หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์

การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น ณ ที่นั่งผู้โดยสารรถยนต์ สามารถเกิดได้จาก 2 สาเหตุหลัก คือการสั่นที่มาจากเครื่องยนต์และการสั่นที่มาจากสภาพพื้นถนนที่ขับผ่าน แนวทางในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นนี้ สามารถทำได้โดยการสร้างแบบจำลองการสั่น (Vibration model) ต่อจากนั้นจึงสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) เพื่อใช้วิเคราะห์การสั่นที่เกิดขึ้นแล้วจึงหาแนวทางควบคุมและลดการสั่นต่อไป

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การสร้างแบบจำลองการสั่นและหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นที่ตัวรถ โดยสมมติให้ที่นั่งผู้โดยสารรวมเป็นวัตถุแข็งเกร็งเดียวกันกับตัวรถ โดยสนใจอินพุท (input) คือสภาพพื้นถนนที่ขับผ่าน โดยส่วนสำคัญที่ส่งผ่านการสั่นจากพื้นถนนมายังตัวรถก็คือระบบแขวน (suspension system)

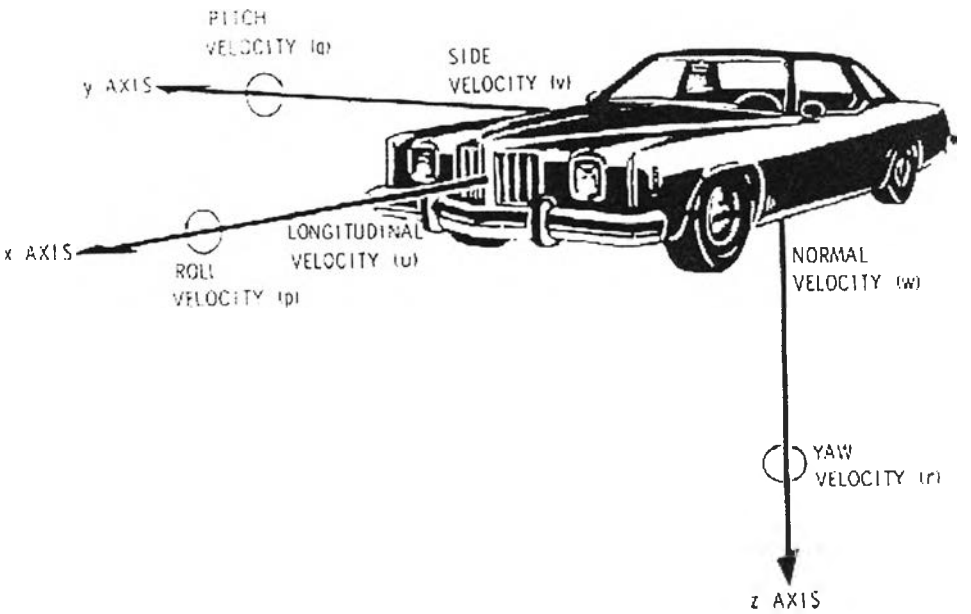
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองการสั่นมีค่าขึ้นกับพารามิเตอร์ (parameter) ต่างๆ เช่น คุณสมบัติเชิงมวลของรถ (mass property), คุณสมบัติเชิงความเฉื่อยของรถ (inertia property), ค่าความแข็งสปริง (spring stiffness) ของระบบแขวน, ค่าความหน่วง (damping) ของระบบแขวน และค่าความแข็งของยางรถยนต์ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆเหล่านี้ บางค่าก็สามารถประมาณหรือคำนวณได้โดยตรง แต่บางค่าไม่สามารถคำนวณได้ง่ายๆโดยตรงเนื่องจากส่วนประกอบต่างๆรถยนต์และระบบแขวนรถยนต์มีส่วนเชื่อมต่อกันอย่างสลับซับซ้อน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆโดยใช้วิธีเชิงการทดลอง

1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา

รูปที่ 1.1 เป็นมาตรฐานของระบบแกนควบคุมทิศทางที่กำหนดโดยสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ (Society of Automotive Engineers, SAE) ซึ่งการสั่นของรถยนต์สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งหมด 6 ทิศทางดังนี้คือ

