ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
249126

แบบจำลองความเร็วขับขี่เพื่อการตรวจสอบความสอดคล้องของแนวเส้นทางสำหรับทางหลวงสองช่องจราจรนอกเมือง

สุรสิทธิ์ บัวบาน

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
มีนาคม 2554

b00253643

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
249126

แบบจำลองความเร็วขับขี่ เพื่อการตรวจสอบความสอดคล้องของแนวเส้นทางราบสำหรับทางหลวงสองช่องจราจรนอกเมือง

สุรสิทธิ์ บัวบาน

วิทยานิพนธ์นี้เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัยเพื่อเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
มีนาคม 2554

แบบจำลองความเร็วขับขี่ เพื่อการตรวจสอบความสอดคล้องของแนวเส้นทางราบสำหรับทางหลวงสองช่องจราจรนอกเมือง

สุรสิทธิ์ บัวบาน

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
อาจารย์ ดร.รังสรรค์ อุดมศรี

.....กรรมการ
รองศาสตราจารย์ ลำดวน ศรีศักดา

.....กรรมการ
อาจารย์ ดร. ปรีดา พิชยาพันธ์

.....กรรมการ
ศาสตราจารย์ ดร. พิชัย ธานีรณานนท์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

.....
รองศาสตราจารย์ ลำดวน ศรีศักดา

21 มีนาคม 2554

©ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจากผู้มีพระคุณต่อผู้วิจัยหลายท่านด้วยกัน เริ่มตั้งแต่ รองศาสตราจารย์ ลำดวน ศรีศักดา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา ตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ รวมทั้งให้กำลังใจเป็นอย่างดีตลอดมา รวมถึง อาจารย์ ดร.รังสรรค์ อุดมศรี อาจารย์ ดร.ปรีดา พิชยาพันธ์ และศาสตราจารย์ ดร. พิชัย ธานีรณานนท์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาดูความแม่นตรงในเนื้อหาของการวิจัย และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ทำให้วิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทั้งสี่ท่านเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณบุญส่ง ศุภมัสดิ์ศุกุล ผู้อำนวยการศูนย์สร้างทางตากปี 2551 คุณธานินทร์ สมบูรณ์ ผู้อำนวยการสำนักงานทางหลวงตากปี 2552 คุณสิทธิศักดิ์ อัศวพรหมธาดา ผู้อำนวยการสำนักงานทางหลวงตากปี 2553 และคุณนิคม เทพบุตร ผู้อำนวยการส่วนตรวจสอบและวิเคราะห์ทางวิศวกรรม ซึ่งเป็นผู้บังคับบัญชาของผู้วิจัย ทุกท่านได้เปิดโอกาสให้ผู้วิจัยได้ลาศึกษาต่อในหลักสูตรระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สาขาวิชาวิศวกรรมการขนส่ง และกรมทางหลวง ได้สนับสนุนทุนการศึกษาแก่ผู้วิจัย ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลผู้มีอุปการคุณ คือ บิดา มารดา รวมถึงขอขอบคุณ คุณพัฒนา อินสำราญ คุณนันฑวัลย์ บัวบาน และคุณนาตยา ศรีอิ่นแก้ว ที่ให้ความช่วยเหลือแนะนำเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษา Visual Basic for Applications พร้อมเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ท้ายที่สุดนี้ หากมีสิ่งขาดตกบกพร่องหรือผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขออภัยเป็นอย่างสูงในข้อบกพร่องและความผิดพลาดนั้น และผู้วิจัยหวังว่าวิทยานิพนธ์นี้คงมีประโยชน์บ้างไม่มากก็น้อยสำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบทาง ตลอดจนผู้ที่สนใจที่จะศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับความเร็วในการออกแบบทางต่อไป

