



วิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์ความปลอดภัยในการขับขีรถยนต์นั่ง 4 ล้อ
โดยใช้เทคนิคไดนามิกสมูเลชัน

DRIVING SAFETY ANALYSIS USING DYNAMIC SIMULATION
TECHNIQUE TO A FOUR-WHEEL VEHICLE MODEL

นายสุรัชย์ นาคพรมมินทร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. ๒๕๔๕



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมความปลอดภัย

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การวิเคราะห์ความปลอดภัยในการขับขี่รถยนต์นั่ง 4 ล้อ โดยใช้เทคนิคไดนามิคส์มูเลชั่น

Driving Safety Analysis Using Dynamic Simulation Technique to a Four-Wheel
Vehicle Model

นามผู้วิจัย นายสุรัช นาคพรมมินทร์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธาน

กรรมการ

กรรมการ

กรรมการ

ประธาน

สาขาวิชา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประกอบ สุรวัฒนาธรรม, Ph.D.

รองศาสตราจารย์พิรุณ ช่างเสริมบุญ, Ph.D.

รองศาสตราจารย์ชาลิต กิตติชัยการ, Ph.D.

ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนนต์ วงษ์เกษม, M.S.

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อัจฉรญาณ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การวิเคราะห์ความปลอดภัยในการขับขีรถยนต์นั่ง 4 ล้อ โดยใช้เทคนิคไดนามิกสимуเลชัน

Driving Safety Analysis Using Dynamic Simulation Technique to a Four-Wheel Vehicle Model

โดย

นายสุรัช นาคพรหมินทร์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

พ.ศ. 2549

ISBN 974-16-2473-5

สุรัชย์ นาคพรมมินทร์ 2549: การวิเคราะห์ความปลอดภัยในการขับเคลื่อน 4 ล้อ โดยใช้เทคนิคไดนามิกสมูเลชัน ปรินซ์ปิยวิศกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย) สาขาวิศวกรรมความปลอดภัย โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา
ประธานกรรมการที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประกอบ สุวัฒนาวรรณ, Ph.D. 76 หน้า
ISBN 974-16-2473-5

ระบบรองรับการสั่นสะเทือนแบบแพชชีฟ มีความสำคัญอย่างหนึ่งในการป้องกันการบ่งชี้ถึงความปลอดภัยในการขับขี่ ซึ่งปรากฏในรูปของความสามารถในการควบคุมการขับขี่และความสะดวกสบายในการขับขี่ ในการออกแบบระบบรองรับการสั่นสะเทือนของรถยนต์สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการออกแบบได้แก่ ค่าคงที่การสปริงตัวของยางและอัตราความหน่วงของระบบรองรับการสั่นสะเทือน โดยจะกระทำอยู่บนพื้นฐานของการใช้แบบจำลองระบบรองรับการสั่นสะเทือนชนิดล้อเดี่ยว (Quarter Car Suspension Model) แต่เนื่องจากแบบจำลองดังกล่าวมีข้อจำกัดในเรื่องขอบเขตการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ในแนวดิ่งเท่านั้น ซึ่งไม่สามารถวิเคราะห์การเคลื่อนที่แบบหมุนได้ รวมทั้งความสลับซับซ้อนของระบบดังกล่าวที่เป็นอุปสรรคสำคัญในการออกแบบระบบ อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการจำลองสถานการณ์จากแบบจำลอง ซึ่งสามารถใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ในแนวดิ่งและการเคลื่อนที่แบบหมุนของระบบสั่นสะเทือนได้พร้อมกันด้วยการใช้โปรแกรม Matlab/Simulink

ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า สำหรับรถยนต์เพื่อการโดยสาร เมื่อรถยนต์ต้องรับภาระจากน้ำหนักของรถที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ความสามารถในการควบคุมการขับขี่ลดลงแต่ในขณะเดียวกันจะทำให้เกิดความสะดวกสบายในการขับขี่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าค่าการสปริงตัวของยางที่ต่ำอันเนื่องมาจากความดันของลมยางที่ลดลง จะส่งผลด้านความปลอดภัยและความสะดวกสบายในการขับขี่ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับผลจากการรับภาระน้ำหนักของรถยนต์ นอกจากนี้ยังพบว่าสำหรับการออกแบบค่าที่เหมาะสมของโช้คอัพนั้นต้องคำนึงถึงความจำเพาะเจาะจงในรถแต่ละรุ่นทั้งนี้หากอัตราความหน่วงสูงหรือต่ำเกินไปเนื่องจากปัจจัยภายในของระบบ ก็จะเป็นสาเหตุทำให้เกิดการสั่นสะเทือนอย่างมากและทำให้ความสามารถในการควบคุมการขับขี่ลดลง

