

บทที่ 5

การพัฒนาแบบจำลองความเร็วและโมดูลัสทางเรขาคณิต

ในบทนี้จะเป็นการสร้างแบบจำลองโมดูลัสทางเรขาคณิต บนพื้นฐานข้อมูลที่ได้จากการสำรวจข้อมูลจำนวน 502 พื้นที่ ในแนวเส้นทางรูปแบบต่างๆ ในสภาพภูมิประเทศพื้นที่ราบ และพื้นที่เนินเขา โดยนำข้อมูลทั้ง 502 พื้นที่มาพิจารณาสร้างแบบจำลองโมดูลัสทางเรขาคณิต ที่มีตัวแปรคือ ความเร็วเฉลี่ย และความเร็วที่เปลี่ยนแปลงของผู้ขับขี่ที่ได้ขับขี่ยานพาหนะไปบนแนวเส้นทางที่มีรูปแบบ และสภาพภูมิประเทศต่างๆ

ในการสร้างแบบจำลองโมดูลัสทางเรขาคณิตจำเป็นต้องทราบถึงพฤติกรรมในการเลือกใช้ความเร็วยานพาหนะบนแนวเส้นทางที่มีลักษณะทางเรขาคณิตรูปแบบต่างๆ กัน เพื่อนำพฤติกรรมในการเลือกใช้ความเร็วของผู้ขับขี่ ไปสร้างแบบจำลองโมดูลัสทางเรขาคณิตโดยใช้ตัวแปรลักษณะทางเรขาคณิตเป็นตัวแปรที่ใช้ประเมินค่าโมดูลัสทางเรขาคณิต เพื่อนำแบบจำลองโมดูลัสทางเรขาคณิตที่ได้ไปใช้ประเมินการออกแบบทางเรขาคณิตของแนวเส้นทางได้ และจะเป็นการประเมินหาความเหมาะสมทางวิศวกรรมของแนวเส้นทางได้เช่นกัน

5.1 วิธีการพัฒนาแบบจำลอง

5.1.1 โครงสร้างแบบจำลอง

แบบจำลองโมดูลัสทางเรขาคณิตเป็นแบบจำลองที่ใช้ประเมินลักษณะทางเรขาคณิตของแนวเส้นทาง โดยพิจารณาจากความเร็วเฉลี่ย และความเร็วที่เปลี่ยนแปลงของผู้ขับขี่ เมื่อได้ขับขี่ยานพาหนะไปบนแนวเส้นทางที่มีลักษณะทางเรขาคณิตที่แตกต่างกันไป โดยมีรูปแบบการประเมินค่าโมดูลัสทางเรขาคณิตจากความเร็วเฉลี่ย และความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไป ดังนี้

$$F_0 = \ln(4v_0 - 2\Delta v) - \ln \Delta v \quad (5.1)$$

โดยที่ F_0 = ค่าโมดูลัสทางเรขาคณิต

$$\Delta v = |v_0 - v_1|$$

v_0 = ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะก่อนวิ่งเข้าสู่ช่วงที่พิจารณา
 v_1 = ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในช่วงที่พิจารณา

โดยแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยในแต่ละสภาพภูมิประเทศจะมีรูปแบบดังนี้

$$v = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad (5.2)$$

เมื่อ v = ความเร็วเฉลี่ยยานพาหนะเมื่อวิ่งบนแนวเส้นทางที่มีลักษณะทางเรขาคณิตรูปแบบต่างๆ

X_n = ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความเร็วยานพาหนะ

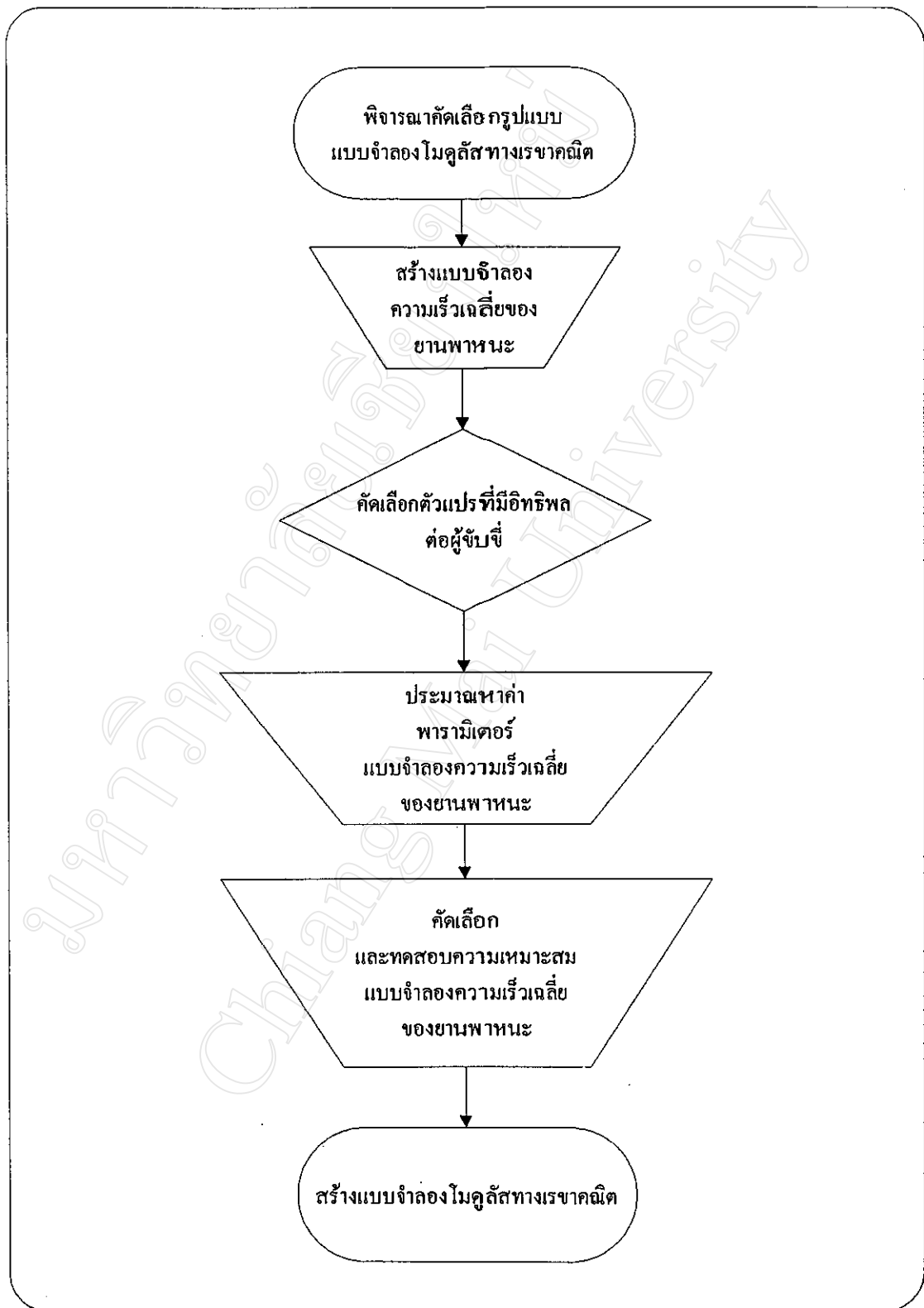
ตัวแปรที่จะนำมาพิจารณาใช้ในแบบจำลองโมดูลัสทางเรขาคณิตจะเป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับความเร็วยานพาหนะโดยพิจารณาจากค่าสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน ซึ่งจะเป็นเฉพาะตัวแปรทางเรขาคณิตของแนวเส้นทางเท่านั้น

