บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

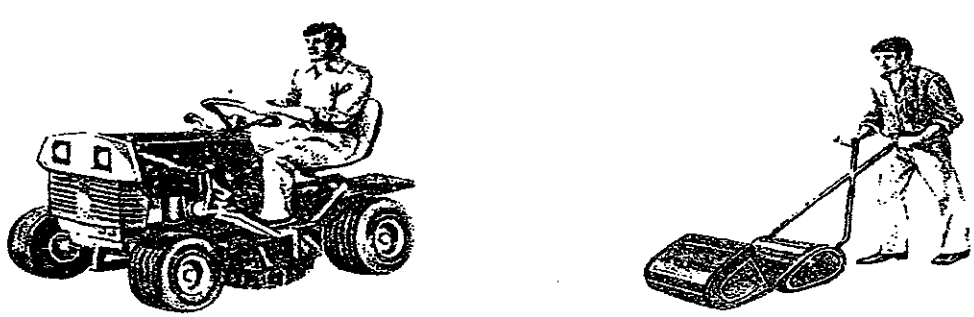
การตัดหญ้า (Mowing) เป็นส่วนหนึ่งของการดูแลสนามหญ้า ที่มีความสำคัญที่สุด เพราะการตัดหญ้าเป็นวิธีการจำกัดการเจริญเติบโตของหญ้าทางด้านความสูง ให้ความสูงของหญ้าอยู่ในระดับเดียวกัน แต่ไม่ทำให้คุณภาพของสนามหญ้าเสียไป การตัดหญ้าจึงเป็นกิจกรรมที่เกิดขึ้นทางแนวราบ (horizontal) โดยใช้เครื่องมืออุปกรณ์ตัดหญ้า

2.1 เครื่องตัดหญ้า (mowers)

เครื่องตัดหญ้าที่นิยมใช้ในปัจจุบันแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

2.1.1 เครื่องตัดหญ้าแบบนั่งขับ (ride-on-mowers) ดังรูปที่ 2.1(ก) ซึ่งออกแบบหลายรูปแบบโดยคำนึงถึงการใช้งานที่เหมาะสม เช่น แบบรถแทรกเตอร์ (tractor mower) แบบที่นั่งพ่วง (trailing seat mower) ทั้ง 2 แบบ เป็นเครื่องที่ใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อนโดยน้ำมัน (petrol-driven)

2.1.2 เครื่องตัดหญ้าแบบคนเดินตาม (walk-behind mower) ดังรูปที่ 2.2 (ข) มีทั้งแบบใช้แรงคน และเครื่องยนต์ แบบใช้แรงงานคนในปัจจุบันไม่เป็นที่นิยม เพราะใช้แรงขับเคลื่อนสูงใช้เวลามากคุณภาพงานไม่เรียบร้อย เพราะแรงคนไม่สามารถควบคุมความสม่ำเสมอการหมุนของใบมีดตัดได้ เครื่องตัดหญ้าแบบคนเดินตามขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า (electric driven) และน้ำมันซึ่งเป็นแบบเครื่องยนต์มีทั้งแบบมีล้อและไม่มีล้อ



(ก) เครื่องตัดหญ้าแบบนั่งขับ (ข) เครื่องตัดหญ้าแบบคนเดินตาม

รูปที่ 2.1 เครื่องตัดหญ้าประเภทต่างๆ
(ที่มา หนังสือการจัดการงานดูแลรักษาภูมิทัศน์, สมจิต โยธะคง)

2.2 ประเภทของใบมีดตัดหญ้า

ใบมีดที่นิยมใช้ในปัจจุบันแบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ

2.2.1 ใบมีดเป็นหมุนเกลียว (cylinder) การตัดหญ้าคล้ายกรรไกร (scissor-like) ใบมีดจัดวางรอบแกนเหมือนเกลียว ชุดมาตรฐานสำหรับงานการตัดหญ้าสนามทั่วไป 1 ชุด จะมีใบมีด 5-6 ใบ แต่ถ้าสำหรับงานในสนามกรีนพัต (putting green) 1 ชุด จะมีใบมีด 8-12 ใบ คุณภาพของผลงานหลังตัด ราบเรียบสม่ำเสมอ ดูสะอาดสะอ้าน ปลายใบหญ้าไม่ช้ำ

2.2.2 ใบมีดแบบใบพัด (rotary) การตัดหญ้าคล้ายเคียวเกี่ยวข้าว (scythe-like) โดยใช้แรงเหวี่ยงจากความเร็วรอบสูงในแนวราบ ใบพัดอาจมีเพียงใบเดียวหรือเป็นกลุ่มก็ได้ เครื่องมือตัดหญ้าแบบใช้ใบมีดแบบใบพัด เป็นที่นิยมทั่วไป แต่คุณภาพของผลงานสู้แบบใบมีดเป็นเกลียวไม่ได้ สนามหญ้าไม่ค่อยราบเรียบ ปลายใบหญ้าแตกช้ำ เป็นสีเหลืองในกรณีที่ขาดการลับใบมีดให้คมก่อนตัด

2.2.3 ใบมีดแบบใบพัดสำหรับเครื่องตัดหญ้าไม่มีล้อขับเคลื่อนด้วยแรงดันอากาศหรือแบบบินร่อน (hover mower) ปลายใบมีด 2 ข้างเรียว การตัดเป็นแบบเคียวเกี่ยวข้าว (scythe=like) ด้วยความเร็วรอบสูง ทำให้เกิดแรงดันอากาศ เครื่องยนต์ลอยตัวขณะตัดหญ้า ทำให้ควบคุมความสูงของการตัดยาก ถ้าต้องการตัดต่ำต้องใช้แรงกดช่วย หรือตัด 2 ครั้งทำให้สิ้นเปลืองเวลา แต่สะดวกเวลาเคลื่อนย้ายและขณะตัดเพราะมีน้ำหนักเบา

(ก) ใบมีดแบบหมุนเกลียว (cylinder)

(ข) ใบมีดแบบใบพัด (rotary)

(ค) ใบมีดแบบใบพัดสำหรับเครื่องตัดหญ้าไม่มีล้อขับเคลื่อนด้วยแรงดันอากาศ

รูปที่ 2.2 ใบมีดตัดหญ้าแบบต่างๆ
(ที่มา หนังสือการจัดการงานดูแลรักษาภูมิทัศน์, สมจิต โยธะคง)

2.3 ข้อพิจารณาในการเลือกเครื่องตัดหญ้า

2.3.1 ขนาดของพื้นที่สนามหญ้า หมายถึง เนื้อที่ที่เป็นสนามหญ้าที่จำเป็นต้องตัดหญ้า ถ้าพื้นที่กว้างใหญ่ เครื่องตัดหญ้าแบบนั่งขับเหมาะสมที่สุดถ้าพื้นที่ขนาดเล็ก การใช้เครื่องตัดหญ้าแบบขับเคลื่อนโดยกำลังไฟฟ้าและเครื่องยนต์โดยมีคนเดินตามจะดีที่สุด

2.3.2 รูปร่างของสนามหญ้า มีผลโดยตรงต่อการใช้เครื่องตัดหญ้าง่ายหรือยาก ถ้าสนามหญ้าเป็นรูปสี่เหลี่ยม หรือสามเหลี่ยมมุมแหลม หรือมีพื้นที่เป็นแถบแคบ (verge) การใช้รถตัดแบบนั่งขับจะควบคุมการทำงานลำบาก สนามหญ้ารูปร่างอิสระและปราศจากพืชพรรณภายในสามารถเลือกเครื่องตัดหญ้าได้เกือบทุกประเภท

2.3.3 คุณภาพของสนามหญ้า ถ้าต้องการให้ผลงานหลังตัดหญ้าสนามมีคุณภาพราบเรียบสม่ำเสมอ การใช้เครื่องตัดหญ้าแบบใบมีดเป็นเกลียวหมุน จะได้คุณภาพของงานดีกว่าใบมีดแบบใบพัด

2.3.4 ความราบเรียบสม่ำเสมอของสนามหญ้า ถ้าสนามหญ้าราบเรียบเครื่องตัดหญ้าทุกประเภทสามารถนำมาใช้ได้ แต่ถ้าเป็นสนามหญ้าที่มีพื้นเป็นหลุมเป็นบ่อ (bumpy or rough) ควรใช้เครื่องตัดหญ้าใบมีดแบบใบพัด หรือเครื่องขับเคลื่อนด้วยแรงดันอากาศ ดีกว่าเครื่องตัดหญ้าแบบใบมีดเกลียวหมุน

2.3.5 ฤดูกาล ในช่วงฤดูฝนที่สนามหญ้าเปียกชื้น ควรหลีกเลี่ยงการใช้เครื่องตัดหญ้าที่มีล้อเพราะจะทำให้สนามหญ้าเกิดรอยได้ และไม่ใช้เครื่องตัดไฟฟ้าเพราะอาจเกิดอันตรายจากไฟรั่ว

2.3.6 ความรวดเร็วในการปฏิบัติงาน ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ ความราบเรียบ รูปร่างของสนามหญ้า และเครื่องตัดหญ้า แต่ปัจจัยที่ทำให้การตัดหญ้าสำเร็จรวดเร็วหรือไม่ในหน่วยเวลาที่กำหนด คือ ความกว้างของใบมีด (cutting width) เช่น ถ้าต้องการตัดหญ้าสนามในพื้นราบเรียบให้เสร็จภายใน 30 นาทีควรเลือกใช้ขนาดของใบมีด ตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความกว้างของใบมีด พื้นที่การการตัดหญ้าและเวลาตัดหญ้าสนาม 30 นาที

พื้นที่ตัดหญ้า / ตรม.	ความกว้างของใบมีดหรือแนวตัด / นิ้ว
405	12
648	14
810	16
972	18
1215	20
1838	30

(ที่มา หนังสือการจัดการงานดูแลรักษาภูมิทัศน์, สมจิต โยธะคง)

การออกแบบรถตัดหญ้าปลอดมลพิษ จะมีหลักการและทฤษฎีส่วนใหญ่เหมือนกับการออกแบบรถยนต์ทั่ว ๆ ไป มีเพียงบางส่วนเท่านั้นที่เพิ่มเติมเข้ามา และ บางส่วนของหลักการและทฤษฎีในรถยนต์ ทั่วๆ ไป ที่ไม่จำเป็นในการออกแบบสำหรับรถตัดหญ้าปลอดมลพิษ ดังนั้น เราจึงสามารถแสดงหลักการและทฤษฎีที่จำเป็นและเกี่ยวข้องกับการออกแบบรถตัดหญ้าปลอดมลพิษได้ดังนี้

1. กำลังขับเคลื่อน
2. เพลาหน้า
3. เพลาท้าย
4. โรลลิ่งแบริ่ง
5. ล้อรถ
6. ระบบเบรค
7. ระบบบังคับเลี้ยว
8. ชุดโซ่ส่งกำลัง

2.4 กำลังขับเคลื่อน

การเคลื่อนที่ของรถยนต์จะอาศัยแรงขับเคลื่อนที่ถ่ายทอดมาจากเครื่องยนต์ จนถึงล้อรถยนต์ แรงขับเคลื่อนจะเกิดขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างล้อกับพื้นถนน ซึ่งทำให้รถยนต์เคลื่อนที่ไปได้ เมื่อนำแรงขับเคลื่อนมาพิจารณา จะได้เป็นกำลังขับเคลื่อนซึ่งจะได้ศึกษาดังนี้

