

## บทที่ 5

### สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

อุบัติเหตุจากการชนต่งและจราจรในประเทศไทยในระบบชนต่งมวลชนระหว่างจังหวัด โดยเฉพาะรถโดยสารขนาดใหญ่ซึ่งใช้เส้นทางภูเขาในการเดินทางซึ่งมีความคดเคี้ยวและความลาดชันสูง ซึ่งหากเกิดอุบัติเหตุในแต่ละครั้งจะพบว่ามี ความรุนแรง ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินเป็นอย่างมาก ทำให้ผู้วิจัยเห็นความสำคัญของอุบัติเหตุรถโดยสาร จึงได้ทำการศึกษา ค้นคว้าและวิจัย โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความเร็วที่ปลอดภัยสำหรับการขับขึ้นรถโดยสารขนาดใหญ่บนเส้นทางภูเขา และแสดงผลความเร็วปลอดภัยบนเส้นทางที่ใช้เป็นกรณีศึกษา ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS) ในวิธีการวิจัยเพื่อให้ได้ตัวแปรมาคำนวณความเร็วปลอดภัยของขบวนบนโค้งที่พิจารณานั้น จำเป็นที่จะต้องอาศัยข้อมูลด้านเรขาคณิตของเส้นทาง และข้อมูลเทคนิคของขบวน โดยมีโค้งในกรณีศึกษา 3 โค้ง ซึ่งเลือกจากโค้งที่อยู่บนเส้นทางภูเขาและเคยเกิดอุบัติเหตุรถโดยสาร จากนั้นได้ทำการรวบรวมข้อมูลถนนทั้งช่วงก่อนเข้าโค้งและหลังออกจากโค้ง จำนวน 3 โค้งอันได้แก่ ทางหลวงหมายเลข 1004 สายห้วยแก้ว – คอยสุเทพ (โค้งขุนกัณฑ์) อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ตั้งแต่กิโลเมตรที่ 14+095 ถึง 14+145 ทางหลวงหมายเลข 1096 สายแม่ริม – สะเมิง อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ ตั้งแต่กิโลเมตรที่ 7+925 ถึง 8+015 และหลวงหมายเลข 12 (105 เก้า) สายแม่สอด – ดาก อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ตั้งแต่กิโลเมตรที่ 28+850 ถึง 28+990 สำหรับการรวบรวมข้อมูลเรขาคณิตของทั้ง 3 โค้งได้ทำการสำรวจข้อมูลจากภาคสนาม และรวบรวมข้อมูลถนนจากแบบของหน่วยงานกรมทางหลวง ส่วนข้อมูลเทคนิคของขบวนที่พิจารณาได้ทำการรวบรวมโดยแบ่งประเภทของขบวนออกเป็น 7 ประเภทอันได้แก่ รถนั่งส่วนบุคคล (รถเก๋ง) รถกระบะ รถเอนกประสงค์ (Sport Utility Vehicle, SUV) รถตู้ รถโดยสารชั้นเดียว 2 เพลา รถโดยสารชั้นเดียว 3 เพลา และรถโดยสารสองชั้น 3 เพลา นำข้อมูลเรขาคณิตของถนนทั้ง 3 โค้ง และข้อมูลเทคนิคของขบวนทั้ง 7 ประเภทที่ได้มาคำนวณความเร็วปลอดภัยซึ่งอาศัยสมการในการวิเคราะห์ความเร็วของขบวนที่จะนำไปสู่การเกิดอุบัติเหตุใน 3 รูปแบบอันได้แก่ ความเร็วปลอดภัยที่ไม่ทำให้รถพลิกคว่ำ (Rollover) ความเร็วปลอดภัยที่ไม่ทำให้รถไถลออกโค้ง (Sliding out of curve) และความเร็วปลอดภัยที่ทำให้รถสามารถเลี้ยวไปตามโค้งได้โดยไม่หลุดออกโค้ง (Fail to negotiate curve) และทำการวัดความเร็วขับขึ้นและบันทึกวิดีโอเพื่อศึกษาพฤติกรรมการขับขึ้นของขบวน ซึ่งแบ่งเป็น 2 พฤติกรรม

อันได้แก่ การขับแบบตามโค้งหรือไม่ตัดโค้ง และการขับแบบตัดโค้ง ซึ่งเมื่อได้ความเร็วปลอดภัยที่ได้จากการคำนวณแล้ว จะนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับความเร็วจากการตรวจวัดจริง ว่าสมการวิเคราะห์ความเร็วปลอดภัยในรูปแบบใดเหมาะสมมากที่สุด ที่จะนำมาใช้คำนวณความเร็วปลอดภัยสำหรับรถโดยสารขนาดใหญ่ตลอดเส้นทางที่ศึกษา 1 เส้นทาง คือ ทางหลวงหมายเลข 1096 เส้นทางสายแม่ริม – สะเมิง มีระยะทาง 27 กิโลเมตรและมีจำนวนโค้ง 168 โค้ง โดยเลือกเฉพาะขาลงเขาเข้าสู่อำเภอแม่ริมซึ่งมีความคดเคี้ยวและเคยเกิดอุบัติเหตุรถโดยสารมาแล้ว จัดทำข้อมูลแสดงผลบนระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS) โดยอาศัยโปรแกรม ArcViewGIS3.3 ในการแสดงข้อมูลรายละเอียดและความเร็วปลอดภัยในแต่ละโค้งตลอดเส้นทางที่พิจารณา

## 5.1 สรุปผลงานวิจัย

จากการวิจัยเรื่อง การตรวจสอบความเร็วปลอดภัยสำหรับรถโดยสารขนาดใหญ่บนเส้นทางภูเขาสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

