



การออกแบบระบบกันสะเทือนเชิงรุก
CONCEPTUAL DESIGN OF ACTIVE SUSPENSION SYSTEM



นายจักรวาล ยอดศรี รหัสนิต 53361863
นายธนวัฒน์ เสนาใจ รหัสนิต 53362006
นายธรรมนุญ สร้อยพูล รหัสนิต 53362037

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ.....2-0 ก.ค. 2558
เลขที่รับ.....16912019
เลขติดต่อภายใน.....พร.
เลขที่รับ.....9228 9 2556

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2556



ใบรับรองโครงการงาน

หัวข้อโครงการงาน : การออกแบบระบบกันสะเทือนเชิงรุก
Conceptual design of active suspension system

ผู้ดำเนินโครงการงาน : นายจักรวาล ยอดศรี รหัสนิสิต 53361863
นายธนวัฒน์ เสนาใจ รหัสนิสิต 53362006
นายธรรมนุญ สร้อยพูล รหัสนิสิต 53362037

อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์สุรเจษฎ์ สุขไชยพร
ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา : 2556

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อนุมัติให้โครงการงานวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงการงาน

Surajed S. ประธานกรรมการ
(อาจารย์สุรเจษฎ์ สุขไชยพร)

อนันต์ชัย อยู่แก้ว กรรมการ
(ผศ.ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

Sut Hani กรรมการ
(ดร. สุเมธ เหมะวัฒน์ชะชัย)

หัวข้อโครงการ : การออกแบบระบบกันสะเทือนเชิงรุก
ผู้ดำเนินโครงการ : นายจักรวาล ยอดศรี รหัสนิสิต 53361863
นายธนวัฒน์ เสนาใจ รหัสนิสิต 53362006
นายธรรมนุญ สร้อยพูล รหัสนิสิต 53362037
อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์สุรเจษฎ์ สุขไชยพร
ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา : 2556

บทคัดย่อ

โครงการนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการตอบสนองของระบบช่วงล่างและเป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบช่วงล่างของรถยนต์โดยใช้หลักการของ Hardware-In-the-Loop การศึกษาจะทำการออกแบบเครื่องทดสอบระบบช่วงล่างตามขนาดจริงด้วยโปรแกรม CATIA V5R17 ซึ่งจะได้แบบจำลอง 3 มิติของชุดทดสอบของระบบกันสะเทือน โดยแบบจำลองที่ได้จะเป็นแนวคิดในการสร้างเครื่องทดสอบจริง จากนั้นจึงได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากสมการการเคลื่อนที่ของระบบ โดยกำหนดให้ค่าตัวแปรที่จำเป็นในการทดสอบ ได้แก่ ภาระในแนวตั้งของระบบเป็นตัวแปรต้น โดยที่ระยะการเคลื่อนที่ในแนวตั้งกับเวลาในการเข้าสู่สมดุลเป็นตัวแปรตาม และใช้ค่าความหนืดเป็นตัวแปรควบคุม จากการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าระยะการเคลื่อนที่ในแนวตั้งและเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สมดุลจะแปรผันตามค่าความหนืดของระบบ โดยที่การควบคุมค่าความหนืดมีผลทำให้การเคลื่อนที่ของรถในทิศทางที่ดีขึ้น แสดงว่า การควบคุมค่าความหนืดใน โช้คแอบซอบเบอร์ (Shock Absorber) ทำให้ระบบกันสะเทือนของรถยนต์มีการทำงานที่ดีขึ้น

Project Title : Conceptual design of active suspension system
Name : Mr.Jakkawan Yodsri
Mr.Thanawat Senajai
Mr.Thammanoon Sroipoon
Project Advisor : Mr.Surajed Sukchaiyaporn
Academic Year : 2013

Abstract

The purpose of this project is to study the reaction of the chassis system and for developing chassis system through the principle of hardware-in-the-loop simulation for the design and testing of engine-control systems. To design the testing systems with real size of chassis by CATIA V5R17 program, for find out a three dimension model testing of the suspension system and to conduct a real test afterwards. To create a mathematical models with equation of the motion system that defined as value of the factors in which vertical task as independent variable and vertical distances, timing for equilibrium are dependence variables and value of viscosity system as a control variable. The results were found that, vertical distances and timing for equilibrium were direct variation with value of viscosity system to control value of viscosity lead to be getting better in moving direction of a car. This result was indicated that controlling value of viscosity in shock absorber can help the suspension system working better in automobile.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการการออกแบบด้านวิศวกรรมศาสตร์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำโครงการต้องขอขอบพระคุณ อาจารย์ สุรเจษฎ์ สุขไชยพร ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการนี้ที่ให้ความกรุณาชี้แนะและให้คำปรึกษาเกี่ยวกับปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการทำโครงการ ตลอดจนติดตามผลการดำเนินงานมาโดยตลอด ทางคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว และ ดร.สุเมธ เหมะวัฒนะชัย ที่ให้ความกรุณารับเป็นกรรมการตรวจสอบโครงร่างปริญญาานิพนธ์ และเป็นกรรมการตรวจสอบการสอบปริญญาานิพนธ์ ตลอดจนทั้งให้ความรู้ คำแนะนำและติชม ในการดำเนินงานซึ่งเป็นประโยชน์ต่อโครงการในหลายๆด้าน

ขอขอบพระคุณฝ่ายเลขานุการ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการดำเนินโครงการนี้

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณผู้ที่ให้ความเชื่อเหลือที่ไม่ได้กล่าวถึงที่นี่ ขอมอบคุณงามความดีที่เกิดขึ้นจากโครงการนี้แต่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่ทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และถ้าเกิดข้อผิดพลาดประการใดจากโครงการนี้ ผู้ดำเนินงานต้องกราบขออภัยไว้ ณ ที่นี้

นายจักรวาล ยอดศรี
นายธนวัฒน์ เสนาใจ
นายธรรมบุญ สร้อยพูล

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงงาน	ก
บทคัดย่อ.....	ข
Abstract.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป	ซ
ลำดับสัญลักษณ์	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ที่มาของระบบกันสะเทือนเชิงรุก (Active Suspension)	2
1.3 วัตถุประสงค์	3
1.4 ขอบเขตของโครงงาน	3
1.5 วิธีการดำเนินการของโครงงาน	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.7 แผนการดำเนินโครงงาน.....	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	5
2.1 ที่มาและความสำคัญของการใช้วิธีทดสอบแบบ Hardware-In-the-Loop.....	5
2.2 ธรรมชาติของการสั่นสะเทือน.....	6
2.3 ระบบรองรับน้ำหนัก (Suspension System)	9
2.4 บทสรุปจากการศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	14
3.1 ข้อกำหนดเบื้องต้นในการออกแบบ	14
3.2 การออกแบบเบื้องต้น.....	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 รายละเอียดในการออกแบบ.....	15
3.4 สมการการเคลื่อนที่ของระบบกันสะเทือน.....	17
3.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบกันสะเทือนเชิงรุก.....	18
3.6 ข้อกำหนดในการทดสอบจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	21
3.7 ขั้นตอนในการทดสอบระบบกันสะเทือนจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	24
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ผล	25
4.1 แบบจำลอง 3 มิติของเครื่องทดสอบระบบกันสะเทือนเชิงรุก	25
4.2 ผลของการทดสอบระบบระบบกันสะเทือนจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	26
บทที่ 5 บทสรุป.....	36
5.1 บทสรุปการออกแบบจำลอง 3 มิติ ของชุดทดสอบระบบกันสะเทือน	36
5.2 บทสรุปของการทดสอบจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	36
5.3 ข้อเสนอแนะ	37
เอกสารอ้างอิง	38
ภาคผนวก.....	40
ประวัติผู้จัดทำโครงการ	46

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แผนการและระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการ.....	4
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงการกำหนดค่าคงที่ต่างๆในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	23



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แผนภาพการทำงานของ Hardware-in-the-Loop.....	2
รูปที่ 2.1 แสดงแผนสมมูลของระบบกันสะเทือน	10
รูปที่ 2.2 ภาพแสดงการทำงานของคอยสปริง.....	12
รูปที่ 2.3 ภาพแสดงการทำงานของช็อคแอบซอร์เบอร์ (Shock Absorber)	13
รูปที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบของระบบช่วงล่างที่เลือกใช้ในการออกแบบและพัฒนา.....	15
รูปที่ 3.2 แสดงรายละเอียดของระบบช่วงล่างรถยนต์	16
รูปที่ 3.3 แสดงชุดไฮดรอลิกและแท่นรองรับระบบกันสะเทือน.....	16
รูปที่ 3.4 แสดงโครงสร้างหลักของตัวเครื่อง	17
รูปที่ 3.6 แสดงภาพสมมูลของระบบกันสะเทือนและตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่	17
รูปที่ 3.7 แสดงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสมการการเคลื่อนที่ที่ (1)	19
รูปที่ 3.8 แสดงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสมการการเคลื่อนที่ที่ (2)	20
รูปที่ 3.9 แสดงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบกันสะเทือนเชิงรุก	20
รูปที่ 3.10 กราฟแสดงภาวะในแนวตั้งที่ใช้ในการทดสอบครั้งที่ 1	21
รูปที่ 3.11 กราฟแสดงภาวะในแนวตั้งที่ใช้ในการทดสอบครั้งที่ 2.....	22
รูปที่ 3.12 กราฟแสดงภาวะในแนวตั้งที่ใช้ในการทดสอบครั้งที่ 3.....	22
รูปที่ 3.13 กราฟแสดงภาวะในแนวตั้งที่ใช้ในการทดสอบครั้งที่ 4.....	23
รูปที่ 4.1 แสดงส่วนประกอบของเครื่องทดสอบระบบกันสะเทือนเชิงรุก.....	25
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลการทดสอบที่ $C = 40 \text{ kN.s/m}$ ของ $Z_r 1$	26
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลการทดสอบที่ $C = 60 \text{ kN.s/m}$ ของ $Z_r 1$	27
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลการทดสอบที่ $C = 80 \text{ kN.s/m}$ ของ $Z_r 1$	27
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลการทดสอบของการ Input ภาวะในแนวตั้งครั้งที่ 1	28
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลการทดสอบที่ $C = 40 \text{ kN.s/m}$ ของ $Z_r 2$	29
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลการทดสอบที่ $C = 60 \text{ kN.s/m}$ ของ $Z_r 2$	29
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลการทดสอบที่ $C = 80 \text{ kN.s/m}$ ของ $Z_r 2$	30
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงผลการทดสอบของการ Input ภาวะในแนวตั้งครั้งที่ 2	30
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงผลการทดสอบที่ $C = 40 \text{ kN.s/m}$ ของ $Z_r 3$	31
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงผลการทดสอบที่ $C = 60 \text{ kN.s/m}$ ของ $Z_r 3$	32
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงผลการทดสอบที่ $C = 80 \text{ kN.s/m}$ ของ $Z_r 3$	32

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงผลการทดสอบของการ Input ภาระในแนวตั้งครั้งที่ 3.....	32
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงผลการทดสอบที่ $C_s = 100 \times \frac{d}{ds} Z_r + C$ ของ Z_r 4.....	33
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงผลการทดสอบที่ $C_s = 150 \times \frac{d}{ds} Z_r + C$ ของ Z_r 4.....	34
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงผลการทดสอบที่ $C_s = 200 \times \frac{d}{ds} Z_r + C$ ของ Z_r 4.....	34
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงผลการทดสอบของการ Input ภาระในแนวตั้งครั้งที่ 4.....	35



ลำดับสัญลักษณ์

- Z = ระยะการเคลื่อนที่ของมวลที่สปริงตัว
- Z_u = ระยะการเคลื่อนที่ของมวลที่ไม่สปริงตัว
- Z_r = ภาระในแนวตั้งของระบบ
- K_s = ค่าคงที่ของสปริง
- K_t = ค่าคงที่ของยาง
- C = ค่าความหนืดเริ่มต้น
- C_s = ค่าความหนืดแปรผัน
- M = น้ำหนักเหนือสปริง (น้ำหนักรถและน้ำหนักบรรทุก)
- m = น้ำหนักใต้สปริง (ล้อ ดุมล้อ)

บทที่ 1

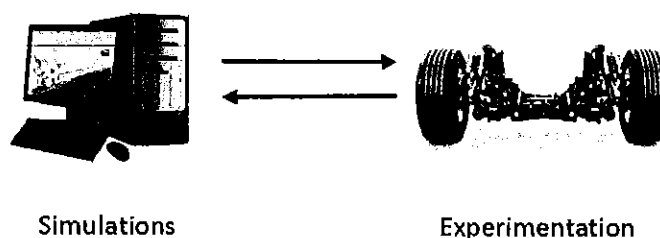
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเปรียบเสมือนปัจจัยที่ห้าของมนุษย์ เนื่องจากการดำเนินกิจกรรมในชีวิตประจำวันจำเป็นต้องเกี่ยวข้องกับการเดินทางอยู่เสมอ ถึงแม้วิธีในการเดินทางจะมีหลากหลายแต่ทางเลือกที่ สะดวก รวดเร็ว และเป็นที่ยอมรับทางหนึ่งคือการใช้รถยนต์เป็นพาหนะ ในแต่ละปีมีปริมาณรถยนต์ที่นำมาใช้งานมากขึ้นเรื่อยๆ เป็นผลให้อัตราการบาดเจ็บหรือเสียชีวิตจากการเกิดอุบัติเหตุทางรถยนต์มากขึ้นตาม [9] ดังนั้นความปลอดภัยและความสะดวกสบายในการเดินทางด้วยรถยนต์ถือเป็นสิ่งที่สำคัญ

ความสะดวกสบายและความปลอดภัยของรถยนต์นั้นขึ้นอยู่กับระบบช่วงล่างเป็นอย่างมาก [1][2][4][8] เนื่องจากความขรุขระของพื้นถนนทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของตัวรถซึ่งจะถูกดูดซับด้วยระบบรองรับและการสั่นสะเทือนของตัวรถจะขึ้นอยู่กับความสามารถของระบบรองรับเป็นหลัก ดังนั้นการพัฒนาเครื่องยนต์ทางด้านความสะดวกสบายและความปลอดภัยจึงมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาช่วงล่างเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งหนึ่งในแนวทางที่เป็นที่ยอมรับในปัจจุบันคือการใช้วิธีสร้างอุปกรณ์จำลองบางส่วนของช่วงล่างรถยนต์แล้วนำมาประกอบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อทดสอบให้ได้มาซึ่งผลลัพธ์ที่ต้องการ แนวทางดังกล่าวถูกเรียกว่า Hardware-in-the-Loop [3]

Hardware-in-the-Loopเป็นแนวทางการทดสอบอุปกรณ์หรือระบบย่อยของอุปกรณ์ที่ทำงานประสานกันโดยมีหลักการคือการนำระบบย่อยดังกล่าวมาทำงานร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในคอมพิวเตอร์ โดยแบบจำลองในคอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่สร้างหรือเติมส่วนอื่นๆของอุปกรณ์ในระบบใหญ่ให้สมบูรณ์ ข้อดีของการทดสอบแบบ Hardware-in-the-Loopนี้คือ ผู้ทดสอบไม่จำเป็นต้องสร้างระบบจริงทั้งหมดเพื่อทำการทดสอบลักษณะของระบบย่อยเพียงบางประการไม่จำเป็นต้องใช้รถยนต์จริงเพื่อทำการทดสอบระบบเพียงระบบเดียวอีกทั้งการทดสอบแบบHardware-in-the-Loopนี้สามารถทำได้ในห้องปฏิบัติการ ทำให้การควบคุมสิ่งแวดล้อมหรือตัวแปรอื่นๆที่ส่งผลกระทบต่อระบบที่ต้องการทดสอบทำได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมถึงการทดสอบซ้ำที่เงื่อนไขเดิมจะสามารถทำได้ง่ายและสะดวกกว่าการทดสอบระบบจริงทั้งระบบมาก จากข้อดีดังกล่าวส่งผลให้การทดสอบระบบด้วยวิธี Hardware-in-the-Loopได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง ซึ่งการทดสอบระบบยานยนต์ส่วนใหญ่ก็ใช้วิธีทดสอบนี้เช่นกัน[2][4][5]



รูปที่ 1.1 แผนภาพการทำงานของ Hardware-in-the-Loop

1.2 ที่มาของระบบกันสะเทือนเชิงรุก(ActiveSuspension)

ระบบกันสะเทือนของรถยนต์ จะทำหน้าที่ลดการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการก่อกองล้อสัมผัสกับพื้นผิวถนน ทำให้แรงสั่นสะเทือนส่งถ่ายไปยังห้องโดยสารน้อยที่สุด แต่ระบบกันสะเทือนก็ยังมีหน้าที่แฝงอีกหลายข้อ ได้แก่ ช่วยให้การบังคับควบคุมรถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ รักษาระดับความห่างของตัวรถกับผิวถนน ควบคุมล้อให้ตั้งฉากกับพื้นถนนตลอดเวลาเพื่อให้หน้ายางสัมผัสกับพื้นถนนมากที่สุด แม้กระทั่งในขณะที่รถเข้าโค้ง ลดอาการกระดกและโยนตัวเพื่อสมดุลให้รถอยู่ในสภาพปกติ ในขณะที่เคลื่อนที่ผ่านผิวถนนที่ไม่ราบเรียบ