2.4.1 แรงต้านการเคลื่อนที่

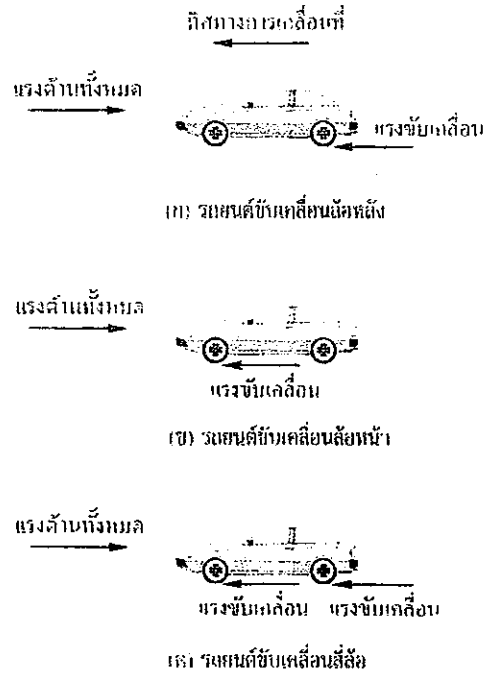
รถยนต์เคลื่อนที่ได้ต้องอาศัยกำลังจากเครื่องยนต์ซึ่งผ่านระบบถ่ายทอดกำลังมาที่ล้อขับเคลื่อน และอาศัยความเสียดทานระหว่างยางกับพื้นถนน ทำให้เกิดแรงขับเคลื่อน ในขณะถ่ายทอดกำลัง รถยนต์จึงเคลื่อนที่ได้

ในขณะที่รถยนต์กำลังเคลื่อนที่อยู่นั้นจะมีแรงต้านการเคลื่อนที่และมีทิศทางสวนกับแรงขับเคลื่อน เช่น ถ้ารถยนต์เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง อาศัยกฎข้อที่ 1 ของนิวตันจะได้ว่า

$$\text{แรงขับเคลื่อน} = \text{แรงต้านทั้งหมด}$$

แต่ถ้าแรงขับเคลื่อนมากกว่าแรงต้านทานทั้งหมดในขณะนั้น รถยนต์จะมีอัตราเร่ง ซึ่งทำให้อัตราเร็วเพิ่มขึ้น จนในที่สุดแรงขับเคลื่อนจะเท่ากับแรงต้านทั้งหมด อีกครั้งหนึ่ง

แต่ถ้าแรงขับเคลื่อนน้อยกว่าแรงต้านทานทั้งหมดในขณะนั้น รถยนต์จะมีอัตราหน่วงที่ทำให้อัตราเร็วลดลง ในขณะที่อัตราเร็วลดลงนั้น แรงต้านทานทั้งหมดก็จะลดลงด้วย จนในที่สุด แรงขับเคลื่อนจะเท่ากับแรงต้านทานทั้งหมด รถยนต์จะวิ่งด้วยอัตราเร็วคงที่ต่อไป รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงขับเคลื่อนกับแรงต้านทั้งหมดในขณะที่รถยนต์กำลังเคลื่อนที่



รูปที่ 2.3 แรงขับเคลื่อนที่เกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสระหว่างยางกับพื้นถนนในขณะที่รถยนต์กำลังเคลื่อนที่ (ที่มา หนังสือวิศวกรรมยานยนต์,ธีรยุทธ สุวรรณประทีป)

แต่เดิมนั้นรถยนต์ส่วนมากขับเคลื่อนล้อหลังซึ่งมีข้อดีหลายประการ เช่น สามารถลดแรงกระตุกได้ดีเพราะมีเพลากลางและเพลาขับยาง ไต่ขึ้นทางชันได้มากกว่าเพราะน้ำหนักรถยนต์จะกดล้อหลังมากขึ้นในขณะไต่ขึ้นทางชันทำให้การลื่นไถลของล้อหลังเกิดขึ้นได้ยาก ฯลฯ ส่วนรถยนต์ขับเคลื่อนล้อหน้าก็มีข้อดีหลายอย่า เช่น พื้นรถยนต์ต่ำลงและราบเรียบทำให้มีเนื้อที่ภายในรถยนต์กว้างมากขึ้น การทรงตัวอาจดีขึ้นเพราะล้อหน้าเป็นล้อนำทาง ฯลฯ

ในกรณีของรถยนต์ที่ขับเคลื่อนล้อหลัง แรงขับเคลื่อนจะเกิดขึ้นที่ล้อหลังตรงบริเวณผิวสัมผัสระหว่างยางกับถนน ถ้ารถยนต์ขับเคลื่อนล้อหน้า แรงขับเคลื่อนจะดีขึ้นที่ล้อหน้า และถ้ารถยนต์ขับเคลื่อนสี่ล้อ แรงขับเคลื่อนจะดีขึ้นทั้งล้อหน้าและล้อหลัง

กำลังจากเครื่องยนต์ที่ส่งไปยังล้อขับเคลื่อนจะใช้ประโยชน์ได้ไม่เต็มที่เพราะมีบางส่วนสูญเสียไปในระบบถ่ายทอดกำลัง เรียกว่าการสูญเสียในการถ่ายทอด (transmission loss) กำลังส่วนที่เหลือที่ล้อขับเคลื่อนจะใช้ไปเพื่อเอาชนะ แรงต้านต่าง ๆ เพื่อให้รถยนต์เคลื่อนที่ได้ แรงต้านการเคลื่อนที่เหล่านั้นได้แก่

2.4.1.1 แรงต้านการหมุนของล้อ (rolling resistance)

2.4.1.2 แรงต้านอากาศ (air resistance)

2.4.1.3 แรงต้านทางชัน (gradient resistance)

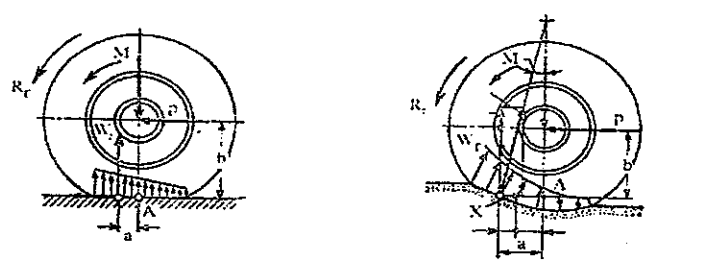
2.4.1.4 แรงต้านที่เกิดจากน้ำหนัก (Vehicle Mass)

นอกจากนี้ในขณะเร่งเครื่องยนต์ กำลังบางส่วนต้องสูญเสียไปเพื่อเอาชนะความเฉื่อย ของรถยนต์ เรียกว่า แรงต้านความเฉื่อย (inertia resistance) แต่ในกรณีนี้ไม่กล่าวถึงเนื่องจากความเร่งของรถตัดหญ้าปลอดมลพิษมีค่าน้อย

2.4.1.1 แรงต้านทานการหมุนของล้อ (rolling resistance)

แรงต้านทานการหมุนของล้อนี้จัดว่าเป็นแรงต้านทานบนถนนอย่างหนึ่ง แรงต้านทานการหมุนนี้เกิดขึ้นจากปัจจัยหลายอย่าง ตัวอย่างเช่น ลักษณะโครงสร้างของขนาดของยาง (ยางกลวงหรือยางตัน) ลักษณะของผิวถนน ลักษณะของดอกยางและสภาพของดอกยาง ความดันของลมในยาง ความเร็วของรถยนต์ ความฝืดของลูกปืนล้อ น้ำหนักของรถ

ขณะที่รถเคลื่อนที่นั้น ล้อจะหมุนไปในลักษณะ ดังรูป 2.4 และน้ำหนักบรรทุก (W) ที่กดลงที่ล้อจะมีแรงต้านทานขึ้นตลอดหน้าสัมผัสระหว่างยางกับถนน โดยที่แรงต้านที่จุดซึ่งยางเริ่มสัมผัสกับผิวถนนจะมีค่ามากกว่าจุดอื่น ๆ ถ้าให้แรงต้านที่เกิดขึ้นทั้งหมดเป็นแรงเฉื่อย (W_r) ซึ่งจะมีขนาดของแรงเท่ากับแรง (W) ด้วยเช่นกัน และแรง (W_r) นี้จะห่างไปทางด้านหน้าของแนวแรง (W) เป็นระยะทางกับ a



(ก) แรงเสียดทานบนถนนคอนกรีต (ข) แรงเสียดทานบนถนนประเภทดินทราย

รูปที่ 2.4 การเกิดแรงต้านทานการหมุนบนถนน
(ที่มา หนังสือกลศาสตร์ยานยนต์ , เผด็จ สนเกษม)

ถ้าพิจารณาโมเมนต์ที่จุดสัมผัส A จะได้ว่า

$$Pb = Wa \quad (P = R_r) \tag{2.1}$$

$$\therefore \quad R_r = \frac{Wa}{b} \tag{2.2}$$

แต่ $\frac{a}{b}$ เป็นค่าคงที่ซึ่งอยู่กับลักษณะของผิวถนน และขนาดของยางรถ ถ้ากำหนดให้

$$\frac{a}{b} = k_r \tag{2.3}$$

$$\therefore \quad R_r = k_r w \tag{2.4}$$

ถ้ากำหนดให้ k_r คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานการหมุน

W คือ น้ำหนักของรถที่กดลงที่ล้อ

W_1, W_2 คือ น้ำหนักของรถที่กดลงที่ล้อหน้าและล้อหลัง

k_{r_1}, k_{r2} คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานการหมุนที่ล้อหน้าและล้อหลัง

ถ้าหากพิจารณาทั้งล้อหน้าและล้อหลัง

$$R_r = k_{r_1} W_1 + k_{r_2} W_2 \tag{2.5}$$

สมมติว่า $W_1 = W_2$ และ $k_{r_1} = k_{r2}$

$$\therefore \quad R_r = k_r W \tag{2.6}$$

(ให้ $W_1 + W_2 = W$ =น้ำหนักของรถยนต์)

จะเห็นได้ว่าแรงต้านทานชนิดนี้มีผลเนื่องมาจากล้อได้รับแรงกระแทกซึ่งเป็นผลมาจากความขรุขระของผิวถนน และหน้ายาง เป็นต้น และจากเหตุนี้แรงต้านทานจะขึ้นอยู่กับสภาพของถนน น้ำหนักรถ ถ้าหากคำนึงถึงความลาดของถนนจะได้

$$R_r = k_r W \cos\theta \tag{2.7}$$

โดย θ คือ ความลาดของถนน

สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานการหมุนได้จากลักษณะของถนน จากตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานการหมุนของล้อรถยนต์

สภาพของถนน	ค่าสัมประสิทธิ์ (K_R)
สภาพดี	0.010 – 0.016
ถนนเป็นกรวด	0.015 – 0.020
ถนนมีไม้อัดกันเรียบ	0.020 – 0.030
ถนนเป็นหิน	0.016 – 0.070
ถนนเป็นทราย	0.150 – 0.300

(ที่มา หนังสือกลศาสตร์ยานยนต์ , เผด็จ สนเกษม)

2.4.1.2 แรงต้านอากาศ (air resistance)

รถยนต์ทุกชนิดที่วิ่งบนถนนนั้น เมื่อยางสัมผัสกับถนนในขณะที่ล้อหมุน เพื่อวิ่งไปข้างหน้าจะเกิดแรงต้านทานการหมุนกลิ้งของผิวถนน หรือแรงเสียดทาน และอีกอย่างคือแรงต้านทานจากรถ เนื่องจากรถต้องวิ่งแหวกอากาศออกไปซึ่งที่ความเร็วต่ำ แรงต้านทานจากลมน้อยมากจนไม่สามารถไปเปรียบเทียบกับแรงต้านทานการหมุน แต่ถ้ารถวิ่งด้วยความเร็วสูง แรงต้านทานจากลมจะมีผลต่อการขับเคลื่อนอย่างยิ่ง

