

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้นให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
023247 11. ล.ค. 2532
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนมุมเลี้ยวของล้อหลังกับล้อหน้าและความเร็วรถ	7
รูปที่ 2	ส่วนประกอบหลักของระบบบังคับเลี้ยวสี่ล้อในรถมาสด้า	8
รูปที่ 3	หน่วยควบคุมสถานะการเลี้ยว	10
รูปที่ 4	หลักการการทำงานของหน่วยควบคุมสถานะการเลี้ยวในสถานะต่าง ๆ	11
รูปที่ 5	ระบบบังคับเลี้ยวล้อหน้า	14
รูปที่ 6	ระบบบังคับเลี้ยวล้อหลัง	15
รูปที่ 7	การเปรียบเทียบทางด้านเสถียรภาพและการบังคับควบคุมของระบบ 4-WS และ 2-WS	16
รูปที่ 8	การเปรียบเทียบพฤติกรรมของรถ 4-WS และรถ 2-WS ขณะเข้าโค้ง	17
รูปที่ 9	การเปรียบเทียบเสถียรภาพของรถ 4-WS และรถ 2-WS ขณะเปลี่ยนช่องทางเดินรถที่ความเร็วสูง	18
รูปที่ 10	แสดงวงเลี้ยวที่แคบกว่าของรถ 4-WS เปรียบเทียบกับรถ 2-WS	19
รูปที่ 11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความหักเหของตัวรถต่อมุมพวงมาลัยและความเร็วรถ	20
รูปที่ 12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความล่าช้าในการตอบสนองและความเร็วรถ	20
รูปที่ 13	แสดงแรงคอนเนอร์ที่กระทำกับยางและมุมสั่น โกลของรถที่เกิดขึ้นขณะเข้าโค้ง	21
รูปที่ 14	กราฟแสดงความอาการส่ายของตัวรถหลังจากการเข้าโค้ง	22
รูปที่ 15	แสดงการเปรียบเทียบลักษณะอาการของรถขณะเข้าโค้งด้วยความเร็วต่ำและความเร็วสูง	23
รูปที่ 16	โครงสร้างของระบบบังคับเลี้ยวสี่ล้อของรถฮอนด้า	24
รูปที่ 17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมเลี้ยวล้อหน้า มุมเลี้ยวล้อหลัง	24

รูปที่ 18	กลไกเวลาเชิงศูนย์คู่	25
รูปที่ 19	ห้องเก็บรบบังคับเลี้ยวล้อหลัง	26
รูปที่ 20	การทำงานของกลไกเวลาเชิงศูนย์คู่	27
รูปที่ 21	แสดงโครงสร้างของระบบไฮคาสในรถนิสสัน CUE-X	30
รูปที่ 22	แสดงระบบบังคับเลี้ยวล้อหลังเพื่อความคล่องตัวในรถนิสสัน CUE-X	31
รูปที่ 23	แสดงหลักการทำงานของระบบ TTL	33
รูปที่ 24	แสดงการเกิด โท-เอาท์ ของระบบ TTL	34
รูปที่ 25	แสดงการเคลื่อนตัวของปีกนกคู่สัมพัทธ์	35
รูปที่ 26	แสดงพฤติกรรมของรถขณะเลี้ยวโค้งด้วยความเร็วต่ำและความเร็วสูง	37
รูปที่ 27	การเปรียบเทียบพฤติกรรมของรถธรรมดาที่ระบบ TTL และ เปลี่ยนช่องทางเดินรถด้วยความเร็วสูง	39
รูปที่ 28	การเปรียบเทียบการทรงตัวของรถธรรมดาที่ระบบ TTL และ หลบสิ่งกีดขวางด้วยความเร็วสูง	40
รูปที่ 29	แสดงการทรงตัวของรถเมื่อปล่อยมือ	42
รูปที่ 30	แสดงความถี่ในการตอบสนองของอากาศลำต่อลมเลี้ยว	43
รูปที่ 31	แสดงไดอะแกรมของระบบ GVE	45
รูปที่ 32	การเปรียบเทียบวงเลี้ยวของรถ	47
รูปที่ 33	ผลการจับเวลาวิ่งบนวงกลม	47
รูปที่ 34	ผลการจับเวลาวิ่งเพื่อทดสอบการบังคับควบคุม	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

การนำระบบบังคับเลี้ยวสี่ล้อซึ่งมีการคิดค้นมานานแล้ว และนำมาวิจัยและพัฒนาเพื่อนำมาติดตั้งใช้งานในรถยนต์นั่งอย่างจริงจังของบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ในประเทศไทย เป็นการกระทำเพื่อตอบสนองความเชื่อมั่นของวิศวกรของบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ที่ว่า ถ้าล้อหลังมีการหักเลี้ยวได้ในลักษณะที่เหมาะสมแล้ว จะทำให้พฤติกรรมของรถขณะขับที่ในรูปแบบต่าง ๆ ดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เป็นผลให้ง่ายต่อการบังคับควบคุมรถของผู้ขับ

ในบทที่ 2 ได้กล่าวถึง องค์ประกอบและหลักการทำงานของระบบนี้ ในรถยนต์แต่ละบริษัท ซึ่งแยกได้เป็น 2 รูปแบบคือ แบบที่ใช้ระบบไฮดรอลิคควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ ขึ้นกับความเร็วรถ และ แบบที่ใช้กลไกล้วน ขึ้นกับมุมมองมาลัย นอกจากนี้ยังกล่าวถึงระบบกันสะเทือนที่นำมาติดตั้งกับรถที่ประกอบขึ้นจำหน่ายในประเทศไทย ซึ่งเป็นกลไกที่ทำให้ล้อหลังบิดตัวได้เล็กน้อยเป็นมุมที่เหมาะสมเพื่อการทรงตัวของรถที่ดีขึ้น

บทที่ 3 แสดงถึงการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างระบบบังคับเลี้ยวสองล้อปกติกับระบบบังคับเลี้ยวสี่ล้อ ว่าให้ผลเป็นอย่างไรในสถานการณ์ใช้งานจริง

บทที่ 4 เป็นการสรุปและวิจารณ์ระบบนี้ เพื่อให้สามารถมองระบบนี้อย่างกว้างขวาง ละเอียดยิ่งขึ้น

บทที่ 2

ทฤษฎี หรือ หลักการ

ที่จริงแล้วระบบบังคับเลี้ยวทั้งสอง ไม่ได้เป็นของใหม่ในโลกรถยนต์เลย แต่มีมานานร้อยปีแล้วคือตั้งแต่สมัยที่รถยนต์ยังใช้เครื่องจักรไอน้ำขับเคลื่อนกันอยู่ ต่อจากนั้นก็มีความสนใจและนำมาค้นคว้าดัดแปลงใช้กันอีกหลายครั้งเมื่อสมัย 50-60 ปีก่อนหน้านี้ บางครั้งถูกนำมาใช้กับรถแข่งก็มี เช่น รถแข่ง 500 ไมล์ อินเดียนาโพลิส ของ มิกเคิล โชมพสัน เมื่อ พ.ศ. 2510

2.1 หลักการเบื้องต้น

ระบบบังคับเลี้ยวทั้งสอง มี 2 สภาวะด้วยกันคือ เมื่อล้อหลังเบนไปในทิศทางเดียวกับล้อหน้า เราเรียกว่า เป็นการเลี้ยวใน "สภาวะเดียวกัน" และเรียกการเลี้ยวของล้อหลังไปในทิศทางตรงกันข้ามกับล้อหน้าว่า เป็นการเลี้ยวใน "สภาวะตรงกันข้าม"

การเลี้ยวในสภาวะที่ต่างกันนี้ จะเกิดคำถามที่น่าสนใจ 2 อย่างด้วยกันคือ จะเกิดอะไรขึ้นกับตัวรถและผู้ขับจะรู้สึกอย่างไรเมื่อเลี้ยวรถในแต่ละสภาวะ

การเลี้ยวใน "สภาวะตรงกันข้าม" รถจะใช้วิธีมีน้อยกว่าการเลี้ยวแต่เพียงล้อหน้าอย่างเดียว มุมที่ตัวรถหมุนรอบแกนตั้งจะมีมากกว่า ส่วนผู้ขับจะรู้สึกว่าพฤติกรรมของรถเปลี่ยนไปมาก ระยะเคลื่อนที่ของรถจะน้อยลง มีการหมุนของตัวรถเพิ่มขึ้นมาทดแทน การอ้อมสิ่งกีดขวางที่ไม่ผ่านไปได้หันกลับมาได้อย่างง่ายดาย เช่นเดียวกับ การเข้าจอดในที่แคบก็ทำได้สะดวกยิ่งขึ้น แต่ก็มีปัญหาอยู่บ้างกับการที่จะต้องกะระยะเพื่อการเคลื่อนที่ของตัวรถ ซึ่งต้องอาศัยเวลาและการฝึกฝนจนชินสักระยะหนึ่ง

จะเกิดอะไรขึ้นเมื่อเราเลี้ยวรถใน "สภาวะตรงข้าม" ที่ความเร็วสูง คำตอบก็คือตัวรถจะเปลี่ยนทิศทางอย่างกะทันหัน รถจะเสียการทรงตัวที่ดีไป ผู้ขับจะรู้สึกว่ารถเปลี่ยนทิศทางอย่างกะทันหันและรวดเร็วเกินกว่าที่ประสาทจะตอบสนองและแก้ไขได้ทัน ซึ่งเป็นอันตรายอย่างยิ่งด้วยเหตุนี้ การเลี้ยวใน "สภาวะตรงกันข้าม" จึงมีประโยชน์ที่ความเร็วต่ำมาก ๆ เท่านั้น

สำหรับการเลี้ยวใน "สภาวะเดียวกัน" ตัวรถจะหมุนรอบแกนตั้งน้อยกว่า เมื่อเลี้ยวแต่เพียงล้อหน้าอย่างเดียว (หรืออาจไม่หมุนเลยก็ได้กรณีล้อหลังเลี้ยวด้วยมุมเท่ากับล้อหน้า) จะเห็นว่าการเลี้ยวในสภาวะเช่นนี้ ไม่ใช้ประโยชน์ที่ความเร็วต่ำแต่ถ้าเป็นความเร็วสูงแล้วจะให้การควบคุมที่มั่นคงยิ่งขึ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลคือช่างนำทั้งทีได้เสีย

สำหรับรถที่เลี้ยวได้เฉพาะล้อหน้า เมื่อคนขับหมุนพวงมาลัยเลี้ยวอย่างแรงที่ความเร็วสูง จะทำให้รถเปลี่ยนทิศทางอย่างกระทันหัน แต่ไม่รวดเร็วเท่าที่ควรเพราะตัวรถจะถูกล้อที่เลี้ยวเฉพาะล้อหน้าบังคับให้หมุนรอบแกนตั้ง ซึ่งไม่ถนัดเพราะมีโมเมนตัมแรงเฉื่อยเป็นตัวต้านเอาไว้ และเมื่อผู้ขับหมุนพวงมาลัยคืนสู่ทิศทางตรงตามเดิมก็ต้องถูก "เบรค" กลับคืนสู่สภาพเดิมอีกครั้งหนึ่ง กล่าวคือการสะสมพลังงานจลน์รอบแกนและการจ่ายพลังงานคืนเมื่อรถกลับคืนสู่ทิศทางตรงมีผลทำให้เสถียรภาพของรถเสียไป ทั้งนี้รวมถึงความมั่นใจของผู้ขับขี่ด้วย การใช้การเลี้ยวแบบ "สภาวะเดี๋ยวกัน" คือล้อหลังพาทำารถไปในทิศทางเดียวกับล้อหน้า (แต่ไม่มากเท่า) จะเป็นการลดอัตราเร่งเชิงมุมรอบแกนตั้งของตัวรถอย่างได้ผล ทำให้เสถียรภาพของรถในกรณีนี้ดีขึ้นมาก

ในรถ ปอร์เช่ (PORCHE 928) และ มาสด้า (MAZDA RX-7) รุ่นล่าสุดได้นำระบบเลี้ยวใน "สภาวะเดี๋ยวกัน" มาใช้แต่เป็นลักษณะพาสซีฟ (Passive) คือ อาศัยแรงปฏิกิริยาของแรงเหวี่ยงที่ศูนย์ที่กระทำต่อล้อหน้าไปช่วยให้ข้อต่อของระบบช่วงล่างบิดตัวหันล้อเข้าสู่ค้ำในโค้ง ซึ่งระบบบังคับเลี้ยวล้อที่ให้ผลดีจริง ๆ ควรเป็นแบบ แอคทีฟ (Active) ที่ปรับมุมเลี้ยวของล้อหลังได้เหมาะสมตามตัวแปรต่าง ๆ เช่น ความเร็วรถ แรงหนีศูนย์กลาง น้ำหนักบรรทุก ความเร็วรอบแกนพวงมาลัย มุมเลี้ยวล้อหน้า เป็นต้น

โดยสรุปแล้ว การเลี้ยวใน "สภาวะตรงกันข้าม" ไม่ใช่สิ่งจำเป็นมากนักสำหรับผู้ใช้รถทั่วไป แต่การเลี้ยวใน "สภาวะเดี๋ยวกัน" เป็นสิ่งน่าพึงประสงค์เพราะให้ความปลอดภัยสูง โดยเฉพาะการวิ่งหลบสิ่งกีดขวางหรือเปลี่ยนเลนอย่างกระทันหัน

ในหมู่ผู้หลายบริษัท ได้พัฒนาระบบนี้อย่างระมัดระวังและมั่นใจในข้อได้เปรียบของระบบนี้อย่างมาก ส่วนในยุโรปมีบริษัทเบนซ์ (BENZ) เพียงแห่งเดียวเท่านั้นที่ค้นคว้าทดลองอยู่อย่างระมัดระวังเช่นกัน

ดร. วิลเลนโทวิทซ์ หัวหน้าแผนกพัฒนาช่วงล่างของบีเอ็มดับเบิลยู (BMW) ให้ความเห็นเกี่ยวกับระบบนี้ว่า "จากการคำนวณและจำลองสภาพโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ระบบนี้ให้ประโยชน์ในด้านเสถียรภาพของรถที่ความเร็วสูงเท่านั้น ส่วนประโยชน์ที่ได้จากความคล่องตัวขณะเข้าจอด ไม่คุ้มกับการที่ต้องคิดแปลงบังโคลนหลังเสีย เพื่อไม่ให้เบียดกับล้อขณะเลี้ยว" อันมีผล การคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียดต่อการออกแบบรูปทรงของรถ ปัญหาใหญ่ของระบบนี้คือที่ระบบความปลอดภัยที่จะควบคุมมุม
 เลี้ยวของล้อหลังให้ได้มุมที่ต้องการเท่านั้น นอกจากนี้ระบบควบคุมชนิดใช้กลไกล้วน ไม่น่าจะให้ได้
 ผลดีนัก เพราะการปรับมุมเลี้ยวของล้อหลังให้ได้ผลดีด้านเสถียรภาพที่ความเร็วสูง ควรแปร
 เปลี่ยนไปตามความเร็วรถด้วย ระบบที่เหมาะสมจึงควรเป็นระบบไฟฟ้าที่ทำงานร่วมกับระบบอิเล็กทรอนิกส์

มร. ยามาโมโต ประธานบริษัทมาสด้า กล่าวว่า "ระบบบังคับเลี้ยวสี่ล้อไม่ใช่
 สิ่งที่มีเจองานหรือเป็นเพียงของเล่นทางเทคนิค เราไม่สนใจว่าโรงงานอื่นมีความเห็นอย่างไร
 ไรในเรื่องนี้ แต่สำหรับ มาสด้า ระบบนี้ช่วยเพิ่มความสามารถในการควบคุมรถของมนุษย์อย่างได้
 ผล"



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ระบบบังคับเลี้ยวสี่ล้อในรถมาสด้า

ในการประชุมทางวิศวกรรมยานยนต์ในประเทศไทยเมื่อปี ค.ศ. 1962 ดร.ทาคาชิ โทกาต้า และวิศวกร โตชิอากิ ทาคากิ ได้สรุปผลงานวิจัยของเขาทั้งสองเกี่ยวกับพลศาสตร์ยานยนต์ (Vehicle dynamics) ดังนี้

1. ความแตกต่างพื้นฐานของลักษณะอาการโอเวอร์สตีयर (Oversteer) และอันเดอร์สตีयर (Understeer) ขึ้นอยู่กับขนาดความล่าช้าของเวลาในการตอบสนอง
2. รถยนต์ที่มีเสถียรภาพดีจะใช้ความเร็วสูงนั้นจะต้องอยู่ในลักษณะอันเดอร์สตีयर
3. ยางล้อหลังมีบทบาทสำคัญอย่างมากต่อเสถียรภาพของรถ
4. การปรับปรุงเสถียรภาพและการบังคับควบคุมของรถยนต์ควรอาศัยการคาดการณ์ล่วงหน้าของระบบบังคับเลี้ยวล้อหลังอัตโนมัติ

ขณะที่แรงภายนอกต่าง ๆ และภาระกรรม (Load) กระทำต่อล้อหลังของรถยนต์ราวกับว่าล้อหลังกำลังต่อสู้กับกฎการเคลื่อนที่ ระบบรองรับใหม่ก็จะเปลี่ยนแรงเหล่านี้เป็นผลของระบบบังคับเลี้ยวสี่ล้อ (4-WS Effects) เพื่อช่วยให้เสถียรภาพและความคล่องตัวของรถยนต์ขึ้น

2.2.1 ระบบบังคับเลี้ยวสี่ล้อควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ของรถมาสด้า (MAZDA ELECTRONICALLY-CONTROLLED FOUR-WHEEL STEERING SYSTEM)

ระบบนี้จะบังคับเลี้ยวล้อหลังในทิศทางและมุมล้อที่เหมาะสมกับความเร็วรถในย่านต่าง ๆ กลไกและอุปกรณ์ไฮดรอลิคของระบบจะช่วยเพิ่มเสถียรภาพและความคล่องตัวของรถให้มากขึ้น ผู้ขับรถมาสด้าที่ติดตั้งระบบบังคับเลี้ยวสี่ล้อจะได้รับข้อได้เปรียบ 5 ประการคือ

1. เสถียรภาพขณะเข้าโค้งดีขึ้น
2. ให้การตอบสนองต่อการเลี้ยวที่ฉับไวและนุ่มนวล
3. เสถียรภาพขณะใช้ความเร็วสูงในทางตรงดี
4. เปลี่ยนช่องทางเดินรถอย่างรวดเร็วดีขึ้น
5. รัศมีวงเลี้ยวแคบกว่าที่ย่านความเร็วต่ำ

ข้อได้เปรียบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่งคือ เป็นการลดความล้าที่เกิดขึ้นกับผู้ขับขณะใช้ความเร็วสูง การนำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เร็วสูงและซับซ้อนทางไกล ผลที่วางนี้ก็คือ การลดความล่าช้าของการตอบสนองต่อการหักเลี้ยวและกำจัดการตอบสนองที่มากเกินไปต่อการหักเลี้ยว

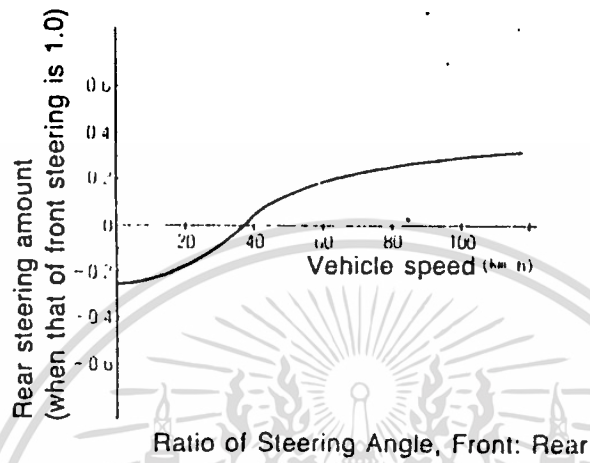
2.2.2 โครงสร้าง (Strategic Construction)

ระบบนี้ประกอบด้วยระบบบังคับเลี้ยวล้อหน้าซึ่งเป็นเฟืองพวงมาลัยแบบเฟืองบรรทัดและเฟืองเล็ก (Rack and Pinion) โดยมีปั๊มไฮดรอลิก (Twin-tandem pump) ช่วยผ่อนแรง อัตราทดพวงมาลัยเท่ากับ 14.2:1 สำหรับกลไกบังคับเลี้ยวล้อหลังก็เป็นระบบไฮดรอลิกมีปั๊มหลัก (Main pump) และระบบอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมโดยขึ้นอยู่กับมุมเลี้ยวของล้อหน้าและความเร็วรถ เพลาบังคับเลี้ยวล้อหลัง (Rear steering shaft) ต่อระหว่างแท่งเฟืองบรรทัด (Rack bar) ของชุดเฟืองบังคับเลี้ยวล้อหน้า (Front steering gear) กับหน่วยควบคุมสถานะการเลี้ยวของล้อหลัง (Rear steering-phase control unit)

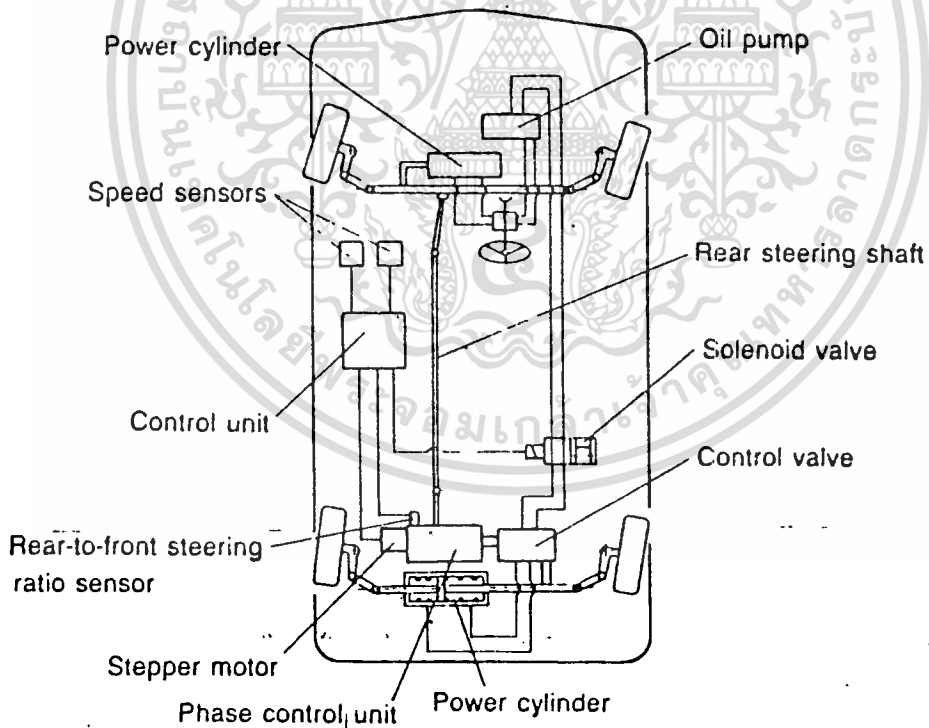
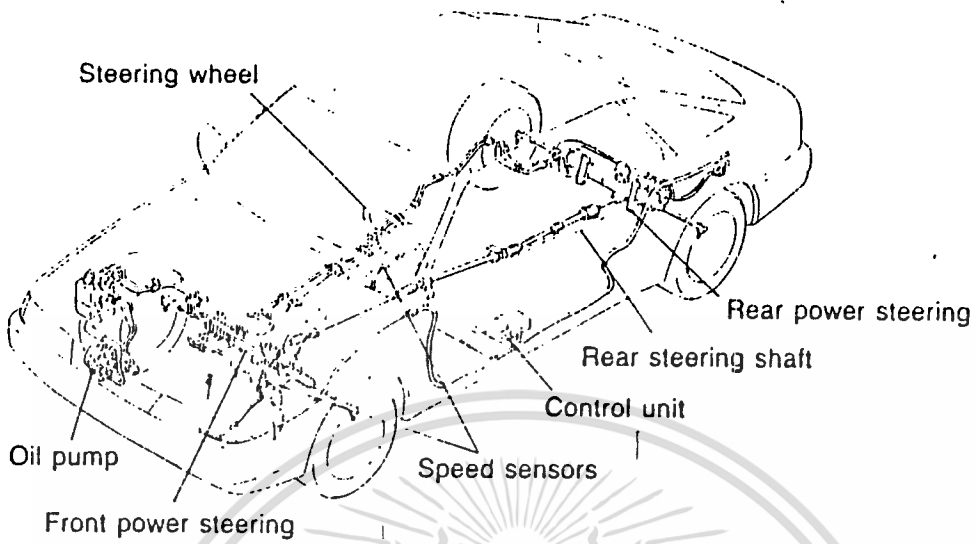
ระบบบังคับเลี้ยวล้อหลัง (Rear steering system) ประกอบด้วยส่วนปลายของเพลาบังคับเลี้ยวล้อหลัง อุปกรณ์ตรวจจับความเร็วรถ (Vehicle speed sensor) หน่วยควบคุมสถานะการเลี้ยว (เป็นตัวกำหนดทิศทางและมุมเลี้ยว) กระบอกสูบกำลัง (Power cylinder) และก้านส่ง (Output rod) นอกจากนี้ยังมีสปริงล็อก (Centering lock spring) ซึ่งทำหน้าที่ล็อกล้อหลังให้อยู่ในตำแหน่งปกติคือ ไม่มีการหักเลี้ยว ในกรณีที่ระบบไฮดรอลิกขัดข้องร่วมกับโซลินอยด์วาล์ว ซึ่งจะตัดการทำงานของระบบไฮดรอลิก (โดยวิธีกระตุ้นสปริงล็อก) ในกรณีที่ระบบไฟฟ้าขัดข้อง

ระบบบังคับเลี้ยวสี่ล้อจะเปลี่ยนสถานะการเลี้ยวและอัตราส่วนการเลี้ยวของล้อหลังต่อการเลี้ยวของล้อหน้า โดยขึ้นอยู่กับความเร็วรถ (ดังรูปที่ 1) โดยล้อหลังจะถูกบังคับเลี้ยวไปในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางการเลี้ยวของล้อหน้าที่ความเร็วต่ำกว่า 35 กม./ชม. (22 ไมล์/ชม.) และที่ความเร็วสูงกว่านี้ ล้อหลังจะหักเลี้ยวในทิศทางเดียวกับล้อหน้า สำหรับมุมเลี้ยวสูงสุดของล้อหลังประมาณ 5 องศา ซึ่งมาสด้าได้คำนวณไว้คำนวณเลี้ยวยานี้จะให้ผลดีเยี่ยมต่อประสิทธิภาพสัมพัทธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 การแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนมุมเลี้ยวของล้อหลังกับล้อหน้าและความเร็วรถ



รูปที่ 2 ส่วนประกอบหลักของระบบบังคับเลี้ยวสลิ้อในรถมาสด้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2.2.3 ส่วนประกอบหลัก (Components)

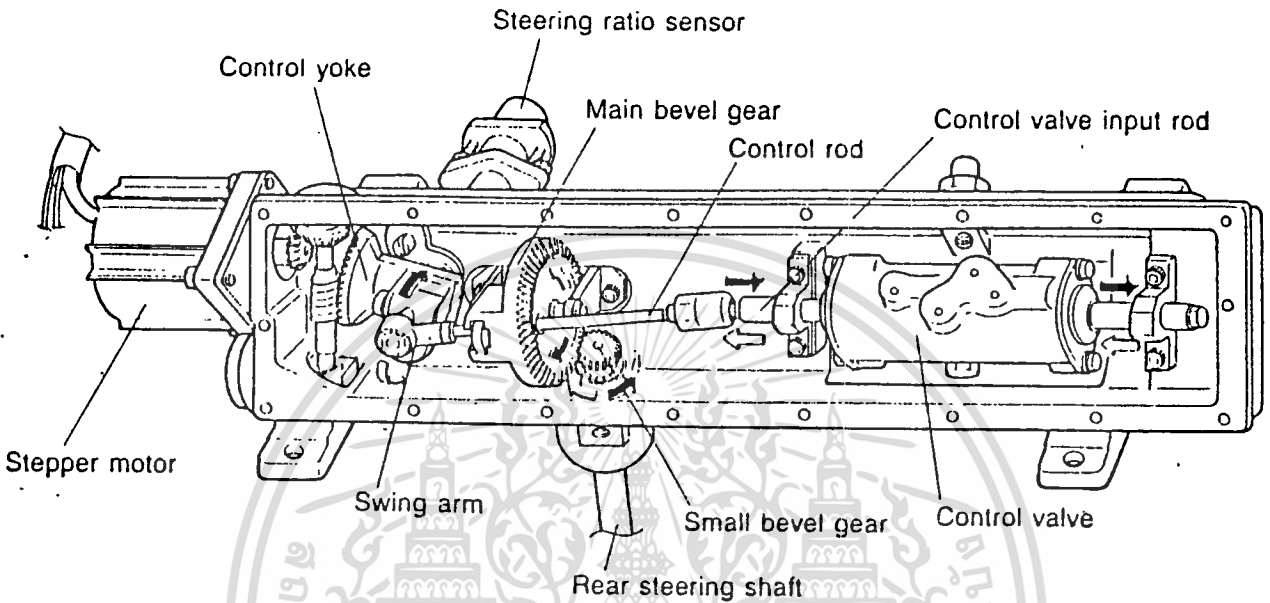
นิยามารูปที่ 2

1. อุปกรณ์ตรวจจับความเร็ว ทำหน้าที่วัดจำนวนรอบการหมุนของเพลาเครื่องวัดความเร็ว (Speedometer) และส่งสัญญาณไปยังหน่วยคอมพิวเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic computer unit) ตัวตรวจจับ (Sensor) จะมี 2 ตัว ตัวแรกอยู่ที่เครื่องวัดความเร็ว อีกตัวจะอยู่ที่เพลาส่งกำลังตัวสุดท้ายเพื่อที่จะตรวจสอบว่าความเร็วรอบที่วัดได้ตรงกันหรือไม่เพื่อความถูกต้องและเป็นข้อมูลให้ระบบป้องกันความเสียหาย เมื่อมีข้อผิดพลาด
2. หน่วยควบคุมสภาวะการเลี้ยว ทำหน้าที่ควบคุมทิศทางของวาล์ว (Booster valve) ในกระบอกสูบกำลังและความคมระยะเคลื่อนตัวของกาวหักเลี้ยวล้อหลัง โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างมุมยอด (Control yoke angle) และจำนวนรอบของเฟืองดอกจอก (Bevel gear)
3. อิเล็กทริก สเตปเปอร์ มอเตอร์ (Electric stepper motor) ทำหน้าที่เปลี่ยนสภาวะของมุมยอดและเฟืองดอกจอก
4. เพลาบังคับเลี้ยวล้อหลัง ทำหน้าที่ส่งผ่านมุมเลี้ยวล้อหน้า โดยหมุนเฟืองดอกจอกเล็ก (Small bevel gear) ในหน่วยควบคุมสภาวะการเลี้ยว ซึ่งเฟืองดอกจอกเล็กนี้ขบกับเฟืองดอกจอกหลัก (Main bevel gear)
5. วาล์วควบคุม (Control valve) ทำหน้าที่ส่งแรงดันไฮดรอลิกให้กับลูกสูบบังคับเลี้ยว โดยขึ้นกับสภาวะการเลี้ยวและระยะเคลื่อนที่สำหรับการบังคับเลี้ยวล้อหลังที่เหมาะสม
6. กระบอกสูบไฮดรอลิกกำลัง (Hydraulic power cylinder) ทำหน้าที่ออกแรงกระทำต่อก้านส่งด้วยแรงดันน้ำมันไฮดรอลิกเพื่อทำให้ล้อหลังหักเลี้ยว
7. ปั๊มไฮดรอลิก (Hydraulic pump) ทำหน้าที่จ่ายแรงดันน้ำมันไฮดรอลิกให้แก่ระบบบังคับเลี้ยวทั้งหน้าและหลัง

2.2.4 รายละเอียดของหน่วยควบคุมสภาวะการเลี้ยว

(Details of

Steering Phase Control Unit)



รูปที่ 3 หน่วยควบคุมสภาวะการเลี้ยว

จากรูปที่ 3 หน่วยควบคุมสภาวะการเลี้ยวประกอบด้วย สเต็ปเปอร์ มอเตอร์, คอนโทรล ยอค, แขนสวิง (Swing arm), เฟืองดอกจอกหลักซึ่งต่อกับเพลาลังค้ำเลี้ยวล้อหลังด้วยเฟืองดอกจอกเล็ก และ แขนควบคุม (Control rod) ซึ่งต่อกับวาล์วควบคุม

การทำงานมีดังนี้ พิจารณารูปที่ 4

2.2.4.1 สภาวะตรงกันข้าม (Opposite phase)

ที่ความเร็วต่ำกว่า 35

กม./ชม. หรือ 22 ไมล์/ชม.

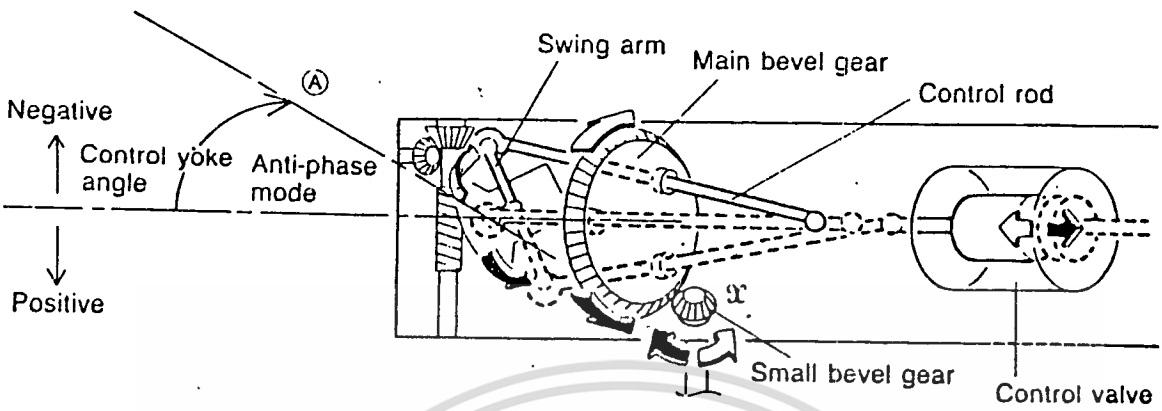
1. คอนโทรล ยอค จะอยู่ในตำแหน่งที่ขึ้นกับสเต็ปเปอร์ มอเตอร์

2. ล้อหน้าถูกบังคับเลี้ยวไปทางขวา เฟืองดอกจอกเล็กถูกหมุนในทิศทาง X

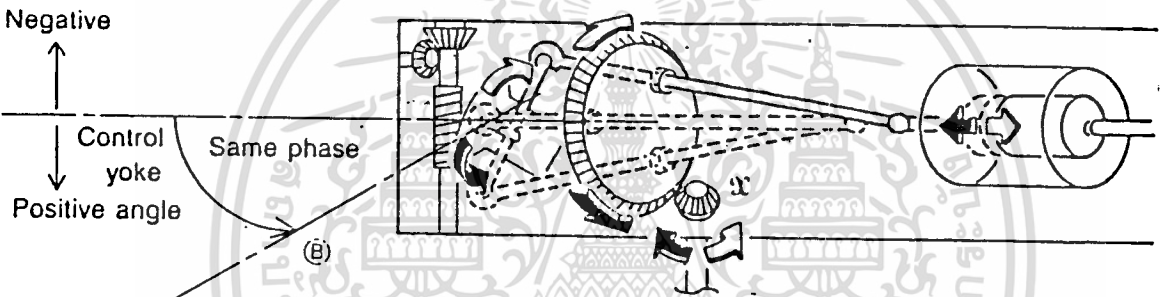
โดยการหมุนของเพลาลังค้ำเลี้ยวล้อหลัง เฟืองดอกจอกเล็กจะขับเฟืองดอกจอกหลักให้หมุน

3. การหมุนของเฟืองดอกจอกหลักทำให้แขนควบคุมเคลื่อนที่ต้นวาล์วควบคุม

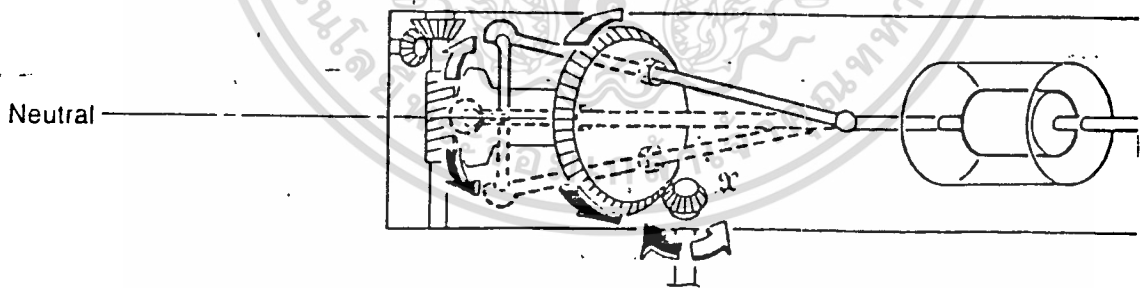
Opposite Phase (under 35km/h)



Same Phase (over 35 km/m)



Neutral (at 35 km/h)



รูปที่ 4 หลักการทำงานของหน่วยควบคุมสถานะการเลี้ยวในสภาวะต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. แขน (Input rod) ของวาล์วควบคุมถูกดันไปทางขวาซึ่งขึ้นกับองศาการเคลื่อนที่ของแขนควบคุม (กำหนดโดยการปรับตั้งแขนสวิง) ทำให้ล้อหลังถูกบังคับเลี้ยวไปทางซ้าย

5. หนามุมของคอนโทรล สอด เจริญขึ้นในทิศทาง A พร้อม ๆ กับความเร็วรถลดลง ทำให้อัตราส่วนการเลี้ยวของล้อหลังต่อล้อหน้า (Rear-to-front steering ratio) เพิ่มขึ้น

2.2.4.2 สภาวะเดียวกัน (Same phase) ที่ความเร็วมากกว่า 35 กม./ชม. หรือ 22 ไมล์/ชม.)

การทำงานสำหรับสภาวะนี้จะตรงกันข้ามกับสภาวะข้างต้น (สภาวะตรงกันข้าม) เพราะว่า คอนโทรล สอด จะทำมุมโพสิทีฟ ในย่านความเร็วนี้ ล้อหลังจะถูกบังคับเลี้ยวไปทางขวาในทิศทางเดียวกับล้อหน้า

2.2.4.3 สภาวะเป็นกลาง (Neutral phase) ที่ความเร็ว 35 กม./ชม. หรือ 22 ไมล์/ชม.