5.1.2 ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลอง

ขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนพัฒนาแบบจำลองโมดูลัสทางเรขาคณิต โดยมีขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองดังแสดงในรูป 5.1 ดังนี้

- พิจารณาคัดเลือกรูปแบบแบบจำลองโมดูลัสทางเรขาคณิต

ขั้นตอนการพิจารณาคัดเลือกรูปแบบของแบบจำลองโมดูลัสทางเรขาคณิตจะเป็นการพิจารณารูปแบบของแนวเส้นทาง และลักษณะภูมิประเทศที่จะนำแบบจำลองโมดูลัสทางเรขาคณิตไปใช้ประเมินลักษณะทางเรขาคณิตของแนวเส้นทาง เพื่อที่จะได้กำหนดรูปแบบของแบบจำลองโมดูลัสทางเรขาคณิตให้เหมาะสมกับรูปแบบของแนวเส้นทาง และลักษณะภูมิประเทศที่จะนำแบบจำลองโมดูลัสทางเรขาคณิตไปใช้ประเมินลักษณะทางเรขาคณิตของแนวเส้นทาง



รูป 5.1 แสดงขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลอง

- สร้างแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยจะสร้างแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยให้สอดคล้องกับรูปแบบของแบบจำลองโมดูลีทางเรขาคณิตเพื่อนำแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยที่สร้าง ไปประยุกต์ใช้กับแบบจำลองโมดูลีทางเรขาคณิต

- คัดเลือกตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อผู้ขับขี่

เมื่อได้รูปแบบของแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแล้ว จะคัดเลือกตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการขับขี่ยานพาหนะ โดยพิจารณาจากค่าสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน แล้วนำตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับ พฤติกรรมการเลือกใช้ความเร็วยานพาหนะของผู้ขับขี่มาพิจารณาสร้างแบบจำลองความเร็วเฉลี่ย

- ประมาณค่าพารามิเตอร์แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ

เมื่อได้ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการเลือกใช้ความเร็วของผู้ขับขี่แล้ว จะนำตัวแปรที่ได้มาหาค่าพารามิเตอร์แบบจำลองความเร็วเฉลี่ย เพื่อสร้างแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะที่ได้รับอิทธิพลจากตัวแปรลักษณะทางเรขาคณิตของแนวเส้นทาง

- คัดเลือก และทดสอบความเหมาะสมแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ

เมื่อได้แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะแล้ว จะคัดเลือกแบบจำลองความเร็วเฉลี่ย และตรวจสอบแบบจำลอง เพื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมที่จะนำแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะไปประยุกต์ใช้ในแบบจำลองโมดูลีทางเรขาคณิต

- สร้างแบบจำลองโมดูลีทางเรขาคณิต

เมื่อได้ตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะแล้ว จะนำแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยที่ได้นั้นมาสร้างเป็นแบบจำลองโมดูลีทางเรขาคณิตตามรูปแบบที่ได้คัดเลือกไว้ในช่วงต้น เพื่อนำแบบจำลองโมดูลีทางเรขาคณิตไปประยุกต์ใช้ประเมินลักษณะทางเรขาคณิตของแนวเส้นทาง

5.1.3 ข้อมูลนำเข้า และผลลัพธ์ที่ต้องการ

ในการสร้างแบบจำลองโมดูลีตทางเรขาคณิต จะพิจารณาจากข้อมูลที่ได้ทั้งหมดจำนวน 502 พื้นที่ ทั้งในแนวทางตรง และทางโค้ง ในสภาพภูมิประเทศพื้นที่ราบ และพื้นที่เนินเขา โดยข้อมูลที่จะนำมาสร้างแบบจำลองโมดูลีตทางเรขาคณิต ได้แก่ ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะของสายของโค้งราบ ความลาดชัน ความกว้างของช่องจราจร ความกว้างของไหล่ทาง ปริมาตรรถบรรทุกในกระแสระจราจร และปริมาณจราจรรายชั่วโมง เป็นต้น

จากข้อมูลทั้งหมดในแต่ละรูปแบบ และสภาพภูมิประเทศ จะพิจารณาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความเร็วยานพาหนะ ไปสร้างแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ เพื่อจะได้ทราบถึงพฤติกรรมการเลือกใช้ความเร็วยานพาหนะของผู้ขับขี่บนแนวเส้นทางที่มีลักษณะทางเรขาคณิต และสภาพภูมิประเทศในรูปแบบต่างๆ และเมื่อได้แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในรูปแบบต่างๆ แล้ว จะนำแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยไปสร้างแบบจำลองโมดูลีตทางเรขาคณิต เพื่อนำไปประเมินลักษณะทางเรขาคณิตของแนวเส้นทางที่มีรูปแบบและสภาพภูมิประเทศต่างๆ กัน

5.2 การพัฒนาแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยยานพาหนะในแนวเส้นทาง

5.2.1 ลักษณะของแบบจำลอง

ก) การเลือกรูปแบบสมการของแบบจำลอง

สมการที่จะใช้ในการสร้างแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะจะเป็นสมการในรูปแบบสมการเชิงเส้น (Multiple Linear Regression) เนื่องจากในงานวิจัยที่พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วยานพาหนะกับตัวแปรลักษณะทางเรขาคณิตของแนวเส้นทาง ได้ให้ข้อเสนอแนะว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วยานพาหนะ กับลักษณะทางเรขาคณิต จะมีความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการเชิงเส้น ดังนั้นจึงเลือกรูปแบบสมการเชิงเส้นเป็นรูปแบบของสมการที่ใช้สร้างแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ กับตัวแปรลักษณะทางเรขาคณิตของแนวเส้นทาง

ข) การเลือกตัวแปรของแบบจำลอง

จากการพิจารณาค่าสหสัมพันธ์ของเพียร์สันในหัวข้อ 4.5.3 นั้นพบว่า ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับความเร็วยานพาหนะ ได้แก่ ตัวแปรลักษณะทางเรขาคณิตของแนวเส้นทางเท่านั้น

ดังนั้นในการพิจารณาในการสร้างแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในแนวทางโค้งพื้นที่ราบ จะคัดเลือกตัวแปรองศาของโค้งราบ และความลาดชัน เนื่องจากเมื่อ

พิจารณาจากค่าสหสัมพันธ์ของเพียร์สันแล้วพบว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กับความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะบนแนวทางโค้งลักษณะภูมิประเทศพื้นที่ราบ

ส่วนในแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในแนวทางโค้งพื้นที่เนินเขา นั้นเมื่อพิจารณาจากค่าสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน พบว่า ตัวแปรที่มีผลต่อความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ ได้แก่ องศาของโค้งราบ และ ความกว้างของช่องจราจร ดังนั้นในการสร้างแบบจำลองหาความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในแนวทางโค้งพื้นที่เนินเขา จะนำตัวแปรลักษณะทางเรขาคณิต 2 ตัวแปรนี้ไปพิจารณาสร้างแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ

ค) จำนวนแบบจำลอง

เนื่องจากการเก็บข้อมูลความเร็วยานพาหนะบนแนวเส้นทางต่างๆ จะแยกการเก็บข้อมูลตามลักษณะของแนวเส้นทางและลักษณะภูมิประเทศของแนวเส้นทาง ดังนั้นในการสร้างแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะจะแบ่งประเภทของแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

- แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในแนวทางตรงพื้นที่ราบ
- แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในแนวทางตรงพื้นที่เนินเขา
- แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในแนวทางโค้งพื้นที่ราบ
- แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในแนวทางโค้งพื้นที่เนินเขา

