

คุณลักษณะของคลื่นความดันหนึ่งลูกในท่อกรณีหม้อพักชนิดสะท้อนคลื่นเสียง Pressure Wave Characteristics in Pipe Installing Reflective Silencer

วิวัฒน์ อภิสิทธิ์ปัญญา¹, ดิณกร ภูวดิน¹, ไมตรี พลสงคราม¹, ปรีชา ชันติโกมล^{1*}

¹ ห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียน (RTER) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
744 ถ.สุรนารายณ์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
*ติดต่อ: E-mail: Preecha@rmuti.ac.th, โทรศัพท์ 080-4705287

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอผลการศึกษาคูณลักษณะของคลื่นความดันหนึ่งลูกในท่อตรงกรณีติดตั้งหม้อพักชนิดสะท้อนคลื่นเสียง ในการศึกษาจะทำการปล่อยคลื่นความดันหนึ่งลูกจากอุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดันที่มีขนาดความจุ 625 cm³ ใช้ท่อเรียบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 43 cm ความยาว 20 m ติดตั้งหม้อพัก ณ ตำแหน่งกึ่งกลางท่อ ใช้อากาศเป็นสารทำงาน ทดสอบที่ความดันในกระบอกสูบ 2.5 bar ทำการวัดความดันสถิต ณ ตำแหน่งออกจากห้องความดัน ตำแหน่งกึ่งกลางท่อ ตำแหน่งก่อนเข้าหม้อพัก และหลังออกจากหม้อพัก ผลที่ได้จะทำการเปรียบเทียบกับกรณีไม่ติดตั้งหม้อพัก นอกจากนั้นจะนำผลจากการคำนวณเชิงตัวเลขมาเปรียบเทียบ โดยนำเสนอรูปร่างของคลื่นความดันที่มีทิศทางไปด้านหน้า (PR) และคลื่นความดันที่มีทิศทางย้อนกลับ (PL) ผลการศึกษาพบว่า แอมพลิจูดของคลื่นความดันลดลงตามความยาวท่อ มีการสะท้อนกลับด้วยคลื่นที่มีลักษณะกลับเฟส เมื่อทำการติดตั้งหม้อพักชนิดสะท้อนคลื่นเสียง จะทำให้มีจำนวนลูกคลื่นมากกว่ากรณีไม่ติดตั้ง 2 เท่า แสดงให้เห็นว่า หม้อพักชนิดสะท้อนคลื่นเสียง มีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณลักษณะของคลื่นความดันอย่างมาก เมื่อพิจารณาความดัน ณ ตำแหน่งออกจากหม้อพัก พบว่าคลื่นความดัน มีช่วงความยาวคลื่นมากขึ้นและมีขนาดลดลงอย่างมากจนไม่มีนัยสำคัญต่อระบบ

คำหลัก: คลื่นความดัน; หม้อพักไอเสีย; คลื่นสะท้อน; ความดันสถิต

Abstract

The present research article aims to propose the characteristics of pressure wave in pipe installing the reflective silencer. The single pulse of pressure wave generated by the single pulse pressure wave generator with 625 cm³ was investigated experimentally. The smooth pipe with 43 cm inner diameter and 20 m length was employed. The reflective silencer was placed at the center of the pipe. The air was used as working fluid, which was supplied to the single pulse chamber at 2.5 bar. The static pressures were measured at the chamber exit, the center of the pipe, in front of the silencer and out of the silencer. The results of the case with and without installing the reflective silencer were compared. Moreover, the numerical result have been compared to the experimental data. The forward pressure wave (PR) and the backward pressure wave (PL) were also proposed. The results indicated the reflective pressure wave has negative phase. In the case of installing the reflective silencer, the number of waves increase twice times. It showed that the reflective silencer was influence to the pressure wave characteristics extremely. Consider at out of the silencer, the pressure wave length increase and the amplitude was greatly reduced until it is not significant to the system.

Keywords: Pressure wave; Silencer; Reflective wave; Static pressure.

