

บทที่ 4 ผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนที่แสดงไว้ในบทที่ 3 ทำให้ได้ข้อมูลด้านเรขาคณิตของโค้งที่ทำการศึกษา 3 แห่งในภาคเหนือ ข้อมูลทางเทคนิคและมิติขนาดของขบวนการที่ทำการศึกษา พฤติกรรมการวิ่งของขบวนการในโค้งและข้อมูลความเร็วของขบวนการที่ได้จากการวัด รวมถึงการวิเคราะห์ความเร็วปลอดภัยและผลการพัฒนาแผนที่แสดงผลความเร็วปลอดภัย ได้แสดงดังต่อไปนี้

4.1 ข้อมูลด้านเรขาคณิตของโค้งที่ทำการศึกษา 3 แห่งในภาคเหนือ

4.1.1 ข้อมูลด้านเรขาคณิตของถนนที่ได้จากการสำรวจโค้งสาย ห้วยแก้ว – คอยสุเทพ

ทางหลวงหมายเลข 1004 ตอน ห้วยแก้ว – คอยสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ STA. 14+095 ถึง STA. 14+145 เป็นถนน 3 ช่องจราจร ซึ่งทิศทางขึ้นไปสู่พระธาตุดอยสุเทพนั้นมี 2 ช่องจราจร ส่วนทางลงเขาเข้าสู่ตัวเมืองเชียงใหม่มีเพียง 1 ช่องจราจร โดยมีเปอร์เซ็นต์ความลาดชันสูงถึง 12.91 % ข้อมูลด้านเรขาคณิตของถนนที่ได้จากการสำรวจแสดงในตาราง 4.1

ตาราง 4.1 ข้อมูลด้านเรขาคณิตของถนนที่ได้จากการสำรวจโค้งสาย ห้วยแก้ว – คอยสุเทพ

ข้อมูลด้านเรขาคณิตของถนน (เมตร)	จากการสำรวจ	จากแบบของ กรมทางหลวง	หมายเหตุ
ความยาวโค้ง รัศมีโค้ง	40.958 18.120	38.657 12.878	วัดจาก Center Line
ความยาวโค้ง รัศมีโค้ง (R)	45.479 20.120		วัดจากทางวิ่งของขบวนการที่ไม่ตัด โค้ง ทิศทางลงเขา
ความยาวโค้ง รัศมีโค้ง (R)	47.513 21.550		วัดจากทางวิ่งของขบวนการที่ตัดโค้ง ทิศทางลงเขา
ทิศขาขึ้นมี 2 ช่อง กว้างช่องละ ทิศขาลงมี 1 ช่อง กว้าง	2.75 4.00		มี 3 ช่องจราจร ขาขึ้น 2 ช่องจราจร และขาลง 1 ช่องจราจร
ไหล่ทางทั้ง 2 ด้าน กว้าง	0.50		
ความกว้างถนนรวม	10.50		
เปอร์เซ็นต์ยกโค้งสูงสุด	11.79 %	ไม่ปรากฏ	
เปอร์เซ็นต์ความลาดชัน	12.91 %	10.10 %	

จากการสำรวจโค้งที่พิจารณาสายห้วยแก้ว – คอยสุเทพ ดังข้อมูลในตาราง 4.1 พบว่าค่ารัศมีโค้ง ความยาวโค้งและเปอร์เซ็นต์ความลาดชันที่ได้จากการวัดจริงในสนามมีค่ามากกว่าในแบบของกรมทางหลวง โดยเปอร์เซ็นต์ยกโค้งสูงสุด วัดได้ 11.79 % เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานของกรมทางหลวงเปอร์เซ็นต์ยกโค้งสูงสุดจะอยู่ที่ 10 % และเปอร์เซ็นต์ความลาดชันวัดได้ 12.91 % เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานของกรมทางหลวง (ตาราง 2.12) เปอร์เซ็นต์ความลาดชันสูงสุดสำหรับเส้นทางภูเขาจะอยู่ที่ 12 % ดังนั้นโค้งนี้ถือว่าเป็นโค้งวิกฤติเนื่องจากมีความลาดชันสูงเกินค่ามาตรฐานที่กรมทางหลวงกำหนด ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุจราจรได้

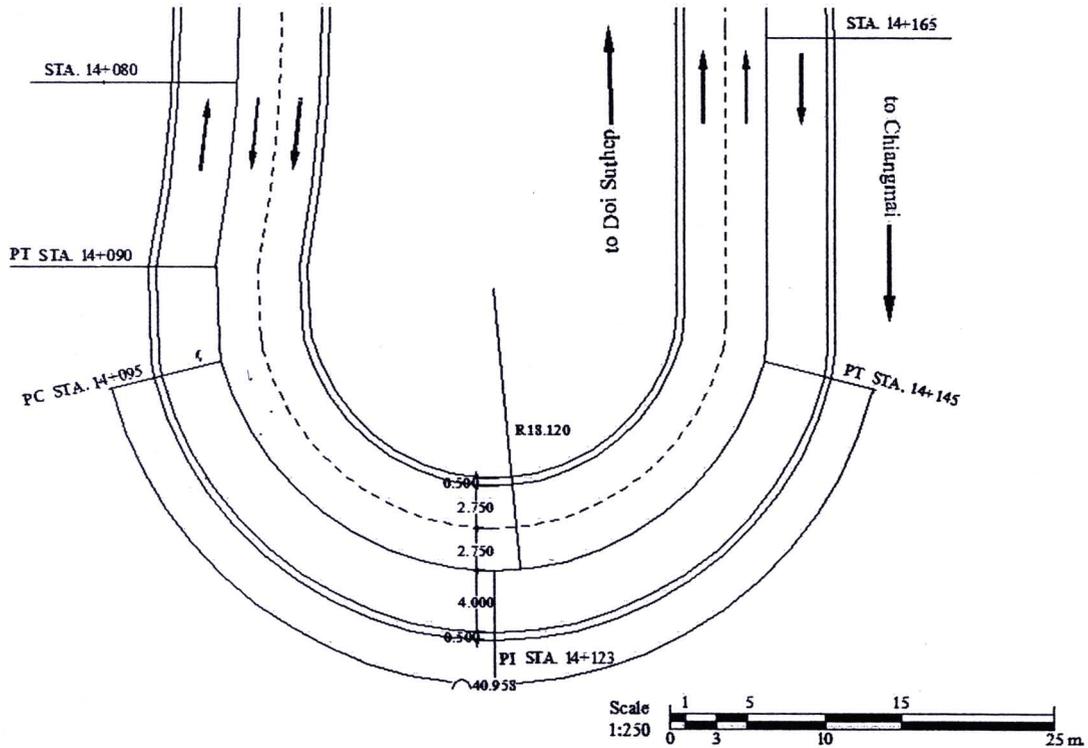
สภาพแวดล้อมของโค้งที่ทำการศึกษา และรูปแปลนที่ได้จากการสำรวจข้อมูลด้านเรขาคณิตของโค้ง โดยอาศัยโปรแกรม AutoCAD 2008 ช่วยในการเขียนรูปแปลน แสดงดังรูป 4.1-1 และรูป 4.1-2



รูป 4.1-1 โค้งขุนกัณฑ์ ทางหลวงหมายเลข 1004 ตอน ห้วยแก้ว – คอยสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

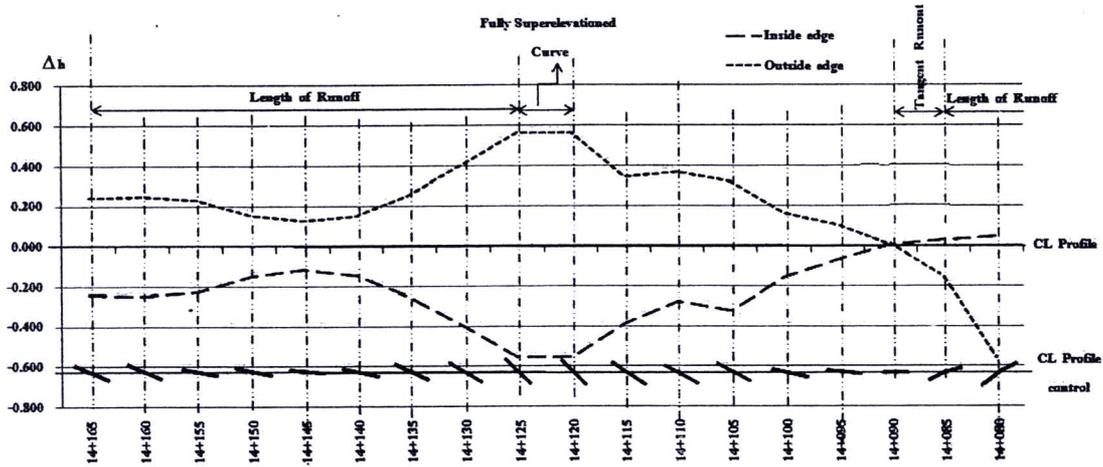
สภาพแวดล้อมของโค้งที่ทำการศึกษา ดังรูป 4.1-1 เมื่อพิจารณาจากเขาเป็นโค้งไปขวา มีเพียงหนึ่งช่องจราจร ไม่มีป้ายแนะนำความเร็ว มีเพียงป้ายเตือนแนวโค้งไปขวา ทางด้านซ้ายของ

ถนนเป็นเหวลึก มีราวกันตก (Guardrail) กั้นไว้ตลอดแนว ส่วนด้านขวาเป็นภูเขา หลังจากออกโค้งจะเป็นโค้งไปซ้าย

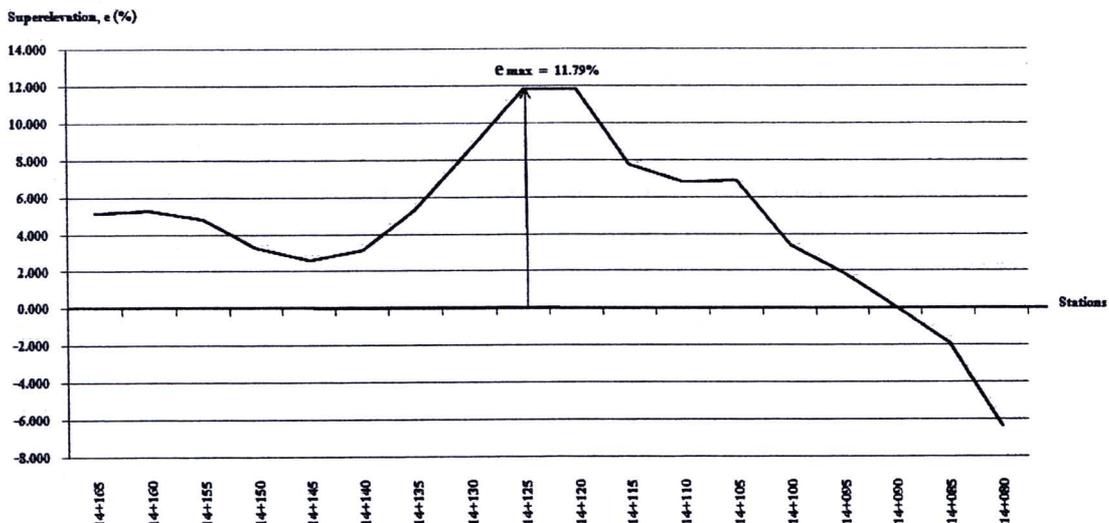


รูป 4.1-2 แบบแปลนแสดงรายละเอียดโค้งสายห้วยแก้ว – ดอยสุเทพ โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมาทำการเขียนรูปแปลน

ผังโปรไฟล์แสดงวิธีการยกโค้งตามทฤษฎีในบทที่ 2 หัวข้อ 2.4.2 โดยอาศัยข้อมูลจากการสำรวจค่าระดับทุก 5 เมตร ซึ่งแสดงค่าความต่างระดับของขอบถนนทั้งสองด้าน (Δh) และกราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ยกโค้งสูงสุด (e_{max}) ดังรูป 4.1-3 และรูป 4.1-4



รูป 4.1-3 ผังโปรไฟล์แสดงวิธีการยกโค้งที่ได้จากการสำรวจค่าระดับทุก 5 เมตร โดยมีทิศทาง Down Grade เข้าสู่โค้งไปขวา บนถนนสายห้วยแก้ว - คอยสุเทพ (รูปนี้เขียนโดยปรับให้ระดับของ Center Line, CL ที่ Station ต่างๆเท่ากับ 0.000)



รูป 4.1-4 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ยกโค้งที่ Station (STA.) ต่างๆ และเปอร์เซ็นต์ยกโค้งสูงสุด (e_{max}) บนทางโค้งสายห้วยแก้ว - คอยสุเทพ

จากการพิจารณาผังโปรไฟล์ดังรูป 4.1-3 และกราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ยกโค้งตาม Station ต่างๆดังรูป 4.1-4 ในทิศทางลงเขาเข้าสู่โค้งไปขวา พบว่าช่วงก่อนเข้าโค้งที่พิจารณา ที่ STA.14+165 เป็นช่วงทางตรงและมีการยกโค้งมาก่อนที่จะถึงช่วงเข้าโค้งที่พิจารณา ที่ STA.14+145 จากนั้นจะค่อยๆเพิ่มระดับการยกโค้งจนถึงระดับยกโค้งสูงสุด (e_{max}) ที่