ที่สภาวะนี้มุมของคอนโทรล สอด อยู่ในแนวระดับ แขนของวาล์วควบคุมไม่ถูกกระทำ ถึงแม้ว่าแขนควบคุมจะหมุนเพราะการหมุนของชุดเฟืองดอกจอก ทำให้ล้อหลัง ไม่ถูกบังคับเลี้ยว

2.2.5 กระบอกสูบกำลัง (Power cylinder)

การเคลื่อนที่ของแขนวาล์วควบคุมถูกส่งไปยังลูกสูบ (Spool) ในกระบอกสูบกำลัง การเคลื่อนที่ของแท่งกลจะทำให้เกิดความดันแตกต่างระหว่างห้อง (Chamber) ทางซ้ายกับทางขวาของกระบอกสูบกำลัง ทำให้ก้านส่งดันส่งถ่ายกำลังไปยังคันส่ง (Tie rod) ที่ส่วนปลายสุดของกลไกบังคับเลี้ยว เป็นหลักเลี้ยวล้อหลังต่อไป

2.2.6 การป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดหรือความล้มเหลวของระบบ (Fail-Safe Measures)

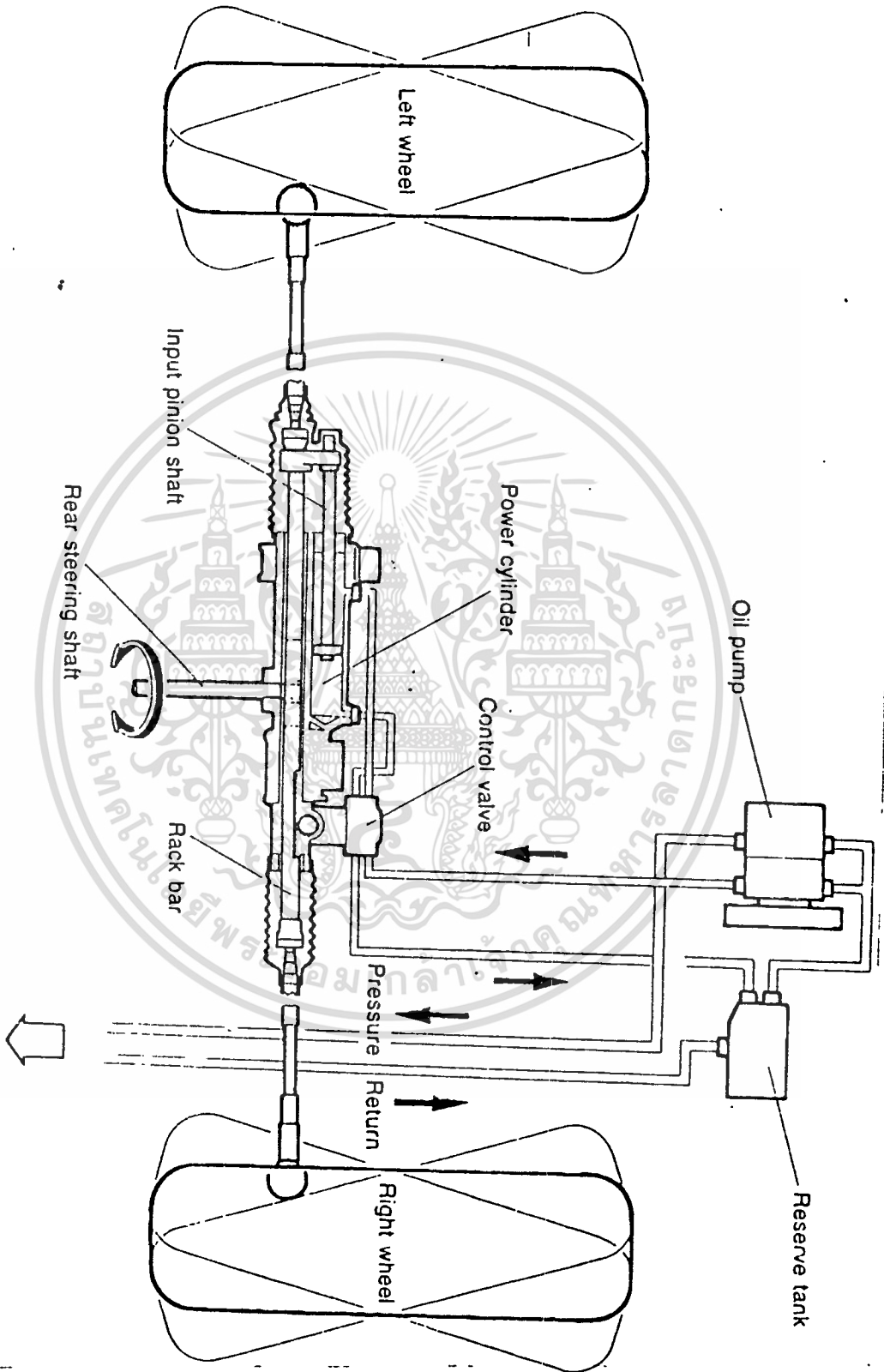
ระบบอาจจะทำงานในลักษณะตรงกันข้ามกับการทำงานปกติก็ได้โดยอัตโนมัติถ้ามีข้อผิดพลาดหรือความล้มเหลวเกิดขึ้นในส่วนของวงจรวินิเลคทรอนิคส์หรือไฮดรอลิค

ถ้าเกิดข้อผิดพลาดหรือความล้มเหลวของระบบขึ้น สปริงล๊อคจะดึงก้านส่งกลับสู่สภาวะเป็นกลาง เพื่อให้อยู่ในลักษณะปกติเหมือนการบังคับเลี้ยวสองล้อธรรมดา
 6. การนำใบนี้ไปใช้ประโยชน์ในการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีของวงจรอิเล็กทรอนิกส์บ่งชี้ตัวเอง วงจรวินิจฉัยข้อบกพร่องตนเอง
 (Self-diagnostic circuit) ในหน่วยควบคุมระบบบังคับเลี้ยวสี่ล้อ (4-WS control
 unit) จะตรวจจับได้ โพลินอมส์ว่าลจะถูกระงับทำให้วงจรไฮดรอลิคอยู่ในสภาวะเป็นกลาง

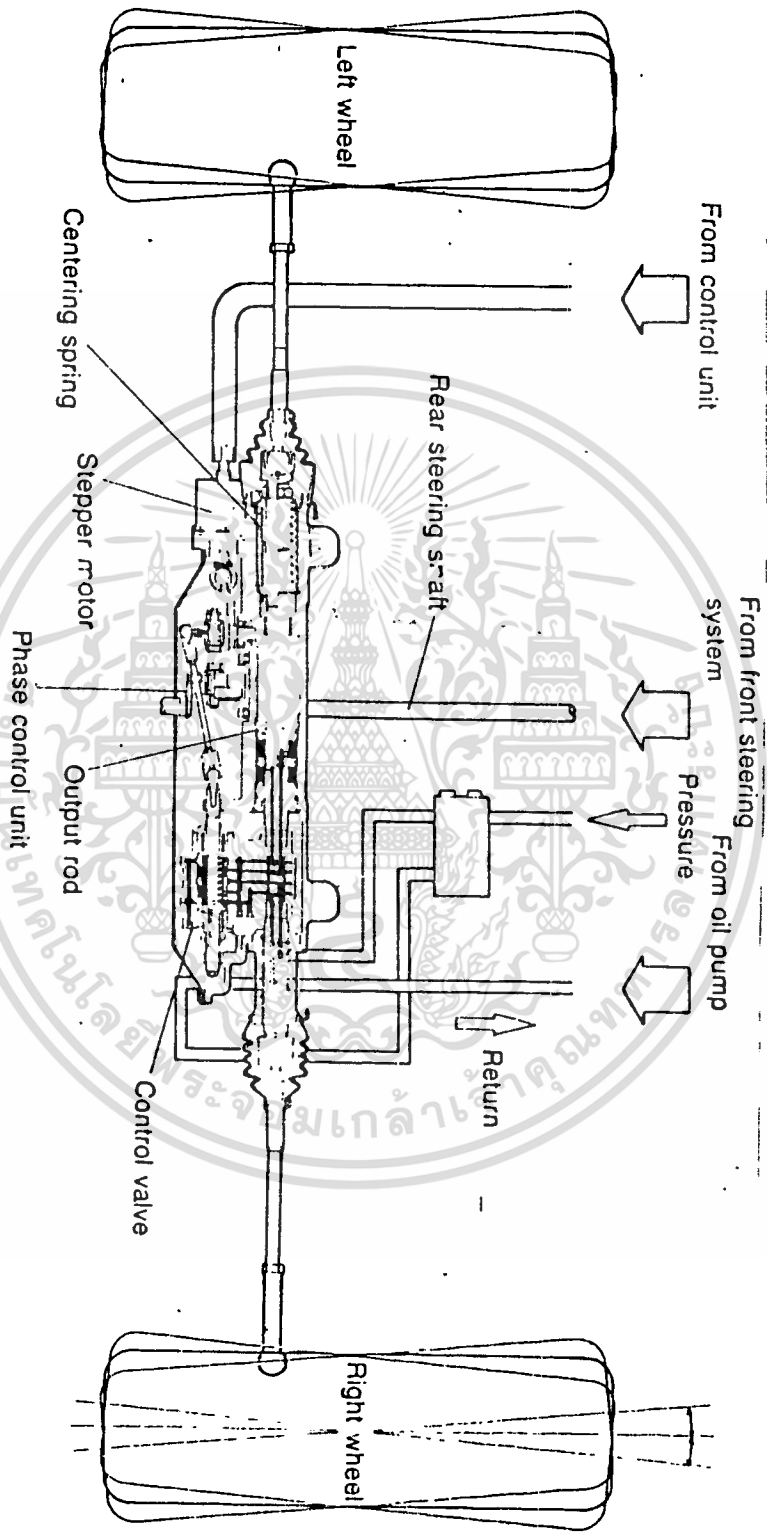


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 ระบบบังคับเลี้ยวล้อยหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



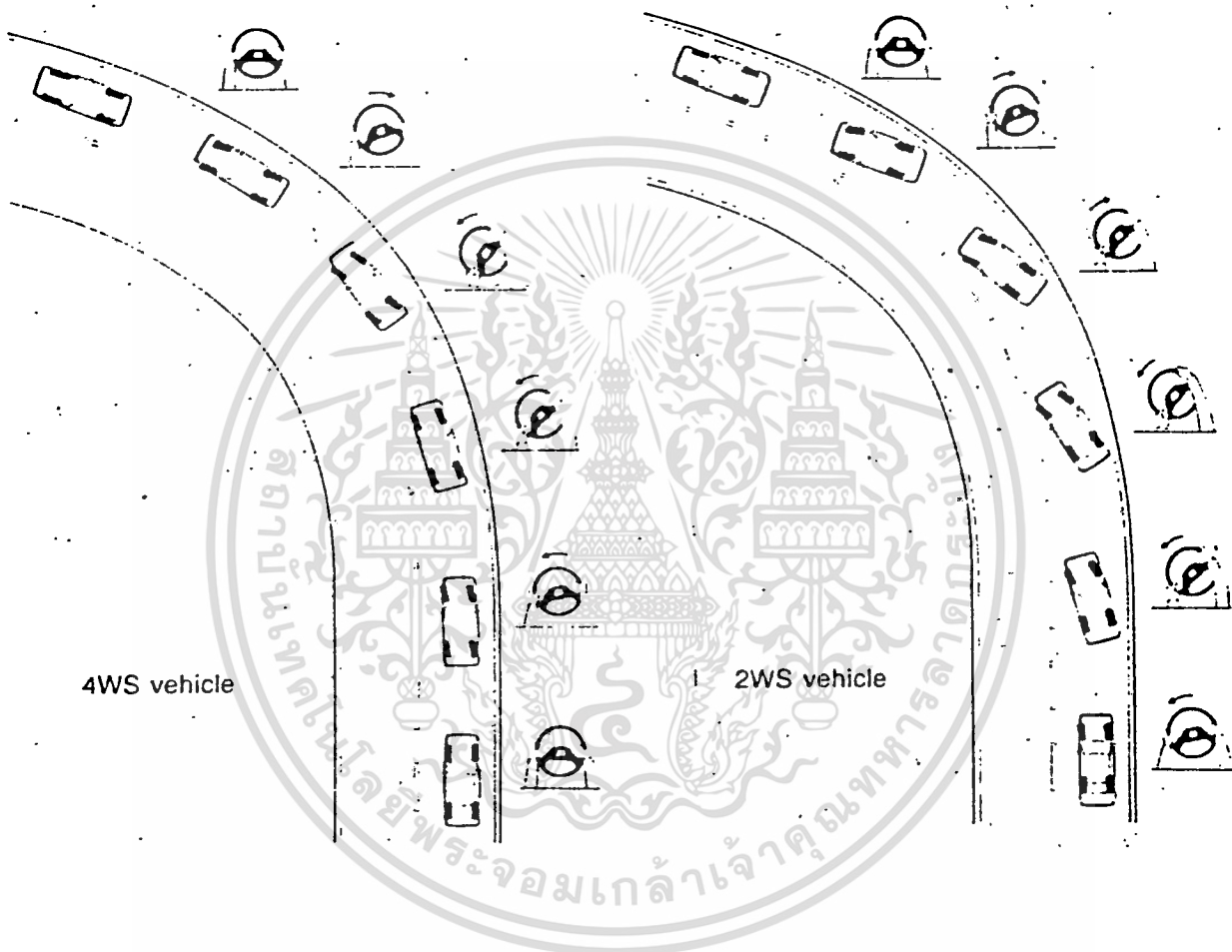
รูปที่ 6 ระบบบังคับล้อไฮดรอลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



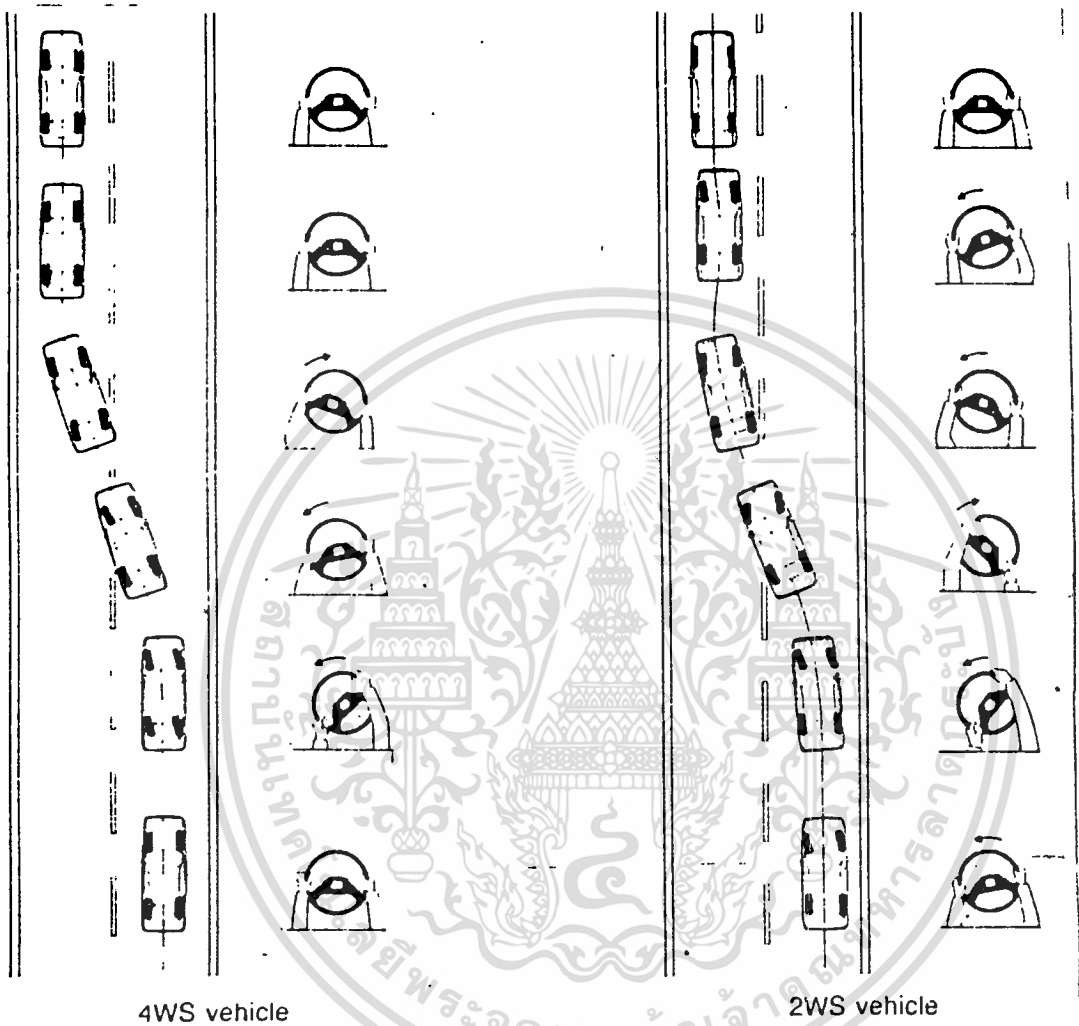
รูปที่ 7 การเปรียบเทียบทางด้านเสถียรภาพและการบังคับควบคุมของระบบ 4-WS และ 2-WS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



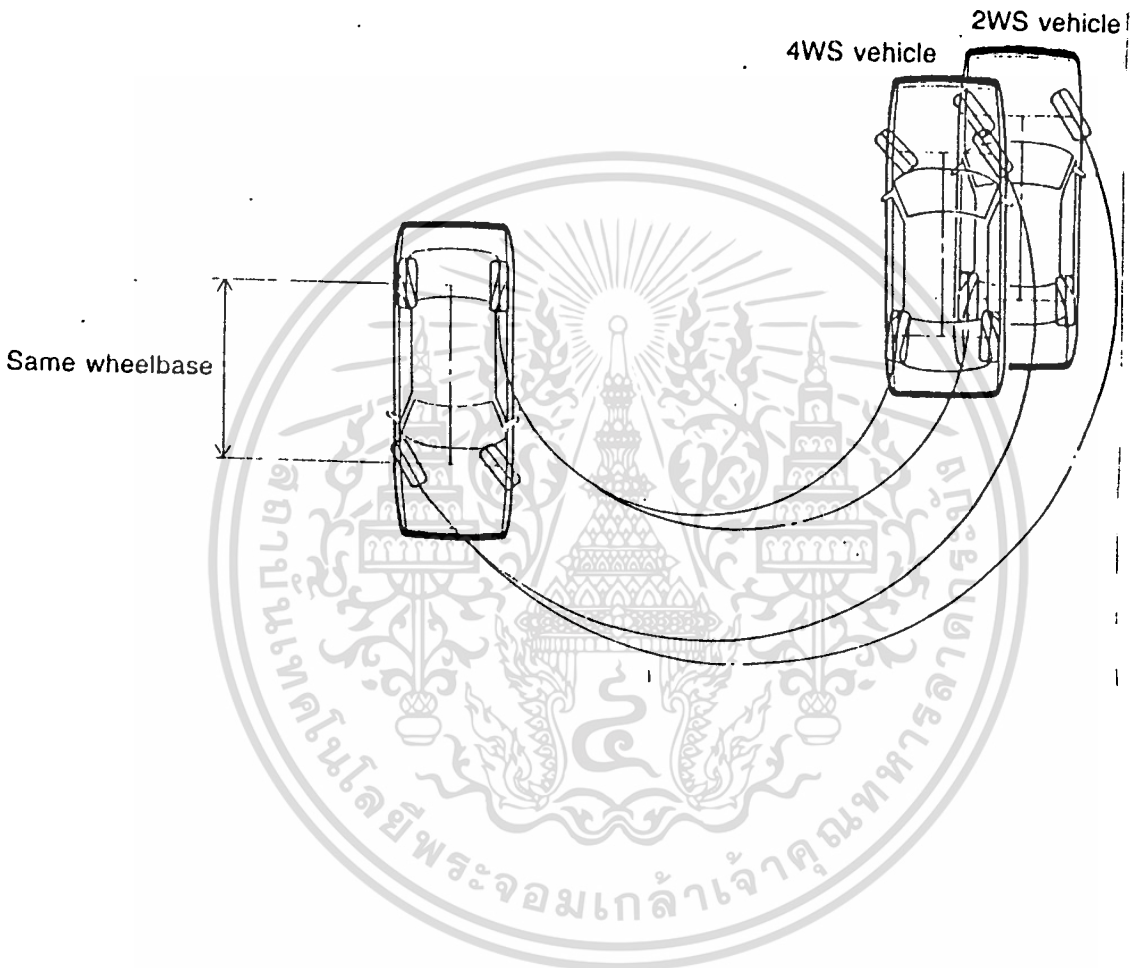
รูปที่ 8 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของรถ 4-WS และ รถ 2-WS ขณะเข้าโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



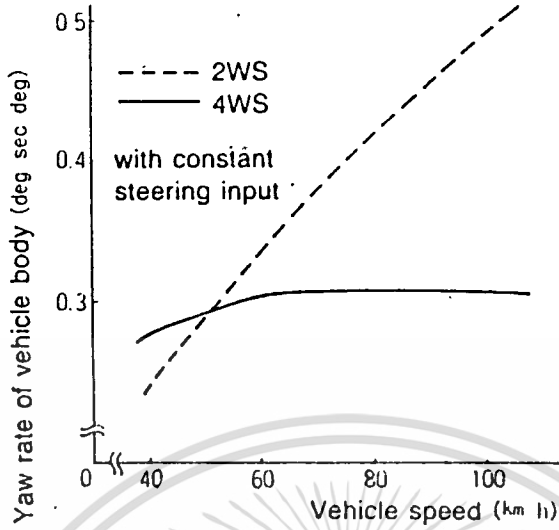
รูปที่ 9 การเปรียบเทียบเสถียรภาพของรถ 4-WS และ รถ 2-WS ขณะเปลี่ยนช่องทาง
เดินรถที่ความเร็วสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

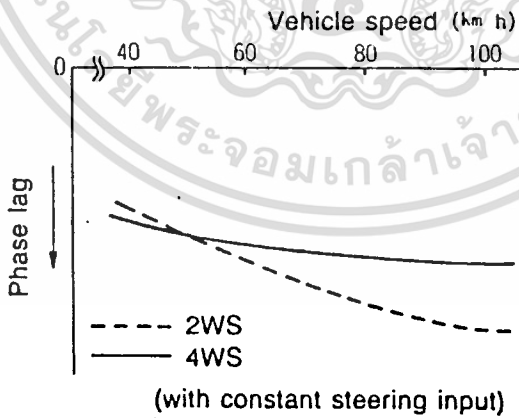


รูปที่ 10 แสดงวงเลี้ยวที่แคบกว่าของรถ 4-WS เปรียบเทียบกับรถ 2-WS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

