

อุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดันอย่างต่อเนื่อง Continuous Pressure Pulse Generator

บันเทิง สุวรรณตระกูล กฤษณา วรณทอง เอกพร บุตรอากาศ อรรถพล ชีระพันธุ์
Banterng Suwantragul Krisada Wontong Akaphon Bootakat Arkapon Cheerapan
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บทคัดย่อ

อุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดันอย่างต่อเนื่องเป็นแท่นทดสอบ(Test Rig) เพื่อใช้จำลองคลื่นความดันที่ปล่อยออกจากเครื่องยนต์สันดาปภายในผ่านลิ้นไอเสียเพื่อใช้ในการศึกษาการทำงานของหม้อพักและท่อไอเสียตามลำดับ แท่นทดสอบนี้สามารถใช้กำเนิดคลื่นความดันได้อย่างต่อเนื่อง โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่าความดันในแต่วิวจักร น้อยกว่าเครื่องยนต์จริง สามารถตั้งค่าความดันเมื่อลิ้นไอเสียเริ่มเปิด สามารถทดสอบการทำงานของหม้อพักและท่อไอเสียโดยไม่มีอิทธิพลจากการเปิดของลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียพร้อมกัน (Valve Over Lapping) นอกจากนี้ยังสามารถทดสอบการทำงานของหม้อพักและท่อไอเสียที่อุณหภูมิต่ำ

อุปกรณ์หลักเป็นเครื่องยนต์ Toyota รุ่น 1G-GE ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ 6 สูบ Overhead Camshaft ได้รับการดัดแปลงให้ใช้งานเพียงสูบเดียว และปรับมุมปิดเปิดของลิ้นไอดี (Valve Timing) ให้เปิดช้าออกไป 260 องศา ซึ่งมีผลให้ลิ้นไอดีเปิดในช่วงอัด(Compression) ช้ามา ยังช่วงขยาย (Expansion) และปิดสนิทก่อนลิ้นไอเสียเปิด 38 องศา ในจังหวะที่ลิ้นไอดีเปิดจะมีอากาศอัดที่สามารถปรับค่าความดันได้ป้อนเข้าสู่กระบอกสูบโดยผ่านเครื่องวัดอุณหภูมิ ความดัน และอัตราการไหลอากาศอัด เนื่องจากเครื่องยนต์ดัดแปลงนี้ หมุนอยู่โดยไม่มีจุดระเบิด จึงต้องใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อนเครื่องยนต์ดังกล่าว

ผลการทดสอบพบว่าลักษณะความดันในกระบอกสูบพบสอดคล้องกับผลการคำนวณทางทฤษฎี แต่ยังมีปัญหาที่เกิดจากการสะท้อนของคลื่นความดันที่ทางท่อไอดี ทำให้เกิดการแกว่งกวัดของความดันภายในกระบอกสูบ

เสนอในงานสัมมนาวิชาการวิศวกรรมเครื่องกลครั้งที่ 10 ณ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
เขาชะโงก นครนายก วันที่ 28-30 พฤษภาคม 2539

1. บทนำ

ระบบท่อไอเสียเป็นชิ้นส่วนที่สำคัญชิ้นหนึ่งของเครื่องยนต์สันดาปภายใน ซึ่งนอกจากเป็นอุปกรณ์ที่นำไอเสียออกไปจากเครื่องยนต์แล้ว ยังทำหน้าที่ลดเสียงที่เกิดขึ้นอีกด้วย ไอเสียที่เคลื่อนที่มีลักษณะเป็นคลื่นความดันซึ่งเรียกว่า การไหลไม่คงที่ (Unsteady Flow)

ในการศึกษาปรากฏการณ์ของการไหลไม่คงที่ จำเป็นต้องสร้างอุปกรณ์ขึ้นมาทดสอบ ซึ่งแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 2 กลุ่ม คือ (ก) การสร้างคลื่นความดันโดยใช้คลื่นเสียง และ(ข)การสร้างคลื่นความดันโดยการปล่อยอากาศความดันสูงออกจากถังเก็บ วิธีแรกนิยมใช้ในการศึกษาความสามารถในการเก็บเสียงของหม้อพัก ส่วนวิธีหลังนิยมใช้ในการศึกษาถึงความดันที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งต่างๆตลอดจนความสามารถในการคายไอเสียออกจากกระบอกสูบ สำหรับงานวิจัยนี้ดำเนินการตามวิธีของกลุ่มหลัง

จากการศึกษาลักษณะของอุปกรณ์สร้างคลื่นความดันชนิดที่ปล่อยอากาศความดันสูงออกจากถังเก็บแบบต่างๆที่มีผู้นำมาใช้พบว่า มีดังนี้

(1) อุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดันหนึ่งลูก

อุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดันหนึ่งลูกมีประโยชน์ในการนำผลการทดลองเปรียบเทียบกับค่าคำนวณทางทฤษฎี ทั้งนี้เนื่องจากสามารถเห็นคลื่นได้ชัดเจน โดยไม่มีการสอดแทรกจากคลื่นลูกอื่น และสามารถควบคุมตัวแปรต่างๆได้ง่าย อุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดันหนึ่งลูกประกอบด้วยแบบต่างๆดังนี้

ก. ท่อช็อก (Shock Tube) ประกอบด้วยท่อ 2 ท่อนกันด้วยวัสดุแผ่นบาง (Membrane) ซีกด้านหนึ่งบรรจุแก๊สความดันสูง อีกซีกด้านหนึ่งบรรจุแก๊สความดันต่ำ (สูญญากาศ หรือความดันบรรยากาศ) มีอุปกรณ์ที่กระทำให้อากาศแผ่นบางฉีกขาดอย่างทันทีทันใด ทำให้เกิดคลื่นความดันวิ่งเข้าไปในท่อความดันต่ำ ตัวอย่างผู้ใช้อุปกรณ์แบบนี้ได้แก่ Bannister[1,2] Trengrouse and Solimann[3] เป็นต้น ปัญหาที่ก่อให้เกิดความยุ่งยากในการใช้งานคือต้องมีการถอดท่อเพื่อเปลี่ยนวัสดุแผ่นบางทุกครั้ง

ข. อุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดันหนึ่งลูก สจข (KMITT SP) ทวีและคณะ[4] ได้แก้ปัญหาการที่จะต้องถอดท่อ โดยสร้างห้องเก็บอากาศความดันสูง ติดตั้งลิ้นปิดเปิดขับเคลื่อนด้วยกระบอกลมซึ่งอยู่ร่วมแนวแกนเดียวกับห้องเก็บอากาศความดันสูง สามารถปรับความเร็วการเปิดของลิ้นด้วยความดันในกระบอกลม อุปกรณ์นี้ได้พัฒนามาจากอุปกรณ์กำเนิดความเร็วเหนือเสียง โดย Ikui et al [5] มีบทความวิจัยที่ใช้อุปกรณ์นี้ทดลองเสนอโดย Suwantragul[6] และ วิกิกรมและบันเทิง[7]

