

การศึกษาเชิงทดลองคลื่นความดันหนึ่งลูกในระบบท่อกรณีติดตั้งหม้อพักชนิดสะท้อนเสียง

Experimental Study of Pressure Wave in Pipe System Installing Reflective Silencer

ปรีชา ชันติโกมล¹ สมภพ ญาติฉิมพลี² ไมตรี พลสงคราม¹ วิวัฒน์ อภิลิทธิภักดี¹

Received: June, 2014; Accepted: September, 2014

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเชิงทดลองคลื่นความดันหนึ่งลูกในระบบท่อ กรณีติดตั้งหม้อพักชนิดสะท้อนเสียง ในการศึกษาใช้อุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดันแบบหนึ่งลูกขนาดความจุ 625 cm³ ซึ่งจำลองเท่ากับปริมาตรหนึ่งกระบอกสูบของเครื่องยนต์ดีเซลสี่สูบความจุ 2500 cm³ ควบคุมการเปิดปิดวาล์วกระบอกสูบด้วยชุดนิวแมติกส์ ใช้ท่อตรงทองเหลืองเส้นผ่าศูนย์กลาง 43 mm ยาว 6 m กรณีติดตั้งหม้อพักไอเสียชนิดสะท้อนคลื่นเสียงจะติดตั้ง ณ ตำแหน่ง 1/2 ของความยาวท่อ ทำการวัดความดันสถิต ณ ตำแหน่งห่างจากกระบอกสูบ 0.1 m, 2.5 m และ 5.9 m สำหรับกรณีท่อตรงและสำหรับกรณีติดตั้งหม้อพัก จะทำการวัดความดันตำแหน่งห่างจากกระบอกสูบ 0.1 m ตำแหน่งหน้าหม้อพัก 0.5 m หลังออกจากหม้อพัก 2 m และตำแหน่งปลายท่อ 1 m ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ความดันเมื่อออกจากอุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดันแบบหนึ่งลูกเข้าสู่ระบบท่อ จะมีค่าความดันลดลงอย่างมาก แต่อย่างไรก็ตาม ยังมีค่าสูงกว่าความดันบรรยากาศ ขนาดแอมพลิจูดของคลื่นความดันจะลดลงตามความยาวของท่อเนื่องจากผลของความเสียดทาน เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ถึงปลายท่อจะมีการสะท้อนความดันย้อนกลับที่มีค่าต่ำกว่าบรรยากาศหรือกลับเฟส เมื่อติดตั้งหม้อพักชนิดสะท้อนเสียง

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา

² วิทยาลัยเทคนิคปักธงชัย นครราชสีมา

E - mail : Preecha@rmuti.ac.th

จะมีการสะท้อนคลื่นจากหม้อพักในลักษณะกลับเฟสเสมือนปลายท่อเปิด และมีจำนวนลูกคลื่นเพิ่มเป็นสองเท่าของกรณีที่ไม่ติดตั้งหม้อพัก เห็นชัดเจนว่าคลื่นความดันเมื่อเคลื่อนที่ผ่านหม้อพักจะยังคงมีเฟสเช่นเดิม แต่มีขนาดแอมพลิจูดลดลงอย่างมาก และจะมีการสิ้นสุดอย่างรวดเร็วจากการสะท้อนเพียงไม่กี่ครั้ง

คำสำคัญ : คลื่นความดัน; ระบบท่อ; หม้อพัก; ความดันสถิต

Abstract

This research aims to experimentally study the pressure wave in pipe system installing a reflective silencer. In the present study, the single pulse pressure wave generator with volume 625 cm^3 that is the same as a cylinder volume of 2500 cm^3 four strokes diesel engine have been prepared. The pneumatic system has been employed to control the valve. The 43 mm inner diameter brass with 6 m length was tested. In the case of installing reflective silencer, it was placed at center of the pipe. Several pressure sensors were employed to measure the real time static pressure at the positions 0.1, 2.5 and 5.9 m from the pressure wave generator for the pipe without the reflective silencer. In the case with the reflective silencer, the static pressures were measured at position 0.1 from the cylinder, 0.5m in front of the silencer, 2 m after the silencer and 1 m from the end. The results indicated that there were extremely pressure drop across the valve but it was higher than the atmospheric pressure. The amplitude of pressure wave gradually decreases along the pipe due to the effect of friction. When the pressure wave propagates to the open end of the pipe, the pressure wave was reflected with phase change that is vacuum pressure. The installing reflective silencer affects to the reflection of pressure wave, which have the phase change as the open end. There were double pressure waves occur in pipe at the upstream side. Obviously, the phase of the throughout pressure wave across the reflective silencer did not change but the amplitude extremely decrease. The pressure wave was rapidly vanished in a few reflection times.

