

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่ใช้ในการวิจัย

ทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย ทฤษฎีที่ใช้สร้างค่าโมดูลัสทางเรขาคณิต ทฤษฎีการออกแบบทางเรขาคณิตของแนวเส้นทาง และวิธีการศึกษาความเร็ว ซึ่งทฤษฎีที่ใช้สร้างค่าโมดูลัสทางเรขาคณิต จะเป็นทฤษฎีที่เกี่ยวกับการศึกษาพฤติกรรมการไหลของการจราจร โดยเปรียบเทียบการไหลของกระแสจราจรกับการไหลของความร้อน และการไหลของของไหล เพื่อนำไปสร้างเป็นค่าโมดูลัสทางเรขาคณิต ทฤษฎีการออกแบบทางเรขาคณิตของแนวเส้นทาง เพื่อพิจารณาว่าผู้ออกแบบพิจารณาและกำหนดหลักเกณฑ์ใดในการออกแบบทางเรขาคณิตของแนวเส้นทาง และวิธีการศึกษาความเร็ว เพื่อศึกษาชนิดของความเร็ว การวัดค่าหาความเร็ว วิธีการสำรวจความเร็ว วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลความเร็ว รวมถึงตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความเร็ว

2.1 ทฤษฎีโมดูลัสทางเรขาคณิต

2.1.1 ความหมายของโมดูลัสทางเรขาคณิต

โมดูลัสทางเรขาคณิตเป็นค่าโมดูลัสที่ใช้ประเมินลักษณะทางเรขาคณิตของแนวเส้นทางโดยประเมินจากความเร็วเฉลี่ยที่ผู้ขับขี่ใช้บนแนวเส้นทางส่วนตัวแปรอีกตัวที่พิจารณาคือค่าความเร็วที่เปลี่ยนแปลงเมื่อผู้ขับขี่ได้ขับขี่ผ่านแนวเส้นทางที่มีลักษณะทางการจราจรที่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งตัวแปรความเร็วทั้งสองเป็นตัวแปรที่สามารถนำมาพิจารณาถึงความสะดวกสบายและความปลอดภัยในการขับขี่ได้ (Oppenlander, 1978)

ในการประเมินค่าโมดูลัสทางเรขาคณิตซึ่งจะเป็นฟังก์ชันของความเร็วเฉลี่ยและความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไป

$$F_0 = f(v, \Delta v)$$

จากฟังก์ชันดังกล่าวจะเห็นว่าถ้าผู้ขับขี่สามารถใช้ความเร็วเฉลี่ยในการขับขี่มีค่ามาก และมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วน้อย เมื่อต้องขับผ่านไปในแนวเส้นทางที่มีลักษณะทางจราจร ที่เปลี่ยนแปลงไปจะยิ่งทำให้ค่าโมดูลัสทางเรขาคณิตมีค่ามากนั่นหมายถึงแนวเส้นทางดังกล่าวให้ ความสะดวกสบายและความปลอดภัยแก่ผู้ขับขี่ได้มาก เนื่องจากสามารถใช้ความเร็วในการขับขี่ได้ มากอีกทั้งยังมีความปลอดภัยในการขับขี่เพราะมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วไม่มากนักแสดงว่าแนว เส้นทางที่กำลังพิจารณามีความเหมาะสมทางด้านวิศวกรรมมากเช่นกัน ถ้าในแนวเส้นทางที่พิจารณา สามารถใช้ความเร็วในการขับขี่ได้มาก แต่ผู้ขับขี่ต้องเปลี่ยนแปลงความเร็วเนื่องจากได้รับผล กระทบจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะของการจราจรมากจะทำให้ค่าผลต่างของความเร็วเฉลี่ยกับ ความเร็วที่เปลี่ยนแปลงมีค่าน้อยลงจึงทำให้ค่าโมดูลัสทางเรขาคณิตมีค่าน้อยลงด้วยเช่นกันนั่น หมายถึงแนวเส้นทางดังกล่าวมีความเหมาะสมทางด้านวิศวกรรมน้อยลง ไป ดังนั้นเมื่อค่าโมดูลัส ทางเรขาคณิตสามารถอธิบายถึงลักษณะความเร็วยานพาหนะซึ่งเป็นตัวแปรหนึ่งที่สามารถใช้ อธิบายความสะดวกสบายและความปลอดภัยในการขับขี่ได้จึงได้นำค่าโมดูลัสทางเรขาคณิตไป ประยุกต์ใช้เพื่อประเมินความเหมาะสมทางด้านวิศวกรรมของแนวเส้นทาง

2.1.2 สมมุติฐานที่เกี่ยวข้อง

การหาดัชนีเพื่อประเมินลักษณะทางเรขาคณิตของแนวเส้นทางนั้น เป็นการศึกษา เกี่ยวกับพฤติกรรมการไหลของกระแสจราจร ที่สามารถนำไปใช้ประเมินผลพฤติกรรมของผู้ขับขี่ ที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเรขาคณิตของแนวเส้นทาง และได้มีผู้พยายาม สร้างแบบจำลองและใช้สมมุติฐานต่าง ๆ เพื่อศึกษาลักษณะการไหลของกระแสจราจร

ก) สมมุติฐานที่เปรียบเทียบการไหลของกระแสจราจรคล้ายกับการไหลของความร้อน

Drew (1968) ได้เปรียบเทียบการไหลของกระแสจราจรจะมีพฤติกรรมคล้ายกับ การไหลของความร้อนภายในท่อรูปทรงกระบอก ซึ่งเมื่อพิจารณาการไหลของความร้อนภายในท่อ รูปทรงกระบอกใน 1 มิติ จะได้สมการ ดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Equation) ดังนี้

$$a^2 \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = 0 \quad (2.1)$$

โดยที่ p = อุณหภูมิ
 x = ระยะทาง

t	=	เวลา
a^2	=	sk/c
c	=	ความสามารถในการสื่อความร้อนของวัตถุ
s	=	ความร้อนจำเพาะ
k	=	ความหนาแน่น

ซึ่งเป็นสมการที่ใช้อธิบายถึงอุณหภูมิ ณ เวลาต่าง ๆ ในแต่ละจุด ตลอดแนวท่อรูปทรงกระบอก และสามารถเขียนสมการในรูปแบบใหม่ได้ดังนี้

$$p(x, t) = f(L, a, x, t) \quad (2.2)$$

โดยที่ L = ความยาวเฉลี่ยของรถ

ถ้าเปรียบเทียบการจราจรใน 1 ช่องจราจรเสมือนกับท่อรูปทรงกระบอก และค่า p ให้เป็นตัวแปรตัวหนึ่งที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรหลักของการจราจรได้แก่ ความเร็ว ความหนาแน่นและการไหลของการจราจร ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.2 และใช้เป็นแนวทางในการหาค่าคุณสมบัติของทางหลวง ซึ่งเรียกว่า ทราฟฟิคาบิลิตี้ (Trafficability)