ก. Queen's University of Belfast-Single pulse apparatus (QUB SP) ประกอบด้วยห้องเก็บอากาศความดันสูง ติดตั้งลิ้นปิดเปิดขับเคลื่อนด้วยกระบอบกลมซึ่งอยู่ในแนวตั้ง จากกับห้องเก็บอากาศความดันสูง สามารถปรับความเร็วการเปิดของลิ้นด้วยความดันในกระบอบกลม ลักษณะลิ้นปิดเปิดได้ออกแบบให้ขนาดของช่องเปิดมีขนาดเท่ากับขนาดช่องเปิดของลิ้นไอเสีย เมื่อเปรียบเทียบจุดเด่นและจุดด้อยของ QUB SP และ KMITT SP พบว่าจุดเด่นของอุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดันหนึ่งลูก QUB SP อยู่ที่ตำแหน่งสุดท้ายของลิ้นไอเสียอยู่ที่ตำแหน่งปิด ในขณะที่ลิ้นไอเสียของ KMITT SP เปิดค้างอยู่ จุดเด่นของ KMITT SP อยู่ที่ลักษณะของลิ้นไอเสียคล้ายของจริงมากกว่า ตัวอย่างบทความที่ใช้อุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดันหนึ่งลูก QUB SP ในการทดลองได้แก่ Kirkpatrick et al[8] และ Blair et al[9]

(2) อุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดันอย่างต่อเนื่อง

อุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดันอย่างต่อเนื่องใช้ในการศึกษาการเคลื่อนที่ของคลื่นความดันในท่อไอดี ท่อไอเสียของเครื่องยนต์สันดาปภายใน และการผสมของคลื่นในท่อร่วม (Junction) จากการตรวจสอบเอกสารการวิจัยไม่พบการสร้างอุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดันอย่างต่อเนื่องในลักษณะเป็นแท่นทดสอบโดยเฉพาะ แต่ได้นำเครื่องยนต์มาใช้งานในรูปแบบต่างๆดังนี้

ก. การเดินเครื่องยนต์สันดาปภายในแบบ Motoring คลื่นที่ปล่อยออกสู่ท่อไอเสียจะมีความดันต่ำกว่าสภาพการใช้งานจริง ข้อดีคืออุณหภูมิทดสอบมีค่าต่ำจึงไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์วัดความดันที่สามารถทนอุณหภูมิสูง และคลื่นความดันที่ได้มีขนาดเท่ากันทุกลูก โดยไม่มีผลการเปลี่ยนแปลงในแต่ละวัฏจักร (Cycle to Cycle Variation) ตัวอย่างเช่นการศึกษาการผสมของคลื่นในท่อร่วม 4 ท่อ โดย Daneshyar[10] เป็นต้น

ข. การใช้เครื่องยนต์จริง ผู้วิจัยจะทดสอบโดยใช้เครื่องยนต์จริง ทำให้สามารถได้ผลการทดลองตามสภาพใช้งาน แต่พบว่า มีผลการเปลี่ยนแปลงในแต่ละวัฏจักร (Cycle to Cycle Variation) สูงประมาณ $\pm 10\%$ และต้องใช้อุปกรณ์วัดความดันที่สามารถทนอุณหภูมิสูง

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อออกแบบ สร้างและทดสอบแท่นทดสอบ (Test Rig) อุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดันอย่างต่อเนื่อง เพื่อใช้จำลองคลื่นความดันที่ปล่อยออกจากเครื่องยนต์สันดาปภายในผ่านลิ้นไอเสีย โดยสามารถใช้กำเนิดคลื่นความดันได้อย่างต่อเนื่องและมีการเปลี่ยนแปลงค่าความดันในแต่ละวัฏจักรน้อยกว่าเครื่องยนต์จริง สามารถตั้งค่าความดันเมื่อลิ้นไอเสียเริ่มเปิดได้

2. ทฤษฎี

การวิเคราะห์การไหลในอุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดันอย่างต่อเนื่องสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน ส่วนแรกเป็นการไหลออกจากชุดถังเก็บอากาศเข้าสู่กระบอกสูบ ส่วนที่สองเป็นการไหลออกจากกระบอกสูบ ส่วนที่สามเป็นการเปลี่ยนแปลงภายในกระบอกสูบ และส่วนที่สี่เป็นการไหลภายในท่อไอเสีย สำหรับที่มาของสมการขอให้ศึกษาจาก Bannister[1] และ Benson[11] รายละเอียดของตำแหน่งต่างๆสามารถดูได้จากรูปที่ 1

2.1 การไหลเข้าสู่กระบอกสูบ

การไหลเข้าสู่กระบอกสูบเริ่มจากอากาศไหลผ่าน Orifice Meter ผ่านถังเก็บอากาศจนถึงตำแหน่งของลิ้นไอดีเข้าสู่กระบอกสูบของอุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดันอย่างต่อเนื่อง ความดันในระบบนี้เปลี่ยนแปลงกับเวลาน้อย จึงสามารถวิเคราะห์ด้วยสมการการไหลแบบกึ่งต่อเนื่อง (Quasi-Steady Flow)

อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่เข้าสู่กระบอกสูบเขียนได้เป็น

$$m_I = \frac{p_{01} A_{IP}}{a_{01}} \left[\left(\frac{2\gamma^2}{\gamma-1} \right) \left(\frac{p_{cy}}{p_{01}} \right)^{2/\gamma} \left\{ 1 - \left(\frac{p_{cy}}{p_{01}} \right)^{\gamma-1/\gamma} \right\} \right]^{1/2} \quad (1)$$

- เมื่อ m_I คืออัตราไหลเชิงมวลเข้าสู่กระบอกสูบ
 p_{01} คือความดันสถณณชั้น (Stagnation Pressure) ที่ท่อไอดี
 p_{cy} คือความดันภายในกระบอกสูบ
 a_{01} คือความเร็วเสียงสถณณชั้น (Stagnation Acoustic Velocity) ที่ท่อไอดี
 A_{IP} คือพื้นที่การไหลของอากาศที่ลิ้นไอดี
 γ คืออัตราส่วนค่าความร้อนจำเพาะของอากาศ

2.2 การไหลออกจากกระบอกสูบ

การไหลออกจากกระบอกสูบเริ่มจากตำแหน่งด้านหน้าลิ้นไอเสียของกระบอกสูบของอุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดันอย่างต่อเนื่องจนถึงตำแหน่งด้านหลังลิ้นไอเสีย ความดันในระบบนี้เปลี่ยนแปลงกับเวลาน้อยจึงสามารถวิเคราะห์ด้วยสมการการไหลแบบกึ่งต่อเนื่อง (Quasi-Steady Flow)

อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ออกจากกระบอกสูบเขียนได้เป็น

$$m_E = \frac{P_{cy} A_{EP}}{a_{cy}} \left[\left(\frac{2\gamma^2}{\gamma-1} \right) \left(\frac{P_2}{P_{cy}} \right)^{2/\gamma} \left\{ 1 - \left(\frac{P_2}{P_{cy}} \right)^{\gamma-1/\gamma} \right\} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

- เมื่อ m_E คืออัตราไหลเชิงมวลที่ออกจากกระบอกสูบ
- P_2 คือความดันสถิตย์ที่ท่อไอเสีย
- a_{cy} คือความเร็วเสียงของอากาศในกระบอกสูบ
- A_{EP} คือพื้นที่การไหลของอากาศที่ต้นไอเสีย

