

การหาสถานะการเคลื่อนที่โดยแบบจำลองพลศาสตร์ยานยนต์แบบสองและสามมิติ

Dynamic states calculation based on 2 and 3 Dimensional vehicle models

กฤษฎา จันท์แดง และ วิทยา วัฒนสุโกประสิทธิ์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทร 0-2186588 โทรสาร 0-2186588 อีเมล krissada.C@student.chula.ac.th Witaya.W@chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับพลศาสตร์ยานยนต์ ในสถานะที่ยานยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Longitudinal Velocity) ด้วยความเร็วคงที่ โดยแบ่งออกเป็น 2 แบบ หลักด้วยกัน ในแบบแรก คือ แบบ 2 ล้อ (2 มิติ) ซึ่งในแบบนี้ จะเป็นการพิจารณาภายใต้เงื่อนไขความสมมาตรกันระหว่างด้านฝั่งซ้ายและฝั่งขวา จึงสามารถถูกรวมเป็นอันเดียวกัน ทำให้จากเดิมที่ล้อนามี 2 ล้อ จึงโดนยุบรวมเหลือล้อเดียวซึ่งล้อหลังก็พิจารณาในลักษณะเดียวกัน ทำให้เหลือจำนวนของล้อ เท่ากับ 2 ล้อ ซึ่งตัวแปรสถานะทางพลศาสตร์ที่นำมาพิจารณาคือ ความเร็วด้านข้าง (Lateral Velocity) กับ ความเร็วเชิงมุมในแนวระนาบ (Yaw Rate, \dot{z}) ในแบบที่ 2 คือ แบบ 4 ล้อ (3 มิติ) สำหรับ แบบนี้จะเป็นการพิจารณาแบบไม่สมมาตร ทำให้ตัวแปรสถานะทางพลศาสตร์ที่นำมาพิจารณา จะมากกว่า แบบ 2 ล้อ ซึ่งประกอบไปด้วย ความเร็วด้านข้าง , ความเร็วเชิงมุมในแนวแกน (x, y, z) ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการคำนวณทางพลศาสตร์ ทั้ง 2 แบบนี้ จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลสถานะที่ตรวจวัดได้จากยานยนต์ยอส์ส่วน โดยยานยนต์ยอส์ส่วนนี้ได้ถูกปรับแต่งขึ้นส่วนตามหลักการวิเคราะห์เชิงมิติ (Dimension analysis) เพื่อให้มีพลศาสตร์ใกล้เคียงกับยานยนต์จริง และได้ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดบนยานยนต์ยอส์ส่วน สำหรับวัดข้อมูลสถานะของยานยนต์ประกอบไปด้วย ความเร่งเชิงเส้นใน 3 แนวแกน (x, y, z) , ความเร็วเชิงมุม 3 แนวแกน (x, y, z) , ความเร็วรอบของล้อ โดยข้อมูลที่ตรวจวัดได้นั้น จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่คำนวณได้จากแบบจำลองพลศาสตร์ยานยนต์ 2 และ 3 มิติ

Abstract

This research study about Vehicle dynamics on constant longitudinal velocity condition. 2 Simulation model considered, first model is 2 dimensions (2 wheels) analysis. Symmetry condition are used in this case. By the condition, 2 wheels remaining. Vehicle state including lateral velocity and yaw rate. Second model analysis is 3 dimension (4 wheels), non-symmetry analysis considered in this case. So the model have many vehicle state as roll rate, pitch rate, roll rate. Finally, we compare between the result of simulation and vehicle state from รวมบทความวิชาการ เล่มที่ 1 การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22

sensor on a scaling car. This scaling car improved on dimension analysis for dynamics equivalent with a vehicle. On scaling car have a sensor as accelerometer (3-axis), potentiometer (steering angle measurement) and wheel speed sensor.