Keywords : Pressure wave; Pipe system; Silencer; Static pressure

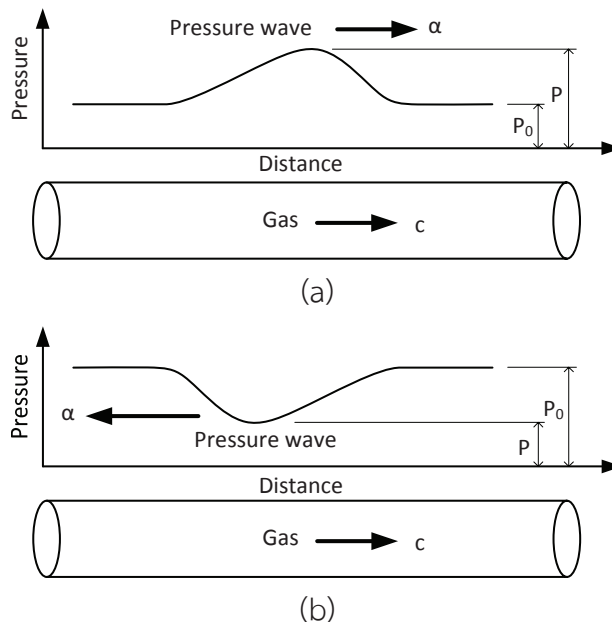
บทนำ

หม้อพักไอเสียเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในระบบไอเสียเครื่องยนต์ ซึ่งประสิทธิภาพการทำงานของหม้อพักไอเสียจะมีผลต่อระดับความดันของเสียงของเครื่องยนต์ และมีผลต่อการสูญเสียกำลังของเครื่องยนต์ด้วย มีนักวิจัยหลายคน (Panigrahi S N, Munjal M L., 2007; Shao Y L., 2011; Yasuda T, 2013; Mimani A and Munjal M L., 2011; Banister F K and Mucklow GF, 1948) ได้ศึกษาเกี่ยวกับหม้อพักไอเสียของรถยนต์หรือเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Panigrahi S N, Munjal M L., 2007) ซึ่งเป็นจุดสำคัญของหม้อพักไอเสียรถยนต์เชิงพาณิชย์ด้วย ปกติแล้วก็มีโครงสร้างที่ซับซ้อนและยากในการวิเคราะห์ (Panigrahi S N, Munjal M L., 2007) เพื่อที่จะแก้ปัญหาเกี่ยวกับหม้อพักไอเสียแบบดั้งเดิม เช่น เรื่องของการลดเสียงในช่วงความถี่ต่ำ ความถี่สูงและความต้านทานไอเสีย (Shao Y L., 2011; Yasuda T, 2013) จึงได้มีการศึกษาทั้งวิธีการสร้างแบบจำลองและการทดลอง (Banister F K and Mucklow GF, 1948) จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสนามการไหลภายในและสนามเสียงของหม้อพักไอเสีย มีความซับซ้อนมาก ประสิทธิภาพการทำงานของหม้อพักไอเสียมีผลกระทบไม่เพียงแค่ลดเสียงของเครื่องยนต์แต่ยังมีผลกระทบต่อทั้งระบบ และนอกจากนั้นยังมีผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์อีกด้วย โดยส่วนใหญ่จะนิยมใช้วิธีทางความถี่ (Frequency domain) (Panigrahi S N, Munjal M L., 2007; Shao Y L., 2011; Yasuda T, 2013; Mimani A and Munjal M L., 2011; Banister F K and Mucklow GF, 1948) เพื่อออกแบบหม้อพักไอเสีย ซึ่งได้จากการลองผิดลองถูกและจากประสบการณ์ มีเป้าหมายเพื่อลดความดังเสียงของเครื่องยนต์เพียงอย่างเดียว โดยไม่ได้คำนึงถึงผลของความดันในระบบท่อไอเสีย ซึ่งความดันมีผลต่อของสมรรถนะของเครื่องยนต์เป็นอย่างมาก ต่อมาได้มีผู้ศึกษาเกี่ยวกับผลของความดันที่ชื่อว่า Wave action method เป็นทฤษฎีพื้นฐานของการเคลื่อนที่ของคลื่นความดัน (Banister F K and Mucklow GF, 1948; Kandyas I P, Stamatelos A M., 1999) นอกจากนั้นยังนำไปศึกษาการออกแบบหม้อพักไอเสียโดยนำมาวิเคราะห์ระบบท่อร่วมไอดีและท่อไอเสีย ศึกษาการเคลื่อนที่ของคลื่นความดันในกรณีติดตั้งหม้อพักไอเสียและไม่ติดตั้งหม้อพักไอเสีย ทั้งวิธีสร้างแบบจำลองและวิธีการทดลอง (Wallace F J., 1954) พบว่า คลื่นความดันมีลักษณะการเพิ่มและลดในลักษณะที่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลต่อการคายไอเสียออกจากเครื่องยนต์มีนักวิจัยได้ทำการศึกษาการเคลื่อนที่ของคลื่นความดันขนาดใหญ่ หนึ่งลูกผ่านหม้อพักแบบเซลล์โมลด์ซ (วิกกรม, 2536) โดยการปล่อยคลื่นความดันขนาดใหญ่จากเครื่องกำเนิดคลื่นความดันแบบวาล์วเปิดอย่างรวดเร็วตามแนวนอน (Fast action valve type-H) ผ่านระบบท่อเข้าสู่หม้อพักแบบเซลล์โมลด์ซ แล้วปล่อยสู่บรรยากาศ ผลการทดลองพบว่า คลื่นความดันมีค่าลดต่ำลงตามระยะทางตามแนวท่อที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากแรงเสียดทานผิวและเกิดการสะท้อนของคลื่นที่รูเจาะของหม้อพักและปลายท่อ จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า คลื่นความดันมีผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ ซึ่งคลื่นความดันมีการเปลี่ยนแปลงตามลักษณะการติดตั้งท่อไอเสียและหม้อพัก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายที่จะทำการศึกษาเชิงทดลองผลของคลื่นความดันหนึ่งลูกคลื่นในระบบท่อกรณีติดตั้งหม้อพักชนิดสะท้อนเสียง

