

การศึกษาและออกแบบเครื่องวัดอัตราการไหลน้ำมันเชื้อเพลิงแบบวอร์เท็กซ์

STUDY AND DESIGN OF A VORTEX FUEL FLOWMETER

วิทยา ยงเจริญ และ สิริพงษ์ เอี่ยมชัยมงคล

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถ.พญาไท เขต ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทร 218-6610-11

Withthaya Yongchareon and Siripong Eamchaimongkol

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Pathumwan Bangkok 10330

Tel: 218-6610-11

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำเอาวิธีการวัดอัตราการไหลแบบวอร์เท็กซ์ มาประยุกต์ใช้กับการวัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ ส่วนสำคัญของเครื่องวัดอัตราการไหลที่สร้างขึ้นนี้ อยู่กับการนำเอาหลักการของการสั่นสะเทือนเชิงกล และหลักการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แสงมาประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ความถี่ของวอร์เท็กซ์ที่เกิดขึ้น ผลจากการวิจัยพบว่าเครื่องวัดอัตราการไหลที่สร้างขึ้นนี้สามารถวัดอัตราการไหลได้ในช่วงระหว่าง 2.24 มิลลิลิตร ต่อ วินาที ถึง 3.47 มิลลิลิตร ต่อ วินาที เมื่อทดสอบกับน้ำ และสามารถวัดอัตราการไหลได้ในช่วงระหว่าง 2.00 มิลลิลิตร ต่อ วินาที ถึง 3.16 มิลลิลิตร ต่อ วินาที เมื่อทดสอบกับน้ำมันเชื้อเพลิงเบนซิน โดยที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรที่วัดที่สภาวะอัตราการไหลคงตัว (steady state)

Abstract

The objective of this research was to study the feasibility of vortex flowmeter application for measuring the fuel flow in vehicle. The important part of the flowmeter was the application of the vibration theory and the optoelectronic principle for measuring the vortex frequency. The results shown that the flowmeter could measure the water flow rate within the range of 2.24 ml/s. to 3.47 ml/s. and could measure the gasoline flow rate within 2.00 ml/s.to 3.16 ml/s.

The error of the flowmeter was less than 2 percents of measured volume at steady flow.

บทนำ

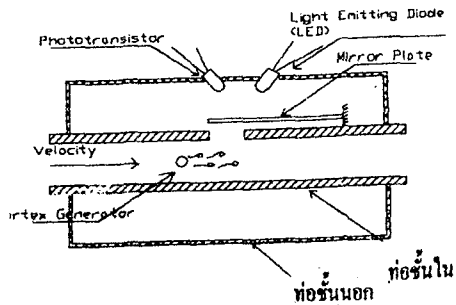
ในปัจจุบันการทดสอบเครื่องยนต์ เพื่อหาอัตราการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ในขณะใดขณะหนึ่ง (instantaneous) นั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบถึงอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง

ที่เครื่องยนต์ใช้ แต่การวัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงในขณะใดขณะหนึ่งนั้นค่อนข้างจะทำได้ยาก ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ ที่เป็นอุปสรรคต่อการวัด เช่น อัตราการไหลที่ค่อนข้างน้อย ซึ่งเป็นผลมาจากการออกแบบเครื่องยนต์เพื่อให้ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงน้อย คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ติดไฟได้ง่าย ทำให้มีข้อจำกัดในการวัดโดยใช้แอนนิโมมิเตอร์แบบลวดความร้อน (hot wire anemometer) อีกทั้งช่วงอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงที่กว้าง ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้ยากต่อการสร้างเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ในขณะใดขณะหนึ่ง งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายที่จะนำเอาวิธีการวัดอัตราการไหลแบบวอร์เท็กซ์มาประยุกต์ใช้กับการวัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ แต่เนื่องจากอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์มีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับเครื่องวัดอัตราการไหลแบบวอร์เท็กซ์ที่ใช้อยู่ในอุตสาหกรรม คืออยู่ในช่วงประมาณ 0.8 มิลลิลิตร ต่อ วินาที ถึง 4.0 มิลลิลิตร ต่อ วินาที [1] ซึ่งในช่วงอัตราการไหลที่ค่อนข้างน้อยนี้จะทำให้ขนาดของท่อที่ใช้ในการออกแบบต้องมีขนาดเล็กตามไปด้วย อีกทั้งพลังความดันที่เกิดจากวอร์เท็กซ์นั้นจะมีความดันน้อยมาก จึงทำให้ยากต่อการหาตัวรับรู้ความดันที่เหมาะสมได้

