

การศึกษาผลกระทบของช่วงล่างรถยนต์จากการติดตั้งถังก๊าซ NGV

An experimental study on effects of NGV storage tank payload on vehicle suspension

ชัยยศ ดำรงกิจโกศล*, ชาติชาย ชุมจันทร์ และ ปิลันท์ พิษสะกะ

ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกลกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 1518 ถ.ประชาราษฎร์ 1 บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
ติดต่อ chaiyotd@kmutnb.ac.th, chaiyot_vee@hotmail.com , 02 555 2000 ext 6427

บทคัดย่อ

จากวิกฤตการณ์น้ำมัน มีการดัดแปลงรถยนต์บางส่วนบุคคลเพื่อใช้แก๊ส NGV เป็นเชื้อเพลิงทดแทนเนื่องจากราคาถูกกว่าน้ำมัน โดยต้องทำการติดตั้งถังก๊าซที่มีน้ำหนักมากไว้ท้ายรถซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อพลศาสตร์ของรถยนต์ จากเหตุผลดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาผลกระทบด้านพลศาสตร์แนวตั้งของรถยนต์ที่ติดตั้งถังก๊าซ NGV ไว้ท้ายรถ โดยทำการทดสอบรถยนต์และวัดการสั่นสะเทือนในสภาวะรถยนต์ที่มีน้ำหนักปกติและในสภาวะที่มีภาระเพิ่มที่ท้ายรถยนต์ โดยการวิจัยนี้พบว่ารถยนต์มีการสั่นสะเทือนในโหมดแข็งเกร็ง (Rigid Mode) ที่ช่วงย่านความถี่ประมาณ 2 Hz จนถึง 11 Hz ซึ่งเป็นความถี่ธรรมชาติของตัวถังรถยนต์ลดลง ทำให้การขับที่รู้สึกนุ่มนวลมากขึ้น ในทางกลับกันก็ได้มีผลกระทบเกิดขึ้นที่โหมดความถี่ธรรมชาติของล้อที่ประมาณ 12 Hz โดยมีการสั่นสะเทือนที่เด่นชัดอย่างชัดเจนเข้ามาในห้องโดยสาร หากพิจารณาโดยตรงที่ภาระทางพลวัตที่เกิดขึ้นกับล้อนั้นพบว่าล้อรับภาระมากขึ้นตามการสั่นสะเทือนที่เพิ่มขึ้นที่ความถี่ประมาณ 12 Hz และประมาณ 15 Hz อีกด้วย โดยผลกระทบนี้มีผลทำให้ยางสูญเสียการยึดเกาะกับถนนซึ่งทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยในการขับขี่ที่ความเร็วสูงในทุกสภาพถนนได้

คำสำคัญ : ผลกระทบจากการติดตั้งถังก๊าซ NGV, ระบบรองรับน้ำหนักรถยนต์, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของรถยนต์แบบหนึ่งในสี่

Abstract

From fuel crisis, many passenger cars were modified to use alternative fuel like NGV. However for using NGV in the vehicle, the NGV cylinder must be installed in the vehicle trunk. For this reason, when considering the vehicle dynamics theory, weight of NGV cylinder can affect the vertical dynamic of the vehicle. Therefore the objective of this research is to study the effect of NGV cylinder payload on the vertical dynamic of the vehicle. The measurement of vibration of the vehicle was recorded for 2 conditions. The first testing condition, there was no load in the vehicle trunk while the NGV cylinder payload was installed in vehicle trunk for the second testing condition. For the research results, the vibration amplitude for the natural frequency of the vehicle body (frequency range: 2Hz-11Hz) was decreased which resulted in more comfortable. However the vibration amplitude for the natural frequency of the wheels (frequency at 12 Hz) was increased. Considering the dynamic load applied directly to the wheels, the wheels were experienced higher load at 12 Hz and 15 Hz from the increasing of vibration amplitude. From this effect, the wheels lost their grip and the safety of high speed driving was affected for any road conditions.