การเคลื่อนที่ของการจราจรจะเป็นผลมาจากการกระตุ้นของเพรสเชอร์โพเทนเชียล (Pressure Potential) ซึ่งมีพฤติกรรมคล้ายกับค่า p ในสมการที่ 2.1 และผลการวัดของ Harr and Leonard จะมีความเร็วของยานพาหนะที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเรขาคณิตของแนวเส้นทางเป็นฟังก์ชันของทราฟฟิคาบิลิตี้ และในสมการที่ 2.1 จะเป็นสมการของความร้อนที่ไหลในท่อรูปทรงกระบอกและไหลในอัตราคงที่ ส่วนที่ผนังด้านข้างของท่อรูปทรงกระบอกจะมีสมการความร้อน ดังนี้

$$a^2 \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = c \quad (2.3)$$

โดยที่ c = ค่าคงที่ที่มีค่าเป็นบวก

ในสมการที่ 2.3 ควรนำไปใช้ในการประเมินค่าลักษณะทางเรขาคณิตของ
แนวเส้นทาง ซึ่งสามารถประเมินผลยานพาหนะที่วิ่งผ่านลักษณะทางเรขาคณิตรูปแบบต่าง ๆ

ข) สมมุติฐานที่เปรียบเทียบการไหลของกระแสจราจรคล้ายกับการไหลของ
ของไหล

Drew (1968) กล่าวว่าเป็นการยากที่จะนำสมการที่ 2.1 และสมการที่ 2.3 มาใช้หาค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนั้นจึงเปรียบเทียบการไหลของกระแสการจราจรมีพฤติกรรมคล้ายกับการไหลของของไหล ซึ่งเป็นสมการที่มีรูปแบบทางกายภาพที่สามารถนำไปใช้ได้จริง และใช้อธิบายพฤติกรรมของการไหลของกระแสจราจรได้ดังนี้

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -kv \quad (2.4)$$

และ

$$\frac{\partial \rho}{\partial p} = c_1 \rho \quad (2.5)$$

โดยที่	p	=	เพรสเชอร์โพเทนเชียล
	ρ	=	ความหนาแน่นของปริมาณจราจร
	x	=	ระยะทาง
	v	=	ความเร็ว
	k, c_1	=	ค่าคงที่

เมื่อนำสมการที่ 2.4 และสมการที่ 2.5 มาสร้างสมการหาความสัมพันธ์ระหว่าง
ความเร็ว และความหนาแน่น จะได้

$$v = (kc_1\rho)^{-1} \frac{\partial \rho}{\partial x} \quad (2.6)$$

2.1.3 การสร้างสมการโมดูลัสทางเรขาคณิต

Tharp (1963) กล่าวว่า การไหลของกระแสจราจรบนถนนจะมีพฤติกรรมคล้ายกับการไหลของของไหลภายในท่อรูปทรงกระบอกที่สามารถวัดอัตราการไหลของของไหลได้ในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และการไหลของกระแสจราจรที่เป็นผลมาจากการกระตุ้นของเพรสเชอร์โพเทนเชียล ซึ่งในที่นี้ Tharp (1963) จะเรียกเพรสเชอร์โพเทนเชียล แทนว่าทราฟฟิกโพเทนเชียล (Traffic Potential) และได้พัฒนาทฤษฎีที่ศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของการไหลของกระแสจราจร เพื่อหาโมดูลัสทางเรขาคณิต โดยมีสมมุติฐานดังนี้

- พฤติกรรมของยานพาหนะบนถนน จะเกิดจากปฏิกิริยาของผู้ขับขี่ที่เป็นสาเหตุจากทราฟฟิกโพเทนเชียล โดยมีรูปแบบดังนี้

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -kv \quad (2.7)$$

- การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของยานพาหนะเทียบกับทราฟฟิกโพเทนเชียล มีรูปแบบดังนี้

$$\frac{\partial \rho}{\partial p} = c_1 \rho \quad (2.8)$$

จากสมการที่ 2.7 และสมการที่ 2.8 จะได้

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} = c_1 \frac{\partial p}{\partial x} \quad (2.9)$$

และ

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial t} = c_1 \frac{\partial p}{\partial t} \quad (2.10)$$

การเปลี่ยนแปลงความกว้างของถนนเทียบกับกราฟฟิคโพเทนเชียลมีรูปแบบดังนี้

$$\frac{\partial w}{\partial p} = c_2 w \quad (2.11)$$

จากสมการที่ 2.7 และสมการที่ 2.11 จะได้

$$\frac{1}{w} \frac{\partial w}{\partial x} = c_2 \frac{\partial p}{\partial x} \quad (2.12)$$

และ

$$\frac{1}{w} \frac{\partial w}{\partial t} = c_2 \frac{\partial p}{\partial t} \quad (2.13)$$

โดยที่

p	=	กราฟฟิคโพเทนเชียล
ρ	=	ความหนาแน่นของปริมาณจราจร
x	=	ระยะทาง
v	=	ความเร็ว
w	=	ความกว้างของถนน
k, c_1, c_2	=	ค่าคงที่

และเมื่อพิจารณาการไหลของการจราจรเป็นระบบคงที่นั่นคือการเปลี่ยนแปลงปริมาณของยานพาหนะในช่วงเวลา dt จะต้องเท่ากับผลต่างของปริมาณยานพาหนะที่เข้ามาที่ตำแหน่ง x และปริมาณยานพาหนะที่ออกไปที่ตำแหน่ง $x + dx$ (ในช่วงเวลา dt) และสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

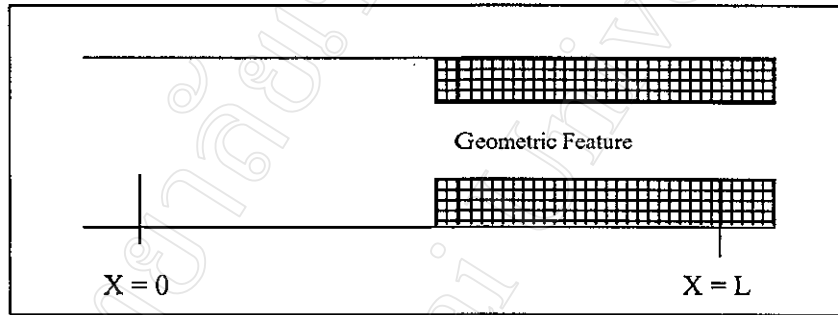
$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} dt dx = \rho w v dt - \left[\rho w v dt + \frac{\partial(\rho w v)}{\partial x} dx dt \right]$$

หรือ

$$\frac{\partial(\rho_w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_{wv})}{\partial x} = 0 \quad (2.14)$$

จากสมการที่ 2.7 2.9 2.10 และ 2.13 แทนในสมการที่ 2.14 และลดรูปลงจะได้

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = a^2 \frac{\partial p}{\partial t} \quad (2.15)$$



รูป 2.1 แสดงลักษณะทางเรขาคณิตของแนวเส้นทางที่มีผลกระทบต่อยานพาหนะ

ที่มา : Tharp (1963)

เพื่อแก้สมการที่ 2.15 จึงกำหนดเงื่อนไขดังรูป 2.1 คือถ้ารถอยู่ที่ตำแหน่ง $x = 0$ รถจะวิ่งโดยไม่เกิดพฤติกรรมจากรูปแบบทางเรขาคณิต และจะมีกราฟฟิคโพเทนเชียลเป็น p_0 ($p_{(0,0)} = p_0$) และที่ $x = L$ เป็นที่ซึ่งรถจะวิ่งโดยใช้พฤติกรรมที่เกิดจากรูปแบบทางเรขาคณิต มีค่ากราฟฟิคโพเทนเชียลเป็น p_1 ($p_{(L,0)} = p_0 \pm \Delta p = p_1$) ที่เวลา $t = 0$ รถจะวิ่งโดยไม่เกิดพฤติกรรมจากรูปแบบทางเรขาคณิต ดังนั้น $p_{(x,0)} = p_0$ และเมื่อนำไปใช้ในสมการที่ 2.15 จะได้