5.2.2 ข้อมูลที่ใช้สร้างแบบจำลอง

ก) ข้อมูลความเร็วเฉลี่ย

เมื่อแบ่งประเภทของแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยออกเป็น 4 ประเภทแล้ว นำข้อมูลความเร็วเฉลี่ยในทั้ง 4 ประเภทมาสร้างเป็นแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ และเมื่อได้แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในแต่ละประเภทแล้ว จะนำแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยที่ได้ในแต่ละประเภทไปตรวจสอบว่า สามารถใช้งานได้มีความแม่นยำมากเพียงใด โดยตรวจสอบกับข้อมูลความเร็วที่ได้เก็บแยกต่างหากในแต่ละพื้นที่ โดยจำนวนข้อมูลความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะที่ใช้สร้างแบบจำลอง และใช้ตรวจสอบแบบจำลองในแต่ละประเภทแสดงในตาราง 5.1

ข) ข้อมูลตัวแปรทางเรขาคณิต

จากการพิจารณาค่าสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน พบว่า จะมีแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ เพียง 2 ประเภทเท่านั้นที่ตัวแปรลักษณะทางเรขาคณิตมีความสัมพันธ์กับความเร็ว

เฉลี่ยของยานพาหนะ คือ แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยในแนวทางโค้งพื้นที่ราบ จะมืองสาของโค้งราบ และความลาดชัน เท่านั้นที่มีความสัมพันธ์ ส่วนความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในแนวทางโค้งพื้นที่เนินเขา จะมืองสาของโค้งราบ และความกว้างของช่องจราจร ที่มีความสัมพันธ์กับความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ

ตาราง 5.1 แสดงจำนวนข้อมูลความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะที่นำมาสร้างเป็นแบบจำลอง และนำมาใช้ตรวจสอบแบบจำลอง

ประเภทของแบบจำลอง	จำนวนข้อมูลความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ	
	ข้อมูลที่ใช้สร้างแบบจำลอง	ข้อมูลที่ใช้ตรวจสอบแบบจำลอง
แนวทางตรงพื้นที่ราบ	124	30
แนวทางตรงพื้นที่เนินเขา	124	30
แนวทางโค้งพื้นที่ราบ	126	30
แนวทางโค้งพื้นที่เนินเขา	128	30
รวมทั้งหมด	502	120

จะเห็นว่าตัวแปรลักษณะทางเรขาคณิต จะมีความสัมพันธ์กับความเร็วเฉลี่ยของผู้ขับขี่ในแนวทางโค้งเท่านั้น ส่วนในแนวทางตรง ไม่มีตัวแปรใดเลยที่มีความสัมพันธ์กับความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ ดังนั้นในการสร้างแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในแนวทางตรง จะเลือกใช้ความเร็วเฉลี่ยที่ได้ในแต่ละพื้นที่ เป็นตัวแทนความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ เพื่อนำไปพิจารณาใช้หาค่าความเร็วเฉลี่ยที่ผู้ขับขี่เลือกใช้ในแนวทางตรงทั้งพื้นที่ราบ และพื้นที่เนินเขา และนำไปใช้ในการประเมินหาค่าโมดูลัสทางเรขาคณิตอีกต่อไป

ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในแนวทางโค้งนั้น จะเห็นว่า องศาของโค้งราบจะมีความสัมพันธ์กับความเร็วเฉลี่ยในการขับขี่ในแนวทางโค้งในทั้ง 2 สภาพภูมิประเทศ

ตัวแปรความลาดชันที่มีความสัมพันธ์กับความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในแนวทางโค้งพื้นที่ราบนั้น ในแนวทางราบนั้น จะมีค่าไม่เกิน 3.00 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาในเรื่องสมรรถภาพของยานพาหนะในปัจจุบันนั้น ความลาดชันเพียงเล็กน้อย ไม่มีผลต่อยานพาหนะ

เนื่องจากผู้ขับขี่สามารถขับขี่ยานพาหนะให้ได้ตามความต้องการได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความลาดชันเพียงเล็กน้อย

ตัวแปรความกว้างของช่องจราจร และไหล่ทางที่มีความสัมพันธ์กับความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ ความกว้างของช่องจราจรในช่วงที่เก็บข้อมูล อยู่ในช่วงระหว่าง 3.00 – 3.50 เมตร และความกว้างของไหล่ทาง อยู่ในช่วงระหว่าง 1.00 – 2.50 เมตร เมื่อพิจารณาลักษณะของแนวเส้นทาง จะพบว่าความกว้างของช่องจราจร และความกว้างของไหล่ทางในช่วงที่สำรวจข้อมูลนั้น จะมีความกว้างที่คงที่ตลอดของช่วงที่เก็บข้อมูล ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความกว้างในช่วงที่สำรวจข้อมูลเลย ดังนั้นความกว้างของช่องจราจร และไหล่ทางจึงไม่มีอิทธิพลต่อการขับขี่ยานพาหนะ

จากการพิจารณาตัวแปรลักษณะทางเรขาคณิตในข้างต้นนั้น ตัวแปรที่จะนำมาพิจารณาสร้างแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยในแนวทางโค้งทั้งสองลักษณะสภาพภูมิประเทศนั้น ได้แก่ ตัวแปรองศาของโค้งราบ เพียงตัวเดียวเท่านั้น เนื่องจากองศาของโค้งราบ เป็นค่าที่ผู้ออกแบบเลือกใช้เพื่อกำหนดครีสมิของโค้งราบ ดังนั้น องศาของโค้งราบจึงมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมในการเลือกใช้ความเร็วในการขับขี่

5.2.3 การประมาณหาค่าพารามิเตอร์ และคัดเลือกแบบจำลอง

ก) วิธีการประมาณหาค่าพารามิเตอร์

จากที่กล่าวมาแล้วว่าการพิจารณาสร้างแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะนั้น จะมีเพียง 2 แบบจำลองที่สร้างขึ้นมาได้แก่แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในแนวทางโค้ง ในสภาพพื้นที่ราบ และในสภาพพื้นที่เนินเขา โดยแบบจำลองทั้งสอง จะมีตัวแปรองศาของโค้งราบเป็นตัวแปรที่จะนำมาใช้ทำนายค่าความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในแนวทางโค้งทั้ง 2 สภาพภูมิประเทศ

ในแนวทางตรงทั้งสภาพภูมิประเทศพื้นที่ราบ และพื้นที่เนินเขา จะใช้ค่าความเร็วเฉลี่ยที่ได้ในแต่ละสภาพพื้นที่เป็นตัวแทนของแบบจำลองความเร็วในแนวทางตรงทั้งสองสภาพพื้นที่

การประมาณหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในแนวทางโค้งสภาพพื้นที่ราบ ได้ดังตาราง 5.2 และในทางโค้งพื้นที่เนินเขาแสดงในตาราง 5.3

ตาราง 5.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยในแนวทางโค้งพื้นที่ราบ

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	109.217	3.543		24.980	0.000
องศาของโค้งราบ	-0.324	0.091	-0.231	-2.641	0.009

ตาราง 5.3 แสดงค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยในแนวทางโค้งพื้นที่เนินเขา

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	105.603	5.190		22.112	0.000
องศาของโค้งราบ	-0.402	.126	-0.319	-3.775	0.000

ข) วิธีการทดสอบทางสถิติ

การทดสอบทางสถิตินี้จะเป็นการทดสอบสมการความถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกแบบทางเดียวโดยมีวิธีการดังนี้

จากสมการความถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + e \quad (5.2)$$

ค่าแปรปรวนของ Y = ค่าแปรปรวนที่เกิดจากอิทธิพลของ $X_1, X_2, X_3, \dots, X_k$ + ค่าแปรปรวนอย่างสุ่ม หรือ

$$SST = SSR + SSE$$

โดยที่ SST (Sum Square of Total) คือ ค่าแปรปรวนทั้งหมดของ Y

$$SST = \sum_{j=1}^n (Y_j - \bar{y})^2 \quad (5.3)$$

SSR (Sum Square of Regression) คือ ค่าแปรปรวนของ Y เนื่องจากอิทธิพลของ $X_1, X_2, X_3, \dots, X_k$

SSE (Sum Square of Error or Sum Square of Residual) คือ ค่าแปรปรวนของ Y เนื่องจากอิทธิพลอื่นๆ หรือเรียกว่า ค่าแปรปรวนอย่างสุ่ม

ตาราง 5.4 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ

แหล่งแปรปรวน (SV)	ค่าคงที่อิสระ (DF)	ผลบวกกำลังสอง (SS)	ผลบวกกำลังสองเฉลี่ย (MS)	F
ความถดถอย (Regression)	k	SSR	$MSR = SSR/k$	$\frac{MSR}{MSE}$
ความคลาดเคลื่อน (Error)	n-k-1	SSE	$MSE = SSE/(n-k-1)$	MSE
ผลรวม (Total)	n - 1	SST		

จากตาราง 5.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจะใช้ทดสอบสมมุติฐานเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่าง Y และ $X_1, X_2, X_3, \dots, X_k$ โดยตั้งสมมุติฐานไว้ดังนี้

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_k = 0$$

$$H_1 : \text{มี } \beta_j \text{ อย่างน้อย 1 ค่าที่ } \neq 0 ; j = 1, 2, 3, \dots, k$$

$$\text{สถิติทดสอบ } F = \frac{MSR}{MSE}$$

เขตปฏิเสธสมมุติฐาน H_0 ถ้า $F > F_{k, n-k-1; 1-\alpha}$ หรือ Significance ของสถิติทดสอบ $F < \alpha$ ผลการทดสอบสมมุติฐานอาจจะเป็น

- ขอมรับสมมุติฐาน $H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_k = 0$ ซึ่งสรุปได้ว่า Y ไม่มีความสัมพันธ์กับ X ทั้ง k ตัว ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_k$) ในรูปเชิงเส้น

- ปฏิเสธสมมติฐาน H_0 หรือยอมรับ H_1 ซึ่งสรุปได้ว่ามี X_j อย่างน้อย 1 ตัว ที่มีความสัมพันธ์กับ Y ในรูปเชิงเส้น

ด้วยการตรวจสอบทางสถิติดังที่กล่าวมาข้างต้น จึงนำแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยที่ได้ทั้งสองแบบจำลองมาทดสอบค่า F ซึ่งถ้าการทดสอบค่า F แล้วพบว่า ค่า F ที่ได้มีมากกว่าค่า $F_{k,n-k-1;1-\alpha}$ นั้นแสดงว่า ความสัมพันธ์ขององศาของโค้งราบกับความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะมีความสัมพันธ์กันจริง

การตรวจสอบค่า F ของแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในแนวทางโค้งพื้นที่ราบ ดังแสดงในตาราง 5.5 และการตรวจสอบค่า F ของแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของผู้ขับขีในแนวทางโค้งพื้นที่ราบ ดังแสดงในตาราง 5.6

ตาราง 5.5 แสดงการตรวจสอบค่า F ของแบบจำลองความเร็วในแนวทางโค้งพื้นที่ราบ

แหล่งแปรปรวน	ค่าคงที่อิสระ (df)	ผลบวกกำลังสอง (Sum Square)	ผลบวกกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square)	F
ความถดถอย (Regression)	1	6.371	6.371	6.976
ความคลาดเคลื่อน (Error)	124	113.243	0.913	
ผลรวม (Total)	125	119.614		

หมายเหตุ ค่า $F_{1,124;0.95}$ เท่ากับ 3.840

ตาราง 5.6 แสดงการตรวจสอบค่า F ของแบบจำลองความเร็วในแนวทางโค้งพื้นที่เนินเขา

แหล่งแปรปรวน	ค่าคงที่อิสระ (df)	ผลบวกกำลังสอง (Sum Square)	ผลบวกกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square)	F
ความถดถอย (Regression)	1	106.195	106.195	14.250
ความคลาดเคลื่อน (Error)	126	938.957	7.452	
ผลรวม (Total)	127	1,045.152		

หมายเหตุ ค่า $F_{1,126;0.95}$ เท่ากับ 3.840

จากการตรวจสอบหาค่า F ของแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยในแนวทางโค้ง ทั้งสองสภาพพื้นที่พบว่า ค่า F ที่ได้ มีค่ามากกว่าค่า $F_{k,n-k-1;1-\alpha}$ นั้นแสดงว่าตัวแปรองศาของโค้งราบ มีความสัมพันธ์กับความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะจริง

ค) วิธีการคัดเลือกแบบจำลอง

ในการพิจารณาสร้างแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะนั้น ได้คัดเลือกตัวแปรที่จะนำมาสร้างแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ โดยดูจากค่าสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน และความสมเหตุสมผลในการอธิบายได้ในเชิงวิศวกรรม จากนั้นจึงทำการตรวจสอบแบบจำลองโดยวิธีการทางสถิติ ได้ให้แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในแนวทางโค้ง 2 สภาพภูมิประเทศ ส่วนในแนวทางตรง ได้เลือกใช้ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะที่ได้มาจากข้อมูล 124 พื้นที่ ในแต่ละสภาพพื้นที่ จากกระบวนการดังกล่าวทำให้ได้แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยทั้ง 4 ประเภทดังนี้

- แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในแนวทางตรงพื้นที่ราบ

$$V = 107.626 \quad (5.4)$$

- แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในแนวทางตรงพื้นที่เนินเขา

$$V = 103.755 \quad (5.5)$$

- แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในแนวทางโค้งพื้นที่ราบ

$$V = 109.217 - 0.324D \quad (R^2 = 0.627) \quad (5.6)$$

- แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในแนวทางโค้งพื้นที่เนินเขา

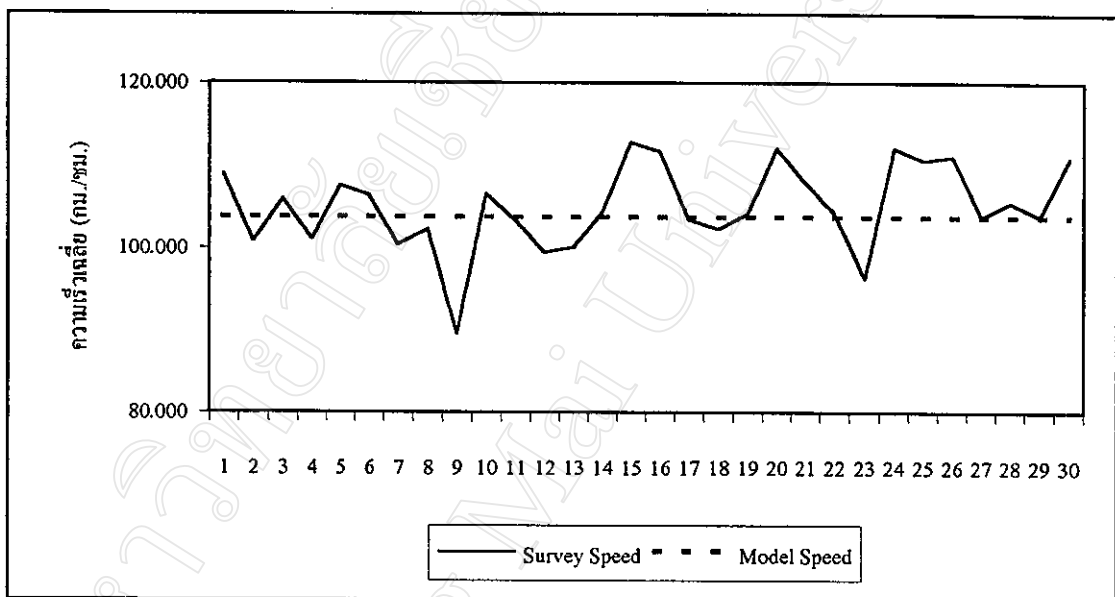
$$V = 105.603 - 0.402D \quad (R^2 = 0.674) \quad (5.7)$$