STA.14+125 ถึง STA.14+120 และค่อยๆลดระดับการยกโค้งลงโดยการเริ่มลดระดับขอบนอก (Outside edge) และเพิ่มระดับขอบใน(Inside edge) จนเป็นระนาบเดียวกันกับเส้นศูนย์กลางถนน (Center line) ที่ STA.14+090 แล้วจึงเปลี่ยนมาเพิ่มระดับขอบนอกและลดระดับขอบในเพื่อเข้าสู่โค้งซ้ายต่อไป เมื่อเทียบกับการยกโค้งกลม (Circular curve) โดยวิธีหมุนผิวจราจร (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 min) จากตาราง 2.11 ควรมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1:105 เมื่อความเร็วออกแบบเท่ากับ 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง (ให้ความเร็วออกแบบเท่ากับความเร็วขั้วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ได้จากการวัดความเร็วรถโดยสาร เนื่องจากความเร็วออกแบบ หรือ Design speed ไม่ปรากฏในแบบ)

4.1.2 ข้อมูลด้านเรขาคณิตของถนนที่ได้จากการสำรวจโค้งสาย แม่ริม – สะเมิง

ทางหลวงหมายเลข 1096 ตอน แม่ริม – สะเมิง อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ STA. 7+925 ถึง STA. 8+015 เป็นถนน 2 ช่องจราจร ซึ่งทิศทางเข้าสู่อำเภอสะเมิงนั้นมี 1 ช่องจราจร ส่วนทิศทางลงเขาเข้าสู่ตัวอำเภอแม่ริมก็มี 1 ช่องจราจรเช่นกัน โดยมีเปอร์เซ็นต์ความลาดชันสูงสุดถึง 10.83 % ข้อมูลด้านเรขาคณิตของถนนที่ได้จากการสำรวจแสดงในตาราง 4.2

ตาราง 4.2 ข้อมูลด้านเรขาคณิตของถนนที่ได้จากการสำรวจ โคงงสาย แม่ริม – สะเมิง

ข้อมูลด้านเรขาคณิตของทางถนน (เมตร)	จากการ สำรวจ	จากแบบของ กรมทาง หลวง	หมายเหตุ
ความยาวโค้ง รัศมีโค้ง	96.451 55.61	93.44 53.55	วัดจาก Center Line
ความยาวโค้ง รัศมีโค้ง (R)	93.207 53.76		วัดจากทางวิ่งของขบวนที่ไม่ ตัดโค้ง ทิศทางลงเขา
ความยาวโค้ง รัศมีโค้ง (R)	111.718 55.59		วัดจากทางวิ่งของขบวนที่ตัด โค้ง ทิศทางลงเขา
ทิศขาขึ้นมี 1 ช่อง กว้าง ทิศขาลงมี 1 ช่อง กว้าง	3.70 3.70		มี 2 ช่องจราจร ขาขึ้น 1 ช่อง จราจร และขาลง 1 ช่องจราจร
ไหล่ทางทั้ง 2 ด้าน กว้าง	1.10		
ความกว้างถนนรวม	9.60		
เปอร์เซ็นต์ยกโค้งสูงสุด	8.000 %	9.200 %	
เปอร์เซ็นต์ความลาดชัน	10.829 %	10.667 %	

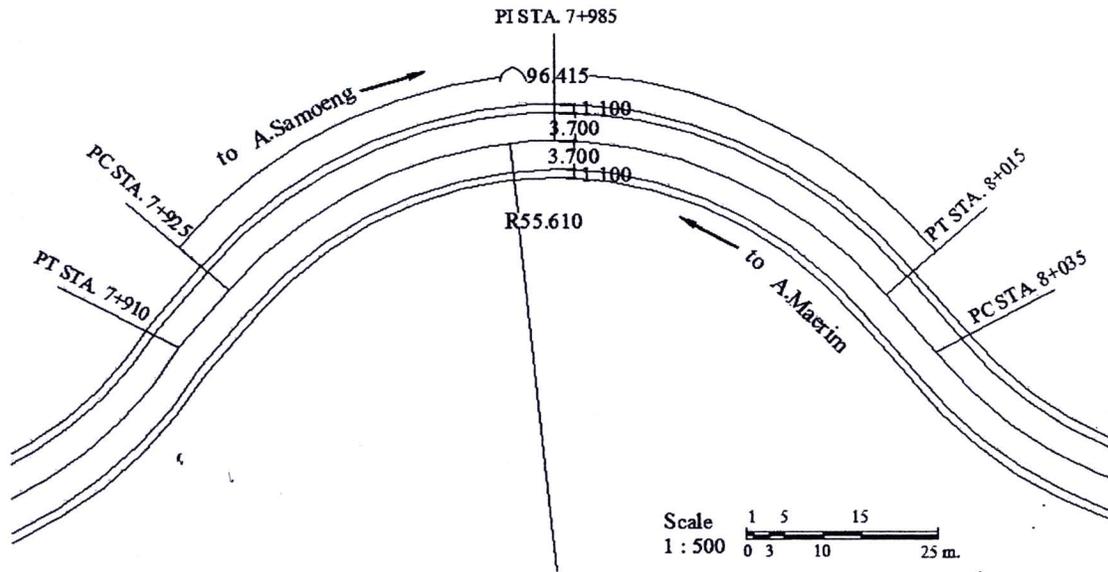
จากการสำรวจโค้งที่พิจารณาสายแม่ริม – สะเมิง ดังข้อมูลในตาราง 4.2 พบว่าค่ารัศมีโค้ง ความยาวโค้งและเปอร์เซ็นต์ความลาดชันที่ได้จากการวัดจริงในสนามมีค่ามากกว่าในแบบของกรมทางหลวง ส่วนเปอร์เซ็นต์ยกโค้งสูงสุดที่ได้จากการวัดจริงในสนามมีค่าน้อยกว่าในแบบของกรมทางหลวง โดยเปอร์เซ็นต์ยกโค้งสูงสุด วัดได้ 8.00 % เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานของกรมทางหลวง (ตาราง 2.12) เปอร์เซ็นต์ยกโค้งสูงสุดจะอยู่ที่ 10 % และเปอร์เซ็นต์ความลาดชันวัดได้ 10.83 % เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานของกรมทางหลวงถือว่ายังอยู่ในเกณฑ์ที่กรมทางหลวงกำหนด

สภาพแวดล้อมของโค้งที่ทำการศึกษา และรูปแปลนที่ได้จากการสำรวจข้อมูลด้านเรขาคณิตของโค้ง โดยอาศัยโปรแกรม AutoCAD 2008 ช่วยในการเขียนรูปแปลน แสดงดังรูป 4.1-5 และรูป 4.1-6



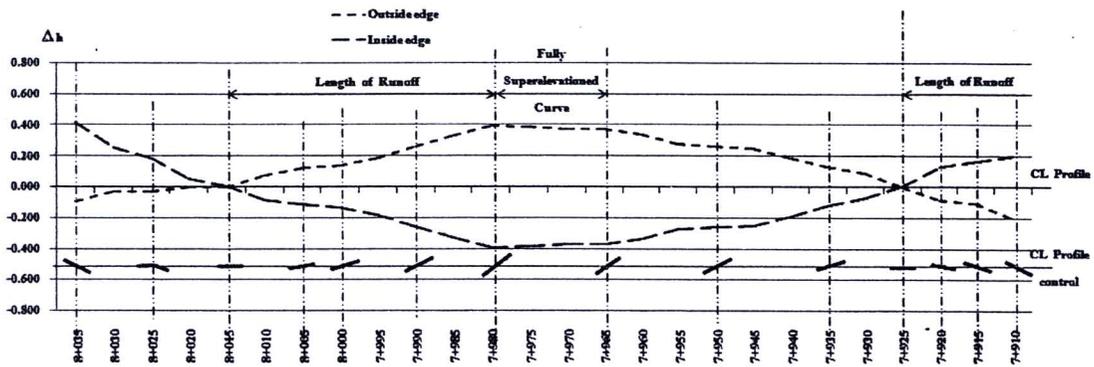
รูป 4.1-5 ทางหลวงหมายเลข 1096 ตอน แม่ริม – สะเมิง อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ แสดงโค้งที่พิจารณาทิศทางลงเขา เข้าสู่อำเภอแม่ริม

สภาพแวดล้อมของโค้งที่ทำการศึกษา ดังรูป 4.1-5 เมื่อพิจารณาจากลงเขาเป็นโค้งไปซ้าย มีเพียงหนึ่งช่องจราจร ไม่มีป้ายแนะนำความเร็วและป้ายเตือนแนวโค้งไปซ้าย สองฝั่งของถนนเป็นทางราบ หลังจากออกโค้งที่พิจารณาจะเป็นโค้งไปขวา

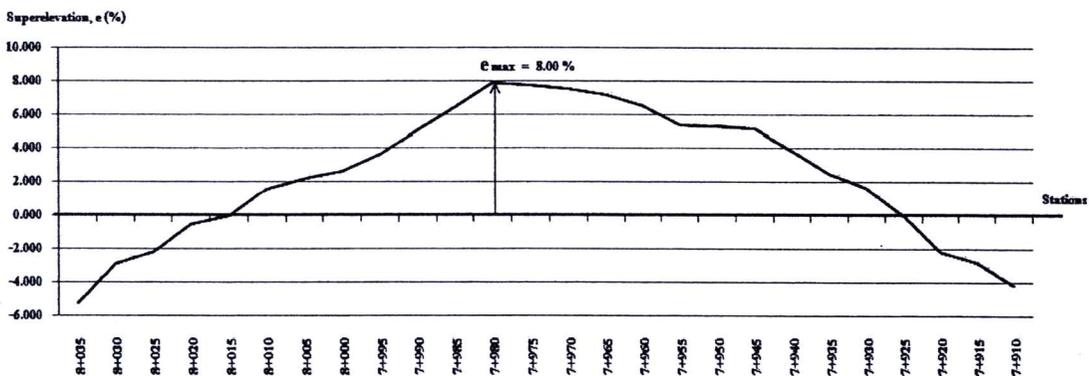


รูป 4.1-6 แบบแปลนแสดงรายละเอียดโค้งสายแมริม – สะเมิง โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมาทำการเขียนรูปแปลน

ผังโปรไฟล์แสดงวิธีการยกโค้งตามทฤษฎีในบทที่ 2 หัวข้อ 2.4.2 โดยอาศัยข้อมูลจากการสำรวจค่าระดับทุก 5 เมตร ซึ่งแสดงค่าความต่างระดับของขอบถนนทั้งสองด้าน (Δh) และกราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ยกโค้งสูงสุด (e_{\max}) ดังรูป 4.1-7 และรูป 4.1-8



รูป 4.1-7 ผังโปรไฟล์แสดงวิธีการยกโค้งที่ได้จากการสำรวจค่าระดับทุก 5 เมตร โดยมีทิศทาง Down Grade เข้าสู่โค้งไปซ้าย บนถนนสายแมริม – สะเมิง (รูปนี้เขียนโดยปรับให้ระดับของ Center Line, CL ที่ Station ต่างๆเท่ากับ 0.000)



รูป 4.1-8 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ยกโค้งที่ Station (STA.) ต่างๆ และเปอร์เซ็นต์ยกโค้งสูงสุด (e_{max}) บนทางโค้งสายแมริม – สะเมิง

จากการพิจารณาผังโปรไฟล์ดังรูป 4.1-7 และกราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ยกโค้งตาม Station ต่างๆดังรูป 4.1-8 ในทิศทางลงเขาเข้าสู่โค้งไปซ้าย พบว่าช่วงก่อนเข้าโค้งที่พิจารณา ที่ STA.8+035 เป็นโค้งไปขวาแล้วเริ่มลดระดับขอบถนนด้านนอก (Outside edge) และเพิ่มระดับขอบถนนด้านใน (Inside edge) จนเป็นระนาบเดียวกันกับเส้นศูนย์กลางถนน (Center line) ที่ STA.8+015 จากนั้นจึงเริ่มยกขอบถนนด้านนอก ที่ STA.8+010 ขึ้นไปจนเป็นเส้นตรงหรือเป็นระนาบเดียวกันกับระดับกึ่งกลางถนนและระดับขอบในของถนน เพื่อเข้าสู่โค้งไปซ้ายซึ่งเป็นโค้งที่พิจารณา จากนั้นจะค่อยๆเพิ่มระดับการยกโค้งจนถึงระดับยกโค้งสูงสุด (e_{max}) ที่ STA.7+980 ถึง STA.7+965 แล้วจึงค่อยๆลดระดับการยกโค้งลง โดยเริ่มลดระดับขอบถนนด้านนอกและเพิ่มระดับ

ขอบถนนด้านในจนเป็นระนาบเดียวกันกับเส้นศูนย์กลางถนนที่ STA.7+925 จากนั้นจึงค่อยๆลดระดับขอบในและเพิ่มระดับขอบนอกของถนนที่ STA.7+920 เพื่อเข้าสู่โค้งไปขวา จากรูป 4.1-7 และรูป 4.1-8 เมื่อเทียบกับการยกโค้งกลม (Circular curve) โดยวิธีหมุนเพพเมนต์ (Pavement) รอบเส้นศูนย์กลางถนนของกรมทางหลวงจะพบว่า อัตราส่วนของความชันระหว่างขอบถนนทั้งสองด้าน ในช่วงเริ่มเข้าโค้งตั้งแต่ STA.8+015 ถึง STA.7+980 จากการสำรวจเท่ากับ 1:273 และช่วงออกโค้งหลังจากมีการยกโค้งสูงสุดตั้งแต่ STA.7+965 ถึง STA.7+925 มีอัตราส่วนของความชันระหว่างขอบถนนเท่ากับ 1:241 ซึ่งอัตราส่วนของความชันระหว่างขอบถนนที่กรมทางหลวงแนะนำ (1:S min) จากตาราง 2.11 ควรมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1:128 เมื่อความเร็วออกแบบเท่ากับ 35 กิโลเมตร/ชั่วโมง (ความเร็วออกแบบ หรือ Design speed ได้จากแบบของกรมทางหลวง)