แรงต้านทานจากอากาศมี 2 ประเภท คือ

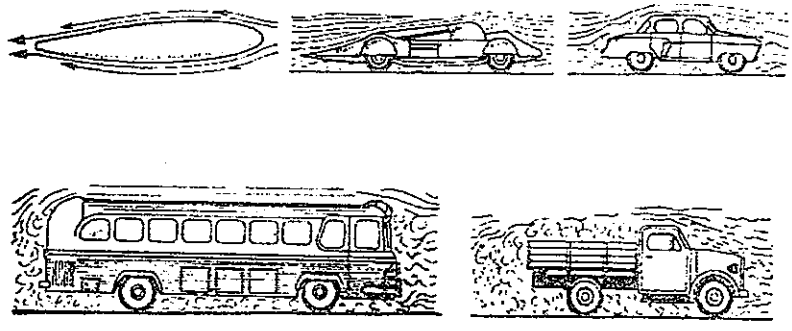
1. แรงต้านทานภายนอก คือ แรงต้านทานจากภายนอกของตัวถังที่รับลม
2. แรงต้านทานภายใน คือ ผลของอากาศที่ไหลเข้าไปภายในตัวรถ ซึ่งเกิดจากอากาศที่ไหลเข้ามาทางช่องระบายอากาศเพื่อถ่ายเทอากาศภายในรถ แต่เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างแรง 2 แรงนี้ แรงต้านทานภายในมีค่าน้อย กระแสอากาศที่ไหลผ่านตัวรถนั้นจะต้องพยายามไม่ให้เกิดการหมุนวน ยิ่งถ้ากระแสอากาศที่ไหลเกิดเป็นเกลียวหมุนขึ้น จะทำให้มีแรงต้านทานมากขึ้น ดังนั้น จึงต้องออกแบบให้ตัวถังรถยนต์มีลักษณะลู่ลม เพื่อลดแรงต้านทานที่จะเกิดขึ้น

แรงต้านทานของอากาศจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. แรงต้านทานของลมที่ส่วนหน้าและส่วนหลังของรถยนต์ในขณะที่รถวิ่งไป (ประมาณ 55-66%)
2. พื้นที่หน้าตัดรถบังโคลและชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ติดไว้ด้านลม (ประมาณ 12-18%)
3. แรงต้านทานจะสูงขึ้นเมื่อลมพัดผ่านหม้อน้ำ และช่องว่างใต้ฝากระโปรงของรถ (ประมาณ 10-15%)

4. แรงต้านทานที่ผิวรถ (ประมาณ 8-10%)

5. ความแตกต่างระหว่างที่ข้างบนและส่วนล่างของรถ ซึ่งเมื่อลมพัดผ่านรถไปแล้วจะทำให้เกิดเป็นลมหมุนที่ข้างหลัง คล้ายว่าเป็นแรงฉุดของรถเอาไว้ ฉะนั้นจึงต้องออกแบบรูปทรงของรถยนต์ที่ป้องกันไม่ให้เกิดลมหมุนขึ้นที่ท้ายรถ (ประมาณ 5-8%)



รูปที่ 2.5 ลักษณะของลมที่ผ่านรถรูปทรงต่าง ๆ
(ที่มา หนังสือกลศาสตร์ยานยนต์ , เผด็จ แสนเกษม)

ทั้งนี้ปัจจัยต่าง ๆ ดังกล่าวนั้น จะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับความเร็วของรถยนต์ที่วิ่งไปจะเป็นผลทำให้แรงต้านทานของลมเพิ่มขึ้น และการทดลองพบว่า

$$R_a = k_a A V^2 \qquad (2.8)$$

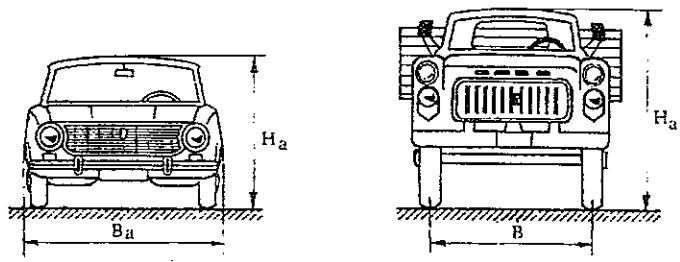
สำหรับในที่ นี้ไม่คำนึงถึงความหนาแน่นของอากาศ และกำหนดให้

k_a คือ สัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานของอากาศ (kg/m^3)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของรถยนต์ส่วนที่ต้านกับลม (m^2)

V คือ ความเร็วของรถยนต์ (m/s)

สำหรับความเร็วของรถยนต์นั้นในกรณีที่รถแล่นสวนทางลม ค่า จะต้องรวมกับความเร็วลมแต่ถ้าวิ่งตามทางลมจะหักออกด้วยความเร็วของกระแสลม



รูปที่ 2.6 ลักษณะการหาพื้นที่หน้าตัดของรถยนต์
(ที่มา หนังสือกลศาสตร์ยานยนต์ , เผด็จ แสนเกษม)

การหาพื้นที่หน้าตัดของรถยนต์ไม่สามารถจะหาค่าที่แน่นอนได้จึงมีวิธีการคิดหาค่าได้ดังนี้

สำหรับรถบรรทุก $A = BH_a$ (2.9)

สำหรับรถยนต์นั่ง $A = 0.78B_aH_a$ (2.10)

โดยที่ B คือ ช่วงกว้างของล้อ (m)

B_a คือ ความกว้างของตัวรถ (m)

H_a คือ ความสูงของตัวรถ (m)

ค่าคงที่ K_a เป็นค่าที่กำหนดโดยรูปร่างของรถซึ่งหาได้โดยการนำรถที่มีรูปร่างต่าง ๆ ไปทดลองในอุโมงค์ลม ก็จะทราบค่าที่แน่นอน ได้ สำหรับค่า ของรถยนต์ต่าง ๆ มีค่าโดยประมาณดังนี้

ตารางที่ 2.3 ค่า สัมประสิทธิ์แรงต้านทานของลม

ลักษณะของรถยนต์	k_a	$A(m^2)$
รถยนต์	0.13-0.15	1.0-1.3
รถยนต์นั่ง	0.20-0.35	1.6-2.8
รถตู้	0.25-0.40	4.5-6.5
รถบรรทุก	0.60-0.70	3.0-5.0

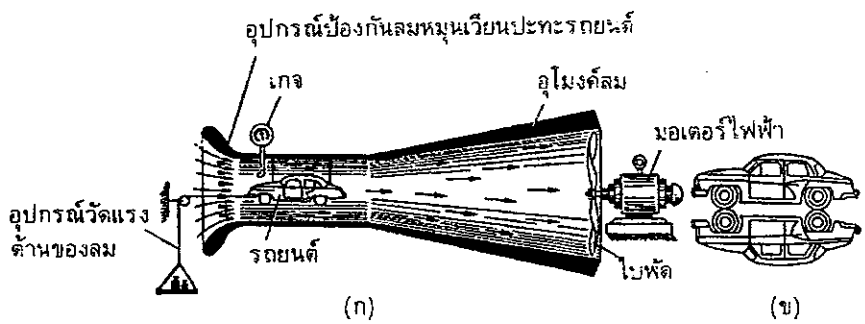
(ที่มา หนังสือกลศาสตร์ยานยนต์ , เผด็จ แสนเกษม)

การทดลองหาหลักอากาศพลศาสตร์ของรถยนต์นั้น จะต้องทดสอบในอุโมงค์ลม อุโมงค์ลมนั้นแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

1. ประเภทที่ลมผ่านเลยไป

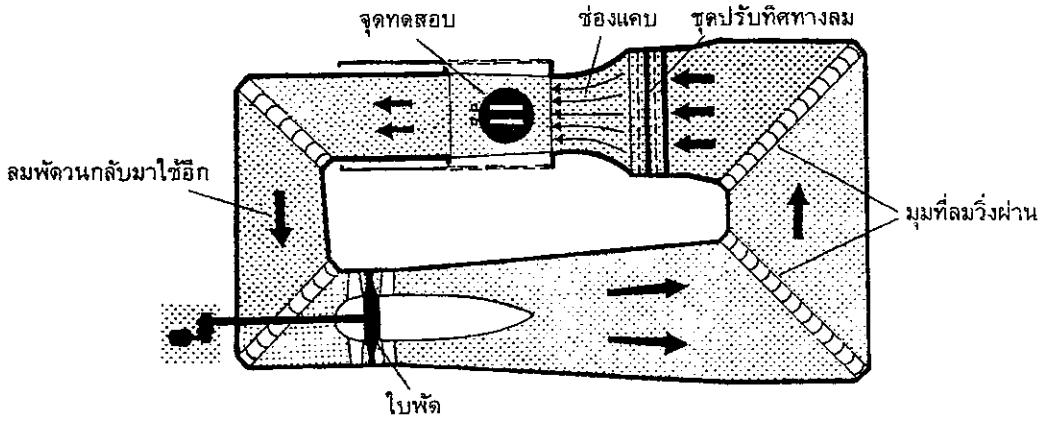
2. ประเภทที่พัดวนแบบนี้สามารถทดสอบได้โดยปรับอุณหภูมิของลมได้ให้เหมือนกับอากาศได้ทุกสภาพ และซับซ้อนกว่าแบบลมผ่านเลยไป

การทดลองหาประสิทธิ์ภาพแรงต้านทานของลมทำได้โดยเป่าลมไปยังรถยนต์หรือ หุ่นจำลองรถยนต์ที่วางไว้ในอุโมงค์ลม ตามรูปที่ 2.7 รถยนต์แขวนภายในอุโมงค์ลมซึ่งมีใบพัดลมของมอเตอร์ไฟฟ้า และจะมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ลมหมุนเวียนที่ทางเข้าของลม ประทะกับรถยนต์เหมือนเป็นแรงต้านของรถยนต์ เสมือนเป็นแรงต้านของลมที่กระทำต่อรถยนต์ขณะวิ่ง



รูปที่ 2.7 การหาแรงต้านทางลมในอุโมงค์ลมแบบลมพัดผ่านไป
(ที่มา หนังสือกลศาสตร์ยานยนต์ , เผด็จ แสนเกษม)

ในการที่จะนำรถยนต์ไปทดสอบอุโมงค์ลมนั้นจะต้องคำนึง ถึงสภาพ ความเป็นจริง เช่นจำนวนผู้โดยสารและตำแหน่งที่ผู้นั่ง ในการทดสอบ ได้กำหนดให้ผู้โดยสาร 2 คนนั่งอยู่ด้านหน้า โดยเอาก้อนน้ำหนัก 2 ก้อน ๆ ละ 60 kg มาแทนผู้นั่งตอนหน้าหลังจากติดตั้งอย่างถูกต้องแล้ว จะต้องดึงเบรกมือ รวมทั้งเหยียบเบรกเพื่อป้องกันไม่ให้กระแสลมพัดรถยนต์เลื่อนถอยไป ส่วนการหาพื้นที่หน้าตัด ด้านหน้าของรถที่ใช้ทำการทดลอง หาได้จากรูปถ่ายในตำแหน่งที่ห่างจากรถ 50 เมตร แล้วใช้พารามิเตอร์ (Parameter) คำนวณหาอีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 2.8 ลักษณะของอุโมงค์ลม
(ที่มา หนังสือกลศาสตร์ยานยนต์ , เผด็จ แสนเกษม)

ค่า Cd นั้นจะขึ้นอยู่กับรูปทรงของรถซึ่งจะมีค่าลดลงได้ ถ้า

1. ผิวของตัวรถมีความเรียบ

2. รูปทรงพื้นฐานของรถไม้ต้านการไหล และสอดคล้องกับ Streamline ของการไหลของอากาศผ่านตัวรถ

3. มีการออกแบบให้ใต้ท้องรถมีความเรียบ และการไหลของอากาศผ่านใต้ท้องเกิดแรงต้านการไหลน้อยที่สุด

4. ยานยนต์ต้องมี Frontal area ต่ำ

5. ออกแบบส่วนท้ายให้การไหลของอากาศที่ผ่านตัวถังมี Turbulant ต่ำสุดการลดแรงต้านทานเนื่องจาก Aerodynamic Drag ลงร้อยละ 10 จะช่วยลดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงได้ร้อยละ 2-3 ถ้าอัตราทดที่เลือกใช้เหมาะสม และทำให้เครื่องยนต์ทำงานอยู่ในช่วงที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