โดยที่ V = ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ (กม./ชม.)
 D = องศาของโค้งราบ (องศา)

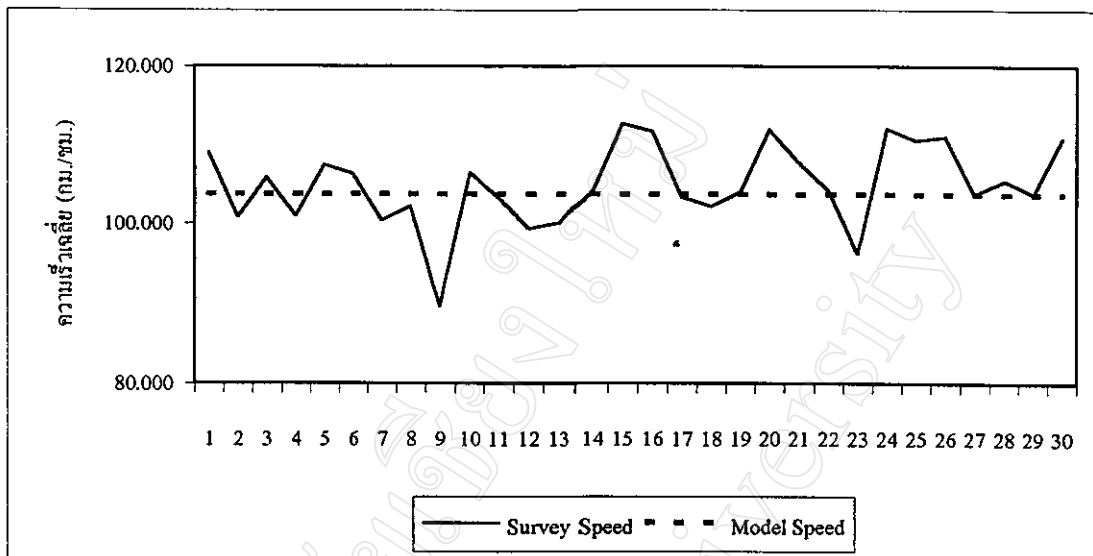
5.2.4 การทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลองความเร็ว

ก) วิธีการและข้อมูลที่ใช้ทดสอบแบบจำลอง

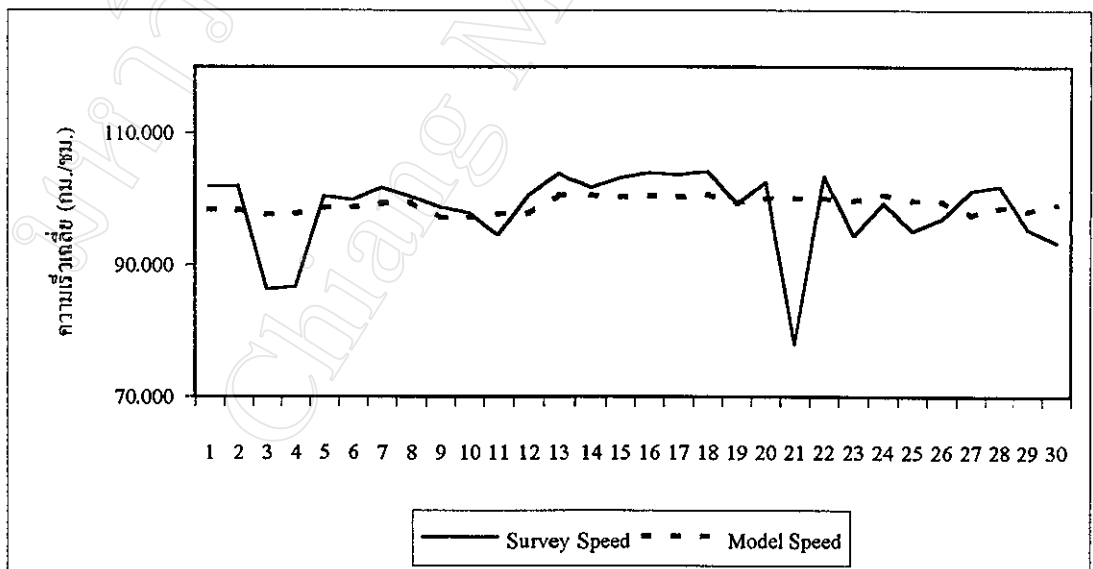
เมื่อได้แบบจำลองความเร็วที่ผู้ขับขี่เลือกใช้รูปสมการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุในพื้นที่ทั้ง 4 ประเภทแล้ว จากนั้นนำมาเขียนกราฟเปรียบเทียบข้อมูลความเร็วเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองความเร็ว และความเร็วที่ได้จากการสำรวจในแต่ละประเภท ดังแสดงในรูป 5.2 – รูป 5.5



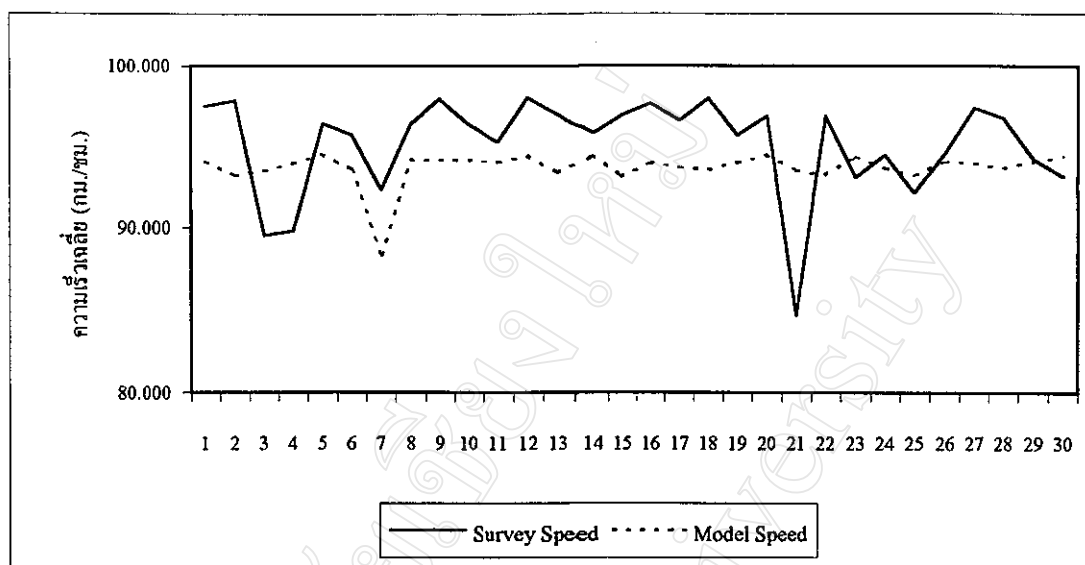
รูป 5.2 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลความเร็วที่ได้จากแบบจำลอง และความเร็วที่ได้จากการสำรวจ แนวทางตรงพื้นที่ราบ



