

ระบบจำลองพลศาสตร์ยานยนต์ร่วมกับระบบล้อ ระบบรองรับ และระบบบังคับเลี้ยวจริง

Tire-Suspension-Steering

Hardware-In-The-Loop for Vehicle Dynamic Simulation

สุรเชษฐ์ สุขไชยพร, นักสิทธิ์ นุ่มวงษ์, รัชทิน จันทรเจริญ, และ ศุภวุฒิ จันทรานูวัฒน์*
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330
โทร 02-218-6591 *อีเมลล์ supavut.c@eng.chula.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการพัฒนาระบบยานยนต์จะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยเป็นสำคัญ การออกแบบเพื่อความปลอดภัยนี้มักขึ้นอยู่กับความเข้าใจในแรงที่เกิดขึ้นจากพื้นที่สัมผัสระหว่างยางและผิวถนนแล้วส่งผ่านมาสู่ตัวรถเป็นอย่างมาก [2][7] วิธีการหนึ่งที่ใช้ในการตรวจวัดแรงดังกล่าวและทดสอบผลของแรงนี้ต่อระบบต่างๆ คือการใช้การทดสอบแบบ Hardware-in-the-Loop (HIL) [1][2][6][7] ซึ่งเป็นการสร้างระบบจำลองด้วยอุปกรณ์จริงขึ้น อย่างไรก็ตามงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมามักเป็นการทดสอบแยกกันระหว่างแรงที่ส่งผ่านระบบกันสะเทือนและแรงที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยว [9] แต่ในการใช้งานจริงการสั่นสะเทือนระหว่างเกิดการเลี้ยวมีโอกาสเกิดขึ้นสูง และแรงที่เกิดจากการเลี้ยวก็ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับแรงสั่นสะเทือนของระบบกันสะเทือนอีกด้วย ดังนั้นบทความนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อนำเสนอการออกแบบอุปกรณ์ทดสอบ HIL นี้ ซึ่งระบบนี้กำลังอยู่ระหว่างการผลิตขึ้นจริง ระบบนี้ใช้ระบบกันสะเทือนและบังคับเลี้ยวจากยานยนต์จริงขนาดเล็กที่สามารถควบคุมความเร็ว มุมไถล และอัตราการใช้เกียร์ระหว่างล้อกับพื้นถนนได้อย่างถูกต้อง เพื่อจำลองลักษณะการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ทดสอบให้ใกล้เคียงกับสภาพการใช้งานจริง การกำหนดขนาดอุปกรณ์ทดสอบและลักษณะอื่นๆในการออกแบบ เช่น ขนาดของมอเตอร์ขับเคลื่อน นั้นมาจากผลการจำลองการใช้งานจริงโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของรถยนต์แบบจักรยาน (Bicycle model) ร่วมกับแบบจำลองของระบบ HIL ที่จะสร้างขึ้น โดยกำหนดให้การเร็วรถมีค่าสูงสุดไม่เกิน 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และมีมุมเลี้ยวไม่เกิน 10 องศา

Abstract

Safety has always been an important part during the development of any automotive systems. Evaluations of these systems usually involve accurate predictions of tire forces [2][7]. Recently, Hardware-In-the-Loop (HIL) simulators provide ways to accurately measure actual tire forces and evaluation their interactions with a newly designed system by incorporating an

actual tire [1][2][6][7] during simulations. Existing systems, however, consider suspension and steering system separately while, in reality, both have significant effects on tire force generations. This paper reports a HIL design that incorporates both systems which is also under construction. The system uses a real suspension and a steering system where wheel speed, side slip angle, and longitudinal slip angle can be controlled. Design and sizing of the components were done by using results from simulations with a bicycle model and a HIL model. The system is limited to simulating a car with speed lower than 50 km/h and with steering angle less than 10 degree on smooth road.

1. บทนำ

ความเสถียรและความปลอดภัยของรถยนต์นั้นขึ้นอยู่กับระบบช่วงล่างเป็นอย่างมาก [1][2][6] ดังนั้นการพัฒนารถยนต์ทางด้านความเสถียรและความปลอดภัยจึงมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาแบบช่วงล่างเป็นสำคัญ ซึ่งหนึ่งในแนวทางที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันคือการใช้วิธีสร้างอุปกรณ์จำลองบางส่วนของช่วงล่างรถยนต์แล้วนำมาประกอบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อทดสอบให้ได้มาซึ่งผลลัพธ์ที่ต้องการ แนวทางดังกล่าวถูกเรียกว่า Hardware-in-the-Loop [4][8]

Hardware-In-the-Loop (HIL) เป็นแนวทางการทดสอบอุปกรณ์หรือระบบย่อยของอุปกรณ์ที่ทำงานประสานกันโดยมีหลักการคือการนำระบบย่อยดังกล่าวมาทำงานประสานกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในคอมพิวเตอร์ โดยแบบจำลองในคอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่สร้างหรือเติมส่วนอื่นๆของอุปกรณ์ในระบบใหญ่ให้สมบูรณ์ ข้อดีของการทดสอบแบบ HIL นี้คือ ผู้ทดสอบไม่จำเป็นต้องสร้างระบบจริงทั้งหมดเพื่อทำการทดสอบลักษณะของระบบย่อยเพียงบางประการ อีกทั้งการทดสอบแบบ HIL นี้สามารถทำได้ในห้องปฏิบัติการ ทำให้การควบคุมตัวแปรอื่นๆที่ส่งผลกระทบต่อระบบทำได้ง่ายมีประสิทธิภาพมากขึ้น จากข้อดีดังกล่าวส่งผลให้การทดสอบระบบด้วยวิธี HIL ได้รับความนิยมอย่าง

กว้างขวาง ซึ่งการทดสอบระบบยานยนต์ส่วนใหญ่ก็ใช้วิธีทดสอบนี้เช่นกัน [2][6][7]