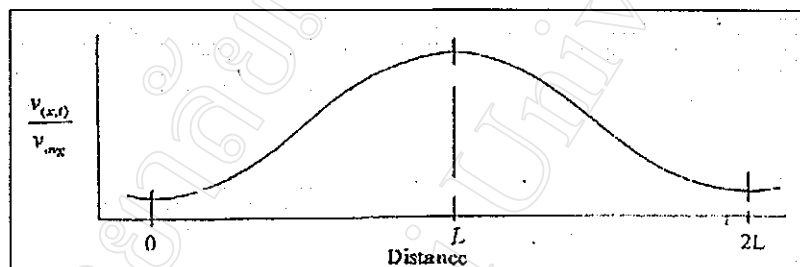
$$P(x,t) = p_0 + \frac{\Delta p}{L}x - \frac{2}{\pi}\Delta p \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} e^{-n^2 F_0} \sin \frac{n\pi x}{L} \quad (2.16)$$

$$\text{โดยที่ } \Delta p = p_0 - p_1 \text{ และ } F_0 = \frac{\pi^2 t}{a^2 L^2}$$

จากสมการที่ 2.7 ต้องการกำจัดค่า ทราฟฟิกโพเทนเชียล ลง จะได้สมการ

$$\frac{v_{(x,t)}}{v_{avg}} = 1 - 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} e^{-n^2 F_0} \cos \frac{n\pi x}{L} \quad (2.17)$$

จากสมการที่ 2.17 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว (v) และระยะทาง (L) ดังรูป 2.2



รูป 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับระยะทางตามสมการที่ 2.17

ที่มา : Tharp (1963)

จะเห็นว่าความสัมพันธ์ของ $\frac{v_{(x,t)}}{v_{avg}}$ จะสมมาตรกันที่ $x = L$ โดยค่า $\frac{v_{(x,t)}}{v_{avg}}$ จะเพิ่มขึ้นเมื่อ $x = 0$ จนถึง L และลดลงเมื่อ $x = L$ จนถึง $2L$ ในการประเมินความเร็วของยานพาหนะที่ได้รับ ผลกระทบจากลักษณะทางเรขาคณิตของแนวเส้นทาง จะพบว่าจะมีความเร็วลดลงเนื่องจากถูกขัดขวางจากลักษณะทางเรขาคณิตของแนวเส้นทาง และสามารถเขียนสมการ 2.17 ใหม่โดยการย้ายจุด Origin มาที่ $x = L$ และแทนค่า x ด้วย $x + L$ จะได้

$$\frac{v_{(x,t)}}{v_{avg}} = 1 - 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} e^{-n^2 F_0} \cos \frac{n\pi(x+L)}{L} \quad (2.18)$$

ซึ่ง $\cos \frac{n\pi(x+L)}{L} = (-1)^n \cos \frac{n\pi x}{L}$ และเมื่อแทนค่า $\cos \frac{n\pi(x+L)}{L}$ ลงใน สมการที่ 2.18 จะได้

$$\frac{v_{(x,t)}}{v_{avg}} = 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} e^{-n^2 F_0} \cos \frac{n\pi x}{L} \quad (2.19)$$

ในรูป 2.3 และ 2.4 จะแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนความเร็ว $\frac{v_{(x,t)}}{v_{avg}}$ และค่า ระยะทาง ในค่า F_0 ต่าง ๆ และในรูป 2.4 ค่า F_0 จะเริ่มตั้งแต่ 0.6 ขึ้นไป ส่วนในเส้นประจะเป็นผลจากสมการที่เกิดจากการประมาณโดยการลดรูปลงเป็น

$$\frac{v_{(x,t)}}{v_{avg}} = 1 + 2e^{-F_0} \cos \frac{n\pi x}{L} \quad (2.20)$$

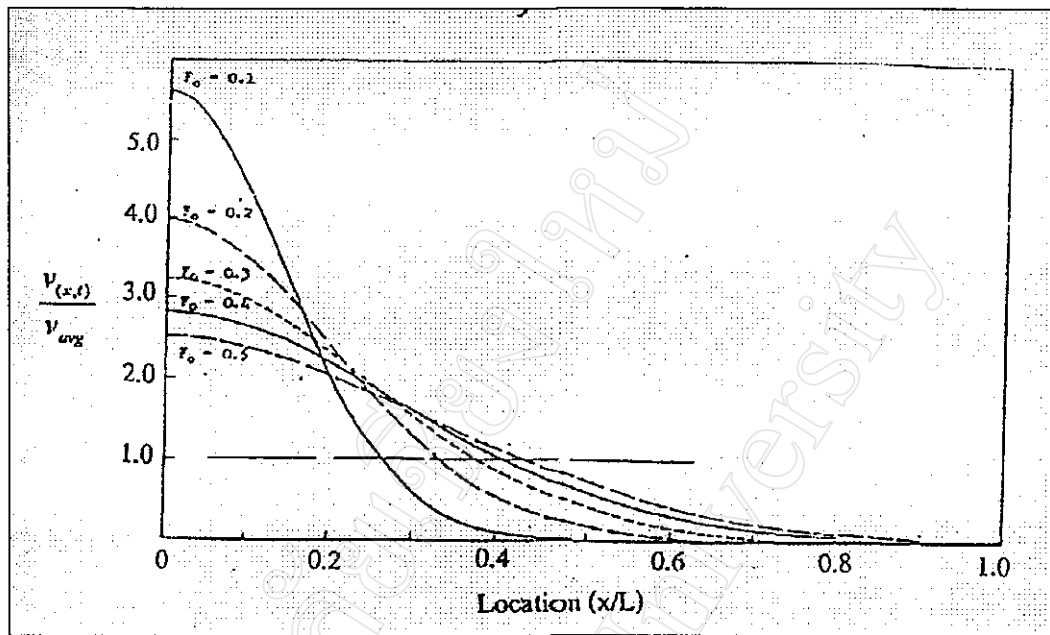
ซึ่งจะเห็นว่า เมื่อค่า F_0 มีค่ามากกว่า 1.0 ค่าสมการที่ประมาณออกมาในสมการที่ 2.20 จะมีค่าใกล้เคียงกับในสมการที่ 2.19 และสามารถเขียนสมการ อัตราส่วนความเร็ว ในรูปใหม่ เพื่อหาค่าความเร็วที่จุดต่าง ๆ ในรูปของความเร็วเฉลี่ยออกมาเป็น

$$v_{(x,t)} = \bar{v} + 2\bar{v} \sum_{n=1}^{\infty} e^{-n^2 F_0} \cos \frac{n\pi x}{L} \quad (2.21)$$