2.8 การเปลี่ยนแปลงภายในกระบอกสูบ

การเปลี่ยนแปลงภายในกระบอกสูบแบ่งออกได้เป็นสองลักษณะ ลักษณะแรกเป็นการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของอากาศภายในกระบอกสูบเนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง ลักษณะสองเป็นการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของอากาศภายในกระบอกสูบเนื่องจากมีมวลไหลเข้า หรือออกจากกระบอกสูบพร้อมกับปริมาตรกระบอกสูบเปลี่ยนแปลง เพื่อให้การวิเคราะห์ง่ายขึ้นจึงเขียนสมการในรูปทั่วไปคือวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของอากาศภายในกระบอกสูบเนื่องจากมีมวลไหลเข้า และไหลออกจากกระบอกสูบ พร้อมกับปริมาตรกระบอกสูบเปลี่ยนแปลง เมื่อไม่ใช้ค่าหนึ่งค่าใดก็กำหนดให้ตัวแปรนั้นเป็นศูนย์ จากกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์

$$Q - W = \frac{\partial(E)_{cy}}{\partial t} + m_E h_{0E} - m_I h_{0I} \quad (3)$$

- เมื่อ Q คือความร้อนที่เข้าสู่ระบบ
- W คือกำลังงานที่ออกจากระบบ
- $\frac{\partial(E)_{cy}}{\partial t}$ คือพลังงานที่เปลี่ยนแปลงภายในกระบอกสูบ
- h_{0E} คือสแตกเนชันเอนทัลปีของอากาศที่ไหลออกจากกระบอกสูบ
- h_{0I} คือสแตกเนชันเอนทัลปีของอากาศที่ไหลเข้าสู่กระบอกสูบ

แทนค่าในสมการที่ (3) ได้

$$-P_{cy} \frac{dV_{cy}}{dt} = \frac{1}{\gamma-1} \left(P_{cy} \frac{dV_{cy}}{dt} + V \frac{dP_{cy}}{dt} \right) + \frac{a_{cy}^2}{\gamma-1} m_E - \frac{a_{0I}^2}{\gamma-1} m_I \quad (4)$$

จัดรูปสมการใหม่ให้อยู่ในรูปของการเปลี่ยนแปลงความดันในกระบอกสูบต่อหน่วยเวลาจะได้

$$\frac{dP_{cy}}{dt} = \frac{1}{V_{cy}} \left\{ a_{0I}^2 m_I - a_{cy}^2 m_E - \gamma P_{cy} \left(\frac{dV_{cy}}{dt} \right) \right\} \quad (5)$$

- เมื่อ V_{cy} เป็นปริมาตรกระบอกสูบเมื่อเวลาใดๆ

2.4 การไหลภายในท่อไอเสีย

การไหลภายในท่อไอเสียเริ่มจากตำแหน่งด้านหลังลิ้นไอเสียเป็นต้นไปจนถึงปลายท่อไอเสีย ความดันในระบบนี้เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาเปลี่ยนไปจึงต้องวิเคราะห์ด้วยสมการการไหลแบบไม่คงที่ (Unsteady Flow)

เนื่องจากงานวิจัยนี้เน้นที่การสร้างและวิเคราะห์การกำเนิดคลื่นความดัน ดังนั้นจึงไม่นำผลการเคลื่อนที่ของคลื่นในท่อไอเสียมาพิจารณาด้วย รายละเอียดในการวิเคราะห์สามารถศึกษาจากเอกสารอ้างอิง[2,3,6,7,8,9 และ 11]

3. อุปกรณ์การวิจัยและวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์การวิจัย

3.1.1 อุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดันอย่างต่อเนื่อง

อุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดันอย่างต่อเนื่องเป็นอุปกรณ์ที่คิดแปลงจากเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ สูบซีห้อ Toyota รุ่น 1G-GE โดยมีเพลาาราวลิ้นแยกอยู่ด้านบน (Overhead Camshaft) ทำการถอดลิ้นไอดีและไอเสีย ของสูบที่ 1 ถึง 4 และสูบที่ 6 ออก เพื่อลดกำลังงานที่มอเตอร์ขับใช้ เหลือเฉพาะสูบที่ 5 ไว้ใช้ทดลอง ทำการปรับตำแหน่งการปิดและเปิดลิ้นไอดีของสูบที่ 5 ให้ต่ำไปจากเดิม 260 องศา ซึ่งมีผลให้ลิ้นไอดีเปิดในช่วงอัด (Compression) ช้ามาช่วงขยาย (Expansion) และปิดสนิทก่อนลิ้นไอเสียเปิด 38 องศา รายละเอียดทางเทคนิคหลังจากทำการดัดแปลงเครื่องยนต์แล้วมีดังนี้

เส้นผ่าศูนย์กลางกระบอกสูบ (Cylinder bore)	75	มิลลิเมตร
ระยะชัก (Stroke)	77	มิลลิเมตร
อัตราส่วนการอัด (Compression ratio)	9.5:1	
ตำแหน่งมุมเปิดปิดลิ้น (Valve timing):		
ลิ้นไอดี (Inlet Port):	เปิด	78 องศา หลัง BDC
	ปิด	80 องศา ก่อน BDC
ลิ้นไอเสีย (Exhaust port):	เปิด	42 องศา ก่อน BDC
	ปิด	6 องศา หลัง TDC

แผนผังตำแหน่งมุมเปิดปิดลิ้น (Valve timing) แสดงในรูปที่ 2

อุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดันอย่างต่อเนื่องมีมอเตอร์ไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำแบบ 4 ขั้วขนาด 2.2 kW (3 hp) เป็นเครื่องต้นกำลัง ความเร็วรอบสามารถปรับได้โดยใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบแบบปรับค่าความถี่

3.1.2 ตำแหน่งศูนย์ตายบนของอุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดันอย่างต่อเนื่อง
 ที่เพลลาซ์ของอุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดันอย่างต่อเนื่องด้านหน้า ได้ติดตั้งแผ่นงาน
 เจาะรูระบุตำแหน่งศูนย์ตายบนของอุปกรณ์กำเนิดคลื่น ใช้ข้อฟดิกคอลไดโอด (Optical
 Diode) ของ โมโตโลตรุ่น MOC 75T1 ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงที่ผ่านรูเจาะเป็นสัญญาณ
 ไฟฟ้า นำสัญญาณที่ได้มาขยายแล้วส่งไปยังเครื่องบันทึกสัญญาณต่อไป

3.1.3 อุปกรณ์วัดความดันแบบพลวัต

อุปกรณ์วัดความดันแบบพลวัตที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็น อุปกรณ์วัดความดัน
 แบบสแตมเกจ ผลิตโดยบริษัท Motorola รุ่น MPX200 สามารถวัดความดันได้สูงสุด 200 kPa
 คู่กับชุดขยายสัญญาณที่ใช้ได้รับการพัฒนาขึ้น อุปกรณ์วัดความดันแบบพลวัตและชุดขยาย
 สัญญาณได้รับการสอบเทียบเป็นระยะๆ ตลอดช่วงการทดลอง สัญญาณที่ได้ถูกส่งไปยัง
 เครื่องบันทึกสัญญาณต่อไป