สุรสิทธิ์ บัวบาน

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ แบบจำลองความเร็วขับขี่ เพื่อการตรวจสอบความสอดคล้องของแนวเส้นทางราบสำหรับทางหลวงสองช่องจราจรนอกเมือง

ผู้เขียน นายสุรสิทธิ์ บัวบาน

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ. ลำดวน ศรีศักดา

บทคัดย่อ

249126

การตรวจสอบความสอดคล้อง (Consistency) ในการออกแบบทางหลวงขนาดสองช่องจราจรต้องคาดคะเนความเร็วขับขี่ในโค้งและในช่วงทางตรงระหว่างโค้ง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแบบจำลองความเร็วขับขี่ (ความเร็วที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 85 หรือ V_{85}) ในทางหลวงสองช่องจราจรนอกเมือง ที่เหมาะสมกับความเร็วขับขี่จริงในประเทศไทย และพัฒนาโปรแกรมตรวจสอบและประเมินความสอดคล้องของการออกแบบถนน การปรับปรุงหรือแก้ไขแนวเส้นทาง การวิจัยได้เก็บข้อมูลความเร็วของรถนั่งส่วนบุคคลและรถกระบะ บนทางหลวงหมายเลข 107 (ช่วง อ.เชียงดาว – อ.ไชยปราการ จ. เชียงใหม่) และทางหลวงหมายเลข 106 (ช่วง อ. บ้านโฮ่ง – อ. ลี้ จ. ลำพูน) รวมเป็นทางโค้ง 31 โค้ง และช่วงทางตรง 33 ช่วง โดยเก็บข้อมูลในช่วงกลางวัน สภาพอากาศที่ดีและมีผิวทางแห้ง ความลาดชันในทางโค้งและในช่วงทางตรงอยู่ระหว่าง ± 4 เปอร์เซ็นต์ ระยะห่างของรถในการวิ่งไม่น้อยกว่า 5 วินาที เพื่อให้ลักษณะการจราจรเป็นการไหลอิสระ

ผลการวิเคราะห์พบว่าตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อความเร็วขับขี่ในโค้งคืออัตราการเปลี่ยนแปลงความโค้ง (Curvature Change Rate ,CCR) ในขณะที่ความเร็วขาเข้าทางตรง ความยาวทางตรง(TL) และระยะการมองเห็น(SD)มีนัยสำคัญต่อความเร็วขับขี่ในช่วงทางตรง แบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับความเร็วขับขี่ในโค้ง $V_{85} = 100.623 \times 0.99922^{CCR}$ และแบบจำลองความเร็วขับขี่ในช่วงทางตรง $V_{85} = 47.213 + 0.509\ V85c + 0.01\ SD - 1019.932 / TL$ เมื่อ V_{85c} คือความเร็วขับขี่ในทางโค้งที่แทนค่า CCR ด้วยค่า CCR เฉลี่ยระหว่างโค้งที่เข้าสู่และออกจากช่วงทางตรง นอกจากนี้ งานวิจัยได้พัฒนาโปรแกรมตรวจสอบความสอดคล้องของแนวเส้นทางบน AutoCAD ที่ช่วยให้วิศวกรสามารถตรวจสอบความสอดคล้องของแบบที่ออกแบบได้

Thesis Title	Operating Speed Models for Investigating Consistency of Horizontal Alignment on Two-Lane Rural Highways
Author	Mr. Surasith Buabarn
Degree	Master of Engineering (Civil Engineering)
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Lamduan Srisakda

