การทดสอบเพื่อหาตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงรถด้วยอุปกรณ์อย่างง่าย
Experiment for Finding a Position of Car's Center of Gravity with Simple Tools

จารุตม์ คุณานพดล

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม 73000
ติดต่อ: jarutkunanoppadol@gmail.com, 081-8996377, สำนักงาน 034-259025, เบอร์โทรสาร 034-219367

บทคัดย่อ

ข้อมูลตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงรถมีความสำคัญในการวิเคราะห์กลศาสตร์และสมรรถนะการเคลื่อนที่ของรถ แต่ทางบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ต่าง ๆ ไม่ได้ให้ไว้ในข้อมูลเทคนิค พื้นฐานการทดสอบเพื่อวิเคราะห์คือการชั่งน้ำหนักรถที่กระจายลงที่ล้อต่าง ๆ ที่สถาวะต่าง ๆ บทความนี้อธิบายหลักการ วิธีการวิเคราะห์ และวิธีการทดสอบเพื่อหาตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงรถด้วยเครื่องชั่งรถที่สถานตรวจสภาพรถเอกชนและอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ ที่หาได้ไม่ยาก วิธีการใช้ใช้ต้นทุนน้อยและไม่ต้องลงทุนสร้างเครื่องมือ ผลการทดสอบจะได้ระยะจุดศูนย์ถ่วงตามแนวความยาวรถและความสูงจุดศูนย์ถ่วง ผู้อ่านสามารถนำวิธีการนี้ไปทดสอบรถมาตรฐานหรือรถที่ผ่านการปรับแต่งได้ ข้อมูลตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงรถเหล่านี้เป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมยานยนต์ต่อไป
คำหลัก:วิศวกรรมยานยนต์; จุดศูนย์ถ่วงรถ; การทดสอบ

Abstract

Position of car's center of gravity (CG) is important for analyzing mechanic and performance of car. However, manufacturers do not provide this data in car specification. A basic to investigate car's CG is measuring weights distributed to each wheels at different situations. This paper presents a principle, analytical processes, and experimental method for finding a position of car's CG with scale at a private car inspection and other simple tools. This method is low cost, and does not need any equipment constructing. The results consists of a CG position along the length of carand a height of CG. Readers can use this method to test a standard or modified car. These positions of car's CG are useful for further automotive engineering calculations.
Keywords:automotive engineering, car's center of gravity, experiment

1. บทนำ

จุดศูนย์ถ่วง (Center of Gravity: CG) ของรถเป็นข้อมูลสำคัญเพื่อใช้คำนวณกลศาสตร์ของรถได้แก่ สมรรถนะการเร่งการเบรกและการเลี้ยว [1]และยังใช้คำนวณกระจายน้ำหนักรถไปยังล้อทั้งสี่เพื่อวิเคราะห์การรับน้ำหนักของระบบช่วงล่างล้อและยาง ตามลำดับ [2] แต่กลับพบว่าข้อมูลตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของรถหาได้ยากและไม่ถูกระบุอยู่ในข้อมูลเทคนิครถอาจเป็นเพราะว่าทางบริษัทผู้ผลิตรถยนต์เห็นว่าข้อมูลเหล่านี้ไม่จำเป็นสำหรับผู้ใช้งานทั่วไปนอกจากนี้ยังหาข้อมูลจากอินเตอร์เน็ตได้ยากดังนั้นเราต้องทำการทดสอบเอง

พื้นฐานการคำนวณหาตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงรถ [3], [4]คือการชั่งน้ำหนักรถที่ลงไปยังล้อทั้งสี่เมื่อชั่งน้ำหนักรถบนพื้นราบเราจะคำนวณตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงรถตามแนวความยาวของตัวรถได้จากนั้นยกล้อหน้าหรือหลังขึ้นและวัดน้ำหนักอีกครั้งเราจะคำนวณความสูงจุดศูนย์ถ่วงรถได้ หากต้องการหาระยะจุดศูนย์ถ่วงตามแนวความกว้างรถให้ยกด้านข้างรถขึ้นและชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ด้วยวิธีการนี้เราจำเป็นต้องมีตาชั่งสี่ตัวที่สามารถรองรับน้ำหนักของรถได้ ต้องออกแบบและจัดสร้างอุปกรณ์ทดสอบขึ้นมาเพื่อให้สามารถทดสอบได้ตามทฤษฎี

ปัญหาตั้งต้นของการงานนี้ คือ *“เราจะสามารถทดสอบหาตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงรถโดยใช้อุปกรณ์ที่หาได้*

*ไม่ยากและไม่ต้องจัดสร้างอะไรเพิ่มเติมได้อย่างไร?"*ผมได้ไอเดียทดสอบจากที่เห็นว่าสถานตรวจสภาพรถเอกชน (ตรอ)มีอุปกรณ์ทดสอบเบรกที่สามารถวัดน้ำหนักรถได้อยู่แล้วดังรูป 1 เพียงแต่สามารถวัดน้ำหนักที่ล้อได้ทีละคู่เท่านั้นผมจึงนำเงื่อนไขการวัดค่านี้มาออกแบบการทดสอบเพื่อหาตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงรถ

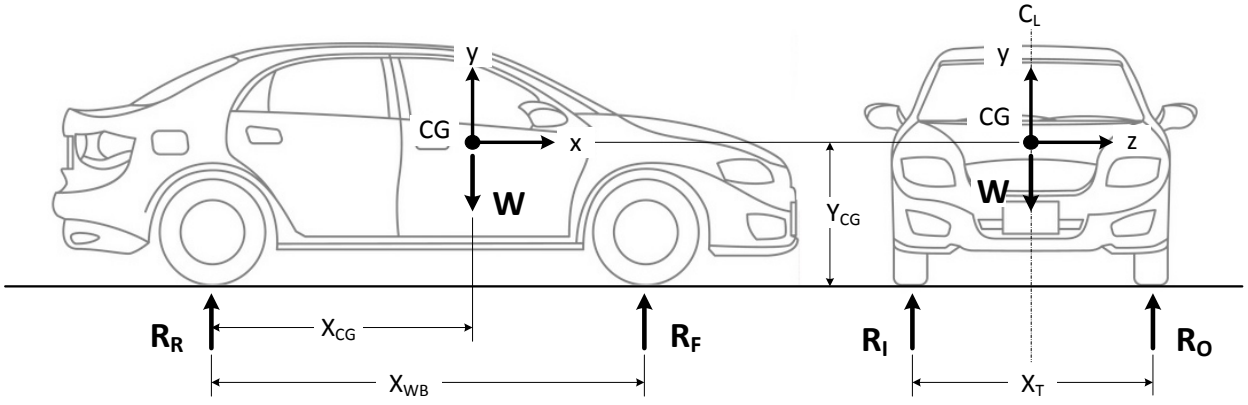
รูปที่ 1 เครื่องทดสอบเบรกที่สถานตรวจสภาพรถเอกชน

ข้อดีของวิธีนี้คือไม่ต้องจัดซื้อหรือจัดสร้างอุปกรณ์ใดๆจากการสอบถามสถานตรวจตรวจสภาพรถค่าบริการสำหรับการชั่งน้ำหนักรถก็คิดเท่ากับค่าบริการตรวจสภาพรถนั่นคือประมาณ200 บาทต่อคันซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่ไม่สูง ผมจึงเห็นว่าวิธีการนี้มีความเป็นไปได้สูงในทางปฏิบัติและน่าจะเป็นประโยชน์สำหรับวิศวกรที่ต้องคำนวณทางวิศวกรรมยานยนต์และผู้สนใจทั่วไป

วิธีคำนวณหาตำแหน่งจุดถ่วงรถที่แสดงไว้ในหนังสือและตำราโดยส่วนมาก[5], [6]เป็นวิธีทางทฤษฎีโดยไม่ได้ให้รายละเอียดของการทดสอบเอาไว้มากนัก นอกจากนั้นยังต้องจัดหาหรือสร้างอุปกรณ์ให้ครบถ้วนจึงจะทำการทดสอบได้ตามทฤษฎี จึงเห็นว่า *"น่าจะออกแบบวิธีการใช้ทำได้จริงไม่ยาก อธิบายหลักการ ขั้นตอนการทดสอบ และวิธีการคำนวณไว้โดยละเอียด ให้ผู้อ่านสามารถนำไปใช้ และทำตามได้เลย"* บทความนี้จึงทำการปรับสมการใหม่ให้เหมาะกับการทดสอบจริง ออกแบบการทดสอบ และจัดเตรียมไฟล์ Microsoft Excel สำหรับการคำนวณเอาสำหรับการใช้งานจริง ผมได้มอบหมายให้นักศึกษาที่เรียนวิชาเทคโนโลยียานยนต์เอาวิธีนี้ไปใช้ทดสอบจริงมาแล้วโดยจะอภิปรายในส่วนถัดไป

ดังนั้น บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีทดสอบหาตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงรถด้วยอุปกรณ์อย่างง่าย ไม่ต้องลงทุนมาก แต่ได้ข้อมูลที่ต้องการ ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงรถเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญต่อการคำนวณที่บริษัทผู้ผลิตรถยนต์ไม่ได้ให้ไว้ในข้อมูลเทคนิค แต่หากต้องการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมยานยนต์อย่างจริงจัง มันเป็นข้อมูลที่สำคัญมาก

เนื้อหาส่วนต่อไปอธิบายหลักการและตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ถัดไปจะพุ่งตรงไปที่ขั้นตอนการทดสอบและวิธีคำนวณโดยละเอียด จากนั้นเป็นการอภิปรายปัญหาที่พบจากการทดสอบจริงและนำเสนอผลการทดสอบบางกรณี สำหรับการคำนวณจริงตอนทดสอบ ผมเตรียมไฟล์ Microsoft Excelไว้ให้ผู้ใช้งานเอาไปใช้ อธิบายวิธีการโหลดและใช้งานตามลิงค์ https://bit.ly/2Uu1fMh



รูปที่ 2 ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงรถ

2. จุดศูนย์ถ่วงรถ

นิยามระยะและน้ำหนักต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง แสดงดังรูป 2 ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงรถ แบ่ง เป็น (1) ระยะ