### 5.1.1 ลักษณะเรขาคณิตของโค้งที่ได้จากการสำรวจ 3 โค้ง

1) โค้งสายห้วยแก้ว – คอยสุเทพ มีข้อมูลเรขาคณิตที่ได้จากการสำรวจแสดงในตาราง 4.1 และจากผังโปรไฟล์แสดงวิธีการยกโค้งโดยอาศัยข้อมูลจากการสำรวจค่าระดับทุก 5 เมตรในรูป 4.1-3 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการยกโค้งกลม (Circular curve) โดยวิธีหมุนเพพเมนต์ (Pavement) รอบเส้นศูนย์กลางถนนของกรมทางหลวงจะพบว่า อัตราส่วนของความชันระหว่างขอบถนนทั้งสองด้านในช่วงเริ่มเข้าโค้งตั้งแต่ STA.14+145 ถึง STA.14+125 จากการสำรวจเท่ากับ 1:160 และช่วงออกโค้งหลังจากมีการยกโค้งสูงสุดตั้งแต่ STA.14+120 ถึง STA.14+090 มีอัตราส่วนของความชันระหว่างขอบถนนเท่ากับ 1:183 ซึ่งอัตราส่วนของความชันระหว่างขอบถนนที่กรมทางหลวงแนะนำ ( $1:S, S \geq S_{min}$ ) จากตาราง 2.11 ควรมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1:105 เมื่อความเร็วออกแบบเท่ากับ 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง จากการเปรียบเทียบระหว่างวิธียกโค้งจริงที่ได้จากการสำรวจกับวิธียกโค้งของกรมทางหลวงพบว่า อัตราส่วนของความชันระหว่างขอบถนนทั้งสองข้างของโค้งจริงยังอยู่ในเกณฑ์ที่กรมทางหลวงแนะนำ ( $S \geq S_{min}$ )

2) โค้งสายแม่ริม – สะเมิง มีข้อมูลเรขาคณิตที่ได้จากการสำรวจแสดงในตาราง 4.2 และจากผังโปรไฟล์แสดงวิธีการยกโค้งโดยอาศัยข้อมูลจากการสำรวจค่าระดับทุก 5 เมตรในรูป 4.1-7 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการยกโค้งกลม (Circular curve) โดยวิธีหมุนเพพเมนต์ (Pavement) รอบเส้นศูนย์กลางถนนของกรมทางหลวงจะพบว่า อัตราส่วนของความชันระหว่างขอบถนนทั้ง

สองด้านในช่วงเริ่มเข้าโค้งตั้งแต่ STA.8+015 ถึง STA.7+980 จากการสำรวจเท่ากับ 1:273 และ ช่วงออกโค้งหลังจากมีการยกโค้งสูงสุดตั้งแต่ STA.7+965 ถึง STA.7+925 มีอัตราส่วนของความชันระหว่างขอบถนนเท่ากับ 1:241 ซึ่งอัตราส่วนของความชันระหว่างขอบถนนที่กรมทางหลวงแนะนำ ( $1:S, S \geq S_{min}$ ) จากตาราง 2.11 ควรมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1:128 เมื่อความเร็วออกแบบเท่ากับ 35 กิโลเมตร/ชั่วโมง จากการเปรียบเทียบระหว่างวิธียกโค้งจริงที่ได้จากการสำรวจกับวิธียกโค้งของกรมทางหลวงพบว่า อัตราส่วนของความชันระหว่างขอบถนนทั้งสองข้างของโค้งจริงยังอยู่ในเกณฑ์ที่กรมทางหลวงแนะนำ ( $S \geq S_{min}$ )

3) โค้งสายแม่สอด – ตาก มีข้อมูลเรขาคณิตที่ได้จากการสำรวจแสดงในตาราง 4.3 และ จากผังโปรไฟล์แสดงวิธีการยกโค้งโดยอาศัยข้อมูลจากการสำรวจค่าระดับทุก 10 เมตรในรูป 4.1-11 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกรยกโค้งกลม (Circular curve) โดยวิธีหมุนเพพเมนต์ (Pavement) รอบเส้นศูนย์กลางถนนของกรมทางหลวงจะพบว่า อัตราส่วนของความชันระหว่างขอบถนนทั้งสองด้านในช่วงเริ่มเข้าโค้งตั้งแต่ STA.28+850 ถึง STA.28+905 จากการสำรวจเท่ากับ 1:137 และช่วงออกโค้งหลังจากมีการยกโค้งสูงสุดตั้งแต่ STA.28+935 ถึง STA.28+990 มีอัตราส่วนของความชันระหว่างขอบถนนเท่ากับ 1:147 ซึ่งอัตราส่วนของความชันระหว่างขอบถนนที่กรมทางหลวงแนะนำ ( $1:S, S \geq S_{min}$ ) จากตาราง 2.11 ควรมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1:150 เมื่อความเร็วออกแบบเท่ากับ 50 กิโลเมตร/ชั่วโมง จากการเปรียบเทียบระหว่างวิธียกโค้งจริงที่ได้จากการสำรวจกับวิธียกโค้งของกรมทางหลวงพบว่า อัตราส่วนของความชันระหว่างขอบถนนทั้งสองข้างของโค้งจริงน้อยกว่าเกณฑ์ที่กรมทางหลวงแนะนำ ( $S < S_{min}$ )

### 5.1.2 พฤติกรรมการวิ่งของขวยคานบนโค้งที่พิจารณา 3 โค้ง

พฤติกรรมการวิ่งของขวยคานแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ การขับแบบตามโค้งหรือไม่ตัดโค้ง และการขับแบบตัดโค้ง ซึ่งพฤติกรรมการวิ่งของขวยคานบนโค้งที่พิจารณา 3 โค้งสรุปได้ดังนี้

1) พฤติกรรมการวิ่งของขวยคานบนโค้งสายห้วยแก้ว – คอยสุเทพ จากการสำรวจพบว่า ขวยคานทุกประเภทมีการขับแบบไม่ตัดโค้ง 44.80 % และขับตัดโค้ง 55.20 % สำหรับพฤติกรรมการวิ่งของขวยคานแต่ละประเภทแสดงในตาราง 5.1

ตาราง 5.1 พฤติกรรมการวิ่งของขบวนรถทั้ง 5 ประเภท บนทางหลวงหมายเลข 1004 ตอน  
ห้วยแก้ว – คอยสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 14+095 ถึง STA. 14+145 ทิศทางลง  
เขา เข้าสู่ตัวเมืองเชียงใหม่

ประเภทขบวนรถ	รถเก๋ง	รถ กระบะ	รถ SUV	รถตู้	รถโดยสาร ขนาดใหญ่
เปอร์เซ็นต์ของรถที่ไม่ตัดโค้ง	45 %	46 %	47 %	51 %	35 %
เปอร์เซ็นต์ของรถที่ตัดโค้ง	55 %	54 %	53 %	49 %	65 %