1. บทนำ

ในปัจจุบันเสียงที่เกิดจากการสั่นดาบของเครื่องยนต์ สั่นดาบภายใน [1] เป็นปัญหามลภาวะทางเสียงที่สำคัญและส่งผลกระทบต่อประชาชนซึ่งเราสามารถที่จะลดระดับความดังของเสียงได้จากหม้อพักไอเสียที่มีหน้าที่ลดอุณหภูมิแก๊สไอเสีย ลดแรงดันและควบคุมการขยายตัวของไอเสียรวมถึงการลดเสียงดังจากการจุดระเบิดของเครื่องยนต์โดยไอเสียที่ออกมาจากเครื่องยนต์นั้นมีความดันสูงประมาณ $3-5 \text{ kg/cm}^2$ อุณหภูมิสูงประมาณ $600-800^\circ\text{C}$ ซึ่งแรงดันที่สูงและความร้อนนี้มีผลทำให้ไอเสียเกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็วและเกิดเสียงดัง ดังนั้นหม้อพักไอเสียจึงถูกออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหานี้ โดยหม้อพักไอเสียจะควบคุมการขยายตัวของไอเสียให้เป็นแบบซ้ำๆ และจะลดอุณหภูมิไอเสีย ก่อนระบายออกมาสู่โลกภายนอกแต่การออกแบบหม้อพักไอเสียต้องคำนึงถึงแรงดันย้อนกลับซึ่งจะบั่นทอนกำลังของเครื่องยนต์เมื่อเราเร่งเครื่องยนต์แรงดันไอเสียก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย [2-3] ปกติแล้วหม้อพักไอเสียจะมีโครงสร้างที่ซับซ้อนและยากในการวิเคราะห์โดยที่ผ่านมามีการใช้การวิเคราะห์ การออกแบบและสร้างหม้อพักไอเสียจะมุ่งเน้นการลดเสียงดัง โดยปกติได้จากการลองผิดลองถูก [4-7]

สำหรับในระบบท่อไอเสียและหม้อพักได้มีการนำเสนอการวิเคราะห์คลื่นความดัน [2-3] แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของคลื่นความดันที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ทั้งระบบสองจังหวะและสี่จังหวะ ได้มีการศึกษาทั้งวิธีการสร้างแบบจำลองและการทดลองโดยใช้โปรแกรม CFD มาทำการวิเคราะห์พบว่าคลื่นความดันมีค่าลดต่ำลงเมื่อระยะตามแนวนอนท่อเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของหม้อพักไอเสียไม่เพียงแต่ลดเสียงของเครื่องยนต์แต่ยังมีผลกระทบต่อทั้งระบบและยังมีผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์อีกด้วย [8-10] นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการแพร่กระจายของคลื่นกระแทกผ่านระบบหม้อพักไอเสียของเครื่องยนต์ โดยได้ศึกษาปรากฏการณ์จากการเคลื่อนที่ของเครื่องบินก่อนที่จะบินเร็วเหนือเสียง จะเกิดปรากฏการณ์คลื่นกระแทกกระทำต่อเครื่องบิน โดยปรากฏการณ์ดังกล่าวจะเกิดขึ้นในช่วงที่ เลขมัค (Mach number) อยู่ระหว่าง 1.01 ถึง 1.30 โดยผลการศึกษาทราบว่าคลื่นกระแทกดังกล่าวมีผลคล้ายเคียงกัน โดยทั้งคลื่นกระแทกที่เกิดขึ้นภายในหม้อพักไอเสียเสียและคลื่น

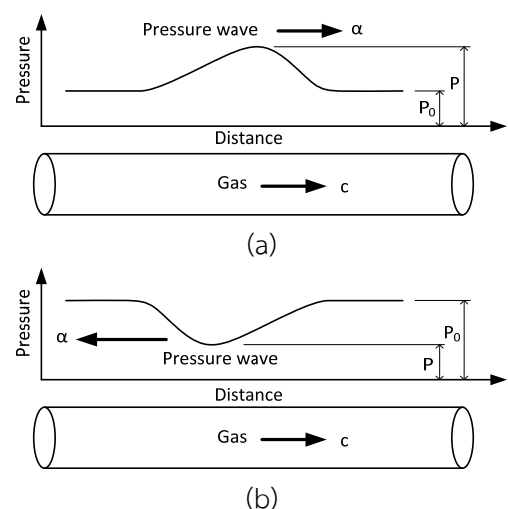
กระแทกที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของเครื่องบิน เกิดการสะท้อนในลักษณะเดียวกัน

จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะพบว่า คลื่นความดันมีผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ ซึ่งคลื่นความดันจะมีการเปลี่ยนแปลงตามลักษณะการติดตั้งท่อไอเสียและหม้อพักไอเสียดังนั้นบทความวิจัยนี้ จึงมีเป้าหมายที่จะนำเสนอผลของคลื่นความดันหนึ่งลูกกรณีติดตั้งหม้อพักไอเสียชนิดสะท้อนคลื่นเสียงทั้งการทดลองและคำนวณเพื่อศึกษาลักษณะของลูกคลื่นความดันในระบบท่อ

