

3.3 ปัจจัยเนื่องจากคน

3.3.1 การรับรู้และเกิดปฏิกิริยา (Perception-Reaction)

สมการก่อนหน้านี้ไม่ได้พิจารณาถึงผลจากพฤติกรรมของคนขับต่อการเคลื่อนที่ของรถ เช่น สมการ (3.2.14) ให้ระยะเบรกโดยเริ่มจากเวลาที่เบรกเริ่มทำงานจนกระทั่งถึงความเร็วสุดท้าย ปกติคนขับจะเบรกเพื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้า เช่น ต้องการหลบหลีกการชนวัตถุบนถนน เมื่อสิ่งเร้าปรากฏคนขับต้องใช้เวลาไปช่วงหนึ่งในการรับรู้และเข้าใจต่อสิ่งเร้า แล้วเลือกตัดสินใจตอบสนองให้เหมาะสม และเกิดปฏิกิริยาตามลำดับ เวลารับรู้และเกิดปฏิกิริยาเริ่มนับจากที่คนขับเห็นสภาพการณ์จนกระทั่งเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นระยะหยุด (stopping distance) จะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ช่วงในการรับรู้และเกิดปฏิกิริยาแต่ละเบรก และ ช่วงเบรกเริ่มทำงานเป็นต้นไปจะกระทั่งรถหยุด ถ้าคนขับใช้เวลาในการรับรู้และเกิดปฏิกิริยาแต่ละเบรก 1.5 s ในขณะความเร็ว 95 km/h (26.4 m/s) รถจะเดินทางไปแล้วเป็นระยะทางถึง 39.6 m ก่อนที่คนขับจะเริ่มแต่ละเบรกและเบรกจะเริ่มทำงาน

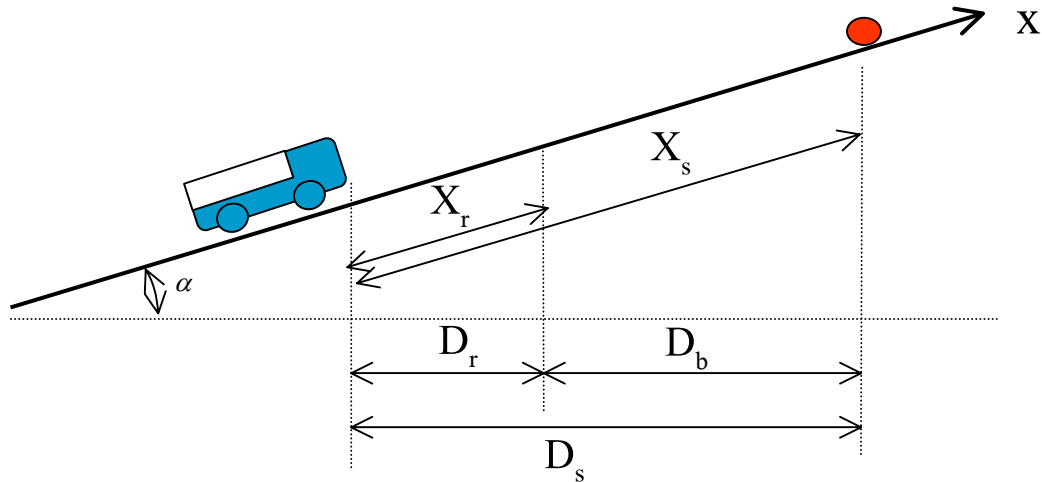
เวลาในการรับรู้และเกิดปฏิกิริยาในแต่ละคนไม่เท่ากัน มีค่าแปรปรวนค่อนข้างมาก เพื่อความปลอดภัยในการออกแบบทางวิศวกรรมซึ่งเกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของคนขับรถ ปกติจะใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 85 ถึง 95 ซึ่งเป็นเวลารับรู้และเกิดปฏิกิริยาของคนซึ่งช้าเรียงจากช้ามากลงไป เป็นอันดับที่ 5 ถึงอันดับที่ 15 ในการออกแบบสำหรับสภาพนอกเมืองจะใช้เวลารับรู้และเกิดปฏิกิริยาแต่ละเบรก 2.5 s ส่วนสำหรับสภาพในเมืองจะใช้เวลารับรู้และเกิดปฏิกิริยาแต่ละเบรก 1.0 ถึง 1.5 s

การตอบสนองของคนขับรถสัมพันธ์กับคุณลักษณะและสภาวะของคนขับ เช่น อายุ สุขภาพ การมีเมามากหรือจากยา ความเมื่อยล้าและการหลับใน นอกจากนี้ยังขึ้นกับความซับซ้อนของสิ่งเร้าและความซับซ้อนของการตอบสนองซึ่งต้องทำในการขับขี่ การออกแบบทางวิศวกรรมจราจรที่ดีต้องพยายามลดจำนวนสิ่งเร้า และลดงานที่ต้องทำในการขับขี่ให้น้อยที่สุดซึ่งคนขับต้องให้ความสนใจในขณะใดขณะหนึ่ง

ตัวอย่างที่ 3.6

ใช้ข้อมูลจากตัวอย่างที่ 3.3 หาระยะหยุดในแนวราบ (D_s) และในแนวพิกัด (X_s) ในทั้ง 3 กรณี ให้เวลาในการรับรู้และเกิดปฏิกิริยาแต่ละเบรก $\delta = 1.5$ s

วิธีทำ



ให้
เมื่อ

$$D_s = D_r + D_b$$

D_r = ระยะรับรู้และเกิดปฏิกิริยาในแนวราบ

D_b = ระยะเบรกในแนวราบ

และ

$$D_r = X_r \cos \alpha$$

เมื่อ

X_r = ระยะรับรู้และเกิดปฏิกิริยาในแนวพิกัด, $X_r = \delta v_o$

α = มุมลาดเอียงตามยาว

จะได้ระยะหยุดในแนวราบ D_s ดังนี้

$$D_s = \delta v_o \cos \alpha + \frac{(v_o^2 - v^2)}{2g(f \pm G)}$$

แทนค่าลงในสมการ สรุปผลการคำนวณ ดังตาราง

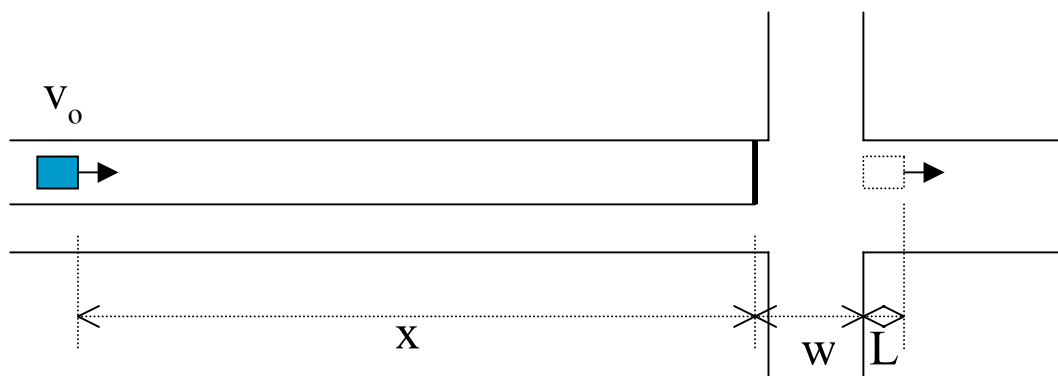
กรณี	มุมเอียง	G	x, m	D_b , m	v_o , m/s	D_r , m	D_s , m	X_s , m
ก.	3.0	0.052	26.8	26.76	18.5	27.71	54.47	54.54
ข.	-2.3	-0.040	26.8	26.78	17.2	25.78	52.56	52.60
ค.	0	0	26.8	26.8	17.8	26.70	53.50	53.50