ทฤษฎี

1) การเคลื่อนที่ของคลื่นความดันในท่อ

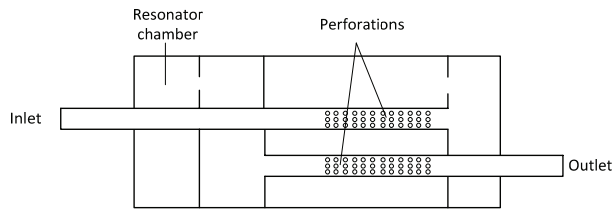
การเคลื่อนที่ของคลื่นความดันที่มีขนาดเล็กหรือคลื่นเสียง (Acoustic waves) และคลื่นที่มีความดันขนาดใหญ่หรือคลื่นแอมพลิจูดจำกัด (Finite amplitude waves) สามารถจำแนกออกเป็นสองแบบด้วยกันคือคลื่นความดันอัด (Compression waves) และคลื่นความดันขยาย (Expansion waves) ดังรูปที่ 1 (a) และ (b) ตามลำดับ โดยคลื่นทั้งสองจะเคลื่อนที่ผ่านก๊าซที่มีความดันสัมบูรณ์เท่ากับ P_0 และมีอุณหภูมิสัมบูรณ์เท่ากับ T_0 กรณีของคลื่นความดันอัดดังรูปที่ 1(a) คลื่นและอนุภาคของก๊าซเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกัน ส่งผลให้อนุภาคของก๊าซมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น สำหรับกรณีคลื่นความดันขยายดังรูปที่ 1 (b) คลื่นความดันจะเคลื่อนที่ในทิศทางตรงข้ามกับอนุภาคส่งผลให้เกิดการขยายตัวของก๊าซ