1. บทนำ

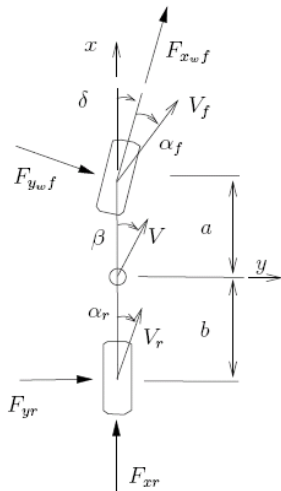
ความก้าวหน้าของยานยนต์ในปัจจุบันได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว การสร้างระบบช่วยในการขับขี่ต่างๆ เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและช่วยให้ผู้ขับขี่สามารถควบคุมยานยนต์ได้สะดวกมากขึ้น เช่นระบบ ABS (Anti-Brake System), ระบบควบคุมความเร็วอัตโนมัติ (Cruise Control), ระบบ Active Yaw Control เป็นต้น ซึ่งในการออกแบบระบบช่วยในการขับขี่นี้ ผู้ออกแบบจะต้องมีความรู้ ความเข้าใจด้านพลศาสตร์ยานยนต์เป็นอย่างดี เพื่อให้ผู้ออกแบบจะได้ทราบถึงการตอบสนองของยานยนต์ได้ในทุกสภาวะ เช่น สภาวะที่ยานยนต์กำลังเข้าโค้ง เป็นต้น หลังจากการวิเคราะห์ ผู้ออกแบบจะจำลองสภาวะต่างๆ ของยานยนต์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ผู้ออกแบบทราบถึงการตอบสนองของยานยนต์ได้มากขึ้น โดยโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองบนคอมพิวเตอร์นี้มาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของยานยนต์ โดยระดับความซับซ้อนของสมการคณิตศาสตร์นั้นจะถูกกำหนดด้วยเงื่อนไขต่างๆ ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบ เช่น การจำลองในแบบ 2 มิติ และแบบจำลอง 3 มิติ เป็นต้น เมื่อผู้ออกแบบมีความมั่นใจผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองทางคอมพิวเตอร์แล้ว จึงจะเข้าสู่ขั้นตอนของการทดสอบกับยานยนต์จริง โดยเหตุที่ต้องผ่านขั้นตอนการจำลองบนคอมพิวเตอร์ก่อนนั้น เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับผู้ขับขี่และเพื่อลดต้นทุนในกรณีที่เกิดความผิดพลาดจากขั้นตอนของการออกแบบ แต่ทว่าก็ยังไม่สามารถเลี่ยงความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นในการทดสอบกับยานยนต์จริงได้ทั้งหมด และในกรณีที่ผู้ออกแบบมีความต้องการทดสอบในสภาวะการขับขี่ที่มีความเสี่ยงสูง เช่น การขับขี่บนถนนที่มีความลื่นมากกว่าปกติ ก็อาจจะทำให้ง่ายต่อการเกิดอุบัติเหตุได้ ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการนำเอายานยนต์ยอส์ส่วนมาใช้ในการทดสอบแทนยานยนต์จริง เพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับผู้ขับขี่ และลดต้นทุนการบำรุงรักษาในกรณีที่เกิดความเสียหายกับยานยนต์ได้ โดยก่อนที่จะนำเอายานยนต์ยอส์ส่วนมาใช้งานได้นั้น ยานยนต์ยอส์ส่วนจะต้องถูกปรับแต่งขึ้นส่วนต่างๆ ซึ่งการปรับแต่งนี้จะต้องยึดตามหลักการวิเคราะห์

เชิงมิติ (Dimension analysis) เพื่อให้มีการตอบสนองทางพลศาสตร์ใกล้เคียงกับยานยนต์จริง รวมถึงการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด (sensor) ต่างๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลสถานะการเคลื่อนที่ของยานยนต์ย่อยส่วน (Vehicle state) เช่น ความเร่งเชิงเส้น, มุมบังคับเลี้ยว เป็นต้น

2. พลศาสตร์ยานยนต์

การจำลองพลศาสตร์ยานยนต์นั้นมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงการตอบสนองที่เกิดขึ้นกับยานยนต์ เพื่อให้มีความเข้าใจถึงตัวแปรที่มีผลกับพลศาสตร์ยานยนต์ โดยงานวิจัยนี้ศึกษาถึงพลศาสตร์ของยานยนต์แบบ 2 ล้อ และแบบ 4 ล้อ ซึ่งการจำลองพลศาสตร์ยานยนต์แบบ 2 ล้อ จะเป็นการจำลองพลศาสตร์การเคลื่อนที่ของรถอย่างง่าย ในรูปแบบ 2 มิติ ซึ่งจะมีตัวแปรอิสระ (degree of freedom) 2 ตัวแปรคือการเคลื่อนที่ด้านข้าง (lateral motion) และการหมุนของรถรอบแกน Z (yaw motion) สำหรับการจำลองพลศาสตร์ยานยนต์แบบ 4 ล้อ จะเป็นการพิจารณาในรูปแบบ 3 มิติ ทำให้การจำลองในแบบ 4 ล้อนี้มีตัวแปรอิสระมากกว่าในแบบ 2 ล้อ โดยในการจำลองพลศาสตร์แบบ 2 ล้อ และแบบ 4 ล้อนี้จะพิจารณาในสถานะที่ยานยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยความเร็วคงที่ (longitudinal velocity constant)