การทดสอบระบบรองรับของรถยนต์ด้วยวิธี HIL ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบันมักมุ่งเน้นไปที่การตรวจวัดแรงที่เกิดขึ้นระหว่างล้อกับพื้นผิวสัมผัส เนื่องจากแรงดังกล่าวถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อการเคลื่อนที่ของตัวรถ ไม่ว่าจะเป็นการสั่นสะเทือนในแนวดิ่งที่เป็นดัชนีชี้วัดทางด้านความสะทกสบบาย [2][7] หรือการเคลื่อนที่ในแนวราบที่บ่งชี้ถึงความปลอดภัยของรถยนต์คันนั้น [3][5] โดยวิธีที่ใช้ทดสอบแรงดังกล่าวนี้มักแบ่งเป็น 2 แนวทางระหว่างการพัฒนาอุปกรณ์จำลองระบบรองรับกับการสร้างอุปกรณ์จำลองระบบบังคับเลี้ยว เพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่ง ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบ ไม่ว่าจะเป็น แรง ความเร็ว หรือ ความเร่ง ยังไม่อาจทำนายค่าดังกล่าวที่เกิดขึ้นจริงได้อย่างสมบูรณ์นักเนื่องจากในความเป็นจริง แรงที่ระบบรองรับดูดซับไว้ จะส่งผลถึงระบบบังคับเลี้ยวตลอดเวลา หรือในทางกลับกัน [3] จากปัญหาที่เกิดขึ้นนำไปสู่ความพยายามในการพัฒนารูปแบบการสร้างอุปกรณ์จำลองที่สามารถตรวจวัดแรงที่เกิดขึ้นที่ล้อในระบบที่ประกอบด้วยระบบรองรับและระบบบังคับเลี้ยวในเวลาเดียวกันได้ ซึ่งการตอบโต้ภัยดังกล่าวถือเป็นจุดมุ่งหมายหลักของงานวิจัยที่ผู้วิจัยกำลังดำเนินงานอยู่

บทความนี้นำเสนอผลการออกแบบระบบ HIL เพื่อให้สามารถใช้ในการทดสอบระบบรองรับและบังคับเลี้ยวจริงของยานยนต์ขนาดเล็กตลอดทั้งระบบควบคุมต่างๆที่เกี่ยวกับ Active safety เช่น ระบบบังคับเลี้ยวแยกส่วนด้วยไฟฟ้า (drive-by-wire) โดยกำหนดให้สามารถจำลองมุมเลี้ยวของรถยนต์ได้ตั้งแต่ -10 องศา ถึง 10 องศา และมีอัตราเร็วไม่เกิน 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตลอดทั้งสามารถปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ต่างๆได้โดยสะดวก แต่ในขั้นต้นนี้ใช้ระบบระบบกันสะเทือนแบบแมคเฟอร์สัน สตรัท และระบบบังคับเลี้ยวแบบ แรค แอนด์ พีนियอนในการออกแบบ

ระบบ HIL ที่นำเสนอนี้กำลังถูกจัดสร้างขึ้น โดยเมื่อใช้งานแล้วผู้วิจัยคาดว่าจะมีประโยชน์ในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับระบบช่วงล่างและบังคับเลี้ยว รวมทั้งการออกแบบอุปกรณ์หรือระบบควบคุมต่างๆ ผู้วิจัยคาดหวังว่าจะสามารถสร้างแนวทางการตรวจวัดแรงที่ล้อได้อย่างถูกต้องมากยิ่งขึ้น และจะสามารถขยายไปสู่การทดสอบระบบรองรับแบบอื่นๆได้ ส่งผลให้การพัฒนาระบบต่างๆเป็นไปได้อย่างรวดเร็วมากขึ้น

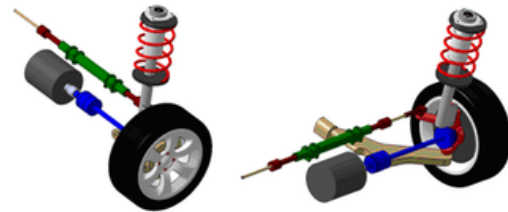
2. การออกแบบอุปกรณ์ต่าง ๆ

การพัฒนาแนวทางการตรวจวัดแรงจากล้อให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นนั้น อาจทำได้โดยการพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างภาระแนวดิ่งและพัฒนาการบังคับเลี้ยวให้มีสภาพใกล้เคียงกับการใช้งานจริงมากที่สุด โดยในการออกแบบจะเริ่มจากการร่างอุปกรณ์และส่วนประกอบต่างๆที่สามารถเคลื่อนที่ได้ตามต้องการ จากนั้นจึงเขียนแบบ 3 มิติขึ้นเพื่อกำหนดขนาดคร่าวๆของส่วนประกอบแต่ละชิ้น จากนั้นจึงใช้การจำลองและคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อหาระยะและข้อมูลต่างๆที่จำเป็นต่อการลงรายละเอียดในการออกแบบ ซึ่งขั้นตอนการออกแบบในเบื้องต้นมีดังต่อไปนี้

2.1 ข้อกำหนดในการออกแบบ

1. อุปกรณ์ทดสอบที่จะใช้ในการตรวจวัดแรงจากล้อขับเคลื่อนที่ประกอบด้วยระบบรองรับบังคับเลี้ยวจริงของยานยนต์ขนาดเล็ก โดยใช้แบบจำลองรถยนต์แบบจักรยาน (Bicycle Model) ร่วมในการวิเคราะห์
2. จำลองการเคลื่อนที่ปกติของรถยนต์โดยสารส่วนบุคคลขนาดเล็กที่วิ่งด้วยความเร็วไม่เกิน 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
3. อุปกรณ์ดังกล่าวต้องสามารถตรวจวัดแรงที่ตัวแปรต่างๆได้แก่ มุมเลี้ยว, Slip angle ที่เกิดขึ้นในขณะเลี้ยวและแรงที่เกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสระหว่างยางและพื้นได้ใกล้เคียงกับการขับขี่จริง
4. ในการใช้งานปกติ ระยะการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งของตัวรถมีค่าไม่เกิน 50 เซนติเมตร