จากเหตุผลที่ได้กล่าวมาข้างต้นงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาถึงความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาตัวรับรู้ที่เหมาะสมเพื่อใช้สำหรับวัดความถี่ของวอร์เท็กซ์ที่เกิดขึ้นโดยการประยุกต์เอาหลักการสั่นสะเทือนเชิงกล และหลักการของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แสงมาพัฒนาเพื่อใช้สำหรับเป็นตัวรับรู้ความถี่ของวอร์เท็กซ์ที่เกิดขึ้น

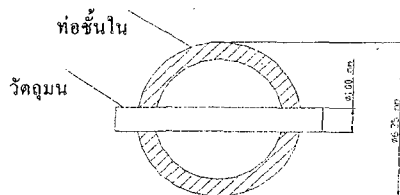
การออกแบบเครื่องวัดอัตราการไหล

สำหรับเครื่องวัดอัตราการไหลแบบวอร์เท็กซ์ที่นำเอาหลักการของการสั่นสะเทือนเชิงกล และหลักการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แสงมาประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ นั้นจะมีส่วนประกอบดังรูป 1



รูป 1 รูปแสดงส่วนประกอบของเครื่องวัดอัตราการไหลที่สร้างขึ้น

เครื่องวัดอัตราการไหลที่ออกแบบขึ้นนี้ ประกอบด้วยท่อสองชั้น ท่อชั้นในเป็นท่อทองเหลืองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในประมาณ 4.95 มิลลิเมตร และติดวัตถุมน (bluff body) ซึ่งเป็นแท่งทองเหลือง ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.00 มิลลิเมตร ไว้ที่กลางท่อ (ดังแสดงในรูป 2) เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดวอร์เท็กซ์ (vortex generator) โดยที่ผนังท่อด้านบนหลังตัวกำเนิดวอร์เท็กซ์ จะถูกเจาะเป็นร่องเพื่อให้พัลส์ความดันที่เกิดจากวอร์เท็กซ์สามารถผ่านไประทบกับแผ่นทองเหลืองซึ่งทำหน้าที่เสมือนแผ่นสะท้อนแสง (mirror plate) ที่ติดอยู่บนผนังท่อชั้นในได้ แผ่นสะท้อนแสงที่ติดอยู่ด้านบนของท่อจะถูกติดตั้งให้เป็นเสมือนคานแบบปลายด้านหนึ่งอิสระ (cantilever beam) โดยแผ่นสะท้อนแสงจะมีความหนาประมาณ 0.03 มิลลิเมตร กว้าง 3.0 มิลลิเมตร และยาว 3.5 เซนติเมตร



รูป 2 รูปแสดงภาพตัดของการติดวัตถุมน

ท่อชั้นนอกเป็นท่อทองเหลืองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 1 นิ้ว โดยที่ผนังท่อด้านบนจะติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แสงสองตัว คือ ตัวไดโอดเปล่งแสง (LED) ทำหน้าที่เปล่งแสงที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงอินฟราเรด และโฟโตทรานซิสเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรับรู้ความเข้มแสงที่มาตกกระทบ การติดตั้งอุปกรณ์ทั้งสองจะต้องติดตั้งให้แสงจากตัวไดโอดเปล่งแสง เปล่งแสงผ่านของไหลกระทบกับแผ่นสะท้อนแสง และสะท้อนทำมุมตกกระทบกับโฟโตทรานซิสเตอร์พอดี

สำหรับหลักการทำงานของเครื่องวัดอัตราการไหลที่สร้างขึ้นนี้จะเหมือนกับหลักการทำงานของเครื่องวัดอัตราการไหลแบบวอร์เท็กซ์ที่