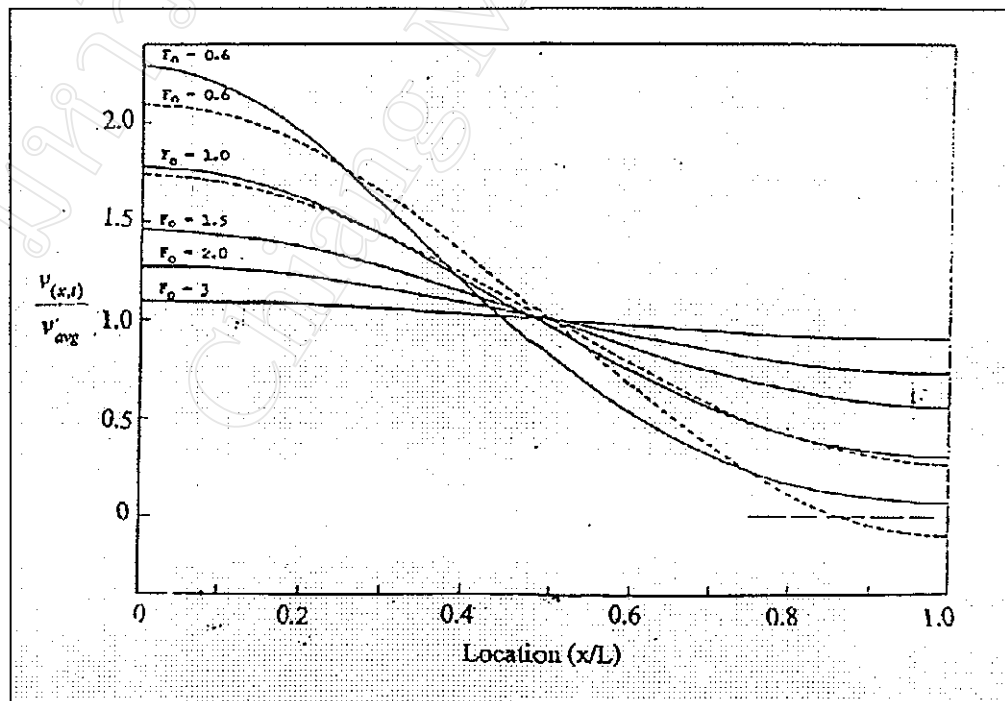
ในสมการที่ 2.21 สามารถเขียนกราฟออกมาได้ดังรูป 2.5 ซึ่ง v_0 เป็นความเร็ว ยานพาหนะเมื่ออยู่ในสภาพปกติ และ v_1 เป็นความเร็วน้อยที่สุดที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเรขาคณิตของเส้นทางและสามารถหาค่าความเร็วที่จุด x ต่างๆ ได้

$$v_x = \bar{v} \left(1 + 2e^{-F_0} \cos \frac{\pi x}{L} \right)$$

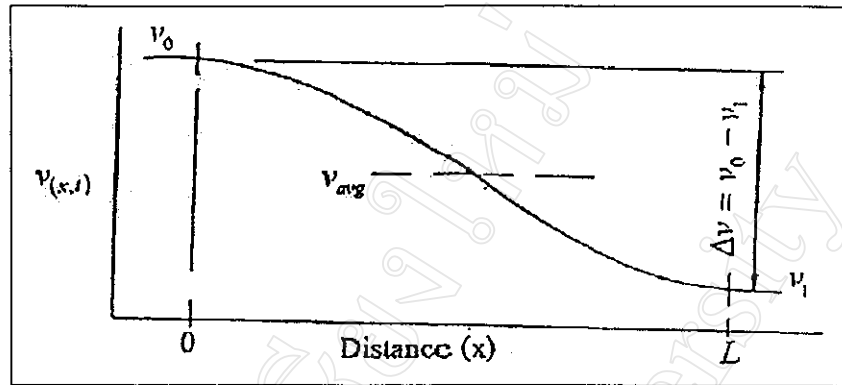
$$\bar{v} = v_x \left(1 + 2e^{-F_0} \cos \frac{\pi x}{L} \right)^{-1}$$



รูป 2.3. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนความเร็วและค่าระยะทาง ในค่า F_0 ต่าง ๆ
ที่มา : Tharp (1963)



รูป 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนความเร็วและค่าระยะทาง ในค่า F_0 ต่าง ๆ
ที่มา : Tharp (1963)



รูป 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็ว กับ ระยะทาง จาก Tharp K. J. (1963)
ที่มา : Tharp (1963)

ถ้าสมมุติจุด 2 จุด คือ $x = a$ และ $x = b$ จะสามารถหาค่าความเร็วเฉลี่ยได้ดังนี้

$$\bar{v} = v_a \left(1 + 2e^{-F_0} \cos \frac{\pi x_a}{L} \right)^{-1}$$

$$\bar{v} = v_b \left(1 + 2e^{-F_0} \cos \frac{\pi x_b}{L} \right)^{-1}$$

แก้สมการหาค่า e^{-F_0} ได้ดังนี้

$$e^{-F_0} = \frac{(v_a - v_b)}{2 \left(v_b \cos \frac{\pi x_a}{L} - v_a \cos \frac{\pi x_a}{L} \right)}$$

ถ้า $x_a = 0$ และ $x_b = L$ จะได้

$$e^{-F_0} = \frac{(v_0 - v_l)}{2(v_l - v_0)} = \frac{\Delta v}{2(v_0 + v_l)} \quad (2.22)$$

โดยที่ $v_l = v_0 - \Delta v$ และสามารถแก้สมการหาค่า F_0 ได้เป็น

$$F_0 = \ln(4v_0 - 2\Delta v) - \ln \Delta v \quad (2.23)$$

จากการพัฒนาทฤษฎีของ Tharp (1963) เป็นการพัฒนามาจากสมมุติฐานที่ว่าพฤติกรรมของการไหลของกระแสธารจะมีลักษณะคล้ายกับพฤติกรรมของการไหลของของไหล ดังนั้นในการหาค่าดัชนีเพื่อใช้ประเมินผลลักษณะทางเรขาคณิตของแนวเส้นทางจึงเลือกใช้ค่าโมดูลัสทางเรขาคณิตที่ Tharp ได้คิดไว้แล้ว

2.1.4 การนำค่าโมดูลัสทางเรขาคณิตไปใช้ประเมินแนวเส้นทาง

จากลักษณะฟังก์ชันของค่าโมดูลัสทางเรขาคณิตจะเห็นว่า ตัวแปรที่สำคัญในการประเมินค่า ได้แก่ความเร็วเฉลี่ย และความเร็วที่เปลี่ยนแปลงของผู้ขับขึ้นบนแนวเส้นทาง ดังนั้นในการนำไปประยุกต์ใช้ประเมินค่าบนแนวเส้นทางนั้น ผู้ที่ประเมินจำเป็นต้องทราบว่า ความเร็วที่ผู้ขับขี่ใช้ไปบนแนวเส้นทางนั้นเป็นเท่าไร และเมื่อผู้ขับขึ้นยานพาหนะเข้าสู่แนวเส้นทางที่มีการเปลี่ยนแปลงทางลักษณะการจราจร ผู้ประเมินค่าโมดูลัสก็ต้องทราบค่าความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไปเช่นเดียวกันจึงจะสามารถที่จะประเมินค่าโมดูลัสทางเรขาคณิตของแนวเส้นทางได้