Surachai Nakphrommin 2006: Driving Safety Analysis Using Dynamic Simulation
Technique to a Four-Wheel Vehicle Model. Master of Engineering (Safety
Engineering), Major Field: Safety Engineering, Interdisciplinary Graduate Program.
Thesis Advisor: Assistant Professor Prakob Surawattanawan, Ph.D. 76 pages.
ISBN 974-16-2473-5

Automotive passive suspensions are an important element for driving safety in terms of controlling road handling and passenger ride comfort. The designs of automotive suspension usually are performed by computer simulations in order to determine appropriate spring stiffness and damping rate of shock absorber. The majority of these designs have been performed based on a quarter car model which has a limitation for the analysis of vertical motion only and can not integrate the rotating motion into the model. The complexity of dynamic coupling between both is the obstacle of these designs. Therefore, this research work proposed a simulation model that can be used to analyze both vertical and rotating motion at the same time. The suspension characteristics have been investigated by using Matlab/Simulink program.

The result shows that when the passenger car carries heavy burden, the road holding capability is degraded dynamically while the ride comfort is getting better because the huge mass can reduce the vibration of the car body. When the tire stiffness is getting lower because of the reduction of pressure in the tire, this phenomenon can affect to the driving safety and ride comfort in the same way as the increment of load burden. In addition, for the optimum operation the shock absorber must be specified according to the dynamic condition of the car. If the damping rate is too high or too low due to the wear of internal element, this can cause the high vibration and degrade the road holding ability.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประกอบ สุรวัดनावรรณ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนการให้คำปรึกษา แนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.พีระยุทธ์ ชาญเศรษฐิกุล กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต กิตติชัยการ กรรมการที่ปรึกษาวิชารอง รองศาสตราจารย์ ดร.ก้องกิติ พุสวัตต์ อาจารย์ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัยที่กรุณาให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอบขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ และผู้ที่เกี่ยวข้องที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงได้

คุณความดีและประโยชน์อันจะได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้แก่ บิดา มารดา ญาติมิตร คณาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน

สุรัชย์ นาคพรมมินทร์

เมษายน 2549

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
ขอบเขตของการวิจัย	3
การตรวจเอกสาร	4
กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	5
หลักการสั่นสะเทือนของรถยนต์	6
ส่วนประกอบของระบบรองรับความสั่นสะเทือน	7
คุณสมบัติของระบบรองรับความสั่นสะเทือน	13
น้ำหนักรถที่ถูกรองรับและน้ำหนักที่ไม่ถูกรองรับ	13
การสั่นสะเทือนของน้ำหนักรถที่ถูกรองรับ	14
การสั่นสะเทือนของน้ำหนักรถที่ไม่ถูกรองรับ	15
ปรากฏการณ์ที่เกิดจากการที่รถยนต์แล่นผ่านสันบนถนน	16
ปรากฏการณ์ที่เกิดจากการที่รถยนต์แล่นผ่านแอ่งบนถนน	16
ปรากฏการณ์ที่เกิดจากแรงกระเพื่อมขึ้นลง	16
ปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการสั่นสะเทือน	17
สัญญาณการสั่นสะเทือน	17
หน่วยวัดสัญญาณการสั่นสะเทือน	18
ระดับชั้นความเสรี	19
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	19
โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
อุปกรณ์และวิธีการ	30
อุปกรณ์	30
วิธีการ	30
ผลและวิจารณ์	57
สรุป	65
สรุปผลการวิจัย	65
ข้อเสนอแนะ	66
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	68
ภาคผนวก	70

