



การศึกษาวิเคราะห์หลักการออกแบบปั๊มอากาศแบบหัวฉีด.
STUDYING ON THE PRINCIPLE OF DESIGNED AIR JET PUMP

โดย

นาย ชานชัย ชานุกศักดิ์วิไล
นาย สุวิทย์ องค์กรสุรกุล

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ จำลอง ปราบแก้ว
อาจารย์ อำนาง คณะรัฐ

วัน เดือน ปี..... 29 ก.ย. 2541
เลขทะเบียน..... 038093
เลขเรียกหนังสือ..... T 34113 1485ก .

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2539

038093

๕๕-
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2539
การศึกษาวิเคราะห์หลักการออกแบบปริมณฑลแบบหัวทิศ

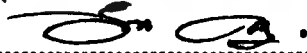
A.



โดย
นาย ชานูชัย ชานุกส์คีวีโต 36014109
นาย สุวิทย์ องค์กรกุล 36014525

อาจารย์ที่ปรึกษา


(อาจารย์ ช้างทอง ปราบแก้ว)



(อาจารย์ ช่านาง คณะรัฐ)

ABSTRACT

Air-jet pumps are being used increasingly in industry to feed and transport a wide range of bulk solids. However, to date, the design of this type of equipment and associated conveying system still is a 'black art'. For this reason, this research aims at formulating an archetype to predict jet pump performance and developing a general design procedure.

A systematic experimental investigation is undertaken into the effect of air-jet pump geometry. A mathematical model to predict air-jet pump performance is formulated on the basis of fluid mechanics and a numerical solution is obtained. The predicted performance agrees well with experimental results for numerous jet pump geometry, operating conditions.

A design procedure for an air-jet pump conveying system is developed to maximize efficiency and reliability. Optimum parameters for maximum efficiency are analyzed and correlated with experimental data. This design procedure also is applied to the proper sizing of an air-jet pump for a given application requirement. The optimization results agree well with the optimum parameters obtained from experiments.

Based on all the improvements achieved in this research, the air-jet pump feeding and transporting system now can be designed to operate as close to its best efficiency point as possible for a given transportation requirement.

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ	1
	1.1 ส่วนประกอบของบีมอากาศแบบหัวฉีด	1
	1.2 หลักการทำงานของบีมอากาศแบบหัวฉีด	1
	1.3 ความหมายของค่าต่างๆบนพื้นฐานเรื่องบีมแบบหัวฉีด	3
	1.4 การประยุกต์ใช้งานของบีมอากาศแบบหัวฉีด	3
2	ทฤษฎีบทและหลักการวิเคราะห์การคำนวณ	7
	2.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางทฤษฎี	7
	2.2 การวิเคราะห์หาค่าตัวแปร v_1	9
	2.3 การวิเคราะห์หาค่าตัวแปร v_3	13
	2.4 การวิเคราะห์ความเร็วภายในชุดเครื่องบีมแบบหัวฉีด	17
3	การสร้างชุดการทดลอง	22
4	การทดลองและผลการทดลอง	34
	4.1 วัตถุประสงค์การทดลอง	34
	4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง	34
	4.3 การทดลองเพื่อวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพ	34
	4.4 การทดลองเพื่อวิเคราะห์ความเร็วภายในชุดเครื่องบีมแบบหัวฉีด	35
	4.5 ผลการทดลอง	41
5	สรุปผลการทดลอง	50
	5.1 สรุปผลการทดลอง	50
	5.2 วิจัยณ์ผลการทดลอง	50
	เอกสารอ้างอิง	52
	ภาคผนวก	53
	แผนผังโปรแกรมการคำนวณ (Flow chart)	54
	โปรแกรมการคำนวณทางทฤษฎี	56
	กิตติกรรมประกาศ	57

บทที่ 1

บทนำ (Introduction)

ปั๊มอากาศแบบหัวฉีด (Air Jet Pump หรือ Air Ejector) คือ ปั๊มอากาศที่ไม่มีส่วนใดเคลื่อนที่ แต่การทำงานของปั๊มชนิดนี้ใช้หลักการในเรื่องของกลศาสตร์ของไหลทำให้เกิดการดูดขึ้น

1.1 ส่วนประกอบของปั๊มอากาศแบบหัวฉีด

ส่วนประกอบของปั๊มอากาศแบบหัวฉีดมี 3 ส่วนดังแสดงในรูปที่ 1.1 คือ

1. หัวฉีด (Nozzle) ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 2 ชนิด คือ

ก.) หัวฉีดแบบถู่เข้า (Converging nozzle) หัวฉีดชนิดนี้จะทำให้ของไหลที่ออกจากหัวฉีดมีความเร็วสูงสุดได้ไม่เกินความเร็วเสียง (Sonic velocity) หรือมีค่ามัค (Mach number) ไม่เกินหนึ่ง

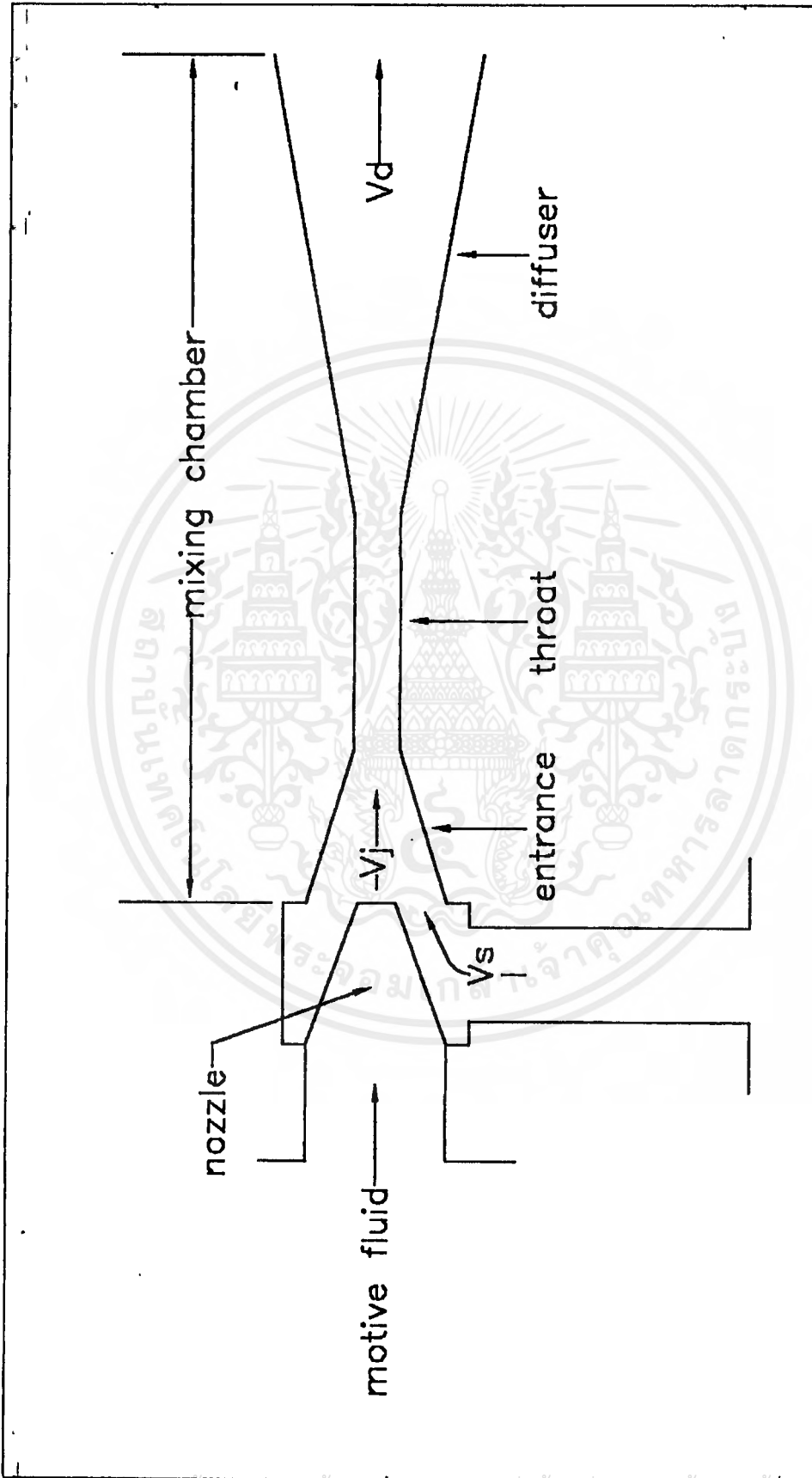
ข.) หัวฉีดแบบถู่ออก (Diverging nozzle) หัวฉีดชนิดนี้จะทำให้ของไหลที่ออกจากหัวฉีดมีความเร็วสูงเกินกว่าความเร็วเสียงได้ ซึ่งค่าความเร็วของของไหลที่ออกจากหัวฉีดชนิดนี้มักจะอ่านค่าเป็นค่ามัค (Mach number) ซึ่งคือค่าความเร็วที่เทียบเป็นจำนวนเท่าของความเร็วเสียง

2. ห้องดูด (Suction chamber) คือส่วนที่ต่อมาจากส่วนด้านดูดของเครื่อง (Suction side) โดยของไหลที่ถูกดูดขึ้นมาที่ห้องดูดนี้อาจเรียกได้ว่า “โหลด” (Load) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่บอกถึงประสิทธิภาพของเครื่อง

3. ห้องผสม (Mixing chamber) คือส่วนของของไหลที่มาจากหัวฉีดและห้องดูดไหลมารวมตัวกันและเกิดการผสมกันที่ห้องผสมนี้และไหลออกไปสู่การใช้งาน

1.2 หลักการทำงานของปั๊มอากาศแบบหัวฉีด

ในระบบการทำงานของปั๊มอากาศแบบหัวฉีดนั้น อาศัยหลักการของกลศาสตร์ของไหลโดยการอัดอากาศที่มีความดันสูงเข้าไปในหัวฉีด (Nozzle) ซึ่งจะให้อากาศกระแสนี้เปลี่ยนรูปพลังงานไปเป็นรูปของความเร็วสูงที่ทางออกของหัวฉีด ส่งผลให้ที่ทางออกของหัวฉีดนี้เกิดความดันต่ำกว่าบรรยากาศขึ้น ทำให้อากาศทางด้านดูด (Suction side) ซึ่งมีความดันเท่ากับหรือสูงกว่าบรรยากาศสามารถถูกดูดขึ้นมาได้ ส่งผลให้ของไหลจากหัวฉีด



รูปที่ 1.1 แสดงส่วนประกอบต่างๆของมี้อากาศแบบหัวฉีด

(Primary fluid) และของไหลจากด้านดูด (Secondary fluid) เกิดการผสมกันขึ้น โดยของไหลผสม (Mixed fluid) ที่ได้จะมีคุณสมบัติต่างๆอยู่ระหว่างคุณสมบัติของของไหลทั้งสอง เหตุเพราะของไหลทั้งสองมีการแลกเปลี่ยนโมเมนตัมระหว่างกันและกัน และหลังจากที่ของไหลทั้งสองผสมกันได้ของผสมแล้วของผสมนี้จะวิ่งออกไปที่ท่อส่วนขยาย (Diffuser) ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปของพลังงานจากความเร็วไปเป็นในรูปของความดันที่ต้องการนำไปใช้งาน

1.3 ความหมายของคำต่างๆบนพื้นฐานเรื่องปั๊มแบบหัวฉีด มีดังนี้

Ejector หมายถึง ปั๊มแบบหัวฉีดที่ใช้กับของไหลทุกชนิด หรืออุปกรณ์ซึ่งมีหลักการทำงานประกอบด้วยหัวฉีดซึ่งทำให้เกิดของไหลกระแสนความเร็วสูง (High velocity jet) ซึ่งจะสามารถทำให้เกิดการดูดของไหลจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้

Injector หมายถึง ปั๊มแบบหัวฉีดที่ใช้กับของไหลที่สามารถอัดตัวได้ (Compressible flow) โดยจะให้ของไหลผสมที่ได้มีมีความดันที่สูงกว่าทั้งความดันด้านดูด (Suction pressure) และความดันที่อัดเข้าหัวฉีด (Motive pressure) โดยการใช้ท่อส่วนขยาย (Diffuser) ในการเปลี่ยนรูปพลังงานของไหลผสม จากความเร็วสูงที่ออกมาจากหัวฉีดเป็นพลังงานในรูปความดันสูงที่ต้องการนำไปใช้งาน

Jet Compressor หมายถึง ปั๊มแบบหัวฉีดที่ใช้กับของไหลประเภทก๊าซ ซึ่งเป็นของไหลที่สามารถอัดตัวได้ชนิดหนึ่งโดยการใช้ Jet compressor นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการควบคุมความดันของของไหลให้ได้ตามที่ต้องการ

Siphon หมายถึง ปั๊มแบบหัวฉีดที่ใช้กับของไหลประเภทไอน้ำ (Steam) เป็นของไหลที่ใช้อัดเข้าไปในหัวฉีด (Motive fluid) และใช้ดูดของไหลประเภทของเหลว (Suction fluid)

1.4 การประยุกต์ใช้งานของปั๊มอากาศแบบหัวฉีด

1. อุปกรณ์สเปรย์โดยใช้อากาศเข้าช่วยเพื่อใช้กับผลผลิตทางการเกษตร คือ อุปกรณ์ที่ใช้พ่นสารเคมีเพื่อปกป้องผลผลิตทางการเกษตรโดยใช้หลักการคั่งที่ไค้กล่าวมา คือ หลักการสมมูลพลังงาน (Turbulent kinetic energy conservation) และสมมูลโมเมนตัม (Momentum conservation) เพื่อให้ได้อุปกรณ์สเปรย์ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด

2. อุปกรณ์ดูดฝุ่นละอองเพื่อใช้สำหรับการอบแห้งเมล็ดพันธุ์พืชต่างๆ คือ อุปกรณ์ที่ทำการกำจัดมลภาวะฝุ่นละอองทางอากาศ โดยการดูดฝุ่นละอองที่ออกมาจากส่วนอบแห้ง (Dryer) ออกไปเพื่อเป็นการป้องกันเมล็ดพันธุ์พืชเสียหายในการอบแห้งเมล็ดพันธุ์พืช

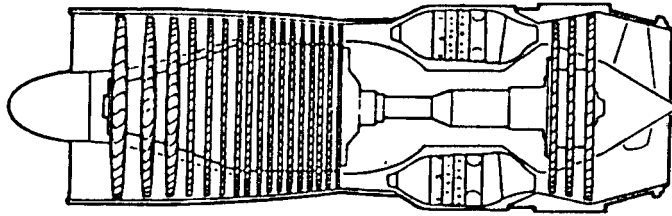
3. อุปกรณ์บีบอากาศแบบหัวฉีดเพื่อใช้ในระบบระบายอากาศสำหรับใช้ใน -
 ปศุสัตว์โดยจะเป็นระบบอัตโนมัติ เพื่อใช้ในการกำจัดอากาศที่เสียออกไปจากปศุสัตว์ และเติม
 อากาศที่ดีเข้ามาในปศุสัตว์แทน

4. พัฒนาระบบใช้ในการดูดอากาศออก (Ventilation) ในแนวคิง ใช้ในระบบปรับ
 อากาศโดยจะใช้บีบอากาศแบบหัวฉีดแบบ Radial air jet มาใช้ในการระบายอากาศในท่อเพื่อ
 ใช้ในการบรรเทาความร้อนที่เกาะตัวที่ท่อ

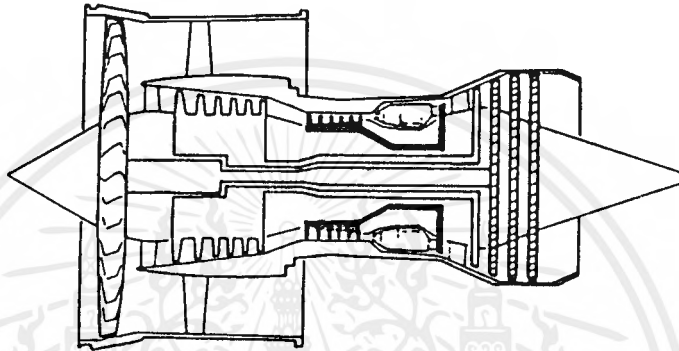
5. การนำหลักการของบีบอากาศแบบหัวฉีดนี้ประยุกต์ใช้งานกับเครื่องยนต์เจ็ท
 (Jet engines) ในเครื่องบินสมัยใหม่ โดยการไหลของอากาศทั้งหมดนั้นจะถูกควบคุมโดย
 เครื่องยนต์ของเครื่องบินไปตามจังหวะที่ต้องการความเร็ว และแรงผลักดันในช่วงต่างๆดังที่ต้อ
 การ ซึ่งรูปของเครื่องยนต์เจ็ทนั้นได้แสดงดังในรูปที่ 1.2

6. การประยุกต์ใช้งานในการขนถ่ายของแข็งต่างๆ เช่น สารเคมีที่ไม่สามารถ
 ถัมผัสได้ หรือสารเคมีเป็นพิษต่างๆ หรือแม้กระทั่งการขนถ่ายข้าวลงเรือ หรือผลผลิตทาง
 การเกษตรอื่นๆ

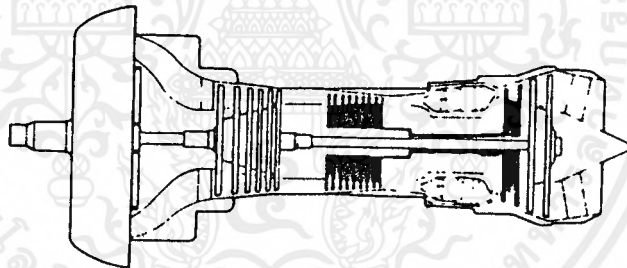
ดังที่ได้กล่าวถึงประโยชน์ของบีบอากาศแบบหัวฉีดนี้ จะสามารถเห็นถึงการใ
 งานอย่างกว้างขวาง ฉะนั้นบีบชนิดนี้จึงได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเรื่อยๆดังในรูป
 ที่ 1.3



