 | 0.25 | 0.57970248 |
| 180 | 52.20 | 51.70 | 33.70 | 93.00 | 669.459 | 100.00 | 0.25 | 0.59603213 |
| 181 | 52.45 | 51.70 | 32.30 | 96.10 | 647.458 | 100.00 | 0.25 | 0.57226525 |
| 182 | 52.30 | 51.70 | 32.30 | 97.60 | 634.886 | 100.00 | 0.25 | 0.53870514 |
| 183 | 52.50 | 52.10 | 31.40 | 90.50 | 625.457 | 100.00 | 0.25 | 0.54682632 |
| 184 | 52.40 | 52.00 | 29.70 | 90.60 | 622.314 | 100.00 | 0.25 | 0.54958807 |
| 185 | 52.40 | 52.00 | 29.70 | 90.60 | 622.314 | 100.00 | 0.25 | 0.54958807 |
| 186 | 52.45 | 52.30 | 29.80 | 91.30 | 600.313 | 100.00 | 0.25 | 0.52225254 |
| 187 | 52.45 | 52.30 | 29.80 | 91.30 | 600.313 | 100.00 | 0.25 | 0.52225254 |
| 188 | 53.20 | 53.10 | 30.90 | 87.20 | 638.029 | 100.00 | 0.25 | 0.44670951 |
| 189 | 53.20 | 53.10 | 31.10 | 90.80 | 625.457 | 100.00 | 0.25 | 0.45568860 |
| 190 | 54.40 | 54.00 | 33.80 | 97.10 | 619.171 | 100.00 | 0.25 | 0.46031488 |
| 191 | 54.50 | 54.00 | 33.70 | 97.00 | 616.028 | 150.00 | 0.25 | 0.46266342 |
| 192 | 54.65 | 54.20 | 34.10 | 101.30 | 597.170 | 100.00 | 0.25 | 0.42954646 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 3. ข้อมูลชุดที่ 3**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง (°C) | อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อสีทาไปปืนหลอดสุญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่ผู้ผลิตของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 37.35 | 38.00 | 32.90 | 86.90 | 603.46 | 200.00 | 0.50 | 0.85014404 |
| 2 | 37.45 | 38.10 | 33.50 | 87.30 | 606.60 | 200.00 | 0.50 | 0.84573915 |
| 3 | 37.65 | 38.30 | 31.80 | 88.70 | 628.60 | 200.00 | 0.50 | 0.81613828 |
| 4 | 37.65 | 38.30 | 31.80 | 88.70 | 628.60 | 200.00 | 0.50 | 0.81613828 |
| 5 | 37.75 | 38.30 | 33.80 | 91.00 | 638.03 | 200.00 | 0.50 | 0.80407712 |
| 6 | 37.75 | 38.30 | 33.80 | 91.00 | 638.03 | 200.00 | 0.50 | 0.80407712 |
| 7 | 39.55 | 40.60 | 28.10 | 86.30 | 628.60 | 150.00 | 0.50 | 0.99750234 |
| 8 | 40.75 | 41.20 | 31.80 | 88.30 | 719.75 | 100.00 | 0.50 | 0.87118109 |
| 9 | 41.40 | 41.80 | 29.70 | 86.40 | 685.17 | 100.00 | 0.50 | 0.99833429 |
| 10 | 41.40 | 41.80 | 29.70 | 86.40 | 685.17 | 100.00 | 0.50 | 0.99833429 |
| 11 | 41.40 | 42.20 | 31.10 | 86.50 | 688.32 | 100.00 | 0.50 | 0.99377568 |
| 12 | 42.20 | 42.70 | 34.30 | 83.90 | 688.32 | 200.00 | 0.50 | 0.99377568 |
| 13 | 42.80 | 43.10 | 29.60 | 85.70 | 697.75 | 200.00 | 0.50 | 0.98034628 |
| 14 | 43.80 | 44.10 | 30.40 | 85.40 | 722.89 | 200.00 | 0.50 | 0.94624728 |
| 15 | 44.00 | 44.40 | 32.20 | 85.60 | 732.32 | 200.00 | 0.50 | 0.93406384 |
| 16 | 44.25 | 44.60 | 31.80 | 85.80 | 751.18 | 200.00 | 0.50 | 0.98649908 |
| 17 | 44.75 | 45.10 | 32.70 | 84.70 | 751.18 | 200.00 | 0.50 | 0.98649908 |
| 18 | 44.75 | 45.10 | 29.90 | 86.30 | 754.32 | 200.00 | 0.50 | 0.98238867 |
| 19 | 44.65 | 45.40 | 32.00 | 86.40 | 748.03 | 200.00 | 0.50 | 0.99064404 |
| 20 | 44.65 | 45.40 | 32.00 | 86.40 | 748.03 | 200.00 | 0.50 | 0.99064404 |
| 21 | 45.65 | 46.00 | 31.00 | 85.50 | 836.04 | 200.00 | 0.50 | 0.88636572 |
| 22 | 45.75 | 46.10 | 29.30 | 88.00 | 902.04 | 200.00 | 0.50 | 0.82150969 |
| 23 | 46.15 | 46.70 | 32.90 | 89.60 | 886.33 | 200.00 | 0.50 | 0.83607546 |
| 24 | 46.75 | 47.10 | 30.40 | 90.60 | 892.61 | 200.00 | 0.50 | 0.83018761 |
| 25 | 47.45 | 47.80 | 34.40 | 91.70 | 886.33 | 200.00 | 0.50 | 0.83607546 |
| 26 | 47.95 | 48.30 | 33.50 | 91.30 | 902.04 | 200.00 | 0.50 | 0.82150969 |
| 27 | 48.70 | 49.00 | 30.20 | 91.50 | 801.47 | 200.00 | 0.50 | 0.85347794 |
| 28 | 48.70 | 49.00 | 32.60 | 89.90 | 798.32 | 200.00 | 0.50 | 0.85683809 |
| 29 | 49.00 | 49.40 | 32.00 | 86.60 | 751.18 | 200.00 | 0.50 | 0.91061454 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 3. ข้อมูลชุดที่ 3 (ต่อ)**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง (°C) | อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อสีทาไปป์ในหลอดสุญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่สูญเสียของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 49.00 | 49.40 | 32.00 | 85.90 | 748.03 | 200.00 | 0.50 | 0.91444065 |
| 31 | 49.60 | 50.00 | 29.20 | 84.90 | 710.32 | 200.00 | 0.50 | 0.96299502 |
| 32 | 49.60 | 50.00 | 29.20 | 84.90 | 710.32 | 200.00 | 0.50 | 0.96299502 |
| 33 | 49.60 | 50.00 | 26.20 | 83.60 | 713.46 | 200.00 | 0.50 | 0.95875275 |
| 34 | 49.75 | 50.30 | 30.70 | 82.90 | 700.89 | 200.00 | 0.50 | 0.89462094 |
| 35 | 50.05 | 50.20 | 31.00 | 83.20 | 685.17 | 200.00 | 0.50 | 0.91513976 |
| 36 | 50.05 | 50.20 | 31.00 | 83.20 | 685.17 | 200.00 | 0.50 | 0.91513976 |
| 37 | 50.55 | 50.90 | 29.20 | 82.30 | 647.46 | 200.00 | 0.50 | 0.96844888 |
| 38 | 50.50 | 51.20 | 31.00 | 81.20 | 622.31 | 200.00 | 0.50 | 0.91598011 |
| 39 | 50.50 | 51.20 | 30.80 | 81.10 | 622.31 | 200.00 | 0.50 | 0.91598011 |
| 40 | 51.00 | 51.60 | 29.80 | 83.80 | 606.60 | 250.00 | 0.50 | 0.93971017 |
| 41 | 51.00 | 51.50 | 31.00 | 85.00 | 600.31 | 250.00 | 0.50 | 0.94955006 |
| 42 | 50.90 | 51.40 | 32.10 | 85.40 | 653.74 | 250.00 | 0.50 | 0.87194261 |
| 43 | 51.60 | 52.20 | 28.50 | 86.20 | 625.46 | 200.00 | 0.50 | 0.91137720 |
| 44 | 51.60 | 52.10 | 29.90 | 85.80 | 625.46 | 200.00 | 0.50 | 0.91137720 |
| 45 | 52.00 | 52.60 | 30.70 | 85.50 | 619.17 | 200.00 | 0.50 | 0.92062976 |
| 46 | 52.65 | 53.30 | 31.40 | 86.10 | 603.46 | 200.00 | 0.50 | 0.85014404 |
| 47 | 52.75 | 53.40 | 30.10 | 88.70 | 594.03 | 200.00 | 0.50 | 0.86363839 |
| 48 | 52.75 | 53.40 | 30.10 | 88.70 | 594.03 | 200.00 | 0.50 | 0.86363839 |
| 49 | 35.65 | 35.70 | 31.40 | 67.70 | 716.604 | 100.00 | 0.4167 | 0.72916838 |
| 50 | 35.95 | 36.10 | 31.80 | 67.40 | 707.175 | 100.00 | 0.4167 | 0.73889062 |
| 51 | 37.60 | 37.10 | 32.70 | 69.10 | 726.033 | 100.00 | 0.4167 | 0.78512581 |
| 52 | 37.60 | 37.20 | 32.20 | 70.20 | 719.747 | 100.00 | 0.4167 | 0.79198281 |
| 53 | 37.60 | 37.20 | 32.20 | 70.20 | 719.747 | 100.00 | 0.4167 | 0.79198281 |
| 54 | 37.65 | 37.60 | 33.90 | 80.30 | 744.891 | 100.00 | 0.4167 | 0.82901998 |
| 55 | 38.45 | 38.30 | 32.00 | 78.70 | 744.891 | 100.00 | 0.4167 | 0.82901998 |
| 56 | 38.75 | 38.20 | 35.10 | 81.30 | 744.891 | 100.00 | 0.4167 | 0.82901998 |
| 57 | 39.00 | 39.10 | 33.50 | 85.00 | 748.034 | 100.00 | 0.4167 | 0.88903952 |
| 58 | 39.10 | 39.10 | 35.20 | 83.20 | 751.177 | 100.00 | 0.4167 | 0.88531969 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 3. ข้อมูลชุดที่ 3 (ต่อ)**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง (°C) | อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อที่ไปเป็นหลอดสุญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่สูญเสียของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 59 | 39.60 | 39.30 | 32.90 | 83.40 | 741.748 | 100.00 | 0.4167 | 0.89657375 |
| 60 | 39.60 | 39.30 | 32.90 | 83.40 | 741.748 | 100.00 | 0.4167 | 0.89657375 |
| 61 | 42.55 | 42.20 | 33.60 | 83.30 | 754.320 | 100.00 | 0.4167 | 0.94460449 |
| 62 | 43.90 | 43.20 | 34.00 | 83.40 | 779.464 | 100.00 | 0.4167 | 0.97507560 |
| 63 | 43.90 | 43.30 | 33.00 | 82.70 | 773.178 | 100.00 | 0.4167 | 0.98300305 |
| 64 | 43.90 | 43.30 | 33.00 | 82.70 | 773.178 | 100.00 | 0.4167 | 0.98300305 |
| 65 | 44.40 | 44.40 | 32.80 | 84.20 | 801.465 | 100.00 | 0.4167 | 0.94830882 |
| 66 | 45.00 | 44.50 | 35.40 | 81.60 | 779.464 | 100.00 | 0.4167 | 0.97507560 |
| 67 | 45.60 | 45.30 | 32.30 | 82.20 | 792.036 | 100.00 | 0.4167 | 0.95959821 |
| 68 | 46.00 | 45.50 | 33.00 | 86.00 | 795.179 | 100.00 | 0.4167 | 0.95580534 |
| 69 | 46.20 | 45.60 | 34.50 | 89.00 | 792.036 | 100.00 | 0.4167 | 0.95959821 |
| 70 | 45.90 | 45.50 | 35.80 | 84.20 | 795.179 | 100.00 | 0.4167 | 0.95580534 |
| 71 | 46.00 | 45.60 | 34.30 | 84.60 | 832.895 | 100.00 | 0.4167 | 0.91252358 |
| 72 | 46.60 | 46.70 | 32.60 | 84.60 | 839.181 | 100.00 | 0.4167 | 0.90568820 |
| 73 | 47.20 | 47.00 | 32.60 | 85.90 | 845.467 | 100.00 | 0.4167 | 0.89895446 |
| 74 | 47.20 | 47.20 | 34.50 | 87.00 | 848.610 | 100.00 | 0.4167 | 0.89562500 |
| 75 | 48.00 | 47.50 | 32.60 | 85.20 | 870.611 | 100.00 | 0.4167 | 0.87299188 |
| 76 | 47.40 | 47.40 | 33.80 | 82.70 | 895.755 | 100.00 | 0.4167 | 0.84848684 |
| 77 | 47.60 | 47.90 | 34.50 | 82.10 | 886.326 | 100.00 | 0.4167 | 0.85751330 |
| 78 | 48.30 | 48.40 | 33.90 | 84.30 | 933.471 | 100.00 | 0.4167 | 0.81420454 |
| 79 | 48.45 | 48.40 | 36.40 | 84.30 | 952.329 | 100.00 | 0.4167 | 0.74820158 |
| 80 | 48.75 | 49.30 | 32.20 | 86.20 | 889.469 | 100.00 | 0.4167 | 0.80107801 |
| 81 | 49.20 | 49.50 | 33.80 | 86.00 | 810.894 | 100.00 | 0.4167 | 0.82012173 |
| 82 | 50.10 | 50.60 | 33.30 | 84.30 | 770.035 | 100.00 | 0.4167 | 0.86363839 |
| 83 | 50.10 | 50.60 | 33.30 | 84.30 | 770.035 | 100.00 | 0.4167 | 0.86363839 |
| 84 | 50.45 | 50.60 | 35.50 | 84.20 | 776.321 | 100.00 | 0.4167 | 0.79545641 |
| 85 | 50.25 | 50.90 | 35.20 | 85.90 | 735.462 | 100.00 | 0.4167 | 0.83964844 |
| 86 | 50.45 | 51.00 | 35.40 | 86.00 | 732.319 | 100.00 | 0.4167 | 0.84325208 |
| 87 | 51.15 | 51.20 | 35.60 | 83.60 | 722.890 | 100.00 | 0.4167 | 0.85425102 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 3. ข้อมูลชุดที่ 3 (ต่อ)**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง (°C) | อุณหภูมิของ สภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อสีทาไปป์ไม่ หลอดรูญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่ฐูดูเสียของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 88 | 51.15 | 51.20 | 35.60 | 83.60 | 722.890 | 100.00 | 0.4167 | 0.85425102 |
| 89 | 51.15 | 51.20 | 35.40 | 86.20 | 707.175 | 100.00 | 0.4167 | 0.87323437 |
| 90 | 51.90 | 52.30 | 34.40 | 85.10 | 697.746 | 100.00 | 0.4167 | 0.81695524 |
| 91 | 52.00 | 52.40 | 34.70 | 83.60 | 716.604 | 100.00 | 0.4167 | 0.79545641 |
| 92 | 52.40 | 52.70 | 34.50 | 86.20 | 682.031 | 100.00 | 0.4167 | 0.83577909 |
| 93 | 52.95 | 53.20 | 37.30 | 87.30 | 710.318 | 100.00 | 0.4167 | 0.73562120 |
| 94 | 52.95 | 53.20 | 36.10 | 87.00 | 675.745 | 100.00 | 0.4167 | 0.77325763 |
| 95 | 52.85 | 53.40 | 32.70 | 86.20 | 644.315 | 100.00 | 0.4167 | 0.81097751 |
| 96 | 53.20 | 53.70 | 32.60 | 86.00 | 634.886 | 100.00 | 0.4167 | 0.74820158 |
| 97 | 38.95 | 38.90 | 28.20 | 81.60 | 675.745 | 100.00 | 0.3333 | 0.61860610 |
| 98 | 41.20 | 40.60 | 29.10 | 83.10 | 700.889 | 100.00 | 0.3333 | 0.75907231 |
| 99 | 41.70 | 41.40 | 30.00 | 83.40 | 722.890 | 100.00 | 0.3333 | 0.73597011 |
| 100 | 41.70 | 41.40 | 30.00 | 83.40 | 722.890 | 100.00 | 0.3333 | 0.73597011 |
| 101 | 42.25 | 41.80 | 31.20 | 83.60 | 735.462 | 100.00 | 0.3333 | 0.77506010 |
| 102 | 42.35 | 41.70 | 30.90 | 81.00 | 738.605 | 100.00 | 0.3333 | 0.77176197 |
| 103 | 43.30 | 42.40 | 30.90 | 80.60 | 719.747 | 100.00 | 0.3333 | 0.84478166 |
| 104 | 43.30 | 42.50 | 30.20 | 79.40 | 732.319 | 100.00 | 0.3333 | 0.83027897 |
| 105 | 43.50 | 42.90 | 31.60 | 85.90 | 751.177 | 100.00 | 0.3333 | 0.80943515 |
| 106 | 44.00 | 43.20 | 31.60 | 84.50 | 766.892 | 100.00 | 0.3333 | 0.79284836 |
| 107 | 44.95 | 44.40 | 31.00 | 84.30 | 773.178 | 100.00 | 0.3333 | 0.83555259 |
| 108 | 44.95 | 44.40 | 31.00 | 84.30 | 773.178 | 100.00 | 0.3333 | 0.83555259 |
| 109 | 44.55 | 44.50 | 30.40 | 87.20 | 766.892 | 100.00 | 0.3333 | 0.84240138 |
| 110 | 44.85 | 45.00 | 31.20 | 85.50 | 744.891 | 100.00 | 0.3333 | 0.86728244 |
| 111 | 45.45 | 45.20 | 31.50 | 86.00 | 754.320 | 100.00 | 0.3333 | 0.85644141 |
| 112 | 45.60 | 45.50 | 31.70 | 85.10 | 782.607 | 100.00 | 0.3333 | 0.87404367 |
| 113 | 46.70 | 46.30 | 32.40 | 77.00 | 782.607 | 100.00 | 0.3333 | 0.87404367 |
| 114 | 46.90 | 46.60 | 31.10 | 86.80 | 779.464 | 100.00 | 0.3333 | 0.87756804 |
| 115 | 47.40 | 47.60 | 31.50 | 87.80 | 776.321 | 100.00 | 0.3333 | 0.88112095 |
| 116 | 47.80 | 47.90 | 30.50 | 81.10 | 770.035 | 100.00 | 0.3333 | 0.88831377 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 3. ข้อมูลชุดที่ 3 (ต่อ)**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง (°C) | อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อฮีทไปป์ในหลอดสูญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m²) | แรงดันที่สูญเสียของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 117 | 47.80 | 47.90 | 30.50 | 81.10 | 770.035 | 100.00 | 0.3333 | 0.88831377 |
| 118 | 47.40 | 47.90 | 31.20 | 86.10 | 738.605 | 100.00 | 0.3333 | 0.92611436 |
| 119 | 48.50 | 48.40 | 31.10 | 87.10 | 757.463 | 100.00 | 0.3333 | 0.90305757 |
| 120 | 49.00 | 48.60 | 33.00 | 86.50 | 766.892 | 100.00 | 0.3333 | 0.89195440 |
| 121 | 50.60 | 49.50 | 32.10 | 82.00 | 744.891 | 100.00 | 0.3333 | 0.91829905 |
| 122 | 50.40 | 50.40 | 31.20 | 83.90 | 770.035 | 100.00 | 0.3333 | 0.88831377 |
| 123 | 50.35 | 50.70 | 32.10 | 87.80 | 754.320 | 100.00 | 0.3333 | 0.85644141 |
| 124 | 50.45 | 50.70 | 32.10 | 87.80 | 760.606 | 100.00 | 0.3333 | 0.84936338 |
| 125 | 50.65 | 50.80 | 30.40 | 87.90 | 766.892 | 100.00 | 0.3333 | 0.84240138 |
| 126 | 51.65 | 51.40 | 31.30 | 87.70 | 785.750 | 100.00 | 0.3333 | 0.82218375 |
| 127 | 51.65 | 51.60 | 32.10 | 88.30 | 763.749 | 100.00 | 0.3333 | 0.84586805 |
| 128 | 51.85 | 51.60 | 30.40 | 88.00 | 744.891 | 100.00 | 0.3333 | 0.86728244 |
| 129 | 52.80 | 52.40 | 32.70 | 88.00 | 738.605 | 100.00 | 0.3333 | 0.82321277 |
| 130 | 52.60 | 52.20 | 31.80 | 88.20 | 716.604 | 100.00 | 0.3333 | 0.84848684 |
| 131 | 52.60 | 52.20 | 31.80 | 88.20 | 716.604 | 100.00 | 0.3333 | 0.84848684 |
| 132 | 54.50 | 53.90 | 32.70 | 88.10 | 716.604 | 100.00 | 0.3333 | 0.74242599 |
| 133 | 55.25 | 54.70 | 33.90 | 87.70 | 719.747 | 100.00 | 0.3333 | 0.68638510 |
| 134 | 55.25 | 54.70 | 33.90 | 87.70 | 719.747 | 100.00 | 0.3333 | 0.68638510 |
| 135 | 55.05 | 55.40 | 34.20 | 89.50 | 716.604 | 100.00 | 0.3333 | 0.68939556 |
| 136 | 56.90 | 56.60 | 33.00 | 88.70 | 691.460 | 100.00 | 0.3333 | 0.65950568 |
| 137 | 57.20 | 56.60 | 34.00 | 90.30 | 678.888 | 100.00 | 0.3333 | 0.67171875 |
| 138 | 57.40 | 57.00 | 33.70 | 89.90 | 672.602 | 100.00 | 0.3333 | 0.67799649 |
| 139 | 57.15 | 57.00 | 33.90 | 88.20 | 666.316 | 100.00 | 0.3333 | 0.62735996 |
| 140 | 57.55 | 57.30 | 32.00 | 88.60 | 647.458 | 100.00 | 0.3333 | 0.64563258 |
| 141 | 57.15 | 57.40 | 33.30 | 89.10 | 638.029 | 100.00 | 0.3333 | 0.65517395 |
| 142 | 57.15 | 57.30 | 33.00 | 81.90 | 650.601 | 100.00 | 0.3333 | 0.64251359 |
| 143 | 57.60 | 57.70 | 32.60 | 88.50 | 616.028 | 100.00 | 0.3333 | 0.61688457 |
| 144 | 57.80 | 57.80 | 31.90 | 89.10 | 612.885 | 100.00 | 0.3333 | 0.62004808 |
| 145 | 38.00 | 37.70 | 31.90 | 98.40 | 603.456 | 100.00 | 0.25 | 0.37784180 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 3. ข้อมูลชุดที่ 3 (ต่อ)**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในถัง (°C) | อุณหภูมิของ สภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อยักไปปืน หลอดสุญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่สูญเสียของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 146 | 38.10 | 37.80 | 29.20 | 105.70 | 606.599 | 100.00 | 0.25 | 0.37588407 |
| 147 | 38.75 | 38.40 | 31.30 | 115.70 | 628.600 | 150.00 | 0.25 | 0.40806914 |
| 148 | 38.95 | 38.50 | 30.30 | 120.60 | 634.886 | 150.00 | 0.25 | 0.40402885 |
| 149 | 39.30 | 38.80 | 30.80 | 113.30 | 663.173 | 150.00 | 0.25 | 0.42977266 |
| 150 | 39.50 | 39.00 | 30.30 | 108.90 | 685.174 | 150.00 | 0.25 | 0.41597262 |
| 151 | 39.50 | 39.00 | 30.30 | 108.90 | 685.174 | 150.00 | 0.25 | 0.41597262 |
| 152 | 39.60 | 39.10 | 32.80 | 124.60 | 682.031 | 150.00 | 0.25 | 0.41788954 |
| 153 | 40.15 | 39.70 | 28.80 | 135.20 | 641.172 | 100.00 | 0.25 | 0.48897174 |
| 154 | 43.35 | 42.70 | 30.00 | 104.30 | 691.460 | 100.00 | 0.25 | 0.61828658 |
| 155 | 43.25 | 42.60 | 30.10 | 103.80 | 672.602 | 100.00 | 0.25 | 0.63562171 |
| 156 | 43.35 | 42.60 | 31.60 | 102.30 | 678.888 | 100.00 | 0.25 | 0.62973633 |
| 157 | 43.55 | 42.80 | 29.90 | 101.30 | 688.317 | 100.00 | 0.25 | 0.62110980 |
| 158 | 43.55 | 42.80 | 30.00 | 100.30 | 700.889 | 100.00 | 0.25 | 0.60996882 |
| 159 | 44.60 | 43.90 | 32.80 | 98.80 | 697.746 | 150.00 | 0.25 | 0.65356419 |
| 160 | 45.85 | 45.00 | 30.20 | 98.80 | 710.318 | 100.00 | 0.25 | 0.68212147 |
| 161 | 46.20 | 45.40 | 30.20 | 99.00 | 748.034 | 100.00 | 0.25 | 0.68583049 |
| 162 | 46.60 | 45.70 | 30.20 | 99.30 | 751.177 | 100.00 | 0.25 | 0.68296090 |
| 163 | 46.60 | 45.80 | 31.00 | 99.50 | 770.035 | 100.00 | 0.25 | 0.66623533 |
| 164 | 46.80 | 46.00 | 31.10 | 98.80 | 776.321 | 100.00 | 0.25 | 0.66084071 |
| 165 | 47.40 | 46.50 | 32.10 | 98.20 | 839.181 | 100.00 | 0.25 | 0.61133954 |
| 166 | 47.40 | 46.50 | 32.10 | 98.20 | 839.181 | 100.00 | 0.25 | 0.61133954 |
| 167 | 47.40 | 47.00 | 30.30 | 86.50 | 892.612 | 100.00 | 0.25 | 0.57474527 |
| 168 | 47.70 | 46.80 | 29.60 | 86.40 | 898.898 | 150.00 | 0.25 | 0.57072607 |
| 169 | 48.00 | 47.20 | 30.20 | 90.40 | 880.040 | 150.00 | 0.25 | 0.58295591 |
| 170 | 48.85 | 48.10 | 32.60 | 96.80 | 908.327 | 150.00 | 0.25 | 0.53342371 |
| 171 | 50.05 | 49.30 | 33.10 | 98.80 | 807.751 | 150.00 | 0.25 | 0.59984223 |
| 172 | 50.30 | 49.60 | 31.80 | 98.50 | 785.750 | 100.00 | 0.25 | 0.58036500 |
| 173 | 50.10 | 49.30 | 32.30 | 97.40 | 770.035 | 100.00 | 0.25 | 0.59220918 |
| 174 | 50.20 | 49.30 | 31.80 | 98.00 | 760.606 | 150.00 | 0.25 | 0.59955062 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ผค 3. ข้อมูลชุดที่ 3 (ต่อ)**

