

**การศึกษาวิเคราะห์หลักการออกแบบปั้มน้ำแบบหัวฉีด**  
**Studying on the Principle of Designed Water Jet Pump.**



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีก  
033178


ปีการศึกษา 2536  
การศึกษาวิเคราะห์หลักการออกแบบป้อน้ำแบบหัวฉีด

โดย

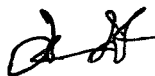
นาย วิรัช วุฒิสถิรภิญโญ 33100352

นาย สุภัทร ฉายาวัดนะ 33100443

อาจารย์ที่ปรึกษา



( อ. จำลอง ปราบแก้ว )



( อ. มนต์ศักดิ์ พิมสาร )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## Abstract

The water jet pump, although actually used to a limited extent, has many potential applications. In many of these cases its efficiency becomes of secondary importance and its advantages over other pumping units system from its versatility and simplicity of operation and construction. In the operation of water jet pump, it is very important to know characteristics affected by many factors, such as dimensions of water jet pump, : nozzle-throat area ratio, distance of nozzle, mixing chamber length and diffuser angle, etc.

This project deals with the determination of the optimum nozzle-throat area ratio of the water jet pump so that the best efficiency may be obtained. The analytical efficiency equation derived here in to define the pump behavior compares with experimental results.

## สารบัญ

บทที่	หน้า
1. บทนำ.....	1
2. ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์การคำนวณ.....	6
3. การคำนวณและการสร้างชุดทดลอง .....	28
4. การทดลอง .....	42
5. สรุปผลจากการทดลองและทฤษฎี .....	60
ภาคผนวก	
ทฤษฎีการวิเคราะห์ ejector สำหรับของไหลอัดตัวได้ (Analysis of Compressible Flow Ejectors).....	61
เอกสารอ้างอิง .....	66
กิตติกรรมประกาศ .....	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1.

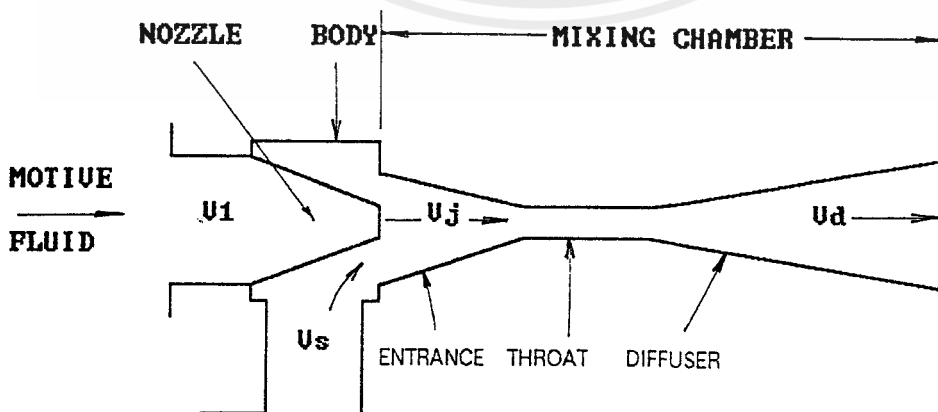
### บทนำ

ปั๊มน้ำแบบหัวฉีด (water jet pump) คือ ปั๊มที่มีลักษณะไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่ (moving parts) และอาศัยหลักการจลศาสตร์ของไหล โดยถูกควบคุมตามเงื่อนไขการผสมรวมกันของของไหล ซึ่งพลังงานสำหรับทำให้ของไหลเคลื่อนที่ที่เกิดจากของไหลความดันสูง (moving/ jet/ driving fluid) ไหลผ่านหัวฉีด (nozzle) ซึ่งจะได้ความเร็วสูง ผลของความเร็วที่สูงจะทำให้เกิดพื้นที่ความดันต่ำในห้องผสม (mixing chamber) จึงเป็นเหตุให้ของไหลที่ทางดูด (suction side) ถูกดูดเข้ามาในห้องผสม ในทางทฤษฎีจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมเพื่อให้เกิดการผสมที่สม่ำเสมอ (uniform) เคลื่อนที่ด้วยความเร็วอยู่ระหว่างความเร็วฉีดและความเร็วดูด ส่วนขยาย (diffuser) จะทำหน้าที่ลดความเร็วลงและเปลี่ยนกลับในรูปความดันที่ด้านจ่าย (discharge side) ซึ่งจะต้องออกแบบให้มีการสูญเสียน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

ปั๊มน้ำชนิดนี้ จะมีหลักการทำงานต่างจากปั๊มน้ำชนิดอื่นๆ เช่น ปั๊มน้ำแบบลูกสูบ (reciprocating pump) ปั๊มน้ำแบบหอยโข่ง (centrifugal pump) เป็นต้น

ส่วนประกอบที่สำคัญมี 3 ส่วน ซึ่งแสดงตามรูปที่ 1.1 ได้แก่

1. หัวฉีด (nozzle)
2. ห้องดูดและผสม (suction chamber/ body)
3. ท่อลดความเร็ว (diffuser)



รูปที่ 1.1 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของปั๊มน้ำแบบหัวฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะเฉพาะของปั้มน้ำแบบหัวฉีด จะขึ้นอยู่กับตัวแปร ปัจจัยต่างๆ ได้แก่ nozzle-throat area ratio , head ratio , flow rate ratio , loss coefficient ของอุปกรณ์ต่างๆ

ในการออกแบบปั้มน้ำแบบหัวฉีด ต้องมีความเข้าใจในเรื่องเกี่ยวกับ ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ขั้นตอนเป็นอย่างดี ดังนั้นการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะเฉพาะของปั้มน้ำแบบหัวฉีด โดยต้องอาศัยข้อมูลจากการทดลองเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบกับ การคำนวณทางทฤษฎี

ประเภทของปั้มน้ำแบบหัวฉีด

ปั้มน้ำแบบหัวฉีดจะมีชื่อเรียกต่างๆ มากมาย ตามการประยุกต์ใช้งาน เป็นต้นว่า injector , ejector , eductor , water-jet heat exchanger

**Injecto** เป็นตัวอย่างของปั้มน้ำหัวฉีดที่ใช้ในการส่งน้ำไปยังหม้อไอน้ำ ( steam boiler ) ของไหลที่ใช้ฉีดจะเป็นไอน้ำจากหม้อไอน้ำ โดยที่ด้านจ่าย จะมีความดันที่สูง

**Ejector** จะตรงกันข้ามกับ injector ความดันที่ด้านจ่ายจะมีค่า อยู่ระหว่างความดันที่ทางดูดกับที่หัวฉีด

**Eductor** เป็นปั้มของเหลวที่ใช้ของเหลวฉีดผ่านหัวฉีด

**Water-jet heat exchanger** มีลักษณะเช่นเดียวกับ steam injector โดยจะมีการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำ

**Jet compressor** ใช้เพิ่มความดันให้แก่ก๊าซ โดยใช้ก๊าซฉีดผ่าน หัวฉีด

ปั้มน้ำแบบหัวฉีดที่ใช้มีอยู่ทั้งหมด 4 รูปแบบที่เป็นพื้นฐาน คือ

1. ก๊าซ-ก๊าซ ( gas-gas )
2. ของเหลว-ของเหลว ( liquid-liquid )
3. ก๊าซ-ของเหลว ( gas-liquid )
4. ของเหลว-ก๊าซ ( liquid-gas )

\*โดยชนิดของไหลที่อยู่ข้างหน้าของแต่ละแบบ หมายถึง ของไหลที่ฉีดผ่าน nozzle

ปั้มน้ำแบบหัวฉีดอาจจะแบ่งตามองค์ประกอบของของไหล ( fluid components ) และสถานะของของไหล ( fluid phases ) ตัวอย่างเช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Steam-jet water injector** เป็นแบบ 2 สถานะ และ 1 องค์ประกอบ (2-phase,1-component jet pump) เพราะไอน้ำและน้ำมีสถานะที่ต่างกัน แต่ของไหลทั้งสองต่างมีองค์ประกอบเป็นน้ำ ( $H_2O$ )

**Water-jet air injector** เป็นแบบ 2 สถานะ และ 2 องค์ประกอบ ( 2-phase,2-component jet pump )

### การประยุกต์ใช้งาน

1. Deep-well pumping งานปั๊มที่ระดับของเหลวอยู่ระดับลึกๆ เมื่อของเหลวที่เป็นน้ำ หรือน้ำมัน จะต้องถูกดูดขึ้นมาจากระดับที่อยู่ลึกมากๆ ความยาวของท่อดูดยาวมากจนความดันที่ทางดูดมีค่าต่ำเท่ากับความดันไอสมบูรณ์ของของเหลว ซึ่งมีผลอย่างมากเมื่อใช้ปั๊มน้ำแบบหอยโข่ง (centrifugal pump) จึงมีการใช้ปั๊มแบบหัวฉีดร่วมด้วย

2. Dredging เพื่อจะหลีกเลี่ยงวัสดุที่เป็นของแข็งไหลผ่านใบพัดของปั๊มหอยโข่ง ในการใช้ดูดตะกอนใต้น้ำ สามารถจะใช้ปั๊มแบบหัวฉีดแทนได้

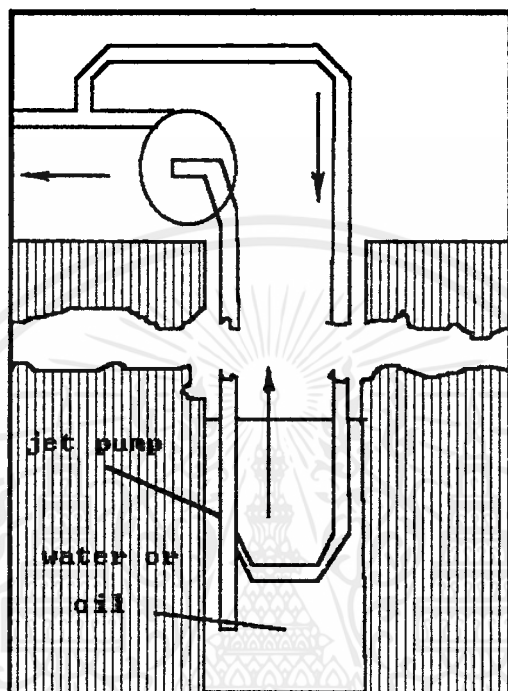
3. Booster pumping สามารถใช้เพิ่มความดันให้กับในระบบท่อ น้ำที่กักเก็บจะมีความดันสูงพอ ที่จะใช้เป็นของไหลฉีดผ่านหัวฉีด โดยจะมีปั๊มแบบหัวฉีดติดตั้งที่ด้านจ่ายออกของอ่างเก็บน้ำ

4. Tail-water suppressors ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าของเขื่อน เมื่อระดับน้ำปลายทางมีระดับที่สูงขึ้น จะทำให้ความแตกต่างความดันระหว่างต้นน้ำและปลายน้ำลดลง จึงมีการใช้ปั๊มหัวฉีดเพิ่มอัตราการไหลให้สูงขึ้น

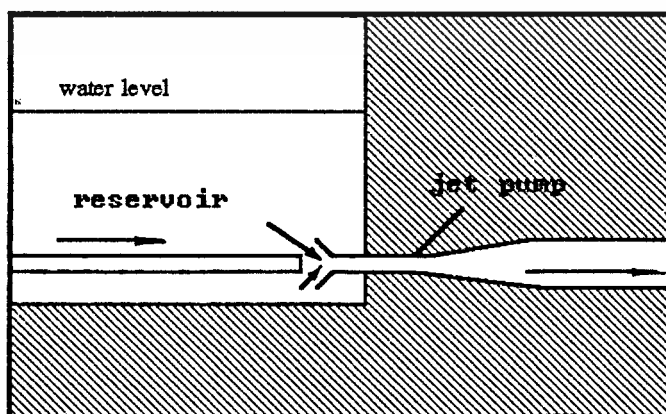
5. Priming devices ใช้ในการขนส่งของเหลวจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง โดยหลักการแบบเดียวกับกาลักน้ำ และไม่ต้องอาศัย foot valve

6. Gas burner injectors เป็นตัวอย่างที่แสดงให้เห็นการใช้ประโยชน์ในการฉีดของไหลที่เป็นแก๊สเชื้อเพลิง

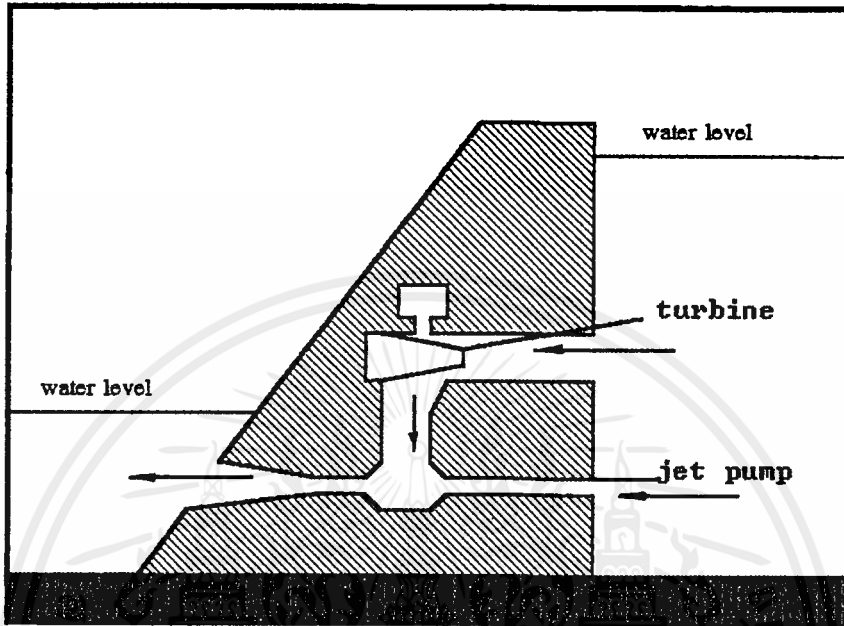
7. Ventilation มีการใช้ Ejectors ในการระบายอากาศสำหรับกำจัดอากาศเสียหรืออากาศที่มีอุณหภูมิสูง หรือตรงกันข้ามจะใช้ Injectors ทำให้อากาศที่สกปรกเจือจางลงได้



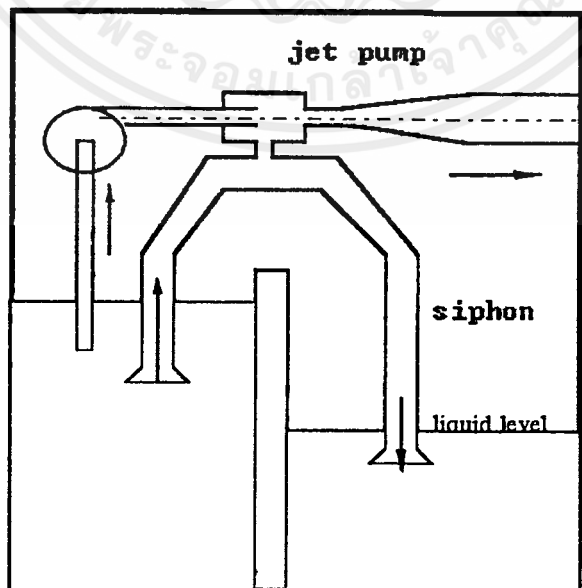
รูปที่ 1.2 แสดงลักษณะของ Deep-well pumping



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน **รูปที่ 1.3 แสดงลักษณะของ Booster pumping** ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.4 แสดงลักษณะของ Tail-water suppression



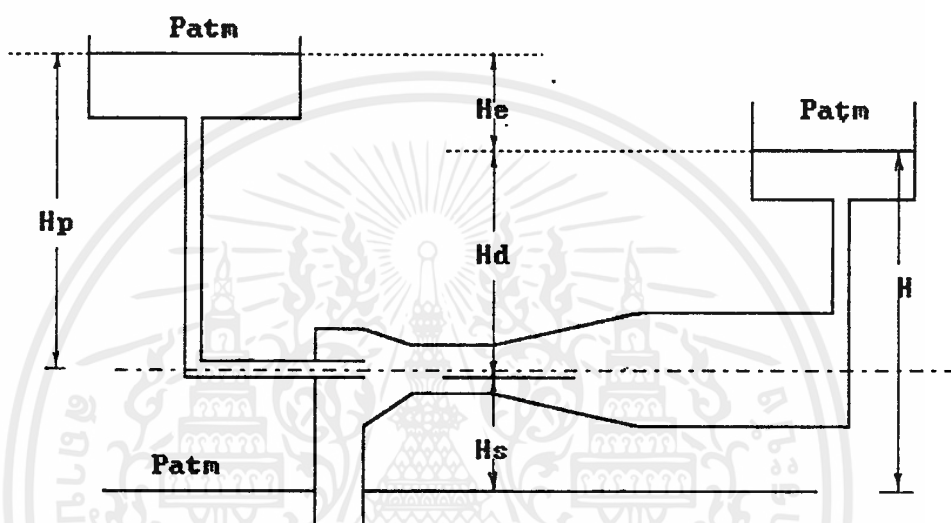
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 1.5 แสดงลักษณะของ Priming device ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

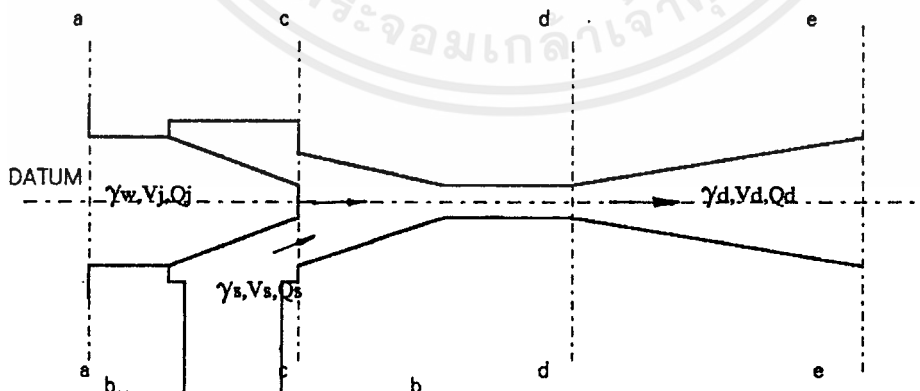
### ทฤษฎีการวิเคราะห์การคำนวณปั๊มน้ำแบบหัวฉีด

(Theoretical Analysis on the Characteristics of Water Jet Pump.)