Keyword: NGV Cylinder Payload Effect, Suspension System, Quarter Vehicle Model

DRC11

1. บทนำ

ปัจจุบันทั่วโลกต่างเกิดวิกฤติพลังงานเชื้อเพลิงซึ่งความต้องการใช้เชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์ชนิดต่าง ๆ เพิ่มขึ้นทำให้มีการสนับสนุนส่งเสริมให้ใช้เชื้อเพลิงทางเลือกอื่น เช่น น้ำมันก๊าซโซฮอล (E10 E20 และ E85) ไบโอดีเซลและเชื้อเพลิงก๊าซ (LPG และ NGV) [1] โดยในประเทศไทยได้สนับสนุนให้ใช้ก๊าซ NGV เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกเช่นกัน ซึ่งการติดตั้งก๊าซ NGV ในรถยนต์นั้นต้องมีการดัดแปลงรถยนต์ให้มาตรฐานที่ใช้เครื่องเบนซินให้สามารถใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงได้ โดยค่าใช้จ่ายในการดัดแปลงเครื่องยนต์และติดตั้งอุปกรณ์เพื่อใช้ก๊าซ NGV เป็นเชื้อเพลิงมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบก๊าซ NGV จึงมักเลือกใช้ถังก๊าซ NGV แบบที่ 1 ซึ่งมีข้อเสียทางกายภาพคือถังก๊าซ NGV ที่ติดตั้งเข้าไปนั้นมีน้ำหนักที่มากเกือบ 100 กิโลกรัม ซึ่งส่งผลให้รถยนต์ต้องรับภาระจากน้ำหนักที่เพิ่มมากขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ จากผลกระทบของภาระโหลดที่เพิ่มขึ้นนี้ ถึงแม้ว่าค่าเชื้อเพลิงมีค่าถูกแต่ในอนาคต ด้วยเหตุผลดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาผลกระทบจากการติดตั้งถังก๊าซ NGV ต่อรถยนต์

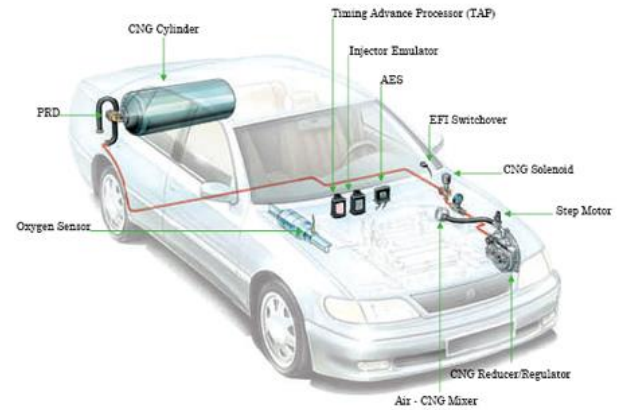
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการทำวิจัยเรื่องได้แก่ ระบบจ่ายเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์ ทฤษฎีการสั่นสะเทือนของรถยนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ระบบพลศาสตร์ของรถยนต์ การทดสอบ

2.1 ระบบก๊าซธรรมชาติที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์

ก๊าซธรรมชาติที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์ คือ ก๊าซมีเทนที่มีคุณสมบัติเบากว่าอากาศ ส่วนใหญ่จะมีการใช้อยู่ในสภาพเป็นก๊าซที่ถูกอัดจนมีความดันสูง (ประมาณ 3,000 ปอนด์ ต่อตารางนิ้ว) เก็บไว้ในถังที่มีความแข็งแรงทนทานสูงเป็นพิเศษ เช่น เหล็กกล้า บางครั้งเรียกก๊าซนี้ว่า CNG (ซี เอ็น จี) ซึ่งย่อมาจาก Compressed Natural Gas หรือก๊าซธรรมชาติอัด โดยรถยนต์หากต้องการใช้ก๊าซ NGV เป็นเชื้อเพลิงนั้นจำเป็นต้องได้รับการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เช่น หม้อต้ม ถังก๊าซ ท่อทางเดินของก๊าซ ECU และอื่นๆ โดยขึ้นอยู่กับระบบที่ต้องการจะติดตั้ง ซึ่งหากเป็นระบบเชื้อเพลิงทวี (Bi-Fuel System) ซึ่งเป็นระบบที่สามารถเลือกใช้น้ำมันเบนซิน หรือใช้ NGV เป็น

เชื้อเพลิงได้ โดยเพียงแค่ปรับสวิตช์เลือกใช้เชื้อเพลิงเท่านั้น [2] ระบบนี้มีทั้งผลิตจากโรงงานโดยตรง หรือนำรถยนต์เบนซินมาตรฐานมาทำการดัดแปลงติดตั้งอุปกรณ์ใช้ NGV จะมีอุปกรณ์ต่างๆดังรูปที่ 1 ซึ่งจะเห็นว่าการติดตั้งถังก๊าซ NGV ที่บริเวณภายในห้องเก็บสัมภาระใต้ฝากระโปรงหลังของรถยนต์



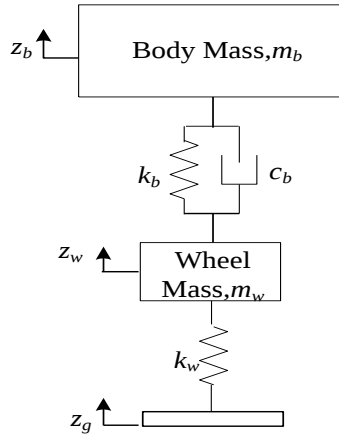
รูปที่ 1 ระบบจ่ายเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์