2.1 พลศาสตร์ของรถแบบ 2 ล้อ (Bicycle model)



รูปที่ 1 แบบจำลองรถของ Bicycle model [2]

สำหรับการจำลองแบบ 2 ล้อนี้ได้มีการนำไปใช้สำหรับการพัฒนาระบบควบคุมรถในหลายงานวิจัย [3], [4] โดยการจำลองแบบนี้จะเป็นการจำลองในสถานะที่รถยนต์วิ่งด้วยความเร็วคงที่ (Longitudinal velocity constant) และไม่คำนึงถึงการหมุนของลำตัวรถรอบแกน X (Roll motion) และการหมุนรอบแกน Y (Pitch motion) และพิจารณาถึงการเคลื่อนที่และแรงที่เกิดขึ้นที่ล้อด้านซ้ายและขวามีค่าเท่ากัน ดังนั้นจึงสามารถที่จะนำมารวมกันเป็น 1 ล้อได้ ทำให้เหลือล้อทั้งหมดเพียง 2 ล้อ เนื่องจากการคิดแบบรวมกันระหว่างล้อด้านซ้ายและขวาโดยมีลักษณะดังรูปที่ 1

$$m a_y = F_{yf} \cos \delta + F_{yr} \quad (1)$$

$$I_z \dot{r} = a F_{yf} \cos \delta - b F_{yr} \quad (2)$$

$$a_y = \dot{v} + r u \quad (3)$$

$$\dot{v} = -r u + \left(\frac{1}{m} \right) (F_{yf} \cos \delta + F_{yr}) \quad (4)$$

$$\dot{r} = \left(\frac{1}{I_z} \right) (a F_{yf} \cos \delta + b F_{yr}) \quad (5)$$

โดยที่

$$F_y = C_\alpha \alpha \quad (6)$$

$$\alpha_f = \delta_f - \tan^{-1} \left(\frac{v + ar}{u} \right) \quad (7)$$

$$\alpha_r = \delta_r - \tan^{-1} \left(\frac{v - br}{u} \right) \quad (8)$$

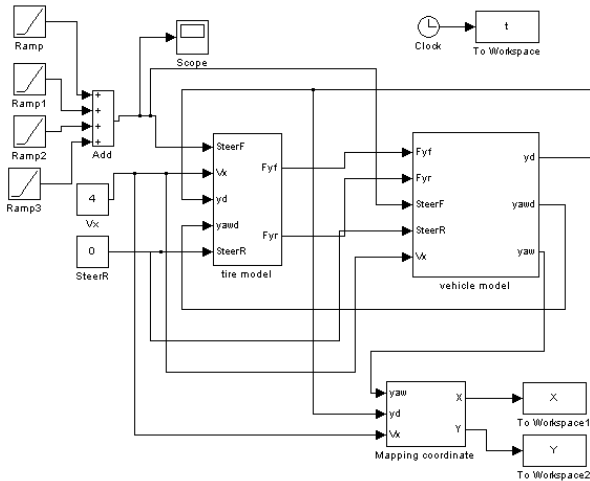
$$F_{yf} = 2 C_{\alpha f} \left(\delta_f - \tan^{-1} \left[\frac{v + ar}{u} \right] \right) \quad (9)$$

$$F_{yr} = 2 C_{\alpha r} \left(\delta_r - \tan^{-1} \left[\frac{v - br}{u} \right] \right) \quad (10)$$

ในขณะที่

- a หมายถึง ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของรถถึงล้อหน้า
- b หมายถึง ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของรถถึงล้อหลัง
- δ หมายถึง มุมของพวงมาลัย
- β หมายถึง slip angle ที่จุดศูนย์กลางของรถยนต์
- V หมายถึง ทิศทางความเร็วของจุดศูนย์กลางรถยนต์
- α_f หมายถึง slip angle ที่ล้อหน้า
- α_r หมายถึง slip angle ที่ล้อหลัง
- V_f หมายถึง ทิศทางความเร็วของล้อหน้า
- V_r หมายถึง ทิศทางความเร็วของล้อหลัง
- F_{yf} หมายถึง แรงที่กระทำด้านข้าง (lateral force) ของล้อหน้า
- F_{yr} หมายถึง แรงที่กระทำด้านข้างของล้อหลัง
- C_α หมายถึง Cornering stiffness
- I_z หมายถึง Moment of inertia รอบแกน Z
- r หมายถึง ความเร็วเชิงมุมในแนวแกน Z
- m หมายถึง มวลของรถยนต์
- u หมายถึง ความเร็วในแนวแกน x
- α_f หมายถึง slip angle ของล้อหน้า
- α_r หมายถึง slip angle ของล้อหลัง
- δ_f หมายถึง มุมของล้อหน้า
- δ_r หมายถึง มุมของล้อหลัง