#### 2.1 การวิเคราะห์การคำนวณ



รูปที่ 2.1 แสดงค่า head ที่เกิดขึ้นที่ water jet pump



รูปที่ 2.2 แสดงจุดต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์สมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สมการประสิทธิภาพของปั๊มน้ำแบบหัวฉีด (Jet Pump Efficiency Equation , $\eta$ )

$$\eta = \frac{\gamma_s Q_s H_s}{\gamma_w Q_j H_e} \dots\dots\dots(1)$$

## สมการความต่อเนื่อง ( Continuity Equation )

$$Q_d = Q_j + Q_s \dots\dots\dots(2)$$

$$A_d = A_j + A_s \dots\dots\dots(3)$$

## 2.2.การวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางทฤษฎี ( Analytical Efficiency )

ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์และประสิทธิภาพของปั๊มน้ำแบบหัวฉีด จากสมการการไหลต่อเนื่อง (continuity equation) และสมการโมเมนตัม (momentum equation) จะใช้วิเคราะห์การผสมที่เกิดขึ้นในห้องผสม ( mixing chamber) โดยมีเงื่อนไขกำหนดดังนี้

- 1.ของไหลทั้งสองเป็นของไหลอัดตัวไม่ได้ (incompressible fluid )
- 2.อุณหภูมิของไหลทั้งระบบมีค่าเท่ากัน
- 3.ระยะห่างระหว่างหัวฉีดและทางเข้าห้องผสม มีค่าเป็นศูนย์
- 4.ความหนาของผนังหัวฉีดมีค่าเป็นศูนย์
- 5.ของไหลที่หัวฉีดและทางดูด มีทิศทางการไหลเหมือนกัน
- 6.การกระจายความดันที่ทางเข้าของห้องผสม (mixing chamber) เป็นแบบสม่ำเสมอตลอดหน้าตัดทางเข้า

เนื่องจากการพิจารณาการผสมกันในทางทฤษฎีได้มีความถูกต้องใกล้เคียงกับผลจากการทดลอง จึงจะต้องพิจารณาการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานร่วมด้วย เมื่อของไหลมีการไหลผ่าน

1. หัวฉีด (driving nozzle loss)
- 2.ความสูญเสียที่ทางดูด ( suction loss)
- 3.ความสูญเสียที่ห้องผสม (friction loss in mixing chamber )
- 4.ความสูญเสียที่ท่อจ่าย ( diffuser loss )

สมการความเร็วที่ด้านดูด ( Velocity of suction )

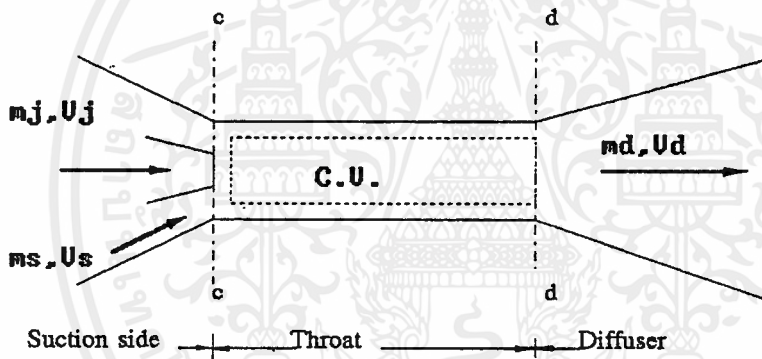
$$V_s = \frac{Q_s}{A_s} = \frac{\phi \cdot Q_j}{A_s} = \frac{\phi \cdot V_j \cdot \beta}{(1-\beta)} \dots\dots\dots(4)$$

สมการความเร็วที่ด้านจ่าย ( Velocity of discharge )

$$V_d = \frac{Q_d}{A_d} = \frac{(1+\phi)Q_j}{A_d} = \beta(1+\phi)V_j \dots\dots\dots(5)$$

2.3.สมการโมเมนตัม ( Total momentum equation )

$$F = F_{bx} + F_{sx} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} V_x \cdot \rho \cdot dV + \int_{cs} V_x \cdot \rho \cdot \vec{V} \cdot d\vec{A} \dots\dots\dots(6)$$



รูปที่ 2.3 แสดงปริมาณควบคุมที่หน้าตัด

2.3.1.สมการโมเมนตัมที่หน้าตัด c-c

จะได้

$$m_j V_j + m_s V_s = \frac{V_j^2}{2g} [2A_j \gamma_w + 2\phi^2 \frac{\beta^2}{(1+\beta)} A_s \gamma_s] \dots\dots\dots(7)$$

2.3.2.สมการโมเมนตัมที่หน้าตัด d-d

$$m_d V_d = V_d (m_j + m_s)$$

$$= \frac{V_j^2}{2g} \beta(1+\phi) [2\gamma_w A_j + 2\phi \gamma_s \frac{\beta}{(1+\beta)} A_s] \dots\dots\dots(8)$$



## 2.4. สมการการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานที่เกิดขึ้นที่ห้องผสม

( พิจารณาที่หน้าตัด c-c ถึง d-d )

$$F_f = \int_0^l 2\pi dx$$

$$= \frac{V_j^2}{2g} \beta^2 (1 + \phi)^2 \gamma_a [K_{mc} A_d] \dots\dots\dots(9)$$

## 2.5. ค่าความดันที่เปลี่ยนแปลง (Pc-Pd)

$$F_p = -[\int_0^l (P_d - P_c) 2\pi dr] = -[\int_0^l P_d 2\pi dr - \int_0^l P_c 2\pi dr] \dots\dots\dots(10)$$

จากสมการโมเมนตัม

$$F = F_{bx} + F_{sx} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} V_x \rho dV + \int_{cs} V_x \rho \vec{V} \cdot d\vec{A}$$

โดย 1.) ไม่มีแรง body force ( $F_{bx}$ ) ในแนวแกน x

2.) steady flow

แทนค่าได้

$$\int_0^l \left[ \frac{P_d - P_c}{\gamma_w A_d} \right] 2\pi dr = \frac{V_j^2}{2g} \left[ 2\beta + 2\phi^2 \frac{\beta^2}{(1-\beta)} - \beta(1+\phi)[2\beta + 2\phi\beta] - \beta^2(1+\phi)^2 K_{mc} \right] \dots\dots\dots(11)$$

## 2.6. สมการพลังงาน (Energy equation)

จากสมการพลังงานการไหลของของไหล

$$Q + W = \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \left[ u + \frac{V^2}{2} + gZ \right] \rho dV + \int_{cs} \left[ u + \frac{V^2}{2} + gZ \right] \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} \dots\dots\dots(12)$$

โดย 1.) ไม่มีงานเกิดขึ้น

2.) steady flow

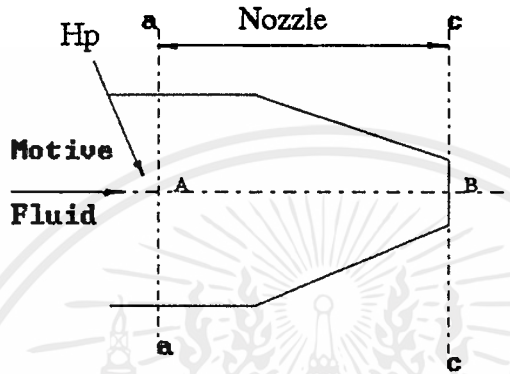
3.) พลังงานภายในมีค่าคงที่ตลอดพื้นที่หน้าตัด

จะได้

$$Q = m(u_2 - u_1) + \int_{cs} \frac{P}{\rho} \rho V dA + mg(Z_2 - Z_1) + \int_{cs} \frac{V^2}{2} \rho V dA$$

$$\text{head losses} = \int_{cs} \frac{P}{\rho} \rho V dA + mg(Z_2 - Z_1) + \int_{cs} \frac{V^2}{2} \rho V dA \dots\dots(13)$$

2.6.1 สมการพลังงานระหว่างหน้าตัด a-a ถึงหน้าตัด c-c

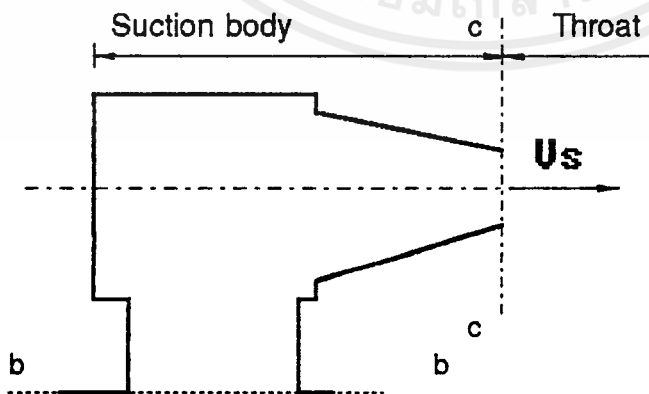


รูปที่ 2.4 แสดง section a-a to c-c

พลังงานที่ด้านหัวฉีด ( Jet total head .Hj)

$$H_j = \int_0^r \frac{P_j 2 \pi r dr}{\gamma_w A_j} + \alpha_j \frac{V_j^2}{2g} + h_j \dots\dots(14)$$

2.6.2 สมการพลังงานระหว่างหน้าตัด b-b ถึงหน้าตัด c-c

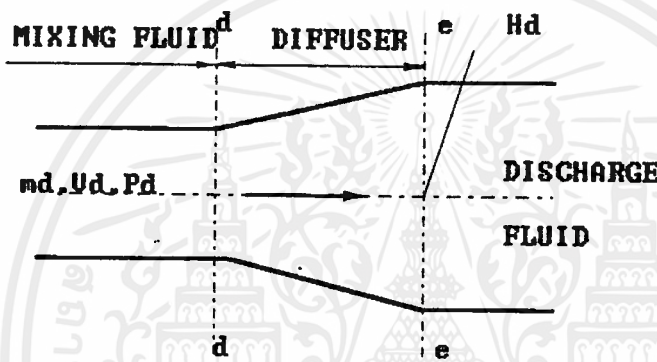


รูปที่ 2.5 แสดง section b-b to c-c

**พลังงานที่ด้านดูด( Suction total head .Hs)**

$$\begin{aligned}
 H_s &= \int_0^r \frac{P_c 2\pi dr}{\gamma_w A_s} + \alpha_s \frac{V_s^2}{2g} + h_s \\
 &= \int_0^r \frac{P_c 2\pi dr}{\gamma_w A_s} + \frac{V_j^2}{2g} \phi^2 \frac{\beta^2}{1-\beta} [\alpha_s + K_s] \dots\dots(15)
 \end{aligned}$$

**2.6.3.สมการพลังงานระหว่างหน้าตัด d-d ถึงหน้าตัด e-e**



รูปที่ 2.6 แสดง section d-d to e-e

**พลังงานที่ด้านจ่าย( Delivery total head . Hd)**

$$\begin{aligned}
 H_d &= \int_0^r \frac{P_d 2\pi dr}{\gamma_w A_d} + \alpha_d \frac{V_d^2}{2g} - h_{dif} \\
 &= \int_0^r \frac{P_d 2\pi dr}{\gamma_w A_d} - \frac{V_j^2}{2g} \beta^2 (1+\phi)^2 [K_{dif} - \alpha_{dif}] \dots\dots(16)
 \end{aligned}$$

**2.7.พลังงานที่ของไหลที่ด้านดูดได้รับ(Output Head;Ho)**

จากสมการที่ (15) และ (16)

$$\begin{aligned}
 H_o &= H_d - H_s \\
 &= -\frac{V_j^2}{2g} [2\beta + 2\phi^2 \frac{\beta^2}{1-\beta} - 2\beta^2 (1+\phi)^2 K_{mc} \\
 &\quad - \beta^2 (1+\phi)^2 (K_{dif} - \alpha_s) - \phi^2 \frac{\beta^2}{1-\beta} (\alpha_s + K_s)] \\
 &\dots\dots\dots(17)
 \end{aligned}$$

**2.8.พลังงานที่ของไหลฉีดถ่ายเทให้ของไหลด้านดูด (Input Head:  $H_i$ )**  
จากสมการที่ (14) และ (16)

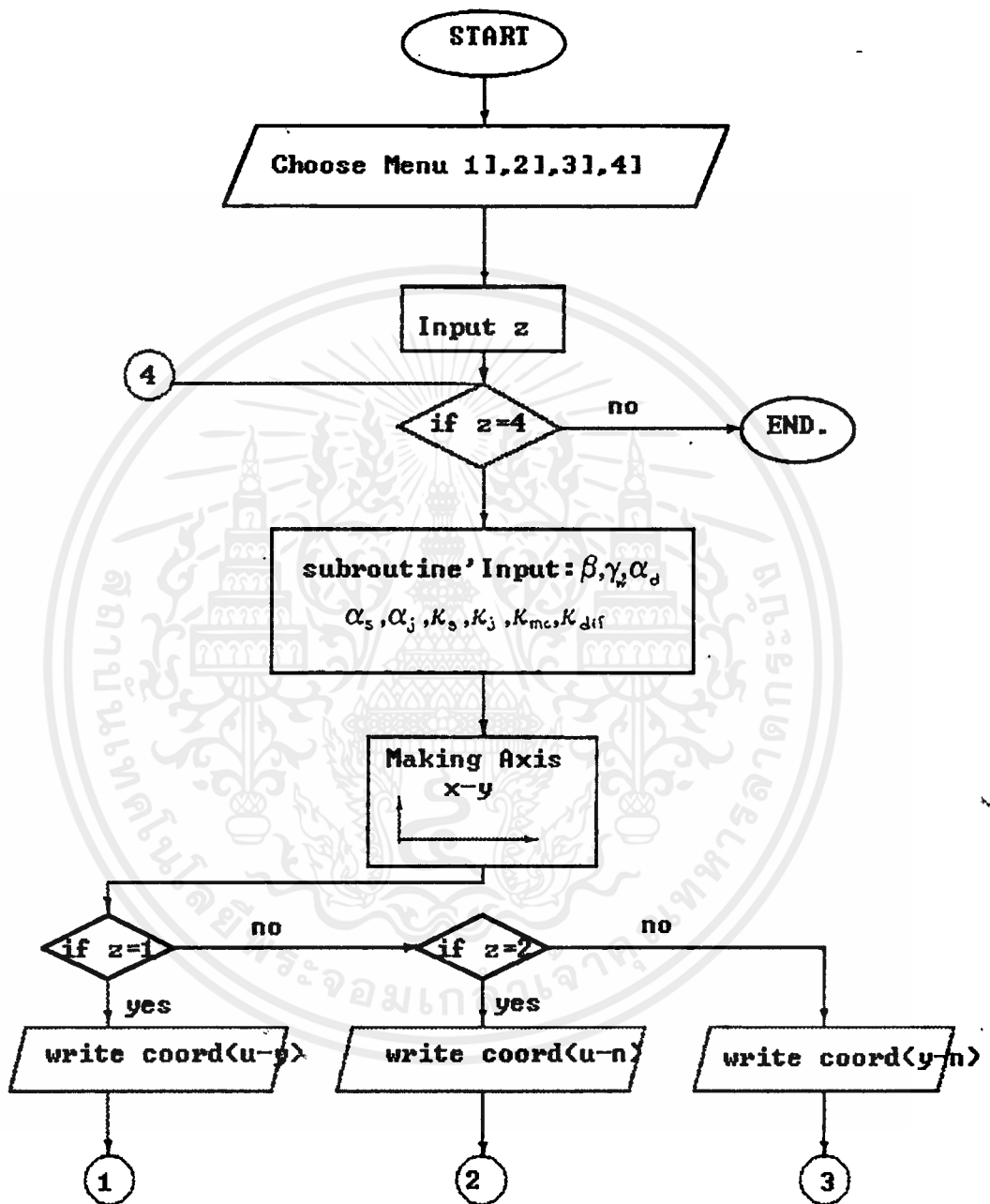
$$H_i = H_p - H_d$$

$$H_i = -\frac{V_j^2}{2g} [\alpha_j + K_j + \beta^2 (1 + \phi)^2 (K_{dif} - \alpha_d) - 2\beta - 2\phi^2 \frac{\beta^2}{1-\beta} - \beta^2 (1 + \phi)^2 (2 + K_{mc})] \dots\dots\dots(18)$$

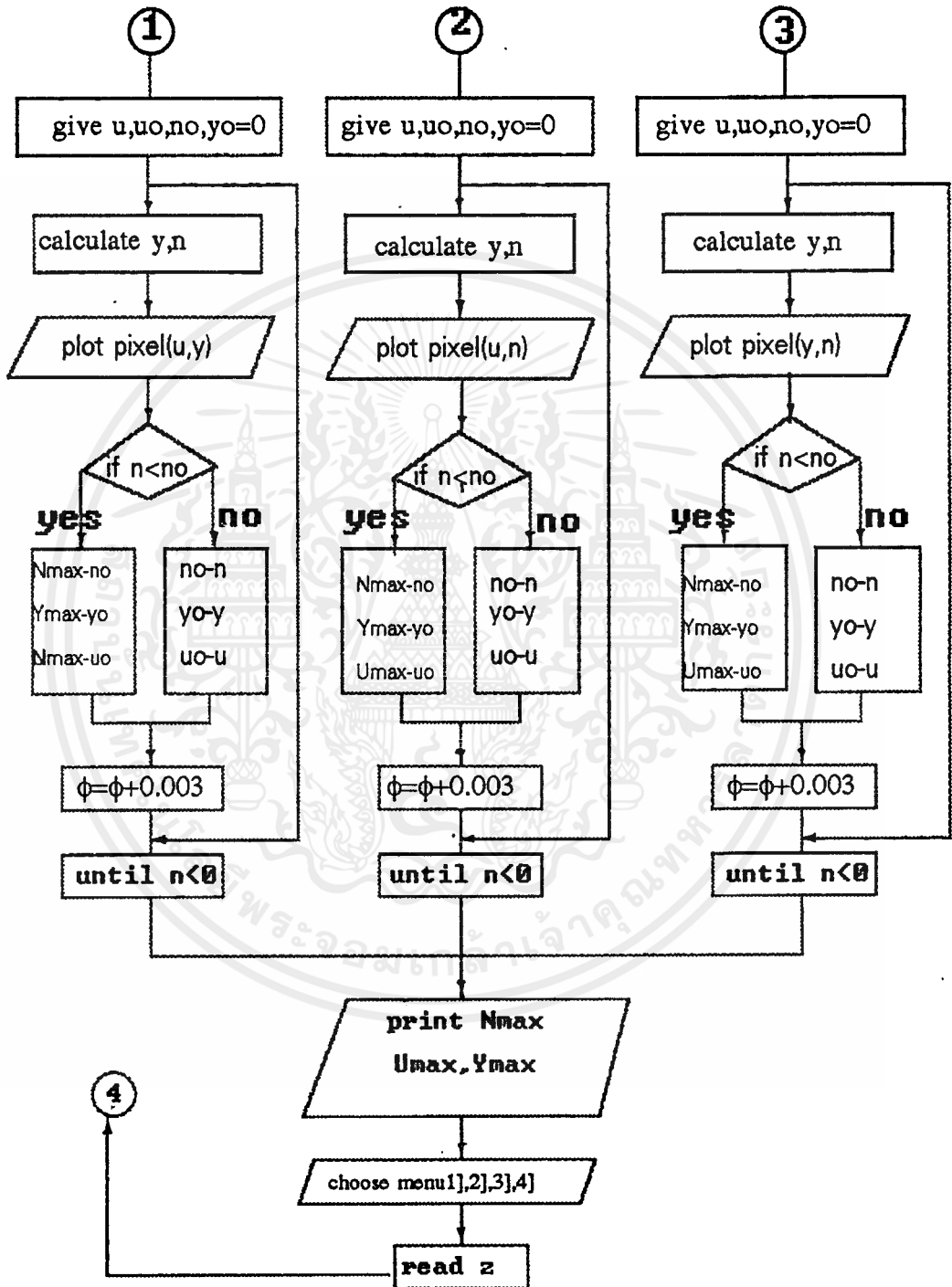
จะได้สมการประสิทธิภาพของปั๊มหัวฉีด คือ

$$\eta = \frac{\gamma_w Q_s H_o}{\gamma_w Q_i H_i} = \phi \frac{H_o}{H_i} \dots\dots\dots(19)$$

รูปที่ 2.7 แสดงแผนผังโปรแกรมคำนวณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### โปรแกรมประมวลผลการคำนวณ

**PROGRAM IDEALJET (input,output);**

**USES** crt,graph;

**Var** maxX,maxY,errorcode,Graphmode,Graphdriver: integer ;

{-----}

d,c,rs,rw: real;

ad,as,aj:real;

ks,kdif,kmc,kj :real; B,H,He,N,U,Y,NO,Nmax,UO,Umax,YO,Ymax

:real; i,zz,z,V,T: integer;

a1,a2,a3,a4,a5:real;

size : word;

p: pointer;

**procedure head;**

**begin** gotoXY(5,5);

writeln('Choose funtion [1] u-y [2] n-u [3] n-y [4] EXIT');

read(z); zz := z ;

**end;**

**procedure input;**

**var** k1,m1:integer;

**begin** settextstyle(1,horizdir,4);

outtextXY(10,10,' Input B = ');

k1:=textheight(' Input B = ');

gotoXY(25,1);readln(B); outtextXY(10,30+k1,' Input rs = ');

gotoXY(25,3);readln(rs);

outtextXY(10,55+2\*k1,' Input rw = ');

gotoXY(25,5);readln(rw);

outtextXY(10,80+3\*k1,' Input ad = ');

gotoXY(25,7);readln(ad);

outtextXY(10,103+4\*k1,' Input as = ');

gotoXY(25,9);readln(as);

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

outtextXY(10,127+5*k1,'      Input      aj      =  ');
  gotoXY(25,11);readln(aj);
outtextXY(10,152+6*k1,'      Input      ks      =  ');
  gotoXY(25,13);readln(ks);
outtextXY(10,176+7*k1,'      Input      kj      =  ');
  gotoXY(25,15);readln(kj);
outtextXY(10,202+8*k1,'      Input      kmc     =  ');
  gotoXY(25,17);readln(kmc);
outtextXY(10,225+9*k1,'      Input      kdif=  ');
  gotoXY(25,19);readln(kdif);
end;

```

**procedure axial\_x\_y;**

```

begin   line(37,7,37,343);
        line(37,343,516,343);
        line(34,7,40,7);
        line(34,119,40,119);
        line(34,231,40,231);
        line(196,340,196,346);
        line(354,340,354,346);
        line(516,340,516,346);
end;

```

**procedure coX;**

```

begin   settextstyle(1,Horizdir,4);
        outtextXY(22,360,'0');
        outtextXY(184,360,'0.5');
        outtextXY(342,360,'1.0');
        outtextXY(504,360,'1.5');
end;

```

**procedure coY;**

```

begin   settextstyle(1,Horizdir,4);
        outtextXY(10,7,'1.5');
        outtextXY(10,119,'1.0');

```