ระบบกันสะเทือนจะถูกกำหนดมาตามคุณลักษณะของรถยนต์แต่ละประเภท มีความสามารถค่อนข้างตายตัว ถ้าเป็นรถยนต์ขนาดเล็ก เมื่อขับรถที่ความเร็วต่ำ ความรู้สึกที่ได้จากระบบกันสะเทือนคือความสบายในการขับ แต่ถ้าใช้ความเร็วสูงรถจะเกิดอาการยวบยาบเวลาเบรก เนื่องจากช่วงล่างของรถมีความอ่อนเกินไป เป็นผลทำให้บั่นทอนความมั่นใจในการขับรถ ซึ่งต่างจากระบบกันสะเทือนที่มีช่วงล่างแข็งแรงเหมาะกับการขับรถที่ความเร็วสูง แต่เมื่อใช้ความเร็วต่ำ ตัวรถจะมีอาการแข็งกระด้าง ดังนั้นเหตุผลเหล่านี้เป็นประเด็นสำคัญที่วิศวกรต้องนำมาคิดวิเคราะห์เพื่อที่จะแก้ปัญหาของระบบกันสะเทือนแบบเดิมให้สมบูรณ์และเป็นที่มาของ ระบบกันสะเทือนเชิงรุก (ActiveSuspension) ซึ่งระบบกันสะเทือนนี้จะรวมความรู้สึกในการขับรถหลากหลายรูปแบบเข้าไว้ด้วยกันที่ระบบกันสะเทือนเพียงชุดเดียว มีสมองกลที่ชาญฉลาด สามารถเลือกได้ว่า จะให้ความรู้สึกของรถออกมาเป็นเช่นใดกับสถานการณ์ใด [11]

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 ศึกษาและออกแบบชุดทดสอบระบบกันสะเทือนเชิงรุกด้วยหลักการของ Hardware-in-the-Loop ในการทดสอบระบบรองรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคล

1.4 ขอบเขตของโครงการ

1.4.1 ออกแบบหลักการทำงาน การจัดวางอุปกรณ์ และสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ของชุดทดสอบระบบกันสะเทือนเชิงรุกในคอมพิวเตอร์

1.4.2 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จำลองการทำงานของ ชุดทดสอบระบบกันสะเทือนเชิงรุก

1.5 วิธีการดำเนินการของโครงการ

1.5.1 ศึกษาการใช้วิธี Hardware-in-the-Loop เกี่ยวกับระบบกันสะเทือนเชิงรุกจากโครงการที่ผ่านมา

1.5.2 ออกแบบหลักการทำงาน การจัดวางอุปกรณ์ และสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ในคอมพิวเตอร์

1.5.3 ศึกษาสมการการเคลื่อนที่ที่ได้จากแผนภาพสมมูลของระบบกันสะเทือน และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในคอมพิวเตอร์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้แบบจำลอง 3 มิติ ของชุดทดสอบระบบกันสะเทือนเชิงรุก

1.6.2 ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของชุดทดสอบระบบกันสะเทือนเชิงรุก เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างชุดทดสอบจริง

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

จุดประสงค์หลักของโครงการฉบับนี้คือศึกษาและออกแบบชุดทดสอบระบบกันสะเทือนเชิงรุกด้วยหลักการของ Hardware-in-the-Loop โดยจุดเด่นอยู่ที่การออกแบบชุดทดสอบระบบกันสะเทือน 3 มิติในคอมพิวเตอร์ ซึ่งขอบเขตของงานวิจัยนี้คือสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จำลองการทำงานของ ชุดทดสอบระบบกันสะเทือนเชิงรุก ดังนั้นในบทนี้จะเป็นการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาวิธีการต่างๆในระบบกันสะเทือน

2.1 ที่มาและความสำคัญของการใช้วิธีทดสอบแบบ Hardware-In-the-Loop

ในปัจจุบันการผลิตชิ้นส่วนหรือสร้างระบบใดระบบหนึ่ง เพื่อที่จะทำให้เกิดความน่าเชื่อถือ จะต้องทำการทดสอบอุปกรณ์หรือระบบขึ้นมา การสร้างระบบดังกล่าวจะเป็นการสร้างเหตุการณ์จำลองขึ้น แล้วดูการตอบสนองของระบบหรืออุปกรณ์เหล่านั้น ว่าเป็นไปตามต้องการหรือไม่ ซึ่งวิธีการสำคัญที่สุดในการออกแบบและทดสอบในลักษณะนี้คือการทดสอบแบบ Hardware-In-the-Loop [3]

การทดสอบแบบ Hardware-In-the-Loop นั้นสามารถนำอุปกรณ์เฉพาะชิ้นที่สนใจมาทดสอบได้ โดยอุปกรณ์หรือระบบอื่นที่เกี่ยวข้องนั้นสามารถทดแทนด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์บนคอมพิวเตอร์แทน [3][4][5] ซึ่งการทดสอบลักษณะนี้มีข้อได้เปรียบ เสียเปรียบจากทดสอบแบบเดิมหลายประการดังนี้

2.1.1 ข้อดีของการทดสอบแบบ Hardware-In-the-Loop เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทดสอบแบบเก่าคือ

2.1.1.1 สำหรับการทดลองบางอย่าง ถ้าใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะต้องใช้แบบจำลองที่มีความถูกต้องสูง จำเป็นต้องใช้ตัวแปรจำนวนมาก ทำให้การเขียนโปรแกรมมีความยากลำบากและใช้เวลาในการคำนวณมาก ดังนั้นทำให้ชุดอุปกรณ์จริงทดแทนแบบจำลองดังกล่าว จะทำให้มีความถูกต้องและแม่นยำที่สูงขึ้น อีกทั้งยังลดเวลาในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ลงได้

2.1.1.2 ในการทดลองแบบเก่านั้น ในบางกรณี เช่น การทดสอบระบบเบรกเพียงระบบเดียว จำเป็นต้องใช้รถยนต์ทั้งคัน เพื่อทำการทดลองดังกล่าว ซึ่งจะเห็นว่า การทดสอบใน

ลักษณะนี้จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและเวลาเป็นอย่างมาก แต่การทดสอบแบบ Hardware-In-the-Loop สามารถแยกระบบที่สนใจเพียงระบบเดียวออกมาทดสอบได้ ทำให้การทดสอบทำได้ง่ายขึ้น สะดวกขึ้น ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายได้มากขึ้น [1][6][7]

2.1.1.3 สามารถทดสอบซ้ำได้ง่าย และปลอดภัยยิ่งขึ้น [6] เนื่องจากการแยกระบบที่สนใจ มาทดสอบเพียงระบบเดียว จะสามารถลดผลกระทบที่เกิดขึ้นจากระบบอื่นที่ไม่สนใจลงได้ ส่งผลให้สามารถควบคุมตัวแปรต่างๆ ได้ดีขึ้นและทดสอบซ้ำได้ง่ายขึ้น

2.1.2 ข้อเสียเปรียบของการทดสอบแบบ Hardware-In-the-Loop เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีทดสอบแบบเก่า

2.1.2.1 ในการทดสอบแบบ Hardware-In-the-Loop จำเป็นต้องใช้งบประมาณจำนวนหนึ่งในการสร้างอุปกรณ์จริงขึ้นมา ซึ่งหากเปรียบเทียบกับกรวิจัยโดยใช้การคำนวณผ่านแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพียงอย่างเดียวจะพบว่าการทดสอบแบบ Hardware-In-the-Loop มีค่าใช้จ่าย และความยุ่งยากที่สูงกว่า

การพัฒนาาระบบ Active ต่างๆ นั้น จะมีขั้นตอนเริ่มตั้งแต่แนวคิดเบื้องต้นในการออกแบบว่า ต้องการให้ระบบดังกล่าวมีหน้าที่การทำงานอย่างไร จากนั้นจะเริ่มเข้าสู่กระบวนการในการออกแบบระบบนั้นจะต้องมีรูปร่าง ลักษณะอย่างไร และมีอุปกรณ์อะไรบ้าง สุดท้ายของกระบวนการออกแบบคือการสร้างอุปกรณ์หรือระบบต้นแบบที่ต้องการ เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการออกแบบแล้ว จะเริ่มเข้าสู่กระบวนการในการทดสอบต้นแบบที่ได้มาสอดคล้องกับสิ่งที่ผู้ศึกษาต้องการมาน้อยเพียงใด ซึ่งในกระบวนการนี้จะมีการทดสอบแบบ Hardware-In-the-Loop อยู่เสมอ นอกเหนือจากการทดสอบแบบ Hardware-In-the-Loop แล้ว อาจมีการนำระบบหรืออุปกรณ์ดังกล่าวประกอบเข้ากับยานยนต์จริงเพื่อทำการทดสอบการทำงานของระบบอีกด้วย

2.2 ธรรมชาติของการสั่นสะเทือน

ธรรมชาติของการสั่นสะเทือนจะเป็นการเคลื่อนที่ไป-มาของระบบเครื่องจักรกล การเคลื่อนที่ดังกล่าวอาจมีรูปร่างลักษณะที่แน่นอน (regular form) หรืออาจจะไม่แน่นอน (irregular or random) โดยทั่วไปจะแบ่งการสั่นสะเทือนออกเป็นสองกรณี คือ การสั่นสะเทือนแบบอิสระ (free vibration) และ การสั่นสะเทือนโดยแรง (forced vibration)

การสั่นสะเทือนอิสระ (free vibration) จะเกิดขึ้นในขณะที่ระบบเคลื่อนที่ไป-มา โดยไม่มีแรงกระทำที่ระบบ ความถี่ของการสั่นสะเทือนดังกล่าวจะเรียกว่า ความถี่ธรรมชาติ (natural

frequency) ซึ่งอาจมีความถี่เดียวหรือหลายความถี่ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของระบบการสั่นสะเทือน

การสั่นสะเทือนโดยแรง (forced vibration) เป็นการเคลื่อนที่ในขณะที่มีแรงภายนอกมากระทำที่ระบบและทำให้ระบบเคลื่อนที่ไป-มาเช่นเดียวกับแรงที่กระทำ หรือมีความถี่เท่ากับความถี่ของแรง ถ้าความถี่ของแรงที่มากระทำมีค่าเท่ากับความถี่ธรรมชาติของระบบเราจะเรียกระบบอยู่ในสภาพ รีโซแนนซ์ (resonance) คือจะมีการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรงและเป็นอันตรายต่อระบบอย่างมาก การชำรุดเสียหายของระบบโครงสร้างอาจจะมีสาเหตุมาจากสภาพรีโซแนนซ์ ดังนั้นการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนจึงจำเป็นต้องหาความถี่ธรรมชาติของระบบ

โดยทั่วไปจะไม่ต้องการให้เกิดการสั่นสะเทือนขึ้น เพราะการสั่นสะเทือนอาจจะทำให้เครื่องจักรกลหรือโครงสร้างชำรุดเสียหาย แรงอันเนื่องจากการสั่นสะเทือนอาจส่งผ่านฐานเครื่องหรือชิ้นส่วนที่อยู่ข้างเคียง และถ้าขนาดการสั่นสะเทือนมีค่ามากก็อาจจะมีผลต่อการทำงานของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล นอกจากนี้การสั่นสะเทือนยังทำให้เกิดเสียงดังและทำให้ชิ้นส่วนสั่นคลอนอีกด้วย

เครื่องจักรกลหรือโครงสร้างอาจจะประกอบด้วยชิ้นส่วนที่ซับซ้อนแต่สามารถจำลองหรือแทนเครื่องจักรกลดังกล่าวด้วยระบบอย่างง่าย ที่ประกอบด้วยมวล สปริง และตัวหน่วง เรียกระบบที่จำลองขึ้นใหม่ว่า ระบบเสมือน (equivalent system) หรือ ระบบสั่นสะเทือนจำลอง (vibration model) ผลของการวิเคราะห์จึงเป็นผลของระบบจำลอง

2.2.1 วิธีแก้ปัญหการสั่นสะเทือน

ในการแก้ปัญหการสั่นสะเทือน จำเป็นต้องทราบแหล่งกำเนิดหรือการเกิดของการสั่นสะเทือน การสั่นสะเทือนมักจะเกิดขึ้นในเครื่องจักรกล โครงสร้าง หรืออุปกรณ์ที่ประสงค์จะให้เกิดการสั่นสะเทือน สิ่งที่ต้องการวิเคราะห์คือ ความถี่ ขนาดการเคลื่อนที่ ความเร็ว ความเร่ง แรงส่งผ่าน และอัตราการลดของขนาดการเคลื่อนที่ ซึ่งอาจจะได้จากการวัด หรือการคำนวณ ในบางครั้งอาจจะหาความถี่พื้นฐานของระบบ การแก้ปัญหการสั่นสะเทือนมีขั้นตอนสรุปได้ดังนี้

2.2.1.1 ต้องทราบส่วนประกอบและรูปร่างของปัญหา

2.2.1.2 แยกส่วนประกอบของปัญหาและหาสมการที่เกี่ยวข้อง

2.2.1.3 แก้สมการและหาค่าที่ต้องการ

2.2.1.4 พิจารณาค่าและผลที่ได้รับ

2.2.1.5 ให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับผลที่ได้ และผลที่ควรจะเป็น รวมทั้งข้อเสนอแนะเกี่ยวกับส่วนประกอบของโครงสร้างหรืออุปกรณ์ที่ควรเปลี่ยนแปลง

2.2.2 ตัวหน่วงการเคลื่อนที่

การสั่นสะเทือนแบบอิสระ ขนาดและลักษณะของการเคลื่อนที่จะไม่เปลี่ยนแปลงหรือไม่ขึ้นกับเวลา ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีแรงภายนอกกระทำและไม่มีการสูญเสียพลังงานระหว่างการสั่นสะเทือน แต่ในทางปฏิบัติขนาดของการสั่นสะเทือนจะค่อยๆ ลดลง นอกเสียจากว่ามีสิ่งใดสิ่งหนึ่งควบคุมขนาดของการสั่นสะเทือนให้คงที่ สำหรับในกรณีของการสั่นสะเทือนแบบอิสระที่มีตัวหน่วงการเคลื่อนที่ (damper) ตัวหน่วงการเคลื่อนที่จะดึงพลังงานออกจากระบบ ขนาดของการเคลื่อนที่จะค่อยๆ ลดลง ตัวหน่วงการเคลื่อนที่แบ่งออกได้ 3 ชนิด คือ

2.2.2.1 ตัวหน่วงการเคลื่อนที่ชนิดของเหลวเหนียวหรือหนืด (viscous damping) ซึ่งเป็นชนิดที่ใช้กันทั่วไป แรงต้านการเคลื่อนที่ขณะวัตถุเคลื่อนด้วยความเร็วต่ำผ่านของไหลจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วของวัตถุ

$$F_d = -c\dot{x}$$

c คือ ค่าคงที่ของตัวหน่วง มีหน่วยเป็นแรงต่อหน่วยความเร็ว คือ N-s/m และ F_d มีหน่วยเป็นนิวตัน ส่วนเครื่องหมายลบแสดงว่าแรงที่เกิดขึ้นมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ ความสัมพันธ์ของแรงดังกล่าว เหมาะที่ใช้กับกรณีที่วัตถุเคลื่อนที่บนพื้นผิวที่มีการหล่อลื่นและในกรณีที่วัตถุเคลื่อนที่ในอากาศ ในน้ำมันหรือในของเหลวชนิดอื่น

2.2.2.2 ตัวหน่วงการเคลื่อนที่ชนิดแห้ง (dry-friction damping) เป็นการหน่วงการเคลื่อนที่ในขณะที่ผิวของวัตถุสัมผัสซึ่งกันและกันโดยที่ไม่มีของเหลวคั่นระหว่างพื้นผิววัตถุทั้งสอง บางครั้งเรียกการหน่วงการเคลื่อนที่ชนิดนี้ว่า คูลอมบ์ ปกติจะสมมุติว่าผิวของวัตถุนี้สัมผัสกันและกันถ้าไม่พิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างจุดเริ่มต้นและในระหว่างการเคลื่อนที่ การหน่วงการเคลื่อนที่จะมีค่าคงที่ ค่าคงที่จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุ ลักษณะของพื้นผิวที่สัมผัสกันและแรงกระทำที่ตั้งฉากกับผิวสัมผัสนั้นคือ $F_d = \mu N$

μ คือ สัมประสิทธิ์การเสียดทานของวัตถุซึ่งได้จากการทดลองและ N คือ แรงที่ตั้งฉากกับผิวสัมผัส

2.2.2.3 ตัวหน่วงการเคลื่อนที่ของแข็งหรือโครงสร้าง เรียกว่า ฮิสเทอรีซิส (hysteresis damping) เป็นการหน่วงการเคลื่อนที่ที่เกิดจากการเสียดทานภายในเนื้อของวัตถุใน

ขณะที่เกิดการแปรรูป การหน่วงการเคลื่อนที่ชนิดนี้จะเป็นสัดส่วนกับขนาดของระยะแปรรูป แต่ไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ของระบบ

2.3 ระบบรองรับน้ำหนัก (Suspension System)