2) พฤติกรรมการวิ่งของขบวนรถบนโค้งสายแม่ริม – สะเมิง จากการสำรวจพบว่า  
ขบวนรถทุกประเภทมีการขับแบบไม่ตัดโค้ง 12.60 % และขับตัดโค้ง 87.40 % สำหรับพฤติกรรม  
การวิ่งของขบวนรถแต่ละประเภทแสดงในตาราง 5.2

ตาราง 5.2 พฤติกรรมการวิ่งของขบวนรถทั้ง 5 ประเภท บนทางหลวงหมายเลข 1096 ตอน แม่ริม –  
สะเมิง อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ STA. 7+925 ถึง STA. 8+015 ทิศทางลงเขา เข้าสู่  
ตัวอำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่

ประเภทขบวนรถ	รถเก๋ง	รถ กระบะ	รถ SUV	รถตู้	รถโดยสาร ขนาดใหญ่
เปอร์เซ็นต์ของรถที่ไม่ตัดโค้ง	18 %	16 %	18 %	11 %	0 %
เปอร์เซ็นต์ของรถที่ตัดโค้ง	82 %	84 %	82 %	89 %	100 %

3) พฤติกรรมการวิ่งของขบวนรถบนโค้งสายแม่สอด – ตาก จากการสำรวจพบว่า  
ขบวนรถทุกประเภทมีการขับแบบไม่ตัดโค้ง 41.60 % และขับตัดโค้ง 58.40 % สำหรับพฤติกรรม  
การวิ่งของขบวนรถแต่ละประเภทแสดงในตาราง 5.3

ตาราง 5.3 พฤติกรรมการวิ่งของขบวนรถทั้ง 5 ประเภท บนทางหลวงหมายเลข 12 (105 เก้า) ตอน  
แม่สอด – ตาก อำเภอเมือง จังหวัดตาก STA. 28+850 ถึง STA. 28+990 ทิศทางลงเขา  
เข้าสู่ตัวอำเภอเมือง จังหวัดตาก

ประเภทขบวนรถ	รถเก๋ง	รถ กระบะ	รถ SUV	รถตู้	รถโดยสาร ขนาดใหญ่
เปอร์เซ็นต์ของรถที่ไม่ตัดโค้ง	42 %	34 %	54 %	48 %	30 %
เปอร์เซ็นต์ของรถที่ตัดโค้ง	58 %	66 %	46 %	52 %	70 %

### 5.1.3 ความเร็วขับขี่ของขยวดยานที่ได้จากการวัด บนโค้งที่พิจารณา 3 โค้ง

1) ความเร็วของขยวดยานบน โค้งสายห้วยแก้ว – คอยสุเทพ ซึ่ง ได้จากการวัดความเร็วขับขี่ของขยวดยาน 5 ประเภท สรूपได้คั้งตาราง 5.4

ตาราง 5.4 ความเร็วขับขี่ของขยวดยานท้ง 5 ประเภท ที่ได้จากการวัด บนทางหลวงหมายเลข 1004 ตอนห้วยแก้ว – คอยสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 14+095 ถึง STA. 14+145

ประเภทขยวดยาน	รถเก๋ง	รถกระบะ	รถ SUV	รถตู้	รถโดยสารขนาดใหญ่
ความเร็วค่าสุดของรถที่ไม่ตัดโค้ง	9	5	11	10	10
ความเร็วสูงสุดของรถที่ไม่ตัดโค้ง	30	30	38	28	22
ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของรถที่ไม่ตัดโค้ง	25	24	28	24	15
ความเร็วเฉลี่ยของรถที่ไม่ตัดโค้ง	20	20	23	20	13
ความเร็วค่าสุดของรถที่ตัดโค้ง	17	18	13	13	10
ความเร็วสูงสุดของรถที่ตัดโค้ง	39	35	33	28	25
ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของรถที่ตัดโค้ง	30	30	29	26	22
ความเร็วเฉลี่ยของรถที่ตัดโค้ง	25	25	24	23	18
ความเร็วเฉลี่ยของรถท้งหมด	23	23	23	21	16
ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของรถท้งหมด	28	28	29	25	20

2) ความเร็วของขยวดยานบน โค้งสายแม่มริม – สะเมิง ซึ่ง ได้จากการวัดความเร็วขับขี่ของขยวดยาน 5 ประเภท สรूपได้คั้งตาราง 5.5

ตาราง 5.5 ความเร็วขั้บขี่ของขวดยานทั้ง 5 ประเภท ที่ได้จากการวัด บนทางหลวงหมายเลข 1096  
ตอน แมร์ริม – สะเมิง อำเภอมแมร์ริม จังหวัดเชียงใหม่ STA. 7+925 ถึง STA. 8+015

ประเภทขวดยาน ความเร็ว, กิโตะเมตร/ชั่วโมง	รถ เก๋ง	รถ กระบะ	รถ SUV	รถตู้	รถโดยสาร ขนาดใหญ่
ความเร็วต่ำสุดของรถที่ไม่ตัดโค้ง	19	26	24	20	-
ความเร็วสูงสุดของรถที่ไม่ตัดโค้ง	48	50	44	40	-
ความเร็วที่ 85 เปอร์เซนต์ไทล์ของรถที่ไม่ตัดโค้ง	44	42	38	37	-
ความเร็วเฉลี่ยของรถที่ไม่ตัดโค้ง	37	37	35	31	-
ความเร็วต่ำสุดของรถที่ตัดโค้ง	29	17	22	23	18
ความเร็วสูงสุดของรถที่ตัดโค้ง	58	62	57	54	44
ความเร็วที่ 85 เปอร์เซนต์ไทล์ของรถที่ตัดโค้ง	49	49	47	46	39
ความเร็วเฉลี่ยของรถที่ตัดโค้ง	44	43	42	41	30
ความเร็วเฉลี่ยของรถทั้งหมด	42	42	41	40	30
ความเร็วที่ 85 เปอร์เซนต์ไทล์ของรถทั้งหมด	48	49	47	45	39

3) ความเร็วของขวดยานบนโค้งสายแม่สอด – ดาก ซึ่งได้จากการวัดความเร็วขั้บขี่ของ  
ขวดยาน 5 ประเภท สรุปล้ได้ดังตาราง 5.6