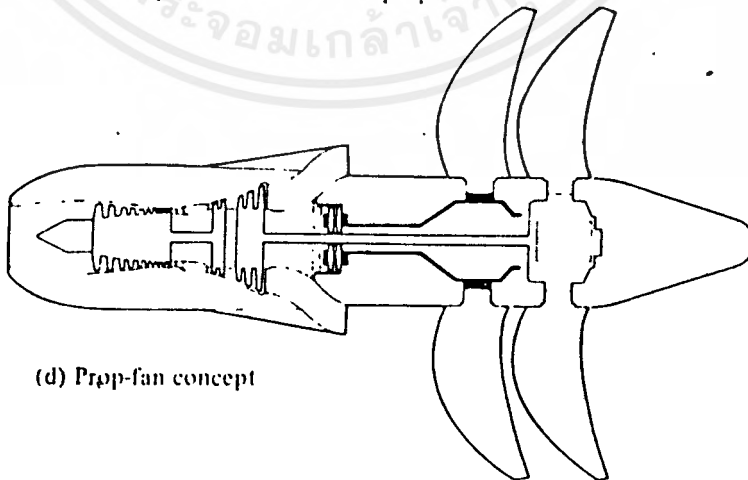
(a) Single-spool axial flow turbojet



(b) Triple-spool front fan turbojet (High bypass ratio)



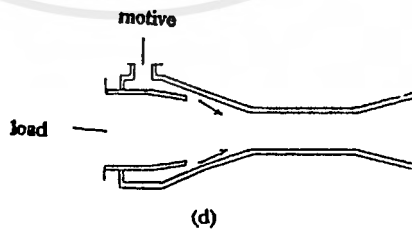
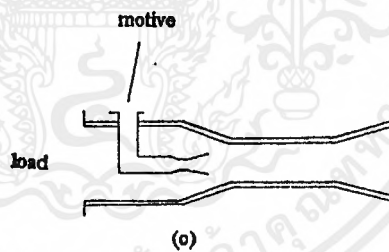
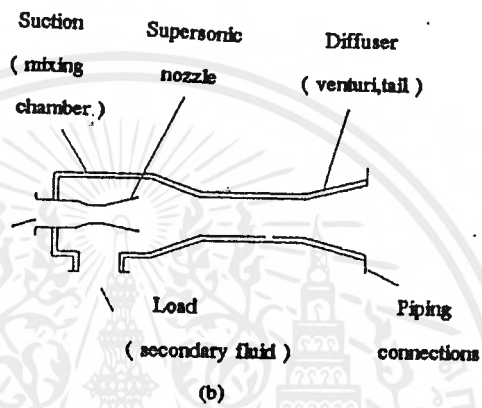
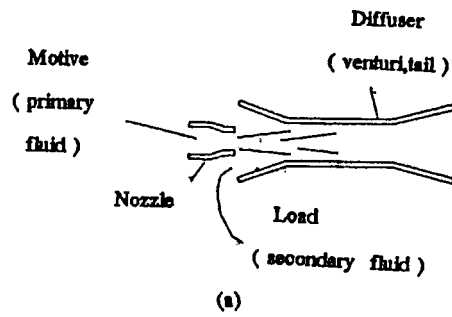
(c) Twin-spool axial flow turbopropeller



(d) Prop-fan concept

รูปที่ 1.2 แสดงเครื่องยนต์เจ็ท (Jet engines) รูปแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.3 (a) Diffuser ที่ได้รับการพัฒนาแล้ว
 (b) ส่วนประกอบพื้นฐานของปั๊มหัวฉีด
 (c) Inline ejector
 (d) Annular jet ejector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

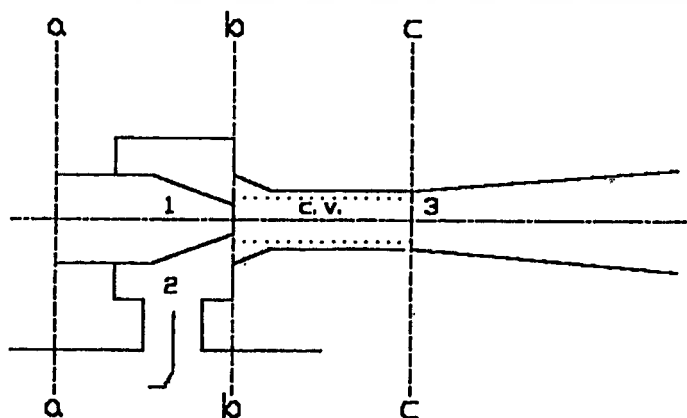
ทฤษฎีบทการวิเคราะห์การคำนวณปั๊มอากาศแบบหัวฉีด

(Theoretical Analysis on the Characteristic of Air Jet Pump)

2.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางทฤษฎี (Analytical Efficiency)

ในการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของปั๊มอากาศแบบหัวฉีด นั้นจะวิเคราะห์จากสมการการไหลต่อเนื่อง (Continuity Equation) , สมการโมเมนตัม (Momentum Equation) และสมการพลังงาน (Energy Equation) เป็นหลักโดยจะทำการวิเคราะห์การผสมที่เกิดขึ้นในห้องผสม (Mixing Chamber) โดยจะมีเงื่อนไขกำหนดตลอดจนสมมุติฐานต่างๆ ดังนี้

1. ของไหลทั้งสองเป็นแบบอัดตัวได้ (Compressible Flow)
2. ระยะห่างระหว่างหัวฉีดและทางเข้าห้องผสม มีค่าเป็นศูนย์
3. ความหนาของผนังหัวฉีดมีค่าเป็นศูนย์
4. ของไหลที่หัวฉีดและทางดูด มีทิศทางการไหลตรงกัน
5. การกระจายความดันที่ทางเข้าของห้องผสม (Mixing Chamber) เป็นแบบสม่ำเสมอตลอดหน้าตัดทางเข้า.
6. ให้ $A_3 = A_1 + A_2$ ($A = \text{Area}$)
7. ไม่มี Body Force กระทำกับ Control Volume
8. ไม่คิดความร้อนถ่ายเทระหว่างกระบวนการ (Isentropic Process)
9. ใช้ ก๊าซสมบูรณ์ (Ideal Gas) ตลอดทั้งกระบวนการ



รูปที่ 2.1 แสดง control volume ที่ใช้ในการคำนวณ

การวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพ

$$\eta = \frac{W_{output}}{W_{input}}$$

ซึ่งจะหางานที่เกิดขึ้นได้จากสมการพลังงาน คือ

$$\dot{q} - \dot{W} = \frac{\partial}{\partial t} \int e \rho dV + \int_{\text{cs}} (u + Pv + \frac{v^2}{2} + gz) \rho v \cdot dA$$

$$\text{จะได้ } W_{out} = Q \rho \int_2^3 v dP + Q \rho \left(\frac{v^2}{2} \right) \Big|_2^3$$

$$W_{in} = Q \rho \int_1^3 v dP + Q \rho \left(\frac{v^2}{2} \right) \Big|_1^3$$

จากที่สมมติให้เป็น Isentropic process for Ideal Gas จะได้ความสัมพันธ์ คือ

$$P v^k = \text{const}$$

$$\text{ฉะนั้น } \int_2^3 v dP = \int_2^3 (P_2/P)^{1/k} v_2 dP$$

$$= v_2 P_2^{1/k} \int_2^3 (P^{-1/k}) dP$$

$$= v_2 P_2^{1/k} \left[\frac{P^{(k-1)/k}}{(k-1)/k} \right]_2^3$$

$$= v_2 P_2^{1/k} \left[\frac{P_3^{(k-1)/k} - P_2^{(k-1)/k}}{(k-1)/k} \right]$$

$$= \frac{k}{k-1} v_2 P_2 \left[\left(\frac{P_3}{P_2} \right)^{(k-1)/k} - 1 \right]$$

การหาค่า $\int_1 v dp$ ก็จะใช้วิธีทำนองเดียวกัน

$$\therefore \eta = \frac{W_{output}}{W_{input}}$$

$$= \frac{m_2 \frac{k}{k-1} R T_2 \left\{ \left(\frac{P_3}{P_2} \right)^{(k-1)/k} - 1 \right\} + m_2 \left(\frac{v_3^2}{2} - \frac{v_2^2}{2} \right)}{m_1 \frac{k}{k-1} R T_1 \left\{ \left(\frac{P_3}{P_1} \right)^{(k-1)/k} - 1 \right\}}$$

เนื่องจากสมการ $pV = mRT$ ฉะนั้นสามารถจัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

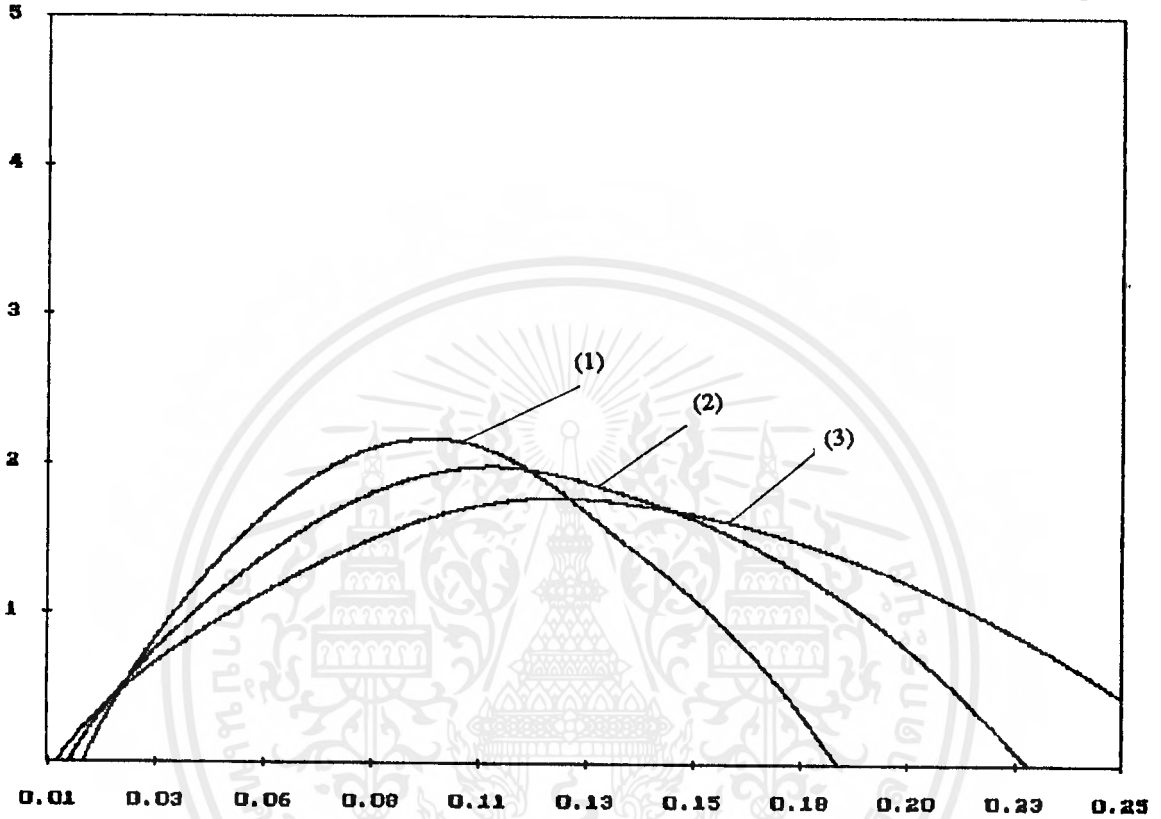
$$\therefore \eta = \frac{P_2 Q_2 \left(\frac{k}{k-1} R T_2 \left\{ \left(\frac{P_3}{P_2} \right)^{(k-1)/k} - 1 \right\} + \left(\frac{v_3^2}{2} - \frac{v_2^2}{2} \right) \right)}{P_1 Q_1 \left(\frac{k}{k-1} R T_1 \left\{ \left(\frac{P_3}{P_1} \right)^{(k-1)/k} - 1 \right\} \right)}$$

ซึ่งจากสูตรการคำนวณค่าประสิทธิภาพที่ได้นี้สามารถที่จะนำไปเขียนโปรแกรมการคำนวณเพื่อที่จะหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดซึ่งจะได้ผลดังใน รูปที่ 2.2 , 2.3 , 2.4 ส่วนค่าตัวแปรในสมการหาประสิทธิภาพ คือ v_1 , v_2 และ v_3 นั้นจะสามารถหาได้ จากการวิเคราะห์จาก Control Volume ดังในช่วงต่อไป

2.2 การวิเคราะห์ค่าตัวแปร v_1

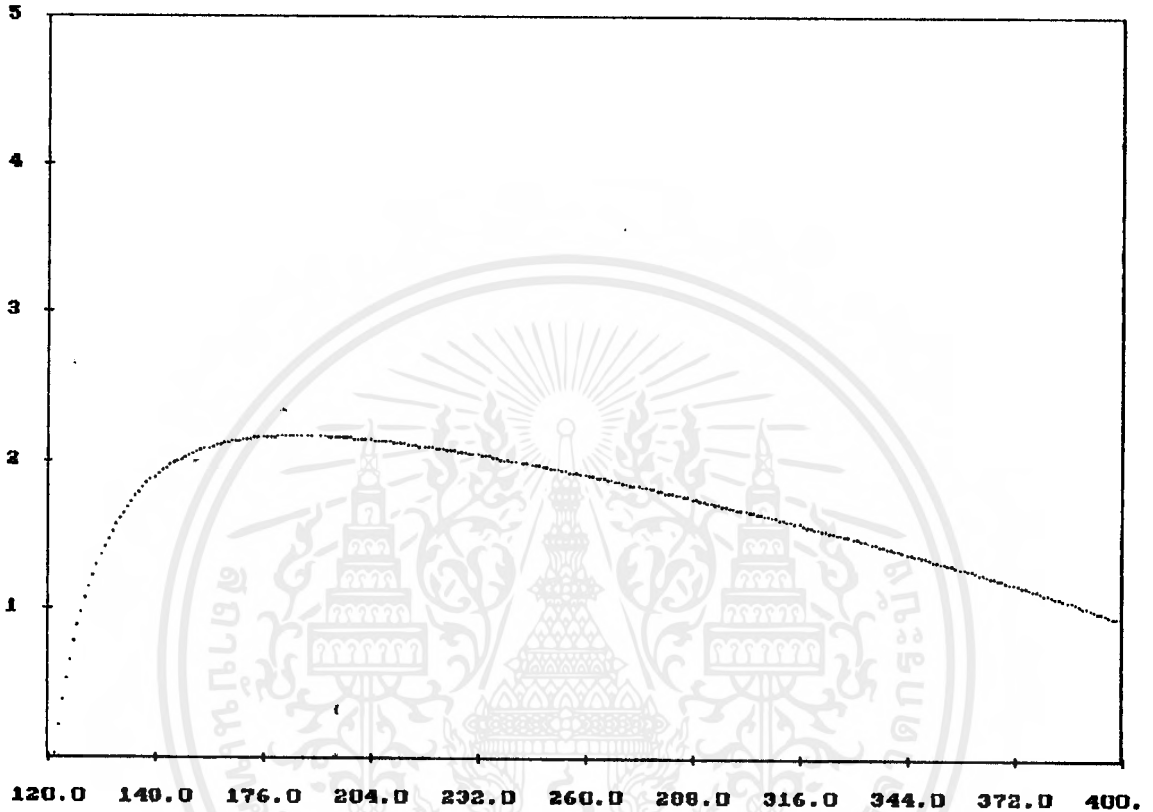
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าในการวิเคราะห์ค่า v_1 เราจะพิจารณาช่วงที่เป็นหัวฉีด (Nozzle) หรือช่วงไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Efficiency (n%) - Flowrate ratio(Q_2/Q_1)

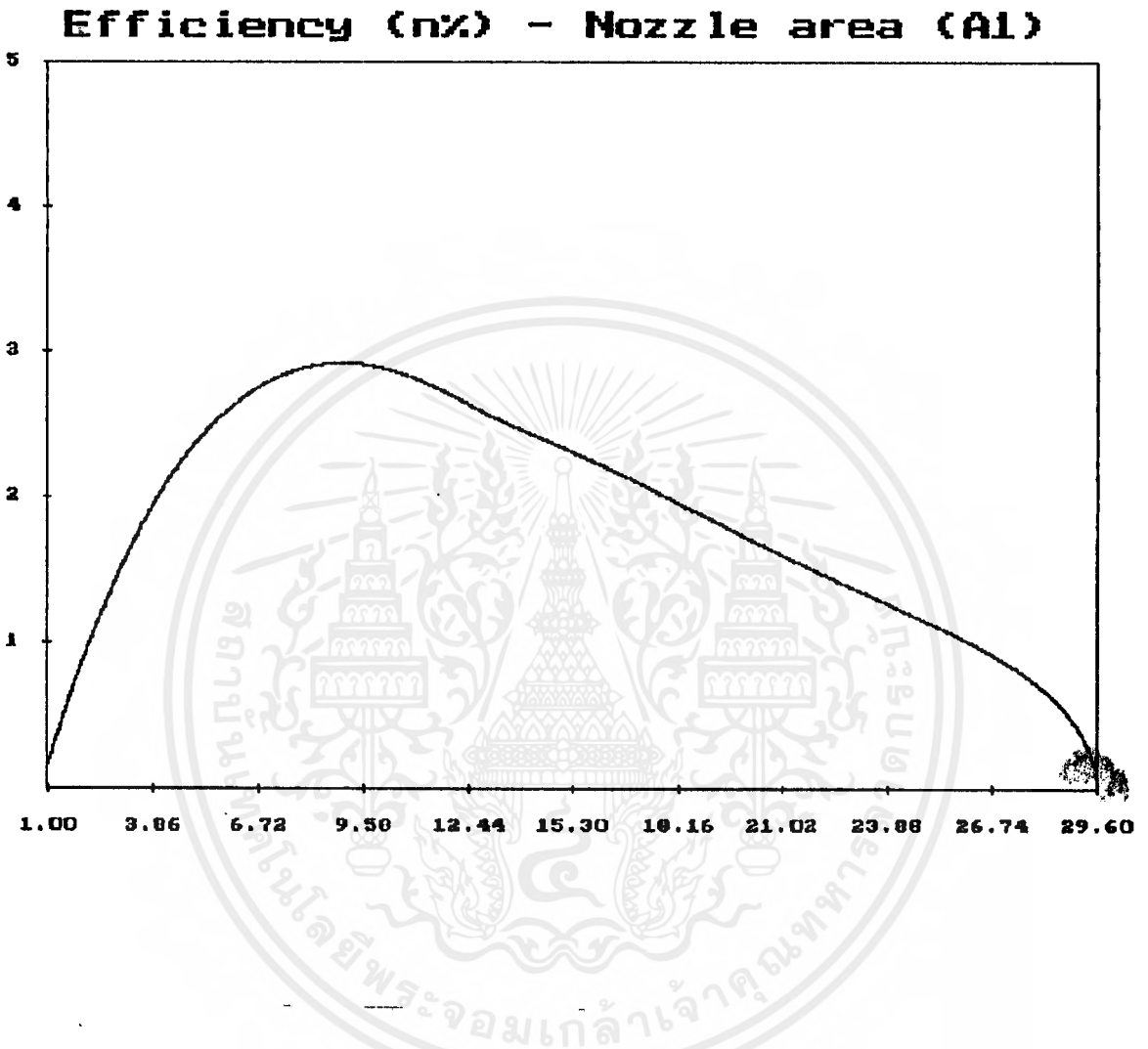


รูปที่ 2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ (Efficiency : η) กับค่าอัตราส่วนของอัตราการไหล (Flow rate ratio : Q_2/Q_1) โดยที่จะใช้ค่าความดัน P_1 เปลี่ยนแปลงไป 3 ค่า คือ เส้นกราฟที่ (1) $P_1 = 200$ kPa , เส้นกราฟที่ (2) $P_1 = 250$ kPa , เส้นกราฟที่ (3) $P_1 = 300$ kPa โดยที่ให้คุณสมบัติอื่นๆของระบบคงที่ คือ อุณหภูมิ 300 K เท่ากันทั้งระบบ , ใช้หัวฉีดที่ 1 โดยมีพื้นที่หน้าตัด 9 mm^2 และใช้ท่อทางอุดมขนาด 27 mm^2