```

        outtextXY(10,231,'0.5');
end;
procedure cooY_N;
begin        settextstyle(1,Horizdir,4);
        outtextXY(10,7,'30');
        outtextXY(10,119,'20');
        outtextXY(10,231,'10');
end;

procedure printconst;
var        k2,m2 :integer ; o1:string ;
begin
        settextstyle(1,Horizdir,3);
        outtextXY(520,15,'B = ');k2:=textheight('B = ');
        m2:=textwidth('B = '); str(B:4:3,o1);
        outtextXY(520+m2,15,o1);
        outtextXY(520,35,'rs = ');str(rs:6:2,o1);
        o u t t e x t X Y ( 5 2 0 + m 2 , 3 5 , o 1 ) ;
        outtextXY(520,55,'rw=');str(rw:6:2,o1);
        outtextXY(520+m2,55,o1);
        outtextXY(520,75,'ad      =      ');str(ad:4:3,o1);
        outtextXY(520+m2,75,o1);
        outtextXY(520,90,'as      =      ');str(as:4:3,o1);
        outtextXY(520+m2,90,o1);
        outtextXY(520,115,'aj      =      ');str(aj:4:3,o1);
        outtextXY(520+m2,115,o1);
        outtextXY(520,135,'ks      =      ');str(ks:4:3,o1);
        outtextXY(520+m2,135,o1);
        outtextXY(520,155,'kj      =      ');str(kj:4:3,o1);
        outtextXY(520+m2,155,o1);
        outtextXY(520,175,'kmc     =      ');str(kmc:4:3,o1);
        outtextXY(528+m2,175,o1);
        outtextXY(520,195,'kdif    =      ');str(kdif:4:3,o1);
        outtextXY(536+m2,195,o1);

```

**procedure calculate;**

**begin**     d := rw/rs ; c:= (rw\*U+rs)/rs ;  
          a1 := 2\*(B+sqr(U\*B)/(1-B))\*d ;  
          a2 := 2\*sqr(B)\*c\*(1+U);  
          a3 := sqr(B)\*(1+U)\*c\*kmc;  
          a4 := sqr(B\*c)\*(kdif-ad);  
          a5 := sqr(U\*(B/(1-))) \*sqr(c)\*(as+ks); H:= a1 -a2 -a3 -a4 -  
          a5 ;  
          He := aj+kj + a4-(a1-a2-a3);  
          Y   := H/He ;  
          N   := U\*Y\*100 ;  
**end;**

18

**procedure graphic(color:integer);**

**var**       j:integer ;c:string;

**begin**     j:=0;

          While z<>4 do

**begin** clearviewport;

**input;**

          clearviewport; axialx\_y;

          if z=1 then

**begin**

          coX;coY;

          settextstyle(1,Horizdir,6);

          outtextXY(10,170,'u');

          outtextXY(275,360,'y');

          outtextXY(245,10,'u-y');

          U := 0.003 ;U0:=0;Y0:=0;N0:= 0 ;

          repeat

          calculate;

          V := round(317\*U +37) ; T :=

          round(343-224\*Y) ;

          putpixel(V,T,color); if N<N0 then

**begin**       Nmax := N0 ;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        Ymax := Y0 ; Umax :=U0 ;

        end else

begin      NO := N;
          Y0 := Y; U0 := U;
        end;      U:=U+0.003 ;
Until N<0.00;

printconst; settextstyle(1,Horizdir,4);
outtextXY(50,410,'Nmax           =
');str(Nmax:6:3,c);outtextXY(100,410,c);
outtextXY(50,430,'Umax           =
');str(Umax:6:3,c);outtextXY(100,430,c);
outtextXY(50,450,'Ymax           =
');str(Ymax:6:3,c);outtextXY(100,450,c);

end;
{-----}
if z=2 then
begin
    coX;
    cooY_N;
    settextstyle(1,Horizdir,6);
    outtextXY(10,170,'n');
    outtextXY(275,360,'u');
    outtextXY(245,10,'n-u');

        U := 0.0 ;
U0:=0;Y0:=0;NO := 0 ;

        repeat
calculate;

        V := round(317*U +37) ; T :=
        round(343-11.2*N)           ;
        putpixel(V,T,color);

if N<NO then

        begin      Nmax := NO ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Ymax := Y0 ; Umax := U0 ;

end else

begin      NO := N;
           YO := Y; UO := U;
           end; U:=U+0.003 ;

Until N<0.00;

printconst; settextstyle(1,Horizdir,4);
outtextXY(50,410,'Nmax
');str(Nmax:6:3,c);outtextXY(100,410,c);
outtextXY(50,430,'Umax
');str(Umax:6:3,c);outtextXY(100,430,c);
outtextXY(50,450,'Ymax
');str(Ymax:6:3,c);outtextXY(100,450,c);

end;

if z=3 then
begin      coX;cooY_N;
           settextstyle(1,Horizdir,6);
           outtextXY(10,170,'n');
           outtextXY(275,360,'y');
           outtextXY(245,10,'n-y');

           U := 0.0 ;
           UO:=0;YO:=0;NO := 0 ;

repeat

           calculate;
           V := round(317*Y +37) ; T :=
           round(343-11.2*N) ;
           putpixel(V,T,color);
           if N<NO then
begin      Nmax := NO ;
           Ymax := Y0 ; Umax := U0 ;

           end else

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

begin      N0 := N;
           Y0 := Y; U0 := U;
           end; U:=U+0.003 ;
           Until N<0.00;

           printconst; settextstyle(1,Horizdir,4);
           outtextXY(50,400,'Nmax           =
           ');str(Nmax:6:3,c);outtextXY(100,400,c);
           outtextXY(50,420,'Umax           =
           ');str(Umax:6:3,c);outtextXY(100,420,c);
           outtextXY(50,440,'Ymax           =
           ');str(Ymax:6:3,c);outtextXY(100,440,c);

end;

if j<>0 then PutImage(38,8,P^,CopyPut);
j:=j+1 ;
size := imagesize(38,8,519,342);
getmem(P,size);
getimage(38,8,519,342,P^);

outtextXY(40,470,'Choose MENU [1]u-y [2]n-u [3]n-y
[4]Exit ='); gotoXY(50,25);
read(z);

if z<>zz then begin j:=0; zz:= z; end;

end;

END;

Begin      clrscr;
           head;clrscr;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

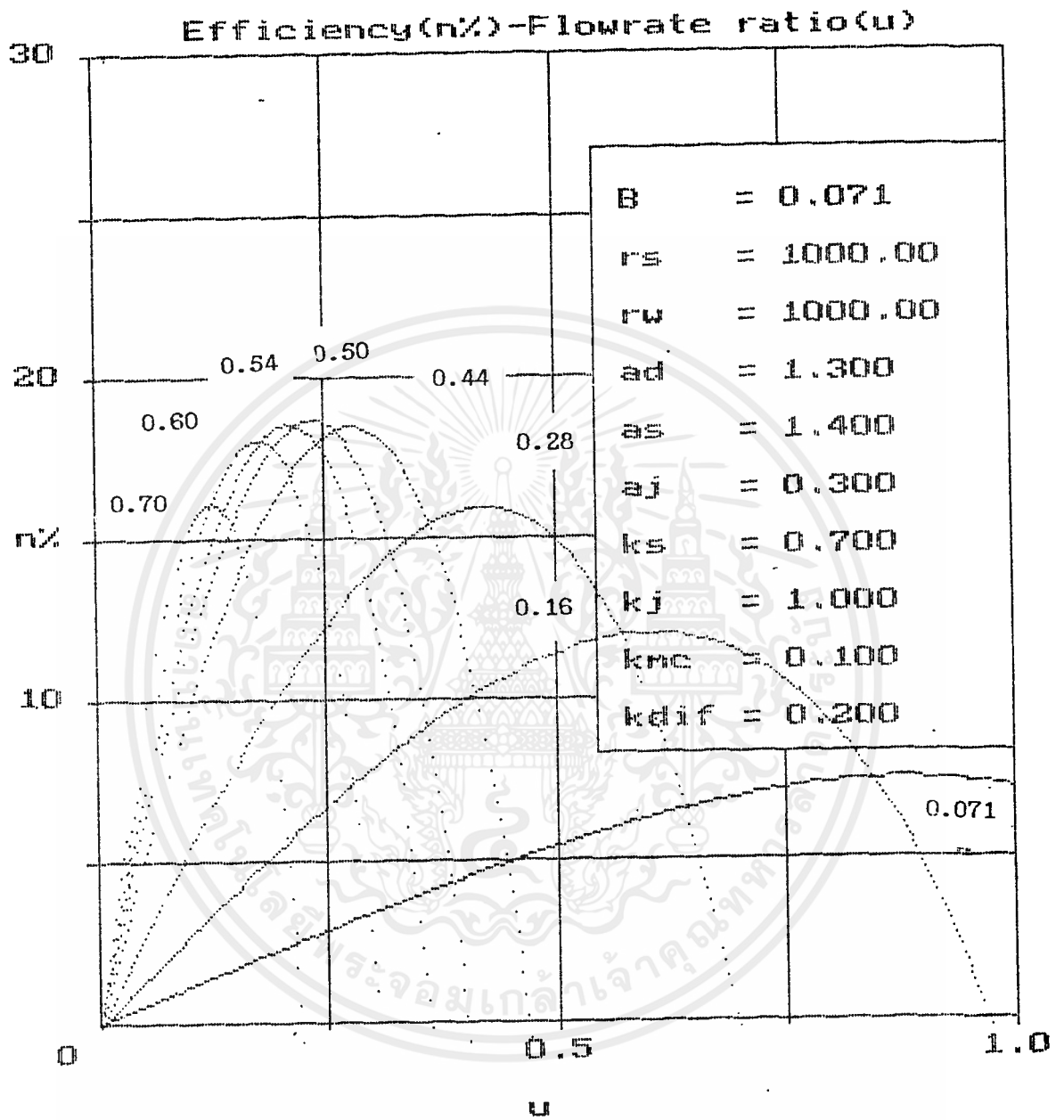
Graphdriver      :=      Detect      ;
Initgraph(Graphdriver,Graphmode,'D:\TP5');
errorcode := Graphresult ; If errorcode <> grOK then
      begin      writeln('Graphic      error:
      ',Grapherrormsg(errorcode)); Halt ;
      end;
maxX := getmaxX;
maxY := getmaxY ;
grap(white);
closegraph;

```

**End.**

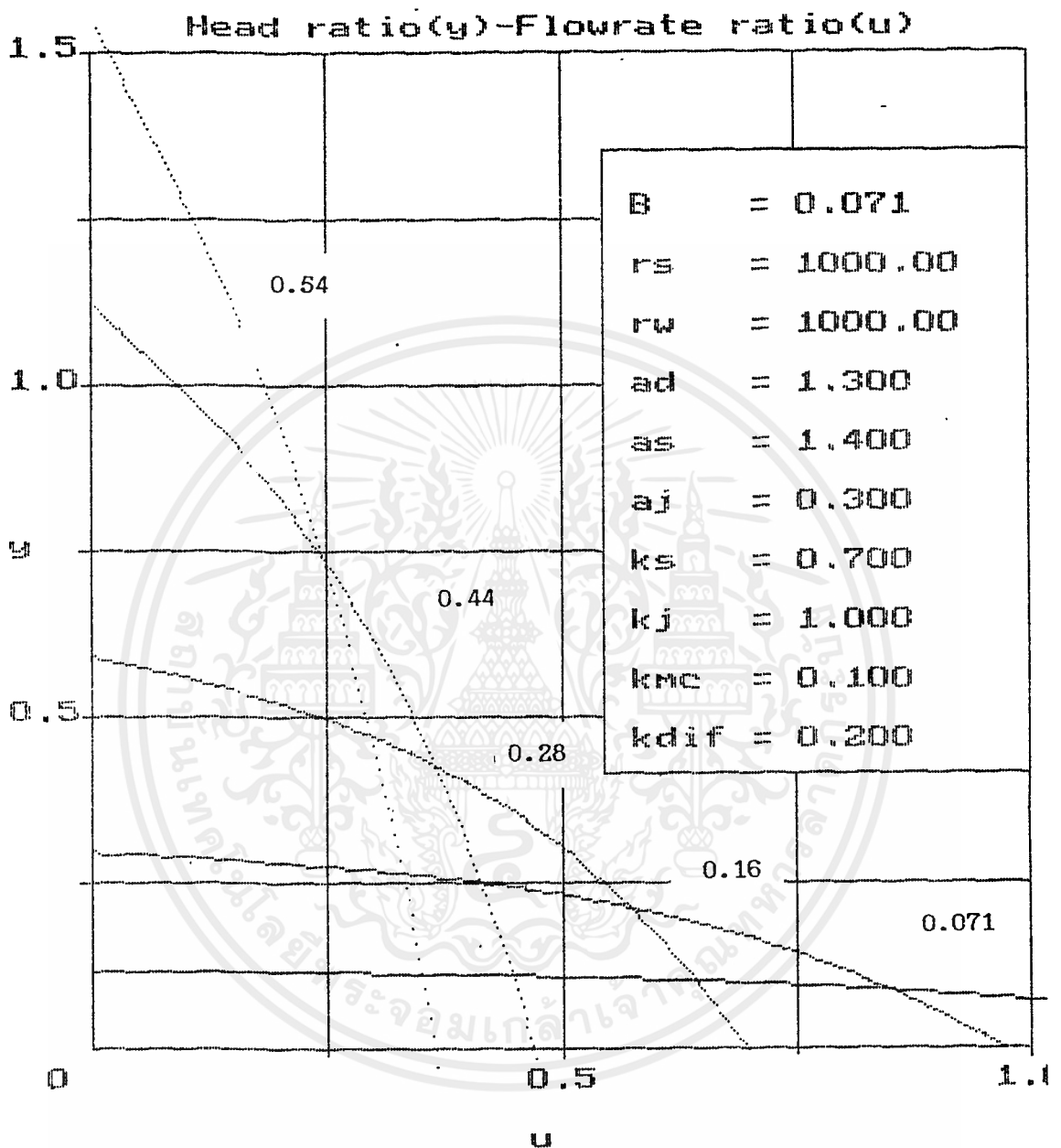


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



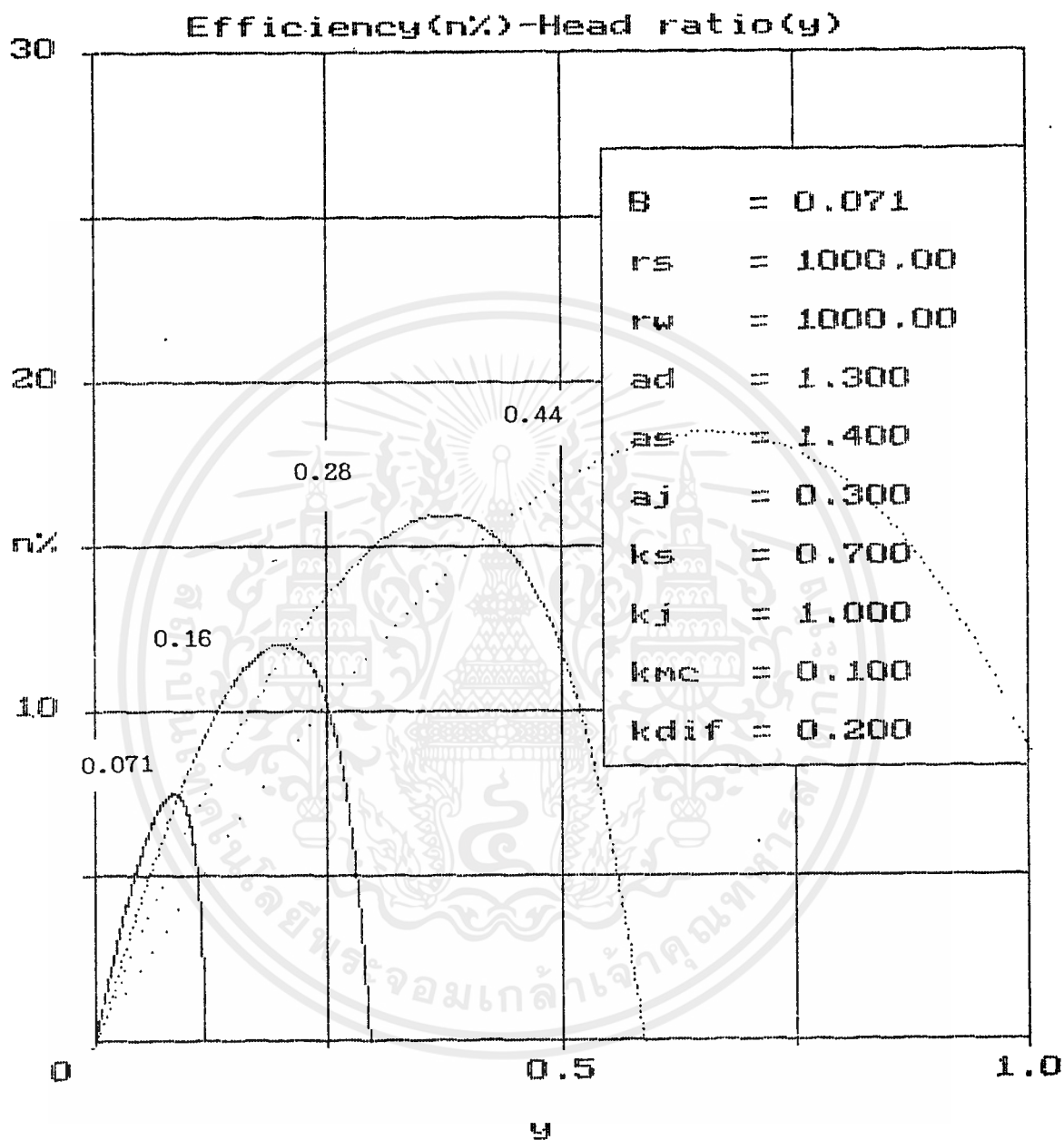
รูปที่ 2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Efficiency( $\eta$ ) กับ Flow rate ratio( $\phi$ )  
เมื่อค่า อัตราส่วนพื้นที่ระหว่างหัวฉีดกับห้องผสมค่าต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



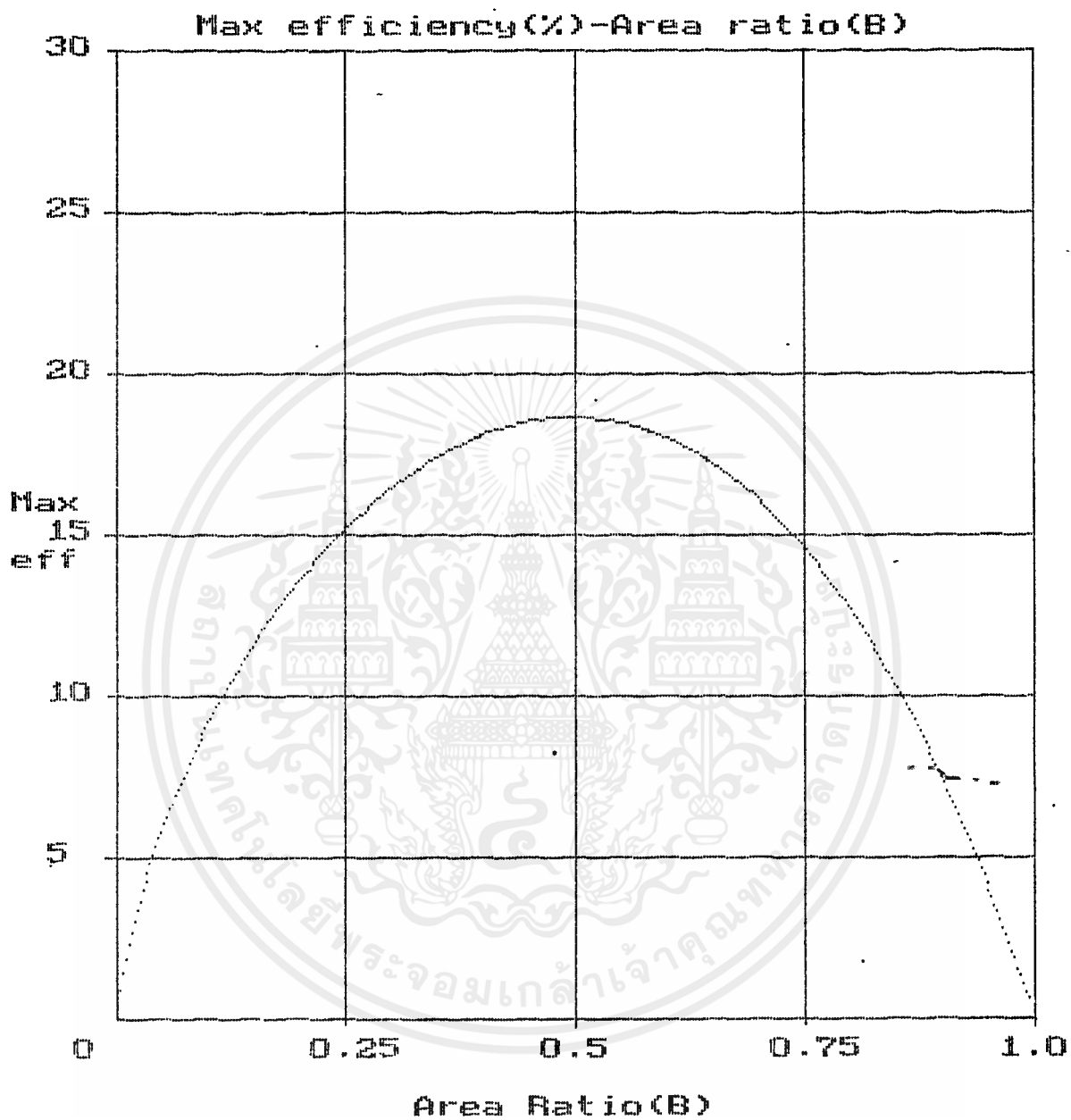
รูปที่ 2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Head ratio( $\psi$ )กับ Flow rate ratio( $\phi$ )  
เมื่อค่า อัตราส่วนพื้นที่ระหว่างหัวฉีดกับห้องผสมค่าต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Efficiency( $\eta$ ) กับ Head ratio ( $\psi$ )  
เมื่อค่า อัตราส่วนพื้นที่ระหว่างหัวฉีดกับห้องผสมค่าต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Max. efficiency( $\eta$ ) กับ อัตราส่วนพื้นที่ระหว่างหัวฉีดกับห้องผสมต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7. ผลการคำนวณทางทฤษฎี

2.7.1 สมรรถนะของปั้มน้ำแบบหัวฉีดที่เป็นไปตามสมการ (19) ซึ่งเป็นสมการสำหรับหาประสิทธิภาพจะได้ผลการคำนวณดังกราฟรูปที่ (2.8) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับอัตราส่วนการไหลที่อัตราส่วนพื้นที่หัวฉีด-ห้องผสมต่างๆ พบว่าเมื่อเพิ่มค่าอัตราส่วนการไหล ค่าของประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นจนถึงค่า ค่าหนึ่งแล้วจะลดลง