จากนั้นจึงได้นำไปเขียนโปรแกรมเพื่อจำลองระบบพลศาสตร์ด้วยโปรแกรมของ MATLAB ดังรูป

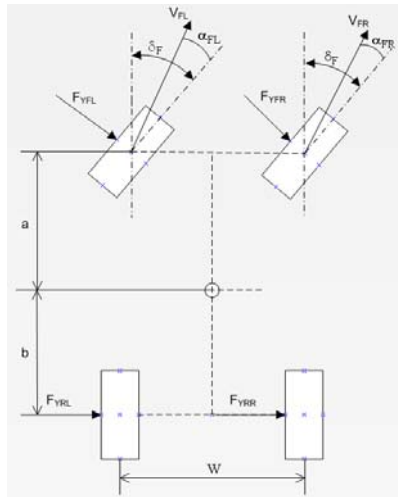


รูปที่ 2 Bicycle model

2.2 พลศาสตร์ของรถแบบ 4 ล้อ

สำหรับการจำลองแบบ 4 ล้อนั้นจะมีความซับซ้อนมากกว่าแบบ 2 ล้อ เนื่องจากเป็นการพิจารณาในรูปแบบ 3 มิติ ดังนั้นจึงมีผลของการหมุนรอบแกน X (Roll) และการหมุนรอบแกน Y (Pitch) ด้วย โดยจะเป็นการพิจารณาแรงที่เกิดขึ้นในแต่ละล้อ

พิจารณาในระนาบ X-Y



รูปที่ 3 ระนาบ X-Y

$$\ddot{y} = \frac{1}{M} \{ (\cos(\delta_f)) F_{YFL} + (\cos(\delta_f)) F_{YFR} + F_{YRL} + F_{YRR} \} + \dots - ru - g \sin(\phi) \quad (11)$$

$$I_Z \ddot{\psi} = \left(\frac{W}{2} \right) [-(\sin(\delta_f)) F_{YFL} + (\sin(\delta_f)) F_{YFR}] - b(F_{YRL} + F_{YRR}) + \dots + a [(\cos(\delta_f)) F_{YFL} + (\cos(\delta_f)) F_{YFR}] \quad (12)$$

ในขณะที่

$$F_{YFR} = C_{\alpha_F} \left[\delta_F - \tan^{-1} \left(\frac{\dot{y} + a \dot{\psi}}{u - \frac{W}{2} \dot{\psi}} \right) \right] \quad (13)$$

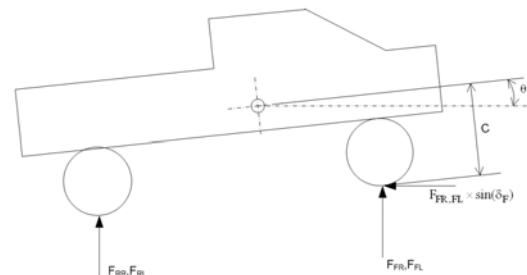
$$F_{YFL} = C_{\alpha_F} \left[\delta_F - \tan^{-1} \left(\frac{\dot{y} + a \dot{\psi}}{u + \frac{W}{2} \dot{\psi}} \right) \right] \quad (14)$$

$$F_{YRR} = C_{\alpha_R} \left[\delta_R - \tan^{-1} \left(\frac{\dot{y} - b \dot{\psi}}{u - \frac{W}{2} \dot{\psi}} \right) \right] \quad (15)$$

$$F_{YRL} = C_{\alpha_R} \left[\delta_R - \tan^{-1} \left(\frac{\dot{y} - b \dot{\psi}}{u + \frac{W}{2} \dot{\psi}} \right) \right] \quad (16)$$

พิจารณาในระนาบ X-Z

ระนาบ X-Z นี้จะพิจารณาแรงกระทำที่ล้อในแนวแกน X และ Z รวมถึงการหมุนของยานยนต์รอบแกน Y (Pitch)