- การสั่นตามแนวเลื่อนที่ (translation) 3 ทิศทาง ได้แก่ การสั่นตามแกน x (สั่นตามยาว) , การสั่นตามแกน y (สั่นด้านข้าง) และการสั่นตามแกน z (สั่นขึ้นลง)

- <u>การสั่นแบบหมุน (rotation)</u> 3 ทิศทาง ได้แก่ การหมุนรอบแกน x หรือการโคลงตัว (rolling) , การหมุนรอบแกน y หรือการกระดอน (pitching) , การหมุนรอบแกน z หรือการส่าย (yawing)

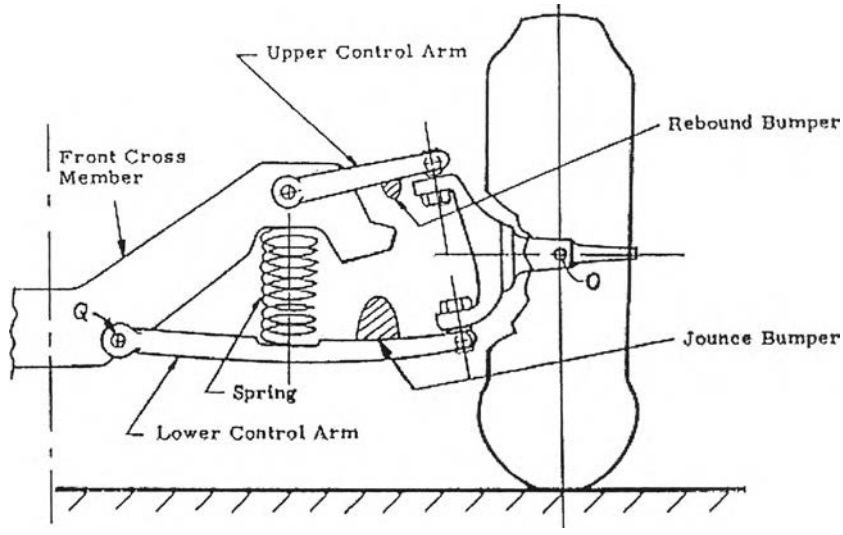


รูปที่ 1.1 ระบบแกนควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของรถ กำหนดโดยสมาคมวิศวกรรมยานยนต์

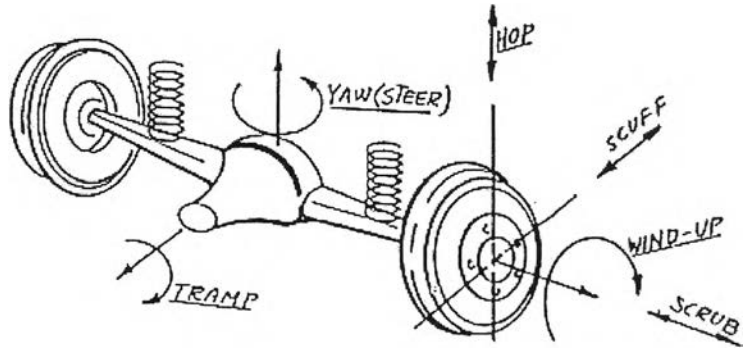
Larry J. Howell และ David C. Chang [1] ได้ศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองการสั่นของรถยนต์ โดยสร้างแบบจำลองในลักษณะ แบบจำลองวัตถุแข็งเกร็ง (rigid body model) มีข้อสมมติสำคัญคือ

1) ส่วนทั้งหมดของรถยนต์ ที่ถูกรองรับด้วยระบบแขวน เช่น ตัวถังรถ (car body), เครื่องยนต์ (engine) รวมทั้งที่นั่งผู้โดยสาร ถูกรวมเป็นวัตถุแข็งเกร็งเดียวกัน โดยเรียกว่า มวลถูกแขวน (sprung mass) ซึ่งมวลในส่วนนี้รวมมวลของส่วนประกอบของระบบแขวน (suspension members)ไปด้วย
2) ส่วนที่เหลือของรถยนต์ ที่ไม่ได้ถูกรองรับด้วยระบบแขวน แต่ถูกรองรับด้วยยางรถ (tyre) ถูกเรียกว่า มวลไม่ถูกแขวน (unsprung mass) ประกอบไปด้วย
   - ล้อหน้า 2 ล้อ มีความแข็งเกร็ง และมีการเคลื่อนที่เป็นอิสระต่อกัน ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำหรับรถยนต์ที่มีระบบแขวนด้านหน้าอิสระ (independent front suspension) ดังรูปที่ 1.2