| ลำดับที่ | อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่แผง(°C) | อุณหภูมิของน้ำภายในอ่าง (°C) | อุณหภูมิของ สภาพแวดล้อม (°C) | อุณหภูมิของท่อสีดำไปปิ๊นหลอดสุญญากาศ (°C) | ความเข้มแสงอาทิตย์ ($W/m^2$) | แรงดันที่ผู้ผลิตของน้ำ (kPa) | อัตราการไหลของน้ำ (kg/s) | ประสิทธิภาพของแผง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 175 | 50.40 | 49.60 | 32.20 | 97.70 | 738.605 | 100.00 | 0.25 | 0.61740957 |
| 176 | 50.75 | 50.10 | 30.60 | 94.30 | 722.890 | 150.00 | 0.25 | 0.59140455 |
| 177 | 51.50 | 51.20 | 30.10 | 89.70 | 666.316 | 100.00 | 0.25 | 0.59884360 |
| 178 | 51.60 | 51.50 | 30.20 | 89.00 | 660.030 | 100.00 | 0.25 | 0.60454687 |
| 179 | 51.90 | 51.60 | 30.70 | 89.10 | 707.175 | 100.00 | 0.25 | 0.56424375 |
| 180 | 51.70 | 51.20 | 32.00 | 90.60 | 688.317 | 100.00 | 0.25 | 0.57970248 |
| 181 | 52.45 | 51.80 | 31.50 | 93.80 | 656.887 | 100.00 | 0.25 | 0.56405091 |
| 182 | 52.35 | 51.80 | 32.60 | 95.00 | 656.887 | 100.00 | 0.25 | 0.56405091 |
| 183 | 52.35 | 51.70 | 29.50 | 95.40 | 647.458 | 100.00 | 0.25 | 0.57226525 |
| 184 | 52.50 | 52.20 | 31.80 | 96.10 | 631.743 | 100.00 | 0.25 | 0.54138526 |
| 185 | 52.60 | 52.00 | 31.00 | 93.70 | 628.600 | 100.00 | 0.25 | 0.54409219 |
| 186 | 52.65 | 52.20 | 32.40 | 92.40 | 612.885 | 100.00 | 0.25 | 0.51153966 |
| 187 | 52.75 | 52.30 | 29.70 | 91.10 | 609.742 | 100.00 | 0.25 | 0.51417647 |
| 188 | 52.55 | 52.60 | 30.70 | 88.80 | 600.313 | 100.00 | 0.25 | 0.52225254 |
| 189 | 53.10 | 53.00 | 31.60 | 90.90 | 625.457 | 150.00 | 0.25 | 0.45568860 |
| 190 | 54.15 | 53.80 | 34.40 | 96.30 | 606.599 | 150.00 | 0.25 | 0.42286958 |
| 191 | 54.15 | 53.80 | 34.40 | 96.30 | 606.599 | 150.00 | 0.25 | 0.42286958 |
| 192 | 53.95 | 54.00 | 31.20 | 96.40 | 590.884 | 100.00 | 0.25 | 0.43411611 |