รูปที่ 4 ระนาบ X-Z

$$I_X \ddot{\phi} = \left(\frac{W}{2} \right) \Delta_1 - F_{YFL} \cos(\delta_f) \Delta_2 - F_{YFR} \cos(\delta_f) \Delta_3 + \dots - F_{YRL} \Delta_4 - F_{YRR} \Delta_5 \quad (17)$$

โดยที่

$$\Delta_1 = F_{FL} + F_{RL} - F_{FR} - F_{RR} \quad (18)$$

$$\Delta_2 = h_{CG} - a\theta - \frac{W}{2} \phi \quad (19)$$

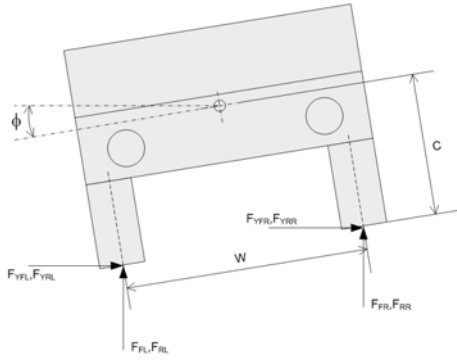
$$\Delta_3 = h_{CG} - a\theta + \frac{W}{2} \phi \quad (20)$$

$$\Delta_4 = h_{CG} + b\theta - \frac{W}{2} \phi \quad (21)$$

$$\Delta_5 = h_{CG} + b\theta + \frac{W}{2} \phi \quad (22)$$

พิจารณาในระนาบ Y-Z

ระนาบ Y-Z นี้จะพิจารณาแรงกระทำที่ล้อในแนวแกน Y และ Z รวมถึงการหมุนของยานยนต์รอบแกน X (Roll)



รูปที่ 5 ระนาบ Y-Z

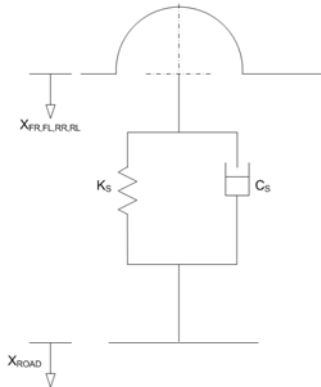
$$I_Y \ddot{\theta} = a(F_{FL} + F_{RL}) - b(F_{FR} + F_{RR}) - F_{YFL}(\cos(\delta_F))\Delta_3 + \dots - F_{YFL}(\sin(\delta_F))\Delta_2 \quad (23)$$

โดยที่

$$\Delta_2 = h_{CG} - a\theta - \frac{W}{2}\phi \quad (19)$$

$$\Delta_3 = h_{CG} - a\theta + \frac{W}{2}\phi \quad (20)$$

ชุดรองรับการสั่นสะเทือน



รูปที่ 6 ชุดรองรับการสั่นสะเทือน

$$F_{FR} = K(X_{FR} - X_{ROAD}) + C(\dot{X}_{FR} - \dot{X}_{ROAD}) \quad (24)$$

$$F_{FL} = K(X_{FL} - X_{ROAD}) + C(\dot{X}_{FL} - \dot{X}_{ROAD}) \quad (25)$$

$$F_{RR} = K(X_{RR} - X_{ROAD}) + C(\dot{X}_{RR} - \dot{X}_{ROAD}) \quad (26)$$

$$F_{RL} = K(X_{RL} - X_{ROAD}) + C(\dot{X}_{RL} - \dot{X}_{ROAD}) \quad (27)$$

$$X_{FR} = X_{CG} - a\theta + \frac{W}{2}\phi \quad (28)$$

$$X_{FL} = X_{CG} + a\theta + \frac{W}{2}\phi \quad (29)$$

$$X_{RR} = X_{CG} - b\theta - \frac{W}{2}\phi \quad (30)$$

$$X_{RL} = X_{CG} - b\theta + \frac{W}{2}\phi \quad (31)$$

$$\dot{X}_{FR} = \dot{X}_{CG} - a\dot{\theta} + \frac{W}{2}\dot{\phi} \quad (32)$$

