

ระบบต้นแบบในการจำลองการขับขี่ยานพาหนะ Driving Simulator Prototype

นักสิทธิ์ นุ่มวงศ์*, ชุตินา พิชิตพรรณ, วีระชัย สุภัทรวณิช, สัจจะพงษ์ ยงสกุลโรจน์, สาลินี อาชวเมธี และ ศุภวุฒิ จันทรานูวัฒน์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330
โทร 0-2218-6636, โทรสาร 0-2252-2889, *อีเมล Nuksit.N@eng.chula.ac.th

Nuksit Noomwongs*, Chutima Pichitpun, Werachai Supatwanit, Sachapong Yongsakulroj,
Salinee Archawamete, Supavut Chantranuwathana
Department of Mechanical Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, THAILAND
Tel: 0-2218-6636, Fax: 0-2252-2889, * E-mail: Nuksit.N@eng.chula.ac.th

บทคัดย่อ

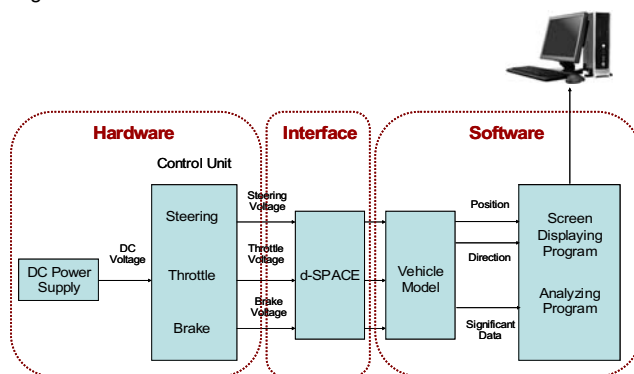
บทความนี้นำเสนอผลการสร้างระบบต้นแบบในการจำลองการขับขี่ยานพาหนะ (Driving Simulator Prototype) เพื่อใช้ในการศึกษาการตอบสนองของผู้ขับขี่ในเหตุการณ์ต่างๆ หรือต่อระบบของรถที่อยู่ในระหว่างการพัฒนาแบบต่างๆ โดยระบบต้นแบบนี้ประกอบไปด้วยระบบคอมพิวเตอร์สำหรับจำลองลักษณะทางพลศาสตร์ของรถยนต์ และ ชุดจำลองการขับขี่ที่สามารถรับข้อมูลจากผู้ขับขี่คือ มุมบิดของพวงมาลัย, มุมกดของคันเร่งและแป้นเบรก และสามารถแสดงภาพจำลองของถนนให้แก่ผู้ขับขี่ ในเบื้องต้นแบบจำลองที่ใช้เป็นโมเดลรถยนต์แบบสองล้อ (Bicycle Model) แบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองของรถยนต์อย่างง่ายซึ่งนิยมใช้กันทั่วไปในการวิเคราะห์และจำลองการเคลื่อนที่ของรถยนต์ในแนวระดับ แบบจำลองประกอบไปด้วย พลศาสตร์วัตถุเกร็งของตัวรถ, โมเมนต์ความเฉื่อยของล้อทั้งสอง, การถ่ายแรงกดบนล้อจากความเร่ง, การสลิป ของล้อทั้งในแนวการเคลื่อนที่ (Slip ratio) สำหรับการจำลองแรงในแนวการเคลื่อนที่ และในแนวด้านข้าง (Side Slip Angle) สำหรับการจำลองแรงในด้านการเลี้ยว การทดสอบระบบโดยใช้แบบจำลองเพียงอย่างเดียวพบว่าระบบสามารถทำงานได้ดีและมีความสมเหตุสมผล ทั้งในการเร่ง และ เบรก ในทางตรง และ การทดสอบการเลี้ยวก็ได้ผลตรงตามที่คาดไว้ จากนั้นระบบต้นแบบนี้ได้ถูกนำมาใช้ทดสอบจริงเพื่อเปรียบเทียบการขับขี่หลบหลีกสิ่งกีดขวาง จากการขับขี่จริงของนิสิต 30 ท่าน อายุระหว่าง 19-21 ปี ผลที่ได้แสดงให้เห็นชัดเจนว่าผู้ทดลองเพศชายจะกล้าหักเลี้ยวที่ความเร็วมากกว่าเพศหญิง และระยะเวลาที่ใช้ในการวิ่งบนถนนทดสอบในเพศชายจะน้อยกว่าเพศหญิง จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าในเบื้องต้นระบบจำลองการขับขี่ยานพาหนะต้นแบบนี้ สามารถนำมาใช้ในการศึกษาการตอบสนองของผู้ขับขี่ได้จริง ซึ่งเป็นหน้าที่หลักของระบบที่ต้องการ

Abstract

This paper describes a driving simulator prototype built at Chulalongkorn University. The driving simulator can be used to study responses of human driver under various repeatable circumstances and to study the driver interaction with various vehicle sub-systems during their development process. The system consists of a simulator which is a computer equipped with a digital signal processor for vehicle system dynamics simulation in real-time and a simple driver cockpit. The driver can give steering, throttle and brake command to the simulator. The simulator can generate a simple graphical representation of the front view and show it on an LCD monitor to the driver. The model used is a bicycle model that consists of a rigid body dynamics of the vehicle body, the rotational model of the wheels, and weight transfer resulting from acceleration and braking. Linear tire force model including the slip ratio for longitudinal force generation and side slip angle for lateral force generation were implemented. Tests were done on the dynamic model using linear acceleration, linear deceleration, and steady state cornering. Furthermore, the complete system was used to study lane changing behavior of 30 undergraduate students age between 19-21 years old. The result shows that the male students drive more aggressively than their female classmate. This simple experiment shows that the system built has a potential for future usage in studies about responses of human drivers.