รูปที่ 1 คลื่นความดัน : (a) คลื่นความดันอัด (b) คลื่นความดันขยาย

หม้อพักชนิดสะท้อนคลื่นเสียง

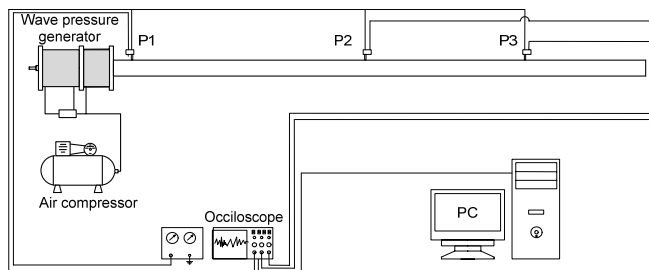
รูปที่ 2 แสดงกายภาพของหม้อพักชนิดสะท้อนคลื่นเสียง (Reflective silencer) มีหลักการทำงานดังนี้ คือ สะท้อนคลื่นเสียงกลับไปยังแหล่งต้นกำเนิดเสียง และทำหน้าที่ลดพลังงานของคลื่นเสียงลง ส่งผลต่อการลดลงของพลังงานในระบบ ดังนั้นหม้อพักไอเสียจึงส่งผลต่อพลังงานการไหลของก๊าซในระบบท่อ ซึ่งส่งผลต่อการสูญเสียพลังงานของเครื่องยนต์ หรืออาจจะส่งผลต่อการเพิ่มสภาวะของเครื่องยนต์ได้ ถ้าออกแบบหม้อพักที่เหมาะสม



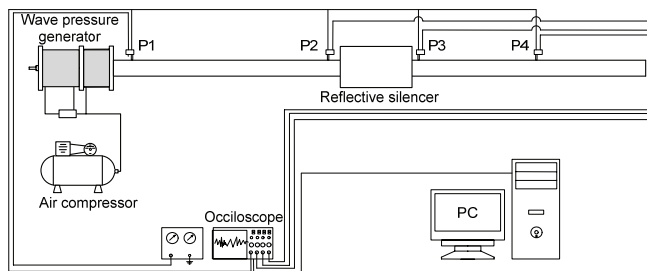
รูปที่ 2 ภาพของหม้อพักชนิดสะท้อนคลื่นเสียง

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

รูปที่ 3 และ 4 แสดงแผนผังอุปกรณ์การทดลองกรณีไม่ติดตั้งและติดตั้งหม้อพักไอเสีย ตามลำดับ ชุดอุปกรณ์การทดลองประกอบด้วย เครื่องกำเนิดคลื่นความดันชนิดหนึ่งลูกขนาดความจุกระบอกสูบ 625 cm^3 ซึ่งมีความจุเท่ากับหนึ่งสูบของเครื่องยนต์สี่สูบขนาด 2500 cm^3 มีวาล์วเปิดปิดลักษณะเช่นเดียวกับวาล์วไอศรยนต์ ควบคุมการปิดเปิดด้วยชุดนิวแมติกส์ ใช้ท่อทองเหลืองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 43 mm ยาว 6 m ติดตั้งเชื่อมต่อตรงกับกระบอกสูบ ใช้เซ็นเซอร์ MPX5500DP วัดความดันสถิตย์ ณ ตำแหน่งออกจากกระบอกสูบ 0.1 m (P1), 2.5 m (P2) และ 5.9 m (P3) ดังรูปที่ 3 สำหรับกรณีติดตั้งหม้อพัก ดังรูปที่ 4 จะทำการติดตั้งหม้อพักชนิดสะท้อนคลื่นเสียง ณ ตำแหน่งกึ่งกลางท่อทำการวัดความดันสถิตย์ 4 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งออกจากกระบอกสูบ 0.1 m (P1), ตำแหน่งก่อนเข้าหม้อพัก 0.5 m (P2) ออกจากหม้อพัก 0.1 m (P3) และตำแหน่งห่างจากทางออก 1 m (P4) ในการดำเนินการทดลอง จะทำการอัดอากาศเข้าสู่กระบอกสูบให้ได้ความดัน 3 bar ด้วยเครื่องอัดอากาศทำการเปิดวาล์วกระบอกสูบด้วยอุปกรณ์นิวแมติกส์และปิดทันที เพื่อให้เกิดคลื่นความดันหนึ่งลูกที่เคลื่อนเข้าสู่ระบบท่อ แล้วทำการวัดความดันสถิตย์แบบ Real time เพื่อศึกษาลักษณะของลูกคลื่นที่เกิดขึ้นในระบบท่อ