2.2 ทฤษฎีการสั่นสะเทือน

การสั่นสะเทือน (Vibration) คือการเคลื่อนที่ของวัตถุรอบจุดสมดุลในช่วงเวลาหนึ่งของการเคลื่อนที่ ไม่ว่าจะเป็นการเคลื่อนที่รอบจุดสมดุลนั้นจะเกิดขึ้นในแบบการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาหรือจะเป็นการแกว่ง (Oscillation) รอบจุดสมดุลก็ตาม ตัวอย่างเช่น การแกว่งตัวของลูกตุ้มนาฬิกา หรือการเคลื่อนที่ของมวลที่ติดอยู่กับสปริง เป็นต้น

การสั่นสะเทือนที่เกิดจากการวิ่งไปบนถนนที่ขรุขระของรถยนต์มีผลทำให้เกิดการสั่นสะเทือนขึ้นกับชิ้นส่วนในรถยนต์ซึ่งส่งผลกระทบต่อชิ้นส่วนของรถยนต์และผู้ขับขี่นั้นสาเหตุมาจากการเคลื่อนที่แบบพลศาสตร์แนวตั้งของรถยนต์ (Vertical Dynamic) นั่นเอง โดยในการศึกษานั้นสามารถศึกษาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบหนึ่ง ในสี่มี 2 องศาอิสระ (2 DOF) [3] ซึ่งเป็นแบบจำลองแบบอย่างง่าย โดยการเคลื่อนที่นี้จะขึ้นอยู่กับมวล (Mass) ความมั่นคงแข็งแรง (Stiffness) ความหน่วง (Damping) และองศาอิสระของการเคลื่อนที่ (Degree of freedom) โดยค่าความหน่วงของยางรถยนต์นั้นไม่ได้ถูกนำมาคิดด้วยเพราะมีความยากที่จะทำการประมาณการดังแสดงในรูปที่ 2

DRC11



รูปที่ 2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของรถยนต์แบบหนึ่งในสี่ (Quarter Vehicle Model)

จากรูปที่ 2 สามารถใช้สมการเชิงอนุพันธ์เพื่อมาอธิบายผลของการเคลื่อนที่ของระบบรองรับน้ำหนักของรถยนต์ โดยจัดให้อยู่ในรูปของสมการการเคลื่อนที่ที่มีการสมดุลแรงที่กระทำกับตัวถังและล้อของรถยนต์ดังสมการที่ (1) และ (2)

$$m_b \ddot{z}_b + c_b (\dot{z}_b - \dot{z}_w) + k_b (z_b - z_w) = 0 \quad (1)$$

$$m_w \ddot{z}_w - c_b (\dot{z}_b - \dot{z}_w) - k_b (z_b - z_w) + c_w (\dot{z}_w - \dot{z}_g) + k_w (z_w - z_g) = 0 \quad (2)$$

โดยกำหนดให้

m_b = มวลของตัวถังรถยนต์

c_b = ค่าความหน่วงของโช้คอัพหรือสปริง

k_b = ค่าคงที่สปริงระบบรองรับน้ำหนัก

m_w = มวลของล้อ

k_w = ความคงที่ความเป็นสปริงของยาง

จากสมการที่ (1) และ (2) สามารถใช้สมการเชิงอนุพันธ์เพื่อมาอธิบายผลของการเคลื่อนที่ของระบบรองรับน้ำหนักของรถยนต์ โดยจัดให้อยู่ในรูปของสมการการเคลื่อนที่ที่มีการสมดุลแรงที่กระทำกับตัวถังและล้อของรถยนต์ได้ นอกจากนี้ยังได้สมการที่ใช้ประมาณหาความถี่ธรรมชาติของตัวรถ แบบไม่มีตัวหน่วงของตัวถังของรถยนต์ (f_b) ดังสมการที่ (3)

$$f_b = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_b k_w}{m_b (k_b + k_w)}} \quad (3)$$

ของล้อรถยนต์ (f_w) ดังสมการที่ (4)

$$f_w = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_b + k_w}{m_w}} \quad (4)$$

นอกจากนี้สมการที่ (1) และสมการที่ (2) แรงที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของรถยนต์ทั้งที่ตัวถังและล้อของรถยนต์ซึ่งแรงทั้ง 2 ส่วนนี้รวมกันแล้วมีค่าเท่ากับภาระทางพลวัตที่กระทำกับยางขณะเคลื่อนที่ของรถยนต์ (Dynamic Tire Load, $F_{w_{dyn}}$) ค่านี้เป็นค่าที่บอกความสามารถในการเกาะถนนของรถยนต์เนื่องจากแรงที่เปลี่ยนไปมีผลต่อการเกาะถนนเปลี่ยนไปด้วย และผลที่ตามมาคือส่งผลถึงความปลอดภัยทั้งขณะวิ่งปกติ เบรก และเข้าโค้ง เป็นต้น สำหรับแรงนี้สามารถอธิบายได้ในสมการ(5) แนวคิดในสมการนี้ยังสามารถใช้เป็นวิธีหาภาระทางพลวัตที่เปลี่ยนแปลงที่กระทำกับยางขณะเคลื่อนที่ โดยอ้อมได้เมื่อทราบมวลและความเร่งของทั้งตัวถังและล้อของรถยนต์