ระบบรองรับน้ำหนัก หมายถึง ระบบการใช้สปริง ช็อคแอบซอร์เบอร์ (Shock Absorber) และแกนต่อต่างๆ ที่ใช้เป็นตัวรองรับหรือคั่นกลางระหว่างโครงรถ (Frame) ตัวถัง (Body) เครื่องยนต์ และระบบขับเคลื่อนก่อนที่จะส่งผ่านไปยังล้อรถ และทำหน้าที่ลดแรงกระแทกเมื่อถนนขรุขระ ระบบรองรับน้ำหนักมีหลายแบบ แต่ละแบบทำหน้าที่รับน้ำหนักของอุปกรณ์ตลอดจนน้ำหนักบรรทุก ซึ่งจะอยู่ด้านบนสปริง เรียกว่าน้ำหนักเหนือสปริง (Sprung Weight) เป็นน้ำหนักที่สปริงไม่ได้รองรับน้ำหนัก ได้แก่ ล้อ ระบบเบรก และชุดเพลาท้าย เป็นต้น

2.3.1 หน้าที่ของระบบรองรับน้ำหนัก มีหน้าที่สำคัญ ๆ ได้แก่

2.3.1.1 รองรับน้ำหนักเหนือสปริงและน้ำหนักบรรทุก โดยที่สปริงจะทำหน้าที่ลดการสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากความไม่ราบเรียบของพื้นผิวถนน (Road Shock)

2.3.1.2 ช่วยให้การบังคับรถมีประสิทธิภาพ การที่รถไม่สั่นสะเทือนก็จะทำให้สิ่งของที่บรรทุกไม่เสียหาย

2.3.1.3 ลดความเค้นที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนรถยนต์เนื่องมาจากการกระแทกจากพื้นผิวถนน

2.3.1.4 รักษาสมดุลตัวถังรถให้วิ่งไปบนถนนในทุกสภาพ ไม่ว่าจะรถจะวิ่งบนถนนขรุขระมากน้อยเพียงใด

2.3.1.5 ลดอาการโคลง (Rolling) และการโยนตัวของตัวถัง (Pitching) ที่เกิดขึ้นให้น้อยที่สุด หลักการของระบบรองรับน้ำหนักรถยนต์มีดังนี้ คือ ลดอาการโคลงและการโยนตัวของตัวถังรถโดยการใช้และติดตั้งขนาดของสปริงอย่างเหมาะสม ใช้เครื่องผ่อนการสะเทือนร่วมกับสปริง และลดน้ำหนักได้สปริงให้เหลือน้อยที่สุด เพื่อไม่ให้ส่งแรงกระแทกไปยังตัวถังและคนในรถ

2.3.2 สาเหตุที่ตัวถังรถสั่นสะเทือน

การที่ตัวถังรถเกิดสั่นสะเทือนเป็นผลสืบเนื่องมาจากน้ำหนักบรรทุก สภาพของพื้นผิวถนน น้ำหนักที่ถูกรองรับและน้ำหนักที่ไม่ถูกรองรับ ตัวถังรถยนต์จะถูกรองรับด้วยสปริง น้ำหนักของตัวถังและส่วนประกอบอื่นๆที่ถูกรองรับด้วยสปริงนั้นเรียกว่า น้ำหนักเหนือสปริง หรือส่วนที่ไม่ได้ถูกรองรับด้วยสปริง เช่น ล้อ เพลา และส่วนอื่น ๆ เรียกว่า น้ำหนักใต้สปริง โดยทั่วไป

น้ำหนักเหนือสปริงจะมีมากกว่าน้ำหนักใต้สปริง ซึ่งจะทำให้เกิดความโน้มถ่วงในการขับเคลื่อนและมีเสถียรภาพที่ดีกว่า นอกจากนี้ยังช่วยลดแรงเหวี่ยงและแรงกระแทกของตัวถัง ในทางตรงกันข้ามถ้า น้ำหนักใต้สปริงมีมากกว่า จะทำให้ตัวถังรถเกิดการโคลงและสั่นสะเทือน เป็นผลให้การขับขี่ไม่สะดวกสบายเท่าที่ควร อาการสั่นสะเทือนและการโคลงของตัวถังรถจำแนกออกได้ดังนี้

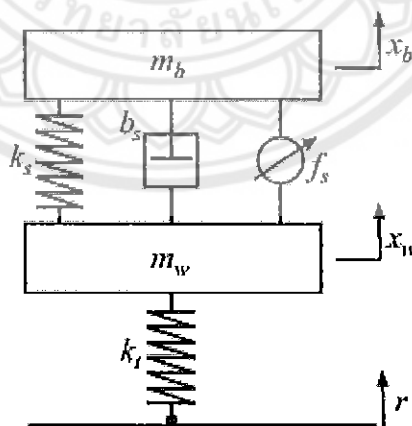
2.3.2.1 การยึดและยุบตัวของสปริงทั้งสองด้านไม่เท่ากันคือด้านหนึ่งยึดอีกด้านหนึ่งยุบ เช่น กรณีเลียวรถหรือถนนเป็นหลุมเป็นบ่อ

2.3.2.2 การเคลื่อนตัวขึ้นลงของตัวถังรถ เกิดจากการที่รถวิ่งด้วยความเร็วสูงบนถนนที่เป็นคลื่น นอกจากนั้นอาจเกิดขึ้นกับรถที่ใช้สปริงอ่อนมากกว่ารถที่ใช้สปริงแข็ง

2.3.2.3 การส่าย เป็นอาการเคลื่อนตัวของตัวถังรถในลักษณะขึ้นลงไปทางด้านซ้ายและขวา มักจะเกิดขึ้นพร้อมกับการกระดอนของตัวถังรถ

2.3.2.4 การกระดอน เป็นอาการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในลักษณะขึ้นลงด้านหน้าและด้านหลังของตัวถังรถ อาการที่เกิดขึ้นนี้จะเกิดขึ้นได้ง่ายกับรถที่ใช้สปริงอ่อน

จากการศึกษาระบบรองรับน้ำหนัก สามารถดูการทำงานของระบบช่วงล่างจากแผนภาพสมมูลของระบบกันสะเทือน ได้ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 แสดงแผนสมมูลของระบบกันสะเทือน [10]

จากรูป 2.5 เป็นตัวอย่างของแบบจำลองระบบกันสะเทือนในรถยนต์ ซึ่ง m_b แทนมวลของตัวรถและ m_w แทนมวลของล้อ จะมี สปริง (k_s) และ แดมเปอร์ (b_s) คอยดูดซับแรงสั่นสะเทือนอยู่

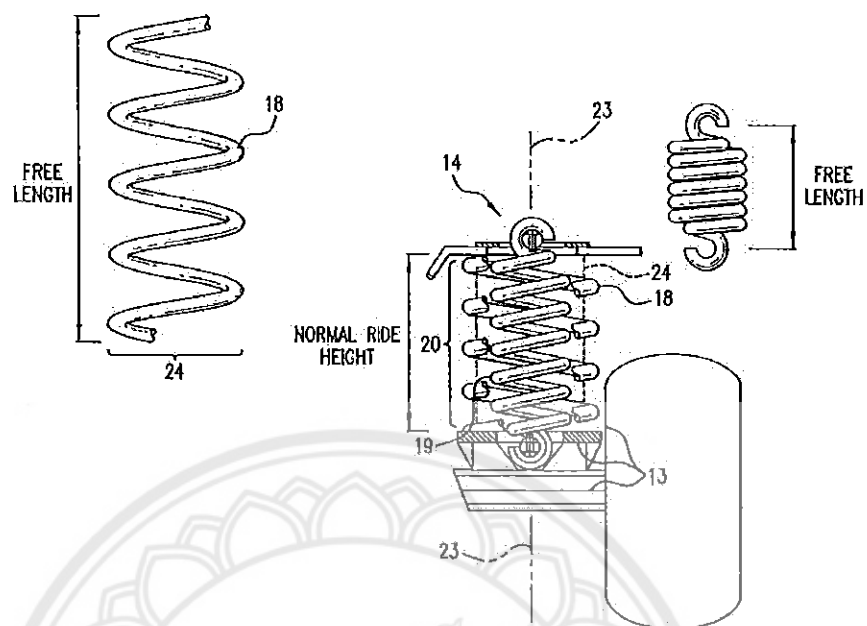
ระหว่างตัวรถกับล้อ มีสปริง (k_p) ที่คอยดูดซับแรงระหว่างยางกับถนน และ f_s เป็นส่วนที่แสดงการทำงานของระบบกันสะเทือนระหว่างตัวรถกับล้อ [10]

2.3.3 หลักการทำงานของสปริง

ในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของระบบ แบบจำลองของระบบจะประกอบด้วยมวลและสปริง ดังนั้นค่าคงที่ของสปริงในแบบจำลองจึงมีค่าเท่ากับค่าเสมือนของสปริง ซึ่งมีค่าเท่ากับแรงหรือโมเมนต์ต่อหนึ่งหน่วยของระยะยืดหรือหดตัวของชิ้นส่วน ณ จุดที่มวลหรือโมเมนต์เฉลี่ยของมวลติดอยู่

สปริง ถือเป็นชิ้นส่วนหลักของระบบรองรับการสั่นสะเทือน หลักการทำงานโดยพื้นฐานของสปริงจะทำงานในลักษณะ ยุบตัว และยืดตัว เมื่อล้อรถวิ่งผ่านพื้นผิวถนนที่ขรุขระ ส่งผลให้ล้อเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวตั้งกับระดับตัวถังของรถ ทำให้สามารถดูดซับแรงดันของล้อที่กระทำกับพื้นผิวถนน เพื่อผ่อนแรงสั่นสะเทือนเหล่านั้นส่งไปยังตัวถังรถให้น้อยที่สุด

สปริงมีหลายประเภทแต่ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ สปริงขด หรือคอยล์สปริง (Coil Spring) ที่ทำงานในลักษณะยืด และยุบตัว, แหนบ (Leaf Spring) จะรับน้ำหนัก และแรงสั่นสะเทือนโดยการโค้งหรืองอตัวของแผ่นแหนบ, ทอร์ชันบาร์ (Torsion bar) จะรับแรงสั่นสะเทือนโดยการบิดตัวของเพลลา, สปริงลม (Air Spring) จะลดแรงสั่นสะเทือนจากการอัดตัวของลมในถุงลม, สปริงยาง (Rubber Spring) และ ไฮโดรนิวเมติก (Hydro - Pneumatic) จะดูดซับแรงสั่นสะเทือน โดยการอัดตัวของแก๊สไนโตรเจนและของเหลว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งาน



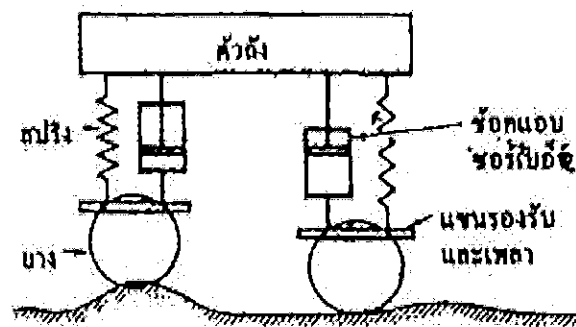
รูปที่ 2.2 ภาพแสดงการทำงานของคอยสปริง [11]

จากรูปที่ 2.6 การทำงานของระบบคอยล์สปริง จะอาศัยการยืดและยุบตัวของขดสปริงที่ระยะห่างของแต่ละขด และจะแสดงสมรรถนะตามประสิทธิภาพการรองรับน้ำหนักบรรทุก [11]

2.3.4 หลักการทำงานของช็อคแอบซอบเบอร์ (Shock Absorber)

ช็อคแอบซอบเบอร์ (Shock Absorber) เป็นอุปกรณ์สำคัญที่ช่วยรองรับแรงกระแทก ลดแรงสั่นสะเทือนของรถ และยังทำหน้าที่หน่วงการเคลื่อนที่ขึ้นลงของตัวถังรถยนต์ เพื่อให้ล้อรถสัมผัสกับผิวถนนตลอดเวลาขณะรถวิ่ง ช็อคแอบซอบเบอร์ (Shock Absorber) เป็นอุปกรณ์ไฮดรอลิกที่หน่วงการเคลื่อนที่ขึ้นลงของตัวรถยนต์โดยการควบคุมการยุบและการสั้นของสปริงหรือแท่นบ โดยจะเปลี่ยนการสั่นสะเทือนจากพลังงานกลเป็นพลังงานความร้อน

การทำงานของช็อคแอบซอบเบอร์ (Shock Absorber) จะเป็นไปตามทฤษฎีการแทนที่ของเหลว ทั้งในขณะที่ยืดและยุบตัว ช็อคแอบซอบเบอร์ (Shock Absorber) จะมีความหนืดมากในขณะที่ยืดตัว ซึ่งการควบคุมนี้จะช่วยยับยั้งอัตราการดีดตัวของสปริงหรือช่วงล่างให้สอดคล้องกับสภาพถนน โดยที่ช็อคแอบซอบเบอร์ (Shock Absorber) จะดูดซับแรงกระแทกทั้งหมดที่ถ่ายทอดจากสปริงแล้วแปรสภาพเป็นพลังงานความร้อนลงไปสู่อากาศรอบๆ



รูปที่ 2.3 ภาพแสดงการทำงานของช็อคแอมบ์เซอร์ (Shock Absorber) [11]

จากรูป 2.7 แสดงการทำงานของช็อคแอมบ์เซอร์ (Shock Absorber) เมื่อแหนบถูกกดหรือกระแทก ช็อคแอมบ์เซอร์ (Shock Absorber) ก็จะถูกกดตัวลงเหมือนกันจากนั้นแหนบจะดีดตัวคืน ช็อคแอมบ์เซอร์ (Shock Absorber) จะทำการต้านแรงดีดหรือการคืนตัวของแหนบให้ค่อยๆ คืนตัว เพื่อรักษาตัวถังรถไม่ให้ดีดตัวเร็ว หรือกระโดดดังตามแรงสปริงตัวของแหนบ [11]

2.4 บทสรุปจากการศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาในอดีตจะเห็นว่าการพัฒนาระบบกันสะเทือนในรถยนต์มีมาอย่างต่อเนื่อง แนวทางการทำวิจัยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาระบบกันสะเทือนโดยดูการสั่นสะเทือนจากตัวรถเป็นหลัก และทดสอบด้วยวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในคอมพิวเตอร์ (Hardware-in-the-loop) ซึ่งการทดสอบด้วยวิธีนี้ ผู้ทดสอบไม่จำเป็นต้องสร้างระบบจริงทั้งหมดเพื่อทำการทดสอบลักษณะของระบบย่อยเพียงบางประการ สามารถทำได้ในห้องปฏิบัติการ รวมถึงการทดสอบซ้ำที่เงื่อนไขเดิมจะสามารถทำได้ง่ายและสะดวกกว่าการทดสอบระบบจริงทั้งระบบมาก ซึ่งแนวคิดเบื้องต้นนี้จึงเหมาะกับการออกแบบและพัฒนาระบบกันสะเทือนเชิงรุกในรถยนต์ต่อไป

บทที่ 3

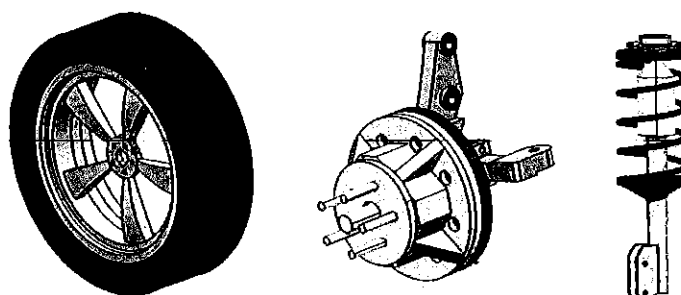
ขั้นตอนการดำเนินงาน

จากการศึกษางานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาจะเห็นว่า หากต้องการพัฒนาระบบรองรับให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นนั้น อาจทำได้โดยการพัฒนาอุปกรณ์ที่สร้างภาระในแนวตั้ง และพัฒนาระบบรองรับของรถยนต์ให้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการใช้งานจริงมากที่สุด ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบเบื้องต้นให้ระบบที่จะสร้างภาระในแนวตั้งเป็นระบบรองรับจริงและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากสมการการเคลื่อนที่ของรถยนต์ โดยในบทนี้จะทำการกล่าวถึงข้อกำหนดและขั้นตอนในการออกแบบจำลอง 3 มิติและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบกันสะเทือนเชิงรุก ด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อประโยชน์ในการปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองนี้ในขั้นตอนต่อไป

3.1 ข้อกำหนดเบื้องต้นในการออกแบบ

- 3.1.1 ในการออกแบบอุปกรณ์ต่างๆ จะต้องมีความใกล้เคียงกับของจริงมากที่สุดจำลองการเคลื่อนที่ปกติของรถยนต์ขนาดเล็กโดยการ Input ภาระในแนวตั้ง
- 3.1.2 จำลองการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง โดยทำการ Input อุปสรรคของรถยนต์ขนาดเล็กขึ้น
- 3.1.3 ในการใช้งานปกติ ระยะการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของรถยนต์ขนาดเล็กที่วิ่งด้วยความเร็วไม่เกิน 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีค่าไม่เกิน 20 เซนติเมตร

จากข้อกำหนดในหลายๆด้าน ส่งผลให้ระบบกันสะเทือนที่ผู้วิจัยเลือกมาใช้ในการออกแบบและพัฒนาได้ คือ ระบบช่วงล่างของรถยนต์ขนาดเล็กที่ประกอบไปด้วย ล้อ (กระทะล้อขนาด 16 นิ้ว และรัศมียาง 314 มิลลิเมตร)ดุมล้อ และช็อคแอบซอร์เบอร์(Shock Absorber) ดังรูป 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบของระบบช่วงล่างที่เลือกใช้ในการออกแบบและพัฒนา