Efficiency (η) - Pressure (P_1)



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ (Efficiency : η) กับความดัน P_1 โดยที่ให้คุณสมบัติอื่นๆของระบบคงที่ คือ อุณหภูมิ 300 K เท่ากันทั้งระบบ และใช้หัวฉีดที่ 1 ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด 9 mm^2 , อัตราส่วนของอัตราการไหล (Flow rate ratio : Q_2/Q_1) = 0.1 และใช้ท่อทางดูดมีขนาด 27 mm^2 ซึ่งกราฟนี้จะเป็นการสรุปผลรูปที่ 2.4 อีกครั้งเพื่อแสดง ว่าค่าความดัน $P_1 = 180 \text{ kPa}$ จะทำให้ได้ค่าประสิทธิภาพสูงสุด



รูปที่ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ (Efficiency : η) กับพื้นที่หน้าตัดของหัวฉีด (A_1) โดยที่ให้คุณสมบัติอื่นๆของระบบคงที่ คือ อุณหภูมิ 300 K เท่ากันทั้งระบบ , ความดัน $P_1 = 200$ kPa , อัตราส่วนของอัตราการไหล (Flow rate ratio : Q_2/Q_1) = 0.1 และใช้ท่อทางคูดมีขนาด 27 mm^2 ซึ่งจากกราฟนี้สามารถสรุปได้ว่าหัวฉีดที่มีพื้นที่หน้าตัดประมาณ 9 mm^2 จะทำให้ได้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดและหัวฉีดต้องมีขนาดไม่เกิน 29.6 mm^2

Control Volume a-b ซึ่งจากกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ จะได้

$$H_a + \frac{V_a^2}{2} = H_b + \frac{V_b^2}{2}$$

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบพจน์ $\frac{V_a^2}{2}$ กับ $\frac{V_b^2}{2}$ แล้วจะเห็นว่าค่า $\frac{V_a^2}{2}$ น้อยมาก
จนตัดทิ้งได้

$$\therefore V_1 = \sqrt{2g(H_a - H_b)}$$

เนื่องจาก $dH = C_p dT$ และ $C_p = \frac{kR}{k-1}$

$$\therefore T_b = T_a \left(\frac{P_a}{P_b}\right)^{\frac{(k-1)}{k}}$$

$$\therefore V_1 = \sqrt{2 \frac{k}{k-1} RT_b \left(\left(\frac{P_a}{P_b}\right)^{\frac{(k-1)}{k}} - 1\right)}$$

สำหรับค่า $M < 1$

แต่ $V_1 = \text{Const} = \sqrt{kRT_1}$ สำหรับค่า $M=1$

2.8 การวิเคราะห์หาค่าตัวแปร v_3

ในการวิเคราะห์ค่า V_3 เราจะพิจารณา Control Volume ในช่วง b-จากสมการ
ความต่อเนื่อง (Continuity Equation)

$$\frac{\partial m}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{\forall} \rho dV + \int_{\cdot\cdot} \rho v \cdot dA$$

ฉะนั้นจะได้

$$0 = \int_{\cdot\cdot} \rho v \cdot dA$$

$$\rho_1 Q_1 + \rho_2 Q_2 = \rho_3 Q_3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3 \quad \text{-----(1)}$$

จาก $PV = mRT$

จะทำให้ได้ $\dot{m} = \frac{APv}{RT}$

$$\frac{A_1 P_1 v_1}{RT_1} + \frac{A_2 P_2 v_2}{RT_2} = \frac{A_3 P_3 v_3}{RT_3} \quad \text{-----(2)}$$

จากสมการโมเมนตัม (Momentum Equation) จะได้

$$F_{bx} + F_{sx} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} v_x \rho \cdot dv + \int_{cs} v_x \rho v \cdot dA$$

$$F_{sx} = \int_{cs} v_x \rho v \cdot dA$$

$$P_1 A_1 + P_1 A_1 - P_1 A_1 = -v_1 \rho v_1 A_1 - v_2 \rho v_2 A_2 + v_3 \rho v_3 A_3$$

จัดรูปสมการใหม่จะได้

$$\left[\frac{A_1 v_1^2 P_1}{RT_1} + A_1 P_1 \right] + \left[\frac{(A_3 - A_1) v_2^2 P_2}{RT_2} + (A_3 - A_1) P_2 \right] = \frac{A_3 v_3^2 P_3}{RT_3} + A_3 P_3 \quad \text{-----(3)}$$

จากสมการพลังงาน (Energy Equation)

$$q - W = \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \left[u + \frac{v^2}{2} + gz \right] \rho \cdot dv + \int_{cs} \left[u + \frac{v^2}{2} + gz \right] \rho v_x \cdot dA$$

$$\begin{aligned} \frac{A_1 v_1 P_1}{RT_1} \left(C_p T_1 + \frac{\alpha v_1^2}{2} \right) + \frac{(A_3 - A_1) v_2 P_2}{RT_2} \left(C_p T_2 + \frac{\alpha v_2^2}{2} \right) \\ = \frac{A_3 v_3 P_3}{RT_3} \left(C_p T_3 + \frac{\alpha v_3^2}{2} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

จากสมการที่ (2) สามารถจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$P_2 = \frac{T_2}{v_2 (A_3 - A_1)} \left[\frac{A_3 P_3 v_3}{T_3} - \frac{A_1 P_1 v_1}{T_1} \right] \quad (5)$$

นำค่า P_2 ที่ได้จากสมการที่ (5) ลงไปแทนกลับในสมการ (3) จะได้

$$\frac{A_1 v_1^2 P_1}{RT_1} + A_1 P_1 + \frac{v_2}{R} \left[\frac{A_3 v_3 P_3}{T_3} - \frac{A_1 v_1 P_1}{T_1} \right] + \frac{T_2}{v_2} \left[\frac{A_3 v_3 P_3}{T_3} - \frac{A_1 v_1 P_1}{T_1} \right] = \frac{A_3 v_3^2 P_3}{RT_3} + A_3 P_3$$

จัดรูปใหม่ได้เป็น

$$\begin{aligned} \frac{v_3}{T_3} \left(\frac{v_2 A_3 P_3}{R} + \frac{T_2 A_3 P_3}{v_2} - \frac{A_3 P_3 v_3}{R} \right) = P_3 A_3 - P_1 A_1 - \frac{A_1 v_1^2 P_1}{RT_1} \\ + \frac{v_2 A_1 v_1 P_1}{RT_1} - \frac{T_2 A_1 v_1 P_1}{v_2 T_1} \end{aligned} \quad (6)$$

จัดรูปสมการใหม่จะได้เป็น

$$\frac{v_3}{T_3} = \frac{P_3 A_3 - P_1 A_1 - \frac{A_1 v_1^2 P_1}{RT_1} + \frac{v_2 A_1 v_1 P_1}{RT_1} + \frac{T_2 A_1 v_1 P_1}{v_2 T_1}}{\frac{v_2 A_3 P_3}{R} + \frac{T_2 A_3 P_3}{v_2} - \frac{A_3 P_3 v_3}{R}} \quad (7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่า P_2 ที่ได้จากสมการที่ (5) แทนค่ากลับลงไปในสมการที่ (4) จะได้

$$\begin{aligned} \frac{A_1 v_1 P_1 C_p}{R} + \frac{\alpha A_1 v_1^3 P_1}{2RT_1} + C_p T_2 \left[\frac{A_3 v_3 P_3}{RT_3} - \frac{A_1 v_1 P_1}{RT_1} \right] + \frac{\alpha v_2^2}{2} \left[\frac{A_3 v_3 P_3}{RT_3} - \frac{A_1 v_1 P_1}{RT_1} \right] \\ = \frac{A_3 v_3 P_3 C_p}{R} + \frac{\alpha A_3 v_3^3 P_3}{2RT_3} \end{aligned}$$

จัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$\begin{aligned} \frac{v_3}{T_3} \left[\frac{A_3 P_3 C_p T_2}{R} + \frac{\alpha A_3 P_3 v_2^2}{2R} - \frac{\alpha A_3 P_3 v_3^2}{2R} \right] = - \frac{A_1 v_1 P_1 C_p}{R} \\ - \frac{\alpha A_1 v_1^3 P_1}{2RT_1} + \frac{A_1 v_1 P_1 C_p T_2}{RT_1} + \frac{\alpha A_1 v_1 P_1 v_2^2}{2RT_1} + \frac{A_3 v_3 P_3 C_p}{R} \end{aligned} \quad (8)$$

นำค่า $\frac{v_3}{T_3}$ จากสมการที่ (7) ไปแทนค่าลงในสมการที่ (8) เพื่อที่จะหาค่า v_3

โดยจะได้สมการอยู่ในรูป

$$ax^2 + bx + c = 0$$

และขอกำหนดให้

$$\frac{A_3}{A_1} = \frac{m+1}{m}, \quad \frac{P_1}{P_3} = \lambda$$

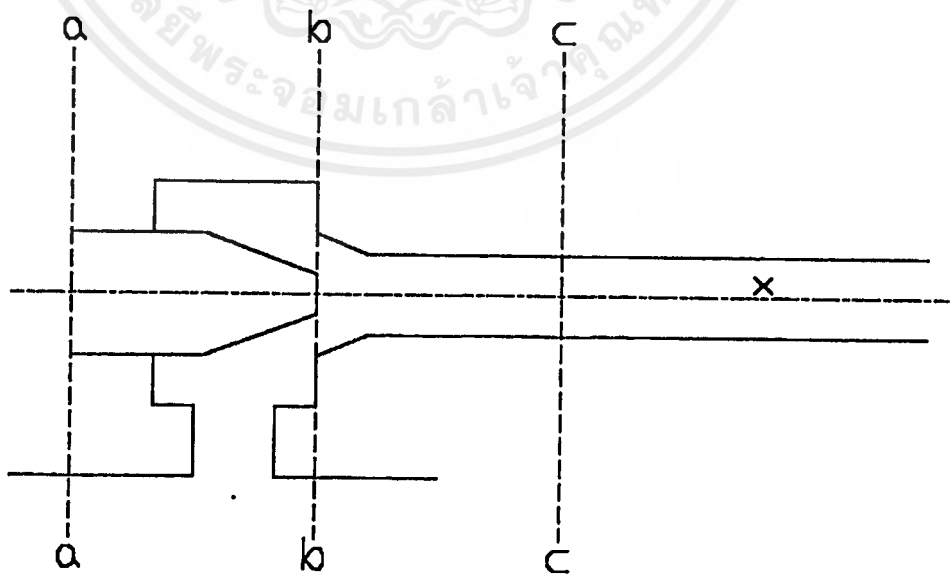
∴ จะได้สมการคือ

$$\begin{aligned}
& v_3^2 \left\{ \frac{(m+1)C_p}{mR} - \frac{A \alpha (m+1)}{2m} + \frac{\lambda \alpha v_1^2}{2RT_1} - \frac{\lambda \alpha v_1 v_2}{2RT_1} - \frac{\lambda \alpha v_1 T_2}{2T_1 v_2} + \frac{\lambda \alpha}{2} \right\} \\
& - v_3 \left\{ \frac{\lambda v_1 C_p}{R} + \frac{\lambda \alpha v_1^3}{2RT_1} - \frac{\lambda v_1 C_p T_2}{RT_1} - \frac{\lambda v_2^2 v_1 \alpha}{2RT_1} + \frac{(m+1)C_p v_2}{mR} + \frac{(m+1)C_p T_2}{m v_2} \right\} \\
& + \frac{\lambda v_1 v_2 C_p}{R} + \frac{\lambda T_2 v_1 C_p}{v_2} + \frac{\lambda \alpha v_1^3 v_2}{2RT_1} + \frac{\lambda \alpha v_1^3 T_2}{2 v_2 T_1} - \frac{\lambda v_1 v_2 C_p T_2}{RT_1} - \frac{\lambda v_1 C_p T_2^2}{v_2 T_1} \quad (9) \\
& - \frac{\lambda v_1 v_2 T_2}{2T_1} + \frac{(m+1)C_p T_2}{m} + \frac{(m+1) \alpha v_2^2}{2m} - \lambda C_p T_2 - \frac{\lambda A v_2^2}{2} - \frac{\lambda v_1^2 C_p T_2}{RT_1} \\
& - \frac{\lambda \alpha v_1^2 v_2^2}{2RT_1} + \frac{\lambda v_1 v_2 C_p T_2}{RT_1} + \frac{\lambda T_2^2 C_p v_1}{T_1 v_2} + \frac{\lambda A v_1 v_2 T_2}{2RT_1} = 0
\end{aligned}$$

ซึ่งถ้าเราแก้สมการที่ (9) ออกมาแล้วจะได้ v_3 ออกมา

2.4 การวิเคราะห์ความเร็วภายในชุดเครื่องปั๊มแบบหัวฉีด (Velocity Profile)

เนื่องจากการวิเคราะห์ในปริภูมิพิกัดนี้จะเป็นการวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพ แต่เพื่อให้เห็นภาพพจน์ที่ชัดเจนยิ่งขึ้นจึงได้ทำการวัด Pressure Profile เพื่อนำมาวิเคราะห์ Velocity Profile ดังนี้



รูปที่ 2.5 แสดง Control volume ช่วงต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ

การวิเคราะห์แบบนี้จะแบ่งวิเคราะห์เป็น 3 ช่วงคือ

1. ช่วง a-b
2. ช่วง b-c
3. ช่วง c-x (ตั้งแต่จุด c จนถึงจุด x ใดๆ)

2.4.1 ช่วง a-b

ในช่วง a-b จะเป็นการวิเคราะห์หัวฉีด (Nozzle) คือ เมื่อเราวิเคราะห์จากสมการในแมนตัม (Momentum Equation) และสมการพลังงาน (Energy Equation) แล้วจะได้สมการ

$$\frac{dP}{\rho} + d\left(\frac{V^2}{2}\right) = 0 \quad \text{---10}$$

ซึ่งจากสมมติฐานที่ให้ขบวนการเป็น Isentropic process for Idea Gas แล้วจะได้ความสัมพันธ์ คือ

$$\frac{P}{\rho^k} = C \quad (\text{Constant}) \quad \text{---11}$$

นำสมการ 11 แทนค่ากลับลงในสมการ 10

$$\begin{aligned} -d\left(\frac{V^2}{2}\right) &= \frac{dP}{\rho} \\ &= P^{-1/k} C^{1/k} dP \end{aligned}$$

$$-\int_a^{V_b} d\left(\frac{V^2}{2}\right) = C^{1/k} \int_a^{P_b} P^{-1/k} dP$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ขออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$-\left(\frac{V_b}{2} - \frac{V_a^2}{2}\right) = C^{1/k} \left(\frac{k}{k-1}\right) (P_b^{(k-1)/k} - P_a^{(k-1)/k})$$

$$\frac{V_b^2}{2} = C^{1/k} \left(\frac{k}{k-1}\right) (P_b^{(k-1)/k} - P_a^{(k-1)/k})$$

$$\frac{V_b^2}{2} = C^{1/k} P_b^{(k-1)/k} \left(\left(\frac{P_b}{P_a}\right)^{(k-1)/k} - 1\right)$$

จากสมการ 11 $C^{1/k} = P^{1/k} / \rho$

$$\therefore V_b = \sqrt{\frac{2k}{k-1} RT_b \left(1 - \left(\frac{P_b}{P_a}\right)^{(k-1)/k}\right)}$$

เนื่องจาก Ideal Gas ฉะนั้นความเร็วเสียงคือ

$$C = \sqrt{kRT}$$

$$\therefore M_b = \frac{V_b}{C} = \sqrt{\frac{2}{(k-1)} \left(\left(\frac{P_a}{P_b}\right)^{(k-1)/k} - 1\right)}$$

โดยจะเห็นว่าหัวฉีดที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นแบบ Convergence ฉะนั้น Mach Number ต้องมีค่าไม่เกินหนึ่ง ($M \leq 1$) ซึ่งจะส่งผลให้ $\frac{P_b}{P_a} \geq 0.5283$

2.4.2 ช่วง b-c

จากช่วง b-c นี้จะเห็นได้ชัดเจนว่า การไหลของไหลทั้งจากหัวฉีดและจากท่อ จะไหลไปสู่ mixing chamber ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการไหลแบบ Steady Flow โดยพื้นที่

