การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21
17-19 ตุลาคม 2550 จังหวัดชลบุรี

การปรับปรุงระบบต้นแบบในการจำลองการขับขี่ยานพาหนะ

Improvement of Driving Simulator Prototype

นักสิทธ์ นุ่มวงษ์* และ ศุภวุฒิ จันทรานุวัฒน์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพ 10330
โทร 0-2218-6636, โทรสาร 0-2252-2889, *อีเมล์ Nuksit.N@eng.chula.ac.th

Nuksit Noomwongs*, 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

Keywords: Dynamics of Vehicles, Handling and Stability, Vehicle Model, Driving simulator, Hardware-In-the-Loop Simulator

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นบทความต่อเนื่องจากงานวิจัยระบบต้นแบบการจำลองการขับขี่ยานพาหนะ (Driving Simulator) ซึ่งได้นำเสนอในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20 [1] ระบบนี้เดิมประกอบด้วยแบบจำลอง (Software) สำหรับจำลองพลศาสตร์ของรถยนต์และชุดจำลองการขับขี่ (Hardware) ที่สามารถรับข้อมูลจากผู้ขับขี่และสามารถแสดงภาพจำลองของถนนแก่ผู้ขับขี่ได้ดังแสดง ในรูปที่1 แบบจำลองที่ใช้เป็นแบบสองล้อ (Bicycle Model) ที่มีล้อหน้าและล้อหลังอย่างละล้อ บทความนี้มีจุดประสงค์คือ ปรับปรุงระบบจำลองการขับขี่ยานพาหนะให้มีความเสมือนจริงเพิ่มขึ้นในด้านการขับขี่และการตอบสนองโดย 1) การเปลี่ยนแบบจำลองจาก แบบสองล้อเป็นแบบสี่ล้อ (Full Car Model) โดยมีการพิจารณามุม Pitch, Roll และการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งเพิ่มเข้ามาด้วย 2) การปรับปรุงสิ่งแวดล้อมในจอแสดงภาพให้สอดคล้องกับแบบจำลองใหม่ 3) การเพิ่มความรู้สึกถึงพื้นถนน (Force feedback steering system) แก่ผู้ขับขี่ โดยติดตั้งมอเตอร์เข้ากับระบบบังคับเลี้ยวส่วนที่รับคำสั่งจากผู้ขับขี่เพื่อจำลองแรงบิดระหว่างผิวยางรถยนต์และถนนขณะที่เลี้ยว (Self Aligning Torque) ส่งกลับไปที่ผู้ขับขี่ และ 4) การเพิ่มระบบบังคับล้อเลี้ยวด้วยไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้การบังคับเลี้ยวมีความสมจริงยิ่งขึ้น ในลักษณะเดียวกับSteer-by-wire โดยในอนาคตมีแผนจะติดตั้งอุปกรณ์ตรวจรู้เพื่อวัดแรงที่เกิดขึ้นที่ยาง โดยจะเป็นการทำงานร่วมกันระหว่าง Driving Simulator และ Hardware-In-the-Loop Simulator หลังจากปรับปรุงระบบจำลองการขับขี่แล้วได้ทำการทดสอบระบบโดยผู้ทดสอบจำนวนหนึ่งทำการทดสอบในสภาวะต่างๆ ผลคือ ผู้ร่วมทดสอบระบุว่าระบบมีความสมจริงมากยิ่งขึ้น เช่น การควบคุมรถและการตอบสนองคล้ายกับรถจริงมากขึ้น ซึ่งเป็นไปตามจุดประสงค์ของบทความนี้

Abstract

This paper describes an improvement of Driving Simulator prototype to increase reality of handling and response compared to the real vehicle. In the first prototype, 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 with monitor as shown in Figure 1. The vehicle model used is a bicycle model. In this paper, many parts of Driving Simulator were improved as follows; 1) Bicycle model was changed to 4-Wheel (Full car) vehicle model. Pitch, Roll and vertical motion was added to the model; 2) the virtual environment for the driver was improved to match with the new vehicle model; 3) the force feedback steering system was implemented to generate road feeling to the driver. The system consists of DC motor installed at the steering system to produce tire self aligning torque to feed back to the driver; 4) Real tire and electric steering system (Steer-by-wire) was used to represent the

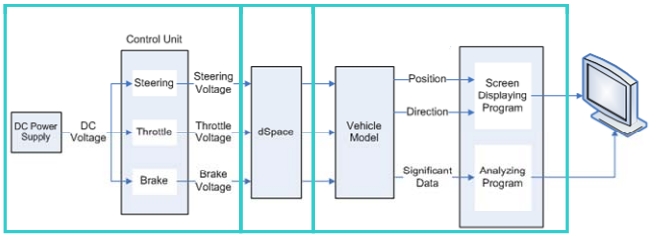
real-time turning motion during the simulation to realize steering response. This system is called Hardware-In-the-Loop Simulator (HILS) which is worked together with Driving Simulator. The improved system was tested in several conditions by many volunteers. Most of volunteers mention that the improved Driving Simulator handling and response is felt as being safer and easier to control compared to the first prototype and it is felt more similar to the real car.

1. บทนำ

ในปัจจุบันการออกแบบและพัฒนายานยนต์มีการใช้วิธีSimulation เป็นอย่างมาก ทั้งในการคำนวณและออกแบบระบบต่างๆในรถยนต์ เช่น ระบบการควบคุมเลี้ยว, ระบบควบคุมเสถียรภาพ ฯลฯ แต่วิธีการทาง Simulation ก็ยังไม่สามารถจำลองสภาวะและระบบในรถยนต์หลายๆอย่างได้อย่างแม่นยำเพียงพอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านพฤติกรรมการขับขี่ของมนุษย์ ซึ่งจะสามารถศึกษาผลการออกแบบต่อพฤติกรรมการขับขี่ได้ในการทดสอบรถยนต์จริง แต่การสร้างรถทดสอบก่อนที่จะทำการทดสอบนั้นเป็นการสิ้นเปลืองและทำให้เสียเวลามาก นอกจากนี้แล้วการทดสอบที่ต้องการให้มีทำซ้ำได้นั้นเป็นไปได้ยากจึงทำให้ใช้เวลามาก และการทดสอบรถในบางสภาวะก็อาจเกิดอันตรายได้หากมีความผิดพลาดหรือความไม่แน่นอนจากการออกแบบและพัฒนาโดยวิธีการทางSimulationโดยไม่ได้คำนึงถึงผลของผู้ขับขี่ ดังนั้นระบบจำลองการขับขี่จึงมีความสำคัญที่จะเป็นทางเลือกที่สามารถเข้ามาช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้