3.2 การออกแบบเบื้องต้น

3.2.1 ทำการออกแบบอุปสรรคที่เกิดขึ้นในแนวตั้งผ่านชุดไฮดรอลิก โดยใช้ชุดไฮดรอลิกทำการเลียนแบบอุปสรรคที่เกิดขึ้นจริงเพื่อใช้ในการจำลองการเคลื่อนที่บนแนวตั้งของชุดสอบระบบกันสะเทือนเชิงรุก

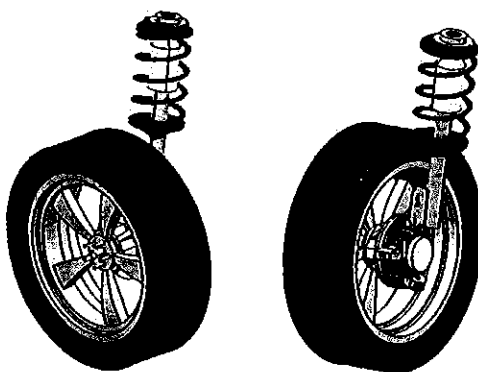
3.2.2 จำลองมวลหนึ่งในสี่ของรถยนต์เป็นภาระที่กระทำในแนวตั้งกับล้อ โดยกำหนดให้มวลดังกล่าวมีน้ำหนัก 350 กิโลกรัม

3.2.3 ชุดไฮดรอลิกดังกล่าวสามารถปรับความเร็วในการเคลื่อนที่ขึ้นลงได้เพื่อสามารถจำลองสภาพถนนที่เกิดขึ้นจริงได้ถูกต้อง

3.2.4 ต้นกำลังของชุดไฮดรอลิกที่ใช้ในการขับปั๊มไฮดรอลิกจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง และสามารถปรับความเร็วรอบได้

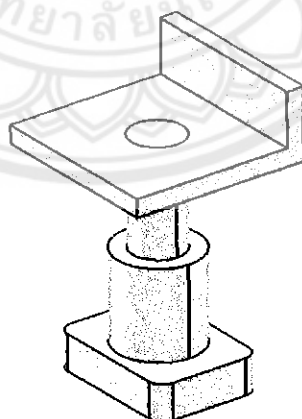
3.3 รายละเอียดในการออกแบบ

3.3.1 ทำการออกแบบโดยวาดแบบจำลอง 3 มิติ (Cadfile) ของระบบช่วงล่างรถยนต์ขนาดเล็ก ตามขนาดจริง ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดได้รูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงรายละเอียดของระบบช่วงล่างรถยนต์ ซึ่งประกอบไปด้วย ล้อ ดุมล้อ และช็อคแอมบ์
ชอบเบอร์
(Shock Absorber)

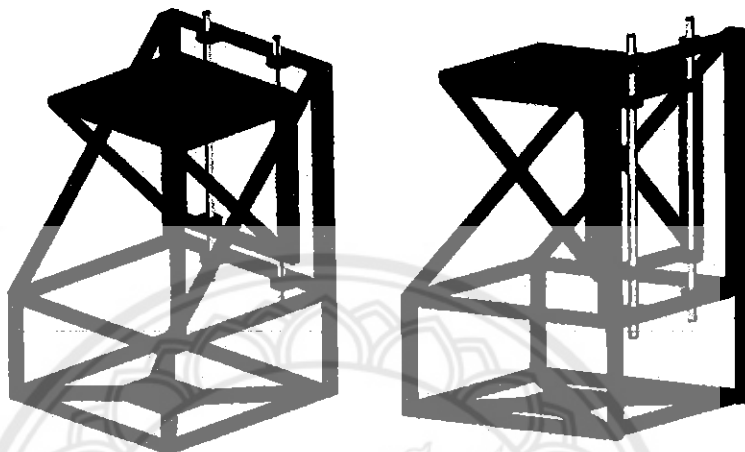
3.3.2 การออกแบบชุดไฮดรอลิก ที่ใช้สำหรับรองรับการเคลื่อนที่ของล้อในแนวตั้งที่กล่าวไว้ใน
เบื้องต้น คือ ชุดไฮดรอลิกสามารถปรับความเร็ว ขึ้น-ลง ได้เพื่อจำลองอุปสรรคที่เกิดขึ้นจริงของสภาพ
ถนนได้ถูกต้อง ซึ่งการออกแบบเบื้องต้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงชุดไฮดรอลิกและแท่นรองรับระบบกันสะเทือน

3.3.3 การออกแบบโครงสร้างหลัก เพื่อใช้รองรับอุปกรณ์อื่นๆในระบบ ที่ใช้ทดสอบการ
เคลื่อนที่ ขึ้น-ลง ของระบบช่วงล่าง (Suspension) โดยด้านบนของตัวโครงสร้างหลักจะรับน้ำหนักที่

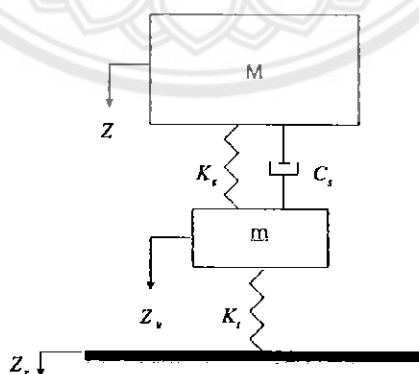
จำลองจาก 1 ใน 4 ของรถยนต์ ซึ่งจากการออกแบบในเบื้องต้นสามารถแสดงโครงสร้างหลักได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงโครงสร้างหลักของตัวเครื่อง

3.4 สมการการเคลื่อนที่ของระบบกันสะเทือน

ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะใช้สมการการเคลื่อนที่ที่ได้จากแผนภาพสมมูลของระบบกันสะเทือน มาทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในคอมพิวเตอร์ ซึ่งแผนภาพสมมูลจะประกอบไปด้วยตัวแปรต่างๆ ของสมการการเคลื่อนที่ ดังรูป 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงภาพสมมูลของระบบกันสะเทือนและตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่

จากรูปที่ 3.6 เป็นการจำลองการทำงานของระบบกันสะเทือนของรถยนต์ ซึ่งสามารถนำมาเขียนสมการการเคลื่อนที่ของระบบที่ประกอบไปด้วยตัวแปรต่างๆ ดังนี้

$$M\ddot{Z} + C_s\dot{Z} + K_s Z = C_s\dot{Z}_u + K_s Z_u \quad (1)$$

$$m\ddot{Z}_u + C_s\dot{Z}_u + (K_s + K_t)Z_u = C_s\dot{Z} + K_s Z + K_t Z_r \quad (2)$$

โดยที่ Z = ระยะการเคลื่อนที่ของมวลที่สปริงตัว

Z_u = ระยะการเคลื่อนที่ของมวลที่ไม่สปริงตัว

Z_r = ภาระในแนวดิ่งของระบบ

K_s = ค่าคงที่ของสปริง

K_t = ค่าคงที่ของยาง

C_s = ค่าความหนืดแปรผัน

M = น้ำหนักเหนือสปริง (น้ำหนักรถและน้ำหนักบรรทุก)

m = น้ำหนักใต้สปริง (ล้อ ดุมล้อ)

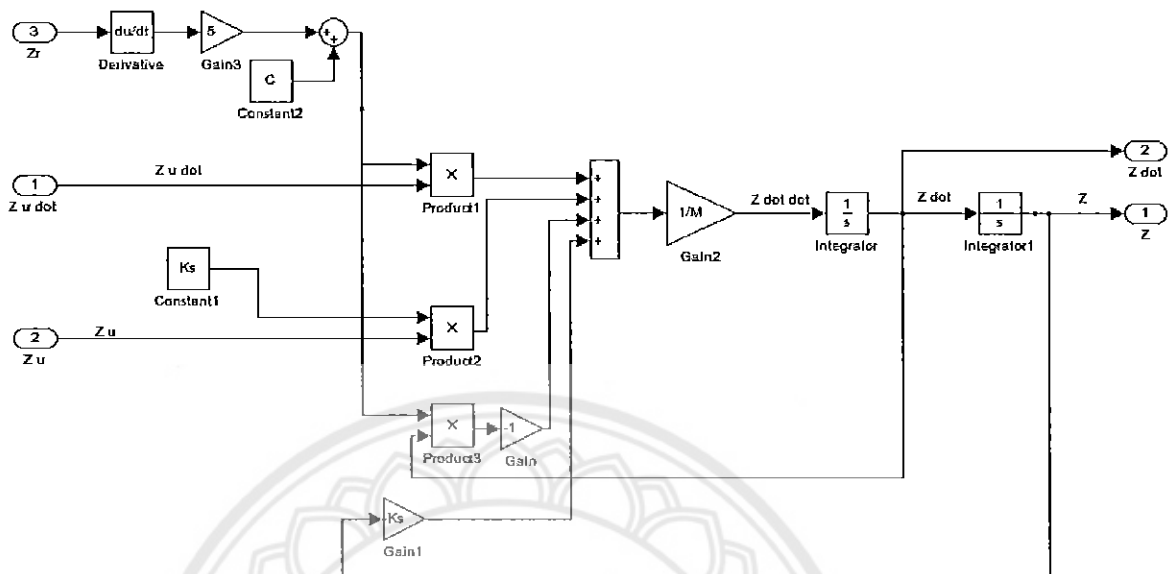
3.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบกันสะเทือนเชิงรุก

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะต้องใช้สมการการเคลื่อนที่ที่ได้จากแผนภาพสมมูล ทั้ง 2 สมการ มาทำการเขียนแบบจำลองในคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถทำได้ดังนี้

จากสมการการเคลื่อนที่ที่ (1) สามารถย้ายข้างสมการเพื่อให้สมการอยู่ในพจน์ของ \ddot{Z} ซึ่งจะได้สมการการเคลื่อนที่ของระบบดังนี้

$$\ddot{Z} = \frac{C_s\dot{Z}_u + K_s Z_u - C_s\dot{Z} - K_s Z}{M}$$

จากสมการการเคลื่อนที่ที่ (1) และข้อกำหนดต่างๆ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

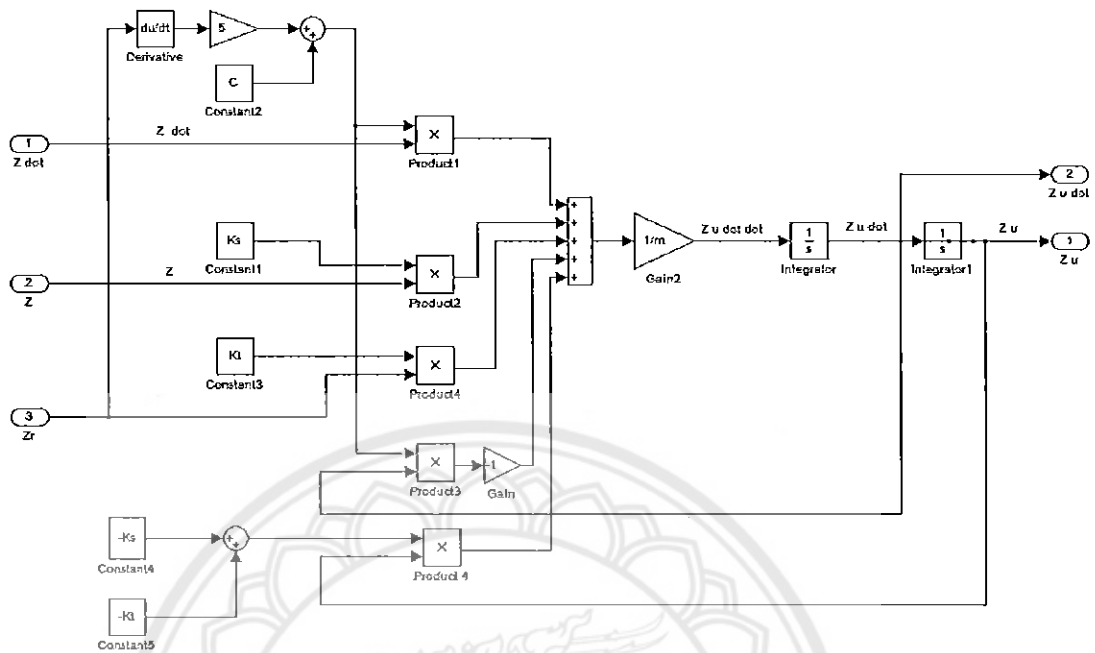


รูปที่ 3.7 แสดงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสมการการเคลื่อนที่ที่ (1)

จากสมการการเคลื่อนที่ที่ (2) สามารถย้ายข้างสมการเพื่อให้สมการอยู่ในพจน์ของ \ddot{Z}_u ซึ่งจะได้สมการการเคลื่อนที่ของระบบดังนี้

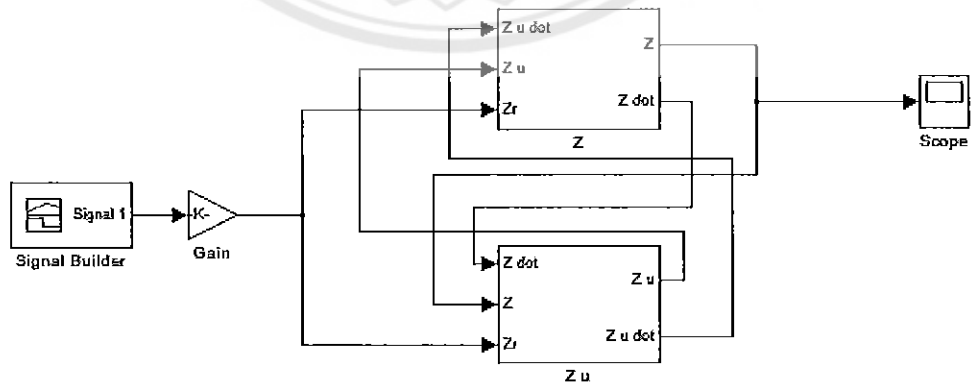
$$\ddot{Z}_u = \frac{C_s \dot{Z} + K_s Z + K_t Z_r - C_s \dot{Z}_u - (K_s + K_t) Z_u}{m}$$

จากสมการการเคลื่อนที่ที่ (2) และข้อกำหนดต่างๆ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้



รูปที่ 3.8 แสดงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสมการการเคลื่อนที่ที่ (2)

จากรูปที่ 3.7 และ 3.8 เป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสมการการเคลื่อนที่ทั้งสองสมการ ซึ่งสามารถรวมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสมการการเคลื่อนที่ทั้งสองสมการเข้าด้วยกัน จะได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบกันสะเทือนเชิงรุก ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบกันสะเทือนเชิงรุก

3.6 ข้อกำหนดในการทดสอบจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.4.1 ใช้สมการการเคลื่อนที่ของระบบกันสะเทือนในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

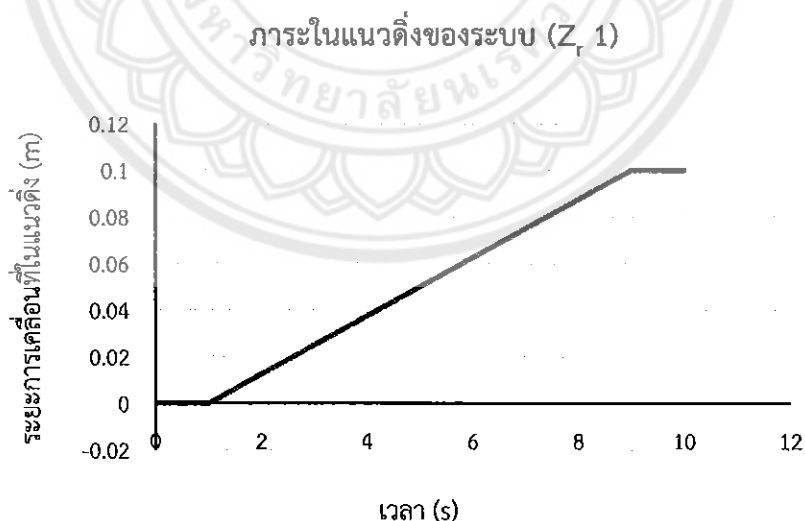
3.4.2 กำหนดค่าคงที่สปริงเท่ากับ (K_s) เท่ากับ 4.6 kN/m กำหนดค่าคงที่ของยาง (K_r) เท่ากับ 10 เท่าของค่าคงที่ของสปริง (K_s) ดังนั้นค่าคงที่ของยาง (K_r) เท่ากับ 46 kN/m

3.4.3 ให้รถมีน้ำหนัก 1000kg และน้ำหนักบรรทุก 400 kg ดังนั้นในการทดสอบจึงกำหนดน้ำหนักเหนือสปริง (M) เท่ากับ 1 ใน 4 ของน้ำหนักทั้งหมด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 350 kg

3.4.4 ให้ล้อและดุมล้อที่ใช้ในการทดสอบ มีน้ำหนักทั้งหมดเท่ากับ 19.4 kg ดังนั้นจึงกำหนดน้ำหนักได้สปริง (m) เท่ากับ 19.4 kg