ABSTRACT

249126

Consistency check for the design of two-lane highway requires the prediction of operating speeds (V_{85}) on curves and tangents. The objective of this research is to develop models for the prediction of operating speeds on curve and tangent sections of two-lane rural highways, and develop a computer program to perform the consistency check for new road design, improve or realign existing alignments. Operating speeds of passenger cars and pick-ups on 31 curves and 33 straight sections on two routes --- Route No. 107 and 106 --- were observed. The surveys were carried out during daylight hours, in good weather conditions and with a dry pavement, Grades on curves and approach tangents were between ± 4 percent, the headway of at least 5 seconds for free-flow traffic conditions. It was found that curvature change rate (CCR) is the significant variable describing speeds on curves while approach speed to tangent, tangent length (TL) and sight distance available (SD) are significant to speeds on tangents. The operating speed model on curves and on tangents were found to be $V_{85} = 100.623 \times 0.99922^{CCR}$ and $V_{85} = 47.213 + 0.509\ V_{85c} + 0.01\ SD - 1019.932 / TL$ respectively, where V_{85c} is the V_{85} obtained by using the average value of CCR of the curve leading to and following the tangent. In addition a computer program was written on AutoCAD environment to assist engineer in checking the design consistency of two-lane highways in Thailand.

สารบาญ

		หน้า
กิตติกรรมประกาศ		ค
บทคัดย่อภาษาไทย		ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		จ
สารบาญตาราง		ญ
สารบาญภาพ		ฏ
บทที่ 1 บทนำ		1
1.1	ที่มาและความสำคัญ	1
1.2	วัตถุประสงค์ของการศึกษา	4
1.3	ขอบเขตการวิจัย	4
1.4	ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา	4
1.5	ขั้นตอนการวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง		6
2.1	นิยามความสอดคล้อง	6
2.2	ความสำคัญของความสอดคล้อง	8
2.3	การตรวจสอบความสอดคล้องของแนวเส้นทาง	10
2.4	การตรวจสอบความสอดคล้องของทางหลวงโดยใช้ความเร็ว	11
2.5	เกณฑ์การประเมินความสอดคล้องของถนนตามแนวคิดในประเทศเยอรมัน	16
2.6	ตัวแปรที่มีอิทธิพลกับความเร็วขับขี่	26
2.7	แบบจำลองความเร็วขับขี่-ทฤษฎี	27
2.8	ทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา	29
2.8.1	การศึกษาเพื่อหาตัวแปรที่สำคัญต่อการสร้างแบบจำลองความเร็วขับขี่	29
2.8.2	เกณฑ์ในการประเมินความสอดคล้องของทางหลวง 2 ช่องจราจร สายนอกเมือง	41
2.8.3	การพัฒนาและการประยุกต์แบบจำลองเพื่อวัดความสอดคล้องทางเรขาคณิตของทางหลวง	42
2.8.4	สิ่งที่ได้รับจากการศึกษารายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและแนวทางการพัฒนาแบบจำลอง	49

2.9 ตัวอย่างมาตรการในการลดความเร็วบริเวณช่วงทางตรงและช่วงทางโค้ง 50
บทที่ 3 การรวบรวมข้อมูล 55
3.1 พื้นที่ศึกษาและการคัดเลือกเส้นทาง 55
3.2 ข้อมูลสถิตย์ 58
3.3 ข้อมูลความเร็วรถ 62
3.3.1 ตัวแปรลักษณะทางเรขาคณิต 62
3.3.2 ตัวแปรปริมาณการจราจร 66
3.4 สรุปผลการรวบรวมข้อมูล 66
บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูล 68
4.1 แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูล 68
4.1.1 เส้นทางและข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ 68
4.1.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล 69
4.1.3 ผลที่ต้องการจากการวิเคราะห์ข้อมูล 69
4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางเรขาคณิตของเส้นทาง 70
4.2.1 อัตราการเปลี่ยนแปลงโค้ง 70
4.2.2 ความลาดชัน 71
4.2.3 ความกว้างของช่องจราจรและความกว้างของไหล่ทาง 72
4.2.4 ความยาวของช่วงทางตรง 73
4.2.5 ระยะการมองเห็น 74
4.3 การวิเคราะห์ความเร็วขับขี่ของยานพาหนะในช่วงทางโค้งและทางตรง 75
4.3.1 ช่วงทางโค้ง 75
4.3.2 ช่วงทางตรง 80
4.4 กราฟความสัมพันธ์เบื้องต้น โดยการเขียนระหว่างความเร็วขับขี่
กับลักษณะทางเรขาคณิต 83
4.5 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 87
4.5.1 วิธีวิเคราะห์ความสัมพันธ์ 87
4.5.2 ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ 87
4.5.3 ผลการวิเคราะห์ 88
4.6 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล 90
4.6.1 สรุปการวิเคราะห์ข้อมูลความเร็ว 90

