การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21
17-19 ตุลาคม 2550 จังหวัดชลบุรี

ยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนสำหรับการจำลองพลศาสตร์

A Scaling Vehicle for Dynamic Simulation

วิทยา วัณณสุโภประสิทธิ์ ปริญญา วัฒนนุกูลชัย และ กฤษดา จันทร์แดง
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทร 0-2186588 โทรสาร 0-2186588 อีเมล์ Parinya.Wa@student.chula.ac.th Witaya.W@chula.ac.th

Wittaya Wannasuphoprasit, Parinya Wattananukulchai, and Krisssada Chundang
Department of Mechanical Engineering , Faculty of Engineering , Chulalongkorn University ,
Phatumwan , Bangkok 10330, Thailand
Tel: 0-21686588, Fax: 0-21686588, E-mail: Parinya.Wa@student.chula.ac.th, Witaya.W@chula.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาและออกแบบยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนสำหรับการจำลองทางพลศาสตร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการทดสอบพลศาสตร์ยานยนต์โดยให้มีการตอบสนองที่สมมูลกันระหว่างยานพาหนะจริงกับยานพาหนะจริงย่อส่วน ในการออกแบบนั้นได้ยึดตาม กฎสเกลลิ่ง หลักทฤษฎีการวิเคราะห์เชิงมิติ และวิธีการจัดกลุ่มของพาย เพื่อให้ผลการตอบสนองสมมูลกับยานพาหนะจริง ในการพัฒนายานยนต์ย่อส่วนนี้ จำเป็นต้องปรับแต่งค่าต่าง ๆเพื่อให้กลุ่มพายต่างมีค่าที่สอดคล้องกัน การติดตั้งชิ้นส่วน อุปกรณ์ตรวจรู้และระบบส่งข้อมูลทั้งหมดนี้จะต้องสอดคล้องกับทฤษฎีและกฎดังกล่าว เพื่อให้มีพลศาสตร์ที่คล้ายคลึงกับยานพาหนะจริง โดยจะใช้ในการวิจัยระดับสูงด้านพลศาสตร์ยานยนต์

Abstract

This paper addresses the study and design of a scaling vehicle for dynamic simulation. This scaling vehicle will have equivalent responses comparing to the real vehicle and be used for vehicle dynamic research. The scaling vehicle is designed based on the Scaling Law. Key designed parameters are analyzed and calculated by using Dimension analysis and PI's theorem. This scaling vehicle equipped with accelerometer, inertia sensors, wheel velocity sensors, positioning sensor, wireless transmission and so on.

1. บทนำ

การจำลองการเคลื่อนที่ของยานพาหนะโดยวิธีการจำลองจากคอมพิวเตอร์มีประโยชน์มากที่ความคล่องตัว แต่มีข้อจำกัดหลักที่ความถูกต้องของสมการทางคณิตศาสตร์ (Math model) เพราะไม่มีสมการทางคณิตศาสตร์ใดที่จะสามารถอธิบายถึงพฤติกรรมที่เกิดขึ้นกับระบบได้อย่างสมบูรณ์ ดังเห็นได้จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์ยานยนต์ซึ่งจำเป็นต้องสร้างต้นแบบจริงเพื่อทดสอบ และต้องสร้างหลายรุ่นเพื่อทดสอบและปรับปรุง อย่างไรก็ตามยานยนต์จริงต้นเสียเวลาในการสร้างและพัฒนามีราคาสูงมาก