1. บทนำ

ในปัจจุบันการออกแบบและพัฒนายานยนต์มีการใช้วิธีการทาง Simulation เป็นอย่างมาก ทั้งในการคำนวณและออกแบบระบบต่างๆ ในรถยนต์ เช่น ระบบการควบคุมเลี้ยว, ระบบเบรก, ระบบควบคุมเสถียรภาพ ฯลฯ แต่วิธีการทาง Simulation ก็ยังไม่สามารถจำลองสภาวะและระบบในรถยนต์หลายๆอย่างได้อย่างแม่นยำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านพฤติกรรมของการขับขี่ของมนุษย์ ซึ่งจะสามารถศึกษาผลของการออกแบบต่อพฤติกรรมของการขับขี่ได้ในการทดสอบรถยนต์จริง แต่การสร้างรถทดสอบออกมาทั้งคันก่อนที่จะทำการทดสอบนั้นเป็นการสิ้นเปลืองอย่างยิ่งและทำให้ใช้เวลาในการพัฒนาผลิตภัณฑ์มาก นอกจากนี้แล้วการทดสอบจริงนั้น การทำการทดสอบที่ต้องการให้มีการทำซ้ำได้นั้นเป็นไปได้ยาก จึงทำให้การวิเคราะห์ใช้เวลามาก และการทดสอบรถในบางสภาวะก็อาจเกิดอันตรายต่อผู้ทดสอบขับขี่ได้หากมีความผิดพลาดหรือความไม่แน่นอนจากการออกแบบและพัฒนาโดยวิธีการทางSimulationโดยไม่ได้คำนึงถึงผลของผู้ขับขี่ ดังนั้นถ้าเราใช้ระบบจำลองการขับขี่ในการทดสอบระบบก่อนที่จะมีการผลิตจริง ก็จะทำให้สามารถลดเวลาในการพัฒนางานได้มาก และสามารถช่วยลดความเสี่ยงในการทดสอบจริงในสนามทดสอบลงได้ ในบทความนี้ทางคณะผู้จัดทำได้แสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบของระบบต้นแบบในการจำลองการขับขี่ยานพาหนะ (Driving Simulator Prototype) ซึ่งเป็นส่วนเริ่มต้นของการวิจัยที่จัดสร้างขึ้นที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ระบบต้นแบบในการจำลองการขับขี่ยานพาหนะที่จัดสร้างขึ้นนี้ประกอบไปด้วย สามส่วนหลักคือ ส่วน Software, Hardware และ Interface ดังแสดงในรูปที่ 1.1 ส่วนที่เป็นSoftwareประกอบไปด้วยระบบคอมพิวเตอร์สำหรับจำลองลักษณะทางพลศาสตร์ของรถยนต์ ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองยานพาหนะ (Vehicle model) และส่วนคำนวณของการแสดงภาพจำลองการขับขี่ เช่น ถนน และสิ่งแวดล้อมจำลอง ส่วน Hardware ประกอบไปด้วยที่นั่งคนขับและอุปกรณ์ควบคุมรถยนต์ เช่น พวงมาลัย, คันเร่ง, แป้นเบรก รวมทั้ง อุปกรณ์วัดค่าต่างๆ ซึ่งข้อมูลของมุมบิดของพวงมาลัย, มุมกดของคันเร่ง และ มุมกดของแป้นเบรกจะถูกส่งไปยังแบบจำลองยานพาหนะผ่านส่วนInterface ซึ่งประกอบด้วยส่วนเชื่อมต่อระหว่าง Hardware และ Software ผ่านทางหน่วยประมวลผลความเร็วสูง(Digital Signal Processor, DSP) ของ d-SPACE ซึ่งจะแปลงสัญญาณAnalog จาก Hardware ไปเป็นสัญญาณDigital สำหรับใช้ประมวลผลในคอมพิวเตอร์



รูปที่ 1.1 แผนผังแสดงส่วนประกอบหลักของแบบจำลองยานพาหนะ

2. การสร้างแบบจำลองยานพาหนะ

เนื่องจากจุดประสงค์หลักในการจัดสร้างระบบต้นแบบในการจำลองการขับขี่ยานพาหนะนี้ คือเพื่อแสดงให้เห็นถึงระบบเบื้องต้นที่สามารถใช้งานได้ ก่อนจะนำไปปรับปรุงในการวิจัยขั้นถัดไปให้มีความสมจริงมากยิ่งขึ้น ทางคณะผู้จัดทำจึงใช้แบบจำลองต่างๆที่ไม่ยุ่งยากนักและง่ายต่อการวิเคราะห์ แบบจำลองยานพาหนะที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นโมเดลรถยนต์แบบสองล้อ (Bicycle Model) [4-11] ซึ่งเป็นโมเดลของรถยนต์อย่างง่ายที่มีการใช้กันอย่างกว้างขวางในการวิเคราะห์และศึกษาการเคลื่อนที่ของรถยนต์ในสภาวะการเลี้ยวและคุณสมบัติการดีดและตามโค้ง (Under and Over Steer) โดยการยุบรวมล้อหน้าและหลังของรถยนต์4ล้อเป็นล้อหน้าและล้อหลังอย่างละล้อ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 แบบจำลองประกอบไปด้วย พลศาสตร์วัตถุเกร็งของตัวรถ, โมเมนต์ความเฉื่อยของล้อทั้งสอง, การถ่ายแรงกดบนล้อจากความเร่ง, การสลิปของล้อทั้งในแนวการเคลื่อนที่ (Slip ratio) สำหรับการจำลองแรงในแนวการเคลื่อนที่ และในแนวด้านข้าง (Side Slip Angle) สำหรับจำลองแรงในแนวด้านข้างที่เกิดจากการเลี้ยว

แบบจำลองยานพาหนะแบบสองล้อ (Bicycle Model) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 มีสมมติฐานและรายละเอียดดังนี้ คือ

1. ในเบื้องต้นจะเน้นจำลองการเคลื่อนที่ของรถยนต์ในแนวระดับ คือ คำนึงถึง การเคลื่อนที่ในแนว Longitudinal, Lateral และ Yaw motion โดยยังไม่คิดผลของ Roll และ Pitch motion (ผลของ Roll และ Pitch motion จะถูกเพิ่มเข้ามาในช่วงการพัฒนาขั้นต่อไปของระบบต้นแบบนี้)
2. จุดศูนย์กลางมวลของรถอยู่ที่ความสูง h ห่างจากผิวถนน
3. ระบบที่พิจารณาเป็นแบบเชิงเส้น (linear)
4. ไม่พิจารณาแรงเสียดทานอันเนื่องมาจากแรงลมและการกลิ้ง
5. มุมเลี้ยวที่ล้อหลัง $\delta_r = 0$ ส่วนล้อหน้าทำมุมเลี้ยว δ_f
6. แบบจำลองยานพาหนะ มีการขับเคลื่อนที่ล้อหลังเท่านั้น
7. มีการกระจายโมเมนต์เบรกที่ล้อหน้าและหลังเท่าๆกัน