บทความนี้เป็นบทความต่อเนื่องของโครงการระบบต้นแบบสำหรับการจำลองการขับขี่ยานพาหนะ (Driving Simulator) ซึ่งได้นำเสนอในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20 ปี2549 [1] โดยระบบจำลองการขับขี่ยานพาหนะนี้ เดิมประกอบไปด้วยระบบคอมพิวเตอร์(Software) สำหรับจำลองลักษณะทางพลศาสตร์ของรถยนต์ และชุดจำลองการขับขี่(Hardware) ที่สามารถรับข้อมูลจากผู้ขับขี่คือ มุมบิดของพวงมาลัย ,มุมกดของคันเร่ง และ มุมกดของแป้นเบรก และสามารถแสดงภาพจำลองของถนนให้แก่ผู้ขับขี่ ดังแสดงในแผนผังของระบบจำลองการขับขี่ในรูปที่1 แบบจำลองที่ใช้เป็นแบบสองล้ออย่างง่าย (Bicycle Model) ที่มีล้อหน้าและล้อหลังอย่างละล้อ ซึ่งเป็นแบบจำลองที่นิยมใช้กันทั่วไปในการจำลองพลศาสตร์ยานยนต์เบื้องต้น ในบทความนี้ ระบบจำลองการขับขี่ยานพาหนะได้ถูกปรับปรุงและพัฒนาให้มีความเสมือนจริงเพิ่มขึ้นโดย 1) การเปลี่ยนแบบจำลองจากแบบสองล้อ (Bicycle Model) เป็น แบบสี่ล้อ (Full Car Model) โดยมีการพิจารณามุม Pitch, Roll และการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง เพิ่มเข้ามาด้วย 2) การปรับปรุงสิ่งแวดล้อมจำลอง ในจอแสดงภาพ ให้มีความสมจริงมากยิ่งขึ้น โดยการทำให้ผู้ขับขี่รู้สึกถึง การเคลื่อนที่ของรถยนต์ในแนวดิ่ง เช่นเวลาวิ่งผ่านที่กั้น, การหน้าทิ่มหรือยกตัวซึ่งเป็นผลจาก Pitch, การโคลงตัวของรถซึ่งเป็นผลมาจากRoll เป็นต้น รวมทั้งมีการปรับปรุงกราฟฟิกให้สมจริงขึ้น 3) การเพิ่มความรู้สึกถึงพื้นถนน (Force feedback steering system) แก่ผู้ขับขี่ โดยการติดตั้งมอเตอร์เข้ากับระบบบังคับเลี้ยวส่วนที่รับคำสั่งการเลี้ยวจากผู้ขับขี่ เพื่อจำลองแรงบิด (Self Aligning Torque) ที่เกิดขึ้นระหว่างผิวยางรถยนต์และถนนขณะที่ทำการเลี้ยวส่งกลับไปที่ผู้ขับขี่ และ 4) การเพิ่มระบบบังคับเลี้ยวด้วยไฟฟ้าในส่วนที่บังคับให้ล้อรถเลี้ยวตามคำสั่งของผู้ขับขี่ ซึ่งจะทำให้การบังคับเลี้ยวมีความสมจริงยิ่งขึ้น ในลักษณะเดียวกันกับSteer-by-wire เป็นระบบผสมกันระหว่าง Driving Simulator และ Hardware-In-the-Loop Simulator โดยในอนาคตมีแผนจะทำการติดตั้ง อุปกรณ์ตรวจรู้เพื่อวัดแรงที่เกิดขึ้นที่ยาง เพื่อนำไปใช้ในระบบจำลองการขับขี่ต่อไป ซึ่งจะทำให้มีความสมจริงขึ้น

หลังจากที่ได้ทำการปรับปรุงระบบจำลองการขับขี่แล้วได้ทำการทดสอบระบบโดยใช้ผู้ทดสอบจำนวนหนึ่งทำการทดสอบในสภาวะต่างๆ ผลที่ได้คือ ผู้ร่วมทดสอบระบุว่าระบบมีความสมจริงมากยิ่งขึ้น เช่น สามารถควบคุมรถได้คล้ายกับรถจริงมากขึ้น การตอบสนองของระบบคล้ายกับรถจริงยิ่งขึ้น ฯลฯ ซึ่งเป็นไปตามจุดประสงค์ของบทความนี้



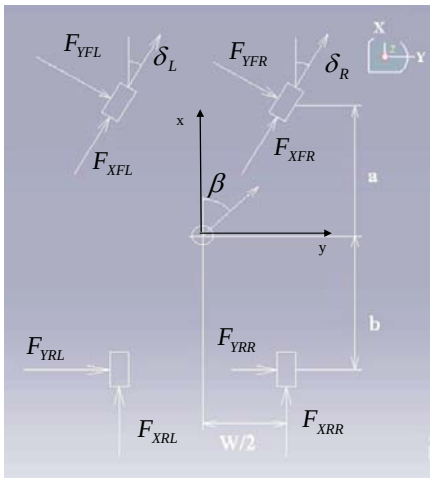
รูปที่ 1 แผนผังแสดงส่วนประกอบหลักของแบบจำลองยานพาหนะ [1]

2. แบบจำลองยานพาหนะ (Vehicle model)

เดิมระบบจำลองการขับขี่ยานพาหนะที่คณะผู้วิจัยได้สร้างขึ้น ใช้แบบจำลองแบบสองล้อ (Bicycle model) ซึ่งเป็นแบบจำลองอย่างง่ายที่สามารถใช้จำลองพลศาสตร์ของยานยนต์ในแนวระนาบ(Plain

motion) ในบทความนี้คณะผู้วิจัยได้ปรับปรุง แบบจำลองยานพาหนะให้เป็นแบบ สี่ล้อ (Full vehicle model) แบบจำลองที่สร้างขึ้นมีลักษณะสำคัญดังนี้คือ มีการถ่ายน้ำหนัก เนื่องจากการเร่ง, การเบรก และ การเลี้ยว ทำให้แรงกดที่ผิวสัมผัส ของล้อกับพื้นถนนนั้นมีการเปลี่ยนแปลงตามการเร่ง, การเบรก และการเลี้ยว ซึ่งแรงกดนี้จะมีผลต่อการคำนวณแรงของล้อที่ทำกับพื้นถนน การถ่ายน้ำหนักนี้คำนวณจาก การทิ่มแล้วยกตัว (pitching) และ การโคลงซ้ายขวา (rolling) ของตัวถังรถประกอบกับการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งของล้อ แบบ จำลองที่สร้างขึ้นมีการคำนวณแรงด้านข้างของล้อซึ่งสามารถคำนวณจากมุมสลิปด้านข้างของล้อ (tire side slip) และ แรงในระนาบของล้อที่คำนวณจากอัตราการสลิปในระนาบของล้อ (tire longitudinal slip) ซึ่งเกิดจากความแตกต่างระหว่างความเร็วของล้อที่ตำแหน่งที่สัมผัสพื้นถนนและพื้นถนน โดยที่แรงทั้งสองนี้จะมีความเหมือนจริงมากขึ้นเพราะใช้แรงในแนวดิ่งที่มีผลการถ่ายน้ำหนัก รวมทั้งการจำลองลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้นของแรงที่ล้อนี้