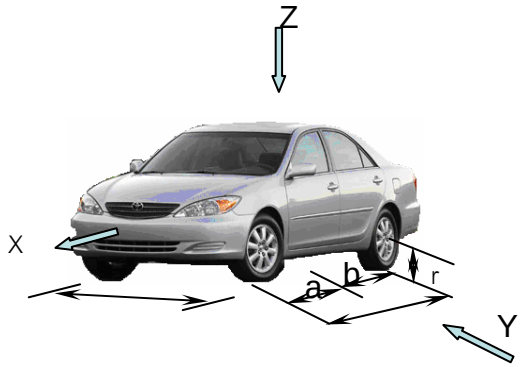
ในงานวิจัยนี้เสนอรูปแบบของการทดสอบพลศาสตร์ยานยนต์ โดยพัฒนาสร้างยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนตามหลักวิศวกรรมเพื่อใช้ในของการทดสอบพลศาสตร์ยานยนต์โดยยังสามารถทดสอบโดยใช้ร่วมกับสมการทางคณิตศาสตร์อีกด้วย ซึ่งกระบวนการเหล่านี้สามารถนำเอาไปใช้ในการออกแบบและปรับปรุงยานพาหนะจริงได้ ประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้ยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน แทนที่จะใช้ยานพาหนะจริงคือช่วยลดต้นทุนเป็นอย่างมากในการทดลอง เนื่องจากยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนมีราคาที่ถูกกว่ายานพาหนะจริง , ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมกรณีที่เกิดความเสียหายขึ้นจากการทดสอบ , การจำลองสภาวะแวดล้อมจำลองที่สร้างและปรับเปลี่ยนได้ง่ายกว่าสภาวะแวดล้อมจริงมาก รวมถึงประเด็นที่สำคัญอีกประการคือการลดความเสี่ยงของผู้ขับขี่ที่อาจได้รับขณะทดสอบ

ปัจจุบันความรู้เกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองได้มีการพัฒนาขึ้นมาก ทำให้ข้อมูลที่ได้มีความน่าเชื่อถือและเป็นที่ยอมรับในวงกว้าง บทความนี้นำเสนอการศึกษาและออกแบบยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนสำหรับการจำลองทางพลศาสตร์ โดยมีเป้าหมายไว้ใช้สำหรับงานวิจัยด้านพลศาสตร์ยานยนต์ระดับสูง

ส่วนแรกของบทความเป็นการอธิบายพลศาสตร์ของรถยนต์ในแบบ 2 ล้อ (Bicycle model) เนื่องจากเป็นรูปแบบที่อธิบายพลศาสตร์ของยานยนต์ทั่วไปได้ดีเพียงพอเป็นที่ยอมรับนักวิจัยทั่วไป โดยไม่ซับซ้อนเกินไป

จากนั้นอธิบายถึงการจำลองทางพลศาสตร์โดยใช้หลักของกฎการสร้างแบบจำลองตามกฎสเกลลิ่ง (Scaling law) โดยเป็นตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน เช่น ระยะทางจากล้อหน้าถึงจุดศูนย์กลางมวล (a), ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานด้านข้างล้อหน้า

($C_{\alpha f}$), โมเมนต์ความเฉื่อยของรถ (Iz), มวลของรถ (m) ซึ่งตัวแปรเหล่านี้จะต้องผ่านการวิเคราะห์จากขบวนการทางคณิตศาสตร์ การจัดกลุ่มตัวแปรไร้มิติ (Dimensionless group), กฎความคล้าย (Similarity law), หลักทฤษฎีของพาย บังคิงแฮม (PI's theorem) ซึ่งสุดท้ายจะอยู่ในรูปของกลุ่มตัวแปรไร้มิติ ซึ่งข้อมูลกลุ่มตัวแปรไร้มิตินี้จะเป็นค่าอ้างอิงในการออกแบบและสร้างยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน กล่าวคือ ยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนที่ออกแบบและสร้างขึ้นมาต้องสามารถปรับและเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเพื่อให้กลุ่มตัวแปรไร้มิติระหว่างยานพาหนะขนาดจริงและยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนมีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน เพื่อพิสูจน์ว่ายานพาหนะจริงแบบย่อส่วนมีพฤติกรรมเสมือนขับขี่ยานพาหนะขนาดจริงได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 1 ตำแหน่งและทิศทางตัวแปรของยานพาหนะ

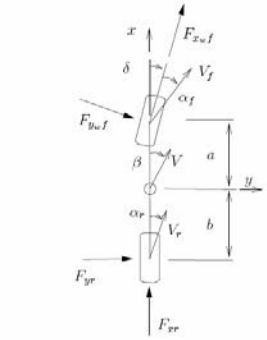
2. พลศาสตร์ยานยนต์ (Bicycle model)