2. ทฤษฎี

2.1 คุณลักษณะของคลื่นความดัน

คลื่นความดันสามารถจำแนกได้เป็นสองชนิดคือ คลื่นแอมพลิจูดต่ำซึ่งมีค่าความดันต่ำหรือคลื่นเสียง (acoustic wave) และคลื่นแอมพลิจูดสูงซึ่งมีความดันสูงหรือคลื่นความดัน (pressure wave) คลื่นความดันยังจำแนกได้อีกสองรูปแบบคือ คลื่นความดันอัด (compression wave) และคลื่นความดันขยาย (expansion wave) ดังรูปที่ 1 การเคลื่อนที่ของคลื่นความดันจะเกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์ 2 ตัวคือ ความเร็วคลื่น (α) และความเร็วอนุภาค (c) คุณลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่นความดันนั้นจะเกี่ยวข้องกับค่าความดันของคลื่น (P) ความดันบรรยากาศ (P_0) และอุณหภูมิของแก๊ส (T) ด้วย Earnshaw [11] ได้นำเสนอสมการความของตัวแปรดังกล่าวในสมการที่ (1)



รูปที่ 1 คลื่นความดัน (a) คลื่นความดันอัด (b) คลื่นความดันขยาย

$$c = a_0 \left(\frac{2}{\gamma - 1} \right) \left[\left(\frac{P}{P_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{2\gamma}} - 1 \right] \quad (1)$$

เมื่อ a_0 คือความเร็วเสียงในบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเล ซึ่งความเร็วคลื่นจะมีค่าเท่ากับผลรวมของความเร็วเสียง (a) และความเร็วอนุภาค ดังสมการที่ (2)

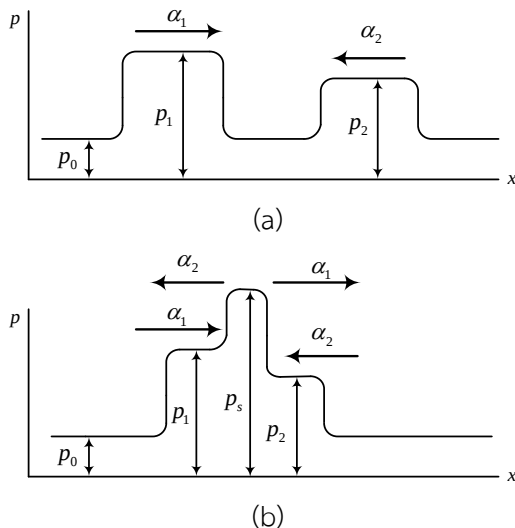
$$\alpha = c + a \quad (2)$$

ซึ่งความเร็วเสียงสามารถหาได้จากสมการที่ (3)

$$a = \left(\frac{P}{P_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{2\gamma}} \quad (3)$$

2.2 การซ้อนทับของคลื่นความดัน

รูปที่ 2 แสดงการซ้อนทับกันของคลื่นความดันสองลูกที่เคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้าม โดยที่คลื่นทั้งสองมีความเร็ว α_1 และ α_2 ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ (4) และ (5) ตามลำดับ คลื่นความดันลูกที่หนึ่งเคลื่อนที่จากซ้ายไปขวา มีค่าแอมพลิจูด P_1 และคลื่นความดันลูกที่สองเคลื่อนที่จากขวามาซ้ายมีค่าแอมพลิจูด P_2 เมื่อคลื่นที่มาพบกันจะเกิดการซ้อนทับทำให้เกิดการเสริมและหักล้างกัน



รูปที่ 2 การซ้อนทับกันของคลื่นความดันสองลูก 2
(a) คลื่นสองลูกเคลื่อนที่สวนทาง (b) บางส่วนของคลื่นเกิดการซ้อนทับ

เมื่อคลื่นความดันบางส่วนเกิดการเคลื่อนที่มาซ้อนทับกัน ทำให้ส่วนที่มีความบวกเกิดการเสริมกันขึ้นทำให้ความดัน ณ ตำแหน่งนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับผลรวมของ

แอมพลิจูดของคลื่นทั้งสองลูก เรียกว่า superposition ค่าแอมพลิจูดของคลื่นที่เกิดจากการซ้อนทับกันเรียกว่า superposition pressure wave (P_s) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 6 ในขณะที่ความอนุภาครวม (c_s) และ ความเร็วคลื่นรวม (a_s) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7) และ (8) ตามลำดับ

$$\alpha_1 = a_0 \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{2\gamma}} + a_0 \left(\frac{2}{\gamma - 1} \right) \left[\left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{2\gamma}} - 1 \right] \quad (4)$$

$$\alpha_2 = a_0 \left(\frac{P_2}{P_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{2\gamma}} + a_0 \left(\frac{2}{\gamma - 1} \right) \left[\left(\frac{P_2}{P_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{2\gamma}} - 1 \right] \quad (5)$$