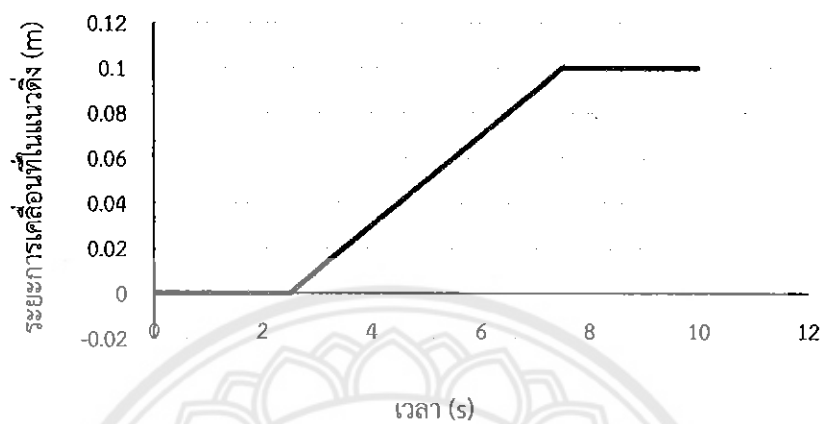
3.4.5 กำหนดค่าความหนืดเริ่มต้น (C) เท่ากับ 40, 60 และ 80kN.s/m และค่าความหนืดแปรผัน (C_s) เท่ากับ 100 เท่าของการ Differential ภายในแนวตั้ง (Z_r) บวกกับค่าความหนืดเริ่มต้น (C)

3.4.6 กำหนดการในแนวตั้งของระบบ (Z_r) เพื่อใช้ในการทดสอบ โดยที่ระยะการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของชุดทดสอบระบบกันสะเทือนมีค่าไม่เกิน 20 เซนติเมตรซึ่งสามารถแสดงการในแนวตั้งที่ใช้ในการทดสอบ ได้ดังกราฟต่อไปนี้



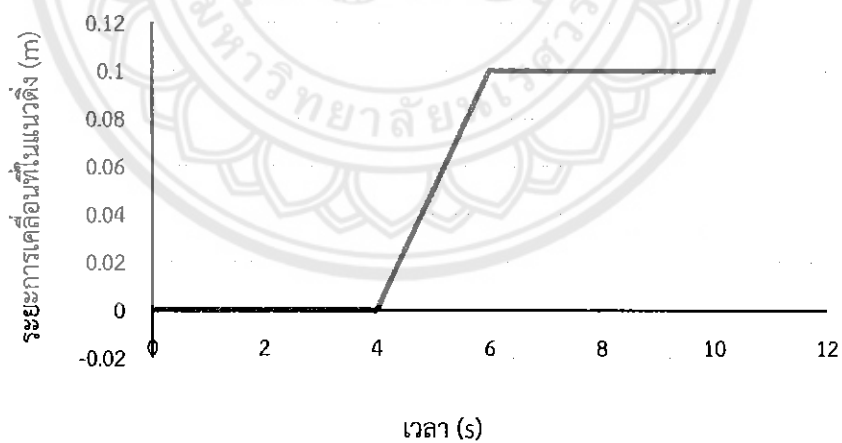
รูปที่ 3.10 กราฟแสดงการในแนวตั้งที่ใช้ในการทดสอบครั้งที่ 1

ภาวะในแนวตั้งของระบบ (Z_r 2)



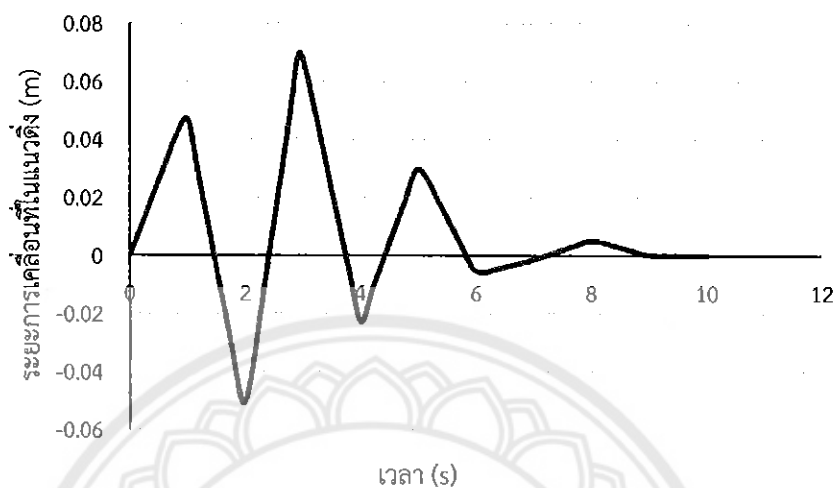
รูปที่ 3.11 กราฟแสดงภาวะในแนวตั้งที่ใช้ในการทดสอบครั้งที่ 2

ภาวะในแนวตั้งของระบบ (Z_r 3)



รูปที่ 3.12 กราฟแสดงภาวะในแนวตั้งที่ใช้ในการทดสอบครั้งที่ 3

ภาระในแนวดิ่งของระบบ (Z_r 4)



รูปที่ 3.13 กราฟแสดงภาระในแนวดิ่งที่ใช้ในการทดสอบครั้งที่ 4

จากข้อกำหนดทั้งหมดของการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สามารถสรุปค่าคงที่ต่างๆ ได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงการกำหนดค่าคงที่ต่างๆในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ลำดับที่	ข้อกำหนด	ค่าคงที่ที่ใช้ในการออกแบบ	หน่วย
1	น้ำหนักเนื้อสปริง (M)	350	kg
2	น้ำหนักใต้สปริง (m)	19.4	kg
3	ค่าคงที่ของยาง (K_y)	46	kN/m
4	ค่าคงที่ของสปริง (K_s)	4.6	kN/m
5	ค่าความหนืดเริ่มต้น(C)	40, 60 และ 80	kN.s/m
6	ค่าความหนืดแปรผัน(C_s)	$100 \times \frac{d}{ds} Z_r + C$ $150 \times \frac{d}{ds} Z_r + C$ $200 \times \frac{d}{ds} Z_r + C$	kN.s/m

3.7 ขั้นตอนในการทดสอบระบบกันสะเทือนจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.7.1 ทำการ Input ค่าคงที่ต่างๆ ลงไปในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งประกอบไปด้วย $M = 350 \text{ Kg}$, $m = 19.4 \text{ Kg}$, $K_r = 46 \text{ kN/m}$, $K_s = 4.6 \text{ kN/m}$

3.7.2 ทำการ Input กราฟภาระในแนวดิ่งของระบบครั้งที่ 1 ($Z_r, 1$) ซึ่งกราฟภาระในแนวดิ่งบอกไว้ในข้อกำหนดในการทดสอบจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.7.3 ทำการ Input ค่าความหนืดเริ่มต้น (C) เท่ากับ 40 kN.s/m และจากข้อกำหนดในการทดสอบ ให้ค่าความหนืดแปรผัน (C_s) เท่ากับ 100 เท่าของการ Differential ภาระในแนวดิ่ง (Z_r) บวกกับค่าความหนืดเริ่มต้น (C) เช่น $100 \times \frac{d}{ds} Z_r + C$

3.7.4 ทำการ Run ค่าจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ นำกราฟที่ได้จากการทดสอบมาทำการวิเคราะห์ผล

3.7.5 เปลี่ยนค่าความหนืดเริ่มต้น (C) เท่ากับ 60 kN.s/m และ 80 kN.s/m ตามลำดับ โดยทำการ Run ค่าจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ นำกราฟที่ได้จากการทดสอบมาทำการวิเคราะห์ผล ซึ่งยังคงใช้กราฟภาระในแนวดิ่งของระบบครั้งที่ 1 ($Z_r, 1$)

3.7.6 ทำการ Input กราฟภาระในแนวดิ่งของระบบครั้งที่ 2 ($Z_r, 2$) และ Input ค่าความหนืดเริ่มต้น (C) เท่ากับ 40 kN.s/m , 60 kN.s/m และ 80 kN.s/m ตามลำดับโดยทำการ Run ค่าจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ นำกราฟที่ได้จากการทดสอบมาทำการวิเคราะห์ผล

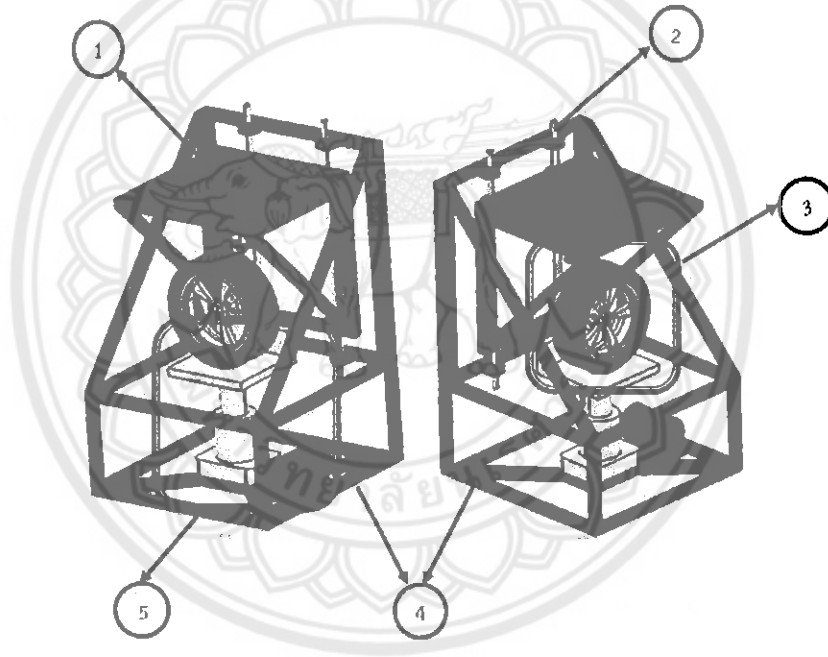
3.7.7 ทำการ Input กราฟภาระในแนวดิ่งของระบบครั้งที่ 3 ($Z_r, 3$) และ Input ค่าความหนืดเริ่มต้น (C) เท่ากับ 40 kN.s/m , 60 kN.s/m และ 80 kN.s/m ตามลำดับโดยทำการ Run ค่าจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ นำกราฟที่ได้จากการทดสอบมาทำการวิเคราะห์ผล

3.7.8 ทำการ Input กราฟภาระในแนวดิ่งของระบบครั้งที่ 4 ($Z_r, 4$) และทำการลองเปลี่ยนค่าความหนืดแปรผัน (C_s) โดยใช้ค่าความหนืดแปรผันเท่ากับ 100 เท่า, 150 เท่า และ 200 เท่า ของการ Differential ภาระในแนวดิ่ง (Z_r) บวกกับค่าความหนืดเริ่มต้น (C) โดยเลือกค่าความหนืดเริ่มต้น (C) เท่ากับ 80 kN.s/m และทำการ Run ค่าจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ผล

4.1 แบบจำลอง 3 มิติของเครื่องทดสอบระบบกันสะเทือนเชิงรุก



รูปที่ 4.1 แสดงส่วนประกอบของเครื่องทดสอบระบบกันสะเทือนเชิงรุก

จากรูปที่ 4.1 สามารถอธิบายส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องทดสอบระบบกันสะเทือนเชิงรุกที่จำลองขึ้น โดยสามารถอธิบายรายละเอียดของส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

- 1 คือแท่นรับน้ำหนักของวัสดุที่ใช้ในการจำลองน้ำหนักของรถยนต์
- 2 คือราวเหล็กประคองการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง
- 3 คือชุดระบบช่วงล่างของรถยนต์โดยประกอบไปด้วย ชุดล้อ ดุมล้อและช็อคแอบซอร์เบอร์ (Shock absorber)

4 คือโครงสร้างหลักที่ใช้รองรับชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องทดสอบ

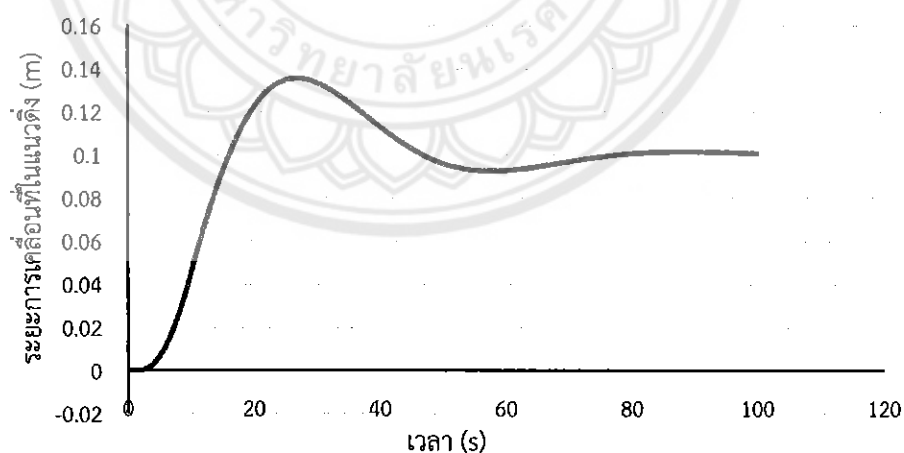
5 คือชุดระบบไฮดรอลิก ประกอบไปด้วย กระจบอกลไฮดรอลิก บั้มไฮดรอลิก และแท่นรองรับชุดระบบช่วงล่างของรถยนต์

4.2 ผลของการทดสอบระบบระบบกันสะเทือนจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

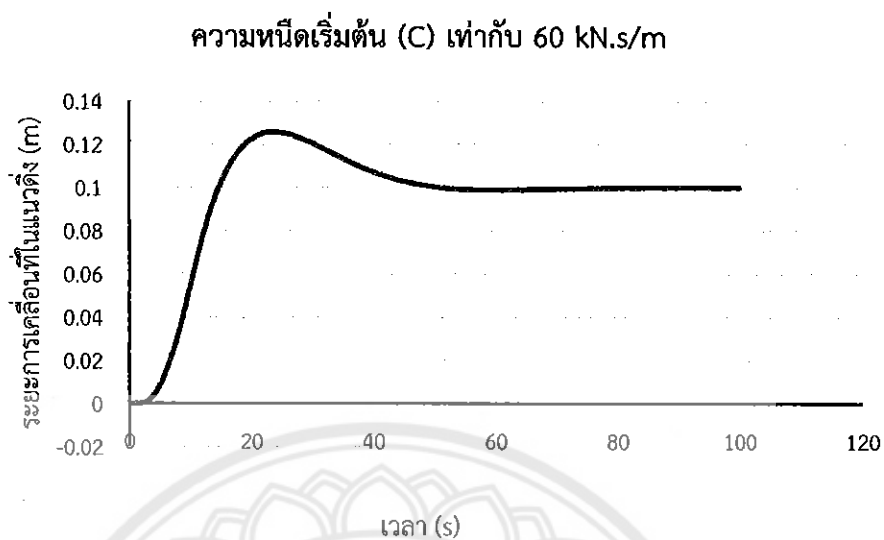
การทดสอบระบบกันสะเทือนจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เป็นการจำลองการเคลื่อนที่ของรถยนต์ผ่านอุปสรรคต่างๆ โดยการกำหนดการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง (Z_r) ที่ป้อนเข้าระบบ สูงไม่เกิน 20 เซนติเมตร จากนั้นทำการทดสอบระบบจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น ซึ่งการทดสอบจะเป็นการควบคุมค่าความหนืดของระบบและทำการเปลี่ยนค่าความหนืดของระบบ โดยเริ่มทดสอบที่ค่าความหนืดเริ่มต้น(C) เท่ากับ 20, 40 และ 60kN.s/m และความหนืดแปรผัน (C_s) เท่ากับ 100, 150 และ 200 เท่าของการDifferentialภายในแนวดิ่งของระบบ (Z_r) ซึ่งจะได้ผลของการทดสอบระบบ ดังนี้

4.2.1 ผลการทดสอบจากการ Input ภาวะในแนวดิ่งครั้งที่ 1($Z_r, 1$)

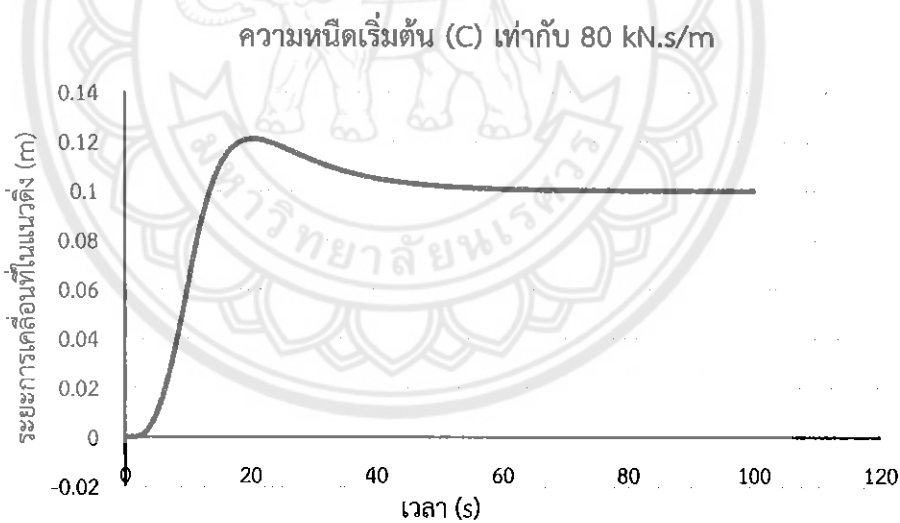
ความหนืดเริ่มต้น (C) เท่ากับ 40 kN.s/m



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลการทดสอบที่ $C = 40$ kN.s/m ของ $Z_r, 1$