จากข้อกำหนดในหลายๆด้าน ส่งผลให้ระบบรองรับและบังคับเลี้ยวจริงที่ผู้วิจัยสามารถเลือกมาใช้ออกแบบและพัฒนาได้ คือระบบช่วงล่างของรถ Nissan รุ่น B11 ที่ประกอบด้วย ล้อ (กระทะล้อขนาด 13 นิ้ว และรัศมียาง 225 มิลลิเมตร) โช้คอัพ ปีกนก เพลาชับ ชุดคันชักพร้อมมอเตอร์ขับเคลื่อน ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ระบบช่วงล่างของยานยนต์ขนาดเล็กที่ใช้ในการพัฒนา

2.2 การออกแบบเบื้องต้น

1. ทำการออกแบบโดยเปลี่ยนการเคลื่อนที่ของรถยนต์จากการวิ่งในแนวราบ เป็นการวิ่งบนล้อจำลองพื้นถนนแทน
2. จำลองมวล 1 ใน สีของรถยนต์เป็นภาระในแนวดิ่งที่ส่งน้ำหนักผ่านระบบรองรับกระทำกับล้อทดสอบ โดยกำหนดให้มวลดังกล่าวมีขนาด 300-400 กิโลกรัม และปรับเปลี่ยนได้
3. ล้อจำลองพื้นถนนต้องสามารถปรับความเร็วในการหมุนได้เพื่อจำลองผลของภาระถนนในการเร่งและเบรก และสามารถจำลองผลของมวลของรถที่มีต่อการเร่งในแนวราบด้วยมวลสมมูลในการหมุนของล้อนี้
4. แกนหมุนของล้อจำลองพื้นถนน ต้องสามารถหมุนได้รอบแกนตั้งเพื่อสร้างมุมสลิปด้านข้างของล้อ (tire side slip angle) ที่ถูกต้องให้กับหน้ายาง ณ จุดสัมผัส เนื่องจากการเคลื่อนที่ของยานยนต์จริงขณะเกิดการเลี้ยว การหมุนของตัวรถจะส่งผลถึงอัตราเร็วของล้อหน้าเทียบกับพื้นสัมผัสด้วย ดังนั้นในการออกแบบจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงผลดังกล่าวด้วย ทั้งนี้ผลจากการควบคุมมุมแกนหมุนของล้อจำลองพื้นถนนนี้จะทำให้ระบบสามารถสร้างมุมสลิปด้านข้างได้อย่างถูกต้องที่มุมเลี้ยวของล้อถูกต้องด้วยเพื่อรักษาผลของการหมุนล้อ เช่น การเพิ่มหรือลดของมุมแคมเบอร์ (camber gain)
5. ล้อจำลองพื้นถนนทั้งชุดต้องสามารถเคลื่อนที่ได้ในแนวระดับตั้งฉากกับแกนหมุนของเพลาล้อเพื่อให้อุปกรณ์ของหน้ายางอยู่ในจุดต่ำสุดของยางเสมอ ที่ค่ามุมบิดของล้อต่างๆกัน

6. ต้นกำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนทั้งล้อรถและล้อจำลองพื้นถนน ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าที่สามารถควบคุมแรงบิดและความเร็วรอบได้

7. ระบบบังคับเลี้ยวจะใช้คันชักคันส่งแบบไฟฟ้าพร้อมมอเตอร์จากยานยนต์จริง

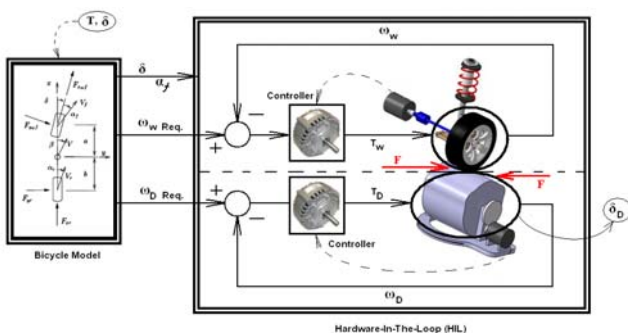
จากการออกแบบด้วยหลักการข้างต้นสามารถนำมาเขียนแบบจำลอง 3 มิติด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อพิจารณาความเป็นไปได้ถึงอุปกรณ์ที่ต้องการสร้าง ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แบบจำลอง 3 มิติเบื้องต้น