ใช้อยู่ในอุตสาหกรรมคือ อาศัยปรากฏการณ์วอร์เท็กซ์เชดดิ้ง (vortex shedding) กล่าวคือเมื่อของไหลไหลผ่านวัตถุมน จะทำให้เกิดวอร์เท็กซ์ขึ้นหลังวัตถุมนนั้น โดยความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเฉลี่ยของของไหล และความถี่ของวอร์เท็กซ์ที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามสมการที่ 1

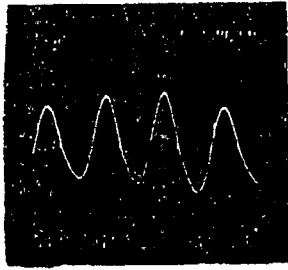
$$f = St \frac{\bar{V}}{d} \quad (1)$$

โดยที่

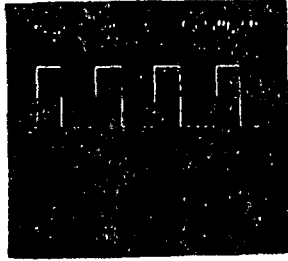
$f \equiv$	ความถี่ของวอร์เท็กซ์
$\bar{V} \equiv$	ความเร็วเฉลี่ยของของไหล
$d \equiv$	ความกว้างของวัตถุมน
$St \equiv$	สโตรฮาลนัมเบอร์

จากสมการที่ 1 จะพบว่า หากสามารถวัดความถี่ของวอร์เท็กซ์ที่เกิดขึ้นก็จะทำให้ทราบความเร็วเฉลี่ยของของไหล และอัตราการไหลได้เช่นกัน ดังนั้นจากรูป 1 เมื่อไม่มีอัตราการไหลผ่านเข้าไปในท่อวอร์เท็กซ์จะไม่เกิดขึ้น และไม่เกิดพัลส์ความดันอันเนื่องมาจากวอร์เท็กซ์เช่นกัน แผ่นสะท้อนแสงจึงอยู่ในสภาพสมดุล โดยไม่เกิดการสั่นสะเทือน ทำให้แสงที่ส่งจากตัวไดโอดเปล่งแสงส่องผ่านของไหลกระทบกับแผ่นสะท้อนแสง และสะท้อนไปยังโฟโตทรานซิสเตอร์มีค่าคงที่เช่นกัน แต่หากเมื่อมีอัตราการไหลเกิดขึ้น จะส่งผลทำให้เกิดวอร์เท็กซ์ขึ้น โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของวอร์เท็กซ์ที่เกิดขึ้นกับความเร็วเฉลี่ยของของไหลจะเป็นไปตามสมการที่ 1 ซึ่งพัลส์ความดันที่เกิดจากวอร์เท็กซ์นี้จะทำให้แผ่นสะท้อนแสงที่ติดไว้บนผนังท่อด้านบนเกิดการสั่นสะเทือนขึ้นในความถี่เดียวกันกับความถี่ของวอร์เท็กซ์ที่เกิดขึ้น ดังนั้นแสงที่ปล่อยจากตัวไดโอดเปล่งแสงส่องผ่านของไหลมากระทบกับแผ่นสะท้อนแสง และสะท้อนไปยังโฟโตทรานซิสเตอร์จึงเกิดการหักเหเนื่องมาจากการสั่นสะเทือนของแผ่นสะท้อนแสง และเป็นผลทำให้ปริมาณความเข้มแสงที่ตัวโฟโตทรานซิสเตอร์ได้รับมีค่าไม่คงที่ สัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากโฟโตทรานซิสเตอร์จึงมีค่าไม่คงที่ แต่จะแปรเปลี่ยนไปตามความถี่ของวอร์เท็กซ์ที่เกิดขึ้น และโดยการนำเอาสัญญาณที่ได้นี้ไปประมวลผลให้เป็นสัญญาณดิจิทัล และนับความถี่ของสัญญาณดิจิทัลที่ได้จะทำให้ทราบค่าความถี่ของวอร์เท็กซ์ที่เกิดขึ้น จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบเครื่องมือวัด โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของวอร์เท็กซ์ที่เกิดขึ้น กับอัตราการไหลต่อไป

สำหรับวงจรที่ใช้ขับตัวไดโอดเปล่งแสง (LED) ในงานวิจัยนี้ จะให้ตัวไดโอดเปล่งแสงทำงานแบบต่อเนื่อง ซึ่งทำได้โดยการผ่านกระแสไฟฟ้าให้กับตัวไดโอดเปล่งแสงดังรูป 3