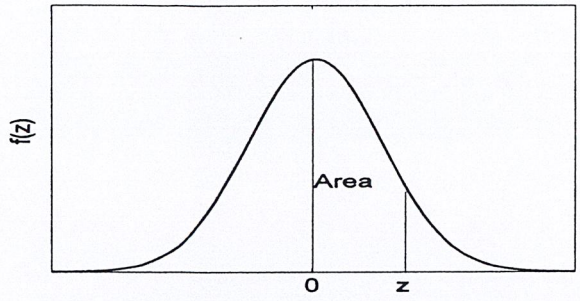
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ง.

## ตารางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

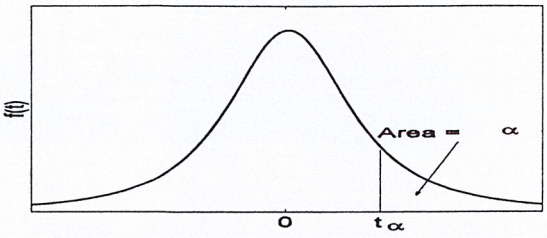
## ตาราง ผง 1. การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติมาตรฐาน




| z | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **0.0** | 0.0000 | 0.0040 | 0.0080 | 0.0120 | 0.0160 | 0.0199 | 0.0239 | 0.0279 | 0.0319 | 0.0359 |
| **0.1** | 0.0398 | 0.0438 | 0.0478 | 0.0517 | 0.0557 | 0.0596 | 0.0636 | 0.0675 | 0.0714 | 0.0753 |
| **0.2** | 0.0793 | 0.0832 | 0.0871 | 0.0910 | 0.0948 | 0.0987 | 0.1026 | 0.1064 | 0.1103 | 0.1141 |
| **0.3** | 0.1179 | 0.1217 | 0.1255 | 0.1293 | 0.1331 | 0.1368 | 0.1406 | 0.1443 | 0.1480 | 0.1517 |
| **0.4** | 0.1554 | 0.1591 | 0.1628 | 0.1664 | 0.1700 | 0.1736 | 0.1772 | 0.1808 | 0.1844 | 0.1879 |
| **0.5** | 0.1915 | 0.1950 | 0.1985 | 0.2019 | 0.2054 | 0.2088 | 0.2123 | 0.2157 | 0.2190 | 0.2224 |
| **0.6** | 0.2257 | 0.2291 | 0.2324 | 0.2357 | 0.2389 | 0.2422 | 0.2454 | 0.2486 | 0.2517 | 0.2549 |
| **0.7** | 0.2580 | 0.2611 | 0.2642 | 0.2673 | 0.2704 | 0.2734 | 0.2764 | 0.2794 | 0.2823 | 0.2852 |
| **0.8** | 0.2881 | 0.2910 | 0.2939 | 0.2967 | 0.2995 | 0.3023 | 0.3051 | 0.3078 | 0.3106 | 0.3133 |
| **0.9** | 0.3159 | 0.3186 | 0.3212 | 0.3238 | 0.3264 | 0.3289 | 0.3315 | 0.3340 | 0.3365 | 0.3389 |
| **1.0** | 0.3413 | 0.3438 | 0.3461 | 0.3485 | 0.3508 | 0.3531 | 0.3554 | 0.3577 | 0.3599 | 0.3621 |
| **1.1** | 0.3643 | 0.3665 | 0.3686 | 0.3708 | 0.3729 | 0.3749 | 0.3770 | 0.3790 | 0.3810 | 0.3830 |
| **1.2** | 0.3849 | 0.3869 | 0.3888 | 0.3907 | 0.3925 | 0.3944 | 0.3962 | 0.3980 | 0.3997 | 0.4015 |
| **1.3** | 0.4032 | 0.4049 | 0.4066 | 0.4082 | 0.4099 | 0.4115 | 0.4131 | 0.4147 | 0.4162 | 0.4177 |
| **1.4** | 0.4192 | 0.4207 | 0.4222 | 0.4236 | 0.4251 | 0.4265 | 0.4279 | 0.4292 | 0.4306 | 0.4319 |
| **1.5** | 0.4332 | 0.4345 | 0.4357 | 0.4370 | 0.4382 | 0.4394 | 0.4406 | 0.4418 | 0.4429 | 0.4441 |
| **1.6** | 0.4452 | 0.4463 | 0.4474 | 0.4484 | 0.4495 | 0.4505 | 0.4515 | 0.4525 | 0.4535 | 0.4545 |
| **1.7** | 0.4554 | 0.4564 | 0.4573 | 0.4582 | 0.4591 | 0.4599 | 0.4608 | 0.4616 | 0.4625 | 0.4633 |
| **1.8** | 0.4641 | 0.4649 | 0.4656 | 0.4664 | 0.4671 | 0.4678 | 0.4686 | 0.4693 | 0.4699 | 0.4706 |
| **1.9** | 0.4713 | 0.4719 | 0.4726 | 0.4732 | 0.4738 | 0.4744 | 0.4750 | 0.4756 | 0.4761 | 0.4767 |
| **2.0** | 0.4772 | 0.4778 | 0.4783 | 0.4788 | 0.4793 | 0.4798 | 0.4803 | 0.4808 | 0.4812 | 0.4817 |
| **2.1** | 0.4821 | 0.4826 | 0.4830 | 0.4834 | 0.4838 | 0.4842 | 0.4846 | 0.4850 | 0.4854 | 0.4857 |
| **2.2** | 0.4861 | 0.4864 | 0.4868 | 0.4871 | 0.4875 | 0.4878 | 0.4881 | 0.4884 | 0.4887 | 0.4890 |
| **2.3** | 0.4893 | 0.4896 | 0.4898 | 0.4901 | 0.4904 | 0.4906 | 0.4909 | 0.4911 | 0.4913 | 0.4916 |
| **2.4** | 0.4918 | 0.4920 | 0.4922 | 0.4925 | 0.4927 | 0.4929 | 0.4931 | 0.4932 | 0.4934 | 0.4936 |
| **2.5** | 0.4938 | 0.4940 | 0.4941 | 0.4943 | 0.4945 | 0.4946 | 0.4948 | 0.4949 | 0.4951 | 0.4952 |
| **2.6** | 0.4953 | 0.4955 | 0.4956 | 0.4957 | 0.4959 | 0.4960 | 0.4961 | 0.4962 | 0.4963 | 0.4964 |
| **2.7** | 0.4965 | 0.4966 | 0.4967 | 0.4968 | 0.4969 | 0.4970 | 0.4971 | 0.4972 | 0.4973 | 0.4974 |
| **2.8** | 0.4974 | 0.4975 | 0.4976 | 0.4977 | 0.4977 | 0.4978 | 0.4979 | 0.4979 | 0.4980 | 0.4981 |
| **2.9** | 0.4981 | 0.4982 | 0.4982 | 0.4983 | 0.4984 | 0.4984 | 0.4985 | 0.4985 | 0.4986 | 0.4986 |
| **3.0** | 0.4987 | 0.4987 | 0.4987 | 0.4988 | 0.4988 | 0.4989 | 0.4989 | 0.4989 | 0.4990 | 0.4990 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