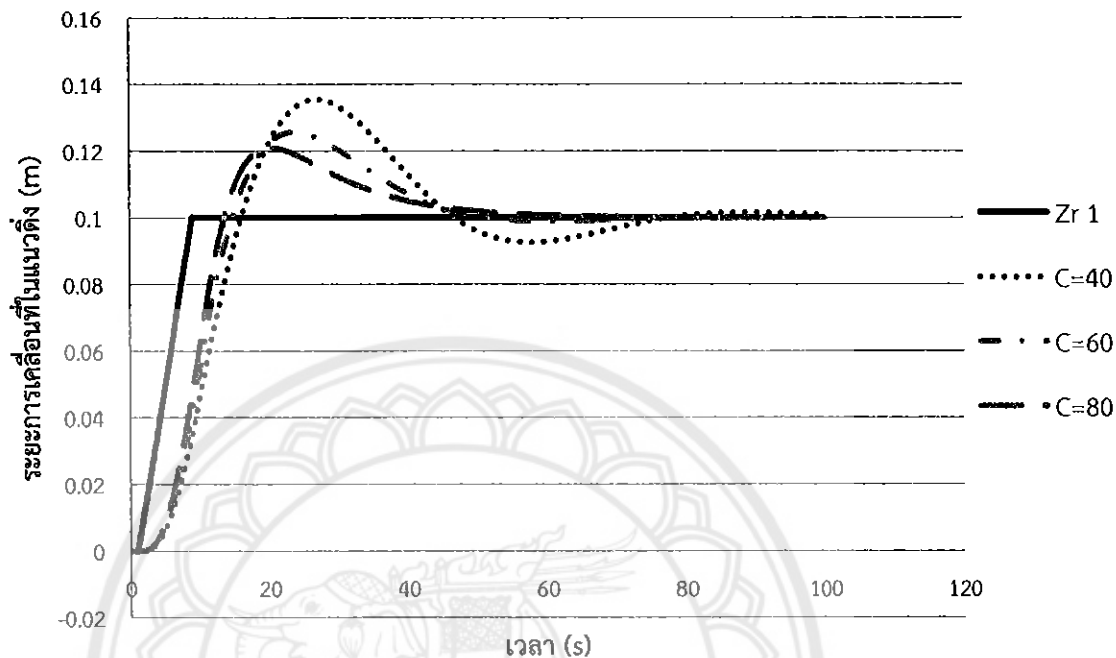


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลการทดสอบที่ $C = 60 \text{ kN.s/m}$ ของ $Z_r 1$



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลการทดสอบที่ $C = 80 \text{ kN.s/m}$ ของ $Z_r 1$

จากรูปที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 เป็นผลการทดสอบของการ Input ภาระในแนวดิ่งครั้งที่ 1 ($Z_r 1$) ซึ่งสามารถรวมผลของการทดสอบได้ดังรูปที่ 4.5 และสามารถวิเคราะห์ผลได้ดังต่อไปนี้

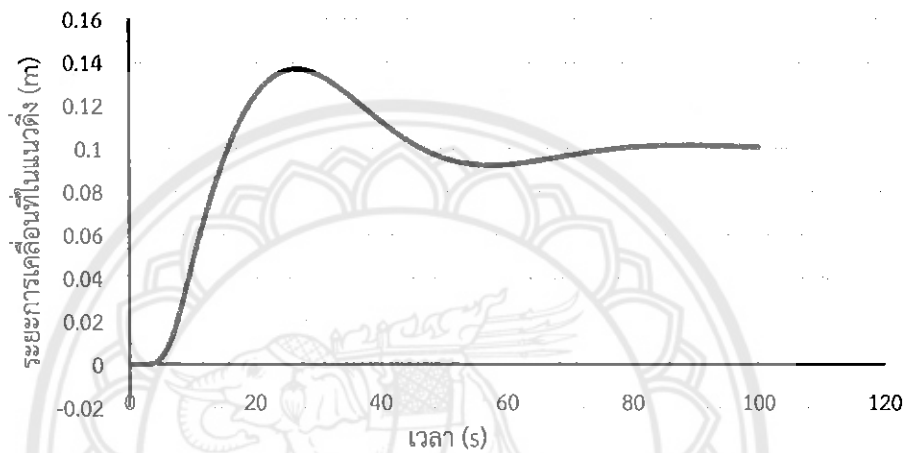
ผลของการทดสอบของ Z_r 1

รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลการทดสอบของการ Input ภาระในแนวดิ่งครั้งที่ 1

จากรูปที่ 4.5 เป็นการรวมผลของการทดสอบโดยการ Input ภาระในแนวดิ่งครั้งที่ 1 ($Z_r 1$) ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และทำการเปลี่ยนค่าความหนืดเริ่มต้น (C) ที่ค่าต่างๆ ได้แก่ 40, 60 และ 80 kN.s/m จะได้ ที่ค่าความหนืดเริ่มต้นเท่ากับ 40 kN.s/m ช่วงของกราฟที่ค่าสูงสุดจะมีค่ามากกว่า ช่วงของกราฟที่ค่าความหนืดเริ่มต้น 60 และ 80 kN.s/m และยังใช้เวลาในการเข้าสู่สมดุลมากกว่าโดยค่าความหนืดเริ่มต้นที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เวลาในการเข้าสู่สมดุลสั้นลง

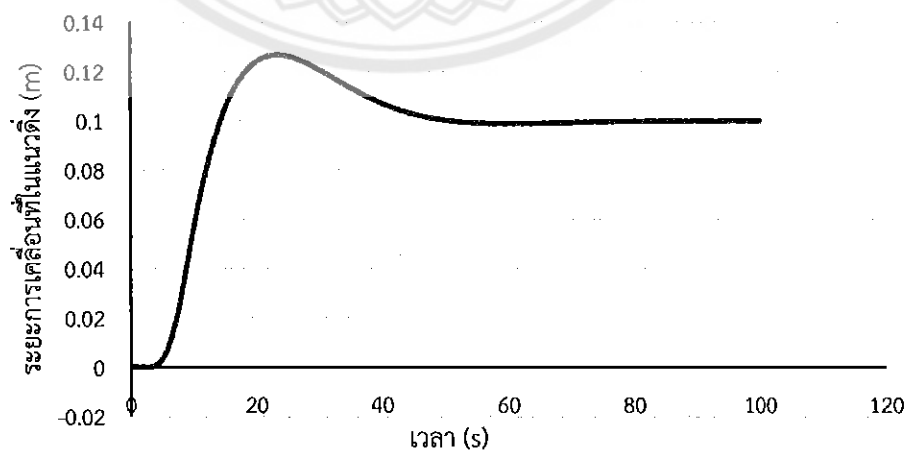
4.2.2 ผลการทดสอบจากการ Input ภาระในแนวดิ่งครั้งที่ 2 (Z_r , 2)

ความหนืดเริ่มต้น (C) เท่ากับ 40 kN.s/m



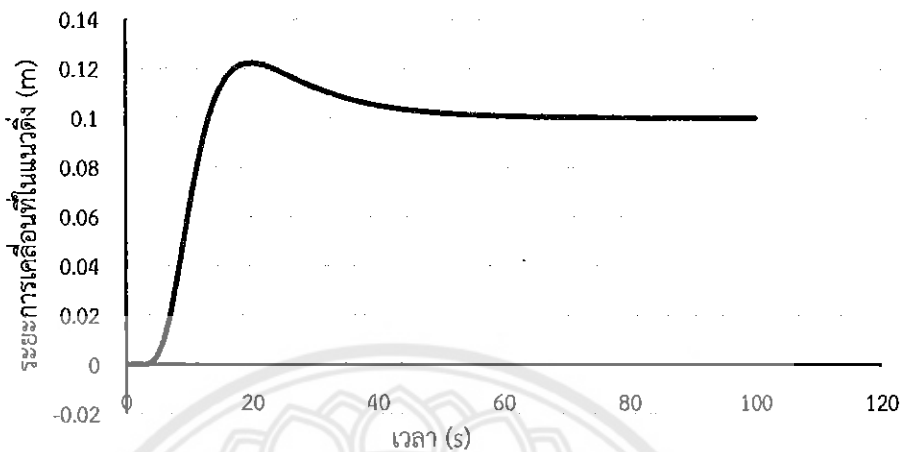
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลการทดสอบที่ $C = 40$ kN.s/m ของ Z_r , 2

ความหนืดเริ่มต้น (C) เท่ากับ 60 kN.s/m



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลการทดสอบที่ $C = 60$ kN.s/m ของ Z_r , 2

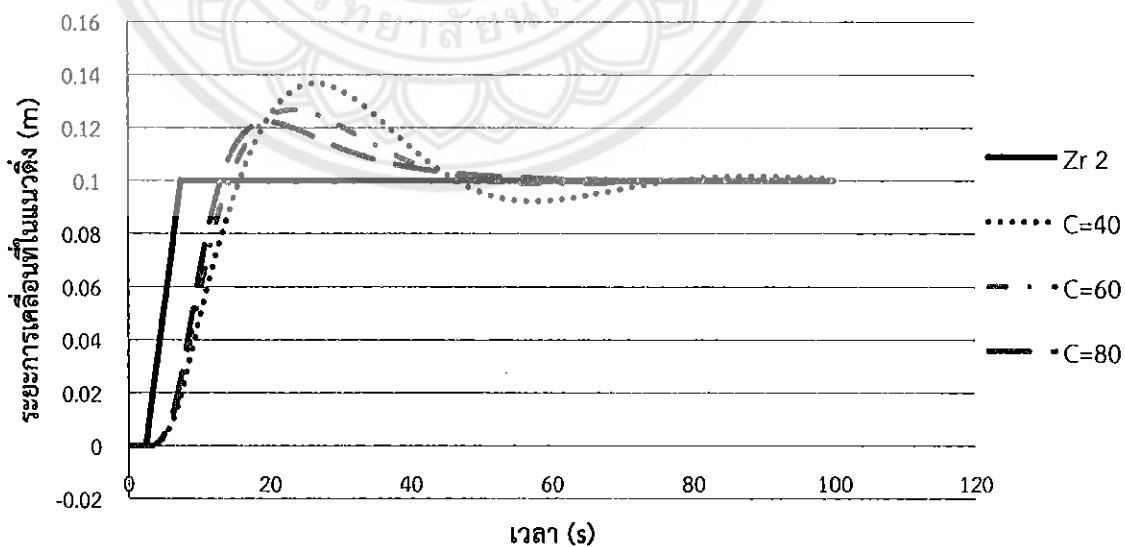
ความหนืดเริ่มต้น (C) เท่ากับ 80 kN.s/m



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลการทดสอบที่ C =80 kN.s/m ของ Z_r 2

จากรูปที่ 4.6, 4.7 และ 4.8 เป็นผลการทดสอบของการ Input ภาระในแนวดิ่งครั้งที่ 2 (Z_r 2) ซึ่งสามารถรวมผลของการทดสอบได้ดังรูปที่ 4.9 และสามารถวิเคราะห์ผลได้ดังต่อไปนี้

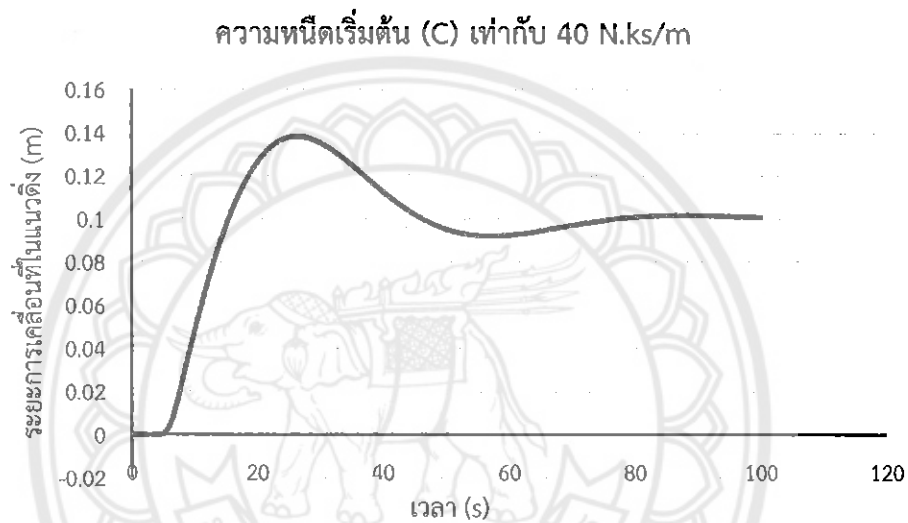
ผลการทดสอบของ Z_r 2



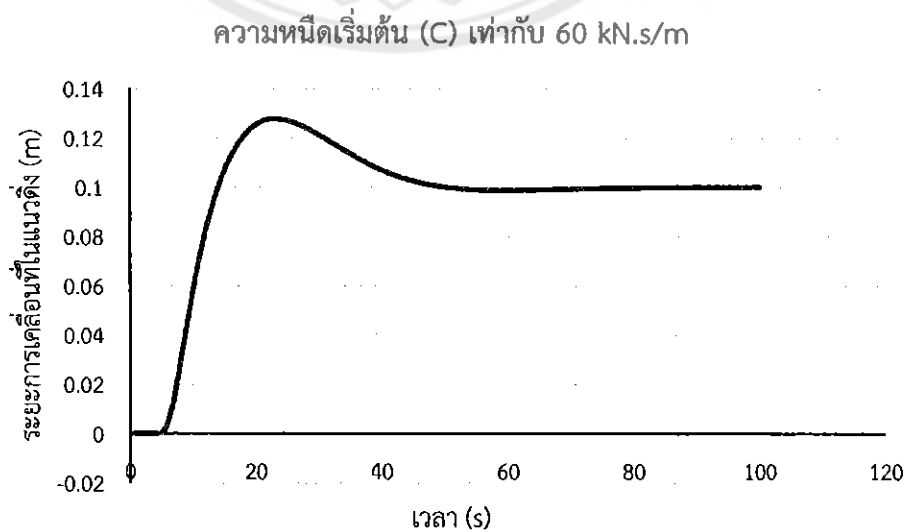
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงผลการทดสอบของการ Input ภาระในแนวดิ่งครั้งที่ 2

จากรูปที่ 4.9 เป็นผลรวมของการทดสอบโดยการ Input ภาระในแนวตั้งครั้งที่ 2 ($Z_r 2$) ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และทำการเปลี่ยนค่าความหนืดเริ่มต้น (C) ที่ค่าต่างๆ ได้แก่ 40, 60 และ 80 kN.s/m โดยผลของการทดสอบจะมีลักษณะคล้ายผลการทดสอบ Input ภาระในแนวตั้งครั้งที่ 1 ($Z_r 1$) โดยที่ลักษณะกราฟและเวลาในการเข้าสู่สมดุลมีค่าใกล้เคียงกันมาก

4.2.3 ผลการทดสอบจากการ Input ภาระในแนวตั้งครั้งที่ 3 ($Z_r 3$)

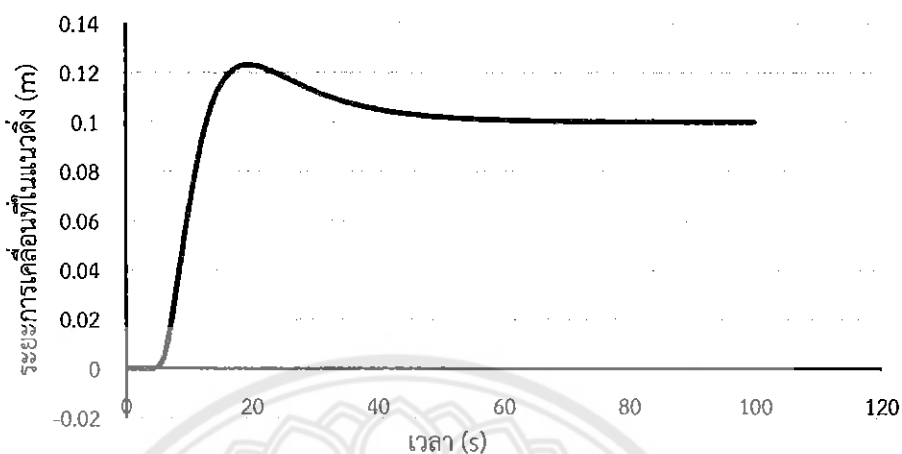


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงผลการทดสอบที่ $C = 40$ kN.s/m ของ $Z_r 3$



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงผลการทดสอบที่ $C = 60$ kN.s/m ของ $Z_r 3$