แบบจำลองแบบสี่ล้อนี้มีตัวแปรระบบ (states) คือ ความเร็วในการหมุนและตำแหน่งและความเร็วในแนวดิ่งของล้อทั้งสี่, ตำแหน่งและความเร็วของจุดศูนย์กลางมวลของรถ, มุมกัมและเงย และความเร็ว ในการกัมและเงยในแนวหน้าหลัง (pitch) และในแนวการ โคลงซ้ายขวา (roll), ตำแหน่งสัมบูรณ์ของจุดศูนย์กลางมวลของรถ โดยแบบจำลองนี้มีสัญญาณเข้าคือ มุมเลี้ยวของล้อหน้าซ้ายและขวา, แรงบิดและ แรงในการเบรก และความสูงของพื้นที่ล้อทั้งสี่ มุมเลี้ยวของ ล้อหน้า ซ้ายและขวานั้นมีไว้เพื่อจำลองการบังคับเลี้ยว แรงบิดที่ล้อทั้งสี่ใช้ในการจำลองการเร่งและเบรก และความสูงที่ล้อทั้งสี่นั้นใช้ในการจำลองผลของความขรุขระของพื้นถนน



รูปที่ 2 แบบจำลองแบบสี่ล้อ (Full Vehicle model)

สมการการเคลื่อนที่ในระนาบ (Plane motion) ของแบบจำลองสี่ล้อ (Full car model) ดังรูปที่2 จะเทียบกับแกนอ้างอิงบนตัวรถ โดยตัวแปรสถานะเป็นความเร็วสัมบูรณ์เทียบกับตัวถังรถ มีสมการคือ

$$\dot{U} - rV = \frac{1}{m}\left(F_{X\,FL}Cos\delta_L + F_{XFR}Cos\delta_R - F_{YFL}Sin\delta_L - F_{YFR}Sin\delta_R + F_{XRL} + F_{XRR}\right)$$

$$\dot{V} + rU = \frac{1}{m}\left(F_{X\,FL}Sin\delta_L + F_{XFR}Sin\delta_R + F_{YFL}Cos\delta_R + F_{YFR}Cos\delta_R + F_{YRL} + F_{YRR}\right)$$

$$\dot{r} = \frac{1}{I_Z}\left[\begin{array}{l}\left(F_{XFL}Cos\delta_L - F_{YFL}Sin\delta_L - F_{XFR}Cos\delta_R + F_{YFR}Sin\delta_R + F_{XRL} - F_{XRR}\right)\frac{W}{2} + \\ \left(F_{YFL}Cos\delta_L + F_{XFL}Sin\delta_L + F_{YFR}Cos\delta_R + F_{XFR}Sin\delta_R\right)a - \left(F_{YRL} + F_{YRR}\right)b\end{array}\right]$$

เมื่อ V, U คือ ความเร็วสัมบูรณ์ของรถในแนวยาวของตัวรถ และความเร็วสัมบูรณ์ของรถในแนวขวางตัวรถ

r คือ ความเร็วในการหมุนรอบแกนดิ่งของรถ (yaw rate)

F_{XFL}, F_{XFR}, F_{XRL}, F_{XRR} คือแรงระหว่างล้อกับพื้นถนนในแนวระนาบของล้อ ที่ล้อหน้าซ้าย, หน้าขวา, หลังซ้าย, และ หลังขวาตามลำดับ

F_{YFL}, F_{YFR}, F_{YRL}, F_{YRR} คือแรงระหว่างล้อกับพื้นถนนในแนวตั้งฉากกับระนาบของล้อ ที่ล้อหน้าซ้าย, หน้าขวา, หลังซ้าย, และ หลังขวา

δ_L, δ_R คือมุมเลี้ยวที่ล้อหน้าซ้ายและขวา

a,b, W คือระยะจากจุดศูนย์กลางมวลถึงล้อหน้ามาทางด้านหน้า, ด้านหลัง และ ด้านข้าง ตามลำดับ

m คือมวลของตัวรถและ Iz คือโมเมนต์ความเฉื่อยของตัวรถ เมื่อมุมทั้งสี่มีทิศบวกตามเข็มนาฬิกา

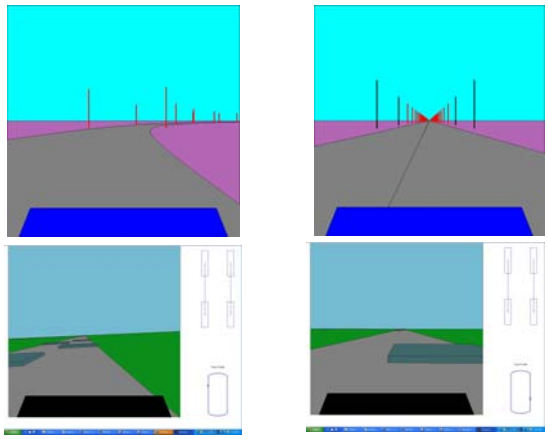
ทั้งนี้แบบจำลองที่ใช้ในระบบจำลองการขับขี่ยานพาหนะนี้ยังมีรายละเอียดอื่นๆอีกมาก แต่ไม่สามารถแสดงได้ทั้งหมดในบทความนี้

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมยานพาหนะ

ในการควบคุมยานพาหนะ ใช้อุปกรณ์ 3 ชนิด ได้แก่ พวงมาลัย คันเร่งและแป้นเบรก ประกอบเข้ากับชุดโครงสร้างอุปกรณ์ที่มีเบาะนั่งสำหรับคนขับ และปรับระดับได้ตามสรีระของผู้ใช้งานตามรูปที่ 8 สัญญาณจากการควบคุมรถของผู้ขับ จะได้จาก Potentiometer ซึ่งเป็นตัวปรับค่าความต่างศักย์เทียบกับมุมหมุนของพวงมาลัยและมุมบิดของแป้นคันเร่งและเบรก สัญญาณที่ได้จะถูกส่งเข้าไปยังอุปกรณ์ รับและแปลงสัญญาณของหน่วยประมวลผลความเร็วสูง (Digital Signal Processor, DSP) ของd-SPACE เพื่อไปประมวลผล และแสดงภาพบนหน้าจอต่อไป ดังแผนภูมิในรูปที่ 1