การจำลองพลศาสตร์ของรถ มีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงการตอบสนองที่เกิดขึ้นกับรถยนต์ เพื่อให้มีความเข้าใจถึงตัวแปรต่าง ๆที่เกิดขึ้นกับรถ เช่นขณะขับรถเข้าโค้งนั้นมีลักษณะการเคลื่อนที่ในด้านข้างอย่างไร หรือเกิดการหมุนของรถอย่างไร

โดยงานวิจัยนี้ศึกษาถึงพลศาสตร์ของรถแบบ 2ล้อ (Bicycle model) เป็นการจำลองพลศาสตร์การเคลื่อนที่ของรถอย่างง่าย ซึ่งจะมีตัวแปรอิสระ (degree of freedom) 2 ตัวแปรคือ การเคลื่อนที่ด้านข้าง (lateral motion) และ การหมุนของรถรอบแกน Z (yaw motion) โดยจะพิจารณาในสภาวะที่รถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ (longitudinal velocity constant)

2.1 พลศาสตร์ของรถแบบ 2 ล้อ (Bicycle model)

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



รูปที่ 2 แบบจำลองรถของ Bicycle model [7]

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_{ywf} หมายถึง แรงที่กระทำด้านข้าง (lateral force) ของล้อหน้า

F_{yr} หมายถึง แรงที่กระทำด้านข้างของล้อหลัง

F_{xwf} หมายถึง แรงที่กระทำในแนวตามยาวของล้อหน้า

F_{xr} หมายถึง แรงที่กระทำในแนวตามยาวของล้อหลัง

จากกฎของ Newton จะได้ว่า

$$ma_x = F_{xwf}\cos\delta - F_{ywf}\sin\delta + F_{xr} \quad (1)$$

$$ma_y = F_{ywf}\cos\delta + F_{xwf}\sin\delta + F_{yr} \quad (2)$$

$$I_Z\dot{r} = aF_{ywf}\cos\delta + aF_{xwf}\sin\delta - bF_{yr} \quad (3)$$

ในขณะที่

$$a_y = \dot{v} + ru \quad (4)$$

I_Z หมายถึง Moment of inertia รอบแกน Z

r หมายถึง Yaw rate

m หมายถึง มวลของรถยนต์

โดยพิจารณาที่สภาวะที่รถยนต์กำลังวิ่งด้วยความเร็วคงที่ สามารถเขียนได้เป็น

$$\dot{v} = -ru + \left(\frac{1}{m}\right)\left(F_{ywf}\cos\delta + F_{xwf}\sin\delta + F_{yr}\right) \quad (5)$$

$$\dot{r} = \left(\frac{1}{I_z}\right)\left(aF_{ywf}\cos\delta + aF_{xwf}\sin\delta - bF_{yr}\right) \quad (6)$$

ความเร็วที่ล้อหน้าและหลังเท่ากับ

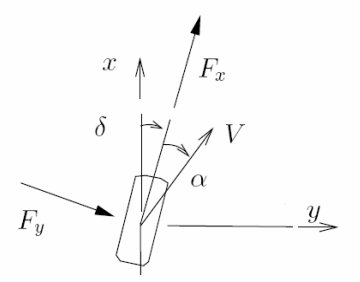
ล้อหน้า $V_{xf} = u$

$$V_{yf} = v + ar \quad (7)$$

ล้อหลัง $V_{xr} = u$

$$V_{yf} = v - br \quad (8)$$

จากค่าทั้งสองนี้ สามารถคำนวณหา Slip angle ได้คือ



รูปที่ 3 slip angle [7]

$$\alpha_f = \delta_f - \tan^{-1}\left(\frac{v+ar}{u}\right) \quad (9)$$

$$\alpha_r = \delta_r - \tan^{-1}\left(\frac{v-br}{u}\right) \quad (10)$$

ในขณะที่ α_f หมายถึง slip angle ของล้อหน้า

α_r หมายถึง slip angle ของล้อหลัง

δ_f หมายถึง มุมของล้อหน้า

δ_r หมายถึง มุมของล้อหลัง

ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่าแรงกระทำด้านข้างของล้อรถ (F_y) ได้จาก

$$F_y = C_\alpha \alpha \quad (11)$$

ในขณะที่ C_α หมายถึง Cornering stiffness

เมื่อนำสมการที่ (9) และ (10) แทนค่าลงในสมการ (11) จะได้

$$F_{yf} = 2C_{\alpha f}\left(\delta_f - \left[\frac{v+ar}{u}\right]\right) \quad (12)$$

$$F_{yr} = 2C_{\alpha r}\left(\delta_r - \left[\frac{v-br}{u}\right]\right) \quad (13)$$