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 แสดงค่าคงที่ต่างๆ ที่ต้องทำการเปลี่ยนแปลงในงานวิจัย	53
ตารางผนวกที่	
1 แสดงค่าขนาดของความเร่งของตัวรถยนต์เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าของมวล(M) และค่าการหน่วงของระบบรองรับการสั่นสะเทือน(Bd) โดยกำหนดให้ค่าคงที่การสปริงตัวของยาง kt คงที่ เท่ากับ 140,000 N/m	71
2 แสดงค่าขนาดของระยะการสปริงตัวของยางเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าของมวล(M) และค่าการหน่วงของระบบรองรับการสั่นสะเทือน(Bd) โดยกำหนดให้ค่าคงที่การสปริงตัวของยาง kt คงที่ เท่ากับ 140,000 N/m	72
3 แสดงค่าขนาดของความเร่งของรถยนต์ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าคงที่การสปริงตัวของยาง(kt) และค่าการหน่วงของระบบรองรับการสั่นสะเทือน(Bd) โดยกำหนดให้มวลของรถยนต์(M) คงที่ เท่ากับ 1,250 kg	73
4 แสดงค่าขนาดของระยะการสปริงตัวของยางเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าคงที่การสปริงตัวของยาง(kt)และค่าการหน่วงของระบบรองรับการสั่นสะเทือน(Bd) โดยกำหนดให้มวลของรถยนต์ (M) คงที่เท่ากับ 1,250 kg	74
5 แสดงค่าขนาดของระยะชักของระบบรองรับการสั่นสะเทือน เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าของมวล(M) และค่าการหน่วงของระบบรองรับการสั่นสะเทือน(Bd) โดยกำหนดให้ค่าคงที่การสปริงตัวของยาง kt คงที่ เท่ากับ 140,000 N/m	75
6 แสดงค่าขนาดของระยะชักของระบบรองรับการสั่นสะเทือน เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าค่าคงที่การสปริงตัวของยาง (kt) และค่าการหน่วงของระบบรองรับการสั่นสะเทือน(Bd) โดยกำหนดให้ ของมวล(M)เท่ากับ 1,250 kg	76

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ระบบพลศาสตร์ของการขับจี	6
2 ตัวอย่างระบบรองรับการสั่นสะเทือนชนิดล้อเดี่ยว Quarter Car Suspension	7
3 ระบบรองรับการสั่นสะเทือนของรถยนต์	11
4 แบบจำลองของรถยนต์ชนิดล้อเดี่ยว(Quarter Car) และระบบรองรับการสั่นสะเทือนแบบแพชชีฟในรูปแบบจำลองรถยนต์ที่มีลำดับชั้นความเร็วเท่ากับ 1	22
5 แบบจำลองของรถยนต์ชนิดล้อเดี่ยวและระบบรองรับการสั่นสะเทือนแบบแพชชีฟ ที่มีลำดับชั้นความเร็วเท่ากับ 2	22
6 แบบจำลองของเคลื่อนที่ของระบบรองรับการสั่นสะเทือนชนิดล้อเดี่ยว	31
7 แผนผังอิสระของเคลื่อนที่ของระบบรองรับการสั่นสะเทือนชนิดล้อเดี่ยว	32
8 แบบจำลองของเคลื่อนที่ในแนวดิ่งของระบบรองรับการสั่นสะเทือนชนิดล้อเดี่ยว	32
9 แบบจำลองลักษณะการเคลื่อนที่ของรถยนต์ตามแนวระดับ	33
10 แบบจำลองของเคลื่อนที่ในแนวดิ่งและการเคลื่อนที่แบบกระดกหัวและท้าย	34
11 แบบจำลองระบบรองรับการสั่นสะเทือนแบบแพชชีฟชนิดเต็มคัน	34
12 แบบจำลองของเคลื่อนที่ของรถยนต์แบบในแนวดิ่งและแนวเชิงมุม	42
13 แบบจำลองของเคลื่อนที่ของรถยนต์ในแนวดิ่งของล้อคู่หน้า	43
14 แบบจำลองของเคลื่อนที่ของรถยนต์ในแนวดิ่งของล้อคู่หลัง	43
15 แบบจำลองของเคลื่อนที่ของรถยนต์ในแนวดิ่งของตัวรถยนต์	44
16 แบบจำลองของเคลื่อนที่ของรถยนต์ในแนวเชิงมุมของตัวรถยนต์	45
17 แผนผังแบบจำลองของพื้นถนนแบบทีละขั้น(Step)	46
18 อินพุตพื้นถนนแบบทีละขั้น (Road input)	47
19 แบบจำลองของพื้นถนนแบบลุ่ม	48
20 ความเร็วและระยะขจัดสัมบูรณ์ที่คำนวณได้จากแบบจำลองพื้นถนนแบบลุ่ม	48
21 ถนนลาดยางภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน	49
22 ถนนคอนกรีตเส้นทางเลียบริมคลอง2 ปทุมธานี	50