สำหรับอัตราส่วนพื้นที่หัวฉีดต่างๆกัน เมื่อเพิ่มอัตราส่วนพื้นที่หัวฉีด-ห้องผสมสูงขึ้นค่าประสิทธิภาพจะมีค่าสูงขึ้นด้วย จนถึงค่า ค่าหนึ่งแล้วจึงลดลง

2.7.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการไหล กับอัตราส่วนหัวน้ำที่ค่าอัตราส่วนพื้นที่หัวฉีด-ห้องผสมต่างๆ ดังกราฟรูปที่ (2.9) พบว่าเมื่อเพิ่มค่าอัตราส่วนการไหลค่าอัตราส่วนหัวน้ำจะมีค่าลดลง และที่อัตราส่วนพื้นที่หัวฉีด-ห้องผสมมีค่ามากขึ้นค่าอัตราส่วนหัวน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

### สัญลักษณ์ตัวแปร ( Nomenclature )

A : พื้นที่ ( area )

$\beta$  : อัตราส่วนพื้นที่ระหว่างหัวฉีดและห้องผสม ( nozzle-throat area ratio )

P : ความดัน ( pressure )

Q : อัตราการไหล ( flow rate )

h : หัวน้ำสูญเสีย ( head losses )

K : สัมประสิทธิ์การสูญเสีย ( loss coefficient )

V : ความเร็ว ( velocity )

$\alpha$  : สัมประสิทธิ์ความเร็ว ( coefficient of velocity )

$\phi$  : อัตราส่วนของอัตราการไหล ( flow rate ratio )

$\psi$  : อัตราส่วนของหัวน้ำ ( head ratio )

$\gamma$  : น้ำหนักจำเพาะ ( specific weight )

### สัญลักษณ์ตัวห้อย ( subscript )

d : ที่ตำแหน่งด้านจ่าย ( discharge side )

j : ที่ตำแหน่งด้านหัวฉีด ( jet )

s : ที่ตำแหน่งด้านทางดูด ( suction side )

mc : ที่ตำแหน่งห้องผสม ( mixing chamber )

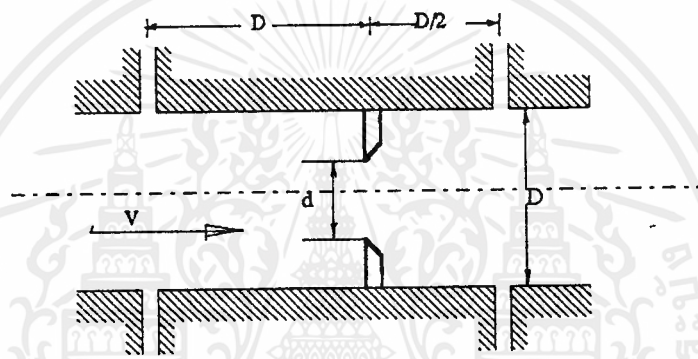
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**บทที่ 3**

**การคำนวณและการสร้างชุดทดลอง**

**3.1 การคำนวณหาขนาดของอุปกรณ์วัดอัตราการไหลแบบ orifice**

ในการวัดอัตราการไหลจะทำการวัดโดยใช้ orifice ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะการติดตั้ง orifice

จากสมการ continuity equation

$$Q = \left(\frac{\pi}{4}\right) D^2 V_1 = \left(\frac{\pi}{4}\right) D_2^2 V_2 \dots\dots\dots(3.1)$$

จากสมการ bernoulli equation

$$\left(\frac{P_1}{\gamma}\right) + \frac{V_1^2}{2g} + h_1 = \left(\frac{P_2}{\gamma}\right) + \frac{V_2^2}{2g} + h_2 \dots\dots\dots(3.2)$$

เมื่อ  $\gamma$  : น้ำหนักจำเพาะของของไหล

P1 : ความดันของของไหลด้านหน้าorifice

P2 : ความดันของของไหลที่ด้านหลังorifice

V1 : ความเร็วของของไหลด้านหน้าorifice

V2 : ความเร็วของของไหลที่ด้านหลังorifice

D : ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

D2 : ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางVena contract:

ซึ่ง  $Re = V_1 D / \nu$

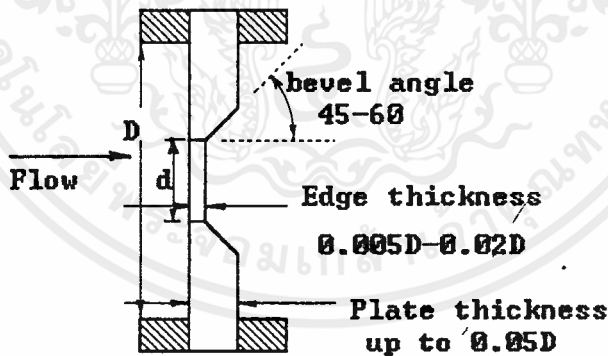
ค่า : Geometric factor ( $\beta$ ) เรียกว่า Velocity of approach factor

โดยที่  $E = \left( \sqrt{\frac{1}{1-\beta^4}} \right) \dots\dots\dots(3.5)$

$$\alpha = C_d E = \frac{C_d}{\sqrt{1-\beta^4}}$$

$$Q = \alpha A_t \left( \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}} \right) \dots\dots\dots(3.6)$$

$$\alpha = f(\beta, Re)$$



รูปที่ 3.3 แสดง orifice แบบ International Standard Organization (ISO) ซึ่งใช้สำหรับวัดค่าอัตราการไหลที่

$$Re = 10^4 \text{ to } 10^7$$

$$C_d = f(\beta) + 91.71\beta^{2.5} Re^{-0.75} + \left[ \frac{0.09\beta^4}{1-\beta^4} \right] F_1 - 0.0337\beta^8 F_2$$

$$f(\beta) = 0.5959 + 0.0312\beta^{2.1} - 0.184\beta^8$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณออกแบบ orifice เมื่อ D=2 นิ้วและอัตราการไหลสูงสุด 300 ลิตรต่อนาที เราจะได้

$$Re = \frac{V_1 D_1}{\nu} = \frac{4Q}{\pi D_1 \nu} = \frac{4(0.3)}{60\pi(0.05)(8.5 \times 10^{-7})} = 1.5 \times 10^5$$

โดยที่  $\nu = 8.5 \times 10^{-7}$

$$V_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{4(0.3/60)}{\pi(0.05)^2} = 2.5465 \text{ m/s}$$

จาก

$$V_t = \frac{V_1}{\beta} = \alpha \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}} = \alpha \sqrt{2g\Delta h} \dots\dots\dots(3.7)$$

จาก

$$(P_1 - P_2) = \rho_{wg} \Delta h_{water} = \rho_{Hg} g \Delta h_{Hg}$$

$$\Delta h_{water} = S.G. \Delta h_{Hg}$$

$$S.G = 13.55$$

เพื่อความสะดวกในการวัด กำหนดให้  $\Delta h_{Hg} = 0.1 \text{ m}$

จากสมการไม่รู้ค่า  $\beta, \alpha$

$$\beta^2 = \left[ \frac{1}{\alpha} \right] \sqrt{\frac{\rho V_1^2}{2(P_1 - P_2)}}$$

$$= \left[ \frac{1}{\alpha} \right] \sqrt{\frac{V_1^2}{2g \cdot S.G. \cdot \Delta h_{Hg}}}$$

$$\beta = \frac{0.596}{\sqrt{\alpha}} \dots\dots\dots(3.6)$$

สมมติให้ เลือกค่า  $\alpha = 0.7$  แทนในสมการ (3.6) ได้  $\beta$

$$\beta = 0.712$$

จากกราฟ ได้ค่า  $C_d = 0.616$

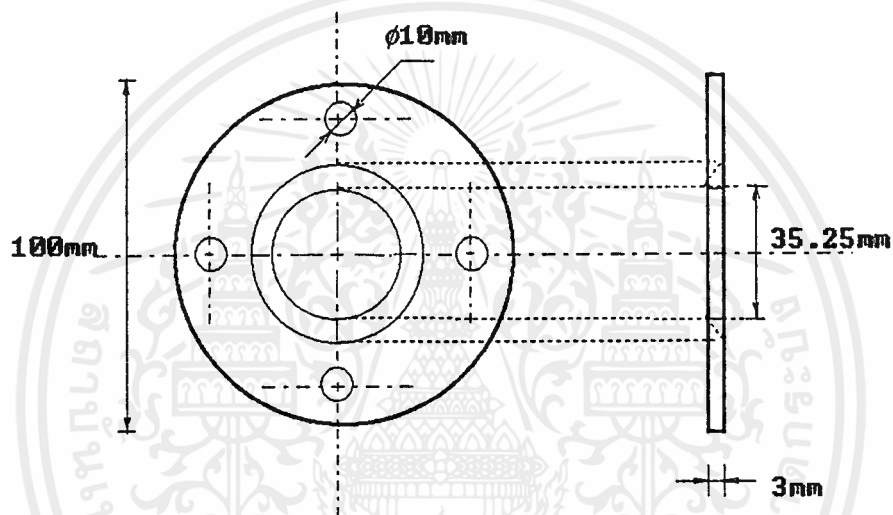
จาก  $\alpha = C_d E = 0.616 * [1 - 0.712^4]^{-1/2} = 0.715$

จากกราฟ ได้ค่า  $C_d = 0.615$

จาก  $\alpha = C_d E = 0.615 \cdot [1 - 0.705^4]^{-1/2} = 0.71$

ค่า  $\alpha$  ใกล้เคียงค่าเดิม จึงใช้ค่า  $\beta = 0.705$  ได้

จะได้  $D_2 = \beta D = 0.705 \times 0.05 = 0.03525 \text{ m}$

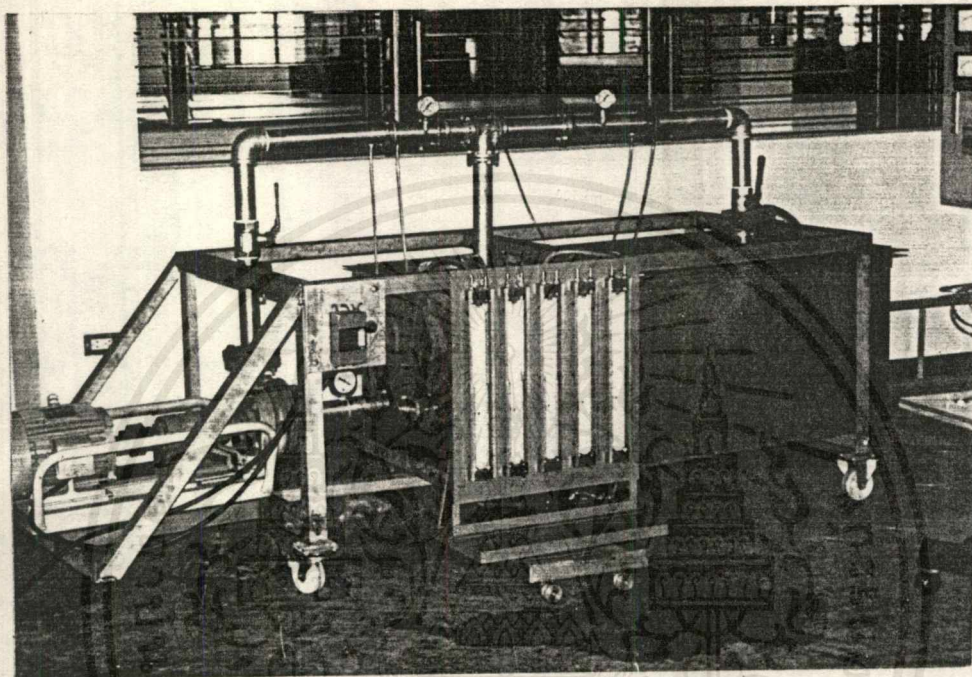


รูปที่ 3.4 แสดงแบบของ orifice สำหรับใช้ในชุดทดลอง

### 3.2 การออกแบบเครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

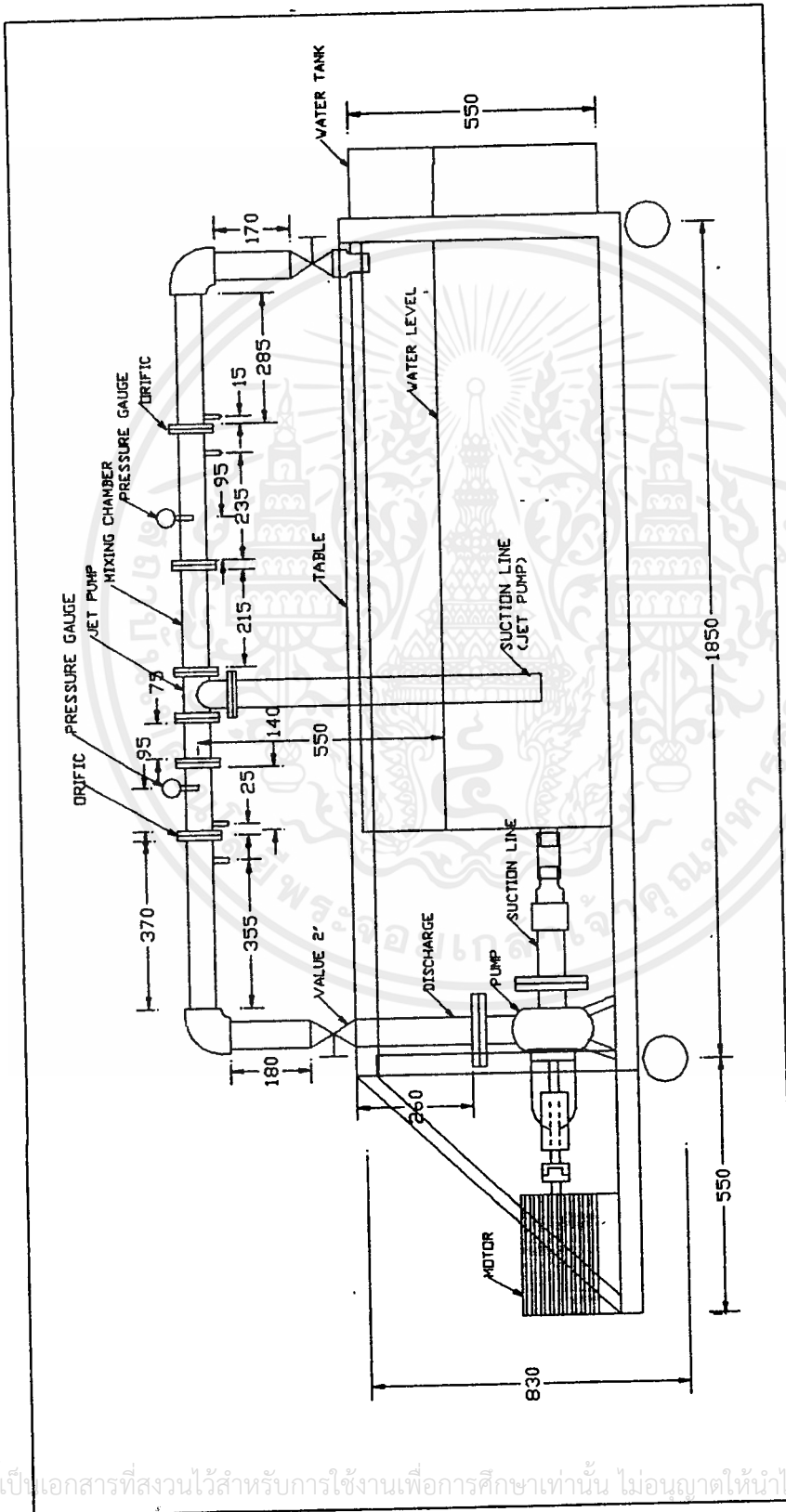
อุปกรณ์และส่วนประกอบสำหรับการทดลอง ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.5 มีดังต่อไปนี้

- 1) ถังพักน้ำจำนวน 1 ใบ ทำจากแผ่นสแตนเลสหนา 0.8 mm มีความจุ  $0.85 \times 1.5 \times 0.75 \text{ m}^3$  มีท่อขนาด  $\phi 2''$  ต่อเข้ากับท่อดูดของปั๊มหยอชิง แสดงดังรูปที่ 3.6

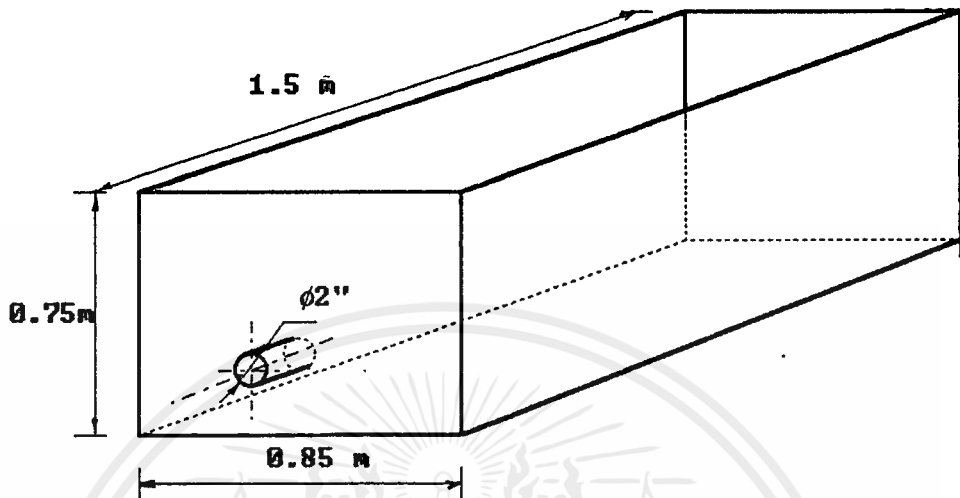


รูปที่ 3.5.1 แสดงชุดเครื่องมือการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