เนื่องจากเราจำลองในสภาวะความเร็ว (forward velocity) มีค่าคงที่ ดังนั้นแรง F_x จึงมีค่าเท่ากับศูนย์ และมีมุมเลี้ยวน้อย ทำให้สมการ (1) จึงไม่มีความจำเป็น และสามารถประมาณให้ $\cos\delta \approx 1$ และ $\sin\delta \approx 0$ ซึ่งมีผลให้เทอม $F_{ywf}\sin\delta$ นั้นจะเป็นค่าจำนวนน้อยที่คูณกัน และสามารถประมาณให้เป็นศูนย์ได้ ดังนั้นจากสมการ (5) และ (6) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\dot{v} = -ru + \left(\frac{1}{m}\right)\left(F_{yf} + F_{yr}\right) \quad (14)$$

$$\dot{r} = \left(\frac{1}{I_z}\right)\left(aF_{yf} - bF_{yr}\right) \quad (15)$$

เมื่อนำสมการที่ (9) และ (10) แทนลงในสมการที่ (12) และ (13) โดยกำหนดให้ $\delta_r = 0$ เพราะไม่ได้ควบคุมมุมของล้อหลัง เราจะได้

$$\dot{v} = \left(\frac{2C_{\alpha f} + 2C_{\alpha r}}{mu}\right)v + \left(\frac{2aC_{\alpha f} - 2bC_{\alpha r}}{mu} - u\right)r - \left(\frac{2C_{\alpha f}}{m}\right)\delta_f \quad (16)$$

$$\dot{r} = \left(\frac{2aC_{\alpha f} - 2bC_{\alpha r}}{I_z u}\right)v + \left(\frac{2a^2C_{\alpha f} + 2b^2C_{\alpha r}}{I_z u}\right)r - \left(\frac{2aC_{\alpha f}}{I_z}\right)\delta_f \quad (17)$$

ซึ่งสมการทั้งสองนี้สามารถพบได้ใน [1] , [3] , [4] และสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของ state space [4] ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix}\dot{v}\\ \dot{r}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}-\frac{C_0}{u} & -\left(v + \frac{C_1}{mu}\right)\\ -\frac{C_1}{I_z u} & -\frac{C_2}{I_z u}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}v\\ r\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}-\frac{2C_{\alpha f}}{m}\\ -\frac{2aC_{\alpha f}}{I_z}\end{bmatrix}\delta_f \quad (18)$$

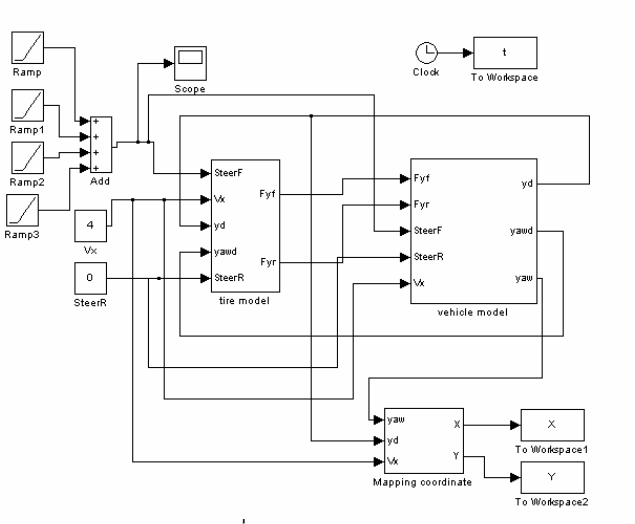
ในขณะที่

$$C_0 = -2(C_{\alpha f} + C_{\alpha r}) \quad (19)$$

$$C_1 = -2(aC_{\alpha f} - bC_{\alpha r}) \quad (20)$$

$$C_2 = -2(a^2C_{\alpha f} + b^2C_{\alpha r}) \quad (21)$$

จากนั้นได้นำไปเขียนโปรแกรมเพื่อจำลองระบบพลศาสตร์ด้วยโปรแกรมของ MATLAB ซึ่งแสดงผังโปรแกรมดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 Bicycle model