3 การกำหนดขนาดของอุปกรณ์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

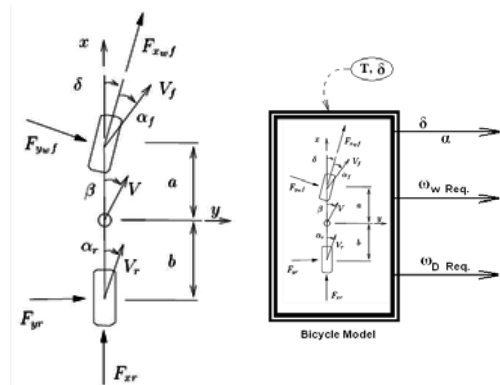
จากขั้นตอนการออกแบบเบื้องต้นทำให้สามารถเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของชุดทดสอบได้ โดยแบบจำลองดังกล่าวจะใช้สำหรับการคำนวณเพื่อกำหนดขนาดของส่วนประกอบอุปกรณ์ทดสอบอันได้แก่ ระยะการเคลื่อนที่ของล้อจำลองพื้นถนน มุมการหมุนของล้อและล้อจำลองพื้นถนน กำลังงานรวมถึงแรงบิดของมอเตอร์ต้นกำลังที่ใช้ในการควบคุม และ ระยะทำงานของตัวตรวจรู้ต่างๆ โดยในการคำนวณจะทำการสร้างแบบจำลอง 2 ชุดดังแสดงในรูปที่ 3 คือ แบบจำลองรถยนต์แบบจักรยาน (Bicycle Model) ที่มีพารามิเตอร์เหมือนยานยนต์จริง และแบบจำลองของชุดอุปกรณ์ทดสอบ (HIL) ที่มีการสร้างอัตราเร็ว อัตราไถล มุมเลี้ยวและมุมไถลให้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากแบบจำลองจักรยานให้มากที่สุด ซึ่งในการใช้งานแบบจำลองทั้งสองเพื่อหาขนาดมอเตอร์นั้นจะทดสอบเงื่อนไขที่ต้องการกำลังมอเตอร์สูงสุดนั่นคือ การเร่งแล้วเลี้ยวโค้งไปพร้อมกัน และการเบรกด้วยความหน่วงสูง โดยรายละเอียดของแบบจำลองแต่ละชุดและการใช้งานแบบจำลองจะกล่าวถึงในลำดับถัดไป



รูปที่ 3 การทำงานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.1 แบบจำลองรถยนต์แบบจักรยาน (Bicycle Model)

แบบจำลองรถยนต์แบบจักรยานแสดงในกล่องด้านซ้ายของรูปที่ 3 และแสดงขยายให้ชัดเจนในรูปที่ 4 แบบจำลองนี้เป็นการจำลองการเคลื่อนที่ของรถยนต์ 4 ล้อลงเหลือพิจารณาเพียงแค่ 2 ล้อ ที่มีล้อขับเคลื่อนเป็นล้อหน้า เพื่อลดความยุ่งยากของลักษณะการโคลงของยานยนต์จริง โดยแบบจำลองดังกล่าวจะมีตัวแปรต่างๆเข้ามาเกี่ยวข้อง ได้แก่ ความเร็ว (V), มุมเลี้ยว (δ), มุมไถล (α_f) และแรงเสียดทานต่างๆ ซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้ได้กำหนดให้มุมเลี้ยวและแรงบิดที่ล้อขับเคลื่อนเป็นตัวแปรต้น (Input) ของแบบจำลอง แรงบิดที่ล้อขับทำให้เกิดการไถลขึ้น และแรงเสียดทานที่เกิดจากการไถลนั้นก่อให้เกิดความเร่งของตัวรถนั่นเอง โดยผลที่ได้จากแบบจำลอง (Output) คือ มุมไถล อัตราเร็วเชิงเส้น (V) อัตราเร็วเชิงมุมของตัวรถ ($d\beta/dt$) รวมถึงอัตราเร็วเชิงเส้นของล้อขับเทียบพื้น (V_f) ที่มีค่าสมมูลกับอัตราเร็วของล้อจำลองพื้นถนน ที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณแบบจำลอง HIL ต่อไป



รูปที่ 4 แบบจำลองรถยนต์แบบจักรยาน

3.2 แบบจำลองอุปกรณ์ทดสอบ (HIL)

แบบจำลอง HIL นั้นแสดงในกล่องด้านซ้ายในรูปที่ 3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณระยะการเคลื่อนที่ของล้อรถ และล้อจำลองพื้นถนน รวมไปถึงขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมด้วยแบบจำลอง HIL ดังกล่าวจะแบ่งเป็นแบบจำลองย่อย 2 ชุด คือ แบบจำลองล้อขับเคลื่อน และแบบจำลองล้อจำลองพื้นถนน โดยแบบจำลองทั้งสองมีตัวแปรที่ส่งผลซึ่งกันและกันและกันคือแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัส (F) ซึ่งรายละเอียดของแบบจำลองย่อยทั้งสองจะกล่าวถึงดังต่อไปนี้

3.2.1 แบบจำลองล้อขับเคลื่อน

แบบจำลองล้อขับเคลื่อนจะใช้ในการจำลองการเคลื่อนที่ของล้อขับ ทั้งการเร่ง การเบรก และการบังคับเลี้ยว ซึ่งในการควบคุมนั้นจะใช้ค่าอัตราเร็ว และมุมเลี้ยวของล้อขับที่ได้จากแบบจำลองจักรยานเป็นค่าอ้างอิง จากนั้นจึงหาแรงบิดและกำลังของมอเตอร์ที่จำเป็นต้องใช้ขับเคลื่อนเพื่อให้อัตราเร็วเชิงมุมของล้อใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงมากที่สุด โดยจะพิจารณาให้มุมเลี้ยวที่เกิดขึ้นกับล้อขับในแบบจำลองจักรยานเหมือนมุมเลี้ยวที่เกิดกับล้อทดสอบ HIL ทุกประการ ซึ่งในแบบจำลองนี้ได้พิจารณาให้ตัวควบคุม (controller) รับค่าอินพุตเป็นผลต่างของอัตราเร็วเชิงมุมล้ออ้างอิงกับอัตราเร็วเชิงมุมล้อ HIL แล้วส่งค่าเอาท์พุตเป็นแรงบิดที่ใช้ในการขับเคลื่อนล้อ HIL ในแบบจำลองย่อยนี้