หน้าตัดเปลี่ยนไป เนื่องจากสมการความต่อเนื่อง [Continuity Equation]

$$\rho_1 A_1 v_1 + \rho_2 A_2 v_2 = \rho_3 A_3 v_3$$

เนื่องจาก v_2 มีค่าน้อยมาก ฉะนั้นจึงตัดพจน์ $\rho_2 A_2 v_2$ ไป

$$\therefore \rho_1 A_1 v_1 = \rho_b A_b v_b$$

$$\rho_1 A_1 M_1 c_1 = \rho_b A_b M_b c_b$$

[$c_1 = c_3$ เนื่องจาก $c_1 = \sqrt{kRT_1}$ และ $c_3 = \sqrt{kRT_3}$ และสมมุติให้ของไหลทั้งระบบมีอุณหภูมิเท่ากัน]

$$\therefore M_b = \frac{\rho_1 A_1}{\rho_b A_b} M_1$$

$$= \frac{P_1 A_1}{P_b A_b} M_1$$

2.4.3 ช่วง c-x

ช่วง c-x นี้เห็นได้ว่าเป็นการไหลในท่อซึ่งพื้นที่หน้าตัดไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่ต้องมีการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน [friction loss] ซึ่งจะได้สมการ

$$M_x = \frac{1}{P_x} P_1 M_1 \left[\frac{(k+1)}{2 + (k-1)M_1^2} \right]^{-1/2}$$

สัญลักษณ์ตัวแปร (Nomenclature)

η	: ค่าประสิทธิภาพ (Efficiency)
W	: งาน (Work)
Q	: อัตราการไหล (Volume Flow Rate)
q	: พลังงานความร้อน (Heat transfer)
ρ	: ความหนาแน่น (Density)
v	: ความเร็ว (Velocity)
U	: ปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume)
P	: ความดัน (Pressure)
A	: พื้นที่ (Area)
V	: ปริมาตร (Volume)
T	: Tank
H	: Enthalpy
c	: ความเร็วเสียง
C	: Constant
M	: Mach number

สัญลักษณ์ตัวห้อย (Subscript)

1	: ที่ตำแหน่งด้านหัวฉีด (nozzle)
2	: ที่ตำแหน่งด้านดูด (suction)
3	: ที่ตำแหน่งด้านจ่าย (discharge)

บทที่ 3

การสร้างชุดทดลอง

การออกแบบเครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์ และส่วนประกอบสำหรับการทดลอง ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.1 และ รูปที่ 3.2 มีดังต่อไปนี้

1. ถังพักลมจำนวน 2 ใบ ทำจากแผ่นเหล็กหนา 3 mm. โดยต่อเข้ากับท่อขนาด $D = 2 \text{ in}$ และอีกด้านหนึ่งต่อกับท่อขนาด $D = 0.5 \text{ in}$ ดังแสดงในรูป 3.3

2. อุปกรณ์ข้อต่อ fitting ได้แก่

ข้อต่องอ [Standard Elbow 90] ขนาด $D = 2 \text{ in}$ 1 ตัว

ข้อต่องอ [Standard Elbow 90] ขนาด $D = \frac{1}{2} \text{ in}$ 2 ตัว

ข้อต่อตรง ขนาด $D = 2 \text{ in}$ 3 ตัว

ข้อต่อตรง ขนาด $D = \frac{1}{2} \text{ in}$ 3 ตัว

ข้อต่อสายยาง ขนาด $D = \frac{1}{4} \text{ in}$

3. ท่อเหล็กขนาด $D = \frac{1}{2} \text{ in}$ และ 2 นิ้ว

4. ball valve ขนาด $D = \frac{1}{2} \text{ in}$ 3 ตัว และ ball valve ขนาด $D = \frac{1}{4}$

in 10 ตัว

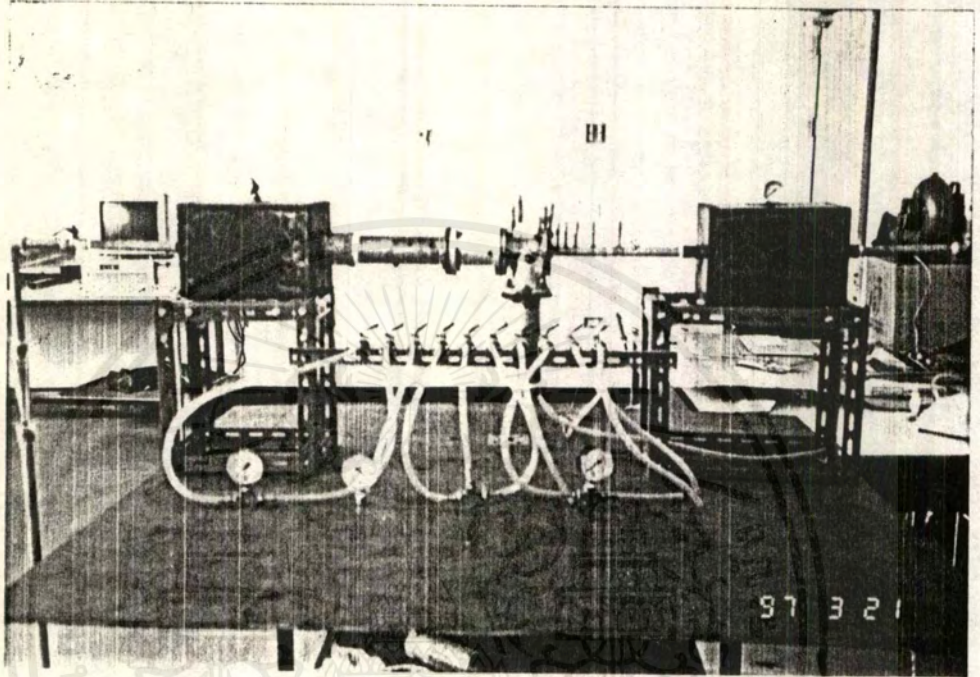
5. Flow meter 1 ตัว

6. Pressure Gage ขนาด $2.1 \text{ kg}_f / \text{cm}^2$ 4 ชุด

7. Vacuum Gage 2 ชุด

8. มาโนมิเตอร์ 1 ชุด

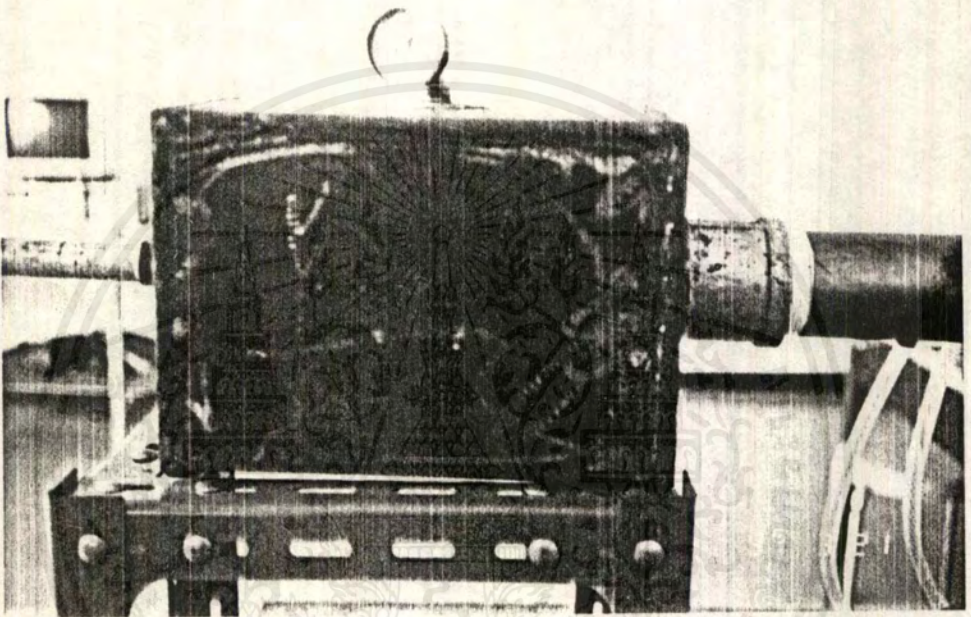
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของ Air Jet Pump ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งประกอบด้วยประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.1 แสดงชุดทดลอง

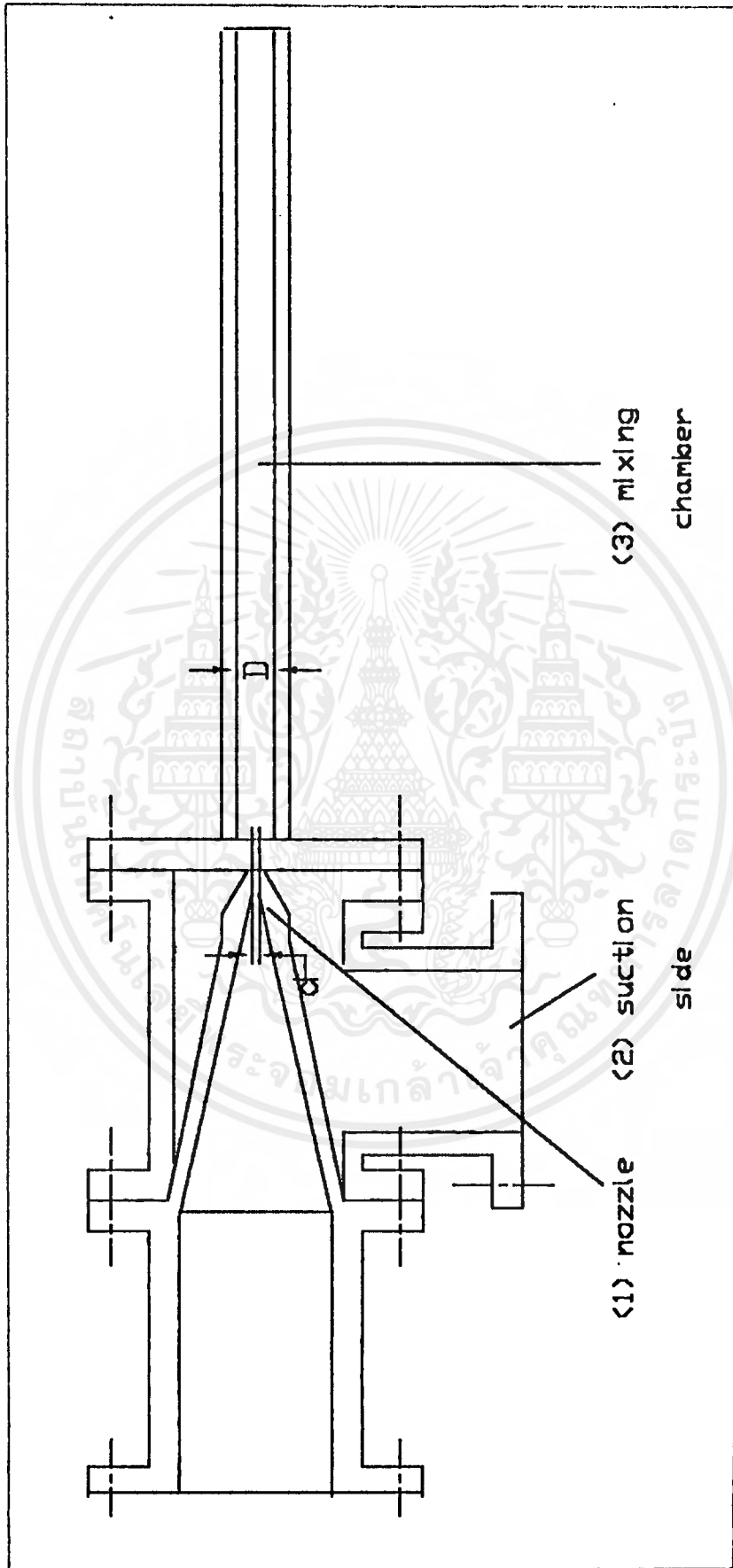


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



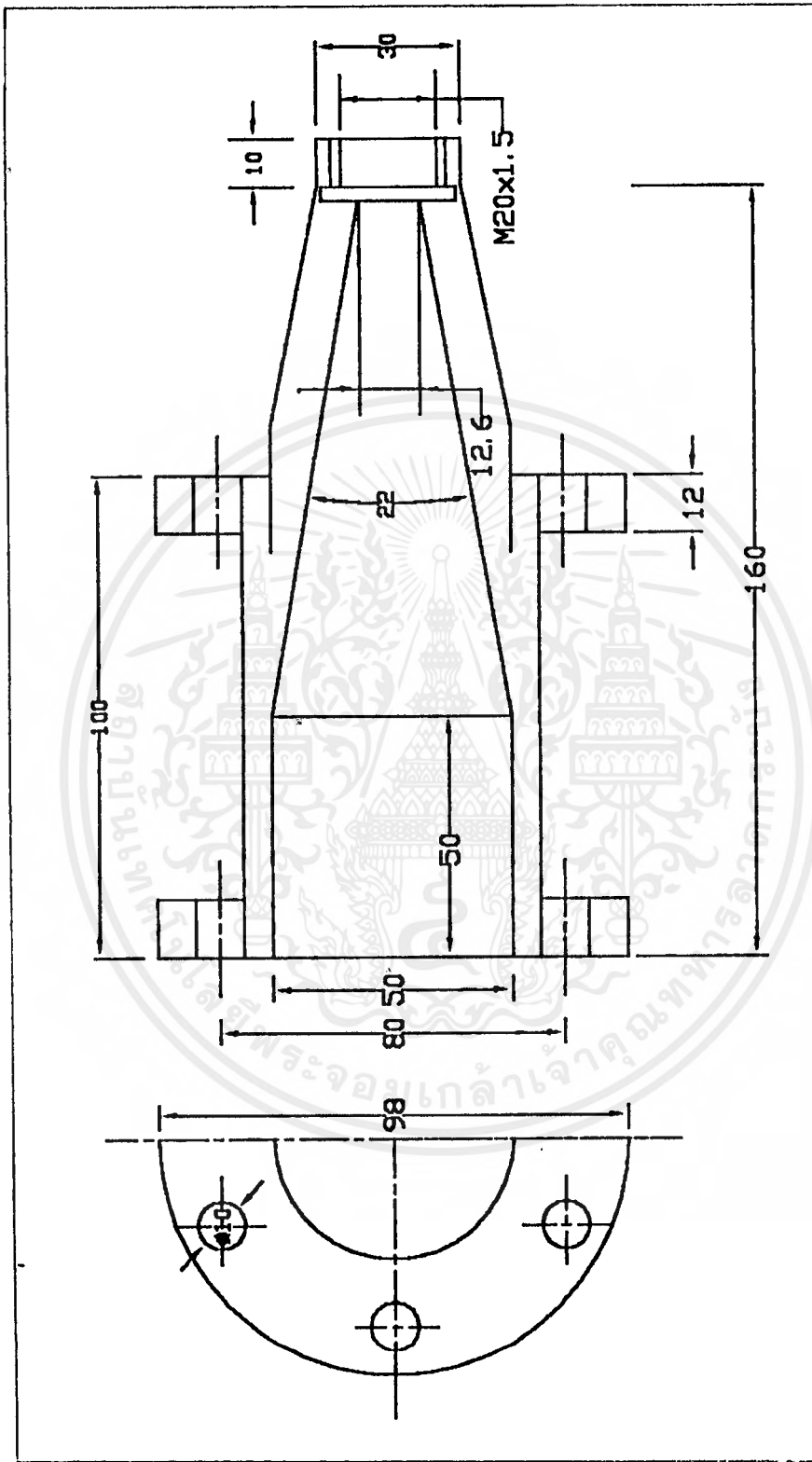
รูป 3.3 แสดงถังพักถม (Chamber)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

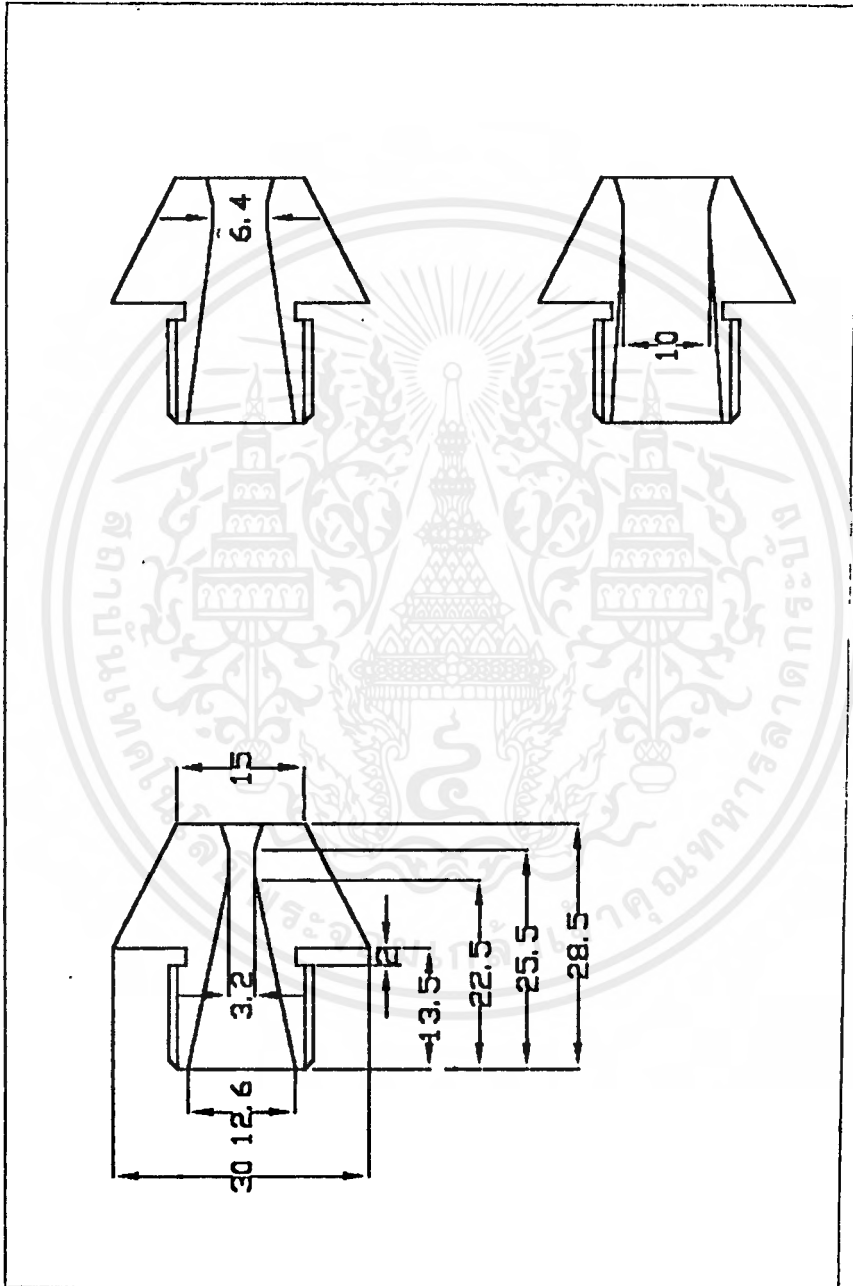


รูป 3.4 แสดงชุดทดลอง Air Jet Pump

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.5 แสดงขนาดของชุดติดตั้งหัวฉีด



