

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาแรงจากการกระแทกของลำการไหลบนหัวลูกสูบ
STUDY ON IMPINGE JET FORCE ON PISTON HEAD SURFACE



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 64202
วัน,เดือน,ปี..... 7 ก.ย. 2549

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2547

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาแรงจากการกระแทกของลำการไหลบนหัวลูกสูบ

STUDY ON IMPINGE JET FORCE ON PISTON HEAD SURFACE

ผู้จัดทำ

1. นายยุทธศักดิ์ มหาริน รหัสประจำตัว 44010804
2. นายศรวุฒิ เทอดไทยสง่า รหัสประจำตัว 44010838
3. นายสรศักดิ์ พินทุสมิต รหัสประจำตัว 44010858



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. วรัชชัย นาคพิพัฒน์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาแรงจากการกระแทกของลำการไหลบนหัวลูกสูบ

นายยุทธศักดิ์ มาหริน 44010804

นายศราวุฒิ เทอดไทยสง่า 44010838

นายสรศักดิ์ พินทุสมิต 44010858

ผศ.ธวัชชัย นาคพิพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2547

บทคัดย่อ

โครงการนี้ศึกษาพื้นผิวของลูกสูบที่มีผลต่อการกระแทกของลำการไหล โดยเมื่อทำการออกแบบพื้นผิวของหัวลูกสูบ แล้วทำการทดสอบด้วยการยิงกระแสดาวาศกระแทกกับพื้นผิวของหัวลูกสูบที่ความดัน 4, 5 และ 6 บาร์ ด้วยหัวยิงขนาด 4 และ 6 มม. และคำนวณหาค่างาน และประสิทธิภาพที่หัวลูกสูบได้รับ จะพบว่าในการทดลองครั้งนี้ งานที่ได้แปรผันตรงกับความดัน และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดที่ใช้ในการยิงทดสอบ แต่ประสิทธิภาพจะแปรผกผันกับความดัน และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด ซึ่งหัวลูกสูบที่ได้ปรับปรุงสามารถรับแรงจากการกระแทกจากลำการไหล ได้งานเพิ่มขึ้น 53.19% ที่ความดัน 4 บาร์ ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 51.61% ที่ความดัน 4 บาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY ON IMPINGE JET FORCE ON PISTON HEAD SURFACE

Yuttasak Malin

Sarawut Toadthaisanga

Sorrasak Pintusmit

Asst.Prof. Tawatchai Nakpipat

Abstract

The piston heads are designed to compare with the conventional ones. The 4-mm and 6-mm impinge jet operated at 4, 5 and 6 bar are applied to determine the efficiency of the piston heads. The results show that work is directly proportional to pressure and nozzle diameter, but its efficiency is inversely opposite result. The Improvement piston head could be clearly seen the higher work and efficiency about 53.19% at pressure 4 bar and 51.61% at pressure 4 bar

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ ก็เพราะความช่วยเหลือ ให้การสนับสนุน และร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ปริญญาานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือ ผศ.ธวัชชัย นาคพิพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมาซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบพระคุณอาจารย์ดำรงห์ จันทร์แสงสุก ที่ให้คำแนะนำความรู้ด้านต่าง ๆ และยังช่วยสอนเทคนิคต่าง ๆ ในการใช้เครื่องจักรกล การกลึง การเจาะ เครื่องมือ และแนะนำร้านในการซื้ออุปกรณ์ในการทำงาน

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์งานวิจัย	1
1.2 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.3 วิธีการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีของของไหล	3
2.1 นิยามของของไหลและสมบัติที่สำคัญ	3
2.2 ก๊าซสมบูรณ์	4
2.3 การไหลของของไหล	6
2.3.1 ชนิดการไหลของของไหล	6
2.3.2 อัตราการไหลและความเร็วเฉลี่ย	7
2.3.3 สมการความต่อเนื่อง	8
2.3.4 สมการพลังงาน	8
2.4 การไหลในท่อ	9
2.4.1 การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการไหลในท่อ	9
2.5 การกระจายตัวของตัวอากาศ	10
2.6 การปรับความดันในถัง	10
2.7 การวัดความดัน	11
2.8 เครื่องวัดความดัน	11
2.9 อัตราการไหลและความเร็วเฉลี่ย	14
2.10 พลังงานที่ได้จากการไหลของของไหล	15
บทที่ 3 ขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์ทดสอบ และการออกแบบ	17
บทที่ 4 ขั้นตอนการทดสอบ	24
บทที่ 5 การคำนวณผลทางทฤษฎี	26
บทที่ 6 ผลการทดลอง	33
บทที่ 7 สรุปผลการทดลอง	55
บรรณานุกรม	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

เนื่องจากในปัจจุบันได้มีการนำงานจากระบบอิมพัลส์เจ็ต มาใช้ในเครื่องมือของอุตสาหกรรมหลายอย่าง เช่น เครื่องกะเทาะสีรถยนต์ เครื่องขึ้นรูปโลหะ และ เครื่องเจาะพื้นปูน เป็นต้น เครื่องกะเทาะสีรถยนต์ จะใช้การอัดกระแทกของเจ็ต ที่ทำกับลูกสูบ เพื่อสร้างงานให้เข็มเล็ก ๆ ที่อยู่ปลายทางของลูกสูบไปกระแทกให้สี หรือสนิม จากผิวโลหะหลุดลอกออกมา เครื่องเจาะพื้นก็เช่นกัน จะใช้การอัดกระแทกของเจ็ต ไปกดลูกสูบ เพื่อให้ปลายลูกสูบซึ่งเป็นเหล็กแข็งไปกระแทกทำลายคอนกรีต หรือพื้นถนน ให้เกิดการแตก และพังทลายลง ซึ่งอุปกรณ์ประเภทนี้ในปัจจุบัน ยังไม่สามารถสร้างประสิทธิภาพของงานสูงสุดที่ได้จากอิมพัลส์เจ็ต ได้จึงทำให้เกิดความคิดที่จะสร้าง และออกแบบพื้นผิวของลูกสูบที่เป็นตัวรับการอัดกระแทกของเจ็ต ในรูปแบบใหม่ๆ เพื่อทำการทดลอง และหาพื้นผิวที่สามารถสร้างประสิทธิภาพของงานที่ได้รับจากอิมพัลส์เจ็ต ให้ได้สูงขึ้นกว่าในปัจจุบัน

ที่ผ่านมาได้มีการทำการทดลองเกี่ยวกับอิมพัลส์เจ็ต มาบ้างแล้ว ซึ่งเป็นการทดลองยิงกระสุนอากาศบนพื้นผิวโค้งนูน และเว้าที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน และมีระยะห่างหัวฉีดกับพื้นผิวที่ทำการทดสอบแตกต่างกัน และมีระยะห่างหัวฉีดกับพื้นผิวที่ทำการทดสอบแตกต่างกัน รวมทั้งมี เรย์โนลด์ส์ นัมเบอร์ ที่แตกต่างกัน, การสำรวจเชิงตัวเลขของ Turbulent plane impinge jet ที่ความเร็วทางเข้าเรย์โนลด์ส์ นัมเบอร์มีค่า 6,000 และหัวฉีดบังคับให้มีกระแสวนขนาดใหญ่, การตั้งสมมุติฐานเชิงตัวเลขของการกระแทกของลำการไหลแบบไม่คงที่ เพื่อศึกษาคุณสมบัติของโมเมนต์ และการถ่ายเทความร้อน โดยใช้สมการ Navier - Stokes

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของการทำงานของระยะ อิมพัลส์เจ็ต
2. เพื่อศึกษาผลที่ได้รับจากการออกแบบหัวลูกสูบแบบต่าง ๆ ที่มีต่ออิมพัลส์เจ็ต
3. เพื่อศึกษาผลจากความดันที่มีค่าการกระแทกบนหัวลูกสูบ
4. เพื่อเปรียบเทียบผลของแรงกระแทก ที่มีต่อพื้นผิวเรียบ กับ พื้นผิวลักษณะต่าง ๆ ที่ออกแบบ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ออกแบบพื้นผิวหัวลูกสูบแบบต่าง ๆ เพื่อใช้เปรียบเทียบกับแบบเรียบปกติ ในการทดลองจะประกอบด้วยพื้นผิวทั้งหมดดังนี้ พื้นผิวเรียบปกติ พื้นผิวที่เป็นหลุมที่มีหลังคาเรียบ
2. เก็บข้อมูล นำผลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อทำการปรับปรุง
3. ศึกษาพฤติกรรมของเกี่ยวกับอิมพัลส์เจ็ต ด้วยการเปลี่ยนแปลงความดัน ระยะการยิง และความโตของหัวยิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยในโครงการนี้จะเริ่มด้วยการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งก็มีขั้นตอนการทำงานหลัก ๆ คือ

1. การหาข้อมูล
 - ก) ศึกษาทฤษฎีอิมพิงก์เจ็ต
 - ข) ศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับอิมพิงก์เจ็ต
2. การออกแบบ
 - ก) การออกแบบเครื่องทดลอง
 - ข) การออกแบบลักษณะพื้นผิวของหัวลูกสูบที่รองรับการอัดกระแทกของเจ็ต
 - ค) การออกแบบระบบปรับระยะการยิง ความดัน และความโตของหัวยิงเจ็ต
3. การสร้าง
 - ก) การสร้างเครื่องทดสอบการยิงเจ็ตชนิดกระแทก
 - ข) การสร้างพื้นผิวของลูกสูบที่ใช้รองรับการอัดกระแทกของเจ็ต
 - ค) การสร้างระบบปรับระยะการยิง ปรับความดัน และปรับเวลาการยิง
4. การทดสอบแก้ไขและปรับปรุง
 - ก) ทดสอบกระบอกสูบชนิดอัดกระแทก
 - ข) ทดสอบพื้นผิวลักษณะต่าง ๆ ของลูกสูบ
5. การเก็บข้อมูล
6. การวิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผล
7. เขียนรายงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีการไหลของของไหล

2.1 นิยามของของไหลและคุณสมบัติที่สำคัญ

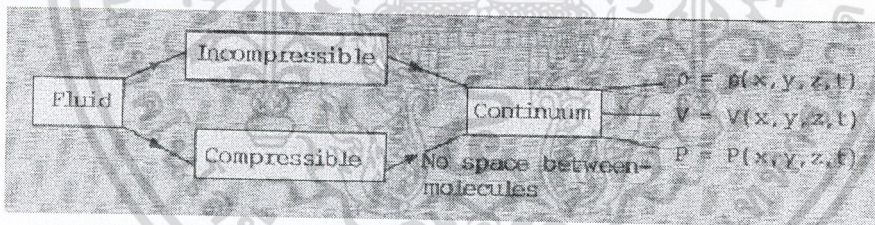
ของไหลเป็นสสารที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างได้อย่างต่อเนื่องเมื่อมีแรงเฉือน (shearing stress) มากระทำไม่ว่าแรงดังกล่าวจะน้อยเท่าใดก็ตาม ดังนั้นของไหล (Fluid) เป็นได้ทั้งของเหลวและก๊าซ หรือไอ สำหรับของเหลว เช่นน้ำเป็นของไหลที่ยุบตัวไม่ได้เรียกว่า Incompressible Fluid ส่วนก๊าซเป็นของไหลยุบตัวได้หรืออัดได้เรียกว่า Compressible Fluid ซึ่งความหนาแน่นไม่คงที่

ในสภาพเป็นจริงของของไหล เช่นน้ำหรือก๊าซประกอบด้วยโมเลกุลที่อยู่ติดกันหนาแน่นน้อยกว่าของแข็ง ดังนั้นระหว่างโมเลกุลจึงมีช่องว่าง ในการวิเคราะห์การไหลค่าของความเร็วและความดันที่จุดหนึ่งจึงคิดเป็นค่าเฉลี่ยโดยถือว่าไม่มีช่องว่างระหว่างโมเลกุล ดังนั้นของไหลจึงถือว่าเป็นสารที่ต่อเนื่องกัน (Continuum) ซึ่งเป็นจริงเฉพาะการใช้งานทางวิศวกรรม ซึ่งมีข้อยกเว้นที่ของไหลไม่เป็น "คอนตินิวอัม" ในเมื่อการไหลเป็นแบบ Rarefied flow

จากการที่ถือว่าของไหลเป็นคอนตินิวอัมนี้เองทำให้ต้องระมัดระวังเสมอว่า คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของของไหลได้แก่ความเร็ว ความเร่ง ความดัน ความหนาแน่น มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งและเวลา (space and time)

ตัวอย่างเช่น ความหนาแน่น $\rho = \rho(x, y, z, t)$

ซึ่งความหนาแน่นเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่ง x, y, z และเวลา, t



รูปที่ 2-1

ความหนาแน่น (density) ใช้สัญลักษณ์ ρ (rho) แทน ซึ่ง

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{dm}{dV} = \frac{\text{มวล}}{\text{ปริมาตร}} \quad (2.1.1)$$

หน่วยของของความหนาแน่น เป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เช่นความหนาแน่นของน้ำที่ 4°C เท่ากับ 1000 kg/m^3 เป็นต้น

น้ำหนักจำเพาะ (Specific weight) ใช้แทนด้วย γ (gamma) คือน้ำหนักของสสารต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\gamma = \frac{g(dm)}{dV} = \rho \cdot g \quad (2.1.2)$$

หน่วยของน้ำหนักจำเพาะ เป็นนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อ $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ เช่นความหนาแน่นของน้ำที่ 4°C เท่ากับ 1000 kg/m^3 ดังนั้นน้ำหนักจำเพาะของน้ำที่ 4°C คือ 9.81 N/m^3

ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ใช้แทนด้วย S คืออัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างความหนาแน่นของวัตถุต่อความหนาแน่นของน้ำ 4°C ดังนั้น

$$S = \frac{\rho_v}{\rho_u} = \frac{\gamma_v}{\gamma_u} \quad (2.1.3)$$

หรือ

$$\rho_v = S \cdot \rho_u \quad (2.1.4)$$

หรือ

$$\gamma_v = S \cdot \gamma_u \quad (2.1.5)$$

เมื่อ ρ_v คือ ความหนาแน่นของวัตถุ (kg/m^3)

ρ_u คือ ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)

γ_v คือ น้ำหนักจำเพาะของวัตถุ (N/m^3)

γ_u คือ น้ำหนักจำเพาะของน้ำ (N/m^3)

S คือ ความถ่วงจำเพาะ ไม่มีหน่วยเนื่องจากเป็นอัตราส่วนเปรียบเทียบ

ปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume) แทนด้วย v โดยทั่วไปเทอมนี้มักใช้กับก๊าซทางค้วทอร์โมไดนามิกส์

$$v = \frac{1}{\rho} \quad (2.1.6)$$

มีหน่วยเป็น ปริมาตรต่อมวลคือ ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม

2.2 ก๊าซสมบูรณ์ (Ideal Gas)

ก๊าซที่มีความดันต่ำหรือก๊าซที่มีความดันสูงหรือต่ำกว่าความดันวิกฤต(Critical Pressure) ซึ่งเป็นจุดร่วมระหว่างของเหลวและก๊าซ จะเป็นไปตามสมการกฎของก๊าซสมบูรณ์ หรือก๊าซจินตภาพดังนี้

$$P = \rho RT \quad (2.2.1)$$

เมื่อ P เป็นความดันของก๊าซ (N/m^2)

ρ เป็นความหนาแน่นของก๊าซ (kg/m^3)

R เป็นค่าคงที่ของก๊าซ (J/kg.K)

T เป็นอุณหภูมิของก๊าซ (K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

$$\frac{P}{\rho} = RT$$

เมื่อใช้เทอมปริมาตรจำเพาะ $v = \frac{1}{\rho}$

จะได้

$$Pv = RT \quad (2.2.2)$$

และเมื่อแทนค่าปริมาตรจำเพาะ $v = V/m$ (2.2.3)

จะได้

$$PV = mRT \quad (2.2.5)$$

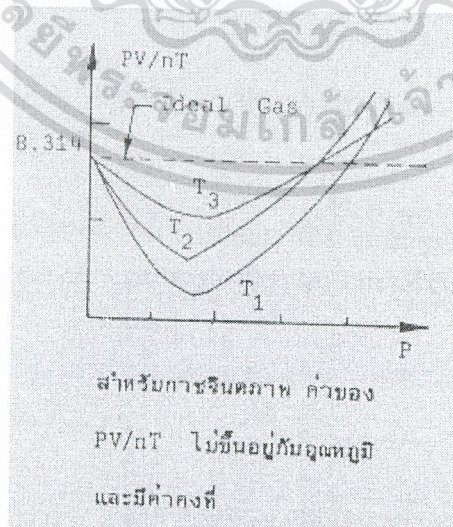
เพื่อให้สมการของก๊าซสมบูรณ์ใช้ได้กับทุกก๊าซจึงใช้หลักของโมลเข้าช่วยคือ หนึ่งกิโลกรัม โมล คือผลคูณของมวลเป็นกิโลกรัม กับน้ำหนักโมเลกุลของก๊าซ และใช้สมมติฐานของอาโวกาโดที่ว่าก๊าซทุกชนิดที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน ถ้ามีปริมาตรเท่ากันจะมีจำนวนโมเลกุลเท่ากัน

ดังนั้น ให้ n เป็นจำนวนโมเลกุลของก๊าซในปริมาตร V และ M เป็นน้ำหนักโมเลกุลจะได้มวล

$$m = nM$$

$$PV = nMRT \quad (2.2.6)$$

ผลคูณของ MR เรียกว่า Universal Gas Constant ซึ่งทุกๆ ก๊าซที่เป็นก๊าซจินตภาพ PV/nT เท่ากันคือ $8.314 \text{ J/kg.mole.K}$



รูปที่ 2-2 สำหรับก๊าซจินตภาพ ค่าของ PV/nT ไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและมีค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2-1 คุณสมบัติของก๊าซที่ความดันต่ำอุณหภูมิ 27°C

Gas	Chemical Formula	Molecular Weight M	R Joule kg.K	Specific Heat		Ratio (k) $\frac{C_p}{C_v}$
				Kcal kg.K		
Air	-	29.0	287	0.240	1.171	1.40
Carbon monoxide	CO	28.0	297	0.249	0.178	1.40
Helium	He	4.0	2077	1.250	0.753	1.66
Hydrogen	H ₂	2.02	4121	3.430	2.440	1.40
Nitrogen	N ₂	28.0	297	0.248	0.177	1.40
Oxygen	O ₂	32.0	260	0.219	0.157	1.40
Water Vapor	H ₂ O	18.0	462	0.445	0.335	1.33

จากการศึกษาพฤติกรรมของก๊าซที่มีตัวแปรคือ P, V, T, ρ ทำให้เกิดขบวนการทางการศึกษาในวิชาเทอร์โมไดนามิกส์ที่น่าสนใจคือ

Isothermal Process การเปลี่ยนแปลงของก๊าซเมื่ออุณหภูมิคงที่จะได้สมการ

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad (2.2.7)$$

Adiabatic Process หรือ Isentropic Process คือขบวนการที่ก๊าซเปลี่ยนแปลงโดยไม่มีความร้อนสูญเสียจากระบบ แต่ภายในมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง จะได้สมการ

$$P_1 V_1^k = P_2 V_2^k \quad (2.2.7)$$

หรือ

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (2.2.8)$$

2.3 การไหลของของไหล

2.3.1 ชนิดการไหลของของไหล

ชนิดการไหลของของไหลมีการแบ่งอยู่หลายลักษณะ ดังต่อไปนี้
การไหลแบบคงตัวและการไหลแบบไม่คงตัว

- 1) การไหลแบบเอกภาพและการไหลแบบอนเอกภาพ
- 2) การไหลแบบทิศทางเดียว สองทิศทาง และสามทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) การไหลแบบหมุนวนและการไหลแบบไม่หมุนวน
- 4) การไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน

การไหลแบบคงตัว (Steady flow) การไหลจะคงตัวก็ต่อเมื่อของไหลนั้นมีคุณลักษณะต่างๆ เช่น ความเร็ว ความดัน ความหนาแน่น และอื่นๆ ที่จุดใดจุดหนึ่ง ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา การไหลแบบนี้จึงเป็นการไหลของของไหลที่ผ่านท่อทางในอัตราไหลที่คงที่

การไหลแบบไม่คงตัว (Unsteady flow) การไหลจะไม่คงตัวก็ต่อเมื่อคุณลักษณะของของไหลตัวใดตัวหนึ่งหรือทั้งหมดขณะที่เกิดการเคลื่อนที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาที่จุดต่างๆ การไหลแบบนี้จึงเป็นการไหลของของไหลที่ผ่านท่อไหลในอัตราการไหลที่ไม่คงที่

การไหลแบบเอกภาพ (Non-uniform flow) ขณะที่ความเร็วในการไหลของของไหลไม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและทิศทาง จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในช่วงเวลาที่กำหนดไว้ในของไหล เช่น การไหลของของเหลวภายใต้ความดันไหลผ่านท่อขนาดยาวที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางคงที่

การไหลแบบเรียบ (Laminar flow) การไหลของของไหลที่มีอนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ไปเป็นแผ่นบางๆ หรือเป็นชั้นเรียบบาง อนุภาคของของไหลจะไม่แตกกระจาย และจะเคลื่อนที่ในแนวขนานเป็นชั้นๆ ไม่ปะปนกัน โดยที่ชั้นของของไหลแต่ละชั้นจะเคลื่อนที่อย่างมีระเบียบราบเรียบ การไหลแบบราบเรียบเกิดจากความหนืดของของไหลที่ไหลเป็นไปตามกฎของนิวตัน ($\tau = \mu dy/dx$) ความเร็วในการไหลจะมีค่าต่ำ

การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) การไหลส่วนใหญ่จะเป็นแบบ Turbulent แทบทั้งสิ้น การไหลของของไหลซึ่งในขณะไหลนั้น อนุภาคของของไหลเคลื่อนตัวแบบไม่เป็นระเบียบ และมีการหมุนวนปั่นป่วนขณะไหลในระหว่างชั้นของของไหลอย่างรวดเร็วตลอดเวลา ความเร็วในการไหลจะมีค่าสูง

2.3.2 อัตราการไหลและความเร็วเฉลี่ย (Flow and mean velocity)

อัตราการไหล (Flow rate) คือ ปริมาณของของไหลที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดใดหน้าตัดหนึ่งต่อหนึ่งหน่วยเวลา

ความเร็วเฉลี่ย (Mean velocity) เนื่องจากของไหลมีความหนืด ขณะไหลจึงมีความเสียดทาน และความเค้นเฉือนเกิดขึ้นได้เสมอ จึงทำให้ความเร็วของของไหลตลอดพื้นที่หน้าตัดมีค่าไม่เท่ากัน เช่นของไหลที่ผ่านท่อกลม ที่บริเวณกึ่งกลางท่อจะมีความเร็วสูงสุด และบริเวณผนังท่อมีความเร็วต่ำมากซึ่งอาจมีค่าเป็นศูนย์ได้ ดังนั้นการนำความเร็วของของไหลไปคำนวณย่อมมีความยุ่งยากและสับสนมาก จึงได้มีการกำหนดความเร็วเฉลี่ยขึ้นเพื่อนำไปใช้กับสมการต่างๆ ได้ ความเร็วเฉลี่ยอาจจะหาได้จากสมการ

$$V = \frac{1}{A} \int V dA \quad (2.3.1)$$

เมื่อ v คือ ความเร็วเฉลี่ยที่จุดใดจุดหนึ่ง

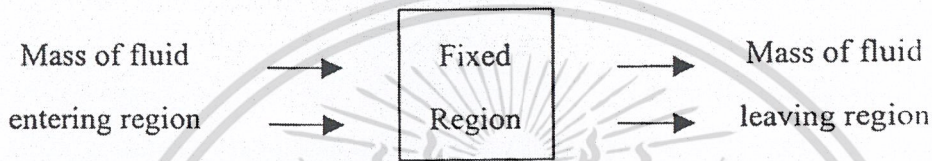
Q คือ อัตราการไหลของของไหล

A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อ

อัตราการไหลมีความสัมพันธ์กับความเร็วเฉลี่ยดังนี้

$$Q = \int_A v dA = Av \quad (2.3.2)$$

2.3.3 สมการต่อเนื่อง (Equation of continuity)



รูปที่ 2-3 แสดงมวลของของไหลเข้าขอบเขตที่กำหนด

สสารใน Fixed Region ไม่สามารถสร้างขึ้นเองหรือถูกทำลายได้ ดังนั้นอัตราการไหลที่มวลไหลเข้าขอบเขตที่กำหนดจะเท่ากับอัตราการไหลที่มวลไหลออกจากขอบเขตที่กำหนดรวมกับอัตราการสะสมของมวลในขอบเขตนั้น ถ้าการไหลเป็นแบบ Steady (ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา) แล้วอัตราการไหลของมวลไหลเข้าขอบเขตที่กำหนดจะเท่ากับอัตราการไหลที่มวลไหลออกจากขอบเขตที่กำหนด

$$m_1 = m_2$$

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 \quad (2.3.3)$$

เมื่อ V_1, V_2 เป็นความเร็วของของไหล (m/s)

ρ เป็นความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)

A เป็นพื้นที่หน้าตัดของท่อทางไหลในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการไหล (m^2)

2.3.4 สมการพลังงาน (Energy's Equation)

สมการพลังงานจะถูกนำไปใช้กับการไหลของของไหล เมื่อของไหลเคลื่อนที่ก็จะมีพลังงานต่างๆเกิดขึ้นด้วย เช่น พลังงานจลน์ พลังงานศักย์ และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลง การวิเคราะห์ปัญหาของของไหลที่เคลื่อนที่อาจทำได้โดยใช้หลักต่างๆดังนี้

- 1) หลักการอนุรักษ์มวล
- 2) หลักการอนุรักษ์พลังงาน
- 3) หลักการอนุรักษ์โมเมนตัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + (u_2 - u_1) - Q_H - h_m \quad (2.3.4)$$

สมการนี้สามารถใช้ได้ทั้งของเหลว ก๊าซ และไอ แต่ต้องเป็นการไหลแบบคงตัว ในการไหลแบบปั่นป่วนค่า α จะมีค่าเข้าใกล้ 1 มาก เพื่อความสะดวกจึงสมมติให้มีค่าเป็น 1 และถ้าไม่มีเครื่องจักรระหว่างหน้าตัด 1 และหน้าตัด 2 เทอมของ h_m สามารถตัดทิ้งได้