3.2.2 แบบจำลองล้อจำลองพื้นถนน

แบบจำลองล้อจำลองพื้นถนนนั้นใช้ในการจำลองการเคลื่อนที่ของล้อจำลองพื้นถนน อันได้แก่ มุมแกนหมุนและอัตราเร็วเชิงมุมของล้อจำลองพื้นถนน โดยในการควบคุมนั้นจะใช้ค่าอัตราเร็วเชิงเส้นของล้อขับเคลื่อน (V_p) เป็นอัตราเร็วสมมูลที่ใช้คำนวณอัตราเร็วเชิงมุมอ้างอิงของล้อจำลองพื้นถนน และมุมไถล (α_f) ที่ได้จากแบบจำลองจักรยานเป็นค่าอ้างอิง เพื่อใช้ในการหาแรงบิดและกำลังของมอเตอร์ที่จำเป็นต้องใช้ขับเคลื่อนล้อจำลองพื้นถนนเพื่อให้มีอัตราเร็วเชิงมุมใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงมากที่สุด ซึ่งในแบบจำลองนี้ได้พิจารณาให้ตัวควบคุม (controller) รับค่าอินพุตเป็นผลต่างของอัตราเร็วเชิงมุมล้อจำลองพื้นถนนอ้างอิงกับอัตราเร็วเชิงมุมล้อจำลองพื้นถนน HIL แล้วส่งค่าเอาต์พุตเป็นแรงบิดและมุมแกนหมุนที่ใช้ในการขับเคลื่อนล้อจำลองพื้นถนน HIL

ในแบบจำลองนี้ แรงระหว่างล้อรถและล้อจำลองพื้นถนนสามารถคำนวณได้จากอัตราการลื่นไถล (longitudinal slip ratio) ดังแสดงใน [3] ซึ่งแรงนี้จะมีผลรบกวนระบบควบคุมความเร็วของล้อทั้งสอง ดังแสดงเป็นแรง F ในรูปที่ 3 ทำให้ต้องมีระบบควบคุมความเร็วของล้อทั้งสองที่ตีฟอปเพื่อให้ได้ความเร็วตามที่ได้จากแบบจำลองของรถยนต์

3.3 การจำลองการเคลื่อนที่ในรูปแบบต่าง ๆ

ในการจำลองการเคลื่อนที่นั้นจะแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือการเร่งและเลี้ยวโค้งไปพร้อมกัน และการเบรกด้วยความหน่วงสูงโดยการจำลองการเคลื่อนที่นั้นจะใช้ข้อกำหนดเบื้องต้น ดังนี้

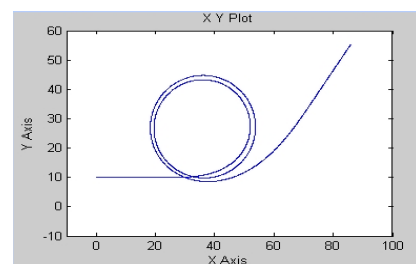
มวลของรถ 750 กิโลกรัม โมเมนต์รอบแกนดิ่งมีขนาด 1300 กิโลกรัม.เมตร² ระยะจากศูนย์กลางมวลถึงล้อหน้า 1.1 เมตร ระยะจากศูนย์กลางมวลถึงล้อหลัง 1.42 เมตร Cornering stiffness ของล้อหน้าเป็น 42000 นิวตัน/เรเดียน Cornering stiffness ของล้อหลังเป็น 64000 นิวตัน/เรเดียน ความเร็วต้นของรถมีขนาด 5 เมตร/วินาที การแฉกของล้อหน้ามีค่า 400g นิวตัน การแฉกของล้อหลังมีค่า 350g นิวตัน รัศมี ล้อจำลองพื้นถนน มีขนาด 0.22 เมตร โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกนหมุนของ ล้อจำลองพื้นถนน มีขนาด 67.5 กิโลกรัม.เมตร² รัศมีของล้อทดสอบมีขนาด 0.225 เมตร โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกนหมุนของล้อมีขนาด 5 กิโลกรัม.เมตร² มุมเลี้ยวมีค่าจาก 0 เป็น 10 องศาภายใน 5 วินาที และขณะคีนมุมเลี้ยว มีค่าจาก 10 เป็น 0 องศา ในเวลา 5 วินาที

3.3.1 จำลองการเคลื่อนที่ด้วยการเร่งและเลี้ยวพร้อมกัน

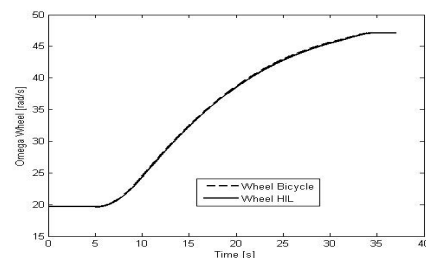
ในกรณีแรกจะทำการจำลองการเคลื่อนที่ด้วยการเร่งตรงความเร็วต้น 5 เมตร/วินาทีเป็นเวลา 5 วินาที แล้วเริ่มเร่งด้วยแรงบิดที่เพิ่มขึ้นและเลี้ยวจนมีแรงบิดและมุมเลี้ยวเป็น 100 นิวตันเมตรและ 10 องศาตามลำดับ ภายในเวลา 5 วินาที จากนั้นจึงเร่งด้วยแรงบิดและมุมเลี้ยวคงที่เป็นระยะเวลา 20 วินาที แล้วจึงลดแรงบิดและมุมเลี้ยวจนเป็น 0 ภายใน 5 วินาที

ผลการจำลองการเคลื่อนที่ที่พบว่า การเคลื่อนที่ของตัวรถนั้นเป็นไปตามที่ควร และตรงกับการให้มุมเลี้ยวข้างต้นดังแสดงในรูปที่ 5 จากรูปจะเห็นว่า เป็นการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง จากนั้นเลี้ยวและวิ่งเป็นเส้นตรงอีก