รูป 5.3 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลความเร็วที่ได้จากแบบจำลอง และความเร็วที่ได้จากการสำรวจ แนวทางตรงพื้นที่เนินเขา



รูป 5.4 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลความเร็วที่ได้จากแบบจำลอง และความเร็วที่ได้จากการสำรวจ แนวทางโค้งพื้นที่ราบ



รูป 5.5 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลความเร็วที่ได้จากแบบจำลอง และความเร็วที่ได้จากการสำรวจ แนวทางโค้งพื้นที่เนินเขา

จากนั้นจะประเมินความแม่นยำของแบบจำลองที่ได้ว่าสามารถนำมาใช้ประเมินหาความเร็วของยานพาหนะที่ผู้ขับขี่เลือกใช้ได้หรือไม่ โดยจะประเมินความแม่นยำของแบบจำลองทั้ง 4 ประเภทนี้ เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้เก็บเก็บไว้ค้างหากจำนวน 30 ข้อมูลในแต่ละประเภทพื้นที่ วิธีประเมินความแม่นยำแบบจำลองโดยเปรียบเทียบจากค่าเฉลี่ยของข้อมูลความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะที่เก็บไว้เพื่อตรวจสอบเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของความเร็วที่ได้จากแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยในแต่ละรูปแบบแนวเส้นทางและลักษณะพื้นที่ โดยใช้วิธีทางสถิติคือการหาค่าที่ (t-Test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\alpha = 0.05$) โดยจะพิจารณาค่า p ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณทางสถิติ ถ้าค่า $p < \alpha$ แสดงว่า ค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งสองกลุ่มไม่เท่ากัน แต่ถ้าค่า $p > \alpha$ แสดงว่าค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งสองกลุ่มมีค่าเท่ากัน ซึ่งผลการพิจารณาในแต่ละพื้นที่ แสดงในตารางที่ 5.7 ถึง ตาราง 5.10

ตาราง 5.7 แสดงผลการประเมินความเร็วเฉลี่ยของแนวทางตรงในภูมิประเทศแบบพื้นที่ราบ

Variable	Mean	Std. Div.	N	Diff	Std. Div. Diff	t	p	Note
ความเร็วจากแบบจำลอง	107.626	0						p > 0.05
ความเร็วจากการสำรวจ	106.246	3.732	30	0.930	.428	1.207	0.167	

ตาราง 5.8 แสดงผลการประเมินความเร็วเฉลี่ยของแนวทางตรงในภูมิประเทศแบบพื้นที่เนินเขา

Variable	Mean	Std. Div.	N	Diff	Std. Div. Diff	t	p	Note
ความเร็วจากแบบจำลอง	103.755	0						p > 0.05
ความเร็วจากการสำรวจ	104.957	3.723	30	-1.032	0.316	-1.124	0.216	

ตาราง 5.9 แสดงผลการประเมินความเร็วเฉลี่ยของแนวทางโค้งในภูมิประเทศแบบพื้นที่ราบ

Variable	Mean	Std. Div.	N	Diff	Std. Div. Diff	t	p	Note
ความเร็วจากแบบจำลอง	99.092	1.151						p > 0.05
ความเร็วจากการสำรวจ	98.365	5.997	30	-0.599	1.887	-1.425	0.182	

ตาราง 5.10 แสดงผลการประเมินความเร็วเฉลี่ยของแนวทางโค้งในภูมิประเทศแบบพื้นที่เนินเขา

Variable	Mean	Std. Div.	N	Diff	Std. Div. Diff	t	p	Note
ความเร็วจากแบบจำลอง	93.735	1.098						p > 0.05
ความเร็วจากการสำรวจ	95.183	3.040	30	0.752	1.314	0.419	1.025	

5.3 การพัฒนาแบบจำลองโมดูลัสทางเรขาคณิต

5.3.1 ลักษณะของแบบจำลองโมดูลัสทางเรขาคณิต

ก) โครงสร้างแบบจำลองโมดูลัสทางเรขาคณิต

ค่าโมดูลัสทางเรขาคณิตเป็นค่าที่ใช้วัดอัตราการไหลของกระแสจราจรในเชิงปริมาณ โดยวัดจากความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ และความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเรขาคณิตของแนวเส้นทาง โดยมีสมมุติฐานว่าผู้ขับขี่จะเลือกใช้ความเร็วต่างๆ ซึ่งเป็นผลมาจากลักษณะทางเรขาคณิตของแนวเส้นทาง และเมื่อแนวเส้นทางมีลักษณะทางเรขาคณิตที่เปลี่ยนแปลงไป ผู้ขับขี่ก็จะเปลี่ยนแปลงความเร็วในการขับขี่เพื่อให้สามารถขับขี่ยานพาหนะบนแนวเส้นทางด้วยความสะดวกสบาย และปลอดภัยแก่ผู้ขับขี่ ซึ่งในการพิจารณาประเมินค่าโมดูลัสทางเรขาคณิตของแนวเส้นทาง จะพิจารณาจากค่าความเร็วเฉลี่ย และความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไป โดยมีตัวแปรลักษณะทางเรขาคณิตของแนวเส้นทาง เป็นตัวแปรที่ใช้ประเมินค่าโมดูลัสทางเรขาคณิต โดยตัวแปรดังกล่าวจะเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเลือกใช้ความเร็วของยานพาหนะของผู้ขับขี่

ข) สมการแบบจำลองโมดูลัสทางเรขาคณิต

ในการประเมินค่าโมดูลัสทางเรขาคณิตโดยมีตัวแปรที่ใช้ในการประเมินค่า 2 ตัวแปร ได้แก่ ความเร็วเฉลี่ยในการขับขี่ และความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อผู้ขับขี่ได้ขับขี่ไปบนแนวเส้นทางที่มีลักษณะทางเรขาคณิตที่เปลี่ยนแปลงไป และสมการที่ใช้ประเมินค่าโมดูลัสทางเรขาคณิตจะมีรูปแบบดังนี้

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

$$\text{เมื่อ } \Delta v = |v_0 - v_1|$$

$$v_0 = \begin{array}{l} \text{ความเร็วเฉลี่ยของรถก่อนวิ่งเข้าสู่ช่วงแนวเส้นทาง} \\ \text{ที่พิจารณา} \end{array}$$

$$v_1 = \text{ความเร็วเฉลี่ยของรถในช่วงแนวเส้นทางที่พิจารณา}$$

ในการหาค่าโมดูลัสทางเรขาคณิตโดยพิจารณาจากตัวแปรลักษณะทางเรขาคณิตของแนวเส้นทาง โดยการนำแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยที่ได้มาแทนค่าในแบบจำลองโมดูลัสทาง

เรขาคณิต ซึ่งจะเห็นว่ารูปแบบของแบบจำลองโมดูลัสทางเรขาคณิตจะเป็นการประเมินลักษณะแนวเส้นทาง 2 ช่วงที่อยู่ติดกัน เนื่องจากต้องพิจารณาค่าความเร็วยานพาหนะที่ต้องเปลี่ยนแปลงเมื่อได้ขับขี่ยานพาหนะผ่านไปในช่วงของแนวเส้นทางที่มีลักษณะทางเรขาคณิตที่เปลี่ยนไป ดังนั้น ในการสร้างแบบจำลองโมดูลัสทางเรขาคณิตจะต้องพิจารณาแนวเส้นทางทั้งสองช่วง โดยแยกตามสภาพภูมิประเทศดังนี้