$$F_{w_{dyn}} = -k_w (z_w - z_g) = m_b \ddot{z}_b + m_w \ddot{z}_w \quad (5)$$

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วง(N.s/m) วิเคราะห์ได้ตามสมการเชิงอนุพันธ์และไม่คิดการเชื่อมโยงทางพลวัตค่าสัดส่วนความหน่วงดังในสมการที่ (6)

$$\zeta = \frac{c_b}{2\sqrt{m_b k_b}} \quad (6)$$

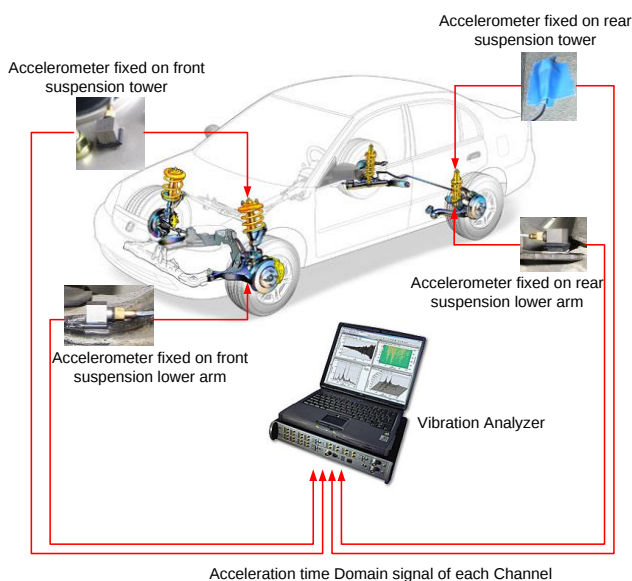
3. การดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยได้ทำการติดตั้งตัวยังสัญญาณความเร่งในตำแหน่งเหนือสปริงและใต้สปริงของระบบรองรับน้ำหนักรถยนต์ โดยติดตั้งอยู่ระหว่างตัวรถยนต์และดุมล้อดังแสดงในรูปที่ (3) ซึ่งในการวิเคราะห์นั้นได้พิจารณาทั้งการเคลื่อนที่ตามแนวตั้ง (Vertical Motion) ถึงแม้ว่าการยังสัญญาณตามแบบรูปจำลองแบบ 2-DOF (เหนือสปริงและใต้สปริง) จะมีข้อด้อยคือไม่สามารถใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของตัวรถยนต์ในแนวเอียงข้าง (Roll Mode) แต่การวัดแบบนี้สามารถแสดงลักษณะพื้นฐานที่สำคัญรวมทั้งปัญหาในระบบรองรับน้ำหนักหน้าและหลังได้

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือนในระบบพลศาสตร์ของรถยนต์นั้นจำเป็นต้องสามารถเก็บค่าและมีการแสดงผลการทดสอบที่รับมาจากตัวยังสัญญาณ

DRC11

แบบต่างๆ ได้ แต่ในที่นี้หมายความว่าถึงสัญญาณการสั่นสะเทือนแบบ-และแสดงผลเป็นเวลาจริง (Real Time) ได้บนคอมพิวเตอร์พกพาเพื่อให้สะดวกตรวจสอบคุณภาพของสัญญาณและยังสามารถบันทึกผลการทดสอบลงในคอมพิวเตอร์ได้เพื่อนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ในแบบอื่นได้เช่น การแปลงฟูเรียร์เร็ว (FFT : Fast Fourier Transform) เพื่อแปลงสัญญาณจากโดเมนเวลา (Time Domain) ไปเป็นโดเมนความถี่ (Frequency Domain) ซึ่งการทดสอบครั้งนี้ได้ตั้งค่า Sampling Frequency ไว้ที่ 1562.5 Hz แต่สำหรับการวิเคราะห์นี้จะทำการกรองความถี่สูงกว่า 30 Hz ออกไปด้วยโปรแกรม Matlab เพื่อกรองความถี่หรือสัญญาณรบกวนที่ไม่สนใจออกไปก่อน โดยการสั่นสะเทือนรถยนต์ย่าน 0.5-15 Hz แรกเป็นการตอบสนองในโหมดแข็งเกรงของตัวรถยนต์และล้อ และถ้า >15 Hz ขึ้นไปเป็นโหมดการสั่นสะเทือนของโครงสร้างรถยนต์ [4]



รูปที่ 3 แสดงการติดตั้งชุดวัดการสั่นสะเทือนของรถยนต์เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลขณะวิ่งทดสอบ