2.2 ทฤษฎีการออกแบบทางเรขาคณิตของแนวเส้นทาง

การออกแบบแนวเส้นทางที่สมดุล องค์ประกอบต่างๆ ของทางหลวงจะต้องมีคุณสมบัติทางเรขาคณิตที่เหมาะสม เพื่อให้ได้แนวเส้นทางที่สามารถให้บริการได้อย่างสะดวกสบาย และปลอดภัยแก่ผู้ขับขี่ในทุกสภาวะ การออกแบบแนวเส้นทางจะมีลักษณะเป็น 3 มิติ ซึ่งมีความซับซ้อนและยุ่งยาก เพื่อเป็นการลดความยุ่งยากจึงแบ่งขั้นตอนการออกแบบเป็น 2 ขั้นตอน คือการออกแบบแนวทางราบ และการออกแบบแนวทางตั้ง

2.2.1 การออกแบบแนวทางราบ

แนวทางราบประกอบด้วย ส่วนที่เป็นแนวเส้นตรง และส่วนโค้ง การออกแบบแนวทางราบของเส้นทาง คือการออกแบบการเปลี่ยนทิศทางของแนวเส้นทางในแนวระนาบ องค์ประกอบที่สำคัญในการพิจารณาออกแบบทางเรขาคณิตของแนวทางราบคือ โค้งราบเนื่องจากเป็นตัวเชื่อมการเปลี่ยนแปลงทิศทางของแนวเส้นตรง และช่วยให้ยานพาหนะที่วิ่งบนเส้นทางสามารถค่อยๆ เปลี่ยนทิศทางไปตามแนวเส้นทางได้อย่างปลอดภัย โค้งราบที่ใช้กันมากได้แก่ โค้งวงกลม

และโค้งเปลี่ยน โค้งเหล่านี้อาจอยู่ในสภาพของโค้งเดี่ยวหรือมีหลายโค้งต่อชนกันเป็นโค้งวงกลมรวมก็ได้ ทั้งนี้เพื่อให้การเปลี่ยนทิศทางของรถเป็นไปได้อย่างเหมาะสมกับสภาพยานพาหนะให้สามารถวิ่งได้อย่างสะดวกสบายและปลอดภัย

ปัจจัยที่ใช้พิจารณาออกแบบแนวทางราบ หรือกำหนดคุณสมบัติทางด้านเรขาคณิต ได้แก่ สภาพภูมิประเทศ สภาพแวดล้อม ปริมาณการจราจร คุณลักษณะของการจราจร คุณลักษณะของยานพาหนะ และความเร็วของขบวน ปัจจัยเหล่านี้เป็นตัวกำหนดมาตรฐานในการออกแบบแนวเส้นทาง ส่วนข้อกำหนดขั้นต่ำในการออกแบบจะประกอบด้วยความเร็วในการออกแบบ ขนาดของเขตทาง ความกว้างช่องผิวทาง ความกว้างของไหล่ทาง รัศมีโค้งและอื่น ๆ เป็นต้น

โค้งราบทำหน้าที่เชื่อมแนวเส้นตรง 2 แนว (2 ทิศทาง) ของแนวเส้นทางเข้าด้วยกัน การออกแบบโค้งราบต้องพิจารณาให้สอดคล้องกับแนวเส้นทางช่วงที่เป็นแนวเส้นตรง และความเร็วออกแบบ หรือควรออกแบบให้แนวเส้นทางมีลักษณะต่อเนื่อง การออกแบบโค้งราบที่ดีควรออกแบบให้รัศมีของโค้งราบยาวมาก ๆ เพื่อให้ผู้ขับขี่มีความรู้สึกสะดวกสบาย และปลอดภัย ในขณะที่กำลังขับขี่ผ่านบริเวณโค้ง เมื่อรถวิ่งเข้าสู่ทางโค้ง การเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่จะทำให้เกิดแรงหนีศูนย์กลาง ซึ่งจะถูกต้านโดยแรงเสียดทานระหว่างยางล้อรถกับผิวถนน และแรงเนื่องจากการยกขอบถนน ดังนั้นในการออกแบบโค้งราบ จะต้องพิจารณาคงสมบัติทางเรขาคณิตของโค้งให้มีความสอดคล้องกับองค์ประกอบอื่นๆ ของแนวเส้นทางด้วย

โค้งราบที่นิยมใช้ในการออกแบบแนวทางราบนั้นจะมี 2 ชนิด ได้แก่ โค้งวงกลม และโค้งเปลี่ยน ซึ่งองค์ประกอบทางด้านเรขาคณิตของโค้งแต่ละชนิด จะมีดังนี้

ก) โค้งวงกลม

โค้งวงกลมเป็นโค้งที่นิยมใช้ออกแบบแนวทางราบ ความยาวรัศมีโค้งวงกลม หาได้จากความสัมพันธ์ทางด้านกลศาสตร์ ซึ่งสัมพันธ์กับความเร็วออกแบบ อัตราการยกขอบถนน และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานด้านข้างของผิวทาง ซึ่งหาได้ดังนี้

$$R = \frac{V^2}{g(e + f)} \quad (2.24)$$

หรือ

$$R = \frac{0.077V^2}{(e + f)} \quad (2.25)$$

เมื่อ	R	=	ความยาวรัศมีโค้งวงกลม (เมตร)
	V	=	ความเร็วออกแบบ (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
	e	=	อัตราการยกขอบถนน (เมตรต่อเมตร)
	f	=	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

ข) โค้งเปลี่ยน

เมื่อความเร็วออกแบบมีค่าสูง การใส่เฉพาะโค้งวงกลมเชื่อมระหว่างแนวเส้นตรงในการออกแบบอาจไม่เพียงพอและไม่ปลอดภัย เนื่องจากรถที่วิ่งเข้าสู่ทางโค้งด้วยความเร็วสูงอาจหลุดเข้าไปในช่องจราจรที่อยู่ติดกันได้ทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ง่าย เพื่อความปลอดภัยและความสะดวกสบายในการขับขี่เรามักใส่โค้งเปลี่ยนแทรกระหว่างโค้งวงกลมกับแนวทางตรง

โค้งเปลี่ยนที่นิยมใช้คือ โค้งเปลี่ยนออยเลอร์สไปรอล (Euler Spiral) องศาของโค้งของโค้งเปลี่ยนจะเริ่มจากศูนย์ที่บริเวณจุดเริ่มต้นโค้งเปลี่ยน และมีค่าเท่ากับองศาของโค้งของโค้งวงกลมที่จุดเริ่มต้นของโค้งวงกลม ค่าองศาของโค้งที่จุดต่าง ๆ บนโค้ง สไปรอลจะเปลี่ยนไปตามความยาวของโค้งสไปรอล ในกรณีที่ใส่โค้งเปลี่ยนสไปรอลเชื่อมระหว่างโค้งวงกลมสองโค้ง ค่าองศาของโค้งเริ่มต้นจะไม่เท่ากับศูนย์

สมการหาความยาวของโค้งสไปรอล มีรูปแบบดังนี้

$$L = \frac{0.0702V^2}{RC} \quad (2.26)$$

เมื่อ	L	=	ความยาวค่าสุดของโค้งสไปรอล (เมตร)
	V	=	ความเร็ว (กิโลเมตร/ชั่วโมง)
	R	=	รัศมีโค้งวงกลม (เมตร)
	C	=	อัตราค่าเพิ่มขึ้นของการเปลี่ยนแปลงเข้าสู่ศูนย์กลาง (เมตร/วินาที ³) มีค่าระหว่าง 1-3