ข1) สภาพภูมิประเทศพื้นที่ราบ

- ระหว่างแนวทางโค้ง กับแนวทางโค้ง

$$F_0 = \ln(436.868 - 1.296D_0 - 0.624\Delta D) - \ln(0.324\Delta D) \quad (5.8)$$

- ระหว่างแนวทางตรง กับแนวทางโค้ง

$$F_0 = \ln(427.322 - 0.624D_1) - \ln(|1.591 - 0.324D_1|) \quad (5.9)$$

- ระหว่างแนวทางโค้ง กับแนวทางตรง

$$F_0 = \ln(433.686 - 0.648D_0) - \ln(|0.324D_0 - 1.591|) \quad (5.10)$$

ข2) สภาพภูมิประเทศพื้นที่เนินเขา

- ระหว่างแนวทางโค้ง กับแนวทางโค้ง

$$F_0 = \ln(422.412 - 1.608D_0 - 0.804\Delta D) - \ln(0.402\Delta D) \quad (5.11)$$

- ระหว่างแนวทางตรง กับแนวทางโค้ง

$$F_0 = \ln(411.324 - 0.804D_1) - \ln(|1.848 - 0.402D_1|) \quad (5.12)$$

- ระหว่างแนวทางโค้ง กับแนวทางตรง

$$F_0 = \ln(418.716 - 0.804D_0) - \ln(|0.402D_0 - 1.848|) \quad (5.13)$$

โดยที่

F_0 = ค่าโมดูลัสทางเรขาคณิต

ΔD = $|D_0 - D_1|$

D_0 = องศาของ โค้งราบก่อนช่วงที่พิจารณา

D_1 = องศาของ โค้งราบช่วงที่พิจารณา

5.3.2 ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง

ก่อนที่จะประเมินค่าโมดูลัสทางเรขาคณิตของแนวเส้นทาง จำเป็นที่จะต้องทราบ ลักษณะทางเรขาคณิตในแต่ละช่วงของแนวเส้นทางก่อน เพื่อที่จะได้ทราบว่าในการประเมินค่า โมดูลัสทางเรขาคณิต จะใช้สมการในรูปแบบใด และลักษณะทางเรขาคณิตที่ผู้ประเมินต้องทราบมี ดังนี้

- องศาของโค้งราบ

เพื่อจะได้ทราบว่าแนวเส้นทางที่กำลังพิจารณาเป็นแนวทางตรงหรือแนวทางโค้ง กล่าวคือ ถ้าแนวทางตรงค่าองศาของโค้งราบจะมีค่าเท่ากับศูนย์

- ความลาดชัน

เพื่อที่จะทราบว่าช่วงแนวเส้นทางที่พิจารณา มีสภาพภูมิประเทศพื้นที่ราบหรือพื้นที่เนินเขา ถ้าช่วงที่กำลังพิจารณา มีความลาดชันอยู่ในช่วง 0.00 – 3.00 เปอร์เซ็นต์ จะเป็นสภาพพื้นที่ราบ แต่ถ้าความลาดชันอยู่ระหว่าง 3.01 – 6.00 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าช่วงของแนวเส้นทางที่กำลังพิจารณาอยู่ในสภาพพื้นที่เนินเขา

- ความยาวของช่วงที่กำลังพิจารณา

ค่าความยาวของช่วงที่กำลังพิจารณา จะใช้ในการหาค่าหน่วยน้ำหนัก (Weight) ของช่วงที่กำลังพิจารณา โดยนำความยาวของช่วงที่กำลังพิจารณาหารด้วยความยาวของแนวเส้นทางทั้งหมดที่จะประเมินค่าโมดูลัสทางเรขาคณิตของแนวเส้นทาง เนื่องจากเมื่อนำผลรวมของค่าหน่วยน้ำหนักที่กำลังพิจารณาคูณด้วยค่าโมดูลัสทางเรขาคณิตของช่วงนั้น จะได้ค่าโมดูลัสทางเรขาคณิตของแนวเส้นทางตลอดทั้งแนวเส้นทาง

5.3.3 ค่าโมดูลัสทางเรขาคณิตจากแบบจำลอง

ก) ความหมายค่าโมดูลัสทางเรขาคณิตจากแบบจำลอง

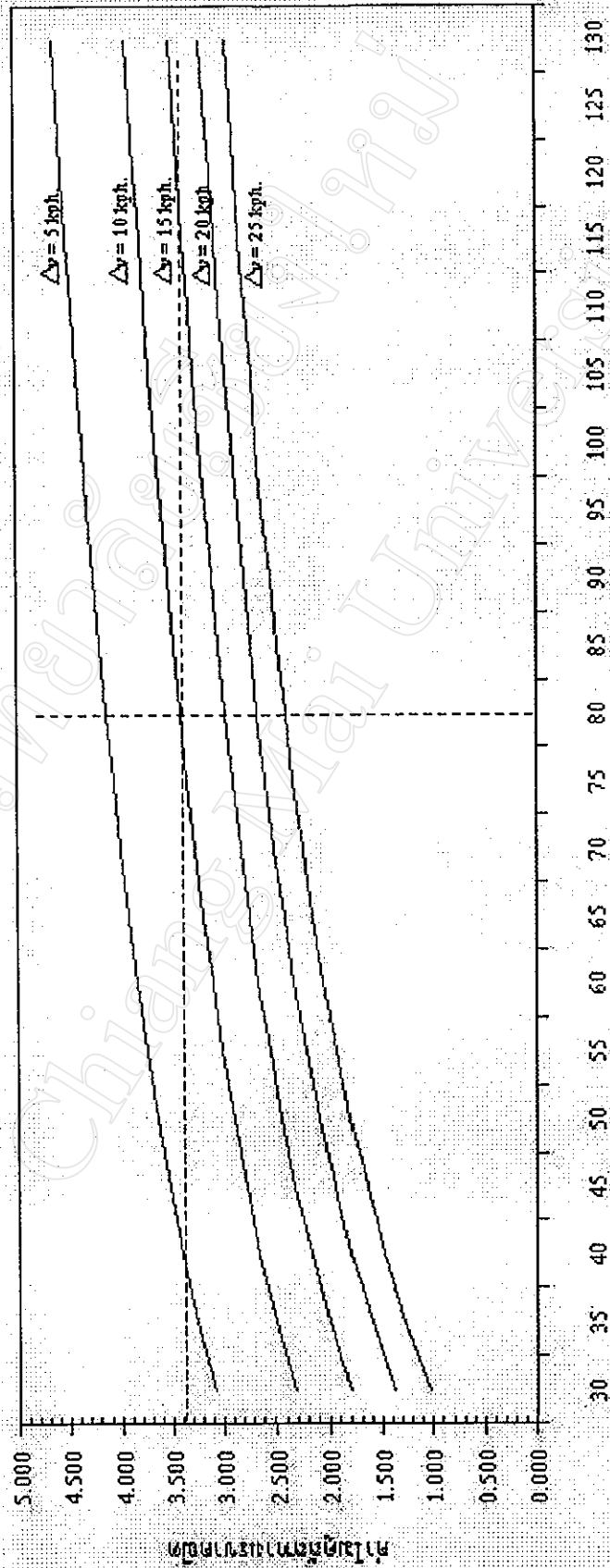
ค่าโมดูลัสทางเรขาคณิตเป็นค่าที่บอกถึงความเหมาะสมทางด้านวิศวกรรมในเชิงปริมาณ เนื่องจากเป็นค่าที่ประเมินจากความเร็วเฉลี่ย และความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไปของผู้ขับขี่เมื่อแนวเส้นทางมีลักษณะทางเรขาคณิตที่เปลี่ยนแปลงไป และเมื่อนำความเร็วเฉลี่ยที่ผู้ขับขี่เลือกใช้กับความเร็วที่เปลี่ยนแปลงเมื่อผู้ขับขี่ได้ขับขึ้นบนแนวเส้นทางที่ลักษณะทางเรขาคณิตที่เปลี่ยนแปลงไป มาหาค่าโมดูลัสทางเรขาคณิตจะได้ความสัมพันธ์ดังรูป 5.6