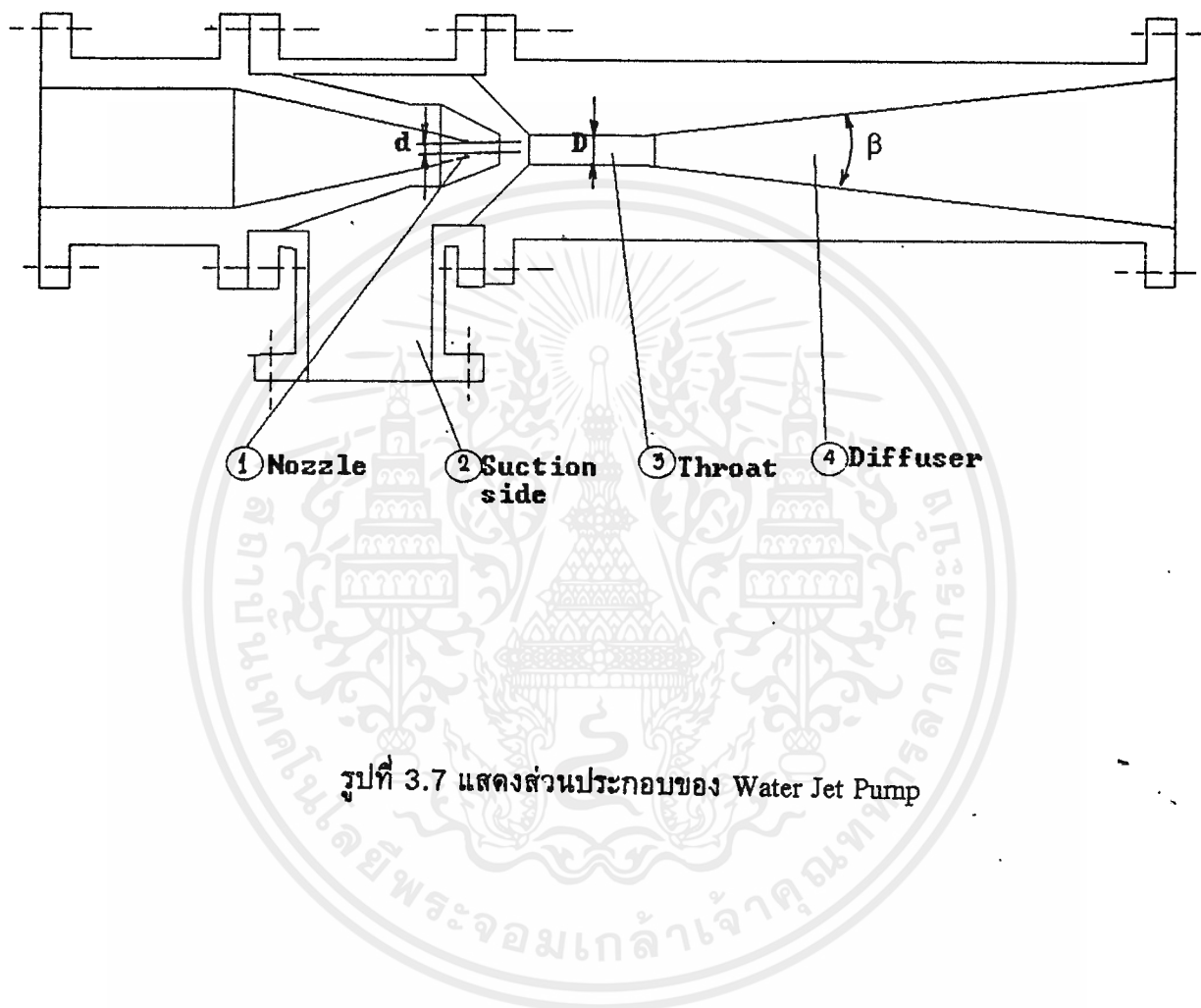


รูปที่ 3.5.2 แสดงขนาดของชุดทดลอง

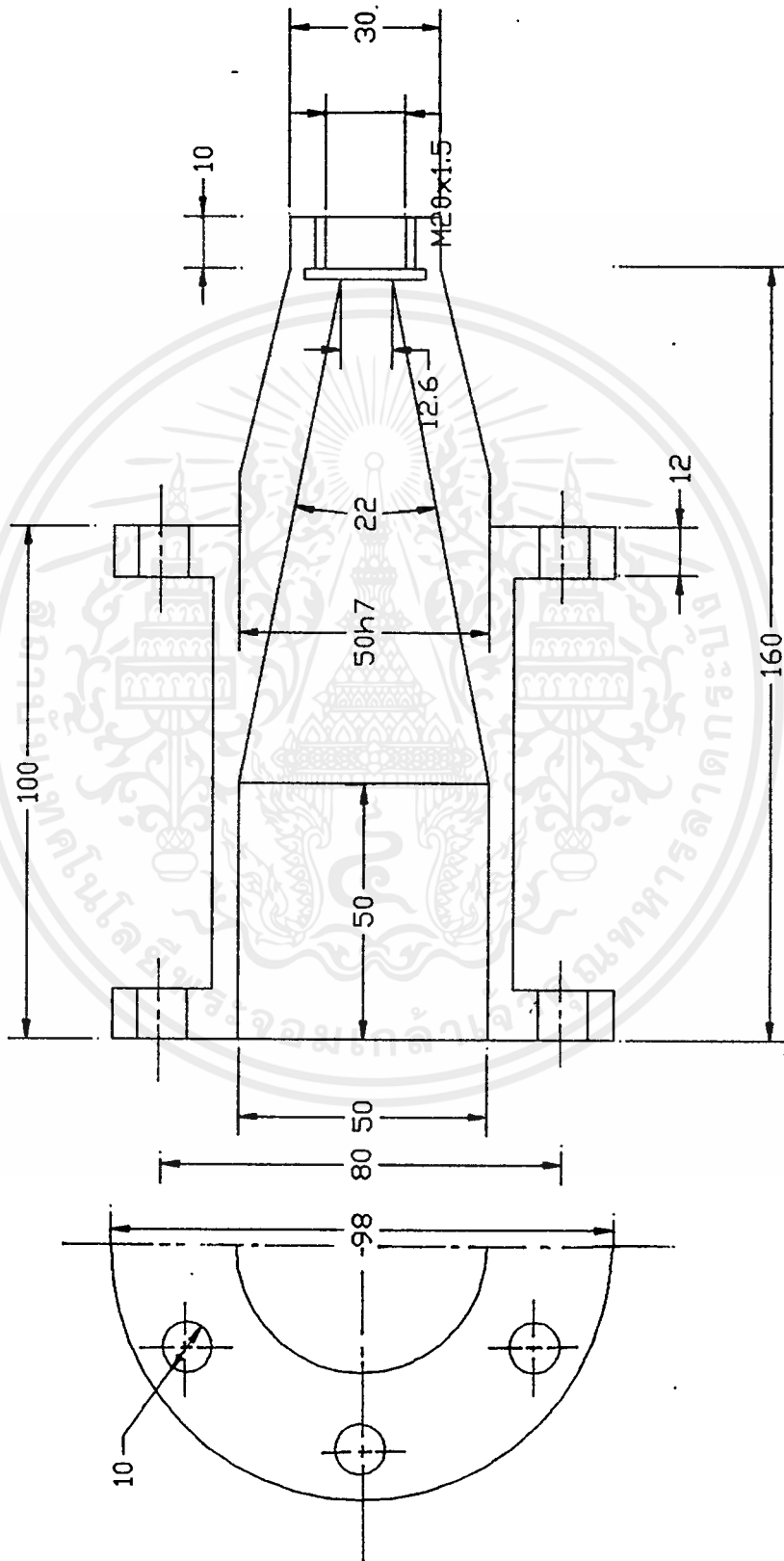


รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะของถังพักน้ำสำหรับการทดลอง

- 2) อุปกรณ์ข้อต่อ fitting ได้แก่ ข้อต่องอ (standard elbow 90) , ข้อต่อตรงขนาด  $\phi$  2 นิ้ว , ข้อต่อสายยางขนาด  $\phi$  นิ้ว
- 3) ท่อเหล็กขนาด  $\phi$  2 นิ้ว
- 4) ball valve ขนาด  $\phi$  2 นิ้วจำนวน 2 ตัว และ foot valve 1 ชุด
- 5) เครื่องสูบน้ำ ประกอบด้วยมอเตอร์และปั๊ม 1 ชุด มีขนาดอัตราการไหล 300 ลิตรต่อนาที
- 6) ชุดวัดอัตราการไหลประกอบด้วยแผ่นออริฟิต ขนาด  $\phi$  2 นิ้ว จำนวน 2 ชุด และมาโนมิเตอร์ปรอทวัดความดัน สำหรับออริฟิตจำนวน 2 ชุด
- 7) pressure gauge จำนวน 2 ชุด ขนาด 4 บาร์ และมาโนมิเตอร์สำหรับวัดความดันที่ทางดูดของ water jet pump
- 8) ชุดทดลอง water jet pump ดังรูปที่ 3.7 ประกอบด้วย
  - (8.1) ชุดติดตั้งหัวฉีด แสดงดังรูปที่ 3.8
  - (8.2) ชุดหัวฉีดจำนวน 4 ขนาดได้แก่  $\phi$  4 มม., 6 มม, 8 มม, 10 มม. แสดงดังรูปที่ 3.9
  - (8.3) ชุดห้องดูด แสดงดังรูปที่ 3.10
  - (8.4) ชุดห้องผสม แสดงดังรูปที่ 3.11

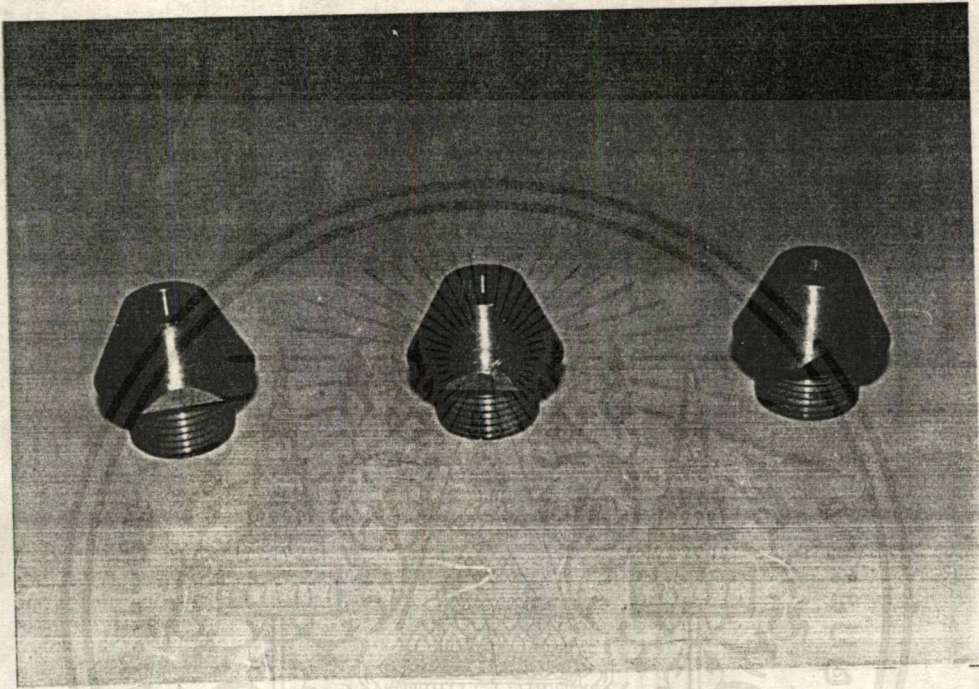


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3/8 แสดงขนาดของชุดติดตั้งหัวฉีด

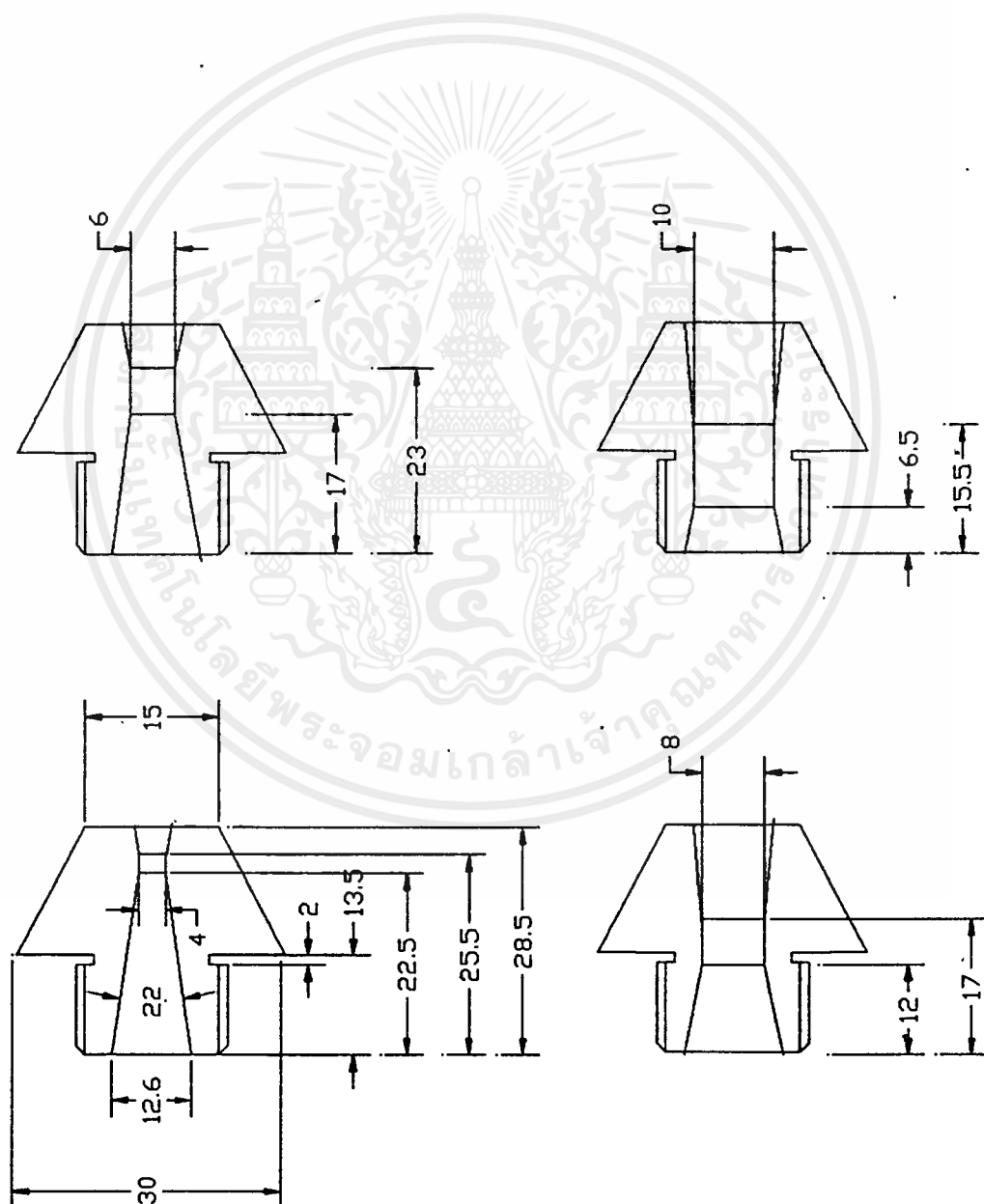
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9.1 แสดงหัวฉีดที่ใช้ในการทดลอง

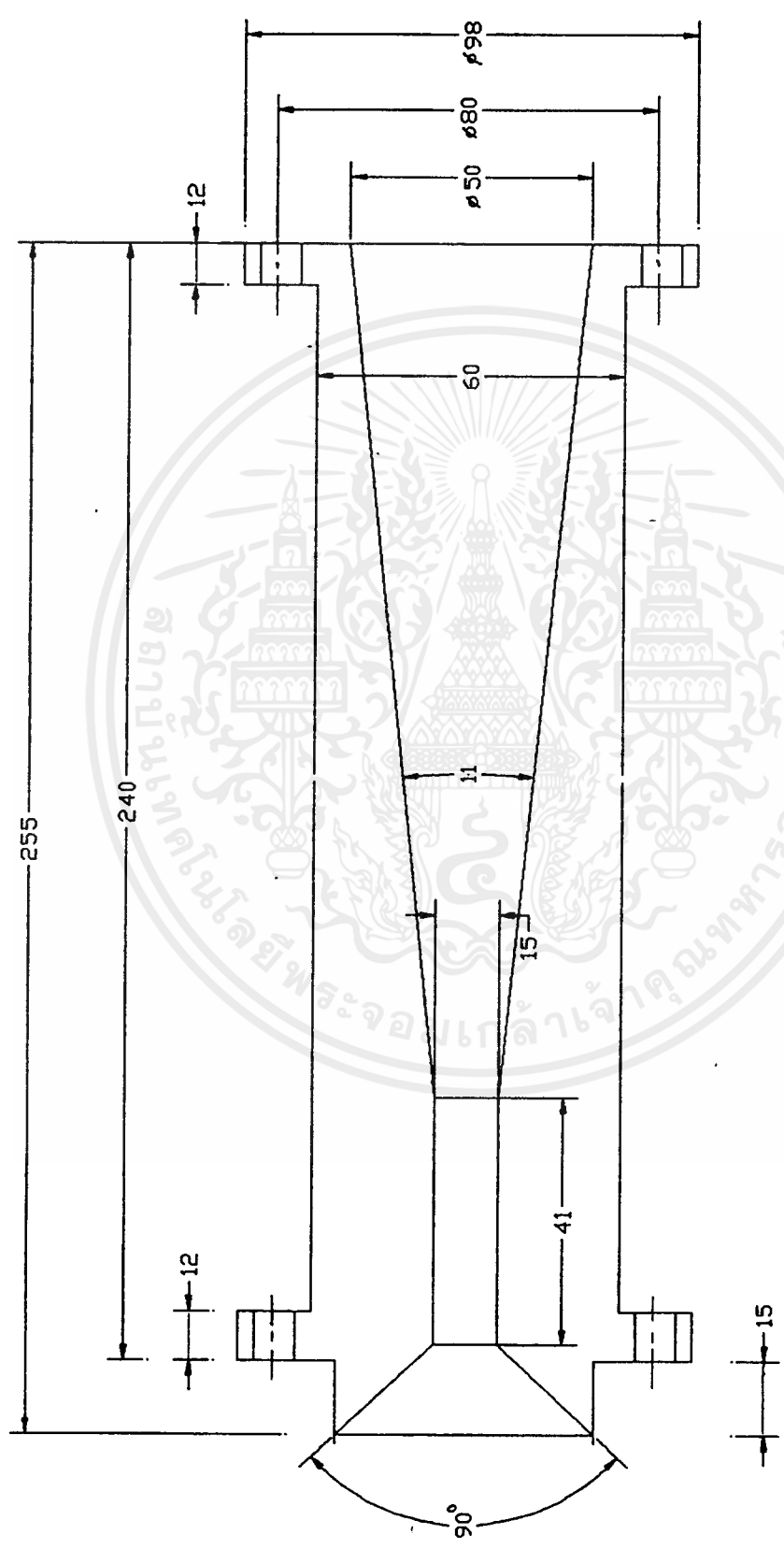
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.9.2 แสดงขนาดหัวฉีดที่ใช้ในการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 3.11 แสดงขนาดของชุดห้องผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### การทดสอบปั้มน้ำแบบหัวฉีด (Water Jet Pump Testing)

##### 1.วัตถุประสงค์

การทดลองนี้ เพื่อศึกษาสมรรถนะการทำงานและประสิทธิภาพของปั้มน้ำแบบหัวฉีดที่มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดของหัวฉีด-ห้องผสมขนาดต่าง ๆ

##### 2.เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

- (2.1) ชุดปั้มน้ำแบบหัวฉีด ประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ คือ
  - ก. หัวฉีด (nozzle)
  - ข. ท่อด้านดูด (suction side)
  - ค. ห้องผสมและด้านจ่าย (mixing-chamber & discharge side)
- (2.2) ปั้มน้ำแบบหอยโข่ง
- (2.3) เกจวัดความดัน ( pressure guage,  $p_1, p_2$  ) จำนวน 2 ตัว
- (2.4) วาล์วปรับอัตราการไหล จำนวน 2 ตัว (  $V_1, V_2$  )
- (2.5) ชุดออร์ฟิตและมาโนมิเตอร์ จำนวน 2 ชุด (  $M_1, M_2$  )
- (2.6) ชุดมาโนมิเตอร์สำหรับวัดความดันที่ด้านดูด จำนวน 1 ชุด

M3

##### 3.วิธีการทดลอง

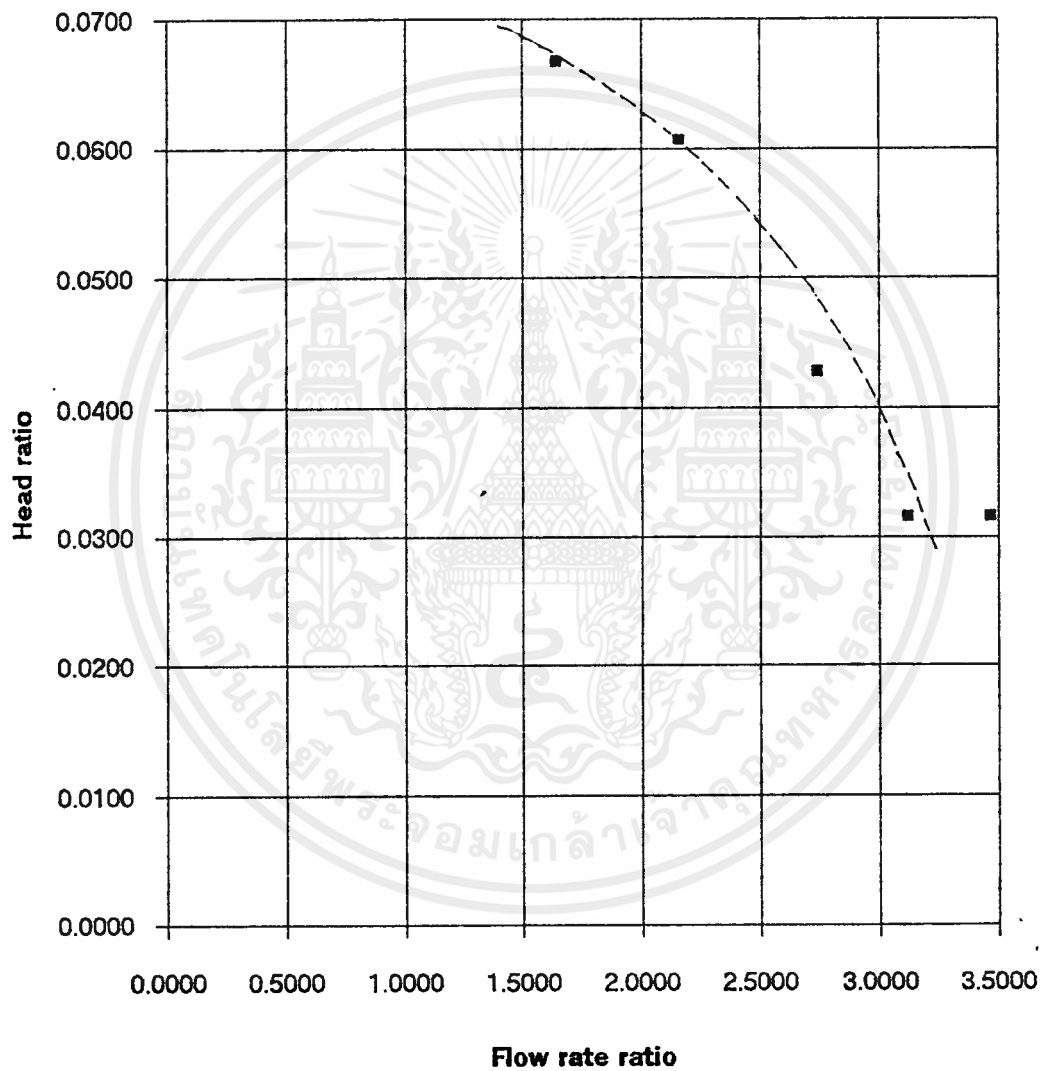
- (1). เปิดสวิตซ์ให้ปั้มหอยโข่งทำงาน และเปิดวาล์ว  $V_1, V_2$  เต็มที่
- (2). อ่านค่า  $\Delta h$  ของมาโนมิเตอร์ที่ชุดออร์ฟิต  $M_1, M_2$  และมาโนมิเตอร์สำหรับวัดความดันที่ด้านดูด  $M_3$  บันทึกผลลงในตารางการทดลอง
- (3). อ่านค่าจากเกจวัดความดัน  $P_1, P_2$  บันทึกผลลงในตารางการทดลอง
- (4). ทำการทดลองซ้ำที่อัตราการไหลค่าใหม่ โดยปรับวาล์ว  $V_2$  ลงแล้วบันทึกผลลงในตารางการทดลองตามข้อ 2,3
- (5). หลังจากเสร็จจากข้อ 4 แล้วทำการทดลองใหม่อีกโดยการเปลี่ยนขนาดของหัวฉีดจนครบทั้ง 4 ขนาด