2.2.2 ข้อกำหนดทั่วไปในการออกแบบ

เพื่อความปลอดภัย และความสะดวกสบาย ในการขับขี่บริเวณทางโค้งองค์ประกอบต่าง ๆ ของทางหลวงบริเวณโค้งราบ จะต้องออกแบบอย่างถูกต้องตามหลักวิศวกรรมและเหมาะสมกับลักษณะทางกายภาพของทางหลวง องค์ประกอบสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบได้แก่ การ

เลือกใช้รัศมีโค้งวงกลม อัตราการยกขอบถนน ความยาวโค้งสไปรอล วิธียกขอบถนน การขยายช่องทางจราจรในบริเวณโค้งราบ และระยะมองเห็นในโค้งราบ

2.2.3 การออกแบบแนวทางโค้ง

ในงานก่อสร้างทางหลวงใหม่หรือปรับปรุงทางหลวงเดิมแนวทางราบของทางหลวงจะเป็นตัวกำหนดตำแหน่งแนวทางของโครงการก่อสร้างที่จะเกิดขึ้น แนวทางโค้งจะเป็นตัวกำหนดระดับของทางหลวง การออกแบบแนวทางโค้งจึงเป็นการออกแบบระดับหลังทางของทางหลวง ผลลัพธ์จากการออกแบบจะเกี่ยวกับงานดิน เช่น งานดินตัดและดินถม ตลอดจนการบรรทุกลาดจากบ่อขุดไปยังจุดที่ต้องการถมด้วย ดังนั้นการออกแบบแนวทางโค้งจึงมีส่วนสำคัญอย่างยิ่ง และมีส่วนสำคัญอย่างยิ่ง และมีผลกระทบโดยตรงต่อค่าก่อสร้าง การใช้งานของถนน และค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน

แนวทางโค้งของทางหลวงประกอบไปด้วย ส่วนที่เป็นแนวเส้นตรง เชื่อมกับโค้งโค้ง ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้โค้งพาราโบลา หลักการออกแบบแนวทางโค้งเป็นเช่นเดียวกับแนวทางราบ ซึ่งถือเป็นเป้าหมายหลักในการออกแบบแนวเส้นทางหลวง คือออกแบบให้เหมาะสมมีความปลอดภัย สะดวกสบายในการขับขี่

ก) การออกแบบโค้งโค้ง

โค้งโค้งเป็นโค้งที่ใช้เชื่อมเส้นลาดสองเส้น เพื่อให้การเคลื่อนที่ของยานพาหนะในแนวโค้งเป็นไปอย่างราบเรียบ โค้งโค้งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ โค้งโค้งคว่ำและโค้งโค้งหงาย

เนื่องจากโค้งโค้งเป็นโค้งที่เชื่อมระหว่างเส้นลาดสองเส้นที่มีความลาดไม่เท่ากัน ดังนั้นแนวของโค้งโค้งจะเป็นแนวที่มีการเปลี่ยนแปลงความลาดจากเส้นลาดเส้นหนึ่งไปยังเส้นลาดอีกเส้นหนึ่ง ถ้าจะให้แนวของโค้งโค้งช่วยให้การเคลื่อนที่เป็นไปอย่างราบเรียบ โค้งโค้งจะต้องเป็นโค้งที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความลาดคงที่ โค้งพาราโบลาเป็นโค้งที่มีคุณสมบัติดังกล่าว โค้งพาราโบลามีสมการทั่วไปดังสมการที่ 2.27

$$Y = ax^2 + bx + c \quad (2.27)$$

โค้งโค้งพาราโบลา มีคุณสมบัติที่สำคัญคือระยะในแนวโค้งจากเส้นสัมผัสโค้งไปยังโค้งพาราโบลา หรือระยะออฟเซต (Offset) จะเป็นสัดส่วนกับกำลังสองของระยะทางจากจุดสัมผัสและระยะออฟเซตที่จุดยอดของโค้งหรือระยะเอกซ์เทอร์นอล (External) สำหรับโค้งพาราโบลา สมมาตรซึ่งเท่ากับ $AL/800$ การเปลี่ยนแปลงความลาดชันจะคงที่เมื่อระยะทางในแนวราบเปลี่ยน

ไปเป็นระยะทางเท่ากัน และเท่ากับค่าแตกต่างสัมบูรณ์ของความลาดชันหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์หารด้วยความยาวโค้ง หรือ A/L ซึ่งหมายถึงระยะทางในแนวราบที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความลาดชัน 1 เปอร์เซ็นต์ หรืออัตราความโค้งแทนด้วย K ใช้ในการหาความยาวต่ำสุดของโค้งโค้งที่ความเร็วที่กำหนด ในบางกรณีจำเป็นต้องออกแบบโดยใช้โค้งพาราโบลาไม่สมมาตร เนื่องจากมีข้อจำกัดที่ระบมมองเห็น ข้อจำกัดของสภาพภูมิประเทศและข้อจำกัดอื่น ๆ

การออกแบบโค้งโค้งนอกจากจะมีวัตถุประสงค์ให้การขับขี่รถบริเวณโค้งเป็นไปอย่างราบเรียบแล้วยังต้องคำนึงถึงความปลอดภัยด้วย ข้อกำหนดเพื่อความปลอดภัยของโค้งโค้งก็คือ ต้องมีระยะมองเห็นเพียงพอในการขับขี่ภายใต้ความเร็วออกแบบ ระยะมองเห็นสำหรับการหยุดรถเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาในการออกแบบโค้ง โดยความยาวโค้งต่ำสุดต้องเหมาะสมกับระยะมองเห็นดังกล่าว การออกแบบโค้งโค้งหงาย ระยะมองเห็นไม่มีผลกระทบในช่วงกลางวัน เนื่องจากลักษณะของโค้ง มีส่วนทำให้ผู้ขับขี่สามารถมองเห็นได้ในระยะไกล แต่ในกลางคืนจะประสบปัญหา เนื่องจากมีปัจจัยเกี่ยวกับแสงไฟส่องสว่างมาเกี่ยวข้องด้วย

ข) การออกแบบโค้งโค้งคว่ำ

โค้งโค้งคว่ำ ปัจจัยสำคัญที่กำหนดระยะมองเห็นในโค้ง ได้แก่ ระดับสายตาของผู้ขับขี่ ความสูงของวัตถุ หรือสิ่งกีดขวาง และความแตกต่างสัมบูรณ์ของความลาดชันของเส้นลาดชันทั้งสองในการหาความยาวโค้งโค้งให้สอดคล้องกับระยะมองเห็น แบ่งเป็น 2 กรณี คือระยะมองเห็นสั้นกว่าความยาวโค้งโค้ง และระยะมองเห็นยาวกว่าความยาวโค้งโค้ง

สูตรเบื้องต้นในการหาความยาวโค้งโค้งคว่ำคือ

$$L = \frac{AS^2}{100(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2} \quad \text{เมื่อ } S < L \quad (2.28)$$

$$L = \frac{200(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2}{A} \quad \text{เมื่อ } S > L \quad (2.29)$$