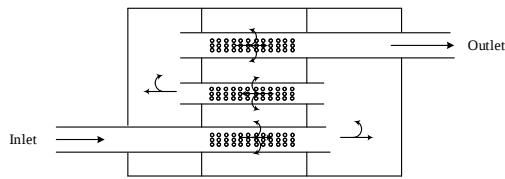
$$\left(\frac{P_s}{P_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{2\gamma}} = \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{2\gamma}} + \left(\frac{P_2}{P_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{2\gamma}} - 1 \quad (6)$$

$$c_s = a_0 \left(\frac{2}{\gamma - 1} \right) \left[\left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{2\gamma}} - \left(\frac{P_2}{P_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{2\gamma}} \right] \quad (7)$$

$$a_s = a_0 \left(\frac{P_s}{P_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{2\gamma}} \quad (8)$$

2.3 หม้อพักชนิดสะท้อนคลื่นเสียง

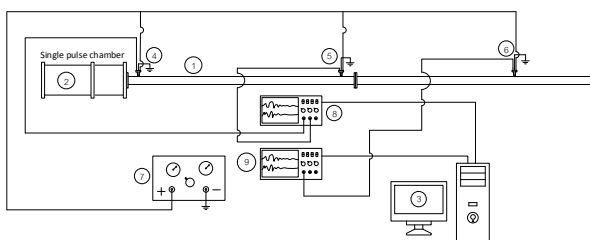
ระบบท่อไอเสียของเครื่องยนต์สันดาปภายในทุกชนิดจะมีการติดตั้งหม้อพักไอเสียชนิดสะท้อนคลื่นเสียง (reflective silencer) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความดันของเสียงที่เกิดจากการสันดาปในระบอบสูบ ให้มีค่าความดันได้ตามมาตรฐานของกรมการขนส่งทางบก ซึ่งการออกแบบนั้นโดยส่วนใหญ่ได้จากการลองผิดลองถูก ทำให้ได้รูปร่างที่ซับซ้อน ภายนอกของหม้อพักแต่ละยี่ห้อจะมีรูปแบบที่แตกต่างออกไป แต่ลักษณะของโดยทั่วไปจะเป็นไปตามรูปที่ 3 จะมีการแบ่งห้องสะท้อนออกเป็น 3 ส่วน ทำให้แก๊สไอเสียเกิดการเคลื่อนที่แบบวกไปวนมาเพื่อให้คลื่นเสียงเกิดการสะท้อนไปมาในห้องของหม้อพัก ทำให้คลื่นเกิดการหักล้างกันเอง อย่างไรก็ตามผลเสียตามมาคือทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานเนื่องเป็นจำนวนมาก ทำให้การคายไอเสียเป็นไปได้ยากขึ้น



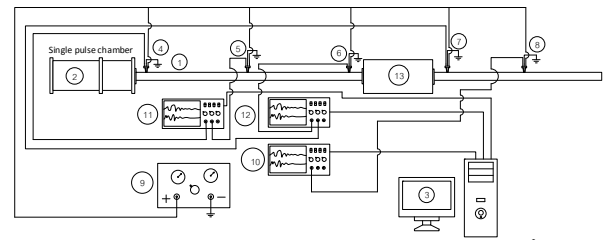
รูปที่ 3 ภาพภาพของหม้อพักชนิดสะท้อนคลื่นเสียง

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ในการทดลองนี้จะใช้กระบอกสูบนิวแมติกส์สำหรับสร้างความหนึ่งลูก ซึ่งกระบอกสูบมีปริมาตร 625 cm^3 จำลองการเปิดปิดวาล์วเช่นเดียวกับวาล์วไอเสียเครื่องยนต์ดีเซล ขนาดความจุ 2500 cm^3 ใช้อุปกรณ์นิวแมติกส์ในการควบคุมการเปิดและปิดวาล์วหนึ่งครั้ง เพื่อปล่อยคลื่นความดันเข้าสู่ระบบท่อหนึ่งลูก ท่อไอเสียจะถูกจำลองด้วยท่อผิวเรียบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 43 mm ความยาว 10 และ 20 m การทดลองจะทำการทดสอบในกรณีท่อตรงไม่มีการติดตั้งหม้อพักดังรูปที่ 4 และกรณีท่อตรงติดตั้งหม้อพัก ณ ตำแหน่งกึ่งกลางท่อที่ตำแหน่งความยาว 10 m ดังรูปที่ 5 ทำการวัดความดันด้วยเซนเซอร์ชนิดวัดความดันแตกต่างรุ่น MPX5500DP โดยทำการวัดค่าความดันสถิตที่เปลี่ยนแปลง ณ ตำแหน่ง 0.1 m หลังจากออกจากกระบอกสูบ ตำแหน่งกึ่งกลางท่อ ตำแหน่งก่อนเข้าหม้อพักชนิดสะท้อนคลื่นเสียง 0.1 m ตำแหน่งออกจากหม้อพัก 0.1 m และตำแหน่งออกจากหม้อพัก 5 m ในกรณีท่อตรงไม่ติดตั้งหม้อพัก จะทำการวัดความดันสถิต 3 ตำแหน่ง คือตำแหน่งออกจากกระบอกสูบ ตำแหน่งกึ่งกลางท่อ และตำแหน่งปลายท่อ