- ชุดเฟืองท้าย, เพลาล้อหลัง และล้อหลังทั้ง 2 ข้าง ถูกรวมเป็นวัตถุแข็งเกร็งเดียวกัน (ต่อไปจะใช้คำเรียก ชุดเพลาล้อหลัง) ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำหรับรถยนต์ที่มีระบบแขวนด้านหลังแบบคานแข็ง (solid rear axle suspension) ดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.2 ส่วนประกอบของระบบแขวนด้านหน้าแบบอิสระ



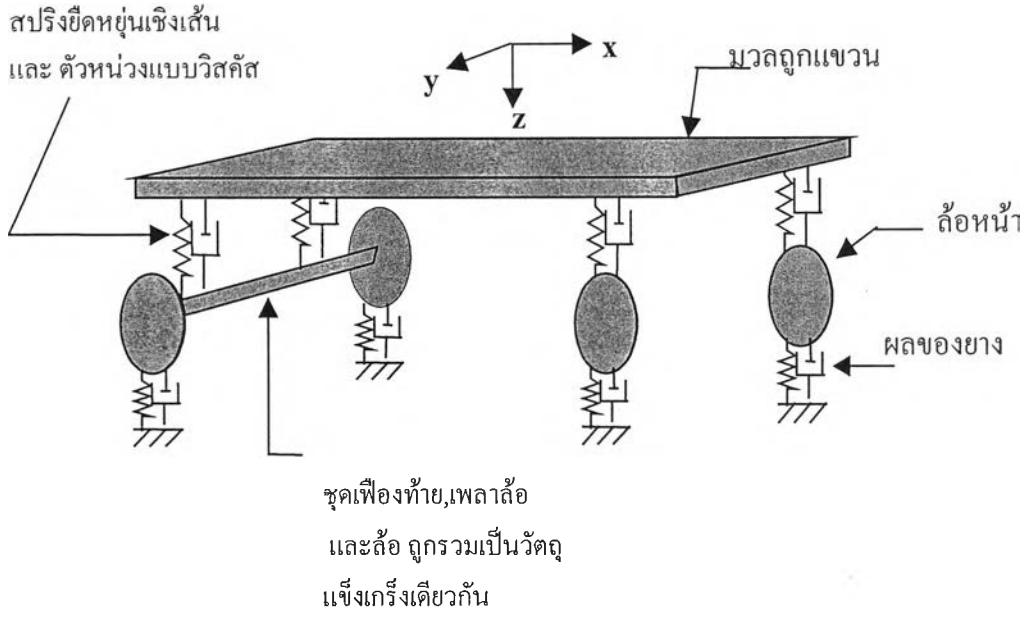
รูปที่ 1.3 การเคลื่อนที่แบบต่างๆที่เกิดขึ้นได้กับระบบแขวนด้านหลังแบบคานแข็ง

3) ส่วนประกอบต่างๆที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อ ระหว่างมวลถูกแขวนกับมวลไม่ถูกแขวน เช่น สปริงแหนบ (leaf spring), โช้คอัปซอร์บเบอร์, แขนควบคุม (control arm) และอื่นๆ สามารถถูกแทนด้วยสปริงที่มีความยืดหยุ่นแบบเชิงเส้น (linear elastic spring) และตัวหน่วงแบบวิสคัส (viscous damping)

4) ผลของยาง ถูกแทนด้วยสปริงที่มีความยืดหยุ่นเชิงเส้น และตัวหน่วงแบบวิสคัส

5) การสั่นเกิดขึ้นไม่มาก ทำให้แบบจำลองมีความเป็นเชิงเส้น

จากข้อสมมติดังกล่าว เขียนเป็นแผนภาพแบบจำลองได้ดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 แบบจำลองวัตถุแข็งเกร็ง ตามข้อสมมติของ Larry J. Howell และDavid C. Chang