ระบบแกนอ้างอิงที่ใช้มี 2 ระบบ ระบบแรกเป็นแกนอ้างอิงหลักที่ใช้อยู่กับที่(คือเป็นแกนที่เทียบกับโลก) คือแกน $\bar{X}, \bar{Y}$ เป็นแกนที่ใช้ในการบอกพิกัดที่แน่นอนของรถ เพื่อนำไปใช้ในการแสดงผลออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ส่วนอีกระบบคือ แกนอ้างอิงที่เคลื่อนที่ไปกับรถ คือ แกน x : ตามแนวยาวของตัวรถ และ แกน y : ตั้งฉากกับตัวรถ ซึ่งจะมีทิศทางเปลี่ยนไปตามตลอดเวลาตามการเคลื่อนที่ของรถ มีไว้เพื่อช่วยในการอ้างอิงถึงแรงต่างๆที่กระทำต่อตัวรถเมื่อรถเคลื่อนที่ไป มุมที่ตัวรถกระทำกับแนวแกนอ้างอิงหลักคือ ψ (yaw angle) ในรูปที่ 2.1 $F_{xf, xr}$ คือแรงจุด หรือแรงในทิศตามแนวยาวของตัวรถ $F_{yf, yr}$ คือแรงด้านข้างที่ใช้ในการเลี้ยวซึ่งกระทำในทิศตั้งฉากกับการวางตัวของล้อหน้าและหลังซึ่งจะทำให้รถสามารถเลี้ยวเข้าโค้งได้ $V_{f, r}$ คือความเร็วของรถที่ล้อหน้าและหลังตามลำดับ ซึ่งความเร็วทั้งสองจะทำการมุม α_f และ α_r กับล้อทั้งสองตามลำดับ V คือความเร็วที่จุดศูนย์กลางของรถซึ่งทำการมุม β (side slip angle) กับแนวการวางตัวของรถ L_f, L_r คือระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของรถถึงล้อหน้าและหลัง ส่วนค่า u และ v

เป็นค่าความเร็วในแนวนอน และ แนวตั้งจากกับตัวรถที่จุดศูนย์กลางของรถ (วัดตามแนวแกน x,y) โดยมีความสัมพันธ์กันดังสมการที่ (1)

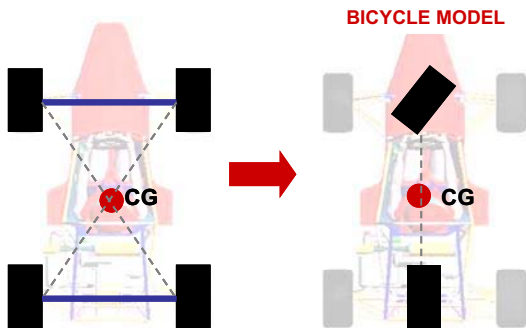
$$\mathbf{V} = u\hat{n}_x + v\hat{n}_y \quad (1)$$

เมื่อ $\hat{n}_x, \hat{n}_y$ คือเวกเตอร์ 1 หน่วยในแนวแกน x และ y ตามลำดับ จาก Free Body Diagram ของรถแสดงดังรูปที่ 2.1 จะได้สมการดังนี้

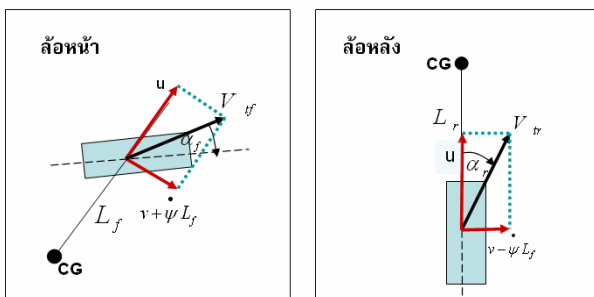
$$-2F_{yf} \sin \delta + 2F_{yf} \cos \delta + F_{yr} - m\ddot{u} + m\dot{v}\dot{\psi} = 0 \quad (2)$$

$$2F_{yf} \cos \delta + 2F_{yf} \sin \delta + F_{yr} - m\dot{v} - m\dot{u}\dot{\psi} = 0 \quad (3)$$

$$-2F_{yf}L_r + 2(F_{yf} \cos \delta + F_{yf} \sin \delta)L_f - I_z\ddot{\psi} = 0 \quad (4)$$



รูปที่ 2.1 Bicycle Model



รูปที่ 2.2 รูปแสดงความเร็วในทิศขนานกับการวางตัวของแนวยาง

2.1 ความเร็วรถในทิศขนานกับการวางตัวของแนวยาง

ในรูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบของความเร็วที่ศูนย์กลางของล้อทั้งล้อหน้าและล้อหลัง

$$\text{ล้อหน้า; } v_{cf} = \cos \alpha_f \sqrt{u^2 + (v + \dot{\psi} L_f)^2} \quad (5)$$

$$\text{ล้อหลัง; } v_{cr} = \cos \alpha_r \sqrt{u^2 + (v - \dot{\psi} L_r)^2} \quad (6)$$

โดย L_f, L_r คือระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของรถถึงล้อหน้าและล้อหลัง

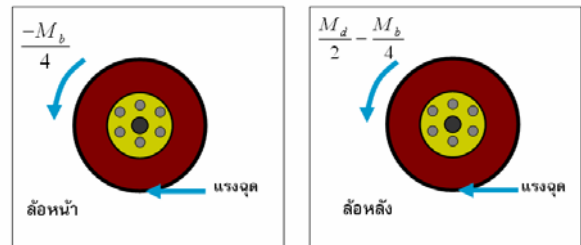
2.2 ความเร็วเชิงเส้นและความเร็วเชิงมุมของล้อ

จาก Tire Model ในรูปที่ 2.3 จะได้ความเร่งเชิงมุมของล้อดังสมการ

$$\dot{\omega}_{w(f,r)} = \frac{M - F_{(f,r)}r}{I_w} \quad (7)$$

โดย M คือโมเมนต์ลัพธ์ที่กระทำต่อล้อ

M_d คือโมเมนต์ขับที่ล้อหลัง M_b คือโมเมนต์เบรกที่ล้อหน้าและล้อหลัง



รูปที่ 2.3 Tire Model

2.3 ความเร็วเชิงเส้นของล้อ

$$v_{w(f,r)} = \omega_{w(f,r)} r \quad (8)$$

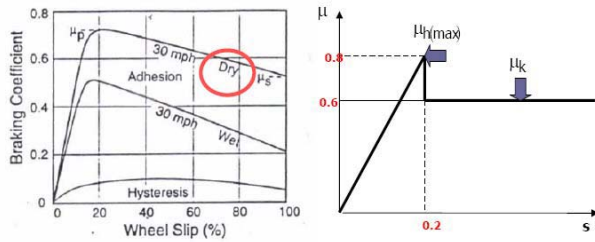
2.4 อัตราส่วนการไถล (Slip Ratio)

$$\text{เบรก... } S_{(f,r)} = \frac{v_{cf(f,r)} - v_{w(f,r)}}{v_{cf(f,r)}} ; [v_{cf(f,r)} > v_{w(f,r)}] \quad (9)$$

$$\text{เร่ง... } S_{(f,r)} = \frac{v_{w(f,r)} - v_{cf(f,r)}}{v_{w(f,r)}} ; [v_{cf(f,r)} < v_{w(f,r)}] \quad (10)$$