รูปที่ 4 แผนผังอุปกรณ์การทดลองกรณีท่อตรงไม่ติดตั้งหม้อพักชนิดสะท้อนคลื่นเสียง

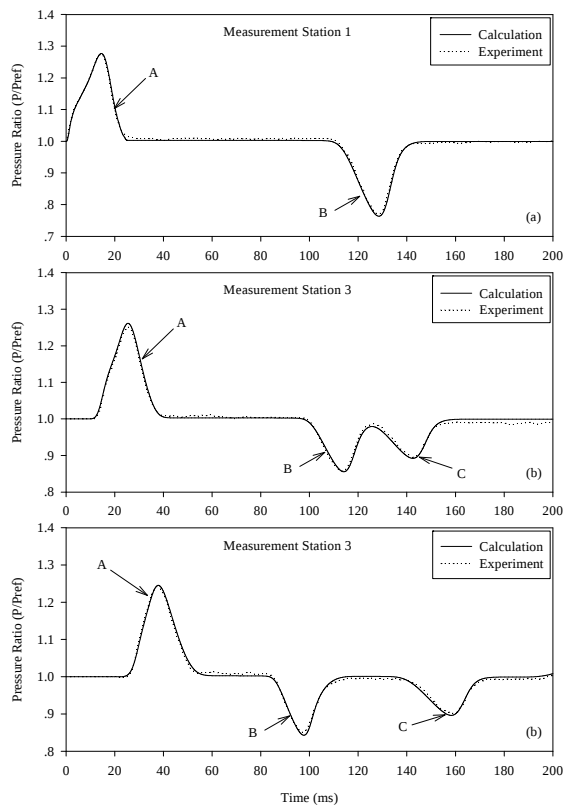


รูปที่ 5 แผนผังอุปกรณ์การทดลองกรณีท่อตรงติดตั้งหม้อพักชนิดสะท้อนคลื่นเสียง

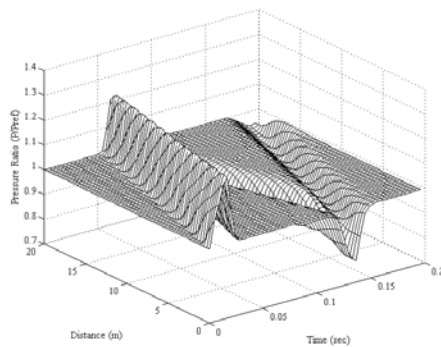
4. ผลและการวิเคราะห์ผล

4.1 รูปร่างของคลื่นความดันหนึ่งลูกในท่อตรง

รูปที่ 6 แสดง ให้คลื่นความดันเคลื่อนที่ผ่านวาล์วออกมาสู่ระบบท่อยาวทั้งหมด 20 m เส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 43 mm ใช้ Pressure Sensor วัดความดันสถิต ณ ตำแหน่งห่างจากกระบอกสูบ $0.1, 5$ และ 10 m ตามลำดับ เมื่อปล่อยความดันในกระบอกสูบเท่ากับ 2.5 bar จะได้รูปร่างของคลื่นความดันในช่วงเวลา $0 - 0.20 \text{ s}$ จากรูปที่ 6 (a) ตำแหน่งเวลา 0 คือตำแหน่งที่คลื่นความดันเริ่มเคลื่อนที่ออกจากกระบอกสูบ คลื่นความดัน A คือคลื่นความดันอัด (Compression wave) ที่ถูกปล่อยออกจากอุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดันกระบอกสูบ ซึ่งกำลังเคลื่อนที่ไปยังปลายท่อ คลื่นความดัน B คือคลื่นความดันขยาย (Expansion wave) ที่เกิดจากคลื่นความดัน A ตกกระทบ แล้วสะท้อนกลับจากปลายเปิด โดยคลื่นความดัน B มีลักษณะกลับเฟสกับคลื่นความดัน A และมีทิศทางการเคลื่อนที่กลับมายังอุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดัน เมื่อคลื่นความดันกลับมาถึงอุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดัน จะตกกระทบในลักษณะเฟสเดียวกัน เนื่องจากวาล์วปิดแล้ว จึงทำให้เป็นขอบเขตปลายปิด ซึ่งในที่นี้คือคลื่นความดัน C ดังรูปที่ 6 (c) เมื่อเปรียบเทียบกับผลการคำนวณพบว่าสอดคล้องกันเป็นอย่างดี เมื่อแสดงลักษณะของคลื่นความดันเป็นแบบ 3 มิติ ดังรูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่าคลื่นความดันเคลื่อนที่อย่างราบเรียบทั้งไปและกลับตลอดท่อ อย่างไรก็ตามจะพบว่าแอมพลิจูดลดลงค่อนข้างมาก ซึ่งเกิดจากผลของความเสียดทานของการเคลื่อนที่ของอนุภาคในท่อ