3. การวิเคราะห์เชิงมิติ (Dimension analysis)

ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการทดสอบ ทดลอง (Experimentation) เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลจริงที่น่าเชื่อถือ บ่อยครั้งวิศวกรและนักวิจัยใช้ (model) รูปแบบย่อส่วนในการทดสอบเพราะเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลา

การทดสอบโดยรูปแบบย่อส่วน (model) ต้องอ้างอิงจากขนาดเดิม โดยใช้การวิเคราะห์ตามหลักตัวแปรไร้มิติ (dimension analysis) โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงวิธีการจัดกลุ่มตัวแปรไร้มิติของพาย (PI's theorem)

3.1 การประยุกต์ใช้ทฤษฎีของพาย ใน Bicycle model

ในส่วนนี้ เราจะนำเอาทฤษฎีของ Π มาใช้เพื่อการหาความสัมพันธ์ระหว่างรถจริง (real prototype) กับรถจำลอง (model) ในแบบของ bicycle model และเพื่อง่ายในการคำนวณ จึงเลือกคำนวณในสภาวะที่รถกำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ (Constant longitudinal velocity)

ในที่นี้สามารถจัดกลุ่มตัวแปรไร้มิติได้จากสมการที่ (2) , (3) ,(12) และ (13) ตามขั้นตอนดังนี้

1. จัดลำดับหน่วยของตัวแปรทั้งหมด

1.	m	หน่วย	kg
2.	a	หน่วย	m
3.	b	หน่วย	m
4.	I_z	หน่วย	$kg \times m^2$
5.	$C_{\alpha f}$	หน่วย	N/rad
6.	$C_{\alpha r}$	หน่วย	N/rad
7.	u	หน่วย	m/s
8.	$L = a + b$	หน่วย	m

โดย δ ในสมการ (2) , (3) หมายถึง มุมพวงมาลัย (steer angle) ตัวแปรนี้จะไม่นำมาคิดเพราะมีหน่วยเป็นองศา ซึ่งถือว่าตัวแปรไร้มิติ และจากตัวแปรข้างบนทั้งหมดนับรวมได้เท่ากับ 8 ดังนั้น n = 8 โดยสังเกตได้ว่าจะมีหน่วยพื้นฐาน 3 หน่วยด้วยกัน ประกอบด้วย Kilogram , meter , second

2. เลือกตัวแปรที่ใช้ในการทำซ้ำ ซึ่งในที่นี้เราได้เลือกตัวแปรที่มีความเกี่ยวข้องกับหน่วยพื้นฐานทั้งสาม ได้แก่

m , L, u ($j = 3$)