3.1.4 อุปกรณ์บันทึกสัญญาณ

สัญญาณที่ได้จากเครื่องวัดความดัน และเครื่องระบุตำแหน่งศูนย์ตายบน
 ได้รับการบันทึกใน เครื่องวิเคราะห์สัญญาณพลวัต(Dynamic Signal Analyzer) ยี่ห้อ Hewlet
 Packard รุ่น HP 3570

3.1.5 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล

อุปกรณ์วัดอัตราการไหลเป็นแบบ Orifice Meter สร้างตามมาตรฐาน BS
 1042:1984 ติดตั้งอยู่ด้านหน้าถังเก็บความดันก่อนเข้าท่อท่อไอดี ความดันตกคร่อม Orifice
 Meter วัดด้วยระดับน้ำ ความดันสถิตย์ที่ทางเข้าวัดด้วยมาตรวัดความดัน (Pressure Gauge)
 อุณหภูมิที่ทางเข้าวัดด้วย Thermocouple Type K

3.2 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์การทดลองได้รับการติดตั้งโดยเรียงลำดับจาก ชุดอัดอากาศ อุปกรณ์ควบคุม
 ความดัน(Flow Regulator) อุปกรณ์วัดอัตราการไหล ถังเก็บอากาศ อุปกรณ์กำเนิดคลื่น
 ความดันอย่างต่อเนื่อง และท่อไอเสียตามลำดับ ที่ปลายเพลลาซ์ด้านหน้าของอุปกรณ์กำเนิด
 คลื่นความดันอย่างต่อเนื่องได้ติดตั้งเครื่องระบุตำแหน่งศูนย์ตายบนของอุปกรณ์กำเนิดคลื่น
 ติดตั้งอุปกรณ์วัดความดันแบบมาตรวัดที่ถังเก็บอากาศ ติดตั้งอุปกรณ์วัดความดันแบบพลวัต
 หนึ่งตัวที่ตำแหน่งหัวเทียนเครื่องยนต์ และอีกหนึ่งตัวที่ตำแหน่งต่างๆที่ต้องการศึกษา รายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองแสดงในรูปที่ 3

3.3 วิธีทดลอง

ในการดำเนินการทดลองเพื่อศึกษาการทำงานของอุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดันอย่างต่อเนื่องมีขั้นตอนดังนี้

3.3.1 การสอบเทียบอุปกรณ์วัดความดันแบบพลวัตและชุดขยายสัญญาณ

อุปกรณ์วัดความดันแบบพลวัตและชุดขยายสัญญาณได้รับการสอบเทียบเป็นระยะๆ ตลอดช่วงการทดลองโดยสอบเทียบกับมาตรวัดความดันมาตรฐาน(Standard Gauge)และอ่านข้อมูลจากเครื่องบันทึกสัญญาณ ดังนั้นจึงเป็นการสอบเทียบแบบรวบยอด (Overall Calibration)

3.1.2 การวัดค่าความดันในกระบอกสูบ

ปรับอุปกรณ์ควบคุมความดันและอ่านค่าความดันที่มาตรวัดความดันให้อยู่ที่ค่าที่ต้องการทดสอบ เครื่องมือระดับอุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดันอย่างต่อเนื่อง วัดค่าความดันในกระบอกสูบด้วยอุปกรณ์วัดความดันแบบพลวัต บันทึกข้อมูลลงในเครื่องบันทึกสัญญาณ

3.1.3 การวัดค่าความดันในท่อไอเสีย

การทดลองวัดค่าความดัน ณ ตำแหน่งต่างๆในท่อไอเสียดำเนินการ โดยใช้ อุปกรณ์วัดความดันแบบพลวัต วัดค่าความดันที่รูเจาะ การทดลองในส่วนนี้ต้องวัดค่าความดันในกระบอกสูบควบคู่พร้อมกันไปด้วยเพื่อใช้เป็นความดันอ้างอิง

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการทดลอง

ผลที่ได้การทดลองแสดงในรูปที่ 4 และ 5 ดังมีรายละเอียดดังนี้

รูปที่ 4 เป็นผลที่ได้จากการวัดค่าความดันในกระบอกสูบเมื่อตั้งค่าความดันในถังเก็บอากาศเป็น 1.38 และ 2.76 bar(gauge) ตามลำดับ ความเร็วรอบของอุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดันอย่างต่อเนื่องอยู่ที่ 1420 รอบต่อนาที จากนั้นจึงนำผลการทดลองทั้งสองครั้งมาเปรียบเทียบกันโดยมีเส้นระบุตำแหน่งของลูกสูบประกอบ ถ้าเริ่มต้นพิจารณาตั้งแต่ก่อนถึง TDC พบว่าความดันสูงขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งเป็นตำแหน่งสิ้นไอคิเปิด เมื่อความดันถึงค่าสูงสุดแล้วจึงเกิดการแกว่งกวัดของความดันจำนวน 4 ครั้งมีคาบเวลา 4.9 ms เมื่อถึงตำแหน่งสิ้นไอเสีย เปิดค่าความดันลดต่ำลงอย่างรวดเร็วและหยุดอยู่ที่ความดันบรรยากาศ เมื่อสิ้นไอเสียปิด(ขณะนั้นสิ้นไอคิยังปิดอยู่) และลูกสูบเคลื่อนที่ลง ความดันในกระบอกสูบก็ลดต่ำลงโดยมีค่าต่ำกว่าบรรยากาศ วัฏจักรครบรอบเมื่อสิ้นไอคิเปิดอีกครั้งหนึ่ง

เมื่อพิจารณาเส้นกราฟที่ความดันที่ติดตั้งไว้ต่างกันพบว่า เส้นกราฟทั้งสองพบมีลักษณะคล้ายคลึงกันมีความแตกต่างอยู่ที่ค่า ความดันสูงสุดซึ่งเป็นไปตามค่าที่ได้ติดตั้งไว้ในถังเก็บอากาศ

รูปที่ 5 เป็นการนำอุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดันอย่างต่อเนื่องมาทดลองเก็บข้อมูลเมื่อติดตั้งท่อไอเสียขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 44.4 มิลลิเมตร ยาว 14.1 เมตร โดยมีหม้อพักแบบเฮล์มโฮลด์ขนาดความยาว 0.35 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.15 เมตร ติดตั้งอยู่ที่กึ่งกลางท่อ ความดันที่ถังเก็บอากาศตั้งไว้ที่ 2.07 bar(gauge) ตำแหน่งวัดความดันมี 5 ตำแหน่ง ได้แก่ อยู่ห่างจากถังไอเสีย 0.43 ตำแหน่งหน้าหม้อพัก 0.3 เมตร ตำแหน่งกึ่งกลางหม้อพัก ตำแหน่งหลังหม้อพัก 0.3 เมตร และตำแหน่งก่อนถึงปลายท่อหม้อพัก 0.3 เมตร ตามลำดับ หรือคิดเป็นตำแหน่งวัดจากถังไอเสีย 0.43, 7.43, 7.73, 8.03 และ 13.73 เมตร