เมื่อ	L	=	ความยาวโค้งโค้ง (เมตร)
	S	=	ระยะมองเห็น (เมตร)
	A	=	ค่าแตกต่างสัมบูรณ์ของความลาดชัน (เปอร์เซ็นต์)
	h_1	=	ความสูงของระดับสายตาเหนือผิวถนน
	h_2	=	ความสูงของวัตถุเหนือผิวถนน

โดยทั่วไปแล้วจะไม่ใช้ระยะมองเห็นเพื่อการแข่งเป็นข้อกำหนดในการออกแบบ เนื่องจากมีระยะยาวกว่าระยะมองเห็นเพื่อการหยุดรถมาก ทำให้เสียค่าก่อสร้างสูงและปฏิบัติงานก่อสร้างลำบากขึ้น ระยะมองเห็นเพื่อการแข่งอาจใช้ออกแบบถนนเมื่อความเร็วออกแบบต่ำ และมีความลาดชันต่ำ

ค) การออกแบบโค้งโค้งงาย

โค้งโค้งงาย ระยะมองเห็นในเวลากลางวันไม่เป็นปัญหาแต่ในเวลากลางคืน ระยะทางที่ผู้ขับขี่มองเห็นจะจำกัดโดยเฉพาะช่วงที่แสงไฟหน้ารถส่องถึงผิวจราจร

สูตรเบื้องต้นในการหาความยาวโค้งโค้งงายมีดังนี้

$$L = \frac{AS^2}{200(H + S \tan \beta)^2} \quad \text{เมื่อ } S > L \quad (2.30)$$

$$L = \frac{200(H + S \tan \beta)^2}{2S} \quad \text{เมื่อ } S > L \quad (2.31)$$

เมื่อ	L	=	ความยาวโค้งโค้งงาย (เมตร)
	S	=	ระยะมองเห็น (ระยะแสงไฟ) (เมตร)
	H	=	ความสูงของไฟหน้ารถจากผิวถนน
	A	=	ค่าแตกต่างสัมบูรณ์ของความลาดชัน
	β	=	มุมที่แสงไฟทำกับแนวขนานของตัวรถ (องศา)

องค์ประกอบสำคัญในการออกแบบโค้งงาย มี 4 ประการ ได้แก่ (1) ระยะมองเห็นในแสงไฟ (2) ความสะดวกสบายในการขับขี่ (3) การระบายน้ำ และ (4) ทิศนวิสัย

2.3 วิธีการศึกษาความเร็ว

ความเร็ว เป็นตัวแปรที่สำคัญที่สุดในการประเมินค่าโมดูลัสทางเรขาคณิต ดังนั้นผู้ที่ต้องการประเมินค่าโมดูลัสทางเรขาคณิตของแนวเส้นทางจำเป็นต้องเข้าใจในลักษณะการเลือกใช้ความเร็วของผู้ขับขี่ในรูปแบบที่มีลักษณะการจราจรในรูปแบบต่างๆ หรือในรูปแบบ

ทางเรขาคณิตของแนวเส้นทาง และต้องทราบถึงตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมทางเลือกใช้ความเร็วของผู้ขับขี่ด้วยเช่นกัน

เพื่อให้มีความเข้าใจได้ดียิ่งขึ้นในเรื่องลักษณะของความเร็วของยานพาหนะ ซึ่งเป็นประเด็นที่สำคัญในงานวิจัยนี้ ดังนั้นในการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำวิจัยในครั้งนี้ จึงพิจารณางานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยแยกเป็นหัวข้อที่ให้ความสนใจคือ (1) ชนิดของความเร็ว (2) วิธีการวัดค่าความเร็ว และ (3) ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความเร็ว

2.3.1 ชนิดของความเร็ว

คำจำกัดความของความเร็วของยานพาหนะ คือ อัตราการเคลื่อนที่ของการจราจร หรือการระบุส่วนประกอบของการจราจรโดยแสดงหน่วยเป็น ระยะทาง ต่อ เวลา จากคำจำกัดความที่กล่าวมาข้างต้นสามารถแบ่งการวัดความเร็ว ได้เป็น 2 แบบ คือ

ก) ความเร็วเฉลี่ยตามเวลา (Time – Mean Speed) หรือ ความเร็วที่จุด

เป็นการวิเคราะห์ความเร็วของรถยนต์บนถนนตรงสถานที่ที่ระบุไว้ ความเร็วเฉลี่ยตามเวลา จะนำมาคำนวณเหมือนกับค่าเฉลี่ยของความเร็วที่จุด ที่ได้จากการสำรวจตามสถานที่ต่างๆ โดยมีสูตรดังนี้

$$\text{Time – Mean Speed} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i / n_i}{1}$$

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ } S_i &= \text{ความเร็วที่จุดของรถแต่ละคันที่ขับผ่านไป} \\ n_i &= \text{จำนวนรถทั้งหมดที่ทำการสำรวจ} \end{aligned}$$

ข) ความเร็วเฉลี่ยตามสถานที่ (Space – Mean Speed or Travel Speed)

การประเมินความเร็วอีกแบบหนึ่งคือ จะเป็นการคำนวณระยะทางที่ระบุในการเดินทางหารด้วยค่าเฉลี่ยของเวลาในหลายๆ เที้ยวในเส้นทางมีสูตรดังนี้

$$\text{Space – Mean Speed} = \frac{d_n / \sum_{i=1}^n t_i}{1}$$

โดยที่	d	=	ระยะทางที่เดินทาง
	n	=	จำนวนเที่ยวของการเดินทาง
	t_i	=	ระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละเที่ยว

จากข้างต้นจะเห็นว่าถ้าพิจารณาความเร็วของรถยนต์ที่วิ่งบนทางหลวงนั้น ความเร็วเฉลี่ยตามเวลา จะมีความสำคัญกว่าความเร็วเฉลี่ยตามสถานที่ เพราะช่วงเวลาที่เดินทางรวม จะรวมเวลาที่รถหยุด และเวลาที่ล่าช้าซึ่งอาจจะพอๆ กับรถวิ่งก็ได้ ซึ่งความเร็วเฉลี่ยตามสถานที่อาจจะมีค่าใกล้เคียงกับความเร็วเฉลี่ยตามเวลาก็ได้ ถ้าเวลาที่รถหยุดและเวลาที่ล่าช้ามีค่าน้อยจนเข้าใกล้ศูนย์ แต่ค่าความเร็วเฉลี่ยตามสถานที่หลายๆ ค่า จะสามารถบอกถึงความหนาแน่นของปริมาณยานพาหนะบนทางหลวง แต่จะมีความสัมพันธ์เพียงแค่อำนาจยานพาหนะที่วิ่งผ่านตรงจุดที่มีการสำรวจบนถนนเท่านั้น

2.3.2 วิธีการวัดค่าความเร็ว

ก) วิธีการสำรวจความเร็ว

รายละเอียดในการสำรวจความเร็วที่จุด เช่น ตำแหน่ง และเวลาของการสำรวจ ชนิดของยานพาหนะที่สำรวจ ขนาดกลุ่มตัวอย่าง และเทคนิคต่างๆ และรายละเอียดในการจัดการต่างเป็นหัวข้อจุดประสงค์ของการสำรวจและการออกแบบอัตราความเร็ว โดยใช้วิธีการทางสถิติ อย่างไรก็ตามจุดประสงค์พื้นฐานของการศึกษาความเร็วที่จุดนั้น ก็เพื่อประเมินความเร็วที่จุดของรถยนต์ที่วิ่งผ่านจุดที่สำรวจความเร็วที่จุดภายใต้สภาวะปกติ ในช่วงเวลาที่สำรวจ