ตาราง 5.6 ความเร็วขั้วของขบวนทั้ง 5 ประเภท ที่ได้จากการวัด บนทางหลวงหมายเลข 12 (105 เก้า) ตอน แม่สอด – ตาก อำเภอเมือง จังหวัดตาก STA. 28+850 ถึง STA. 28+990

ประเภทขบวน	รถ เก๋ง	รถ กระบะ	รถ SUV	รถตู้	รถโดยสาร ขนาดใหญ่
ความเร็วต่ำสุดของรถที่ไม่ตัดโค้ง	24	28	38	36	30
ความเร็วสูงสุดของรถที่ไม่ตัดโค้ง	75	61	68	60	50
ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของรถที่ไม่ตัดโค้ง	54	54	56	54	47
ความเร็วเฉลี่ยของรถที่ไม่ตัดโค้ง	47	47	50	48	41
ความเร็วต่ำสุดของรถที่ตัดโค้ง	36	39	31	39	32
ความเร็วสูงสุดของรถที่ตัดโค้ง	74	65	63	64	54
ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของรถที่ตัดโค้ง	59	61	58	58	50
ความเร็วเฉลี่ยของรถที่ตัดโค้ง	54	54	51	52	46
ความเร็วเฉลี่ยของรถทั้งหมด	51	51	50	50	45
ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของรถทั้งหมด	58	59	57	56	50

#### 5.1.4 สรุปความเร็วปลอดภัยที่ได้จากสมการคำนวณ 3 สมการ บนโค้งที่พิจารณา 3 โค้ง

จากการคำนวณความเร็วปลอดภัยของขบวนทั้ง 3 สมการ บนโค้งที่พิจารณา 3 โค้ง ทำให้ได้ผลดังตาราง 4.37 ถึง 4.42 ในหัวข้อ 4.5 การวิเคราะห์ความเร็วปลอดภัย ซึ่งนำผลจากการคำนวณความเร็วปลอดภัยของขบวนทั้ง 3 สมการ มาเปรียบเทียบกับความเร็วขั้วสูงสุด ( $v_{max}$ ) ที่ได้จากการตรวจวัดจริงบนโค้งที่พิจารณา 3 โค้ง พบว่ารถโดยสารใช้ความเร็วได้ต่ำที่สุดหากเปรียบเทียบกับรถเล็กประเภทอื่นๆที่พิจารณา ดังนั้นจึงนำผลวิเคราะห์ความเร็วปลอดภัยสำหรับรถโดยสารที่คำนวณความเร็วปลอดภัยทั้ง 3 สมการมาเปรียบเทียบกันโดยเฉพาะระหว่างรถโดยสารชั้นเดียวกับรถโดยสารสองชั้นซึ่งมีข้อมูลความเร็วปลอดภัยบน 3 โค้งที่พิจารณาแสดงในตาราง 5.7 ถึง 5.9 และแสดงผังกราฟในรูป 5.1-1 ถึง 5.1-3



ตาราง 5.7 เปรียบเทียบความเร็วที่ได้จากการคำนวณความเร็วปลอดภัย 3 สมการกับความเร็วขับซี่สูงสุดของรถโดยสารชั้นเดียวและรถโดยสารสองชั้นบนทางโค้งสายห้วยแก้ว - ดอยสุเทพ มีรัศมีโค้ง = 20.12 เมตร วัดจากทางวิ่งของขบวนที่ไม่ตัดโค้ง ทิศทางลงเขา

ประเภทของรถโดยสาร	ความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถพลิกคว่ำจากการคำนวณด้วยสมการ $v = \sqrt{gR \left( \frac{t}{2h} \right)}$ (กม./ชม.)	ความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถไถลออกนอกโค้ง จากการคำนวณด้วยสมการ $v = \sqrt{gR (e + f)}$ (กม./ชม.)		ความเร็วสูงสุดที่ทำให้รถสามารถเล่นไปตามโค้งได้โดยไม่หลุดโค้งจากการคำนวณด้วยสมการ $v = \sqrt{\left[ \frac{\delta - \left( \frac{57.3L}{R} \right)}{\left( \frac{W_f}{C_{af}} - \frac{W_r}{C_{ar}} \right)} \right] gR}$ (กม./ชม.)	ความเร็วขับซี่สูงสุดที่ได้จากการวัดความเร็วของรถโดยสารทั้งหมดจำนวน 170 คัน (กม./ชม.)
		$f_{min}=0.15$	$f_{max}=0.33$		
รถโดยสารชั้นเดียว 2 เพลา	49	20*	30	59	22
รถโดยสาร 2 ชั้น 3 เพลา	44	20*	30	35	22

ที่มา : ค่า Side-friction ( $f$ ) ที่แนะนำสำหรับถนนในประเทศที่กำลังพัฒนาอยู่ระหว่าง 0.15 - 0.33 (Bennett, 1994, t.9.2, p.198) และมีเปอร์เซ็นต์ยกโค้ง ( $e$ ) = 0.00 % เนื่องจากกรณีในช่วงที่เริ่มเข้าโค้ง มีการยกโค้งน้อยมากหรือแทบไม่มีการยกโค้งดังนั้นสมการคำนวณความเร็วที่ไม่ทำให้รถไถลออกโค้งจะใช้ค่า  $e$  เท่ากับศูนย์ ส่วนค่ารัศมีโค้ง ( $R$ ) ซึ่งวัดจากทางวิ่งของรถ = 20.12 เมตร

หมายเหตุ ค่าที่ทำเครื่องหมาย \* หมายถึง ใช้ค่า Side friction ขั้นต่ำ ( $f_{min}$ ) เป็นตัวควบคุมเพื่อความสะดวกสบายของผู้โดยสารและผู้ขับขี่ขบวน (Comfortable side friction controls)

ตาราง 5.8 เปรียบเทียบความเร็วที่ได้จากการคำนวณความเร็วปลอดภัย 3 สมการกับความเร็วขั้ว  
 ชีสูงสุดของรถโดยสารชั้นเดียวและรถโดยสารสองชั้นบนทางโค้งสาย แมริม – สะเมิง  
 มีรัศมีโค้ง = 53.76 เมตร วัดจากทางวิ่งของขบวนที่ไม่ตัดโค้ง ทิศทางลงเขา

ประเภทของ รถโดยสาร	ความเร็วสูงสุด ที่ไม่ทำให้รถ พลิกคว่ำ จาก การคำนวณ ด้วยสมการ $v = \sqrt{gR \left( \frac{t}{2h} \right)}$ (กม./ชม.)	ความเร็วสูงสุดที่ไม่ ทำให้รถไถลออก นอกโค้ง จากการ คำนวณด้วยสมการ $v = \sqrt{gR (e + f)}$ (กม./ชม.)		ความเร็วสูงสุดที่ทำให้ รถสามารถเล่นไปตาม โค้งได้โดยไม่หลุดโค้ง จากการคำนวณด้วย สมการ $v = \sqrt{\left[ \frac{\delta - \left( \frac{57.3L}{R} \right)}{\left( \frac{W_f}{C_{af}} - \frac{W_r}{C_{ar}} \right)} \right] gR}$ (กม./ชม.)	ความเร็วขั้ว ชีสูงสุดที่ได้ จากการวัด ความเร็ว ของรถ โดยสาร ทั้งหมด จำนวน 170 คัน (กม./ชม.)
		$f_{min}=0.15$	$f_{max}=0.33$		
รถโดยสารชั้น เดียว 2 เพลา	79	32*	47	85	44
รถโดยสาร 2 ชั้น 3 เพลา	73	32*	47	51	44

ที่มา : ค่า Side-friction ( $f$ ) ที่แนะนำสำหรับถนนในประเทศที่กำลังพัฒนาอยู่ระหว่าง 0.15 - 0.33 (Bennett, 1994, t.9.2, p.198) และมีเปอร์เซ็นต์ยกโค้ง ( $e$ ) = 0.00 % เนื่องจากกรณี  
 ในช่วงที่เริ่มเข้าโค้ง มีการยกโค้งน้อยมากหรือแทบไม่มีการยกโค้งดังนั้นสมการคำนวณ  
 ความเร็วที่ไม่ทำให้รถไถลออกโค้งจะใช้ค่า  $e$  เท่ากับศูนย์ ส่วนค่ารัศมีโค้ง ( $R$ ) ซึ่งวัดจากทาง  
 วิ่งของรถ = 53.76 เมตร

หมายเหตุ ค่าที่ทำเครื่องหมาย \* หมายถึง ใช้ค่า Side friction ขั้นต่ำ ( $f_{min}$ ) เป็นตัวควบคุม เพื่อ  
 ความสะดวกสบายของผู้โดยสารและผู้ขับขี่ขบวน (Comfortable side friction controls)

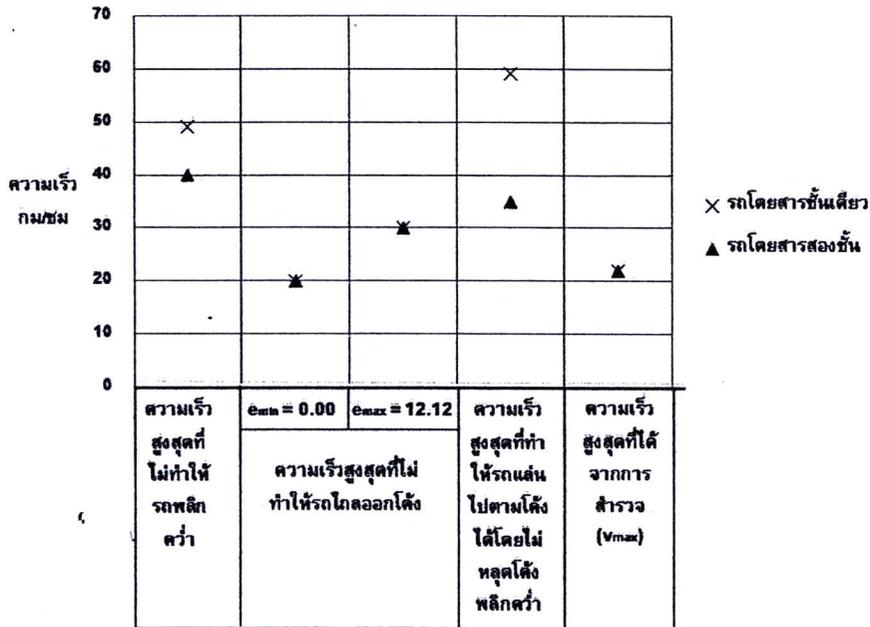
ตาราง 5.9 เปรียบเทียบความเร็วที่ได้จากการคำนวณความเร็วปลอดภัย 3 สมการกับความเร็วขับ  
 ขี่สูงสุดของรถโดยสารชั้นเดียวและรถโดยสารสองชั้นบนทางโค้งสาย แม่สอด – ดาก  
 มิรัสมิโค้ง = 59.28 เมตร วัดจากทางวิ่งของขบวนที่ไม่ตัดโค้ง ทิศทางลงเขา

ประเภทของ รถโดยสาร	ความเร็วสูงสุด ที่ไม่ทำให้รถ พลิกคว่ำ จาก การคำนวณ ด้วยสมการ $v = \sqrt{gR \left( \frac{t}{2h} \right)}$ (กม./ชม.)	ความเร็วสูงสุดที่ไม่ ทำให้รถไถลออก นอกโค้ง จากการ คำนวณด้วยสมการ $v = \sqrt{gR (e + f)}$ (กม./ชม.)		ความเร็วสูงสุดที่ทำให้ รถสามารถเล่นไปตาม โค้งได้โดยไม่หลุดโค้ง จากการคำนวณด้วย สมการ $v = \sqrt{\left[ \frac{\delta - \left( \frac{57.3L}{R} \right)}{\left( \frac{W_f}{C_{af}} - \frac{W_r}{C_{ar}} \right)} \right] gR}$ (กม./ชม.)	ความเร็วขับ ขี่สูงสุดที่ได้ จากการวัด ความเร็ว ของรถ โดยสาร ทั้งหมด จำนวน 170 คัน (กม./ชม.)
		$f_{min}=0.15$	$f_{max}=0.33$		
รถโดยสารชั้น เดียว 2 เพลา	83	34*	50	107	50
รถโดยสาร 2 ชั้น 3 เพลา	76	34*	50	64	50