4.2 ผลการวิเคราะห์ทางทฤษฎี

รูปที่ 6 เป็นผลการวิเคราะห์ทางทฤษฎีคำนวณค่าทุกอย่างการเคลื่อนที่ของเพลทข้อเหวี่ยง 0.5 องศา กราฟที่ได้มีลักษณะเช่นเดียวกับผลการทดลองในรูปที่ 4 ไม่ว่าค่าความดันและตำแหน่ง จุดแตกต่างมีเพียงจุดเดียวคือเมื่อถังไอเสียเปิดอยู่จะได้ค่าความดันในกระบอกสูบมีคังที่ไม่แกว่งกวัดเหมือนผลการทดลอง

5. อภิปรายผล

จากการเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการวิเคราะห์ตามทฤษฎีพบว่ามีความสอดคล้องกัน ยกเว้นเฉพาะการเกิดแกว่งกวัดของความดันภายในกระบอกสูบ ผู้วิจัยได้ศึกษารายละเอียดโดยการวัดค่าความดัน ณ.จุดต่างๆของระบบจ่ายลมเข้าท่อไอเสีย และสรุปได้ว่า ความดันในท่อด้านหลังอุปกรณ์วัดอัตราการไหลและความดันในถังเก็บอากาศไม่เปลี่ยนค่ากับเวลา แต่บริเวณท่อทางเข้าอุปกรณ์กำเนิดคลื่น พบการแกว่งกวัดของความดันโดยมีคาบเวลาเท่ากับที่เกิดขึ้นในกระบอกสูบ และมีค่าความดันใกล้เคียงกัน จึงสรุปได้ว่าการเกิดการแกว่งกวัดของความดันมีสาเหตุมาจากการสะท้อนของคลื่นความดันที่ท่อไอเสีย จึงควรที่จะดำเนินการแก้ไขต่อไป การที่ไม่ปรากฏผลในผลการวิเคราะห์ตามทฤษฎีก็เนื่องมาจากได้ใช้สมการการไหลแบบกึ่งต่อเนื่อง (Quasi-Steady Flow) ในการวิเคราะห์การไหลเข้าสู่กระบอกสูบ

6.สรุปผล

จากผลการวิจัยสรุปผลได้ดังนี้

1. อุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดันอย่างต่อเนื่องที่สร้างขึ้นสามารถใช้เป็นแทนทดสอบเพื่อจำลองคลื่นความดันที่ปล่อยออกสู่ท่อไอเสียได้
2. อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นสามารถตั้งค่าความดันที่ปล่อยออกจากกระบอกสูบได้ตามความต้องการ
3. ปัญหาที่พบคือเกิดการแกว่งกวัดของความดันขึ้นในกระบอกสูบซึ่งเป็นผลจากการสะท้อนของคลื่นความดันที่ท่อไอเสีย
4. ผลการทดลองสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ตามทฤษฎี ยกเว้นเฉพาะการเกิดแกว่งกวัดของความดันตามข้อ 3

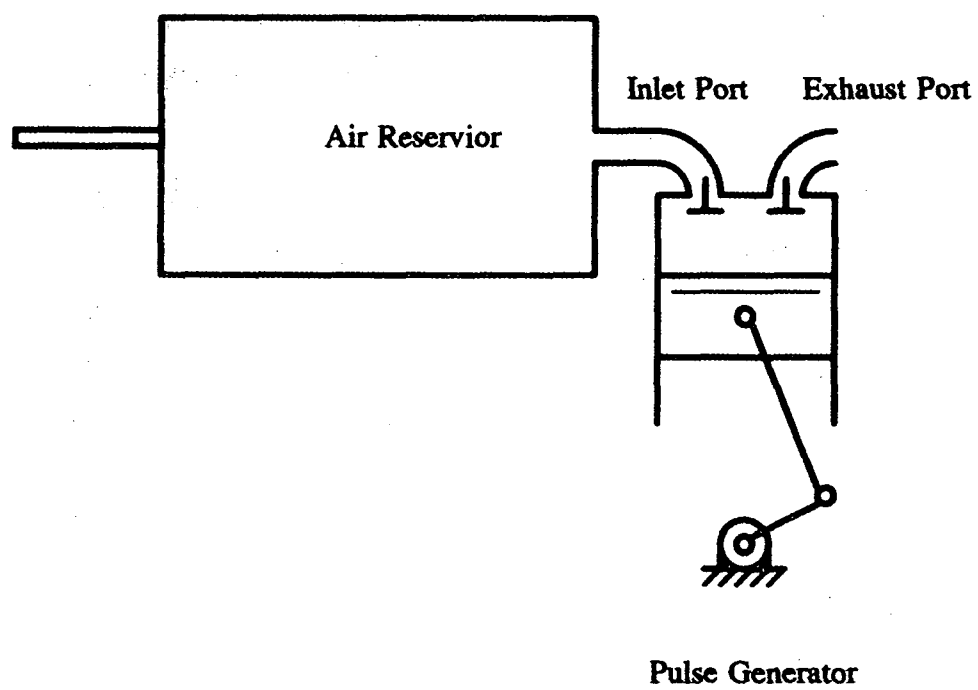
กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินการวิจัยเรื่องอุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดันอย่างต่อเนื่องนี้ได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากคุณวราพรณ์ ศศเดชากุล ซึ่งช่วยหาข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องชนิดให้ ขอขอบคุณ คร.สมชาย จันทร์ขานาที่ให้ข้อคิดเห็นที่มีประโยชน์ต่องานวิจัยชิ้นนี้เป็นอย่างยิ่ง