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_L \quad (2.3.5)$$

$$h_L = (U_2 - U_1) - Q_H \quad (2.3.6)$$

โดย h_L คือ พลังงานสูญเสียที่เกิดจากความเสียดทานของของไหลต่อหน่วยน้ำหนัก

2.4 การไหลในท่อ

ท่อเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ขนส่งของไหลภายใต้ความดัน ตามปกติท่อที่ใช้จะมีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลม เนื่องจากของไหลในท่อมักมีความดัน ดังนั้นการไหลจึงมักเป็นแบบไหลเต็มท่อและมีการไหลเป็นแบบคงตัว การไหลในท่ออาจเป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar) หรือแบบปั่นป่วน (Turbulence) โดยการไหลในแต่ละแบบจะมีลักษณะและวิธีการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันออกไป ปัญหาที่เกี่ยวกับการไหลในท่อส่วนใหญ่จะอาศัยหลักการของพลังงาน สมการความต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังมีการสูญเสียพลังงานของของไหลเมื่อมีการไหลผ่านท่อ ข้อต่อต่าง ๆ ของท่อ ข้องอ และวาล์วที่ใช้บังคับการไหลอีกด้วย

2.4.1 การสูญเสียพลังงานสำหรับการไหลในท่อ

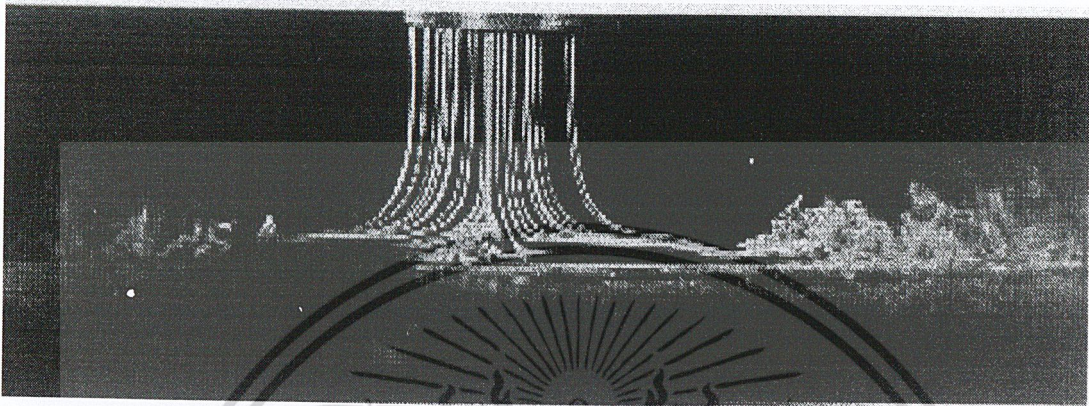
เมื่อของไหลไหลในท่อจะเกิดความต้านทานในการไหลขึ้นเสมอ ดังนั้นจึงเกิดการสูญเสียพลังงานของของไหลขึ้น ซึ่งการสูญเสียพลังงานนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ

1. การสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการไหลในท่อเป็นผลมาจากความเสียดทานนั้น ซึ่งสามารถคำนวณหาได้โดยใช้สมการของ Darcy-Weisbach สาเหตุที่จัดให้การสูญเสียที่เกิดจากความเสียดทานในท่อเป็นการสูญเสียหลักนั้น เพราะในกรณีที่ท่อมีความยาวมาก ๆ การสูญเสียแบบนี้จะเกิดขึ้นมากเมื่อเทียบกับการสูญเสียด้วยเหตุอื่น ๆ

2. การสูญเสียอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการไหล ไม่ว่าจะเป็นขนาดหรือทิศทางความเร็ว หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการสูญเสียพลังงานที่มีผลมาจากพลังงานจลน์ หรือเอนทาลปีเปลี่ยนแปลงไปเมื่อไหลผ่านข้อต่อท่อ ข้องอ ข้อเพิ่มหรือลดขนาด การไหลผ่านวาล์วต่าง ๆ เป็นต้น ในกรณีที่ท่อยาวมาก การสูญเสียรองนี้จะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับการสูญเสียอันเกิดจากความเสียดทาน ซึ่ง

อาจจะไม่ต้องนำมาคิดการสูญเสียก็ได้ ดังนั้นสมการที่ใช้หาค่าการสูญเสียรองจึงอยู่ในรูปของเสดความเร็ว ($V^2/2g$) คูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสีย

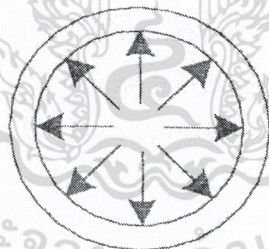
2.5 การกระจายตัวของลำอากาศ



รูปที่ 2.4 การกระจายตัวของลำอากาศ

2.6 การปรับความดันในถัง

ทฤษฎีที่ใช้ในการอ้างอิงการปรับความดันในถัง ประกอบด้วย กฎของปาสคาล กล่าวไว้ว่า “ความดันของของเหลวที่ถูกบรรจุอยู่ในภาชนะจะกระทำทุกทิศทางในปริมาณที่เท่ากัน และจะกระทำในทิศทางที่ตั้งฉากกับภาชนะบรรจุ” ดังรูป



รูปที่ 2-5 ความดันของของเหลวในภาชนะ

กฎของบอยล์ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความดัน และปริมาตรของก๊าซซึ่งกล่าวไว้ว่า “เมื่อมวลของก๊าซถูกอัดหรือถูกทำให้ขยายตัวด้วยอุณหภูมิคงที่แล้ว ความดันสมบูรณ์จะเป็นสัดส่วนกลับกับปริมาตรของก๊าซนั้น”

$$P \times V = \text{ค่าคงที่} \quad (2.5.1)$$

เมื่อ $P =$ ความดันสมบูรณ์
 $=$ ความดันเกจ + ความดันบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$V =$ ปริมาตร

หรือ

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad (2.5.2)$$

เมื่อ P_1 และ V_1 เป็นความดันและปริมาตร ก่อนอากาศเข้าถัง

P_2 และ V_2 เป็นความดันและปริมาตรของอากาศที่ ออกจากถัง

2.7 การวัดความดัน

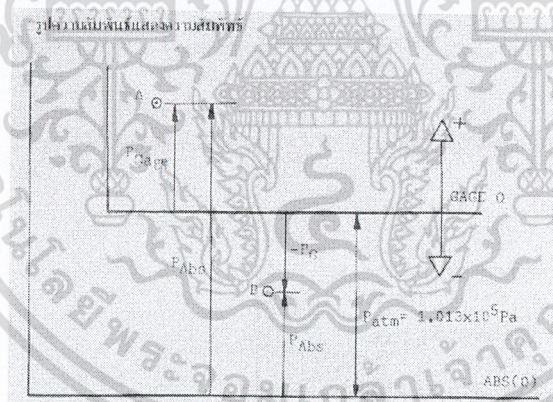
การวัดค่าต่างๆ มักมีความสัมพันธ์กัน (Relative) การวัดค่าความดันก็เช่นเดียวกัน กล่าวคือ ความดันอาจจะอ้างอิงจากความดันบรรยากาศของท้องถิ่น (Local Atmospheric Pressure) หรืออ้างอิงจากความดันสัมบูรณ์สุญญากาศ ดังนั้นการวัดความดันมีสองแบบคือ

การวัดความดันแบบเกจ (Gage Pressure)

การวัดความดันแบบสัมบูรณ์ (Absolute Pressure)

ความสัมพันธ์ระหว่างความดันทั้งสองเป็นแบบดังนี้

$$P_{[abs]} = P_G + P_{[atm]} \quad (2.6.1)$$



รูปที่ 2-6 ความสัมพันธ์แสดงความสัมพันธ์

ที่จุด A

$$P_{A(abs)} = P_{A(gage)} + P_{atm} \quad (2.6.2)$$

ที่จุด B เป็นสุญญากาศ

$$P_{B(abs)} = -P_{B(gage)} + P_{atm} \quad (2.6.3)$$

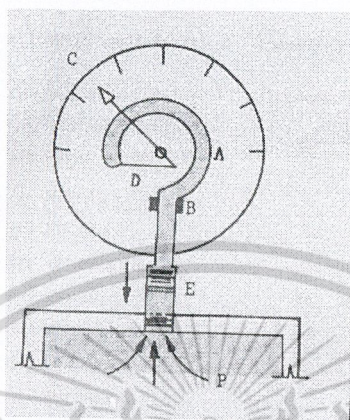
2.8 เครื่องวัดความดัน

เบอร์ดีนเกจ (Bourdon Gage)

เป็นมาตรวัดความดันแบบธรรมดาที่สุด ซึ่งถูกค้นพบโดย E.Bourdon ตัวรับความดันเป็นหลอดเล็กๆ ที่ทำด้วยเหล็กหรือทำด้วยบรอนซ์ พื้นที่ด้านตัดเป็นรูปวงรี ฎงอกโค้งเป็นส่วนของเส้นรอบวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางปลายสุดของหลอดถูกปิดและสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ส่วนปลายของหลอดอีกด้านหนึ่งเปิด เพื่อให้ของไหลเข้าหลอดยึดติดกับ โคร่ง เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความดันแบบเกจ ในเครื่องมือมีท่อโค้ง A ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงรีตรงไว้ที่จุด B ส่วนปลายอิสระต่อกับก้าน D และติดกับเข็มชี้เลขบนหน้าปัทม์ แสดงค่าความดัน C



รูปที่ 2-7 เบอร์เดินเกจ

เมื่อเสียบปลาย E เข้ากับจุดที่วัดความดัน ของไหลภายใต้ความดันจะไหลเข้าไปในหลอด ทำให้ความดันภายในหลอดเพิ่มขึ้น พื้นที่ด้านตัดรูปวงรีของหลอดที่ถูกขดของเป็นลักษณะเส้นรอบวงก็จะค่อยๆ ยึดตรงออกเนื่องจากความดันภายในหลอด ผลการเคลื่อนตัวของปลายหลอดนี้จะทำให้ก้านต่อเฟือง และเข็มหน้าปัดซึ่งต่อกันเคลื่อนที่หมุนตามเข็มนาฬิกา ความดันจะทำให้ท่อโค้งปรับตัวเป็นหน้าตัดวงกลม ทำให้เข็ม C ขยับไปทางขวาค่าของความดัน ซึ่งแสดงถึงความดันที่วัดค่าได้ เข็มหน้าปัทม์ของมาตรวัดจะอยู่ที่ศูนย์เมื่อความดันที่วัดเท่ากับความดันบรรยากาศ และการยึดตัวของหลอดทำให้เข็มหน้าปัทม์หมุนเคลื่อนที่เป็นสัดส่วนกันกับความดันที่วัด หลอดที่แข็งขึ้นสามารถใช้วัดความดันได้มากขึ้น นอกจากนี้เกจวัดความดันแบบเบอร์เดินยังสามารถใช้วัดที่ความดันวัดสูญญากาศได้อีกด้วย ขณะที่วัดสูญญากาศ เข็มหน้าปัทม์จะเคลื่อนที่ในลักษณะหมุนทวนเข็มนาฬิกา

โดยปกติถ้าไม่ใช้วัดความดันเข็มจะชี้เลขศูนย์ แสดงว่าในท่อมมีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ ดังนั้นความดันบรรยากาศคือ ความดันที่ 0 ของความดันแบบเกจ

ถ้าความดันที่วัดมากกว่าความดันบรรยากาศเรียกว่า ความดันแดง

ถ้าความดันน้อยกว่าความดันบรรยากาศเรียกว่า ความดันสูญญากาศ

ตัวเลขบนหน้าปัดแสดงความดันมี 3 แบบ

- 1) แสดงเป็นนิวตันต่อตารางเมตร, ปอนด์ต่อตารางนิ้ว, กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- 2) แสดงเป็นเมตรของน้ำ, เป็นฟุตของน้ำ
- 3) แสดงเป็นมิลลิเมตรของปรอท, เป็นนิ้วของปรอท

ในกรณีที่ทราบข้อมูลในเทอมของความสูง สามารถหาความดันได้

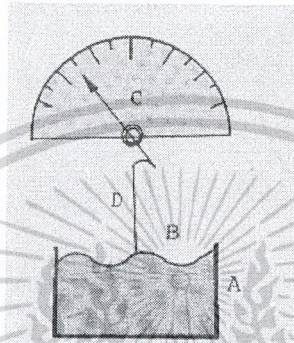
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น “ความดัน 10 เมตรของน้ำ” = $10^3 \times 9.81 \times 10 = 9.81 \times 10^4$ นิวตันต่อตารางเมตร

“ความดัน 10 ซม. ของปรอท” = $13.6 \times 10^3 \times 9.81 \times \frac{10}{100} = 13.44 \times 10^5$ นิวตันต่อตารางเมตร

“ความดันบรรยากาศ 76 ซม.ของปรอท” = $13.6 \times 10^3 \times 9.81 \times \frac{76}{100} = 1.013 \times 10^5$ นิวตันต่อตารางเมตร

แอนนิรอยด์ บาร์มิเตอร์ (Aneroid Barometer)



รูปที่ 2-8 แอนนิรอยด์

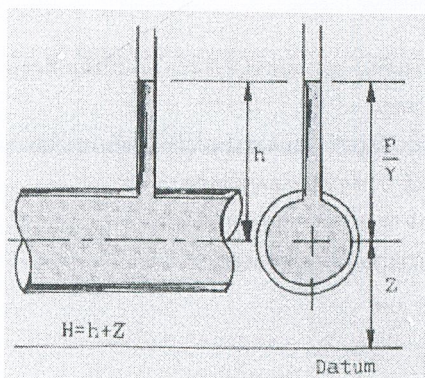
เป็นเครื่องมือวัดความดันสมบูรณ์ ส่วนประกอบที่สำคัญประกอบด้วยทรงกระบอกสั้น A ซึ่งมีปลายบนเป็นแผ่นที่ยืดหยุ่นได้ (elastic diaphragm) B ดังรูป

ภายในทรงกระบอกสูบอากาศออกจนกระทั่งความดันภายในมีค่าเท่ากับ Absolute Zero

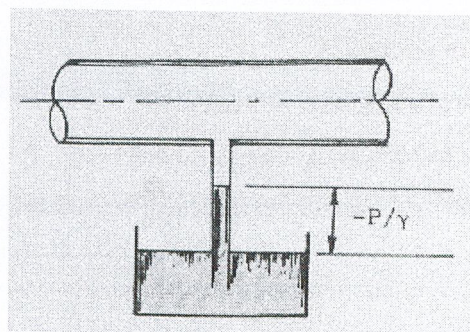
เมื่อความดันภายนอกแผ่น B มากกว่าศูนย์สมบูรณ์ก็จะกดแผ่น B ให้โค้งเข้าด้านในมีผลทำให้ก้าน D ถูกดึงและเข็ม C ชี้ตัวเลขแสดงความดัน

ปิโซมิเตอร์ (Piezometer)

เป็นเครื่องมืออย่างง่ายที่ใช้วัดความดันสัมพัทธ์กับอากาศดังรูป โดยต้องเจาะรูที่มีขนาดพอเหมาะตั้งฉากกับท่อ และเส้นผ่าศูนย์กลางท่อจะต้องใหญ่พอสมควรเพื่อลดอิทธิพลของคาปิลลารี



รูปที่ 2-9 ปิโซมิเตอร์



รูปที่ 2-10 ปิโซมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาโนมิเตอร์ (Manometer)

เป็นเครื่องมือวัดความดันโดยใช้ของเหลวบรรจุในหลอดแก้วโปร่งแสง นอกจากนี้ยังใช้หาผลต่างของความดันระหว่างจุดสองจุดในท่อได้อีกด้วย

วิธีการในการคำนวณมีลำดับดังนี้

- 1) เริ่มจากปลายที่ทราบความดัน
- 2) ถ้ามีปลายใดพบกับอากาศจะมีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศคือ ศูนย์เกจ หรือ $P = 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$
- 3) ถ้าจุดใดระดับลดลงจากจุดอ้างอิงจะมีความดันสูง ถ้าจุดใดต่ำลงจากจุดอ้างอิงจะมีความดันต่ำลง
- 4) ที่ระดับเดียวกันของของเหลวชนิดเดียวกันมีความดันเท่ากัน

2.9 อัตราการไหลและความเร็วเฉลี่ย (Flow rate and mean velocity)

อัตราการไหลและความเร็วเฉลี่ยมีรายละเอียดดังนี้

1. อัตราการไหล (flow rate) คือ ปริมาณของของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดใด ๆ ต่อหนึ่งหน่วยเวลา อัตราการไหลในเทอมของปริมาตร (Q) มีหน่วยเป็น m^3/s , lpm, ft^3/s , cfm, gpm อัตราการไหลในเทอมของน้ำหนัก (\dot{w}) มีหน่วยเป็น kN/s , lb/s อัตราการไหลในเทอมของมวล \dot{m} มีหน่วยเป็น kg/s , sl/s

ในของไหลที่อัดตัวไม่ได้ใช้อัตราการไหลในเทอมของปริมาตร และในของไหลที่อัดตัวได้ใช้อัตราการไหล ในเทอมของมวลหรือน้ำหนัก

2. ความเร็วเฉลี่ย (mean velocity; v) เนื่องจากของไหลมีความหนืด ขณะไหลก็ย่อมมีความเสียดทานและความเค้นเฉือนสามารถเกิดขึ้นได้เสมอ จึงทำให้ความเร็วของของไหลตลอดพื้นที่หน้าตัดไม่เท่ากัน เช่น ของไหลที่ไหลผ่านท่อกลม ย่อมทำให้บริเวณกึ่งกลางท่อกมีความเร็วสูงสุด และบริเวณผนังท่อกมีความเร็วต่ำ (อาจจะเป็นศูนย์) ดังนั้นการนำความเร็วของของไหลไปคำนวณย่อมมีความยุ่งยากและสับสนมาก ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการกำหนดความเร็วเฉลี่ยขึ้น เพื่อนำไปใช้กับสมการต่างๆ ได้

ความเร็วเฉลี่ยก็คือความเร็วที่ได้จากการเฉลี่ยความเร็วมากที่สุดและน้อยสุดที่พื้นที่หน้าตัดใดๆ ความเร็วเฉลี่ยอาจหาได้จากอัตราการไหลและพื้นที่หน้าตัด ดังนี้

$$v = \frac{Q}{A} \quad (2.8.1)$$

เมื่อ v คือความเร็วเฉลี่ยของของไหล มีหน่วยเป็น m/s , ft/s

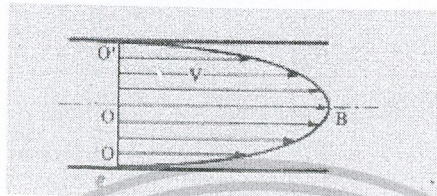
Q คืออัตราการไหลของของไหล มีหน่วยเป็น m^3/s , ft^3/s

A คือพื้นที่หน้าตัดของท่อ มีหน่วยเป็น m^2 , ft^2

ความเร็วเฉลี่ยอาจจะหาได้จากสมการ

$$v = \frac{1}{A} \int_A v dA \quad (2.8.2)$$

เมื่อ v คือความเร็วเฉลี่ยที่จุดใดจุดหนึ่งในของไหล



รูปที่ 2-11 รูปความเร็วของของไหล

อัตราการไหลมีความสัมพันธ์กับความเร็วเฉลี่ยดังนี้

$$Q = \int_A v dA = Av \quad (2.8.3)$$

หรือ

$$W = \gamma \int_A v dA = \gamma Av \quad (2.8.4)$$

หรือ

$$m = \rho \int_A v dA = \rho Av \quad (2.8.5)$$

ถ้าเรารู้ค่าอัตราการไหลแล้วหาค่าความเร็วเฉลี่ยได้โดยตรง

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{W}{\gamma A} = \frac{m}{\rho A} \quad (2.8.6)$$

เมื่อ \dot{W} คืออัตราการไหลของของไหลที่คิดจากน้ำหนักต่อหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น kN/s, lb/s

\dot{m} คืออัตราการไหลของของไหลที่คิดจากมวลต่อหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น kg/s, sl/s

2.10 พลังงานที่ได้จากการไหลของของไหลแบบราบเรียบ (Energy considerations in steady flow)

เมื่อของไหลเกิดการไหล จะมีพลังงานรูปต่างๆ เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของของไหลนั้น ซึ่งพอที่จะแยกพิจารณาได้ดังนี้

พลังงานจลน์ (Kinetic Energy; E_K) วัตถุที่มีมวล m เมื่อเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v จะมีพลังงานจลน์เกิดขึ้น

$$E_K = \frac{1}{2} mv^2 \quad (2.9.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น ถ้าของไหลเคลื่อนที่ในลักษณะที่มีอนุภาคของของไหลทั้งหมดเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่เท่ากัน พลังงานจลน์ของของไหลจะมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{2}mv^2$ เช่นกัน และถ้าคิดต่อ 1 หน่วยน้ำหนัก พลังงานจลน์ของของไหลที่ได้จะเป็นต่อ 1 หน่วยน้ำหนักของของไหล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์ทดสอบ และการออกแบบ

อุปกรณ์

1. ถังเก็บอากาศมีความสามารถทนต่อความดันที่ 33 บาร์
2. หัวฉีดออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 และ 6 มิลลิเมตร
3. ครอบกอบสูบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใน 15 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร
4. ผิวหน้าลูกสูบออกแบบให้มีลักษณะโค้งเว้า
5. สเตลวีคระยะทาง
6. ก้านลูกสูบ
7. เกจวัดความดัน
8. วาล์วควบคุมความดันของการไหล
9. เครื่องอัดลมที่สามารถอัดความดันได้มากกว่า 7 บาร์
10. ท่อและข้อต่อ
11. สปริง
12. อุปกรณ์ควบคุมการฉีด

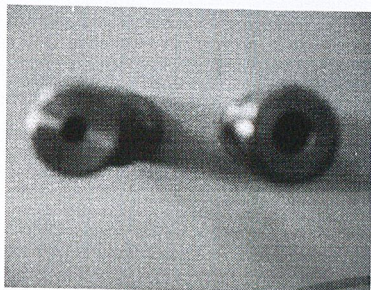
ซึ่งรายละเอียดของส่วนประกอบแต่ละส่วนสามารถอธิบายได้ดังนี้

ถังเก็บอากาศ เป็นถังที่ใช้เก็บอากาศจากการอัดของเครื่องอัดลมนำมาเก็บไว้เพื่อใช้ในการยิงลมทดสอบ โดยจะต้องเลือกถังเก็บอากาศที่มีความสามารถกักเก็บความดันไว้ให้ได้สูงกว่าความต้องการในการใช้จริง เพื่อความถูกต้องในการทดสอบ โดยในการเลือกครั้งนี้ได้ทำการเลือกถังแก๊สหุงต้มมาใช้ในการทดสอบ เนื่องจากถังแก๊สหาได้ง่าย สะดวก ราคาถูก และยังสามารถกักเก็บความดันได้ค่อนข้างจะสูงมากเพียงพอต่อความต้องการของการทดสอบนี้ ถังแก๊สสามารถกักเก็บความดันได้ถึง 3.3 เมกะปาสคาล หรือ 33 บาร์

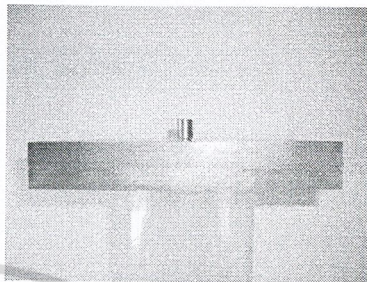


รูปที่3-1 ถังเก็บกักความดัน

หัวฉีด (Nozzle) เป็นส่วนที่เราใช้ยิงอากาศผ่านไปเพื่อให้ได้ความเร็วของของไหลเพิ่มขึ้นในการส่งผ่านพลังงานไปยังพื้นผิวหัวลูกสูบ เนื่องจากชุดทดสอบใช้ท่อลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มม. จึงเลือกใช้หัวฉีดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 และ 6 มม. โดยใช้โลหะทองเหลืองเป็นวัสดุในการผลิต เพราะสามารถทำให้เจาะ และกลึงเกลียวได้ง่าย



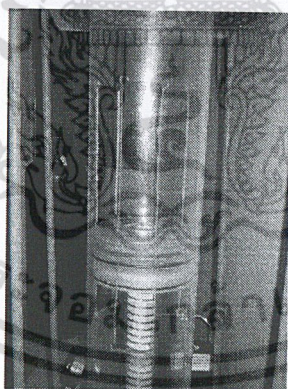
รูปที่3-2 ภาพหัวฉีด



รูปที่3-3 แสดงการติดตั้งหัวฉีด

กระบอกสูบ เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของลูกสูบให้เกิดการเคลื่อนที่ในแนวตั้งอย่างเป็นอิสระที่สุด ไม่ให้เกิดแรงเสียดทานขึ้นได้ โดยในการทดลองนี้เลือกกระบอกสูบที่ทำจากอะคริลิกเพื่อให้สามารถมองเห็นการเคลื่อนที่ของลูกสูบภายในได้ โดยออกแบบให้ได้ขนาดดังนี้

- กระบอกเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 15 เซนติเมตร เพื่อให้สามารถรองรับหัวลูกสูบขนาดต่างๆ ที่ออกแบบไว้ได้อย่างเหมาะสม
- เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 16 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร
- ก้านสูบยาว 50 เซนติเมตร



รูปที่3-4 กระบอกสูบ

ผิวหน้าลูกสูบ เป็นส่วนสำคัญที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบหาผลในการทดสอบว่าผิวหน้าลูกสูบอย่างไรจึงจะให้กังาน พลังงาน และประสิทธิภาพในการยิงได้สูงกว่าแบบผิวเรียบธรรมดา ส่วนวัสดุที่ใช้ในการผลิตผิวหน้าลูกสูบเราจะทำการหล่อขึ้นมาด้วยน้ำยาเรซิน

โดยทำการออกแบบผิวหน้าลูกสูบในแบบต่างเพื่อให้การทดสอบนี้ได้ประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น จากพื้นผิวปกติ ดังนี้

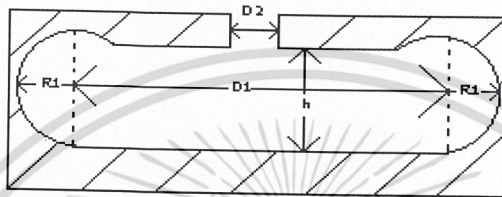
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. พื้นผิวแบบเรียบธรรมดา



รูปที่3-5 พื้นผิวแบบเรียบธรรมดา

2. พื้นผิวแบบเรียบ และมีหลุมกักเก็บการกระจายของลำอากาศ โดยมีการออกแบบดังนี้



รูปที่3-6 พื้นผิวแบบเรียบ และมีหลุมกักเก็บการกระจายของลำอากาศ

2.1 ชุดที่ 1 จะทำการปรับเปลี่ยนค่า D_1 ดังตาราง โดยค่า R_1 มีค่าคงที่ที่ 9 มม.