เมื่อรถยนต์ได้ถูกติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ครบถ้วนแล้วจะถูกนำไปวิ่งทดสอบที่ความเร็วคงที่ 80 กม/ชม. โดยมี 4 กรณีในการทดสอบดังต่อไปนี้คือ

- กรณีที่ 1 มีคนนั่งคู่หน้า 2 คน (2 Person)
- กรณีที่ 2 มีคนนั่งหน้าและหลังรวม 4 คน (4 Person)

- กรณีที่ 3 มีคนนั่งคู่หน้า 2 คนและถังก๊าซ NGV (2 Person&Laden)
- กรณีที่ 4 มีคนนั่งหน้าและหลังรวม 4 คนและถังก๊าซ NGV (4 Person&Laden)

ซึ่งในการวิ่งทดสอบแต่ละรอบนั้นจะมีการจดบันทึกการกระจายน้ำหนักของรถยนต์ด้วยทุกครั้ง โดยน้ำหนักรวมรถเปล่าคือ 1113.6 kg. มีการติดตั้งถัง NGV แล้ว 1212.5 kg. เมื่อมีโหลด ในกรณีที่ 1 มีน้ำหนักรวม 1245.5 kg. กรณีที่ 2 มีน้ำหนักรวม 1365.5 kg. กรณีที่ 3 มีน้ำหนักรวม 1345.5 kg. และกรณีที่ 4 มีน้ำหนักรวม 1514.5 kg. น้ำหนัก

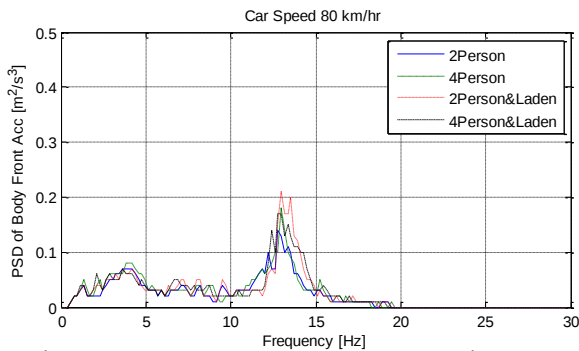
4. ผลการวิจัย

ผลการทดสอบที่ได้ประกอบไปด้วยผลของความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง (Power Spectrum Density; PSD) [4] [5] โดยสนใจเฉพาะย่านความถี่ 0.5-30 Hz เท่านั้น ของการสั่นสะเทือนของระบบรองรับน้ำหนักรถยนต์ที่เป็นสัญญาณในโดเมนความถี่ ซึ่งเป็นมาตรฐานการวัดสัญญาณที่เป็น Stationary Signal เพื่อวิเคราะห์ระดับความแตกต่างของกำลังในการสั่นสะเทือนในแต่ละย่านความถี่ที่สนใจ โดยทั่วไปเราสามารถแบ่งกราฟความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังออกมา 3 ย่านด้วยคือ 0.5-4 Hz 4-8 Hz และ 8-30 Hz ซึ่งแต่ละย่านความถี่นั้นนอกจากจะบอกถึงคุณลักษณะการสั่นสะเทือนของรถยนต์แล้วยังมีนัยสำคัญต่อการรับรู้การสั่นสะเทือนกับอวัยวะแต่ละส่วนของคนด้วย [6] [7] โดย 0.5-4 Hz คือย่านการสั่นสะเทือนแบบแข็งเกรงของตัวถังรถยนต์ โดยคนจะรู้สึกการโยนตัวและการโคลงตัวของรถอาจจะทำให้รู้สึกเมารถได้ ย่าน 4-8 Hz คือการตอบสนองที่อวัยวะช่องท้องคนซึ่งมีความไวต่อการตอบสนองการสั่นสะเทือนมากที่สุดทำให้รู้สึกไม่สบายและย่าน 8-30 Hz โดยคนจะรับรู้การสั่นสะเทือนนี้ที่ ขา แขน และหลัง จากกันสั่นสะเทือนของล้อ (ประมาณ 12 Hz) และโหมดโครงสร้างรถยนต์ [5][8]

เนื่องจากการติดตั้งระบบเชื้อเพลิง NGV กับรถยนต์นั้นน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลกระทบต่อช่วงล่างหลัง ดังนั้นในงานวิจัยนี้พิจารณาผลกระทบกับระบบรองรับหลังของรถยนต์เป็นหลัก โดยความถี่ธรรมชาติของตัวถังรถยนต์และล้อสามารถคำนวณ FFT ได้จากสัญญาณความเร่งของตัวถังรถยนต์ (Body Acceleration, $\ddot{z}_b$) และล้อ (Wheel Acceleration, $\ddot{z}_w$) ตามสมการ (3) และ (4)