3. คำนวณหาจำนวนกลุ่มของ Π ได้จาก

$$k = n - j = 8 - 3 = 5 \qquad (22)$$

4. ทำการจัดกลุ่มโดยกลุ่มแรกเลือกให้เป็น a ซึ่งมีหน่วยเป็นเมตร

$$a(m)^x (L)^y (u)^z = (kilogram)^0 (time)^0 (length)^0 \qquad (23)$$

สุดท้ายคำนวณได้

$x = 0$, $y = -1$, $z = 0$

เราจะได้

$$\Pi_1 = \frac{a}{L} \qquad (24)$$

จากนั้นจึงจัดกลุ่มต่อมา b

$$\Pi_2 = \frac{b}{L} \qquad (25)$$

จากนั้นจึงจัดกลุ่มต่อมาคือ $C_{\alpha f}$

$$\Pi_3 = \frac{C_{\alpha f} L}{mu^2} \qquad (26)$$

จากนั้นจึงจัดกลุ่มต่อมาคือ $C_{\alpha r}$

$$\Pi_4 = \frac{C_{\alpha r} L}{mu^2} \qquad (27)$$

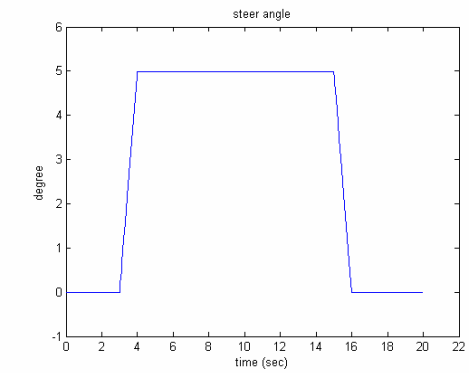
และกลุ่มสุดท้ายคือตัวแปร I_z

$$\Pi_5 = \frac{I_z}{mL^2} \qquad (28)$$

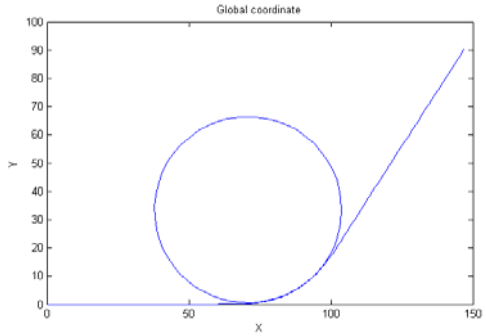
3.2 การสมมูลเชิงพฤติกรรม (Equivalent Response)

การสมมูลกันเชิงพฤติกรรมของสองระบบมีเงื่อนไขที่ว่าระบบต้องสมมูลกันกล่าวคือมี poles และ zeros หรือมี state equations ที่สมมูลกันนั่นเอง และจากกฎต่างๆและการวิเคราะห์ที่ได้กล่าวในเบื้องต้น ในงานวิจัยนี้ ได้เลือกรถต้นแบบย่อส่วนที่มีสัดส่วนเป็น 1:5 เทียบกับยานยนต์จริง ในงานวิจัยนี้ได้จัดกลุ่มตัวแปรไร้มิติทั้งห้ากลุ่มของสมการพลศาสตร์ยานยนต์ย่อส่วนให้มีค่าเท่ากับของสมการพลศาสตร์ยานยนต์จริง สรุปผลได้ว่ายานยนต์ย่อส่วนมีพฤติกรรมเชิงพลศาสตร์สมมูลกับยานยนต์จริง เพื่อให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น ได้จำลองพฤติกรรมของยานยนต์

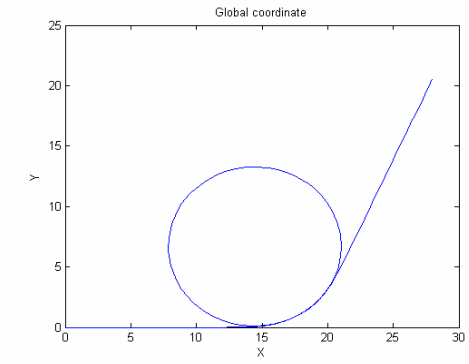
ทั้งสองในคอมพิวเตอร์ ผลจากการจำลอง (Simulation) เพื่อเปรียบเทียบการตอบสนองระหว่ายานยนต์จริงและยานยนต์ย่อส่วน พบว่า มีลักษณะการตอบสนองที่สมมูลเหมือนกัน ดังรูป 5,6,7,8,9,10, และ 11