การออกแบบตัวรถเพื่อการประหยัดเชื้อเพลิง โดยการเลือกชนิดวัสดุที่นำมาทำตัวรถ ให้มีน้ำหนักที่เบาเพื่อลดแรงต้านทานการเคลื่อน ที่เนื่องจากน้ำหนัก และอาศัยทฤษฎี ทางด้านอากาศพลศาสตร์ดังนี้คือ

การออกแบบโครงรถเพื่อการประหยัดเชื้อเพลิงนั้น จะต้องทำให้โครงรถนั้นมีน้ำหนักเบาโดยเลือกชิ้นวัสดุที่นำมาทำโครงรถให้มีน้ำหนักที่เบาและสามารถรับน้ำหนักจากส่วนประกอบอื่น ๆ ได้โดยไม่เกิดความเสียหายของวัสดุ เพื่อลดแรงต้านการเคลื่อนที่ของรถที่เกิดจากน้ำหนัก และจะต้อง

คำนึงถึงของผิวสัมผัสหน้ายางที่ทำให้เกิดแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของรถที่เกิดจากการต้านการหมุน ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และสามารถนาใช้ในการออกแบบโครงรถ

วัตถุที่จมอยู่ในการไหลมีแรงการทำโดยของไหล 2 แรงด้วยกัน คือ แรงเฉือนและแรงดันผลลัพธ์ แรงทั้งสองจะแบ่งย่อยได้ 2 แรง คือ

1. แรงในแนวขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่เรียกว่า แรง ฉุด ,F_D
2. แรงในแนวตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่เรียกว่า แรงยก ,F_L

การไหลผ่านแผ่นระนาบที่วางขนานกับการไหล จะเกิด แรงฉุดเนื่องจากแรงเฉือนที่เกิดขึ้นหากการไหลเป็นแบบราบเรียบ

$$C_f = \frac{\tau_\omega}{\frac{1}{2}\rho U^2}$$

$$= \frac{0.664}{\sqrt{Re_x}}$$

สัมประสิทธิ์ แรงฉุดของการไหลด้วยความเร็ว v บนแผ่นระนาบยาว L กว้าง b คือ

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho v^2 A}$$

$$= \frac{\int \tau_\omega dA}{\frac{1}{2}\rho v^2 A}$$

$$= 1.328\left[\frac{u}{vL}\right]^{0.5}$$

$$C_D = \frac{1.328}{\sqrt{Re_L}}$$

การไหลผ่านแผ่นระนาบที่วางตั้งฉากกับการไหล จะเกิดแรงฉุดเนื่องจากแรงดันที่เกิดขึ้นดังนั้น

$$F_D = \int_A \rho dA$$

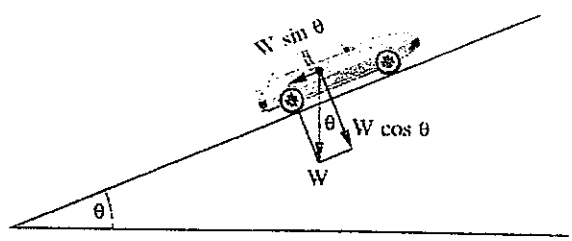
การไหลผ่านแผ่นระนาบนี้จะเกิดการไหลแยกตัว (seperation) ขึ้นโดยเริ่มจากบริเวณขอบของระนาบ และถึงแม้ความดันทางด้านหลังจะมีค่าคงที่ก็ไม่อาจหาได้โดยการคำนวณ จึงต้อง อาศัยการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์แรงฉุด

2.4.1.3 แรงต้านทางชัน (gradient resistance)

ในขณะที่รถยนต์วิ่งขึ้นทางชัน กำลังจากเครื่องยนต์บางส่วนต้องถูกใช้ไปเพื่อเอาชนะแรงต้านทางชัน (gradient resistance) ทำให้เครื่องยนต์ต้องทำงานหนักมากกว่าการวิ่งบนถนนระดับแต่ในทางกลับกัน ถ้ารถยนต์วิ่งลงทางลาด เครื่องยนต์จะทำงานน้อยลงเพราะมีแรงเสริมจากแรงโน้มถ่วงของโลก

แรงต้านทางชันจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

1. น้ำหนักของรถยนต์
2. ความชันของถนน



รูปที่ 2.9 แรงต้านทางชัน

(ที่มา หนังสือวิศวกรรมยานยนต์ , ธีระยุทธ สุวรรณประธีป)

น้ำหนัก w ของรถยนต์สามารถแตกออกเป็นสองแนว ตามรูปที่ 2.9 ได้แก่ $W \sin\theta_g$ และ $W \cos\theta_g$ แรงต้านทางชันเกิดจาก คือ รถยนต์จะต้องเพิ่มแรงขับเคลื่อนเพื่อเอาชนะแรง ดังนั้น แรงต้านทางชัน

$$R_g = W \sin\theta_g \qquad (2.11)$$

2.4.1.4 แรงต้านที่เกิดจากน้ำหนัก (Vehicle Mass)

น้ำหนักเป็นปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณ ภาระในการไต่ทางลาดชัน และภาระในการเร่ง การลดน้ำหนักของรถยนต์สามารถดำเนินการได้ด้วยกลยุทธหลัก 3 ประการคือ

1. การแทนที่ของวัสดุเดิมที่เบากว่ากลุ่มวัสดุที่สามารถนำมาใช้ทดแทนวัสดุในปัจจุบันได้ แสดงการเปรียบเทียบไว้ในตาราง 2.4
2. การปรับปรุงประสิทธิภาพของอุปกรณ์และระบบต่าง ๆ
3. เปลี่ยนใช้อุปกรณ์หรือ ชิ้นส่วนให้น้อยลงหรือมีขนาดเล็กลง

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบน้ำหนักวัสดุที่ลดลง

วัสดุ	ราคาวัสดุสัมพัทธ์ (ต่อปอนด์)	ราคาชิ้นส่วนสัมพัทธ์	น้ำหนักลดลง (%)
เหล็กหล่อ	1.0	1.0	Base
อะลูมิเนียมหล่อ	1.8 – 2.2	1.0	50 – 60
แมกนีเซียมหล่อ	3.0	1.0	65 – 75
Mild steel (base)	1.0	1.0	Base
High-strength steel	1.1	1.0	10
Aluminum	4.0	2.0	40 – 50
ไฟเบอร์กลาสชนิดอัดแรง	3.0	0.8	25 – 35
คาร์บอนไฟเบอร์ชนิดอัดแรง	10 - 30	1.25 – 2.25	50 -65

(หนังสือเทคโนโลยีการออกแบบรถยนต์เพื่อการประหยัดเชื้อเพลิง , ไพรัช เลิศอารีพงษ์)

2.5 เพลาหน้า (front axle)

โดยทั่วไปเป็นเพลาที่ไม่หมุน ดุมล้อหน้าจะหมุนอยู่บนลูกปืนเป็นตลับ แบบลูกกลิ้งเอียง ซึ่งอยู่ติดกับแกนล้อและเป็นชิ้นเดียวกับชุดดุมล้อ เพื่อให้แกนล้อกับชุดดุมล้อสามารถหมุนได้ เมื่อถูกกลไกบังคับเลี้ยวมาดันหรือดึง ดุมล้อกับแกนล้อทั้งชุดจะถูกยึดด้วยสลักเข้ากับปลายของเพลาหน้า สลักซึ่งทำหน้าที่เป็นจุดหมุนนี้เรียกว่า สลักล้อหน้า (king pin) หรือ (steering knuckle pin)

เพลาหน้าจะเกิดความเค้นขึ้น 2 อย่างคือ ความเค้นดัด กับความเค้นเฉือน ในสภาวะที่อยู่กับที่หรืออยู่นิ่ง เพลาหน้าสามารถพิจารณาให้เป็นคานที่ถูกรองรับตรงปลายได้ คือ ถูกรองรับตรงจุดศูนย์กลางของล้อ และมีภาระกระทำตรงจุดศูนย์กลางของแหนบ โมเมนต์ดัดในแนวดิ่ง ที่เกิดขึ้นจะมีค่าเป็นศูนย์ตรงจุดรองรับ และมีค่าสูงสุดตรงจุดที่ภาระกระทำ จากนั้นจะมีค่าคงที่ตลอด
ดังนั้น โมเมนต์ดัดสูงสุด จะมีค่าเป็น

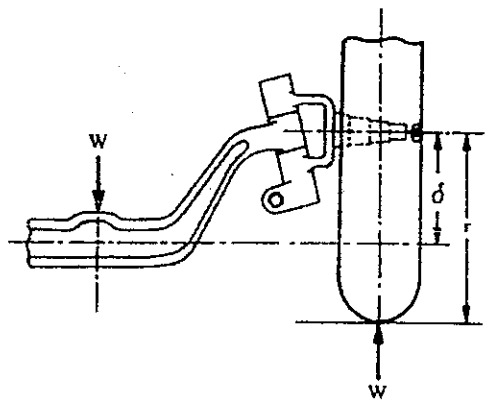
$$M = WI$$

เมื่อ M คือ ภาระที่กระทำกับล้อแต่ละข้าง

I คือ ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางล้อถึงจุดศูนย์กลางของแหนบ

ในสภาวะที่รถยนต์เคลื่อนที่ โมเมนต์ดัดในแนวดิ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากความขรุขระของถนน แต่ค่าโมเมนต์ดัดหาได้ยาก และดังนั้น จึงขจัดความยุ่งยากออกไป โดยนำเกณฑ์ความ

ปลอดภัย (safety factor) เข้ามาใช้ในการออกแบบ เพลาหน้าจะเกิดโมเมนต์ในแนวระดับเนื่องจากแรงต้านทานการเลื่อนที่ด้วยโมเมนต์ดัดอันนี้ มีลักษณะคล้ายกับโมเมนต์ดัดใน แนวดิ่งแต่มีค่าน้อยกว่ามากจึงตัดทิ้งไปได้ ยกเว้นในกรณีที่มีค่าสูงจึงจะนำมาพิจารณา



รูปที่ 2.10 เพลาหน้าแบบ drop type
(ที่มา หนังสือกลศาสตร์ยานยนต์ , บัญชา ค้งตระกูล)

แรงต้านทานการเคลื่อนที่จะทำให้เกิดแรงบิดขึ้นกับเพลาหน้าด้วย ถ้าเพลาหน้าเป็นแบบ drop type ที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.10 ดังนั้น เพลาหน้าส่วนที่ยื่นออกมา จากแหนบจะมีภาระทั้งการบิดและการดัดแรงบิดที่กระทำจะมีค่าเป็น

$$T_R = R\delta \qquad (2.12)$$

เมื่อ R คือ แรงหรือความต้านทานการเคลื่อนที่

δ คือ ระยะจากแกนล้อถึงจุดศูนย์กลางหน้าตัดขวางของเพลาหน้าโดยวัดในแนวดิ่ง

ความเค้นเฉือนในเพลาหน้าเกิด จากแรงบิดในการห้ามล้อด้วย ซึ่งแรงบิดในการห้ามล้อมีค่าเป็น

$$T_B = \mu Wr \qquad (2.13)$$

เมื่อ μ คือ สัมประสิทธิ์การยึดเกาะระหว่าง ถนนกับยางรถยนต์

r คือ รัศมีของล้อ

แรงบิดห้ามล้อจะมีค่าน้อยลงสำหรับเพลาหน้าส่วนที่อยู่ระหว่างแหนบและมีค่าเป็น

$$T_B = \mu W(r - \delta) \qquad (2.14)$$

สำหรับเพลาหน้าส่วนนี้โมเมนต์ดัดมีอิทธิพลมากกว่าแรงบิดแต่สำหรับส่วนที่เป็น steering head แรงบิดจะมีอิทธิพลเหนือกว่า ดังนั้น เพลาหน้าในส่วนที่โมเมนต์ดัด มีอิทธิพลมากกว่าจึงสร้างเป็นคานซึ่งมีหน้าตัดเป็นตัว I และในส่วนที่แรงบิดมีอิทธิพลมากว่า หน้าตัดของเพลาหน้าจะค่อย ๆ เปลี่ยนไปเป็นหน้าตัดกลม รี หรือ สี่เหลี่ยมตรงช่วงที่ต่อกับชุดคุมล้อ