เอกสารอ้างอิง

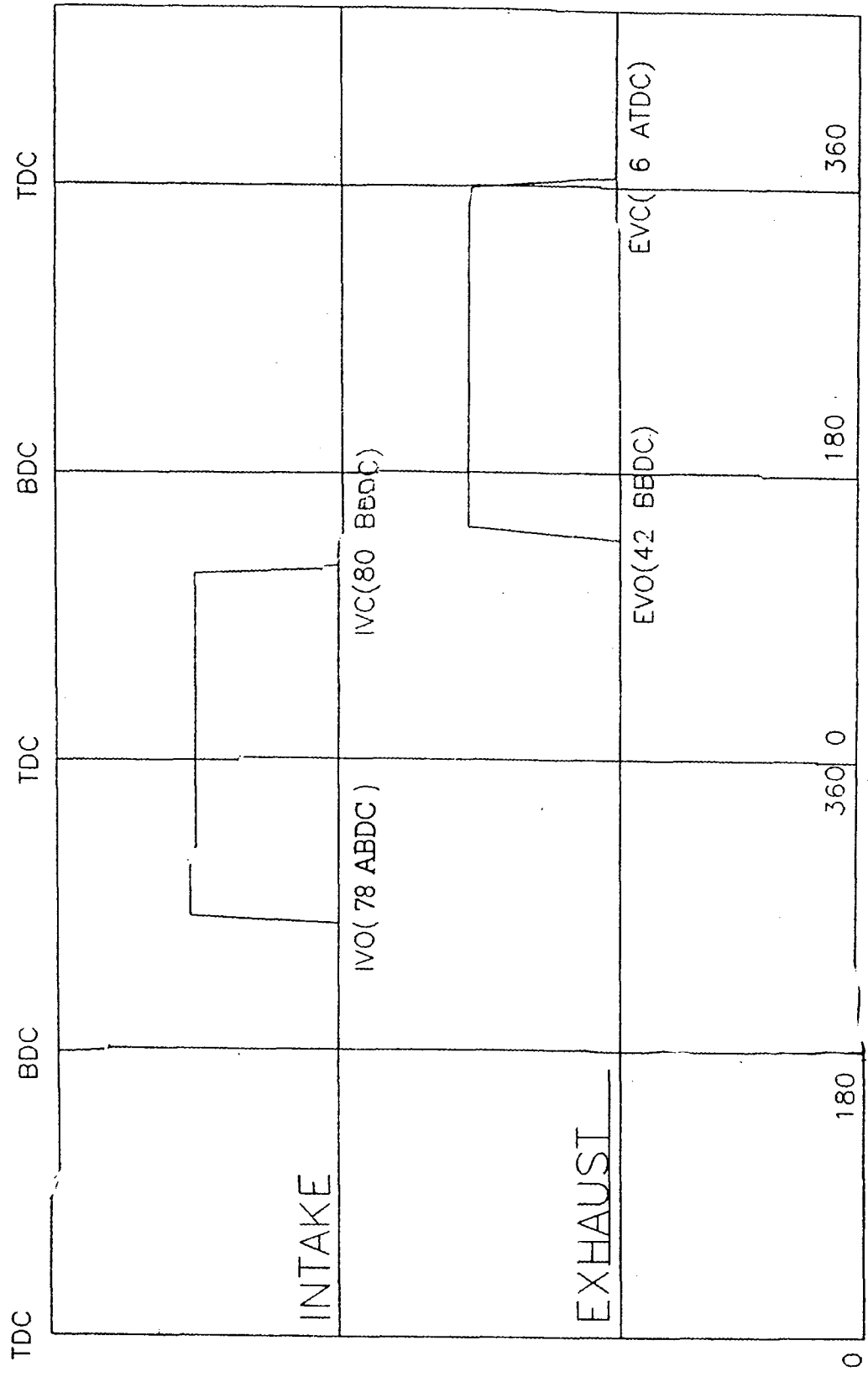
1. Ba. nnister,F.K.(1958), *Pressure Waves in Gases in Pipes*, Akroyd Stuart Memorial Lecture,University of Nottingham ,90 p.
2. Bannister,F.K. (1964),"Influence of Pipe Friction and Heat Transfer on Pressure Waves in Gase: Effects in a shock tubes," *J. of Mech. Sci.* ,Vol.6, No.3, pp. 278-292.
3. Trengrouse,G.H. and Soliman,M.M.(1966),"Effect of Sudden Changes in Flow Area on Pressure Waves of Finite Amplitude," *J. of Mech. Eng. Sci.*, Vol. 8, No. 2 (1966),pp. 198-206.
4. ทวี กิจคุณาเสถียร มานิตย์ เมืองคำ และวราพรณ์ ศศเดชากุล(2532) "อุปกรณ์ทดสอบการทำงานของท่อไอเสีย" วิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 80 หน้า

5. Ikui,T., Matsuo,K. and Yamamoto,Y.(1977), "Fast -Acting Valves for Use in Shock Tubes (Part 1, Construction and their Characteristics)," *Bulletine of the JSME*, Vol 20, No. 141, March 1977.
6. Suwantragul,B.,(1990), "Finite Amplitude Wave Propagation in a Helmholtz Resonator," *Proceedings of International Conference on Auto Technology*, Chulalongkorn University,Bangkok Thailand 12-14 November 1990.
7. วิกรม จันทร์วรชัยกุล และ บันเทิง สุวรรณตระกูล (2537) "การศึกษาการเคลื่อนที่ของคลื่นความดันขนาดใหญ่หนึ่งลูกผ่านหม้อพักแบบเฮล์มโฮลด์ซ" การประชุมใหญ่วิชาการทางวิศวกรรมประจำปี 2537 กทม 5-8 ตุลาคม 2537
8. Kirkpatrick,S.J., Blair,G.P.,Fleck,R. and McMullan,(1994),"Experimental Evaluation of 1-D Computer Codes for the Simulation of Unsteady Gas Flow Through Engines-A First Phase," *SAE International Off-Highway Meeting*, Milwaukee, September , SAE Paper No. 941685
9. Blair, G.P. , Kirkpatrick,S.J., Mackey,D.O. and Fleck,R.(1995), "Experimental Validation of 1-D Modelling Codes for Pipe System Containing Area Discontinuities," *SAE Paper No.950276*, pp. 107-120.
10. Daneshyar,H. and Pearson, R.D. (1971), "Unsteady Flow through a Four-way Branch in the Exhaust System of a Multi-cylinder Engine," *J.of Mech. Eng. Sci.* Vol. 13, No.4 pp. 253-265.
11. Benson, R.S.(1982), *The Thermodynamics and Gas Dynamics of Internal-Combustion Engines Volume I* , Oxford University Press, 580p.