4.1.3 ข้อมูลด้านเรขาคณิตของถนนที่ได้จากการสำรวจโค้งสาย แม่สอด - ตาก

ทางหลวงหมายเลข 12 (105 เก้า) ตอน แม่สอด - ตาก อ.แม่สอด จังหวัดตาก STA. 28+850 ถึง STA. 28+990 เป็นถนน 3 ช่องจราจร ซึ่งทิศทางเข้าสู่อำเภอแม่สอดนั้นมี 2 ช่องจราจร ส่วนทิศทางลงเขาเข้าสู่อำเภอเมืองจังหวัดตากมีเพียง 1 ช่องจราจรเท่านั้น โดยมีเปอร์เซ็นต์ความลาดชันสูงสุดถึง 7.13 % ข้อมูลด้านเรขาคณิตของถนนที่ได้จากการสำรวจแสดงในตาราง 4.3

ตาราง 4.3 ข้อมูลด้านเรขาคณิตของถนนที่ได้จากการสำรวจโค้งสาย แม่สอด - ตาก

ข้อมูลด้านเรขาคณิตของทางถนน	จากการสำรวจ	จากแบบของกรมทางหลวง	หมายเหตุ
ความยาวโค้ง รัศมีโค้ง	148.77 61.08	ไม่ปรากฏ ไม่ปรากฏ	วัดจาก Center Line
ความยาวโค้ง รัศมีโค้ง (R)	144.38 59.28		วัดจากทางวิ่งของขวยยานที่ไม่ตัดโค้งทิศทางลงเขา
ความยาวโค้ง รัศมีโค้ง (R)	170.98 63.32		วัดจากทางวิ่งของขวยยานที่ตัดโค้ง ทิศทางลงเขา
ทิศทางขึ้นมี 2 ช่อง กว้างช่องละ ทิศทางลงมี 1 ช่อง กว้าง	3.30 3.60		มี 3 ช่องจราจร ขาขึ้น 2 ช่องจราจร และขาลง 1 ช่องจราจร
ไหล่ทางทั้ง 2 ด้าน กว้าง	1.00		
ความกว้างถนนรวม	12.20		
เปอร์เซ็นต์ยกโค้งสูงสุด	12.12 %	ไม่ปรากฏ	
เปอร์เซ็นต์ความลาดชัน	7.130 %	ไม่ปรากฏ	

จากการสำรวจโค้งที่พิจารณาสายแม่สอด – ตาก ดังข้อมูลในตาราง 4.3 จากการสำรวจพบว่าเปอร์เซ็นต์ยกโค้งสูงสุด วัดได้ 12.12 % เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานของกรมทางหลวง เปอร์เซ็นต์ยกโค้งสูงสุดจะอยู่ที่ 10 % และเปอร์เซ็นต์ความลาดชันวัดได้ 7.13 % เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานของกรมทางหลวง (ตาราง 2.12) เปอร์เซ็นต์ความลาดชันสูงสุดสำหรับเส้นทางภูเขาจะอยู่ที่ 12 % ดังนั้นโค้งนี้ถือว่าเป็นโค้งวิกฤติเนื่องจากมีอัตราการยกโค้งสูงเกินค่ามาตรฐานที่กรมทางหลวงกำหนด ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุจราจรได้

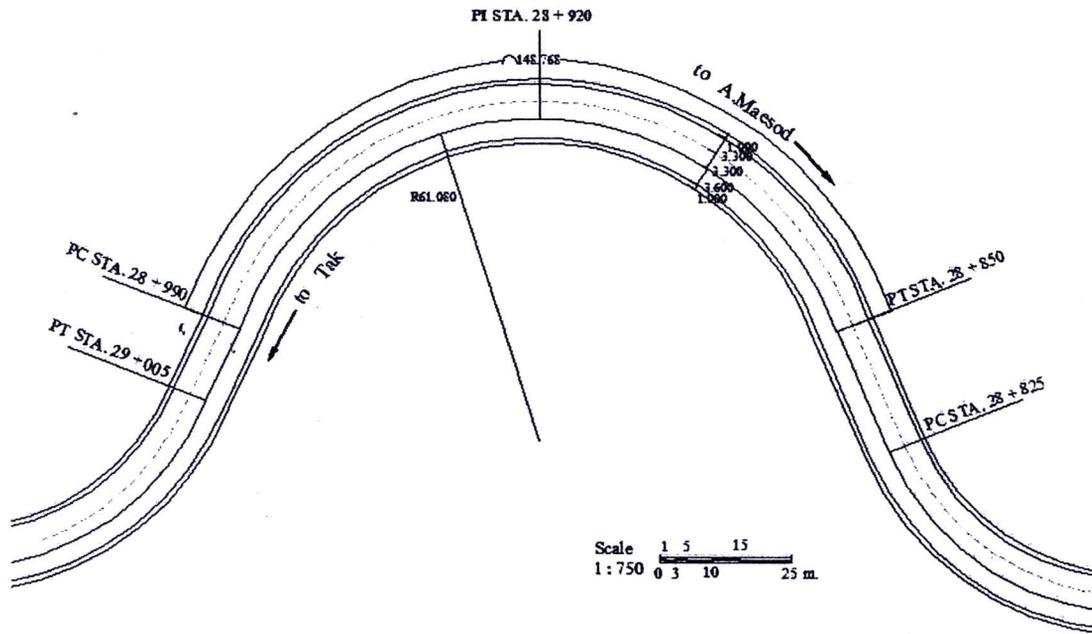
สภาพแวดล้อมของโค้งที่ทำการศึกษา และรูปแปลนที่ได้จากการสำรวจข้อมูลด้านเรขาคณิตของโค้ง โดยอาศัยโปรแกรม AutoCAD 2008 ช่วยในการเขียนรูปแปลน แสดงดังรูป 4.1-9 และรูป 4.1-10



รูป 4.1-9 ทางหลวงหมายเลข 12 (105 เก้า) ตอน แม่สอด – ตาก อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก แสดงโค้งที่พิจารณาทิศทางลงเขา เข้าสู่อำเภอเมือง จังหวัดตาก

สภาพแวดล้อมของโค้งที่ทำการศึกษา ดังรูป 4.1-9 เมื่อพิจารณาจากลงเขาเป็นโค้งไปซ้าย มีเพียงหนึ่งช่องจราจร ไม่มีป้ายแนะนำความเร็วมีเพียงแต่ป้ายเตือนแนวโค้งไปซ้าย ด้านขวาของ

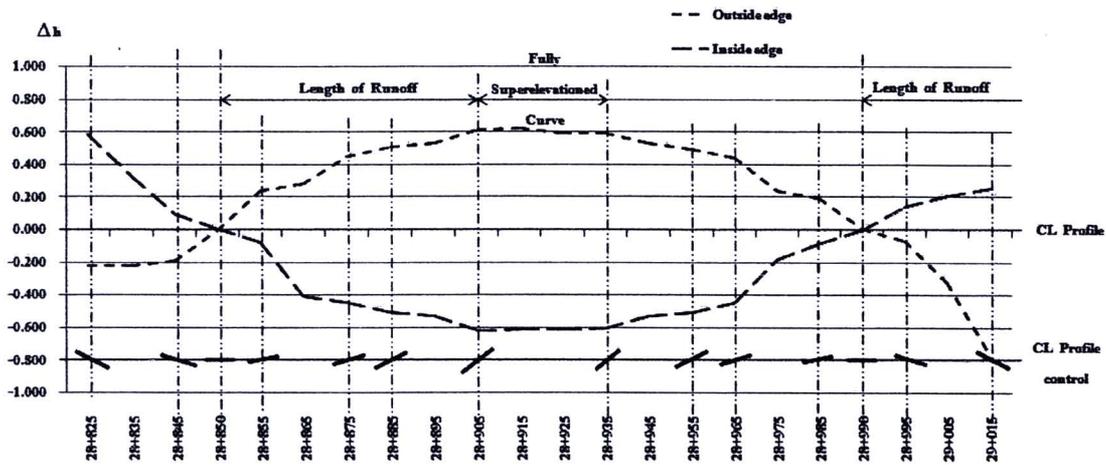
ถนนเป็นเหลี่ยมมีแนวคอนกรีต (Barrier) กั้นไว้ตลอดแนวโค้ง ส่วนด้านซ้ายของถนนเป็นทางระบายน้ำติดกับภูเขา หลังจากออกโค้งที่พิจารณาจะเป็นโค้งไปขวา



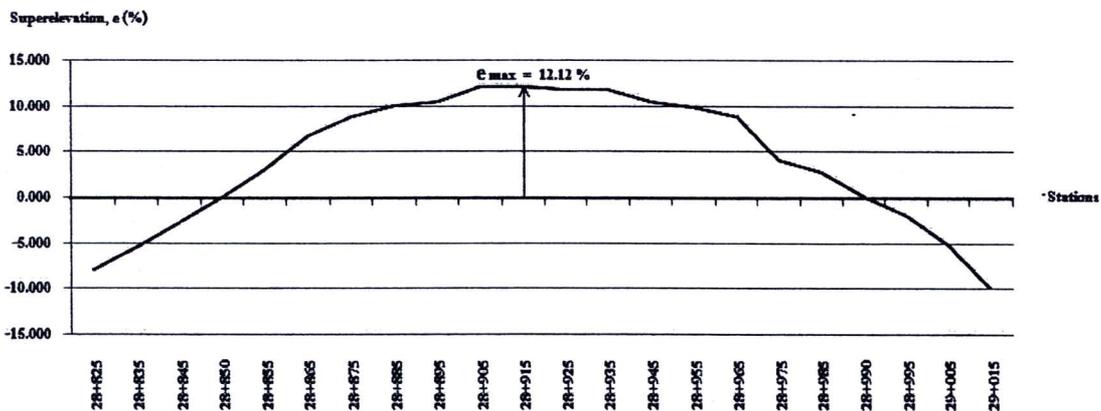
รูป 4.1-10 แบบแปลนแสดงรายละเอียดโค้งสายแม่สอด – ดาก โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมาทำการเขียนรูปแปลน

ผังโปรไฟล์แสดงวิธีการยกโค้งตามทฤษฎีในบทที่ 2 หัวข้อ 2.4.2 โดยอาศัยข้อมูลจากการสำรวจค่าระดับทุก 10 เมตร ซึ่งแสดงค่าความต่างระดับของขอบถนนทั้งสองด้าน (Δh) และกราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ยกโค้งสูงสุด (e_{max}) ดังรูป 4.1-11 และรูป 4.1-12





รูป 4.1-11 ผังโปรไฟล์แสดงวิธีการยกโค้งที่ได้จากการสำรวจค่าระดับทุก 10 เมตร โดยมีทิศทาง Down Grade เข้าสู่โค้งไปซ้าย บนถนนสายแม่สอด - ตาก (รูปนี้เขียนโดยปรับให้ระดับของ Center Line, CL ที่ Station ต่างๆเท่ากับ 0.000)



รูป 4.1-12 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ยกโค้งที่ Station (STA.) ต่างๆและเปอร์เซ็นต์ยกโค้งสูงสุด (e_{max}) บนทางโค้งสายแม่สอด - ตาก

จากการพิจารณาผังโปรไฟล์ดังรูป 4.1-11 และกราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ยกโค้งตาม Station ต่างๆดังรูป 4.1-12 ในทิศทางลงเขาเข้าสู่โค้งไปซ้าย พบว่าช่วงก่อนเข้าโค้งที่พิจารณา ที่ STA.28+825 เป็นโค้งไปขวาแล้วเริ่มลดระดับขอบถนนด้านนอก (Outside edge) และเพิ่มระดับขอบถนนด้านใน (Inside edge) จนเป็นระนาบเดียวกันกับเส้นศูนย์กลางถนน (Center line) ที่ STA.28+850 จากนั้นจึงเริ่มยกขอบถนนด้านนอก และลดระดับขอบถนนด้านในที่ STA.28+855 เพื่อเข้าสู่โค้งไปซ้ายซึ่งเป็นโค้งที่พิจารณา จากนั้นจะค่อยๆเพิ่มระดับการยกโค้งจนถึงระดับยกโค้ง

สูงสุด (e_{max}) ที่ STA.28+905 ถึง STA.28+935 แล้วจึงค่อยๆลดระดับการยกโค้งลงจนเป็นระนาบเดียวกันกับเส้นศูนย์กลางถนนที่ STA.28+990 จากนั้นจึงค่อยๆเพิ่มระดับขอบนอกและลดระดับขอบในของถนนที่ STA.28+995 เพื่อเข้าสู่โค้งไปขวา จากรูป 4.1-11 และ รูป 4.1-12 เมื่อเทียบกับการยกโค้งกลม (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 min) จากตาราง 2.11 ควรมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1:150 เมื่อความเร็วออกแบบเท่ากับ 50 กิโลเมตร/ชั่วโมง (ให้ความเร็วออกแบบเท่ากับความเร็วขั้วปีที่ 85 เปอร์เซนต์ไทล์ที่ได้จากการวัดความเร็วรถโดยสาร เนื่องจากความเร็วออกแบบ หรือ Design speed ไม่ปรากฏในแบบ)