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
23 ถนนดินลูกรัง	50
24 ตัวอย่างที่ 1 ของสภาพผิวการจราจรที่ขรุขระ	51
25 ตัวอย่างที่ 2 ของสภาพผิวการจราจรที่ขรุขระ	51
26 แบบจำลองของเคลื่อนที่ของรถยนต์ชนิดเต็มคัน	52
27 แบบจำลองโมเมนต์ความเฉื่อยของรถยนต์	55
28 แผนผังแบบจำลองระบบรองรับการสั่นสะเทือนชนิด Passive Suspension 15 กลุ่ม แบบจำลอง ใน 1 ชุดข้อมูล	56
29 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการสปริงตัวของยางและขนาดของความเร่งของตัว รถยนต์เมื่อกำหนดให้ k_s คงที่	57
30 แสดงความสัมพันธ์ระยะสปริงตัวของยางและขนาดความเร่งของลำตัวรถยนต์	59
31 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการสปริงตัวของยาง และขนาดของความเร่งของตัว รถยนต์ เมื่อกำหนด M คงที่	59
32 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะชักของระบบรองรับการสั่นสะเทือนและขนาดของ ความเร่งของตัวรถยนต์ เมื่อกำหนดให้ k_s คงที่	61
33 แสดงความสัมพันธ์ระยะสปริงตัวของยางและขนาดความเร่งของลำตัวรถยนต์	63
34 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะชักของระบบรองรับการสั่นสะเทือนและขนาดของ ความเร่งของตัวรถยนต์เมื่อกำหนด M คงที่	63

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

K_r	=	สัมประสิทธิ์ของแบบจำลองพื้นถนนแบบสุ่ม
M	=	น้ำหนักที่ถูกรองรับด้วยสปริง (kg)
m	=	น้ำหนักที่ไม่ถูกรองรับด้วยสปริง (kg)
k_t	=	ค่าคงที่ของสปริงตัวของยาง (N/m)
B_t	=	ปริมาณการหน่วงของยางรถยนต์ (N/ms ⁻¹)
k_s	=	ค่าความแข็งของสปริง (N/m)
B_d	=	ปริมาณการหน่วงของโช้คอัพ (N/ms ⁻¹)
x_o	=	ระยะจัดสมบุรณ์ของถนนด้านหน้ารถ (m)
$\dot{x}_o$	=	ความเร็วของถนนด้านหน้ารถ (m/s)
x_{od}	=	ระยะจัดสมบุรณ์ของถนนด้านหลังรถ (m)
$\dot{x}_{od}$	=	ความเร็วของถนนด้านหน้ารถ (m/s)
x_{mf}	=	ระยะจัดของล้อคู่หน้า (m)
$\dot{x}_{mf}$	=	ความเร็วของล้อคู่หน้า (m/s)
x_{mr}	=	ระยะจัดของล้อคู่หลัง (m) rear
$\dot{x}_{mr}$	=	ความเร็วของล้อคู่หลัง (m/s)
x_f	=	ระยะจัดของตัวรถยนต์ด้านหน้า (m)
$\dot{x}_f$	=	ความเร็วของตัวรถยนต์ด้านหน้า (m/s)
x_r	=	ระยะจัดของตัวรถยนต์ด้านหลัง (m)
$\dot{x}_r$	=	ความเร็วของตัวรถยนต์ด้านหลัง (m/s)
J	=	โมเมนต์ของความเฉื่อยตามแกน Y (kg-m ²)
l_1	=	ความยาวจากด้านหน้ารถถึงจุดศูนย์กลางมวล(m)
l_2	=	ความยาวจากท้ายรถถึงจุดศูนย์กลางมวล (m)
l	=	ความยาวของตัวรถยนต์ (m)
b	=	ความสูงของตัวรถยนต์ (m)
$x_o - x_{mf}$	=	ระยะสปริงตัวของยาง (m)
$x_{mf} - x$	=	ระยะชักของโช้คอัพ (m)
d_{2x}	=	ความเร่งของตัวรถยนต์ (m/s ²)
DOF	=	ลำดับขั้นความเสรี