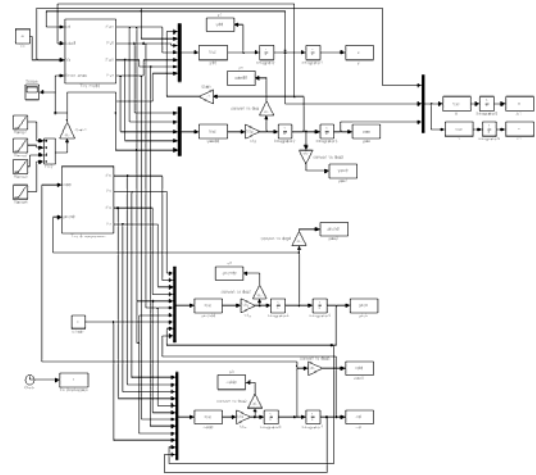
$$\dot{X}_{FL} = \dot{X}_{CG} + a\dot{\theta} + \frac{W}{2}\dot{\phi} \quad (33)$$

$$\dot{X}_{RR} = \dot{X}_{CG} - a\dot{\theta} - \frac{W}{2}\dot{\phi} \quad (34)$$

$$\dot{X}_{RL} = \dot{X}_{CG} - b\dot{\theta} + \frac{W}{2}\dot{\phi} \quad (35)$$

$$M\ddot{X}_{CG} = -F_{FR} - F_{FL} - F_{RR} - F_{RL} + Mg \quad (37)$$

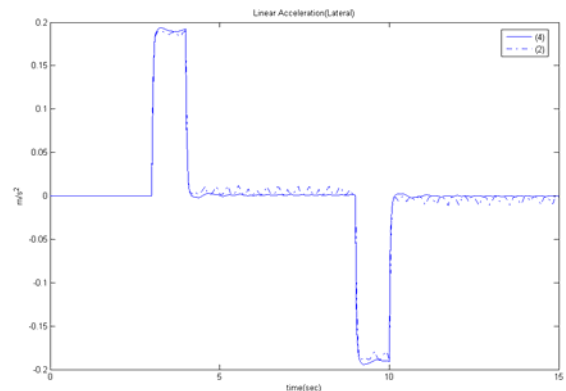
จากนั้นจึงได้นำไปเขียนโปรแกรมเพื่อจำลองระบบพลศาสตร์ด้วยโปรแกรมของ MATLAB ดังรูป



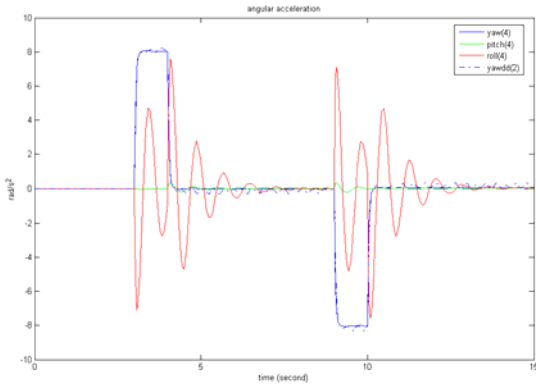
รูปที่ 7 Simulate แบบจำลอง 4 ล้อ

3. การจำลองพลศาสตร์ยานยนต์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

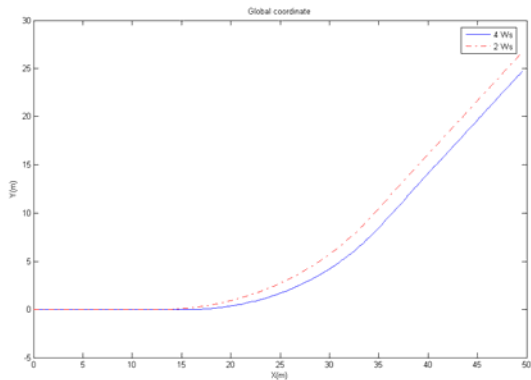
การจำลองพลศาสตร์ยานยนต์เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณระหว่างแบบจำลอง 2 ล้อ กับ แบบจำลอง 4 ล้อ ภายใต้เงื่อนไขวิ่งไปข้างหน้าด้วยความเร็วคงที่ (Longitudinal velocity constant)



รูปที่ 9 Lateral Acceleration



รูปที่ 10 Angular Acceleration



รูปที่ 11 Trajectory

จากรูปที่ 9 และ 10 พบว่าทั้งสองค่า คือค่าความเร็วเชิงมุมแกน Z (Yaw rate) และความเร่งเชิงเส้นด้านข้าง มีลักษณะใกล้เคียงกันมาก ถึงแม้ว่าสมการที่ (11) มีตัวแปร ϕ เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ทั้งนี้เนื่องจากความเร็วการเคลื่อนที่ (Longitudinal Velocity) ที่ใช้ในการคำนวณนี้มีค่าต่ำ จึงทำให้ผลของแรงโน้มถ่วงมีผลต่อความเร่งด้านข้างน้อย แต่ผลของแรงโน้มถ่วงนี้จะมีผลมากขึ้นถ้ายานยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ดังนั้นในขณะที่ยานยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ ผลที่คำนวณได้จากสมการพลศาสตร์ในแบบ 2 มิติและ 3 มิติ จะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อยานยนต์มีความเร็วมากขึ้น ข้อมูลที่คำนวณได้จากทั้ง 2 แบบ คือ แบบ 2 มิติ กับ 3 มิติ จะแตกต่างกันมากขึ้น