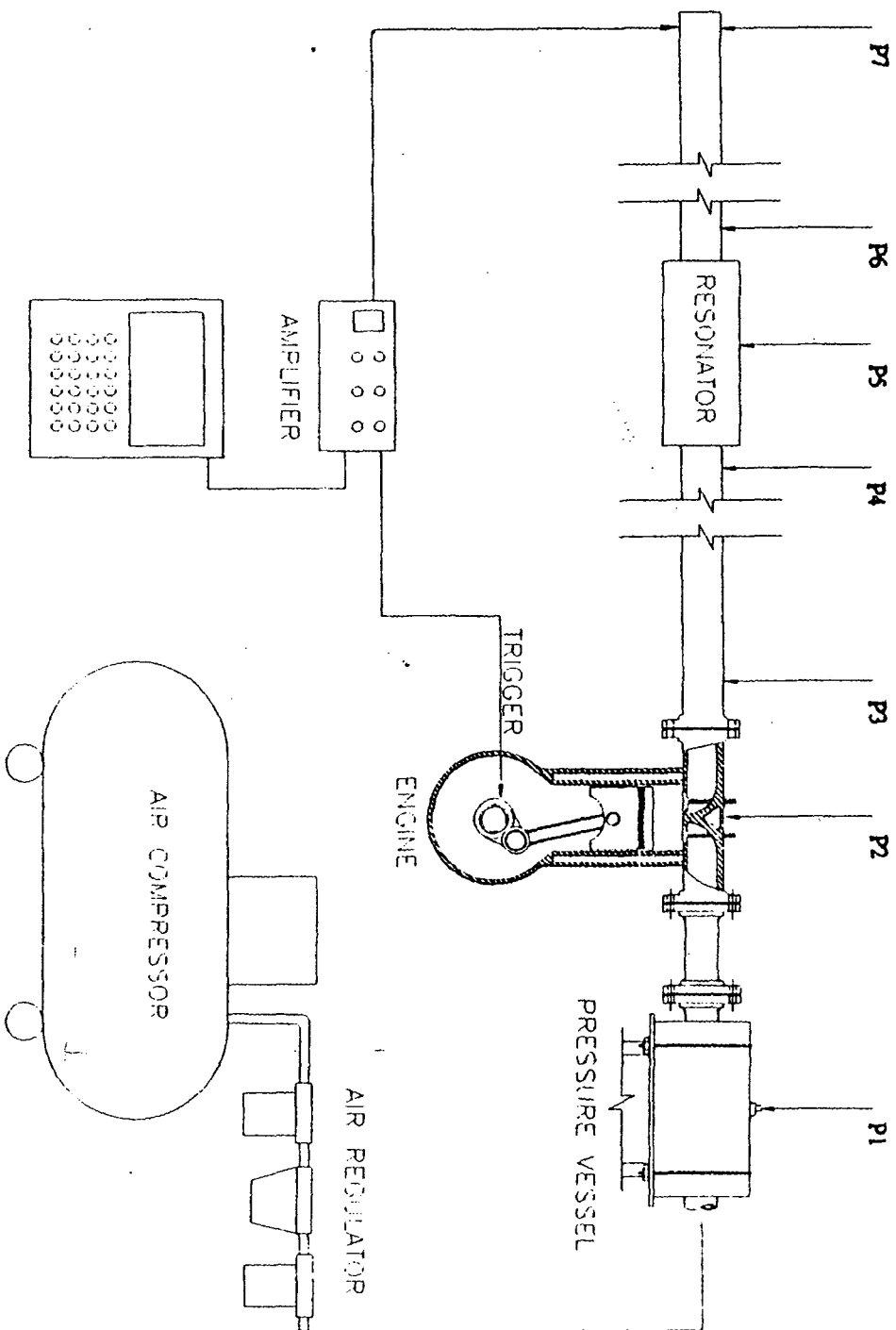


รูปที่ 1

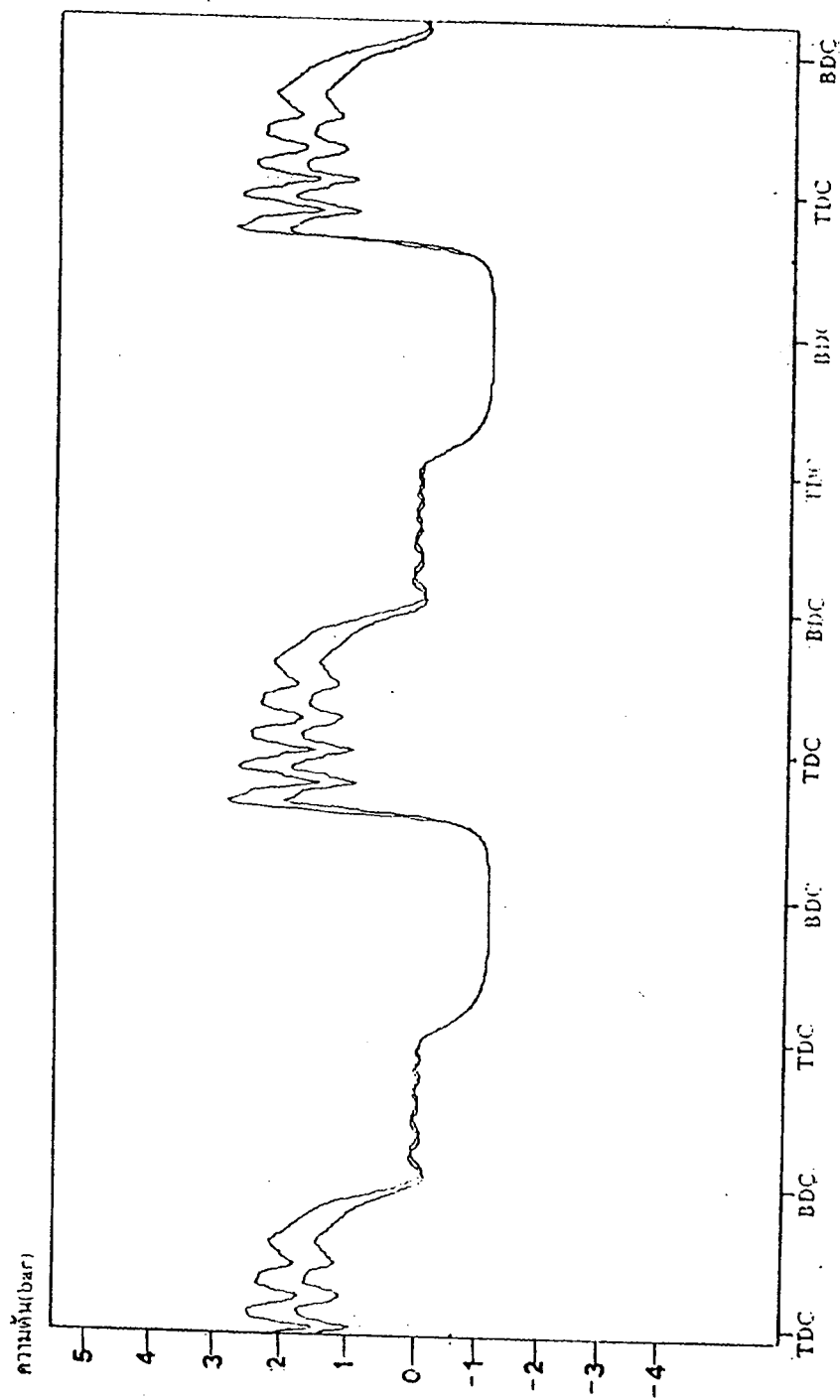
ไดอะแกรมแสดงเครื่องกำเนิดคลื่นอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 2 ไลอะแกรมตำแหน่งมุมเปิดปิดลิ้น (Valve Timing)