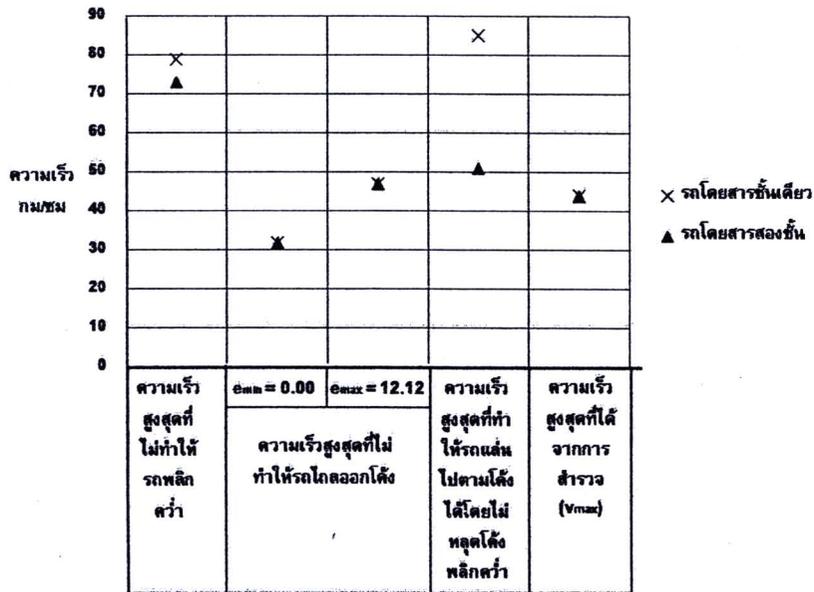
ที่มา : ค่า Side-friction ( $f$ ) ที่แนะนำสำหรับถนนในประเทศที่กำลังพัฒนาอยู่ระหว่าง 0.15 - 0.33  
 (Bennett, 1994, t.9.2, p.198) และมีเปอร์เซ็นต์ยกโค้ง ( $e$ ) = 0.00 % เนื่องจากกรณี  
 ในช่วงที่เริ่มเข้าโค้ง มีการยกโค้งน้อยมากหรือแทบไม่มีการยกโค้งดังนั้นสมการคำนวณ  
 ความเร็วที่ไม่ทำให้รถไถลออกโค้งจะใช้ค่า  $e$  เท่ากับศูนย์ ส่วนค่ารัศมีโค้ง ( $R$ ) ซึ่งวัดจากทาง  
 วิ่งของรถ = 59.28 เมตร

หมายเหตุ ค่าที่ทำเครื่องหมาย \* หมายถึง ใช้ค่า Side friction ขั้นต่ำ ( $f_{min}$ ) เป็นตัวควบคุมเพื่อ  
 ความสะดวกสบายของผู้โดยสารและผู้ขับขี่ขบวน (Comfortable side friction controls)

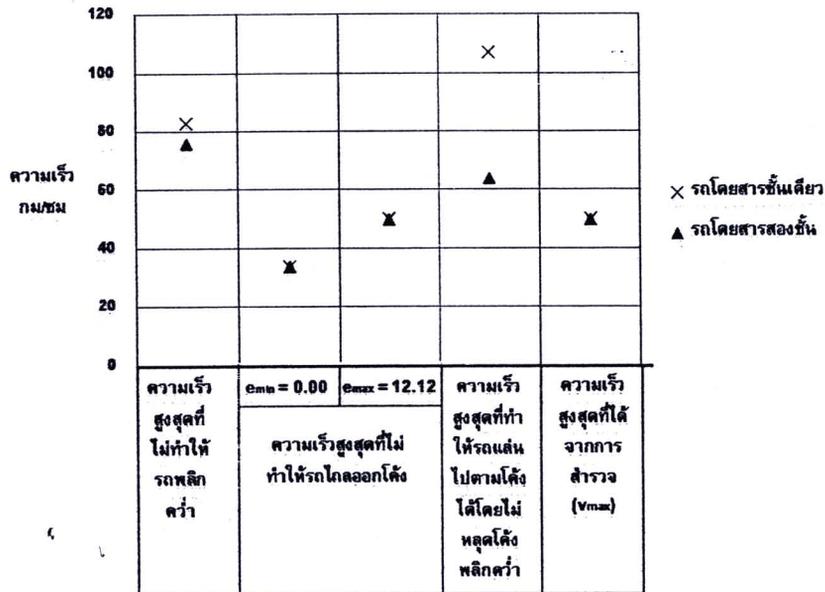
จากตาราง 5.7 ถึงตาราง 5.9 สามารถเปรียบเทียบความเร็วระหว่างรถโดยสารชั้น  
 เดียวกับรถโดยสารสองชั้นบน 3 โค้งที่พิจารณาได้เป็นแผนภูมิแสดงดังรูป 5.1-1 ถึงรูป 5.1-3



รูป 5.1-1 แสดงความเร็วปลอดภัยที่ได้จากคำนวณ 3 สมการ เปรียบเทียบกับความเร็วขั้วบั้งจริงที่ได้จากการวัดของรถโดยสารชั้นเดียวและรถโดยสารสองชั้นซึ่งมีพฤติกรรมการขับขีแบบไม่ตัดโค้ง บนทางโค้งสายห้วยแก้ว – คอยสุเทพ



รูป 5.1-2 แสดงความเร็วปลอดภัยที่ได้จากคำนวณ 3 สมการ เปรียบเทียบกับความเร็วขั้วบั้งจริงที่ได้จากการวัดของรถโดยสารชั้นเดียวและรถโดยสารสองชั้นซึ่งมีพฤติกรรมการขับขีแบบไม่ตัดโค้ง บนทางโค้งสายเมริม – ตะเมิง



รูป 5.1-3 แสดงความเร็วปลอดภัยที่ได้จากคำนวณ 3 สมการ เปรียบเทียบกับความเร็วขั้วจริงที่ได้จากการวัดของรถโดยสารชั้นเดียวและรถโดยสารสองชั้นซึ่งมีพฤติกรรมการขับขี่แบบไม่ตัดโค้ง บนทางโค้งสายแม่สอด - ตาก