4.6.2 สรุปการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วขับขี่กับลักษณะเรขาคณิต 91
4.6.3 สรุปการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 91
บทที่ 5 การสร้างแบบจำลอง 93
5.1 การกำหนดรูปแบบจำลอง 93
5.2 การปรับเทียบแบบจำลอง 95
5.2.1 การประมาณค่าพารามิเตอร์ 95
5.2.2 การตรวจสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง 97
5.2.3 แบบจำลองที่คัดเลือก 98
5.3 ตรวจสอบความเที่ยงตรงของแบบจำลอง 99
5.3.1 การทดสอบกับข้อมูลเดิมที่ใช้สร้างแบบจำลอง 99
5.3.2 การทดสอบกับข้อมูลที่แยกไว้ทดสอบ 103
5.4 เปรียบเทียบแบบจำลองกับผลการศึกษาของ Lamm. และ FHWA. 105
5.5 ตัวอย่างการใช้แบบจำลอง 107
5.6 สรุปการสร้างแบบจำลอง 113
บทที่ 6 การพัฒนาและการประยุกต์ใช้โปรแกรม 115
6.1 โครงสร้างของโปรแกรม 115
6.2 ลักษณะของโปรแกรม 117
6.3 การแสดงผลของข้อมูลและรายงาน 118
6.4 การประยุกต์ใช้แบบจำลองความเร็วขับขี่กับโปรแกรมเพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของทางหลวง 120
6.4.1 การประยุกต์ใช้แบบจำลองความเร็วขับขี่เพื่อตรวจสอบแนวเส้นทางลักษณะ Single Element 120
6.4.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลองความเร็วขับขี่เพื่อตรวจสอบแนวเส้นทางลักษณะ Successive Element 124
6.5 สรุปผลการประยุกต์ใช้แบบจำลอง 136
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 137
7.1 การรวบรวมข้อมูล 137
7.2 ตัวแปรลักษณะทางเรขาคณิตที่มีอิทธิพลต่อความเร็วขับขี่ 137
7.3 ผลจากการสร้างแบบจำลองความเร็วขับขี่ 138

7.4 การพัฒนาโปรแกรมตรวจสอบ Consistency 138
7.5 สรุปการประยุกต์ใช้แบบจำลองความเร็วขับขี่ 139
7.6 ข้อเสนอแนะเพื่อการทำวิจัยในครั้งต่อไป 139
บรรณานุกรม 141
ภาคผนวก 144
ภาคผนวก ก ข้อมูลความเร็วขับขี่ช่วงทางโค้ง และในช่วงทางตรง 145
ภาคผนวก ข สรุปข้อมูลในเบื้องต้นของความเร็วขับขี่ช่วงทางโค้งและ
ในช่วงทางตรง 402
ภาคผนวก ค สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติสำหรับสร้างแบบจำลอง
และตัวแปรอิสระที่ใช้ในการพิจารณาแบบจำลองในช่วงทางตรง 406
ภาคผนวก ง Source Code ที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม 427
ภาคผนวก จ คู่มือการใช้โปรแกรมตรวจสอบความสอดคล้องของแนวเส้นทาง 463
ประวัติผู้เขียน 480

สารบาญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว V_{85} กับตัวแปร CCR ของประเภทต่างๆ	14
2.2	เกณฑ์การวัดความปลอดภัย I, II และ III สำหรับการออกแบบที่ดี, พอใช้ และไม่ดี	18
2.3	สมการที่ใช้คำนวณหาระยะทางตรงที่ใช้ในการลดหรือเร่งความเร็วเพื่อเข้าสู่ทางโค้ง	25
2.4	แบบจำลองความเร็วขับขี่ของทางตรง ใน 4 ประเทศแทบยุโรป	32
2.5	แบบจำลองความเร็วขับขี่ในโค้ง ใน 4 ประเทศแทบยุโรป	32
2.6	แบบจำลองทำนายความเร็วของยานพาหนะส่วนบุคคลในทางตรงระหว่างโค้งราบ	34
2.7	แบบจำลองทำนายความเร็วของยานพาหนะส่วนบุคคลในทางโค้ง	35
2.8	แบบจำลองความเร็วขับขี่ในโค้งราบ ใน Nebraka; Schurr (1988)	36
2.9	แสดงแบบจำลองความเร็วขับขี่ในโค้ง (A. Mawjoud, 2008)	38
2.10	แสดงตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความเร็วขับขี่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของถนน 2 ช่องจราจร สายนอกเมือง ในทางโค้ง	40
2.11	แสดงตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความเร็วขับขี่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของถนน 2 ช่องจราจร สายนอกเมือง ในทางตรง	41
4.1	แสดงข้อมูลความเร็วที่วัดได้จากจุดสำรวจ กม.83+645 ถึง กม.83+707	76
4.2	แสดงค่าความเร็วขับขี่และสถิติของข้อมูลความเร็วช่วงทางโค้ง	78
4.3	แสดงค่าสถิติของข้อมูลความเร็วขับขี่ช่วงทางโค้ง เพื่อหาความแตกต่างระหว่างค่าของข้อมูลความเร็วในโค้ง / นอกโค้ง	79
4.4	แสดงความเร็วขับขี่และสถิติของข้อมูลความเร็วช่วงทางตรง	81
4.5	แสดงค่าสถิติของข้อมูลความเร็วขับขี่ช่วงทางตรง เพื่อหาความแตกต่างระหว่างค่าของข้อมูลความเร็วขาไป / ขากลับ	82
4.6	แสดงค่าสหสัมพันธ์ของเพียร์สันในช่วงทางโค้ง (Correlation Matrix)	88
4.7	แสดงผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของเพียร์สันในช่วงทางตรง	89
5.1	แสดงรายละเอียดทางเรขาคณิตที่ใช้สำหรับตรวจสอบความสอดคล้องของแนวเส้นทาง	111
6.1	สรุปผลการตรวจสอบแนวเส้นทางลักษณะ Single Element	124
6.2	ลักษณะเรขาคณิตที่ใช้สำหรับตรวจความสอดคล้องของแนวเส้นทางในโปรแกรม	124
6.3	แสดงผลการตรวจสอบความสอดคล้องที่ได้จากแบบจำลองความเร็วขับขี่	132