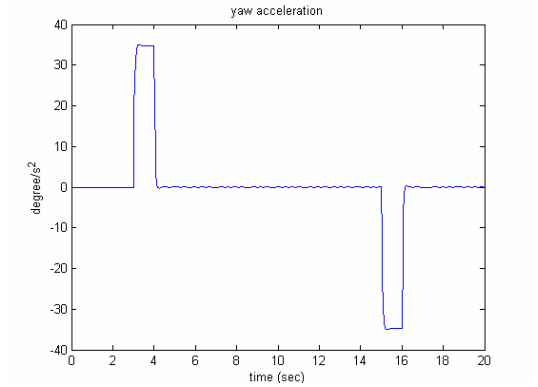
รูปที่ 5 Steer angle



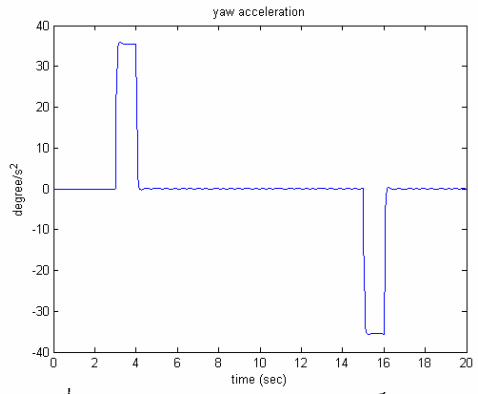
รูปที่ 6 trajectory ของ ยานยนต์จริง



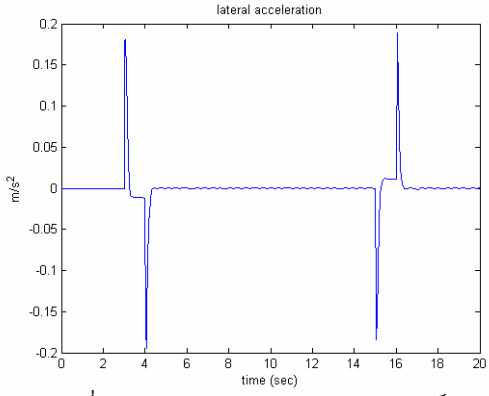
รูปที่ 7 trajectory ของ ยานยนต์จริงย่อส่วน



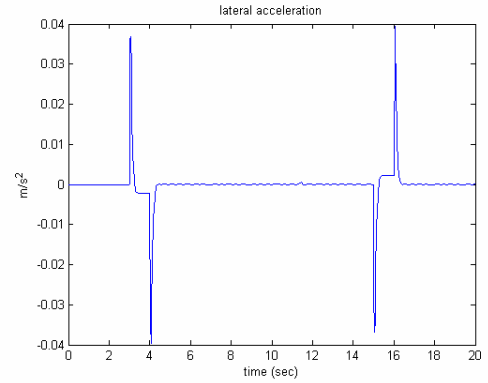
รูปที่ 8 yaw acceleration ของยานยนต์จริง



รูปที่ 9 yaw acceleration ของ ยานยนต์จริงย่อส่วน



รูปที่ 10 lateral acceleration ของยานยนต์จริง



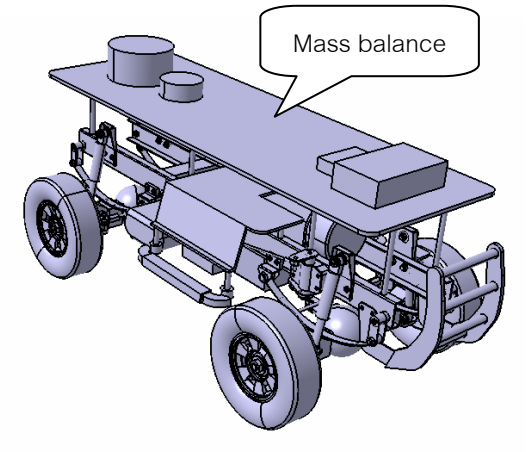
รูปที่ 11 lateral acceleration ของ ยานยนต์จริงย่อส่วน

การตอบสนองการเคลื่อนที่เชิงมุม *(Angular response)* เช่น yaw acceleration เช่นเนื่องจากค่ามุมนั้น เป็นตัวแปรที่ไร้มิติอยู่แล้ว ทำให้ค่าการตอบสนองเท่ากันซึ่งจะเห็นได้จากรูปที่ 8 และ9

สำหรับการตอบสนองการเคลื่อนที่เชิงเส้น (Linear response) เช่น trajectory หรือ lateral acceleration เนื่องจากการเคลื่อนที่เชิงเส้นนี้จะเกี่ยวข้องกับตัวแปรระยะทางเป็นหลัก ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีมิติ ดังนั้นผลการตอบสนองจะมีรูปแบบเดียวกัน สมมูลกัน แต่มีขนาดแตกต่างตามอัตราส่วนซึ่งมาจากการจัดกลุ่มพาย