จากแผนภาพแบบจำลองวัตถุแข็งเกร็ง แต่ละวัตถุแข็งเกร็งมีการเคลื่อนที่ได้ 6 ระดับขั้นเสรี ยกตัวอย่างเช่น เฉพาะในส่วนของชุดเพลาล้อหลัง จะมีการเคลื่อนที่ได้ถึง 6 ระดับขั้นเสรี ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1.3 แต่ Larry J. Howell และ David C. Chang ได้สร้างสมการแบบจำลองคณิตศาสตร์ โดยคำนึงการเคลื่อนที่ของระบบทั้งหมด เพียง 7 ระดับขั้นเสรี (ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่หลักที่เกิดขึ้นในการขับขี่รถยนต์บนท้องถนน) ดังนี้คือ

- <u>มวลถูกแขวน</u> คิด 3 ระดับขั้นเสรี คือ การเคลื่อนที่ขึ้นลงตามแกน Z , การหมุนรอบแกน X และการหมุนรอบแกน Y
- <u>ล้อหน้า 2 ล้อ</u> คิด 2 ระดับขั้นเสรี คือการเคลื่อนที่ขึ้นลงตามแกน Z ของแต่ละล้อ ที่เป็นอิสระต่อกัน
- <u>ชุดเพลาล้อหลัง</u> คิด 2 ระดับขั้นเสรี คือการเคลื่อนที่ขึ้นลงตามแกน Z และการหมุนรอบแกน X

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อวิเคราะห์รูปแบบการสั่นจากที่คำนึงการเคลื่อนที่ 7 ระดับขั้นเสรี พบว่าได้รูปร่างการสั่นฐานนิยม (mode shape) เกิดขึ้นใน 7 รูปแบบดังนี้คือ

1) โหมดการเด้นของมวลถูกแขวน (body bounce)

คือการเคลื่อนที่ขึ้นลงของตัวรถทั้งคัน

2) โหมดการกระดอนของมวลถูกแขวน (body pitch)

คือการเคลื่อนที่ขึ้นลงของตัวรถด้านหน้าและด้านหลังในทิศทางที่ตรงข้ามกัน

3) โหมดการโคลงตัวของมวลถูกแขวน (body roll)

คือการเคลื่อนที่ขึ้นลงของตัวรถด้านซ้ายและด้านขวาในทิศทางที่ตรงข้ามกัน

4) การกระโดดของล้อหน้าทั้ง 2 ล้อ (front wheel hop)

คือการเคลื่อนที่ขึ้นลงของล้อหน้าทั้ง 2 ล้อ ในทิศทางตามกัน

5) โหมดการกระดอนของล้อหน้าทั้ง 2 ล้อ (front wheel tramp)

คือการเคลื่อนที่ขึ้นลงของล้อหน้าทั้ง 2 ล้อ ในทิศทางตรงข้ามกัน

6) โหมดการกระโดดของชุดเพลาล้อหลัง (rear wheel hop)

คือการเคลื่อนที่ขึ้นลงของชุดเพลาล้อหลังทั้งชุด

7) โหมดการกระดอนของชุดเพลาล้อหลัง (rear wheel tramp)

คือการเคลื่อนที่ขึ้นลงของชุดเพลาล้อหลังด้านซ้ายและขวา ในทิศทางตรงข้ามกัน

Larry J. Howell และ David C. Chang ได้ทำการทดลองกับรถยนต์โดยสารทดสอบ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ปรากฏอยู่ในแบบจำลองคณิตศาสตร์ ในขณะที่ยังไม่มีผู้โดยสาร (โดยไม่คำนึงผลของตัวหน่วง) ได้ผลดังนี้

คุณสมบัติเชิงมวล

- มวลของมวลถูกแขวน 1065 kg
- มวลล้อด้านหน้า 1 ล้อ 36.5 kg
- มวลของชุดเพลาล้อหลัง 102 kg