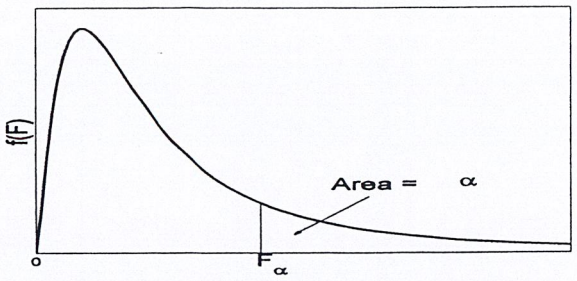
## ตาราง ผง 2. ค่าวิกฤตการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบที




| d.f. | $\alpha$ | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **0.100** | **0.050** | **0.025** | **0.010** | **0.005** | **0.001** | **0.0005** |
| **1** | 3.0777 | 6.3138 | 12.7062 | 31.8205 | 63.6567 | 318.3088 | 636.6193 |
| **2** | 1.8856 | 2.9200 | 4.3027 | 6.9646 | 9.9248 | 22.3271 | 31.5991 |
| **3** | 1.6377 | 2.3534 | 3.1824 | 4.5407 | 5.8409 | 10.2145 | 12.9240 |
| **4** | 1.5332 | 2.1318 | 2.7764 | 3.7469 | 4.6041 | 7.1732 | 8.6103 |
| **5** | 1.4759 | 2.0150 | 2.5706 | 3.3649 | 4.0321 | 5.8934 | 6.8688 |
| **6** | 1.4398 | 1.9432 | 2.4469 | 3.1427 | 3.7074 | 5.2076 | 5.9588 |
| **7** | 1.4149 | 1.8946 | 2.3646 | 2.9980 | 3.4995 | 4.7853 | 5.4079 |
| **8** | 1.3968 | 1.8595 | 2.3060 | 2.8965 | 3.3554 | 4.5008 | 5.0413 |
| **9** | 1.3830 | 1.8331 | 2.2622 | 2.8214 | 3.2498 | 4.2968 | 4.7809 |
| **10** | 1.3722 | 1.8125 | 2.2281 | 2.7638 | 3.1693 | 4.1437 | 4.5869 |
| **11** | 1.3634 | 1.7959 | 2.2010 | 2.7181 | 3.1058 | 4.0247 | 4.4370 |
| **12** | 1.3562 | 1.7823 | 2.1788 | 2.6810 | 3.0545 | 3.9296 | 4.3178 |
| **13** | 1.3502 | 1.7709 | 2.1604 | 2.6503 | 3.0123 | 3.8520 | 4.2208 |
| **14** | 1.3450 | 1.7613 | 2.1448 | 2.6245 | 2.9768 | 3.7874 | 4.1405 |
| **15** | 1.3406 | 1.7531 | 2.1314 | 2.6025 | 2.9467 | 3.7328 | 4.0728 |
| **16** | 1.3368 | 1.7459 | 2.1199 | 2.5835 | 2.9208 | 3.6862 | 4.0150 |
| **17** | 1.3334 | 1.7396 | 2.1098 | 2.5669 | 2.8982 | 3.6458 | 3.9651 |
| **18** | 1.3304 | 1.7341 | 2.1009 | 2.5524 | 2.8784 | 3.6105 | 3.9216 |
| **19** | 1.3277 | 1.7291 | 2.0930 | 2.5395 | 2.8609 | 3.5794 | 3.8834 |
| **20** | 1.3253 | 1.7247 | 2.0860 | 2.5280 | 2.8453 | 3.5518 | 3.8495 |
| **21** | 1.3232 | 1.7207 | 2.0796 | 2.5176 | 2.8314 | 3.5272 | 3.8193 |
| **22** | 1.3212 | 1.7171 | 2.0739 | 2.5083 | 2.8188 | 3.5050 | 3.7921 |
| **23** | 1.3195 | 1.7139 | 2.0687 | 2.4999 | 2.8073 | 3.4850 | 3.7676 |
| **24** | 1.3178 | 1.7109 | 2.0639 | 2.4922 | 2.7969 | 3.4668 | 3.7454 |
| **25** | 1.3163 | 1.7081 | 2.0595 | 2.4851 | 2.7874 | 3.4502 | 3.7251 |
| **26** | 1.3150 | 1.7056 | 2.0555 | 2.4786 | 2.7787 | 3.4350 | 3.7066 |
| **27** | 1.3137 | 1.7033 | 2.0518 | 2.4727 | 2.7707 | 3.4210 | 3.6896 |
| **28** | 1.3125 | 1.7011 | 2.0484 | 2.4671 | 2.7633 | 3.4082 | 3.6739 |
| **29** | 1.3114 | 1.6991 | 2.0452 | 2.4620 | 2.7564 | 3.3962 | 3.6594 |
| **30** | 1.3104 | 1.6973 | 2.0423 | 2.4573 | 2.7500 | 3.3852 | 3.6460 |
| **40** | 1.3031 | 1.6839 | 2.0211 | 2.4233 | 2.7045 | 3.3069 | 3.5510 |
| **60** | 1.2958 | 1.6706 | 2.0003 | 2.3901 | 2.6603 | 3.2317 | 3.4602 |
| **120** | 1.2886 | 1.6577 | 1.9799 | 2.3578 | 2.6174 | 3.1595 | 3.3735 |
| **∞** | 1.2816 | 1.6449 | 1.9600 | 2.3263 | 2.5758 | 3.0902 | 3.2905 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

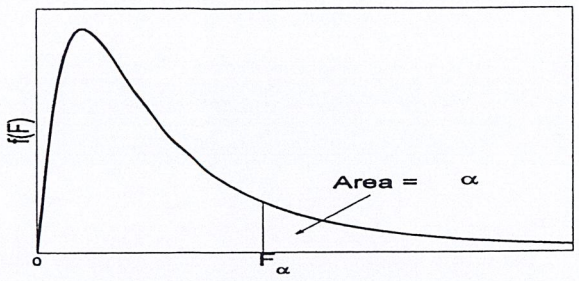
## ตาราง ผง 3. ค่าวิกฤตการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอฟ ที่ $\alpha = 0.10$




| v2 | v1 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 39.8635 | 49.5000 | 53.5932 | 55.8330 | 57.2401 | 58.2044 | 58.9060 | 59.4390 | 59.8576 |
| 2 | 8.5263 | 9.0000 | 9.1618 | 9.2434 | 9.2926 | 9.3255 | 9.3491 | 9.3668 | 9.3805 |
| 3 | 5.5383 | 5.4624 | 5.3908 | 5.3426 | 5.3092 | 5.2847 | 5.2662 | 5.2517 | 5.2400 |
| 4 | 4.5448 | 4.3246 | 4.1909 | 4.1072 | 4.0506 | 4.0097 | 3.9790 | 3.9549 | 3.9357 |
| 5 | 4.0604 | 3.7797 | 3.6195 | 3.5202 | 3.4530 | 3.4045 | 3.3679 | 3.3393 | 3.3163 |
| 6 | 3.7759 | 3.4633 | 3.2888 | 3.1808 | 3.1075 | 3.0546 | 3.0145 | 2.9830 | 2.9577 |
| 7 | 3.5894 | 3.2574 | 3.0741 | 2.9605 | 2.8833 | 2.8274 | 2.7849 | 2.7516 | 2.7247 |
| 8 | 3.4579 | 3.1131 | 2.9238 | 2.8064 | 2.7264 | 2.6683 | 2.6241 | 2.5893 | 2.5612 |
| 9 | 3.3603 | 3.0065 | 2.8129 | 2.6927 | 2.6106 | 2.5509 | 2.5053 | 2.4694 | 2.4403 |
| 10 | 3.2850 | 2.9245 | 2.7277 | 2.6053 | 2.5216 | 2.4606 | 2.4140 | 2.3772 | 2.3473 |
| 11 | 3.2252 | 2.8595 | 2.6602 | 2.5362 | 2.4512 | 2.3891 | 2.3416 | 2.3040 | 2.2735 |
| 12 | 3.1765 | 2.8068 | 2.6055 | 2.4801 | 2.3940 | 2.3310 | 2.2828 | 2.2446 | 2.2135 |
| 13 | 3.1362 | 2.7632 | 2.5603 | 2.4337 | 2.3467 | 2.2830 | 2.2341 | 2.1953 | 2.1638 |
| 14 | 3.1022 | 2.7265 | 2.5222 | 2.3947 | 2.3069 | 2.2426 | 2.1931 | 2.1539 | 2.1220 |
| 15 | 3.0732 | 2.6952 | 2.4898 | 2.3614 | 2.2730 | 2.2081 | 2.1582 | 2.1185 | 2.0862 |
| 16 | 3.0481 | 2.6682 | 2.4618 | 2.3327 | 2.2438 | 2.1783 | 2.1280 | 2.0880 | 2.0553 |
| 17 | 3.0262 | 2.6446 | 2.4374 | 2.3077 | 2.2183 | 2.1524 | 2.1017 | 2.0613 | 2.0284 |
| 18 | 3.0070 | 2.6239 | 2.4160 | 2.2858 | 2.1958 | 2.1296 | 2.0785 | 2.0379 | 2.0047 |
| 19 | 2.9899 | 2.6056 | 2.3970 | 2.2663 | 2.1760 | 2.1094 | 2.0580 | 2.0171 | 1.9836 |
| 20 | 2.9747 | 2.5893 | 2.3801 | 2.2489 | 2.1582 | 2.0913 | 2.0397 | 1.9985 | 1.9649 |
| 21 | 2.9610 | 2.5746 | 2.3649 | 2.2333 | 2.1423 | 2.0751 | 2.0233 | 1.9819 | 1.9480 |
| 22 | 2.9486 | 2.5613 | 2.3512 | 2.2193 | 2.1279 | 2.0605 | 2.0084 | 1.9668 | 1.9327 |
| 23 | 2.9374 | 2.5493 | 2.3387 | 2.2065 | 2.1149 | 2.0472 | 1.9949 | 1.9531 | 1.9189 |
| 24 | 2.9271 | 2.5383 | 2.3274 | 2.1949 | 2.1030 | 2.0351 | 1.9826 | 1.9407 | 1.9063 |
| 25 | 2.9177 | 2.5283 | 2.3170 | 2.1842 | 2.0922 | 2.0241 | 1.9714 | 1.9292 | 1.8947 |
| 26 | 2.9091 | 2.5191 | 2.3075 | 2.1745 | 2.0822 | 2.0139 | 1.9610 | 1.9188 | 1.8841 |
| 27 | 2.9012 | 2.5106 | 2.2987 | 2.1655 | 2.0730 | 2.0045 | 1.9515 | 1.9091 | 1.8743 |
| 28 | 2.8938 | 2.5028 | 2.2906 | 2.1571 | 2.0645 | 1.9959 | 1.9427 | 1.9001 | 1.8652 |
| 29 | 2.8870 | 2.4955 | 2.2831 | 2.1494 | 2.0566 | 1.9878 | 1.9345 | 1.8918 | 1.8568 |
| 30 | 2.8807 | 2.4887 | 2.2761 | 2.1422 | 2.0492 | 1.9803 | 1.9269 | 1.8841 | 1.8490 |
| 40 | 2.8354 | 2.4404 | 2.2261 | 2.0910 | 1.9968 | 1.9269 | 1.8725 | 1.8289 | 1.7929 |
| 60 | 2.7911 | 2.3933 | 2.1774 | 2.0410 | 1.9457 | 1.8747 | 1.8194 | 1.7748 | 1.7380 |
| 120 | 2.7478 | 2.3473 | 2.1300 | 1.9923 | 1.8959 | 1.8238 | 1.7675 | 1.7220 | 1.6842 |
| ∞ | 2.7055 | 2.3026 | 2.0838 | 1.9449 | 1.8473 | 1.7741 | 1.7167 | 1.6702 | 1.6315 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