2.5 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

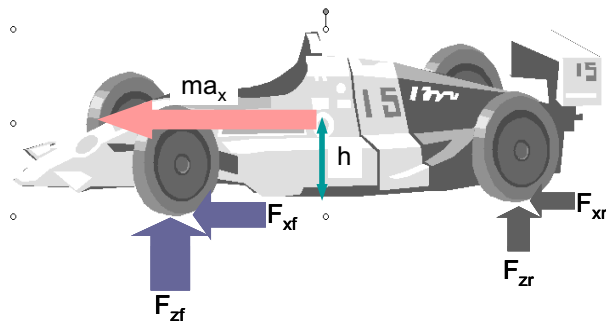
หาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและ อัตราส่วนการไถล (Slip ratio); ทั้งนี้ถือว่าพื้นถนนเป็นพื้นถนนแห้ง ดังกราฟดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กราฟสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของจริงและในแบบจำลอง[6]

2.6 การถ่ายเทโหลดในแนวดิ่ง (Load Transfer)

เมื่อรถเร่งความเร็วหรือเบรก การถ่ายเทแรงในแนวดิ่งที่ล้อหน้า และล้อหลังมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งสามารถหาค่าได้จาก แผนภูมิ Free Body Diagram ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 Free Body Diagram เพื่อใช้หาค่า Vertical Weight Transfer

แรงตามแนวดิ่งที่ล้อเมื่อมีการคิดการถ่ายเทโหลด คือ

$$\text{ล้อหน้า; } F_{zf} = \frac{m}{2} \left(\frac{gL_f - a_x h}{L} \right) \quad (11)$$

$$\text{ล้อหลัง; } F_{zr} = \frac{m}{2} \left(\frac{gL_r + a_x h}{L} \right) \quad (12)$$

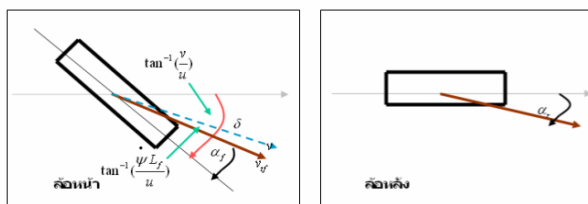
2.7 แรงจุด (Longitudinal Force)

$$\text{ล้อหน้า; } F_{(f)} = \mu_f F_{zf} \quad (13)$$

$$\text{ล้อหลัง; } F_{(r)} = \mu_r F_{zr} \quad (14)$$

2.8 ค่ามุมไถล (Slip Angle)

สำหรับล้อหน้าและล้อหลังจาก รูปที่2.6 ดังนี้



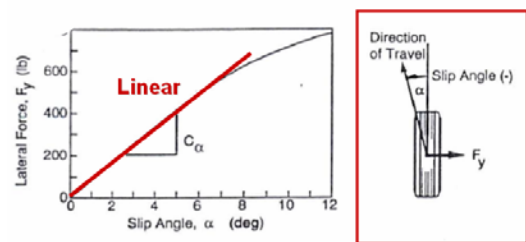
รูปที่ 2.6 แสดงทิศทางของความเร็วและมุมต่างๆ
เพื่อใช้ในการหาค่ามุมไถล (Slip angle)

$$\text{ล้อหน้า; } \alpha_r = - \left[\tan^{-1} \left(\frac{\dot{\psi} L_f}{u} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{v}{u} \right) \right] + \delta \quad (15)$$

$$\text{ล้อหลัง; } \alpha_r = - \left[- \tan^{-1} \left(\frac{\dot{\psi} L_r}{u} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{v}{u} \right) \right] \quad (16)$$

2.9 แรงเลี้ยว (Cornering Force)

แรงเลี้ยวสามารถหาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง แรงเลี้ยว ไถ้ และ ค่ามุมไถล (Slip angle) โดยพิจารณาเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ดังรูปที่ 2.7



รูปที่2.7 Tire Cornering Force [6]

$$\text{ล้อหน้า; } F_{yf} = C_{af} \alpha_f \quad (17)$$

$$\text{ล้อหลัง; } F_{yr} = C_{ar} \alpha_r \quad (18)$$

2.10 การเปลี่ยนแกนอ้างอิง

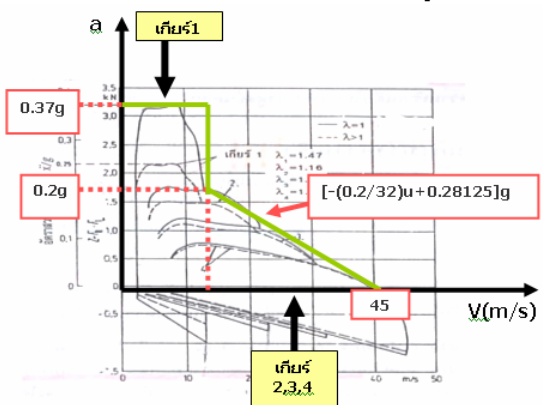
ใช้ในการคำนวณตำแหน่งของรถเทียบกับแกน $\bar{X}$ และ $\bar{Y}$

$$\dot{\bar{X}} = u \cos \psi - v \sin \psi \quad (19)$$

$$\dot{\bar{Y}} = u \sin \psi + v \cos \psi \quad (20)$$

2.11 โมเมนต์ขับเคลื่อน และ โมเมนต์เบรกที่ล้อ

หาได้จากกราฟสมรรถนะของเครื่องต้นกำลังชนิดเครื่องยนต์สันดาปภายใน ที่มีระบบส่งกำลังแบบ 4 gear ทด ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร่ง และค่าความเร็ว
ของรถ ของจริง และ แบบอย่างง่าย ที่ใช้ในแบบจำลอง[1]

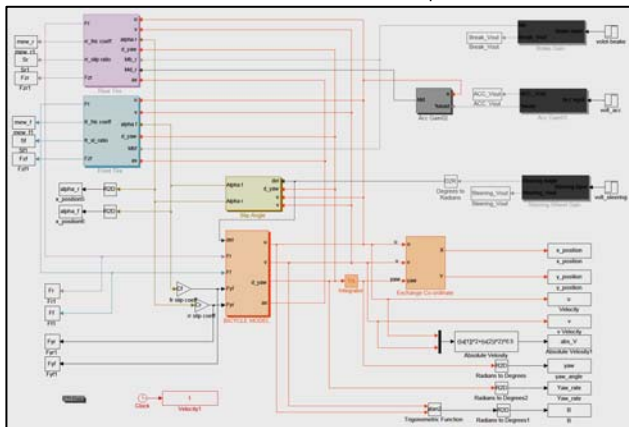
โดย a เท่ากับ $0.37g$ ที่เกียร์ 1 และ $[-(0.2/32)u+0.28125]g$ ที่เกียร์อื่นๆ โดยระบบจะเลือกเปลี่ยนเกียร์แบบอัตโนมัติขึ้นอยู่กับความเร็วของรถในขณะนั้น และ a เท่ากับ $-g$ เมื่อเป็นการเบรก ดังนั้นโมเมนต์ (แรง และ เบรก) ที่ล้อหาได้จาก

$$M = \frac{(\%Load)}{100} \times m \times a \times r \quad (21)$$

โดย $\frac{(\%Load)}{100}$ คือ อัตราส่วนของการเหยียบคันเร่ง หรือ แป้นเบรก

เทียบกับเหยียบคันเร่งหรือแป้นเบรกมิตสุด (Full Load)