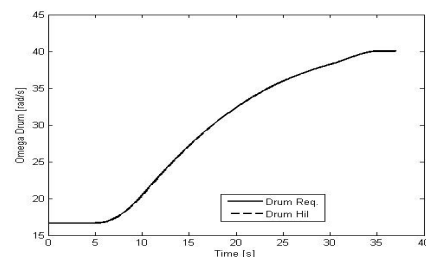
จากความเร็วล้อรถที่เกิดขึ้น ระบบ HIL จะต้องสร้างความเร็วล้อขึ้นให้ถูกต้อง ซึ่งจากระบบควบคุมที่ใช้จะได้ผลดังแสดงในรูปที่ 6 จากรูปที่ 6 จะเห็นว่าอัตราเร็วเชิงมุมของล้อทดสอบ (HIL-เส้นทึบ) ใกล้เคียงกับอัตราเร็วเชิงมุมของล้อขับเคลื่อนจากแบบจำลองรถแบบจักรยาน (เส้นประ) ซึ่งเป็นไปตามที่ต้องการ จากนั้นเมื่อพิจารณาความเร็วของล้อจำลองพื้นถนน ซึ่งจะต้องสร้างความเร็วพื้นให้เท่ากับความเร็วของรถที่ตำแหน่งกึ่งกลางล้อ จะได้ดังในรูปที่ 7 ซึ่งจะพบว่าความเร็วของพื้นจำลองล้อก็สามารถทำให้เกิดขึ้นได้ตามต้องการจากแบบจำลองรถยนต์แบบสองล้อ



รูปที่ 5 การเคลื่อนที่ของตัวรถ



รูปที่ 6 อัตราเร็วเชิงมุมของล้อขับเคลื่อน

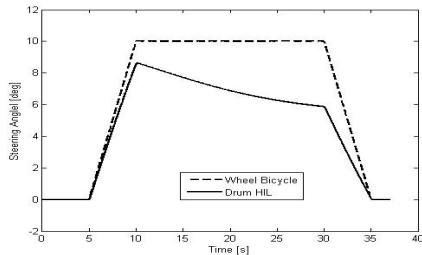


รูปที่ 7 อัตราเร็วเชิงมุมล้อจำลองพื้นถนน

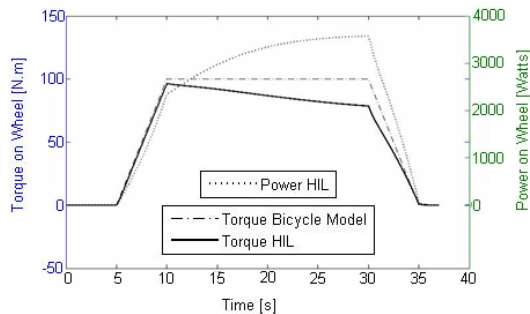
นอกจากนี้ จะพบว่ามุมสลิดด้านข้างเป็นไปตามรูปที่ 8 ซึ่งสอดคล้องกับในรูปที่ 5 คือ มุมสลิดจะเกิดขึ้นได้จากการบังคับมุมของล้อจำลองพื้นถนน โดยจะค่อยๆมากขึ้นตามความเร่งด้านข้างที่จะค่อยๆเพิ่มตามการเลี้ยวและเปลี่ยนไปตามความเร็วของรถด้วย และจากการจำลองนี้จึงพบว่าล้อจำลองพื้นจะต้องสามารถหมุนได้เป็นมุมไม่ต่ำกว่า 10 องศา

นอกจากระยะต่างๆ เราจำเป็นต้องทราบขนาดมอเตอร์ที่จะต้องใช้ในการสร้างความเร็วล้อรถและความเร็วล้อจำลองพื้นถนนด้วย จากการจำลองข้างต้นเราจะสามารถนำเอาค่าแรงบิดและกำลังงาน ที่ล้อรถ

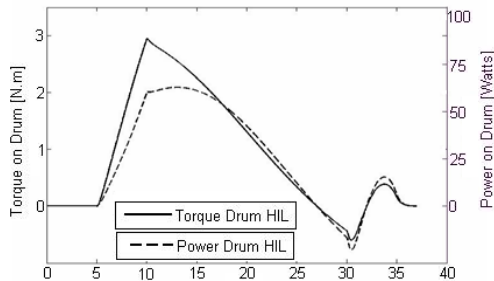
และล้อจำลองพื้นถนนมาแสดงได้ดังในรูปที่ 9 และ 10 จากรูปที่ 9 จะเห็นได้ว่าแรงบิดและกำลังงานที่ต้องจ่ายให้กับล้อขับเคลื่อนนั้นมีค่าสูงสุดประมาณ 100 นิวตันเมตร และ 3.5 กิโลวัตต์ตามลำดับ และจากรูปที่ 10 และ 12 จะเห็นว่าแรงบิดและกำลังงานที่ต้องจ่ายให้กับล้อจำลองพื้นถนน HIL นั้นมีค่าสูงสุดประมาณ 3 นิวตันเมตร และ 65 วัตต์ตามลำดับ



รูปที่ 8 มุมเลี้ยวที่เกิดขึ้น



รูปที่ 9 แรงบิดและกำลังงานที่ล้อรถ



รูปที่ 10 แรงบิดและกำลังงานที่ล้อจำลองพื้นถนน

3.3.2 จำลองการเคลื่อนที่ด้วยการเบรก

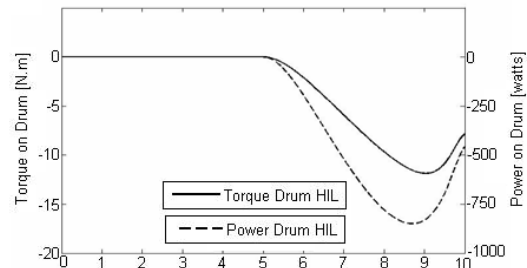
ในกรณีนี้เป็นการเบรกด้วยความหน่วงสูง โดยเริ่มแรกรถมีความเร็วต้น 28 เมตร/วินาที วิ่งตรงด้วยระยะเวลา 5 วินาที จากนั้นเริ่มทำการเบรกจนรถมีความหน่วงประมาณ 0.5g หรือแรงเบรกจากการเบรกที่ล้อขับเคลื่อนมีค่าประมาณ -1000 นิวตันเมตร จนอัตราเร็วรถเป็น 0 ภายใน 5 วินาที ขณะที่เบรกไม่มีความเร่งด้านข้าง (เคลื่อนที่ตรง)