4.การออกแบบและการประมาณค่าและการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน

หลังจากจัดกลุ่มตัวแปรไร้มิติด้วยทฤษฎีของพายแล้ว จำเป็นที่จะต้องทราบถึงค่าตัวแปรต่างๆของยานพาหนะเช่น น้ำหนัก (m) , ความยาวของรถ (L) เป็นต้น เพื่อนำไปหาค่าตัวแปรในสมการที่ (24)-(28) โดยในขั้นต้นค่าพาย (Π) แต่ละกลุ่มที่ได้จากยานพาหนะจริงกับยานพาหนะย่อส่วนจะมีความแตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ของยานพาหนะย่อส่วน เพื่อให้ค่าพาย (Π) แต่ละกลุ่มของยานพาหนะย่อส่วนมีค่าเท่ากับค่าพาย (Π) ของยานพาหนะจริง พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการปรับแต่งมีดังนี้ คือ $a, b, L, m, C_{\alpha f}, C_{\alpha r}$ โดยที่ค่าต่างๆเหล่านี้จะถูกปรับแต่งในยานยนต์จริงต้นแบบเพื่อให้ค่ากลุ่มพายต่างสมมูลกัน ซึ่งสามารถทำได้โดยการปรับแต่ง จุดศูนย์กลางมวล (Center of Gravity) โมเมนต์ของความเฉื่อย (Moment of Inertia) ค่าคงที่ทางสปริงเชิงมุมของยาง (Cornering Stiffness) และค่าอื่นๆที่จำเป็น ดังแสดงรายละเอียดงานวิจัย [6]



รูปที่ 15 ตัวอย่างยานพาหนะหลังการปรับแต่ง

พร้อมกันนี้ยานยนต์จริงย่อส่วนนี้จะติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดข้อมูลเช่น ความเร่งเชิงเส้นในแนวแกน x, y, z ความเร็วที่ล้อและมุมเลี้ยวที่ล้อ, ภาพการเคลื่อนที่จากกล้องวีดีโอ, อุปกรณ์ส่งข้อมูลแบบไร้สาย ซึ่งตำแหน่งในการติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดนี้จะต้องสอดคล้องกับทฤษฎีและกฎดังกล่าวเพื่อให้มีพลศาสตร์ที่คล้ายคลึงกับยานพาหนะจริง โดยจะใช้ในการวิจัยระดับสูงด้านพลศาสตร์ยานยนต์

5. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอการพัฒนายานพาหนะจริงแบบย่อส่วนสำหรับการจำลองทางพลศาสตร์ ซึ่งได้ยึดตาม กฎสเกลลิ่ง หลักทฤษฎีการวิเคราะห์เชิงมิติ และวิธีการจัดกลุ่มของพาย การสร้างและออกแบบอาศัยข้อมูลและกลุ่มตัวแปรไร้มิติของยานพาหนะจริง เพื่อปรับเปลี่ยนโครงสร้างของยานพาหนะจริงแบบย่อส่วนให้มีความคล้ายคลึงทางพลศาสตร์กับยานพาหนะจริงเมื่อนำไปทดสอบภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Brennan, Sean N., 1999. Modeling and control issues associated with scaled vehicles, University of Illinois at Urbana-Champaign.

[2] Brennan, Sean N., 2002. On size and control: The use of dimensional analysis in controller design, University of Illinois at Urbana-Champaign

[3] Hoblet, Philip C, 2003. Scale-model vehicle analysis for the design of a steering controller", US Naval Academy Annopolis.

[4] C.L.A.Van Maren, J. Sika, 2001. Scaled Vehicle Dynamic of Davinci Project, Delft University of Technology.

[5] Pauwelussen, Joop 1998. Real-time video-based monitoring of vehicle position and orientation within an automated vehicle framework, HAN University.

[6] วิทยา วัณณสุโภประสิทธิ์ และคณะ รายงานวิจัย "รูปแบบใหม่ของการทดสอบพลศาสตร์ยานยนต์ชั้นสูง" 2550 ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

[7] ศุภวุติ จันทรานุวัฒน์, 2548. เอกสารประกอบการสอนวิชา Automotive Control, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย