บทที่ 2

ระบบควบคุมการลื่นไถลขณะห้ามล้อ

ในสมัยก่อนนั้นได้มีการคิดค้นถึงระบบการควบคุมการลื่นไถล (Wheel Slip Control) ซึ่งเป็นแนวความคิดที่จะทำการควบคุมการลื่นไถลของล้อรถยนต์ หรือที่เรียกว่าป้องกันการจับตาย (Anti-Lock Control) หรือ ป้องกันการลื่นไถล (Anti-Skid Control) จุดประสงค์ในการออกแบบ เพื่อไม่ให้ล้อถูกจับตายขณะทำการห้ามล้อ คือป้องกันสภาพการจับล้อจนหยุดหมุนขณะที่ตัวรถยังเคลื่อนที่อยู่ไม่ให้เกิดขึ้น แนวความคิดนี้ได้มีการนำมาใช้กับล้อเครื่องบินและล้อรถไฟ ในปัจจุบันมีการนำระบบการป้องกันการจับตายมาติดตั้งกับรถยนต์ เพื่อให้เกิดความเสถียรภาพและสามารถบังคับทิศทางการเลี้ยวในขณะทำการห้ามล้อ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพถนนที่ลื่นไถลได้ง่าย นอกจากนี้ ABS ยังช่วยยืดอายุการใช้งานของยางรถยนต์ให้ยาวนานอีกด้วย เพราะการห้ามล้อโดยล้อถูกจับตายนั้น ยางรถจะเสียดสีถูไถลไปกับผิวถนน และมีการสึกหรอที่หน้ายางมากเป็นจุด ๆ

การลื่นไถลของยางรถยนต์

เป้าหมายของการควบคุมของ ABS คือ ควบคุมระดับการลื่นไถลเพื่อไม่ให้เกิดการจับตายของล้อขณะทำการห้ามล้อ จากรูปที่ 2.1 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของการห้ามล้อในแนวทิศทางของการเคลื่อนที่ของตัวรถ μ_x , ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานทางด้านข้างของล้อ μ_y กับอัตราการลื่นไถล ซึ่งความสัมพันธ์ของเส้นโค้งนี้ เรียกว่าเส้นโค้ง $\mu - \lambda$ และแรงบิดยางล้อรถยนต์ T_t (tire torque) จะแปรผันตามค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของการห้ามล้อ μ_x ขึ้นอยู่กับสภาวะการเปลี่ยนแปลงของสภาพผิวถนน โดยทั่วไปค่า μ_x จะมีค่าสูงในสภาพถนนที่มีสภาวะแห้ง และจะให้ค่าลดลงเมื่อสภาพถนนมีสภาวะเปียกหรือถนนเป็นน้ำแข็ง ซึ่ง

แสดงในรูปที่ 2.2 ทั้งนี้ยังขึ้นกับความเร็วของตัวรถยนต์ ถ้าความเร็วรถต่ำจะให้ค่า μ_x หรือ T_t สูง และค่า μ_x จะลดลงเมื่อความเร็วรถสูงขึ้น ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.3 นิยามของอัตราการลื่นไถลของล้อขณะทำการห้ามล้อ ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.1 แสดงดังสมการ

$$\lambda = \frac{\frac{V_v}{R_w} - W_w}{\frac{V_v}{R_w}} \times 100\% \qquad (2.1)$$

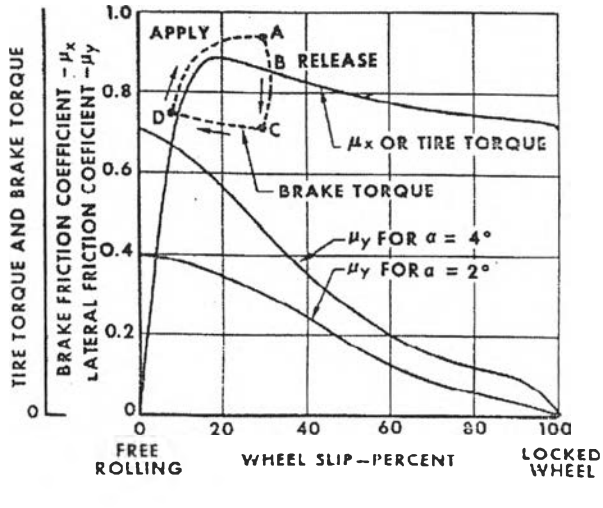
เมื่อ λ =เปอร์เซนต์การลื่นไถล

V_v =ความเร็วของตัวรถยนต์ (เมตรต่อวินาที)

R_w =รัศมีของยางล้อ (เมตร)

W_w =ความเร็วเชิงมุมของล้อที่ถูกควบคุม (เรเดียนต่อวินาที)