(ก)



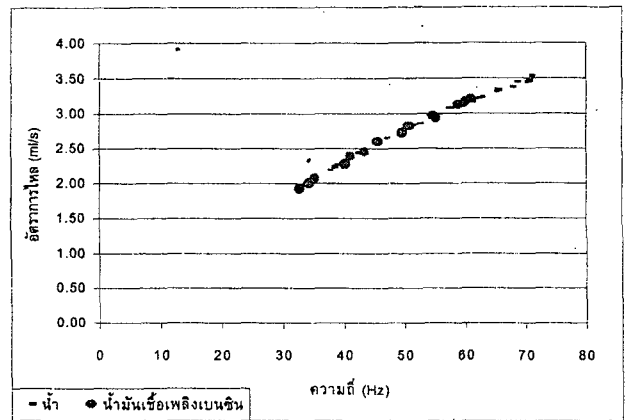
(ข)

รูป 8 (ก) รูปแสดงสัญญาณที่ได้จากเครื่องวัดอัตราการไหลเมื่อทดสอบกับน้ำที่อัตราการไหล 3.47 มิลลิลิตร ต่อ วินาที (ข) รูปแสดงสัญญาณที่ได้เมื่อแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัล

จากรูป 6 ก ซึ่งเป็นสัญญาณที่ได้จากเครื่องวัดอัตราการไหลเมื่อทดสอบกับน้ำ ที่อัตราการไหล 2.34 มิลลิลิตร ต่อ วินาที สัญญาณในรูป 6 ก นี้เมื่อถูกแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลแล้ว สัญญาณที่ได้จะมีลักษณะดังรูป 6 ข ซึ่งสามารถนับความถี่ได้ประมาณ 40 เฮิร์ตซ์ และเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น สัญญาณที่ได้จะมีลักษณะเปลี่ยนไปดังรูป 7 ก ซึ่งเป็นสัญญาณที่ได้จากเครื่องวัดอัตราการไหลเมื่อทดสอบกับน้ำ ที่อัตราการไหล 3.16 มิลลิลิตร ต่อ วินาที สัญญาณที่ได้เมื่อถูกแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลแล้ว จะมีลักษณะดังรูป 7 ข ซึ่งสามารถวัดความถี่ได้ 60 เฮิร์ตซ์ เมื่อปรับอัตราการไหลขึ้นอีกสัญญาณที่ได้จะเปลี่ยนไปดังรูป 8 ก ซึ่งเป็นรูปสัญญาณที่ได้จากเครื่องวัดอัตราการไหลเมื่อทดสอบกับน้ำที่อัตราการไหล 3.47 มิลลิลิตร ต่อ วินาที สัญญาณที่ได้เมื่อถูกแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลดังรูป 8 ข จะสามารถวัดความถี่ได้ 70 เฮิร์ตซ์ ซึ่งเป็นอัตราการไหลสูงสุดที่สามารถทำการวัดได้เมื่อทำการทดสอบกับน้ำ

เมื่อพิจารณาสัญญาณ รูป 6 ก-ข ถึง รูป 8 ก-ข จะเห็นได้ว่าสัญญาณที่ได้จะมีลักษณะเป็นฟังก์ชันคาบ โดยความถี่ของสัญญาณจะเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามหลักการทำงานของเครื่องวัดอัตราการไหลแบบวอร์เท็กซ์ ส่วนแอมพลิจูดของสัญญาณนั้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราการไหลเช่นกัน ทั้งนี้อาจเป็นผลอันเนื่องมาจากปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการสั่นสะเทือนของแผ่นสะท้อนแสง เช่น ขนาดของฟลัสความดันที่กระทำกับแผ่นสะท้อนแสงมีค่าไม่คงที่ที่ความถี่ต่าง ๆ หรือความถี่ธรรมชาติของแผ่นสะท้อนแสงซึ่งส่งผลโดยตรงกับแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ของสัญญาณที่ได้จากการทดลอง กับอัตราการไหลเท่านั้น ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังกราฟรูป 9