สำหรับเพลาหน้าส่วนที่แรงบิด มีอิทธิพลมากว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและแรงบิด จะหาได้จากสูตรของการบิด คือ

$$\tau = \frac{Tc}{J} \qquad (2.15)$$

เมื่อ τ คือ ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นในเพลาหน้า

T คือ แรงบิดสูงสุดบนระนาบของหน้าตัดของเพลาหน้า

c คือ ระยะจากแกนสะเทินถึงผิวนอกสุดของเพลาหน้า

$= \frac{d}{2}$

ซึ่ง d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาหน้าในกรณีที่เพลาหน้ามีหน้าตัดกลมเท่ากับแกนหลัก (major axis) ของหน้าตัดในกรณีที่เพลาหน้ามีหน้าตัดเป็นวงรีหรือรูปไข่

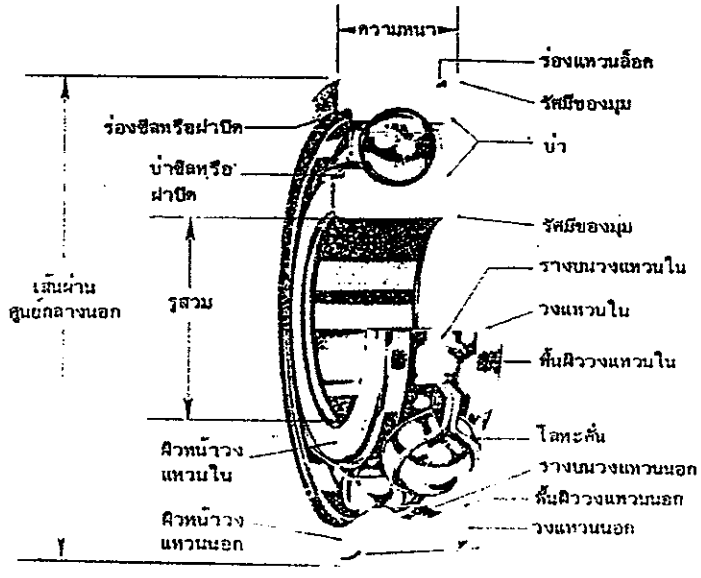
และ J คือ โมเมนต์ความเฉื่อย (polar moment of inertia) ของหน้าตัด

$= \frac{\pi}{32} d^4$ สำหรับหน้าตัดกลม

$= \frac{\pi}{32} d^3 b$ สำหรับหน้าตัดวงรีซึ่งมี d เป็นแกนหลักและ b เป็นแกนรอง

2.6 โรลลิ่งแบริ่ง

โรลลิ่งแบริ่ง (rolling bearing) หมายถึงแบริ่งที่รับแรงโดยอาศัยชิ้นส่วนของแบริ่งที่มีผิวสัมผัสแบบกลิ้ง (Rolling contact) แทนที่จะเป็นผิวสัมผัสแบบเลื่อน (sliding contact) เนื่องจากแบริ่งชนิดนี้มีค่าความเสียดทานน้อยมาก ดังนั้น จึงมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งที่นิยมใช้กันทั่วไปในวงการอุตสาหกรรมว่า แอ็นติฟริคชั่นแบริ่ง (anti-friction bearing) ตัวอย่างเช่น บอลแบริ่ง (ball bearing) หรือตลับลูกปืน ดังรูป 2.11 ซึ่งประกอบด้วยวงแหวนหนึ่งแล้วส่งผ่านไปยังวงแหวนอีกวงหนึ่ง โดยการกลิ้งไปบนวงแหวน



รูปที่ 2.11 ส่วนต่าง ๆ ของบอลแบริ่ง
(ที่มา หนังสือการออกแบบเครื่องจักรกล , วริทธิ์ อึ้งภากรณ์)

2.6.1 ชนิดของแบริ่ง

โดยทั่งไปแล้วบอลแบริ่งจะแบ่งออกได้เป็นสองพวกใหญ่ ๆ คือ บอลแบริ่งชนิดมีลูกกลิ้งเป็นทรงกลม และโรลเลอร์แบริ่งซึ่งลูกกลิ้งเป็นทรงกระบอกตรงหรือเป็นรูปทรงกระบอกเรียวก็ได้ โดยปกติแล้วแบริ่งเหล่านี้จะรับแรงได้ทั้งในแนวรัศมีและแรงรุนได้ ยกเว้นโรลเลอร์แบริ่ง ชนิดทรงกระบอกตรงเท่านั้น แบริ่งทั้งสองนี้ยังแยกออกเป็นชนิดต่าง ๆ ในที่นี้จะขอกล่าวถึง เฉพาะแบริ่งชนิด Deep groove ซึ่งเป็นชนิดที่ใช้เท่านั้น

สำหรับบอลแบริ่งชนิดที่มีลูกกลิ้งหนึ่งแถวร่องลึก (Single-row Deep-Groove) ประกอบด้วยร่องลึกเป็นทางกลิ้งสำหรับลูกกลิ้งทรงกลม สามารถรับแรงในแนวแกนได้เป็น 0.7 เท่าของแรงในแนวรัศมี และสามารถรับการเยื้องแนวของเพลาได้ประมาณ $\pm 0°15'$ เมื่อต้องการเพิ่มความสามารถในการรับแรงในแนวรัศมีขึ้นไปอีก ก็อาจทำได้โดยการเพิ่มจำนวนลูกกลิ้งที่บรรจุในรางให้มากขึ้น ซึ่งจำเป็นที่จะต้องตัดผิวหน้าวงแหวนด้านหนึ่งให้มีช่องสำหรับใส่ลูกกลิ้งเพิ่มเข้าไป การทำเช่นนี้จะทำให้แบริ่งรับแรงในแนวรัศมีเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 20 ถึง 40 % แต่ว่าความสามารถในการรับแรงในแนวแกนจะลดลง

2.7 เพลาท้าย

เพลาท้ายมีอยู่สองแบบคือ เพลาไม่หมุน (dead axles) และ เพลาหมุน (live axles) แบบเพลาไม่หมุนนั้นจะอยู่กับที่ โดยไม่หมุนไปบนเพลา อย่างเช่น คานหน้าของรถบรรทุก (solid axles) ก็จัดเป็นเพลาไม่หมุน แบบเพลาหมุน ตัวเพลาจะยึดติดกับล้อ ดังนั้นล้อและเพลาจะหมุนไปด้วยกัน แบบเพลาหมุนนี้มีอยู่ 3 แบบ แบ่งตามการรองรับน้ำหนักของเพลา และการยึดติดกับล้อคือ แบบเพลาลอย (full floating axle) แบบกึ่งลอย (semi-floating axle) และแบบเพลาลอยสามในสี่ส่วน (three quarter floating axle)

1. เพลาแบบ semi-floating เพลาท้ายแบบนี้จะใช้กับรถยนต์นั่งทั่ว ๆ ไป และรถบรรทุกเล็ก ในกรณีนี้เรือนชุดเฟืองดอกจอกจะมีลูกปืนรองรับ เพลาขับล้อจะถ่ายทอดเฉพาะ แรงบิดและไม่มีแรงอื่นใดกระทำอีก จึงเรียกว่า ลอยตัว (floating) ความเค้นที่เกิดจากการทำงานของชุดเฟืองดอกจอกจะถูกเรือนเพลาท้ายรับไป ปลายด้านนอกของเพลาขับล้อจะถูกรองรับด้วยลูกปืน 1 ตลับ อยู่ในเรือนเพลาและล้อจะถูกยึดเข้าไปกับส่วนที่เรียว (taper) ของปลายเพลาส่วนนี้ เพราะฉะนั้น เพลาขับล้อจึงรับโมเมนต์ดัดที่เกิดจากการลื่นไถล (slip) การหมุน และการเด้งของล้อ ส่วนเพลาล้อจะรับน้ำหนักทั้งหมดของรถยนต์

2. เพลาแบบ three-quarter floating เพลาท้าย แบบนี้จะใช้กับรถบรรทุกขนาดกลาง และรถยนต์นั่งขนาดใหญ่บางประเภท ในกรณีนี้ล้อจะถูกรองรับด้วยลูกปืนตลับหนึ่งบนด้านนอกของเรือนเพลา และยึดเข้ากับปลายเพลาส่วนที่เรียว ความเค้นที่เกิดจากการหมุน การลื่นไถล และการเด้ง ของล้อจะเกิดขึ้นที่เพลาล้อคล้ายกับแบบ semi-floating แต่น้ำหนักรถยนต์ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ จะตกลงที่เรือนเพลา และน้ำหนักส่วนที่เหลือจะถูกเพลาล้อรับไว้

3. เพลาแบบ full floating เพลาท้ายแบบนี้ส่วนมากจะใช้กับรถบรรทุกขนาดใหญ่ ในกรณีนี้ ลูกปืนแบบลูกกลิ้งเรียว 2 ตลับ จะอยู่ระหว่างด้านนอกของเรือนเพลากับดุมล้อ ล้อจะถูกขับผ่าน dog หรือ สไปลน์ตรงปลายของเพลาขับล้อ ในกรณีนี้เพลาขับล้อจะถ่ายทอดเฉพาะแรงบิดที่ใช้ในการขับเคลื่อน ความเค้นที่เกิดจากการหมุน การลื่นไถลและการเด้งของล้อจะเกิดขึ้นที่เรือนเพลา โดยส่งผ่านมาจากลูกปืนล้อ เรือนเพลาจะรับน้ำหนักทั้งหมดของรถยนต์ (ส่วนที่ตกลงที่ล้อนั้น) เพลาขับล้อสามารถถอดออก และประกอบเข้าไปได้โดยไม่ต้องถอดล้อ หรือไม่ต้องยุ่งกับชุดเฟืองดอกจอก ซึ่งไม่เหมือนกับแบบ semi-floating และ three-quarter floating ในกรณีนี้ล้อจะยังคงอยู่ในตำแหน่ง เดิมแม้ว่าเพลาขับล้อจะขาดไปแล้ว ซึ่งไม่สามารถทำได้ถ้าเป็นแบบ semi-floating หรือ three-quarter floating

2.7.1 ความแข็งแรงของเพลาท้าย

ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะรายละเอียดความแข็งแรงของเพลาท้ายแบบกึ่งลอยเท่านั้น เนื่องจากเป็นแบบที่เลือกใช้ เพลาแบบนี้จะรับแรงดัดและแรงบิด ฉะนั้นเส้น ผ่านศูนย์กลางของเพลาจะขึ้นอยู่กับ โมเมนต์ดัดและความยาวของเพลา ที่ปลายเพลาด้านเฟืองท้ายจะมีขนาดเล็กที่สุด ที่จุดนี้จะเป็นที่รวมแรงบิด ส่วนปลายด้านนอกจะมีขนาดใหญ่ที่สุดเพราะว่าที่จุดนี้โมเมนต์ดัดจะมีค่ามากสุด เมื่อล้อเกิดลื่นไถลหรือหยุดหมุนเนื่องจากการเร่งหรือการห้ามล้อจะทำให้เพลาเกิดความเครียดมากที่สุด

แรงเสียดทานที่เกิดขึ้น คือ μw

กำหนดให้ μ คือ สัมประสิทธิ์ระหว่างยางกับถนน (สำหรับถนนแห้ง = 0.6)

w คือ น้ำหนักที่ตกที่แต่ละล้อ

แรงเสียดทาน μw จะทำให้เกิดแรงบิดเท่ากับ $\mu w r$ และโมเมนต์ดัด ที่จุดกึ่งกลางของลูกปืนตัวนอกเท่ากับ $\mu w l$