4. สิ่งแวดล้อมจำลองในการขับขี่

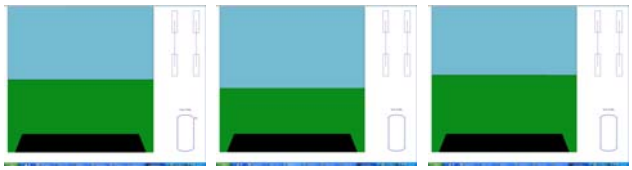
ในการนำแบบจำลองพลศาสตร์แบบใหม่นี้มาใช้กับระบบจำลองการขับขี่ยานพาหนะ (Driving simulator) ต้องมีการปรับปรุง สภาวะแวดล้อมจำลองในการขับขี่ให้สอดคล้องกับการเคลื่อนที่ด้วยเพื่อใช้กับโมเดลสี่ล้อโดยเฉพาะ และมีการเพิ่มระบบช่วงล่างและความสูงของล้อขึ้น ทำให้แบบรถจำลองนี้สามารถวิ่งขึ้นบนพื้นผิวที่มีความสูงที่แตกต่างได้



รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างหน้าจอของระบบจำลองการขับขี่ยานพาหนะ

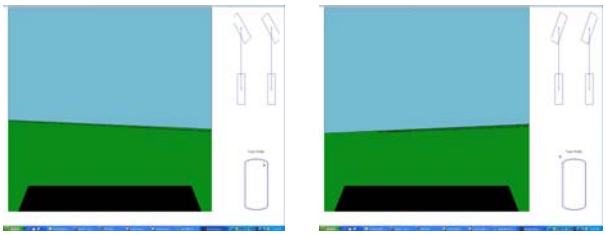
รูปที่ 3 เป็นตัวอย่างภาพสนามทดสอบที่ผู้ขับขี่เห็นจากจอ โดย รูปทรงสี่เหลี่ยมด้านใกล้ผู้ขับขี่ แทนส่วนกระโปรงหน้าของรถยนต์ และ เสาข้างถนนเป็นสิ่งให้ผู้ขับขี่สังเกตถึงความเร็วในการขับขี่ที่ชัดเจนขึ้น

จากรูปที่ 4 แสดงให้เห็น ถึงความเปลี่ยนแปลงขณะที่รถยนต์วิ่งด้วยความเร็วคงที่, มีความเร่ง และ มีการเบรก ตามลำดับ จะเห็นว่าเส้นขอบของพื้นดินจะเปลี่ยนระดับความสูงไปตามการก้มและเงย ของรถยนต์ อันเนื่องจากผลของ pitch ขณะที่มีความเร่งหรือความหน่วง ซึ่งสอดคล้องกับ การขับขี่จริง



รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างหน้าจอขณะที่รถ วิ่งด้วยความเร็วคงที่, มีความเร่ง และ เบรก ตามลำดับ

จากรูปที่ 5 เป็นการแสดงให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงขณะที่รถยนต์เลี้ยวซ้ายและขวาตามลำดับ จากรูปจะเห็นว่า เส้นขอบของพื้นดินจะเอียงตามการโคลงของรถยนต์ อันเนื่องจากผลของ Roll ขณะที่เลี้ยว ซึ่งสอดคล้องกับการขับขี่จริง ในรูปจะมีการแสดงมุมเลี้ยวของล้อรถทั้งสี่ให้ผู้ขับขี่เห็นด้วยและที่มุมขวาล่างจะเป็นรูปร่างของสนามที่กำลัง ขับขี่อยู่และแสดงตำแหน่งของ รถขณะเวลานั้นด้วย



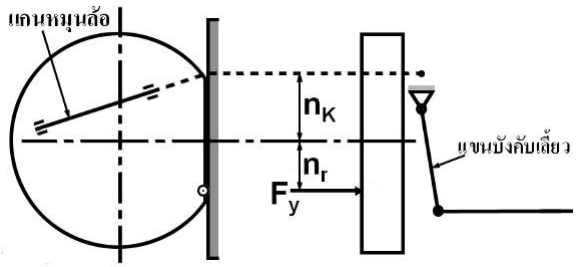
รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างหน้าจอขณะที่รถเลี้ยวซ้ายและขวา

5. การปรับปรุงความเสมือนจริงของระบบจำลองการขับขี่ โดยการเพิ่มความรู้สึกถึงพื้นถนน (Road feeling) แก่ผู้ขับขี่

ระบบจำลองการขับขี่ยานพาหนะเดิมยังขาดการตอบสนองจากพื้นถนนมายังผู้ขับขี่ ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญและมีผลต่อการขับขี่มาก การขับขี่จะเสมือนจริงได้หากสามารถจำลองความรู้สึกถึงพื้นถนนให้แก่ผู้ขับขี่ได้อย่างเหมาะสม โดยในงานวิจัยนี้ ความรู้สึกถึงพื้นถนน ถูกจำลองขึ้น โดยการจำลองโมเมนต์คืนตัวของยาง (Self aligning torque) ที่เกิดขึ้นที่ล้อขณะมีการเลี้ยว และส่งผ่านค่าแรงบิดนั้น กลับมายังผู้ขับขี่ โดยใช้ actuator ที่พวงมาลัยเป็นตัวสร้างค่าแรงบิดนั้น ซึ่งจะเห็นว่าโมเมนต์คืนตัวของยาง (Self aligning torque) นี้เป็น feed back ที่กลับมาสู่ผู้ขับขี่นั่นเอง

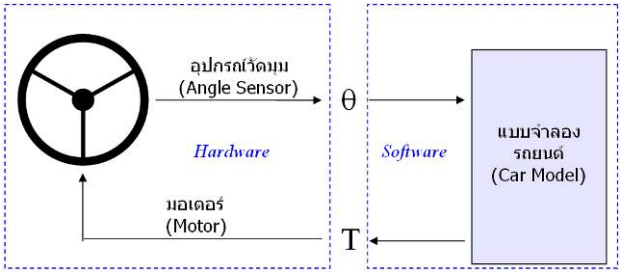
โดยมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง คือ แรงกระทำด้านข้างของล้อ (F_y) แขนของโมเมนต์ดึงกลับของแกนล้อ (n_k) แขนของโมเมนต์ดึงกลับของยาง (n_R) อัตราทดของระบบพวงมาลัย (i_L) และ อัตราขยายของระบบพวงมาลัยพาวเวอร์ (V_L) (ดังรูปที่ 6) ซึ่งทำให้เขียนสมการได้เป็น [3]

$$T = \frac{(n_k + n_R)F_y}{i_L V_L}$$



รูปที่ 6 แสดงกลไกการทำงานของระบบเลี้ยว [3]

โดยการทำงานของระบบเริ่มต้นจากการที่ผู้ขับขี่หมุนพวงมาลัยเพื่อขับขี่ จากนั้นจะวัดมุมบิดที่เกิดขึ้นที่พวงมาลัย (θ) มาเข้าสู่การคำนวณในแบบจำลองรถยนต์ โดยภายหลังจากที่คำนวณค่าแรงบิดที่ส่งมาถึงผู้ขับขี่ (T) แล้วระบบควบคุมจะสั่งให้มอเตอร์ทำงาน โดยส่งค่าแรงบิดดังกล่าวมายังพวงมาลัย เป็นวัฐจักรเช่นนี้เรื่อยไปดังรูปที่ 7