จากรูป 9 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ของวอร์เท็กซ์ที่เกิดขึ้น กับอัตราการไหลเมื่อทดสอบทั้งกับน้ำ และน้ำมันเชื้อเพลิงเบนซิน จะพบว่าช่วงการวัดที่ได้จากการทดสอบเครื่องวัดอัตราการไหลกับน้ำ จะอยู่ในช่วงระหว่าง 2.24 มิลลิลิตร ต่อ วินาที



รูป 9 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของวอร์เท็กซ์ที่เกิดขึ้น กับอัตราการไหลเมื่อทดสอบกับน้ำ และน้ำมันเชื้อเพลิงเบนซิน

ถึง 3.47 มิลลิลิตร ต่อ วินาที ซึ่งตรงกับช่วงความถี่ของวอร์เท็กซ์ที่ 38 เฮิร์ตซ์ ถึง 70 เฮิร์ตซ์ ส่วนช่วงการวัดที่ได้จากการทดสอบกับน้ำมันเชื้อเพลิงเบนซิน จะอยู่ในช่วงระหว่าง 2.00 มิลลิลิตร ต่อ วินาที ถึง 3.16 มิลลิลิตร ต่อ วินาที ซึ่งตรงกับช่วงความถี่ที่ 35 เฮิร์ตซ์ ถึง 60 เฮิร์ตซ์ โดยที่เส้นความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของวอร์เท็กซ์ที่เกิดขึ้น กับอัตราการไหลจากการทดสอบกับของไหลสองชนิด มีลักษณะคล้ายกันคือเกือบเป็นเชิงเส้น ซึ่งเป็นไปตามหลักการทำงานของเครื่องวัดอัตราการไหลแบบวอร์เท็กซ์

สำหรับการทดสอบความถูกต้องของเครื่องวัดอัตราการไหลที่สร้างขึ้นนั้น ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบความถูกต้องของเครื่องวัดอัตราการไหลที่สภาวะอัตราการไหลคงตัว โดยใช้วิธีการวัดแบบปริมาตรสะสม ผลการทดสอบพบว่าเครื่องวัดอัตราการไหลที่สร้างขึ้นมีความถูกต้องพอสมควร โดยมีความผิดพลาดสูงสุดไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรที่ทำการวัด

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้น จะพบว่าเครื่องวัดอัตราการไหลที่สร้างขึ้นนี้มีค่าใช้จ่ายในการสร้างน้อย และมีช่วงการวัดอยู่ในช่วงการใช้งาน อีกทั้งความถูกต้องของเครื่องวัดอัตราการไหลเมื่อทดสอบที่สภาวะอัตราการไหลคงตัวนั้น มีความถูกต้องอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือมีความผิดพลาดไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรที่วัด ซึ่งทั้งหมดนั้นถือได้ว่าเป็นข้อดีของเครื่องวัดอัตราการไหลที่สร้างขึ้น แต่เครื่องวัดอัตราการไหลที่สร้างขึ้นนี้ ยังมีข้อจำกัดในการใช้งานอยู่ เช่น ช่วงการวัดที่ได้ยังค่อนข้างแคบเมื่อเทียบกับอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ หรือการวัดในสภาวะการใช้งานจริงซึ่งมีอัตราการไหลที่ไม่คงตัว (unsteady state) ก็อาจส่งผลกระทบต่อความถูกต้องของเครื่องมือวัดด้วย นอกจากนี้จากการวิจัยพบว่าเครื่องวัดอัตราการไหลที่สร้างขึ้นนี้ไวต่อการถูกรบกวนจากแรงสั่นสะเทือนจากภายนอกมาก ซึ่งหากนำไปประยุกต์ใช้กับการวัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จริงนั้น แรงสั่นสะเทือนของเครื่องยนต์ก็อาจเป็นอุปสรรค

สำคัญต่อการวัดอัตราการไหลได้ ดังนั้นจึงอาจต้องพัฒนาเครื่องวัด
อัตราการไหลให้มีช่วงการวัดที่กว้างขึ้น และสามารถทนต่อแรงสั่น
สะเทือนภายนอกได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ธงชัย สถาพรนันท์, " การศึกษาและเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิ
น้ำมันเชื้อเพลิงต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ เอส ไอ " , วิทยา
นิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2540.