รูปที่ 6 รูปร่างของคลื่นความดันหนึ่งลูกเคลื่อนที่ในท่อตรง เมื่อความดันสมบูรณ์ในกระบอกสูบเท่ากับ 2.5 bar ที่ระยะห่างจากกระบอกสูบ (a) 0.1 เมตร (b) 5 เมตร (c) 10 เมตร



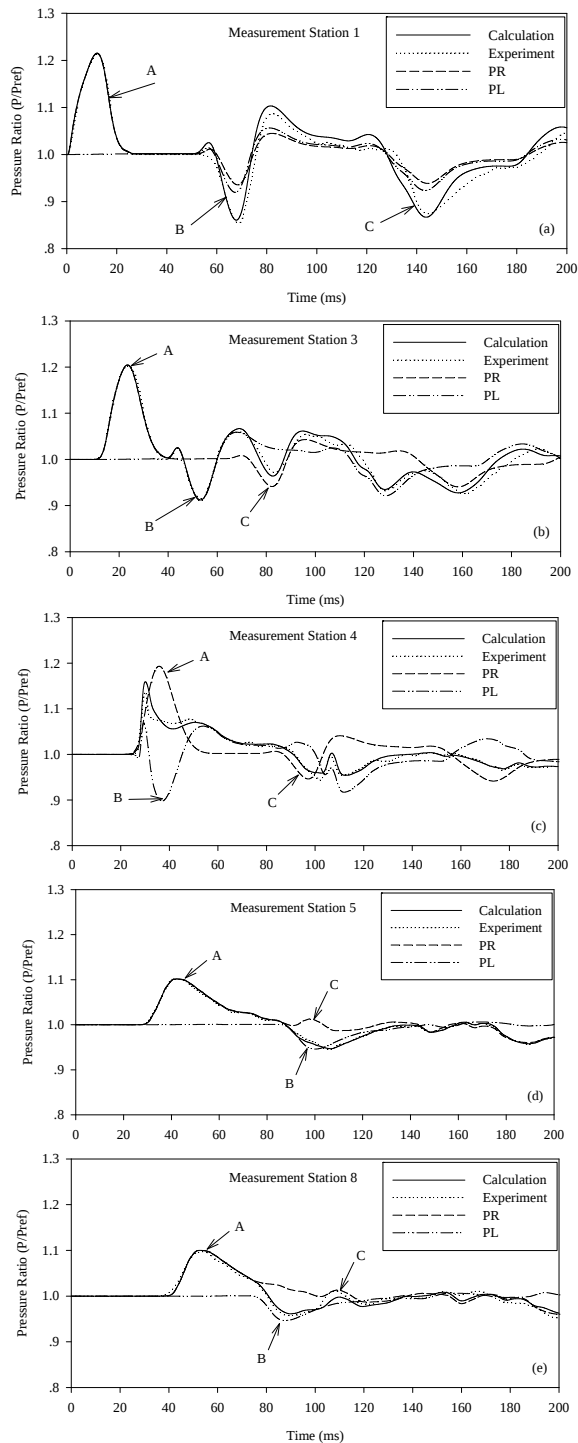
รูปที่ 7 แสดงรูปร่างของคลื่นความดันหนึ่งลูกในท่อตรงแบบสามมิติ เมื่อปล่อยความดันสมบูรณ์ในห้องความดันเท่ากับ 2.5 bar

4.2 รูปร่างของคลื่นความดันหนึ่งลูกในท่อตรงกรณีติดตั้งหม้อพัก

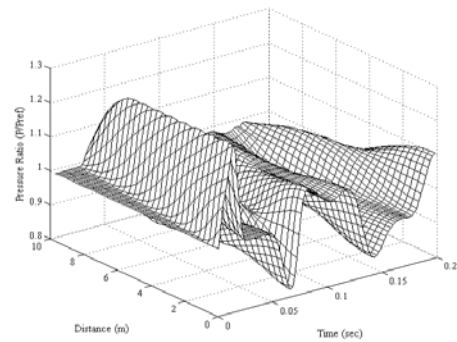
เมื่อติดตั้งเครื่องมือทดสอบดังรูปที่ 5 โดยการติดตั้งหม้อพักชนิดสะท้อนเสียง (Reflection silencer) แล้วปล่อยคลื่นความดัน 2.5 bar จากกระบอกสูบเข้าสู่ระบบท่อ จะได้รูปร่างของความดันในช่วงเวลา 0 - 0.2 วินาที