คุณสมบัติเชิงความเฉื่อย

- ความเฉื่อยเชิงมวลของมวลถูกแขวน รอบแกน x (roll) 190 $kg\text{-}m^2$
- ความเฉื่อยเชิงมวลของมวลถูกแขวน รอบแกน y (pitch) 1080 $kg\text{-}m^2$
- ความเฉื่อยเชิงมวลของชุดเพลาล้อหลัง รอบแกน x 32 $kg\text{-}m^2$

คุณสมบัติความแข็งสปริง

- ค่าความแข็งสปริงของยางล้อรถ (ณ ความดัน 165 kPa) 184 kN/m
- ค่าความแข็งสปริงของระบบแขวนด้านหน้า (front wheel rate) 18.7 kN/m
- ค่าความแข็งสปริงระบบแขวนด้านหลัง (rear wheel rate) 26.1 kN/m

คุณสมบัติเชิงมิติ

- ระยะระหว่างล้อหน้ากับล้อหลัง (wheel base) 2.42 m
- ระยะจากล้อหน้าถึงจุด c.g. ของมวลถูกแขวน 1.20 m
- ระยะจากล้อหลังถึงจุด c.g. ของมวลถูกแขวน 1.22 m
- ความกว้างระหว่างล้อ 2 ข้าง ด้านหน้า (front track width) 1.38 m
- ความกว้างระหว่างล้อ 2 ข้าง ด้านหลัง (rear track width) 1.35 m

หลังจากนำค่าพารามิเตอร์เหล่านี้แทนในแบบจำลองคณิตศาสตร์และคำนวณหาค่าความถี่ธรรมชาติของการสั่นทั้ง 7 โหมด (โดยตัดผลความหน่วงทิ้งไป) ได้ผลตามตารางที่ 1.1

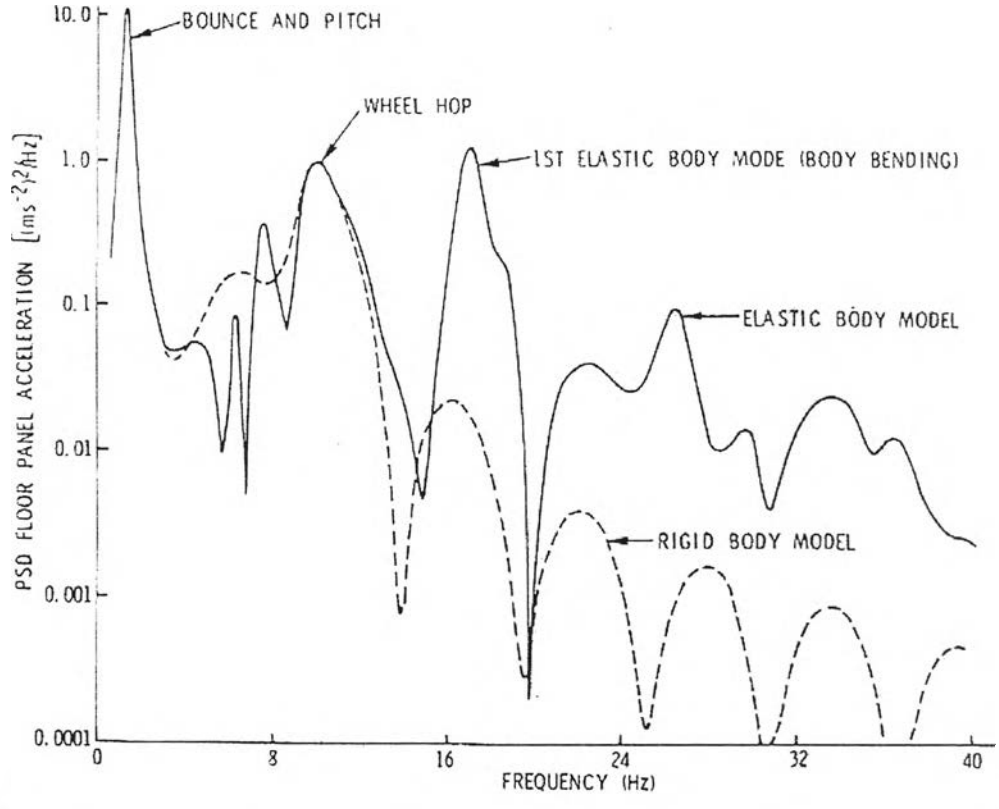
ตารางที่ 1.1 ค่าความถี่ธรรมชาติของโหมดการสั่นต่างๆ ของแบบจำลองวัตถุแข็งเกร็ง 7 ระดับขั้นเสรี โดยตัดผลของความหน่วง (งานวิจัยของ Larry J. Howell และ David C. Chang)