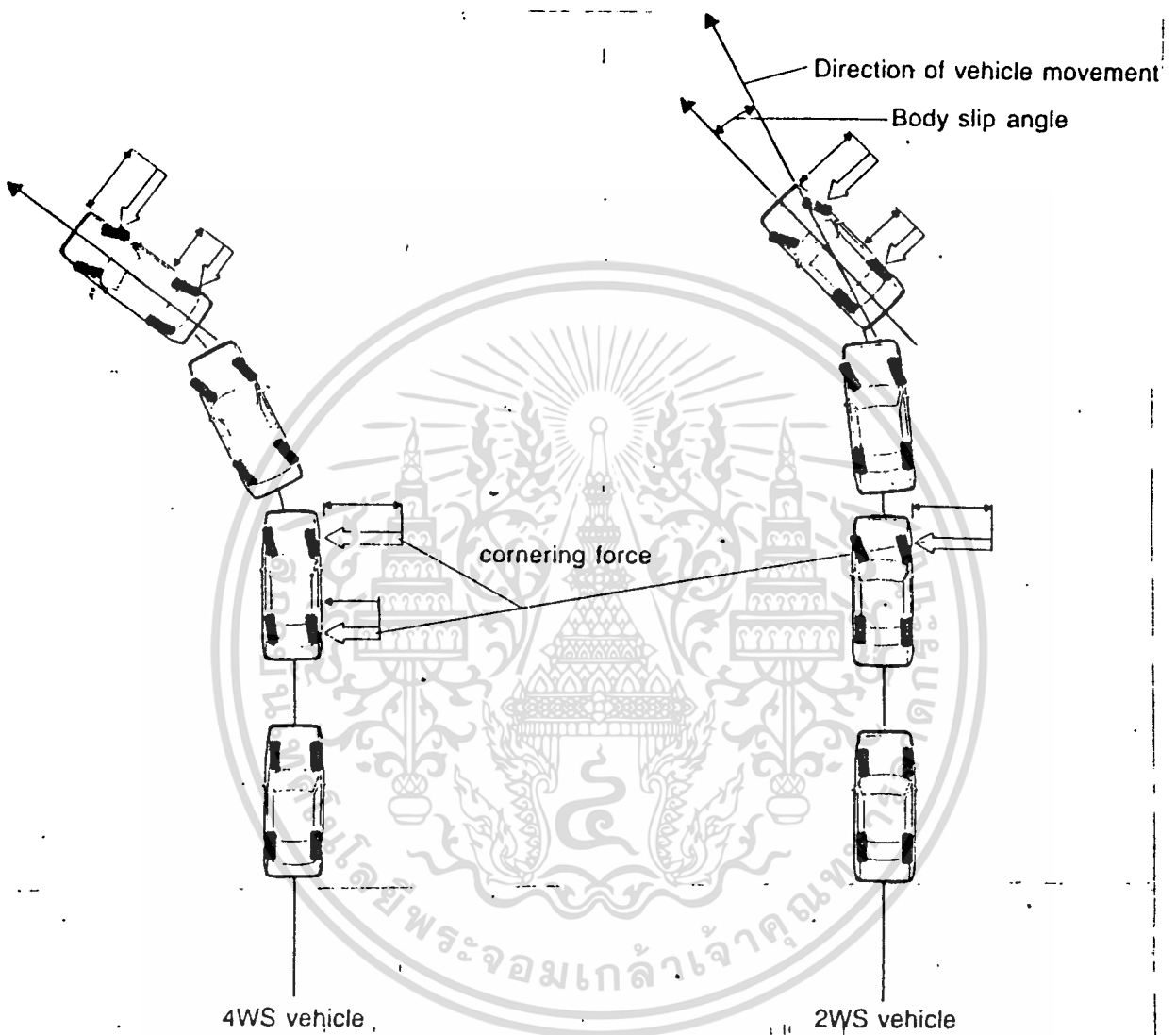


รูปที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหักเหของตัวรถต่อมุมพวงมาลัยและความเร็วรถ



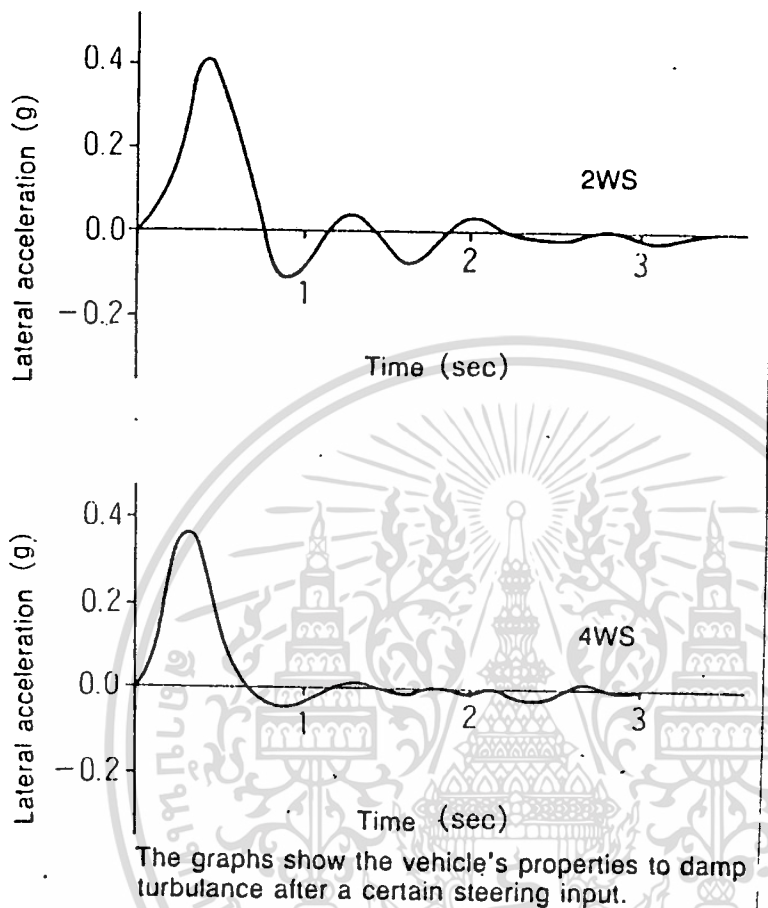
รูปที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความล่าช้าในการตอบสนองและความเร็วรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



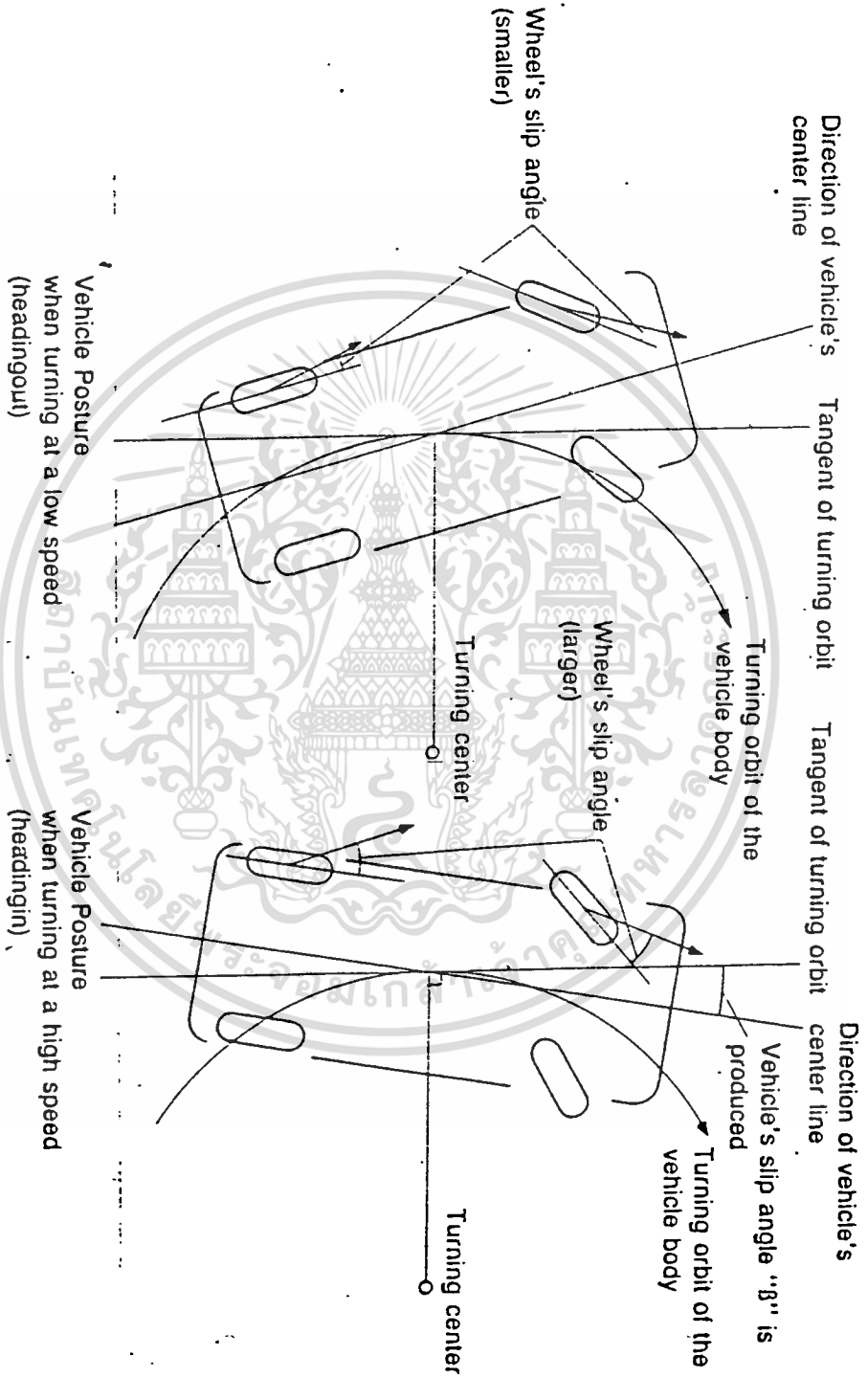
รูปที่ 13 แสดงแรงคอนเนอร์ริงที่กระทำกับยางและมุมสไลด์ไถลของรถที่เกิดขึ้นขณะเข้าโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



The graphs show the vehicle's properties to damp turbulence after a certain steering input.

รูปที่ 14 กราฟแสดงความอาการส่ายของตัวรถหลังจากการเข้าโค้ง



รูปที่ 15 แสดงการเปลี่ยนท่ารถขณะเข้าโค้งด้วยความเร็วต่ำและความเร็วสูง

2.3 ระบบบังคับเลี้ยวล้อในรถยี่ห้อ

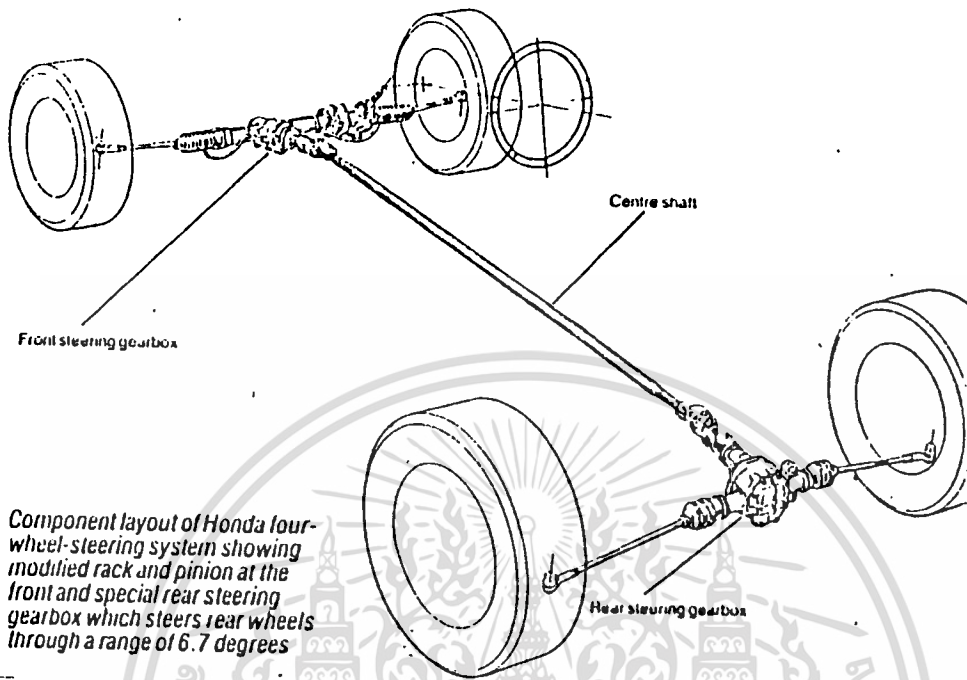
ระบบนี้ประกอบด้วยกลไกบังคับเลี้ยวล้อหน้าแบบเฟืองบรรทัดและเฟืองเล็ก มีเพลลาเชื่อมต่อกับห้องเกียร์บังคับล้อหลังพิเศษ (Special rear-wheel gearbox) ล้อหน้าถูกบังคับเลี้ยวโดยเฟืองบรรทัดและเฟืองเล็กตามปกติ แต่เฟืองบรรทัดจะชนกับเฟืองเล็กอีกลูกหนึ่ง ซึ่งยึดติดกับเพลลากลางทำให้เพลลากลางหมุนเมื่อหักเลี้ยวล้อหน้า

ภายในห้องเกียร์หลัง มีกลไกเพลลาเชิงซ้อนคู่ (Double eccentric shaft mechanism) ซึ่งทำหน้าที่เลื่อนก้านส่งให้เคลื่อนที่ในแนวขวางเพื่อบังคับเลี้ยวล้อหลังต่อไป

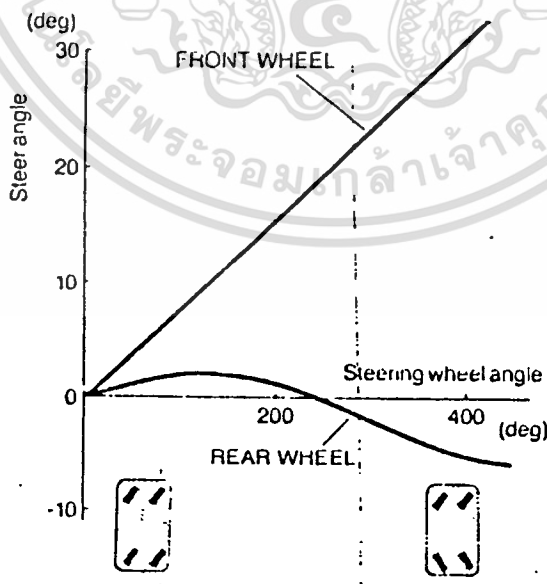
กลไกเพลลาเชิงซ้อนคู่จะทำให้ล้อหลังเลี้ยวในทิศทางเดียวกับล้อหน้าเมื่อผู้ขับหักวงมาลัยเพียงเล็กน้อยและถ้าผู้ขับหักวงมาลัยมากกว่านั้นก็ทำให้ล้อหลังเลี้ยวในทิศทางตรงกันข้ามกับล้อหน้า

ถ้าหมุนพวงมาลัยเป็นมุมน้อยกว่า 140 องศา (3/8 รอบ) ล้อหลังจะถูกบังคับเลี้ยวไปในทิศทางเดียวกับล้อหน้า โดยมุมเลี้ยวสูงสุดเท่ากับ 1.7 องศา

ถ้าหมุนพวงมาลัยเป็นมุมมากกว่า 140 องศา ล้อหลังจะถูกบังคับให้อยู่ในแนวตรงคือไม่มีการหักเลี้ยว และการรักษาสภาพนี้ไปจนถึงมุมพวงมาลัย 240 องศา (5/8 รอบ) และถ้าเราหมุนพวงมาลัยเป็นมุมมากกว่านี้ล้อหลังจะเริ่มถูกบังคับให้เลี้ยวในทิศทางตรงกันข้ามกับล้อหน้า โดยมุมเลี้ยวสูงสุดเท่ากับ 5 องศา ณ ตำแหน่งพวงมาลัยหมุนจนสุด (ประมาณ 400 องศา)

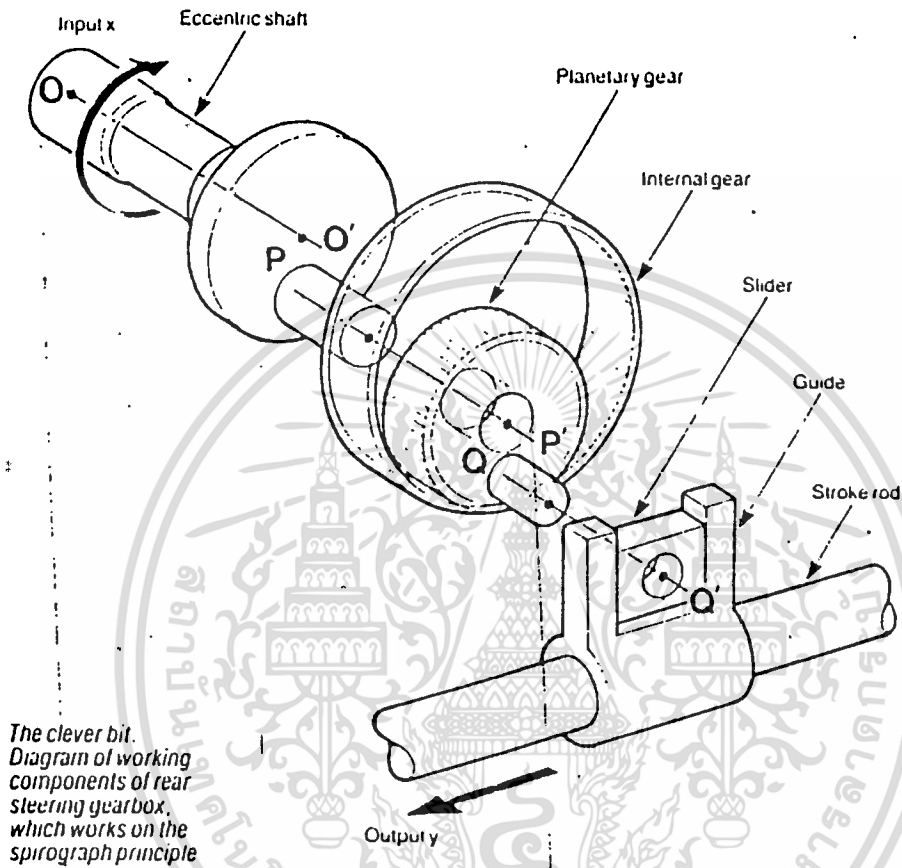


รูปที่ 16 โครงสร้างของระบบบังคับเลี้ยวสี่ล้อของรถฮอนด้า



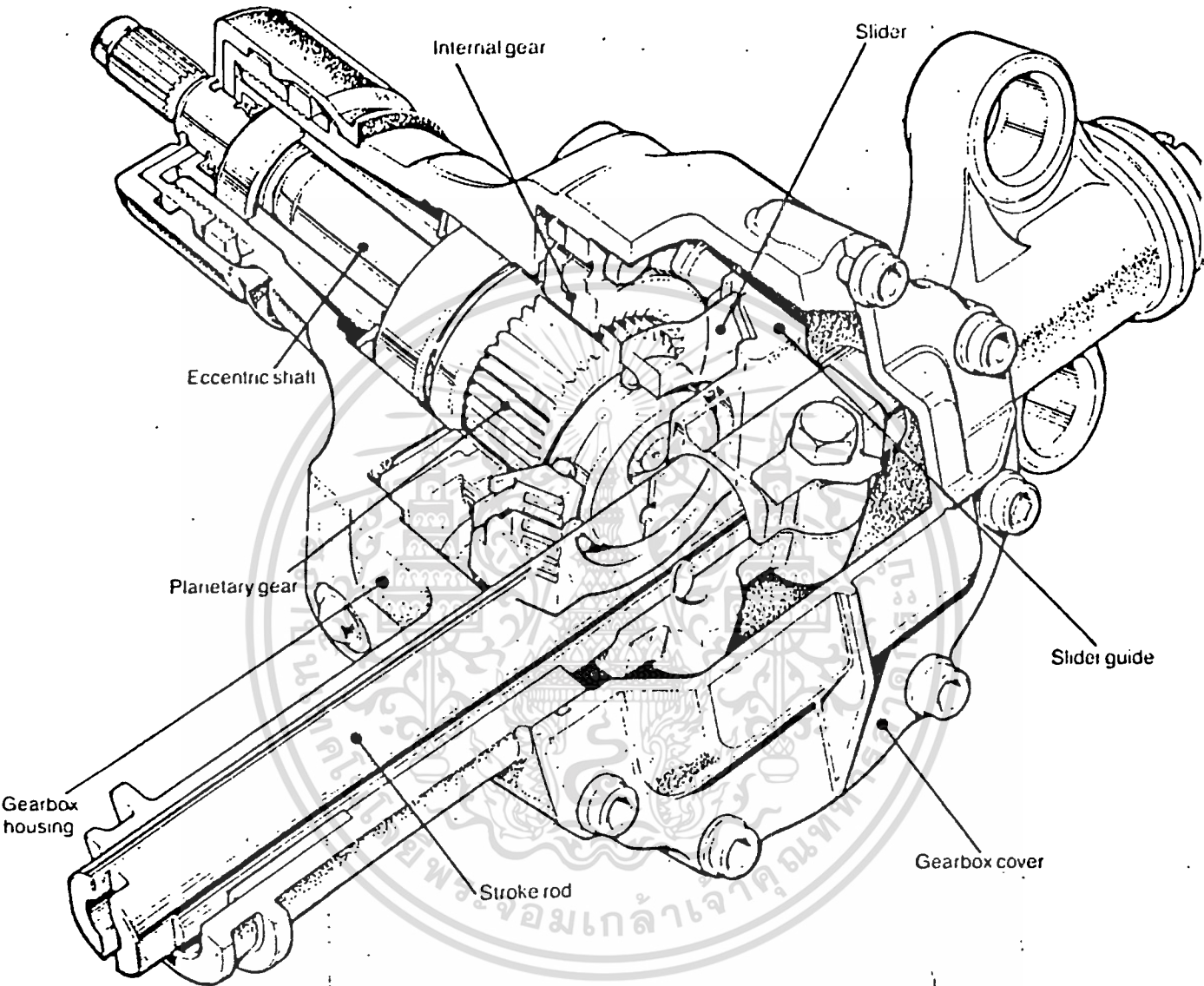
รูปที่ 17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมเลี้ยวล้อหน้า มุมเลี้ยวล้อหลังและมุมพวงมาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