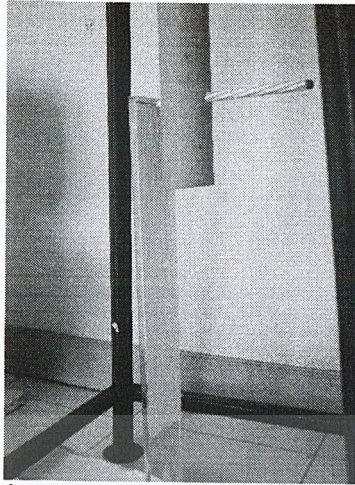
แบบที่	D_1 (mm)	R_1 (mm)	D_2 (mm)	h (mm)	m (g)
1	60	9	30	14	290
2	80	9	30	14	320
3	100	9	30	14	460
4	120	9	30	14	320

2.2 ชุดที่ 2 จะทำการปรับเปลี่ยนค่า R_1 ดังตาราง โดยค่า D_1 มีค่าคงที่ที่ 100 มม.

แบบที่	D_1 (mm)	R_1 (mm)	D_2 (mm)	h (mm)	m (g)
5	100	9	30	14	360
6	100	12	30	14	400
7	100	15	30	14	833
8	100	18	30	14	833

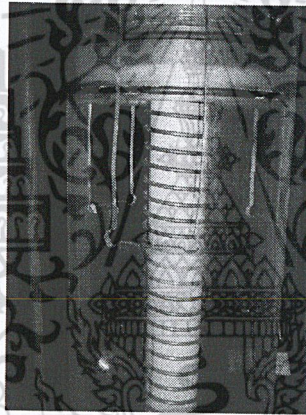
สเกลวัดระยะทาง เป็นการออกแบบเครื่องมือมาเพื่อวัดหาระยะทางในการเคลื่อนที่ลงของหัวลูกสูบ (x) เมื่อทำการทดลองยิงลมเข้ากระแทก จะสามารถนำระยะทางที่ได้จากการวัดการเคลื่อนที่ของหัวลูกสูบไปคำนวณหา แรงที่เกิดขึ้นหลังจากมีการถ่ายเท Momentum จากการยิงแล้วทำการออกแบบเครื่องมือที่ใช้วัดระยะทางอย่างง่าย ๆ ดังนี้

นำปากกาสีติดที่ก้านลูกสูบ เมื่อทำการยิงลมกระแทกหัวลูกสูบก้านลูกสูบก็จะเลื่อนลงมาเป็นระยะทางเดียวกับระยะที่หัวลูกสูบเคลื่อนที่ลง ปากกาที่ติดอยู่ที่ก้านลูกสูบก็จะถูกขีดเส้นขึ้นบนกระดาษที่ติดอยู่บนเป็นหาระยะทาง



รูปที่ 3-8 ภาพเครื่องวัดระยะยวบของสปริง

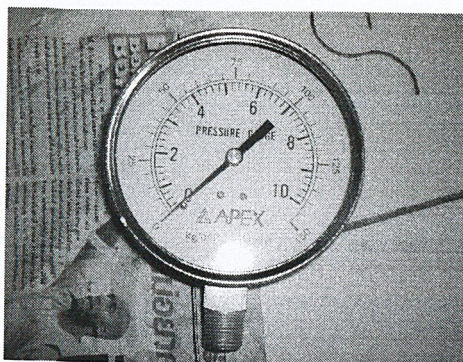
ก้านลูกสูบ ใช้เป็นแกนในการยวบให้กับตัวลูกสูบเพื่อให้ผิวลูกสูบเคลื่อนที่ลงเป็นเส้นตรงในแนวตั้งไม่ให้สปริงที่ยวบลงเกิดการคดงอ และยังใช้ในการติดปากกาเพื่อวัดระยะทางในการยวบของสปริงอีกด้วย



รูปที่ 3-9 ก้านลูกสูบ

Pressure Gage เป็นเครื่องมือที่ใช้บอกถึงค่าความดันที่เกิดขึ้นในส่วนต่างๆ ที่ใช้วัด โดยปกติถ้าใช้วัดความดันเข็มจะชี้เลขศูนย์ แสดงว่าในท่อมี่ความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ ดังนั้นความดันบรรยากาศ คือ ความดันที่ 0 ของความดันเกจ

ในการทดสอบนี้เราจะเลือกใช้ Pressure Gage แบบเบอร์เดินเกจ (Bourdon Gage) ซึ่งหน่วยใช้เป็น กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และในการติดตั้งเพื่อใช้ทดสอบนี้ จะทำการติดตั้ง Pressure Gage บริเวณที่ถึงกับความดันเพื่อให้สามารถทราบค่าความดันภายในถัง และสามารถปรับความดันในถังให้ได้ตามความต้องการที่จะใช้ด้วย Bypass Valve



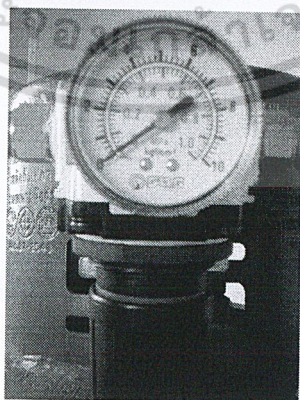
รูปที่ 3-10 Pressure Gage

Bypass Value เป็นวาล์วที่ถูกติดตั้งที่ถึงเก็บความดันใกล้เคียงกับ Pressure Gage เพื่อใช้ในการปรับระดับความดันภายในถึงเก็บความดันให้ได้เท่ากับความดันที่ต้องการในการทดสอบ โดยเมื่อทำการอัดความดันลงถึงเก็บความดันเกินความต้องการ คือ ความดันเกิน ในคืนเมื่อเปิดปั๊มลมมีมากกว่า 7 บาร์ จะทำการ Bypass ความดันนั้นออกด้วยการปล่อยลมทิ้งทาง Bypass Value จนกว่าจะได้ความดันภายในถึงตามต้องการ



รูปที่ 3-11 Bypass Value

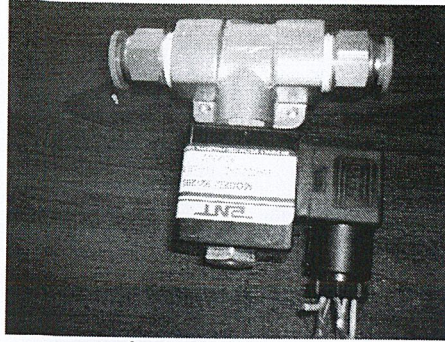
Regulator Value เป็นเครื่องมือที่ถูกติดตั้งขึ้นเพื่อควบคุมการไหลผ่านของความดันอากาศ ซึ่ง Regulator Value จะเป็นวาล์วที่สามารถตั้งปรับความดันของลมที่จะผ่านตัววาล์วได้ตามที่เราตั้งค่าไว้ให้กับ Regulator Value เพื่อใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 3-12 Regulator Value

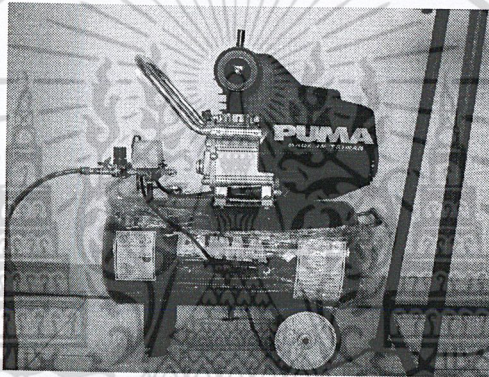
Solenoid Value เป็นวาล์วที่ใช้ควบคุมการยิงของลำอากาศที่ผ่าน Nozzle ไปยังคิวน้ำลูกสูบ การปิด-เปิดควบคุม Solenoid Value จะทำโดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ตัว Solenoid Value

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-13 Solenoid Value

เครื่องอัดลม หรือ Compressor ทำหน้าที่ในการอัดลมอัดเข้ามาเก็บไว้ในถังเก็บความดันเพื่อนำไปใช้ในการทดสอบ โดยจะต้องทำการเลือกเครื่องอัดลมที่สามารถอัดความดันให้แกถังเก็บความดันได้สูงกว่า 7 บาร์ เนื่องจากในการทดลองจะต้องใช้ความดันสูงสุดที่ 7 บาร์ จึงทำการเลือกซื้อปั๊มตัวนี้ซึ่งมีความสามารถในการอัดความดันได้ตามต้องการ



รูปที่ 3-14 Compressor

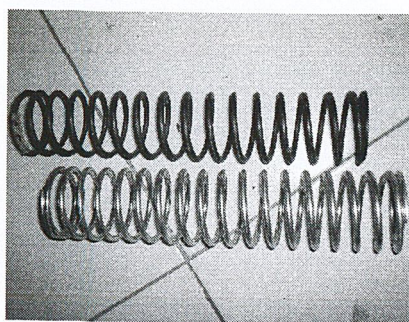
ข้อต่อ Fitting เป็นข้อต่อที่ระหว่างท่อลมกับส่วนต่างๆ ของชุดทดสอบ สามารถต่อกับท่อลมไม่ให้เกิดการรั่วซึมของอากาศออกมาข้างนอกได้ ซึ่งข้อต่อ Fitting ที่ดีจะต้องสามารถทนต่อความดันได้สูงมากพอสมควรกับการใช้งาน ทำให้การทดลองนี้สามารถหาผลการทดลองได้อย่างแท้จริง



รูปที่ 3-15 ข้อต่อ Fitting

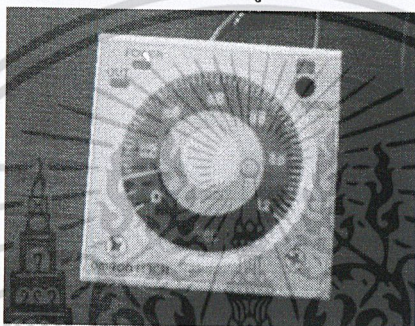
สปริง เป็นเครื่องมือที่ถูกติดตั้งขึ้นเมื่อนำมาวัดค่าพลังงานที่เกิดขึ้นจากการยิงลำอากาศปะทะผิวหน้าลูกสูบ โดยจะถูกติดตั้งขึ้นต่อจากตัวลูกสูบ เราจะทำการคัดเลือกจากสปริงที่มาจากขายอยู่แล้วในตลาด แต่จะทำการเลือกสปริงที่มีค่า K ที่เหมาะสมให้ค่าการยุบ(x)ของสปริงที่กว้างละเอียดพอต่อการนำค่ามาคำนวณซึ่งมีค่า $K = 226.033 \text{ N/m}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-16 สปริงที่มีค่า K ที่เหมาะสม

Time Delay เป็นเครื่องมือที่ถูกติดตั้งขึ้นเพื่อควบคุมระยะเวลาในการยิงลำอากาศระแทกผิวหน้าลูกสูบ โดยทำการติดตั้ง Time Delay เข้ากับ Solenoid Valve เพื่อใช้ควบคุมการยิงของ Solenoid Valve และในการทดสอบครั้งนี้ควบคุมการยิงลำอากาศอยู่ในช่วงเวลา 0.05, 0.10 และ 0.15 วินาที



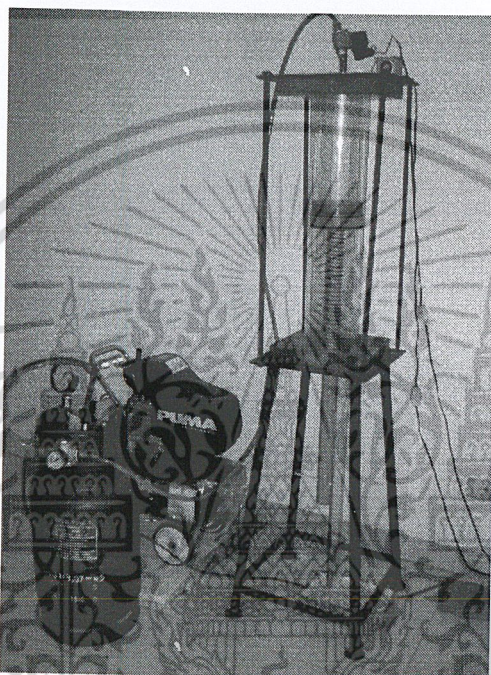
รูปที่ 3-17 Time Delay

บทที่ 4

ขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบ

เมื่อทำการประกอบและติดตั้งเครื่องทดสอบดังรูปเสร็จสิ้นเรียบร้อยแล้ว ทำการทดสอบการยิง โดย



รูปที่ 4-1 เครื่องทดสอบ

1. การปรับความดัน

ขั้นแรกทำการปิด Solenoid Value และ Bypass Value ไว้ก่อนเมื่อทำการเปิดเครื่องอัดลม (Compressor) อากาศจะถูกอัดเข้ายังถึงเก็บความดัน ซึ่งเมื่อได้ค่าความดันเต็มถึงแล้วจะทำการเปิด Bypass Value ให้อากาศภายในถังไหลออกจากถังเก็บอากาศเพื่อตรวจเช็คค่าความดันของการไหลลงที่ตามที่ต้องการหรือไม่ ถ้ายังไม่คงที่จะทำการปิด Bypass Value แล้วเริ่มทำการปรับค่าใหม่ ตามวิธีการที่กล่าวมาข้างต้นอีกครั้ง จนกระทั่งได้ความดันของการไหลลงที่ตามที่ต้องการ

2. การทำการทดสอบยิง

ทำการอัดอากาศด้วยเครื่องอัดลมเข้าถังเก็บอากาศแล้วทำการ Bypass Value อากาศออกจากถังจนได้ความดันในถังได้ตามความต้องการ ปรับ Regulator Value เพื่อควบคุมความดันในการยิงอากาศผ่านท่อให้ได้ไม่เกินความต้องการในการทดสอบ ทำการยิงทดสอบโดยปรับ Time Delay และเปิด Time Delay เพื่อให้ Solenoid Value ทำการยิงอากาศไหลผ่านไปยังหัวฉีด เพื่อยิงลำอากาศไปยังชุดกระบอกทดสอบ และบันทึกค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การปรับเปลี่ยนหัวฉีด

เมื่อทำการยิงลำอากาศ และเก็บบันทึกค่าเรียบร้อยแล้ว จะทำการปิด Time Delay แล้วทำการปรับเปลี่ยนขนาดของหัวฉีด ในขนาดอื่นๆ

4. การปรับเปลี่ยนหัวลูกสูบ

ในแต่ละรอบของการทดสอบหลังจากมีการยิงลำอากาศผ่านหัวฉีดขนาดต่างๆ ครบแล้ว จะมีการเปลี่ยนลักษณะหัวลูกสูบตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งเมื่อหัวฉีดยิงลำอากาศกระทบกับผิวหัวลูกสูบจะทำให้เกิดการยุบตัวของลูกสูบซึ่งเราสามารถอ่านค่าระยะยุบตัว (X)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การคำนวณผลทางทฤษฎี

จากวัตถุประสงค์ที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นว่างานวิจัยชุดนี้จะเป็นการศึกษาแรงจากการกระแทกของลำการไหลบนหัวลูกสูบ

การคำนวณหามวลของอากาศ

1. การหามวล m_1

เราสามารถคำนวณได้โดยใช้สูตร

$$PV = mRT \tag{2.2.4}$$

โดย P เป็นความดันของอากาศ, N/m^2

V เป็นปริมาตรของอากาศ, m^3

R เป็นค่าคงที่ของก๊าซ, $J/kg.K$

T เป็นอุณหภูมิอากาศ, K

m_1 เป็นมวลของอากาศก่อนยิง

m_2 เป็นมวลของอากาศหลังยิง

ปริมาตรอากาศ (V) = ปริมาตรของกระบอกบรรจุของถังแก๊ส = $0.0355 m^3$

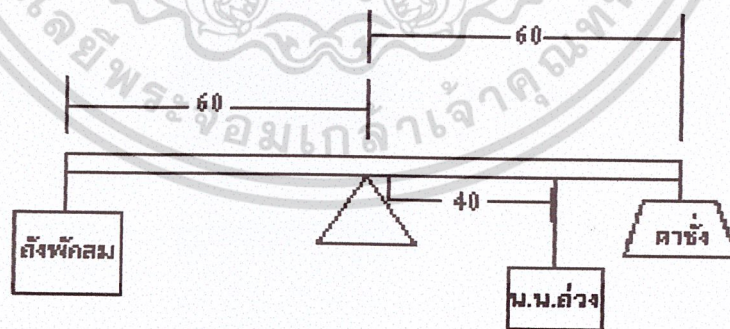
ความดันภายในถัง (P) = 7 บาร์

ค่าคงที่ของอากาศ = $0.287 J/kg.K$

อุณหภูมิของอากาศในถัง = $302.5 K$

$$m_1 = \frac{PV}{RT} = \frac{7 \times 0.0355}{0.287 \times 302.5} = 0.3271 \text{ kg}$$

2. การหา Δm และ m_2



รูปที่ 5.1 คานชั่งน้ำหนัก

จะทำการหามวลที่หายไป โดยทำการวางถังพักลมตั้งรูป และทำการอัดลมเข้าถังพักลม ให้มีความดัน 7 บาร์ และทำการทดสอบ การยิงที่ความดัน 4, 5 และ 6 บาร์ โดยยิงผ่านหัวฉีดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 และ 6 มม. จะสามารถทราบค่ามวลของอากาศที่หายไป จากค่าที่อ่านได้บนตาชั่งดิจิตอล ดังตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาด Nozzle (mm)	ความดัน (bar)	Δm (kg)	$m_2 = m_1 - \Delta m$ (kg)
6	6	0.0030	0.3241
	5	0.0024	0.3247
	4	0.0015	0.3256
4	6	0.0021	0.3250
	5	0.0018	0.3253
	4	0.0011	0.3260

การคำนวณหาความหนาแน่น (ρ)

$$\rho = \lim_{\Delta v \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta v} = \frac{dm}{dv} = \frac{\text{มวล}}{\text{ปริมาตร}} \quad (2.1.1)$$

เมื่อ ρ_1 ความหนาแน่นของอากาศก่อนยิง

ρ_2 ความหนาแน่นของอากาศหลังยิง

$$\rho_1 = \frac{m_1}{V_1} \quad (5.1)$$

$$\rho_2 = \frac{m_2}{V_2} \quad (5.2)$$

$$\bar{\rho} = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2} \quad (5.3)$$

ρ_1 (kg/m ³)	ρ_2 (kg/m ³)	$\bar{\rho}$ (kg/m ³)
9.2147	9.1302	9.1725
9.2147	9.1485	9.1816
9.2147	9.1725	9.1936
9.2147	9.1570	9.1859
9.2147	9.1640	9.1894
9.2147	9.1852	9.2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาความเร็วในการไหลของอากาศ

$$v = \frac{\dot{m}}{\rho A} \quad (2.9.6)$$

เมื่อ v_{Nozzle} เป็นความเร็วของอากาศออกจากหัวฉีด

v_{th} เป็นความเร็วของอากาศในท่อลม

\dot{m} เป็นอัตราการไหลของมวล

A เป็นพื้นที่ผิวของท่อที่อากาศไหลผ่าน

$\bar{\rho}$ เป็นความหนาแน่นเฉลี่ยของอากาศ

การหาอัตราการไหลของมวล, \dot{m}

$$\dot{m} = \frac{\Delta m}{\Delta t} \quad (5.4)$$

ความดัน	4 (บาร์)	5 (บาร์)	6 (บาร์)
หัวฉีด ϕ 4 mm., \dot{m} (kg/s)	0.0108	0.0180	0.0207
หัวฉีด ϕ 6 mm., \dot{m} (kg/s)	0.0150	0.0237	0.0300

การหาลำพื้นที่ผิวท่อ และพื้นที่หัวฉีด

$$A_{\text{Nozzle}} = \frac{\pi \times D_N^2}{4}$$

หัวฉีด ϕ 4 มม.

$$A_{\text{Nozzle}} = 1.26 \times 10^{-5} \text{ ตารางเมตร}$$

หัวฉีด ϕ 6 มม.

$$A_{\text{Nozzle}} = 2.83 \times 10^{-5} \text{ ตารางเมตร}$$

$$A_{\text{th}} = \frac{\pi \times D^2}{4} \text{ ท่อ}$$

ท่อ ϕ 8 มม.

$$A_{\text{th}} = 5.03 \times 10^{-5} \text{ ตารางเมตร}$$

ความเร็วของอากาศออกจากหัวฉีด V_{Nozzle}

$$V_{\text{Nozzle}} = \frac{\dot{m}}{\rho A_{\text{Nozzle}}} \quad (5.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดัน	4 (บาร์)	5 (บาร์)	6 (บาร์)
หัวฉีด ϕ 4 mm. V_{Nozzle} , (m/s)	0.0108	0.0180	0.0207
หัวฉีด ϕ 6 mm. , V_{Nozzle} (m/s)	0.0150	0.0237	0.0300

การคำนวณหาพลังงานจลน์ของอากาศ ณ ตำแหน่งยิงออกไปจาก Nozzle

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2.9.1)$$

$$E_{\text{อากาศที่ยิง}} = \frac{1}{2}\Delta m(v_{\text{Nozzle}})^2 = \frac{1}{2} \times 0.003 \times 115.68^2 = 20.07 \text{ J}$$

การคำนวณหาค่าคงที่ของสปริง (K)

ในการคำนวณหาค่าคงที่ของสปริง เราจะสามารถคำนวณหาได้โดยสมการ

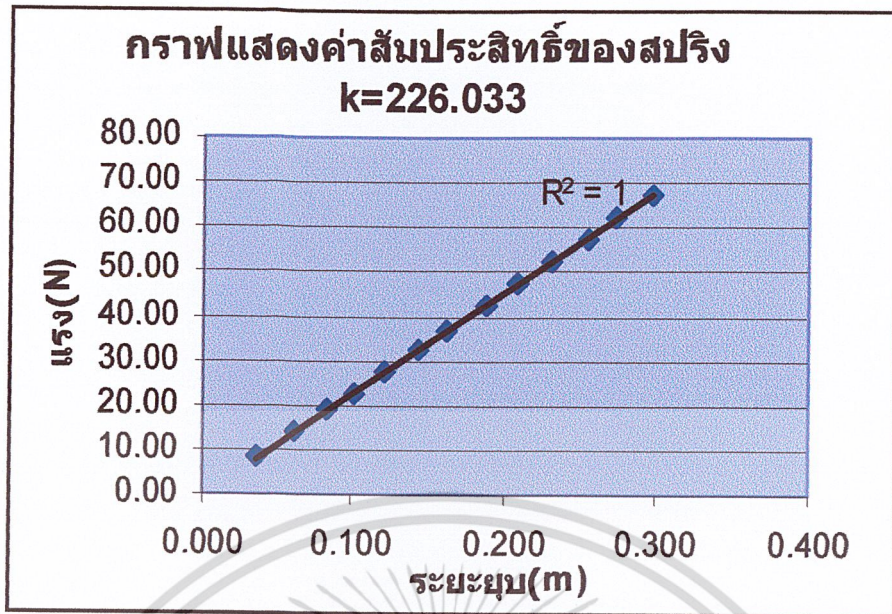
$$K = \frac{F}{x} \quad (5.6)$$

โดยในการเลือกใช้สปริง จะทำการเลือกสปริงมาจากสปริงในท้องตลาดที่สามารถหาซื้อได้นำมาทำการทดลองเพื่อหาค่าคงที่ของสปริงให้ได้สปริงที่สามารถทำให้ได้ค่า(x) ที่กว้าง ละเอียด และ ทำให้เห็นความแตกต่างของระยะยุบได้ชัดเจน ทำการทดสอบหาค่านิจของสปริง(K) ได้ โดยนำวัตถุมาชั่งน้ำหนักมวล แล้วนำไปวางบนสปริงเพื่อหาระยะยุบ นำมาคำนวณดังตารางต่อไปนี้

สปริงตัวที่ 1

	M(kg)	x(m)	F=Mg(N)	k=F/x(N/m)
1	0	0.000	0.000000	
2	0.8330	0.036	8.171730	226.992500
3	2.3420	0.102	22.975020	225.245294
4	2.8366	0.123	27.827046	226.236146
5	3.3342	0.145	32.708502	225.575876
6	3.7537	0.163	36.823797	225.912865
7	4.3456	0.188	42.630336	226.757106
8	4.8096	0.209	47.182176	225.752038
9	5.3378	0.231	52.363818	226.683195
10	5.8640	0.255	57.525840	225.591529
11	6.3186	0.274	61.985466	226.224328
12	6.8468	0.297	67.167108	226.151879

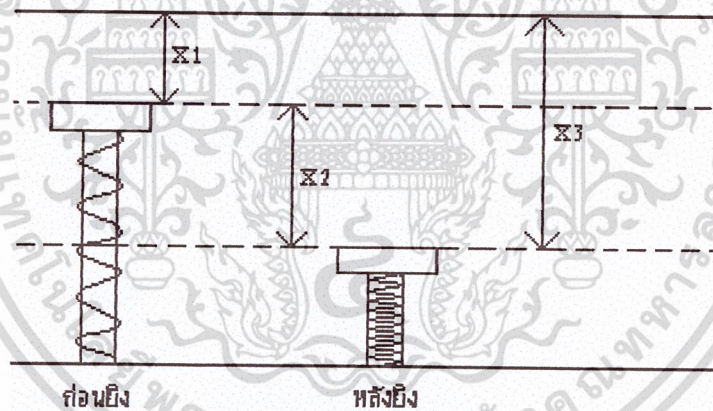
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การหาพลังงานศักย์สปริง

$$E_{ps1} = \frac{1}{2} kx_1^2$$

(5.7)



รูปที่ 5.3 รูปแสดงการหาระยะยวบสปริง

เมื่อ x_1 เป็นตำแหน่งระยะยวบของสปริงก่อนยิง (หัวลูกสูบ+พื้นเรียบ)

x_2 เป็นตำแหน่งระยะยวบของสปริงหลังจากยิง

x_3 เป็นตำแหน่งระยะรวมของการยิง

$$x_3 = x_1 + x_2$$

$$E_{ps3} = \frac{1}{2} kx_3^2$$

(5.8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta E_{PS} = E_{PS3} - E_{PS1} = \frac{1}{2}k(x_3^2 - x_1^2)$$