จุดศูนย์ถ่วงตามแนวความยาวรถ (X_{CG}) วัดจากแกนล้อหลังถึงตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วง (2) ความสูงจุดศูนย์ถ่วง (Y_{CG}) วัดจากแนวพื้นถึงตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วง และ (3) ระยะจุดศูนย์ถ่วงตามแนวความกว้างรถ (Z_{CG}) วัดจากแนวกึ่งกลางรถถึงตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วง

ระยะต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ที่หาได้จากข้อมูลเทคนิครถ ได้แก่ ระยะช่วงล้อ (X_{WB}) วัดระยะระหว่างแกนล้อหน้าและหลัง และความกว้างล้อ (X_T) วัดระยะระหว่างกึ่งกลางล้อซ้ายและขวา ถ้ามีการเปลี่ยนล้อให้วัดความกว้างล้อใหม่ บทความนี้วิเคราะห์ระยะ ทั้งหมดในหน่วยมิลลิเมตร

น้ำหนักที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ น้ำหนักรถ (W) กระทำที่จุดศูนย์ถ่วงรถ บทความนี้ทำการทดสอบรถเปล่า เมื่อมองจากมุมด้านข้างตัวรถมี แรงปฏิกิริยาที่กระทำที่ล้อคู่หน้า (R_F) และแรงปฏิกิริยาที่กระทำที่ล้อคู่หลัง (R_R) และเมื่อมองจากมุมด้าน หน้าตัวรถ เพื่อไม่ให้ชื่อตัวแปรซ้ำกันจึงกำหนดเป็นแรงปฏิกิริยาที่ล้อด้านใน (R_I) และล้อด้านนอก (R_O) โดยกำหนดล้อฝั่งคนขับเป็นล้อด้านใน บทความนี้วิเคราะห์น้ำหนักและแรงในหน่วยกิโลกรัม

ตารางที่ 1 สมการคำนวณ

ขั้นตอนที่ 1วัดน้ำหนักที่ล้อคู่หน้า

$$A + B\tan\theta_1 - Cr_W\tan\theta_1 = R_{F1}X_{WB} \quad (1)$$

ขั้นตอนที่ 2ยกด้านท้ายรถให้สูงขึ้น

$$A + B\tan\theta_2 + C\left(\frac{X_{J2}}{\cos\theta_2} - r_W\tan\theta_2 - X_{WB}\right) = R_{F2}\frac{X_{J2}}{\cos\theta_2} \quad (2)$$

ขั้นตอนที่ 3 วัดน้ำหนักที่ล้อคู่หลัง

$$-A + B\tan\theta_3 + C(X_{WB} - r_W\tan\theta_3) = R_{R3}X_{WB} \quad (3)$$

รวมสมการ 1 ถึง 3 แล้วสร้างสมการเมตริกซ์

$$\begin{bmatrix} 1 & \tan\theta_1 & -r_W\tan\theta_1 \\ 1 & \tan\theta_2 & \frac{X_{J2}}{\cos\theta_2} - r_W\tan\theta_2 - X_{WB} \\ -1 & \tan\theta_3 & X_{WB} - r_W\tan\theta_3 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{F1}X_{WB} \\ R_{F2}\frac{X_{J2}}{\cos\theta_2} \\ R_{R3}X_{WB} \end{bmatrix} \quad (4)$$

โดยที่ $A = WX_{CG}$

$B = WY_{CG}$

$C = W$

ขั้นตอนที่ 4ยกด้านข้างรถให้สูงขึ้น

$$Z_{CG} = \frac{R_{RI4}}{W}K_1 - K_2 \quad (5)$$

โดยที่ $K_1 = \left\{\frac{X_{WB}}{X_{WB} - [X_{CG} - (Y_{CG} - r_W)\tan\theta_3]}\right\}\left(\frac{X_{J4}}{\cos\theta_4}\right)$

$$K_2 = \frac{X_T}{2} + (Y_{CG} - r_W)\tan\theta_4$$

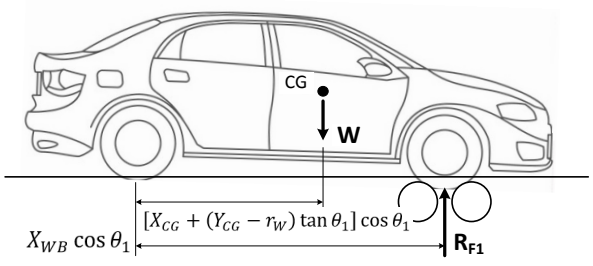
3. การทดสอบหาตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงรถ

เราแบ่งการทดสอบเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ (1) ขับรถเข้าเครื่องทดสอบเบรกเพื่อวัดน้ำหนักที่ล้อคู่หน้า (2) ใช้

แม่แรงยกท้ายรถให้สูงขึ้นแล้ววัดน้ำหนักที่ล้อคู่หน้าอีกครั้ง (3) ปล่อยท้ายรถลง ขยับรถไปวัดน้ำหนักที่ล้อคู่หลัง และ (4) ใช้แม่แรงยกข้างรถฝั่งคนนั่งให้สูงขึ้นแล้ววัดน้ำหนักที่ล้อหลังฝั่งคนขับอีกครั้ง การทดสอบขั้นตอนที่ 1 ถึง 3 เพื่อคำนวณระยะจุดศูนย์ถ่วงตามแนวความยาวรถ (X_{CG}) ความสูงจุดศูนย์ถ่วง (Y_{CG}) และน้ำหนักรถ (W) ส่วนการทดสอบขั้นตอนที่ 4 เพื่อคำนวณระยะจุดศูนย์ถ่วงตามแนวความกว้างรถ (Z_{CG}) โดยมีสมการคำนวณหลักดังตาราง 1 และมีรายละเอียดการทดสอบดังนี้