เทคนิคพื้นฐาน ที่นำมาใช้วัดความเร็วที่จุดของรถยนต์ตามจุดต่างๆ จะใช้ปืนวัดความเร็ว (Radar Gun) เป็นเครื่องวัดความเร็วที่จุดเนื่องจากข้อมูลที่ได้จากปืนวัดความเร็วมีข้อดีดังนี้ (Oppenlander and Dawson, 1962)

- เป็นเครื่องมือที่มีความแม่นยำในการวัดความเร็วที่จุด
- ง่ายสำหรับพกพาและจัดการโดยคนคนเดียว
- ง่ายต่อการปิดบังเนื่องจากสามารถนำไปเก็บไว้ตามท่อหรือถนน หรือตามอุปกรณ์จราจรต่างๆ เพื่อมิให้เป็นที่ยกย่องของผู้ขับขี่
- สามารถอ่านค่าความเร็วของรถยนต์แต่ละคันได้อย่างง่าย

แต่ปืนวัดความเร็วก็ยังมีข้อจำกัดในด้านอื่นๆ ดังนี้

- ต้องระวังในเรื่องการวางตำแหน่ง เครื่องรับส่ง เช่น มุมปะทะกับรถยนต์ เพื่อมิให้ข้อมูลมีความคลาดเคลื่อน

- อาจจะมีเครื่องก่อควันภายนอกที่จะทำให้เกิดอัตราความเร็วที่ผิดพลาดจากการกระตุ้นอุปกรณ์ด้วยพลังไฟ
- ยากที่จะแยกลักษณะของยานพาหนะ ในขณะที่มียานพาหนะจำนวนมากวิ่งผ่านมาเป็นกลุ่มใหญ่

จากข้อมูลข้างต้นถึงแม้ว่าเป็นวัดความเร็วจะมีข้อจำกัดอยู่บ้างแต่ก็ถือว่าเป็นอุปกรณ์ที่มีความสะดวก และง่ายต่อการใช้งาน ดังนั้นจึงถูกนำมาใช้ในงานด้านการจราจร และข้อบังคับกฎหมาย อีกทั้งยังนำมาใช้ในงานวิจัยเกี่ยวกับการวัดความเร็วอีกด้วย

ข) วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

การเก็บข้อมูลในการศึกษาความเร็วที่จุดทำให้รู้ค่าความเร็วที่สามารถอธิบายอัตราการเคลื่อนที่ของการจราจรภายใต้เงื่อนไขที่ปรากฏในช่วงเวลาที่สำรวจ ตามผลที่ได้มีการศึกษาอธิบายว่าค่าความถี่ของข้อมูลความเร็วที่จุดจะมีการกระจายแบบโค้งปกติ และผู้วิจัยหลายท่านก็นำวิธีการทางสถิติมาทดสอบหาค่าการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) ของข้อมูลความเร็วที่จุด ค่า ไคสแควร์ (Chi Square) โมเมนต์ทดสอบ (Moment Test) และค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ (Percentile) ในการทดสอบข้อมูลแบบมีการกระจายแบบปกติ และจากการทดสอบพบว่าข้อมูลความเร็วที่จุดมีนัยสำคัญสอดคล้องกับการกระจายแบบปกติ ซึ่งก็สามารถสรุปได้ว่าในข้อมูลของความเร็วที่จุดที่ได้จากการสุ่มวัดความเร็วของยานพาหนะ มีการกระจายแบบปกติ ดังนั้น ข้อมูลความเร็วที่จุดจึงแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

- มีความโน้มเอียงเข้าสู่จุดศูนย์กลาง ดังนั้น ค่าที่อธิบายใช้แทนด้วยค่าเฉลี่ย
- ค่าความเปลี่ยนแปลงของความเร็วที่จุด สามารถวัดโดยใช้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)
- รูปร่างของกราฟการกระจายของข้อมูลเป็นการกระจายในรูปร่างของโค้งแบบปกติ

2.3.3 ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความเร็ว

ในงานวิจัยที่ได้ศึกษาถึงตัวแปรที่มีผลกระทบต่อความเร็วที่จุด ได้ให้ความสนใจไปที่ลักษณะการไหลของการจราจร เป็นประเด็นสำคัญ อีกทั้งยังแบ่งปัจจัยที่มีผลต่อความเร็วที่จุดออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ ผู้ขับขี่ ยานพาหนะ ถนน การจราจร และสภาพแวดล้อม

ก) ผู้ขับขี่

สมรรถภาพของผู้ขับขี่แต่ละคนมีความแปรปรวนต่างกันมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ อายุ ประสบการณ์ ความชำนาญ ความแข็งแรงของร่างกาย เช่น การดื่มของมึนเมา การกินยาเสพติด หรือการขับรถเป็นเวลานานๆ ติดต่อกันหลายชั่วโมง การเรียนรู้ถึงขีดความสามารถและปฏิกิริยาต่างๆ ของผู้ขับขี่จะช่วยให้สามารถออกแบบ และจัดการจราจรได้ตรงกับขีดความสามารถและอุปนิสัยของผู้ขับขี่ได้

ข) ยานพาหนะ

ผลกระทบของยานพาหนะต่อความเร็วที่จุด เช่น ชนิดของยานพาหนะ จำนวน และอายุการใช้งานของยานพาหนะ

ค) ถนน

จากการศึกษาการเลือกใช้ความเร็วในการขับขี่ของผู้ขับขี่ พบว่า ผู้ขับขี่จะเลือกใช้ความเร็วในการขับขี่ที่ผู้ขับขี่คิดว่าปลอดภัยเป็นประเด็นสำคัญ ผลกระทบของถนนที่มีต่อความเร็วที่จุดของยานพาหนะได้แก่ลักษณะทางเรขาคณิตของถนนเอง เช่น ความลาดชัน ความยาวของความลาดชัน รัศมีความโค้ง จำนวนช่องจราจร ระยะทางที่มองเห็น เป็นต้น

ง) การจราจร

ความเร็วของยานพาหนะจะถูกควบคุมด้วยลักษณะการเคลื่อนที่ของการจราจร โดยใช้เครื่องมือ และเทคนิคที่ออกแบบเพื่อให้การจราจรไม่ติดขัด ซึ่งลักษณะการจราจรเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลกระทบต่อความเร็วที่จุด โดยในการวิจัยต้องพิจารณาผลกระทบของการไหลของการจราจร และการควบคุมการจราจรเป็นประเด็นสำคัญ

จ) สภาพแวดล้อม

ตัวแปรทางด้านสภาพแวดล้อมเป็นตัวแปรที่ไม่ได้ขึ้นอยู่กับผู้ขับขี่ยานพาหนะ ลักษณะของถนน และการจราจร แต่ตัวแปรสภาพแวดล้อมจะเกิดขึ้นในสภาวะการณ์ในขณะนั้นเท่านั้น และตัวแปรนี้ในการวิจัยความเร็วที่จุด ผู้วิจัยส่วนใหญ่ยังไม่ค่อยให้ความสำคัญมากนัก เนื่องจากเป็นตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ และไม่สามารถวัดค่าออกมาในเชิงปริมาณได้