4. ยานยนต์ย่อส่วน (Scaling Vehicle)

ยานยนต์ที่ใช้ในการทดสอบเก็บข้อมูลสถานะ (Vehicle state) นี้ได้รับการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด (sensor) เพื่อเก็บข้อมูลสถานะของยานยนต์ (vehicle state) และได้ถูกดัดแปลงขึ้นส่วน เพื่อให้มีพลศาสตร์ของยานยนต์ย่อส่วนมีความสมมูลกับพลศาสตร์ของยานยนต์จริง ซึ่งการดัดแปลงขึ้นส่วนนั้นได้ยึดตามหลักการวิเคราะห์เชิงมิติ (Dimension analysis, PI Theorem) โดยขั้นตอนในการวิเคราะห์เชิงมิตินั้นจะพิจารณาตัวแปรที่อยู่ในสมการพลศาสตร์ของยานยนต์ เพื่อนำตัวแปรทั้งหมดมาจัดเป็นกลุ่ม ซึ่งจะอยู่ในรูปของกลุ่มตัวแปรไร้มิติ (Dimensionless) และการดัดแปลงยานยนต์ย่อส่วนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ก็ยึดตามหลักการจัดกลุ่มตัวแปรไร้มิตินี้ โดยนำตัวแปรมาจากสมการ

พลศาสตร์ยานยนต์ในแบบ 2 ล้อ จากสมการที่ [4],[5] ทำให้ได้กลุ่มตัวแปรใหม่ดังนี้

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= \frac{a}{L} , \quad \Pi_2 = \frac{b}{L} , \quad \Pi_3 = \frac{C_{\omega} L}{\mu^2} \\ \Pi_4 &= \frac{C_{\omega} L}{\mu^2} , \quad \Pi_5 = \frac{I_z}{mL^2} \end{aligned} \quad (38)$$

การดัดแปลงขึ้นส่วนของยานยนต์ย่อส่วน โดยมีจุดประสงค์ให้ค่ากลุ่มตัวแปรไร้มิติของยานยนต์ย่อส่วนเท่ากับยานยนต์จริง ดังนั้นจึงต้องดัดแปลงตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วง, โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกน Z , น้ำหนักของยานยนต์ย่อส่วนใหม่ รวมไปถึงการเลือกรูปแบบของล้อยางกับพื้นถนนที่ใช้ทดสอบ เพื่อให้ได้ค่า Cornering Stiffness ตามที่ต้องการ

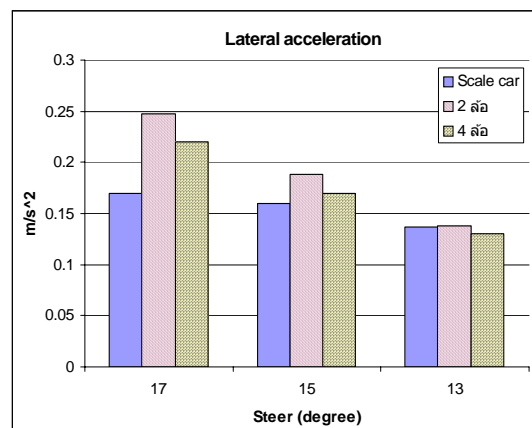


รูปที่ 12 ยานยนต์ย่อส่วน ก่อน (ซ้าย) และหลัง (ขวา) ดัดแปลง

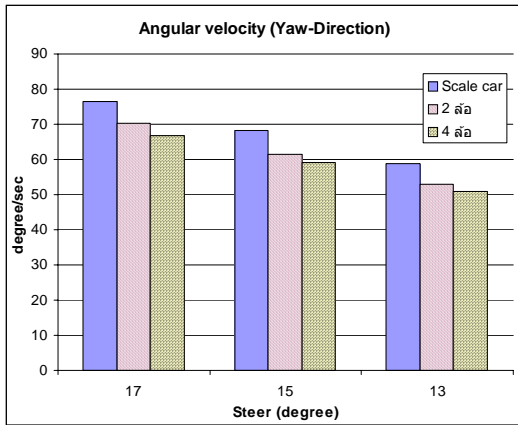
5. เปรียบเทียบผลการจำลองพลศาสตร์กับข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากยานยนต์ย่อส่วน

การเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างข้อมูลที่ได้จากยานยนต์ย่อส่วนกับข้อมูลที่ได้จากการจำลองบนคอมพิวเตอร์นี้ เพื่อประเมินความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการจำลองบนคอมพิวเตอร์ ซึ่งในการทดสอบนี้ได้กำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของยานยนต์ย่อส่วนให้วิ่งวนเป็นวงกลมและวิ่งด้วยความเร็วคงที่

ข้อมูลที่จะนำมาเปรียบเทียบนั้น ประกอบด้วยความเร่งเชิงเส้นด้านข้าง (Lateral Acceleration) กับความเร็วเชิงมุมในแนวแกน Z (Yaw rate)



รูปที่ 13 เปรียบเทียบความเร่งด้านข้าง



รูปที่ 14 เปรียบเทียบความเร่งด้านข้าง

การเปรียบเทียบความเร่งด้านข้างระหว่างแบบจำลอง 2 ล้อกับแบบจำลอง 4 ล้อ นั้นผลปรากฏว่าแบบจำลอง 4 ล้อมีความถูกต้องมากกว่าแบบจำลอง 2 ล้อ และที่มุมบังคับเลี้ยวน้อย จะมีความถูกต้องมากกว่าข้อมูลที่มีมุมบังคับเลี้ยวมาก ในขณะที่การเปรียบเทียบความเร็วเชิงมุมในแนวแกน Z ระหว่างแบบจำลอง 2 ล้อกับแบบจำลอง 4 ล้อ ผลปรากฏว่าแบบจำลอง 2 ล้อมีความถูกต้องมากกว่าแบบจำลอง 4 ล้อ

6. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอการหาสภาวะ การเคลื่อนที่โดยการจำลองพลศาสตร์ยานยนต์ในแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ โดยในแบบจำลองพลศาสตร์ 2 มิตินั้นจะเป็นการจำลองอย่างง่าย โดยการพิจารณาแรงที่เกิดขึ้นที่ล้อด้านซ้ายและขวา มีความสมมาตรกัน อีกทั้งยังเป็นการวิเคราะห์ในระนาบเดียว ทำให้ลดระดับความซับซ้อนของสมการพลศาสตร์ลงไปได้มาก แต่ว่าผลของการคำนวณที่ได้จากการจำลองพลศาสตร์ยานยนต์แบบ 2 ล้อนี้ จะมีความถูกต้องแม่นยำดี ในช่วงที่ยานยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ เนื่องจากในขณะนั้นผลกระทบของตัวแปรอื่นจะมีน้อย เช่น ในขณะที่ขับเข้าโค้ง โครงสร้างตัวของยานยนต์จะเกิดการเอียง เนื่องจากความเร่งเข้าสู่ศูนย์กลาง ซึ่งถ้ายานยนต์วิ่งเข้าโค้งด้วยความเร็วสูง จะเกิดการเอียงของโครงสร้างตัวยานยนต์รอบแกน X มาก (Roll movement) ซึ่งจะส่งผลต่อการคำนวณของพลศาสตร์ในแบบ 2 มิติ สำหรับการจำลองพลศาสตร์แบบ 3 มิติ สมการพลศาสตร์จะมีความซับซ้อน เนื่องจากการพิจารณาแรงที่เกิดขึ้นทั้งสี่ล้อ โดยแยกจากกันอย่างอิสระ ทำให้ตัวแปรที่ใช้ในสมการพลศาสตร์ก็จะมีมากขึ้นด้วย รวมถึงความซับซ้อนในการพิจารณาในระนาบ ไต ระนาบหนึ่งก็จะมีผลของตัวแปรในระนาบอื่น เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย และผลจากความซับซ้อนของสมการพลศาสตร์นี้ ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณก็จะมี ความถูกต้องแม่นยำมากกว่าการคำนวณพลศาสตร์ในแบบ 2 มิติ

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Sean N.Brennan, 2002. On size and control: The use of dimensional analysis in controller design, University of Illinois at Urbana-Champaign
- [2] ดร.ศุภวุฒิ จันทร์านูวัฒน์, 2548. เอกสารประกอบการสอนวิชา Automotive Control, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [3] C.L.A.van Maren, J. Sika, 2001. Scaled Vehicle Dynamic of Davinci Project, Delft University of Technology.
- [4] Sean N.Brennan, 1999. Modeling and control issues associated with scaled vehicles, University of Illinois at Urbana-Champaign.