ดังแสดงในรูปที่ 8 รูปร่างคลื่นความดัน A คือคลื่นความดันอัด ที่ถูกปล่อยออกจากอุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดันหนึ่งลูกจากกระบอกสูบ และกำลังเคลื่อนที่ไปยังปลายท่อ เมื่อคลื่นความดัน A เคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งวัดที่ 4 ดังรูปที่ 8 (c) เคลื่อนที่ผ่านหม้อพัก จะมีคลื่นสะท้อนกลับ ได้แก่คลื่นความดัน B มีลักษณะกลับเฟสกับคลื่นความดัน A และมีทิศทางการเคลื่อนที่กลับมายังอุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดัน จะตกกระทบและสะท้อนในลักษณะเฟสเดียวกัน เนื่องจากวาล์วปิดแล้ว จึงทำให้เป็นขอบเขตปลายปิด ซึ่งในที่นี้คือคลื่นความดัน C ดังรูปที่ 8 (a),(b),(c) หลังจากเคลื่อน A เคลื่อนที่ผ่านหม้อพักมาถึงตำแหน่งวัดที่ 5 คลื่นความดันจะมีแอมพลิจูดลดลงและจะสังเกตได้ว่าคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านหม้อพัก จะมีช่วงเวลาในการเคลื่อนที่นานขึ้น เนื่องจากการประจุความดันในหม้อพักและคายออกมา ดังคลื่น A ในรูปที่ 8 (d) สังเกตเห็นว่าคลื่นความดันที่เคลื่อนที่ไปทางขวามือ (PR) และคลื่นความดันที่เคลื่อนที่ไปทางซ้ายมือ (PL) จะเกิดการรวมตัวกันอยู่ตลอดเวลา

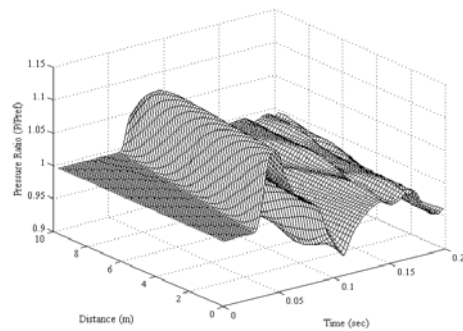
รูปที่ 9 และ 10 แสดงรูปร่างของคลื่นความดันในท่อหน้าหม้อพักและหลังจากออกจากหม้อพักไอเสียชนิดสะท้อนคลื่นเสียง แสดงให้เห็นว่ารูปคลื่นลูกแรกจะมีแอมพลิจูดสูงและจะลดลงตามความยาวท่อและระยะเวลา สังเกตเห็นว่าจำนวนลูกคลื่นในท่อด้านหน้าหม้อพักจะมีจำนวนมากขึ้น เกิดการซ้อนทับแบบเสริมและหักล้างกันเป็นสองเท่า ส่งผลให้ความถี่เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามพบว่าค่าแอมพลิจูดจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อพิจารณาคลื่นความดันในท่อด้านที่ออกจากหม้อพัก จะมีมีค่าแอมพลิจูดลดลงอย่างมาก มีจำนวนลูกคลื่นเพิ่มขึ้นแต่มีขนาดแอมพลิจูดมีค่าน้อยมากจนไม่นับสำคัญต่อระบบ นั่นแสดงให้เห็นว่า การติดตั้งหม้อพักคลื่นความดันที่สะท้อนกลับไปตามด้านหน้าหม้อพักมีผลต่อระบบท่อไอเสียอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 8 รูปร่างของคลื่นความดันหนึ่งลูกเคลื่อนที่ในท่อตรงกรณีติดตั้งหม้อพัก เมื่อปล่อยความดันสมบูรณ์ในกระบอกสูบเท่ากับ 2.5 บาร์ ที่ระยะห่างจากกระบอกสูบ (a) 0.1 เมตร (b) 5 เมตร (c) 10 เมตร (ตำแหน่งหน้าหม้อพัก) (d) หลังหม้อพัก 5 เซนติเมตร และ (e) หลังหม้อพัก 4.5 เมตร