กำหนดให้ r คือ รัศมีทำการของล้อ

l คือ ระยะระหว่างเส้นกึ่งกลางยางถึงลูกปืนตัวนอกของเพลา

น้ำหนัก W จะทำให้เกิดโมเมนต์ดัดบนเพลาที่กึ่งกลางของลูกปืนตัวนอกเท่ากับ Wl

แต่แรงบิดขับเคลื่อนแต่ละล้อ $= \frac{T_w}{2}$

$= \frac{1}{2} G \eta_t T_e$

แรงบิดจากการขับเคลื่อนจะมากกว่าแรงบิดเนื่องจากความฝืด ในขณะเดียวกันจะมีโมเมนต์ดัดเกิดขึ้นบนเพลาที่ลูกปืนตัวนอกในแนวดิ่งเท่ากับ Wl และในแนวนอนเท่ากับ μ Wl

∴ ผลลัพธ์ของโมเมนต์ดัดบนเพลา

$$M_b = \sqrt{((Wl)^2 + (\mu Wl)^2)}$$

$$= Wl\sqrt{1+\mu^2} \quad (Nm) \qquad (2.16)$$

และความเค้นดัด $\sigma^b = \frac{M_b y}{I}$ (N/m^2)

กำหนดให้ y คือ ระยะจากแกนสะเทิน (neutral axis) ไปยังผิวของเพลา (m)

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของเพลา

ป
50
ส33.2
ป ส585
2548
15 สิ.ค. 2549
4840503
สำนักหอสมุด

$$I = \frac{\pi d^4}{64}$$

$$\therefore \quad \sigma^b = \frac{M_b d/2}{\pi d^4/64}$$

$$= \frac{32Wl\sqrt{1+\mu^2}}{\pi d^3} \ (N/m^2) \qquad (2.17)$$

ความเค้นเฉือนของเพลา

$$\tau = \frac{Ty}{J}$$

J = โมเมนต์ภาคตัดเชิงขั้วของพื้นที่

$$= \frac{\pi d^4}{32} \ (m^2)$$

T_{max} คือ แรงบิดสูงสุดที่เกิดบนเพลา

$$= \mu^{Wr}$$

$$\therefore \quad \tau = \frac{16\mu Wr}{\pi d^3} \ (N/m^2) \qquad (2.18)$$

ถ้าใช้สูตรของความเค้นรวม ความเค้นดึง หรือความเค้นอัดสูงสุดของเพลาจะเท่ากับ

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_b}{2} \pm \sqrt{(\frac{(\sigma_b)^2}{2} + \tau^2)}$$

$$= \frac{16Wl}{\pi d^3}(\sqrt{1+\mu^2} \pm \sqrt{\mu^2(r^2+l^2)+l^2}) \qquad (2.19)$$

ความเค้นเฉือนสูงสุดของเพลา

$$\tau_{max} = \sqrt{\left[\left(\frac{\sigma_b}{2}\right)^2 + \tau^2\right]}$$

$$= \frac{16W}{\pi d^3}\sqrt{\mu^2(r^2+l^2)+l^2} \qquad (2.20)$$

โดยทั่วไปความเค้นเฉือนของเพลามีค่าประมาณ 294 – 326 MN/m^2

2.8 ล้อ

ล้อจะเป็นตัวที่รับน้ำหนักทั้งหมดของยานยนต์ โดยถ่ายทอดการหมุนและแรงบิดในการขับเคลื่อนยานยนต์ และแรงบิดในการห้ามล้อสำหรับการลดความเร็วของยานยนต์ ล้อที่มีโครงไม่สมดุลจะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนมากซึ่งจะมีผลทำให้ยางและสลักล้อหน้า (king pin) สึกหรอมาก

ชิ้นส่วนที่จำเป็นของล้อคือ ดุมล้อ ซึ่งยึดติดอยู่กับแกนล้อและขอบกระทะล้อซึ่งใช้ในการใส่ยาง ดุมล้อกับกระทะล้อจะถูกยึดต่อเข้าด้วยกันโดยใช้ชิ้นส่วนที่เป็นจานหรือซี่ลวด (หรือซี่กงล้อ) ก็ได้ ดุมเบรกหรือจานเบรกจะถูกยึดติดอยู่กับดุมล้อ โครงสร้างของล้อมีอยู่หลายแบบ แล้วแต่ชนิดของยานยนต์ ยางที่ใช้กับรถยนต์เป็นแบบสูบลม แบบใช้ยางใน (tube tyre)

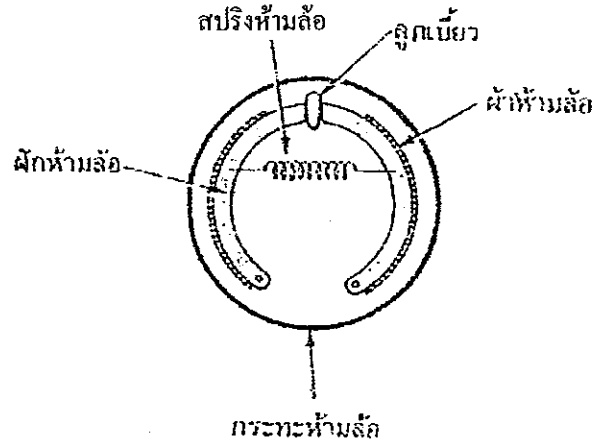
2.9 ระบบห้ามล้อ

ห้ามล้อที่ใช้ในรถยนต์มี 2 ชนิดคือ ห้ามล้อเท้ากับห้ามล้อมือ (หรือห้ามล้อฉุกเฉิน)ห้ามล้อเท้าใช้ในการควบคุมความเร็วของรถยนต์ หรือ หยุดรถยนต์เมื่อต้องการโดยออกแรงเหยียบที่แป้นเหยียบห้ามล้อ ห้ามล้อมือทำงานด้วยคันห้ามล้อ ใช้ในการป้องกันไม่ให้รถยนต์ที่เมื่อจอดรถยนต์ไว้ห้ามล้อมือ เรียกว่าเป็นห้ามล้อฉุกเฉินได้เพราะว่าสามารถใช้ห้ามล้อมือ เพื่อหยุดรถยนต์ได้เมื่อห้ามล้อเท้าเสียไม่สามารถใช้งานได้ รถยนต์ในปัจจุบันนี้จะห้ามล้อทั้ง 4 ล้อ ห้ามล้อที่ล้อหน้าจะต้องไม่ไปทำให้การควบคุมการเลี้ยวของล้อหน้าขัดข้อง

2.9.1 ชนิดของห้ามล้อ

ห้ามล้อถูกจำแนกออกตามการทำงานของฝักเบรก (brake shoe) กับกระทะเบรก (brake drum) เป็นแบบขยายออกจากภายนอก (internal-expanding) กับจับเข้าจากภายนอก (external conpraction) นอกจากนี้ยังแบ่งออกเป็นแบบกลไกแบบไฮดรอลิก ขึ้นอยู่กับวิธีถ่ายทอดแรงจากห้ามล้อหรือแป้นเหยียบห้ามล้อไปยังฝักห้ามล้อ ว่าใช่กลไกก้านต่อหรือใช้ความดันของน้ำมันไฮดรอลิก สำหรับรถยนต์สมัยใหม่ห้ามล้อเท้าโดยทั่วไปจะเป็นแบบทำงานด้วยไฮดรอลิกและเป็นแบบขยายออกจากภายใน ส่วนห้ามล้อมือจะเป็นแบบทำงานด้วยกลไก ซึ่งจะเป็นแบบจับหรือรัดเข้าจากภายนอก หรือขยายออกจากภายในก็ได้

การจำแนกชนิดของห้ามล้ออีกอย่างหนึ่ง คือ แยกออกเป็นแบบห้ามล้อกระทะ (drum brake) กับห้ามล้อจาน (disc brake) ซึ่งในนี้เราจะกล่าวเฉพาะห้ามล้อกระทะเท่านั้น

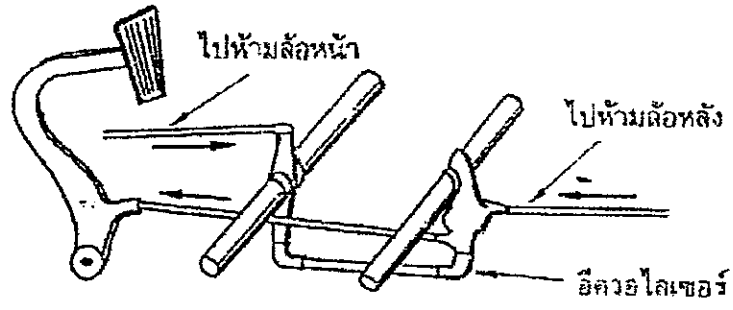


รูปที่ 2.12 แสดงชิ้นส่วนของชุดห้ามล้อ
(ที่มา หนังสือกลศาสตร์ยานยนต์, บัญชา ค้งตระกูล)

2.9.2 ส่วนประกอบหลัก

ส่วนประกอบหลักของระบบห้ามล้อ คือ ชุดห้ามล้อที่ล้อและกลไก ซึ่งทำให้ชุดห้ามล้อทำงาน ชุดห้ามล้อประกอบด้วยชิ้นส่วนหลักตามรูปที่ 2.12 backing plate เป็นแผ่นหรือจานเหล็กกล้าอัดขึ้นรูป ติดอยู่ตรงปลายของเพลาล้อ และฝักห้ามล้อติดอยู่กับ backing plate นี้ ฝักห้ามล้อ เป็นชิ้นส่วนที่มีลักษณะโค้งตามปกติจะมีอยู่ 2 ฝักต่อล้อ 1 ล้อ และยึดด้วยสลักที่ติดอยู่กับ backing plate โดยมีจุดศูนย์กลางร่วมกับล้อ ปลายข้างหนึ่งของฝักห้ามล้อยึดกับสลัก ส่วนปลายอีกข้างหนึ่ง (ในกรณีที่เป็นแบบขยายออกจากภายใน) ถูกดันให้เคลื่อนที่ถ่างออกเมื่อห้าม ล้อทำงาน ผ้าห้ามล้อ ซึ่งเป็นวัสดุ พิเศษที่ผสมด้วยแอสเบสทอสอาจจะติดกับฝักห้ามล้อด้วยการอัดหรือด้วยการย้ำหมุด ผ้าห้ามล้อจะเข้าไปสัมผัสกับกระทะเมื่อ ห้ามล้อทำงาน ความเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผ้าห้ามล้อกับกระทะห้ามล้อ ผ้าห้ามล้ออาจจะเกิดความร้อนสูงและเกิดขึ้นมาเมื่อถูกอัดติดกับกระทะห้ามล้อในขณะห้ามเต็มที่อาจจะเกิดความดันขึ้นถึง 6.38 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร และอุณหภูมิอาจสูงถึง 260 องศาเซลเซียส ครีบระบายความร้อนที่ติดอยู่ด้านนอกของกระทะล้อจะช่วยระบายความร้อนออกจากชุดห้ามล้อออกสู่บรรยากาศ กระทะห้ามล้อ จะติดอยู่กับดุมล้อด้วยการยึดด้วยโบลต์และหมุนไปพร้อมกับล้อ สำหรับห้ามล้อแบบขยายออกจากภายใน ผ้าห้ามล้อจะสัมผัสกับผิวด้านในของกระทะแบบจับเข้าจากนอก ผ้าห้ามล้อจะสัมผัสกับผิวด้านนอกของกระทะสลักหมุนที่ปลายของฝักห้ามล้อ เรียกว่า anchors ลูกปั๊มห้ามล้อ (wheel cylinder) ใช้ในการดันฝักห้ามล้อให้สัมผัสกับกระทะเมื่อความดันของน้ำมัน ไฮดรอลิกกระทำ สำหรับห้ามล้อกลไกจะใช้ลูกเบี้ยวแทนในการ

ทำให้ผักห้ามล้อเข้าไปสัมผัส กับกระทะ เมื่อปล่อยแป้นเหยียบห้ามล้อ สปริงห้ามล้อจะดึงผักห้ามล้อกลับไปอยู่ในตำแหน่งที่ห้ามล้อไม่ทำงาน