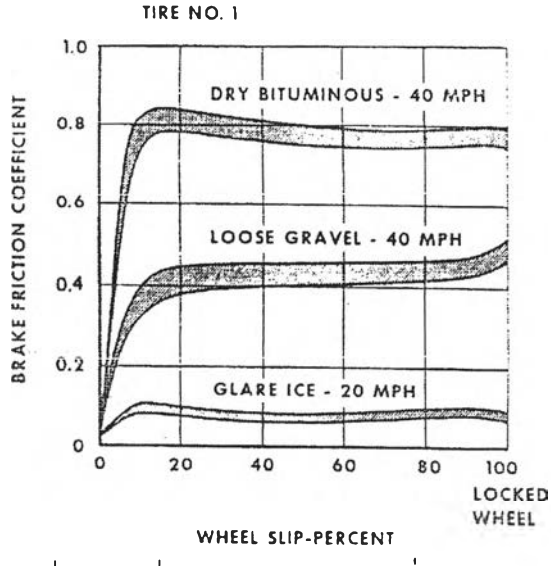
โดยที่ λ = 0% จะหมายถึง การหมุนของล้อซึ่งไม่มีการลื่นไถล และ λ = 100% จะหมายถึง ล้อเกิดการไถลโดยไม่หมุน (ล้อถูกจับตาย) ความเร็วของตัวรถยนต์ V_v ในขณะห้ามล้อเราไม่สามารถที่จะวัดได้ แต่จะเลือกจากหนึ่งในสี่ของล้อรถยนต์ ที่ให้ค่าความเร็วเชิงมุมของล้อสูงสุดขณะที่ทำการห้ามล้อมาเป็นความเร็วเชิงมุมล้ออ้างอิง



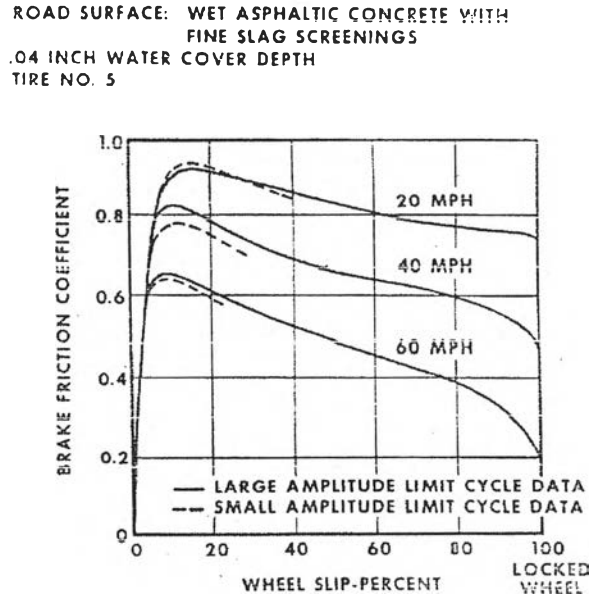
รูปที่ 2.1 แสดงแรงห้ามล้อของยางล้อและแรงด้านข้างของยางล้อ

$$\lambda = \frac{W_{ref} - W_w}{W_{ref}} \times 100\% \qquad (2.2)$$

เมื่อ W_{ref} =ความเร็วเชิงมุมของล้ออ้างอิง (เรเดียนต่อวินาที)

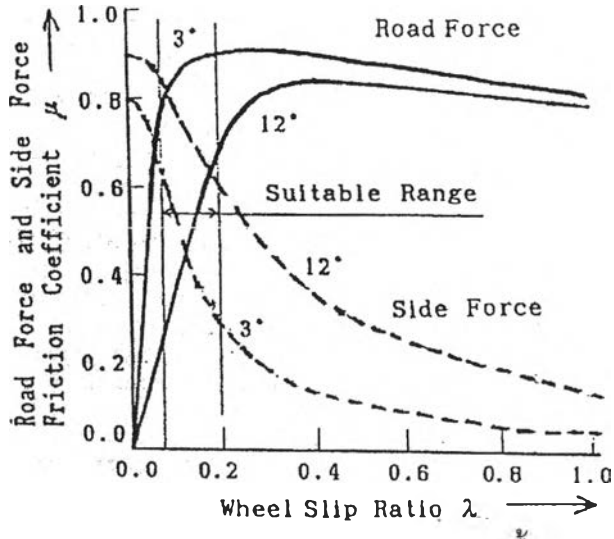


รูปที่ 2.2 เส้นโค้ง $\mu - \lambda$ ที่แปรเปลี่ยนตามสภาพถนนที่มีสภาวะแห้ง, เปียก และน้ำแข็ง

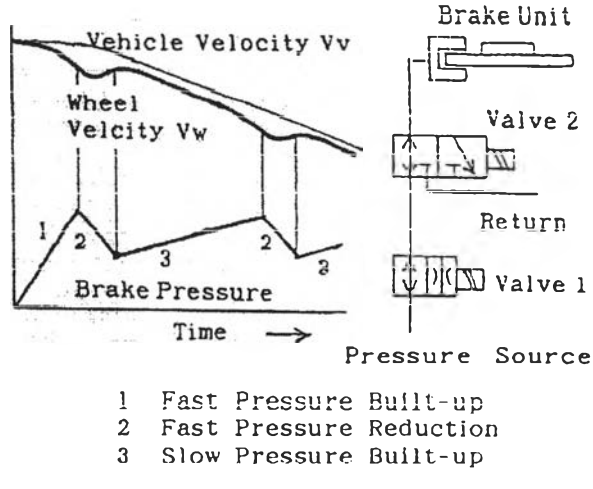


รูปที่ 2.3 แสดงเส้นโค้ง $\mu - \lambda$ ที่ความเร็วต่างกัน

พิจารณาจากรูปที่ 2.1 การควบคุมอัตราการลื่นไถลให้ได้ค่าการลื่นไถลที่จะทำให้ค่าแรงบิดยางล้อ T_t อยู่ในช่วงสูงสุด ขึ้นอยู่กับการควบคุมแรงบิดห้ามล้อ T_b (brake torque) ซึ่งแสดงเป็นวัฏจักรตามเส้นประ ABCD ช่วงในการควบคุมอัตราการลื่นไถลที่สามารถเชื่อถือได้ จะอยู่ในช่วง 5 - 20% [3] ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงคุณลักษณะเส้นโค้ง $\mu - \lambda$ ของยางล้อกับพื้นถนน ช่วงการลื่นไถลที่สามารถเชื่อถือได้อยู่ที่ 5 - 20%การลื่นไถล