**ตารางผลการทดลองที่ 1.**

เมื่อ diameter ของหัวฉีด = 0.0040 เมตร และ อัตราส่วนพื้นที่หัวฉีด-ห้องผสม = 0.2667

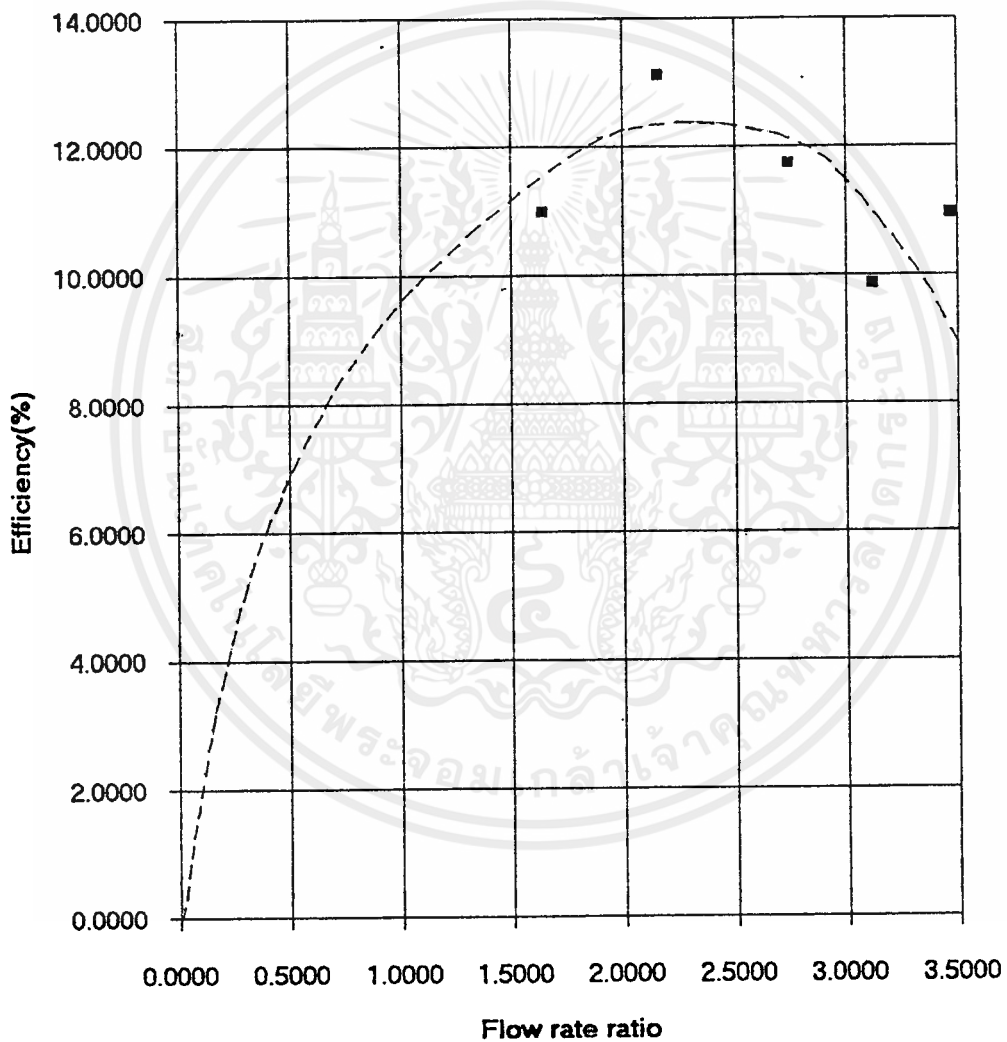
Flow rate (Q)				pressure head												
มาโนมิเตอร์		Qj	Qd	Qs	flowrate	Pj	Ps	Pd	Ps	Hp	Hs	Hd	Hd-Hs	Hp-Hd	Head	Efficiency
h1	h2	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	ratio	(Bar)	(mHg)	(Bar)	(m)	(m)	(m)	(m)			Ratio	(%)
0.0010	0.0070	0.0004	0.0009	0.0006	1.6458	3.7000	-0.0070	0.2200	-0.0122	37.7320	-0.1249	2.2435	2.3684	35.4885	0.0667	10.9832
0.0010	0.0100	0.0004	0.0011	0.0008	2.1623	3.7000	-0.0070	0.2000	-0.0122	37.7320	-0.1249	2.0396	2.1644	35.6924	0.0606	13.1122
0.0010	0.0140	0.0004	0.0013	0.0010	2.7417	3.7000	-0.0070	0.1400	-0.0122	37.7320	-0.1249	1.4277	1.5525	36.3043	0.0428	11.7247
0.0010	0.0170	0.0004	0.0015	0.0011	3.1231	3.7000	-0.0080	0.1000	-0.0136	37.7320	-0.1384	1.0198	1.1582	36.7122	0.0315	9.8527
0.0010	0.0200	0.0004	0.0016	0.0012	3.4721	3.7000	-0.0080	0.1000	-0.0136	37.7320	-0.1384	1.0198	1.1582	36.7122	0.0315	10.9538

กราฟที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Flowrate ratio กับ Head ratio ที่  $B=0.2667$



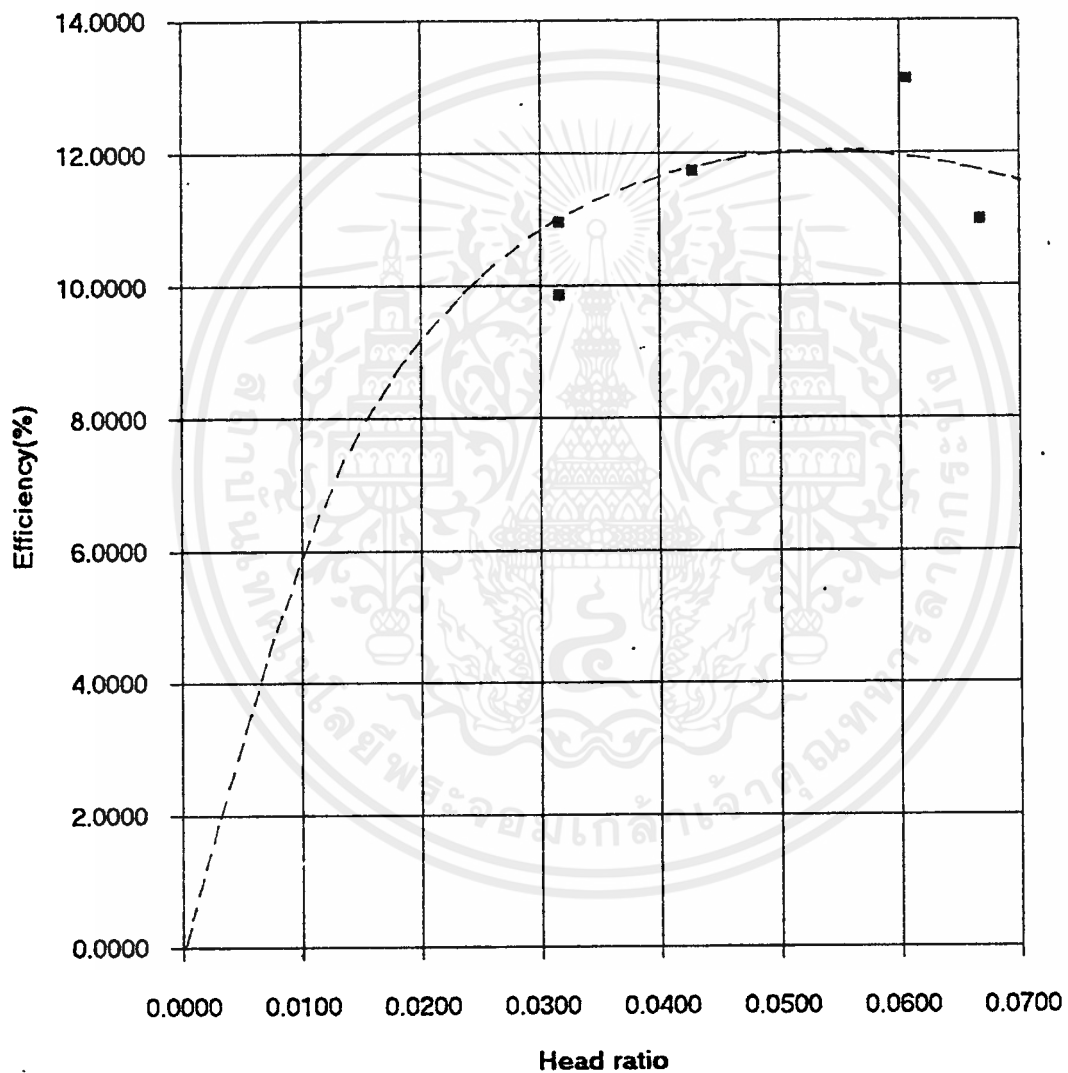
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Efficiency กับ Flowrate ratio  $\eta B=0.2667$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Efficiency กับ Head ratio ที่  $B=0.2667$



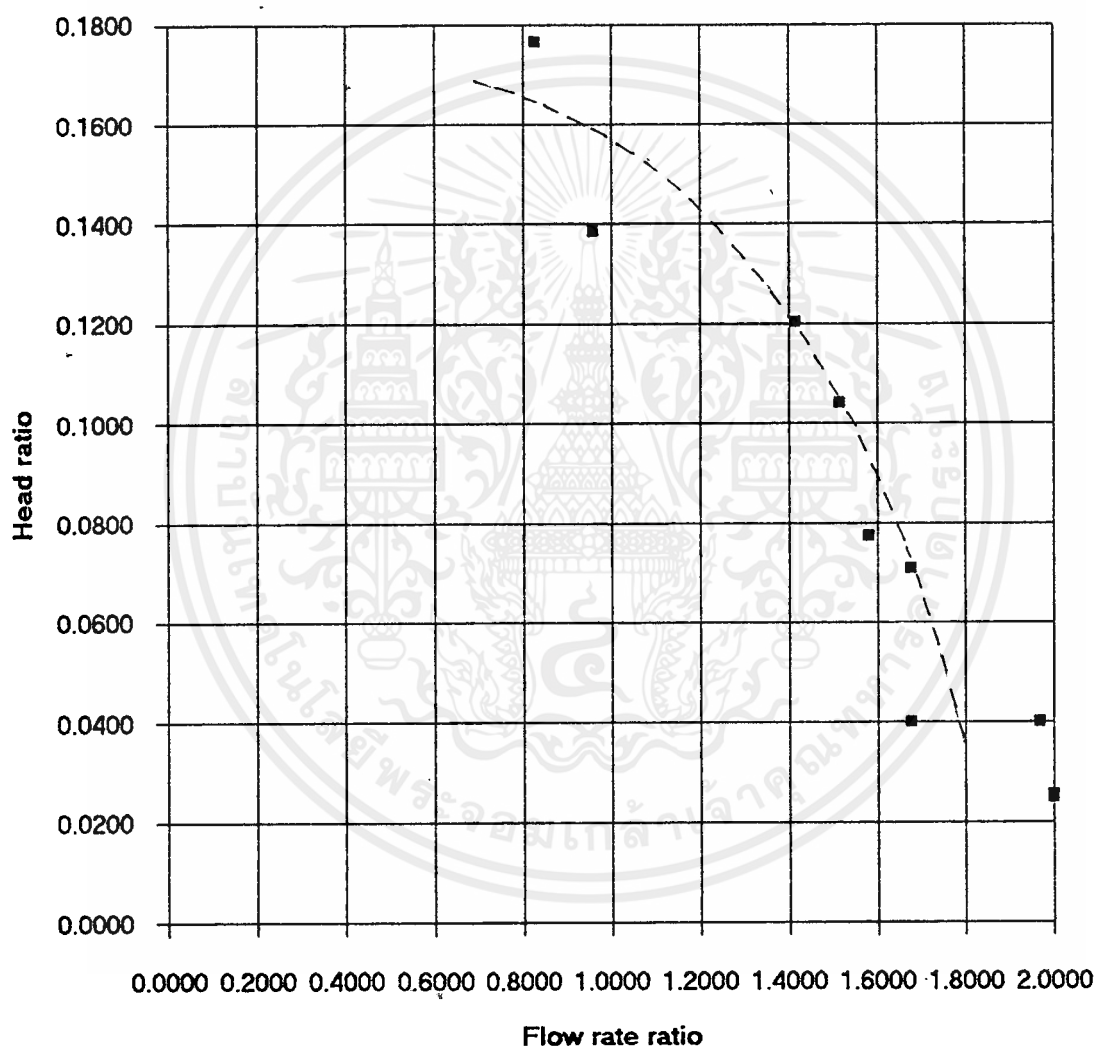
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางผลการทดลองที่ 2.**

เมื่อ diameter ของหัวฉีด = 0.0060 เมตร และ อัตราส่วนพื้นที่หัวฉีด - ห้องผสม = 0.4000

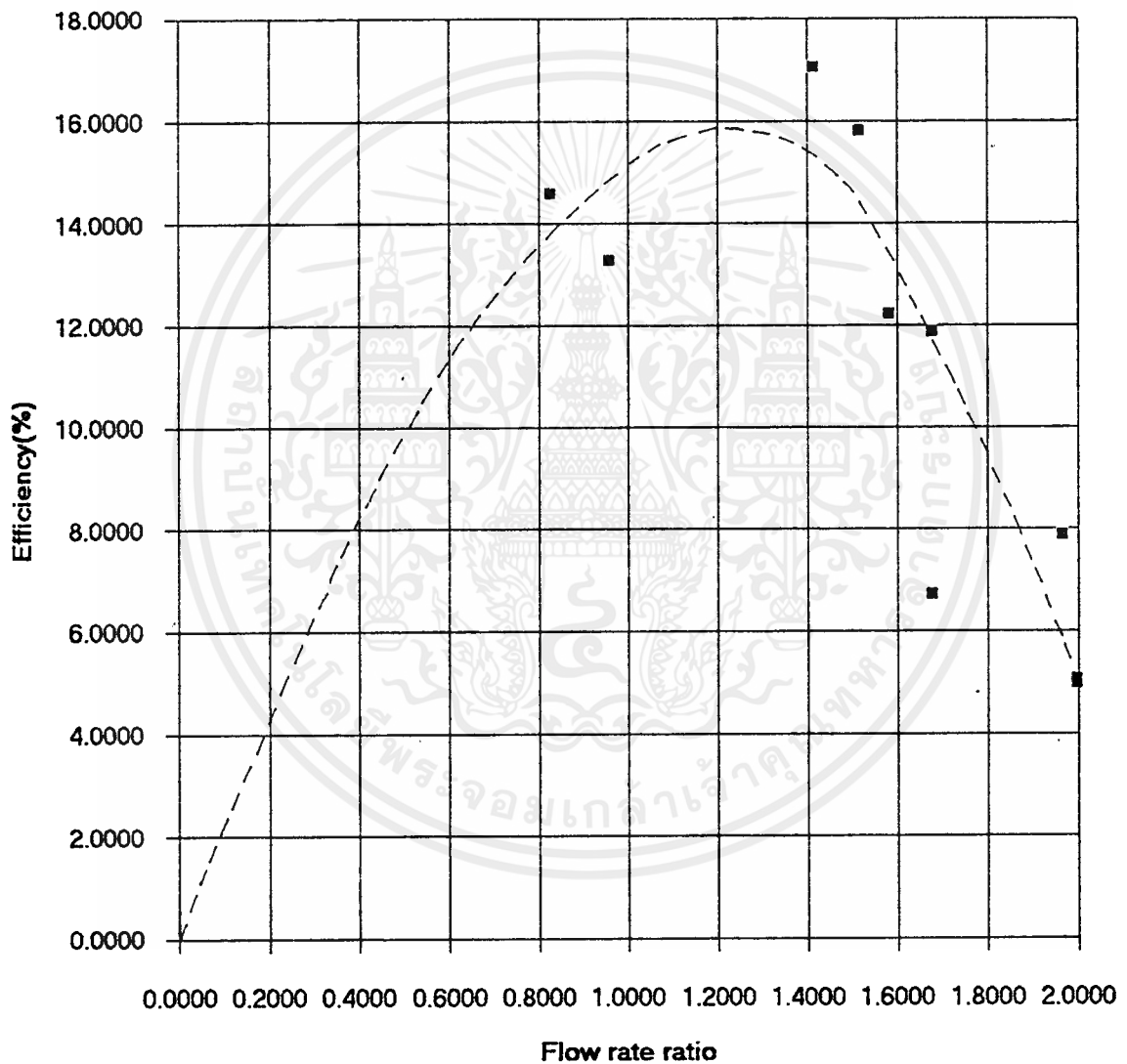
Flow rate (Q)				pressure head												
ภาชนะเมตร		Qj	Qd	Qs	flowrate	Pj	Ps	Pd	Ps	Hp	Hs	Hd	Hd-Hs	Hp-Hd	Head	Efficiency
h1	h2	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	ratio	(Bar)	(mHg)	(Bar)	(Bar)	(m)	(m)	(m)	(m)		Ratio	(%)
0.0060	0.0200	0.0009	0.0016	0.0007	0.8257	3.50	-0.0200	0.50	-0.0295	35.6924	-0.3010	5.0989	5.3999	30.5935	0.1765	14.5748
0.0060	0.0230	0.0009	0.0017	0.0008	0.9579	3.50	-0.0200	0.40	-0.0295	35.6924	-0.3010	4.0791	4.3801	31.6133	0.1386	13.2719
0.0060	0.0350	0.0009	0.0021	0.0012	1.4152	3.50	-0.0200	0.35	-0.0295	35.6924	-0.3010	3.5692	3.8702	32.1232	0.1205	17.0509
0.0060	0.0380	0.0009	0.0022	0.0013	1.5166	3.50	-0.0230	0.30	-0.0335	35.6924	-0.3417	3.0594	3.4010	32.6331	0.1042	15.8060
0.0060	0.0400	0.0009	0.0023	0.0014	1.5820	3.50	-0.0230	0.22	-0.0335	35.6924	-0.3417	2.2435	2.5852	33.4489	0.0773	12.2268
0.0060	0.0430	0.0009	0.0023	0.0015	1.6771	3.50	-0.0230	0.20	-0.0335	35.6924	-0.3417	2.0396	2.3812	33.6529	0.0708	11.8666
0.0060	0.0430	0.0009	0.0023	0.0015	1.6771	3.50	-0.0250	0.10	-0.0362	35.6924	-0.3688	1.0198	1.3885	34.6726	0.0400	6.7161

กราฟที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Flowrate ratio กับ Head ratio ที่  $B=0.4$



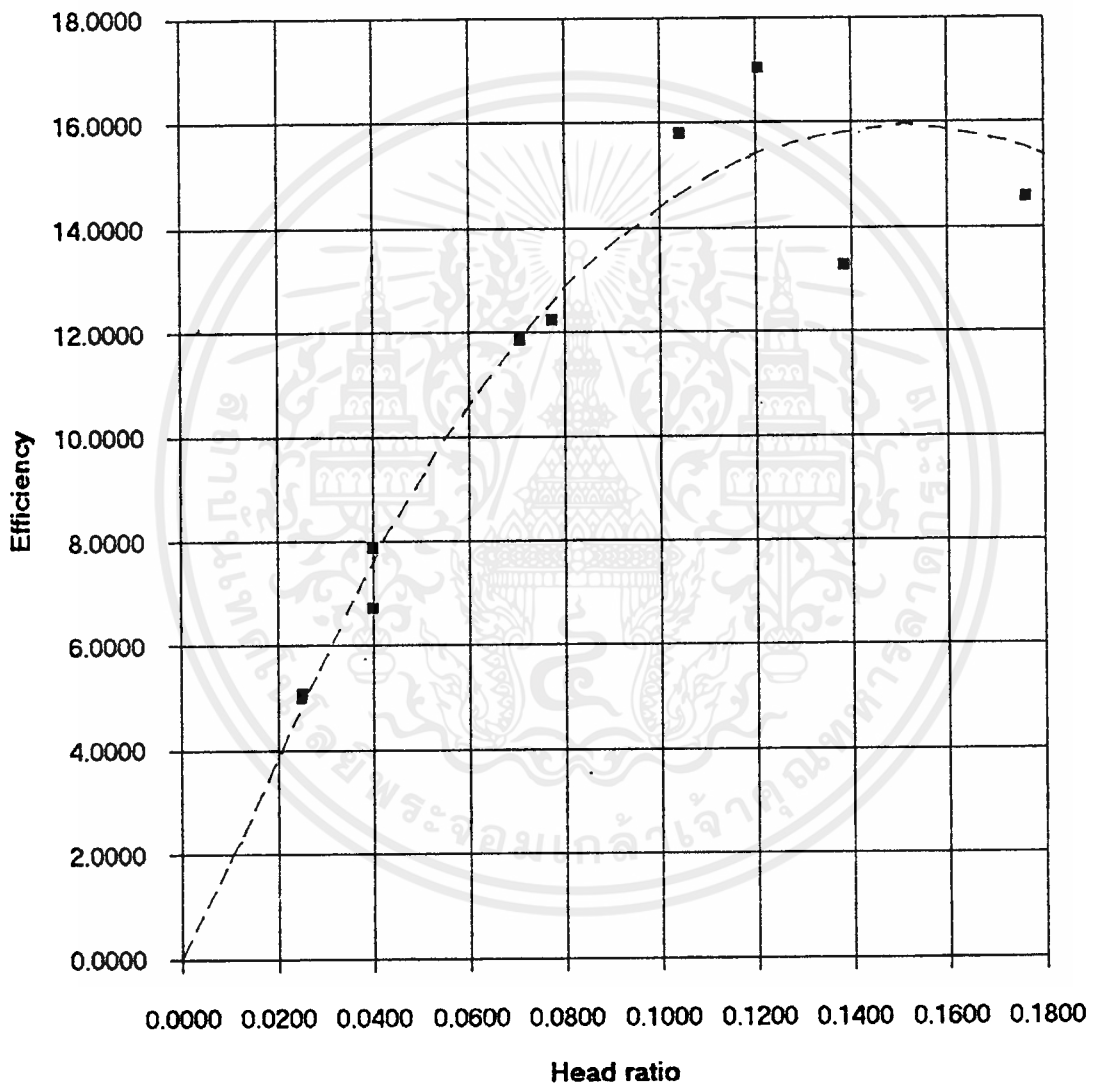
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Efficiency กับ Flowrate ratio ที่  $B=0.4$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Efficiency กับ Head ratio ที่  $B=0.4$