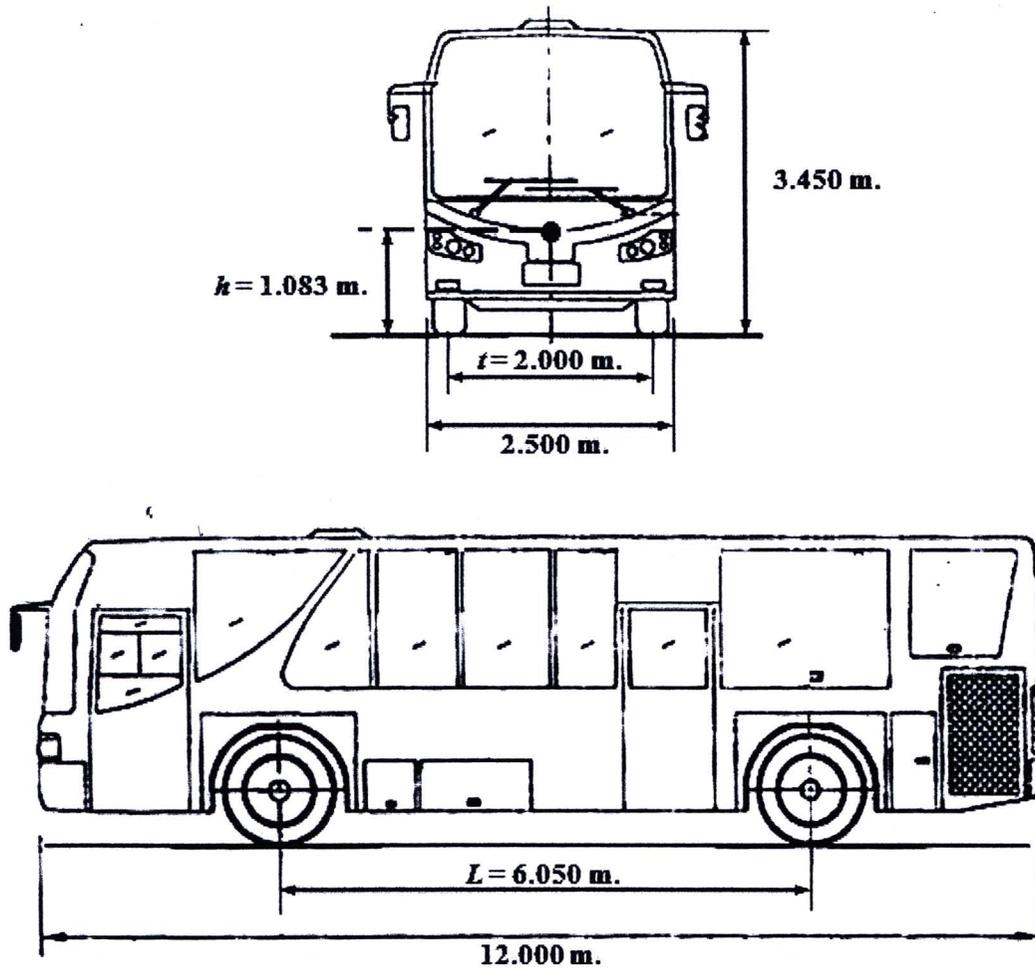
4.2 ข้อมูลทางเทคนิคและมิติขนาดของยานพาหนะที่ทำการศึกษา

ข้อมูลทางเทคนิครวมถึงมิติและขนาดของยานพาหนะที่พิจารณา แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

4.2.1 กลุ่มของรถโดยสารขนาดใหญ่ โดยจำแนกตามกฎหมายว่าด้วยการขนส่งทางบกซึ่งแบ่งเป็น 3 ประเภท ตามลักษณะเพลาท้าย ได้แก่ 1) รถโดยสารชั้นเดียว 2 เพลา 6 ล้อ เพลาท้ายลักษณะ เพลาเดียว + ยางคู่ 2) รถโดยสารชั้นเดียว 3 เพลา 10 ล้อ เพลาท้ายลักษณะเพลาคู่ + ยางคู่ 3) รถโดยสารสองชั้น 3 เพลา 10 ล้อ เพลาท้ายลักษณะเพลาคู่ + ยางคู่ และ 4.2.2 กลุ่มของรถที่มีขนาดเล็กซึ่งมีขนาดและความสูงแตกต่างกัน โดยแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ 1) รถยนต์นั่งส่วนบุคคลหรือรถเก๋ง 2) รถกระบะ 3) รถเอนกประสงค์ หรือ Sport Utility Vehicle (SUV) 4) รถตู้

4.2.1 ข้อมูลเทคนิคของรถโดยสารขนาดใหญ่

รถโดยสารขนาดใหญ่แบ่งออกเป็น 3 ประเภท แบ่งตามลักษณะของเพลาท้าย มีลักษณะรูปร่างภายนอกของตัวรถ ดังแสดงในรูป 4.2-1 – 4.2-3 และข้อมูลทางเทคนิครวมทั้งมิติและขนาด ดังแสดงในตาราง 4.4 – 4.6



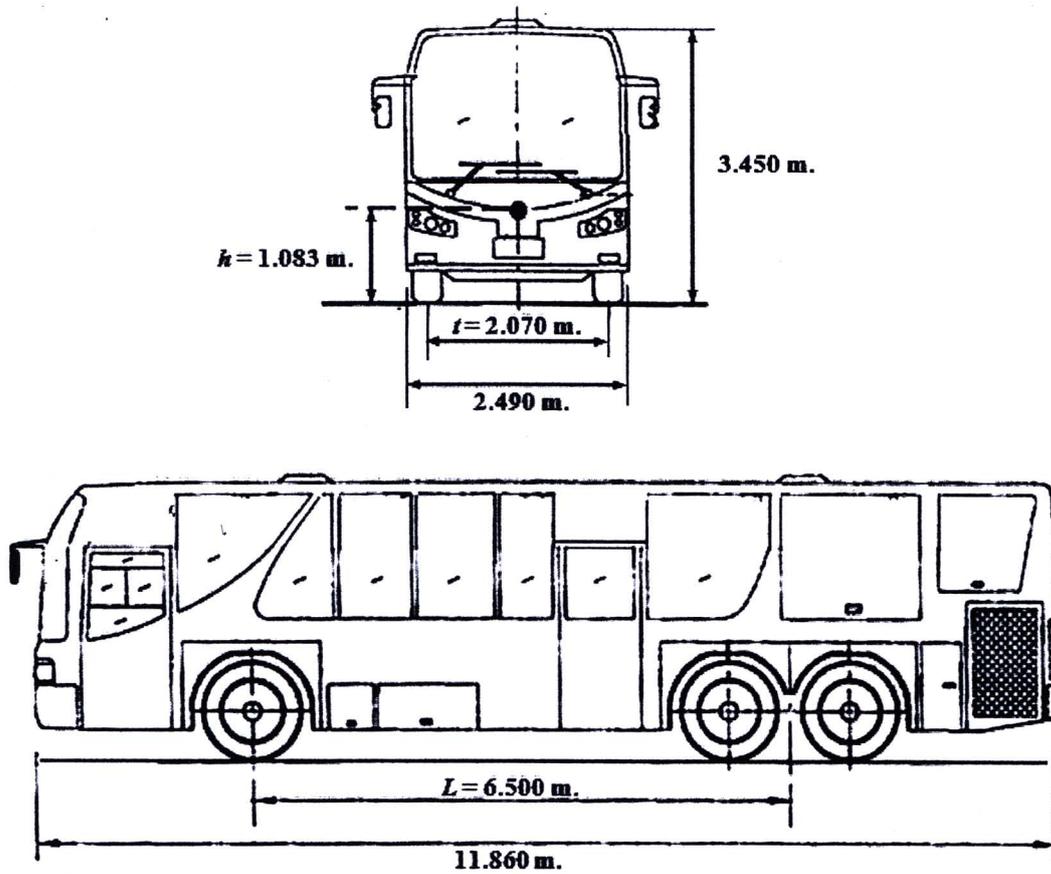
รูป 4.2-1 ลักษณะรูปร่างภายนอกของรถโดยสารชั้นเดียว 2 เพลา 6 ล้อ เพลาท้ายลักษณะ เพลาเดี่ยว + ยางคู่ (บริษัทชัยพัฒนาขนส่ง จำกัด, 2553)

h คือความสูงจากจุดศูนย์ถ่วงรถถึงพื้น t คือระยะห่างระหว่างล้อด้านซ้ายกับล้อด้านขวา และ L คือระยะห่างระหว่างล้อด้านหน้ากับล้อด้านหลัง

ตาราง 4.4. ข้อมูลด้านเทคนิค มิติ และขนาด ของรถโดยสารชั้นเดียว 2 เพลา 6 ล้อ เพลาท้ายลักษณะ เพลาเดี่ยว + ยางคู่ ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ข้อมูลทางเทคนิค		สัญลักษณ์แทนตัวแปรที่ใช้ ในการคำนวณ
ความกว้างสุด, เมตร	2.50	
ความยาวสุด, เมตร	12.00	
ความสูงสุด, เมตร	3.45	
ความสูงจากจุดศูนย์กลางของรถถึงพื้น, เมตร	1.083	Height, h
ระยะห่างระหว่างล้อด้านซ้ายและล้อด้านขวา, เมตร	2.00	Thread, t
ระยะห่างระหว่างล้อหน้ากับล้อหลัง, เมตร	6.05	Length, L
น้ำหนักรวมสูงสุดของชวดยาน, กิโลกรัม	13,250	
น้ำหนักลงเพลาหน้า (2 ล้อ) / น้ำหนักต่อล้อ, กิโลกรัม	5,250 / 2,625	Weight of front wheel, W_f
น้ำหนักลงเพลาท้าย (4 ล้อ) / น้ำหนักต่อล้อ, กิโลกรัม	8,000 / 2,000	Weight of rear wheel, W_r
ค่า Cornering Stiffness ที่ล้อหน้า, กิโลกรัม/ องศา	234.734	Cornering Stiffness of front wheel, C_{af}
ค่า Cornering Stiffness ที่ล้อหลัง, กิโลกรัม/ องศา	201.849	Cornering Stiffness of rear wheel, C_{ar}
มุมบิดที่ล้อหน้าสูงสุด, องศา	35	δ

ที่มา: ค่า Cornering Stiffness ที่ล้อของชวดยาน ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่กระทำต่อล้อยาง (Normal Load) กับค่า Cornering Stiffness โดยเปรียบเทียบกับชวดยานที่มีขนาด และน้ำหนักที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูป 4.2-9 (Clark S. K. et. al., 1981) ส่วนค่ามุมบิดที่ล้อหน้ารวมทั้งมิติและขนาดได้จากลักษณะเฉพาะ Specification ของชวดยาน (บริษัทชัยพัฒนาขนส่ง จำกัด, 2553)

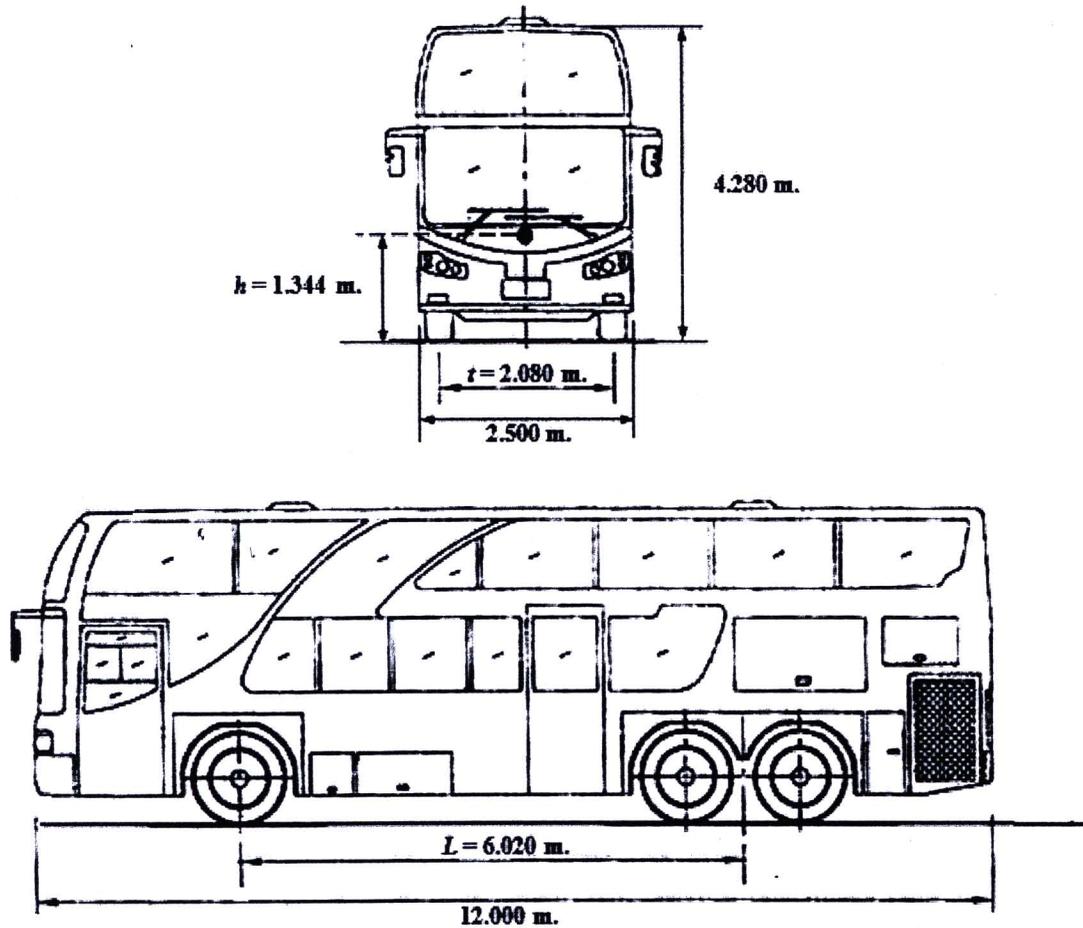


รูป 4.2-2 ลักษณะรูปร่างภายนอกของรถโดยสารชั้นเดียว 3 เพลา 10 ล้อ เพลาท้ายลักษณะ เพลาคู่ + ยางคู่ (สำนักงานขนส่งจังหวัดเชียงใหม่, 2553)
 h คือความสูงจากจุดศูนย์ถ่วงรถถึงพื้น t คือระยะห่างระหว่างล้อด้านซ้ายกับล้อด้านขวา และ L คือคือระยะห่างระหว่างล้อด้านหน้ากับล้อด้านหลัง