พลังงานเนื่องจากการเคลื่อนที่ของหัวลูกสูบ

$$W = mgx_2 \quad (5.9)$$

การคำนวณหาประสิทธิภาพ η

ประสิทธิภาพที่ได้จากการทดลอง สามารถคำนวณได้จากสมการนี้

$$\eta_{\text{ของหัวยิง}} = \frac{\Delta E_{PS} + W}{E_{K \text{ อากาศที่ยิง}}} \times 100\% \quad (5.10)$$

การกระจายตัวของลมจากหัวฉีด



รูปที่ 5.3 มุมการกระจายตัวจากหัวฉีด

รูปที่ 5.4 ตัวทดสอบรัศมีการกระจาย

รัศมีการกระจายหาได้จาก ตัวทดสอบโดยใช้กล่องสี่เหลี่ยมดังรูปที่ 5.4 โดยมีขนาดช่อง 2×10 มม. แล้วใช้กระดาดที่ขูด ชูบน้ำให้เปียกเพื่อให้ง่ายต่อการฉีกขาดวางปิดช่อง แล้วทำการยิงทดสอบโดยวางกล่องให้ขนานกับหัวลูกสูบที่ระยะห่างจากหัวยิง 3, 5, 7 และ 9 เซนติเมตร แล้วทำการบันทึกค่าโดยดูจากการฉีกขาดของกระดาดที่ขูด

จากการทดสอบการกระจายของลำอากาศโดยวัดระยะการกระจายที่ตำแหน่งต่างๆ ดังตาราง หัวยิง 6 มม. ความดัน 6 บาร์

ระยะห่างจากหัวยิง(cm)	รัศมีการกระจาย(cm)	$\theta (^{\circ})$
3	0.8	34.28
5	1.6	34.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7	2.2	34.28
9	3.0	34.28

หัวยิง 4 มม. ความดัน 6 บาร์

ระยะห่างจากหัวยิง(cm)	รัศมีการกระจาย(cm)	$\theta (^{\circ})$
3	0.8	31.07
5	1.4	31.07
7	2.0	31.07
9	2.6	31.07



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การทดลองและผลการทดลอง

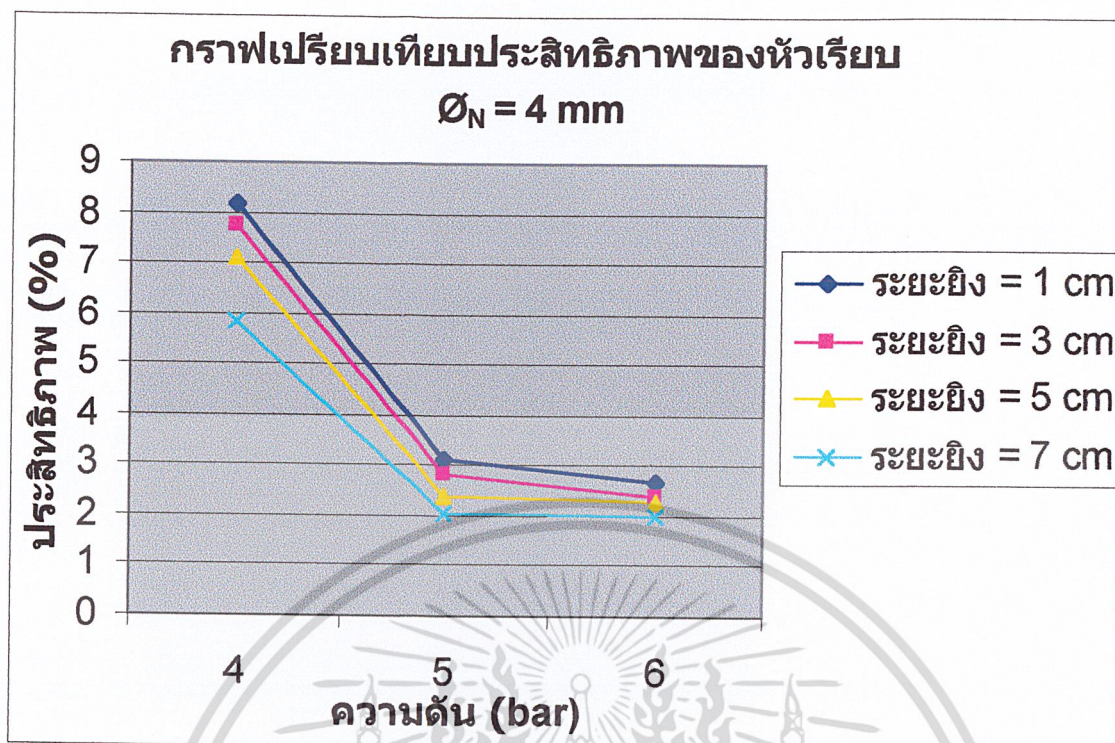
จากการศึกษาแรงจากการกระแทกของลำการไหลบนหัวลูกสูบ ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบขึ้นมาแล้วจึงทำการทดสอบยิงตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น ทำให้ได้ผลจากการยิงดังนี้ได้

1. การยิงทดสอบด้วยพื้นผิวหัวเรียบธรรมดา

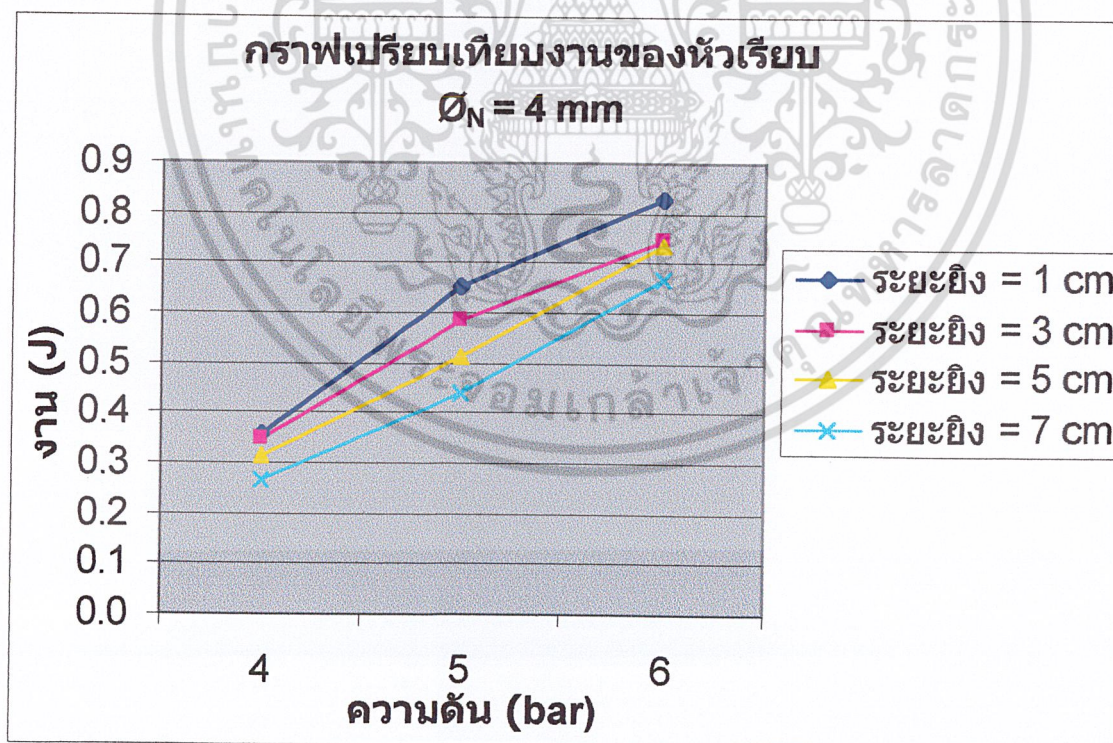
- 1.1 เมื่อทำการยิงที่เส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด(Nozzle) 4 มิลลิเมตร ที่ความดันในถัง 7 บาร์ ยิงผ่าน Regulator Value ที่ความดัน 6 บาร์ 5 บาร์ และ 4 บาร์ ที่ระยะ 1 cm., 3 cm. และ 5 cm. ห่างจากหัวฉีด
- 1.2 เมื่อทำการยิงที่เส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด(Nozzle) 6 มิลลิเมตร ที่ความดันในถัง 7 บาร์ ยิงผ่าน Regulator Value ที่ความดัน 6 บาร์ 5 บาร์ และ 4 บาร์ ที่ระยะ 1 cm., 3 cm., 5cm. และ 7 cm. ห่างจากหัวฉีด

2. กราฟแสดงผลการทดลอง และผลการทดลอง



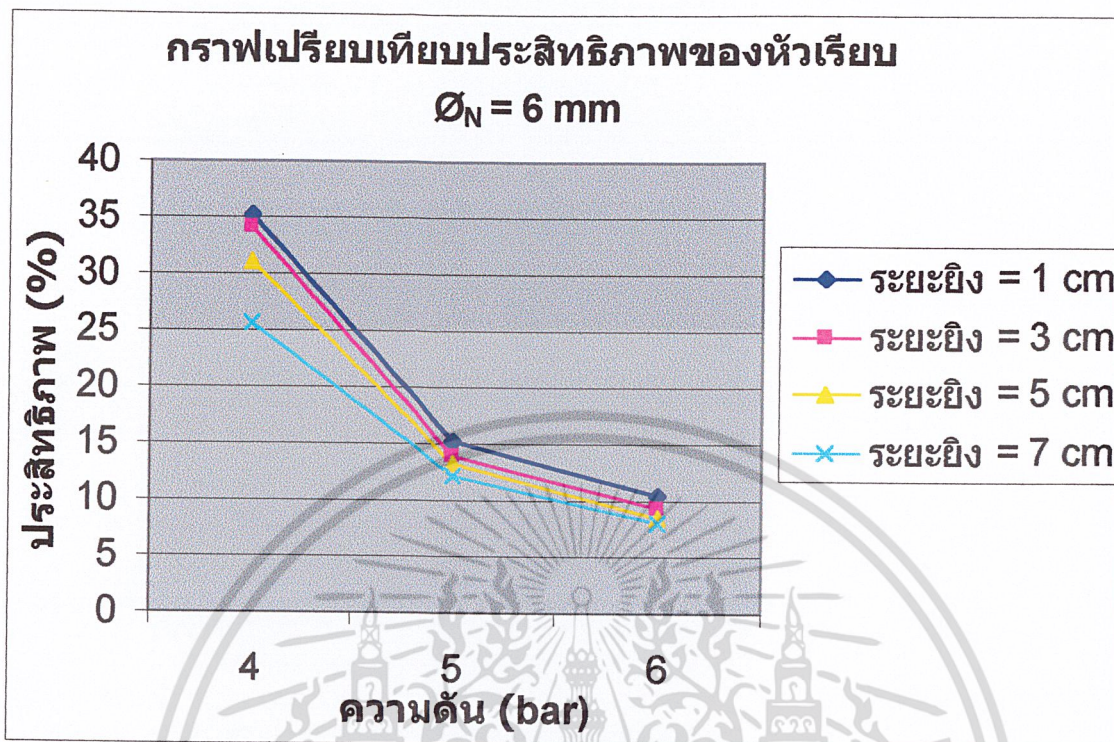


รูปที่ 6.1 กราฟการทดลองยิงลำอากาศกระแทกที่ผิวลูกสูบแบบเรียว โดยยิงผ่านหัวยิงขนาด 4 mm. จะพบว่าได้ประสิทธิภาพดีที่สุดในที่ความดัน 4 bar

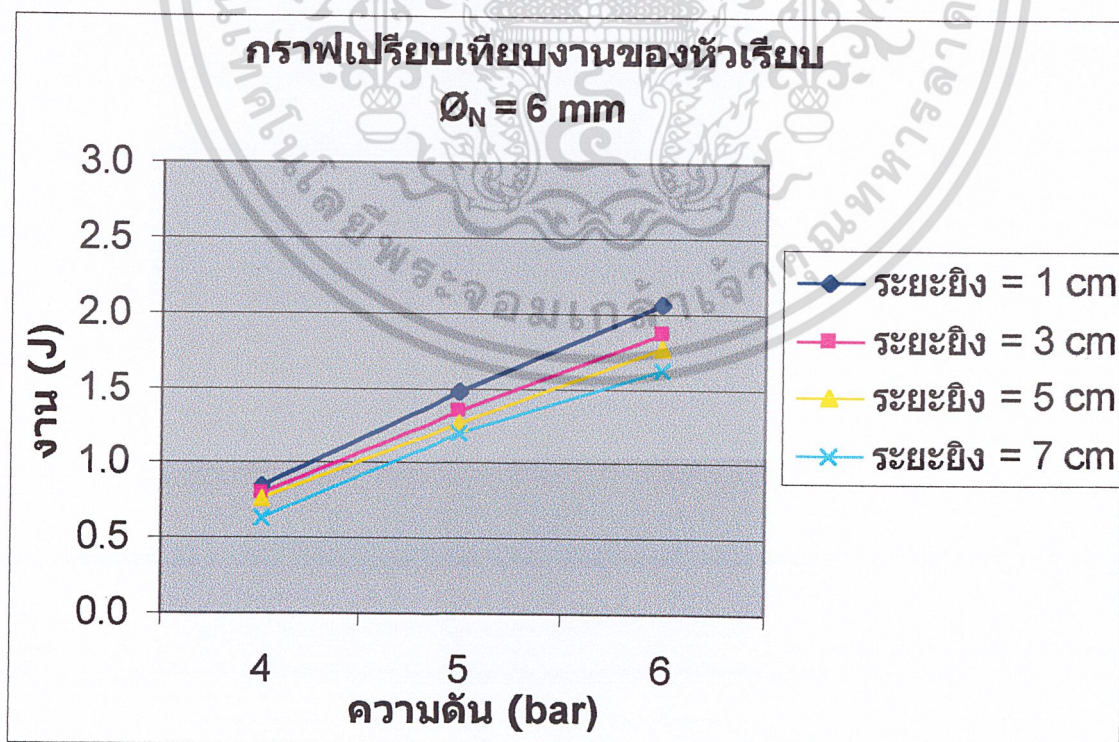


รูปที่ 6.2 กราฟการทดลองยิงลำอากาศกระแทกที่ผิวลูกสูบแบบเรียว โดยยิงผ่านหัวยิงขนาด 4 mm. จะพบว่าได้งานดีที่สุดในที่ความดัน 6 bar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

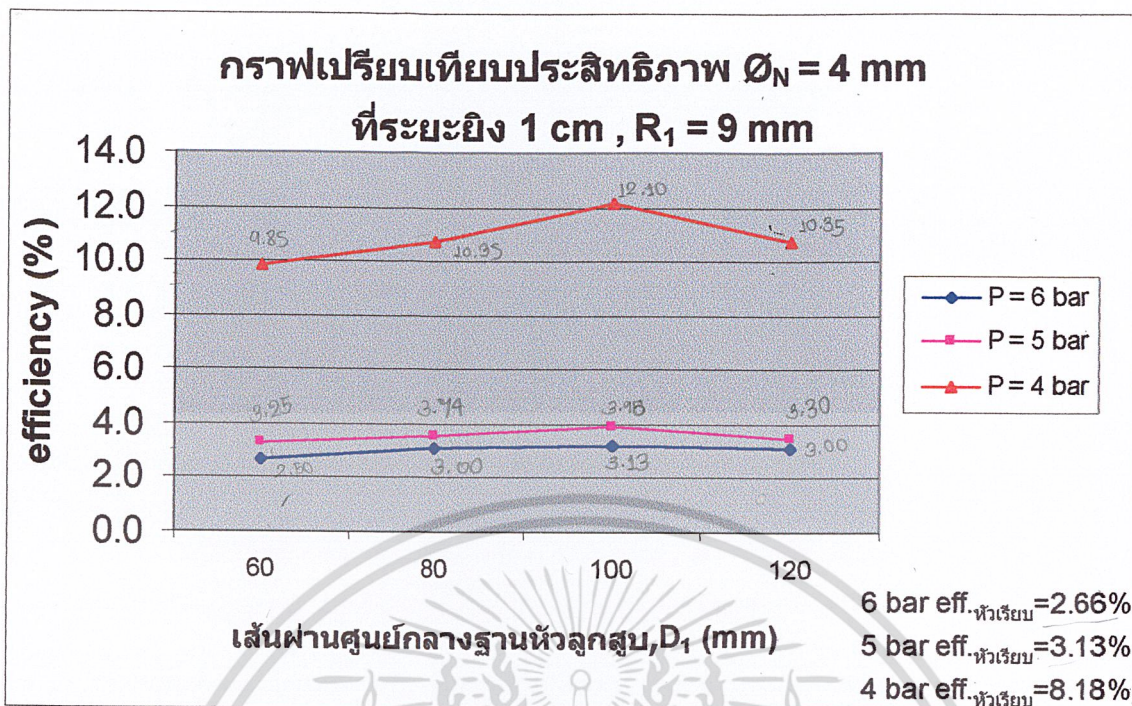


รูปที่ 6.3 กราฟการทดลองยิงลำอากาศกระแทกที่ผิวลูกสูบแบบเรียว โดยยิงผ่านหัวยิงขนาด 6 mm. จะพบว่าได้ประสิทธิภาพดีที่สุดที่ความดัน 4 bar

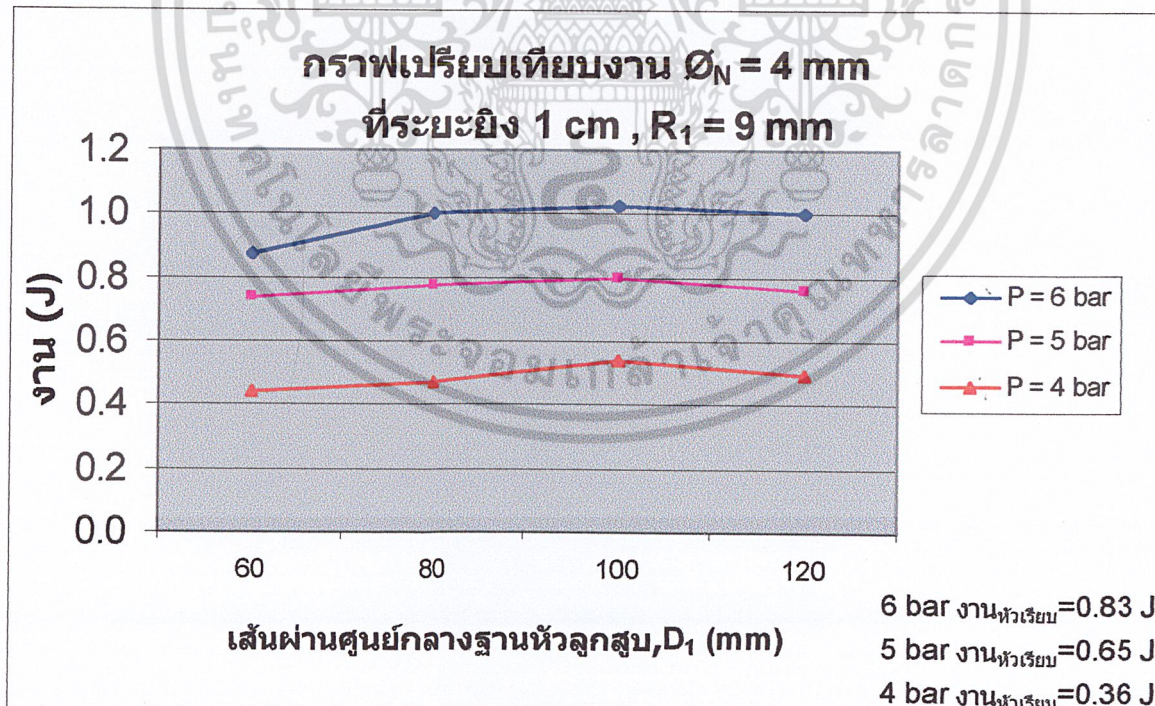


รูปที่ 6.4 กราฟการทดลองยิงลำอากาศกระแทกที่ผิวลูกสูบแบบเรียว โดยยิงผ่านหัวยิงขนาด 6 mm. จะพบว่าได้งานดีที่สุดที่ความดัน 6 bar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

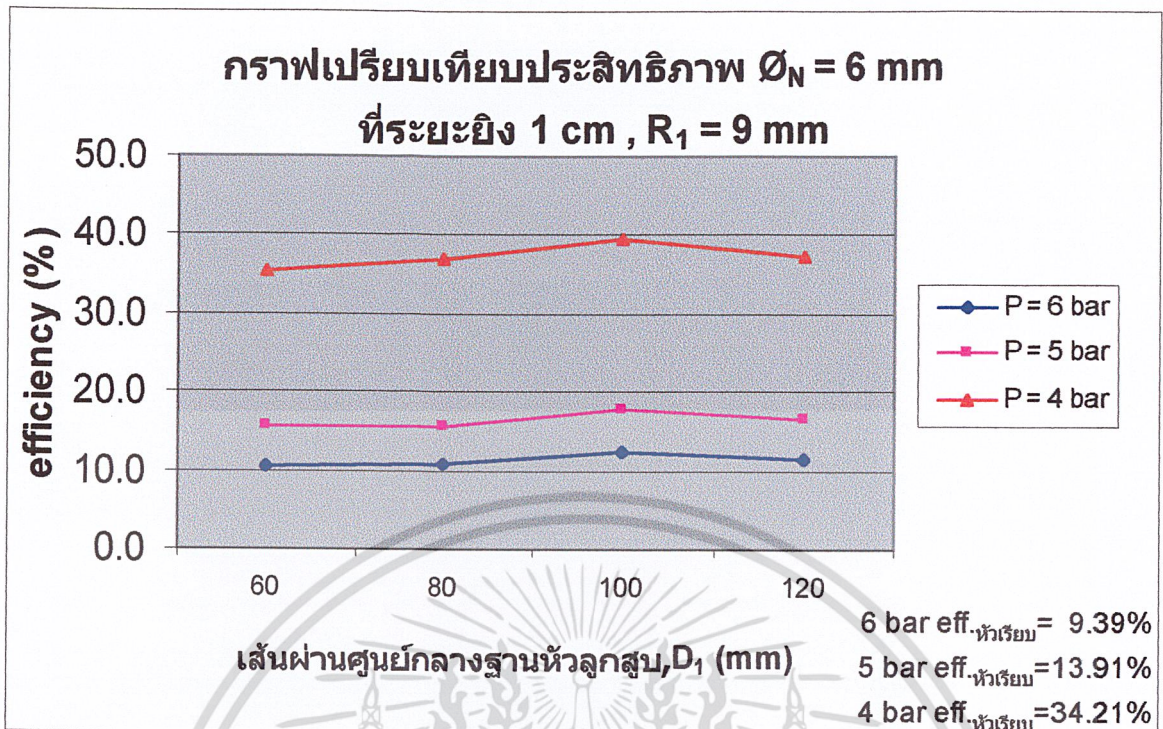


รูปที่ 6.5 กราฟการทดสอบยิงลำอากาศกระแทกหัวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง (D_1) ขนาด 60, 80, 100 และ 120 mm. ใช้หัวฉีดขนาด 4 mm. และมีระยะยิงเท่ากับ 1 cm. จะได้ประสิทธิภาพดีที่สุดที่หัวลูกสูบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 100 mm.

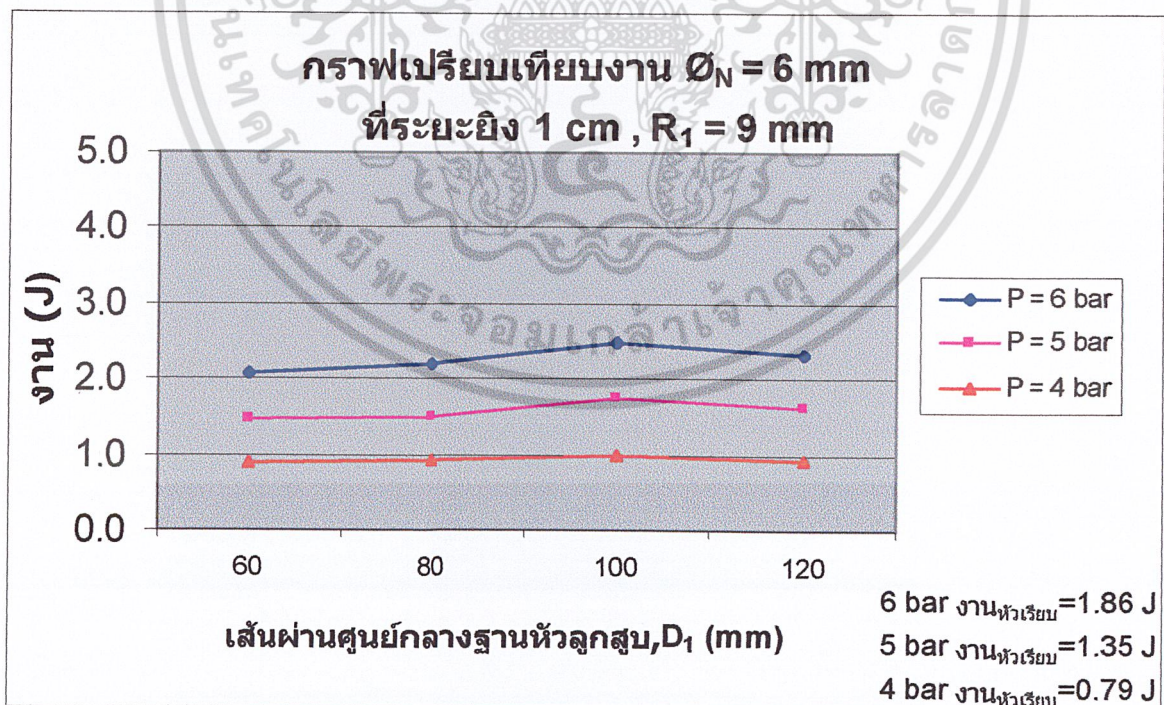


รูปที่ 6.6 กราฟการทดสอบยิงลำอากาศกระแทกหัวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง (D_1) ขนาด 60, 80, 100 และ 120 mm. ใช้หัวฉีดขนาด 4 mm. และมีระยะยิงเท่ากับ 1 cm. จะได้งานดีที่สุดที่หัวลูกสูบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 100 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

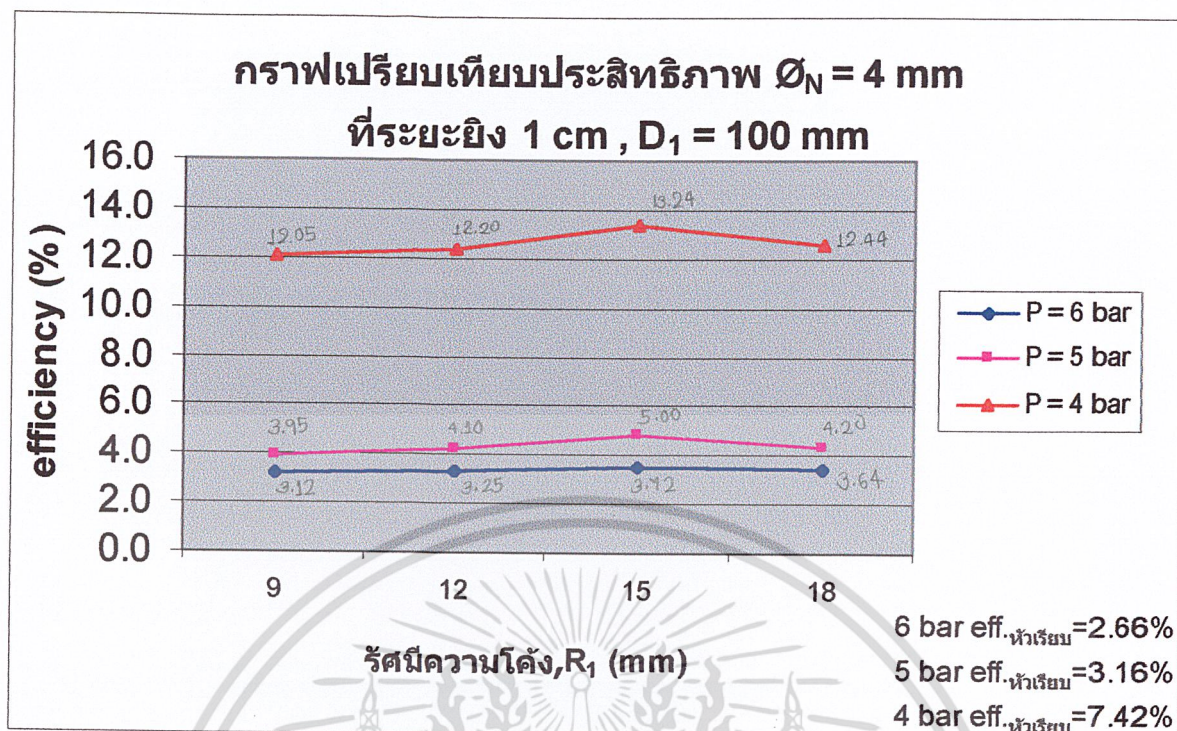


รูปที่ 6.7 กราฟการทดสอบยิงลำอากาศกระแทกผิวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง (D_1) ขนาด 60, 80, 100 และ 120 mm. ใช้หัวฉีดขนาด 6 mm. และมีระยะยิงเท่ากับ 1 cm. จะได้ประสิทธิภาพดีที่สุดที่หัวลูกสูบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 100 mm.