จากสมการทั้งหมด สามารถสร้างบล็อกไดอะแกรมได้ดังแสดงในรูปที่ 2.9 โดยมีสัญญาณเข้าคือ สัญญาณจากคันเร่ง เบรก และ พวงมาลัย และสัญญาณออกคือ ตำแหน่งรถและมุมที่รถวางตัวได้ดังนี้



รูปที่ 2.9 Block Diagram ของระบบ

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมยานพาหนะ

3.1 แนวคิดในการออกแบบ

ในการควบคุมยานพาหนะ ใช้อุปกรณ์ 3 ชนิด ได้แก่ พวงมาลัย คันเร่งและแป้นเบรก ประกอบเข้ากับชุดโครงสร้างอุปกรณ์ที่มีเบาะนั่งสำหรับคนขับ และปรับระดับได้ตามสรีระของผู้ใช้งานตามรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ชุดอุปกรณ์ควบคุมยานพาหนะ

สัญญาณจากการควบคุมรถของผู้ขับ จะได้จาก Potentiometer ซึ่งเป็น

ตัวปรับค่าความต่างศักย์เทียบกับมุมหมุนของพวงมาลัยและมุมบิดของแป้นคันเร่งและเบรก สัญญาณที่ได้จะถูกส่งเข้าไปยังอุปกรณ์รับและแปลงสัญญาณของหน่วยประมวลผลความเร็วสูง (Digital Signal Processor, DSP) ของ d-SPACE เพื่อไปประมวลผลและแสดงภาพบนหน้าจอต่อไป ดังแผนภูมิในรูปที่ 1.1

3.2 พวงมาลัย

พวงมาลัยมีหน้าที่ควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ โดยจะต้องส่งค่าองศาของการหมุนพวงมาลัยเข้าไปยังแบบจำลองยานพาหนะ ในโปรแกรม Simulink เพื่อคำนวณหาองศาการเลี้ยวของตัวยานพาหนะ โดยในการออกแบบติดตั้งพวงมาลัย เพลาของพวงมาลัยจะถูกยึดให้อยู่กับโครงสร้างทั้งหมดด้วยบอลเบรริงสองตัว และส่วนปลายของเพลามีเฟืองทดติดอยู่ ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งเฟืองนี้จะขบอยู่กับ Potentiometer ที่จะส่งค่าความต่างศักย์เข้าไปยังแบบจำลองยานพาหนะ ในโปรแกรม Simulink ผ่าน d-SPACE



รูปที่ 3.2 ชุดพวงมาลัย และบริเวณปลายของเพล

เพื่อให้มีความสมจริงในการหมุนพวงมาลัย จึงได้ออกแบบระบบคืนตัวของพวงมาลัยอย่างง่ายขึ้นดังรูปที่ 3.3 โดยด้านปลายของเพลามีเอ็นติดอยู่ โดยเอ็นนี้จะยึดติดอยู่กับสปริงด้านข้างของชุดอุปกรณ์ เมื่อหมุนพวงมาลัยสปริงจะยืดออกและคืนตัวเมื่อปล่อยพวงมาลัย ทำให้พวงมาลัยหมุนกลับมายู่ที่ตำแหน่งเดิม



รูปที่ 3.3 เส้นเอ็นและสปริงที่ใช้ในระบบคืนตัว

3.3 คันเร่งและแป้นเบรก

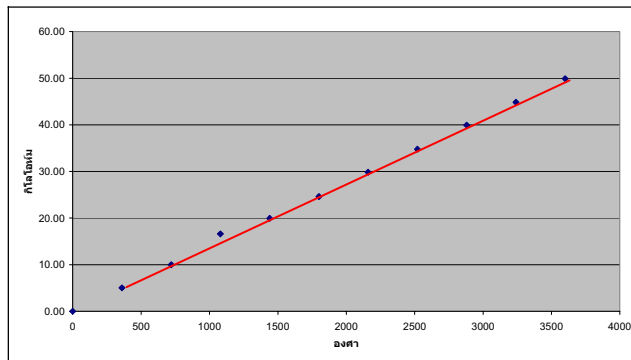
ในการควบคุมยานพาหนะ คันเร่งและแป้นเบรก จะทำหน้าที่เพิ่มและลดความเร็วของยานพาหนะลง ด้วยการปรับมุมปีกผีเสื้อเพื่อเพิ่มค่าแรงบิดในเครื่องยนต์ และสร้างแรงเสียดทานด้านการหมุนเพื่อลดความเร็วที่ล้อ ดังนั้นค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ Potentiometer ของคันเร่งและแป้นเบรก จะถูกส่งเข้าไปยังส่วนของเครื่องยนต์และล้อ ในแบบจำลองพาหนะตามลำดับ ในการออกแบบได้ติดตั้งโดยการนำคันเร่งและเบรกที่ใช้ในวิดีโอเกม ซึ่งจะติด Potentiometer ที่ต่อกับเฟืองทดไว้ด้านใต้ ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งเมื่อเราเหยียบแป้นเบรกหรือคันเร่ง จะทำให้ potentiometer หมุนไป และทำให้ความต่างศักย์เปลี่ยนไปตามลำดับ



รูปที่ 3.4 แป้นคันเร่งและเบรก และ potentiometer ด้านใต้

3.4 LinearityของPotentiometer

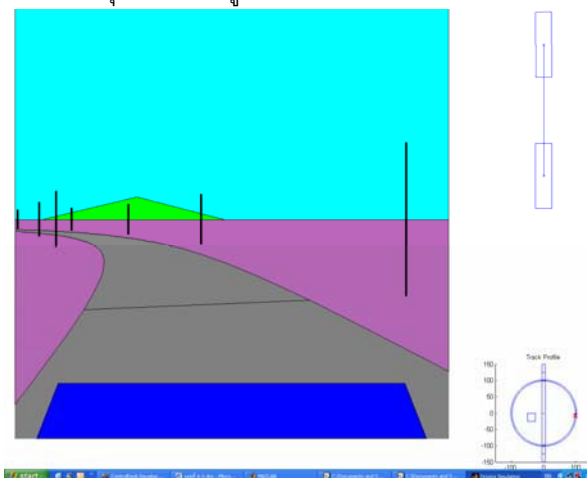
เนื่องจากข้อสมมุติฐานในการออกแบบของเราได้กำหนดให้แบบจำลองมีลักษณะเป็นแบบเส้นตรง ดังนั้นอุปกรณ์ก็ควรมีการเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆเป็นเส้นตรงด้วย ดังนั้น กลุ่มจึงได้ทำการทดสอบ Potentiometer ที่ใช้กับพวงมาลัย คันเร่งและเบรก เพื่อให้แน่ใจว่ามีคุณสมบัติตามต้องการ ซึ่งพบว่า Potentiometer ที่ใช้ มีคุณสมบัติเป็นเส้นตรงจริงดังตัวอย่างในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ผลการทดสอบระหว่างองศาหมุนกับค่าความต้านทานใน potentiometer ที่ใช้กับคันเร่งและแป้นเบรก