รูป 3.6 แสดงขนาดของหัวหลอดที่ใช้ในการทดลอง

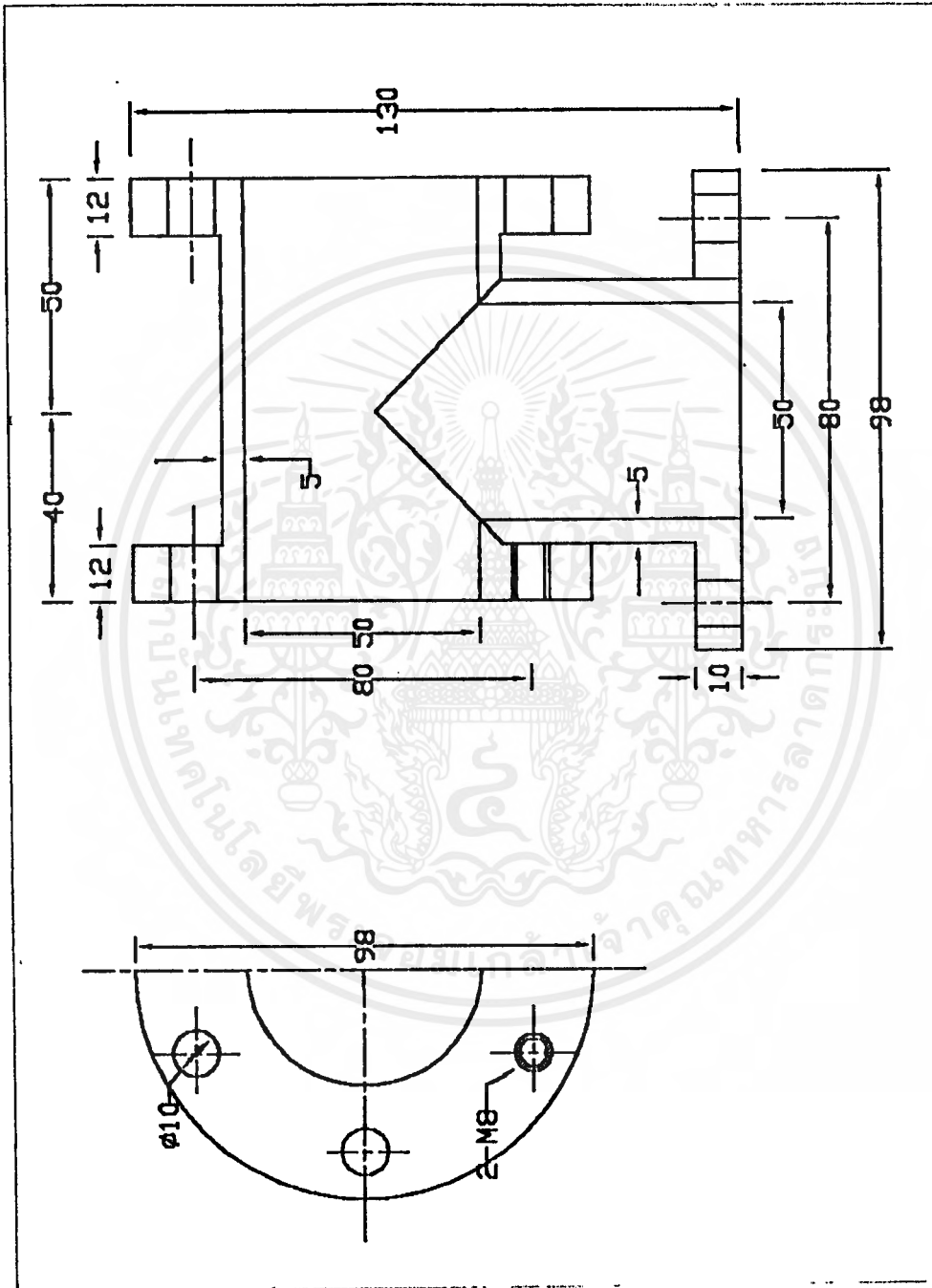
9.1 ชุดคัตติ้งหัวฉีด ดังแสดงในรูป 3.5

9.2 หัวฉีดจำนวน 3 ขนาด ได้แก่ $D = \frac{1}{8}$ in , $D = \frac{2}{8}$ in และ

$D = \frac{3}{8}$ in. ดังแสดงในรูป 3.6

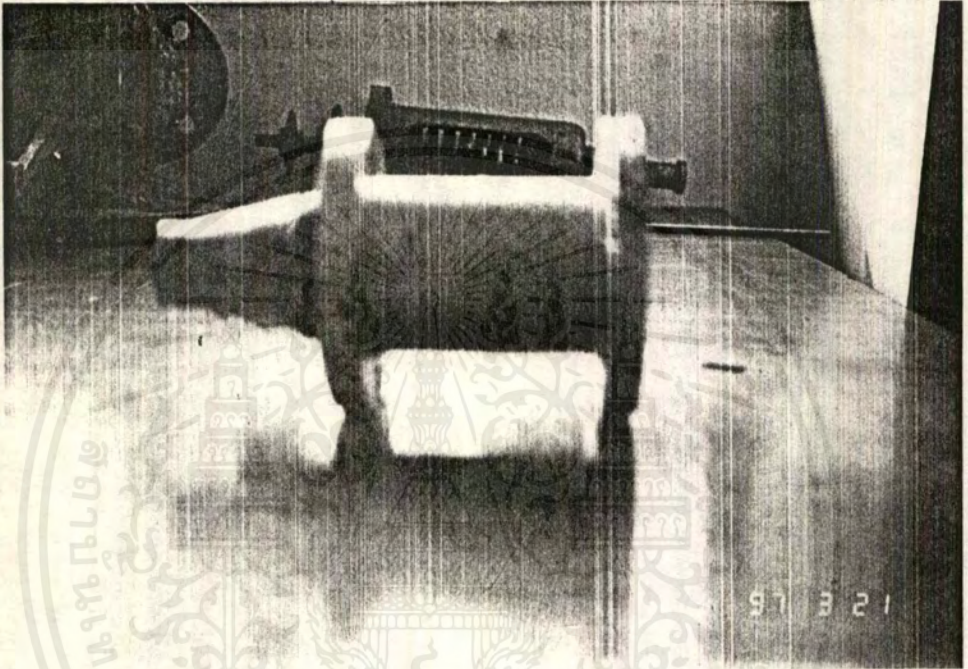
9.3 ชุดห้องคูดังแสดงในรูป 3.7





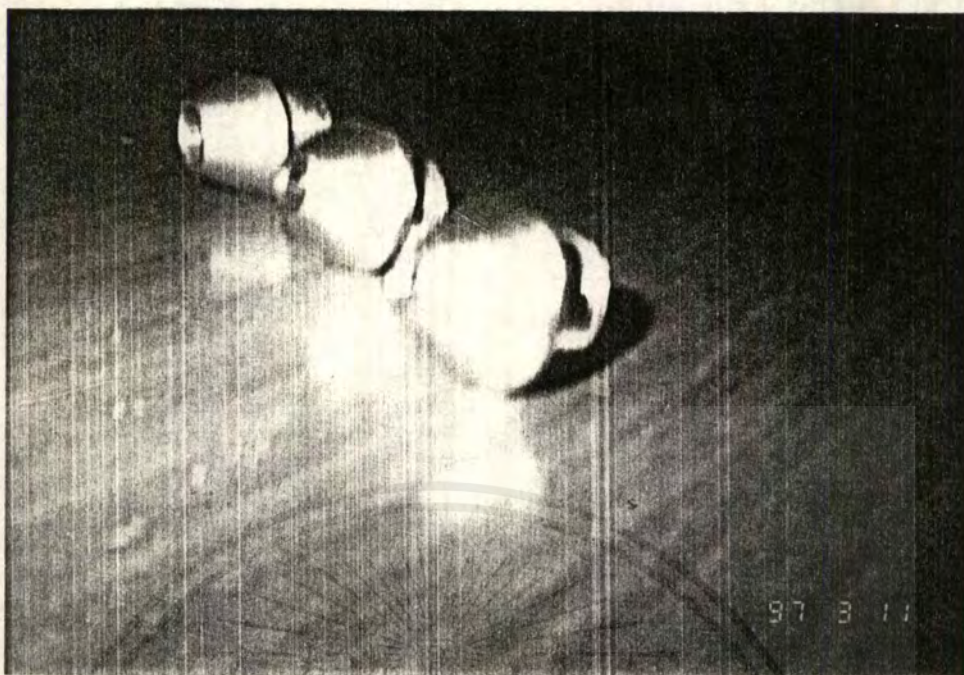
รูป 3.7 แสดงขนาดของชุดห้องดูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

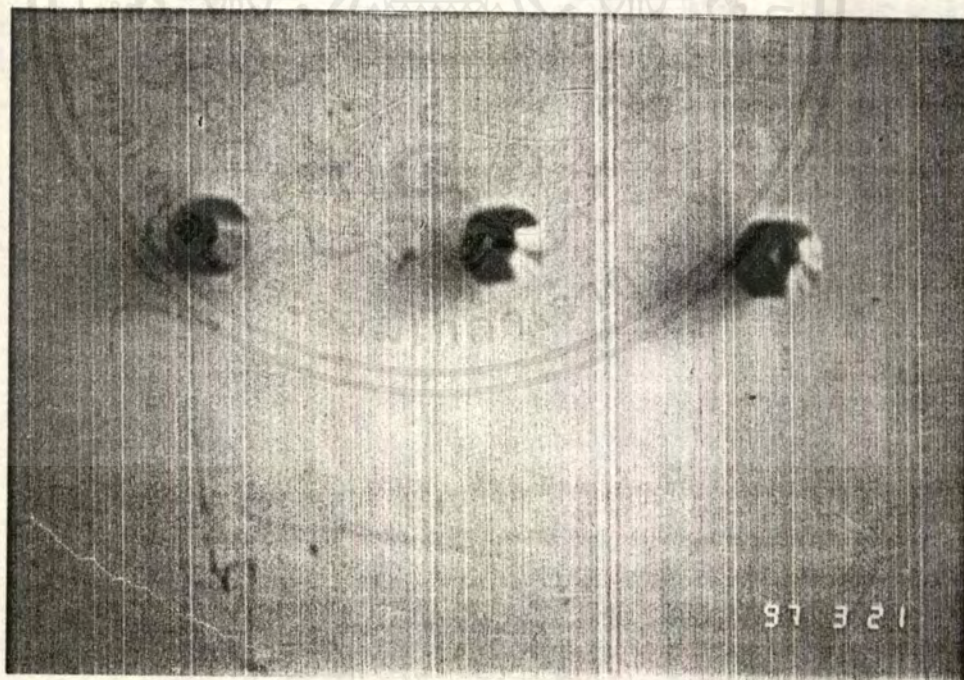


รูป 3.8 แสดงชุดติดตั้งหัวถึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



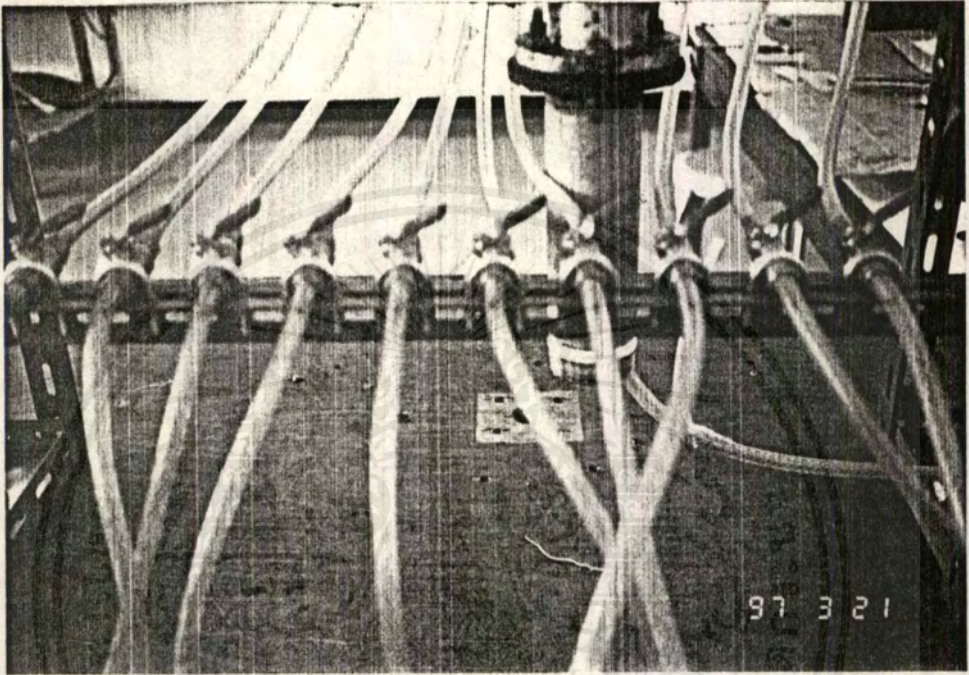
(a)



(b)

รูป 3.9 แสดงหัวถืดที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.10 แสดงวาล์ว ($v_1 - v_{10}$) ที่ใช้ในการวัด Pressure profile

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

การทดสอบปั๊มอากาศแบบหัวฉีด [Air Jet Pumps Testing]

4.1 วัตถุประสงค์การทดลอง

การทดลองนี้ทำขึ้นเพื่อศึกษาสมรรถนะในการทำงาน และประสิทธิภาพของปั๊มอากาศแบบหัวฉีดซึ่งมีปัจจัยพื้นฐานจากการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดของหัวฉีดและห้องผสมขนาดต่าง ๆ , แรงดันที่ใช้ในการอัดอากาศเข้าไปในชุดปั๊มอากาศแบบหัวฉีด ตลอดจนอัตราส่วนของอัตราการไหลของด้านดูด (Suction side) และด้านอัดอากาศเข้าหัวฉีด (Nozzle)

4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

- 1 ชุดปั๊มอากาศแบบหัวฉีด ประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญต่างดังนี้
 - ก. หัวฉีด (nozzle)
 - ข. ท่อด้านดูด (suction side)
 - ค. ห้องผสมและด้านจ่าย (mixing chamber & discharge side)
- 2 คอมเพรสเซอร์ (Compressor)
- 3 เกจวัดความดัน (Pressure gage) จำนวน 4 ตัว
- 4 วาล์วปรับอัตราการไหล จำนวน 3 ตัว
- 5 มิเตอร์วัดอัตราการไหล (Flow meter)
- 6 ชุดมาโนมิเตอร์

4.3 การทดลองเพื่อวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพ

1. เปิดวาล์วลมที่ต่อมาจากคอมเพรสเซอร์ ดังในรูป 4.1

2. เปิดวาล์ว V_{12} ให้สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในทางวิชาการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ปรับวาล์ว V_{11} จนกว่าจะได้ค่าความดัน P_1 ตามต้องการ
4. อ่านค่าจากเกจวัดความดัน P_3
5. อ่านค่าอัตราการไหลจาก Flow meter Q_1 และ Q_3
6. หาค่าอัตราการไหลทางค้ำานจุด

เนื่องจากอัตราการไหลทางค้ำานจุดนี้มีค่าน้อยเกินกว่า Flow meter จะสามารถวัดค่าได้ ฉะนั้นจึงต้องวัด Q_2 โดยใช้หลักการการไหลภายในท่อ (fully developed laminar flow in pipe) โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$Q_2 = \frac{\pi \cdot \Delta P \cdot D^4}{128 \cdot \mu \cdot L}$$