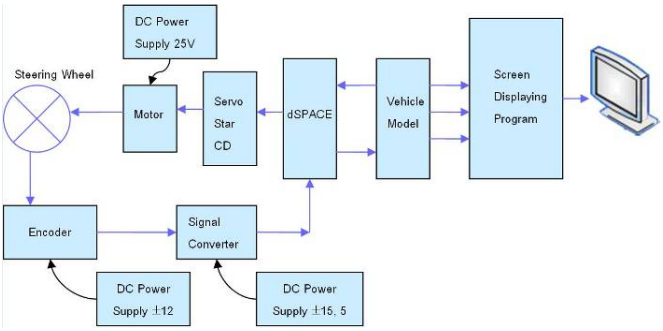


รูปที่ 7 Conceptual Design of Torque Feed back Steering System

ส่วนของ Actuator ที่ใช้ในการสร้างแรงบิดให้กับผู้ขับขี่ ใช้มอเตอร์ตัวใหญ่แบบ Brushless เพียงตัวเดียวต่อเข้าโดยตรงกับพวงมาลัยของผู้ขับขี่เพื่อส่งแรงบิดได้โดยตรงโดยไม่ผ่านกระบวนการทดแรงใดๆ รูปที่ 8 แสดงพวงมาลัยที่ต่อกับมอเตอร์ดังกล่าว

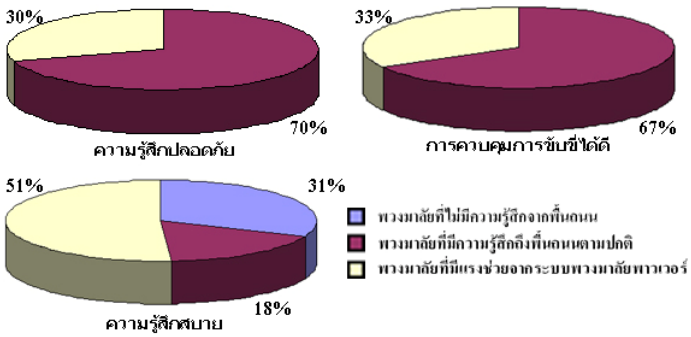
จากการออกแบบได้สร้างและติดตั้งระบบเพิ่มความรู้สึกจากพื้นถนนนี้ลงบนระบบจำลองการขับขี่ (Driving Simulator) โดยประกอบไปด้วย มอเตอร์ ,อุปกรณ์ตรวจรู้ (Encoder) ,DSP board (dSPACE) ,วงจรแปลงสัญญาณ และPower Supply ต่อกันดังรูปที่ 9

รูปที่ 8 Torque feed back steering system และ ระบบจำลองการขับขี่หลังจากติดตั้งระบบเพิ่ม Road feeling



รูปที่ 9 การเชื่อมโยงระบบ Road Feeling กับระบบจำลองการขับขี่

จากการประเมินผ่านผู้ทดสอบจำนวน15คน ด้วยพวงมาลัยที่ให้ความรู้สึกจากพื้นถนนแตกต่างกัน3แบบ คือ พวงมาลัยที่ไม่มีความรู้สึกจากพื้นถนน, พวงมาลัยที่มีความรู้สึกถึงพื้นถนนตามปกติ และพวงมาลัยที่มีแรงส่งน้อยกว่าปกติเพราะได้รับแรงช่วยจากระบบพวงมาลัยพาวเวอร์ ได้ผลจากการทดสอบเป็น2 ส่วน คือ ส่วนแรกประเมินผ่านแบบสอบถามภายหลังการขับขี่ ได้ผลดังรูปที่ 5 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผู้ขับขี่ส่วนมากรู้สึกว่า การที่ได้รับรู้แรงจากพื้นถนนนั้นทำให้รู้สึกปลอดภัยและควบคุมการขับขี่ได้ดี แต่รู้สึกสะดวกสบายลดลง และ ส่วนที่ 2เป็นการประเมินเชิงตัวเลขจากการขับขี่ของผู้ขับขี่ผ่านถนน3เส้นทางคือ ถนนทางตรง ถนนทางโค้ง และถนนที่มี การเลี้ยวขวา(J-turn) เพื่อหาระยะการวิ่งห่างจากกึ่งกลางถนน ซึ่งถือเป็นระยะความผิดพลาดในการขับขี่ ซึ่งได้ผลตามตารางที่1 โดยข้อมูลแสดงให้เห็นว่าการที่ผู้ขับขี่ได้รับรู้ถึงแรงจากพื้นที่ถนนตรงหรือถนนโค้งจะทำให้ค่าความผิดพลาดมากที่สุด ค่าราก้ำลังสองเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะจากกึ่งกลางถนนลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการขับขี่ที่แม่นยำขึ้น แต่ถ้ามีการเลี้ยวด้วยมุมที่น้อย และช่วงเวลาการขับขี่น้อย เช่นในเส้นทางเลี้ยวขวา การที่ความรู้สึกจากพื้นมากเกินไป อาจทำให้ความแม่นยำลดลงเล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดจากการที่ผู้ขับขี่ต้องใช้แรงในการควบคุมที่มากขึ้น



รูปที่ 10 แสดงผลการประเมินความรู้สึกของผู้ขับขี่

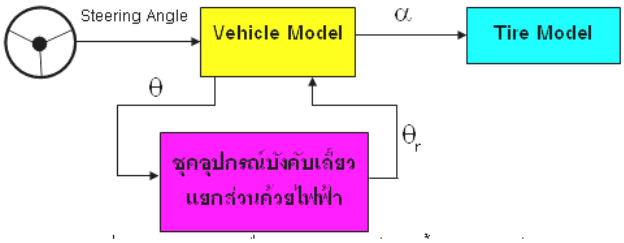
ตารางที่ 1แสดงผลการประเมินเชิงตัวเลขจากการขับขี่

เส้นทาง	ชนิดของความผิดพลาด	พวงมาลัยที่ไม่มีความรู้สึกจากพื้นถนน	พวงมาลัยที่มีความรู้สึกถึงพื้นถนนตามปกติ	พวงมาลัยที่มีแรงช่วยจากระบบพวงมาลัยพาวเวอร์
ถนนทางตรง	ErrorMax (m.)	1.150	0.344	0.711
	RMS. of Error (m.)	0.561	0.158	0.324
	SD. of Error (m.)	0.380	0.113	0.234
ถนนทางโค้ง	ErrorMax (m.)	2.019	1.579	1.657
	RMS. of Error (m.)	0.813	0.684	0.694
	SD. of Error (m.)	0.751	0.578	0.652
ถนนที่มีการเลี้ยวขวา	ErrorMax (m.)	2.355	1.506	1.470
	RMS. of Error (m.)	1.164	0.782	0.801
	SD. of Error (m.)	0.951	0.653	0.630