4. การแสดงผลการขับขี่

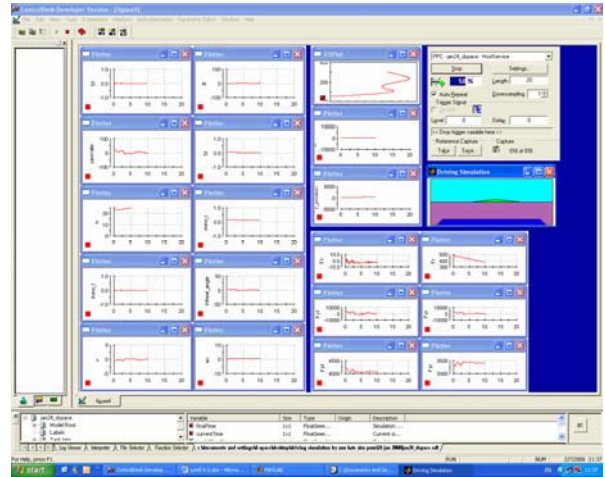
ผลการแสดงภาพที่ผู้ขับขี่มองเห็นออกทางหน้าจอด้วยโปรแกรมที่เขียนขึ้นด้วยโปรแกรม MATLAB ร่วมกับ d-SPACE Control Desk ซึ่งแสดงภาพด้านหน้าคันขับ ตำแหน่งล้อหน้าที่มุมขวาบน แผนที่ถนนและตำแหน่งรถที่มุมขวาล่าง ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ภาพแสดงผลการขับขี่ออกทางหน้าจอ

สนามทดสอบจำลองประกอบด้วย ถนนโค้ง ถนนตรง และ ส่วนประกอบเช่น เสาไฟฟ้า ตึก ภูเขา ทำให้การแสดงผลมีความสมจริง

มากขึ้น โดยมีความเร็วในการแสดงผลอยู่ที่ 8 ภาพต่อวินาที นอกจากนี้ยังสามารถแสดงผลและเก็บบันทึกข้อมูลการขับขี่ที่เกิดขึ้นเช่นค่าอัตราเร็ว ค่ามุมสลิป ค่าแรงที่กระทำกับล้อ พล็อตเทียบกับเวลา ดังรูปที่ 4.2 เพื่อเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป



รูปที่ 4.2 หน้าจอแสดงผลการขับขี่ด้วยกราฟ

5. ผลการทดสอบแบบจำลองและการนำไปใช้งาน

หลังจากที่ได้สร้างแบบจำลองยานพาหนะแล้ว ได้ทำการทดสอบแบบจำลองที่สร้างขึ้น เพื่อพิจารณาว่าแบบจำลองนี้สามารถนำไปใช้งานได้อย่างสมเหตุสมผล โดยสามารถให้ผลลัพธ์ที่เป็นไปตามหลักการทางกลศาสตร์ยานยนต์ที่ถูกต้องตามสัญญาณเข้าที่ให้แก่ระบบ และสามารถนำระบบที่สร้างขึ้นนี้ไปพัฒนาต่อได้ รวมทั้งสามารถนำผลลัพธ์ที่ได้ไปออกแบบระบบควบคุมต่างๆของรถยนต์ได้อย่างน่าเชื่อถือ ในการทดสอบนี้จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 อย่าง คือ

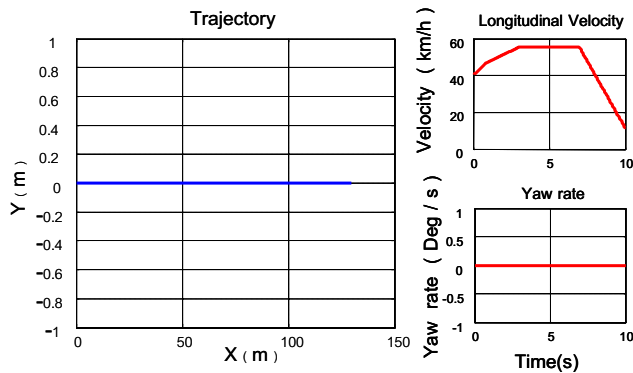
1. การทดสอบแบบให้สัญญาณเข้าจากทางคอมพิวเตอร์
2. การเปรียบเทียบแบบจำลองเมื่อทดสอบแบบใช้สัญญาณจากคอมพิวเตอร์และใช้ผู้ขับขี่จริง
3. การทดสอบการนำไปใช้งานจริง (ศึกษาพฤติกรรมของการขับขี่ตามเงื่อนไขที่กำหนด)

5.1 การทดสอบแบบให้สัญญาณเข้าทางคอมพิวเตอร์ (Off-line)

การทดสอบนี้จะเป็นการทดสอบเฉพาะตัวแบบจำลองในโปรแกรมเพียงอย่างเดียวโดยยังไม่ต่อกับอุปกรณ์ควบคุมการขับ (Hardware) เพื่อพิจารณาว่า โปรแกรมที่เขียนขึ้นมาจากสมการต่างๆ นั้นมีสมเหตุสมผลถูกต้องตามหลักกลศาสตร์ยานยนต์หรือไม่ โดยการทดสอบมี 2 กรณี คือ

5.1.1 เริ่มออกตัวด้วยความเร็ว 40 กม./ชม และความเร่ง 60% เป็นเวลา 3 วินาที จากนั้นจึงถอนคันเร่ง และเบรกเต็มที่ที่วินาทีที่ 7

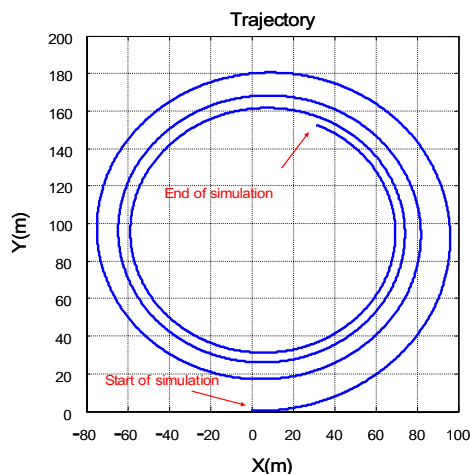
ผลการทดสอบในรูปที่ 5.1 พบว่ารถจะเป็นเส้นตรงตลอดการเคลื่อนที่โดยในช่วงวินาทีที่ 0-3 ความเร็วจะเพิ่มขึ้น วินาทีที่ 3-7 ความเร็วจะคงที่ และวินาทีที่ 7-10 ความเร็วจะลดลงเป็นเส้นตรง ซึ่งถูกต้องและสมเหตุสมผลตามหลักการเคลื่อนที่ของรถยนต์ทั้งในการเร่งและเบรกในแนวเส้นตรง