จากกราฟในรูป 5.1-1 และรูป 5.1-3 สามารถสรุปได้ว่า สมการคำนวณความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถไถลออกโค้ง (Sliding out of curve) เป็นความเร็วที่ใกล้เคียงกับความเร็วขั้วจริงมากที่สุด โดยโค้งที่มีรัศมีโค้งแคบ (กรณี โค้งสายห้วยแก้ว-คอยสุเทพ) รถโดยสารสามารถใช้ความเร็วได้ต่ำกว่ารถที่เข้าโค้งที่มีรัศมีโค้งมาก (กรณี โค้งสายแม่สอด-ตาก) รถโดยสารสองชั้นที่มีขนาดและความสูงมากกว่าขบวนประเภทอื่นๆที่พิจารณา มีโอกาสเสี่ยงต่อการเสียการควบคุมรถมากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกสมการคำนวณความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถไถลออกโค้ง (Sliding out of curve) ไปใช้คำนวณความเร็วปลอดภัยของรถโดยสารขนาดใหญ่ครอบคลุมตลอดเส้นทาง โดยใช้ค่า Side friction ขั้นต่ำ ( $f_{min} = 0.15$ ) เป็นตัวควบคุม เพื่อความสะดวกสบายของผู้โดยสารและผู้ขับขี่รถโดยสาร (Comfortable side friction controls) รวมทั้งยังทำให้คนขับสามารถควบคุมรถในแนว Longitudinal ในการเร่งความเร็วหรือการเบรก และใช้ค่า  $e$  เท่ากับศูนย์ เนื่องจากกรณีในช่วงที่รถโดยสารเริ่มเข้าโค้งกลมที่ไม่มีโค้งสไปรอล และมีการยกโค้งน้อยมากหรือแทบไม่มีการยกโค้ง

### 5.1.5 สรุปปัจจัยที่ส่งผลต่อความสามารถในการใช้ความเร็วของขบวนในขณะเข้าโค้ง

จากการวิเคราะห์ความเร็วที่ได้จากการคำนวณความเร็วปลอดภัย 3 สมการ สำหรับขบวนประเภทต่างๆบนโค้งที่พิจารณา 3 โค้ง สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อ

ความสามารถในการใช้ความเร็วของขบวนรถในขณะเข้าโค้ง สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ปัจจัยได้แก่ ปัจจัยด้านมิติและขนาด (Dimension) ของขบวนรถ และปัจจัยด้านเรขาคณิตของถนน

1) ปัจจัยด้านมิติและขนาด (Dimension) ของขบวนรถที่ส่งผลต่อการใช้ความเร็วของขบวนรถซึ่งนำไปสู่การสูญเสียการควบคุมรถใน 2 ลักษณะอันได้แก่ การพลิกคว่ำ (Rollover) และการที่รถไม่สามารถเลี้ยวไปตามโค้ง (Fail to negotiate curve) โดยการพลิกคว่ำ (Rollover) ของขบวนรถนั้นขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างล้อด้านซ้ายและล้อด้านขวา ( $x$ ) และความสูงจากจุดศูนย์กลางถ่วงรถถึงพื้น ( $h$ ) จากผลการเปรียบเทียบความเร็วปลอดภัยที่ได้จากการคำนวณสำหรับรถทุกประเภทพบว่า รถที่มีความชะลูดมากอย่างเช่นรถโดยสารสองชั้นจะมีโอกาสที่จะเกิดการพลิกคว่ำมากกว่ารถเล็ก ส่วนการที่รถไม่สามารถเลี้ยวไปตามโค้ง (Fail to negotiate curve) ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างล้อด้านหน้ากับด้านหลังของรถ (Wheelbase,  $L$ ) จากผลการเปรียบเทียบความเร็วปลอดภัยที่ได้จากการคำนวณสำหรับรถทุกประเภทพบว่า รถที่มี Dimension ที่ยาวหรือมีระยะห่างระหว่างล้อด้านหน้าและล้อด้านหลัง (Wheelbase) มาก มีโอกาสที่จะหลุดโค้งหรือแหกโค้งได้ง่ายกว่ารถเล็กที่มี Dimension ที่สั้นกว่า

2) ปัจจัยด้านเรขาคณิตของถนนที่ส่งผลต่อการใช้ความเร็วของขบวนรถ ซึ่งจากผลการเปรียบเทียบความเร็วปลอดภัยที่ได้จากการคำนวณสำหรับรถทุกประเภทบนโค้งที่พิจารณาทั้ง 3 โค้งพบว่า โค้งที่มีรัศมีโค้ง ( $R$ ) มาก รถส่วนใหญ่สามารถใช้ความเร็วได้มากกว่าโค้งที่มีรัศมีโค้ง ( $R$ ) น้อย

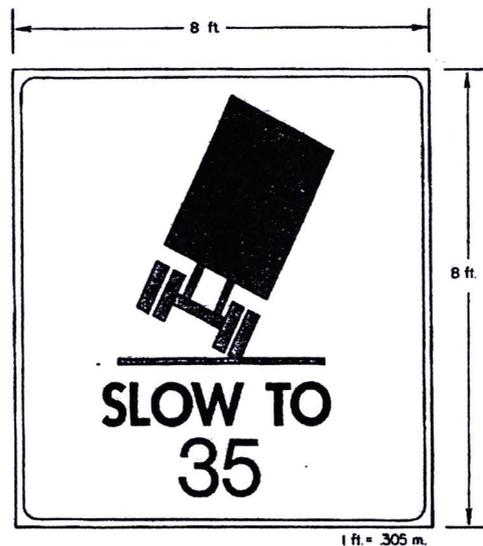
#### 5.1.6 สรุปการแสดงผลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS)