สารบาญภาพ

รูป		หน้า
2.1	ตัวอย่างการออกแบบที่ไม่สอดคล้องกับความคาดหวัง	7
2.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและระยะทางหยุดรถอย่างปลอดภัย	9
2.3	แสดงการคำนวณหาค่า CCR	17
2.4	แสดงความเร็วในการเข้าปะทะสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์การเกิดอุบัติเหตุ	19
2.5	แนวทางราบสำหรับกรณี Non-Independent Tangent	21
2.6	แนวทางราบสำหรับกรณี Independent Tangent ที่ $TL \geq 2TL_L$	22
2.7a)	แนวทางราบสำหรับกรณี Independent Tangent ที่ $2TL_L > TL \geq TL_S$	23
2.7b)	แนวทางราบสำหรับกรณี Independent Tangent ที่ $2TL_L > TL \geq TL_S$	24
2.8	แสดงถึงตำแหน่งในการวัดความเร็ว โดยใช้ Hand-held Radar Meter	37
2.9	กราฟแสดงการออกแบบความสัมพันธ์ของรัศมีโค้งสำหรับทางหลวงนอกเมือง ในประเทศเยอรมนี ปี ค.ศ.1973	43
2.10	กราฟแสดงการออกแบบความสัมพันธ์ของรัศมีโค้งสำหรับทางหลวงนอกเมือง ในประเทศเยอรมนีปี ค.ศ. 1993	44
2.11	แสดง Rumble Strip เพื่อให้ผู้ขับขี่ได้ยินเสียงรบกวนจากการใช้ความเร็ว	50
2.12	แสดง Centerline Rumble Strips เพื่อให้ผู้ขับขี่ได้ยินเสียงรบกวนจากการใช้ความเร็ว และช่วยรบกวนการวิ่งลัดทางโค้ง	51
2.13	แสดง chevron markings เพื่อให้ผู้ขับขี่รู้สึกได้ถึงความเร็วที่เพิ่มขึ้น ทั้งที่ผู้ขับขี่ไม่ได้เพิ่มความเร็ว ซึ่งให้ความรู้สึกต่อผู้ขับขี่ต้องทำการลดความเร็ว	51
2.14	แสดงเครื่องหมายที่ผิวทางข้างทาง เพื่อให้ผู้ขับขี่รู้สึกถึงความแคบของช่องจราจร แต่ไม่เป็นการลดขนาดความกว้างของช่องจราจร	52
2.15	แสดง Tubular channelizing markers เพื่อให้ผู้ขับขี่รู้สึกถึงความแคบของช่องจราจร	52
2.16	เครื่องหมายบนผิวทางเป็นเส้นในแนวขวางเพื่อช่วยลดความเร็ว	53
2.17	เครื่องหมายบนผิวทางเป็นเส้นในแนวขวางเพื่อช่วยลดความเร็ว	53
2.18	แสดง Shoulder markings เครื่องหมายบนผิวไหล่ทางทำให้ผู้ขับขี่รู้สึกถึงความแคบของช่องจราจร เพื่อช่วยให้ผู้ขับขี่ลดความเร็ว	54
2.19	แสดง Speed limit markings เครื่องหมายบนผิวทางเป็นโทนสีแดง	54
3.1	แสดงรูปภาคเหนือและทางหลวงในภาคเหนือ	57

3.2	แสดงสำเนาแบบแปลน As-built Drawing ทางเรขาคณิตที่ได้จากแขวงการทาง	58
3.3	แสดงการวัดมุมเพื่อหามุมที่แนวตรงหักเหไป	59
3.4	แสดงการวัดระยะเพื่อตรวจสอบความยาวโค้ง	60
3.5	แสดงการวัดระยะเพื่อตรวจสอบเปอร์เซ็นต์ความลาดชัน	60
3.6	แสดงการวัดเพื่อตรวจสอบความกว้างของช่องจราจร	61
3.7	แสดงการวัดระยะการมองเห็นโดยใช้วิธี Template	62
3.8	แบบฟอร์มในการสำรวจข้อมูลความเร็วขับขี่ของยานพาหนะส่วนบุคคล	63
3.9	แสดงการเก็บตัวอย่างแต่ละโค้ง	64
4.1	แสดงการกระจายข้อมูล CCR ของโค้ง	71
4.2	แสดงการกระจายข้อมูลเปอร์เซ็นต์ความลาดชันในช่วงทางโค้ง	71
4.3	แสดงการกระจายข้อมูลเปอร์เซ็นต์ความลาดชันในช่วงทางตรง	72
4.4	แสดงการกระจายข้อมูลความกว้างของช่องจราจรในช่วงทางโค้ง	73
4.5	แสดงการกระจายข้อมูลความยาวของช่องทางตรง	73
4.6	แสดงการกระจายข้อมูลระยะการมองเห็นในทางตรง	74
4.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเปอร์เซ็นต์สะสม	75
4.8	แสดงการหาค่าความเร็วสูงสุด ความเร็วเฉลี่ย ความเร็วต่ำสุด ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ความเบ้ ความโด่งและความเร็วขับขี่	77
4.9	แสดงการกระจายข้อมูลความเร็วขับขี่ (V_{85}) ในช่วงโค้ง	80
4.10	แสดงการกระจายข้อมูลความเร็วขับขี่ในช่วงทางตรง	83
4.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วขับขี่กับรัศมีโค้ง	84
4.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วขับขี่กับ Inverse Radius	84
4.13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วขับขี่กับ Degree of curve	85
4.14	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วขับขี่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงโค้ง (CCR)	85
4.15	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วขับขี่กับความยาวทางตรง	86
5.1	แผนภาพขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลอง	94
5.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V_{85} ที่ได้จากแบบจำลอง 5.1 กับ V_{85} ในภาคสนามของช่วงทางโค้ง	100
5.3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V_{85} ที่ได้จากแบบจำลอง 5.2 กับ V_{85} ในภาคสนามของช่วงทางตรง	101