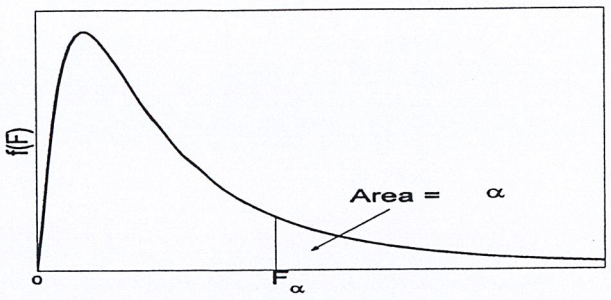
**ตาราง ผง 3. ค่าวิกฤตการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอฟ ที่ $\alpha = 0.10$ (ต่อ)**




| v2 | v1 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10 | 12 | 15 | 20 | 24 | 30 | 40 | 60 | 120 | ∞ |
| 1 | 60.1950 | 60.7052 | 61.2203 | 61.7403 | 62.0020 | 62.2650 | 62.5291 | 62.7943 | 63.0606 | 63.3281 |
| 2 | 9.3916 | 9.4081 | 9.4247 | 9.4413 | 9.4496 | 9.4579 | 9.4662 | 9.4746 | 9.4829 | 9.4912 |
| 3 | 5.2304 | 5.2156 | 5.2003 | 5.1845 | 5.1764 | 5.1681 | 5.1597 | 5.1512 | 5.1425 | 5.1337 |
| 4 | 3.9199 | 3.8955 | 3.8704 | 3.8443 | 3.8310 | 3.8174 | 3.8036 | 3.7896 | 3.7753 | 3.7607 |
| 5 | 3.2974 | 3.2682 | 3.2380 | 3.2067 | 3.1905 | 3.1741 | 3.1573 | 3.1402 | 3.1228 | 3.1050 |
| 6 | 2.9369 | 2.9047 | 2.8712 | 2.8363 | 2.8183 | 2.8000 | 2.7812 | 2.7620 | 2.7423 | 2.7222 |
| 7 | 2.7025 | 2.6681 | 2.6322 | 2.5947 | 2.5753 | 2.5555 | 2.5351 | 2.5142 | 2.4928 | 2.4708 |
| 8 | 2.5380 | 2.5020 | 2.4642 | 2.4246 | 2.4041 | 2.3830 | 2.3614 | 2.3391 | 2.3162 | 2.2926 |
| 9 | 2.4163 | 2.3789 | 2.3396 | 2.2983 | 2.2768 | 2.2547 | 2.2320 | 2.2085 | 2.1843 | 2.1592 |
| 10 | 2.3226 | 2.2841 | 2.2435 | 2.2007 | 2.1784 | 2.1554 | 2.1317 | 2.1072 | 2.0818 | 2.0554 |
| 11 | 2.2482 | 2.2087 | 2.1671 | 2.1230 | 2.1000 | 2.0762 | 2.0516 | 2.0261 | 1.9997 | 1.9721 |
| 12 | 2.1878 | 2.1474 | 2.1049 | 2.0597 | 2.0360 | 2.0115 | 1.9861 | 1.9597 | 1.9323 | 1.9036 |
| 13 | 2.1376 | 2.0966 | 2.0532 | 2.0070 | 1.9827 | 1.9576 | 1.9315 | 1.9043 | 1.8759 | 1.8462 |
| 14 | 2.0954 | 2.0537 | 2.0095 | 1.9625 | 1.9377 | 1.9119 | 1.8852 | 1.8572 | 1.8280 | 1.7973 |
| 15 | 2.0593 | 2.0171 | 1.9722 | 1.9243 | 1.8990 | 1.8728 | 1.8454 | 1.8168 | 1.7867 | 1.7551 |
| 16 | 2.0281 | 1.9854 | 1.9399 | 1.8913 | 1.8656 | 1.8388 | 1.8108 | 1.7816 | 1.7507 | 1.7182 |
| 17 | 2.0009 | 1.9577 | 1.9117 | 1.8624 | 1.8362 | 1.8090 | 1.7805 | 1.7506 | 1.7191 | 1.6856 |
| 18 | 1.9770 | 1.9333 | 1.8868 | 1.8368 | 1.8103 | 1.7827 | 1.7537 | 1.7232 | 1.6910 | 1.6567 |
| 19 | 1.9557 | 1.9117 | 1.8647 | 1.8142 | 1.7873 | 1.7592 | 1.7298 | 1.6988 | 1.6659 | 1.6308 |
| 20 | 1.9367 | 1.8924 | 1.8449 | 1.7938 | 1.7667 | 1.7382 | 1.7083 | 1.6768 | 1.6433 | 1.6074 |
| 21 | 1.9197 | 1.8750 | 1.8271 | 1.7756 | 1.7481 | 1.7193 | 1.6890 | 1.6569 | 1.6228 | 1.5862 |
| 22 | 1.9043 | 1.8593 | 1.8111 | 1.7590 | 1.7312 | 1.7021 | 1.6714 | 1.6389 | 1.6041 | 1.5668 |
| 23 | 1.8903 | 1.8450 | 1.7964 | 1.7439 | 1.7159 | 1.6864 | 1.6554 | 1.6224 | 1.5871 | 1.5490 |
| 24 | 1.8775 | 1.8319 | 1.7831 | 1.7302 | 1.7019 | 1.6721 | 1.6407 | 1.6073 | 1.5715 | 1.5327 |
| 25 | 1.8658 | 1.8200 | 1.7708 | 1.7175 | 1.6890 | 1.6589 | 1.6272 | 1.5934 | 1.5570 | 1.5176 |
| 26 | 1.8550 | 1.8090 | 1.7596 | 1.7059 | 1.6771 | 1.6468 | 1.6147 | 1.5805 | 1.5437 | 1.5036 |
| 27 | 1.8451 | 1.7989 | 1.7492 | 1.6951 | 1.6662 | 1.6356 | 1.6032 | 1.5686 | 1.5313 | 1.4906 |
| 28 | 1.8359 | 1.7895 | 1.7395 | 1.6852 | 1.6560 | 1.6252 | 1.5925 | 1.5575 | 1.5198 | 1.4784 |
| 29 | 1.8274 | 1.7808 | 1.7306 | 1.6759 | 1.6465 | 1.6155 | 1.5825 | 1.5472 | 1.5090 | 1.4670 |
| 30 | 1.8195 | 1.7727 | 1.7223 | 1.6673 | 1.6377 | 1.6065 | 1.5732 | 1.5376 | 1.4989 | 1.4564 |
| 40 | 1.7627 | 1.7146 | 1.6624 | 1.6052 | 1.5741 | 1.5411 | 1.5056 | 1.4672 | 1.4248 | 1.3769 |
| 60 | 1.7070 | 1.6574 | 1.6034 | 1.5435 | 1.5107 | 1.4755 | 1.4373 | 1.3952 | 1.3476 | 1.2915 |
| 120 | 1.6524 | 1.6012 | 1.5450 | 1.4821 | 1.4472 | 1.4094 | 1.3676 | 1.3203 | 1.2646 | 1.1926 |
| ∞ | 1.5987 | 1.5458 | 1.4871 | 1.4206 | 1.3832 | 1.3419 | 1.2951 | 1.2400 | 1.1686 | 1.0000 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

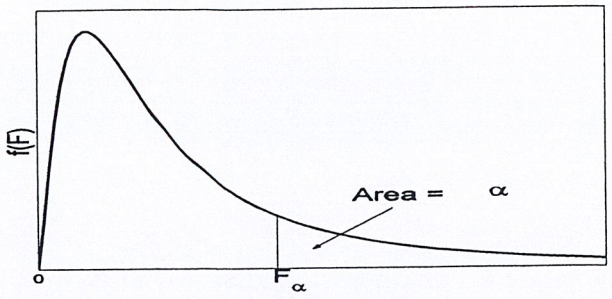
## ตาราง ผง 4. ค่าวิกฤตการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอฟ ที่ $\alpha = 0.05$




| v2 | v1 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 161.4476 | 199.5000 | 215.7074 | 224.5832 | 230.1619 | 233.9860 | 236.7684 | 238.8827 | 240.5433 |
| 2 | 18.5128 | 19.0000 | 19.1643 | 19.2468 | 19.2964 | 19.3295 | 19.3532 | 19.3710 | 19.3848 |
| 3 | 10.1280 | 9.5521 | 9.2766 | 9.1172 | 9.0135 | 8.9406 | 8.8867 | 8.8452 | 8.8123 |
| 4 | 7.7086 | 6.9443 | 6.5914 | 6.3882 | 6.2561 | 6.1631 | 6.0942 | 6.0410 | 5.9988 |
| 5 | 6.6079 | 5.7861 | 5.4095 | 5.1922 | 5.0503 | 4.9503 | 4.8759 | 4.8183 | 4.7725 |
| 6 | 5.9874 | 5.1433 | 4.7571 | 4.5337 | 4.3874 | 4.2839 | 4.2067 | 4.1468 | 4.0990 |
| 7 | 5.5914 | 4.7374 | 4.3468 | 4.1203 | 3.9715 | 3.8660 | 3.7870 | 3.7257 | 3.6767 |
| 8 | 5.3177 | 4.4590 | 4.0662 | 3.8379 | 3.6875 | 3.5806 | 3.5005 | 3.4381 | 3.3881 |
| 9 | 5.1174 | 4.2565 | 3.8625 | 3.6331 | 3.4817 | 3.3738 | 3.2927 | 3.2296 | 3.1789 |
| 10 | 4.9646 | 4.1028 | 3.7083 | 3.4780 | 3.3258 | 3.2172 | 3.1355 | 3.0717 | 3.0204 |
| 11 | 4.8443 | 3.9823 | 3.5874 | 3.3567 | 3.2039 | 3.0946 | 3.0123 | 2.9480 | 2.8962 |
| 12 | 4.7472 | 3.8853 | 3.4903 | 3.2592 | 3.1059 | 2.9961 | 2.9134 | 2.8486 | 2.7964 |
| 13 | 4.6672 | 3.8056 | 3.4105 | 3.1791 | 3.0254 | 2.9153 | 2.8321 | 2.7669 | 2.7144 |
| 14 | 4.6001 | 3.7389 | 3.3439 | 3.1122 | 2.9582 | 2.8477 | 2.7642 | 2.6987 | 2.6458 |
| 15 | 4.5431 | 3.6823 | 3.2874 | 3.0556 | 2.9013 | 2.7905 | 2.7066 | 2.6408 | 2.5876 |
| 16 | 4.4940 | 3.6337 | 3.2389 | 3.0069 | 2.8524 | 2.7413 | 2.6572 | 2.5911 | 2.5377 |
| 17 | 4.4513 | 3.5915 | 3.1968 | 2.9647 | 2.8100 | 2.6987 | 2.6143 | 2.5480 | 2.4943 |
| 18 | 4.4139 | 3.5546 | 3.1599 | 2.9277 | 2.7729 | 2.6613 | 2.5767 | 2.5102 | 2.4563 |
| 19 | 4.3807 | 3.5219 | 3.1274 | 2.8951 | 2.7401 | 2.6283 | 2.5435 | 2.4768 | 2.4227 |
| 20 | 4.3512 | 3.4928 | 3.0984 | 2.8661 | 2.7109 | 2.5990 | 2.5140 | 2.4471 | 2.3928 |
| 21 | 4.3248 | 3.4668 | 3.0725 | 2.8401 | 2.6848 | 2.5727 | 2.4876 | 2.4205 | 2.3660 |
| 22 | 4.3009 | 3.4434 | 3.0491 | 2.8167 | 2.6613 | 2.5491 | 2.4638 | 2.3965 | 2.3419 |
| 23 | 4.2793 | 3.4221 | 3.0280 | 2.7955 | 2.6400 | 2.5277 | 2.4422 | 2.3748 | 2.3201 |
| 24 | 4.2597 | 3.4028 | 3.0088 | 2.7763 | 2.6207 | 2.5082 | 2.4226 | 2.3551 | 2.3002 |
| 25 | 4.2417 | 3.3852 | 2.9912 | 2.7587 | 2.6030 | 2.4904 | 2.4047 | 2.3371 | 2.2821 |
| 26 | 4.2252 | 3.3690 | 2.9752 | 2.7426 | 2.5868 | 2.4741 | 2.3883 | 2.3205 | 2.2655 |
| 27 | 4.2100 | 3.3541 | 2.9604 | 2.7278 | 2.5719 | 2.4591 | 2.3732 | 2.3053 | 2.2501 |
| 28 | 4.1960 | 3.3404 | 2.9467 | 2.7141 | 2.5581 | 2.4453 | 2.3593 | 2.2913 | 2.2360 |
| 29 | 4.1830 | 3.3277 | 2.9340 | 2.7014 | 2.5454 | 2.4324 | 2.3463 | 2.2783 | 2.2229 |
| 30 | 4.1709 | 3.3158 | 2.9223 | 2.6896 | 2.5336 | 2.4205 | 2.3343 | 2.2662 | 2.2107 |
| 40 | 4.0847 | 3.2317 | 2.8387 | 2.6060 | 2.4495 | 2.3359 | 2.2490 | 2.1802 | 2.1240 |
| 60 | 4.0012 | 3.1504 | 2.7581 | 2.5252 | 2.3683 | 2.2541 | 2.1665 | 2.0970 | 2.0401 |
| 120 | 3.9201 | 3.0718 | 2.6802 | 2.4472 | 2.2899 | 2.1750 | 2.0868 | 2.0164 | 1.9588 |
| ∞ | 3.8415 | 2.9957 | 2.6049 | 2.3719 | 2.2141 | 2.0986 | 2.0096 | 1.9384 | 1.8799 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