รูปที่ 2.5 แสดงระบบไฮดรอลิกอย่างง่าย

หลักการทำงานของ ABS

ในระบบห้ามล้อที่ถูกติดตั้ง ABS จะมีอุปกรณ์ตรวจจับความเร็วรอบของล้อรถยนต์ (wheel speed sensor) ที่แต่ละล้อ เมื่อทำการห้ามล้อ แม่ปั๊มห้ามล้อจะสร้างความดันให้กับวงจรระบบไฮดรอลิก จะทำให้มีความดันเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว ความดันถูกส่งผ่านไปยังลิ้นไฟฟ้า 1 และ 2 เข้ายังก้ามปูห้ามล้อ (caliper) ทั้ง 4 ล้อ สัญญาณที่ตรวจจับได้ของแต่ละล้อ จะถูกส่งเข้าไปยังคอมพิวเตอร์ ให้ทำการเปรียบเทียบคิดเป็นอัตราการลื่นไถล โดยใช้ความเร็วรอบของล้อทั้งสี่ที่มีความเร็วรอบสูงสุด เป็นความเร็วรอบอ้างอิง หลักการควบคุมความดันในระบบไฮดรอลิกอย่างง่ายในขณะห้ามล้อ ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.5 มีขั้นตอนการทำงานด้วยกัน 3 แบบ [3] ดังนี้

1. เพิ่มความดันอย่างรวดเร็ว (fast pressure built-up)

2. ลดความดันอย่างรวดเร็ว (fast pressure reduction)

3. เพิ่มความดันอย่างช้า ๆ (slow pressure built-up)

โดยลิ้นไฟฟ้า 1 และ 2 จะอยู่ในตำแหน่งการทำงานแบบเพิ่มความดันอย่างรวดเร็ว จากรูปที่ 2.5 ลิ้นไฟฟ้าทั้ง 2 ตัวจะถูกเลื่อนให้อยู่ในตำแหน่งทางขวา ความดันจากวงจรระบบไฮดรอลิกจะทำให้เกิดแรงบิดห้ามล้อเพิ่มขึ้น เนื่องจากแรงบิดห้ามล้อเป็นตัวควบคุมอัตราการลื่นไถล อัตราการลื่นไถลที่สามารถเชื่อถือได้อยู่ในช่วง 5 - 20% หากล้อใดล้อหนึ่งเริ่มมีการลื่นไถลเกินกว่าค่าที่ตั้งไว้ เนื่องจากสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน μ_x หรือแรงบิดยางล้อ T_t ลดลง จึงต้องทำการควบคุมแรงบิดห้ามล้อ T_b โดยปล่อยความดันให้ลดลงอย่างรวดเร็ว โดยลิ้นไฟฟ้า 2 จะเลื่อนตำแหน่งไปทางซ้าย ความดันจากลูกปั๊มห้ามล้อจะถูกระบายออก ความเร็วรอบของล้อดังกล่าวจะเพิ่มขึ้น และอัตราการลื่นไถลที่ตรวจจับได้มีค่าการลื่นไถลต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ ลิ้นไฟฟ้า 1 และ 2 จะสลับตำแหน่งพร้อมกัน โดยจะทำงานแบบเพิ่มความดันอย่างช้า ๆ ความดันและปริมาณน้ำมันในวงจรระบบไฮดรอลิกจะถูกชดเชยด้วยปั๊มเยื้องศูนย์ ความดันเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จะทำให้แรงบิดห้ามล้อเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ด้วย ทำให้ล้อที่ถูกควบคุมมีค่าการลื่นไถล

เพิ่มขึ้น จนเกินกว่าค่าที่ตั้งไว้อีกครั้งหนึ่ง ลิ้นไฟฟ้าทั้ง 2 จะสลับตำแหน่งพร้อมกันให้อยู่ในตำแหน่งการทำงานแบบลดความดันอย่างรวดเร็ว การควบคุมของ ABS จะควบคุมการสลับตำแหน่งของลิ้นไฟฟ้า กระทำวนเวียนเช่นนี้ตลอดจนสิ้นสุดการห้ามล้อ