รูปที่ 3 แผนผังอุปกรณ์การทดลองกรณีไม่ติดตั้งหม้อพักไอเสีย

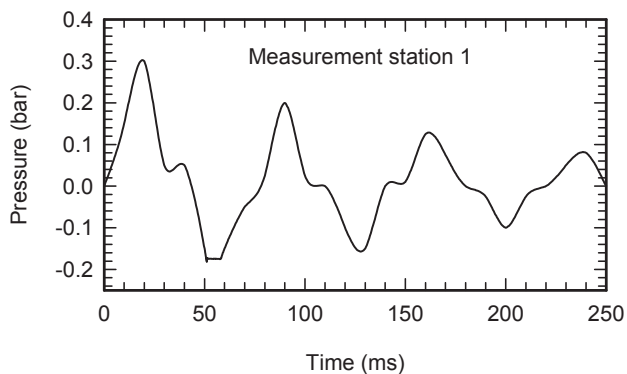


รูปที่ 4 แผนผังอุปกรณ์การทดลองกรณีติดตั้งหม้อพักไอเสีย

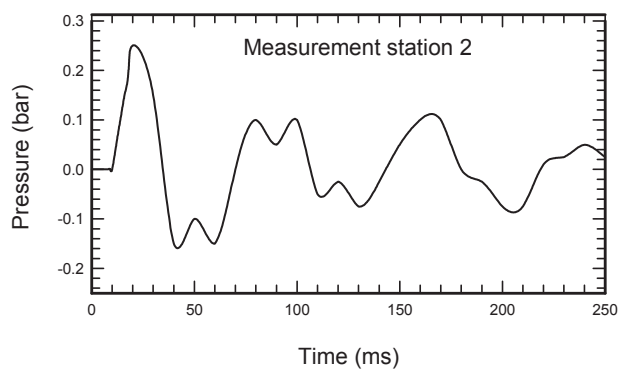
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการทดลองส่งคลื่นความดันจากอุปกรณ์กำเนิดคลื่นความดันหนึ่งลูกคลื่นเข้าสู่ระบบท่อตรง รูปที่ 5 เห็นชัดเจนว่า การเคลื่อนที่มีลักษณะเป็นคลื่น ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี สังเกตเห็นว่า ลูกคลื่นที่ออกจากกระบอกสูบลู่ระบบท่อจะมีค่าแอมพลิจูดสูงกว่าความดันบรรยากาศ (รูปที่ 5 (a)) เมื่อเคลื่อนที่ไปตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งวัดที่ 3 ซึ่งอยู่ที่จุด กึ่งกลางท่อ (รูปที่ 5 (b)) และตำแหน่ง 3/4 (รูปที่ 5 (c)) ของท่อ พบว่าค่าแอมพลิจูดลดลงซึ่งเกิดจากความเสียดทานในระบบท่อ พิจารณาคลื่นลูกที่สอง ซึ่งมีความดันต่ำกว่าบรรยากาศ เป็นผลจากการสะท้อนกลับเฟสจากปลายท่อเปิดด้านขวาออก สำหรับลูกที่สองของรูปที่ 5 (a) มีลักษณะเป็นระฆังคว่ำที่มีขนาดแอมพลิจูดต่ำกว่าตำแหน่งอื่นมาก เนื่องจากการเสริมกันของคลื่นลูกที่ย้อนมาจากทางออก และการสะท้อนแบบเฟสคงเดิม ณ ตำแหน่งกระบอกสูบ ซึ่งวาล์วมีการปิดแล้ว สะท้อนกลับไปเสริมให้ความดันต่ำลงไปอีกเป็นเท่าตัว สำหรับรูปที่ 5 (b) และ (c) แสดงให้เห็นถึงคลื่นสองลูกที่เคลื่อนที่สวนทางที่มีเฟสเดียวกัน สังเกตเห็นชัดเจนว่า แอมพลิจูดจะลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะลดลงมากขึ้นอยู่กับความเร็วของผิวท่อ