รูปที่ 9 รูปร่างของคลื่นความดันหนึ่งลูกในท่อตำแหน่งหน้าหม้อพัก



รูปที่ 10 รูปร่างของคลื่นความดันหนึ่งลูกในท่อตำแหน่งหลังหม้อพัก

5. สรุป

จากการศึกษาคุณลักษณะของคลื่นความดันหนึ่งลูกในท่อกรณีหม้อพักชนิดสะท้อนคลื่นเสียง เชิงเปรียบเทียบทั้งผลจากการคำนวณเชิงตัวเลขและผลการทดลอง โดยนำเสนอการเคลื่อนที่ของคลื่นความดันหนึ่งลูกในท่อตรงกรณีไม่ติดตั้งหม้อพักเปรียบเทียบกับกรณีติดตั้งหม้อพักชนิดสะท้อนคลื่นเสียง สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 คลื่นความดันหนึ่งลูกในท่อตรงกรณีไม่ติดตั้งหม้อพักมีลักษณะการเคลื่อนที่ไปตามท่อด้วยแอมพลิจูดที่ลดลงเล็กน้อยเนื่องจากผลของความเสียดทานและสะท้อนกลับในลักษณะกลับเฟสที่ปลายท่อทางเปิดอย่างราบเรียบไม่ซับซ้อน

5.2 กรณีติดตั้งหม้อพักชนิดสะท้อนคลื่นเสียงในระบบท่อ จะส่งผลต่อคลื่นความดันในระบบท่ออย่างมาก คลื่นความดันจะมีการสะท้อนกลับมายังด้านหน้าท่อบางส่วน ส่งผลให้คลื่นความดันมีความถี่เพิ่มขึ้นแอมพลิจูดความดันค่อนข้างสูงเนื่องจากเกิดการเสริมจากคลื่น

สะท้อน แสดงให้เห็นว่าหม้อไอเสียส่งผลต่อคลื่นความดันในท่อด้านขาเข้าอย่างมีนัยสำคัญ

5.3 คลื่นความดันเมื่อออกจากหม้อพักจะมีค่าแอมพลิจูดลดลงอย่างมากเนื่องจากผลการสูญเสียพลังงานในหม้อพัก ค่าความถี่ของคลื่นยังคงไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แสดงให้เห็นว่าคลื่นความดันที่ต่ำลงอย่างมากด้านขาออก ไม่มีนัยสำคัญต่อคลื่นความดันด้านหน้าท่อ

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่สนับสนุนทุนวิจัย พื้นที่ทำวิจัย และเครื่องมือสำหรับทำวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] วิกรม จันทรรักษ์กุล (2536). การศึกษาการเคลื่อนที่ของคลื่นความดันขนาดใหญ่หนึ่งลูกผ่านหม้อพักแบบเฮล์มโฮลต์ซ, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [2] Blair, G. P. (1999), Design and Simulation of Four-Stroke Engines, Warrendale, Society of Automotive Engineers, pp. 1-405.
- [3] Benson, R.S. (1982). The Thermodynamics of Internal Combustion Engines, Vol.1, Oxford, Clarendon press, pp.13-77.
- [4] Panigrahi S.N., Munjal, M.L. (2007). A generalized scheme for analysis of multifarious commercially used mufflers, *Applied Acoustics*, Vol. 68, pp. 660-681
- [5] Shao, Y.L. (2011). A study on exhaust muffler using a mixture of counter-phase counteract and split-gas rushing. *Proc. Eng.*, Vol. 15, pp. 4409-4413.
- [6] Yasuda, T., Wu, C., Nakagawa, N. and K. Nagamura, (2013). Studies on an automobile muffler with the acoustic characteristic of low-pass filter and Helmholtz resonator. *Appl Acoust.*, Vol.74 (1), pp. 49-57.
- [7] Mimani, A. and Munjal, M.L. (2011). Transverse plane wave analysis of short elliptical chamber mufflers: An analytical

approach. *J. Sound Vib.*, Vol. 330(7), pp. 1472-1489.

[8] Wallace, F.J. (1954). Wave Action in Diffusers for Pipe System Scavenging Two-Stroke Engines, *Engineering*, Vol.178, pp.524-528.

[9] Benson, R.S., Garg, R.D. and Woollatt, D.A., (1964), A Numerical Solution of Unsteady Flow Problems, *International Journal of Mechanical Science*, Vol.6, No.1, pp.177-114.

[10] Benson, R.S., Baruah, P.C. and Whelan, B. (1975), "Simulation Model for Crankcase Compression Two-Stroke Spark-Ignition Engine Including Intake and Exhaust Systems, *Proceeding Institution of Mechanical Engineers*, Vol.189, pp.167-175

[11] Banister, F.K. and Mucklow, G.F. (1948). Wave Action Following Sudden Release of Compressed Gas from Cylinder, *Proceeding Institution of Mechanical Engineering's*, Vol.159, pp.269.