3.1 วัดน้ำหนักที่ล้อคู่หน้า

ทำการติดตั้งเครื่องวัดมุมดิจิตอลที่ด้านข้างตัวรถทั้งสองข้างเพื่อวัดมุมลาดชันตามแนวความยาวรถ เราสามารถใช้สมาร์ทโฟนที่มีแอพพลิเคชั่นด้านการวัดมุมแทนได้ โดยใช้เทปกาวติดตั้งไว้ที่ข้างตัวรถ ขั้นตอนแรกให้รถอยู่บนพื้นราบแล้วทำการเซ็ตศูนย์ที่เครื่องวัดมุมทั้งสอง จากนั้นนำรถเข้าเครื่องทดสอบเบรกเพื่อวัดน้ำหนักที่ล้อคู่หน้า จากการสังเกตเครื่องทดสอบเบรกของสถานตรวจสภาพรถแห่งหนึ่งในพื้นที่ใกล้มหาวิทยาลัย เราสังเกตว่าลูกกลิ้งมีระดับต่ำกว่าพื้นเล็กน้อย เราจึงกำหนดการ Free-body-diagram การวิเคราะห์ให้รถมีมุมกดไปทางด้านหน้ารถเมื่ออยู่บนเครื่องทดสอบโดยล้อหน้าอยู่ต่ำกว่าล้อหลังเล็กน้อย ดังรูป 3



รูปที่ 3 วัดน้ำหนักที่ล้อคู่หน้า

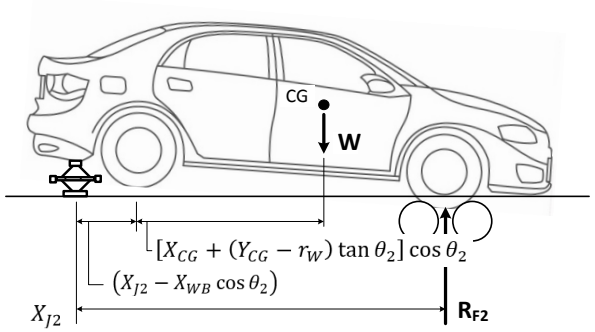
เมื่อพิจารณาโมเมนต์รอบจุดที่ล้อหลังสัมผัสพื้น จะได้ว่า

$$W[X_{CG}+(Y_{CG}-r_W)\tan\theta_1]\cos\theta_1 = R_{F1}X_{WB}\cos\theta_1$$

ตัวแปรที่ไม่ทราบค่าในการวิเคราะห์ ได้แก่ น้ำหนักรถ (W) ระยะจุดศูนย์ถ่วงตามแนวความยาวรถ (X_{CG}) และความสูงจุดศูนย์ถ่วง (Y_{CG}) ในขณะที่ตัวแปรที่ทราบค่า ได้แก่ มุมกด (θ_1) โดยอ่านจากเครื่องวัดมุมที่ติดตั้งไว้ด้านข้างตัวรถ ให้ตรวจสอบมุมกดทั้งสองด้านให้เท่ากัน หากไม่เท่ากัน ให้ตรวจสอบความดันล้อ ค่ารัศมีล้อ (r_W) สามารถคำนวณจากรหัสที่แก้มยางหรือวัดขณะรถอยู่บนพื้นราบ โดยเติมลมยางตามมาตรฐานที่ระบุไว้ที่ตัวรถ เรากำหนดตัวแปรใหม่เพื่อความสะดวกในการแก้สมการ จะได้สมการ 1

3.2ยกด้านท้ายรถให้สูงขึ้น

ทำการยกด้านท้ายรถให้สูงขึ้นด้วยแม่แรงในตำแหน่งที่ปลอดภัย สมดุล และเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงของรถ เพื่อให้น้ำหนักกดลงไปที่ล้อหน้าเพิ่มขึ้น ดังรูป 4



รูปที่4ยกด้านท้ายรถให้สูงขึ้น

เมื่อพิจารณาโมเมนต์รอบจุดที่แม่แรงกระทำกับตัวรถ จะได้ว่า

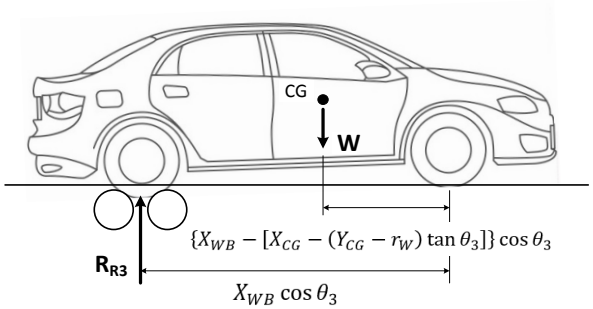
$$W\{[X_{CG}+(Y_{CG}-r_W)\tan\theta_2]\cos\theta_2 + (X_{J2}-X_{WB}\cos\theta_2)\} = R_{F2}X_{J2}$$