5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V_{85} ที่ได้จากแบบจำลอง 5.3 -5.6 กับ V_{85} ในภาคสนาม ของช่วงทางตรง 101

5.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V_{85} (แบบจำลอง 5.2) แบบจำลองทุกลักษณะเรขาคณิต กับ V_{85} (แบบจำลอง 5.3-5.6) แบบจำลองแบบแบ่งกลุ่มลักษณะเรขาคณิต ในช่วงทางตรง 102

5.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V_{85} ที่ได้จากแบบจำลอง (แบบจำลอง 5.1 ใช้ข้อมูล ในการสร้างแบบจำลอง 26 โค้ง หรือ 78.8 เปอร์เซ็นต์) กับ V_{85} ในภาคสนาม ช่วงทางโค้ง 7 ไซต์ โดยทดสอบกับข้อมูลที่แยกไว้ทดสอบ 104

5.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V_{85} ที่ได้จากแบบจำลอง (แบบจำลอง 5.2 ใช้ข้อมูล ในการสร้างแบบจำลอง 25 ช่วง หรือ 80.6 เปอร์เซ็นต์) กับ V_{85} ในภาคสนาม ช่วงทางตรง 6 ไซต์ โดยทดสอบกับข้อมูลที่แยกไว้ทดสอบ 104