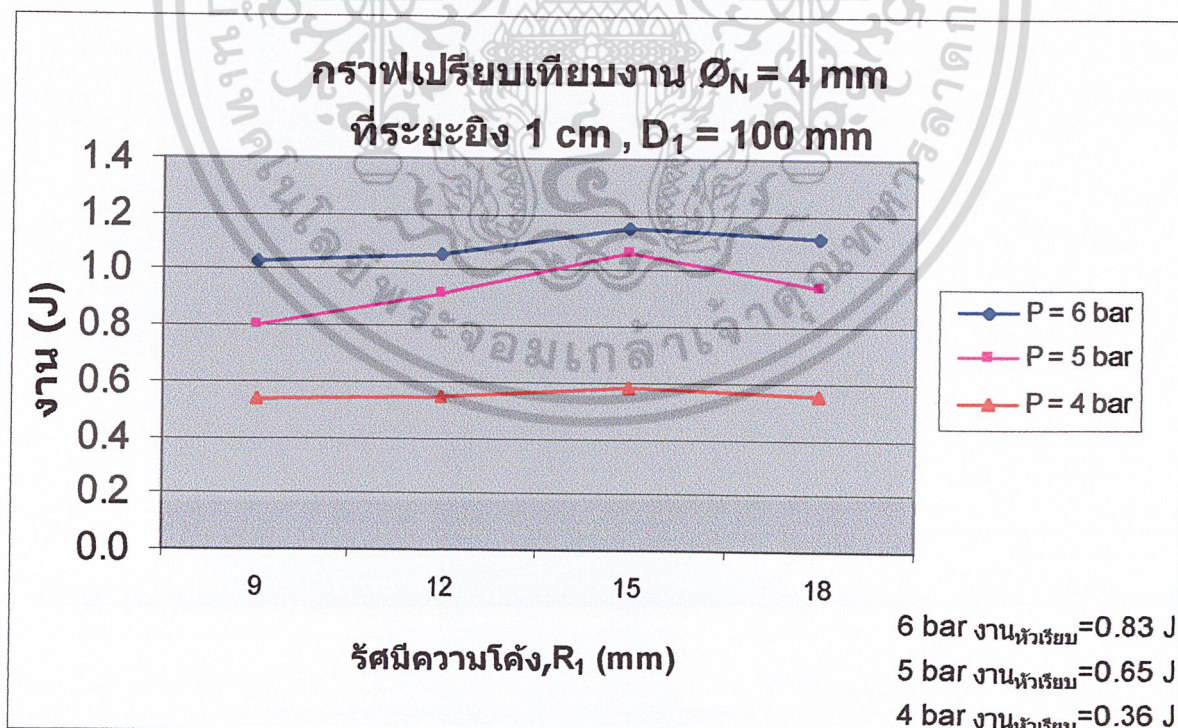


รูปที่ 6.8 กราฟการทดสอบยิงลำอากาศกระแทกผิวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง (D_1) ขนาด 60, 80, 100 และ 120 mm. ใช้หัวฉีดขนาด 6 mm. และมีระยะยิงเท่ากับ 1 cm. จะได้งานดีที่สุดที่หัวลูกสูบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 100 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

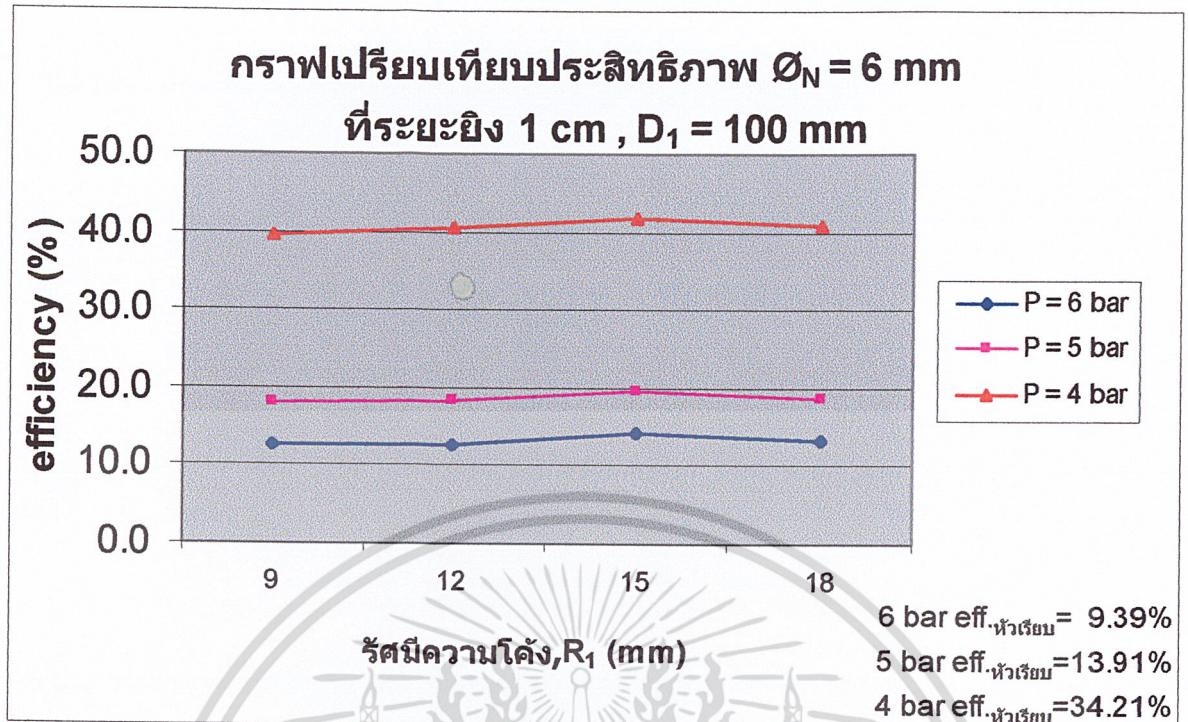


รูปที่ 6.9 กราฟการทดสอบยิงลำอากาศกระแทกผิวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีรัศมีความโค้ง (R_1) ขนาด 9, 12, 15 และ 18 mm. ใช้หัวฉีดขนาด 4 mm. และมีระยะยิงเท่ากับ 1 cm. จะได้ประสิทธิภาพดีที่สุดที่หัวลูกสูบที่รัศมีความโค้งขนาด 15 mm.

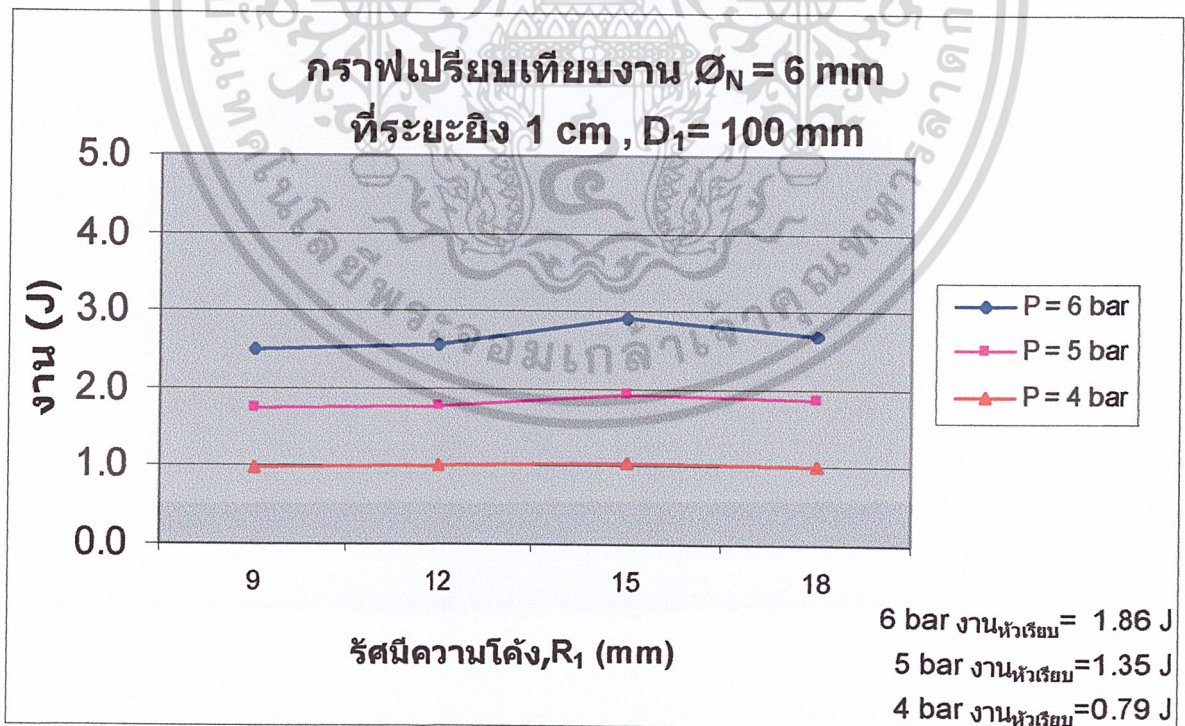


รูปที่ 6.10 กราฟการทดสอบยิงลำอากาศกระแทกผิวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีรัศมีความโค้ง (R_1) ขนาด 9, 12, 15 และ 18 mm. ใช้หัวฉีดขนาด 4 mm. และมีระยะยิงเท่ากับ 1 cm. จะได้งานดีที่สุดที่หัวลูกสูบที่รัศมีความโค้งขนาด 15 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

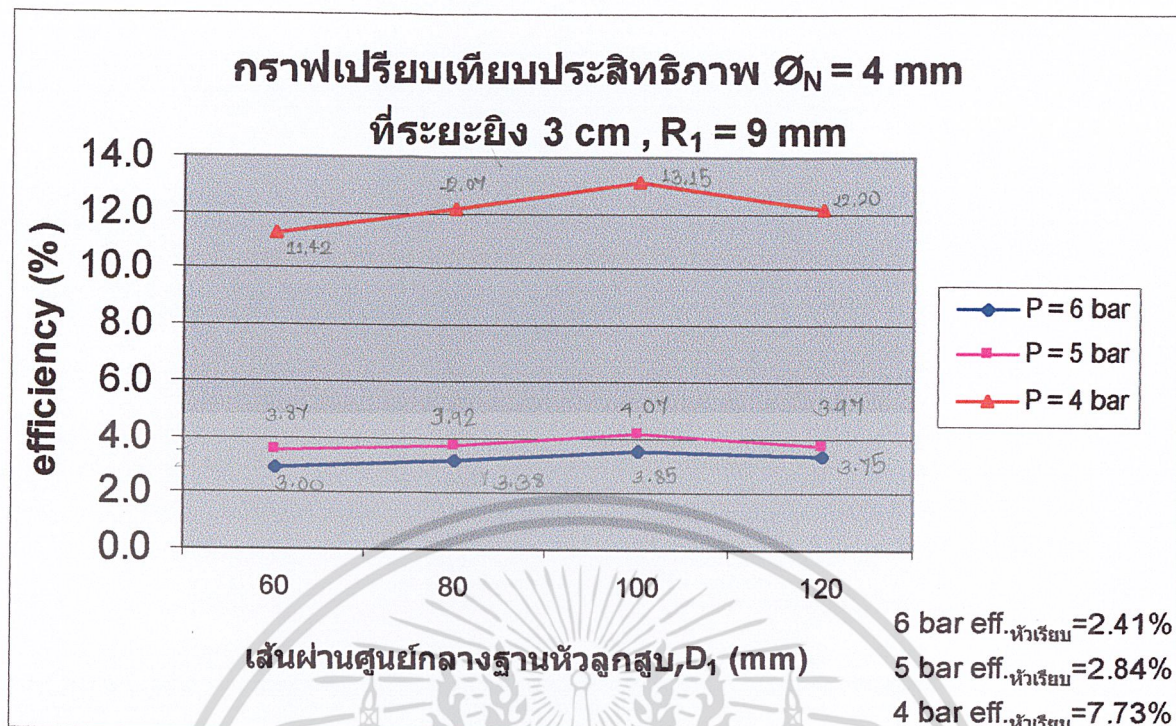


รูปที่ 6.11 กราฟการทดสอบยิงลำอากาศกระแทกผิวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีรัศมีความโค้ง (R_1) ขนาด 9, 12, 15 และ 18 mm. ใช้หัวฉีดขนาด 6 mm. และมีระยะยิงเท่ากับ 1 cm. จะได้ประสิทธิภาพดีที่สุดที่หัวลูกสูบที่รัศมีความโค้งขนาด 15 mm.

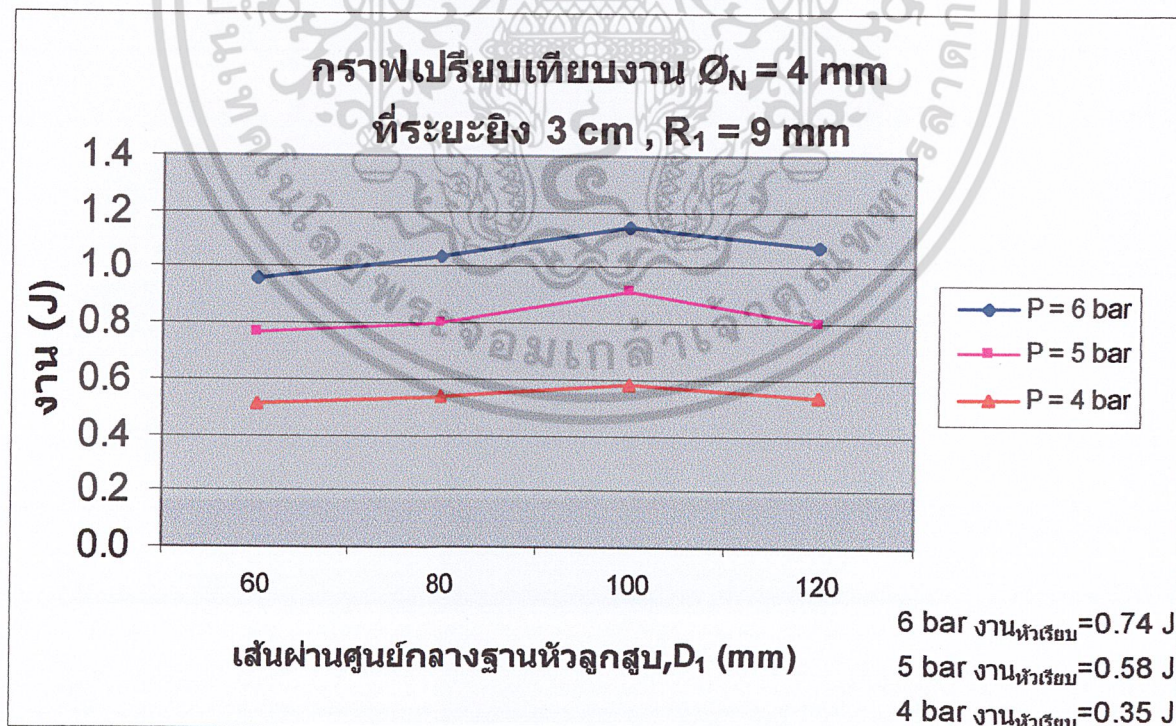


รูปที่ 6.12 กราฟการทดสอบยิงลำอากาศกระแทกผิวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีรัศมีความโค้ง (R_1) ขนาด 9, 12, 15 และ 18 mm. ใช้หัวฉีดขนาด 6 mm. และมีระยะยิงเท่ากับ 1 cm. จะได้งานดีที่สุดที่หัวลูกสูบที่รัศมีความโค้งขนาด 15 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

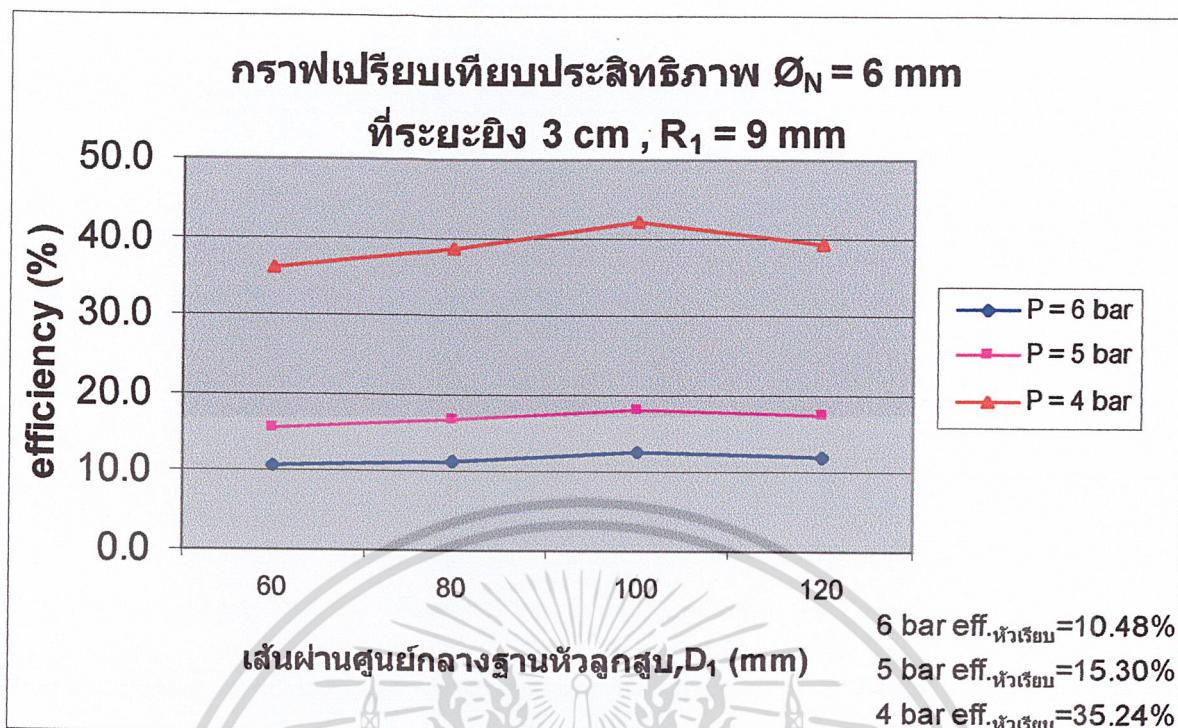


รูปที่ 6.13 กราฟการทดสอบยิงลำอากาศกระแทกผิวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง (D_1) ขนาด 60, 80, 100 และ 120 mm. ใช้หัวฉีดขนาด 4 mm. และมีระยะยิงเท่ากับ 3 cm. จะได้ประสิทธิภาพดีที่สุดที่หัวลูกสูบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 100 mm.

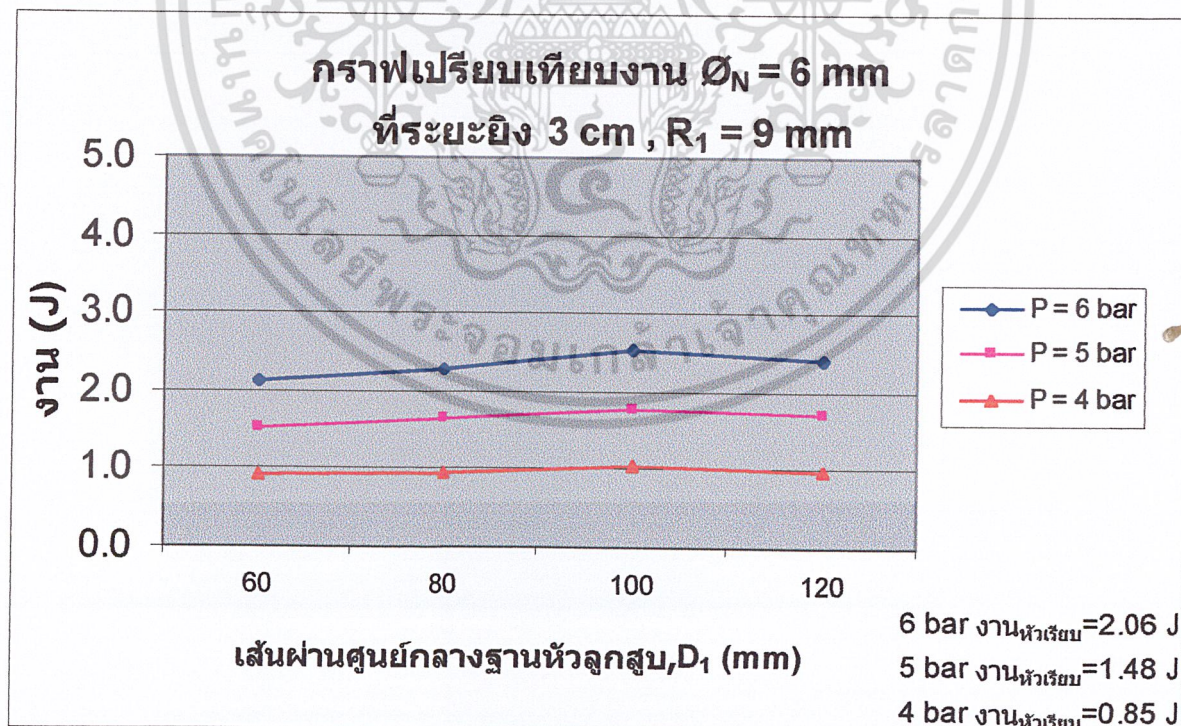


รูปที่ 6.14 กราฟการทดสอบยิงลำอากาศกระแทกผิวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง (D_1) ขนาด 60, 80, 100 และ 120 mm. ใช้หัวฉีดขนาด 4 mm. และมีระยะยิงเท่ากับ 3 cm. จะได้งานดีที่สุดที่หัวลูกสูบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 100 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

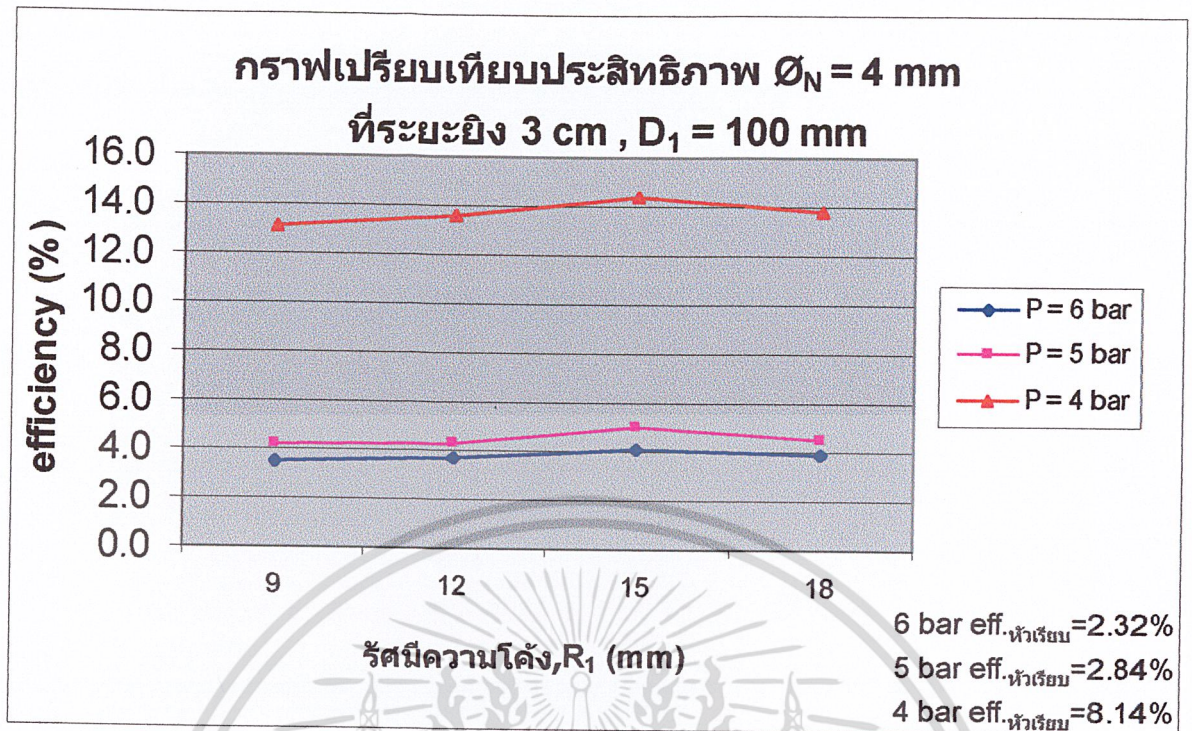


รูปที่ 6.15 กราฟการทดสอบยิงลำอากาศกระแทกผิวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง (D_1) ขนาด 60, 80, 100 และ 120 mm. ใช้หัวฉีดขนาด 6 mm. และมีระยะยิงเท่ากับ 3 cm. จะได้ประสิทธิภาพดีที่สุดที่หัวลูกสูบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 100 mm.