ปรับสมการแล้วแทนค่าด้วยตัวแปร A,B และ C ที่กำหนดไว้ก่อนหน้าจะได้สมการ 2 ในขั้นตอนนี้รถจะมีมุมกดมากขึ้น (θ_2) และน้ำหนักที่ล้อคู่หน้าก็จะมากขึ้น (R_{F2}) ในการยกท้ายรถ ให้ตรวจสอบเครื่องวัดมุมที่ติดตั้งไว้ทั้งสองข้างให้มีมุมเท่ากัน และทำการวัดระยะจากแนวแกนล้อหน้าตำแหน่งที่แม่แรงยกตัวรถ (X_{J2}) โดยทำการวัดตามแนวราบ พยายามติดตั้งแม่แรงอยู่บนแนวกึ่งกลางรถ หากไม่สามารถทำได้อาจใช้แม่แรง สองตัวติดตั้งที่ระยะห่างจากแกนล้อหน้า (X_{J2}) เดียวกันช่วยกันยกรถขึ้น

3.3วัดน้ำหนักที่ล้อคู่หลัง

ปลดแม่แรงเพื่อนำรถลง ขยับรถใหม่ให้ล้อหลังเข้าตำแหน่งเครื่องทดสอบเบรก ดังรูป 5 บทความนี้กำหนดให้เครื่องทดสอบเบรกอยู่ในระดับต่ำกว่าระดับพื้นเล็กน้อยทำให้เกิดมุมกดไปทางด้านท้ายรถโดยล้อหลังอยู่

ระดับต่ำกว่าล้อหน้า ให้ตรวจสอบค่ามุมกดจากเครื่องวัดมุมทั้งสองข้างให้เท่ากัน



รูปที่5วัดน้ำหนักที่ล้อคู่หลัง

เมื่อพิจารณาโมเมนต์รอบจุดที่ล้อหน้าสัมผัสพื้น จะได้ว่า

$$W\{X_{WB} - [X_{CG} - (Y_{CG} - r_W)\tan\theta_3]\}\cos\theta_3 = R_{R3}X_{WB}\cos\theta_3$$

ปรับสมการแล้วแทนค่าด้วยตัวแปร A,B และ C ที่กำหนดไว้ก่อนหน้าเช่นเดียวกัน จะได้สมการ 3 โดย อ่านค่าน้ำหนักที่ล้อคู่หลัง (R_{R3}) และมุมกด (θ_3)

จากทั้งสามขั้นตอน เราได้ สามสมการเพื่อแก้ตัวแปรสามตัวได้แก้สมการโดยวิธี Gauss-Jordan โดยจัดสมการ 1-3 ให้อยู่ในรูปแบบสมการเมตริกซ์ดังสมการ 4 จะแก้หาตัวแปรไม่ทราบค่าทั้งสาม (A, B และ C) ตัวออกมาได้พร้อมกัน จากนั้นก็หาค่าน้ำหนัก รถ (W) ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงตามแนวความยาว (X_{CG}) และความสูงจุดศูนย์ถ่วง (Y_{CG}) ได้ตามลำดับ ตัวอย่างการคำนวณให้ ดูจากไฟล์ Microsoft Excelที่เตรียมไว้ให้

3.4ยกด้านข้างรถให้สูงขึ้น

เราต้องขยับรถออกมาบนพื้นราบก่อนเพื่อย้ายตำแหน่งเครื่องวัดมุมให้มาอยู่ที่หน้าและหลังรถแทนและทำการเซ็ตศูนย์ จากนั้นนำรถกลับเข้าตำแหน่งเครื่องทดสอบเบรกเพื่อวัดน้ำหนักล้อหลังอีกครั้ง เรากำหนดให้รถเกิดมุมกดตามแนวความยาวรถโดยใช้ค่ามุมตามการทดสอบขั้นตอนก่อนหน้า คราวนี้ ใช้แม่แรงยกข้างรถฝั่งคนนั่งขึ้นที่ตำแหน่งโครงสร้างแข็งแรงเพื่อความปลอดภัย และควรวางตำแหน่งแม่แรงตามระยะจุดศูนย์ถ่วงตามแนวความยาวรถ (X_{CG}) เพื่อความสมดุลโดยพิจารณาเครื่องวัดมุมที่ติดตั้งไว้หน้าและหลังรถให้มีมุมเอียงเท่ากัน เมื่อมองจากมุมด้านข้างตัวรถ เมื่อพิจารณาโมเมนต์รอบจุดที่ล้อหน้าสัมผัสพื้น จะได้การกระจายน้ำหนักรถไปยังล้อคู่หน้า ดังนี้

$$W\{X_{WB} - [X_{CG} - (Y_{CG} - r_W)\tan\theta_3]\}\cos\theta_3 = R_{R3}X_{WB}\cos\theta_3$$