โหมดของการสั่น		ค่าความถี่ธรรมชาติ (Hz)
การเต้นขึ้นลง (มวลถูกแขวน)	(body bounce)	1.33
การกระดอน (มวลถูกแขวน)	(body pitch)	1.71
การโคลงตัว (มวลถูกแขวน)	(body roll)	2.27
การกระโดด ของล้อหน้า	(front wheel hop)	11.87
การกระดอน ของล้อหน้า	(front wheel tramp)	11.87
การกระโดด ของชุดเพลาล้อหลัง	(rear wheel hop)	10.19
การกระดอน ของชุดเพลาล้อหลัง	(rear wheel tramp)	12.63

จากผลการทดลองสังเกตได้ว่า โหมดการเต้นขึ้นลง, การกระดอน และการโคลงตัวของมวลถูกแขวนมีค่าความถี่ธรรมชาติต่ำ สำหรับโหมดการกระโดดของล้อและการกระดอนของล้อ มีค่าความถี่ธรรมชาติที่สูงกว่ามาก ซึ่งค่าเหล่านี้ถูกออกแบบไว้แล้วสำหรับรถยนต์โดยสาร [2]

ความเป็นจริงแล้ว การสั่นของตัวรถยนต์สามารถเกิดขึ้นได้ในหลายโหมด เช่น โหมดการสั่นที่มาจากเครื่องยนต์ (engine mode) , โหมดยืดหยุ่นของตัวรถ (elastic body mode) เช่นการโก่งงอ (bending) หรือการบิด (torsion) ของโครงรถ ซึ่งโหมดต่างๆเหล่านี้ เป็นผลเนื่องมาจากความไม่

แข็งเกร็งของตัวรถ Larry J. Howell และ David C. Chang ได้วิเคราะห์เปรียบเทียบผลในส่วนนี้ด้วย โดยจำลองสถานการณ์รถวิ่งบนพื้นถนนด้วยอัตราเร็วคงที่ และวิเคราะห์ค่าความเร่งที่เกิดขึ้นบริเวณที่นั่งผู้โดยสารในโดเมนของความถี่ โดยเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง 2 รูปแบบ คือแบบจำลองวัตถุแข็งเกร็ง (rigid body model) กับแบบจำลองที่เพิ่มโหมดยืดหยุ่น (elastic body model) ซึ่งได้ผลดังรูป 1.5



รูปที่ 1.5 อัตราเร่งที่เกิดขึ้นบริเวณที่นั่งผู้โดยสารในโดเมนของความถี่ จากการนำจำลองสถานการณ์รถวิ่งบนพื้นถนน ด้วยอัตราเร็วคงที่ (งานวิจัยของ Larry J. Howell และ David C. Chang)

จากรูปที่ 1.5 สรุปได้ว่า ขณะรถวิ่งบนถนน ความเร่งจะมีแอมปลิจูด (amplitude) สูงที่โหมดการสั่นหลักๆ ทั้ง 7 โหมดของแบบจำลองวัตถุแข็งเกร็ง ส่วนโหมดการสั่นแบบยืดหยุ่นที่นอกเหนือจากนี้ มีแอมปลิจูดต่ำกว่ามาก แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองวัตถุแข็งเกร็งสามารถใช้อธิบายการสั่นที่เกิดขึ้นกับรถได้ใกล้เคียงกับแบบจำลองที่เพิ่มโหมดยืดหยุ่นเข้าไว้ด้วย