ในการออกแบบแนวเส้นทางที่ผู้ออกแบบส่วนมากมักจะเลือกใช้ออกแบบแนวเส้นทางคือจะพยายามออกแบบให้แนวเส้นทางมีความเร็วในการขับขี่ตั้งแต่ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และในการออกแบบแนวเส้นทางที่จัดว่าเป็นการออกแบบที่ดีนั้น ความเร็วที่เปลี่ยนแปลงของผู้ขับขี่ไม่ควรมากกว่า 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (Lamm, et al., 1988) เมื่อพิจารณาความเร็วในการออกแบบ และความเร็วที่เปลี่ยนแปลงพบว่า ในค่าของความเร็วทั้งสอง สามารถนำมาประเมินค่าโมดูลัสทางเรขาคณิตได้ประมาณ 3.400 ดังแสดงในรูป 5.6 ถ้าการประเมินแนวเส้นทางโดยใช้ค่าโมดูลัสทางเรขาคณิตพบว่า แนวเส้นทางที่ประเมินหรือช่วงของแนวเส้นทางที่ประเมินนั้นมีค่าตั้งแต่ 3.400 แสดงว่าแนวเส้นทางดังกล่าวมีการออกแบบที่จัดว่าอยู่ในเกณฑ์ดี

ข) โมดูลัสทางเรขาคณิตกับการประเมินแนวเส้นทาง

จากการพิจารณาค่าโมดูลัสทางเรขาคณิตจากหัวข้อที่ผ่านมาพบว่า ค่าโมดูลัสทางเรขาคณิต สามารถนำมาใช้ประเมินความเหมาะสมทางวิศวกรรม โดยพิจารณาจากค่าโมดูลัสทางเรขาคณิตที่ได้ ถ้าผู้ออกแบบแนวเส้นทางนำค่าโมดูลัสทางเรขาคณิตไปประยุกต์ใช้ในการประเมินผลการออกแบบแนวเส้นทางในแต่ละช่วง สามารถทราบได้ว่าแนวเส้นทางที่พิจารณามีความเหมาะสมทางด้านวิศวกรรมมากน้อยเพียงใด โดยการพิจารณาจากค่าโมดูลัสทางเรขาคณิต

รูป 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสทางเรขาคณิตกับความเร็วเฉลี่ยและความเปลี่ยนแปลง



ความเร็วเฉลี่ยในการขับขี่ (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)

5.4 สรุปการพัฒนาแบบจำลอง

5.4.1 แบบจำลองความเร็ว

แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะที่ได้ในแต่ละสภาพแนวเส้นทาง และสภาพภูมิประเทศ สามารถแยกออกเป็น 4 ประเภท ดังตาราง 5.11

ตาราง 5.11 สรุปแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยที่ได้ในแต่ละประเภท

สภาพภูมิประเทศ	ลักษณะแนวเส้นทาง	แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยยานพาหนะ
พื้นที่ราบ	ตรง	$V = 107.626$
	โค้ง	$V = 109.217 - 0.624D$
พื้นที่เนินเขา	ตรง	$V = 103.755$
	โค้ง	$V = 105.603 - 0.402D$
โดยที่		
V = ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ (กม./ชม.)		
D = องศาของโค้งราบ (องศา)		

5.4.2 แบบจำลองโมดูลัสทางเรขาคณิต

แบบจำลองโมดูลัสทางเรขาคณิตที่ได้แยกตามลักษณะแนวเส้นทาง และสภาพภูมิประเทศ สามารถแยกออกเป็น 6 ประเภท ดังตาราง 5.12

ตาราง 5.12 สรุปแบบไมคูลัสทางเรขาคณิตที่ได้ในแต่ละประเภท

สภาพ ภูมิประเทศ	ลักษณะ แนวเส้น ทางก่อน พิจารณา	ลักษณะ แนวเส้น ทางหลัง พิจารณา	แบบจำลองไมคูลัสทางเรขาคณิต
พื้นที่ราบ	ทางโค้ง	ทางโค้ง	$F_0 = \ln(436.868 - 1.296D_0 - 0.624\Delta D) - \ln(0.324\Delta D)$
	ทางตรง	ทางโค้ง	$F_0 = \ln(427.322 - 0.624D_1) - \ln(1.591 - 0.324D_1)$
	ทางโค้ง	ทางตรง	$F_0 = \ln(433.686 - 0.648D_0) - \ln(0.324D_0 - 1.591)$
พื้นที่ เนินเขา	ทางโค้ง	ทางโค้ง	$F_0 = \ln(422.412 - 1.608D_0 - 0.804\Delta D) - \ln(0.402\Delta D)$
	ทางตรง	ทางโค้ง	$F_0 = \ln(411.324 - 0.804D_1) - \ln(1.848 - 0.402D_1)$
	ทางโค้ง	ทางตรง	$F_0 = \ln(418.716 - 0.804D_0) - \ln(0.402D_0 - 1.848)$
โดยที่ F_0 = ค่าไมคูลัสทางเรขาคณิต ΔD = $ D_0 - D_1 $ D_0 = องศาของโค้งรบกวนก่อนช่วงที่พิจารณา D_1 = องศาของโค้งรบกวนช่วงที่พิจารณา			

5.4.3 ข้อจำกัดของแบบจำลองไมคูลัสทางเรขาคณิต

ในการนำแบบจำลองไมคูลัสทางเรขาคณิตไปใช้ประเมินลักษณะทางเรขาคณิตของแนวเส้นทางนั้น เพื่อความแม่นยำ ในการประเมินค่า ต้องพิจารณาเงื่อนไขในการนำค่าไมคูลัสทางเรขาคณิตไปใช้ ดังนี้

- ต้องมีสมมติฐานว่าการไหลของกระแสรถในแนวเส้นทางที่กำลังพิจารณาอยู่ เป็นการไหลแบบสมบูรณ์ กล่าวคือ ไม่มีการรบกวนจากยานพาหนะหรืออุปสรรคในบริเวณข้างทาง
- เป็นการประเมินลักษณะทางเรขาคณิตสำหรับรถนั่งส่วนบุคคล (Passenger Car) และรถกระบะ (Pick – Up) ที่ไม่ได้บรรทุกของหนัก
- มีความลาดชันเฉลี่ยตลอดแนวเส้นทางไม่เกิน 4 เปอร์เซ็นต์
- แนวเส้นทางที่พิจารณาต้องเป็นถนนนอกเมือง 2 ช่องจราจร และมีความกว้างของช่องจราจร 3.00 – 3.50 เมตร และความกว้างของไหล่ทาง 1.00 – 2.50 เมตร
- ปริมาณจราจรในแนวเส้นทางต้องไม่เกิน 5,000 คันต่อวัน
- ปริมาณรถบรรทุกที่อยู่ในกระแสรถต้องไม่เกิน 20%