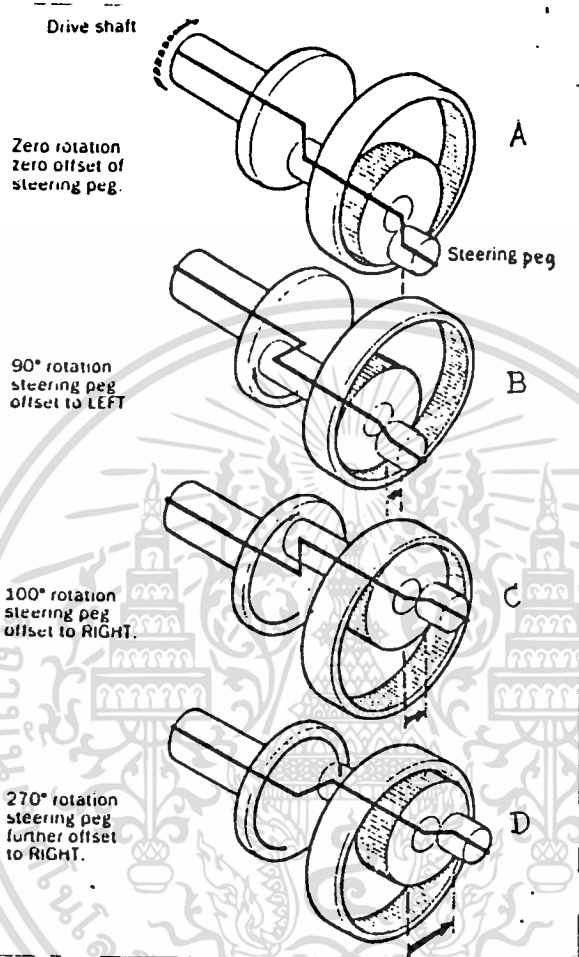
รูปที่ 18 กลไกเพลลาเชิงศูนย์คู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 19 ห้องเกียร์บังคับเลี้ยวล้อหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 20 การทำงานของกลไกเฟลาเฮองศูนย์คู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณารูปที่ 20

จากรูปที่ 20A ระบบอยู่ในตำแหน่งล้อหน้าตั้งตรงไม่มีการหักเลี้ยว เฟืองแพลนิตารี (Planetary gear) อยู่ในตำแหน่งล่างสุดของเฟืองวงแหวน (Annulus)

จากรูปที่ 20B เมื่อหมุนพวงมาลัยไปทางขวาเพื่อเลี้ยวขวา เพลากลาง (Drive shaft) จะหมุนตามเข็มนาฬิกา ทำให้เฟืองแพลนิตารีหมุนได้ไปทางซ้ายมือของเฟืองวงแหวน หมด (Steering peg) บนเฟืองแพลนิตารีจะดันส่งแรงผ่านก้านส่ง ไปบังคับเลี้ยวล้อหลังไปในทิศทางขวา เพราะก้านส่งต่อกับส่วนท้ายของคัมล้อ (Hub)

จากรูปที่ 20C และ รูปที่ 20D เมื่อหมุนพวงมาลัยไปประมาณ 120 องศา เฟืองแพลนิตารีเคลื่อนที่มาถึงส่วนบนสุดของเฟืองวงแหวน ล้อหลังจะถูกบังคับเลี้ยวในทิศทางเดียวกับล้อหน้า เป็นมุมสูงสุดเท่ากับ 1.5 องศา ต่อจากนั้นเมื่อหมุนพวงมาลัยเท่ากับ 232 องศา เฟืองแพลนิตารีจะเริ่มเคลื่อนที่ลง ทำให้มุมเคลื่อนที่ขวาเมื่อหมุนพวงมาลัยมากขึ้น ดังนั้น ล้อหลังจึงถูกบังคับเลี้ยวไปในทิศทางตรงกันข้ามกับล้อหน้า โดยมีมุมเลี้ยวสูงสุดเท่ากับ 5.3 องศา

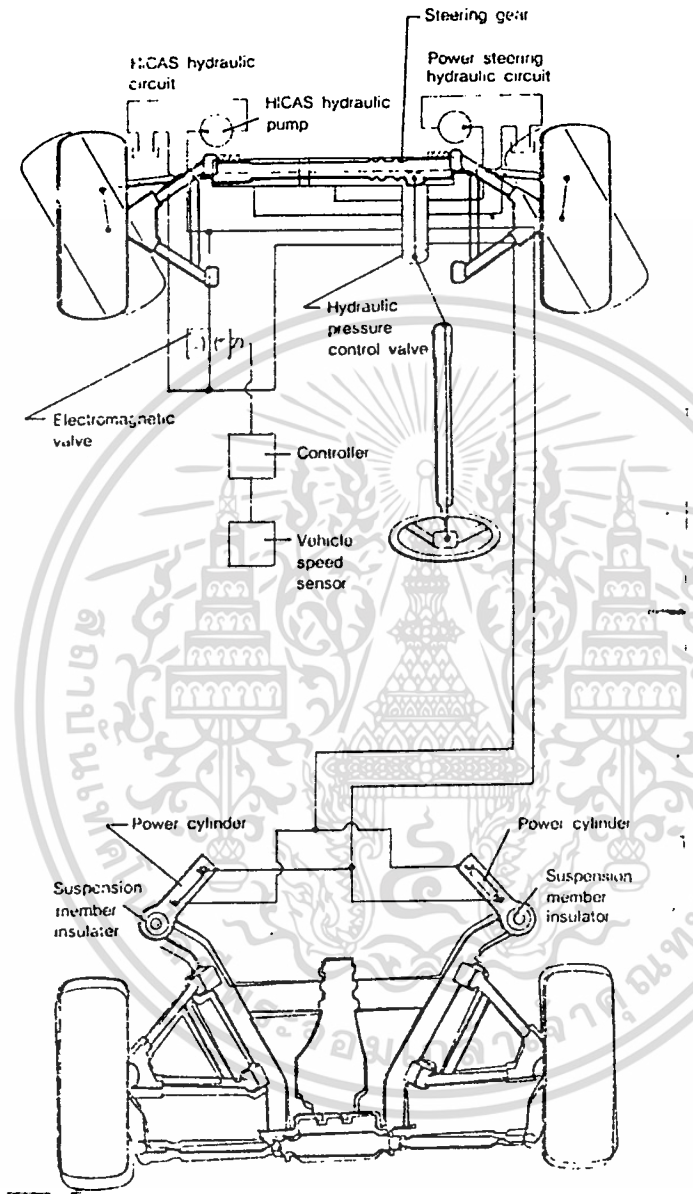
2.4 ระบบบังคับเลี้ยวสี่ล้อในรถ NISSAN CUE-X

2.4.1 ระบบไฮคาส (HICAS)

HICAS (High Capacity Actively-Controlled Suspension) ประกอบด้วย ครอบไฮดรอลิก (Power cylinder or Actuator) 2 ตัว ติดตั้งอยู่หน้าส่วนปลายสุดของโครงรถส่วนท้าย (Diagonal cross-member) ที่กิ่งปีกนกเฉียง (Diagonal A-arm) ติดตั้งอยู่

ลูกสูบจะเคลื่อนที่ทำให้ระชะชักเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร่งด้านข้างซึ่งขึ้นกับการหักเลี้ยวของล้อหน้า ครอบไฮดรอลิกทั้งสองตัวจะทำให้โครงรถส่วนท้ายเคลื่อนตัวภายในลีสของกำบังตัวของบูช (Bush) คือ ประมาณ 0.5 องศา

แหล่งพลังงานของครอบลูกสูบไฮดรอลิก ประกอบด้วย น้ำมันไฮดรอลิกและน้ำมันพวงมาลัย ความดันของน้ำมันไฮดรอลิกถูกควบคุมโดยวาล์วนิคมพิเศษของระบบไฮคาส (Special HICAS Valve) ซึ่งตอบสนองกับความเร่งด้านข้างและความเร็วรถ

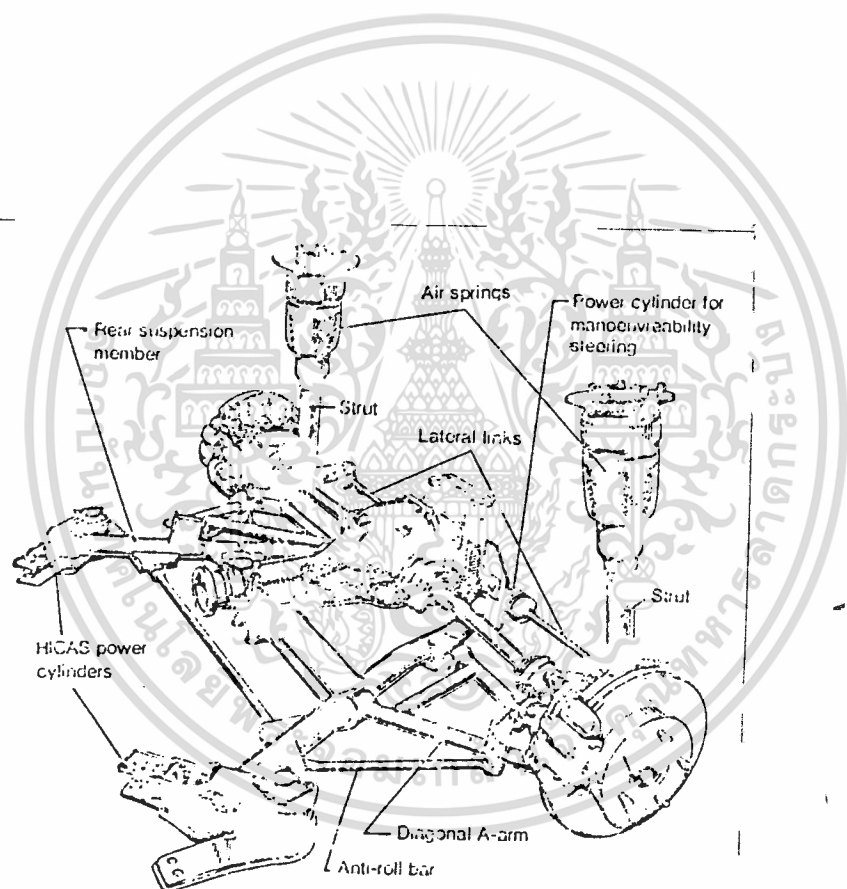


รูปที่ 21 แสดงโครงสร้างของระบบไฮดรอลิกในรถบรรทุก CUE-X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ระบบบังคับเลี้ยวเพื่อความคล่องตัว (Manoeuvrability Steering)

นอกเหนือไปจากระบบไฮคาสแล้ว NISSAN CUE-X ยังมีระบบไฮดรอลิกบังคับเลี้ยวล้อหลังซึ่งแยกจากระบบ HICAS โดยที่จะบังคับเลี้ยวล้อหลังเป็นมุม 7 องศา ในทิศทางตรงข้ามกับล้อหน้าด้วยความเร็วต่ำ ๆ ในกรณีที่ล้อหลังจะถูกควบคุมการเลี้ยวโดยระบบออกสูบไฮดรอลิกที่ถูกควบคุมโดยสปริงรับภาระ (Spring-loaded power cylinder) ร่วมกับก้านส่ง (Mechanical linkage)



รูปที่ 22 แสดงระบบบังคับเลี้ยวล้อหลังเพื่อความคล่องตัวในรถนิสสัน CUE-X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ระบบกันสะเทือนแบบปีกนกคู่ล้มหน้าทั้งบังคับเลี้ยวล้อของมาสด้า (Twin

Trapezoidal Link Suspension Intra Four-Wheel Steering)

2.5.1 หลักการทำงาน

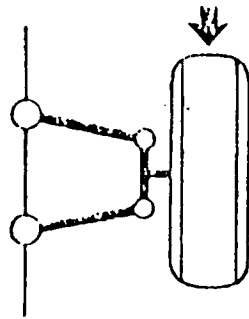
TTL ประกอบด้วยแขนยึดแบบคู่ขนานจำนวน 1 คู่ ติดตั้งในแนวขวางกับตัวรถและแขนยึดอีกหนึ่งตัว ตามความยาวของตัวรถ ทั้งหมดยึดกับตัวรถด้วยบุชแบบพิเศษ (Asymmetrical bushings) ดังแสดงในรูปที่ 23A

บุชยาง A ของแขนยึดตัวหน้า กระชับเมื่อต้นออกด้านข้าง และอ่อนตัวเมื่อต้นเข้าด้านใน และ บุชยาง B ของแขนยึดตัวหลังอ่อนตัวเมื่อต้นออกด้านข้าง และกระชับเมื่อต้นเข้าด้านใน ดังแสดงในรูปที่ 23B

เมื่อมีแรงเบียดจากด้านข้าง แรงกระทำนี้จะผลักดันที่แขนยึดทั้งหน้าและหลังเท่า ๆ กัน อย่างไรก็ตามการยุบตัวของบุชยางตัวหน้าจะมากกว่าตัวหลังอันเนื่องจากโครงสร้างของบุช ดังนั้นล้อหลังจึงเกิดการเลี้ยวเข้าด้านใน (โท-อิน) ดังแสดงในรูปที่ 23C

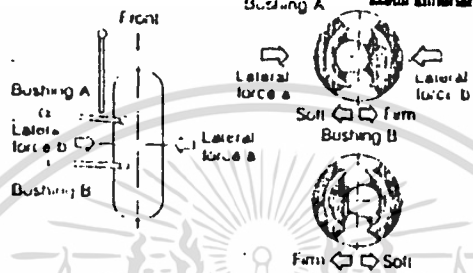
เมื่อมีแรงเหวี่ยงตัวจากด้านใน แรงกระทำนี้จะผลักดันที่แขนยึดทั้งหน้าและหลังออกด้านนอกเท่า ๆ กัน อย่างไรก็ตามการยึดตัวของบุช ยางหลังจะมีมากกว่าของตัวหน้า ดังนั้นจึงทำให้ล้อหลังเกิดการเลี้ยวเข้าด้านใน (โท-อิน) ดังแสดงในรูปที่ 23D

เมื่อเกิดแรงผลัดจากด้านหลัง เช่นเมื่อทำการเบรคหรือเร่งเพื่อออกตัวล้อหลังจะพยายามที่จะเลื่อนตัวถอยหลังมาได้เล็กน้อยจากคุณสมบัติของบุชยาง และจากโครงสร้างของ TTL ทำให้ล้อมีลักษณะที่จะหุบเข้าด้านใน (โท-อิน) แต่ในขณะที่ชุดปีกนกเคลื่อนมาด้านหลังนั้นจะมีลักษณะที่จะทำให้เกิดอาการล้อเบนออกด้านนอก (โท-เอาท์) จากกรณีนี้แรงทั้ง 2 เกิดการสมดุลกัน และทำให้มุมล้ออยู่ในแนวตรง (มุมล้อเป็นศูนย์) ดังแสดงในรูปที่ 23E



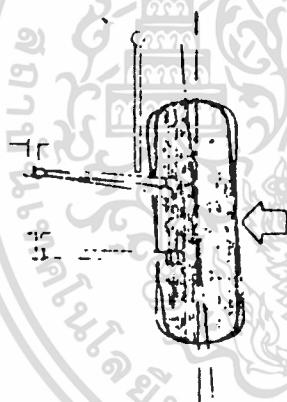
A

Asymmetrical bushings



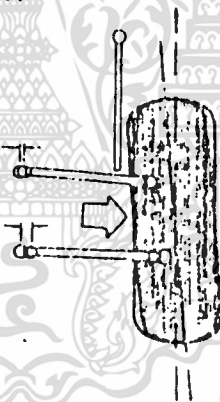
B

Toe change during application of lateral force



When inward lateral force is applied to tyre

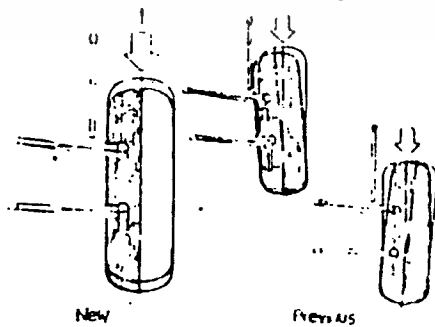
Toe change during application of lateral force



When outward lateral force is applied to tyre

C

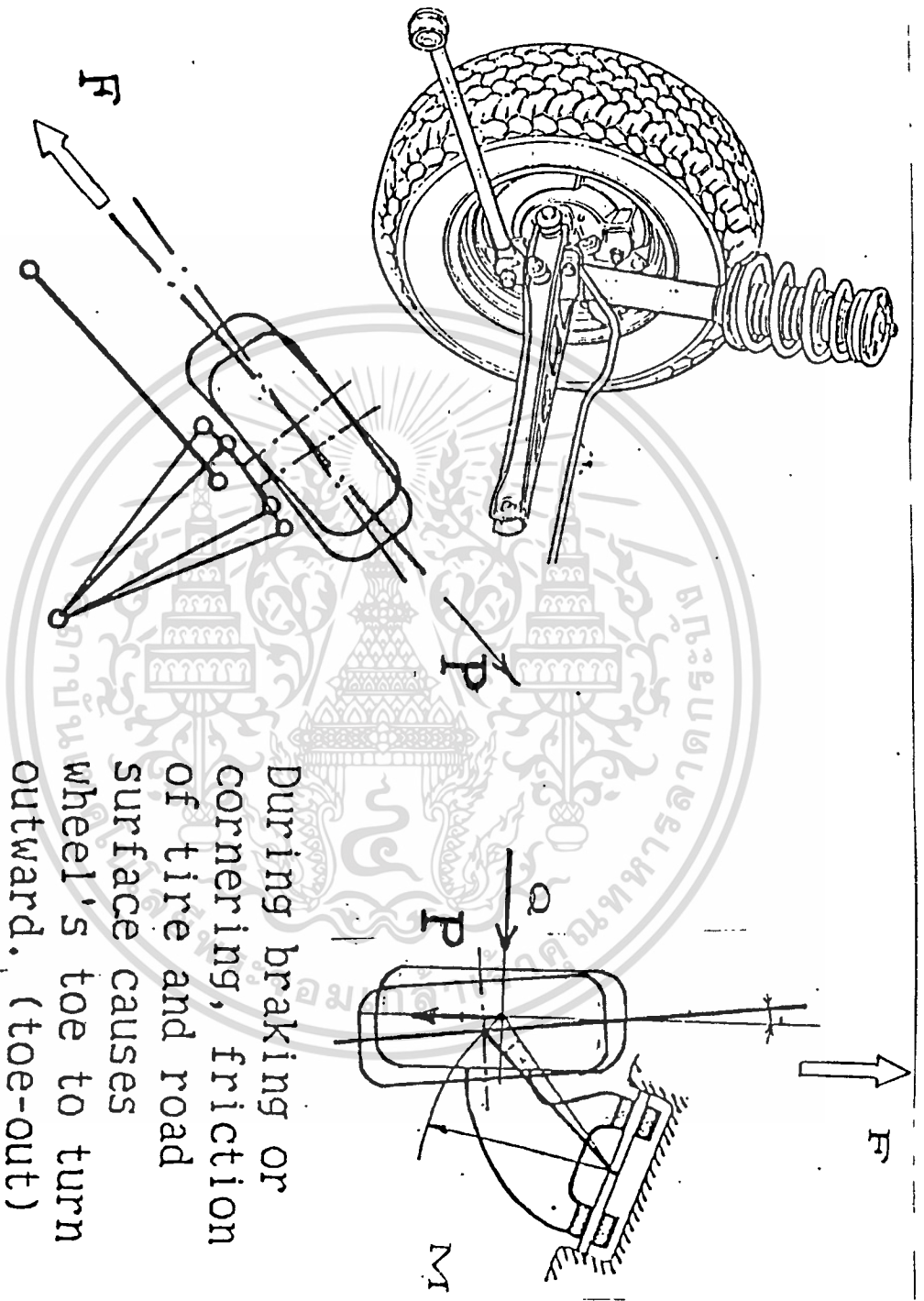
Toe change during application of fore and aft force