ตาราง 4.5 ข้อมูลด้านเทคนิค มิติ และขนาด ของรถโดยสารชั้นเดียว 3 เพลา 10 ล้อ เพลาท้าย ลักษณะ เพลาคู่ + ยางคู่ ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ข้อมูลทางเทคนิค		สัญลักษณ์แทนตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ
ความกว้างสุด, เมตร	2.49	
ความยาวสุด, เมตร	11.86	
ความสูงสุด, เมตร	3.45	
ความสูงจากจุดศูนย์กลางของรถถึงพื้น, เมตร	1.083	Height, h
ระยะห่างระหว่างล้อด้านซ้ายและล้อด้านขวา, เมตร	2.07	Thread, t
ระยะห่างระหว่างล้อหน้ากับล้อหลัง, เมตร	6.50	Length, L
น้ำหนักรวมสูงสุดของขยวดยาน, กิโลกรัม	13,500	
น้ำหนักลงเพลาน้ำ (2 ล้อ) / น้ำหนักต่อล้อ, กิโลกรัม	4,050 / 2,025	Weight of front wheel, W_f
น้ำหนักลงเพลาท้าย (8 ล้อ) / น้ำหนักต่อล้อ, กิโลกรัม	9,450 / 1,181.25	Weight of rear wheel, W_r
ค่า Cornering Stiffness ที่ล้อหน้า, กิโลกรัม/องศา	207.292	Cornering Stiffness of front wheel, C_{af}
ค่า Cornering Stiffness ที่ล้อหลัง, กิโลกรัม/องศา	156.489	Cornering Stiffness of rear wheel, C_{ar}
มุมบิดที่ล้อหน้าสูงสุด, องศา	35	δ

ที่มา : ค่า Cornering Stiffness ที่ล้อของขยวดยาน ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่กระทำต่อล้อยาง (Normal Load) กับค่า Cornering Stiffness โดยเปรียบเทียบกับขยวดยานที่มีขนาด และน้ำหนักที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูป 4.2-9 (Clark S. K. et. al., 1981) ส่วนค่ามุมบิดที่ล้อหน้ารวมทั้งมิติและขนาด ได้จากลักษณะเฉพาะ Specification ของขยวดยาน (สำนักงานขนส่งจังหวัดเชียงใหม่, 2553)



รูป 4.2-3 ลักษณะรูปร่างภายนอกของรถโดยสารสองชั้น 3 เพลา 10 ล้อ เพลาท้ายลักษณะ เพลาคู่ + ยางคู่ (สำนักงานขนส่งจังหวัดเชียงใหม่, 2553)
 h คือความสูงจากจุดศูนย์ถ่วงรถถึงพื้น t คือระยะห่างระหว่างล้อด้านซ้ายกับล้อด้านขวา และ L คือคือระยะห่างระหว่างล้อด้านหน้ากับล้อด้านหลัง

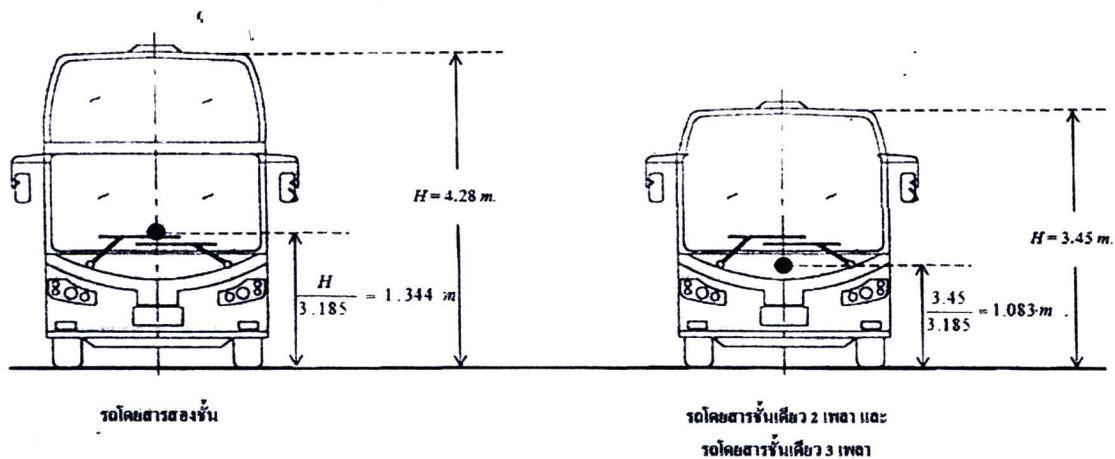
ตาราง 4.6 ข้อมูลด้านเทคนิค มิติ และขนาด ของรถโดยสารสองชั้น 3 เพลา 10 ล้อ เพลาท้าย ลักษณะ เพลาคู่ + ยางคู่ ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ข้อมูลทางเทคนิค		สัญลักษณ์แทนตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ
ความกว้างสุด, เมตร	2.50	
ความยาวสุด, เมตร	12.00	
ความสูงสุด, เมตร	4.28	
ความสูงจากจุดศูนย์ถ่วงของรถถึงพื้น	1.344	Height, h
ระยะห่างระหว่างล้อด้านซ้ายและล้อด้านขวา, เมตร	2.08	Thread, t
ระยะห่างระหว่างล้อหน้ากับล้อหลัง, เมตร	6.02	Length, L
น้ำหนักรวมสูงสุดของชวดยาน, กิโลกรัม	22,000	
น้ำหนักลงเพลาหน้า (2 ล้อ) / น้ำหนักต่อล้อ, กิโลกรัม	7,000 / 3,500	Weight of front wheel, W_f
น้ำหนักลงเพลาท้าย (8 ล้อ) / น้ำหนักต่อล้อ, กิโลกรัม	15,000 / 1,875	Weight of rear wheel, W_r
ค่า Cornering Stiffness ที่ล้อหน้า, กิโลกรัม/องศา	258.548	Cornering Stiffness of front wheel, C_{af}
ค่า Cornering Stiffness ที่ล้อหลัง, กิโลกรัม/องศา	190.509	Cornering Stiffness of rear wheel, C_{ar}
มุมบิดที่ล้อหน้าสูงสุด, องศา	35	δ

ที่มา : ค่าความสูงจากจุดศูนย์ถ่วงของรถถึงพื้นมีค่าเท่ากับ 1.344 เมตร (ทรงวุฒิและคณะ, 2550) และค่า Cornering Stiffness ที่ล้อของชวดยาน ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่กระทำต่อล้อ (Normal Load) กับค่า Cornering Stiffness โดยเปรียบเทียบกับชวดยานที่มีขนาด และน้ำหนักที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูป 4.2-9 (Clark S. K. et. al., 1981) ส่วนค่ามุมบิดที่ล้อหน้ารวมทั้งมิติและขนาดได้จากลักษณะเฉพาะ Specification ของชวดยาน (สำนักงานขนส่งจังหวัดเชียงใหม่, 2553)

สำหรับรถโดยสารสองชั้น 3 เพลาในประเทศไทย ความสูงจากจุดศูนย์ถ่วงของรถถึงพื้น (h) มีค่าเท่ากับ 1.344 เมตร (ทรงวุฒิและคณะ, 2550) และความสูงของตัวรถ (H) เท่ากับ 4.28 เมตร

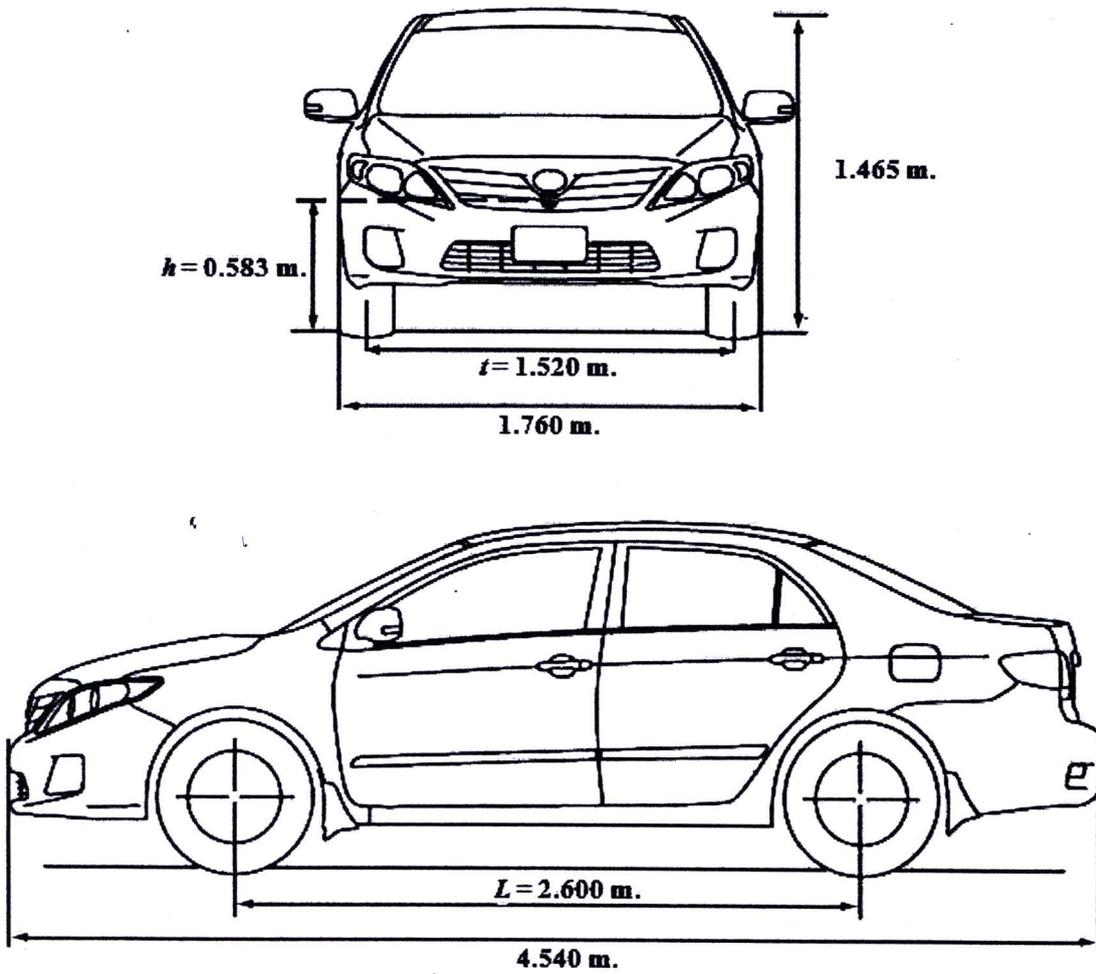
จึงทำให้ทราบความสูงจากจุดศูนย์กลางถ่วงของรถถึงพื้น (h) มีค่าเป็น $\frac{1}{3.185}$ เท่าของความสูงของตัวรถ (H) จึงสามารถหาความสูงจากจุดศูนย์กลางถ่วงของรถถึงพื้น (h) ของรถโดยสารชั้นเดียว 2 เพลา (Single Deck Bus 2 Axles) และรถโดยสารชั้นเดียว 3 เพลา (Single Deck Bus 3 Axles) โดยรถทั้งสองประเภทนั้นมีความสูง (H) เท่ากัน ซึ่งเท่ากับ 3.45 เมตร และเมื่อนำค่าดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับค่าความสูงของรถโดยสารสองชั้น (H) ทำให้สามารถประมาณการความสูงจากจุดศูนย์กลางถ่วงของรถถึงพื้นสำหรับรถโดยสารชั้นเดียว (h) ได้เท่ากับ 1.083 เมตร เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถพลิกคว่ำดังแสดงในตาราง 4.20 โดยการเปรียบเทียบความสูงจากจุดศูนย์กลางถ่วงของรถถึงพื้นสำหรับรถโดยสารชั้นเดียวและรถโดยสารสองชั้นแสดงดังรูป 4.2-4



รูป 4.2-4 แสดงการเปรียบเทียบความสูงของตัวรถและความสูงจากจุดศูนย์กลางถ่วงของรถถึงพื้น สำหรับรถโดยสารสองชั้นและรถโดยสารชั้นเดียว

4.2.2 ข้อมูลเทคนิคของรถขนาดเล็ก

รถขนาดเล็กแบ่งออกเป็น 4 ประเภท แบ่งตามขนาด และความสูงของขบวน มีลักษณะรูปร่างภายนอกของตัวรถ ดังแสดงในรูป 4.2-5 – 4.2-8 และข้อมูลทางเทคนิครวมทั้งมิติและขนาด ดังแสดงในตาราง 4.7 – 4.10