โดย $\mu = 1.7 \times 10^{-5}$

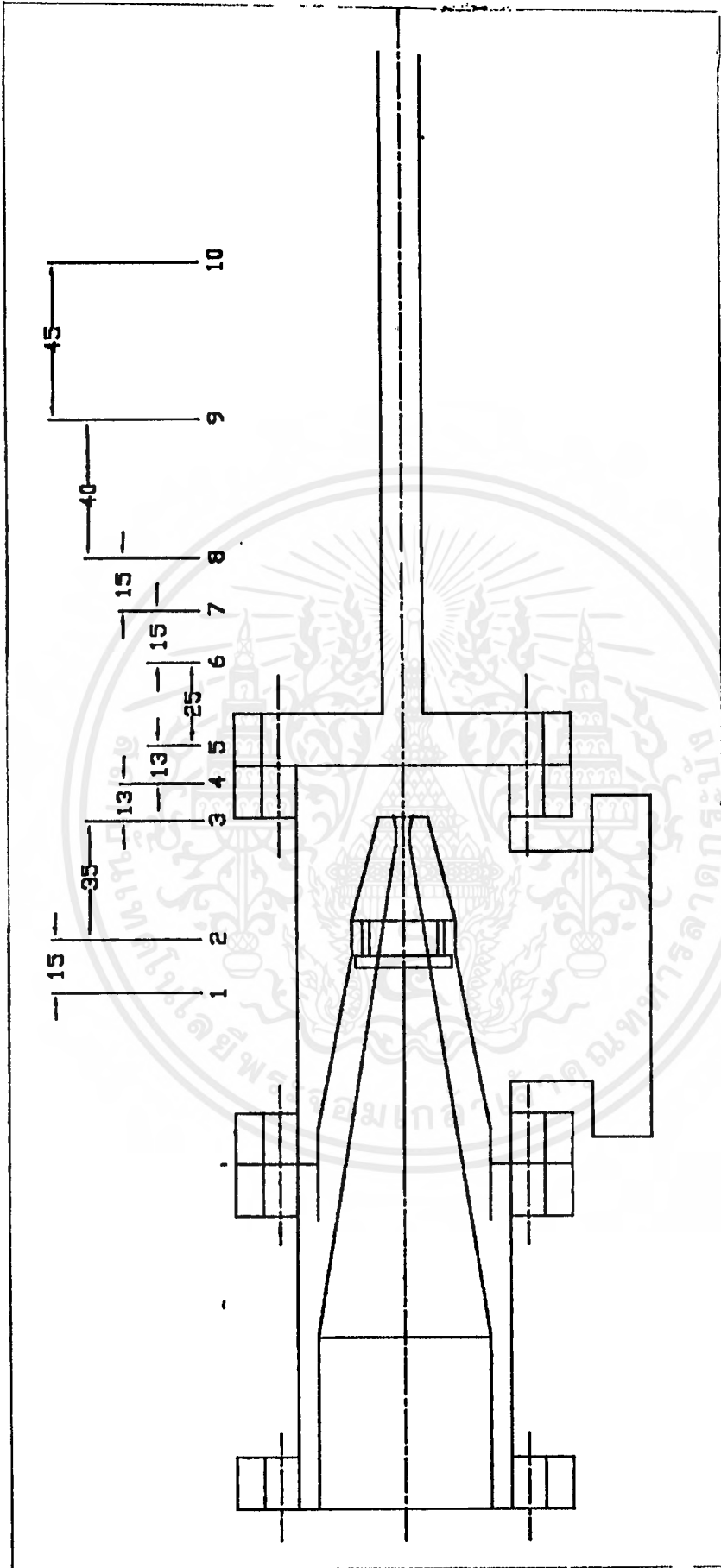
$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot h_2$$

7. หาค่าความดัน P_2 โดยวัดจากมาโนมิเตอร์ในรูป H_2
8. หาค่าความเร็วที่จุด 1 , 2 และ 3 โดยใช้สูตร $V = Q/A$
9. ทำการบันทึกผลต่างๆลงในตารางการทดลอง
10. ทำการทดลองซ้ำใหม่โดยค่อยๆเปิดวาล์ว V_3 เป็นระยะๆ
11. หลังจากเสร็จจากข้อ 4. แล้วทำการทดลองใหม่อีกโดย การเปลี่ยนขนาดหัวฉีดไปจนครบ

4.4 การวัด Pressor Profile

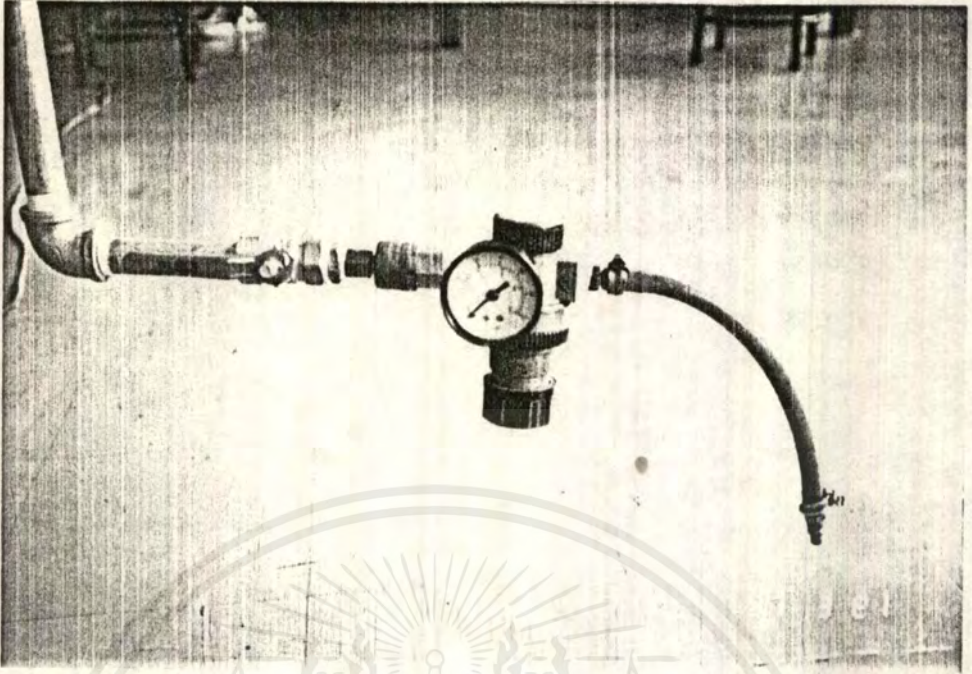
1. เปิดวาล์วลมที่ต่อมาจากคอมเพรสเซอร์ ดังในรูป 4.1
2. เปิดวาล์ว V_{12} ให้สุด
3. ปรับวาล์ว V_{11} จนกว่าจะได้ค่า P_1 ตามต้องการ
4. วัดความดันที่จุด 1 และ 2 ตามลำดับ โดยการเปิดวาล์ว V_1 และ V_2 ดังในรูป 4.3 แล้ววัดค่า ความดันจากเกจวัดความดัน P_4
5. เปิดวาล์ว V_3 แล้ววัดความดันโดยใช้ Vacuum gage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

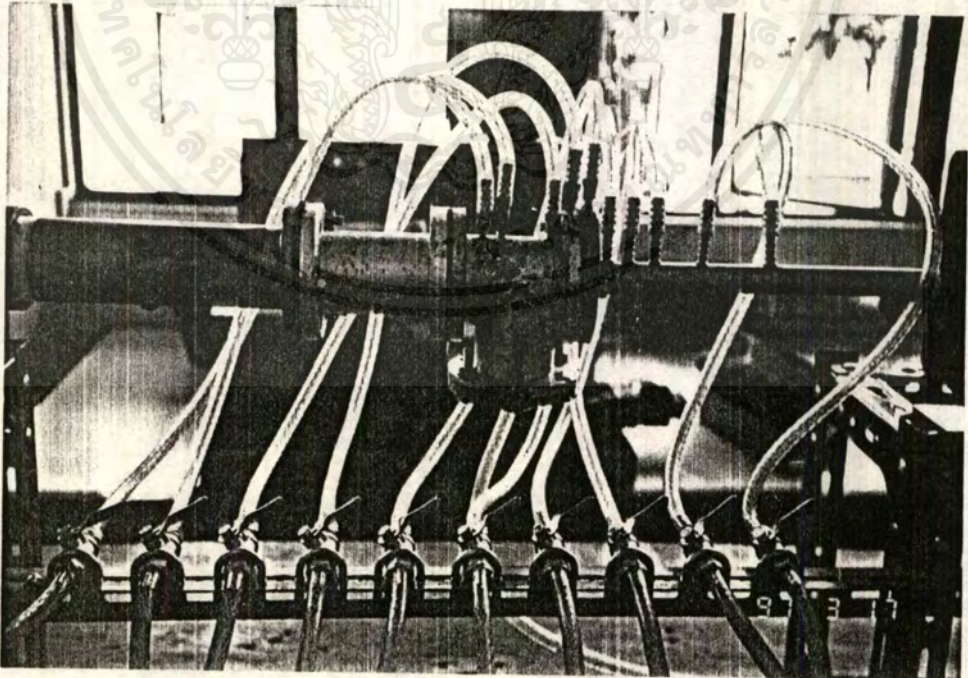


รูป 4.3 แสดงตำแหน่งต่าง ๆ ในกรวด Pressure profile

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.1 แสดงวาล์วที่ต่อมาจากคอมเพรสเซอร์



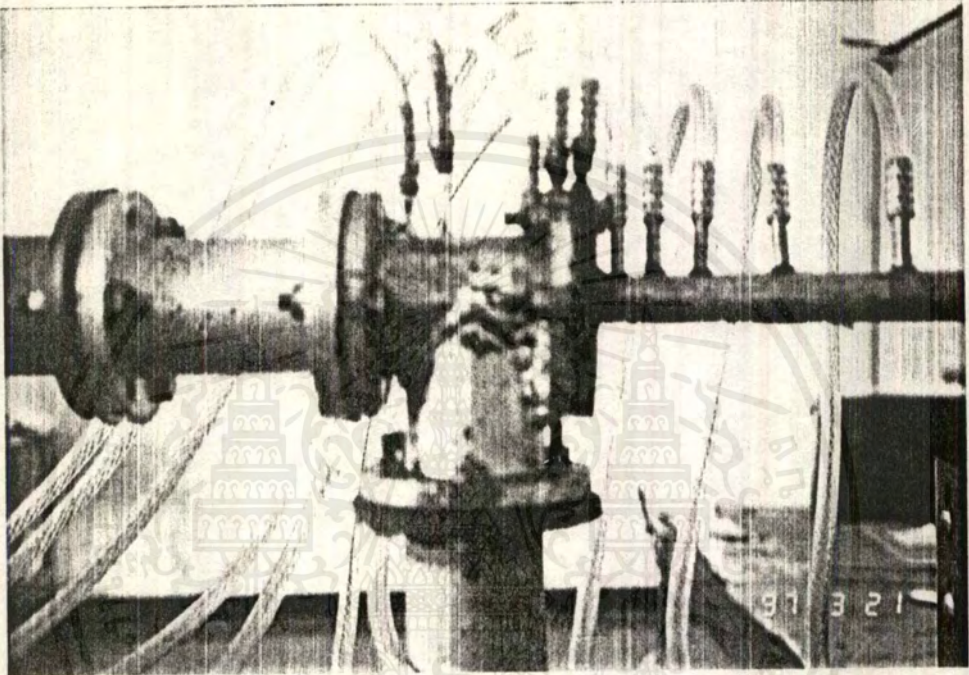
รูป 4.2 แสดงวาล์วและจุดต่าง ๆ ในการวัด Pressure profile

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. วัดค่าความคั่นของจุดที่ 4 จนถึง 10 โดยใช้มาโนมิเตอร์
7. ทำการบันทึกผลต่างๆ ลงในตารางการทดลอง
8. ทำการทดลองซ้ำใหม่โดยการเปลี่ยนแปลงค่า P_1
9. หลังจากเสร็จจากข้อ 8. แล้วทำการทดลองใหม่อีกโดยการเปลี่ยนหัวฉีด

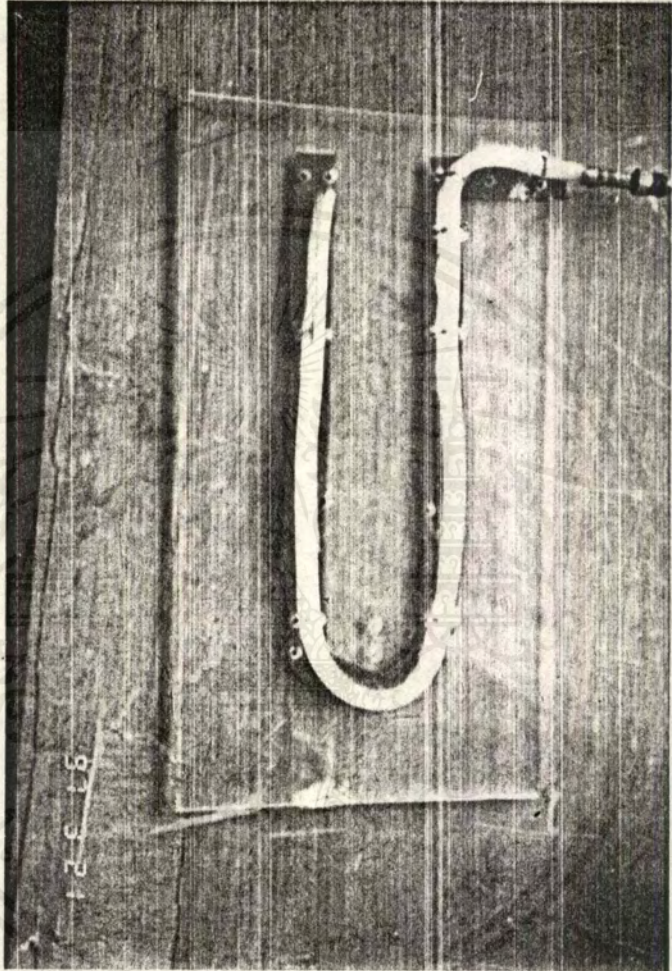
ไปจนครบ





รูป 4.4 แสดงตำแหน่งการวัดในชุดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.5 แสดงมาโนมิเตอร์ ที่ใช้ในการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการทดลอง

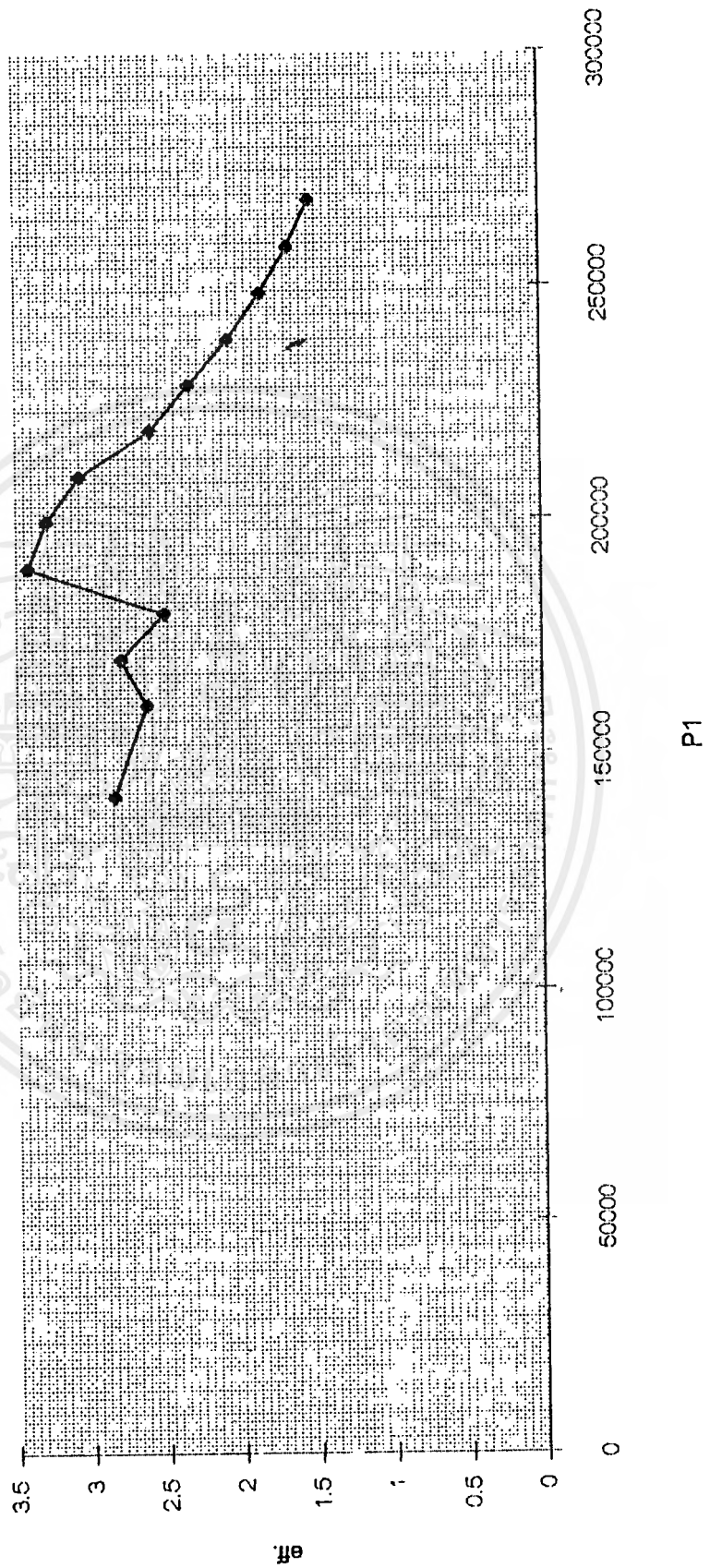
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองในการวัดค่าประสิทธิภาพ (ผลดิบ) เมื่อใช้หัวฉีดที่ 1 (D = 3.2 mm.)