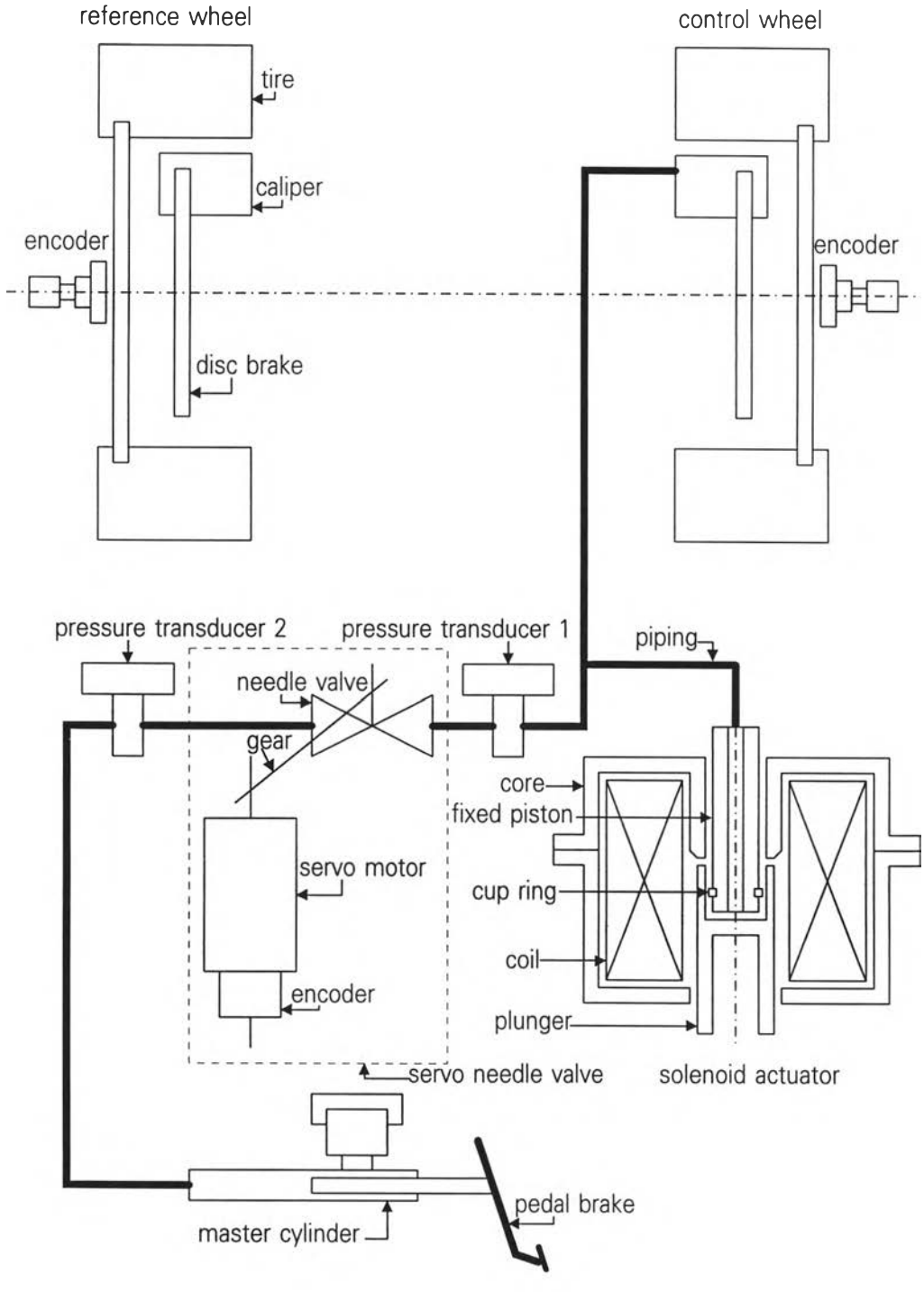
ในขณะที่ลิ้นไฟฟ้าทำงานแบบลดความดันอย่างรวดเร็วนั้น จะมีปริมาณน้ำมันส่วนหนึ่งที่ถูกปลดปล่อยออกจากระบบ และในขณะลิ้นไฟฟ้าสลับตำแหน่งเป็นการทำงานแบบเพิ่มความดันอย่างช้า ๆ ปั๊มเยื้องศูนย์จะทำงาน เพื่อชดเชยปริมาณน้ำมันที่ถูกปล่อยออกจากระบบ ตลอดการทำงานความดันส่วนหนึ่งที่ปั๊มสร้างขึ้น ขณะที่ลิ้นไฟฟ้าสลับตำแหน่งการทำงานไปมานั้น จะถูกส่งย้อนกลับมายังแม่ปั๊มห้ามล้อ และผ่านมายังคันเหยียบห้ามล้อ ทำให้ผู้ขับขี่รู้สึกมีแรงต้านขณะกดคันเหยียบห้ามล้อ (kickback) ทำให้เกิดความไม่มั่นใจในขณะ ABS ทำงาน

การปรับปรุงในระบบห้ามล้อ ABS

เพื่อทำให้ผู้ขับขี่มีความรู้สึกเป็นธรรมชาติในขณะห้ามล้อที่ ABS ทำงาน โดยการออกแบบวงจรระบบไฮดรอลิกให้มีการตัดต่อระหว่างแม่ปั๊มห้ามล้อกับลูกปั๊มห้ามล้อออกจากกัน โดยใช้ลิ้นเข็ม (needle valve) เป็นอุปกรณ์ตัดต่อ การทำงานของ ABS จะทำงาน อยู่ระหว่างลิ้นเข็มกับลูกปั๊มห้ามล้อ ซึ่งความดันจะไม่สามารถผ่านมายังแม่ปั๊มห้ามล้อได้ [4] แสดงไว้ในรูปที่ 2.6