D

รูปที่ 23 แสดงหลักการทำงานของระบบ TTL

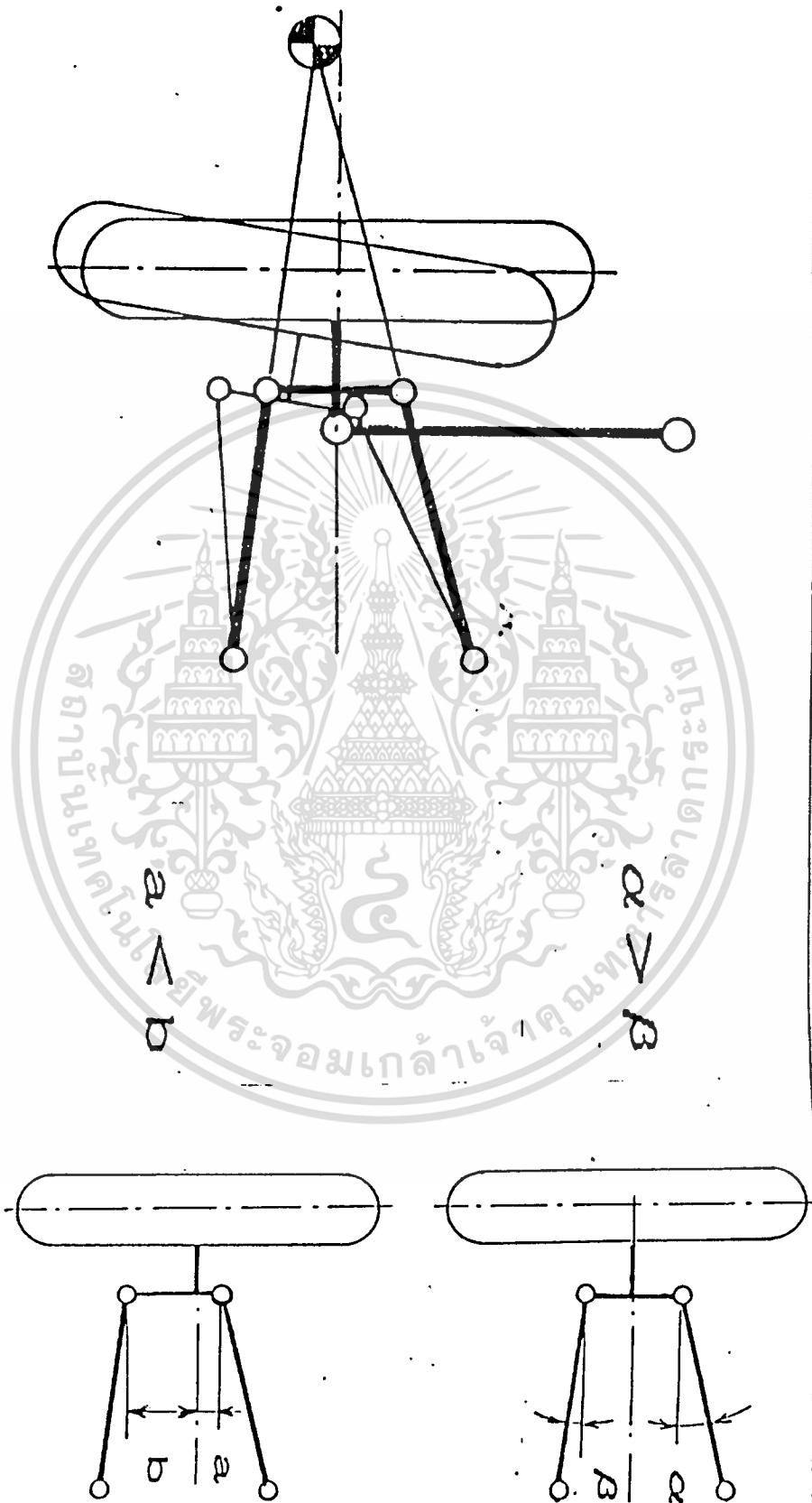
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



During braking or
cornering, friction
of tire and road
surface causes
wheel's toe to turn
outward. (toe-out)

รูปที่ 24 แสดงการเกิด โท-เอาท์ ของระบบพวงมาลัย

รูปที่ 25 แสดงการเคลื่อนตัวของปากกาผู้พิมพ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบ TTL มุ่งที่จะแก้ปัญหาของระบบกันสะเทือนล้อหลังแบบธรรมดา โดยยอมให้มีการขยับตัวไปข้างหน้าข้างหลังมากพอแต่ไม่ทำให้เกิดมุมโท-เอาก์ ที่เราไม่ต้องการ

ระบบนี้เป็นระบบธรรมดา ๆ นี้เอง ซึ่งประกอบด้วยคานยึด 2 ตัว จัดไว้เป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ดังแสดงในรูปที่ 24 และ รูปที่ 25

สมมุติว่า ล้อรถได้รับแรงเบรค (Braking force, P) หรือแรงคอร์เนอร์ริง (Connering force, Q) ที่เกิดขึ้นกับล้อหลังด้านนอกเมื่อรถยนต์เข้าโค้ง ในลักษณะนี้จะเกิดมุมโท-เอาก์ ส่วนประกอบหลักของ TTL มีคานยึดคู่จัดไว้เป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูรูปทรงนี้

สามารถทำให้เกิดการควบคุมมุมโท-อิน ของล้อเป็นไปได้อย่างอิสระ โดยการทำมุมแอลฟา (α) มากกว่าเบต้า (β) หรือทำให้ระยะ b มากกว่า a หรือผสมผสานกันทั้งมุมและระยะ

นอกจากนี้ ในเมื่อระบบ TTL ทำให้เกิดมุมโท-อิน ตามหลักเรขาคณิตมุมโท-เอาก์ของล้อหลังจะไม่เกิดขึ้น แม้ว่าจะมีการขยับตัวไปข้างหน้าข้างหลังอย่างมากก็ตาม

2.5.2 ผลของ TTL

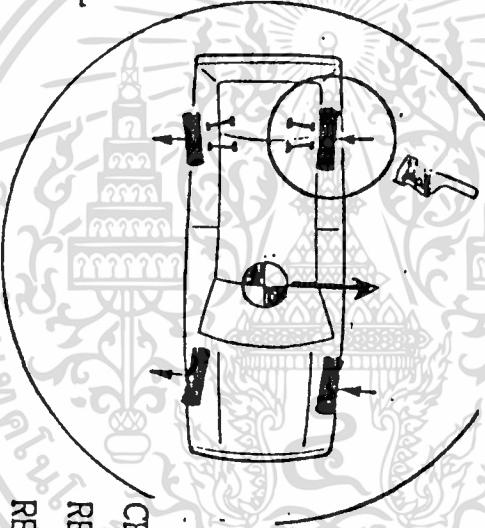
1. เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างเครื่องบินกับรถยนต์ เพื่อช่วยให้เข้าใจข้อดีของ TTL ได้ง่ายขึ้น

แรงยกของเครื่องบินจะเพิ่มขึ้นเป็นกำลังสองของความเร็ว ดังนั้นการทรงตัวของเครื่องบินจะดีขึ้นเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น ดังเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้ว

ในทางกลับกัน รถยนต์จำเป็นต้องใช้แรงเสียดทานระหว่างยางรถยนต์กับผิวถนน เพื่อคงเส้นทางไว้เมื่อรถยนต์เข้าโค้ง แรงเหวี่ยงที่เกิดขึ้นกับรถจะเพิ่มขึ้นเป็นกำลังสองของความเร็ว ดังนั้น เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น รถก็จะเกิดอาการโคลงตัวมากขึ้นตามไปด้วย

แรงที่ทำให้รถยนต์สามารถวิ่งไปตามเส้นทางโดยต้านแรงเหวี่ยงเรียกว่า แรง คอร์เนอร์ริงของยาง แรงคอร์เนอร์ริงมีแนวโน้มว่าจะเพิ่ม เมื่อมุมสไลด์ของยางเพิ่มขึ้น

LOW-SPEED TURNING
CENTRIFUGAL FORCE SMALL
REAR WHEEL'S FRICTION FORCE SMALL
REAR WHEEL'S SIDE SLIP SMALL
RESULTING IN HEAD-OUT



TOE-IN REDUCES HEAD-IN

HIGH-SPEED TURNING
CENTRIFUGAL FORCE LARGE
REAR WHEEL'S FRICTION FORCE LARGE
REAR WHEEL'S SIDE SLIP LARGE
RESULTING IN HEAD-IN

HIGH-SPEED TURNING

รูปที่ 26 แสดงพฤติกรรมของรถยนต์ เลี้ยวโค้งด้วยความเร็วต่ำและความเร็วสูง

2. การเปลี่ยนแปลงการทรงตัวตามความเร็วของรถ

ถ้ารถจะเลี้ยวในรัศมีโค้งที่ แรงเหวี่ยงจะสมดุลด้วยแรงคอร์เนอร์เนอริงของยางทั้ง 4 ล้อ และการหันเหโคจรอบจุดศูนย์กลางของรถต้องเท่ากับศูนย์ นิจารณารูที่ 26 รถทางซ้ายกำลังเข้าโค้งด้วยความเร็วต่ำ ในขณะที่รถทางขวาเข้าโค้งในความเร็วสูง

การเข้าโค้งอย่างช้า ๆ ทำให้เกิดแรงเหวี่ยงน้อย ดังนั้น ยางทั้ง 4 ล้อจะทำให้เกิดแรงคอร์เนอร์เนอริงน้อยมาก ผลก็คือยางแต่เส้นจะเกิดอาการสั่นไถลไปด้านข้างน้อยกว่า ดังนั้น จุดศูนย์กลางของวงเลี้ยวจะเข้ามาอยู่ใกล้กับแนวของเพลาลัง ในลักษณะนี้รถยนต์จะเลี้ยวในลักษณะหัวหักออก

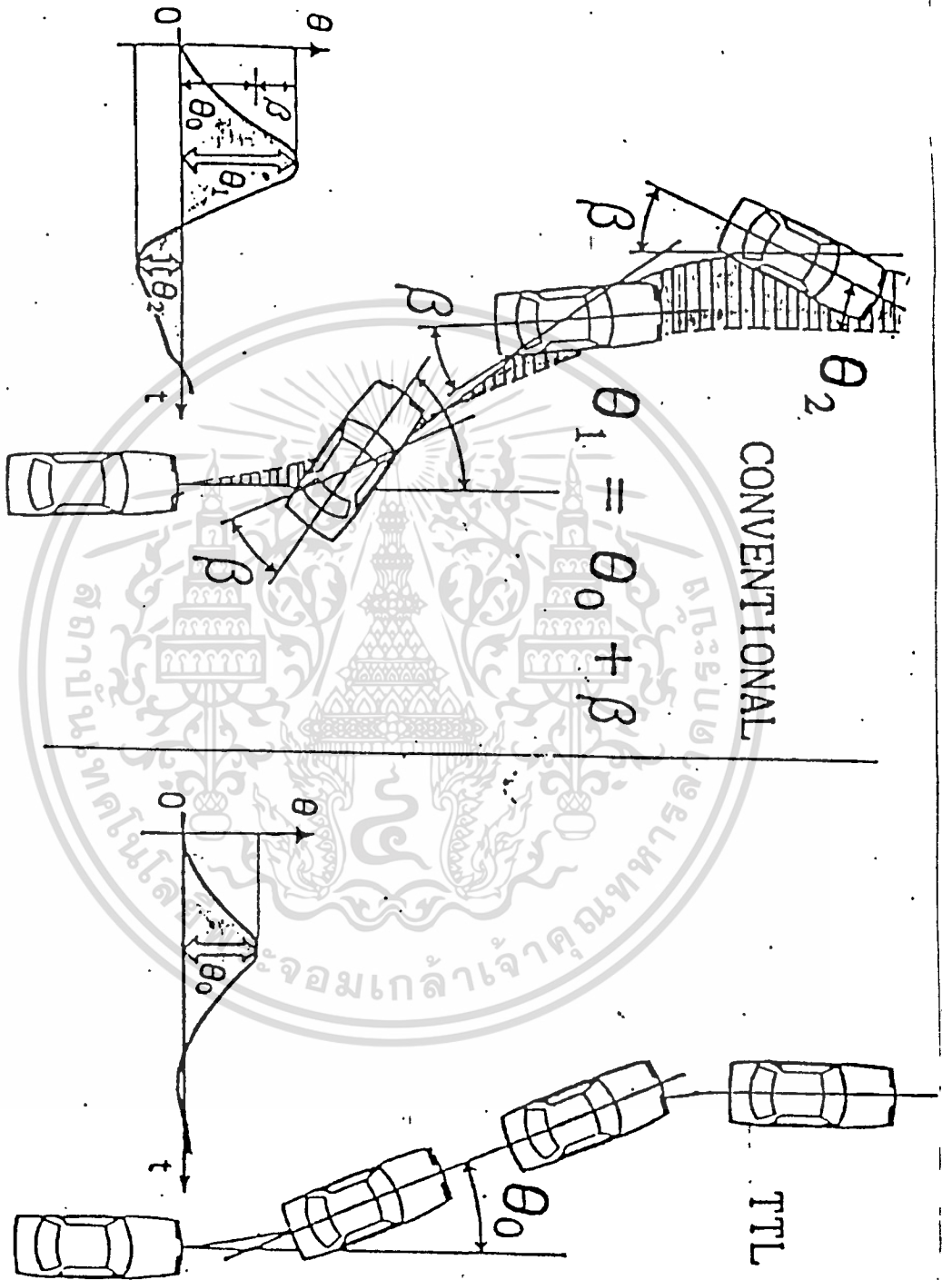
เมื่อความเร็วรถเพิ่มขึ้น ยางทั้ง 4 ล้อจะทำให้เกิดแรงคอร์เนอร์เนอริงเพิ่มขึ้น ในการที่จะเพิ่มแรงคอร์เนอร์เนอริง มุมสั่นไถลด้านข้างของยางจำเป็นต้องเพิ่มขึ้นด้วย มุมของล้อหน้าทำให้เพิ่มขึ้นโดยการหมุนพวงมาลัย แต่มุมสั่นไถลด้านข้างของยางหลังจะเพิ่มขึ้นได้โดยการเปลี่ยนทิศทางของรถเท่านั้น ผลก็คือรถจะเข้าโค้งโดยท้ายหันออก นั่นคืออาการท้ายปัด กรณีนี้เรียกว่าหัวหักเข้า ดังนั้น เมื่อเข้าโค้งรถยนต์จะเปลี่ยนทิศทางจากหัวหักออกเป็นหัวหักเข้าตามความเร็วรถ ถ้าล้อหลังด้านนอกเกิดมุมโท-อิน รถจะเข้าโค้งโดยมีหัวหักเข้าเพียงเล็กน้อยแต่ถ้าเกิดมุมโท-เอาท์ รถจะมีหัวหักเข้ามากขึ้น

ในกรณีระบบกันสะเทือนแบบธรรมดา เมื่อผู้ขับห้ามล้อในขณะที่เข้าโค้งด้วยความเร็วสูง ล้อหลังด้านนอกจะเกิดมุมโท-เอาท์ และรถจะช้าลง ทำให้แรงคอร์เนอร์เนอริงลดลง เมื่อรวมผลไม่ดีเหล่านี้เข้าด้วยกัน การเกิดอาการท้ายปัดก็เพิ่มมากขึ้นตามส่วน

ในระบบ TTL แรงห้ามล้อจะทำให้เกิดมุมโท-อิน ซึ่งชดเชยการลดลงของแรงคอร์เนอร์เนอริง ผลก็คืออาการท้ายปัดจะมีไม่มากนัก

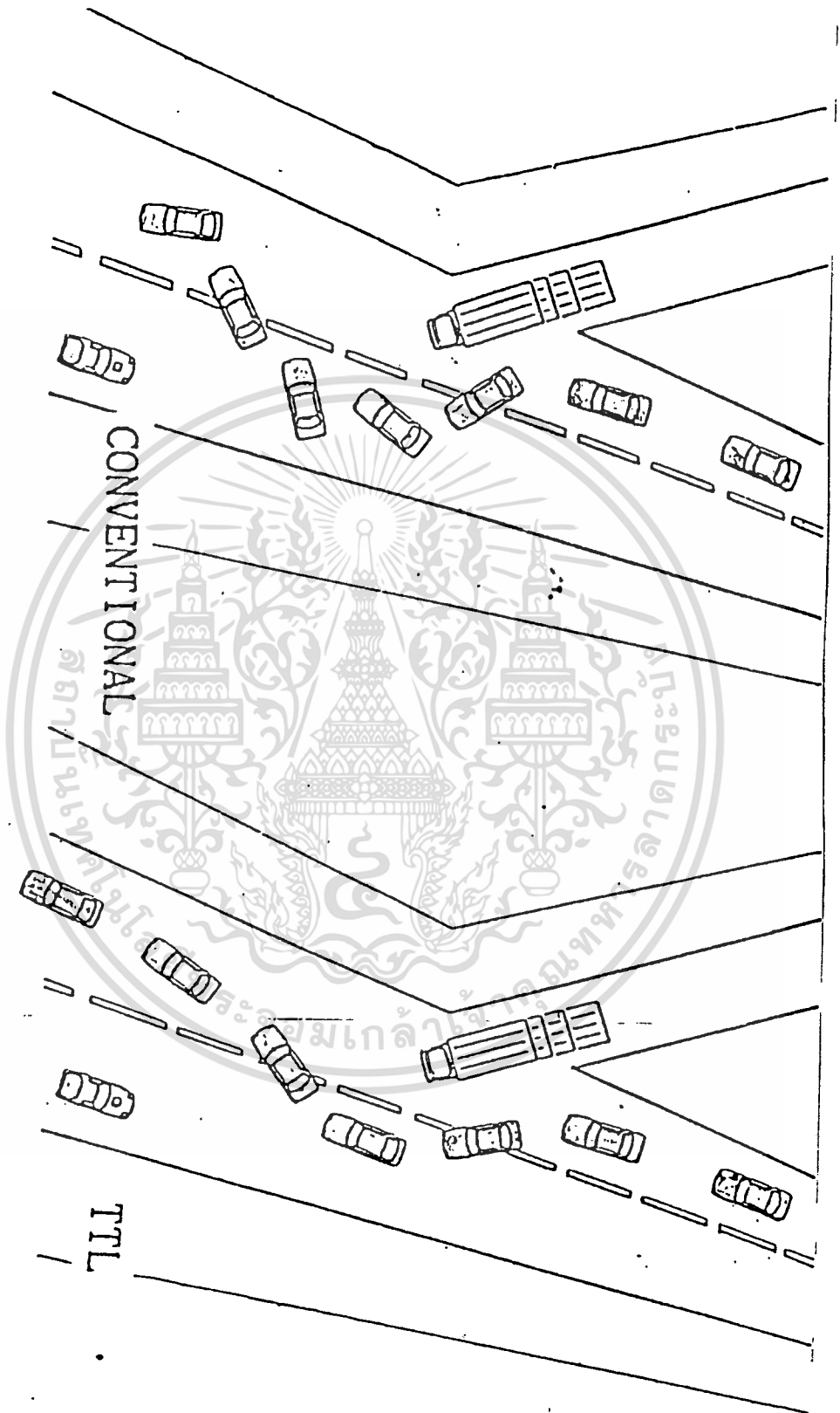
3. การเปลี่ยนเลนอย่างฉับพลัน

จากรูที่ 27 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนเลนด้วยความเร็วสูง หรือการวิ่งบนถนนรูปตัว "เอส" ("S") ด้วยความเร็วสูงรถทางซ้ายติดตั้งระบบกันสะเทือนแบบธรรมดา และคันทางขวาใช้ระบบ TTL ในระบบกันสะเทือนแบบธรรมดามีกรณีหัวหักเข้ามาก และเมื่อผู้ขับหมุนพวงมาลัยไปขวาและซ้ายเพื่อให้รถวิ่งตรงไปก็ทำให้เกิดอาการส่ายมากเกินไปญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 27 การเปรียบเทียบเทคนิคการหมุนของระบบความถี่ระบบ TTL. และเปลี่ยนช่องทางเดินด้วยความเร็วสูง