ในงานสรุปผลงานวิจัยของ Pinhas Barak [2] ได้กล่าวถึงผลการศึกษาความเร่งที่เกิดขึ้นบนที่นั่งผู้โดยสารในโดเมนของความถี่ เมื่อนำรถทดสอบวิ่งด้วยอัตราเร็วคงที่บนพื้นถนนแบบเรียบ (fair highway) พบว่าได้ผลลัพธ์ในทำนองเดียวกันกับงานวิจัยของ Larry J. Howell และ David C. Chang นั่นคือ ความเร่งของการสั่นที่เกิดขึ้นมีแอมปลิจูดสูงในโหมด 7 โหมดหลักๆ ของแบบจำลองวัตถุแข็งเกร็ง

1.3 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

ศึกษาแบบจำลองการสั่นสะเทือนของรถยนต์ ด้วยวิธีเชิงการทดลอง โดยคำนึงถึงอินพุทที่มาจากสภาพพื้นถนน และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้อยู่ในรูปแบบจำลองโมดัล

1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

ศึกษาแบบจำลองการสั่นสะเทือนของรถยนต์โดยคำนึงอินพุทที่มาจากสภาพพื้นถนน และมีข้อสมมติที่สำคัญ คือ

- ส่วนทั้งหมดของรถยนต์ที่ถูกรองรับด้วยระบบแขวน เช่น ตัวถังรถ , เครื่องยนต์ รวมทั้งที่นั่งผู้โดยสาร ถูกรวมเป็นวัตถุแข็งเกร็งเดียวกัน
- ล้อหน้า 2 ล้อ มีความแข็งเกร็ง และมีการเคลื่อนที่เป็นอิสระต่อกัน
- การสั่นของตัวรถเกิดขึ้นน้อย ซึ่งข้อสมมตินี้ ทำให้แบบจำลองมีความเป็นเชิงเส้น
- ส่วนประกอบต่างๆของระบบแขวนรวมถึงยางรถ สามารถถูกแทนด้วยสปริงที่มีความยืดหยุ่นแบบเชิงเส้น และตัวหน่วงแบบวิสคัส

รถที่ใช้ทดสอบเป็นรถกระบะบรรทุกขนาดเล็ก ขับเคลื่อนล้อหลัง ที่มีระบบรองรับน้ำหนักด้านหลังเป็นแบบคานแข็ง (solid rear axle suspension) และมีระบบรองรับน้ำหนักด้านหน้าเป็นแบบอิสระ (independent front suspension) ซึ่งเป็นรถที่มีความเหมาะสมกับแบบจำลองการสั่นที่จะทำการศึกษา โดยคำนึงการเคลื่อนที่ 7 ระดับขั้นเสรี ซึ่งจะทำให้เกิด 7 โหมดการสั่นได้แก่ โหมดการเต้นขึ้นลง, การกระดอน และการโคลงตัวของมวลถูกแขวน และโหมดการกระโดด,การกระดอน ของทั้งล้อหน้าและล้อหลัง อีก 4 โหมด (รายละเอียดบางประการเกี่ยวกับรถที่ใช้ในการทดสอบ แสดงไว้ในภาคผนวก ก)

1.5 ขั้นตอนการทำการศึกษา

1) ศึกษาแบบจำลองการสั่นของรถ โดยพิจารณา 7 ระดับขั้นเสรี พร้อมทั้งสร้างสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
2) ศึกษาวิธีการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ด้วยวิธีเชิงการทดลอง
3) จัดเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่จำเป็นต้องใช้ในการทดลอง
4) ทำการทดลอง โดยกระตุ้นให้เกิดการสั่นกับรถทดสอบในรูปแบบต่างๆกัน ทั้งขณะที่ไม่มีภาระบรรทุก และมีภาระบรรทุกอยู่ที่ค่าค่าหนึ่ง
5) นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ เพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ สามารถนำไปใช้ศึกษาการสั่นที่เกิดขึ้นกับรถยนต์เมื่อมีแรงมากระทำ เช่น การขับรถผ่านสภาพพื้นถนนที่มีความขรุขระ ซึ่งจะเป็นแนวทางในการออกแบบระบบควบคุมการสั่นเพื่อลดการสั่นที่เกิดขึ้น