3.3.2 เขตหนีเลื่อปะระเซ้ (Dilemma Zones)

เมื่อคนขับขับรถเข้าสู่ทางแยกซึ่งมีสัญญาณไฟจราจร ในขณะที่เริ่มสัญญาณไฟเหลือง เขาจะตัดสินใจว่าจะเบรกเพื่อหยุด หรือว่าจะพยายามผ่านทางแยกไปในช่วงเวลาไฟเหลือง ในบางครั้งเขาจะรู้สึกว่าจะไม่ว่าจะเลือกตัดสินใจอย่างไรตามก็จะไม่ปลอดภัย ช่วงเวลาสัญญาณไฟเหลือง τ จะมีความเกี่ยวข้องกับสถานการณ์เช่นนี้ การเลือกความยาวของช่วงเวลาไฟเหลืองที่เหมาะสมซึ่งประสานสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของรถในช่วงเวลาการรับรู้และเกิดปฏิกิริยา จะช่วยขจัดปัญหาดังกล่าว Gazis et al. (1960, อ้างถึงใน Papacostas, 1987) ได้พัฒนาสูตรสำหรับออกแบบช่วงเวลาสัญญาณไฟเหลือง τ ที่เหมาะสม ดังนี้

พิจารณารูปที่ 3.3.1 แสดงรถกำลังเข้าสู่ทางแยกซึ่งมีสัญญาณไฟด้วยความเร็ว v_0 ขณะที่เริ่มไฟเหลืองรถอยู่ห่างจากเส้นหยุดเป็นระยะ x คนขับต้องตัดสินใจว่าจะหยุดหรือจะผ่านทางแยกไป หากต้องการจะหยุด รถจะต้องเคลื่อนที่ไปไม่เกินระยะ x หากต้องการจะผ่านทางแยกไป รถจะต้องเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทางอย่างน้อย $x + w + L$ เมื่อ w คือความกว้างของทางแยก และ L คือความยาวของขบวน นอกจากนี้รถจะต้องเคลื่อนที่ด้วยระยะทางดังกล่าวทั้งสองกรณีให้เสร็จสิ้นภายในช่วงเวลาไฟเหลือง (ก่อนที่ไฟแดงจะเริ่ม)

กำหนดให้ตัวห้อย (subscripts) 1 และ 2 แทน กรณีการผ่าน และ กรณีการหยุด ตามลำดับ



รูปที่ 3.3.1 แสดงรถกำลังเข้าสู่ทางแยกซึ่งมีสัญญาณไฟ

ในกรณีต้องการจะหยุดในช่วงเวลาไฟเหลือง

ระยะที่รถเคลื่อนที่ไปได้ในช่วงเวลาไฟเหลือง ต้อง น้อยกว่าหรือเท่ากับ x

หรือ ระยะทางที่มีอยู่ ต้องมากกว่าหรือเท่ากับระยะทางที่รถเคลื่อนที่ไปได้ภายในช่วงเวลาไฟเหลือง เขียนเป็นอสมการ ได้ดังนี้

$$x - v_o \delta_2 \geq \frac{v_o^2}{2a_2} \quad (3.3.1)$$

อสมการ (3.3.1) เป็นเงื่อนไขซึ่งจำเป็นสำหรับในกรณีต้องการจะหยุดในช่วงเวลาไฟเหลือง ด้านซ้ายมือของอสมการ คือ ความแตกต่างระหว่างระยะทางทั้งหมดถึงเส้นหยุดลบด้วยระยะทางซึ่งรถแล่นไปได้ในช่วงเวลาการรับรู้และตัดสินใจและเบรกในขณะความเร็ว v_o โดยระยะนี้ต้องมากกว่าหรือเท่ากับระยะเบรกของรถซึ่งลดความเร็วด้วยความหน่วง a_2

ในการออกแบบเวลาไฟเหลือง เวลาไฟเหลืองต้องยาวเพียงพอที่คนขับซึ่งต้องการจะหยุด สามารถหยุดรถได้ทันด้วยความหน่วงที่ทั้งคนขับและผู้โดยสารในรถรู้สึกสบาย ในกรณีที่มีเฉพาะคนโดยสารนั่งความหน่วงซึ่งทำให้รู้สึกสบาย a_2^* จะมีค่า 2.44 ถึง 3.05 m/s^2 ส่วนในกรณีมีคนโดยสารขึ้น เช่นในรถโดยสารประจำทาง จะมีค่า 1.22 ถึง 1.52 m/s^2

ให้ x_c = เป็นระยะวิกฤต คือ เป็นระยะทางที่สั้นที่สุดซึ่งจะหยุดได้ทันพอดีอย่างรู้สึกสบาย จะได้

$$x_c = v_o \delta_2 + \frac{v_o^2}{2a_2^*} \quad (3.3.2)$$

ในกรณีต้องการจะผ่านทางแยกในช่วงเวลาไฟเหลือง

ถ้าต้องการให้รถเคลื่อนที่ผ่านทางแยกไปได้ทันในช่วงเวลาไฟเหลือง

ระยะที่เคลื่อนที่ไปได้ ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ $x+w+L$

หรือ ระยะทางที่รถจำเป็นต้องเคลื่อนที่ผ่านไป ต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ ระยะทางที่รถเคลื่อนที่ไปได้ เขียนเป็นอสมการ ได้ดังนี้

$$x + w + L - v_o \delta_1 \leq v_o (\tau - \delta_1) + \frac{1}{2} a_1 (\tau - \delta_1)^2 \quad (3.3.3)$$

เมื่อ δ_1 คือ เวลารับรู้และเกิดปฏิกิริยาที่จะผ่านทางแยก, s

ด้านขวาของอสมการ (3.3.3) เป็นระยะทางที่รถเคลื่อนที่ไปได้ จากความเร็วเริ่มแรก v_0 โดยมี ความเร่งคงตัว a_1 ระหว่างช่วงเวลา $(\tau - \delta_1)$ ซึ่งเป็นช่วงเวลาหลังจากเวลาในการรับรู้และเกิด ปฏิกิริยาจนกระทั่งถึงเริ่มเวลาไฟแดง ด้านซ้ายของอสมการเป็นระยะทางทั้งหมดซึ่งรถจำเป็นต้อง เคลื่อนที่ไปจึงจะผ่านพ้นทางแยกได้ทันในช่วงเวลาไฟเหลือง

ให้ x_0 = ระยะทางที่ไกลที่สุดซึ่งรถจะเคลื่อนที่ผ่านไปได้ทัน โดยคนขับไม่ต้องเร่ง ($a_1 = 0$)

ซึ่งเป็นระยะทางซึ่งสอดคล้องกับสถานการณ์ที่ควรจะเป็น คือ รถวิ่งเข้าสู่ทางแยกด้วยความเร็วซึ่ง เท่ากับขีดจำกัดความเร็วโดยไม่ต้องเร่งความเร็วให้สูงขึ้น ก็สามารถผ่านทางแยกไปได้ทันพอดีภายใน ช่วงเวลาไฟเหลือง จากสมมติฐานดังกล่าว จะได้

$$x_0 = v_0 \tau - (w + L) \quad (3.3.4)$$

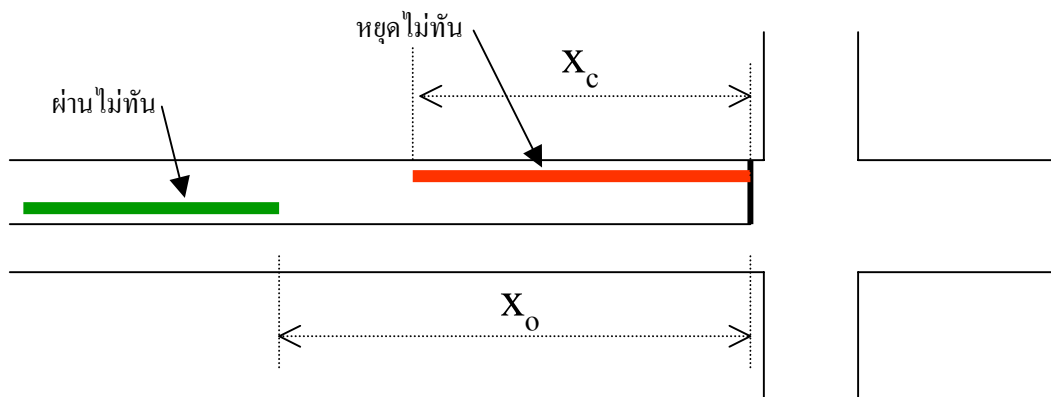
ขนาดสัมพัทธ์ของระยะ x_0 และ x_c จะบ่งชี้ว่ารถจะสามารถหรือไม่สามารถหยุดทัน หรือสามารถ ผ่านทางแยกไปได้ทันในช่วงเวลาไฟเหลือง รูปที่ 3.3.2(a) แสดงกรณีซึ่ง $x_c < x_0$ คนขับสามารถ เลือกที่จะหยุดหรือจะผ่านทางแยกไป ขณะเริ่มไฟเหลืองถ้าเขาอยู่ใกล้ทางแยก (อยู่ในบริเวณระยะ x_c เขาจะหยุดหรือไม่ทัน) ดังนั้นเขาควรจะผ่านทางแยกไป ขณะเริ่มไฟเหลืองถ้าเขาอยู่ไกลทางแยก (อยู่ไกลกว่าระยะ x_0 เขาจะผ่านทางแยกไม่ทัน) ดังนั้นเขาควรหยุด ในกรณีนี้จึงไม่มีปัญหา รูปที่ 3.3.2(b) แสดงกรณีซึ่ง $x_c = x_0$ พอดี ยังไม่มีปัญหาเช่นกัน รูปที่ 3.3.2(c) แสดงกรณีซึ่ง $x_c > x_0$ จะเกิดเขตหนีเสือปะจระเข้เป็นระยะความยาว $x_c - x_0$ หากรถเข้ามาอยู่ในบริเวณนี้ในขณะเริ่มไฟ เหลืองด้วยความเร็วสูงสุดตามขีดจำกัดของกฎหมาย คนขับจะไม่สามารถหยุด และ จะไม่สามารถ ผ่านทางแยกไปได้ทันอย่างปลอดภัยและสบาย

เขตหนีเสือปะจระเข้จะเข้าจะถูกขจัดไปด้วยการเปลี่ยนแปลงขีดจำกัดความเร็ว หรือ การเลือกใช้ค่า ช่วงเวลาไฟเหลืองที่น้อยที่สุดซึ่งพอเหมาะ

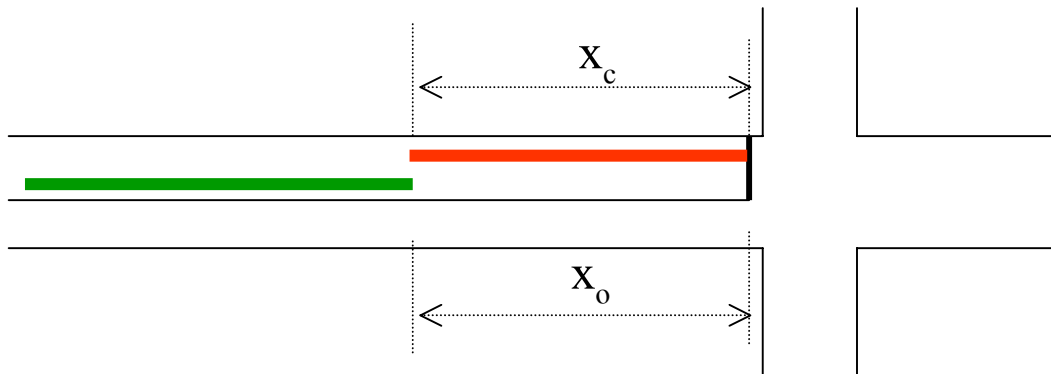
ให้ $x_c = x_0$ จากสมการ (3.3.2) และ (3.3.4) จะได้

$$\tau_{\min} = \delta_2 + \frac{v_0}{2a_2^*} + \frac{w + L}{v_0} \quad (3.3.5)$$

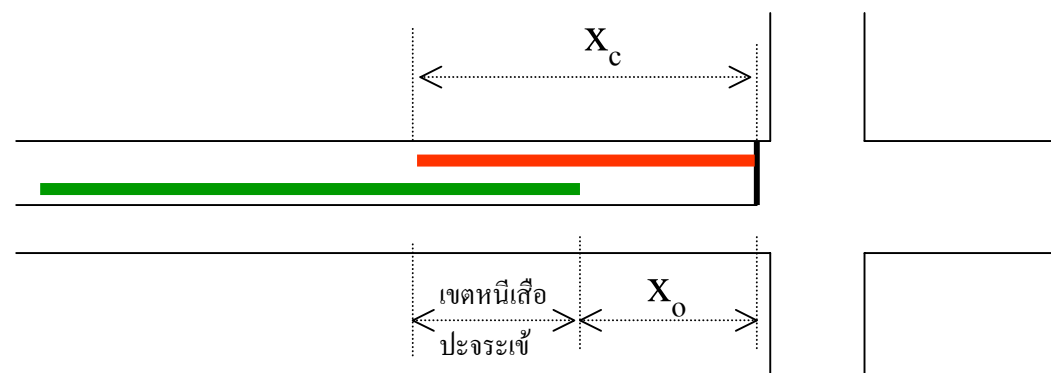
$\tau_{\min}$ เป็นช่วงเวลาไฟเหลืองที่น้อยที่สุดซึ่งคนขับสามารถหยุดรถได้ทันพอดีด้วยความหน่วงที่สบาย หรือสามารถผ่านทางแยกไปได้ทันพอดีโดยไม่ต้องเร่งความเร็ว



(a) กรณีซึ่ง $x_c < x_o$ ไม่มีปัญหา



(b) กรณีซึ่ง $x_c = x_o$ ไม่มีปัญหา



(c) กรณีซึ่ง $x_c > x_o$ เกิดเขตหนีเสือปะจระเข้

รูปที่ 3.3.2 เขตหนีเสือปะจระเข้

ตัวอย่างที่ 3.7

คนขับคนหนึ่ง ขับรถด้วยความเร็วสูงสุดที่กฎหมายกำหนด 48 km/h ถูกจับเนื่องจากขับรถฝ่าสัญญาณไฟแดงที่ทางแยก เขาโต้แย้งว่าเขาบริสุทธิ์ โดยอ้างว่าการจัดช่วงเวลาไฟเหลืองที่ทางแยกนี้ไม่เหมาะสม ทำให้เกิดมีเหตุชนเสียปะทะขึ้นที่บริเวณทางแยกนี้ จากข้อมูลต่อไปนี้ ให้หาค่าโต้แย้งของคนขับรถคันนี้ถูกต้องหรือไม่

ให้ เวลาไฟเหลือง	= 4.5 s
เวลารับรู้และเกิดปฏิกิริยาตะเบรก	= 1.5 s
ความหน่วงที่สabay	= 3.05 m/s ²
ความยาวรถ	= 4.6 m
ความกว้างของทางแยก	= 15 m

วิธีทำ

แปลงความเร็ว 48 km/h ให้เป็น m/s หารด้วย 3.6 ได้

$$v_o = \frac{48}{3.6} = 13.3 \text{ m/s}$$

เวลาไฟเหลืองที่น้อยที่สุดซึ่งจำเป็นต้องมีให้เพียงพอ คำนวณได้จากสมการ (3.3.5)

$$\tau_{\min} = \delta_2 + \frac{v_o}{2a_2^*} + \frac{w+L}{v_o}$$

แทนค่าลงในสมการ ได้

$$\tau_{\min} = 1.5 + \frac{13.3}{2 \times 3.05} + \frac{15 + 4.6}{13.3}$$

$$\tau_{\min} = 5.15 \text{ s}$$

เนื่องจากเวลาไฟเหลืองที่ออกแบบไว้สำหรับทางแยกนี้เท่ากับ 4.5 s น้อยกว่าเวลาไฟเหลืองที่น้อยที่สุดซึ่งจำเป็นต้องมี $\tau_{\min}$ ดังนั้นค่าโต้แย้งของคนขับรถคันนี้ไม่สามารถหักล้างได้ นั่นคือทางแยกนี้มีเหตุชนเสียปะทะอยู่จริง
ความยาวของเขตนี้ เท่ากับ

$$x_c - x_o = v_o \delta_2 + \frac{v_o^2}{2a_2^*} - [v_o \tau - (w + L)]$$

แทนค่าลงในสมการ ได้

$$x_c - x_o = 13.3 \times 1.5 + \frac{13.3^2}{2 \times 3.05} - [13.3 \times 4.5 - (15 + 4.6)]$$

$$x_c - x_o = 8.7 \text{ m}$$

แต่อย่างไรก็ตาม ยังไม่สามารถพิสูจน์ได้ว่า รถอยู่ในเขตหนีเสือปะจระเข้หรือไม่ในขณะที่เริ่มไฟเหลือง และไม่สามารถพิสูจน์ได้ว่าความเร็วรถเกินความเร็วสูงสุดตามที่กฎหมายกำหนดหรือไม่

ตัวอย่างที่ 3.8

รถคันหนึ่งเครื่องดับลงและหยุดอยู่ห่างจากเส้นหยุด 15 m ที่ทางแยกหนึ่งซึ่งกว้าง 12 m คนขับติดเครื่องได้อีกครั้งหนึ่งเมื่อเริ่มไฟเหลือง เขาตัดสินใจจะขับรถผ่านทางแยกไป กำหนดให้ความเร่งของรถ เป็นดังนี้

$$a = 1.46 - 0.06v$$

ทางแยกกำหนดเวลาไฟเหลืองไว้ 4.5 s

และ เวลารับรู้และเกิดปฏิกิริยาจะขับผ่านทางแยก 1.0 s

ให้หาว่าเขาจะสามารถขับรถผ่านทางแยกไปได้ทันภายในช่วงเวลาไฟเหลือง หรือไม่

วิธีทำ

จากเวลาไฟเหลือง $\tau_{\min} = 4.5 \text{ s}$ และ เวลาในการรับรู้และเกิดปฏิกิริยาจะขับผ่านทางแยก $\delta_1 = 1.0 \text{ s}$

ดังนั้นจะเหลือเวลาที่จะใช้แล่นรถ $= 4.5 - 1.0 = 3.5 \text{ s}$

กรณีนี้ ความเร่งไม่คงตัว $a = A - Bv$ โดย $A = 1.46$ และ $B = 0.06$

ระยะทางซึ่งรถเคลื่อนที่ไปได้ หาได้จากสมการ

$$x = \left(\frac{A}{B}\right)t - \left(\frac{A}{B^2}\right)(1 - e^{-Bt}) + \left(\frac{v_o}{B}\right)(1 - e^{-Bt})$$

แทนค่าลงในสมการ ได้

$$x = \left(\frac{1.46}{0.06} \right) (3.5) - \left(\frac{1.46}{0.06^2} \right) (1 - e^{-0.06(3.5)}) + \left(\frac{0}{0.06} \right) (1 - e^{-0.06(3.5)})$$

$$x = 8.4 \text{ m}$$

เนื่องจากระยะที่รถเคลื่อนที่ไปได้ $8.4 \text{ m} < (15 + 12 + L) \text{ m}$ ดังนั้นเขาไม่สามารถขับรถผ่านทางแยกไปได้ทันในช่วงเวลาไฟเหลือง

3.3.3 ความคมชัดของการมองเห็น (Visual Acuity)

การวัดความคมชัดในการมองเห็นวิธีหนึ่ง ได้แก่การใช้ Snellen chart มาตรฐาน โดยผู้ถูกทดสอบจะถูกให้อ่านอักษรขนาดความสูงต่าง ๆ บน Chart มาตรฐาน ที่ระยะห่างออกไประยะหนึ่ง ผลจากการทดสอบจะถูกนำไปเทียบกับคนสายตาปกติซึ่งสามารถเห็นอักษรสูง $\frac{1}{3}$ นิ้ว (8.5 mm) ซึ่งอยู่ห่างออกไป 20 ฟุต (6.1 m) คนสายตาปกติจะมีค่าความคมชัดของการมองเห็น 20/20 สำหรับคนซึ่งมีความคมชัดของการมองเห็น 20/40 แสดงว่าเขาจะมองเห็นชัดที่ระยะ 20 ฟุต ในขณะที่คนปกติมองเห็นชัดในระยะ 40 ฟุต หรือ ในระยะทางเท่ากันเขาจะมองเห็นชัดเมื่อวัตถุนั้นโตเป็น 2 เท่าเมื่อเทียบกับคนสายตาปกติ ค่าความคมชัดของการมองเห็นยังขึ้นกับความแตกต่างของความเข้มของสีและความสว่างของวัตถุ และการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างผู้สังเกตกับวัตถุ ในการขับขี่ในตอนกลางคืนคนขับต้องการป้ายสัญญาณจราจรซึ่งติดตั้งไฟส่องสว่าง หรือ สามารถสะท้อนแสงได้

ความคมชัดในการมองเห็นจะลดลงเมื่อมุมมองกว้างมากขึ้น ความคมชัดในการมองเห็นจะมากที่สุดภายในมุมกรวย 3° และค่อนข้างชัดเจนถึงมุมกรวย 10° ส่วนภายในบริเวณมุมกรวยจาก 10° ถึง 160° เป็นบริเวณซึ่งพอมองเห็นภาพได้แต่ไม่คมชัด

ในการออกแบบติดตั้งป้ายจราจร ตำแหน่งของป้ายจราจรควรอยู่ในมุมกรวย 10° และอยู่ก่อนล่วงหน้าเพื่อสำหรับให้คนขับมีเวลาในการรับรู้และเกิดปฏิกิริยาและควบคุมรถได้อย่างเหมาะสม

ตัวอย่างที่ 3.9

คนซึ่งมีสายตา 20/20 สามารถอ่านป้ายจราจรซึ่งมีตัวอักษรสูง 50 mm และอยู่ห่างออกไป 27 m ให้หาว่าคนซึ่งมีสายตา 20/50 จะสามารถอ่านป้ายเดียวกันนี้ในระยะห่างออกไปเท่าใด และถ้าป้ายอยู่ห่างออกไป 27 m เขาจะอ่านป้ายได้ชัดเมื่อตัวอักษรสูงเท่าใด

วิธีทำ

ระยะห่างที่คนขับรถซึ่งมีสายตา 20/50 มองเห็นได้ชัด เป็นดังนี้

$$= 27 \text{ m} \left(\frac{20}{50} \right)$$

$$= 10.8 \text{ m}$$

ความสูงของตัวอักษรที่คนขับรถซึ่งมีสายตา 20/50 มองเห็นได้ชัด เป็นดังนี้

$$= 50 \text{ mm} \left(\frac{50}{20} \right)$$

$$= 125 \text{ mm}$$

ตัวอย่างที่ 3.10

ถ้าคนขับซึ่งมีสายตาปกติ สามารถอ่านป้ายจราจรห่างออกไปทุก 15 m ต่อทุกความสูงของอักษรที่เพิ่มขึ้น 25 mm ถ้าคนซึ่งถูกเลือกเป็นตัวแทนเพื่อใช้ในการออกแบบมีสายตา 20/40 ให้หาว่าควรติดตั้งป้ายจราจรอยู่ห่างจากทางออกทางด่วนเท่าใดจึงจะทำให้คนขับสามารถลดความเร็วลงจาก 95 km/h ไปเป็น 48 km/h ได้อย่างปลอดภัย ให้เวลาในการรับรู้และเกิดปฏิกิริยาแต่ละเบรก 1.5 s สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างล้อยางรถและผิวถนน 0.30 ขนาดตัวอักษรสูง 200 mm และทางด่วนอยู่ในแนวราบ

วิธีทำ

จากที่กำหนดให้ คนปกติจะสามารถเห็นป้ายซึ่งมีอักษรสูง 200 mm อยู่ห่างออกไปเป็นระยะ

$$= \left(\frac{200 \text{ mm}}{25 \text{ mm}} \right) (15 \text{ m})$$

$$= 120 \text{ m}$$

ดังนั้นคนสายตา 20/40 จะสามารถมองเห็นป้ายนี้ อยู่ห่างออกไปเป็นระยะ

$$\left(\frac{20}{40}\right)(120 \text{ m}) = 60 \text{ m}$$

ระยะทางซึ่งรถเคลื่อนที่ไปได้ ในช่วงเวลาในการรับรู้และเกิดปฏิกิริยาแต่ละเบรก และในช่วงเวลาที่ทำการลดความเร็วจาก 95 km/h (26.4 m/s) เหลือเป็น 48 km/h (13.3 m/s) เป็นดังนี้

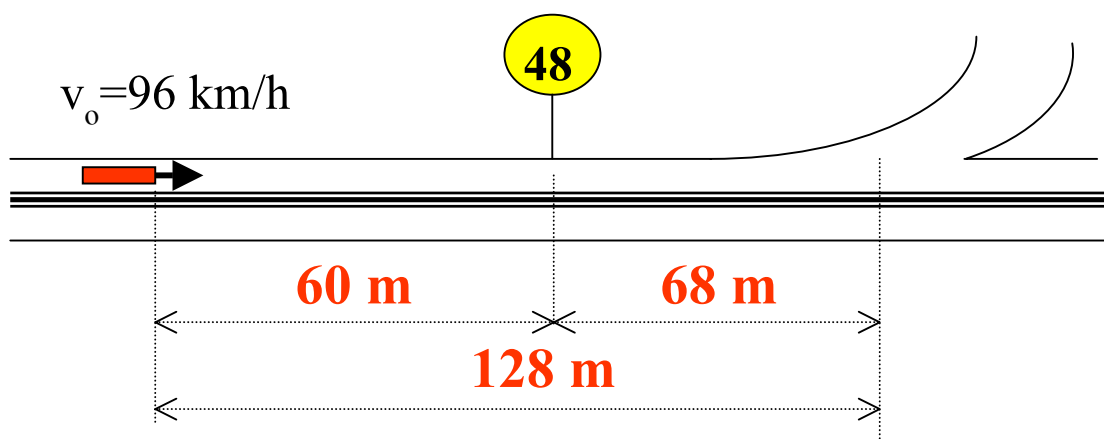
$$D_s = \delta v_o \cos \alpha + \frac{(v_o^2 - v^2)}{2g(f \pm G)}$$

แทนค่าลงในสมการ ได้

$$D_s = (1.5)(26.4)(\cos 0^\circ) + \frac{(26.4^2 - 13.3^2)}{2 \times 9.81(0.30 + 0)}$$

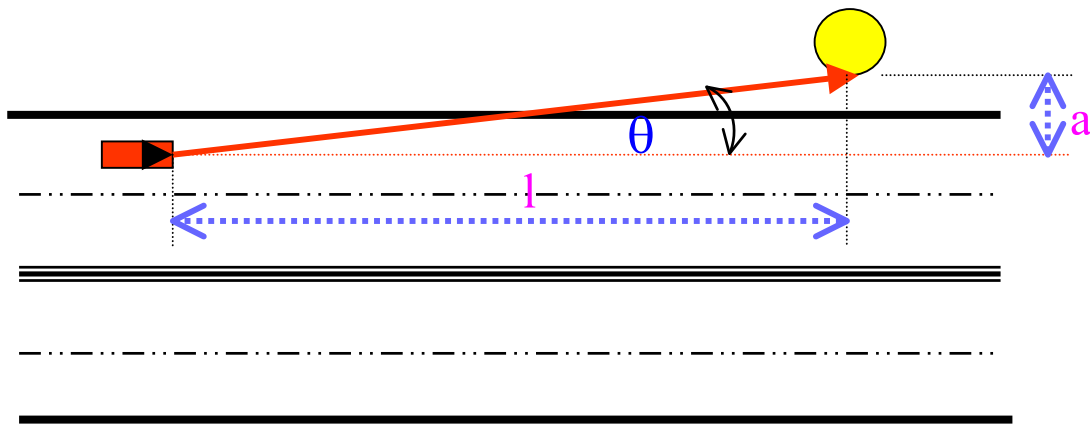
$$D_s = 39.6 + 88.4 = 128 \text{ m}$$

ดังนั้นป้ายควรติดตั้งอยู่ก่อนจะถึงทางออกทางด่วน อย่างน้อย = $128 - 60 = 68 \text{ m}$



3.3.4 การเหวี่ยงด้านข้าง (Lateral Displacement)

เมื่อคนขับขับรถเล่นไปตามทางซึ่งมีวัตถุอยู่ทางด้านข้างใกล้กับแนววิ่งของรถ ดังรูปที่ 3.3.3 คนขับจะมีแนวโน้มขับรถเหวี่ยงด้านข้างให้ห่างจากวัตถุนั้น แม้ว่าวัตถุนั้นจะไม่ได้อยู่บนแนววิ่งของรถโดยตรงก็ตาม



รูปที่ 3.3.3 เวกเตอร์ของระยะโค้งทางด้านข้าง

Taragin (1955, อ้างถึงใน Papacostas, 1987) ได้รายงานผลการทดลองหนึ่งซึ่งวัดแนวโน้มนี้ สิ่งที่ถูกวัดได้แก่ การปรับเปลี่ยนความเร็ว ระยะทางตามยาว l ซึ่งรถแล่นไปในขณะทำการเหวี่ยงทางด้านข้าง และขนาดของการเหวี่ยงทางด้านข้าง

ผลจากการทดลองพบว่า ถ้าผิวถนนยิ่งแคบและวัตถุยิ่งใกล้ขอบผิวถนนมาก ระยะเหวี่ยงทางด้านข้างก็จะยิ่งมาก เมื่อวัตถุอยู่ที่ขอบผิวถนนระยะเหวี่ยงด้านข้างจะเป็น 1.0 m สำหรับในกรณีถนน 2 ช่องจราจร (แต่ละช่องจราจรกว้าง 2.44 m) และจะเป็น 0.55 m สำหรับถนนซึ่งช่องจราจรกว้าง 3.65 m)

การวิจัยต่อมาโดย Michaels และ Gozan (1963, อ้างถึงใน Papacostas, 1987) สรุปว่า แบบจำลองของการเหวี่ยงด้านข้างซึ่งมีพื้นฐานจากอัตราการเปลี่ยนมุมการมองเห็นจะให้ผลดีที่สุด แบบจำลองนี้พิสูจน์ออกมาได้ดังนี้

ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางตามยาว l ระยะเหวี่ยงด้านข้าง a และมุมการมอง θ คือ

$$l = a \cot \theta \quad (3.3.6)$$

$$\frac{dl}{dt} = -a \csc^2 \theta \frac{d\theta}{dt} \quad (3.3.7)$$

เนื่องจาก $\frac{dl}{dt} = -v$ และ $\csc^2 \theta = \frac{(a^2 + l^2)}{a^2}$ จะได้

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{va}{a^2 + l^2} \quad (3.3.8)$$

คนขับสามารถประมาณตำแหน่งของวัตถุซึ่งอยู่ห่างออกไปทางด้านข้าง เพื่อพิจารณาว่าวัตถุนั้นอยู่บนแนววิ่งของรถหรือไม่ จาก ความเร็วรถ v ระยะทางตามแนวยาว l และอัตราการเปลี่ยนมุมการมองเห็น $\frac{d\theta}{dt}$ ถ้าวัตถุอยู่บนแนววิ่งของรถจริง ๆ คนขับจะไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงของมุมการมองเห็น

จากแบบจำลองข้างต้น คนขับแต่ละคนจะมี อัตราการเปลี่ยนแปลงมุมการมองเห็นวิกฤต (critical rate of change in visual angle) $\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{cr}$ เฉพาะของแต่ละคนไม่เท่ากัน ถ้าอัตราการเปลี่ยนมุมการมองเห็นน้อยกว่าอัตราค่าวิกฤตของเขา เขาจะเริ่มเผลอออกทางด้านข้างห่างออกจากวัตถุซึ่งอยู่ข้างแนววิ่งของรถ

การเข้าใจคุณลักษณะอย่างนี้ของคนขับรถ สามารถนำไปใช้ควบคุมความเร็วของรถในเขตก่อสร้างถนนด้วยการกำหนดตำแหน่งที่เหมาะสมของกรวยยางหรือราวรั้วกัน และการกำหนดตำแหน่งของวัตถุข้างถนน เช่น ป้ายจราจร เสาต่อม่อสะพานลอย และคันหินเกาะกลางถนน

ตัวอย่างที่ 3.11

รถคันหนึ่งซึ่งแล่นด้วยความเร็ว 64 km/h สังเกตพบว่าเผลอออกด้านข้างจากแนววิ่งเดิมของรถไปเท่ากับ 1.8 m ในระยะทางตามยาว 91 m เพื่อเลี้ยวห่างออกจากต่อม่อสะพาน ถ้ารถแล่นด้วยความเร็ว 96 km/h คนขับคนเดิมนี้จะเริ่มเผลอออกด้านข้างที่ระยะตามยาวเท่าใด

วิธีทำ

แปลงความเร็ว km/h เป็น m/s หาค่าด้วย 3.6 ได้

$$64 \text{ km/h} = 64/3.6 = 17.8 \text{ m/s}$$

$$96 \text{ km/h} = 96/3.6 = 26.7 \text{ m/s}$$

จากสมการ (3.3.8) ค่า $\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{cr}$ ของคนขับคนนี้ คือ

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{cr} = \frac{va}{a^2 + l^2}$$

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{cr} = \frac{17.8 \times 1.8}{1.8^2 + 91^2}$$

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{cr} = 0.0039 \text{ rad/s}$$

เมื่อรถแล่นด้วยความเร็ว 96 km/h (26.7 m/s)

แทนค่า $\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{cr} = 0.0039 \text{ rad/s}$, $v = 26.7 \text{ m/s}$ และ $a = 1.8 \text{ m}$ ลงในสมการ จะได้

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{cr} = \frac{va}{a^2 + l^2}$$

$$0.0039 = \frac{26.7 \times 1.8}{1.8^2 + l^2}$$

แก้สมการ หา l ได้

$$l = 111 \text{ m}$$

เขาจะเริ่มเลвокด้านข้างที่ระยะตามยาว = 111 m

3.4 ระยะมองเห็น (Sight Distance)

เป็นระยะไกลสุดที่คนขับรถสามารถมองเห็นเหตุการณ์ข้างหน้า ในการออกแบบทางเรขาคณิตต้องให้คนขับรถสามารถมองเห็นเหตุการณ์ข้างหน้าได้ไกลล่วงหน้าเพียงพอ เพื่อที่คนขับรถจะเกิดปฏิกิริยาตอบสนองที่เหมาะสมได้ทัน ระยะมองเห็นอาจแบ่งได้เป็น 4 ลักษณะ ได้แก่

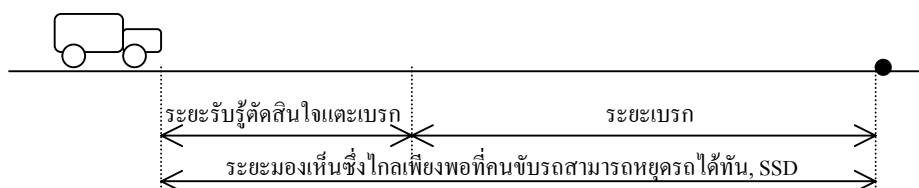
1. ระยะมองเห็นซึ่งไกลเพียงพอที่คนขับรถสามารถหยุดรถได้ทัน (Stopping Sight Distance, SSD)
2. ระยะมองเห็นซึ่งไกลเพียงพอที่คนขับรถสามารถแซงได้ทัน (Passing Sight Distance, PSD)
3. ระยะมองเห็นซึ่งไกลเพียงพอที่คนขับรถสามารถตัดสินใจได้ทัน (Decision Sight Distance, DSD)
4. ระยะมองเห็นซึ่งไกลเพียงพอบริเวณทางแยก (Intersection Sight Distance, ISD)

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงระยะมองเห็น 3 ลักษณะแรก ส่วนระยะมองเห็นซึ่งไกลเพียงพอบริเวณทางแยกจะกล่าวถึงในบทที่ 7 การออกแบบทางแยก

3.4.1 ระยะมองเห็นซึ่งไกลเพียงพอที่คนขับรถสามารถหยุดรถได้ทัน

สำหรับถนนทุกประเภท การออกแบบถนนอย่างน้อยที่สุดให้คนขับรถมีระยะมองเห็นซึ่งไกลเพียงพอที่คนขับรถสามารถหยุดรถได้ทันตลอดช่วงความยาวของถนน

ในกรณีซึ่งไม่คำนึงถึงความลาดชันตามยาว พิจารณารูปที่ 3.4.1



รูปที่ 3.4.1 ระยะมองเห็นซึ่งไกลเพียงพอที่คนขับรถสามารถหยุดรถได้ทัน

ระยะมองเห็นซึ่งไกลเพียงพอที่คนขับรถสามารถหยุดรถได้ทัน SSD จะประกอบด้วยระยะรับรู้ตัดสินใจและเบรก และ ระยะเบรก

จากหัวข้อ 3.3 สมการหาระยะหยุดทั้งหมด ซึ่งก็คือระยะมองเห็นหยุดซึ่งไกลเพียงพอที่คนขับรถสามารถหยุดรถได้ทันนั่นเอง เป็นดังนี้

$$D_s = \delta v_o \cos \alpha + \frac{(v_o^2 - v^2)}{2g(f \pm G)}$$

เมื่อไม่คำนึงถึงความลาดชันตามยาว แทนค่า $\alpha = 0$ และ $G = 0$ จะได้สมการหาระยะมองเห็นหยุดซึ่งไกลเพียงพอที่คนขับรถสามารถหยุดรถได้ทัน ดังนี้

$$SSD = \delta v_o + \frac{v_o^2}{2gf}$$

เนื่องจาก v_o ในสมการมีหน่วยเป็น m/s ซึ่งไม่สะดวกในการคำนวณ เพราะปกติความเร็วที่ใช้ออกแบบจะอยู่ในหน่วย km/h ให้ V มีหน่วยเป็น km/h ซึ่งเมื่อนำไปใช้ในสมการ ต้องถูกแปลงให้อยู่ในหน่วย m/s โดยหารด้วย 3.6 จะได้สมการในรูปแบบใหม่ดังนี้

$$SSD = \delta \frac{V}{3.6} + \frac{(V/3.6)^2}{2(9.81)f}$$

$$SSD = 0.278\delta V + \frac{V^2}{254f} \quad (3.4.1)$$

เมื่อ

δ = เวลารับรู้ตัดสินใจและเบรก, s

V = ความเร็วรถเริ่มแรก, km/h

f = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างล้อยางรถกับผิวถนน ในการออกแบบจะสมมติให้ผิวถนนเปียก

AASHTO (1994) ได้สรุปค่าระยะมองเห็นซึ่งไกลเพียงพอที่คนขับรถสามารถหยุดรถได้ทัน ดังตารางที่ 3.4.1

ตารางที่ 3.4.1 ระยะมองเห็นซึ่งไกลเพียงพอที่คนขับรถสามารถหยุดรถได้ทัน (AASHTO, 1994)

ความเร็ว ออกแบบ km/h	ความเร็ว สมมติ km/h	ระยะเกิดปฏิกิริยาและเบรก		สัมประสิทธิ์ ของความ เสียดทาน f	ระยะเบรกใน แนวราบ m	ระยะหยุด สำหรับออก แบบ m
		เวลา, s	ระยะทาง, m			
30	30 - 30	2.5	20.8 - 20.8	0.40	8.8 - 8.8	29.6 - 29.6
40	40 - 40	2.5	27.8 - 27.8	0.38	16.6 - 16.6	44.4 - 44.4
50	47 - 50	2.5	32.6 - 34.7	0.35	24.8 - 28.1	57.4 - 62.8
60	55 - 60	2.5	38.2 - 41.7	0.33	36.1 - 42.9	74.3 - 84.6
70	63 - 70	2.5	43.7 - 48.6	0.31	50.4 - 62.2	94.1 - 110.8
80	70 - 80	2.5	48.6 - 55.5	0.30	64.2 - 83.9	112.8 - 139.4
90	77 - 90	2.5	53.5 - 62.5	0.30	77.7 - 106.2	131.2 - 168.7
100	85 - 100	2.5	59.0 - 69.4	0.29	98.0 - 135.8	157.0 - 205.0
110	91 - 110	2.5	63.2 - 76.4	0.28	116.3 - 170.0	179.5 - 246.4
120	98 - 120	2.5	68.0 - 83.3	0.28	134.9 - 202.3	202.9 - 285.6

ค่าที่แสดงในตารางที่ 3.4.1 ใช้สำหรับรถยนต์ส่วนตัว แต่ก่อนโลมิให้ใช้กับรถบรรทุกได้ แม้ว่ารถบรรทุกจะต้องใช้ระยะทางก่อนที่จะหยุดภายหลังจากเบรกมากกว่ารถส่วนตัว แต่เนื่องจากคนขับรถบรรทุกจะสามารถมองเห็นได้ไกลกว่า เพราะระดับสายตาของคนขับรถบรรทุกจะสูงกว่าผู้ขับรถส่วนตัว ทำให้คนขับรถบรรทุกมีเวลารู้ตัวล่วงหน้าได้เร็วกว่า ยกเว้นในกรณีช่วงทางลงเนิน ประกอบกับมีโค้งในแนวราบบังแนวสายตา ควรใช้ระยะมองเห็นซึ่งไกลเพียงพอที่คนขับรถสามารถหยุดรถได้ทันสำหรับรถบรรทุกมากกว่าในตาราง

3.4.2 ระยะมองเห็นซึ่งไกลเพียงพอที่คนขับรถสามารถแซงได้ทัน

สำหรับถนนสองเลน ควรออกแบบให้คนขับรถมีระยะมองเห็นซึ่งไกลเพียงพอที่คนขับรถสามารถแซงได้ทันได้มากช่วงที่สุดเท่าที่จะทำได้

พิจารณารูปที่ 3.4.2

ในการหาระยะมองเห็นซึ่งไกลเพียงพอที่คนขับรถสามารถแซงได้ทัน สำหรับถนนสองช่องจราจร AASHTO (1994) ได้ตั้งสมมติฐานดังนี้

1. รถที่ถูกแซง แล่นด้วยความเร็วคงที่
2. รถที่จะแซง ลดความเร็วและแล่นต่อท้ายรถที่ถูกแซง เมื่อใกล้ถึงบริเวณที่จะแซง

3. เมื่อถึงบริเวณที่จะแข่ง คนขับจะใช้เวลาเล็กน้อยเพื่อรู้ว่าเป็นช่วงซึ่งจะแข่งได้หรือไม่ ถ้าได้เขาจะเริ่มเร่งความเร็ว
4. การแข่ง จะมีลักษณะล่าช้าในตอนเริ่มต้น แต่จะเร็วในตอนท้ายในช่วงกลับเข้าสู่เลนเดิม รถที่แข่งจะเร่งความเร็วอย่างต่อเนื่องโดยจะมีความเร็วเฉลี่ยในเลนทิศทางตรงข้ามมากกว่ารถที่ถูกแข่งประมาณ 15 km/h
5. เมื่อรถที่แข่งกลับเข้าสู่เลนเดิมแล้ว จะต้องมียะยะห่างพอสมควรระหว่างรถที่เล่นสวนมาในเลนทิศทางตรงข้าม เพื่อความปลอดภัย