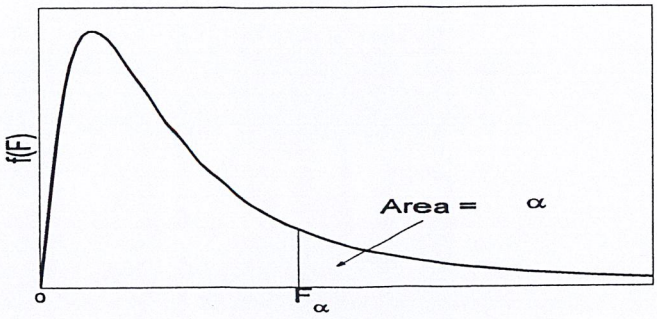
## ตาราง ผง 4. ค่าวิกฤตการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอฟ ที่ $\alpha = 0.05$ (ต่อ)




| v2 | v1 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10 | 12 | 15 | 20 | 24 | 30 | 40 | 60 | 120 | ∞ |
| 1 | 241.8818 | 243.9060 | 245.9499 | 248.0131 | 249.0518 | 250.0952 | 251.1432 | 252.1957 | 253.2529 | 254.3144 |
| 2 | 19.3959 | 19.4125 | 19.4291 | 19.4458 | 19.4541 | 19.4624 | 19.4707 | 19.4791 | 19.4874 | 19.4957 |
| 3 | 8.7855 | 8.7446 | 8.7029 | 8.6602 | 8.6385 | 8.6166 | 8.5944 | 8.5720 | 8.5494 | 8.5264 |
| 4 | 5.9644 | 5.9117 | 5.8578 | 5.8025 | 5.7744 | 5.7459 | 5.7170 | 5.6877 | 5.6581 | 5.6281 |
| 5 | 4.7351 | 4.6777 | 4.6188 | 4.5581 | 4.5272 | 4.4957 | 4.4638 | 4.4314 | 4.3985 | 4.3650 |
| 6 | 4.0600 | 3.9999 | 3.9381 | 3.8742 | 3.8415 | 3.8082 | 3.7743 | 3.7398 | 3.7047 | 3.6689 |
| 7 | 3.6365 | 3.5747 | 3.5107 | 3.4445 | 3.4105 | 3.3758 | 3.3404 | 3.3043 | 3.2674 | 3.2298 |
| 8 | 3.3472 | 3.2839 | 3.2184 | 3.1503 | 3.1152 | 3.0794 | 3.0428 | 3.0053 | 2.9669 | 2.9276 |
| 9 | 3.1373 | 3.0729 | 3.0061 | 2.9365 | 2.9005 | 2.8637 | 2.8259 | 2.7872 | 2.7475 | 2.7067 |
| 10 | 2.9782 | 2.9130 | 2.8450 | 2.7740 | 2.7372 | 2.6996 | 2.6609 | 2.6211 | 2.5801 | 2.5379 |
| 11 | 2.8536 | 2.7876 | 2.7186 | 2.6464 | 2.6090 | 2.5705 | 2.5309 | 2.4901 | 2.4480 | 2.4045 |
| 12 | 2.7534 | 2.6866 | 2.6169 | 2.5436 | 2.5055 | 2.4663 | 2.4259 | 2.3842 | 2.3410 | 2.2962 |
| 13 | 2.6710 | 2.6037 | 2.5331 | 2.4589 | 2.4202 | 2.3803 | 2.3392 | 2.2966 | 2.2524 | 2.2064 |
| 14 | 2.6022 | 2.5342 | 2.4630 | 2.3879 | 2.3487 | 2.3082 | 2.2664 | 2.2229 | 2.1778 | 2.1307 |
| 15 | 2.5437 | 2.4753 | 2.4034 | 2.3275 | 2.2878 | 2.2468 | 2.2043 | 2.1601 | 2.1141 | 2.0658 |
| 16 | 2.4935 | 2.4247 | 2.3522 | 2.2756 | 2.2354 | 2.1938 | 2.1507 | 2.1058 | 2.0589 | 2.0096 |
| 17 | 2.4499 | 2.3807 | 2.3077 | 2.2304 | 2.1898 | 2.1477 | 2.1040 | 2.0584 | 2.0107 | 1.9604 |
| 18 | 2.4117 | 2.3421 | 2.2686 | 2.1906 | 2.1497 | 2.1071 | 2.0629 | 2.0166 | 1.9681 | 1.9168 |
| 19 | 2.3779 | 2.3080 | 2.2341 | 2.1555 | 2.1141 | 2.0712 | 2.0264 | 1.9795 | 1.9302 | 1.8780 |
| 20 | 2.3479 | 2.2776 | 2.2033 | 2.1242 | 2.0825 | 2.0391 | 1.9938 | 1.9464 | 1.8963 | 1.8432 |
| 21 | 2.3210 | 2.2504 | 2.1757 | 2.0960 | 2.0540 | 2.0102 | 1.9645 | 1.9165 | 1.8657 | 1.8117 |
| 22 | 2.2967 | 2.2258 | 2.1508 | 2.0707 | 2.0283 | 1.9842 | 1.9380 | 1.8894 | 1.8380 | 1.7831 |
| 23 | 2.2747 | 2.2036 | 2.1282 | 2.0476 | 2.0050 | 1.9605 | 1.9139 | 1.8648 | 1.8128 | 1.7570 |
| 24 | 2.2547 | 2.1834 | 2.1077 | 2.0267 | 1.9838 | 1.9390 | 1.8920 | 1.8424 | 1.7896 | 1.7330 |
| 25 | 2.2365 | 2.1649 | 2.0889 | 2.0075 | 1.9643 | 1.9192 | 1.8718 | 1.8217 | 1.7684 | 1.7110 |
| 26 | 2.2197 | 2.1479 | 2.0716 | 1.9898 | 1.9464 | 1.9010 | 1.8533 | 1.8027 | 1.7488 | 1.6906 |
| 27 | 2.2043 | 2.1323 | 2.0558 | 1.9736 | 1.9299 | 1.8842 | 1.8361 | 1.7851 | 1.7306 | 1.6717 |
| 28 | 2.1900 | 2.1179 | 2.0411 | 1.9586 | 1.9147 | 1.8687 | 1.8203 | 1.7689 | 1.7138 | 1.6541 |
| 29 | 2.1768 | 2.1045 | 2.0275 | 1.9446 | 1.9005 | 1.8543 | 1.8055 | 1.7537 | 1.6981 | 1.6376 |
| 30 | 2.1646 | 2.0921 | 2.0148 | 1.9317 | 1.8874 | 1.8409 | 1.7918 | 1.7396 | 1.6835 | 1.6223 |
| 40 | 2.0772 | 2.0035 | 1.9245 | 1.8389 | 1.7929 | 1.7444 | 1.6928 | 1.6373 | 1.5766 | 1.5089 |
| 60 | 1.9926 | 1.9174 | 1.8364 | 1.7480 | 1.7001 | 1.6491 | 1.5943 | 1.5343 | 1.4673 | 1.3893 |
| 120 | 1.9105 | 1.8337 | 1.7505 | 1.6587 | 1.6084 | 1.5543 | 1.4952 | 1.4290 | 1.3519 | 1.2539 |
| ∞ | 1.8307 | 1.7522 | 1.6664 | 1.5705 | 1.5173 | 1.4591 | 1.3940 | 1.3180 | 1.2214 | 1.0000 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

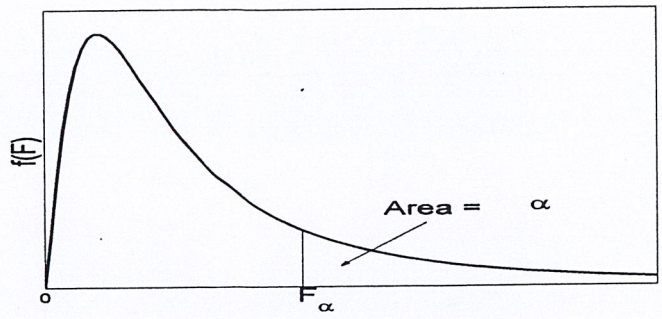
## ตาราง ผง 5. ค่าวิกฤตการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอฟ ที่ $\alpha = 0.025$