6. การปรับปรุงความเสมือนจริงของระบบจำลองการขับขี่โดยการเพิ่มระบบบังคับเลี้ยวด้วยไฟฟ้าที่ล้อ

เนื่องจากปัจจุบัน การจำลองระบบการขับขี่ของยานพาหนะ ใช้แรงที่เกิดขึ้นระหว่างผิวยางกับ พื้นถนจากการคำนวณโดย ใช้แบบจำลองซึ่งยังขาดความเสมือนจริง และหากมีระบบเลี้ยวของล้อทำงานร่วมด้วยจะช่วยเพิ่มความเสมือนจริงให้กับระบบจำลองการขับขี่ยานพาหนะ (Driving simulator)ได้ [2] ทำให้เกิดแนวคิดที่จะสร้างระบบ Hardware-in-the-loop Simulator เพื่อใช้ร่วมกับระบบจำลอง การขับขี่ยานพาหนะ โดยส่วนประกอบหลัก คือ มีล้อจริงที่สามารถวิ่งอยู่บนพื้นเสมือน (ดรัม) และ เลี้ยวได้ โดยในงานส่วนนี้คณะผู้วิจัยได้จัดสร้าง ระบบจำลองการเลี้ยวแบบย่อส่วน แต่ยังไม่มีส่วนวัดแรงจริงซึ่งจะทำการจัดสร้างต่อไป

จากรูปที่ 11 แสดงหลักการทำงานของชุดอุปกรณ์บังคับเลี้ยวด้วยไฟฟ้า โดยจะรับค่ามุมเลี้ยว (θ) จาก Vehicle Model แล้วส่งค่ากลับคืนเป็นมุมเลี้ยวที่ ณ เวลาจริงขณะนั้นๆ (θ_r) ต่อจากนั้น Vehicle Model จะคำนวณค่าที่จำเป็นต่างๆ โดยในส่วนของค่า Slip Angle (α) จะถูกส่งไปที่ Tire Model เพื่อนำไปคำนวณหาค่าแรงที่เกิดขึ้นต่อไป [2]



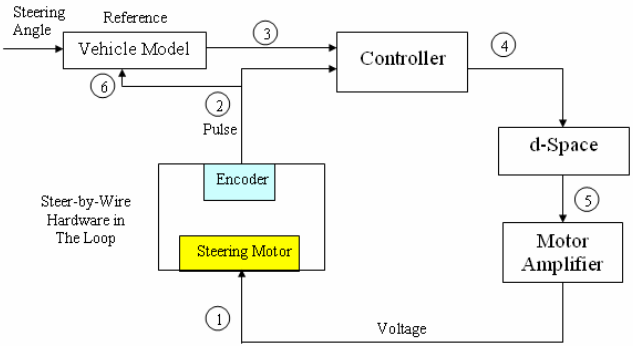
รูปที่ 11 แสดงแนวคิดการเชื่อมต่อของอุปกรณ์บังคับเลียวด้วยไฟฟ้ากับ Vehicle model

จากหลักการทำงานและเงื่อนไขที่กล่าวมาข้างต้นจึงได้ออกแบบชุดอุปกรณ์บังคับเลี้ยวด้วยไฟฟ้า โดยชุดอุปกรณ์ประกอบไปด้วย

1) ระบบบังคับเลี้ยว: ทำงานโดยใช้มอเตอร์กระแสตรง ทำให้ล้อหมุนตามค่ามุมสลิป (slip angle) ซึ่งเป็นมุมระหว่างทิศทางของล้อ และความเร็วที่ล้อ แรงเลี้ยว (Cornering force) จะเกิดขึ้นจากมุมสลิปนี้

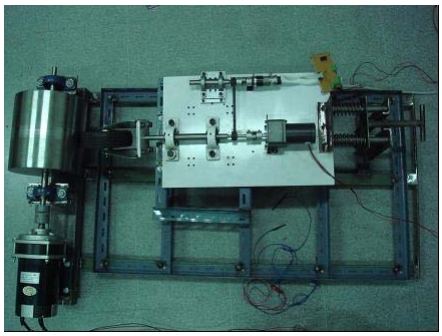
2) ระบบขับเคลื่อนล้อ ใช้มอเตอร์หมุนดรัม (drum) เพื่อจำลองการวิ่งของล้อบนพื้นถนน

3) ระบบโหลดปรับค่าได้ ทำได้โดยการขันสกรูให้ชุดสปริงดันระบบเลี้ยวและล้อไปติดกับดรัม เพิ่มโหลดโดยใช้การยืดหดของสปริง



รูปที่ 12 แสดง Diagram การเชื่อมต่อระบบ Driving Simulator กับระบบบังคับเลี้ยวด้วยไฟฟ้า

ระบบ Driving Simulator ดังแสดงในรูปที่ 1 จะ ส่งค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงจากอินพุทของพวงมาลัยไปประมวลผลในแบบจำลองพลศาสตร์ของรถยนต์ (Vehicle Model) ผ่านทาง d-Space เพื่อคำนวณหาข้อมูลในส่วนของการเลี้ยว ซึ่งคือมุมสลิป (Slip angle) ที่ล้อจะถูกส่งไปที่มอเตอร์ซึ่งเป็นส่วนบังคับเลี้ยวด้วยไฟฟ้า (Steer-by-Wire Hardware) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ Hardware-In-the-Loop simulator และทำการส่งค่ามุมเลี้ยวกลับมาที่ Vehicle Model เพื่อทำการคำนวณค่าต่างๆ มาแสดงผลที่หน้าจอ ดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 13 ระบบจำลองการเลี้ยวของล้อด้วยไฟฟ้า

6.1 การทดสอบร่วมกับระบบ Driving Simulator

ระบบจำลองการเลี้ยวล้อด้วยไฟฟ้าได้ถูกนำไปทดสอบระบบโดยรวมร่วมกับระบบจำลองการขับขี่ โดยทดสอบเปรียบเทียบการขับขี่ 3 แบบดังนี้ เพื่อศึกษาถึงผลต่อการขับขี่ของมนุษย์