การแสดงผลความเร็วปลอดภัยในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) โดยอาศัยข้อมูลเรขาคณิตของถนนจากแบบของสำนักงานทางหลวงที่ 1 แขวงการทางเชียงใหม่ที่ 3 มาใช้คำนวณในสมการคำนวณหาความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถไถลออกโค้ง (Sliding out of curve) ทำให้ได้ความเร็วปลอดภัยครอบคลุมเส้นทางที่พิจารณาสายแม่ริม – สะเมิง ตลอดเส้นทาง ซึ่งมีความยาว 27 กิโลเมตร โดยพิจารณาเฉพาะทางโค้งที่มีทิศทางลงเขาเข้าสู่อำเภอแม่ริมซึ่งมีความลาดชันสูงและเคยเกิดอุบัติเหตุรถโดยสารมาแล้ว ซึ่งมีโค้งที่อยู่ในเกณฑ์พิจารณาจำนวน 168 โค้ง การคำนวณความเร็วปลอดภัยครอบคลุมตลอดเส้นทางทำให้ได้ความเร็วปลอดภัยทั้ง 168 โค้ง แต่มีบางช่วงที่เป็นทางโค้งและลงเนินติดต่อกันหลายโค้งจึงได้ทำการปรับปรุงโดยการเลือกความเร็วปลอดภัยที่มีค่าต่ำสุดมาใช้เป็นความเร็วปลอดภัยครอบคลุมเป็นช่วงๆ ทำให้ได้ความเร็วปลอดภัยใหม่ครอบคลุมในแต่ละช่วง ซึ่งแบ่งได้เป็น 11 ช่วง สำหรับแสดงผลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ทั้ง 11

ช่วง แสดงในตาราง 4.43 โดยอาศัยโปรแกรม ArcView3.3 ดังตัวอย่างแสดงขั้นตอนการเรียกดู  
ฐานข้อมูลแสดงผลความเร็วปลอดภัยในหัวข้อ 4.7.1

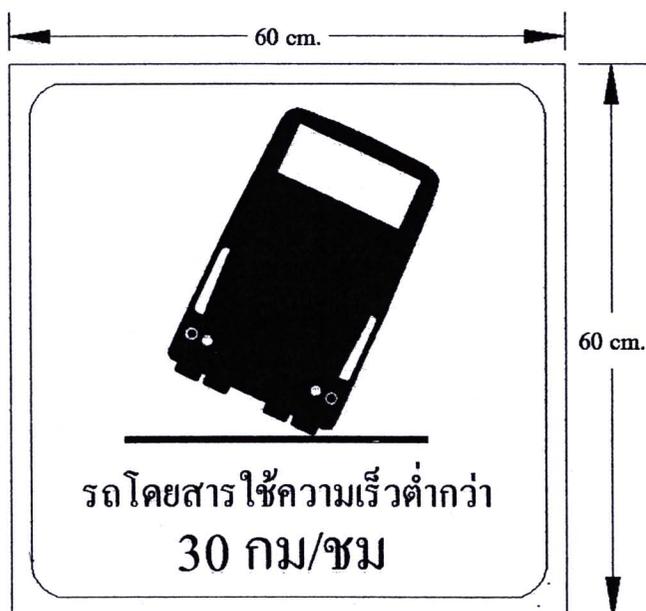
## 5.2 การนำผลของความเร็วปลอดภัยไปประยุกต์ใช้

ในการคำนวณความเร็วปลอดภัยสำหรับรถโดยสารขนาดใหญ่บนเส้นทางภูเขาสามารถใช้เป็นมาตรการกำหนดความเร็วแนะนำบน โค้งจริงที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุรถโดยสาร  
ขนาดใหญ่ได้ โดยประยุกต์ใช้เพื่อเตือนรถโดยสารให้ใช้ความเร็วตามกำหนดบนทาง โค้ง จาก  
ตัวอย่างในประเทศอเมริกา รัฐแคลิฟอร์เนีย ได้ใช้ป้ายเตือนรถบรรทุกให้ใช้ความเร็วตามกำหนดบน  
ทาง โค้งแห่งหนึ่งซึ่งเคยเกิดอุบัติเหตุรถบรรทุกพลิกคว่ำมาแล้ว ดังแสดงในรูป 5.2-1



รูป 5.2-1 ป้ายเตือนให้รถบรรทุกใช้ความเร็วตามที่กำหนด บนทาง โค้งแห่งหนึ่งในรัฐ  
แคลิฟอร์เนีย  
(Ervin et al., 1985)

จากการสำรวจ โค้งที่พิจารณา 3 โค้งพบว่าไม่มีป้ายควบคุมความเร็วสำหรับขบวนจะมี  
ก็เพียงแต่ป้ายจราจรชนิดเตือนแนวทาง โค้งเท่านั้น ผลจากการวิจัยนี้ทำให้ได้ความเร็วแนะนำใหม่  
สำหรับรถโดยสารขนาดใหญ่ สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อแนะนำรถโดยสารให้ใช้ความเร็ว  
แนะนำบนทาง โค้งอันตรายในประเทศไทยได้ ดังตัวอย่างป้ายแนะนำความเร็วสำหรับรถโดยสาร  
บนทาง โค้งแสดงในรูป 5.2-2



รูป 5.2-2 ตัวอย่างป้ายแนะนำให้รถโดยสารใช้ความเร็วตามที่กำหนด ในทางโค้งซ้ายสำหรับประเทศไทย

### 5.3 ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาต่อไป

จากการตรวจสอบความเร็วปลอดภัยสำหรับรถโดยสารขนาดใหญ่บนเส้นทางภูเขา เพื่อให้นำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ นอกจากส่วนที่ศึกษาข้างต้นแล้ว ยังมีข้อเสนอบางประเด็นที่ควรทำการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อให้นำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีข้อเสนอแนะดังนี้

1) การวิเคราะห์ความเร็วปลอดภัยที่ไม่ทำให้รถพลิกคว่ำ (Rollover) ในงานวิจัยนี้เป็นการสมมติว่ารถเป็น Rigid body ทำให้ได้ค่าอัตราเร่งทางด้านข้างที่ทำให้รถพลิกคว่ำ (Rollover threshold) สูงเกินไป ในสถานการณ์จริงรถสามารถพลิกคว่ำได้โดยที่อัตราเร่งด้านข้างยังไม่ถึงค่า Rollover threshold

ดังนั้นการประมาณค่าที่ใกล้เคียงกับการวิ่งของรถในโค้งมากที่สุดควรจะได้มาจาก Roll model หรือมีการทำ Simulation ความสัมพันธ์ของการวิ่งของรถโดยสารกับลักษณะเรขาคณิตของถนน

2) การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเส้นทางในบางส่วนเท่านั้น ถ้าเป็นไปได้หากนำไปประยุกต์ใช้กับเส้นทางอื่นที่เป็นเส้นทางภูเขาซึ่งเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุของรถโดยสาร จะเป็นการเพิ่มฐานข้อมูลและสามารถกำหนดจุดอันตรายบนเส้นทางภูเขาได้ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น