| v2 | v1 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 647.7890 | 799.5000 | 864.1630 | 899.5833 | 921.8479 | 937.1111 | 948.2169 | 956.6562 | 963.2846 |
| 2 | 38.5063 | 39.0000 | 39.1655 | 39.2484 | 39.2982 | 39.3315 | 39.3552 | 39.3730 | 39.3869 |
| 3 | 17.4434 | 16.0441 | 15.4392 | 15.1010 | 14.8848 | 14.7347 | 14.6244 | 14.5399 | 14.4731 |
| 4 | 12.2179 | 10.6491 | 9.9792 | 9.6045 | 9.3645 | 9.1973 | 9.0741 | 8.9796 | 8.9047 |
| 5 | 10.0070 | 8.4336 | 7.7636 | 7.3879 | 7.1464 | 6.9777 | 6.8531 | 6.7572 | 6.6811 |
| 6 | 8.8131 | 7.2599 | 6.5988 | 6.2272 | 5.9876 | 5.8198 | 5.6955 | 5.5996 | 5.5234 |
| 7 | 8.0727 | 6.5415 | 5.8898 | 5.5226 | 5.2852 | 5.1186 | 4.9949 | 4.8993 | 4.8232 |
| 8 | 7.5709 | 6.0595 | 5.4160 | 5.0526 | 4.8173 | 4.6517 | 4.5286 | 4.4333 | 4.3572 |
| 9 | 7.2093 | 5.7147 | 5.0781 | 4.7181 | 4.4844 | 4.3197 | 4.1970 | 4.1020 | 4.0260 |
| 10 | 6.9367 | 5.4564 | 4.8256 | 4.4683 | 4.2361 | 4.0721 | 3.9498 | 3.8549 | 3.7790 |
| 11 | 6.7241 | 5.2559 | 4.6300 | 4.2751 | 4.0440 | 3.8807 | 3.7586 | 3.6638 | 3.5879 |
| 12 | 6.5538 | 5.0959 | 4.4742 | 4.1212 | 3.8911 | 3.7283 | 3.6065 | 3.5118 | 3.4358 |
| 13 | 6.4143 | 4.9653 | 4.3472 | 3.9959 | 3.7667 | 3.6043 | 3.4827 | 3.3880 | 3.3120 |
| 14 | 6.2979 | 4.8567 | 4.2417 | 3.8919 | 3.6634 | 3.5014 | 3.3799 | 3.2853 | 3.2093 |
| 15 | 6.1995 | 4.7650 | 4.1528 | 3.8043 | 3.5764 | 3.4147 | 3.2934 | 3.1987 | 3.1227 |
| 16 | 6.1151 | 4.6867 | 4.0768 | 3.7294 | 3.5021 | 3.3406 | 3.2194 | 3.1248 | 3.0488 |
| 17 | 6.0420 | 4.6189 | 4.0112 | 3.6648 | 3.4379 | 3.2767 | 3.1556 | 3.0610 | 2.9849 |
| 18 | 5.9781 | 4.5597 | 3.9539 | 3.6083 | 3.3820 | 3.2209 | 3.0999 | 3.0053 | 2.9291 |
| 19 | 5.9216 | 4.5075 | 3.9034 | 3.5587 | 3.3327 | 3.1718 | 3.0509 | 2.9563 | 2.8801 |
| 20 | 5.8715 | 4.4613 | 3.8587 | 3.5147 | 3.2891 | 3.1283 | 3.0074 | 2.9128 | 2.8365 |
| 21 | 5.8266 | 4.4199 | 3.8188 | 3.4754 | 3.2501 | 3.0895 | 2.9686 | 2.8740 | 2.7977 |
| 22 | 5.7863 | 4.3828 | 3.7829 | 3.4401 | 3.2151 | 3.0546 | 2.9338 | 2.8392 | 2.7628 |
| 23 | 5.7498 | 4.3492 | 3.7505 | 3.4083 | 3.1835 | 3.0232 | 2.9023 | 2.8077 | 2.7313 |
| 24 | 5.7166 | 4.3187 | 3.7211 | 3.3794 | 3.1548 | 2.9946 | 2.8738 | 2.7791 | 2.7027 |
| 25 | 5.6864 | 4.2909 | 3.6943 | 3.3530 | 3.1287 | 2.9685 | 2.8478 | 2.7531 | 2.6766 |
| 26 | 5.6586 | 4.2655 | 3.6697 | 3.3289 | 3.1048 | 2.9447 | 2.8240 | 2.7293 | 2.6528 |
| 27 | 5.6331 | 4.2421 | 3.6472 | 3.3067 | 3.0828 | 2.9228 | 2.8021 | 2.7074 | 2.6309 |
| 28 | 5.6096 | 4.2205 | 3.6264 | 3.2863 | 3.0626 | 2.9027 | 2.7820 | 2.6872 | 2.6106 |
| 29 | 5.5878 | 4.2006 | 3.6072 | 3.2674 | 3.0438 | 2.8840 | 2.7633 | 2.6686 | 2.5919 |
| 30 | 5.5675 | 4.1821 | 3.5894 | 3.2499 | 3.0265 | 2.8667 | 2.7460 | 2.6513 | 2.5746 |
| 40 | 5.4239 | 4.0510 | 3.4633 | 3.1261 | 2.9037 | 2.7444 | 2.6238 | 2.5289 | 2.4519 |
| 60 | 5.2856 | 3.9253 | 3.3425 | 3.0077 | 2.7863 | 2.6274 | 2.5068 | 2.4117 | 2.3344 |
| 120 | 5.1523 | 3.8046 | 3.2269 | 2.8943 | 2.6740 | 2.5154 | 2.3948 | 2.2994 | 2.2217 |
| ∞ | 5.0239 | 3.6889 | 3.1161 | 2.7858 | 2.5665 | 2.4082 | 2.2875 | 2.1918 | 2.1136 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

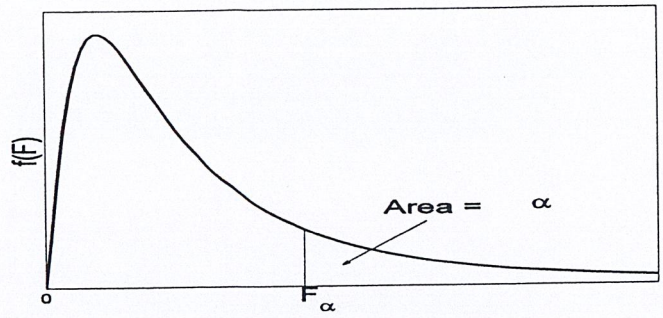
## ตาราง ผง 5. ค่าวิกฤตการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอฟ ที่ $\alpha = 0.025$ (ต่อ)




| v2 | v1 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10 | 12 | 15 | 20 | 24 | 30 | 40 | 60 | 120 | ∞ |
| 1 | 968.6274 | 976.7080 | 984.8668 | 993.1028 | 997.2493 | 1001.4144 | 1005.5981 | 1009.8001 | 1014.0202 | 1018.2583 |
| 2 | 39.3980 | 39.4146 | 39.4313 | 39.4479 | 39.4562 | 39.4646 | 39.4729 | 39.4812 | 39.4896 | 39.4979 |
| 3 | 14.4189 | 14.3366 | 14.2527 | 14.1674 | 14.1241 | 14.0805 | 14.0365 | 13.9921 | 13.9473 | 13.9021 |
| 4 | 8.8439 | 8.7512 | 8.6565 | 8.5599 | 8.5109 | 8.4613 | 8.4111 | 8.3604 | 8.3092 | 8.2573 |
| 5 | 6.6192 | 6.5245 | 6.4277 | 6.3286 | 6.2780 | 6.2269 | 6.1750 | 6.1225 | 6.0693 | 6.0153 |
| 6 | 5.4613 | 5.3662 | 5.2687 | 5.1684 | 5.1172 | 5.0652 | 5.0125 | 4.9589 | 4.9044 | 4.8491 |
| 7 | 4.7611 | 4.6658 | 4.5678 | 4.4667 | 4.4150 | 4.3624 | 4.3089 | 4.2544 | 4.1989 | 4.1423 |
| 8 | 4.2951 | 4.1997 | 4.1012 | 3.9995 | 3.9472 | 3.8940 | 3.8398 | 3.7844 | 3.7279 | 3.6702 |
| 9 | 3.9639 | 3.8682 | 3.7694 | 3.6669 | 3.6142 | 3.5604 | 3.5055 | 3.4493 | 3.3918 | 3.3329 |
| 10 | 3.7168 | 3.6209 | 3.5217 | 3.4185 | 3.3654 | 3.3110 | 3.2554 | 3.1984 | 3.1399 | 3.0798 |
| 11 | 3.5257 | 3.4296 | 3.3299 | 3.2261 | 3.1725 | 3.1176 | 3.0613 | 3.0035 | 2.9441 | 2.8828 |
| 12 | 3.3736 | 3.2773 | 3.1772 | 3.0728 | 3.0187 | 2.9633 | 2.9063 | 2.8478 | 2.7874 | 2.7249 |
| 13 | 3.2497 | 3.1532 | 3.0527 | 2.9477 | 2.8932 | 2.8372 | 2.7797 | 2.7204 | 2.6590 | 2.5955 |
| 14 | 3.1469 | 3.0502 | 2.9493 | 2.8437 | 2.7888 | 2.7324 | 2.6742 | 2.6142 | 2.5519 | 2.4872 |
| 15 | 3.0602 | 2.9633 | 2.8621 | 2.7559 | 2.7006 | 2.6437 | 2.5850 | 2.5242 | 2.4611 | 2.3953 |
| 16 | 2.9862 | 2.8890 | 2.7875 | 2.6808 | 2.6252 | 2.5678 | 2.5085 | 2.4471 | 2.3831 | 2.3163 |
| 17 | 2.9222 | 2.8249 | 2.7230 | 2.6158 | 2.5598 | 2.5020 | 2.4422 | 2.3801 | 2.3153 | 2.2474 |
| 18 | 2.8664 | 2.7689 | 2.6667 | 2.5590 | 2.5027 | 2.4445 | 2.3842 | 2.3214 | 2.2558 | 2.1869 |
| 19 | 2.8172 | 2.7196 | 2.6171 | 2.5089 | 2.4523 | 2.3937 | 2.3329 | 2.2696 | 2.2032 | 2.1333 |
| 20 | 2.7737 | 2.6758 | 2.5731 | 2.4645 | 2.4076 | 2.3486 | 2.2873 | 2.2234 | 2.1562 | 2.0853 |
| 21 | 2.7348 | 2.6368 | 2.5338 | 2.4247 | 2.3675 | 2.3082 | 2.2465 | 2.1819 | 2.1141 | 2.0422 |
| 22 | 2.6998 | 2.6017 | 2.4984 | 2.3890 | 2.3315 | 2.2718 | 2.2097 | 2.1446 | 2.0760 | 2.0032 |
| 23 | 2.6682 | 2.5699 | 2.4665 | 2.3567 | 2.2989 | 2.2389 | 2.1763 | 2.1107 | 2.0415 | 1.9677 |
| 24 | 2.6396 | 2.5411 | 2.4374 | 2.3273 | 2.2693 | 2.2090 | 2.1460 | 2.0799 | 2.0099 | 1.9353 |
| 25 | 2.6135 | 2.5149 | 2.4110 | 2.3005 | 2.2422 | 2.1816 | 2.1183 | 2.0516 | 1.9811 | 1.9055 |
| 26 | 2.5896 | 2.4908 | 2.3867 | 2.2759 | 2.2174 | 2.1565 | 2.0928 | 2.0257 | 1.9545 | 1.8781 |
| 27 | 2.5676 | 2.4688 | 2.3644 | 2.2533 | 2.1946 | 2.1334 | 2.0693 | 2.0018 | 1.9299 | 1.8527 |
| 28 | 2.5473 | 2.4484 | 2.3438 | 2.2324 | 2.1735 | 2.1121 | 2.0477 | 1.9797 | 1.9072 | 1.8291 |
| 29 | 2.5286 | 2.4295 | 2.3248 | 2.2131 | 2.1540 | 2.0923 | 2.0276 | 1.9591 | 1.8861 | 1.8072 |
| 30 | 2.5112 | 2.4120 | 2.3072 | 2.1952 | 2.1359 | 2.0739 | 2.0089 | 1.9400 | 1.8664 | 1.7867 |
| 40 | 2.3882 | 2.2882 | 2.1819 | 2.0677 | 2.0069 | 1.9429 | 1.8752 | 1.8028 | 1.7242 | 1.6371 |
| 60 | 2.2702 | 2.1692 | 2.0613 | 1.9445 | 1.8817 | 1.8152 | 1.7440 | 1.6668 | 1.5810 | 1.4821 |
| 120 | 2.1570 | 2.0548 | 1.9450 | 1.8249 | 1.7597 | 1.6899 | 1.6141 | 1.5299 | 1.4327 | 1.3104 |
| ∞ | 2.0483 | 1.9447 | 1.8326 | 1.7085 | 1.6402 | 1.5660 | 1.4835 | 1.3883 | 1.2684 | 1.0000 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