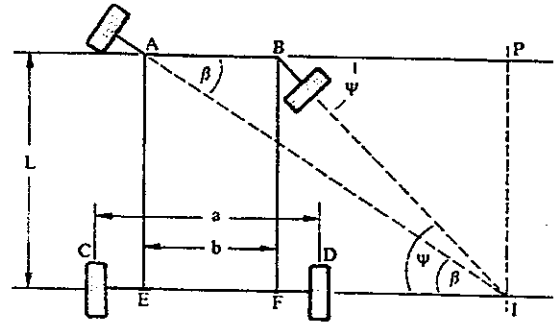


รูปที่ 2.13 แสดงกลไกการห้ามล้อ
(ที่มา หนังสือกลศาสตร์ยานยนต์ ,บัญชา ค้งตระกูล)

กลไกในการห้ามล้อประกอบด้วยแป้นเหยียบห้ามล้อ คันห้ามล้อ และก้านต่อต่าง ๆ คนขับจะออกแรงเหยียบที่แป้นเหยียบห้ามล้อ ก้านต่อจะถ่ายทอดแรงเหยียบของคนขับไปยังผักห้ามล้อในกรณีที่เห็นห้ามล้อกลไกก้านต่อเหล่านี้จะมีลักษณะเป็นแท่งและคานต่อเข้าด้วยกันโดยทำให้การห้ามล้อเท่ากันทั้ง 4 ล้อ (ดูรูปที่ 2.13) สำหรับระบบไฮดรอลิก คันเหยียบห้ามล้อจะทำให้แม่ปั๊มห้ามล้อ (master pump) ทำงานอัดน้ำมัน ไฮดรอลิก ไปยังลูกปั๊มที่ล้อ และถ่ายทอดแรงให้ผักห้ามล้อเข้าไปสัมผัสกับกระทะ

2.10 ระบบบังคับเลี้ยว

เมื่อรถยนต์วิ่งไปบนถนนจะเห็นรอยสัมผัสที่เสียดสีกันระหว่างยางกับถนน การกลิ้งตัวของยางบนผิวถนนนั้นจะพิจารณาได้จากการเขียนวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางร่วมกัน ในขณะที่รถเลี้ยวแกนล้อ (stub axle) ของล้อจะเอียงตัวไปตามทิศทางของการเลี้ยว แนวแกนล้อทั้งสองที่หันเลี้ยวจะพบกันที่จุดศูนย์กลางของการเลี้ยว โดยจุดนี้จะอยู่ในแนวเดียวกับเพลาหลังจากรูปที่ 2.14 จะเห็นได้ว่าแกนล้อด้านในของการเลี้ยงเอียงทำมุมกับแนวเสื้อเพลาเป็นมุม ψ และมีขนาดกว้างกว่ามุม β ของแกนล้อด้านนอกของการเลี้ยว



รูปที่ 2.14 การบังคับเลี้ยวของรถยนต์

(ที่มา หนังสือกลศาสตร์ยานยนต์ , เผด็จ แสนเกษม)

กำหนดให้ a = CD คือ ช่วงกว้างระหว่างล้อ

b = AB คือ ระยะระหว่างจุดหมุนของเพลาหน้า

L = AE คือ ช่วงยาวระหว่างล้อ

I คือ จุดศูนย์กลางการเลี้ยงของล้อทั้ง 4

ถ้าลากเส้น IP ตั้งฉากกับ AB ที่ จุด P ดังรูป 2.14

$$b = AP - BP$$

$$= L\cot\beta - L\cot\psi$$

นั่นคือ $$\cot\beta - \cot\psi = \frac{b}{L} \qquad (2.21)$$

สูตรนี้เป็นสูตรเบื้องต้นถ้าหากล้อไม่ลื่นไถล อัตราส่วน $\frac{b}{L}$ ก็จะเป็นไปตามสมการ

2.10.2 การติดตั้งกลไกการบังคับเลี้ยว

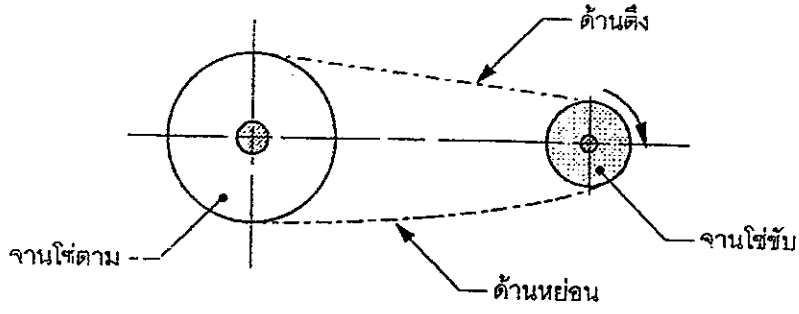
การติดตั้งคันส่งมี 2 ลักษณะ

1. แบบติดตั้งภายใน แบบนี้คันส่งจะติดตั้งอยู่หลังคานหน้า เพื่อป้องกันไม่ให้ตัวคันส่งกระแทกกับสิ่งกีดขวางบนถนนและตัวคันส่งจะอยู่ในลักษณะรับแรงอัด

2. แบบติดตั้งภายนอก แบบนี้ตัวคันส่งจะติดตั้งอยู่ทางด้านหน้าคาน อาจทำให้กระแทกกับสิ่งกีดขวางได้ ถ้าตัวคันส่งงอก็จะมีผลต่อมุมล้อหน้าได้การติดตั้งในลักษณะนี้ตัวคันส่งจะรับแรงดึง

2.11 โซ่ส่งกำลัง (Transmission Chain)

การขับส่งกำลังด้วยโซ่ดังแสดงในรูป ประกอบด้วยโซ่ที่คล้องรอบจานโซ่ตั้งแต่สองอันขึ้นไป จานโซ่เป็นล้อที่มีฟันรูปร่างพิเศษ ในการขับด้วยโซ่นั้นข้อโซ่จะขบกับฟันของจานโซ่จึงไม่มีการลื่นไถล ทำให้การส่งกำลังมีอัตราทดคงที่เช่นเดียวกับการขับด้วยเฟือง โซ่จะทำหน้าที่ส่งกำลังระหว่างเพลาที่ขนานกันเท่านั้น การขับด้วยโซ่ใช้กันอย่างกว้างขวางในเครื่องจักรต่างๆ



รูปที่ 2.15 การขับด้วยโซ่ส่งกำลัง
(ที่มา หนังสือการออกแบบเครื่องจักรกล 2, จำรูญ ตันติพิศาลกุล)

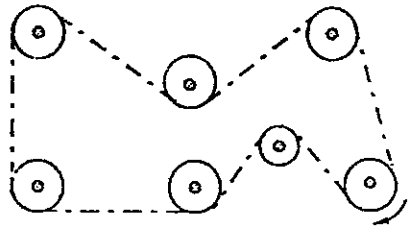
ข้อดีของการส่งกำลังด้วยโซ่

1. สามารถส่งกำลังในระยะที่ห่างระหว่างเพลาขับกับเพลาตามได้ไกล
2. การติดตั้งสะดวก ไม่ต้องกังวลเรื่องการเยื้องศูนย์มากนัก
3. สามารถส่งกำลังได้สูง และประสิทธิภาพค่อนข้างสูง
4. ไม่เกิดการลื่นไถล ทำให้การส่งกำลังมีอัตราทดที่คงที่
5. สามารถส่งกำลังในที่ที่มีความชื้นและฝุ่นละอองได้
6. สามารถส่งกำลังจากตัวส่งกำลังขับตั้งต้นไปขับเพลาได้หลายตัวในเวลาเดียวกัน (รูปที่ 2.16)
7. ราคาถูกกว่าระบบส่งกำลังแบบอื่นๆ

ข้อเสียของการส่งกำลังด้วยโซ่

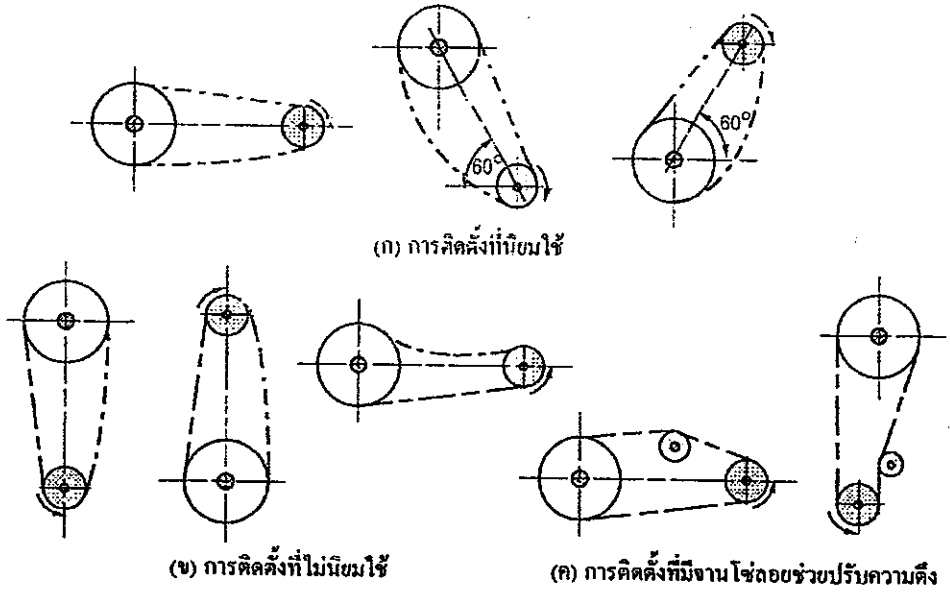
1. ระยะพิตช์ของโซ่เพิ่มขึ้น (โซ่ยืดออก) เนื่องจากการสึกหรอของข้อต่อซึ่งทำให้ต้องใช้ตัวปรับความตึง เพื่อป้องกันไม่ให้โซ่หลุดจากจานโซ่
2. การบำรุงรักษายุ่งยากกว่าสายพาน ต้องคอยใส่น้ำมันหล่อลื่นระหว่างใช้งาน

3. เกิดเสียงดังและการสั่นในขณะใช้งาน เนื่องจากการกระแทกระหว่างโซ่กับโคนฟันของจานโซ่และความเร็วไม่คงที่



รูปที่ 2.16 โซ่เส้นเดียวขับหลายเพลา
(ที่มา หนังสือการออกแบบเครื่องจักรกล 2, จำรูญ ตันติพิศาลกุล)

การติดตั้งโซ่โดยปกตินิยมติดตั้งให้แนวจุดศูนย์กลางของจานโซ่ทั้งคู่อยู่ในแนวระดับ หรือทำมุมกับแนวระดับไม่เกิน 60 องศา และจะต้องให้ด้านล่างเป็นด้านหย่อน ดังรูปที่ 2.17 (ก) ไม่นิยมการติดตั้งให้แนวจุดศูนย์กลางของจานโซ่ทั้งคู่อยู่ในแนวดิ่ง หรือด้านบนเป็นด้านหย่อน ดังรูปที่ 2.17 (ข) เนื่องจากโซ่มักจะหลุดจากจานโซ่ได้ง่ายเมื่อโซ่เกิดการยืดเพียงเล็กน้อย ถ้าจำเป็นอาจติดตั้งจานโซ่ไอเดิล (idle sprocket) ช่วยรองรับด้านหย่อนดังรูปที่ 2.17 (ค)