P1(kgf/cm ²)	H2(cm ²)	P3(kgf/cm ²)	q1(LM)	h2(cm ²)	Q3(LM)
0.2	0.8	0.1	3.75	2	3
0.4	3	0.1	5.25	2.5	6.25
0.6	5	0.1	6	4.5	7.75
0.7	6.9	0.1	6.25	6	8.25
0.8	7.75	0.1	6.9	7	8.75
0.9	9.25	0.13	6.9	8.25	9.25
1	10	0.14	7	8.5	9.75
1.1	10	0.15	7.2	8.6	9.8
1.2	10	0.15	7.5	8.5	10
1.3	9.7	0.15	7.75	8	11
1.4	9.6	0.15	8	8.9	11.5
1.5	9.6	0.15	8.1	8.8	11.75
1.6	9.5	0.15	8.1	8.6	11.8
1.7	9.6	0.15	8.2	8.6	12.5

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองในการวัดค่าประสิทธิภาพ เมื่อใช้หัววัดที่

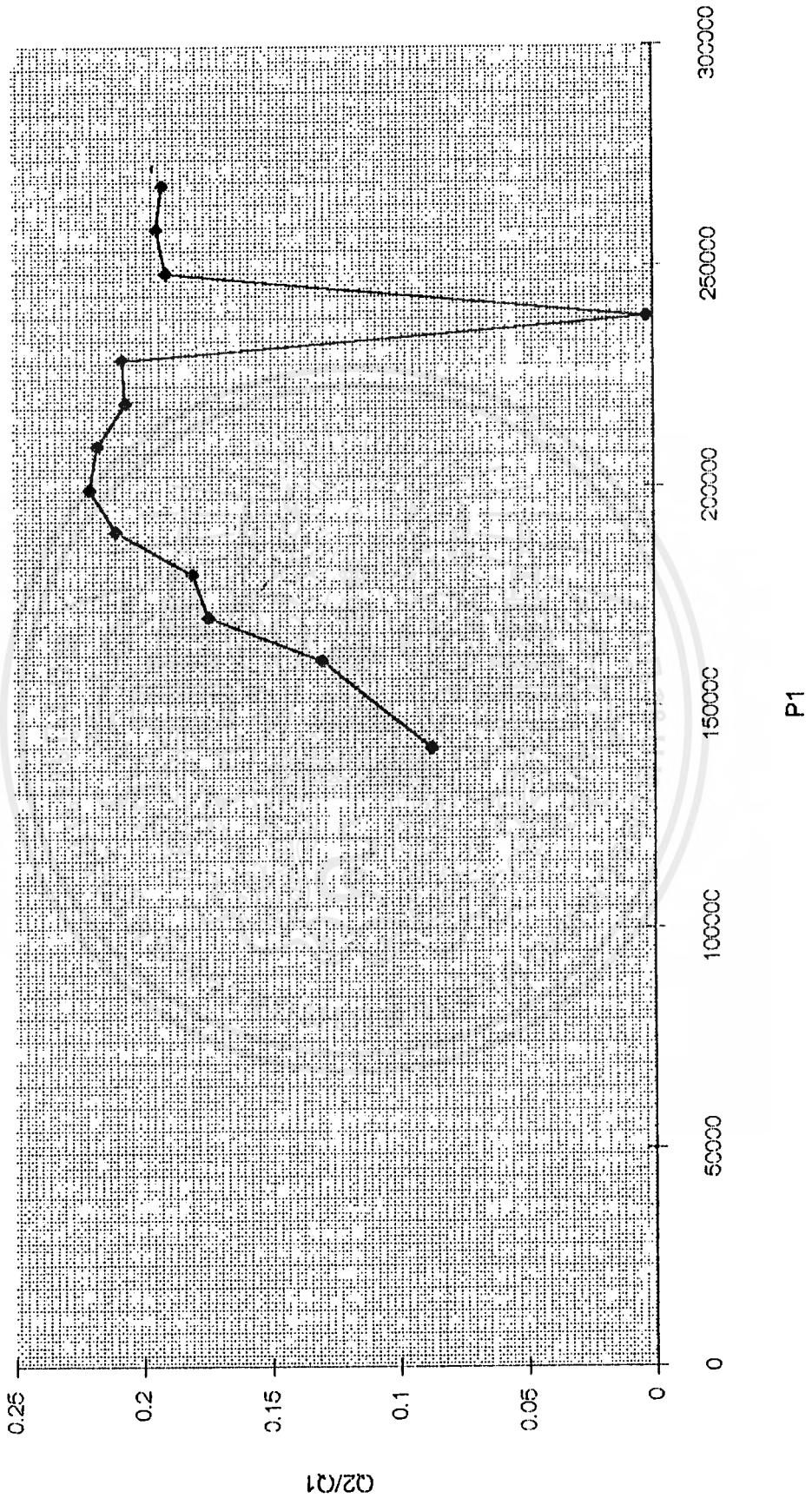
1 (D = 3.2 mm.)

P1(Pa)	P2(Pa)	P3(Pa)	Q1(m ³ /s)	Q2(m ³ /s)	Q3(m ³ /s)	v1(m/s)	v2(m/s)	v3(m/s)	n(%)	Q2/Q1
140551.5	101031	111131.55	0.0000075	7.602E-06	0.000104	11.573556	0.2815373	0.86	2.84	0.0868
160164.9	100835	111131.55	0.0001	1.368E-05	0.000129	13.2867	0.50676	1.0677	2.62	0.13
169971.55	100548.8	111131.55	0.0001042	1.824E-05	0.0001375	13.7778	0.6756	1.1366	2.79	0.174
179779.2	100555.5	111131.55	0.000115	2.128E-05	0.000145	15.21069	0.788304	1.205	2.501	0.16
189584.85	100418.5	114073.645	0.000115	0.000025	0.000154	15.21069	0.92907	1.2744	3.399	0.21
199391.5	100345	115054.31	0.0001167	2.585E-05	0.0001625	15.43	0.95722	1.343	3.274	0.22
209198.15	100345	116034.975	0.00012	2.615E-05	0.0001633	15.872	0.9584	1.35	3.0625	0.217
219004.8	100345	116034.975	0.000125	2.585E-05	0.0001667	16.5333	0.95	1.3777	2.59	0.206
228811.45	100374.4	116034.975	0.0001291	2.675E-05	0.0001833	17.08447	0.99	1.51	2.33	0.207
238618.1	100384.2	116034.975	0.0001333	0.000027	0.000191	17.6355	1.00227	1.58	2.07	0.0025
248424.75	100384.2	116034.975	0.000135	2.675E-05	0.0001958	17.855	0.99101	1.618	1.855	0.19
258231.4	100394	116034.975	0.000135	2.614E-05	0.0001965	17.855	0.968	1.625	1.667	0.1936
268038.05	100384.2	116034.975	0.0001366	2.614E-05	0.000208	18.07	0.968	1.722	1.525	0.1913

รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับ P_1 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

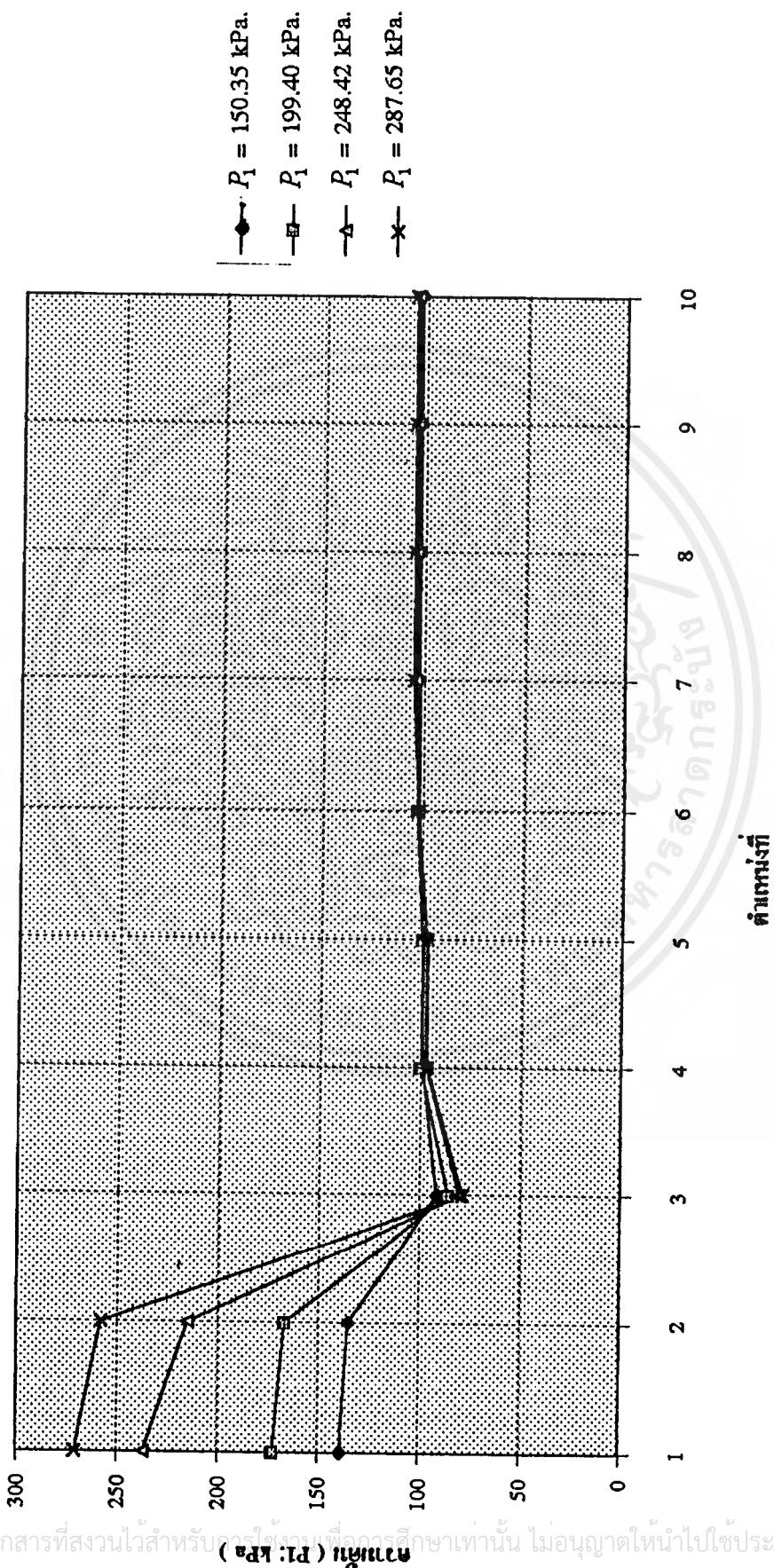
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Q_2/Q_1 กับ P_1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองในการวัดความดันที่จุดต่างๆ (Pressure profile) ในชุดมีอากาศแบบหัวฉีด เมื่อใช้หัวฉีดที่ 1 (D = 3.2 mm.)

P1(kPa.)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
150.35	139.1	135.3	91.65	99.414	99.512	101.83	102.4	102.45	102.501	102.4814
199.4	172.4	166.5	85.748	100.198	99.757	102.991	103.873	104.11	104.069	104.02
248.42	237	215	80.329	97.385	97.62	102.35	104.31	104.51	104.5	104.51
287.65	271	258	78.63	96.787	97.5	102.7	105.147	105.4	105.343	105.294

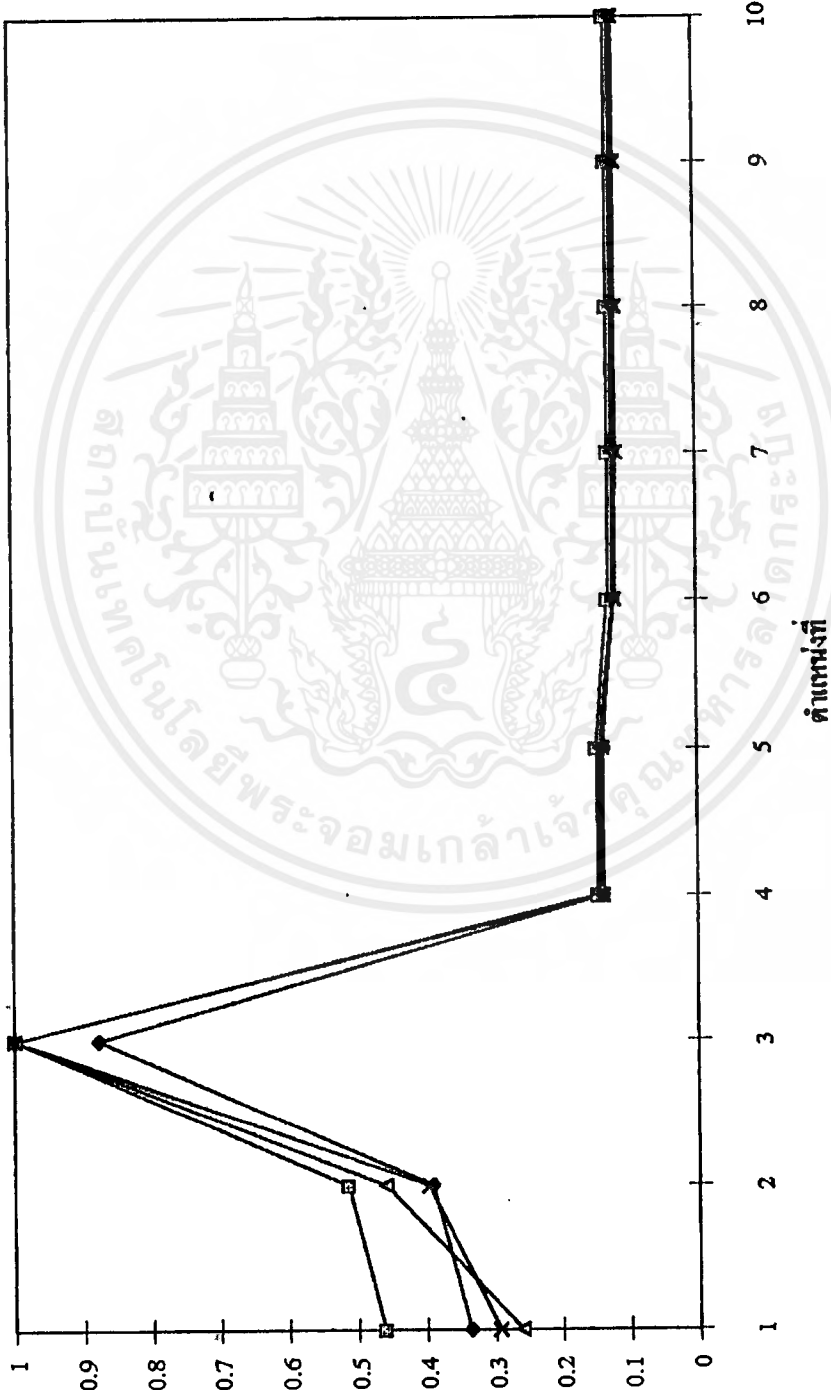


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความดันที่จุดต่างๆ (Pressure profile) ในชุดปั๊มอากาศ แบบหัวฉีด เมื่อใช้หัวฉีดที่ 1 ($D = 3.2$ mm.)

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการวัดความเร็วในชุดปั๊มอากาศแบบหัวฉีด (ในรูป Mach number) เมื่อใช้ หัวฉีดที่ 1 (D = 3.2 mm.)

P1(kPa.)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
150.35	0.3352	0.39	0.877	0.1372	0.1371	0.123	0.122	0.122	0.1217	0.12176
199.4	0.461	0.514	1	0.146	0.14667	0.13	0.1289	0.1286	0.1286	0.1287
248.42	0.25	0.459	1	0.1407	0.1404	0.1225	0.12	0.11995	0.119964	0.11995
267.65	0.293	0.397	1	0.1386	0.1376	0.11947	0.1167	0.1164	0.11648	0.117

- ◆— $P_1 = 150.35 \text{ kPa.}$
- $P_1 = 199.40 \text{ kPa.}$
- ▲— $P_1 = 248.42 \text{ kPa.}$
- *— $P_1 = 287.65 \text{ kPa.}$



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความเร็ว (ในรูป Mach number) ในชุดบีบอากาศ แบบหัวฉีด เมื่อใช้หัวฉีดที่ 1 ($D = 3.2 \text{ mm.}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับหัวฉีดที่ 2 และ 3 ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.4 และ 10 mm. ผลปรากฏว่าไม่เกิดการอุดตันที่ suction แต่เป็นการอัดออกมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง

สรุปผลทฤษฎีที่ได้จากในบทที่ 2 จะพบว่าเมื่อเราใช้หัวฉีดอันที่ 1 ($D = \frac{1}{8}$ in) จะทำให้ได้ค่าประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อ $P_1 = 180$ kpa (ในโปรแกรมการคำนวณนั้นค่าต่างๆ จะค่อนข้างแปรผันต่อกันและกันอย่างรุนแรง เช่น Area ratio, P_1 , P_2 ฯลฯ) และค่าพื้นที่หน้าตัดของหัวฉีดที่มากที่สุดมีค่าได้ไม่เกิน 29.6 mm^2 ดังในกราฟรูปที่ 2.5

สรุปผลจากการทดลอง จะพบว่าเมื่อเราอัดอากาศเข้าไปที่หัวฉีดอันที่ 1 ด้วยความดันแตกต่างกันแล้วจะ ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ $P_1 = 189.584$ kpa ส่วนหัวฉีดอันที่ 2 และ 3 นั้นทำให้ปั๊มไม่สามารถดูดอากาศเข้าไปได้แต่กลับเป็นการอัดอากาศออกมาทางท่อดูด

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

1. การวัดค่า Q_2 นั้นมีความคลาดเคลื่อนที่สูงมาก โดยมีเหตุผลจาก

1.1 เครื่องมือที่ใช้สำหรับการวัดในชุดทดลอง ไม่สามารถวัดได้ละเอียดเพียงพอ

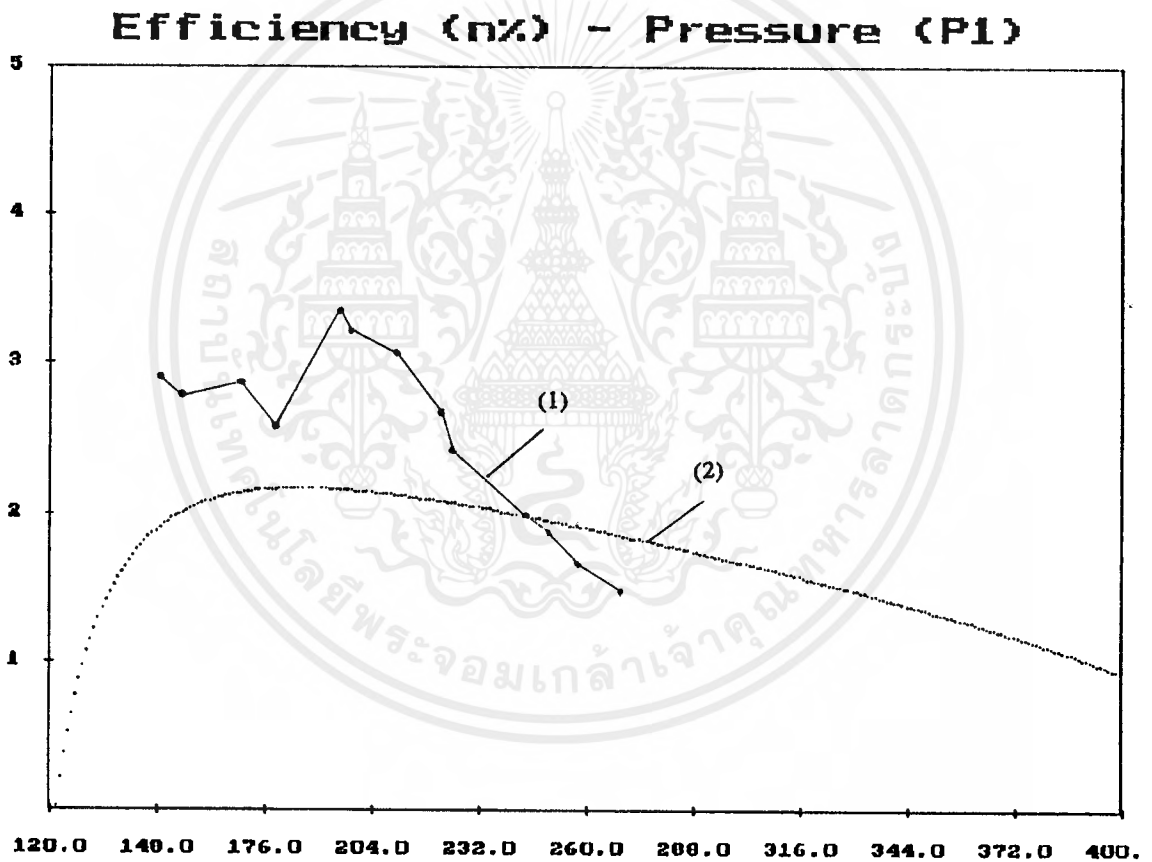
1.2 ค่า Q_1 อาจต่ำเกินไปทำให้ไม่สามารถดูด Q_2 ขึ้นมาได้มากเพียงพอที่เครื่องมือจะวัดได้