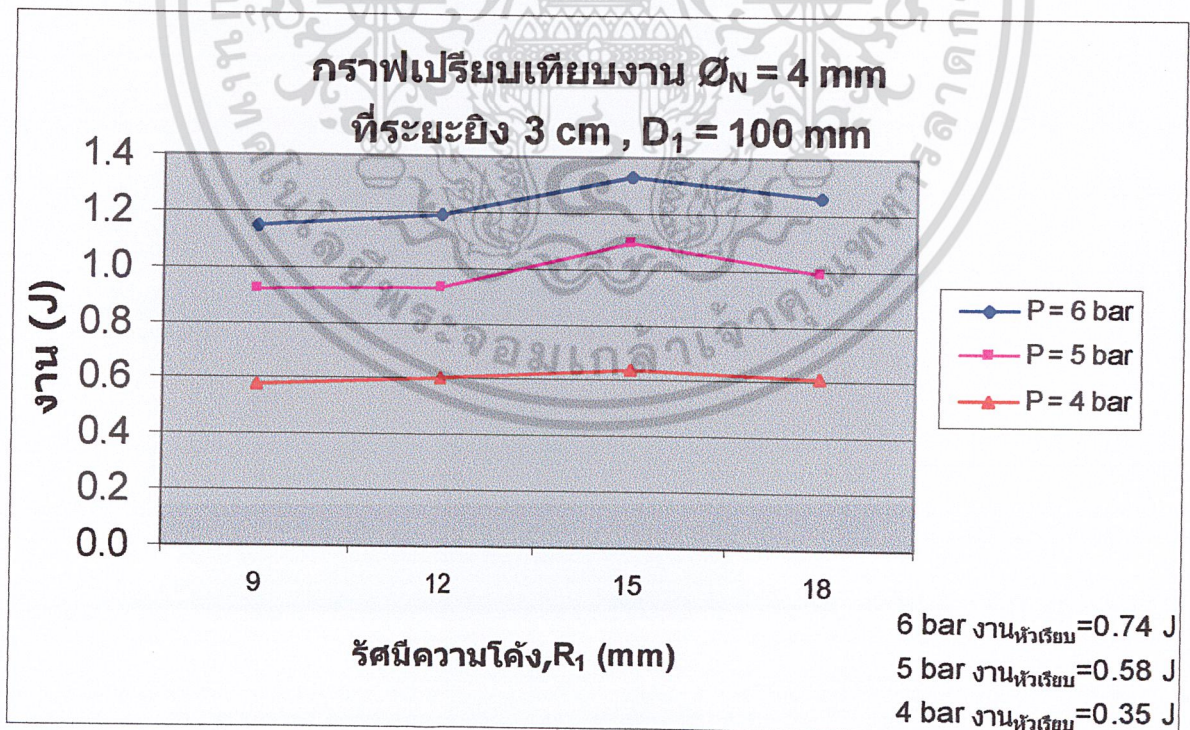


รูปที่ 6.16 กราฟการทดสอบยิงลำอากาศกระแทกผิวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง (D_1) ขนาด 60, 80, 100 และ 120 mm. ใช้หัวฉีดขนาด 6 mm. และมีระยะยิงเท่ากับ 3 cm. จะได้งานดีที่สุดที่หัวลูกสูบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 100 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

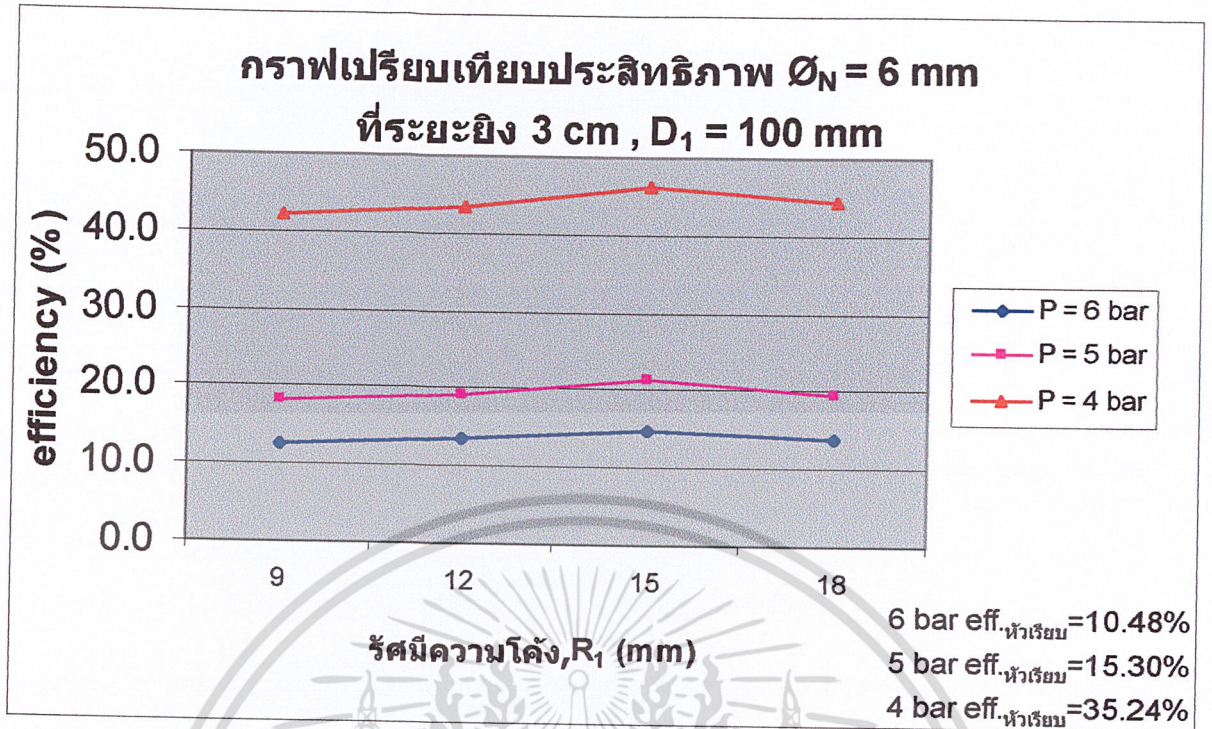


รูปที่ 6.17 กราฟการทดสอบยิงลำอากาศกระแทกผิวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีรัศมีความโค้ง (R_1) ขนาด 9, 12, 15 และ 18 mm. ใช้หัวฉีดขนาด 4 mm. และมีระยะยิงเท่ากับ 3 cm. จะได้ประสิทธิภาพดีที่สุดในหัวลูกสูบที่รัศมีความโค้งขนาด 15 mm.

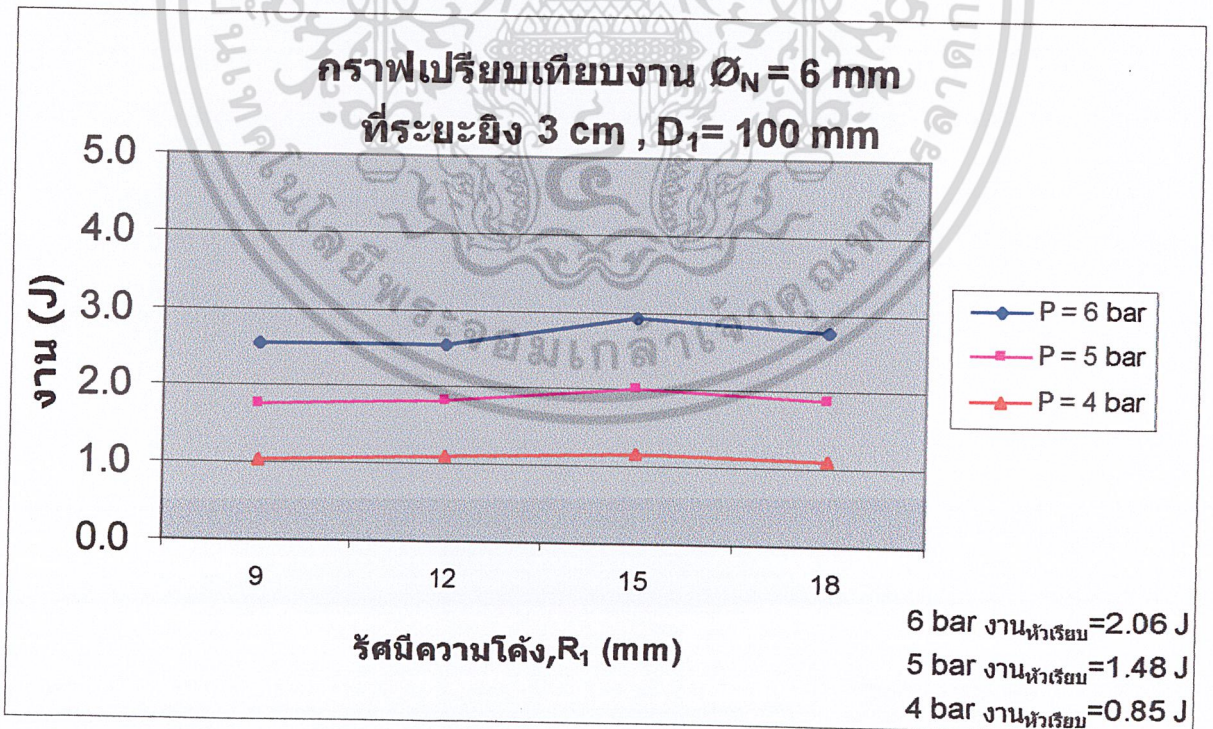


รูปที่ 6.18 กราฟการทดสอบยิงลำอากาศกระแทกผิวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีรัศมีความโค้ง (R_1) ขนาด 9, 12, 15 และ 18 mm. ใช้หัวฉีดขนาด 4 mm. และมีระยะยิงเท่ากับ 3 cm. จะได้งานดีที่สุดในหัวลูกสูบที่รัศมีความโค้งขนาด 15 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

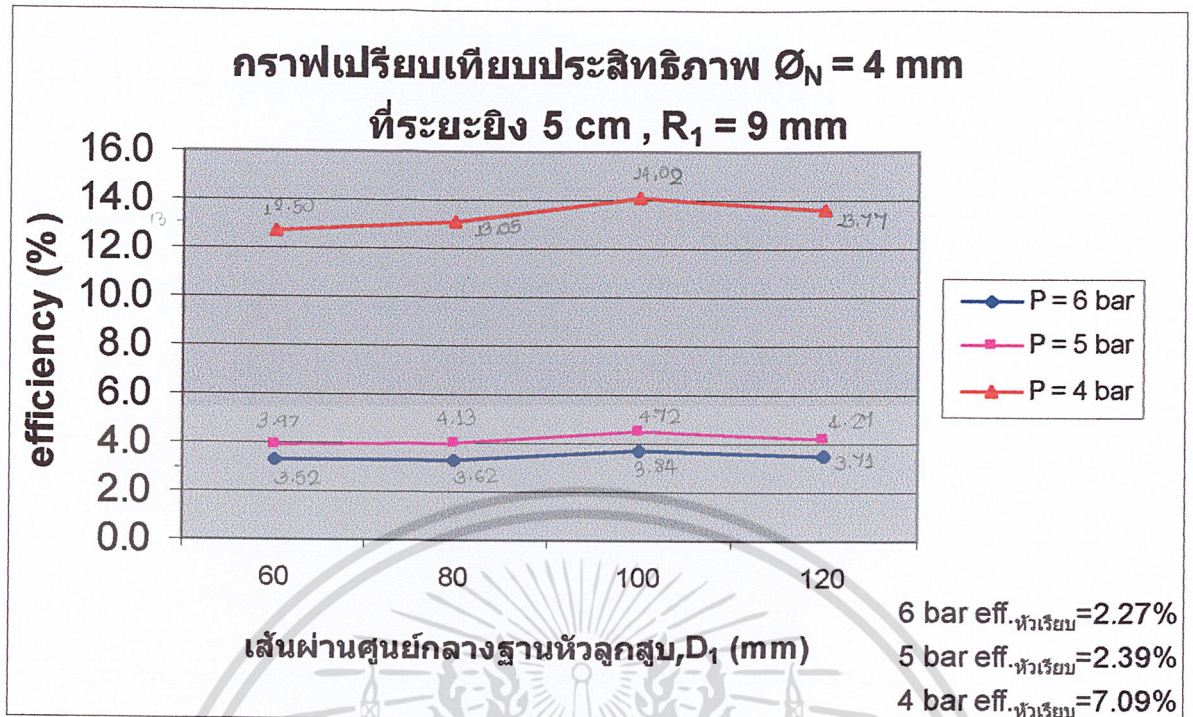


รูปที่ 6.19 กราฟการทดสอบยิงลำอากาศกระแทกผิวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีรัศมีความโค้ง (R_1) ขนาด 9, 12, 15 และ 18 mm. ใช้หัวฉีดขนาด 6 mm. และมีระยะยิงเท่ากับ 3 cm. จะได้ประสิทธิภาพดีที่สุดที่หัวลูกสูบที่รัศมีความโค้งขนาด 15 mm.

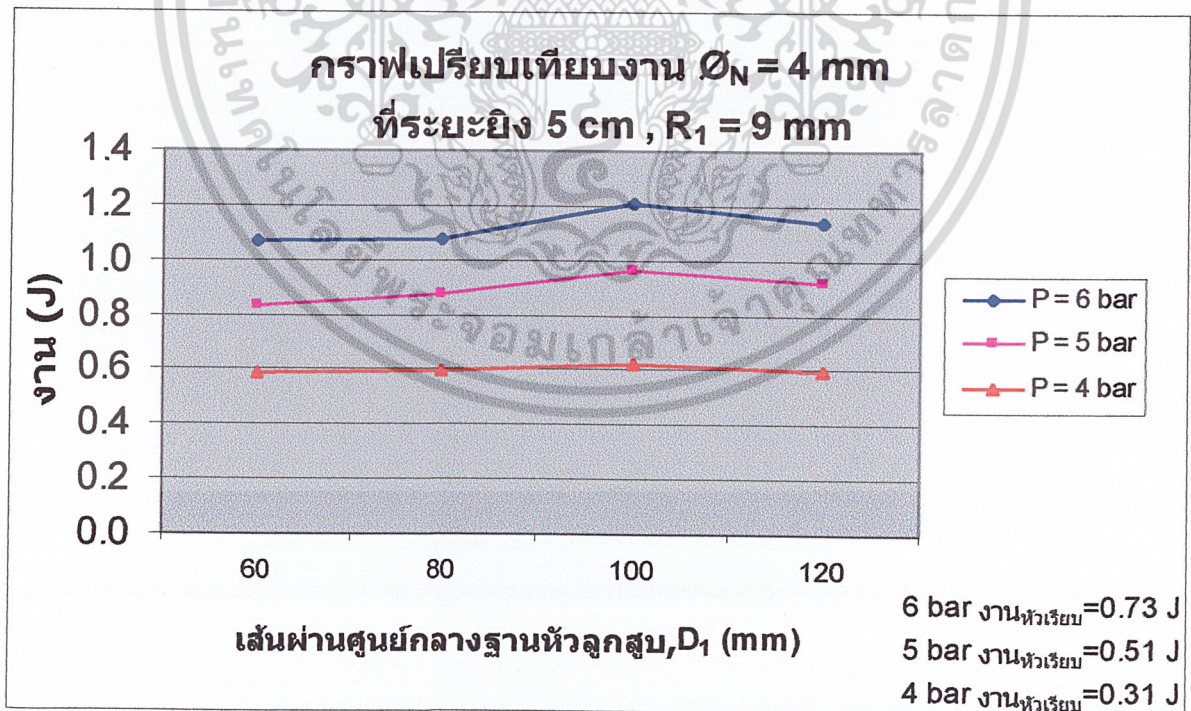


รูปที่ 6.20 กราฟการทดสอบยิงลำอากาศกระแทกผิวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีรัศมีความโค้ง (R_1) ขนาด 9, 12, 15 และ 18 mm. ใช้หัวฉีดขนาด 6 mm. และมีระยะยิงเท่ากับ 3 cm. จะได้งานดีที่สุดที่หัวลูกสูบที่รัศมีความโค้งขนาด 15 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

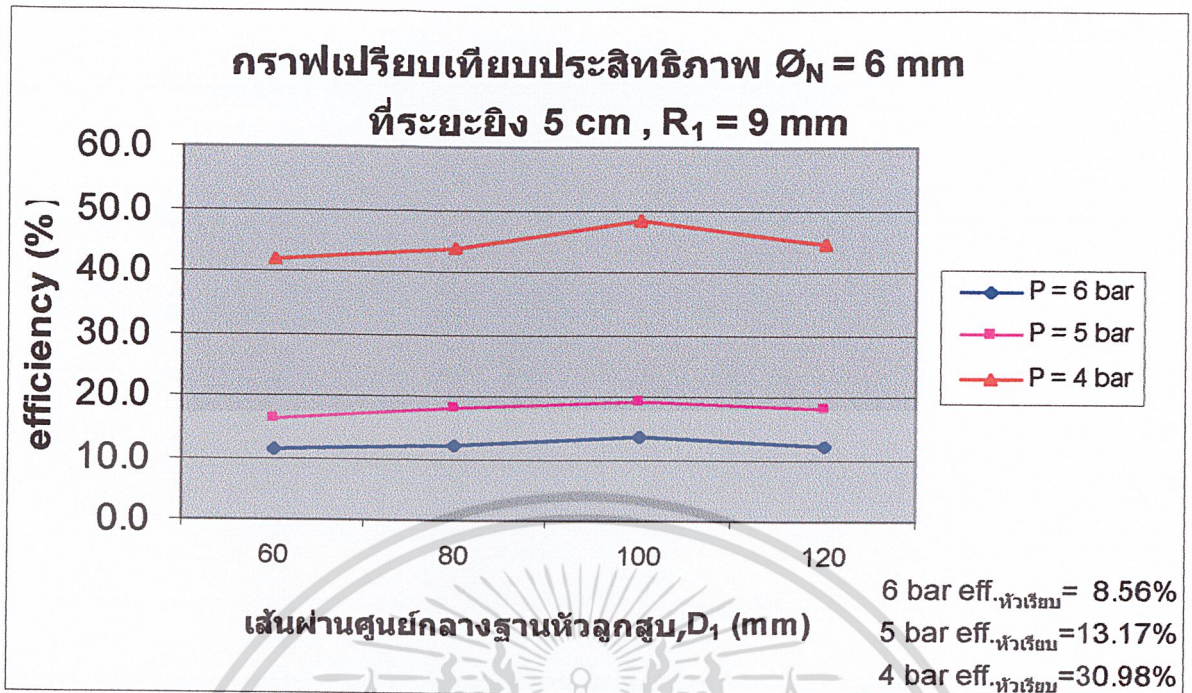


รูปที่ 6.21 กราฟการทดสอบยิงลำอากาศกระแทกผิวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง (D_1) ขนาด 60, 80, 100 และ 120 mm. ใช้หัวฉีดขนาด 4 mm. และมีระยะยิงเท่ากับ 5 cm. จะได้ประสิทธิภาพดีที่สุดที่หัวลูกสูบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 100 mm.

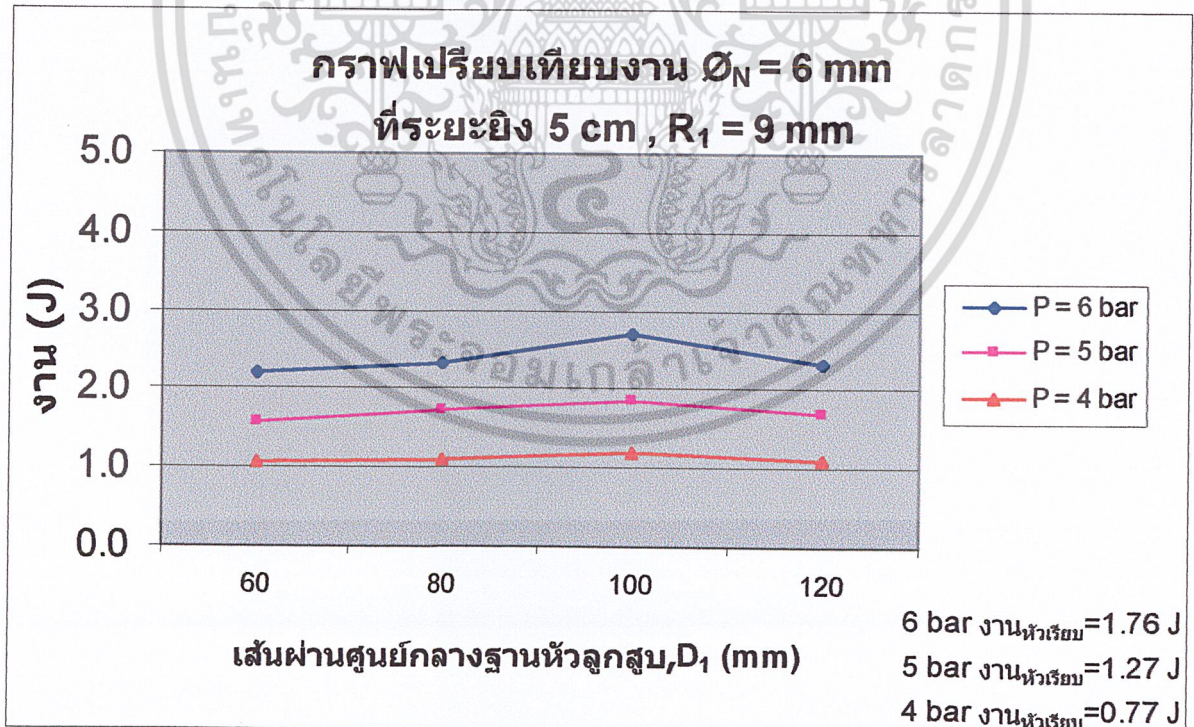


รูปที่ 6.22 กราฟการทดสอบยิงลำอากาศกระแทกผิวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง (D_1) ขนาด 60, 80, 100 และ 120 mm. ใช้หัวฉีดขนาด 4 mm. และมีระยะยิงเท่ากับ 5 cm. จะได้งานดีที่สุดที่หัวลูกสูบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 100 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

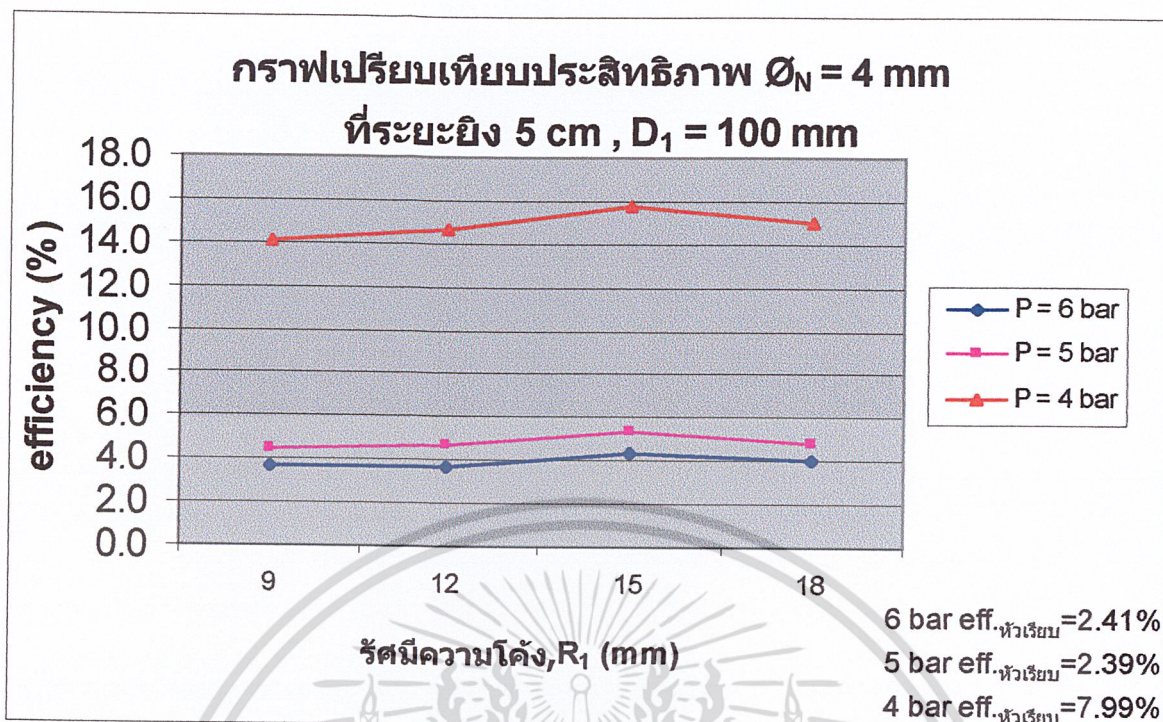


รูปที่ 6.23 กราฟการทดสอบยิงลำอากาศกระแทกผิวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง (D_1) ขนาด 60, 80, 100 และ 120 mm. ใช้หัวฉีดขนาด 6 mm. และมีระยะยิงเท่ากับ 5 cm. จะได้ประสิทธิภาพดีที่สุดที่หัวลูกสูบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 100 mm.