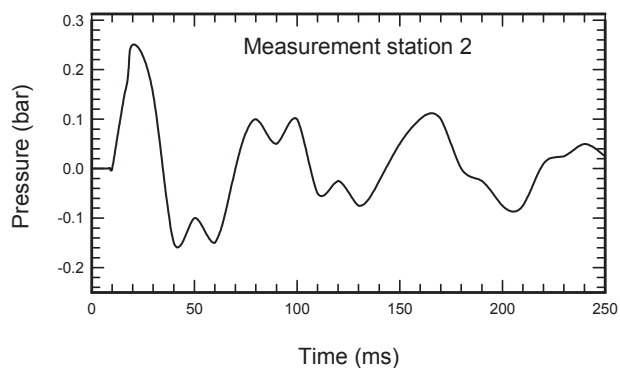
รูปที่ 6 แสดงลักษณะลูกคลื่นในระบบท่อยาว 6 เมตร เมื่อติดตั้งหม้อพักไอเสียรถยนต์ชนิดสะท้อนคลื่นเสียง ณ ตำแหน่งกึ่งกลางท่อ ทำการวัดความดันสถิตย์ ณ ตำแหน่งขาออกกระบอกสูบ ก่อนเข้าหม้อพัก และหลังจากออกจากหม้อพัก พบว่าลักษณะลูกคลื่นมีลักษณะเป็นไซน์เวฟ จำนวนมากกว่าท่อตรง 2 เท่า ดังรูปที่ 6 (a) มีลักษณะการสะท้อนกลับเฟส เช่นเดียวกันท่อปลายเปิด ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าหม้อพักชนิดสะท้อนคลื่นเสียงทำหน้าที่สะท้อนคลื่นความดันเหมือนปลายเปิดท่อ แต่ส่งผลต่อการลดลงของคลื่นความดันอย่างมากเมื่อมีการสะท้อน ซึ่งเห็นชัดเจนจากรูปที่ 6 (c) เมื่อความดันออกจากหม้อพักจะมีขนาดแอมพลิจูดลดลงอย่างมาก แสดงว่าหม้อพักมีผลต่อการลดลงของความดันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนเฟส พบว่าเมื่อความดันออกจากหม้อพักไอเสียยังคงมีเฟสคงเดิมเมื่อคลื่นสะท้อนครั้งที่ 2 ด้านขาออกจากหม้อพัก พบว่ามีการสะท้อนกลับในลักษณะเฟสคงเดิมเสมือนท่อปลายปิด แต่ขนาดแอมพลิจูดตกลงค่อนข้างมาก ทำให้มีการล้นสูญของคลื่นอย่างรวดเร็ว



(a)

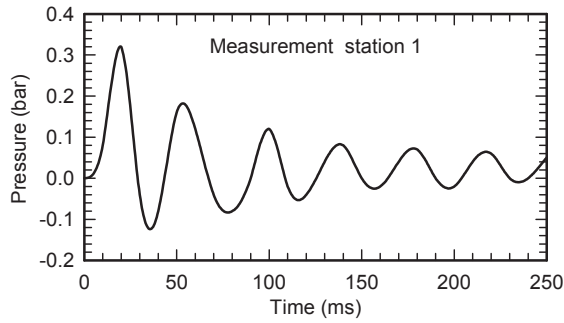


(b)

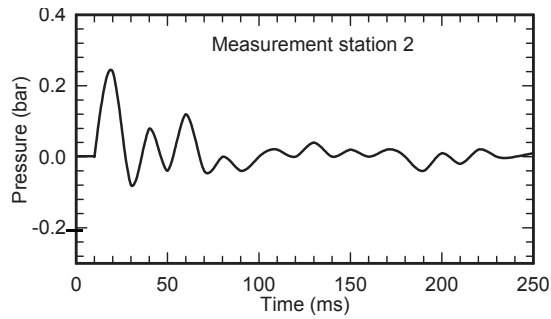


(c)

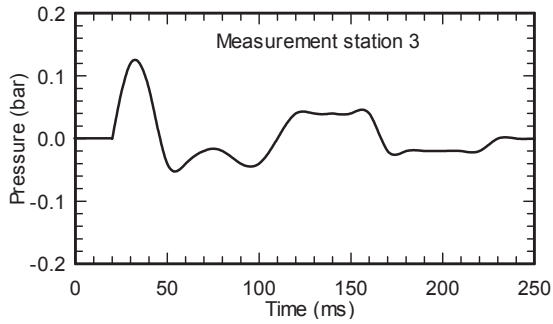
รูปที่ 5 คลื่นความดันในท่อตรง เมื่อความดันเกจในกระบอกสูบเท่ากับ 3.0 บาร์ณ ตำแหน่งวัดห่างจากกระบอกสูบ (a) 0.1 m, (b) 2.5 m และ (c) 5.9m