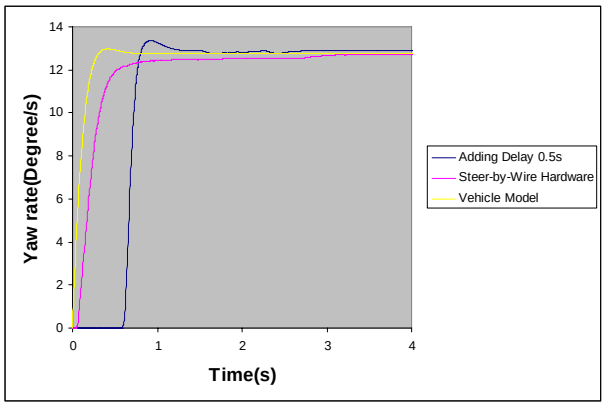
ชนิดที่ 1 การขับขี่ผ่าน Driving Simulator แบบเดิม

ชนิดที่ 2 การขับขี่แบบที่มีการเพิ่มชุดอุปกรณ์บังคับเลี้ยวด้วยไฟฟ้าในระบบ Driving Simulator

ชนิดที่ 3 มีการเพิ่ม Delay เท่ากับ 0.5 s ในการขับขี่แบบที่สอง ส่วนวิธีในการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1) การทดสอบหา Delay ของระบบเพื่อดูการตอบสนอง โดยให้ค่าสัญญาณ Input เป็น Step เลี้ยวด้วยมุมคงที่ 3 องศา และให้ความเร็วรถคงที่ 60 km/hr แสดงโดยเป็น Yaw Rate ในรูปที่ 14 ซึ่งพบว่าการขับขี่แบบที่ 2 มีค่าหน่วงเวลา 0.0475 s และแบบที่มีการเพิ่มค่าหน่วงเวลาเท่ากับ 0.5 s (แบบที่ 3) มีค่าหน่วงเวลา 0.59 s

2) การทดสอบผลการขับขี่ (On-Line) เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาถึงผลของการขับขี่ โดยในการทดลองนี้จะทำโดยผู้ร่วมทดสอบจำนวน 20 คน โดยคละชายและหญิง ทำการขับขี่ทั้ง 3 แบบ ซึ่งจะแบ่งผลการประเมินออกเป็น 2 ส่วน คือ ประเมินโดยใช้ข้อมูลการขับขี่ที่เก็บค่ามาจากการขับขี่ของแต่ผู้ร่วมทดสอบดังแสดงในรูปที่ 5.5 และประเมินจากความรู้สึกของผู้ร่วมทดสอบผ่านทางแบบสอบถามดังแสดงในรูปที่ 15



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ของ Yaw Rate กับเวลา ของการขับขี่ทั้ง 3 แบบ

6.2 ผลการประเมินจากความรู้สึกของผู้ทดสอบ

ในการประเมินด้านความรู้สึกในการขับขี่ ดังแสดงในรูปที่ 5.3 จะสามารถทำการพิจารณาออกเป็น 6 หัวข้อดังนี้

1) ความรู้สึกสมจริงเมื่อเทียบกับการขับรถยนต์จริง พบว่าการขับขี่แบบที่2 ซึ่งเป็นการขับขี่ที่มีการเพิ่มอุปกรณ์บังคับเลี้ยวด้วยไฟฟ้าเข้ากับ Driving Simulator ที่มีอยู่เดิมเป็นการขับขี่ที่ผู้ร่วมทดสอบเห็นว่ามีความสมจริงมากที่สุดเมื่อเทียบกับการขับขี่โดยรถจริง

2) ความรู้สึกด้านความปลอดภัย

พบว่า การขับขี่แบบที่ 1 ให้ความรู้สึกปลอดภัยมากที่สุด

3) ความรู้สึกด้านความสบาย

พบว่า ความสบายที่เกิดขึ้นนั้นแปรผันตามการควบคุมแรง ที่พวงมาลัย โดยแบบที่ 1 จะเบาและไม่มีการรับรู้ถึงพื้นถนนจริงจึงควบคุมแรงได้ง่าย ส่งผลให้เกิดความสบายสูงสุด ส่วนการขับขี่แบบที่ 2 และแบบที่ 3 มีการรับรู้สภาพของล้อที่เกิดขึ้น ทำให้แรงที่พวงมาลัยไม่นิ่งเกิดการสั่นเล็กน้อย ส่งผลให้ความสบายลดลง

4) การรู้สึกถึงความแม่นยำการเลี้ยว

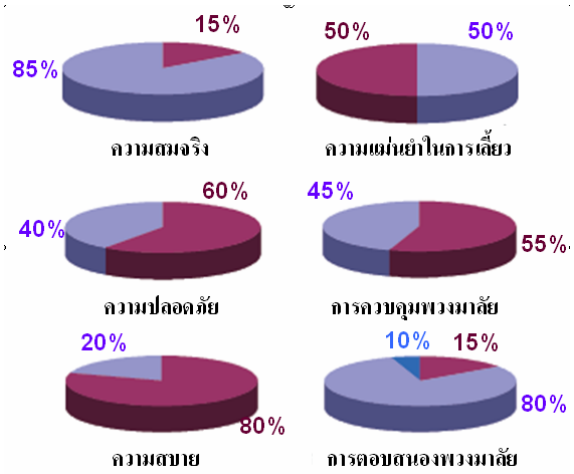
พบว่าแบบที่ 2 และ 1 เป็นการขับขี่ที่ผู้ร่วมทดสอบรู้สึกถึงความแม่นยำในการเลี้ยวเท่ากันมากที่สุด สำหรับแบบที่ 3 มีค่าการประเมินด้านความรู้สึกถึงความแม่นยำน้อยที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความแม่นยำของมุมเลี้ยวที่ผ่านชุดอุปกรณ์บังคับเลี้ยวด้วยไฟฟ้ามีค่าใกล้เคียงกับมุมเลี้ยวที่มาจาก Driving Simulator ทำให้การประเมินผลมีค่าเท่ากัน

5) ความรู้สึกความง่ายในการควบคุมพวงมาลัยในการเลี้ยว

พบว่าการขับขี่แบบที่ 1 ผู้ร่วมทดสอบรู้สึกว่าสามารถควบคุมพวงมาลัยได้ดีที่สุด แสดงว่า เมื่อเพิ่มชุดอุปกรณ์บังคับเลี้ยวด้วยไฟฟ้าเข้าไปในระบบ Driving Simulator นั้นทำให้การควบคุมพวงมาลัยในการเลี้ยวยากขึ้น อันอาจเกิดจากค่า delay ในระบบเลี้ยวด้วยไฟฟ้า

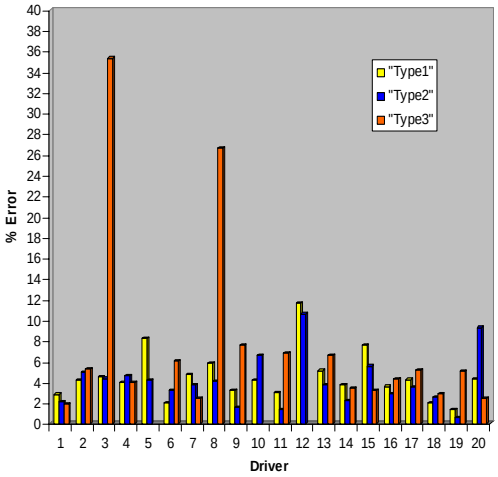
6) ความรู้สึกด้านการตอบสนองในการเลี้ยวต่อผู้ขับขี่