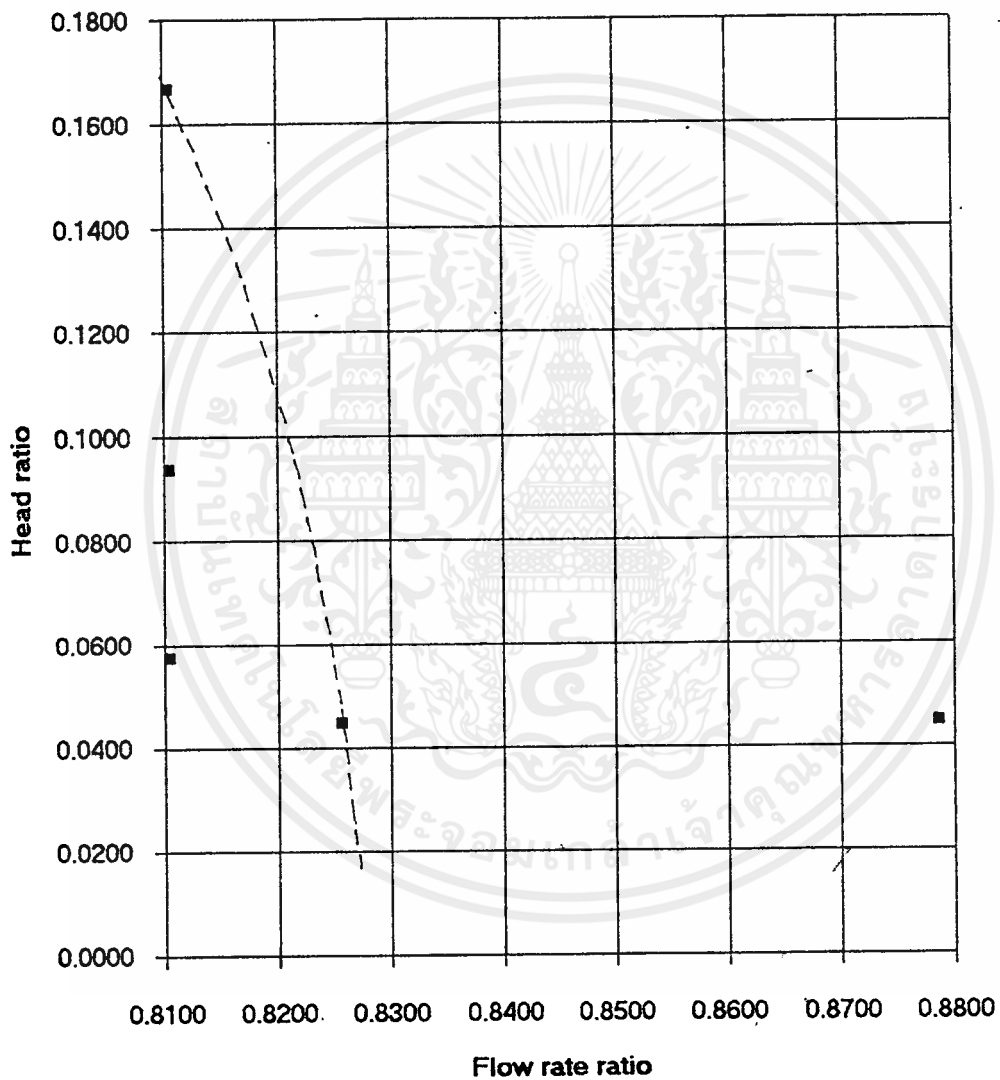
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางผลการทดลองที่ 3.**

เมื่อ diameter ของหัวฉีด = 0.0080 เมตร และ อัตราส่วนพื้นที่หัวฉีด-ห้องผสม = 0.5333

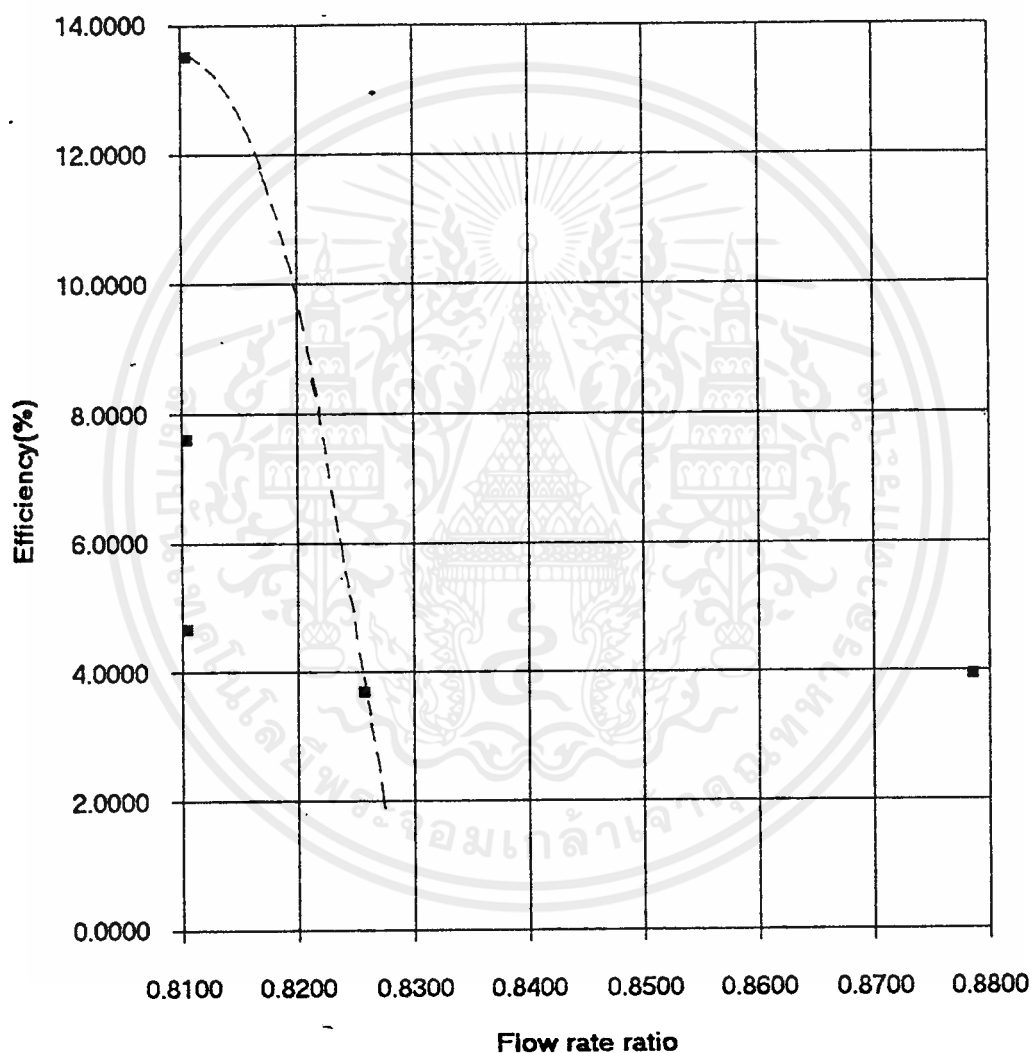
Flow rate (Q)					pressure head											
มาโนมิเตอร์		Qj	Qd	Qs	flowrate	Pj	Ps	Pd	Ps	Hp	Hs	Hd	Hd-Hs	Hp-Hd	Head	Efficiency
h1	h2	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	ratio	(Bar)	(mHg)	(Bar)	(Bar)	(m)	(m)	(m)	(m)		Ratio	(%)
0.0180	0.0590	0.0015	0.0027	0.0012	0.8105	3.50	-0.0330	0.50	-0.0468	35.6924	-0.4772	5.0989	5.0990	30.5935	0.1667	13.5078
0.0180	0.0590	0.0015	0.0027	0.0012	0.8105	3.50	-0.0320	0.30	-0.0455	35.6924	-0.4636	3.0594	3.0594	32.6331	0.0938	7.5982
0.0180	0.0590	0.0015	0.0027	0.0012	0.8105	3.50	-0.0240	0.19	-0.0348	35.6924	-0.3552	1.9376	1.9376	33.7548	0.0574	4.6523
0.0180	0.0600	0.0015	0.0028	0.0013	0.8257	3.50	-0.0240	0.15	-0.0348	35.6924	-0.3552	1.5297	1.5297	34.1628	0.0448	3.6974
0.0170	0.0600	0.0015	0.0028	0.0013	0.8787	3.50	-0.0230	0.15	-0.0335	35.6924	-0.3417	1.5297	1.5297	34.1628	0.0448	3.9345

กราฟที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Head ratio กับ  
Flowrate ratio ที่  $B=0.5333$



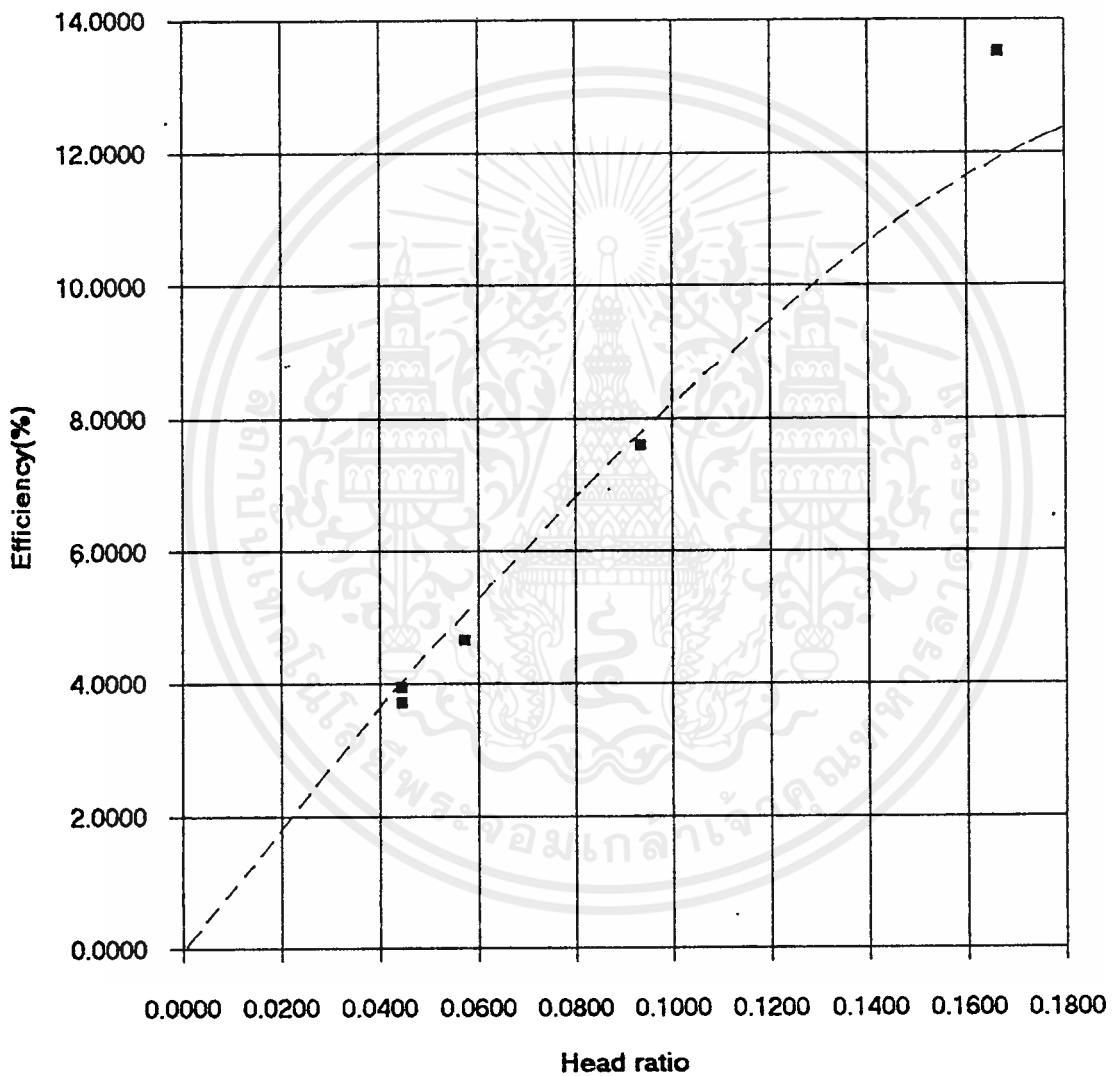
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Efficiency กับ Flowrate ratio ที่  $B=0.5333$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Efficiency กับ Head ratio ที่  
 $B=0.5333$



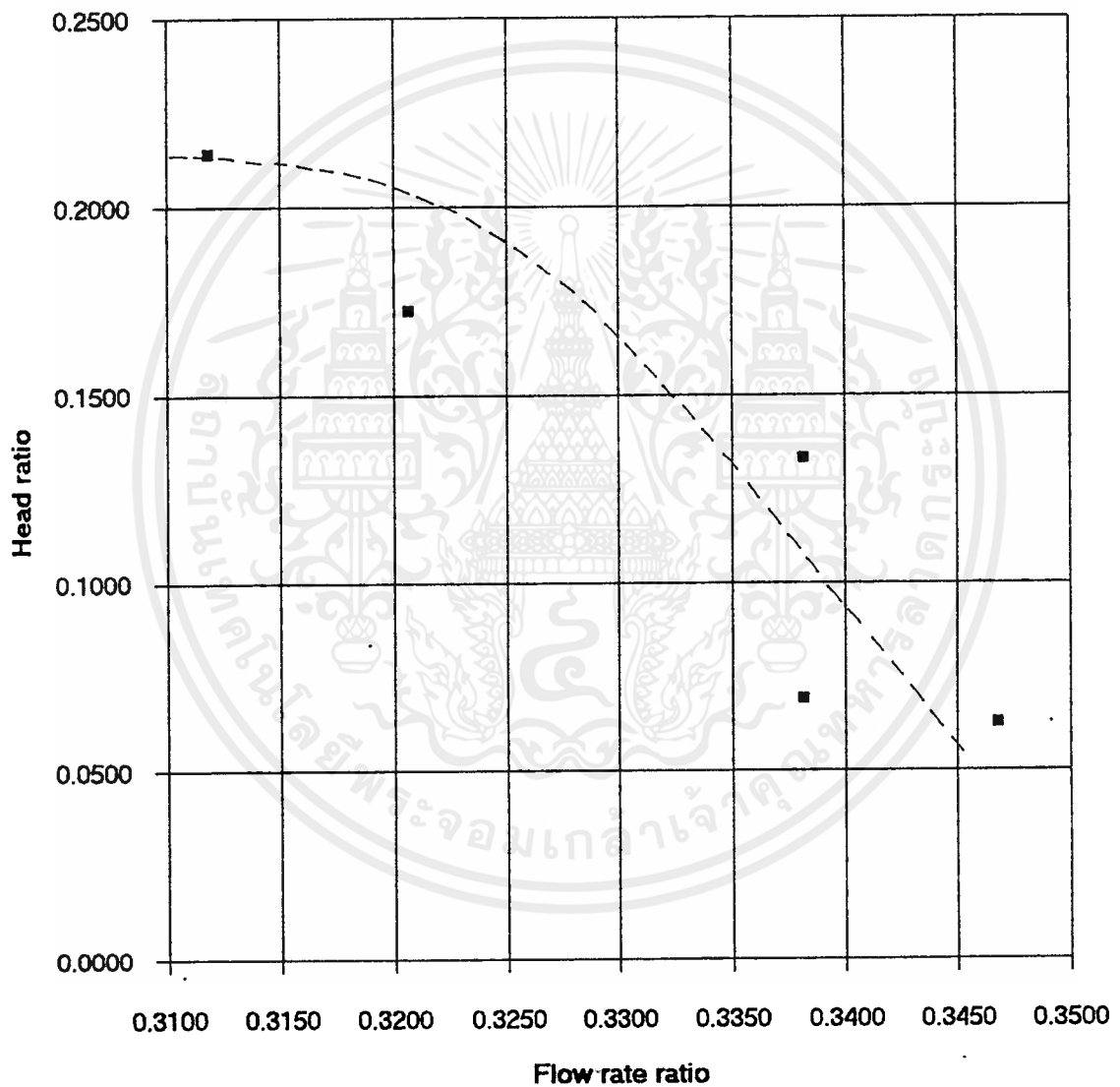
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางผลการทดลองที่ 4.**

เมื่อ diameter ของหัวฉีด = 0.0100 เมตร และ อัตราส่วนพื้นที่หัวฉีด - ห้องผสม = 0.6667

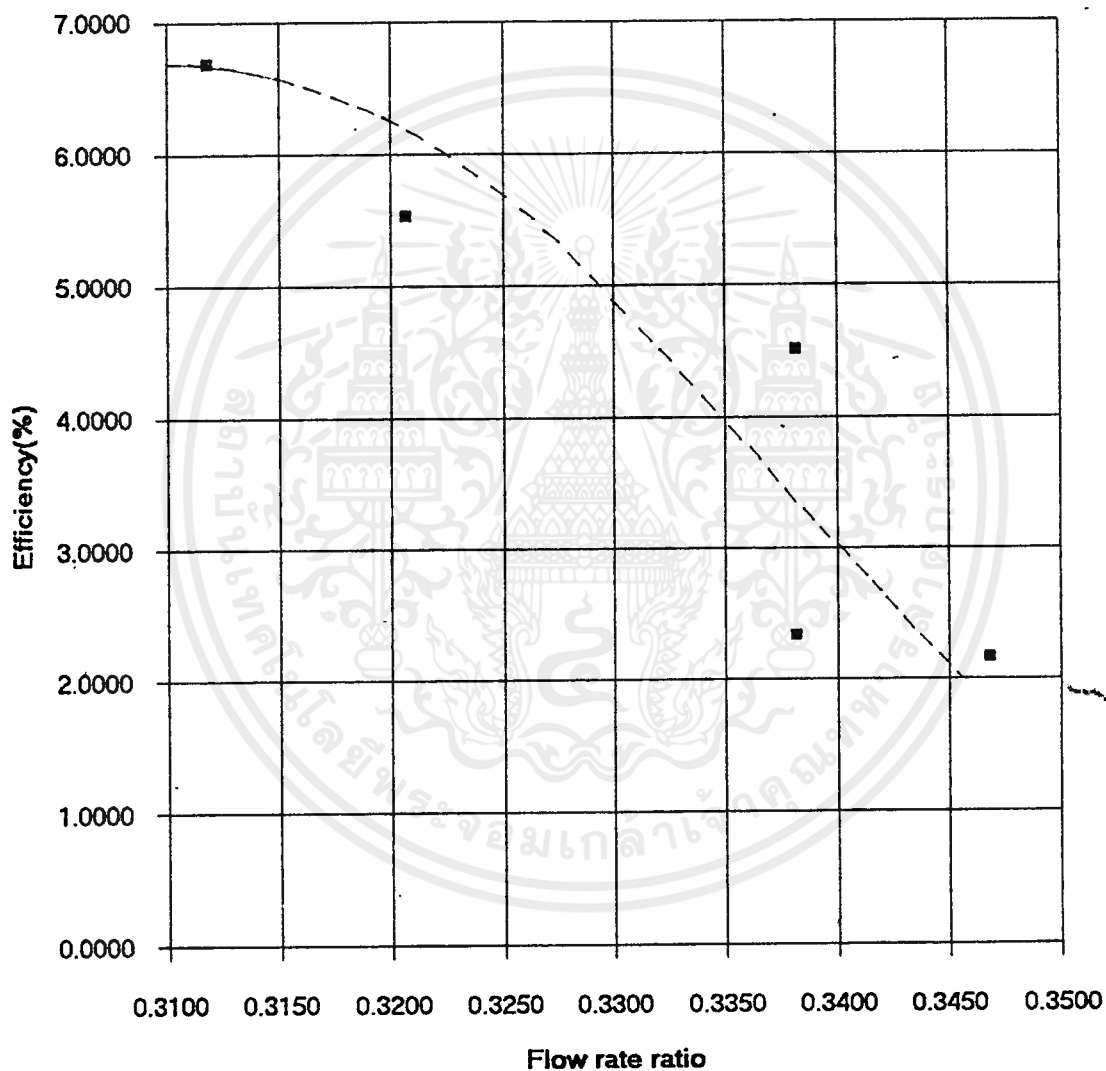
Flow rate (Q)				pressure head											
มาโนมิเตอร์		Qd	Qs	flowrate	Pj	Ps	Pd	Ps	Hp	Hs	Hd	Hd-Hs	Hp-Hd	Head	Efficiency
h1	h2	Qj	Qs	ratio	(Bar)	(mHg)	(Bar)	(m)	(m)	(m)	(m)			Ratio	(%)
0.0430	0.0740	0.0023	0.0007	0.3118	3.40	-0.0120	0.60	-0.0189	34.6726	-0.1926	6.1187	6.1187	28.5539	0.2143	6.6824
0.0430	0.0750	0.0023	0.0008	0.3207	3.40	-0.0120	0.50	-0.0189	34.6726	-0.1926	5.0989	5.0990	29.5737	0.1724	5.5290
0.0430	0.0770	0.0023	0.0008	0.3382	3.40	-0.0120	0.40	-0.0189	34.6726	-0.1926	4.0791	4.0792	30.5935	0.1333	4.5090
0.0430	0.0770	0.0023	0.0008	0.3382	3.40	-0.0130	0.22	-0.0202	34.6726	-0.2062	2.2435	2.2436	32.4291	0.0692	2.3396
0.0430	0.0780	0.0023	0.0008	0.3468	3.40	-0.0130	0.20	-0.0202	34.6726	-0.2062	2.0396	2.0396	32.6331	0.0625	2.1677