1.3 การผลิตชิ้นส่วนต่างๆ เช่น ท่อ fitting ต่างๆ ตลอดจนการประกอบชุดทดลองก็มีความผิดพลาดค่อนข้างสูง ทำให้การวัดค่าคลาดเคลื่อนพอสมควร

2. การที่เมื่อใช้หัวฉีดอันที่ 2 และ 3 ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดมากกว่า 29.6 mm^2 แล้วทำให้ปั๊มไม่สามารถดูดอากาศได้นั้นมีความสอดคล้องกับการคำนวณทางทฤษฎี ดังในกราฟรูปที่ 2.4 แต่จากการที่ใช้หัวฉีดอันที่ 2 และ 3 ซึ่งมีขนาดใหญ่เกินไปเอง จึงเห็นได้ว่าผลการทดลองในเรื่องการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หัวฉีดนี้ไม่ได้ผลเท่าที่ควร ฉะนั้นจึงควรเปลี่ยนพื้นที่หัวฉีดให้ละเอียดมากๆ จึงจะสามารถหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จากการทดลองและทฤษฎีที่ได้กล่าวมาทั้งหมด เมื่อนำผลกราฟจากการทดลอง และทางทฤษฎีมาเทียบกันดังในรูปที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าค่าต่างๆที่ได้จากการทดลอง นั้นมีความคลาดเคลื่อนกับทางทฤษฎีอยู่พอสมควร คือ ผลทางทฤษฎีจะให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อ $P_1 = 180 \text{ Kpa}$ แต่ผลจากการทดลองจะให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ $P_1 = 189.584 \text{ Kpa}$ แต่อย่างไรก็ดีแล้วแต่จะเห็นว่ากราฟทั้งสองมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ควรทำการทดลองและใช้อุปกรณ์ที่ละเอียดสูงมาก ๆ สำหรับการทดลองในเรื่องนี้เพื่อที่จะได้ผลที่ถูกต้องและละเอียดมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 5.1 แสดงกราฟเปรียบเทียบผลของการทดลอง (เส้นที่ (1)) และผลการคำนวณจากโปรแกรม (เส้นที่ (2)) ซึ่งจากกราฟทั้งสองเส้นนี้จะพบว่าค่อนข้างมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน แต่ค่าจากกราฟทั้งสองมีค่าแตกต่างกันอยู่บ้างซึ่งเกิดจากความคลาดเคลื่อนในการทดลอง

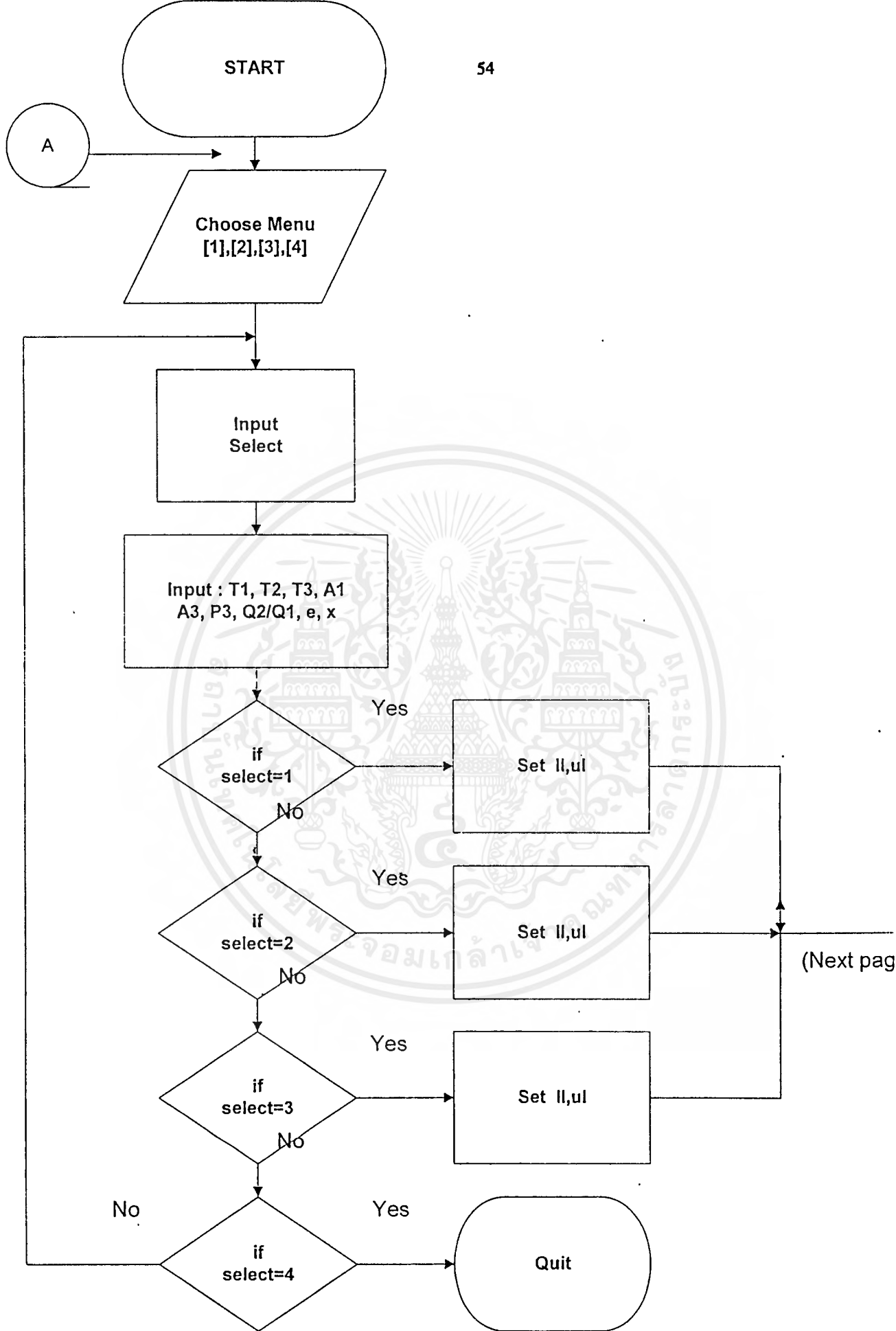
เอกสารอ้างอิง

1. Robert B. Power , “ Stream Jet Ejector for the Process Industries” , McGraw-Hill , New York , 1994
2. Robert W. Fox Alan T. McDonald , “Introduction to Fluid Mechanics” , Fourth Edition ; John Wiley & Sons , New York , 1994
3. Pfenzelt , Carl Joseph , “Jet Pump Design For Maximum Efficiency (Computational Fluid Dynamics)” ; California State University , Fullerton (6060) , 1996
4. Wang , Demao , “ Analysis and Design of Air-Jet Pumps for Pneumatic Transportation of Bulk Solids in Pipelines ; University of Wollongong (Australia) (0727), 1995
5. Walklate-PJ , Weiner-KL , Parkin-CS , :” Analysis of and Experimental measurements made on a moving air-assisted sprayer with two-dimensional air-jets penetrating a uniform crop canopy” , 1996

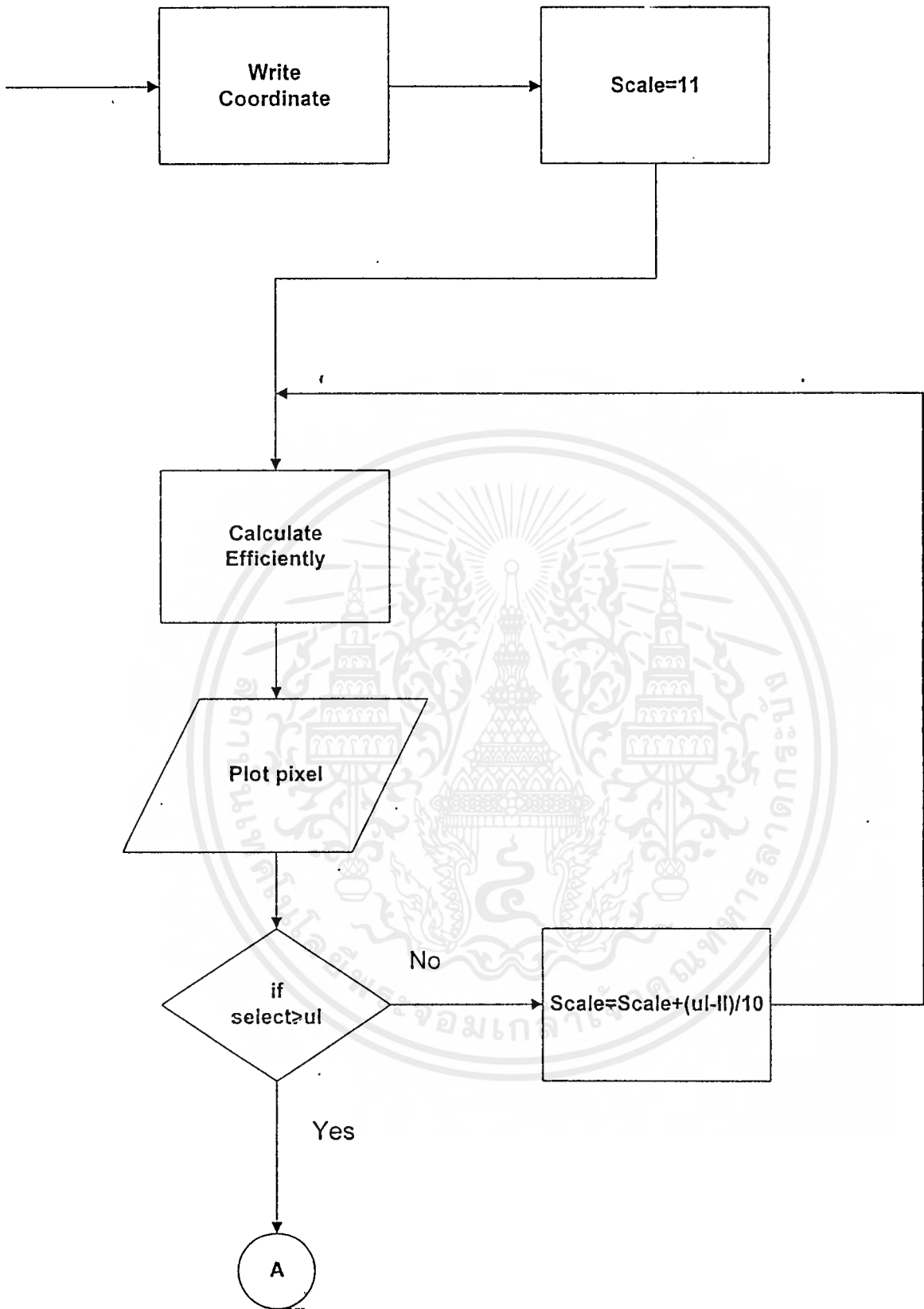


ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รูปแสดงแผนผังการคำนวณ (Flow chart) สำหรับ โปรแกรมการคำนวณ ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



โปรแกรมการคำนวณทางทฤษฎี

```

#include <math.h>
#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <graphics.h>

void Graph_EffP1P3(void);

double Efficiency(void);

char select;

int width=580,
height=400;

double R=286.9, K=1.4, cp=1004,
i, j, k, e, x,
Q2div1,
ul, ll,
R1,
A1, A3, A2,
T1, T2, T3,
P1, P2, P3,
v1, v2, v3;

void main (){

```

```

double eff, L;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

int    gdriver = DETECT, gmode, quit=0;
/*--- Begin ---*/
    while(quit==0){
        clrscr();

// Menu
        textcolor(10);
        cprintf("Choose function\n\n");
        textcolor(12);
        cprintf(" [1]  eff-m\n");
        cprintf(" [2]  eff-e\n");
        cprintf(" [3]  eff-x\n");
        cprintf(" [4]  Quit");
        select = getch();
/*
        printf("Input T1 : "); scanf("%lf", &T1);
        printf("Input T2 : "); scanf("%lf", &T2);
        printf("Input T3 : "); scanf("%lf", &T3);
        printf("Input A1 : "); scanf("%lf", &A1);
        printf("Input A3 : "); scanf("%lf", &A3);
        printf("Input P3 : "); scanf("%lf", &P3);
        printf("Input Q2div1 : ");  scanf("%lf", &Q2div1);
        printf("Input e : "); scanf("%lf", &e);
        printf("Input x : "); scanf("%lf", &x);
*/

        T1      = 300;
        T2      = 300;
        T3      = 300;

```

```

A1      = 9;
P1      = 200.000;
Q2div1  = 0.1;
e       = 30;
P3      = 102;
L       = 0.23 ;

```

```

initgraph(&gdriver, &gmode, "c:\\lang\\tc\\bgi\\");

```

```

switch(select){
  case '1': // Graph 1
    A2 = 27 ;
    ll = 0.01 ; ul = 0.5;
    Graph_EffP1P3();
    for(P1=200; P1<=300;P1+=50){
      for(Q2div1=ll; Q2div1<=ul; Q2div1+=.00005){
        A3 = A1/L;
        eff = Efficiency();
        if (eff >= 0.0 && eff <= 1.0)
          putpixel((int)(39+width*(Q2div1-ll)/(ul-ll)), 39+height-(int)
            (height*eff), 14);
      }
    }
    getch();
    break;

  case '2': // Graph 2
    ll =120; ul = 400;

```

```

    Graph_EffP1P3();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for(P1=ll; P1<=ul;P1+=1){
    A3 = A1/L;
    eff = Efficiency();
    if (eff >= 0.0 && eff <= 1.0)
        putpixel((int)(39+width*(P1-ll)/(ul-ll)), 39+height-(int)
(height*eff), 14);
    }
    getch();
    break;

case '3': // Graph 3
    ll = 2; ul = 26;
    Graph_EffP1P3();
    for(A1=ll; A1<=ul; A1+=.001){
        A2=29; A3=(A1+A2) ;
        eff = Efficiency();
        if (eff >= 0.0 && eff <= 1.0)
            putpixel((int)(39+width*(A1-ll)/(ul-ll)), 39+height-(int)
(height*eff), 12);

    }

    getch();
    break;

case '4': quit = 1; // QUIT !

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

closegraph();
}
}

/***** Cal. Eff. *****/

double Efficiency(void) {
    x = P1/P3;
    v1 = sqrt(K*R*T1);
    v2 = Q2div1*A1*v1/A2 ;
    m = A1/A2;

    i = (m+1)*cp/(m*R*g)
        - A*(m+1)/(2*m*g)
        + x*A*v1*v1/(2*R*T1*g*g)
        - x*A*v1*v2/(2*R*T1*g*g)
        - x*v1*T2*A/(2*T1*v2*g)
        + A*x/(2*g) ;

    j = -1*( x*v1*cp/(R*g)
        + x*A*v1*v1*v1/(2*R*T1*g*g)
        - x*v1*cp*T2/(R*T1*g)
        - x*v2*v2*v1*A/(2*R*T1*g*g)
        + (m+1)*cp*v2/(m*R*g)
        + (m+1)*cp*T2/(m*v2)
    );

    k = x*v1*v2*cp/(R*g)
        + x*T2*v1*cp/v2

```



```

setcolor(7);
rectangle(39,39,39+width,39+height);
settextjustify(CENTER_TEXT, CENTER_TEXT);
settextstyle(DEFAULT_FONT, HORIZ_DIR, 2);

setcolor(11);
switch(select){
    case '1': sprintf(buf, "Efficiency(n%)-Flowrate ratio(Q2/Q1)"); break;
    case '2': sprintf(buf, "Efficiency(n%)-velocity ratio(e)"); break;
    case '3': sprintf(buf, "Efficiency(n%)-area ratio(A1/A3)");
}
outtextxy(320, 20, buf);
settextstyle(DEFAULT_FONT, HORIZ_DIR, 1);
setcolor(15);
for(scale=10; scale<=100; scale+=10){
    z = 39+height-scale*height/100.0;
    line(37, z, 41, z);
    sprintf(buf, "%d", (int)scale);
    outtextxy(20, z, buf);
}
for(scale=11; scale<=ul; scale+=(ul-11)/10.0){
    z = 40+(scale-11)*width/(ul-11);
    line(z, 437, z, 441);
    sprintf(buf, "%.1lf", scale);
    outtextxy(z, 460, buf);
}

```

ภิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนช่วยให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี
 ขอขอบคุณ อ. จำลอง ปราบแก้ว ในการอำนวยความสะดวกในการทำงาน
 ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดความรู้ และประสบการณ์ให้ในการศึกษา
 ขอขอบคุณ พี่ มณฑา เกียมเมือง ที่คอยช่วยเหลือ
 ให้คำปรึกษาด้านงานฝีมือตลอดจนการให้ยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทำโครงการ
 ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ ทุกคน ที่คอยให้ความสนุกสนานและความบันเทิง
 ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และบุคคลผู้เป็นที่รัก ที่คอยให้กำลังใจ ในการทำโครงการ