รูปที่ 5.1 ผลการทดสอบแบบOff-line โดยรถวิ่งเป็นเส้นตรง

5.1.2 เริ่มออกตัวด้วยความเร็วคงที่ 80 กม./ชม. พร้อมให้มุมเลี้ยวที่ล้อคงที่ 3 องศาตลอดการเคลื่อนที่โดยไม่มีการเร่งหรือเบรก

ตามทฤษฎีการเลี้ยวด้วยมุมเลี้ยวคงที่โดยที่ความเร็วไม่เปลี่ยนแปลง รถจะเคลื่อนที่เป็นวงกลมซึ่งมีรัศมีความโค้งคงที่ จากผลการทดลองในรูปที่ 5.2 นั้นพบว่ารัศมีวงเลี้ยวมีค่าไม่คงที่และลดลงตามเวลา โดยในกรณีของการทดลองนี้เมื่อไม่มีการเหยียบคันเร่งหรือเบรกจะมีแรงฉุดอันเนื่องมาจากการเลี้ยวโค้ง จึงทำให้ความเร็วลดลง แต่เมื่อปล่อยไว้ระยะเวลาหนึ่ง พบว่า ความเร็วจะลู่เข้าสู่ค่าคงที่ ซึ่งทำให้รถวิ่งเป็นวงกลมด้วยรัศมีความโค้งคงที่ซึ่งถูกต้องตามทฤษฎีข้างต้น

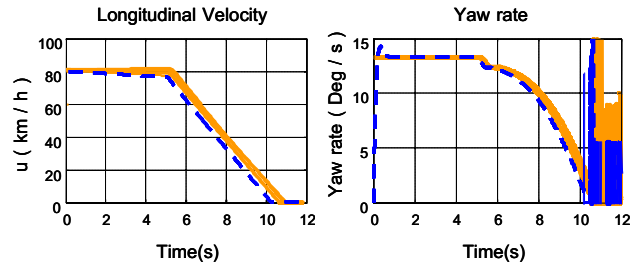


รูปที่ 5.2 ผลการทดสอบแบบOff-lineโดยรถเลี้ยวด้วยมุมเลี้ยวคงที่

5.2 การเปรียบเทียบแบบจำลองเมื่อทดสอบโดยใช้สัญญาณเข้าจากคอมพิวเตอร์ (Off-line) และจากการใช้ผู้ขับจริง (On-line)

การทดสอบนี้ทำเพื่อยืนยันความถูกต้องของชุดอุปกรณ์การขับ โดยเปรียบเทียบผลลัพธ์ของการขับทั้งสองแบบเมื่อให้สัญญาณเข้าที่เหมือนกัน คือ เริ่มออกตัวด้วยความเร็วคงที่ 80 กม./ชม. พร้อมกับเลี้ยวด้วยมุมเลี้ยว 3 องศา และเบรกสุดที่วินาทีที่ 5 ซึ่งผลการทดสอบพบว่า กราฟความเร็วและ yaw rate ที่ได้จากการขับทั้งสองแบบมีความ

ใกล้เคียงกัน (ดังรูป 5.3) จึงสรุปได้ว่า ชุดอุปกรณ์การขับมีความถูกต้อง และสามารถนำไปใช้งานจริงได้

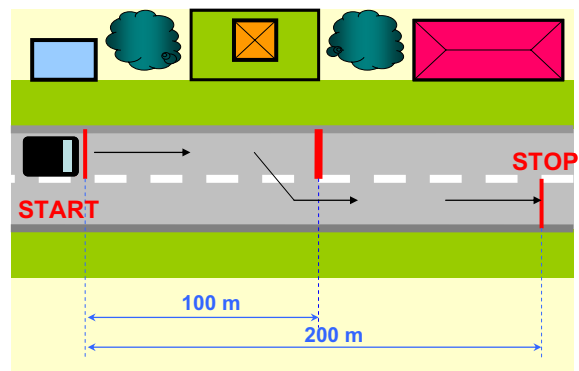


รูปที่ 5.3 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบเมื่อให้สัญญาณเข้าจากคอมพิวเตอร์และสัญญาณจากผู้ขับอุปกรณ์

5.3 การทดสอบการนำไปใช้งานจริง

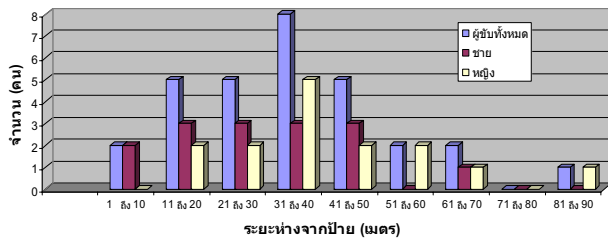
เมื่อพบว่าตัวโปรแกรมและชุดอุปกรณ์ขับเคลื่อนมีความถูกต้อง สมเหตุสมผลแล้ว การทดสอบขั้นต่อไปจึงเป็นการนำแบบจำลองที่สร้างขึ้นไปใช้งานจริง เพื่อเป็นตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากแบบจำลอง ซึ่งในที่นี้เลือกศึกษาพฤติกรรมของการเปลี่ยนเลนของผู้ขับเมื่อมีสิ่งกีดขวาง โดยเปรียบเทียบระหว่างเพศชายและหญิง และใช้กลุ่มตัวอย่างของผู้ขับซึ่งจากนิสิตจำนวน 30 ท่าน แบ่งเป็นนิสิตชายและหญิงอย่างละครึ่ง

ในการทดสอบจะให้ผู้ทดสอบขับแบบจำลองเป็นเส้นตรงจากจุดเริ่มต้นทางเลนด้านซ้าย และเมื่อพบสิ่งกีดขวางซึ่งอยู่ห่างจากจุดเริ่มเป็นระยะ 100 เมตร ผู้ทดสอบจะต้องหักหลบไปทางเลนด้านขวาและเบรกที่เส้นสุดท้ายห่างจากจุดเริ่มต้น 200 เมตร