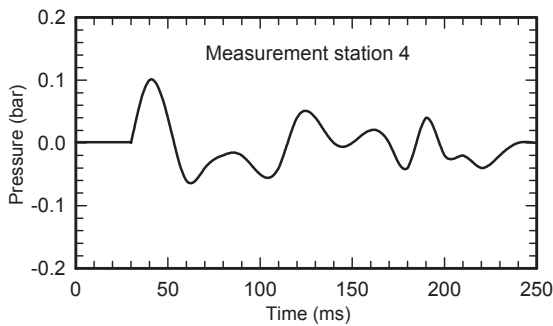
(a)



(b)



(c)



(d)

รูปที่ 6 คลื่นความดันในท่อกรณีที่มีการติดตั้งท่อพักไอเสียณตำแหน่งวัด (a) ตำแหน่งออกจากกระบอกสูบ 0.1 m (P1) (b) ตำแหน่งก่อนเข้าหม้อพัก 0.5 m (P2) (c) ตำแหน่งออกจากหม้อพัก 1 m (P3) และ (d) ตำแหน่งห่างจากทางออก 0.1 m (P4)

สรุปผล

การศึกษาเชิงทดลองคลื่นความดันหนึ่งลูกในระบบท่อกรณีติดตั้งหม้อพักชนิดสะท้อนเสียง มีการศึกษาเปรียบเทียบกับระบบท่อตรงกรณีไม่ติดตั้งหม้อพัก สามารถสรุปได้ดังนี้

1. มีการสูญเสียความดันอย่างมาก เมื่อคลื่นความดันเคลื่อนที่ออกจากกระบอกสูบสู่ท่อ
2. แอมพลิจูดของคลื่นความดันลดลงตามความยาวท่อและระยะเวลา เนื่องจากผลของความเสียดทาน และการสูญเสียเนื่องจากการสะท้อน
3. จำนวนลูกคลื่นด้านขาเข้าเมื่อติดตั้งหม้อพักไอเสียมีจำนวนเพิ่มขึ้น 2 เท่าของกรณีไม่ติดตั้งหม้อพัก และลักษณะการสะท้อนคลื่นเสียงของหม้อพัก แสดงพฤติกรรมเสมือนท่อปลายเปิด แต่มีการสูญเสียความดันมากกว่า
4. คลื่นความดันเมื่อคลื่นที่ผ่านหม้อพักไอเสียจะมีการลดขนาดแอมพลิจูดอย่างมากและจะมีการสิ้นสูญอย่างรวดเร็วจากการสะท้อนของหม้อพักไอเสีย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานที่ได้สนับสนุนทุนในการทำวิจัย ขอกราบขอบพระคุณวิทยาลัยเทคนิคปักธงชัยที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และอุปกรณ์บางส่วนในการดำเนินการทดลองงานวิจัยในครั้งนี้ นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณนักศึกษาระดับปริญญาตรี ได้แก่ นายนำนฟ้า นายนแพทย์ นายทิวานนท์ ช่อนนอก และนายสุธี แสงจริยะกุล ที่ได้ช่วยดำเนินการวิจัย

บรรณานุกรม

- วิกรม จันทรรักษ์กุล. (2536). ศึกษาการเคลื่อนที่ของคลื่นความดันขนาดใหญ่หนึ่งลูกผ่านหม้อพักแบบเฮล์มโฮลด์ซ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. หน้า 87-88
- Banister F K and Mucklow GF. (1948). Wave Action Following Sudden Release of Compressed Gas from Cylinder. Proceeding Institution of Mechanical Engineering's. Vol. 159. pp. 269-300
- Kandylas I P, Stamatelos A M. (1999). Engine Exhaust System Design Based on Heat Transfer Computation. Energy Conversion & Management. Vol. 40. pp. 1057-1072
- Panigrahi S N, Munjal M L. (2007). A generalized scheme for analysis of multifarious commercially used mufflers. Applied Acoustics. Vol. 68. pp. 660-681
- Mimani A and Munjal M L. (2011). Transverse plane wave analysis of short elliptical chamber mufflers: An analytical approach. J. Sound Vib. Vol. 330. No. 7. pp. 1472-1489

- 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
- Wallace F J. (1954). Wave Action in Diffusers for Pipe System Scavenging Two-Stroke Engines. *Engineerin.* Vol. 178. pp. 524-528
- Yasuda T,Wu C, Nakagawa N and NagamuraK. (2013). Studies on an automobile muffler with the acoustic characteristic of low-pass filter and Helmholtz resonator. *ApplAcoust.* Vol. 74. No. 1. pp. 49-57