กราฟที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Head ratio กับ Flowrate ratio  
ที่  $B=0.6667$



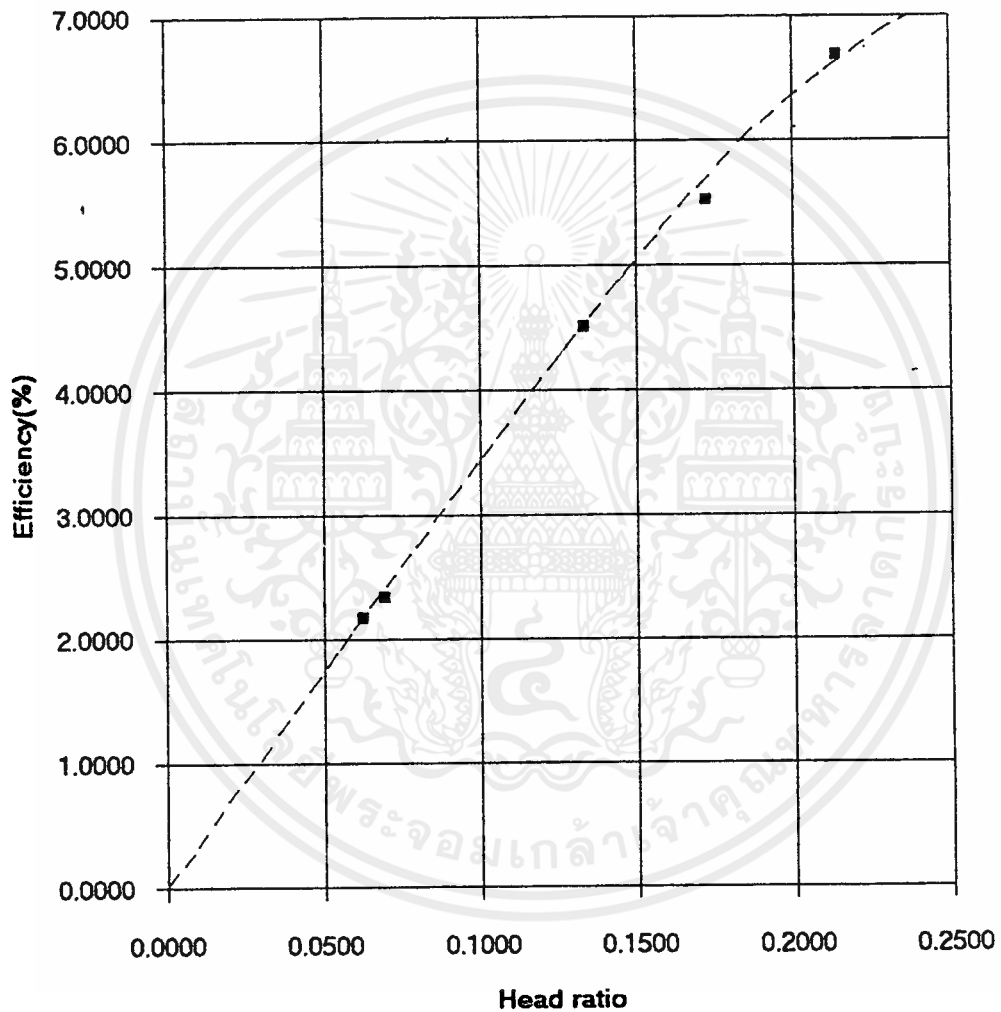
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Efficiency กับ Flowrate ratio ที่  $B=0.6667$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Efficiency กับ Head ratio ที่  $B=0.6667$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$$Q_j = \alpha \beta^2 A_1 \sqrt{2g(S.G)} \Delta h_1 \quad \dots\dots\dots(4.2)$$

$$Q_d = \alpha \beta^2 A_o \sqrt{2g(S.G)} \Delta h_2$$

$$\alpha = Cd.E = 0.71$$

$$\beta = 0.7 \quad \dots\dots\dots(4.2)$$

$$S.G = 13.55$$

$\Delta h$ : ความสูงของปรอท .

$$Q_s = Q_d - Q_j$$

$$\therefore \phi = \frac{Q_s}{Q_j} \quad \dots\dots\dots(4.3)$$

$$H_p = \frac{P_1}{\gamma_1} + Z_1 \quad ; V_1 = \frac{Q_j}{A}$$

$$H_s = \frac{P_s}{\gamma_2} + Z_s \quad ; V_s = \frac{Q_s}{A_s} \quad \dots\dots\dots(4.4)$$

$$H_d = \frac{P_d}{\gamma} + Z_d \quad ; V_d = \frac{Q_d}{A}$$

$$\phi = \frac{(H_d - H_s)}{(H_p - H_d)} \quad \dots\dots\dots(4.5)$$

$$\eta = \phi \phi . 100 \quad \dots\dots\dots(4.6)$$

โดยที่  $\gamma_w = 9806$

### สำหรับการคำนวณทางทฤษฎี

$$H_d - H_s = \frac{V_J^2}{2g} \left[ 2\beta + 2 \frac{\phi^2 \beta^2}{1-\beta} - 2\beta^2 (1+\phi)^2 - \beta^2 (1+\phi)^2 k_{mc} - \beta^2 (1+\phi)^2 (K_{dr} - \alpha_d) - \phi^2 \left( \frac{\beta}{1-\beta} \right)^2 (\alpha_s + K_s) \right]$$

$$H_p - H_d = \frac{V_J^2}{2g} \left[ \alpha_J + K_J + \beta^2 (1+\phi)^2 (k_{dif} - \alpha_d) - 2\beta - 2 \frac{\phi^2 \beta^2}{1-\beta} + \beta^2 (1+\phi)^2 (2 + K_{mc}) \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุป

สรุปผลจากทางทฤษฎีที่ได้จากบทที่ 2. พบว่า อัตราส่วนพื้นที่ หัวฉีด-ห้องผสม ของปั๊มหน้าแบบหัวฉีดที่ประมาณ 0.5 จะทำให้ได้ค่า ประสิทธิภาพสูงที่สุด

สรุปผลจากการทดลอง พบว่า เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนพื้นที่ หัวฉีด-ห้องผสมที่ทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการทดลอง จะได้ที่ ค่าเท่ากับ 0.4 เนื่องจากความแตกต่างในข้อสมมติทางทฤษฎีเบื้องต้น ดัง ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2.

### วิจารณ์ผลการทดลอง

การติดตั้งเกจวัดความดันที่ด้านจ่าย อยู่ใกล้ตำแหน่งห้อง ผสมมาก ซึ่งน้ำที่ไหลออกที่ด้านจ่ายของปั๊มหัวฉีดยังปรับตัวเข้าสู่สภาวะสม่ำเสมอจึงทำให้ความดันที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าผลทางทฤษฎี

การเก็บข้อมูลจากการทดลองทำได้อย่างจำกัด เนื่องเครื่องมือ วัดสำหรับจากชุดทดลองไม่สามารถทำได้ละเอียดพอ

## ภาคผนวก

### Analysis of compressible flow with ejector

#### 1. บทนำ (Introduction)

ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของการไหลของ compressible flow จะพิจารณาเฉพาะบริเวณห้อง ผสม ซึ่ง motive fluid หรือ ที่เรียกว่า primary flow นั้นจะเป็นการไหลแบบ subsonic หรือ supersonic ก็ได้ แต่จะต้องมีความแตกต่างของค่า Stagnation temperature ระหว่าง primary flow และ secondary flow ก่อนที่จะเข้าห้องผสม การศึกษาในเรื่องนี้จะทำการวิเคราะห์เฉพาะในเชิงทฤษฎีเท่านั้น โดยนำผลที่ได้จากการเปลี่ยนค่าตัวประกอบต่างๆ ไปทำการออกแบบ ejector ต่อไป สำหรับตัวอย่างของ ejector ที่พบเห็นมากในงานวิศวกรรมก็เช่น air ejector ที่ใช้ในหม้อน้ำ เป็นต้น

#### 2. สัญลักษณ์ (Nomenclature)

A : พื้นที่หน้าตัด

B : อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด

P : ความดัน

V : ความเร็ว

T : อุณหภูมิ

$C_p$  : ค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่มีค่า  $1004 \frac{J}{kg.K}$

R : ค่าคงที่ของก๊าซ มีค่า  $287 \frac{J}{kg.K}$

$\dot{m}$  : อัตราการไหลเชิงมวล

$\rho$  : ความหนาแน่นของของไหล

$\alpha$  : สัมประสิทธิ์ความเร็ว

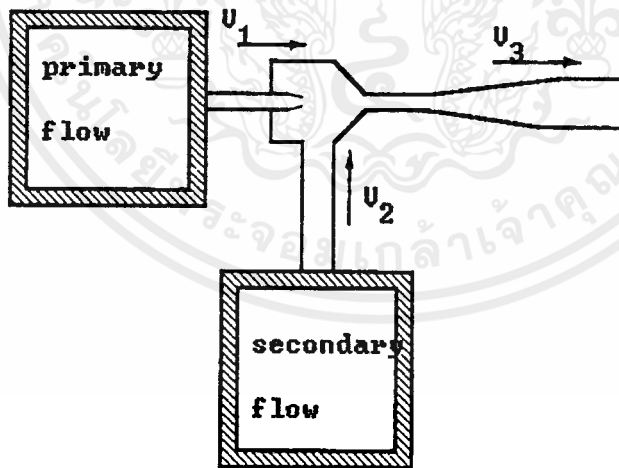
$\lambda$  : อัตราส่วนความดัน

E : อัตราส่วนความเร็ว

3. การคำนวณเพื่อการทำนายการหาสมรรถนะของ ejector (calculation for predicting performance of ejector)

ข้อสมมุติที่ใช้ในการวิเคราะห์

- 1) ของไหลทั้งสองชนิดเป็นก๊าซสมบูรณ์
- 2) การไหลอยู่ภายใต้สภาวะการไหลอยู่ตัวแบบย้อนกลับได้
- 3) ไม่คำนึงถึงผลกระทบที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลก  
( การไหลเป็น แบบ one dimension flow )
- 4) ไม่มีการเกิด normal shocks ใน primary fluid
- 5) ความดันสถิตมีค่าคงที่ทุกจุดของการไหล
- 6) ค่า  $C_p$  มีค่าคงที่ตลอดการไหล
- 7) ห้องผสมมีพื้นที่หน้าตัดคงที่



รูปที่ 1 แสดงลักษณะการทำงานของ ejector

ประสิทธิภาพของ ejector สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

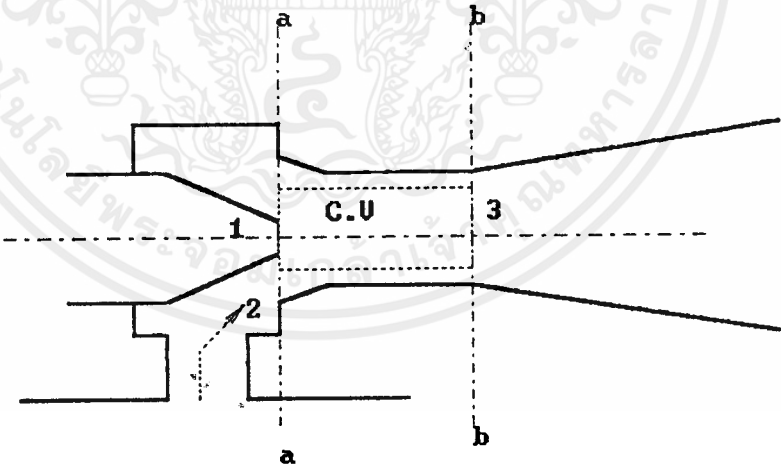
$$\eta = \frac{\text{Work output}}{\text{Work input}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\eta = \frac{m_2 \frac{k}{k-1} RT_2 \left\{ \left( \frac{P_3}{P_2} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right\} + m_2 \left( \frac{V_3^2 - V_2^2}{2} \right)}{m_1 \frac{k}{k-1} RT_1 \left\{ \left( \frac{P_3}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right\}} \quad (1)$$

จากความสัมพันธ์ของก๊าซสมบูรณ์ และสมมุติว่า  $T_1 = T_2$  ดังนั้นจากสมการที่ (1) จะได้

$$\eta = \frac{P_2 Q_2 \frac{k}{k-1} RT_2 \left\{ \left( \frac{P_3}{P_2} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right\} + \left( \frac{V_3^2 - V_2^2}{2} \right)}{P_1 Q_1 \frac{k}{k-1} RT_1 \left\{ \left( \frac{P_3}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right\}} \quad (1.1)$$



รูปที่ 2 แสดงเฉพาะห้องผสมเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณ

พิจารณาสมการความต่อเนื่องระหว่างหน้าตัด a-b

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3 \quad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{A_1 P_1 V_1}{RT_1} + \frac{A_2 P_2 V_2}{RT_2} = \frac{A_3 P_3 V_3}{RT_3} \quad (3)$$

พิจารณาสมการโมเมนต์ระหว่างหน้าตัด a-b

$$[\dot{m}_1 V_1 + A_1 P_1] + [\dot{m}_2 V_2 + (A_3 - A_1) P_2] = [\dot{m}_3 V_3 + A_3 P_3] \quad (4)$$

$$\left[ \frac{A_1 V_1^2 P_1}{RT_1} + A_1 P_1 \right] + \left[ \frac{(A_3 - A_1) V_2^2 P_2}{RT_2} + (A_3 - A_1) P_2 \right] = \frac{A_3 V_3^2 P_3}{RT_3} + A_3 P_3 \quad (5)$$

พิจารณาสมการพลังงานระหว่างหน้าตัด a-b

$$\dot{m}_1 \left[ h_1 + \frac{\alpha V_1^2}{2} \right] + \dot{m}_2 \left[ h_2 + \frac{\alpha V_2^2}{2} \right] = \dot{m}_3 \left[ h_3 + \frac{\alpha V_3^2}{2} \right] \quad (6)$$

$$\frac{A_1 V_1 P_1}{RT_1} \left( C_p T_1 + \frac{\alpha V_1^2}{2} \right) + \frac{(A_3 - A_1) V_2 P_2}{RT_2} \left( C_p T_2 + \frac{\alpha V_2^2}{2} \right) = \frac{A_3 V_3 P_3}{RT_3} \left( C_p T_3 + \frac{\alpha V_3^2}{2} \right) \quad (7)$$

จากสมการที่ (3) จัดรูปใหม่จะได้เป็น

$$P_2 = \frac{T_2}{V_2 (A_3 - A_1)} \left[ \frac{A_3 P_3 V_3}{T_3} - \frac{A_1 P_1 V_1}{T_1} \right] \quad (8)$$

แทนสมการที่ (8) ลงในสมการที่ (5) และ (7) จะได้

$$\frac{A_1 V_1^2 P_1}{RT_1} + A_1 P_1 + \frac{V_2}{R} \left( \frac{A_3 V_3 P_3}{T_3} - \frac{A_1 V_1 P_1}{T_1} \right) + \frac{T_2}{V_2} \left( \frac{A_3 V_3 P_3}{T_3} - \frac{A_1 V_1 P_1}{T_1} \right) = \frac{A_3 V_3^2 P_3}{RT_3} + A_3 P_3 \quad (9)$$

$$\frac{A_1 V_1 P_1 C_p}{R} + \frac{\alpha A_1 V_1^3 P_1}{2RT_1} + \left( \frac{A_3 V_3 P_3}{RT_3} - \frac{A_1 V_1 P_1}{RT_1} \right) C_p T_2 + \left( \frac{A_3 V_3 P_3}{RT_3} - \frac{A_1 V_1 P_1}{RT_1} \right) \frac{\alpha V_2^2}{2} = \frac{A_3 V_3 P_3 C_p}{R} + \frac{\alpha A_3 V_3^3 P_3}{2RT_3} \quad (10)$$

กำหนดให้

$$B = \frac{A_3}{A_1}$$

$$\frac{P_1}{P_3} = \lambda$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (9) และ (10) สามารถจัดสมการหา  $V_3$  ให้อยู่ในรูป

$$\begin{aligned}
 aV_3^2 - bV_3 + c &= 0 \\
 a &= \frac{BC_p}{R} - \frac{\alpha B}{2} + \frac{\lambda\alpha}{2} + \frac{\lambda\alpha V_1^2}{2RT_1} - \frac{\lambda\alpha V_1 V_2}{2RT_1} - \frac{\lambda\alpha V_1 T_2}{2T_1 V_2} \\
 b &= \frac{\lambda C_p V_1}{R} + \frac{\lambda\alpha V_1^3}{2RT_1} - \frac{\lambda V_1 C_p T_2}{RT_1} - \frac{\lambda\alpha V_1 V_2^2}{2RT_1} + \frac{BC_p V_2}{R} + \frac{BC_p T_2}{V_2} \\
 c &= \frac{\lambda V_1 V_2 C_p}{R} + \frac{\lambda V_1 C_p T_2}{V_2} + \frac{\lambda\alpha V_1^3 V_2}{2RT_2} + \frac{\lambda\alpha V_1^3 T_2}{2V_1 T_1} + BC_p T_2 + \frac{\alpha B V_2^2}{2} - \lambda C_p T_2 \\
 &\quad - \frac{\alpha\lambda V_2^2}{2} - \frac{\lambda V_1^2 C_p T_2}{RT_1} - \frac{\lambda\alpha V_1^2 V_2^2}{2RT_1}
 \end{aligned} \tag{11}$$

พิจารณาที่ หัวฉีด ให้หัวฉีดเป็นแบบลู่เข้า (Converging nozzle)

$$V_1 = \sqrt{\frac{2kRT_1}{k+1} \left[ \left( \frac{P_1}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]} \quad \text{สำหรับค่า } M < 1 \tag{12}$$

$$V_1 = \sqrt{kRT_1} \quad \text{สำหรับค่า } M = 1 \tag{13}$$

นำค่าต่างๆที่หาได้มาแทนลงในสมการที่ (1.1) ก็จะสามารถคำนวณหาค่าประสิทธิภาพได้

### เอกสารอ้างอิง

- Gosline, J. E., and O'Brien, M. P., "The Water Jet Pump", Publication in Engineering, University of California, Vol.3, No.3, 1934., page 167-190.
- Hansen, A. G., and Kinnavy, R., "The Design of Water Jet Pumps," ASME Paper No.65-WA/FE-31, Nov.1965.
- Mueller, N. H. G., "Water Jet Pump", Journal of the Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol.90, No.HY3, May., 1964., page 83-113.
- Sanger, N. L., "An Experimental Investigation of Several Low Area Ratio Water Jet Pump," ASME Journal of Basic Engineering, march, 1970, page 11-20
- Staff of BHRA Fluid Engineering, "Engineering Outline: Jet Pumps", Journal 'Engineering', 3<sup>rd</sup> May, 1968.

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนช่วยให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

1. ขอขอบคุณ อ. จำลอง ปราบแก้ว (อ.ที่ปรึกษา) ที่คอยช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน
2. ขอขอบคุณ อ. มนต์ศักดิ์ พิมสาร (อ.ที่ปรึกษา) ที่ให้คำแนะนำในทุกๆ สิ่ง
3. ขอขอบคุณ คุณ มณฑา เทียมเมือง ที่คอยช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาด้านงานฝีมือ ตลอดจนการยืมเครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ
4. ขอขอบคุณ พี่ วรศักดิ์ ชุกิตติพงษ์ ที่ให้คำแนะนำเพิ่มเติม และช่วยเหลือในบางสิ่งบางอย่าง
5. ขอขอบคุณ พี่ สุรีย รอดแจ่ม , พี่ วาสนา ทับแป้น สำหรับงานด้านธุรการ
6. ขอขอบคุณ เพื่อนรุ่น '29' ภาคเครื่องกลทุกๆ คน ที่คอยให้ความสนุกสนาน และความบันเทิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้