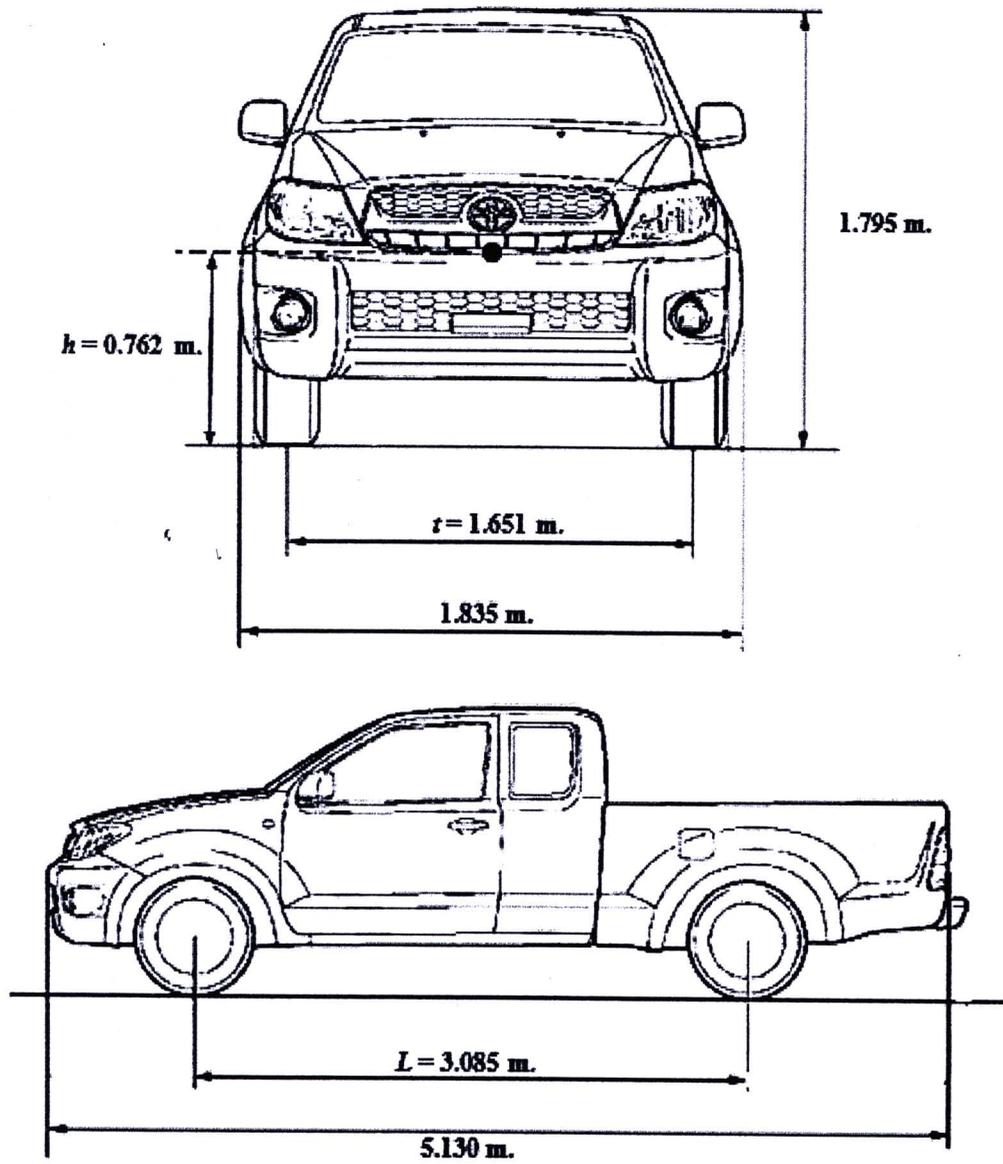
รูป 4.2-5 ลักษณะรูปร่างภายนอกของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล หรือรถเก๋งสี่ประตู (บริษัท โตโยต้า นิยมพาณิชย์ จำกัด, 2553)

h คือความสูงจากจุดศูนย์กลางวงล้อถึงพื้น t คือระยะห่างระหว่างล้อด้านซ้ายกับล้อด้านขวา และ L คือระยะห่างระหว่างล้อด้านหน้ากับล้อด้านหลัง

ตาราง 4.7 ข้อมูลด้านเทคนิค มิติ และขนาด ของรถนั่งส่วนบุคคล หรือรถเก๋ง 4 ประตู ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ข้อมูลทางเทคนิค		สัญลักษณ์แทนตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ
ความกว้างสุด, เมตร	1.76	
ความยาวสุด, เมตร	4.54	
ความสูงสุด, เมตร	1.465	
ความสูงจากจุดศูนย์กลางถ่วงของรถถึงพื้น, เมตร	0.583	Height, h
ระยะห่างระหว่างล้อด้านซ้ายและล้อด้านขวา, เมตร	1.52	Thread, t
ระยะห่างระหว่างล้อหน้ากับล้อหลัง, เมตร	2.60	Length, L
น้ำหนักรวมสูงสุดของขดยาน, กิโลกรัม	1,290	
น้ำหนักลงเพลาน้ำ (2 ล้อ) / น้ำหนักต่อล้อ, กิโลกรัม	774 / 387	Weight of front wheel, W_f
น้ำหนักลงเพลาท้าย (2 ล้อ) / น้ำหนักต่อล้อ, กิโลกรัม	516 / 258	Weight of rear wheel, W_r
ค่า Cornering Stiffness ที่ล้อหน้า, กิโลกรัม/องศา	79.38	Cornering Stiffness of front wheel, C_{af}
ค่า Cornering Stiffness ที่ล้อหลัง, กิโลกรัม/องศา	58.97	Cornering Stiffness of rear wheel, C_{ar}
มุมบิดที่ล้อหน้าสูงสุด, องศา	33.17	δ

ที่มา : ความสูงจากจุดศูนย์กลางถ่วงของรถถึงพื้นได้มาจากค่าแนะนำในตาราง 4.12 (Gillespie T.D., 1994, p. 312) ส่วนค่า Cornering Stiffness ที่ล้อของของขดยาน ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่กระทำต่อล้อยาง (Normal Load) กับค่า Cornering Stiffness โดยเปรียบเทียบกับขดยานที่มีขนาด และน้ำหนักที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูป 4.2-9 (Clark S. K. et. al., 1981) ส่วนค่ามุมบิดที่ล้อหน้ารวมทั้งมิติและขนาดได้จากลักษณะเฉพาะของขดยาน (บริษัทโตโยตานิยมพาณิชย์ จำกัด, 2553)

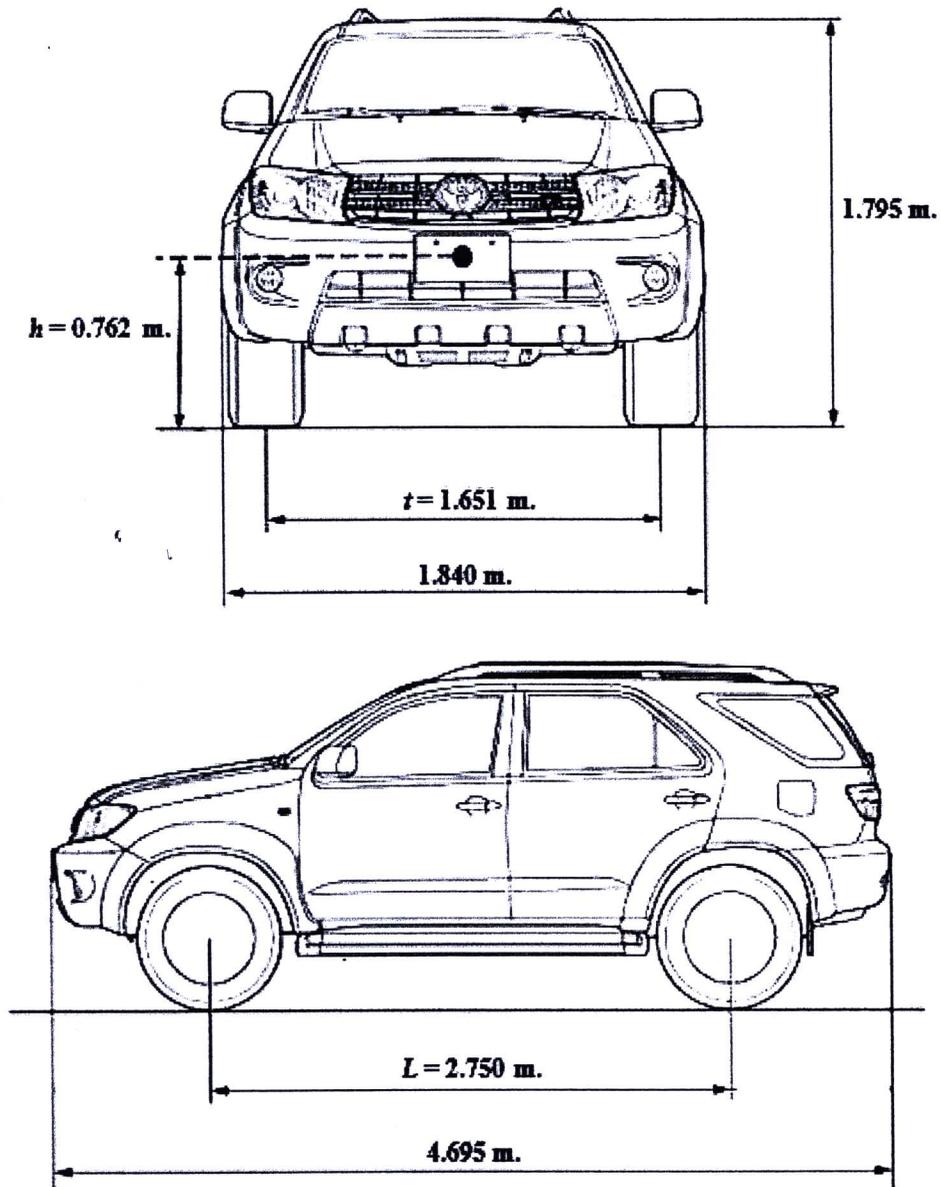


รูป 4.2-6 ลักษณะรูปร่างภายนอกของรถกระบะ (บริษัทโตโยต้านิคมพาณิชย์ จำกัด, 2553)
 h คือความสูงจากจุดศูนย์ถ่วงรถถึงพื้น r คือระยะห่างระหว่างล้อด้านซ้ายกับล้อด้านขวา
 และ L คือระยะห่างระหว่างล้อด้านหน้ากับล้อด้านหลัง

ตาราง 4.8 ข้อมูลด้านเทคนิค มิติ และขนาด ของรถกระบะ ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ข้อมูลทางเทคนิค		สัญลักษณ์แทนตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ
ความกว้างสุด, เมตร	1.835	
ความยาวสุด, เมตร	5.13	
ความสูงสุด, เมตร	1.795	
ความสูงจากจุดศูนย์ถ่วงของรถถึงพื้น, เมตร	0.762	Height, h
ระยะห่างระหว่างล้อด้านซ้ายและล้อด้านขวา, เมตร	1.651	Thread, t
ระยะห่างระหว่างล้อหน้ากับล้อหลัง, เมตร	3.085	Length, L
น้ำหนักรวมสูงสุดของขยวดยาน, กิโลกรัม	1,570	
น้ำหนักลงเพลาน้ำ (2 ล้อ) / น้ำหนักต่อล้อ, กิโลกรัม	942 / 471	Weight of front wheel, W_f
น้ำหนักลงเพลาท้าย (2 ล้อ) / น้ำหนักต่อล้อ, กิโลกรัม	628 / 314	Weight of rear wheel, W_r
ค่า Cornering Stiffness ที่ล้อหน้า, กิโลกรัม/องศา	90.718	Cornering Stiffness of front wheel, C_{af}
ค่า Cornering Stiffness ที่ล้อหลัง, กิโลกรัม/องศา	88.450	Cornering Stiffness of rear wheel, C_{ar}
มุมบิดที่ล้อหน้าสูงสุด, องศา	32.3	δ

ที่มา : ความสูงจากจุดศูนย์ถ่วงของรถถึงพื้น ได้มาจากค่าแนะนำในตาราง 4.12 (Gillespie T.D., 1994, p. 312) ส่วนค่า Cornering Stiffness ที่ล้อของขยวดยาน ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่กระทำต่อล้อยาง (Normal Load) กับค่า Cornering Stiffness โดยเปรียบเทียบกับขยวดยานที่มีขนาด และน้ำหนักที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูป 4.2-9 (Clark S. K. et. al., 1981) ส่วนค่ามุมบิดที่ล้อหน้ารวมทั้งมิติและขนาดได้จากลักษณะเฉพาะของขยวดยาน (บริษัท โดโยคานิชยามพาณิชย์ จำกัด, 2553)