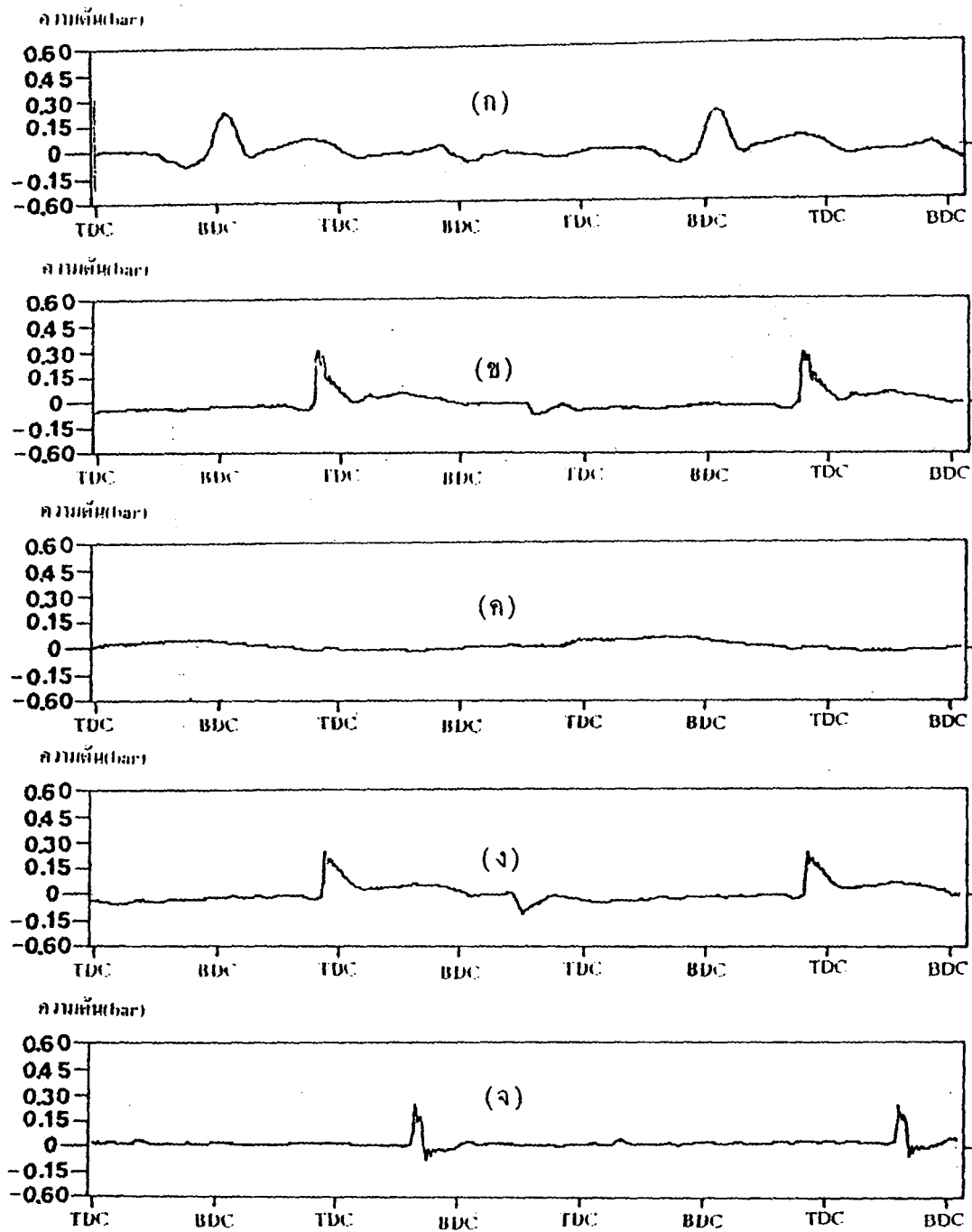


รูปที่ 3 รายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง



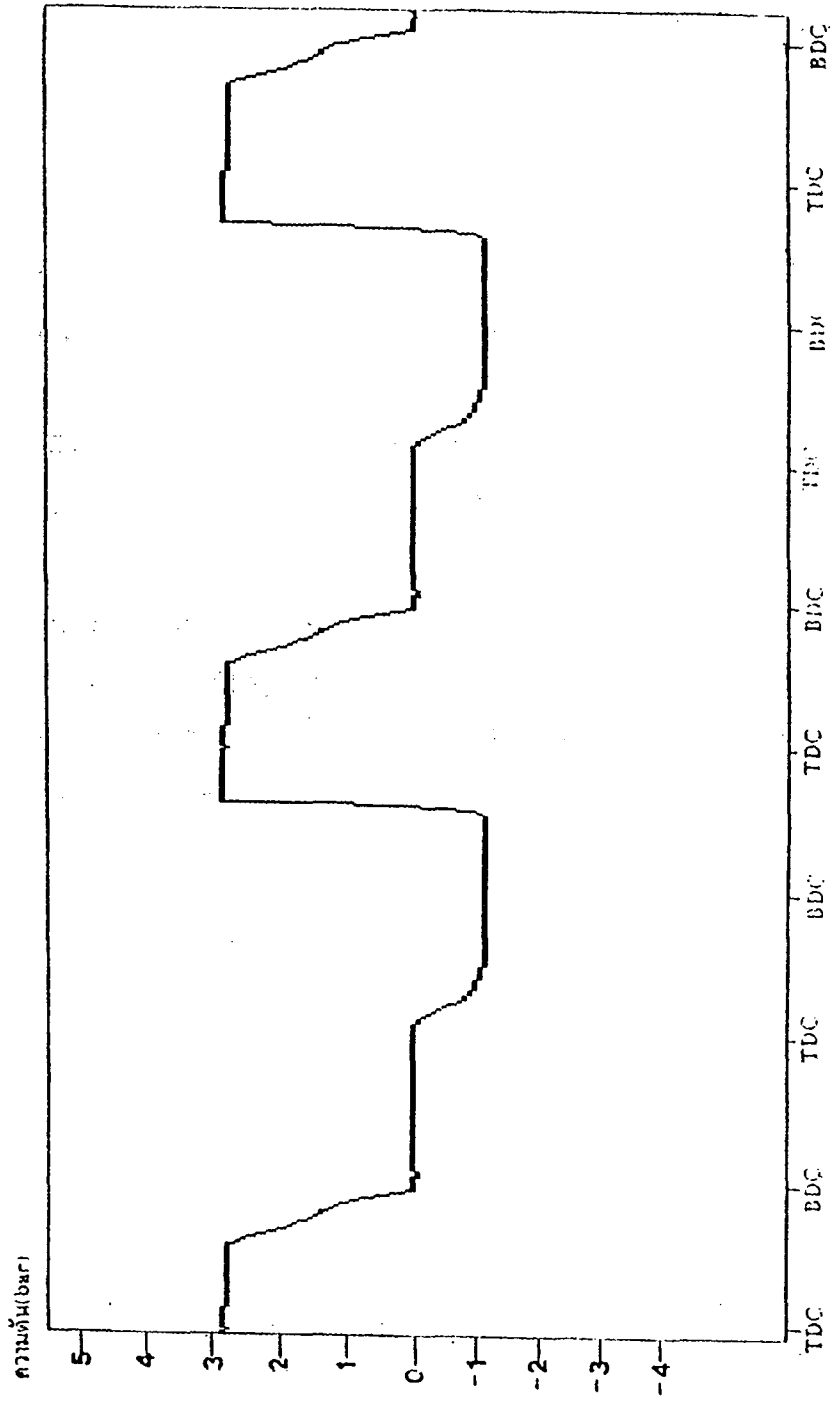
รูปที่ 4 ความดันภายในกระบอกสูบที่องศาเพลลาข้อเหวี่ยงต่างๆเมื่อจ่ายความดัน 1.379 bar

และ 2.758 bar



รูปที่ 5 แสดงรูปร่างของคลื่นความดันในท่อไอเสียเมื่อใส่หม้อพักแบบเฮล์มโฮลด์ซ์

- (ก) ที่ตำแหน่งห่างจากลิ้นไอเสีย 0.43 เมตร
- (ข) ที่ตำแหน่งก่อนหม้อพัก 0.3 เมตร
- (ค) ที่ตำแหน่งกึ่งกลางหม้อพัก
- (ง) ที่ตำแหน่งหลังจากหม้อพัก 0.3 เมตร
- (จ) ที่ตำแหน่งห่างจากปลายท่อไอเสีย 0.3 เมตร



รูปที่ 6 ความดันภายในกระบอกสูบคำนวณจากทฤษฎี ที่องศาเพลานี่ห้วงต่างๆ
เมื่อจ่ายความดัน 2.758 bar