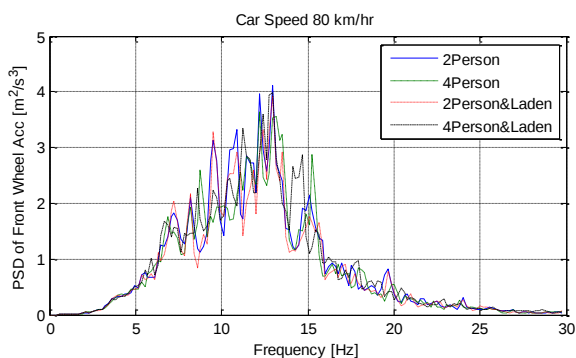
DRC11

ตามลำดับและขนาดภาระพลวัตที่กระทำกับยางขณะวิ่ง
(Dynamics Tire Load, $F_{w, dyn}$) ตามสมการ (5)

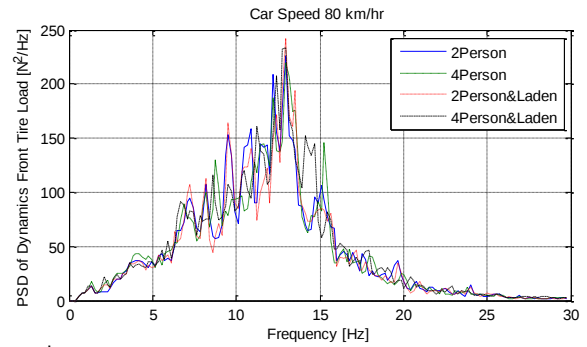


รูปที่ 4 ผลความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังการสั่นสะเทือนที่ตัวถังด้านหน้าของตัวรถยนต์ทดสอบที่ความเร็ว 80 กม/ชม.

ผลการทดสอบรูปที่ 4 รูปที่ 5 และรูปที่ 6 ซึ่งเป็นการสั่นสะเทือนของช่วงล่างหน้ารถยนต์ ประกอบด้วย ตัวถังรถยนต์หน้า ล้อหน้า และภาระพลวัตที่กระทำกับยางหน้าตามลำดับ โดยการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในช่วงความถี่ 0.5-8 Hz จากมีผลกระทบของการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกที่ท้ายรถยนต์นั้นไม่แตกต่างกันมากนักและความถี่ธรรมชาติไม่ได้เด่นชัดนัก แต่ที่ความถี่ประมาณ 12 Hz ซึ่งเป็นการสั่นสะเทือนของตัวถังรถยนต์ที่สูงขึ้นเล็กน้อย ส่วนการสั่นสะเทือนของล้อหน้าและภาระทางพลวัตที่กระทำกับยางหน้าของรถยนต์แทบจะไม่มีผลที่แตกต่างกันมากนัก

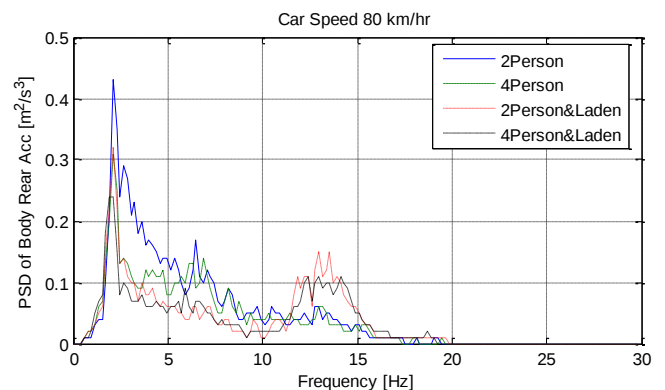


รูปที่ 5 ผลความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังการสั่นสะเทือนของล้อหน้าของรถยนต์ทดสอบที่ความเร็ว 80 กม/ชม.



รูปที่ 6 ผลความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของภาระทางพลวัตที่กระทำกับยางหน้าของรถยนต์ทดสอบที่ความเร็ว 80 กม/ชม.