พบว่าการขับขี่แบบที่ 2 เป็นการขับขี่ที่ให้ความรู้สึกในการตอบสนองต่อการเลี้ยวดีที่สุด ซึ่งเป็นผลมาจากการหน่วงเวลาที่เกิดภายในระบบเลี้ยวด้วยไฟฟ้า ซึ่งแบบที่ 1 อาจมีการตอบสนองการเลี้ยวที่เร็วไป ส่วนแบบที่ 3 มีการตอบสนองต่อการเลี้ยวที่ช้า แสดงว่าการมี Delay ที่เหมาะสมส่งผลให้การตอบสนองในการเลี้ยวดีขึ้น



รูปที่ 15 แสดงผลทดสอบเชิงความรู้สึกของผู้ร่วมทดสอบ

จากผลการทดสอบทั้ง6ข้อ โดยสรุปพบว่าการขับขี่ที่มีการเพิ่มอุปกรณ์บังคับเลี้ยวด้วยไฟฟ้า เข้ากับ Driving Simulator (แบบที่ 2) มีความสมจริงเมื่อเทียบกับรถจริงมากกว่าการขับขี่แบบอื่น และแบบที่ 2 ยังสร้างความพึงพอใจในการขับขี่ในด้านการตอบสนองที่เหมาะสมกับการเลี้ยวของผู้ขับขี่ได้อย่างดี ในด้านความรู้สึกแม่นยำในการขับขี่แบบที่ 2 มีค่าใกล้เคียงกับแบบที่ 1 ส่วนในแบบที่ 3 คือการเพิ่มค่าdelayที่มากเกินไปเข้าไปในระบบจะส่งผลกระทบด้านลบต่อผู้ขับขี่ในทุกด้าน



รูปที่ 16 แสดง % error ของการขับขีทัง 3 แบบ จากผู้ขับขี 20 คน

6.3 ผลการประเมินจากข้อมูลการขับขี่ของผู้ทดสอบ

การเก็บข้อมูลการขับขี่เชิงตัวเลขของผู้ร่วมทดสอบจะเก็บค่าลักษณะเส้นทางการขับขี่ โดยสามารถวิเคราะห์ค่าแม่นยำในการขับขี่ผ่านทางค่าความผิดพลาดของเส้นทางการขับขี่ของผู้ร่วมทดสอบ เทียบกับเส้นกลางถนนโดยคิดเป็นร้อยละ ซึ่งแสดงเป็นแผนภูมิได้ดังรูปที่ 16 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าลักษณะการขับขี่ที่มีการเพิ่มอุปกรณ์บังคับเลี้ยวด้วยไฟฟ้า เข้ากับ Driving Simulator ที่มีอยู่เดิม (แบบที่ 2) ช่วยให้ผู้ทดสอบมีความแม่นยำในการขับขี่มากขึ้น

7. สรุป

คณะผู้จัดทำได้เพิ่มความเสมือนจริงในการขับขี่ให้กับต้นแบบระบบจำลองการขับขี่ (Driving Simulator) ที่ได้จัดสร้างขึ้นโดยเปลี่ยนแบบจำลองจากแบบสองล้อ (Bicycle model) เป็นแบบสี่ล้อ (Full car model), ปรับปรุงสิ่งแวดล้อมจำลองให้สมจริงยิ่งขึ้น, เพิ่มความรู้สึกจากพื้นถนนให้ผู้ขับขี่โดยการใช้มอเตอร์จำลองแรงบิดที่เกิดขึ้นระหว่างยางและพื้นถนนขณะที่เลี้ยว, และเพิ่มระบบบังคับเลี้ยวด้วยไฟฟ้าเพื่อบังคับให้ล้อรถเลี้ยวตามแบบจำลอง จากผลการทดสอบขับขี่ พบว่าการเพิ่มความรู้สึกถึงพื้นถนน จะช่วยให้ผู้ขับขี่มีความรู้สึกปลอดภัยและควบคุมรถได้ดีและแม่นยำขึ้น แต่ทำให้ความสบายลดลงไปบ้าง ส่วนการเพิ่มระบบบังคับเลี้ยวด้วยไฟฟ้าก็ช่วยเพิ่มความเสมือนจริงในการขับขี่ได้เช่นกัน เช่น มีการตอบสนองที่สมจริงขึ้น มีความแม่นยำในการควบคุมและขับขี่เพิ่มขึ้น เป็นต้น ซึ่งจากผลทดสอบดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าระบบจำลองการขับขี่มีความเสมือนจริงใกล้เคียงกับรถจริงมากขึ้น ซึ่งจะมีประโยชน์อย่างมากในการทำวิจัยเกี่ยวกับพฤติกรรมการขับขี่ของมนุษย์และพลศาสตร์ของยานยนต์ต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[1] นักสิทธ์ นุ่มวงษ์, ชุติมา พิชิตพรรณ, วีระชัย สุภัทรวณิช, สัจจะพงษ์ ยงสกุลโรจน์, สาลินี อาชวเมธี และ ศุภวุฒิ จันทรานุวัฒน์, ระบบต้นแบบในการจำลองการขับขี่ยานพาหนะ (Driving Simulator Prototype), การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20, 18-20 ตุลาคม 2549 จังหวัดนครราชสีมา

[2] N. Noomwongs, H. Yoshida, M. Nagai, K. Kobayashi, T. Yokoi, Study on Handling and Stability by Using Tire Hardware-In-the-Loop Simulator, JSAE Review, Vol. 24 No. 4, pp.457-464, Japanese Society of Automotive Engineers, October 2003.

[3] ฉัตรชัย หงษ์อุเทน. กลศาสตร์ยานยนต์ 1. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

[4] ฉัตรชัย หงษ์อุเทน. เอกสารประกอบการสอนวิชากลศาสตร์ยานยนต์ 2. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

[5] ศุภวุฒิ จันทรานุวัฒน์. เอกสารประกอบการสอนวิชา Automotive Control. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

[6] M. Abe, ‘Vehicle Dynamics and Control ( ), Sankaido Publication ( ), 1992, (In Japanese)

[7] J.R. Ellis, ‘Vehicle Handling Dynamics’, Mechanical Engineering Publications Limited London, 1993

[8] Hans B. Pacejka, ‘Tyre and Vehicle Dynamics’, Elsevier Butterworth-Heinemann, 2002

[9] Heinz Heisler, Advance Automotive technology. 2nd Edition, Society of Automotive Engineers, 2004