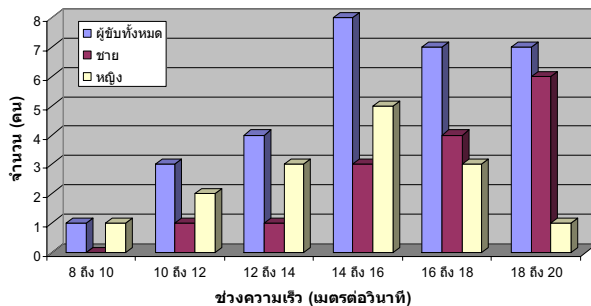
รูปที่ 5.4 แผนผังแสดงสภาวะการทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรม การเปลี่ยนเลนของผู้ขับเมื่อมีสิ่งกีดขวาง

แผนภูมิแสดงระยะทางที่ผู้ขับขี่ตัดสินใจหักเลี้ยวก่อนถึงป้ายกีดขวาง



รูปที่ 5.5 แผนภูมิแสดงระยะทางก่อนถึงป้ายกีดขวางที่ผู้ขับขี่ตัดสินใจหักพวงมาลัยเพื่อเปลี่ยนเลน

แผนภูมิแสดงความเร็วขณะที่ผู้ขับขี่หักเลี้ยว



รูปที่ 5.6 แผนภูมิแสดงความเร็วขณะที่ผู้ขับขี่ตัดสินใจหักพวงมาลัยเพื่อเปลี่ยนเลน

ผลการทดสอบ จากกราฟดังรูป 5.5 จะพบว่า เมื่อพิจารณา ระยะทางที่ผู้ทดสอบหักเลี้ยวก่อนถึงสิ่งกีดขวาง จะมีค่าใกล้เคียงกันทั้ง ในเพศหญิงและชาย และจากกราฟรูป 5.6 เพศชายส่วนใหญ่จะหักเลี้ยว ที่ความเร็วที่สูงกว่าเพศหญิง จึงทำให้ระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการ ทดลองน้อยกว่า แต่ในขณะทดสอบพบว่า ระยะทางที่ตัดสินใจหักเลี้ยว จะขึ้นอยู่กับความเร็วในการขับของผู้ทดสอบด้วย กล่าวคือ หากขับมา ด้วยความเร็วสูง ระยะทางที่หักเลี้ยวจะห่างจากป้ายมาก หากขับด้วยความเร็วต่ำ ระยะทางที่หักเลี้ยวจะเข้าใกล้ป้ายมากขึ้น อย่างไรก็ตาม แบบจำลองการขับขี่ที่สร้างขึ้นนี้ยังขาดความสมจริงในบางส่วน เช่น ผู้ขับขี่ไม่รู้สึกรังเกียจจากถนนที่ส่งมาที่พวงมาลัย และผู้ขับขี่ไม่รู้สึกรังเกียจ ความเร็วที่สูงขึ้นมาก หากไม่มองหน้าวัดความเร็ว จึงทำให้ผู้ขับขี่เสีย ความควบคุมขณะหักเลี้ยวเนื่องจากวิ่งด้วยความเร็วมากเกินไป

จากผลนี้แสดงให้เห็นว่าระบบจำลองการขับขี่ยานพาหนะนี้ สามารถนำมาใช้ในการศึกษาการตอบสนองของผู้ขับขี่ได้จริง ซึ่งเป็น หน้าที่หลักของระบบที่ต้องการ และจากผลการทดสอบทั้งสามอย่างนี้ พบว่า แบบจำลองมีความถูกต้องตามหลักกลศาสตร์ยานยนต์ และสามารถนำไปใช้งานได้ในระดับหนึ่ง และหากมีการพัฒนาในส่วนอื่นๆ เพิ่มเติม ก็จะสามารถใช้งานได้ใกล้เคียงกับการขับรถยนต์จริงยิ่งขึ้น

6. สรุป

แบบจำลองการขับขี่ที่สร้างขึ้นนี้ เมื่อนำมาทดสอบความสมจริง จากการป้อนค่าสัญญาณเข้าจากโปรแกรมโดยตรง และสัญญาณเข้า จากผู้ขับขี่จริง พบว่าค่าการตอบสนองต่างๆ ของแบบจำลองมีความ

สมเหตุสมผลใกล้เคียงกับรถจริง ซึ่งสามารถนำไปใช้งานและวิเคราะห์ ข้อมูล ได้อย่างสมเหตุสมผล ระบบทั้งหมดสามารถนำมาใช้ทดสอบ พฤติกรรมการขับขี่ของมนุษย์ คือการขับที่หลบหลีกสิ่งกีดขวาง ผลที่ ได้แสดงให้เห็นชัดเจนว่า ผู้ทดลองเพศชายจะกล้าขับรถที่ความเร็ว มากกว่าเพศหญิง จากผลนี้แสดงให้เห็นว่าระบบจำลองการขับขี่ ยานพาหนะนี้ สามารถนำมาใช้ในการศึกษาการตอบสนองของผู้ขับขี่ได้ จริง ซึ่งเป็นหน้าที่หลักของระบบที่ต้องการ ทั้งนี้ในการวิจัยขั้นต่อไป คณะผู้จัดทำจะทำการปรับปรุงความสมจริงของระบบต้นแบบในการ จำลองการขับขี่รถยนต์ โดยเพิ่มความสมจริงของแบบจำลองและระบบ ควบคุมในระบบต้นแบบนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ผศ.ฉัตรชัย หงษ์อุเทน. กลศาสตร์ยานยนต์ 1. สำนักพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- [2] ผศ.ฉัตรชัย หงษ์อุเทน. เอกสารประกอบการสอนวิชากลศาสตร์ยาน ยนต์ 2. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- [3] อ.ดร. ศุภวุฒิ จันทรานูวัฒน์. เอกสารประกอบการสอนวิชา Automotive Control. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- [4] T. Bundorf, "The Influence of Vehicle Design Parameter on Characteristics Speed and Under-steer", Journal of SAE, SAE670078, 1967
- [5] J.R. Ellis, 'Vehicle Dynamics', London Business Book Ltd., London, 1969
- [6] T.D. Gillespie, Fundamentals of Vehicle Dynamics, Society of Automotive Engineering, Inc. 1992.
- [7] M. Abe, 'Vehicle Dynamics and Control (自動車の運動と制御)', Sankaido Publication (山海堂), 1992, (In Japanese)
- [8] Hideki Sakai, "The Linear Vehicle Method of Two Degrees of Freedom in Consideration of Dynamical Influence of Tire and Suspension", Proceeding of JSME the 1st Transportation and Logistics Conference, No.920-98, pp 24-27, 1992-11. (In Japanese)
- [9] J.R. Ellis, 'Vehicle Handling Dynamics', Mechanical Engineering Publications Limited London, 1993
- [10] J.Y. Wong, 'Theory of Ground Vehicles', John Wiley & Sons Ltd., 2001; Introduction
- [11] Hans B. Pacejka, 'Tyre and Vehicle Dynamics', Elsevier Butterworth-Heinemann, 2002