จะได้แรงปฏิกิริยาที่ล้อคู่หลัง ดังสมการ

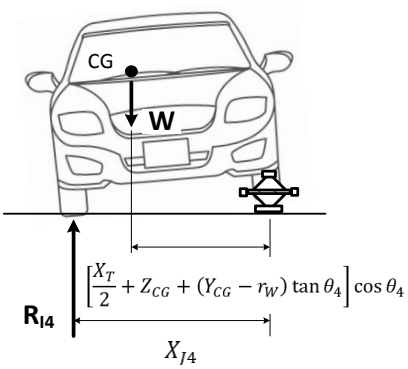
$$R_{R4} = W\left\{\frac{X_{WB} - [X_{CG} - (Y_{CG} - r_W)\tan\theta_3]}{X_{WB}}\right\}$$

และมองจากมุมด้านหน้าตัวรถ เมื่อพิจารณาโมเมนต์รอบจุดที่แม่แรงยกรถดังรูป 6 จะได้ การกระจายน้ำหนักรถไปยังล้อด้านในฝั่งคนขับ ดังนี้

$$W\left[\frac{X_T}{2} + Z_{CG} + (Y_{CG} - r_W)\tan\theta_4\right]\cos\theta_4 = R_{I4}X_{J4}$$

จะได้แรงปฏิกิริยาที่ล้อด้านใน ดังสมการ

$$R_{I4} = W\left\{\frac{\left[\frac{X_T}{2} + Z_{CG} + (Y_{CG} - r_W)\tan\theta_4\right]\cos\theta_4}{X_{J4}}\right\}$$



รูปที่5ยกด้านข้างรถให้สูงขึ้น

เมื่อรวมผลที่เกิดขึ้นจากทั้งมุมกดตามแนวความยาวรถและมุมเอียงจากการยกข้างรถจะได้น้ำหนักรถที่กระจายไปที่ล้อหลังด้านใน จากนั้น แก้สมการเพื่อหาค่าระยะจุดศูนย์ถ่วงตามแนวความกว้างรถ ดังสมการ 5 เราใช้ระยะจุดศูนย์ถ่วงตามแนวความยาวรถ (X_{CG}) ความสูงจุดศูนย์ถ่วง (Y_{CG}) และมุมกด (θ_3) จากขั้นตอนก่อนหน้า วัดมุมเอียง (θ_4) ที่เกิดจากการยกข้างรถ ความกว้างล้อ (X_T) และระยะระหว่างกึ่งกลางล้อหลังด้านคนขับถึงตำแหน่งที่แม่แรงยกข้างรถ (X_{J4})

4. ขั้นตอนการทดสอบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบได้แก่ (1) เครื่องทดสอบเบรกที่สถานตรวจสภาพรถเอกชน (ตรอ) (2) เครื่องวัดมุมดิจิตอลจำนวน 2 เครื่องโดยสามารถใช้สมาร์ทโฟนที่ติดตั้งแอพพลิเคชั่นในการวัดมุมแทนได้ (3) เทปกาวเพื่อใช้ยึดเครื่องวัดมุมติดกับตัวรถ (4) ตลับเมตรหรือสายวัดเพื่อให้วัดระยะต่างๆและ (5) แม่แรงสำหรับยกรถ ขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. ระบุข้อมูลการทดสอบ ยี่ห้อ รุ่นรถ ผู้ทดสอบ วันที่ และรายละเอียดการทดสอบ
2. กรอกข้อมูลรายละเอียดระยะต่าง ๆ ของรถจากข้อมูลเทคนิคหรือทำการวัด ได้แก่ ระยะช่วงล้อ (X_{WB}) ความกว้างล้อหลัง (X_T) และรัศมีล้อ (r_W) และหาข้อมูลระยะอื่น ๆ ได้แก่ ความยาวสุด ความกว้างสุด ความสูงสุด และความกว้างล้อหน้า เพื่อให้ประกอบการพิจารณาผล
3. ติดตั้งเครื่องวัดมุมที่ฝั่งซ้ายและขวาตัวรถ ขับรถไปจอดบนพื้นราบเพื่อเซ็ตศูนย์เครื่องวัดมุม
4. ทำการทดสอบขั้นตอนที่ 1 โดยขับรถขึ้นเครื่องทดสอบเบรกเพื่อวัดโหลดที่ล้อคู่หน้า (R_{F1}) และบันทึกค่ามุมกดของรถ (θ_1)
5. ทำการทดสอบขั้นตอนที่ 2 โดยใช้แม่แรงยกด้านท้ายรถให้สูงขึ้นเพื่อเพิ่มโหลดที่ล้อหน้า บันทึกค่าโหลดใหม่ (R_{F2}) มุมกดใหม่ (θ_2) และตำแหน่งแม่แรงวัดจากแนวล้อคู่หน้า (X_{J2})
6. ปลดแม่แรงลง ทำการทดสอบขั้นตอนที่ 3 โดยขับรถเอาล้อหลังขึ้นเครื่องทดสอบเบรกเพื่อวัดโหลดที่ล้อคู่หลัง บันทึกค่าโหลด (R_{R3}) และมุมกด (θ_3)
7. ขับรถออกมาบนพื้นราบ ย้ายเครื่องวัดมุมมาติดที่ด้านหน้าและหลังตัวรถ เซ็ตศูนย์ ทำการทดสอบขั้นตอนที่ 4 โดยนำรถกลับขึ้นเครื่องทดสอบเบรกในตำแหน่งการวัดโหลดที่ล้อคู่หลัง ใช้แม่แรงยกรถฝั่งผู้โดยสารให้ลอยขึ้น วัดโหลดที่ล้อหลังฝั่งคนขับ (R_{RI4}) วัดมุมเอียง (θ_4) และตำแหน่งแม่แรงวัดจากแนวล้อวัดจากแนวกึ่งกลางล้อฝั่งคนขับ
8. นำข้อมูลทั้งหมดไปกรอกลงตาราง Microsoft Excel เพื่อทำการคำนวณ
9. ตรวจสอบผลการคำนวณกับข้อมูลระยะต่าง ๆ ของตัวรถ หากมีหมายเหตุเพิ่มเติมโปรดระบุให้ชัดเจน