ในการออกแบบวงจรระบบห้ามล้อ ABS โดยมีลิ้นเข็มเป็นอุปกรณ์ตัดต่อวงจรไฮดรอลิก จะติดตั้งลิ้นเข็มกับมอเตอร์เซอร์โว โดยใช้เฟืองเกียร์ทดรอบ รวมเป็นยูนิตเรียกยูนิตนี้ว่า ลิ้นเข็มเซอร์โว (servo needle valve) สามารถควบคุมตำแหน่งลิ้นเข็มได้ มีอุปกรณ์ตรวจจับความดัน (pressure transducer sensor) 2 จุด คือ ทางเข้าและทางออกของลิ้นเข็มเซอร์โว เพื่อตรวจสอบความดันในแต่ละจุด มีตัวกระตุ้นแบบโซลินอยด์ (solenoid actuator) เป็นอุปกรณ์สร้างความดัน และทำการควบคุมความดัน เมื่อระบบห้ามล้อ ABS ทำงาน โครงสร้างการทำงานของตัวกระตุ้นจะเป็นแบบโซลินอยด์และมี

อุปกรณ์ตรวจจับความเร็วรอบล้อ (wheel speed sensor) ถูกติดตั้งไว้ที่ดุมล้อ จะใช้เอนโคดเดอร์ (encoder) ชนิด 2 สัญญาณ คือ สัญญาณ A , สัญญาณ B



รูปที่ 2.6 แสดงวงจรระบบห้ามล้อ

การควบคุมตัวกระตุ้นแบบโซลินอยด์ ขณะระบบห้ามล้อ ABS ทำงาน จะทำการควบคุมแบบป้อนกลับ (conventional control) จะให้การควบคุมที่นิ่มนวลกว่าเมื่อเทียบกับการควบคุมโดยใช้ลิ้นไฟฟ้า 2 ตัว ทำงานสลับตำแหน่งกัน มีขั้นตอนทำงาน 3 อย่าง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น การควบคุมลิ้นไฟฟ้าแต่ละตัว ถูกควบคุมเปิด-ปิด (on-off control) จะให้ค่าควบคุมที่กระด้างกว่า

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของยานยนต์ (mathematical vehicle modeling)

ความดันในระบบห้ามล้อถูกส่งมายังก้ามปูห้ามล้อ เพื่อดันลูกสูบให้กดผ้าเบรคกระทำกับจานดิสเบรค ทำให้เกิดแรงบิดห้ามล้อ (brake torque) สามารถแสดงดังต่อไปนี้

$$P = \frac{N_c}{A_c} \qquad (2.3)$$

เมื่อ P =ความดันในระบบห้ามล้อ

N_c =แรงกระทำกับผ้าเบรค

A_c =พื้นที่ความดันกระทำตั้งฉากในแนวการเคลื่อนที่ของลูกสูบในคาลิเปอร์

ตัวแปรที่จะทำให้ค่าแรงเสียดทานเนื่องจากผ้าเบรคเปลี่ยนแปลงได้ มี 3 องค์ประกอบ คือแรงกระทำกับผ้าเบรค , ความเร็วเฉลี่ยหน้าสัมผัสผ้าเบรค และอุณหภูมิหน้าสัมผัส [5] ซึ่งเขียนในรูปสมการดังนี้

$$F_b = \mu_b(T) N_c^{a(T)} V_b^{b(T)} \quad (2.4)$$

เมื่อ F_b =แรงเสียดทานเนื่องจากผ้าเบรค

$\mu_b(T)$ =ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานผ้าเบรค ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

V_b =ความเร็วเฉลี่ยหน้าสัมผัสผ้าเบรค

$a(T)$ =ค่าดัชนี ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดย $a(T)$ มีค่าในช่วง 0.80 - 1.25

$b(T)$ =ค่าดัชนี ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดย$b(T)$ มีค่าในช่วง -0.25 - 0.25

ในสมการที่ 2.4 จะเป็นสมการไม่เป็นเชิงเส้น มีตัวแปร 3 ตัว และสมมุติให้สมการดังกล่าวเป็นสมการเชิงเส้น โดยกฎอะมอนตันส์ (Amontons' law) ซึ่งแรงเสียดทานจะเป็นสัดส่วนตรงกับแรงกด ซึ่งจะเขียนได้ดังนี้

$$F_b = \mu_b N_c \quad (2.5)$$

และเขียนในรูปของแรงบิดห้ามล้อ มีผ้าเบรค 2 ชิ้นกระทำทั้ง 2 ด้านกับจานดิสเบรค

$$T_b = 2\mu_b N_c r_b \quad (2.6)$$

เมื่อ T_b =แรงบิดห้ามล้อ

μ_b =สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผ้าเบรคกระทำกับจานดิสเบรค

r_b =รัศมีเฉลี่ยของจานดิสเบรคที่ผ้าเบรคสัมผัส

หรือ $$T_b = 2\mu_b A_c r_b P \quad (2.7)$$

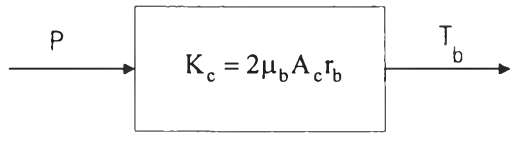
ทำการใส่ลาปลาสทรานฟอร์มทั้งสองข้างจะได้ใหม่ว่า