ผลที่ได้จากการจำลองนั้น จะพบว่าค่าความเร่งต่าง ๆ นั้นสอดคล้องกับความเป็นจริง แต่เนื่องจากความจำกัดด้านเนื้อที่ ผู้วิจัยจึงไม่สามารถแสดงผลให้ทราบได้ทุกอย่าง โดยถ้าพิจารณาจากกำลังงานของมอเตอร์ที่ล้อรถจะพบว่าสูงมาก ดังนั้นจำเป็นต้องติดตั้งเบรกแทนการสร้างแรงจากมอเตอร์ ซึ่งก็เป็นที่ยกการไว้แล้ว ส่วนแรงบิดและกำลังของล้อจำลองถนนนั้นแสดงในรูปที่ 11 โดยจากรูปจะเห็นว่าแรงบิดและกำลังงานที่ต้องจ่ายให้กับล้อจำลองพื้นถนน HIL นั้นมี

ค่าสูงสุดประมาณ 12 นิวตันเมตร และ 900 วัตต์ตามลำดับในทิศต้านการเคลื่อนที่

3.3.3 สรุปผลการจำลองการเคลื่อนที่

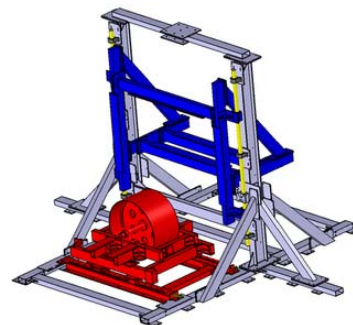
จากการจำลองการเคลื่อนที่ทั้งหมด จะเห็นว่ามอเตอร์และชุดเกียร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนทดสอบควรสร้างแรงบิดได้ไม่ต่ำกว่า 100 นิวตันเมตร และมีกำลังงานสูงสุดไม่น้อยกว่า 3.5 กิโลวัตต์ และมอเตอร์พร้อมชุดเกียร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนจำลองพื้นถนนควรสร้างแรงบิดได้ไม่ต่ำกว่า 12 นิวตันเมตร มีกำลังงานสูงสุดไม่น้อยกว่า 900 วัตต์ โดยชุดรองรับล้อจำลองพื้นถนน ต้องสามารถสร้างมุมบิดให้กับแกนหมุนของล้อจำลองพื้นถนน ไม่น้อยกว่า 10 องศา ซึ่งค่าต่างๆที่ได้จากการจำลองดังกล่าวจะนำไปใช้ในการออกแบบรายละเอียดในขั้นตอนถัดไป



รูปที่ 11 แรงบิดและกำลังงานที่ล้อจำลองพื้นถนน

4. รายละเอียดโครงสร้างและการควบคุม

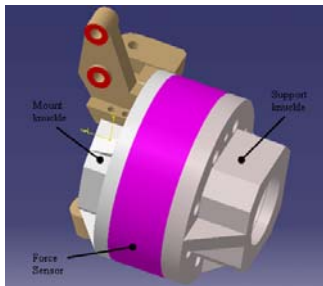
จากผลการจำลองการเคลื่อนที่และข้อกำหนดในการออกแบบต่างๆทำให้สามารถลงรายละเอียดในแบบของอุปกรณ์ทดสอบ HIL เพื่อให้สามารถผลิตได้ โดยจากการออกแบบทั้งหมด โดยได้ลักษณะของอุปกรณ์ HIL ดังแสดงในรูปที่ 12 ดังนี้ โดยในรูปไม่ได้แสดงส่วนของระบบช่วงล่างและบังคับเลี้ยวซึ่งอยู่ในรูปที่ 1 จากรูปที่ 12 จะเห็นว่า โครงสร้างของ HIL ประกอบไปด้วยโครงสร้างสำคัญ 3 ส่วน คือ โครงสร้างหลัก (สีเทา) โครงสร้างสำหรับติดตั้งระบบกันสะเทือน (สีน้ำเงิน) และโครงสร้างระบบรองรับล้อจำลองพื้นถนน (สีแดง)



รูปที่ 12 โครงสร้างหลัก HIL

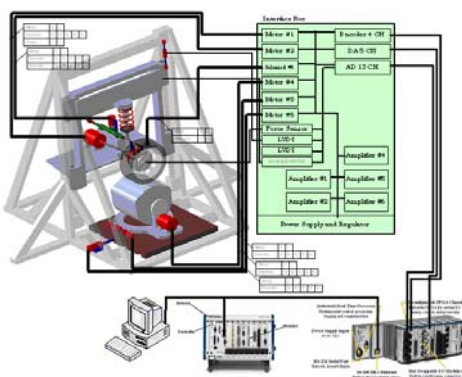
นอกจากนี้ผู้วิจัยจำเป็นต้องมีอุปกรณ์วัดแรงที่ล้อ ซึ่งด้วยข้อจำกัดด้านงบประมาณ ทำให้ไม่สามารถเลือกใช้อุปกรณ์วัดแรงที่ล้อที่ใช้ทั่วไปในงานทดสอบรถได้ โดยอุปกรณ์นี้จะใช้ติดตั้งแทนกระแทกล้อให้มีราคาแพงเพราะเครื่องมือวัดจะต้องหมุนไปกับล้อ จากข้อจำกัดด้านงบประมาณนี้ ทำให้ต้องเลือกใช้อุปกรณ์วัดแรงที่ไม่สามารถหมุน