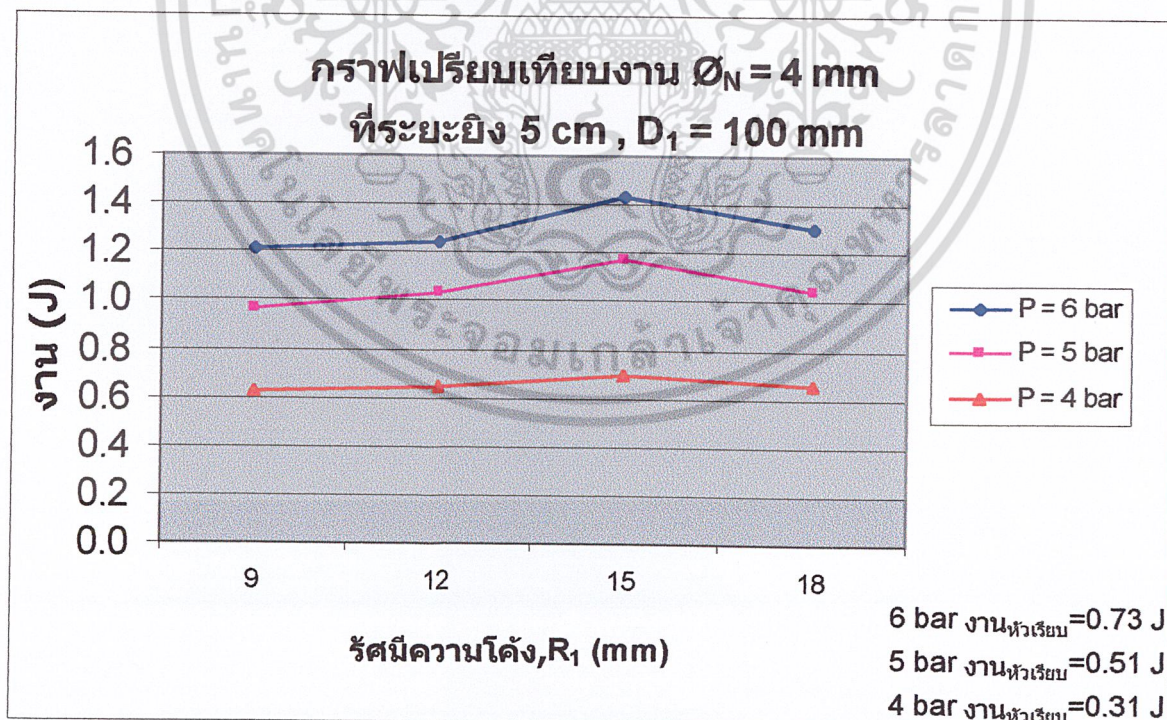


รูปที่ 6.24 กราฟการทดสอบยิงลำอากาศกระแทกผิวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง (D_1) ขนาด 60, 80, 100 และ 120 mm. ใช้หัวฉีดขนาด 6 mm. และมีระยะยิงเท่ากับ 5 cm. จะได้งานดีที่สุดที่หัวลูกสูบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 100 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

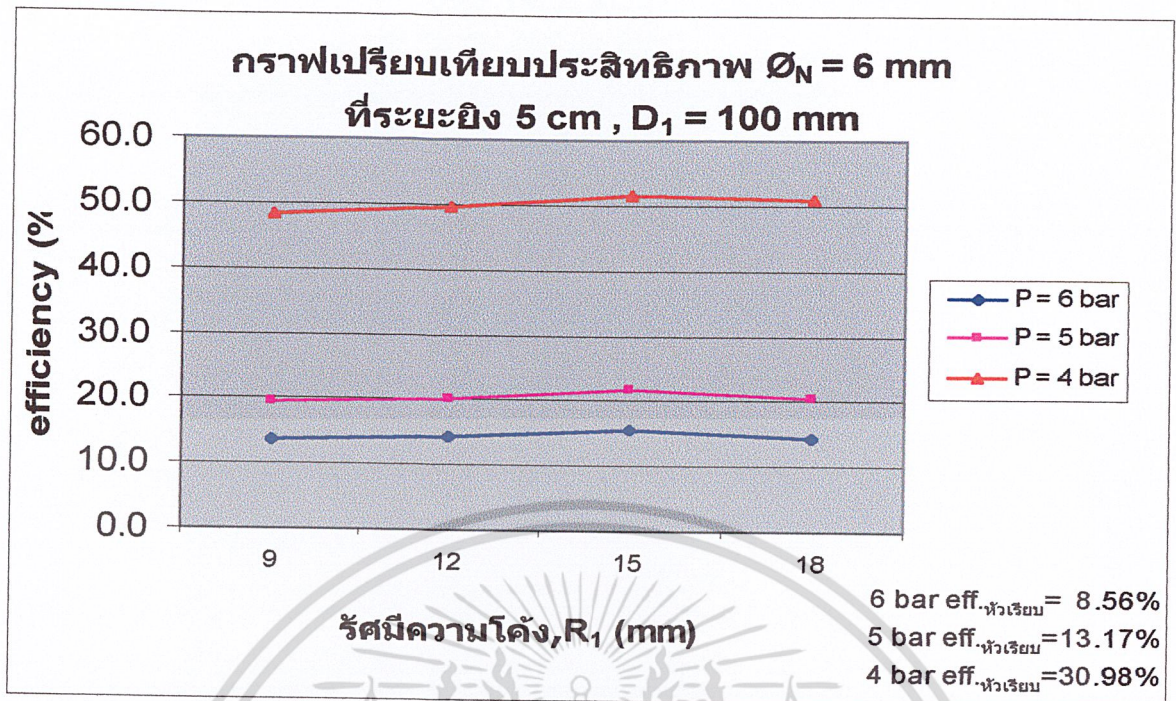


รูปที่ 6.25 กราฟการทดสอบยิงลำอากาศกระแทกผิวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีรัศมีความโค้ง (R_1) ขนาด 9, 12, 15 และ 18 mm. ใช้หัวฉีดขนาด 4 mm. และมีระยะยิงเท่ากับ 5 cm. จะได้ประสิทธิภาพดีที่สุดที่หัวลูกสูบที่รัศมีความโค้งขนาด 15 mm.

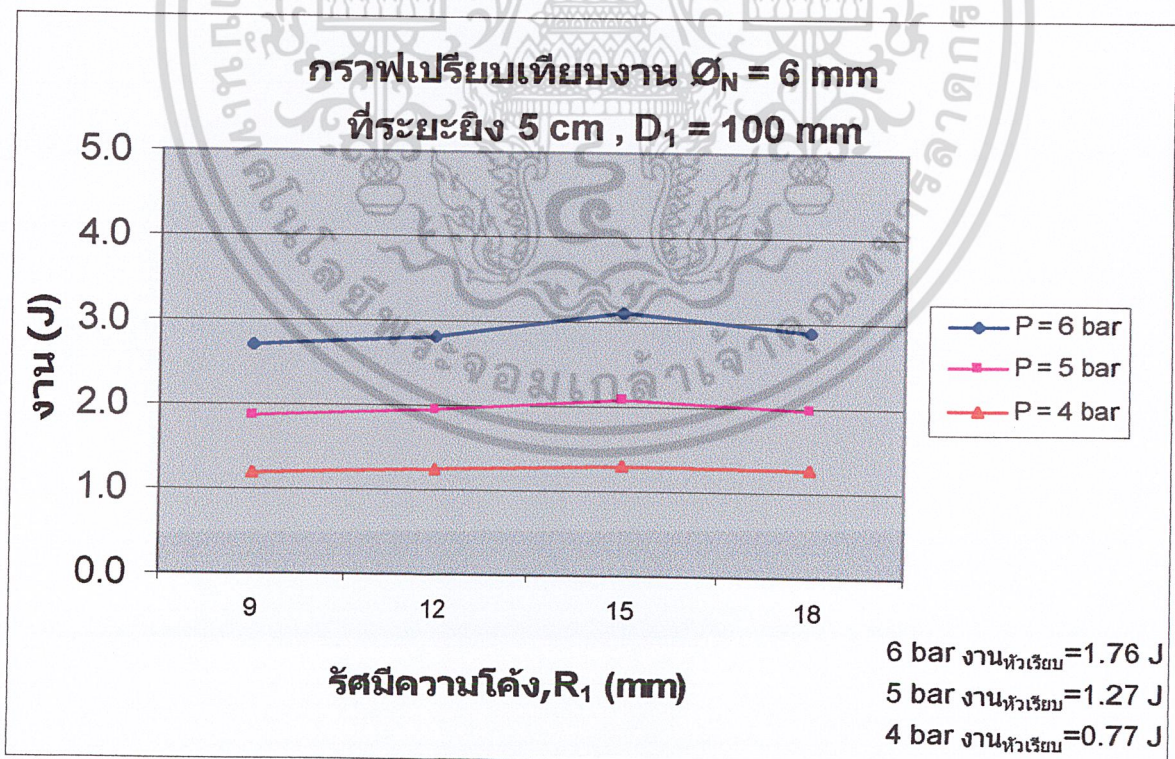


รูปที่ 6.26 กราฟการทดสอบยิงลำอากาศกระแทกผิวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีรัศมีความโค้ง (R_1) ขนาด 9, 12, 15 และ 18 mm. ใช้หัวฉีดขนาด 4 mm. และมีระยะยิงเท่ากับ 5 cm. จะได้งานดีที่สุดที่หัวลูกสูบที่รัศมีความโค้งขนาด 15 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

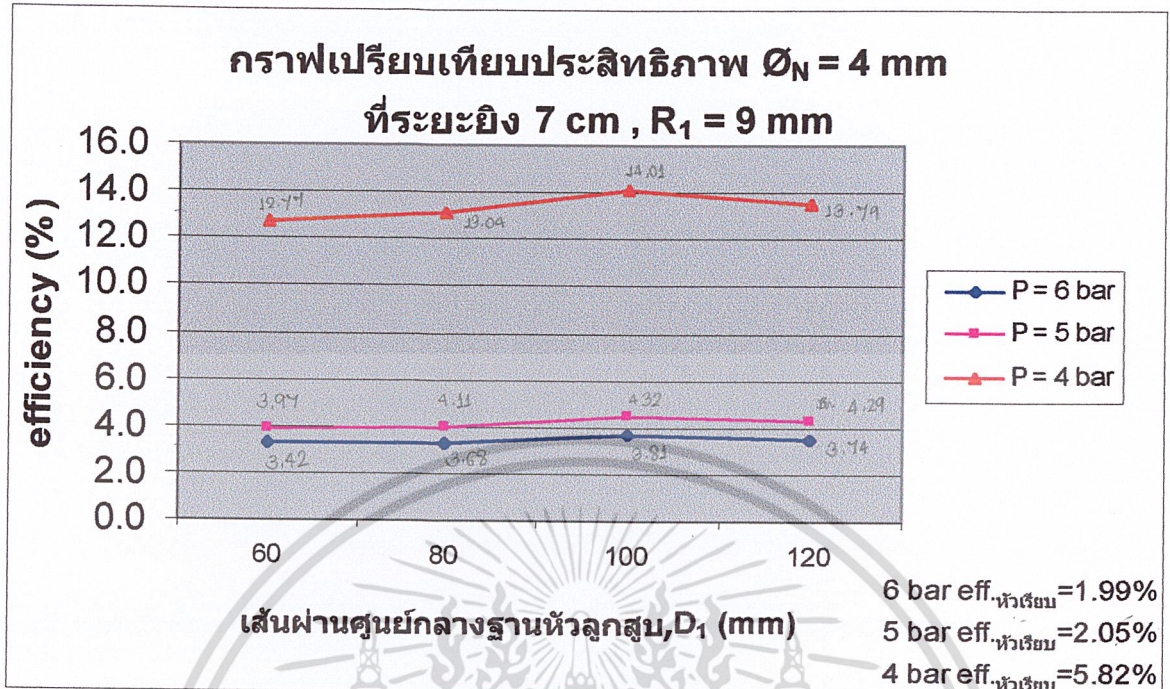


รูปที่ 6.27 กราฟการทดสอบยิงลำอากาศกระแทกผิวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีรัศมีความโค้ง (R_1) ขนาด 9, 12, 15 และ 18 mm. ใช้หัวฉีดขนาด 6 mm. และมีระยะยิงเท่ากับ 5 cm. จะได้ประสิทธิภาพดีที่สุดที่หัวลูกสูบที่รัศมีความโค้งขนาด 15 mm.

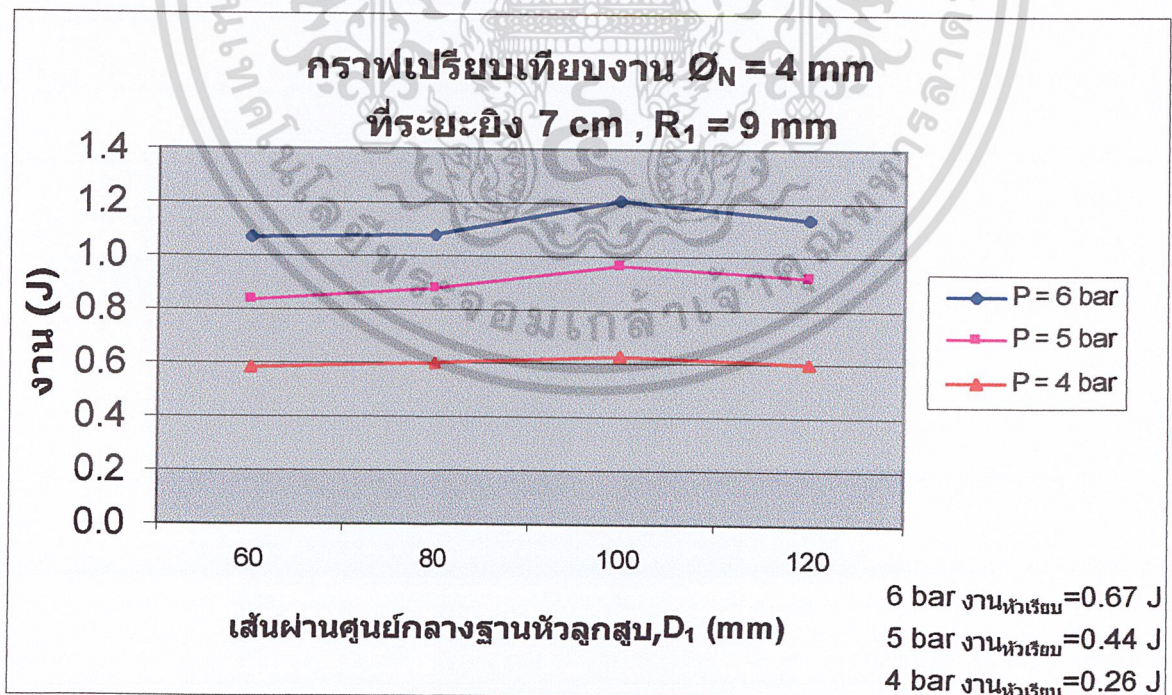


รูปที่ 6.28 กราฟการทดสอบยิงลำอากาศกระแทกผิวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีรัศมีความโค้ง (R_1) ขนาด 9, 12, 15 และ 18 mm. ใช้หัวฉีดขนาด 6 mm. และมีระยะยิงเท่ากับ 5 cm. จะได้งานดีที่สุดที่หัวลูกสูบที่รัศมีความโค้งขนาด 15 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

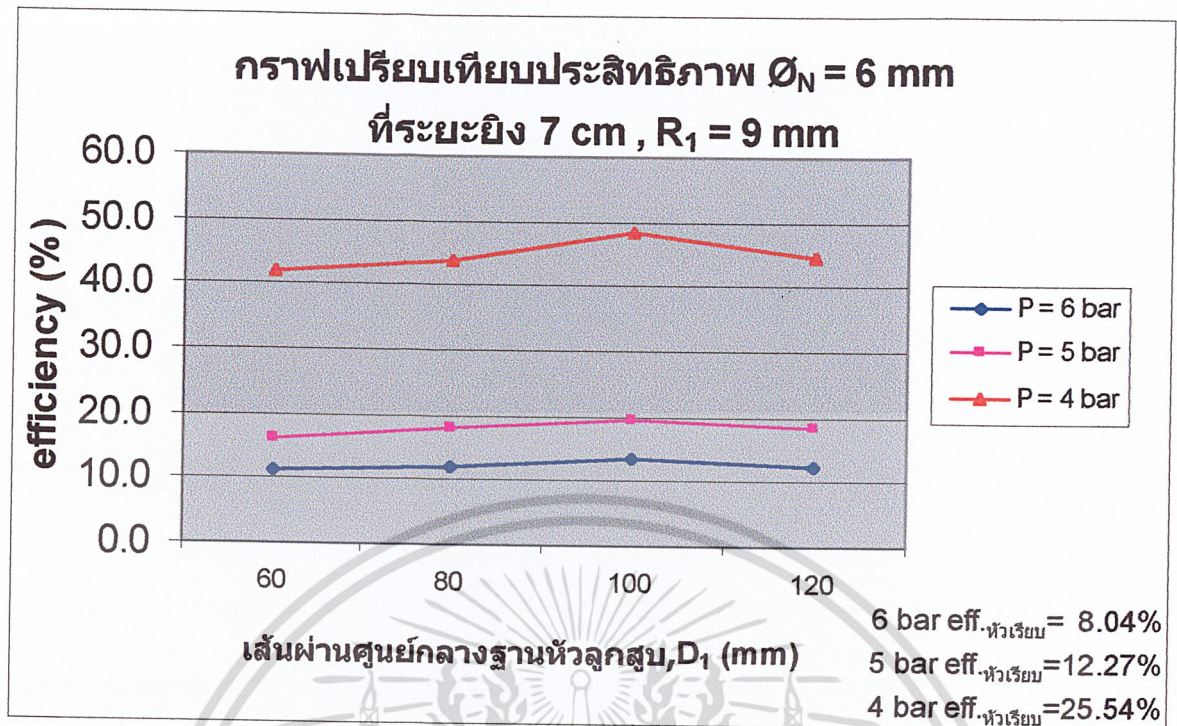


รูปที่ 6.29 กราฟการทดสอบยิงลำอากาศกระแทกผิวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง (D_1) ขนาด 60, 80, 100 และ 120 mm. ใช้หัวฉีดขนาด 4 mm. และมีระยะยิงเท่ากับ 7 cm. จะได้ประสิทธิภาพดีที่สุดที่หัวลูกสูบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 100 mm.

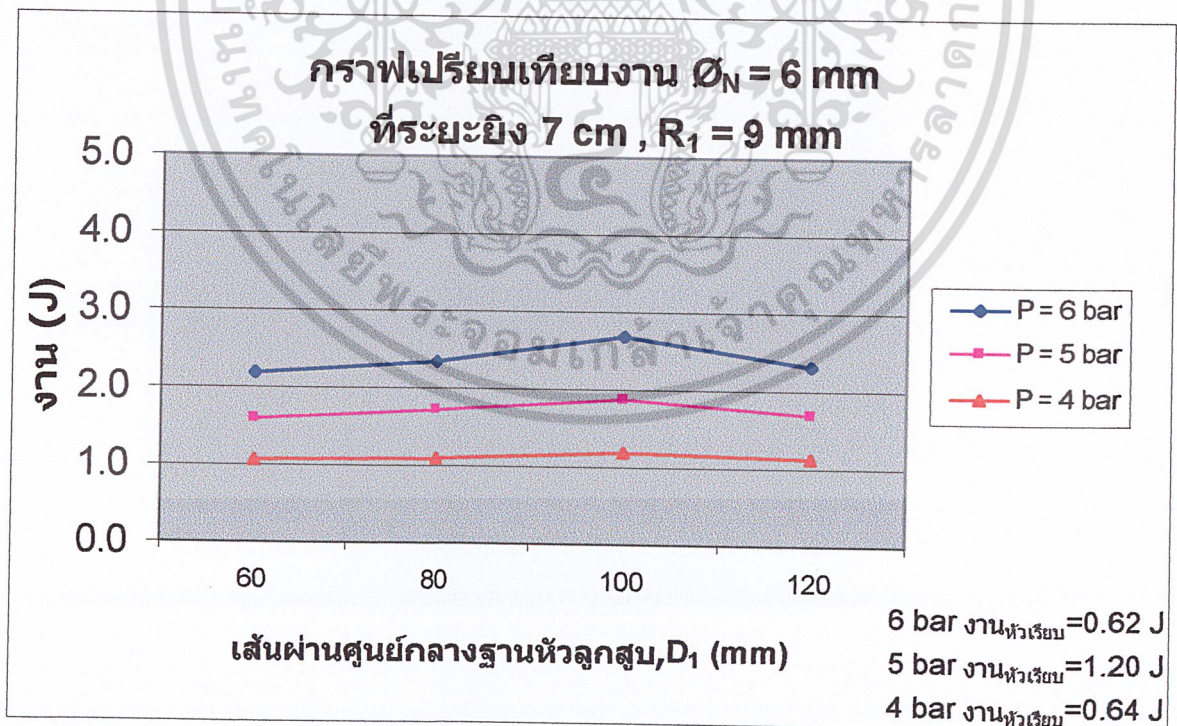


รูปที่ 6.30 กราฟการทดสอบยิงลำอากาศกระแทกผิวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง (D_1) ขนาด 60, 80, 100 และ 120 mm. ใช้หัวฉีดขนาด 4 mm. และมีระยะยิงเท่ากับ 7 cm. จะได้งานดีที่สุดที่หัวลูกสูบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 100 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

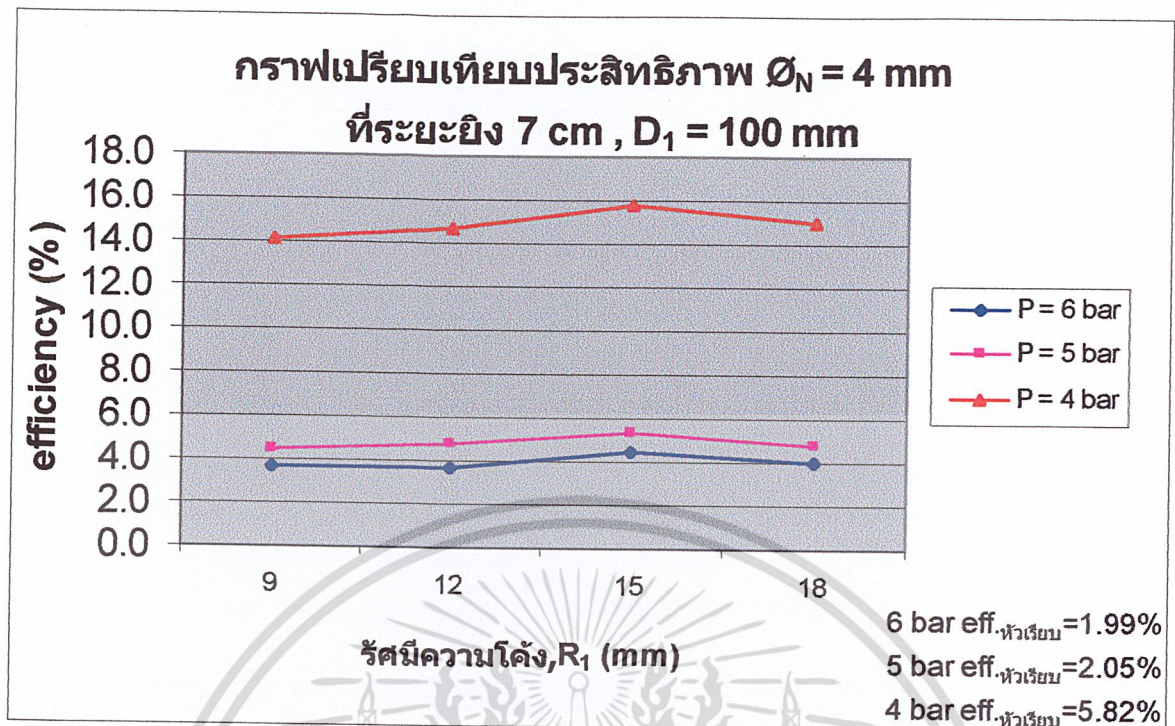


รูปที่ 6.31 กราฟการทดสอบยิงลำอากาศกระแทกหัวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง (D_1) ขนาด 60, 80, 100 และ 120 mm. ใช้หัวฉีดขนาด 6 mm. และมีระยะยิงเท่ากับ 7 cm. จะได้ประสิทธิภาพดีที่สุดที่หัวลูกสูบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 100 mm.