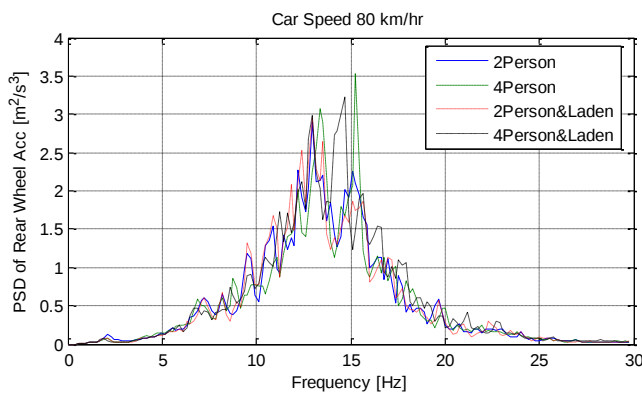
จากรูปที่ (7) แสดงความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของการสั่นสะเทือนที่ตัวถังด้านหลังของรถยนต์ เมื่อมีน้ำหนักเพิ่มด้านหลังในเคสต่างๆ ได้ส่งผลทำให้ขนาดการสั่นสะเทือนของโหมดตัวถังรถยนต์ที่ประมาณ 2 Hz ลดลง (กรณี 1-4) แต่สำหรับในกรณีที่มีถังก๊าซ NGV ร่วมกับมีคนในรถยนต์ 2 และ 4 คน (กรณี 3-4) การสั่นสะเทือนตลอดย่าน ตั้งแต่ 2 Hz ไปจนถึง 11 Hz นั้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญซึ่งหมายความว่าผู้ขับขี่และโดยสารจะรู้สึกว่าการขับขี่นุ่มนวลขึ้นเพราะย่านความถี่ 4-8 Hz มีขนาดการสั่นสะเทือนลดลง แต่อย่างไรก็ตามในกรณีที่มีน้ำหนักถังก๊าซ NGV ด้วยได้มีการสั่นสะเทือนเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนในโหมดความถี่ของล้อหลังที่ประมาณ 12 Hz ซึ่งเกิดจากล้อหลังสามารถส่งถ่ายการสั่นสะเทือนขึ้นมายังห้องโดยสารได้มากขึ้น



รูปที่ 7 ผลความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังการสั่นสะเทือนที่ตัวถังด้านหลังของตัวรถยนต์ทดสอบที่ความเร็ว 80 กม/ชม.

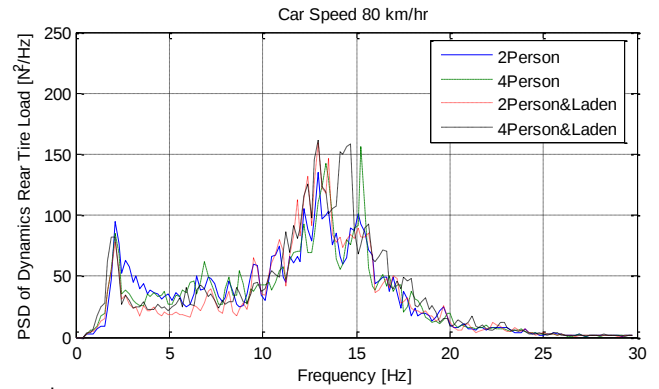
DRC11

ในขณะที่ล้อหลังก็มีการสั่นสะเทือน ดังแสดงในรูปที่ 8 เป็นผลความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง พบว่าการเพิ่มน้ำหนักคนเข้าไปที่เบาะหลัง 2 คนและยังการติดตั้งถังก๊าซเข้าไปด้วย ที่ความถี่ธรรมชาติล้อ 12 Hz ได้ส่งผลทำให้ล้อหลังเต้นมากขึ้นโดยเฉพาะกรณีที่มีคนนั่ง 4 คน (กรณีที่ 2 และ 4) ซึ่งการสั่นสะเทือนที่ความถี่ประมาณ 15 Hz ได้มีขนาดการสั่นสะเทือนเด่นเพิ่มขึ้นมาอีก 1 โหมด ซึ่งมีขนาดสูงกว่าโหมด 12 Hz



รูปที่ 8 ผลความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังการสั่นสะเทือนของล้อหลังของรถยนต์ทดสอบที่ความเร็ว 80 กม/ชม.

รูปที่ 9 แสดงผลความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังเป็นผลการทดสอบหาภาระทางพลวัตที่กระทำกับยางหลังของรถยนต์ในขณะที่รถยนต์กำลังวิ่งอยู่บนถนนด้วยความเร็ว 80 กม/ชม. ที่โหมดความถี่ของตัวถังรถยนต์หรือ 2-4 Hz พบว่าภาระทางพลวัตที่กระทำกับยางขณะรถยนต์วิ่งในกรณีที่ 1 รถยนต์ไม่มีการติดตั้งถังก๊าซไว้ท้ายนั้นมีการะทางพลวัตมากกว่ากรณีที่ 2-4 แต่ในทางกลับกันเมื่อพิจารณาที่โหมดความถี่ในช่วงความถี่ 12-15 Hz พบว่าภาระทางพลวัตที่เกิดขึ้นในย่านความถี่ของกรณีที่ 2 และ 4 มีน้ำหนักถังก๊าซติดตั้งอยู่ด้านหลังนั้นมีการะทางพลวัตที่กระทำกับยางมากที่สุด แต่สำหรับกรณีที่ 3 มีผลใกล้เคียงกับกรณีที่ 1



รูปที่ 9 ผลความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของภาระทางพลวัตที่กระทำกับยางหน้าของรถยนต์ทดสอบที่ความเร็ว 80 กม/ชม.