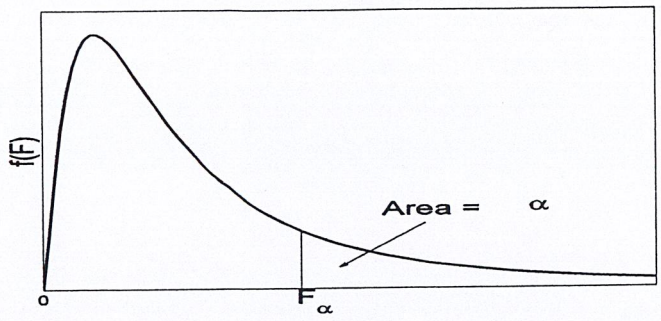
## ตาราง ผง 6. ค่าวิกฤตการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอฟ ที่ $\alpha = 0.01$




| v2 | v1 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 4052.1807 | 4999.5000 | 5403.3520 | 5624.5833 | 5763.6496 | 5858.9861 | 5928.3557 | 5981.0703 | 6022.4732 |
| 2 | 98.5025 | 99.0000 | 99.1662 | 99.2494 | 99.2993 | 99.3326 | 99.3564 | 99.3742 | 99.3881 |
| 3 | 34.1162 | 30.8165 | 29.4567 | 28.7099 | 28.2371 | 27.9107 | 27.6717 | 27.4892 | 27.3452 |
| 4 | 21.1977 | 18.0000 | 16.6944 | 15.9770 | 15.5219 | 15.2069 | 14.9758 | 14.7989 | 14.6591 |
| 5 | 16.2582 | 13.2739 | 12.0600 | 11.3919 | 10.9670 | 10.6723 | 10.4555 | 10.2893 | 10.1578 |
| 6 | 13.7450 | 10.9248 | 9.7795 | 9.1483 | 8.7459 | 8.4661 | 8.2600 | 8.1017 | 7.9761 |
| 7 | 12.2464 | 9.5466 | 8.4513 | 7.8466 | 7.4604 | 7.1914 | 6.9928 | 6.8400 | 6.7188 |
| 8 | 11.2586 | 8.6491 | 7.5910 | 7.0061 | 6.6318 | 6.3707 | 6.1776 | 6.0289 | 5.9106 |
| 9 | 10.5614 | 8.0215 | 6.9919 | 6.4221 | 6.0569 | 5.8018 | 5.6129 | 5.4671 | 5.3511 |
| 10 | 10.0443 | 7.5594 | 6.5523 | 5.9943 | 5.6363 | 5.3858 | 5.2001 | 5.0567 | 4.9424 |
| 11 | 9.6460 | 7.2057 | 6.2167 | 5.6683 | 5.3160 | 5.0692 | 4.8861 | 4.7445 | 4.6315 |
| 12 | 9.3302 | 6.9266 | 5.9525 | 5.4120 | 5.0643 | 4.8206 | 4.6395 | 4.4994 | 4.3875 |
| 13 | 9.0738 | 6.7010 | 5.7394 | 5.2053 | 4.8616 | 4.6204 | 4.4410 | 4.3021 | 4.1911 |
| 14 | 8.8616 | 6.5149 | 5.5639 | 5.0354 | 4.6950 | 4.4558 | 4.2779 | 4.1399 | 4.0297 |
| 15 | 8.6831 | 6.3589 | 5.4170 | 4.8932 | 4.5556 | 4.3183 | 4.1415 | 4.0045 | 3.8948 |
| 16 | 8.5310 | 6.2262 | 5.2922 | 4.7726 | 4.4374 | 4.2016 | 4.0259 | 3.8896 | 3.7804 |
| 17 | 8.3997 | 6.1121 | 5.1850 | 4.6690 | 4.3359 | 4.1015 | 3.9267 | 3.7910 | 3.6822 |
| 18 | 8.2854 | 6.0129 | 5.0919 | 4.5790 | 4.2479 | 4.0146 | 3.8406 | 3.7054 | 3.5971 |
| 19 | 8.1849 | 5.9259 | 5.0103 | 4.5003 | 4.1708 | 3.9386 | 3.7653 | 3.6305 | 3.5225 |
| 20 | 8.0960 | 5.8489 | 4.9382 | 4.4307 | 4.1027 | 3.8714 | 3.6987 | 3.5644 | 3.4567 |
| 21 | 8.0166 | 5.7804 | 4.8740 | 4.3688 | 4.0421 | 3.8117 | 3.6396 | 3.5056 | 3.3981 |
| 22 | 7.9454 | 5.7190 | 4.8166 | 4.3134 | 3.9880 | 3.7583 | 3.5867 | 3.4530 | 3.3458 |
| 23 | 7.8811 | 5.6637 | 4.7649 | 4.2636 | 3.9392 | 3.7102 | 3.5390 | 3.4057 | 3.2986 |
| 24 | 7.8229 | 5.6136 | 4.7181 | 4.2184 | 3.8951 | 3.6667 | 3.4959 | 3.3629 | 3.2560 |
| 25 | 7.7698 | 5.5680 | 4.6755 | 4.1774 | 3.8550 | 3.6272 | 3.4568 | 3.3239 | 3.2172 |
| 26 | 7.7213 | 5.5263 | 4.6366 | 4.1400 | 3.8183 | 3.5911 | 3.4210 | 3.2884 | 3.1818 |
| 27 | 7.6767 | 5.4881 | 4.6009 | 4.1056 | 3.7848 | 3.5580 | 3.3882 | 3.2558 | 3.1494 |
| 28 | 7.6356 | 5.4529 | 4.5681 | 4.0740 | 3.7539 | 3.5276 | 3.3581 | 3.2259 | 3.1195 |
| 29 | 7.5977 | 5.4204 | 4.5378 | 4.0449 | 3.7254 | 3.4995 | 3.3303 | 3.1982 | 3.0920 |
| 30 | 7.5625 | 5.3903 | 4.5097 | 4.0179 | 3.6990 | 3.4735 | 3.3045 | 3.1726 | 3.0665 |
| 40 | 7.3141 | 5.1785 | 4.3126 | 3.8283 | 3.5138 | 3.2910 | 3.1238 | 2.9930 | 2.8876 |
| 60 | 7.0771 | 4.9774 | 4.1259 | 3.6490 | 3.3389 | 3.1187 | 2.9530 | 2.8233 | 2.7185 |
| 120 | 6.8509 | 4.7865 | 3.9491 | 3.4795 | 3.1735 | 2.9559 | 2.7918 | 2.6629 | 2.5586 |
| ∞ | 6.6349 | 4.6052 | 3.7816 | 3.3192 | 3.0173 | 2.8020 | 2.6393 | 2.5113 | 2.4073 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตาราง ผง 6. ค่าวิกฤตการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอฟ ที่ $\alpha = 0.01$ (ต่อ)**




| v2 | v1 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10 | 12 | 15 | 20 | 24 | 30 | 40 | 60 | 120 | ∞ |
| 1 | 6055.8467 | 6106.3207 | 6157.2846 | 6208.7302 | 6234.6309 | 6260.6486 | 6286.7821 | 6313.0301 | 6339.3913 | 6365.8644 |
| 2 | 99.3992 | 99.4159 | 99.4325 | 99.4492 | 99.4575 | 99.4658 | 99.4742 | 99.4825 | 99.4908 | 99.4992 |
| 3 | 27.2287 | 27.0518 | 26.8722 | 26.6898 | 26.5975 | 26.5045 | 26.4108 | 26.3164 | 26.2211 | 26.1252 |
| 4 | 14.5459 | 14.3736 | 14.1982 | 14.0196 | 13.9291 | 13.8377 | 13.7454 | 13.6522 | 13.5581 | 13.4631 |
| 5 | 10.0510 | 9.8883 | 9.7222 | 9.5526 | 9.4665 | 9.3793 | 9.2912 | 9.2020 | 9.1118 | 9.0204 |
| 6 | 7.8741 | 7.7183 | 7.5590 | 7.3958 | 7.3127 | 7.2285 | 7.1432 | 7.0567 | 6.9690 | 6.8800 |
| 7 | 6.6201 | 6.4691 | 6.3143 | 6.1554 | 6.0743 | 5.9920 | 5.9084 | 5.8236 | 5.7373 | 5.6495 |
| 8 | 5.8143 | 5.6667 | 5.5151 | 5.3591 | 5.2793 | 5.1981 | 5.1156 | 5.0316 | 4.9461 | 4.8588 |
| 9 | 5.2565 | 5.1114 | 4.9621 | 4.8080 | 4.7290 | 4.6486 | 4.5666 | 4.4831 | 4.3978 | 4.3105 |
| 10 | 4.8491 | 4.7059 | 4.5581 | 4.4054 | 4.3269 | 4.2469 | 4.1653 | 4.0819 | 3.9965 | 3.9090 |
| 11 | 4.5393 | 4.3974 | 4.2509 | 4.0990 | 4.0209 | 3.9411 | 3.8596 | 3.7761 | 3.6904 | 3.6024 |
| 12 | 4.2961 | 4.1553 | 4.0096 | 3.8584 | 3.7805 | 3.7008 | 3.6192 | 3.5355 | 3.4494 | 3.3608 |
| 13 | 4.1003 | 3.9603 | 3.8154 | 3.6646 | 3.5868 | 3.5070 | 3.4253 | 3.3413 | 3.2548 | 3.1654 |
| 14 | 3.9394 | 3.8001 | 3.6557 | 3.5052 | 3.4274 | 3.3476 | 3.2656 | 3.1813 | 3.0942 | 3.0040 |
| 15 | 3.8049 | 3.6662 | 3.5222 | 3.3719 | 3.2940 | 3.2141 | 3.1319 | 3.0471 | 2.9595 | 2.8684 |
| 16 | 3.6909 | 3.5527 | 3.4089 | 3.2587 | 3.1808 | 3.1007 | 3.0182 | 2.9330 | 2.8447 | 2.7528 |
| 17 | 3.5931 | 3.4552 | 3.3117 | 3.1615 | 3.0835 | 3.0032 | 2.9205 | 2.8348 | 2.7459 | 2.6530 |
| 18 | 3.5082 | 3.3706 | 3.2273 | 3.0771 | 2.9990 | 2.9185 | 2.8354 | 2.7493 | 2.6597 | 2.5660 |
| 19 | 3.4338 | 3.2965 | 3.1533 | 3.0031 | 2.9249 | 2.8442 | 2.7608 | 2.6742 | 2.5839 | 2.4893 |
| 20 | 3.3682 | 3.2311 | 3.0880 | 2.9377 | 2.8594 | 2.7785 | 2.6947 | 2.6077 | 2.5168 | 2.4212 |
| 21 | 3.3098 | 3.1730 | 3.0300 | 2.8796 | 2.8010 | 2.7200 | 2.6359 | 2.5484 | 2.4568 | 2.3603 |
| 22 | 3.2576 | 3.1209 | 2.9779 | 2.8274 | 2.7488 | 2.6675 | 2.5831 | 2.4951 | 2.4029 | 2.3055 |
| 23 | 3.2106 | 3.0740 | 2.9311 | 2.7805 | 2.7017 | 2.6202 | 2.5355 | 2.4471 | 2.3542 | 2.2558 |
| 24 | 3.1681 | 3.0316 | 2.8887 | 2.7380 | 2.6591 | 2.5773 | 2.4923 | 2.4035 | 2.3100 | 2.2107 |
| 25 | 3.1294 | 2.9931 | 2.8502 | 2.6993 | 2.6203 | 2.5383 | 2.4530 | 2.3637 | 2.2696 | 2.1694 |
| 26 | 3.0941 | 2.9578 | 2.8150 | 2.6640 | 2.5848 | 2.5026 | 2.4170 | 2.3273 | 2.2325 | 2.1315 |
| 27 | 3.0618 | 2.9256 | 2.7827 | 2.6316 | 2.5522 | 2.4699 | 2.3840 | 2.2938 | 2.1985 | 2.0965 |
| 28 | 3.0320 | 2.8959 | 2.7530 | 2.6017 | 2.5223 | 2.4397 | 2.3535 | 2.2629 | 2.1670 | 2.0642 |
| 29 | 3.0045 | 2.8685 | 2.7256 | 2.5742 | 2.4946 | 2.4118 | 2.3253 | 2.2344 | 2.1379 | 2.0342 |
| 30 | 2.9791 | 2.8431 | 2.7002 | 2.5487 | 2.4689 | 2.3860 | 2.2992 | 2.2079 | 2.1108 | 2.0062 |
| 40 | 2.8005 | 2.6648 | 2.5216 | 2.3689 | 2.2880 | 2.2034 | 2.1142 | 2.0194 | 1.9172 | 1.8047 |
| 60 | 2.6318 | 2.4961 | 2.3523 | 2.1978 | 2.1154 | 2.0285 | 1.9360 | 1.8363 | 1.7263 | 1.6006 |
| 120 | 2.4721 | 2.3363 | 2.1915 | 2.0346 | 1.9500 | 1.8600 | 1.7628 | 1.6557 | 1.5330 | 1.3805 |
| ∞ | 2.3209 | 2.1847 | 2.0385 | 1.8783 | 1.7908 | 1.6964 | 1.5923 | 1.4730 | 1.3246 | 1.0000 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้