$$T_b(S) = 2\mu_b A_c r_b P(S) \quad (2.8)$$

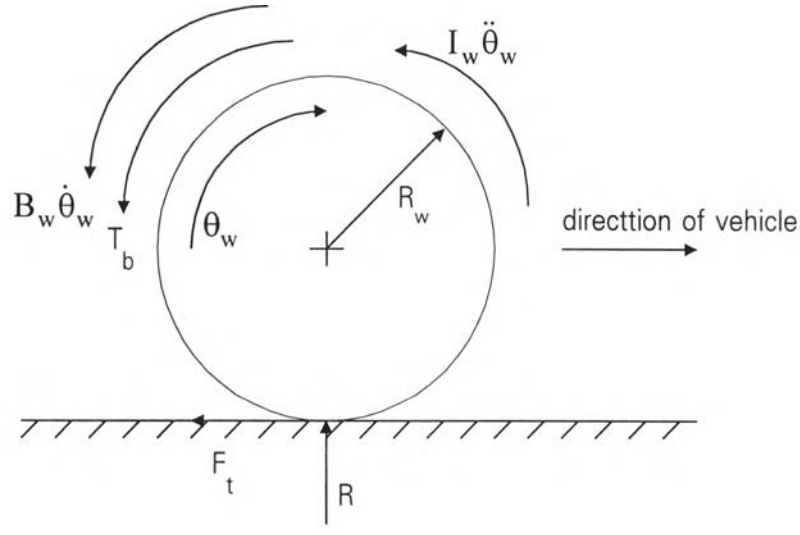
หรือ $$K_c P(S) = T_b(S) \quad (2.9)$$

เมื่อ K_c =ค่าเกนของคาลิเปอร์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $2\mu_b A_c r_b$

เขียนเป็นบล็อคไดอะแกรม ดังรูป 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงบล็อคไดอะแกรมของคาลิเปอร์



รูปที่ 2.8 แสดงไดอะแกรมรูปอิสระ (FBD) ของล้อรถยนต์ขณะทำการห้ามล้อ

ทางพลศาสตร์ของล้อรถยนต์ ซึ่งใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน พิจารณาจากรูปที่ 2.8 ไดอะแกรมรูปอิสระ (free body diagram) แสดงเพียงล้อเดียว การเคลื่อนที่ของล้อรถยนต์ สามารถเขียนเป็นสมการอนุพันธ์ ดังนี้

$$I_w\ddot{\theta}_w + B_w\dot{\theta}_w + T_b = T_t \qquad (2.10)$$

เมื่อ I_w =โมเมนต์ของแรงเฉื่อยของล้อรถยนต์ซึ่งรวมกับส่วนต่าง ๆ ที่หมุนอยู่ ณ ล้อนั้น

B_w =สัมประสิทธิ์วิสคอสแดมปิ้งของล้อรถยนต์

T_t =แรงบิดยางล้อ

θ_w =ตำแหน่งมุมของล้อรถยนต์

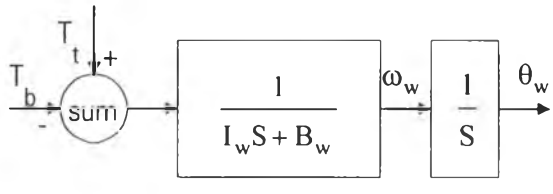
$\dot{\theta}_w$ =ความเร็วเชิงมุมของล้อรถยนต์

$\ddot{\theta}_w$ =ความเร่งของล้อรถยนต์

ทำการลาปลาสทรานฟอร์มทั้งสองข้าง

$$\frac{T_t(S) - T_b(S)}{I_w S^2 + B_w S} = \theta_w(S) \qquad (2.11)$$

เขียนเป็นบล็อคไดอะแกรม ดังรูป 2.9

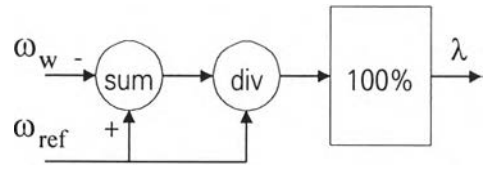


รูปที่ 2.9 แสดงบล็อคไดอะแกรม การเคลื่อนที่ของล้อรถยนต์

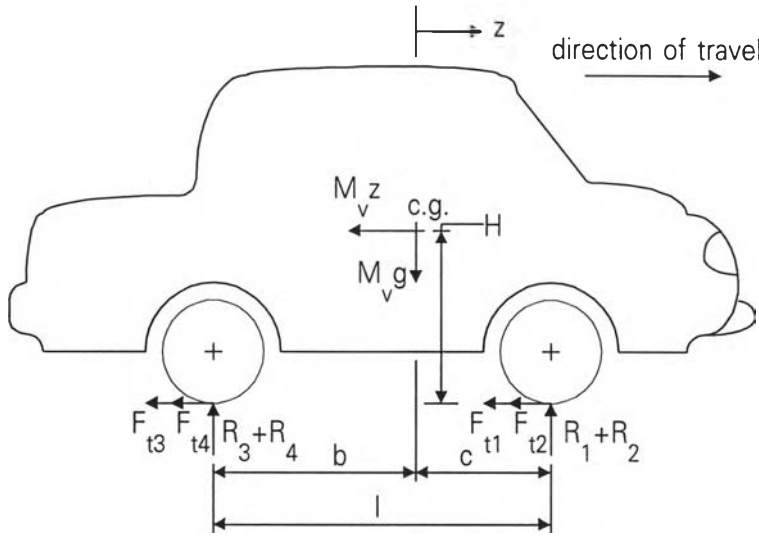
จากสมการ 2.2 อัตราการลื่นไถล (slipratio) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลา $\lambda(t)$ ทำการใส่ลาปลาสทรานฟอร์มทั้งสองข้างจะได้ว่า

$$\frac{W_{ref}(S) - W_w(S)}{W_{ref}(S)} \times 100\% = \lambda(S) \qquad (2.12)$$