ตัวอย่างตารางรายงานการทดสอบ ดังแสดงในส่วนแนบท้าย

5. ผลการทดสอบ

ผมนำวิธีการทดสอบเพื่อหาตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงรถด้วยอุปกรณ์อย่างง่ายนี้มอบหมายงานให้นักศึกษาวิศวกรรมเครื่องกลที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชาด้านวิศวกรรมยานยนต์เอาไปลองใช้งานจริง ได้ผลดังตาราง 2 พบว่า เครื่องทดสอบเบรกที่สถานตรวจสภาพรถที่นำวิธีการนี้ไปทดสอบไม่สามารถชั่งน้ำหนักรถกรณีที่ล้ออีกข้างลอยขึ้นจากพื้นได้เครื่องจะไม่ทำการอ่านค่า ดังนั้น จึงตัดสินใจตัดการทดสอบขั้นตอนที่ 4 ออกไปก่อนจึงทำให้ไม่สามารถหาระยะจุดศูนย์ถ่วงตามแนวความกว้างรถได้ ยังคงต้องกำหนดสมมติฐานให้จุดศูนย์ถ่วงอยู่บนแนวกึ่งกลางรถต่อไปสาเหตุที่เรายังไม่ตัดเนื้อหาส่วนนั้นทิ้งไปเพราะอนาคตอาจคิดวิธีการทดสอบที่สามารถแก้ปัญหานี้ได้หรือมีบางสถานตรวจสภาพรถที่สามารถทำการทดสอบขั้นตอนที่ 4 ได้

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบเพื่อหาตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงรถด้วยอุปกรณ์อย่างง่าย

รถทดสอบ	Toyota Hilux Tiger
ลักษณะการทดสอบ	ทดสอบรถเปล่า
ข้อมูลเทคนิค	
ความยาวรวม	4690 mm
ความกว้างรวม	1690 mm
ความสูงรวม	1700 mm
ระยะช่วงล้อ	2855 mm
ความกว้างล้อ	1500 mm
รัศมีล้อ	361 mm
น้ำหนักรถเปล่า	1900 kg
ขั้นตอนที่ 1 วัดน้ำหนักที่ล้อคู่หน้า	
มุมเอียง	1.8 องศา
น้ำหนักล้อคู่หน้า	910 kg
ขั้นตอนที่2 ยกด้านท้ายรถให้สูงขึ้น	
มุมเอียง	2.6 องศา
น้ำหนักล้อคู่หน้า	915kg
ระยะติดตั้งแม่แรง	2855 mm
ขั้นตอนที่3 วัดน้ำหนักที่ล้อคู่หลัง	

มุมเอียง	1.00 องศา
น้ำหนักล้อคู่หลัง	677 kg
ผลการคำนวณ	
X_{CG}	1635 mm
Y_{CG}	922 mm
W	1572 kg

น้ำหนักรถเปล่าที่คำนวณได้น้อยกว่าน้ำหนักตามข้อมูลเทคนิค 17.3% โดยความเคลื่อนที่เกิดขึ้นจะอภิปรายในส่วนถัดไป ทำการตรวจสอบระยะจุดศูนย์ถ่วงตามแนวความยาวรถ (X_{CG}) ให้มีค่าน้อยกว่าระยะช่วงล้อ (X_{WB}) และความสูงจุดศูนย์ถ่วง (Y_{CG}) ไม่เกินความสูงรวมของรถ ในการทดสอบได้ทำกับนักศึกษาหลายกลุ่ม แต่เมื่อตรวจสอบผล พบความผิดพลาดจากการบันทึกข้อมูล ทำให้ผลการคำนวณผิดไป จึงไม่ได้นำผลการทดสอบของทุกกลุ่มมาแสดงในบทความนี้

6. อภิปรายและสรุปผล

การ จากนำวิธีวิธีการทดสอบเพื่อหาตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงรถด้วยอุปกรณ์อย่างง่ายไปทดสอบใช้งานจริง พบประเด็นที่น่าสนใจ ดังนี้