รูปที่ 28 การเปรียบเทียบการจราจรตัวกลางรถบรรทุกกับรถพ่วงระบบ TTL และรถขนส่งที่ขาดความเร็วสูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบกันสะเทือนแบบ TTL อากาศหัวหักเข้าม้น้อย ทำให้ผู้ขับสามารถบังคับรถไปตามเส้นทางได้แม่นยำ

4. ปรับปรุงเพื่อหลีกเลี่ยงอุบัติเหตุ

จากรูปที่ 28 แสดงให้เห็นว่ารถชนิดสามารถหลีกเลี่ยงการชนกับรถบรรทุกที่เข้ามาจากทางแยกเพื่อเข้าร่วมไฮเวย์ได้อย่างไร

รถทางซ้ายใช้ระบบกันสะเทือนแบบธรรมดา และทางขวาใช้ระบบกันสะเทือนแบบ TTL ในสถานการณ์เช่นนี้ก็เช่นกัน ระบบ TTL ทำให้เกิดการเจ็มน้อยลง เพื่อหลีกเลี่ยงอุบัติเหตุได้มากขึ้น จึงมีความปลอดภัยสูงกว่า

โปรดสังเกตว่าในแผนผังเหล่านี้ การเคลื่อนไหวของรถถูกทำให้เกินความจริงไปบ้าง เพื่อเน้นความแตกต่างระหว่างระบบกันสะเทือนทั้งสองชนิด ทั้งในแง่การเปลี่ยนเลนและในแง่ความสามารถในการหลีกเลี่ยงอุบัติเหตุ

2.5.3 ขบวนการพัฒนา

ระบบ TTL เป็นผลมาจากความพยายามอย่างต่อเนื่องสองประการ ดังนี้

2.5.3.1 การจำลองออกแบบการทำงาน

ในการพัฒนาระบบ TTL ได้ใช้โครงการจำลองการทำงานโดยคอมพิวเตอร์เป็นพื้นฐานตามที่แสดงดังในรูปที่ 29 และ รูปที่ 30

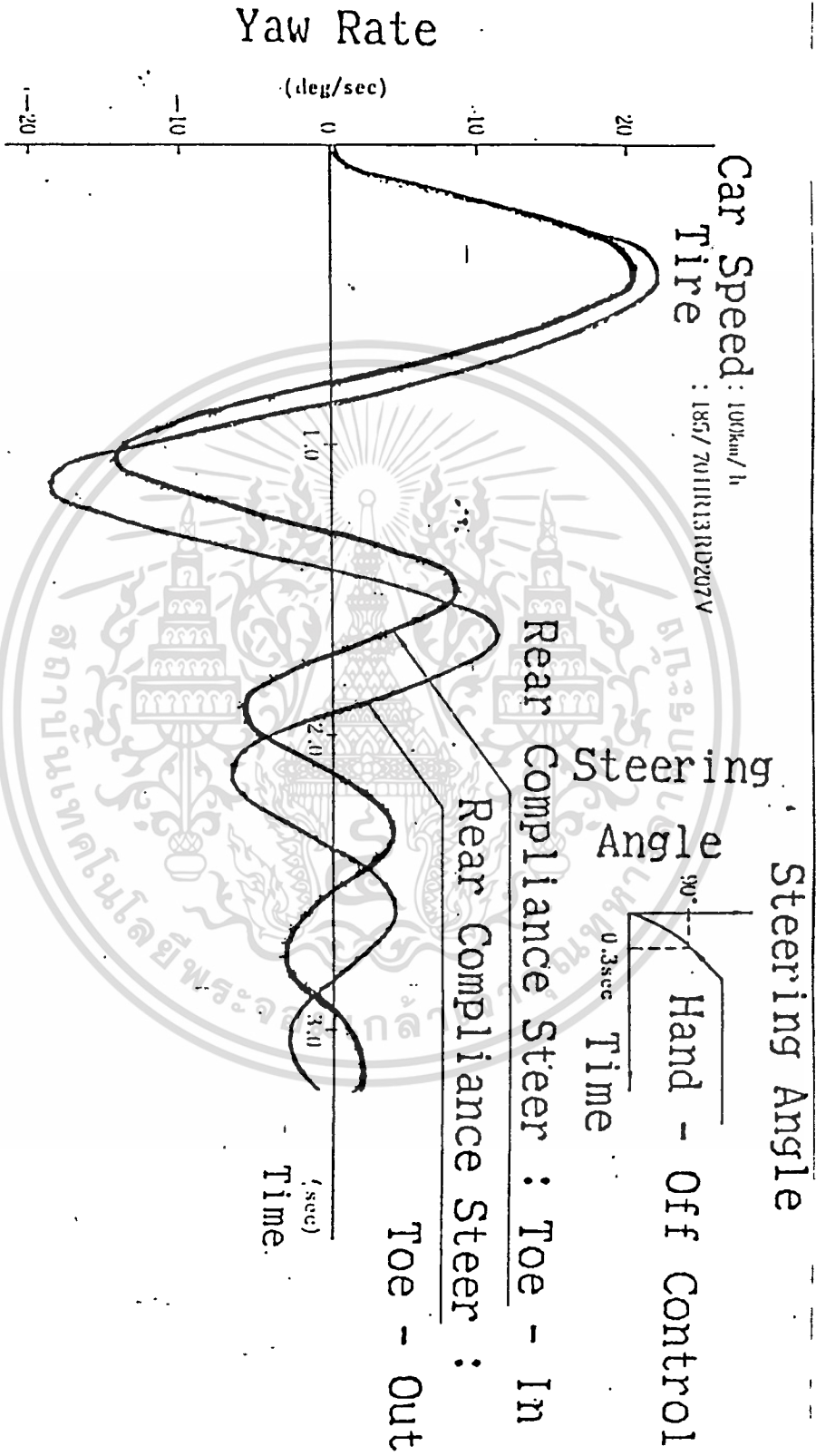
1. การทรงตัวของยานชนิดเมื่อปล่อยมือ

จากรูปที่ 29 ในกราฟนี้ ได้แสดงอัตราการส่ายเทียบกับเวลาที่ผ่านไปหลังการหักเลี้ยว 90 องศา อย่างรวดเร็วแล้วปล่อยพวงมาลัย ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อใช้ TTL แล้ว การส่ายจะบรรเทาลงมาก และความถี่ในการตอบสนองของอาการส่ายก็สูงกว่าด้วย

2. ความถี่ในการตอบสนองของอาการส่ายต่อมุมเลี้ยว

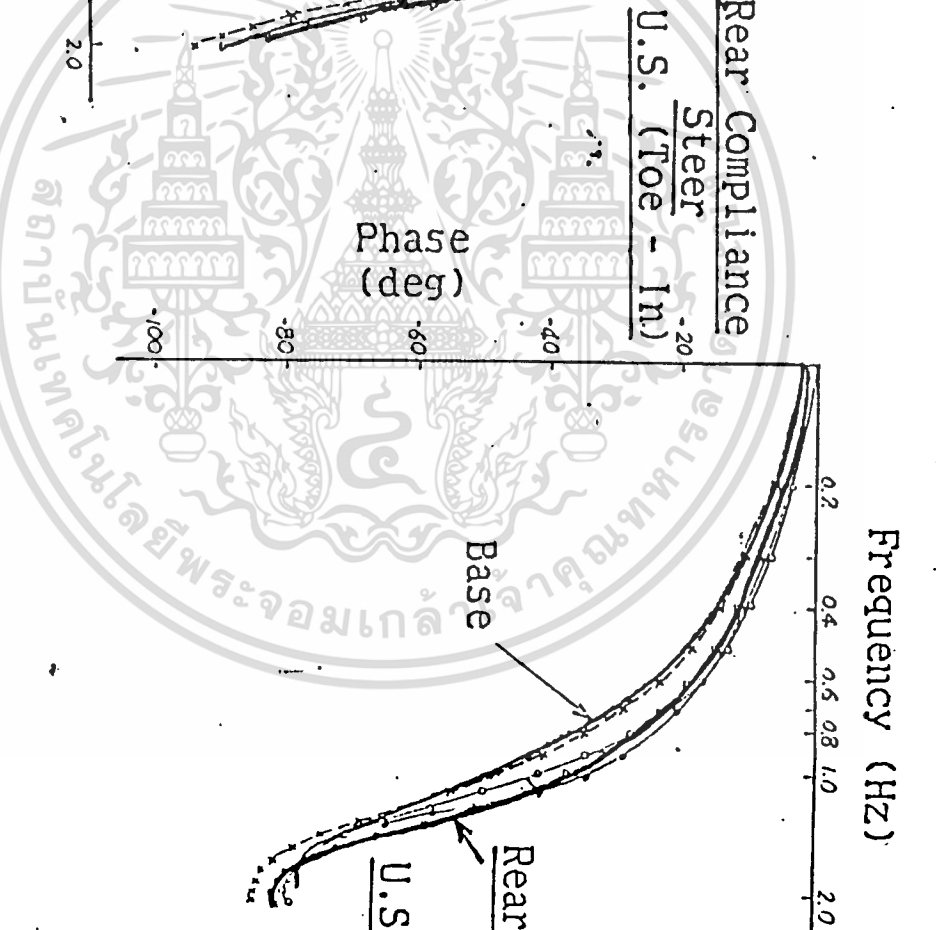
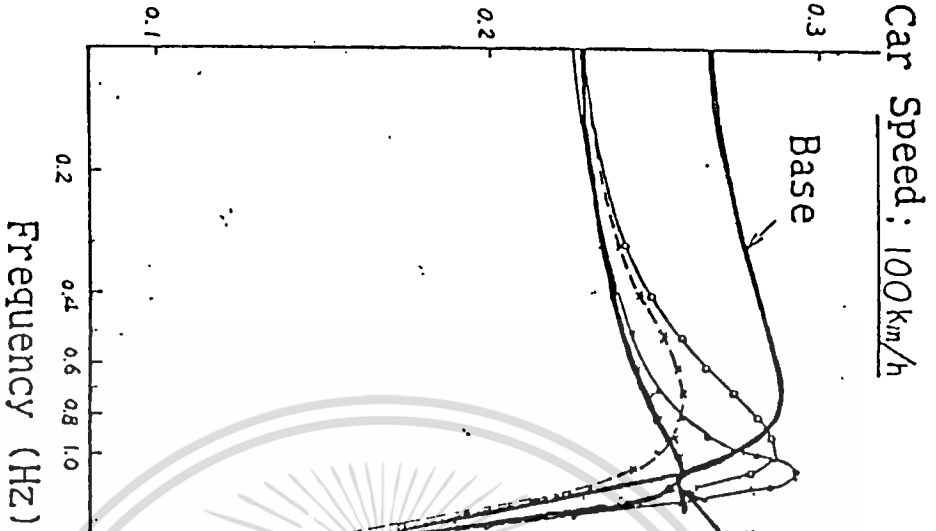
จากรูปที่ 30 กราฟทางซ้ายมือ เปรียบเทียบการเพิ่มอัตราการส่ายกับความเร็วของพวงมาลัย การเพิ่มอัตราการเจ็มนั้นก็คืออัตราการเจ็มหดด้วยมุมเลี้ยวของพวงมาลัย ในกราฟทางขวามือเปรียบเทียบ การขาดช่วงระยะในระหว่างการเปลี่ยนทิศทางการเลี้ยวและการเกิดการเจ็มเทียบกับความเร็วในการเลี้ยว

เอเจนซีการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 29 แสดงการทรงตัวของรถเมื่อปล่อยมือ

Yaw Rate / Steering Angle (deg/sec/deg)

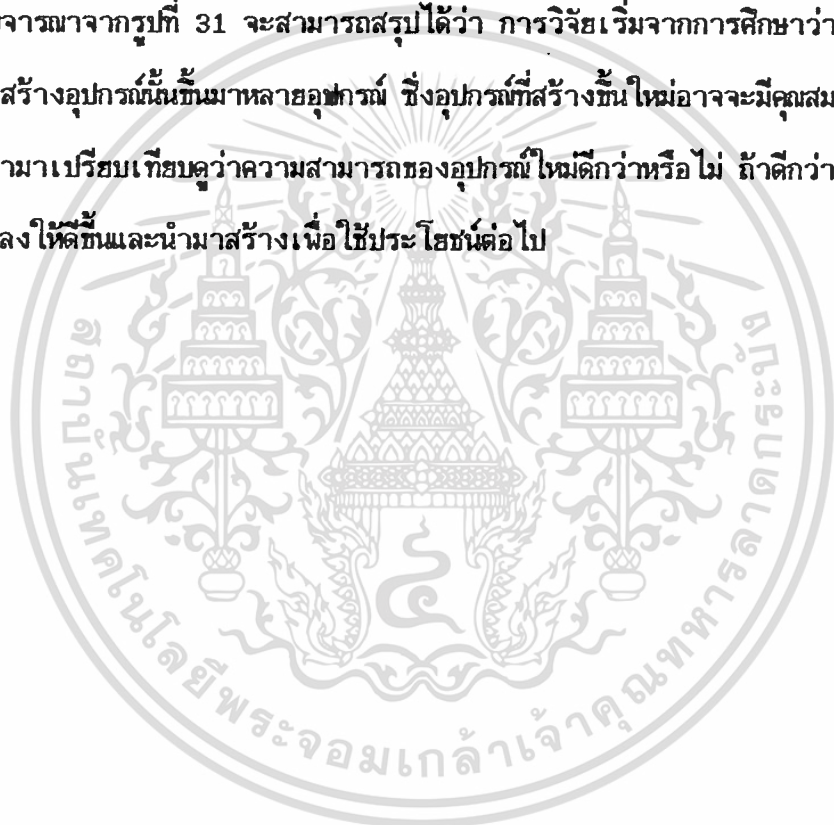


รูปที่ 30 แสดงความถี่ในการตอบสนองของอาการส่ายต่อมุมเลี้ยว

กราฟทางซ้ายแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำให้เกิดมมโท-อินในล้อยหลัง การเพิ่มอัตราการ
 เจลดลง และความถี่ในการตอบสนองอากาศสายสามารถทำให้เพิ่มขึ้นได้ จากกราฟทางซ้ายมือจะ
 เห็นว่า ระบบ TTL มีแนวโน้มที่จะลดความล่าช้าระหว่างการเปลี่ยนทิศทางเลี้ยวและการเกิดการเจ
 ข้อดีเหล่านี้ ชี้ให้เห็นว่าลู่ทางของ TTL ที่จะเพิ่มการทรงตัวของยานยนต์ในขณะที่ใช้
 ความเร็วสูง

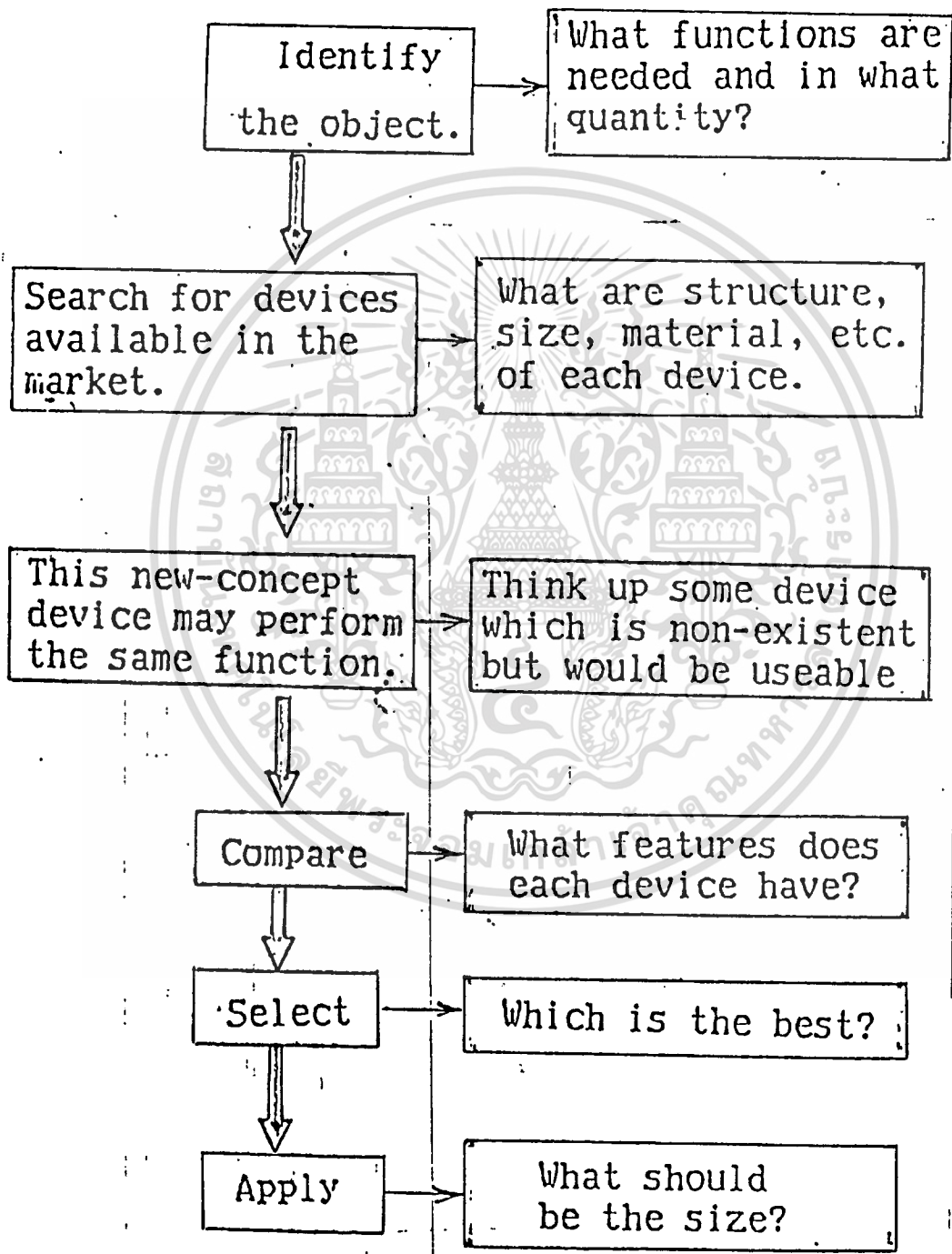
2.5.3.2 การใช้ระบบ GVE (Group Value Engineering)

- พิจารณาจากรูปที่ 31 จะสามารถสรุปได้ว่า การวิจัยเริ่มจากการศึกษาว่าคุณสมบัติใด
 ที่ต้องการแล้วสร้างอุปกรณ์นั้นขึ้นมาหลายอุปกรณ์ ซึ่งอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นใหม่อาจจะมีคุณสมบัติที่
 อยู่แล้วก็ต้องนำมาเปรียบเทียบกับความสามารถของอุปกรณ์ใหม่ดีกว่าหรือไม่ ถ้าดีกว่าก็นำมาปรับ
 ประงแล้วตัดแปลงให้ดีขึ้นและนำมาสร้างเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป



GVE Flowchart

Basic Flowchart of GVE Activity



บทที่ 3

การทดสอบและผลจากการทดสอบ

3.1 การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบระหว่างระบบบังคับเลี้ยวสองล้อ (2-WS) และระบบบังคับเลี้ยวสี่ล้อในรถมาสด้าและรถฮอนด้า