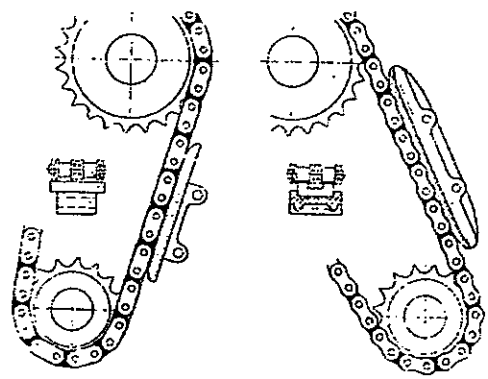
(ก) การติดตั้งที่นิยมใช้

(ข) การติดตั้งที่ไม่นิยมใช้

(ค) การติดตั้งที่มีจานโซ่ลอยช่วยปรับความตึง

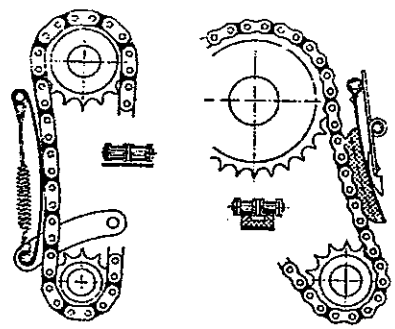
รูปที่ 2.17 การติดตั้งโซ่ขับสองจาน
(ที่มา หนังสือการออกแบบเครื่องจักรกล 2, จำรูญ ตันติพิศาลกุล)

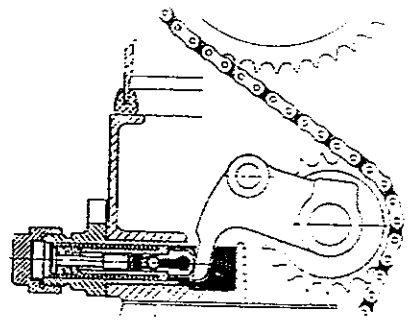
เราสามารถขยายขอบเขตการใช้งานของโซ่ขับ โดยการใช้อุปกรณ์ช่วยพิเศษ ได้แก่ ตัวหน่วงการสั่นสะเทือน (vibration damper) ดังรูปที่ 2.18 เพื่อจำกัดการสั่นสะเทือนของโซ่เมื่อมีการกระแทกอย่างแรงเป็นระยะๆและความเร็วสูงๆ การติดตั้งล้อช่วยรองรับหรือรางรับการไถล (sliding rail) เมื่อระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของจานโซ่ห่างกันมาก ดังรูปที่ 2.19 เพื่อลดความเค้นที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักของโซ่ หรือการใช้อุปกรณ์ปรับความตึงของโซ่ด้านหย่อน เมื่อจานโซ่ตัวตามอยู่เหนือจานโซ่ตัวขับ ดังรูปที่ 2.20 และรูปที่ 2.21 เพื่อให้เกิดความตึงเบื้องต้นที่จำเป็นในด้านหย่อนของโซ่



รูปที่ 2.18 ใช้ยางเป็นตัวหน่วงการสั่นสะเทือน
(ที่มา หนังสือการออกแบบเครื่องจักรกล 2, จำรูญ ตันติพิศาลกุล)

รูปที่ 2.19 ใช้รางรับการไถลสำหรับระยะจุดศูนย์กลางที่ห่างไกลกันมาก
(ที่มา หนังสือการออกแบบเครื่องจักรกล 2, จำรูญ ตันติพิศาลกุล)





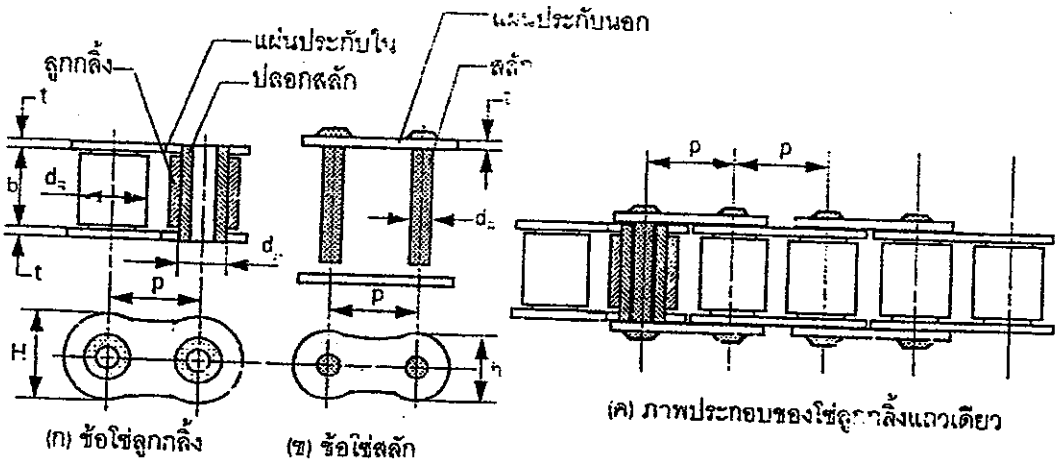
รูปที่ 2.20 สปริงปรับความตึงของโซ่สั้น **รูปที่** 2.21 ไฮดรอลิคปรับความตึงของโซ่

(ที่มา หนังสือการออกแบบเครื่องจักรกล 2, จำรูญ ตันติพิศาลกุล)

เราสามารถแบ่งชนิดของโซ่ตามลักษณะการทำงานได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ โซ่ขับหรือโซ่ส่งกำลัง โซ่ลำเลียง (conveyor chain) และโซ่ดึง แต่ละกลุ่มยังแบ่งย่อยออกเป็นประเภท ตามรายละเอียดของการออกแบบในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะโซ่ส่งกำลังเท่านั้น

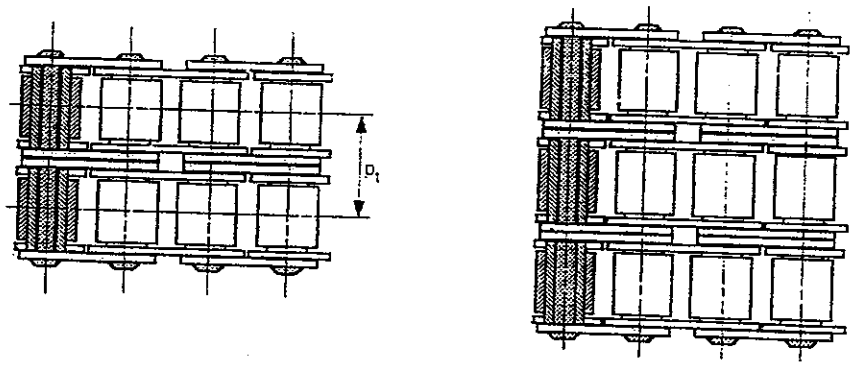
ประเภทของโซ่ส่งกำลัง

1. โซ่ลูกกลิ้ง (roller chain) ประกอบด้วย สลัก ปอกสลัก ลูกกลิ้ง แผ่นประกับใน (inner plate) และแผ่นประกับนอก (outer plate) ปลอกสลัก (bush) จะสวมอัดแน่นกับแผ่นประกับใน มีลูกกลิ้ง (roller) กลวงหมุนได้อิสระสวมอยู่ด้านนอกของปลอกสลัก แผ่นประกับนอกยึดอยู่กับสลัก (pin) ดังรูปที่ 2.22 แสดงโครงสร้างของโซ่ลูกกลิ้งแถวเดียว รูปที่ 2.23 แสดงโซ่ลูกกลิ้งสองแถวและสามแถว



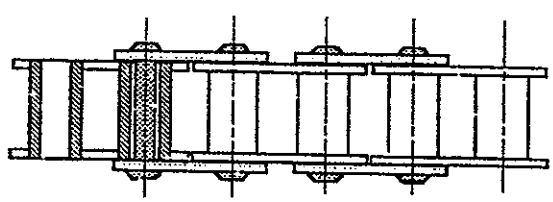
รูปที่ 2.22 โซ่ลูกกลิ้งแถวเดียว

(ที่มา หนังสือการออกแบบเครื่องจักรกล 2, จำรูญ ตันติพิศาลกุล)



รูปที่ 2.23 โซ่ลูกกลิ้งสองแถวและสามแถว
(ที่มา หนังสือการออกแบบเครื่องจักรกล 2, จำรูญ ตันติพิศาลกุล)

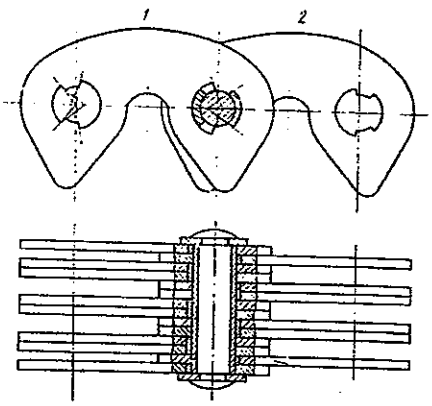
2. โซ่ปลอก (brush chain) โซ่ปลอกแตกต่างไปจากโซ่ลูกกลิ้งตรงที่ไม่ต้องมีลูกกลิ้ง ดังรูปที่ 2.24 จึงทำให้สามารถออกแบบปลอกสลักและสลักของโซ่ปลอกหนาขึ้นได้ ดังนั้นโซ่ปลอกจะสามารถรับโหลดที่จะทำให้โซ่ขาดได้สูงกว่าโซ่ลูกกลิ้งสำหรับพิตช์ที่เท่ากัน แต่อย่างไรก็ตามโซ่ปลอกจะเกิดเสียงดังและเกิดการสึกหรอมากกว่าโซ่ลูกกลิ้ง จึงนิยมใช้โซ่ลูกกลิ้งมากกว่าโซ่ปลอก



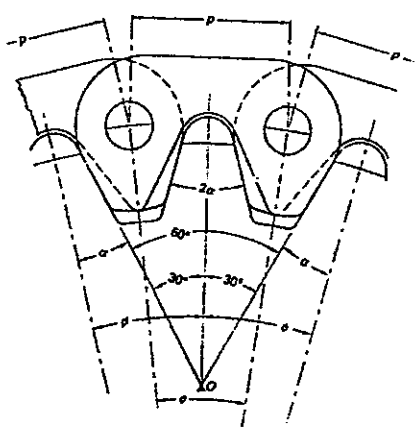
รูปที่ 2.24 โซ่ปลอก
(ที่มา หนังสือการออกแบบเครื่องจักรกล 2, จำรูญ ตันติพิศาลกุล)

3. โซ่เงียบ (silent chain) หรือโซ่ฟัน (toothed chain) ประกอบด้วยแผ่นประกับหลายแผ่นจัดเรียงติดกันไป โดยมีการสลับแผ่นไปยึดกับสลักข้อโซ่ถัดไป ดังรูปที่ 2.25 แต่ละแผ่นประกับจะมีฟันสองฟันที่มีร่องบากเพื่อให้แผ่นประกับหมุนขบเข้ากับฟันของจานโซ่ แผ่นประกับของโซ่เงียบส่วนใหญ่จะมีรูปร่างแบบคมมีด ทำให้ข้อโซ่ที่ยึดติดกันหมุนแนบเต็มร่องฟันเหมือนกับเป็นส่วนหนึ่งของจานโซ่ โดยแผ่นประกับทำมุม 60 องศาซึ่งกันและกัน ดังรูปที่ 2.26 แสดงข้อโซ่ของแผ่นประกับที่ยึดติดกันขบกับฟันสองฟันของจานโซ่ ดังนั้นข้อโซ่จึงเกิดการสึกหรอน้อย และเนื่องจากสลักของข้อโซ่แบบคมมีดจะยอมให้แผ่นประกับทำมุมกันได้ประมาณ 30 องศา

จึงต้องการจำนวนฟันต่ำสุดของจานโซ่เท่ากับ 12 ฟัน โซ่เงียบสามารถใช้งานที่ความเร็วสูงกว่าโซ่ลูกกลิ้ง แต่มีน้ำหนักมากกว่าและแพงกว่าโซ่ลูกกลิ้ง



รูปที่ 2.25 โซ่เงียบ
(ที่มา หนังสือการออกแบบเครื่องจักรกล 2, จำรูญ ตันติพิศาลกุล)



รูปที่ 2.26 ข้อโซ่ที่ยึดติดกันขบกับสองฟันของจานโซ่เงียบ
(ที่มา หนังสือการออกแบบเครื่องจักรกล 2, จำรูญ ตันติพิศาลกุล)