5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ารถยนต์ที่มีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นจากการติดตั้งถังก๊าซ NGV เข้าไปในส่วนท้ายของรถยนต์โดยพิจารณาการสั่นสะเทือนของตัวถังรถยนต์ได้ส่งผลดีทำให้การสั่นสะเทือนในโหมดความถี่ธรรมชาติของตัวถังรถยนต์ ประมาณ 2 Hz และตลอดไปจนถึงย่าน 11 Hz นั้นลดลงด้วยอย่างมีนัยสำคัญนั้นหมายความว่าผู้ขับขี่จะรู้สึกว่านุ่มนวลมากขึ้น แต่ที่ขนาดการสั่นสะเทือนในย่านความถี่ธรรมชาติของล้อ (12-15 Hz) กลับเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งเกิดมาจากค่าสัดส่วนการหน่วงใช้ครรถยนต์ลดลงเมื่อน้ำหนักของรถยนต์เพิ่มขึ้นทำให้ล้อสามารถส่งผ่านการสั่นสะเทือนในโหมดของล้อไปยังโครงสร้างตัวถังของรถยนต์มากขึ้น การสั่นสะเทือนในลักษณะนี้คนจะรับรู้ได้จากแรงกระแทกและเสียงที่เข้ามาในห้องโดยสารมากขึ้น ซึ่งการสั่นสะเทือนที่มากขึ้นโดยเฉพาะย่าน 15 Hz ขึ้นไปชี้เป็นโหมดของโครงสร้างรถยนต์ อาจจะมีผลกระทบกับโครงสร้างตัวถังและชิ้นส่วนช่วงล่างรถยนต์ให้อายุการใช้งานนั้นสั้นลงได้และเมื่อพิจารณาจากการสั่นสะเทือนของล้อพบว่าการบรรทุกน้ำหนักเพิ่มขึ้นทำให้ล้อมีการสั่นสะเทือนสูงขึ้นที่โหมดความถี่ธรรมชาติล้อและเมื่อทำการวิเคราะห์ขนาดของภาระทางพลวัตที่กระทำกับยางในขณะที่ล้อเคลื่อนที่นั้นก็พบว่าภาระทางพลวัตนี้กระจายในทุกย่านความถี่ต่างๆข้างต้นซึ่งมากขึ้นตามน้ำหนักรถยนต์ที่มากขึ้นโดยเฉพาะย่านความถี่ธรรมชาติของล้อถ้าพิจารณาลักษณะทางกายภาพของยางขณะวิ่งจะเห็นว่ายางรับแรงมากขึ้นซึ่งมีผลทำให้ยางสูญเสียการยึดเกาะกับถนนด้วยซึ่งทำให้ไม่ปลอดภัยในการขับขี่ได้ รวมถึงเรื่อง

DRC11

ความทนทานของยางเนื่องจากหน้ายางรับภาระทางพลวัต และแกมยางมีการตัดตัวมากขึ้นเช่นกัน

ดังนั้นวิธีแก้ไขสำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่มีการติดตั้งระบบเชื้อเพลิงก๊าซ NGV หรือที่มีการบรรทุกสัมภาระทั้งไว้ที่ท้ายรถเป็นประจำต้องทำการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงระบบรองรับน้ำหนักของรถยนต์ให้เหมาะสมกับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นด้วย เช่น เพิ่มค่าคงที่สปริงหลัง เพิ่มค่าความหน่วงของโช้คอัพชอร์บเบอร์และเพิ่มแรงดันลมยาง เป็นต้น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] M.I. Jahirul, H.H Masjuki and et al. Comparative engine performance and emission analysis of CNG and gasoline in a retrofitted car engine. Applied Thermal Engineering, 2010, pp. 2219-2226.
- [2] Micheal D. Jackson (2012). The Case for Bi-fuel Natural Gas Vehicle. A Position Paper for the 2012 MITEI Symposium Prospects for Flexible- and Bi-Fuel Light Duty Vehicles, URL: <https://mitei.mit.edu/system/file/2012-mitei-symposium-jackson.pdf>
- [3] Sergio M. Savaresi, Charles Poussot-Vassal and et al (2010). Semi-Active Suspension Control Design for vehicle, Elsevier Ltd.
- [4] D.A. Crolla, G. Firth, D. Horton (1992). An Introduction to Vehicle Dynamics. Department of Mechanical Engineering, University of Leeds.
- [5] Thomas D. Gillespie. Fundamental of Vehicle Dynamics. Society of Automotive Engineers Inc, ISBN 978-1-56091-199-9, pp. 125-190.
- [6] ISO 2631-1:1997, Mechanical Vibration and Shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 1, General Requirements.
- [7] Neil J. Mansfield (2005). HUMAN RESPONSE TO VIBRATION. Taylor & Francis e-Library. ISBN 0-203-57102-9.
- [8] G. Verros and S. Natsiavas. Ride Dynamics of Nonlinear Vehicle Models Using Component Mode Synthesis. Journal of Vibration and Acoustics, ASME, JULY 2002, Vol. 124