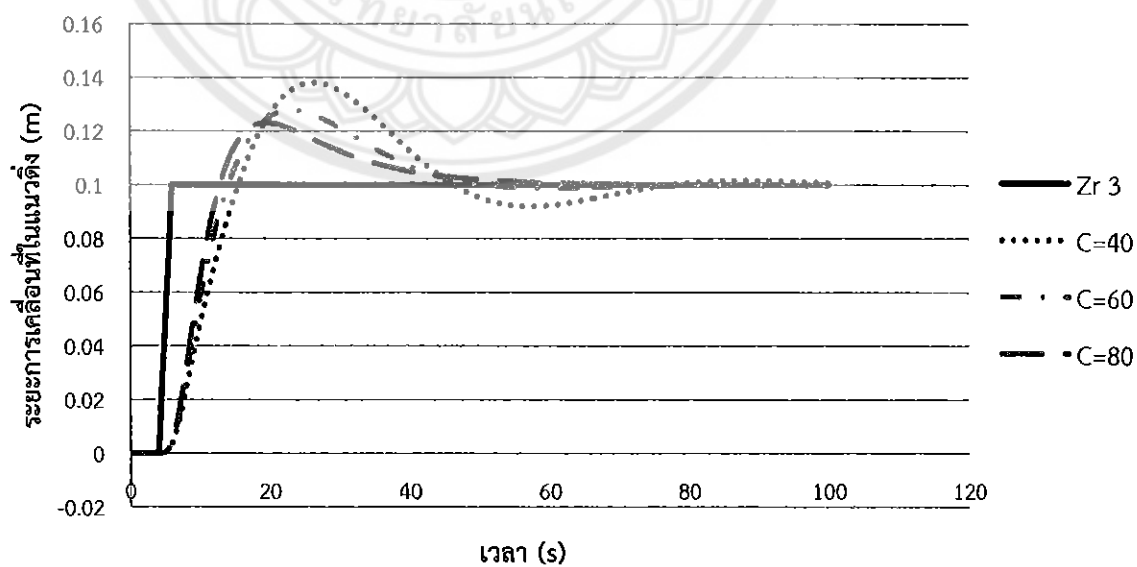
ความหนืดเริ่มต้น (C) เท่ากับ 80 kN.s/m



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงผลการทดสอบที่ $C = 80$ kN.s/m ของ $Z_r 3$

จากรูปที่ 4.10, 4.11 และ 4.12 เป็นผลการทดสอบของการ Input ภาระในแนวดิ่งครั้งที่ 3 ($Z_r 3$) ซึ่งสามารถรวมผลของการทดสอบได้ดังรูปที่ 4.13 และสามารถวิเคราะห์ผลได้ดังต่อไปนี้

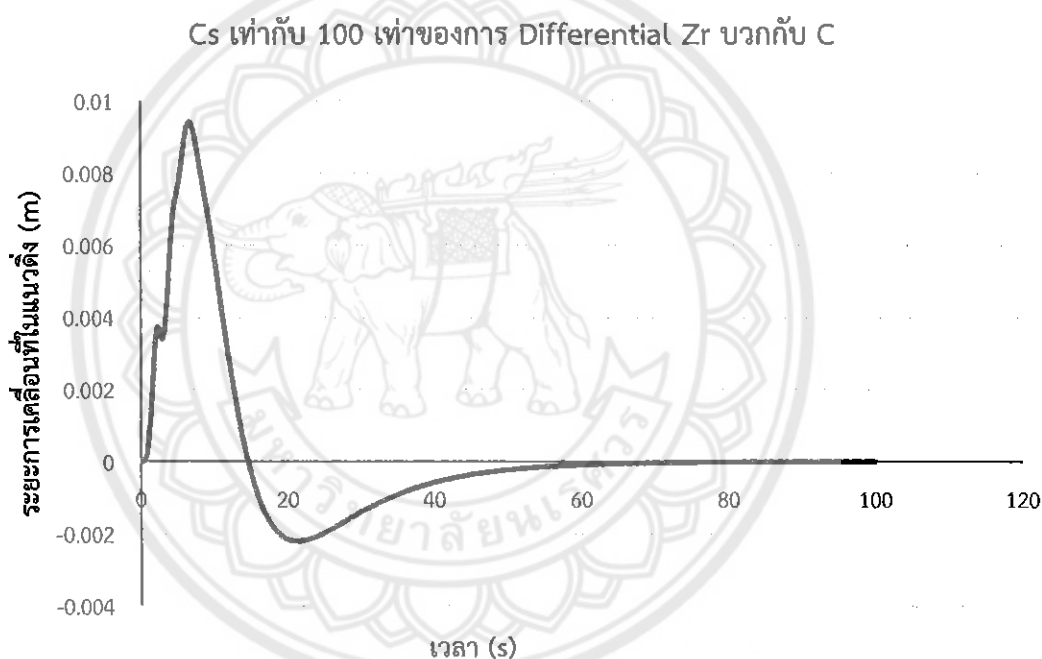
ผลการทดสอบของ $Z_r 3$



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงผลการทดสอบของการ Input ภาระในแนวดิ่งครั้งที่ 3

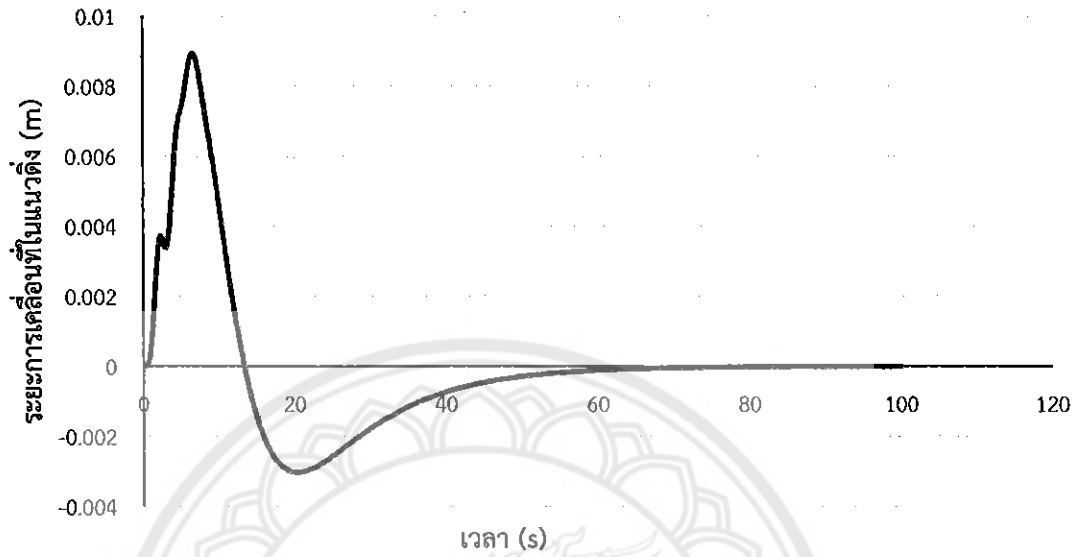
จากรูปที่ 4.13 เป็นผลรวมของการทดสอบโดยการ Input ภาระในแนวตั้งครั้งที่ 3 ($Z_r, 3$) ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และทำการเปลี่ยนค่าความหนืดเริ่มต้น (C) ที่ค่าต่างๆ ได้แก่ 40, 60 และ 80 kN.s/m โดยที่ลักษณะของกราฟภาระในแนวตั้งครั้งที่ 3 ($Z_r, 3$) จะมีความชันมากกว่ากราฟของภาระในแนวตั้งครั้งที่ 1 และ 2 ($Z_r, 1$ และ $Z_r, 2$) โดยที่ลักษณะกราฟและเวลาในการเข้าสู่สมดุลมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบจากภาระในแนวตั้งครั้งที่ 1 และ 2 ($Z_r, 1$ และ $Z_r, 2$)

4.2.4 ผลการทดสอบจากการ Input ภาระในแนวตั้งครั้งที่ 4 ($Z_r, 4$)



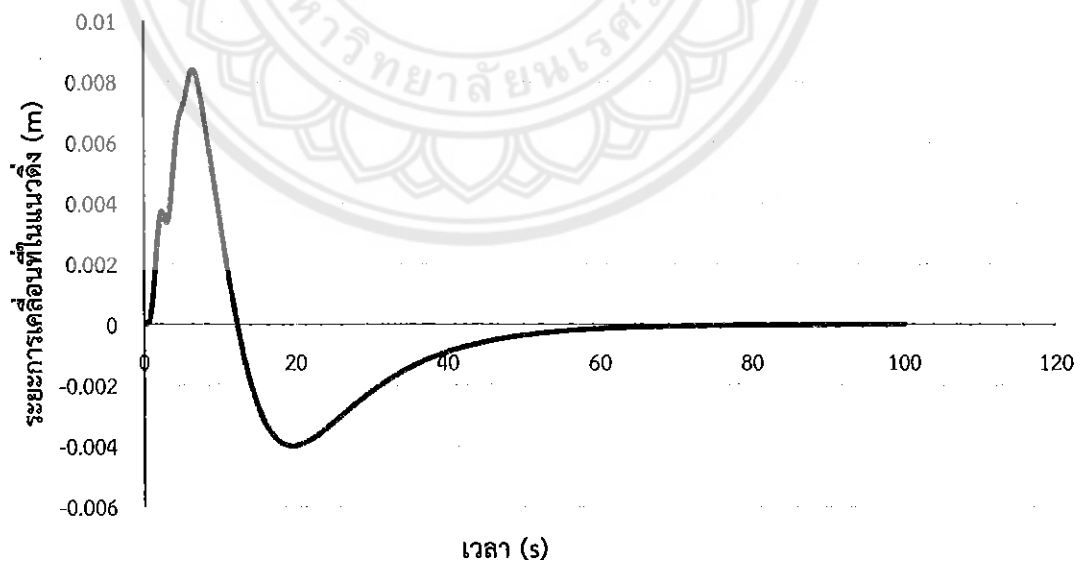
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงผลการทดสอบที่ $C_s = 100 \times \frac{d}{ds} Z_r + C$ ของ $Z_r, 4$

Cs เท่ากับ 150 เท่าของการ Differential Z_r บวกกับ C



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงผลการทดสอบที่ $C_s = 150 \times \frac{d}{ds} Z_r + C$ ของ Z_r 4

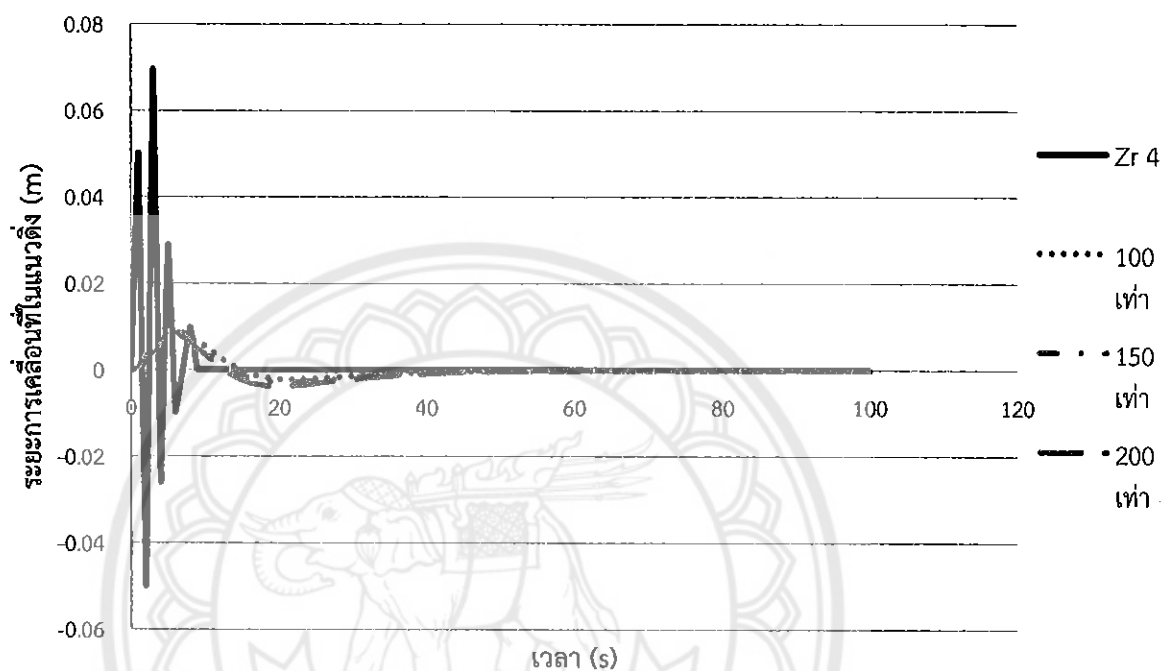
Cs เท่ากับ 200 เท่าของการ Differential Z_r บวกกับ C



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงผลการทดสอบที่ $C_s = 200 \times \frac{d}{ds} Z_r + C$ ของ Z_r 4

จากรูปที่ 4.14, 4.15 และ 4.16 เป็นผลการทดสอบของการ Input ภาระในแนวตั้งครั้งที่ 3($Z_r, 3$) ซึ่งสามารถรวมผลของการทดสอบได้ดังรูปที่ 4.17 และสามารถวิเคราะห์ผลได้ดังต่อไปนี้

ผลการทดสอบของ $Z_r, 4$



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงผลการทดสอบของการ Input ภาระในแนวตั้งครั้งที่ 4

จากรูปที่ 4.17 เป็นผลการทดสอบโดยการ Input ภาระในแนวตั้งครั้งที่ 4($Z_r, 4$) ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และใช้ค่าความหนืดเริ่มต้น (C) เท่ากับ $80 \text{ kN}\cdot\text{s}/\text{m}$ โดยที่ทำการเปลี่ยนค่าความหนืดแปรผัน (C_s) เท่ากับ 100 เท่า, 150 เท่า และ 200 เท่า ของการ Differential ภาระในแนวตั้งครั้งที่ 4 บวกกับค่าความหนืดเริ่มต้น จะได้ว่าระยะการเคลื่อนที่ในแนวตั้งกับเวลาในการเข้าสู่สมดุลของทั้ง 3 กราฟใกล้เคียงกันมาก แสดงว่าการปรับค่าความหนืดแปรผันมีผลต่อการเคลื่อนที่ของรถ ซึ่งจะมีผลมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับค่าความหนืดเริ่มต้นด้วยเช่นกัน

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 บทสรุปการออกแบบจำลอง 3 มิติ ของชุดทดสอบระบบกันสะเทือน

ในการออกแบบจำลอง 3 มิติ ของชุดทดสอบระบบกันสะเทือน โดยทำการออกแบบชิ้นส่วนและอุปกรณ์ต่างๆ ตามขนาดจริงมากที่สุด เริ่มจากการออกแบบระบบช่วงล่างรถยนต์ขนาดเล็ก (ล้อ ดุมล้อ และ Shock Absorber) ชุดไฮดรอลิก และโครงสร้างหลักของชุดทดสอบระบบกันสะเทือน ดังที่แสดงรายละเอียดต่างๆ ในบทที่ 3 และบทที่ 4 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า แบบจำลอง 3 มิติที่สร้างขึ้นเป็นแนวคิดในการสร้างชุดทดสอบจริง ซึ่งสามารถปรับปรุง แก้ไข และเพิ่มรายละเอียดต่างๆ ได้ตามความเหมาะสมและการใช้งาน

5.2 บทสรุปของการทดสอบจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในการทดสอบระบบกันสะเทือนจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยการ Input ภาระในแนวตั้งของระบบ (Z_r) 4 ครั้ง และกำหนดค่าคงที่ในการทดสอบคือ ค่าคงที่สปริงเท่ากับ (K_s) เท่ากับ 4.6 kN/m, ค่าคงที่ของยาง (K_r) เท่ากับ 46 kN/m, น้ำหนักหนือสปริง (M) เท่ากับ 350 kg, น้ำหนักได้สปริง (m) เท่ากับ 19.4 kg และค่าความหนืดแปรผันเท่ากับ 100 เท่าของการ Differential ภาระในแนวตั้ง (Z_r) บวกกับค่าความหนืดเริ่มต้น ซึ่งในการทดสอบ 3 ครั้งแรก จะทำการเปลี่ยนค่าความหนืดเริ่มต้น (C) 3 ค่า ได้แก่ 40, 60 และ 80 kN.s/m ตามลำดับ ผลที่ได้จากการทดสอบคือ ค่าความหนืดเริ่มต้น (C) ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะเวลาเคลื่อนที่ในแนวตั้งกับเวลาในการเข้าสู่สมดุลน้อยลง ดังนั้นจะสามารถสรุปได้ว่า ระยะเวลาเคลื่อนที่ในแนวตั้งและเวลาในการเข้าสู่สมดุล จะแปรผันตาม ค่าความหนืดเริ่มต้น (C)

ในการทดสอบครั้งที่ 4 จะทำการลองเปลี่ยนค่าความหนืดแปรผัน (C_s) 3 ค่า ได้แก่ 100 เท่า, 150 เท่า, และ 200 เท่า ของการ Differential ภาระในแนวตั้ง (Z_r) บวกกับค่าความหนืดเริ่มต้น (C) โดยการ Input ภาระในแนวตั้งของระบบครั้งที่ 4 (Z_r 4) และใช้ค่าความหนืดเริ่มต้น (C) เท่ากับ 80 kN.s/m โดยค่าคงที่ในการทดสอบเหมือนเดิม ผลที่ได้จากการทดสอบคือ เมื่อเพิ่มค่าความหนืดแปรผันจะทำให้ค่าสูงสุดของกราฟลดลง แต่ค่าต่ำสุดของกราฟมากขึ้น และมีผลต่อเวลาในการเข้าสู่สมดุลน้อยมาก ดังนั้น