เขียนเป็นบล็อคไดอะแกรม ดังรูป 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงบล็อคไดอะแกรมของการลื่นไถล



รูปที่ 2.11 แสดงไดอะแกรมรูปอิสระ (FBD) ของตัวรถยนต์ขณะทำการห้ามล้อ

สมการการเคลื่อนที่ของตัวรถยนต์เมื่อทำการห้ามล้อทั้งสี่ แสดงในรูปที่ 2.11 แสดงไดอะแกรมรูปอิสระ (FBD) ของตัวรถยนต์ขณะทำการห้ามล้อสามารถแสดงได้ดังนี้

$$M_v\ddot{z} + F_{t1} + F_{t2} + F_{t3} + F_{t4} = 0 \qquad (2.13)$$

เมื่อ M_v =มวลของตัวรถยนต์

F_{t1} =แรงยางล้อที่พื้นถนนกระทำกับล้อรถยนต์ล้อหน้าด้านซ้าย

F_{t2} =แรงยางล้อที่พื้นถนนกระทำกับล้อรถยนต์ล้อหน้าด้านขวา

F_{t3} =แรงยางล้อที่พื้นถนนกระทำกับล้อรถยนต์ล้อหลังด้านซ้าย

F_{t4} =แรงยางล้อที่พื้นถนนกระทำกับล้อรถยนต์ล้อหลังด้านขวา

z =ระยะทางการเคลื่อนที่ของตัวรถยนต์

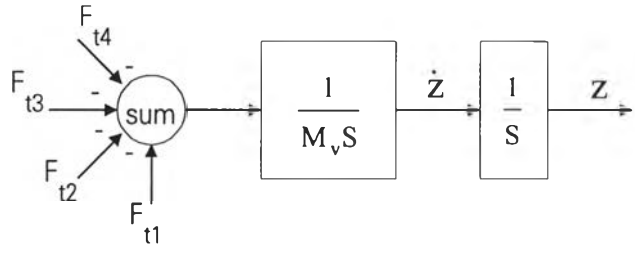
$\dot{z}$ =ความเร็วของตัวรถยนต์

$\ddot{z}$ =ความเร่งของตัวรถยนต์

เมื่อทำการลาปลาสทรานฟอร์ม จะได้ว่า

$$\frac{-F_{t1}-F_{t2}-F_{t3}-F_{t4}}{M_v S^2} = z(S) \qquad (2.14)$$

เขียนเป็นบล็อคไดอะแกรม ดังรูป 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงบล็อคไดอะแกรมของการเคลื่อนที่ของรถยนต์

แรงต้านเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ดังแสดงสมการต่อไปนี้