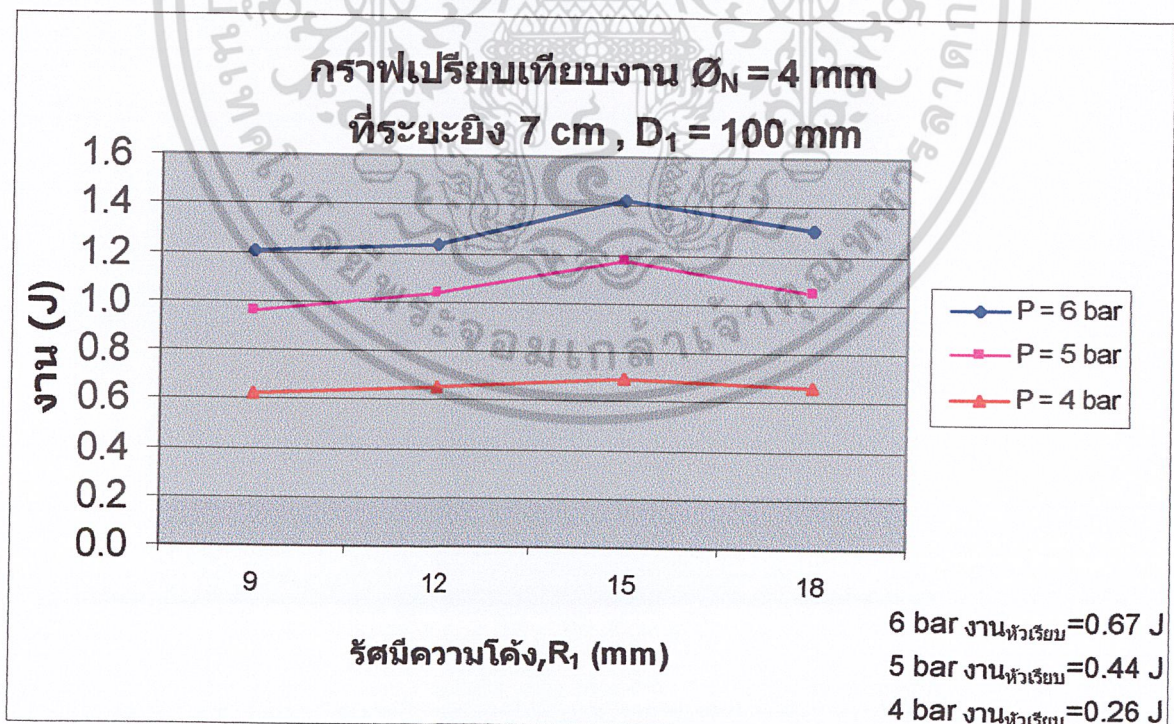


รูปที่ 6.32 กราฟการทดสอบยิงลำอากาศกระแทกหัวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง (D_1) ขนาด 60, 80, 100 และ 120 mm. ใช้หัวฉีดขนาด 6 mm. และมีระยะยิงเท่ากับ 7 cm. จะได้งานดีที่สุดที่หัวลูกสูบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 100 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

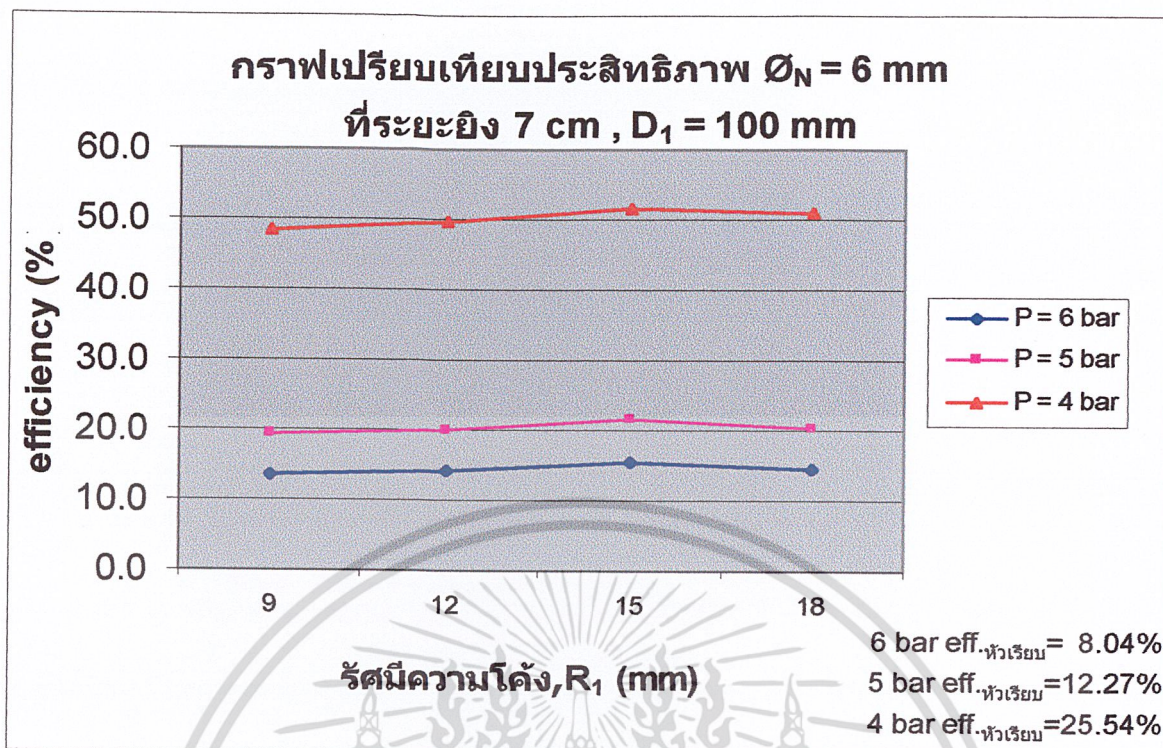


รูปที่ 6.33 กราฟการทดสอบยิงลำอากาศกระแทกผิวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีรัศมีความโค้ง (R_1) ขนาด 9, 12, 15 และ 18 mm. ใช้หัวฉีดขนาด 4 mm. และมีระยะยิงเท่ากับ 7 cm. จะได้ประสิทธิภาพดีที่สุดในหัวลูกสูบที่รัศมีความโค้งขนาด 15 mm.

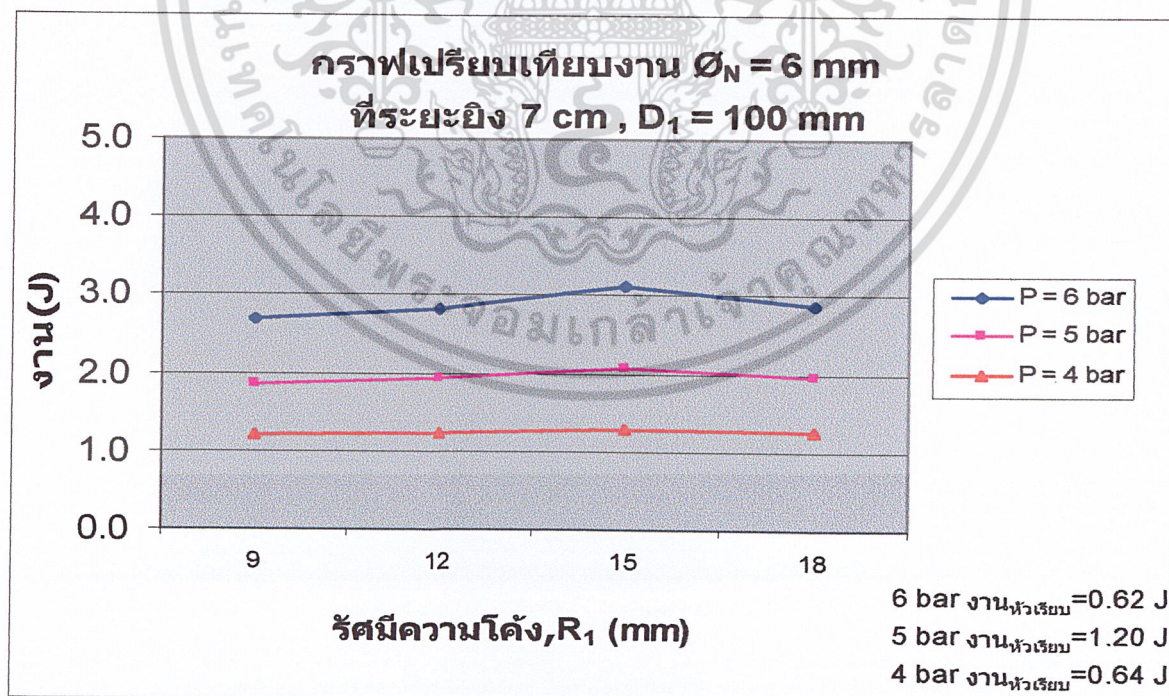


รูปที่ 6.34 กราฟการทดสอบยิงลำอากาศกระแทกผิวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีรัศมีความโค้ง (R_1) ขนาด 9, 12, 15 และ 18 mm. ใช้หัวฉีดขนาด 4 mm. และมีระยะยิงเท่ากับ 7 cm. จะได้งานดีที่สุดในหัวลูกสูบที่รัศมีความโค้งขนาด 15 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

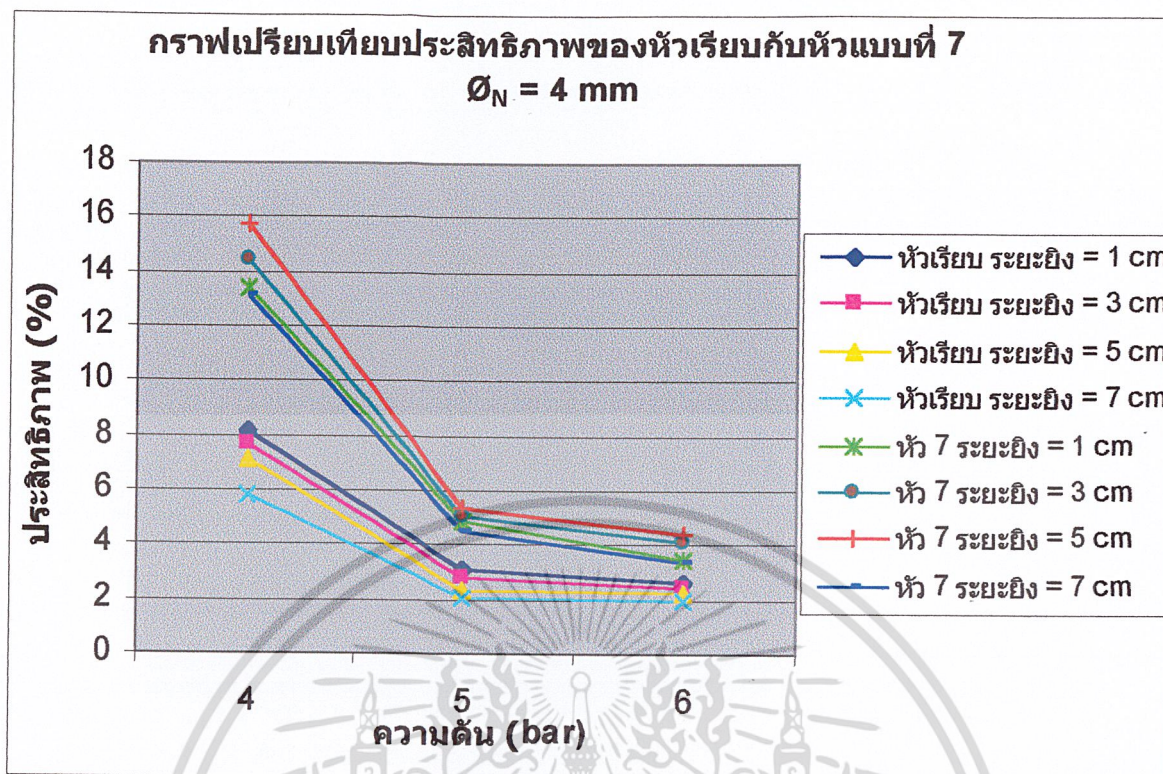


รูปที่ 6.35 กราฟการทดสอบยิงลำอากาศกระแทกผิวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีรัศมีความโค้ง (R_1) ขนาด 9, 12, 15 และ 18 mm. ใช้หัวฉีดขนาด 6 mm. และมีระยะยิงเท่ากับ 7 cm. จะได้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดที่หัวลูกสูบที่รัศมีความโค้งขนาด 15 mm.

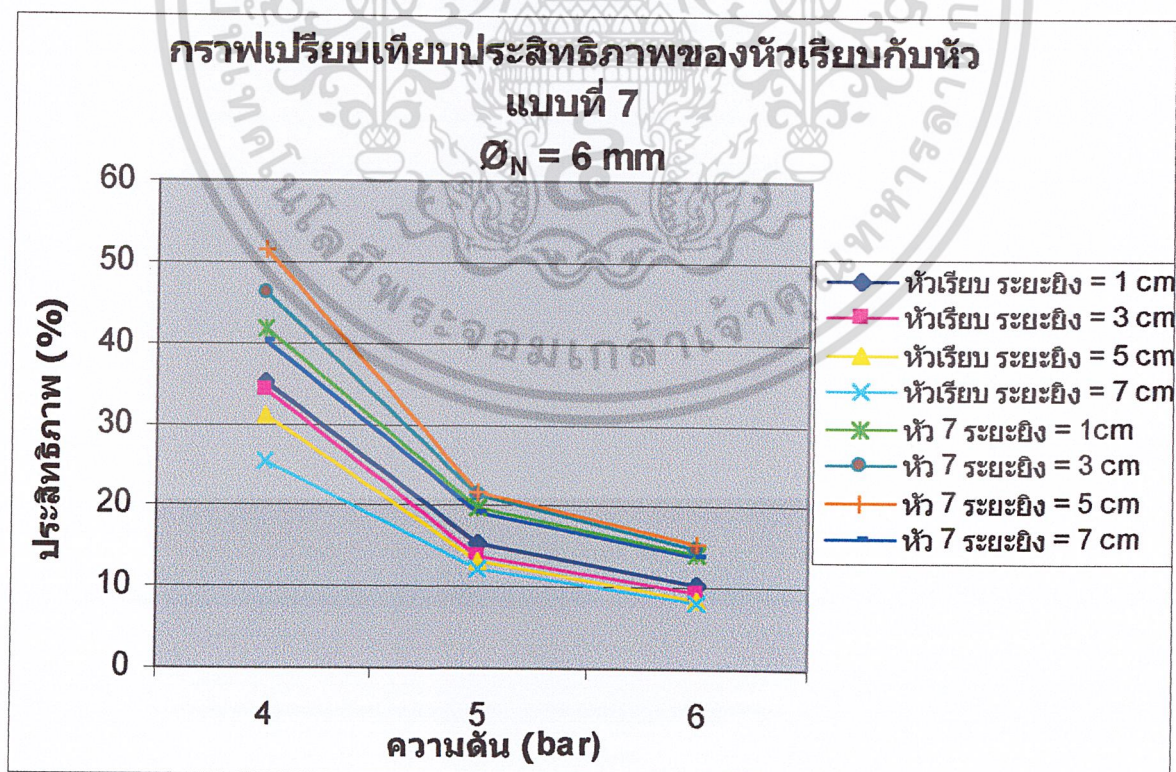


รูปที่ 6.36 กราฟการทดสอบยิงลำอากาศกระแทกผิวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีรัศมีความโค้ง (R_1) ขนาด 9, 12, 15 และ 18 mm. ใช้หัวฉีดขนาด 6 mm. และมีระยะยิงเท่ากับ 7 cm. จะได้งานที่ดีที่สุดที่หัวลูกสูบที่รัศมีความโค้งขนาด 15 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

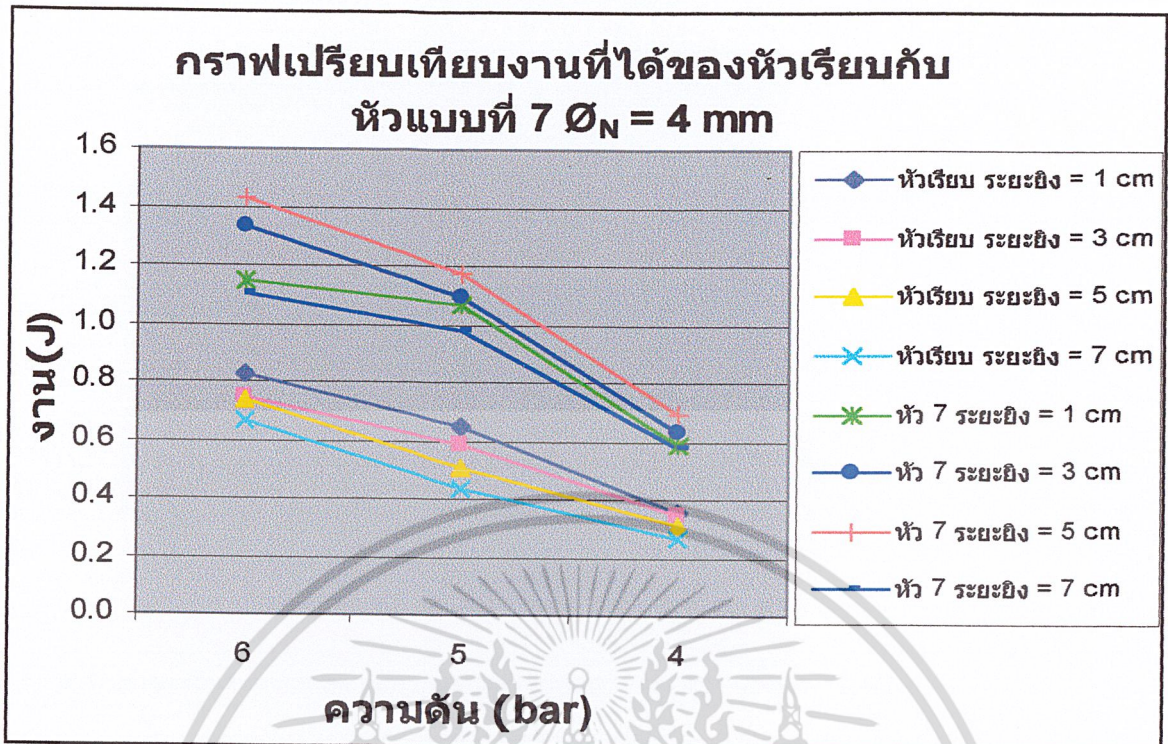


รูปที่ 6.37 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยิงลำอากาศระยะต่างๆ ระหว่างหัวแบบเรียวกับหัวแบบที่ 7 โดยใช้หัวมีขนาด 4 mm.

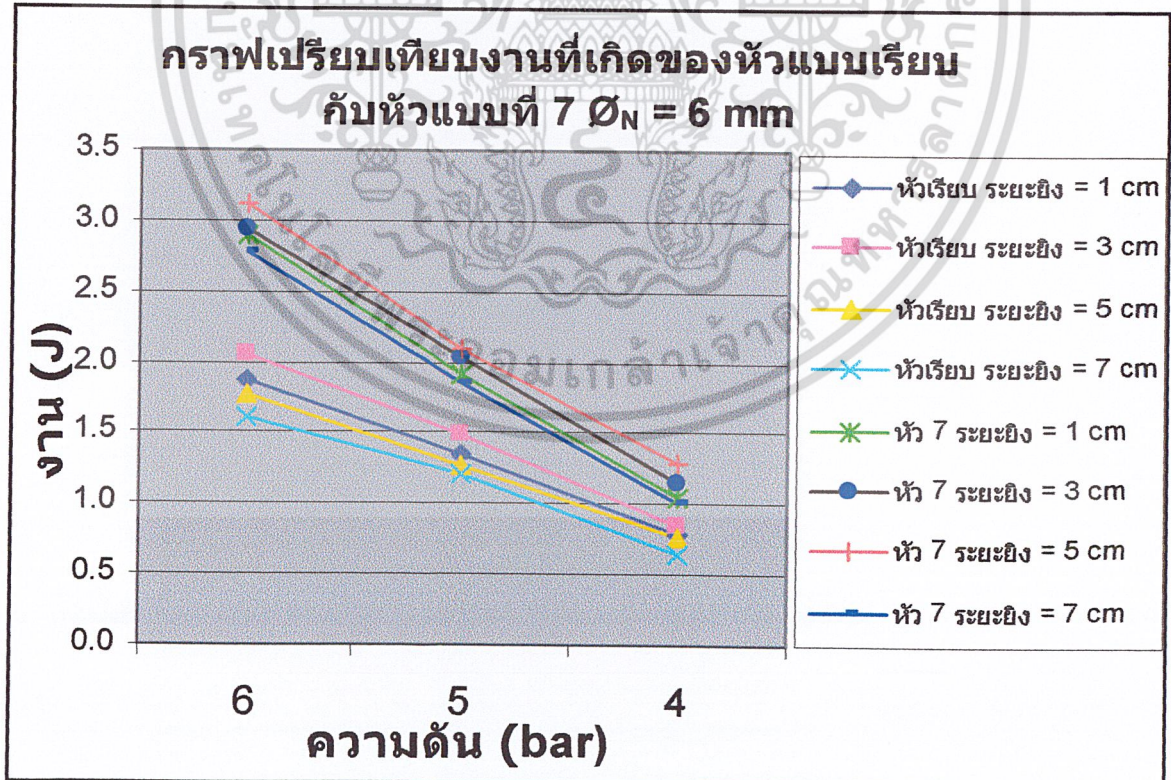


รูปที่ 6.38 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยิงลำอากาศระยะต่างๆ ระหว่างหัวเรียวกับหัวแบบที่ 7 โดยใช้หัวมีขนาด 4 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.39 กราฟเปรียบเทียบงานที่ได้ในการยิงลำอากาศระยะต่างๆ ระหว่างหัวแบบเรียบกับหัวแบบที่ 7 โดยใช้หัวฉีดขนาด 4 mm.



รูปที่ 6.40 กราฟเปรียบเทียบงานที่ได้ในการยิงลำอากาศระยะต่างๆ ระหว่างหัวเรียบกับหัวแบบที่ 7 โดยใช้หัวฉีดขนาด 4 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบการยิงลำอากาศผ่านหัวฉีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ กระแทกบนหัวลูกสูบ ชุดที่ 1 (หัวลูกสูบผิวราบ หัวลูกสูบแบบที่ 1, 2, 3 และ 4) และชุดที่ 2 (หัวลูกสูบผิวราบ หัวลูกสูบแบบที่ 5, 6, 7 และ 8)

โดยชุดที่ 1 ลักษณะของหัวลูกสูบจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ของพื้นที่ฐานด้านใน R_1 ผลที่ได้ดังต่อไปนี้

จากกราฟจะเห็นได้ว่าหัวแบบที่ 3 และ หัวแบบที่ 7 ให้ประสิทธิภาพ สูงสุดในแต่ละชุดทดลอง ในทุก ระยะยิง 1 ซม. 3 ซม. 5 ซม. และ 7 ซม. และทั้งหัวฉีดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มม. และ 6 มม.

ผลการทดลองชุดที่ 1

ที่หัวฉีดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มม.

- ระยะยิง 1 ซม. หัวแบบที่ 3 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ 12.11 % ที่ความดัน 4 บาร์
- ระยะยิง 3 ซม. หัวแบบที่ 3 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ 13.12 % ที่ความดัน 4 บาร์
- ระยะยิง 5 ซม. หัวแบบที่ 3 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ 14.12 % ที่ความดัน 4 บาร์
- ระยะยิง 7 ซม. หัวแบบที่ 3 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ 11.59 % ที่ความดัน 4 บาร์

ที่หัวฉีดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม.

- ระยะยิง 1 ซม. หัวแบบที่ 3 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ 39.63 % ที่ความดัน 4 บาร์
- ระยะยิง 3 ซม. หัวแบบที่ 3 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ 42.00 % ที่ความดัน 4 บาร์
- ระยะยิง 5 ซม. หัวแบบที่ 3 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ 48.36 % ที่ความดัน 4 บาร์
- ระยะยิง 7 ซม. หัวแบบที่ 3 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ 37.37 % ที่ความดัน 4 บาร์

ผลการทดลองชุดที่ 2

ที่หัวฉีดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มม.

- ระยะยิง 1 ซม. หัวแบบที่ 7 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ 13.38 % ที่ความดัน 4 บาร์
- ระยะยิง 3 ซม. หัวแบบที่ 7 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ 14.43 % ที่ความดัน 4 บาร์
- ระยะยิง 5 ซม. หัวแบบที่ 7 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ 15.78 % ที่ความดัน 4 บาร์
- ระยะยิง 7 ซม. หัวแบบที่ 7 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ 13.16 % ที่ความดัน 4 บาร์

ที่หัวฉีดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม.

- ระยะยิง 1 ซม. หัวแบบที่ 7 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ 41.79 % ที่ความดัน 4 บาร์
- ระยะยิง 3 ซม. หัวแบบที่ 7 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ 46.25 % ที่ความดัน 4 บาร์
- ระยะยิง 5 ซม. หัวแบบที่ 7 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ 51.61% ที่ความดัน 4 บาร์
- ระยะยิง 7 ซม. หัวแบบที่ 7 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ 40.28% ที่ความดัน 4 บาร์

บทที่ 7

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. จากการศึกษาการกระจายตัวของลำอากาศ จะเห็นได้ว่า เมื่อลำอากาศกระทบกับพื้นผิวจะกระจายเป็นส่วนโค้งดังรูปที่ 2.4 ดังนั้น เมื่อทำการทดสอบจะเห็นได้ว่า หัวแบบที่ 3 และแบบที่ 7 มีค่าระยะ D_1 และ R_1 เหมาะสมที่สุด สำหรับชุดทดสอบนี้ ที่จะทำให้อากาศที่กระจายออกมวนตัวไปกระทบพื้นผิวอีกครั้ง เพื่อเพิ่มงานและประสิทธิภาพ
2. จากผลการทดลองทั้ง 2 ชุด เห็นได้ว่า หัวฉีดจะให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการยิงลำอากาศที่ความดัน 4 บาร์ เนื่องมาจากว่าค่าพลังงานที่หัวลูกสูบรับได้ ($\Delta E_{ps} + mgx_s$) ที่ความดัน 4, 5 และ 6 บาร์, มีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบที่ค่าพลังงานที่ให้แก่หัวลูกสูบ ($\frac{1}{2}mv^2$) แล้วจะเห็นว่าที่ความดัน 4 บาร์ มีค่าพลังงานต่ำที่สุดทำให้เมื่อนำค่ามาเปรียบเทียบประสิทธิภาพแล้วค่าพลังงานที่หัวลูกสูบรับได้ใกล้เคียงกันแต่ค่าพลังงานที่ให้แก่หัวลูกสูบแตกต่างกัน จึงทำให้ประสิทธิภาพที่ความดัน 4 บาร์ มีค่าสูงกว่าที่ความดัน 5 และ 6 บาร์
3. การทำหัวลูกสูบแบบมีหลุม สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของ Imping Jet ได้สูงสุดถึง 126.12 % ที่ความดัน 4 บาร์ หัวฉีดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มม. ระยะยิง 7 ซม.
4. จากการพัฒนาหัวลูกสูบ ทำให้สามารถเพิ่มงานได้เพิ่มขึ้น 131.37 % ที่ความดัน 5 บาร์ หัวฉีดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มม. ระยะยิง 5 ซม.
5. จากการเปรียบเทียบงานที่ได้จากการเปลี่ยนระยะยิงระหว่างหัวเรียวกับหัวที่ได้มีการแก้ไขปรากฏว่าหัวเรียวได้งานมากที่ระยะยิง 1 ซม. และเมื่อระยะยิงไกลออกไปงานจะลดลง แต่เมื่อใช้หัวที่ได้แก้ไขแล้วปรากฏว่าเมื่อระยะยิงเพิ่มงานที่ได้จะเพิ่มขึ้นและเพิ่มมากที่สุด ที่หัวแบบที่ 7 ระยะยิง 5 ซม. ทุกความดันของการยิง
6. จากการทดลองที่ความดันต่างๆ งานที่ได้แปรผันตรงกับความดันที่ใช้ในการยิง และแปรผันตรงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด แต่ประสิทธิภาพแปรผกผันกับความดันและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด ทั้งนี้สังเกตได้ว่าเมื่อใช้ความดันต่ำและขนาดรูยิงเล็ก งานที่ได้มีค่าจนไม่สามารถทำงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] C. Comaro, A. S. Fleischer and R. J. Goldstein “ JET IMPINGEMENT ON CONCAVE AND CONVEX SURFACES ” 8TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FLOW VISUALIZATION (1998), pp.236.1-239.11
- [2] “การสำรวจเชิงตัวเลขของ Turbulent plane impinging jet”, Makoto Tsubokura, Toshio Kobayashi, Nobuyuki Taniguchi
- [3] V.L. Streeter, E.B. Wylie, “Fluid Mecanic”, McGraw-Hill Ryerson Limited, 1987
- [4] P.M.Gerhart, R.J.Grass, J. I. Hochestein, “Fundamental of Fluid Mechanic”, Addison-Wesley, 1992
- [5] รศ. พงษ์ศักดิ์ เสริมสาธนสวัสดิ์, ศศ.ประมาธ เสริมสาธนสวัสดิ์, “กลศาสตร์ของไหล”, Pc
- [6] สมาน เจริญกิจผลผล, มนตรี พิรุณเกษตร, “กลศาสตร์ของไหล”, ซีเอ็ด