นิตยสาร "อโตคาร์" ของอังกฤษ ได้ตั้งคำถามเกี่ยวกับรถบังคับเลี้ยวสี่ล้อว่าเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ ๓ หรือเป็นความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีอย่างแท้จริงกันแน่ และเมื่อทางนิตยสารได้ทดสอบ รถฮอนด้า (HONDA PRELUDE 2.0-16) กับ รถมาสด้า (MAZDA 626 2.0i GT) ซึ่งใช้ระบบบังคับเลี้ยวสี่ล้อเพียงสองคันที่หาได้ในอังกฤษแล้ว ก็มีความเห็นไปในทางบวก

กล่าวคือรถทั้งสองคันหักเลี้ยวเข้าโค้งได้คล่องกว่ารุ่นบังคับเลี้ยวสองล้อ ให้ความรู้สึกมั่นคงกว่าเมื่อแล่นเร็ว ๆ บนถนนที่คดเคี้ยว จะเปลี่ยนเลนที่ถนนวงมาลัยน้อยกว่า ที่สุดคือ วงเลี้ยวแคบ เวลากลับรถยูเทิร์นหรือเข้า-ออกที่จอดคั่นแคบเป็นเรื่องที่ง่ายตาย

แต่ทาง "อโตคาร์" ก็ยังคงขบขันว่า ทำไมรถบังคับเลี้ยวสองล้อ ขับเคลื่อนล้อหน้า ที่ออกแบบให้วงเลี้ยวแคบและช่วงล่างด้านหลังดี ๆ จึงจะสู้ไม่ได้เลยจัดให้มีการทดสอบเพิ่มเติมเปรียบเทียบระหว่างรถบังคับเลี้ยวสองและสี่ล้อ เพื่อวัดวงเลี้ยว การเกาะถนนเมื่อวิ่งเป็นวงกลมบนลานและเสถียรภาพเมื่อวิ่งจับเวลาบนเส้นทางคดเคี้ยว โดยได้เชิญ จอห์น ไมล์ส อดีตนักแข่งรถสูตรหนึ่ง และ เบนทิ แอวิก คาลา นักแข่งรถแรลลี่ระดับโลก มาร่วมในการทดสอบด้วย

ในรถสองคันนี้ ระบบของฮอนด้า ง่ายกว่า เป็นชนิดกลไกล้วน ดูในรูปที่ 17 จะเห็นว่าล้อหลังเลี้ยวตามล้อหน้าไปช่วงหนึ่งแล้วจึงเปลี่ยนเป็นเลี้ยวสวนทางกัน โดยที่มุมสูงสุดที่ล้อหลังเลี้ยวตามล้อหน้าคือ 1.5 องศา และ มุมสูงสุดที่ล้อหลังเลี้ยวสวนทางกับล้อหน้าคือ 5.3 องศา เรียกว่า เป็นระบบที่มุมและทิศทางการเลี้ยวของล้อหลังผันแปรตามการหักเลี้ยวของล้อหน้า โดยมีเพลาขับจากห้องพวงมาลัยหน้าเชื่อมโซงกับห้องเกียร์พวงมาลัยหลัง (ชนิด RACK AND PINION ทั้งคู่) ดังรูปที่ 16 และ 19 บีบเพาเวอร์พวงมาลัยใช้ขนาดใหญ่กว่าในรุ่นบังคับเลี้ยวสองล้อ เพราะต้องรับภาระในการเลี้ยวล้อหลังด้วย

ส่วนของระบบมาสด้า นี้มุมและทิศทางการเลี้ยวของล้อหลังผันแปรตามความเร็วรถ ดังรูปที่ 1 ซึ่งมีจุดตัดอยู่ที่ประมาณ 36 กม./ชม. ถ้าเร็วกว่านี้ล้อหลังจะเลี้ยวตามล้อหน้าและถ้าการค้ำเอียงรถเป็นเชิงค้ำให้เพิ่มการหักเลี้ยว การค้ำไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช้ากว่าล้อหลังจะเลี้ยวส่วนทางกลับล้อหน้า มุมเลี้ยวสูงสุดของล้อหลังประมาณ 5 องศา นอกจากนี้ระบบการทำงานของมาสด้าก็กลับซับซ้อนกว่าระบบของฮอนด้ามาก

TURNING CIRCLES

Honda Prelude 2ws	R 36ft 6ins L 35ft 3½ins
Honda Prelude 4ws	R 32ft 5ins L 32ft 1ins
Mazda 626 2ws	R 36ft 6½ins L 35ft 9ins
Mazda 626 4ws	R 32ft 2ins L 32ft 8½ins

STEERING PAD TIMES

Honda 2ws	R 11.92secs L 12.06secs
Honda 4ws	R 11.70secs L 12.12secs
Mazda 2ws	R 11.48secs L 11.38secs
Mazda 4ws	R 11.16secs L 11.35secs

รูปที่ 32 การเปรียบเทียบวงเลี้ยวของรถ

รูปที่ 33 ผลการจับเวลาที่วิ่งบนวงกลม

HANDLING COURSE

Honda 2ws	47.68secs
Honda 4ws	46.36secs
Mazda 2ws	47.45secs
Mazda 4ws	47.08secs

รูปที่ 34 ผลการจับเวลาที่วิ่งเพื่อทดสอบการบังคับควบคุมรถ

วงเลี้ยวของรถทั้งสองคัน (รูปที่ 32) เวลาที่ใช้วิ่งเป็นวงกลมบนลานทดสอบ (รูปที่ 33) และผลการวิ่งจับเวลาบนเส้นทางทดสอบการควบคุมบังคับรถ (รูปที่ 34) แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างมีไม่มากนัก แต่คงพอใช้ดูเป็นแนวทางเท่านั้น เพราะในวันทดสอบรถมาสด้าถนนแห้งแต่วันทดสอบรถฮอนด้า ถนนเปียก นอกจากนี้รถฮอนด้า 4-WS ใช้เครื่อง 16 วาล์ว 1958 ซีซี 150 แรงม้า ส่วนรถฮอนด้า 2-WS มีแค่ 12 วาล์ว 114 แรงม้า ซึ่งเงื่อนไขต่าง ๆ ในการทดสอบยังไม่เป็นไปตามเจตนารมณ์โดยสมบูรณ์ของ "ออคโตคาร์" ที่ประสงค์จะให้ทุกอย่างเหมือนกับหมดยกเว้นระบบบังคับเลี้ยวสองกับสี่ล้อเท่านั้น แต่ไม่สามารถทำตามนั้นได้

รถบังคับเลี้ยวสองล้อทั้งสองคัน ควบคุมบังคับง่ายกว่ารถบังคับเลี้ยวสี่ล้อในการเลี้ยวโค้งเป็นวงกลมด้วยความเร็วถึงขีดสุด (ที่รถจะเกาะถนนอยู่ได้) ในขณะที่รถบังคับเลี้ยวสี่ล้อทั้งสองคัน รู้สึกไม่มั่นคงและต้องคอยแต่งแก๊วลงมาด้วยความวิตกกังวลมากกว่า

ความเห็นของ จอห์น ไมล์ส "แม้จะยอมรับถึงข้อได้เปรียบของระบบบังคับเลี้ยวสี่ล้อที่เลี้ยวได้คล่องแคล่วกว่าที่ความเร็วต่ำ ๆ แต่เราต้องทดสอบว่าระบบนี้ในทิศทางเดียวกันนี้มีผลต่อการขับขี่ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถอย่างไรบ้างที่ความเร็วสูง ๆ"

ที่จริงรถยนต์ทั่วไปโดยเฉพาะรถขับเคลื่อนล้อหน้ายกเว้น รถสามล้อ (SABB) ต่างก็พยายามออกแบบเพลาท้ายให้เวลาเลี้ยวโค้งล้อหลังด้านนอกโค้งไม่เจออกนอกโค้งอยู่แล้ว แตกต่างอยู่แต่เพียงว่าระบบบังคับเลี้ยวล้อบังคับล้อหลังให้เลี้ยวตามล้อหน้าในขณะที่ เพลาท้ายธรรมชาติต้องให้แรงกระทำในแนวขวาง หรือการเอียงตัวของรถมาบังคับเลี้ยวล้อหลังโดยอาศัยความยืดหยุ่นของพวงมาลัยหรือการออกแบบวางตำแหน่งชิ้นส่วนต่าง ๆ ของระบบกันสะเทือน

การบังคับให้ล้อหลังเลี้ยวในทิศทางเดียวกับล้อหน้าเป็นการช่วยเพิ่มเสถียรภาพของรถมิให้เสียหลักหมุนรอบแกนตั้งคือ ช่วยต้านเพลาท้ายมิให้เปิดออกเมื่อเปลี่ยนเลนวิงที่ความเร็วสูง ๆ หรือเมื่อหักพวงมาลัยกลับเมื่อโดยลมปะทะด้านข้าง

รถฮอนด้า 4-WS เมื่อวิ่งทางตรงให้ความมั่นคงดีเยี่ยมและให้ความรู้สึกเกาะถนนดี แต่ข้อเสียอยู่ที่ จะเกิดอาการอันเดอร์สตีร์ (Understeer) รุนแรงมากเมื่อเข้าโค้งอย่างรุนแรงจนถึงขีดสุด พร้อมกับความรู้สึกที่ว่าเมื่อใดที่เพลาท้ายเริ่มสไลด์ละก็มันจะเป็น ไปอย่างฉับพลันและความคุมชากกว่ารถธรรมดาทั่วไป

ในการทดสอบวิงที่ความเร็วต่ำ ผิวนถนนลื่น ปรากฏว่า รถมาสด้า 4-WS ให้ความรู้สึกว่ามีเสถียรภาพมากขึ้นเนื่องจากอาการที่รถจะหมุนรอบแกนตั้งลดลงเมื่อเหวี่ยงรถจากซ้ายไปขวาแต่เมื่อถึงขีดสุดแล้วจะกลับเปลี่ยนเป็นอันเดอร์สตีร์ อย่างแรงทันที ซึ่งอาจจะทำให้ผู้ขับแก้ไขไม่ทันการ นอกจากนี้ยังให้ความรู้สึกที่ว่า หากเหวี่ยงให้ท้ายสไลด์เมื่อใด มันจะร้ายแรงกว่ารถบังคับเลี้ยวสองล้อซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยใช้พวงมาลัยและคันเร่งช่วย

จอห์น ไมล์ส กล่าวว่า "รถบังคับเลี้ยวล้อทั้งสองคันขับไม่สบายใจเท่ารถบังคับเลี้ยวสองล้อ เมื่ออัดจนถึงขีดสุดและการเปลี่ยนพฤติกรรมของรถโดยกระทันหันจะเห็นได้ชัดในรถมาสด้า"

นอกจากนี้เมื่อวิ่งเร็ว ๆ บนถนนผิวขรุขระ เพลาท้ายของรถมาสด้า ยังวอกแวกและล่าชออกนอกเส้นนอกทางอย่างกระทันหันน่าตกใจ เหมือนกับการขับรถเพลาท้ายธรรมชาติล้อหลังโท-อิน (Toe-in) มากเกินไป ปัญหากระชากก็อาจจะตามมาในเรื่องการซ่อมบำรุง ความทนทานและระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์กับเซอร์โว มอเตอร์ ของรถมาสด้า ก็คงจะรวนได้สักวันเหมือนกัน ปัญหาเพาเวอร์พวงมาลัยหยุดทำงานเมื่อหมุนเปลี่ยนทิศทางเร็ว ๆ ของรถบังคับเลี้ยวสี่ล้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้ในหอสมุดเท่านั้น เมื่อเผยแพร่ในสื่ออื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ล้อทั้งสองคันก็เป็นสิ่งที่ยอมรับไม่ได้

จอห์น ไมล์ส สรุปว่า "ผมไม่ชอบให้ไปยุ่งกับการตอบสนองตามธรรมชาติของรถ และก็มีความรู้สึกว่ารถบังคับเลี้ยวล้อทั้งสองคันนี้ไม่สามารถเชื่อถือโดยสมบูรณ์ได้ แต่แนวความคิดและการออกแบบของรถฮอนด้า น่าพึงพอใจอย่างมาก"

เพนกี แอริค คาลา มีความเห็นว่า "หลังจากที่ผมได้ขับรถทั้งสี่คันนี้แล้ว ผมขอสิ่งที่จะกล่าวว่า ผมไม่เคยพบเห็นสิ่งเหลวไหลเกี่ยวกับรถคันต่ออย่างเช่นระบบบังคับเลี้ยวล้อสำหรับรถคันนี้ธรรมดาเลย"

"คนที่ชอบระบบบังคับเลี้ยวล้อจะชี้ให้เห็นถึงวงเลี้ยวที่แคบกว่าและอ้างว่าเพลารับคือข้อจำกัดอย่างไรก็ตาม รถวอกซ์ฮอลล์ (VOXHALL ASTRA) ที่ผมขับในโอเพ่น แรลลี่ แชมป์ชิพ (Open rally championship) ก็มีวงเลี้ยวแคบพอ ๆ กับรถบังคับเลี้ยวล้อสองคันนี้และมันยังถ่ายทอกำลังมหาศาลผ่านล้อหน้าในสภาวะที่ลื่นไถลด้วย ซึ่งไม่เห็นมีปัญหาเกี่ยวกับเพลารับแต่อย่างใด" เพนกี แอริค คาลา กล่าวต่อ

"วงเลี้ยวของรถบังคับเลี้ยวล้อทั้งสองคันนี้ตกลงโดยเฉลี่ยเพียง 3.5 ฟุต ซึ่งไม่มากเลยเทียบกับความสูงซากที่ใส่เข้าไป ในกรณีรถมาสต้า 2-WS เป็นรถที่มีมาตรฐานดี ผ่านการแก้ไขต่าง ๆ มาอย่างดีแล้ว คงมีข้อเสียประการสำคัญอยู่ที่ตัวถังเอียงมากขณะเลี้ยวและการหักเลี้ยวเข้าโค้งไม่เจ็บพอ ซึ่งผมคิดว่าเป็นเพราะล้อหน้าเกาะถนนไม่ดีพอ" เขากล่าวเสริม

เพนกี แอริค คาลา ให้ความเห็นต่อไปว่า "เมื่อเพิ่มระบบบังคับเลี้ยวล้อเข้าไปในรถมาสต้า 2-WS ทำให้การหักเลี้ยวเข้าโค้งคมขึ้นมากและแน่นอำกว่าเดิมและหลังจากที่รถเลี้ยวโค้งเข้าไปแล้ว อากาของรถกลับไม่มั่นคงและจำเป็นต้องคอยแต่งแก้พวงมาลัยกันเป็นการใหญ่ ส่วนรถฮอนด้า 2-WS ตรงข้ามกับรถมาสต้า 2-WS โดยที่ช่วงล่างแน่นแข็ง การเลี้ยวโค้งตัวถังแทบไม่โคลงและการบังคับควบคุมรถเจ็บกระชับดีจริง ๆ"

ในรูปแบบของรถฮอนด้า 4-WS เห็นได้ชัดทันทีว่าเริ่มด้วยการอันเดอร์สตีร์ กวามากและเบร็ชยนต์ก่อนข้างรุนแรงจับพลันเป็นโอเวอร์สตีร์ (Oversteer) ซึ่งเมื่อถึงจุดนี้ก็ยากแล้วที่จะแก้คืนการสไลด์ของท้ายรถ

เอกสารนี้เป็นรถขับเคลื่อนล้อหน้าที่มีอาการอันเดอร์สตีร์เท่านั้น เป็นสิ่งที่ยอมรับได้แต่ในเมื่อรถขับเคลื่อนการค้ำไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัว 2-WS สามารถเข้าโค้งได้ดีมากอยู่แล้วและรถฮอนด้า 4-WS ก็ทำให้มันกลายเป็นรถที่อื่น
 เคอร์สเตียร์อย่างหนักหน่วง ผมจึงเห็นว่ามันเป็นความผิดพลาดและกลับลดฐานะของรถฮอน
 ด้าลงจากรถที่ดีเหลือแค่เป็นรถธรรมดา ๆ

ที่แรกผมกลัวว่าระบบบังคับเลี้ยวล้ออาจก่อปัญหา ไม่ใช่เล่นเมื่อคุณต้องแก๊สโลด แต่มัน
 ก็ไม่เป็นอย่างที่กลัว ทั้งสองคันสามารถกักคืนจากโอเวอร์สตีร์ได้ ดังนั้นผมเลี้ยวของล้อหลังใน
 สถานะการถ่วงเช่นว่าจริงคงจะมีน้อยมากจน ไม่มีผลเสียใด ๆ

เมื่อผมพวงมาลัยกลับทิศทางเร็ว ๆ เพาเวอร์ช่วยผ่อนแรงจะหายไปเฉย ๆ และ
 พวงมาลัยจะหนักมากเพราะว่ามีเพาเวอร์พวงมาลัยจ่ายน้ำมัน ไทพอและรถ 2-WS ทั้งสองคันไม่มี
 ปัญหานี้ ผมจึงมีความเห็นว่าเป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มระบบบังคับเลี้ยวล้อหลังขึ้นมาั่นเอง"



บทที่ 4

บทวิจารณ์และสรุป

ระบบบังคับเลี้ยวล้อที่พัฒนาขึ้นมาในปัจจุบัน นับว่าเป็นระบบที่น่าสนใจมาก การนำมาติดตั้งในรถยนต์นั่งเพื่อจำหน่ายในประเทศต่าง ๆ ก็ได้ทำแล้วและได้รับความสนใจจากผู้ใช้งานพอสมควร เพราะว่าคุณประโยชน์ที่ผู้ใช้รถได้รับนั้นมีจริงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งก็สืบเนื่องจากข้อดีที่มีมากกว่าข้อเสียนั่นเอง

ที่ความเร็วสูง จุดประสงค์หลักของระบบบังคับเลี้ยวล้อคือ ไม่ให้รถมีอาการโอเวอร์สตีร์มากเกินไปขณะเข้าโค้ง เพราะว่าสำหรับผู้ที่ขับรถโดยทั่วไป อาการอันเดอร์สตีร์ไม่ใช่เรื่องที่น่าตกใจหรือเกินความสามารถที่จะควบคุม จะนั้น ในการขับใช้งานตามปกติโดยใช้เวลาเร็วไม่สูงมากก็ขณะเข้าโค้ง ระบบบังคับเลี้ยวล้อจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทรงตัวและการบังคับควบคุม ทำให้การเข้าโค้งกระชับและเจ็บคมนั่น แต่ถ้าเข้าโค้งรุนแรงเกินไปอาการอันเดอร์สตีร์จะค่อนข้างรุนแรง ซึ่งรถจะพยายามออกนอกโค้งมากและเมื่อใดที่รถเริ่มเกิดอาการโอเวอร์สตีร์มันจะเกิดโดยฉับพลัน ซึ่งจะแก้ไขยากกว่ารถบังคับเลี้ยวสองล้อปกติ

สำหรับในด้านอื่น ๆ นอกเหนือจากนี้ คุณประโยชน์ที่ได้รับเป็นที่น่าพอใจและข้อเสียอย่างอื่นก็มีค่อนข้างน้อย จะนั้นสำหรับระบบบังคับเลี้ยวล้อแล้วเมื่อเปรียบเทียบกับระบบบังคับเลี้ยวสองล้อธรรมดาที่ทำงานร่วมกับระบบกันสะเทือนขึ้นเชื่อม มันอาจจะไม่เด่นมากนักแต่คุณประโยชน์ที่ผู้ใช้รถธรรมดา ๆ จะได้รับก็มีค่าและน่าพอใจจริง ๆ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ มงคล มงคลวงศ์โรจน์ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล อาจารย์ อัครเดช สันธภูค อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ เจษฎา ตัณฑเศรษฐี บรรณาธิการฝ่ายวิชาการ นิตยสารฟอร์มูลา และอีกหลายท่านที่ได้กล่าวนามในที่นี้ ที่ได้ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ ตลอดจนข้อมูลและที่ขาดไม่ได้คือกำลังใจแก่คณะผู้จัดทำ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ซึ่งคณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งอย่างยิ่งและจะเก็บความรู้สึกเหล่านี้ไว้ในความทรงจำตลอดไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. คณะผู้จัดทำ, "เลี้ยวสองล้อไม่พอหรือ?", นิตยสารฟอร์มูล่า, ปีที่ 10, ฉบับที่ 5, 2529, หน้า 96-99.
2. คณะผู้จัดทำ, "ผลการทดสอบรถจากทั่วโลก", นิตยสารฟอร์มูล่า, ปีที่ 12, ฉบับที่ 4, 2531, หน้า 86-93
3. Technical Editor, "Both Ends Turning", Motor Magazine, week ending November 8, 1986, pp. 32-35.
4. Technical Editor, "Newfor'87", Motor Magazine, week ending May 23, 1987, pp. 52-53.
5. Technical Editor, "Steering in the Right Direction", Motor Magazine, week ending September 26, 1987, pp. 40-43.