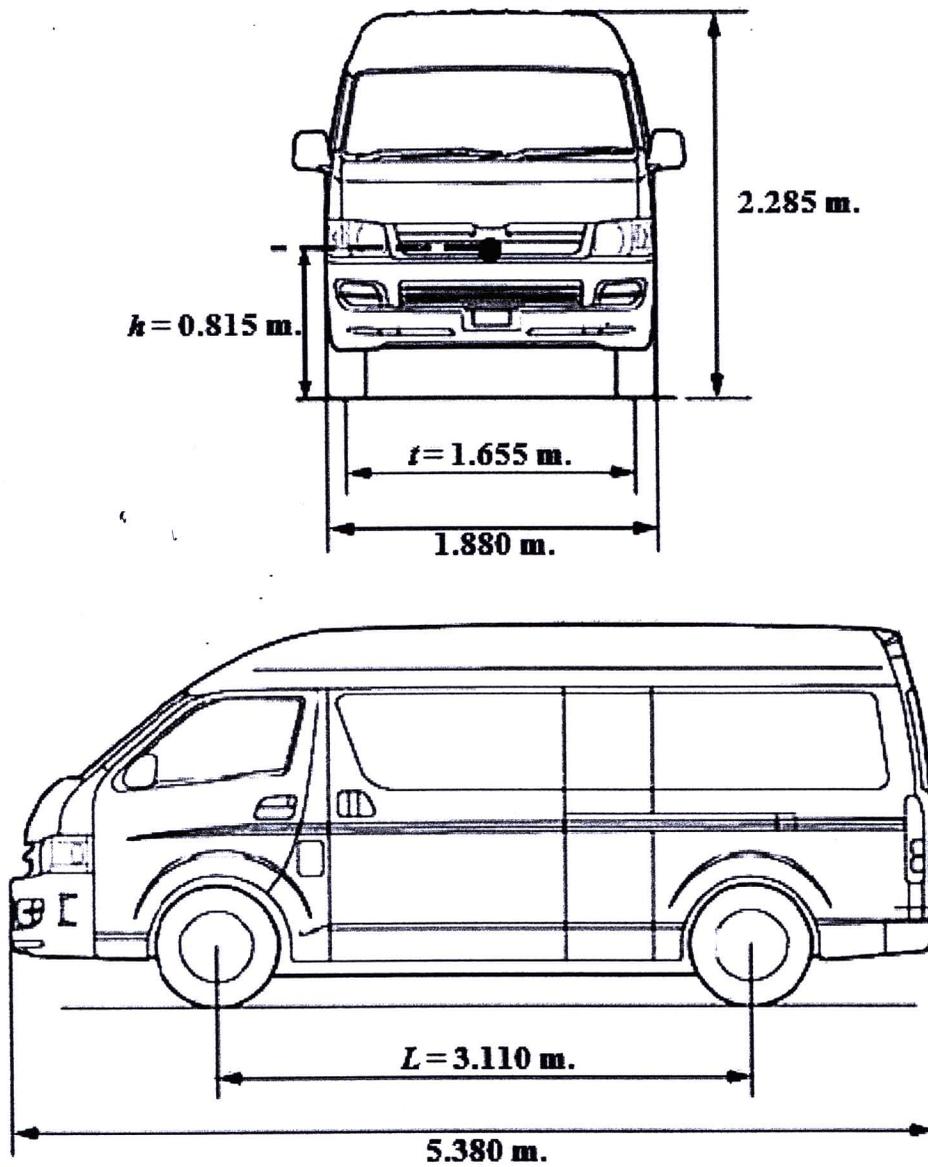
รูป 4.2-7 ลักษณะรูปร่างภายนอกของรถนั่งเอนกประสงค์ (Sport Utility Vehicle, SUV)
(บริษัท โตโยต่านิยมพาณิชย์ จำกัด, 2553)

h คือความสูงจากจุดศูนย์กลางวงรถถึงพื้น t คือระยะห่างระหว่างล้อด้านซ้ายกับล้อด้านขวา และ L คือระยะห่างระหว่างล้อด้านหน้ากับล้อด้านหลัง

ตาราง 4.9 ข้อมูลด้านเทคนิค มิติ และขนาด ของรถนั่งเอนกประสงค์ (SUV) ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ข้อมูลทางเทคนิค		สัญลักษณ์แทนตัวแปรที่ใช้ ในการคำนวณ
ความกว้างสุด, เมตร	1.840	
ความยาวสุด, เมตร	4.695	
ความสูงสุด, เมตร	1.795	
ความสูงจากจุดศูนย์ถ่วงของรถถึงพื้น, เมตร	0.762	Height, h
ระยะห่างระหว่างล้อด้านซ้ายและล้อด้านขวา, เมตร	1.651	Thread, t
ระยะห่างระหว่างล้อหน้ากับล้อหลัง, เมตร	2.75	Length, L
น้ำหนักรวมสูงสุดของขดยาน, กิโลกรัม	1,960	
น้ำหนักลงเพลาน้ำ (2 ล้อ) / น้ำหนักต่อล้อ, กิโลกรัม	1,176 / 588	Weight of front wheel, W_f
น้ำหนักลงเพลาท้าย (2 ล้อ) / น้ำหนักต่อล้อ, กิโลกรัม	784 / 392	Weight of rear wheel, W_r
ค่า Cornering Stiffness ที่ล้อหน้า, กิโลกรัม/ องศา	90.718	Cornering Stiffness of front wheel, C_{af}
ค่า Cornering Stiffness ที่ล้อหลัง, กิโลกรัม/ องศา	77.111	Cornering Stiffness of rear wheel, C_{ar}
มุมบิดที่ล้อหน้าสูงสุด, องศา	32.3	δ

ที่มา : ความสูงจากจุดศูนย์ถ่วงของรถถึงพื้นได้มาจากค่าแนะนำในตาราง 4.12 (Gillespie T.D., 1994, p. 312) ส่วนค่า Cornering Stiffness ที่ล้อของขดยาน ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่กระทำต่อล้อ (Normal Load) กับค่า Cornering Stiffness โดยเปรียบเทียบกับขดยานที่มีขนาด และน้ำหนักที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูป 4.2-9 (Clark S. K. et. al., 1981) ส่วนค่ามุมบิดที่ล้อหน้ารวมทั้งมิติและขนาดได้จากลักษณะเฉพาะของขดยาน (บริษัทโตโยตานิยมพาณิชย์ จำกัด, 2553)



รูป 4.2-8 ลักษณะรูปร่างภายนอกของรถตู้ (บริษัทโตโยตานิยมพาณิชย์ จำกัด, 2553)
 h คือความสูงจากจุดศูนย์กลางถ่วงรถถึงพื้น t คือระยะห่างระหว่างล้อด้านซ้ายกับล้อด้านขวา
 และ L คือระยะห่างระหว่างล้อด้านหน้ากับล้อด้านหลัง

ตาราง 4.10 ข้อมูลด้านเทคนิค มิติ และขนาด ของรถตู้ ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ข้อมูลทางเทคนิค		สัญลักษณ์แทนตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ
ความกว้างสุด, เมตร	1.88	
ความยาวสุด, เมตร	5.38	
ความสูงสุด, เมตร	2.285	
ความสูงจากจุดศูนย์ถ่วงของรถถึงพื้น, เมตร	0.815	Height, h
ระยะห่างระหว่างล้อด้านซ้ายและล้อด้านขวา, เมตร	1.655	Thread, t
ระยะห่างระหว่างล้อหน้ากับล้อหลัง, เมตร	3.11	Length, L
น้ำหนักรวมสูงสุดของขวดยาน, กิโลกรัม	2,110	
น้ำหนักลงเพลหน้า (2 ล้อ) / น้ำหนักต่อล้อ, กิโลกรัม	1,266 / 633	Weight of front wheel, W_f
น้ำหนักลงเพลท้าย (2 ล้อ) / น้ำหนักต่อล้อ, กิโลกรัม	844 / 422	Weight of rear wheel, W_r
ค่า Cornering Stiffness ที่ล้อหน้า, กิโลกรัม/องศา	92.986	Cornering Stiffness of front wheel, C_{af}
ค่า Cornering Stiffness ที่ล้อหลัง, กิโลกรัม/องศา	83.915	Cornering Stiffness of rear wheel, C_{ar}
มุมบิดที่ล้อหน้าสูงสุด, องศา	33	δ

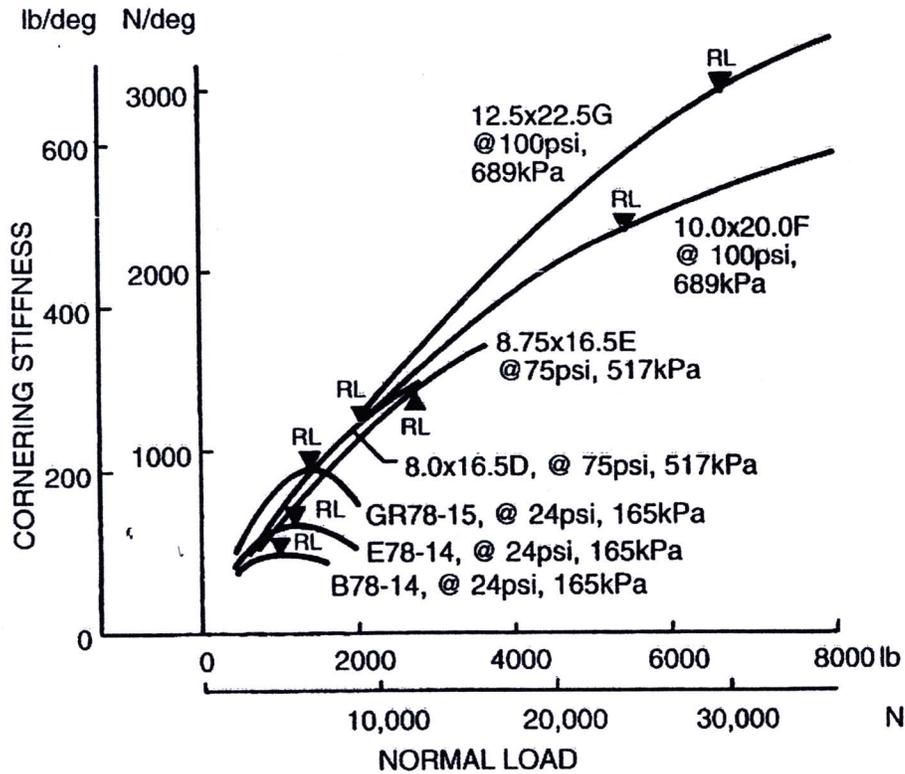
ที่มา : ความสูงจากจุดศูนย์ถ่วงของรถถึงพื้นได้มาจากค่าแนะนำในตาราง 4.12 (Gillespie T.D., 1994, p. 312) ส่วนค่า Cornering Stiffness ที่ล้อของขวดยาน ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่กระทำต่อล้อยาง (Normal Load) กับค่า Cornering Stiffness โดยเปรียบเทียบกับขวดยานที่มีขนาด และน้ำหนักที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูป 4.2-9 (Clark S. K. et. al., 1981) ส่วนค่ามุมบิดที่ล้อหน้ารวมทั้งมิติและขนาดได้จากลักษณะเฉพาะของขวดยาน (บริษัท โทโยคานิชยามพาณิชย์ จำกัด, 2553)

จากค่าความสัมพันธ์ของระยะห่างระหว่างล้อด้านซ้ายและล้อด้านขวา กับความสูงจากจุดศูนย์ถ่วงของรถถึงพื้น ซึ่งแนะนำสำหรับรถแต่ละประเภท (Gillespie T.D., 1994, p. 312) โดยแปลงหน่วยจากนิ้วเป็นเมตร ทำให้ได้ค่าความสูงจากจุดศูนย์ถ่วงของรถถึงพื้นสำหรับรถเล็กเพื่อนำมาใช้ในการสมการคำนวณความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถพลิกคว่ำดังแสดงในตาราง 4.11

ตาราง 4.11 ค่าความสูงของจุดศูนย์ถ่วงของรถเล็กแต่ละประเภทที่ได้จากการเปรียบเทียบ
ระยะห่างระหว่างล้อด้านซ้ายและขวาของรถที่มาจากคำแนะนำ

ประเภทรถ	คำแนะนำ	
	ระยะห่างระหว่างล้อด้านซ้ายกับ ล้อด้านขวา (thread), เมตร	ความสูงของจุดศูนย์ถ่วง, เมตร
รถยนต์นั่ง	1.270 - 1.524	0.508 - 0.584
รถกระบะ	1.651 - 1.778	0.762 - 0.889
รถเอนกประสงค์ (SUV)	1.651 - 1.778	0.762 - 0.889
รถตู้	1.651 - 1.778	0.762 - 1.016

(Gillespie T.D., 1994, p. 312)



รูป 4.2-9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Cornering Stiffness และ Normal Load ที่ล้อยาง โดยเปรียบเทียบกับรถที่มีขนาดแตกต่างกัน ตั้งแต่รถนั่งส่วนบุคคลไปจนถึงรถบรรทุก (Clark S. K. et. al., 1981, fig.1.27, p.36)

4.3 พฤติกรรมการวิ่งของยวดยานในโค้ง

จากการศึกษาพฤติกรรมการวิ่งของยวดยานที่ผ่านโค้งที่เป็นถนน 2 และ 3 ช่องจราจร ซึ่งปราศจากเกาะกลางมาแบ่งทิศทางจราจร โดยพิจารณาเฉพาะทิศทางลงเขา (Down grade) ซึ่งมีเพียงช่องจราจรเดียว ทำให้สามารถแบ่งพฤติกรรมการขับขี่ของยวดยานที่วิ่งผ่านโค้งได้เป็น 2 รูปแบบนั่นก็คือ 1) การขับโดยปกติทั่วไปหรือขับตามโค้ง ซึ่งการขับในรูปแบบนี้ รถจะวิ่งในลักษณะขนานไปกับเส้นกึ่งกลางถนนหรือเส้นเหลือง (Center line) ซึ่งมีตำแหน่งอยู่ที่กึ่งกลางของช่องจราจรพอดี 2) การขับตัดโค้ง ซึ่งการขับในรูปแบบนี้ รถจะวิ่งในลักษณะตัดเส้นกึ่งกลางถนนตรงบริเวณที่รถเริ่มเข้าโค้ง โดยส่วนหนึ่งของตัวรถจะล้ำเข้าไปสู่ในเลนตรงข้าม แล้วจึงค่อยๆ กลับเข้าสู่เลนปกติ ซึ่งพฤติกรรมการวิ่งของยวดยานทั้ง 2 รูปแบบ ของรถโดยสารแสดงดังรูป 4.3-1 ถึงรูป 4.3-5 ส่วนพฤติกรรมการวิ่งของยวดยานประเภทอื่นๆ แสดงในภาค ผผนวก ก



รูป 4.3-1 แสดงพฤติกรรมรถขับขี่แบบขับตามโค้ง หรือขับแบบไม่ตัดโค้งของรถโดยสารบน
โค้งสายห้วยแก้ว – คอยสุเทพ



รูป 4.3-2 แสดงพฤติกรรมรถขับขี่แบบขับตัดโค้งของรถโดยสารบน โค้งสายห้วยแก้ว –
คอยสุเทพ



รูป 4.3-3 แสดงพฤติกรรมรถขับที่แบบตัดโค้งของรถโดยสารบนโค้งสายแม่ริม – สะเมิง

หมายเหตุ จากการสำรวจพฤติกรรมรถขับที่ของรถโดยสารบนโค้งที่พิจารณาสายแม่ริม – สะเมิง พบว่ามีการขับแบบตัดโค้งทุกคัน