1. เราไม่สามารถชั่งน้ำหนักรถโดยยกด้านข้างขึ้นได้ จึงไม่สามารถทดสอบขั้นตอนที่ 4 ได้ ทำให้ไม่สามารถหาระยะจุดศูนย์ถ่วงตามแนวความกว้างรถได้ ในการคำนวณทางวิศกรรมยานยนต์จึงต้องใช้สมมติฐานให้จุดศูนย์ถ่วงอยู่บนแนวกึ่งกลางรถต่อไป
2. ผู้นำวิธีการทดสอบไปใช้ต้องศึกษาและเข้าใจหลักการทดสอบก่อน เช่น เมื่อยกท้ายรถขึ้น มุมเอียงต้องมากขึ้น และน้ำหนักที่ชั่งที่ล้อหน้าต้องมากขึ้นด้วย จะสามารถพิจารณาความถูกต้องของข้อมูลที่บันทึกได้
3. ควรทำการคำนวณผลทันทีในช่วงการทดสอบ หากพบผลที่มีปัญหา เช่น ความสูงจุดศูนย์ถ่วงเกินความสูงรถ จะได้ทำการทดสอบใหม่ เพราะหากทดสอบเพื่อจดค่าแล้วค่อยนำมาคำนวณภายหลัง หากเจอข้อผิดพลาด การนำรถกลับไปทดสอบใหม่เท่ากับเสียค่าใช้จ่ายสองรอบ
4. การทดสอบรถเก๋งวัดค่ามุมเอียงง่ายกว่าทดสอบรถกระบะเนื่องจากรถกระบะมีระยะช่วงล้อยาวกว่าระยะยกแม่แรงที่เท่ากันทำให้เกิดมุมเอียงน้อยกว่า ทำให้อ่านค่าได้ยาก สำหรับรถทั้งสองแบบ ถ้าต้องการให้เกิดมุมเอียงเยอะๆ ต้องยกท้ายรถขึ้นสูง แม่แรงที่ติดมากับรถไม่สะดวกเพราะเอาไว้แค่เปลี่ยนยาง ควรใช้แม่แรงขนาดใหญ่ (แม่แรงตะเข้) จะทดสอบได้ง่ายกว่า
5. การวัดมุมโดยใช้แอปพลิเคชันในสมาร์ทโฟนเป็นแนวทางที่ใช้งานได้ ถึงแม้วัดค่าได้ไม่ละเอียดหรือแม่ยำมาก แต่ก็เพียงพอสำหรับการทดสอบอย่างง่ายแล้ว ความให้ความสำคัญในเรื่องการทดสอบ การบันทึกค่า และพิจารณาค่าที่บันทึกไปมากกว่า
6. พนักงานผู้ใช้บริการที่สถานตรวจสภาพรถให้บริการเป็นอย่างดี ต้องอธิบายวิธีการและความต้องการเล็กน้อยเนื่องจากไม่ใช่งานปรกติที่ทำ แต่เมื่อเข้าใจกระบวนการก็ให้บริการได้เป็นอย่างดี

โดยสรุป ภายใต้เงื่อนไขของการทดสอบเพื่อหาตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงรถด้วยอุปกรณ์อย่างง่ายที่มีทั่วไป ไม่ต้องจัดสร้างอะไรเพิ่มเติม วิธีการนี้ใช้งานได้ดี คุณภาพของผลไม่ได้อยู่ที่คุณภาพของอุปกรณ์ที่ใช้ แต่อยู่ที่ความเข้าใจ ความละเอียด และการตรวจสอบผลที่บันทึกไว้อย่างใส่ใจ การคำนวณทันทีเมื่อได้ผลการทดสอบทำให้มั่นใจว่าผลการคำนวณถูกต้องก่อนนำรถออกจากสถานตรวจสอบ ไฟล์ Microsoft Excel ที่เตรียมไว้ให้ทำให้ผู้ทดสอบทำงานง่ายขึ้น

วิธีการทดสอบนี้เป็นประโยชน์กับผู้ที่ทำการวิเคราะห์ออกแบบ [7]คำนวณทางวิศวกรรมยานยนต์ที่ต้องการข้อมูลตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงรถในการคำนวณ เนื่องจากบริษัทผู้ผลิตไม่ได้ให้ข้อมูลนี้เอาไว้ เราต้องทำการทดสอบเอง และวิธีการทดสอบที่นำเสนอในบทความก็เป็นวิธีการที่ง่าย ใช้ได้จริง สิ้นเปลืองน้อย แล้วหาอุปกรณ์ทดสอบได้ไม่ยาก

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณกองบรรณาธิการการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 33 ที่พิจารณาบทความ และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่สนับสนุนอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้ในการทดสอบในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] D. Crolla and B. Mashadi, *Vehicle Powertrain Systems: Integration and Optimization*, 1 edition. Chichester: Wiley, 2012.

[2] R. N. Jazar, *Vehicle Dynamics: Theory and Application*, 1st ed. 2008. Corr. 3rd printing 2009 edition. New York, NY: Springer, 2009.

[3] J. D. Halderman, *Automotive Technology*, 4 edition. Upper Saddle River, N.J.; Singapore: Prentice Hall, 2011.

[4] J. Kunanoppadol, *Calculation for Automotive Engineering*, vol. 2009. Silpakorn University, 2009.

[5] T. K. Garrett, W. Steeds, and N. Newton, *Motor Vehicle*, 13th edition. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers Inc, 2001.

[6] H. Heisler, *Advanced Vehicle Technology*, 2 edition. Oxford: Society of Automotive Engineers Inc, 2002.

[7] H. Naunheimer, B. Bertsche, J. Ryborz, W. Novak, and P. Fietkau, *Automotive Transmissions: Fundamentals, Selection, Design and Application*, 2nd ed. 2011 edition. Springer, 2014.