สามารถสรุปได้ว่า ระยะเวลาเคลื่อนที่ในแนวตั้งกับเวลาในการเข้าสู่สมดุลจะแปรผันตามค่าความหนืดแปรผัน (C_d) แต่จะเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อทำการเปลี่ยนค่าความหนืดแปรผัน

จากการทดสอบระบบกันสะเทือนด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยการควบคุมความหนืดในช็อคแอบซอร์เบอร์ (Shock Absorber) ทำให้ระยะเวลาเคลื่อนที่ในแนวตั้งและเวลาเข้าสู่สมดุลน้อยลง ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า การควบคุมค่าความหนืดใน ช็อคแอบซอร์เบอร์ (Shock Absorber) ทำให้ระบบกันสะเทือนของรถยนต์มีการทำงานที่ดีขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบจำลอง 3 มิติและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของชุดทดสอบระบบกันสะเทือน โดยทำการทดสอบระบบกันสะเทือนจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทางคณะผู้จัดทำมีข้อเสนอแนะสำหรับผู้สนใจในการศึกษาเพิ่มเติมดังนี้

- 5.3.1 ศึกษาการเขียนแบบ 3 มิติ จากโปรแกรม CATIA V5
- 5.3.2 ศึกษารูปแบบและการจัดวางอุปกรณ์ของชุดทดสอบระบบกันสะเทือนในรูปแบบอื่นๆ เพิ่มเติม
- 5.3.3 ทำการทดสอบ Input ภาระในแนวตั้ง (Z_r) ค่าความหนืดเริ่มต้น (C) และค่าความหนืดแปรผัน (C_d) ในรูปแบบอื่นๆ เพิ่มเติม

เอกสารอ้างอิง

1. W.E. Misselhorn, N.J. Theron, and P.S. Els. Investigation of hardware-in-the-loop for use in suspension development. *Vehicle System Dynamics*, 44(1): 65-81, January 2006.
2. Olaf Gietelink, Jeroen Ploeg, Bart De Schutter and Michel Verhaegen. Development of advance driver assistance with vehicle hardware-in-the-loop simulation. *Vehicle System Dynamics*, 44(7):569-590, July 2006.
3. Felix Pfister, Clemeus Reitze, Alexander Schmidt. Hardware in the loop-The technologie of development and test of vehicle control system. *IPG Automotive Engineering Software + Consulting Pmbh*, Karlsruhe (2002).
4. Hyun-Chul Sohn, Keum-Shik Hong, and J.Karl Hedrick. Semi-Active Control of the Macpherson Suspension System : HIL Simulation. Control Applications, 2000. *Proceedings of the 2000 IEEE International Conference*: 982-987.
5. Sung-Ho Hwang, Seung-Jin Heo, Hong-Seok Kim, Kyo-Il Lee. 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,: 423-434, June 1997.
6. Drik J. Verburg, Alblert C.M. vab der Knapp, Jeroen Ploeg. Developing and Testing Intelligent Vehicles. *Intelligent Vehicle Symposium, 2002. IEEE Volume 2*, Issue,: 537-544, 17-21 June 2002.
7. P.T. Faithfull,R.J. Ball, R.P. Jones. An investigation into the use of hardware-in-the-loop simulation with a scaled Physical prototype as aid to design. *Journal of Engineering Design*, 12:3, 231-243.
8. Val Mills, Bernard Samuel, John Wagner. Modeling and Analysis of Automotive Antilock Brake Systems Subject to Vehicle Payload Shifting. *Vehicle System Dynamic*, 37:4, 428-310.
9. International Road Traffic Database (IRTAD). Available online at: <http://irtad.com>. (20 June 2013)
10. T.P.J. van der Sande, B.L.J. Gysen, I.J.M. Besselink, J.J.H. Paulides, E.A. Lomonova and H. Nijmeijer. Robust control of an electromagnetic active suspension system: Simulations and measurements. *Mechatronics*, 23, 204-212. (2013)

11. Suspension System. Available online at: <http://grandprixgroup.com>.

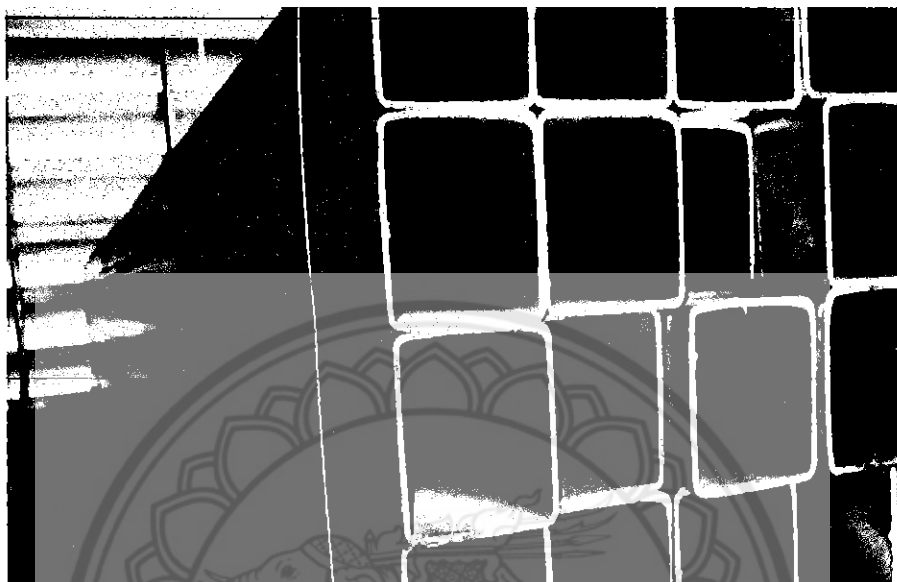
(22 June 2013)





1. ตัวอย่างอุปกรณ์จริงที่ใช้ในการออกแบบจำลอง 3 มิติ

1.1 เหล็กกล่องขนาด 2" x 2"



1.2 ชุดใช้คัทไฟฟ้า



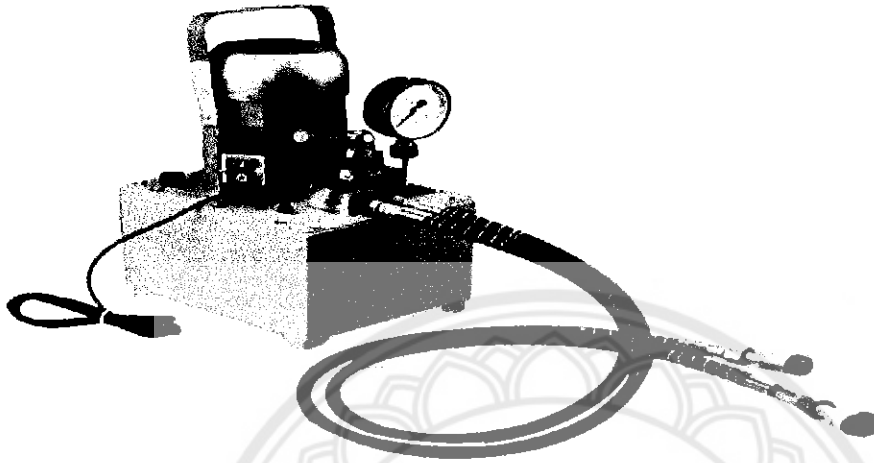
1.3 ล้อและยางรถยนต์ขนาด 17"



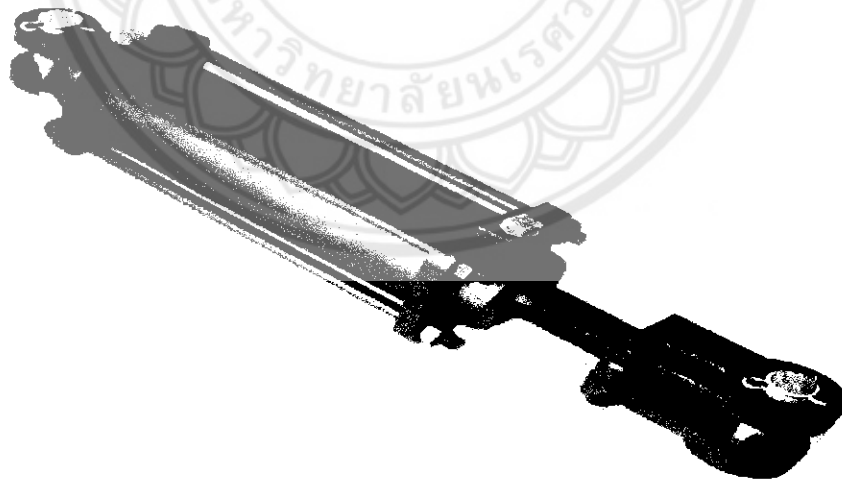
1.4 ชุดคุมล้อรถยนต์



1.5 ชุดปั๊มไฮดรอลิกไฟฟ้า

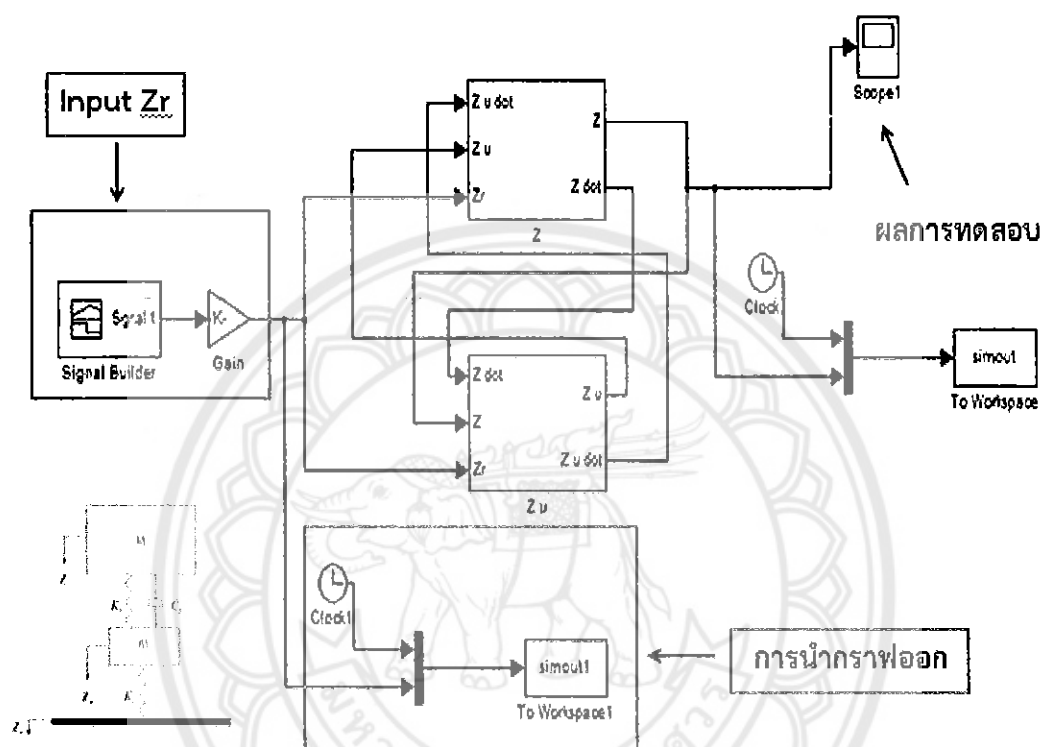


1.6 ชุดกระบอกระบบไฮดรอลิก



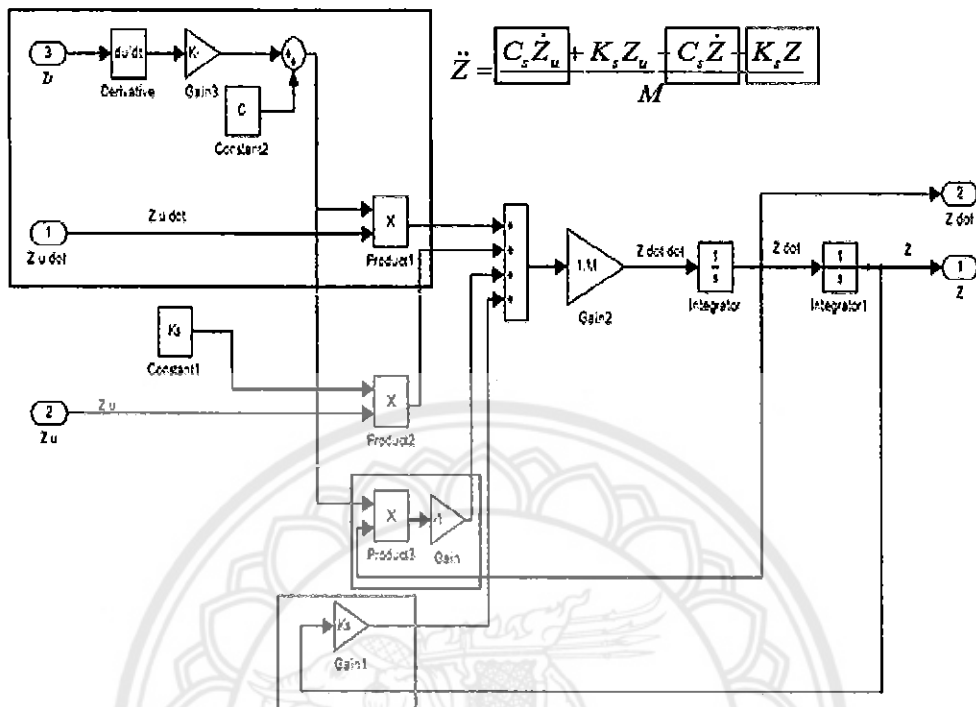
2. การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากสมการการเคลื่อนที่

รายละเอียดต่างๆ ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถอธิบายได้ดังรูปต่อไปนี้



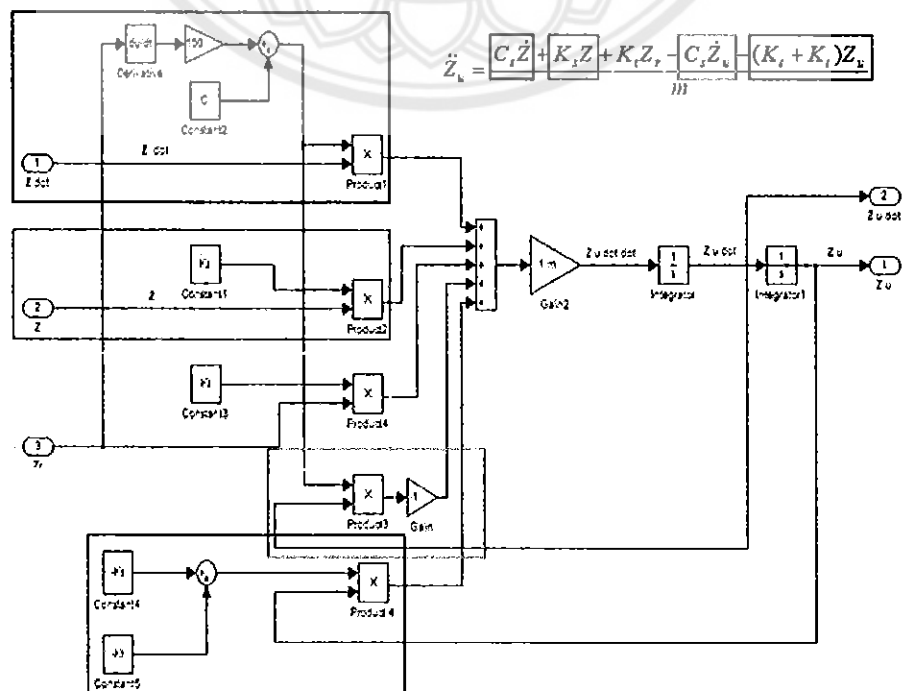
การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากสมการการเคลื่อนที่ที่ 1

$$M\ddot{Z} + C_s\dot{Z} + K_s Z = C_s\dot{Z}_u + K_s Z_u$$



การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากสมการการเคลื่อนที่ที่ 2

$$m\ddot{z}_u + C_s \dot{z}_u + (K_s + K_t)z_u = C_s \dot{z} + K_s z + K_t z_r$$



ประวัติผู้จัดทำโครงการ

1. นายจักรวาล ยอดศรี

เกิดวันที่ : 29 กันยายน 2530
 สถานที่เกิด : โรงพยาบาลสุรินทร์
 จังหวัด : สุรินทร์
 ประวัติการศึกษา : จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและมัธยมศึกษาตอน
 ปลายจากโรงเรียนสตรีศรีน่าน
 Email :

2. นายธนวัฒน์ เสนาใจ

เกิดวันที่ : 11 ธันวาคม 2534
 สถานที่เกิด : โรงพยาบาลนครปฐม
 จังหวัด : นครปฐม
 ประวัติการศึกษา : จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและมัธยมศึกษาตอน
 ปลายจากโรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม
 Email :

3. นายธรรมนุญ สร้อยพูล

เกิดวันที่ : 10 ธันวาคม 2534
 สถานที่เกิด : โรงพยาบาลโคกสำโรง
 จังหวัด : ลพบุรี
 ประวัติการศึกษา : จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและมัธยมศึกษาตอน
 ปลายจากโรงเรียนศรีเทพประชาสรรค์
 Email : verminator510@hotmail.co.th