ไปกับล้อได้ และด้วยขนาดที่ค่อนข้างใหญ่ทำให้ผู้วิจัยจำเป็นต้องดัดแปลงดุมล้อของล้อทดสอบเพื่อให้ติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงได้อย่างเหมาะสมดังรูปที่ 13 ดังรูป ดุมล้อจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนเพื่อให้ติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงแทรกอยู่ระหว่างดุมล้อสองฝั่งเพื่อให้รับแรงทั้งหมดที่เกิดจากล้อทดสอบก่อนเข้าสู่ระบบรองรับต่อไป ทั้งนี้ผู้วิจัยใช้การย้ายตำแหน่งเบรคออกจากดุมล้อเพื่อชดเชยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจากอุปกรณ์วัดแรง และแก้กระเทาะล้อโดยยึดระยะออฟเซตเพื่อชดเชยความหนาของอุปกรณ์วัดแรง



รูปที่ 13 โครงสร้างดุมล้อ

เมื่อได้ลักษณะต่างๆ และ ขนาดของอุปกรณ์ต่างๆแล้ว ในการทำงานของระบบทั้งหมดจะสามารถแสดงได้อย่างคร่าวๆ ดังแสดงในรูปที่ 14 ในการควบคุมใช้ระบบควบคุม CompactRIO และ PXI ของ บ. National Instrument, และ คอมพิวเตอร์ในการควบคุม การควบคุม HIL นั้นทำได้โดยการจำลองการเคลื่อนที่ของยานยนต์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์บนคอมพิวเตอร์ จากนั้นจึงส่งข้อมูลควบคุมไปยังอุปกรณ์ต้นกำลังต่างๆในชุดระบบจริง (hardware) ให้สร้างการเคลื่อนที่ต่างๆตามค่าที่ได้จากแบบจำลองนั้น จากนั้นจึงทำการตรวจวัดแรงที่ได้จากล้อทดสอบด้วยอุปกรณ์รับแรง แรงที่ตรวจวัดได้สามารถนำไปใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์บนคอมพิวเตอร์ ทำให้การจำลองมีการสร้างแรงที่ล้อที่เหมือนจริงมากๆได้



รูปที่ 14 ลักษณะการควบคุม HIL

5. สรุป

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการนำเสนอแนวทางในการออกแบบระบบ HIL รูปแบบใหม่ ที่มีระบบรองรับและบังคับเลี้ยวจากยานยนต์จริงเป็นส่วนประกอบ และสามารถทำงานร่วมกับแบบจำลองการเคลื่อนที่ของยานยนต์บนคอมพิวเตอร์ ชุดทดสอบที่ออกแบบจะสามารถวัดแรงที่เกิดขึ้น

ที่ล้อขณะเลี้ยวได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น ซึ่งแรงที่ได้จากการวัดดังกล่าวสามารถนำไปใช้วิเคราะห์เพื่อการพัฒนาแบบรองรับและบังคับเลี้ยวได้ รวมทั้งการทดสอบระบบควบคุมแบบต่างๆอีกด้วย นอกจากนี้อุปกรณ์ดังกล่าวยังได้ถูกออกแบบมาเพื่อรองรับกับการเปลี่ยนระบบกันสะเทือนได้อีกด้วย ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการทดสอบระบบรองรับอื่นๆ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยการพัฒนารูปแบบใหม่ของระบบประเมินผลศาสตร์ยานยนต์ การขับขี และระบบชิ้นส่วนยานยนต์ ที่ได้รับการสนับสนุนจาก ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

เอกสารอ้างอิง

- Misselhorn, W.E., Theron, N.J., and Els., P.S., "Investigation of hardware-in-the-loop for use in suspension development," Vehicle System Dynamics, January 2006, pp. 5-81.
- Gietelink, O., Ploeg, J., Schutter, B.D., and Verhaegen, M., "Development of advance driver assistance with vehicle hardware-in-the-loop simulations," Vehicle System Dynamics, July 2006, pp. 569-590.
- นักสิทธิ์ นุ่มวงศ์ และ ศุภวุฒิ จันทร์หาญวัฒน์, "Improvement of Driving Simulator Prototype," ในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21, 17-19 ตุลาคม 2550.
- Pfister, F., Reitze, C., Schmidt, A., 2002., "Hardware in the loop - The technologie of development and test of vehicle control system," IPG Automotive Engineering Software + Consulting Pmbh, Karlsruhe.
- Short, M., Michael, J.P., and Qiang H., "Simulation of Vehicle Longitudinal Dynamics," Embedded Systems Laboratory University pf Leicester, Technical Report ESL 04-01, 11 October 2004.
- Hyun, C.S., Keum S.H., and Hedrick J.K., "Semi-Active Control of the Macpherson Suspension System : HIL Simulations," Proceedings of the 2000 IEEE International Conference, 2000, pp. 982-987.
- Sung, H.H., Seung J.H., Hong, S.K., and Kyo I.L., "Vehicle Dynamic Analysis and Evaluation of Continuously Controlled Semi-Active Suspensions Using Hardware-in-the-loop Simulation," Vehicle System Dynamics, Vol. 27, No. 5-6, June 1997, pp. 423-434.
- Wojciech, G., "HIL simulation and its application in control education," Frontiers in Education Conference, Vol. 2, Issue: 12B6/7 - 12B612, 1999.
- Noomwongs, N., Yoshida, H., Nagai, M., Kobayashi, K., and Yokoi, T., "Study on Handling by Using Tire Hardware-In-the-Loop Simulator," Japanese Society of Automotive

Engineers, JASE Review, Vol. 24, No. 4, October 2003, pp.
457-464.