5.8 แสดงการเปรียบเทียบแบบจำลองในช่วงทางโค้ง 105

5.9 แสดงการเปรียบเทียบแบบจำลองในช่วงทางตรง 106

5.10 ทางหลวงหมายเลข 1169 ตอนบ้านท่าล้อถึงบ้านน้ำยาว (กม.4+900 - กม.5+600) 108

5.11 ทางหลวงหมายเลข 1169 ตอนบ้านท่าล้อถึงบ้านน้ำยาว (กม.5+600 - กม.6+300) 109

5.12 ทางหลวงหมายเลข 1169 ตอนบ้านท่าล้อถึงบ้านน้ำยาว (กม.6+300 - กม.7+000) 110

6.1 รายละเอียดขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม 117

6.2 แสดง Pop Up สำหรับเริ่มต้นใช้โปรแกรมตรวจสอบแนวเส้นทาง 118

6.3 ตัวอย่างการแสดงผลการตรวจสอบของลักษณะ Successive Element 118

6.4 แสดงตัวอย่างสัญลักษณ์ผลการตรวจสอบในช่วงทางโค้งเป็นการออกแบบที่ไม่ดี 119

6.5 แสดงตัวอย่างผลการตรวจสอบเป็นข้อความ 120

6.6 แสดงการป้อนเป็นลักษณะเรขาคณิตเข้าโปรแกรม 121

6.7 แสดงการเลือกแบบจำลองของผู้ศึกษา 121

6.8 แสดงการเลือกแบบจำลองของ Lamm. 122

6.9 แสดงผลการตรวจสอบจากแบบจำลองช่วงทางโค้งของงานวิจัย 122

6.10 แสดงผลการตรวจสอบจากแบบจำลองช่วงทางโค้งของ Lamm. (สหรัฐอเมริกา-นิวยอร์ก) 123

6.11 แสดงผลการตรวจสอบจากแบบจำลองช่วงทางโค้งของ Lamm. (กรีซ) 123

6.12 แสดงการนำเข้าข้อมูลของแนวเส้นทางลักษณะ Successive Element 125

6.13 แสดงการเลือกแบบจำลองเพื่อตรวจสอบลักษณะ Successive Element 125

6.14 แสดงผลการตรวจสอบความสอดคล้องของทางหลวงหมายเลข 1169 ตอน บ้านท่าล้อ ถึง บ้านน้ำยาว ช่วง กม.4+900 ถึง กม.7+000 โดยใช้แบบจำลองความเร็วขับขี่ในทางโค้งและทางตรง จากข้อมูลการศึกษาความเร็วขับขี่ (Surasith Model) 126

6.15 แสดงผลการตรวจสอบความสอดคล้องของทางหลวงหมายเลข 1169 ตอน บ้านท่าล้อ ถึง บ้านน้ำยาว ช่วง กม.4+900 ถึง กม.7+000 โดยใช้แบบจำลองความเร็วขับขี่ในทางโค้งของ Lamm. (U.S.A.) และในช่วงทางตรง ของ FHWA. 127

6.16 แสดงผลการตรวจสอบความสอดคล้องของทางหลวงหมายเลข 1169 ตอน บ้านท่าล้อ ถึง บ้านน้ำยาว ช่วง กม.4+900 ถึง กม.7+000 โดยใช้แบบจำลองความเร็วขับขี่ในทางโค้งของ Lamm. (Greece) และในช่วงทางตรง ของ FHWA. 128

6.17 แสดงผลการตรวจสอบความสอดคล้องของทางหลวงหมายเลข 1169 ตอน บ้านท่าล้อ ถึง บ้านน้ำยาว ช่วง กม.4+900 ถึง กม.7+000 โดยใช้แบบจำลองความเร็วขับขี่ในทางโค้งของ Lamm. (U.S.A.) และในช่วงทางตรง จากข้อมูลการศึกษาความเร็วขับขี่ (Surasith Model) 129

6.18 แสดงผลการตรวจสอบความสอดคล้องของทางหลวงหมายเลข 1169 ตอน บ้านท่าล้อ ถึง บ้านน้ำยาว ช่วง กม.4+900 ถึง กม.7+000 โดยใช้แบบจำลองความเร็วขับขี่ในทางโค้งของ Lamm. (Greece) และในช่วงทางตรง จากข้อมูลการศึกษาความเร็วขับขี่ (Surasith Model) 130

6.19 แสดงผลการตรวจสอบความสอดคล้องของทางหลวงหมายเลข 1169 ตอน บ้านท่าล้อ ถึง บ้านน้ำยาว ช่วง กม.4+900 ถึง กม.7+000 โดยใช้แบบจำลองความเร็วขับขี่ในทางโค้ง จากข้อมูลการศึกษาความเร็วขับขี่ (Surasith Model) และในช่วงทางตรง FHWA. 131

6.20 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วขับขี่ของแบบจำลองผู้ศึกษา, Lamm. (U.S.A.) และ Lamm. (Greece) กับตัวแปร CCR 134

6.21 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วขับขี่ของแบบจำลองผู้ศึกษา และ FHWA. กับตัวแปรความยาวช่วงทางตรง 134

6.22 แสดง Speed Profile ของ Surasith Models บนทางหลวงหมายเลข 1169 กม.4+900 ถึง กม.7+000 135