$$M_v g = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \qquad (2.15)$$

เมื่อ g =ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

R_1 =แรงต้านจากพื้นถนนกระทำกับล้อหน้าด้านซ้าย

R_2 =แรงต้านจากพื้นถนนกระทำกับล้อหน้าด้านขวา

R_3 =แรงต้านจากพื้นถนนกระทำกับล้อหลังด้านซ้าย

R_4 =แรงต้านจากพื้นถนนกระทำกับล้อหลังด้านขวา

แรงต้านจากพื้นถนนกระทำกับล้อหน้า

$$R_1 + R_2 = \frac{M_v gb - M_v \ddot{z} H}{l} \tag{2.16}$$

เมื่อ b =ระยะจากจุดศูนย์กลางล้อหลังถึงจุดศูนย์ถ่วง

l =ระยะจากจุดศูนย์กลางล้อหลังถึงจุดศูนย์กลางล้อหน้า

H =ระยะจากจุดศูนย์ถ่วงถึงพื้นถนน

ทำการใส่ลาปลาสทรานฟอร์ม

$$\frac{M_v gb - HM_v S^2 z(S)}{l} = R_1 + R_2 \tag{2.17}$$

แรงต้านจากพื้นถนนกระทำกับล้อหลัง

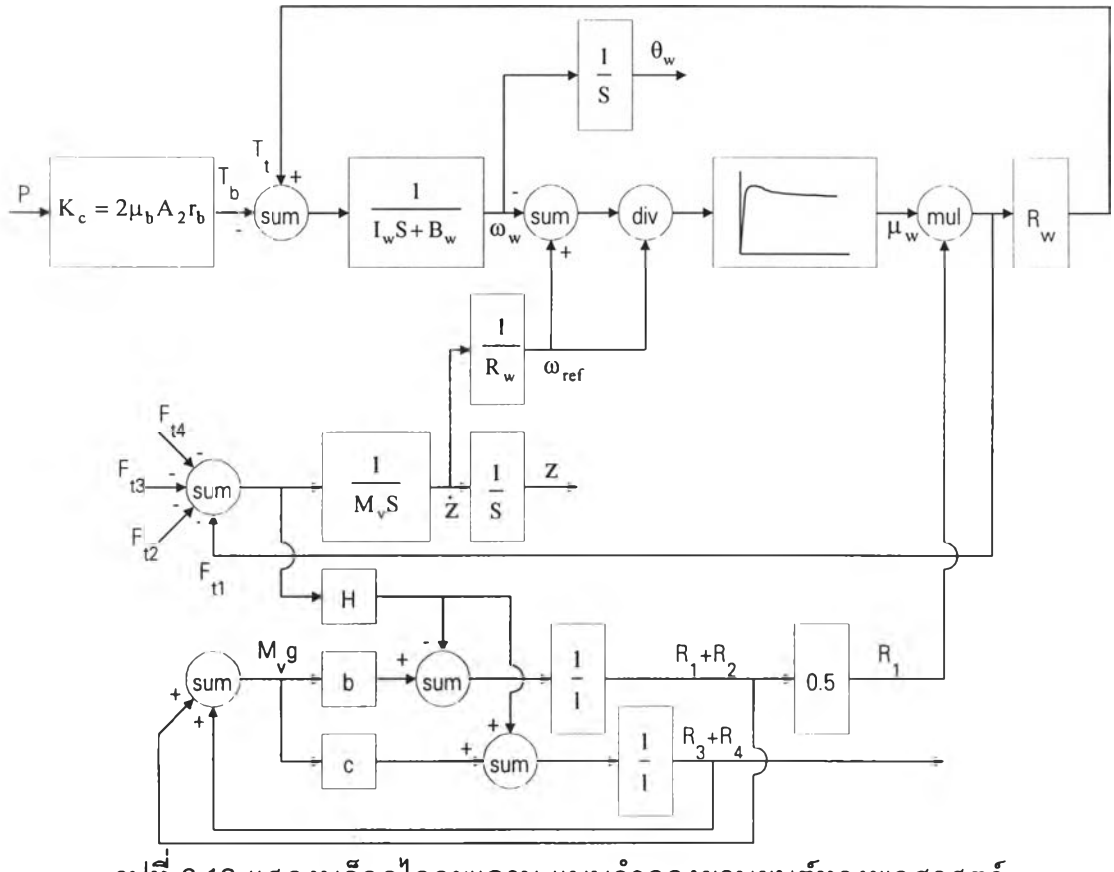
$$R_3 + R_4 = \frac{M_v gc + M_v \ddot{z} H}{l} \tag{2.18}$$

เมื่อ c =ระยะจากจุดศูนย์กลางล้อหน้าถึงจุดศูนย์ถ่วง

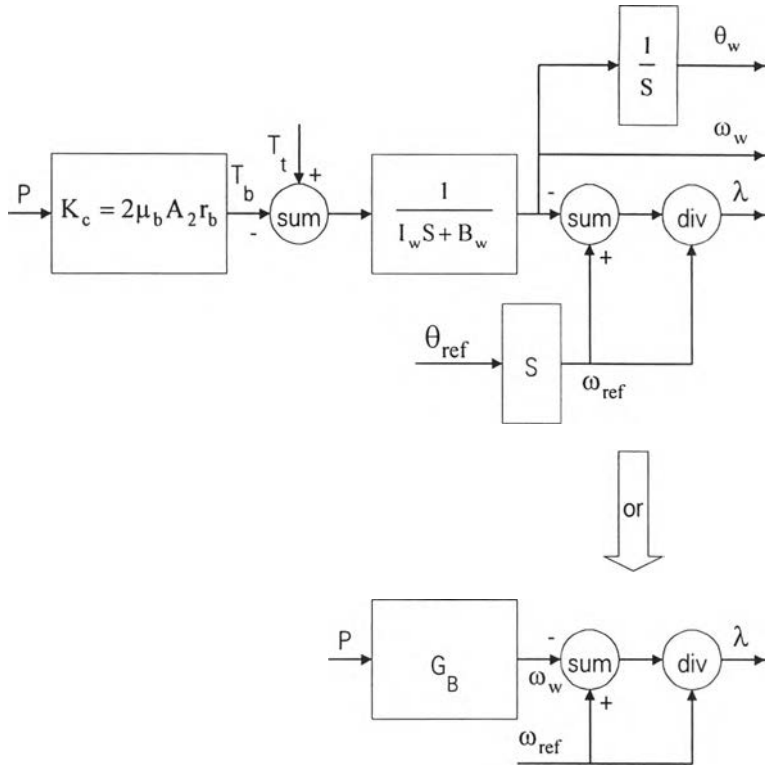
ทำการใส่ลาปลาสทรานฟอร์ม

$$\frac{M_v gc + HM_v S^2 z(S)}{l} = R_3 + R_4 \tag{2.19}$$

การห้ามล้อขณะรถยนต์แล่นอยู่บนท้องถนน สามารถแสดงรูปแบบยานยนต์ทางพลศาสตร์ (dynamic vehicle model) ในรูปที่ 2.13 แสดงบล็อคไดอะแกรม แบบจำลองยานยนต์ทางพลศาสตร์ จะเห็นว่ามีความสลับซับซ้อนอย่างมาก และในรูปแบบจำลองการทดสอบอย่างง่าย จะใช้เพียงล้อเดียว (a guarter car model including the wheel) ซึ่งมีการแสดงรูปบล็อคไดอะแกรม รูปแบบล้อเดียวอย่างง่ายในรูปที่ 2.14 จะเห็นได้ว่าความเร็วรอบอ้างอิง จะใช้ค่าจากความเร็วรอบของล้อที่ไม่ได้รับการห้ามล้อ



รูปที่ 2.13 แสดงบล็อคไดอะแกรม แบบจำลองยานยนต์ทางพลศาสตร์



รูปที่ 2.14 แสดงบล็อคไดอะแกรม แบบจำลองยานยนต์ล้อเดียวอย่างง่าย