ระยะมองเห็นซึ่งไกลเพียงพอที่คนขับสามารถแข่งได้ทัน จะประกอบด้วยระยะทาง 4 ระยะทาง ดังนี้

$$PSD = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 \quad (3.4.2)$$

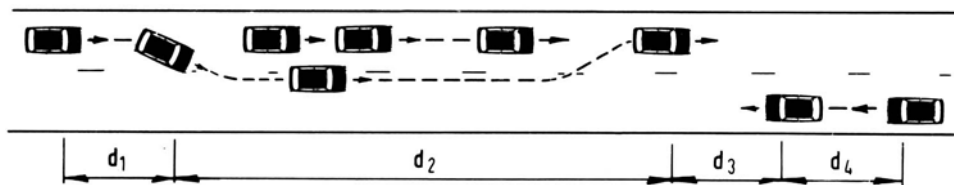
เมื่อ

d_1 = ระยะทางในระหว่างเวลาที่ใช้ไปในการรับรู้ เกิดปฏิกิริยา และ ระหว่างเริ่มทำการแข่ง

d_2 = ระยะทางในระหว่างที่รถที่ทำการแข่งอยู่ในช่องจราจรขวา

d_3 = ระยะห่างระหว่างรถที่ทำการแข่งเสร็จแล้ว กับ รถที่เล่นสวนมา

d_4 = ระยะทางซึ่งรถที่เล่นสวนมาเล่นมาได้ ในระหว่างที่เกิดการแข่ง



รูปที่ 3.4.2 ระยะมองเห็นซึ่งไกลเพียงพอที่คนขับรถสามารถแข่งได้ทัน (O'Flaherty, 1978)

$$d_1 = 0.278t_1 \left(v - m + \frac{at_1}{2} \right) \quad (3.4.3)$$

เมื่อ

t_1 = เวลาในการรับรู้ เกิดปฏิกิริยา และ เวลาที่เริ่มทำการแข่งก่อนเข้าเลนขวา, s

a = ความเร่งเฉลี่ย, km/h/s

v = ความเร็วเฉลี่ยของรถที่ทำการแข่ง, km/h

m = ความเร็วซึ่งแตกต่างกันระหว่างรถที่ทำการแข่ง กับรถที่ถูกแข่ง, km/h

$$d_2 = 0.278vt_2 \quad (3.4.4)$$

เมื่อ

t_2 = เวลาในขณะที่รถซึ่งทำการแข่งอยู่ในเลนขวา, s

$$d_3 = 30 - 90 \text{ m} \quad (3.4.5)$$

$$d_4 = \frac{2}{3}d_2 \quad (3.4.6)$$

จากสมมติฐานข้างต้น และ จากข้อมูลที่ได้จากการสังเกต จะสามารถคำนวณหาระยะมองเห็นซึ่งไกลเพียงพอที่คนขับรถสามารถแข่งได้ทัน PSD ได้ดังตารางที่ 3.4.2

ตารางที่ 3.4.2 การหาระยะมองเห็นซึ่งไกลเพียงพอที่คนขับรถสามารถแข่งได้ทัน PSD (AASHTO, 1994)

กลุ่มความเร็ว, km/h	50-65	66-80	81-95	96-110
ความเร็วที่แข่งเฉลี่ย, km/h	56.2	70.0	84.5	99.8
ช่วงรับรู้				
a = ความเร่งเฉลี่ย, km/h/s	2.25	2.30	2.37	2.41
t_1 = เวลารับรู้, s	3.6	4	4.3	4.5
d_1 = ระยะทาง, m	45	65	90	110
ช่วงที่อยู่บนเลนขวา				
t_2 = เวลา, s	9.3	10	10.7	11.3
d_2 = ระยะทาง, m	145	195	250	315
ระยะเพื่อปลอดภัย				
d_3 = ระยะทาง, m	30	55	75	90
ระยะทางที่รถสวน				
d_4 = ระยะทาง, m	95	130	165	210
รวม $d_1 + d_2 + d_3 + d_4$, m	315	445	580	725

AASHTO (1994) ได้ปรับค่าจากตารางที่ 3.4.2 เพื่อใช้สำหรับออกแบบ ดังแสดงในตารางที่ 3.4.3

ตารางที่ 3.4.3 ระยะมองเห็นซึ่งไกลเพียงพอที่คนขับรถสามารถแซงได้ทัน PSD สำหรับออกแบบ (AASHTO, 1994)

ความเร็ว ออกแบบ km/h	ความเร็วสมมติ		ระยะมองเห็นซึ่ง แซงได้ทัน m
	รถที่ถูกแซง, km/h	รถที่แซง, km/h	
30	29	44	217
40	36	51	285
50	44	59	345
60	51	66	407
70	59	74	482
80	65	80	541
90	73	88	605
100	79	94	670
110	85	100	728
120	91	106	792

หมายเหตุ

- ในกรณีขึ้นเนินควรใช้ค่า PSD มากกว่าค่าที่แสดงในตารางที่ 3.4.3
- สำหรับถนนตั้งแต่สี่ช่องจราจรขึ้นไป ไม่จำเป็นต้องใช้ค่า PSD ในการออกแบบ ให้ใช้ค่า SSD ในการออกแบบแทน

3.4.3 ระยะมองเห็นซึ่งไกลเพียงพอที่คนขับรถสามารถตัดสินใจได้ทัน

ก่อนถึงบริเวณชุมทางต่างระดับ (interchange) บริเวณทางแยก บริเวณซึ่งจำนวนช่องจราจรลดจำนวนเหลือน้อยลง บริเวณซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงแนวทางราบอย่างกะทันหัน บริเวณสะพานแคบ บริเวณด่านเก็บเงิน ควรออกแบบให้คนขับรถมีระยะมองเห็นซึ่งไกลเพียงพอที่คนขับรถสามารถตัดสินใจและเกิดปฏิกิริยาตอบสนองอย่างเหมาะสมต่อสภาพการณ์ที่ประสบได้ทัน

ตารางที่ 3.4.4 แสดงระยะมองเห็นซึ่งไกลเพียงพอที่คนขับรถสามารถตัดสินใจได้ทันในแต่ละสถานการณ์

ตารางที่ 3.4.4 แสดงระยะมองเห็นซึ่งไกลเพียงพอที่คนขับรถสามารถตัดสินใจได้ทัน
(AASHTO, 1994)

ความเร็ว ออกแบบ km/h	ระยะมองเห็นซึ่งตัดสินใจได้ทันสำหรับสถานการณ์หลบหลีก, m				
	A	B	C	D	E
50	75	160	145	160	200
60	95	205	175	205	235
70	125	250	200	240	275
80	155	300	230	275	315
90	185	360	275	320	360
100	225	415	315	365	405
110	265	455	335	390	435
120	305	505	375	415	470

เมื่อ

สถานการณ์หลบหลีก A: หยุดบนถนนนอกเมือง

สถานการณ์หลบหลีก B: หยุดบนถนนในเมือง

สถานการณ์หลบหลีก C: เปลี่ยนความเร็ว/แนว/ทิศทาง บนถนนนอกเมือง

สถานการณ์หลบหลีก D: เปลี่ยนความเร็ว/แนว/ทิศทาง บนถนนในเมือง

สถานการณ์หลบหลีก E: เปลี่ยนความเร็ว/แนว/ทิศทาง บนถนนในเมือง