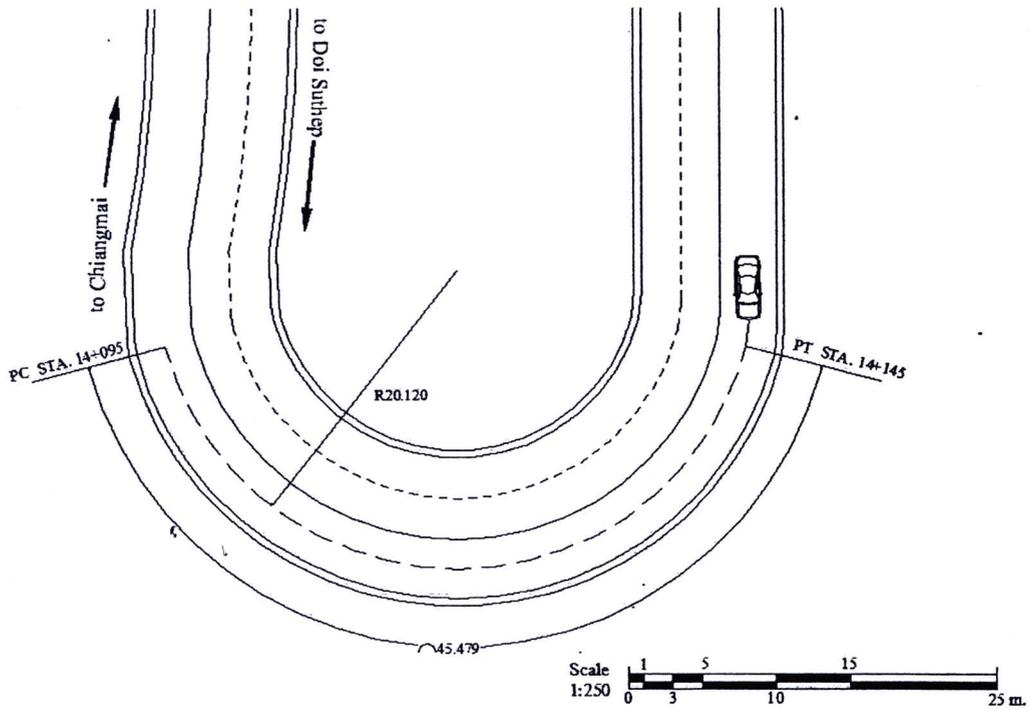


รูป 4.3-4 แสดงพฤติกรรมการขับขี่แบบขับตามโค้ง หรือขับแบบไม่ตัดโค้งของรถโดยสารบน โค้งสายแม่สอด – ตาก

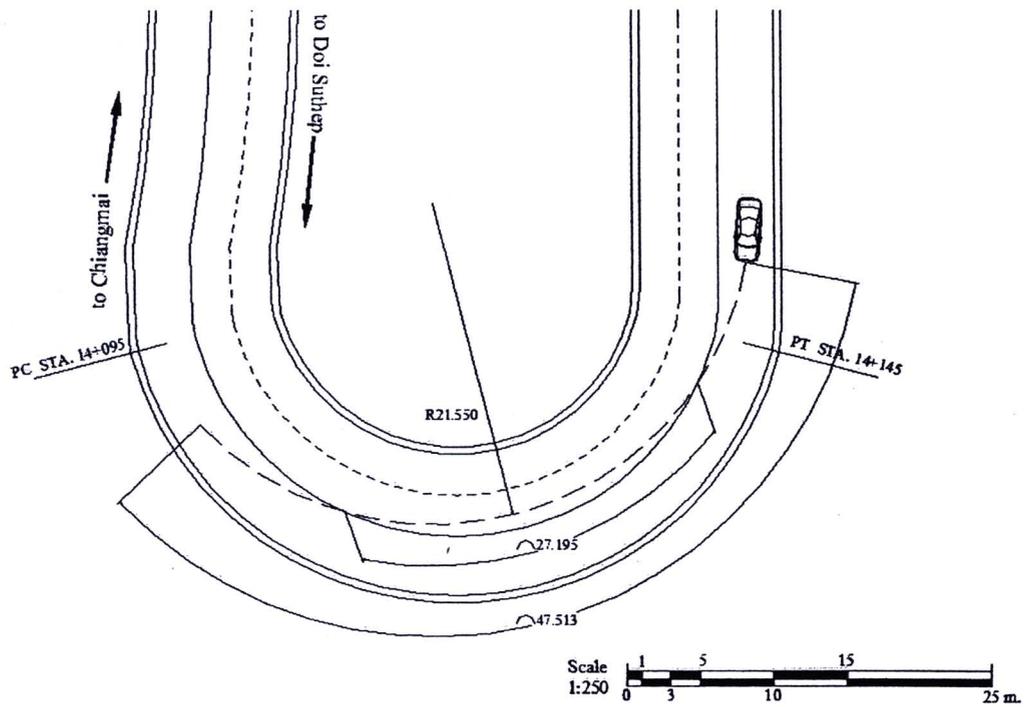


รูป 4.3-5 แสดงพฤติกรรมการขับขี่แบบขับตัดโค้งของรถโดยสารบน โค้งสายแม่สอด – ตาก

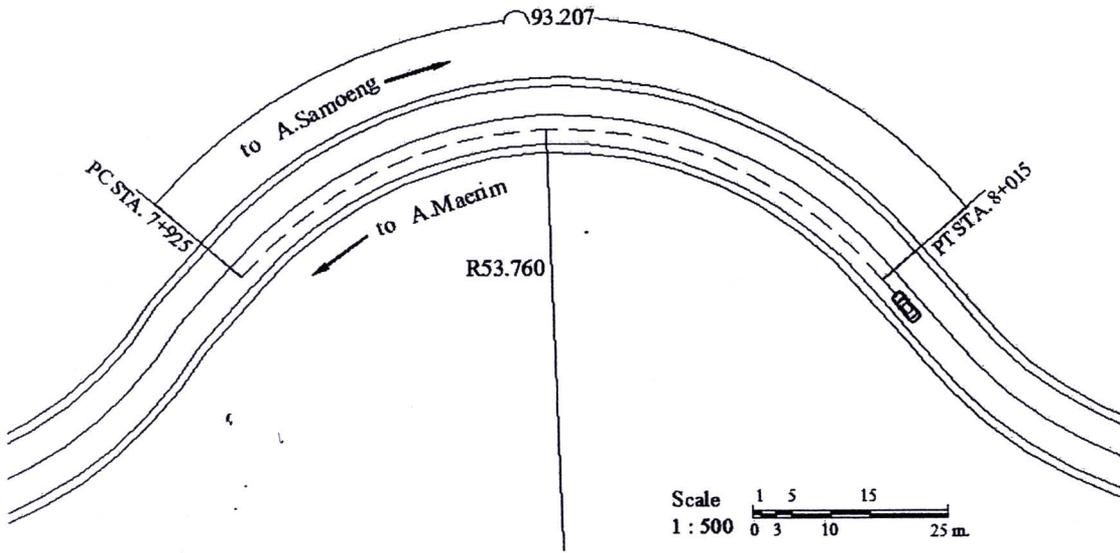
จากการศึกษาพฤติกรรมการวิ่งของขวยคยานในโค้งและเก็บข้อมูลเรขาคณิตของโค้งที่พิจารณาทั้ง 3 โค้ง ทำให้สามารถจำลองทางวิ่งของขวยคยานได้โดยอาศัยโปรแกรม AutoCAD 2008 มาช่วยเขียนรูปแปลนและทางวิ่งของขวยคยานบนโค้งที่พิจารณาได้ สำหรับพฤติกรรมการวิ่งของขวยคยานแบบตามโค้งหรือไม่ตัดโค้งนั้น มีการเคลื่อนไปตามโค้งซึ่งขนานกับเส้นกึ่งกลางถนน (Center line) และอยู่ที่กลางเลนพอดี เมื่อนำทางวิ่งดังกล่าวไปเขียนรูปแปลนทำให้ได้รัศมีโค้ง (R) ของขวยคยานแบบตามโค้ง ส่วนรัศมี (R) ของขวยคยานแบบตัดโค้งจะพิจารณาจากตำแหน่งที่ขวยคยานเริ่มเข้าโค้งตัด Center line แล้วจึงกลับเข้าเลนตามปกติซึ่งตำแหน่งนั้นดังกล่าวจะตรงกับช่วงที่มีการวัดความเร็วขับขี่เพื่อให้ได้รัศมีโค้ง (R) ของขวยคยานที่ขับตัดโค้งมาเปรียบเทียบกับความเร็วขับขี่จริงที่ได้จากการวัด และใช้ในสมการคำนวณความเร็วปลอดภัยได้ ซึ่งรูปแปลนแสดงทางวิ่งของขวยคยานที่ขับตามโค้งและขับตัดโค้งบนทางโค้งที่พิจารณาทั้ง 3 โค้ง แสดงดังรูป 4.3-6 ถึงรูป 4.3-11



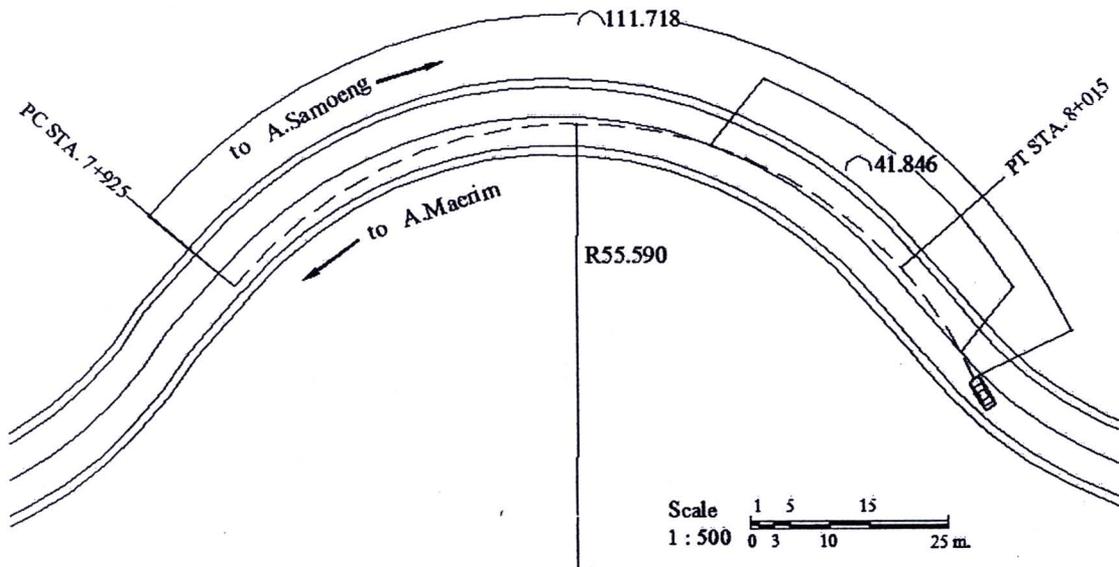
รูป 4.3-6 แสดงทางวิ่งของขบวนรถ แบบขับตามโค้ง หรือขับแบบไม่ตัดโค้ง บนโค้งที่พิจารณา สายห้วยแก้ว - คอยสุเทพ



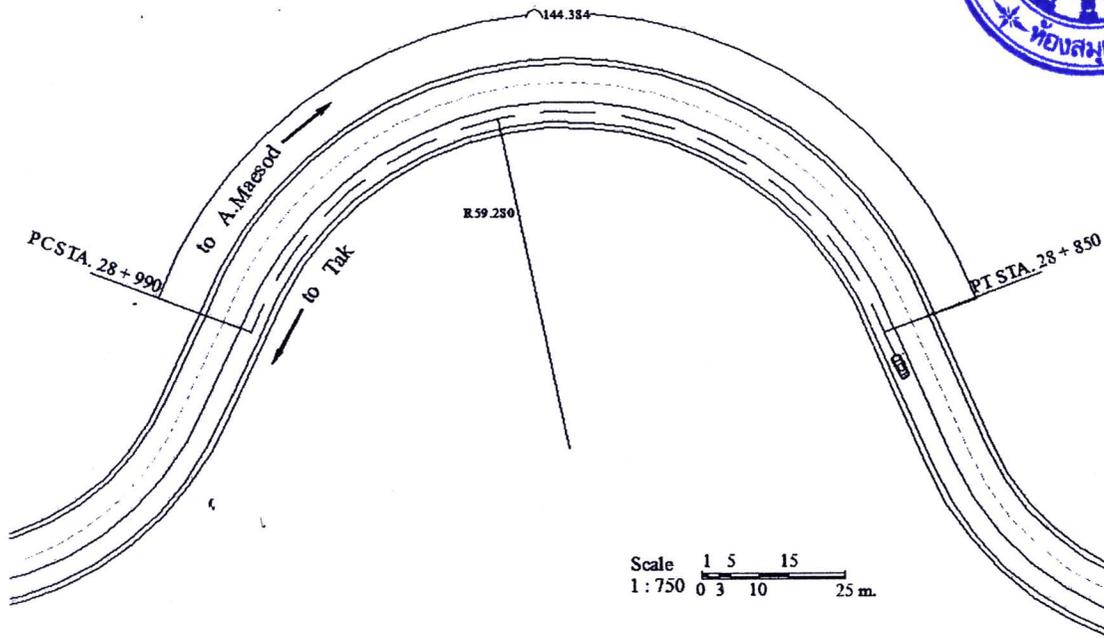
รูป 4.3-7 แสดงทางวิ่งของขบวนรถแบบขับตัดโค้ง บนโค้งที่พิจารณาสายห้วยแก้ว - คอยสุเทพ



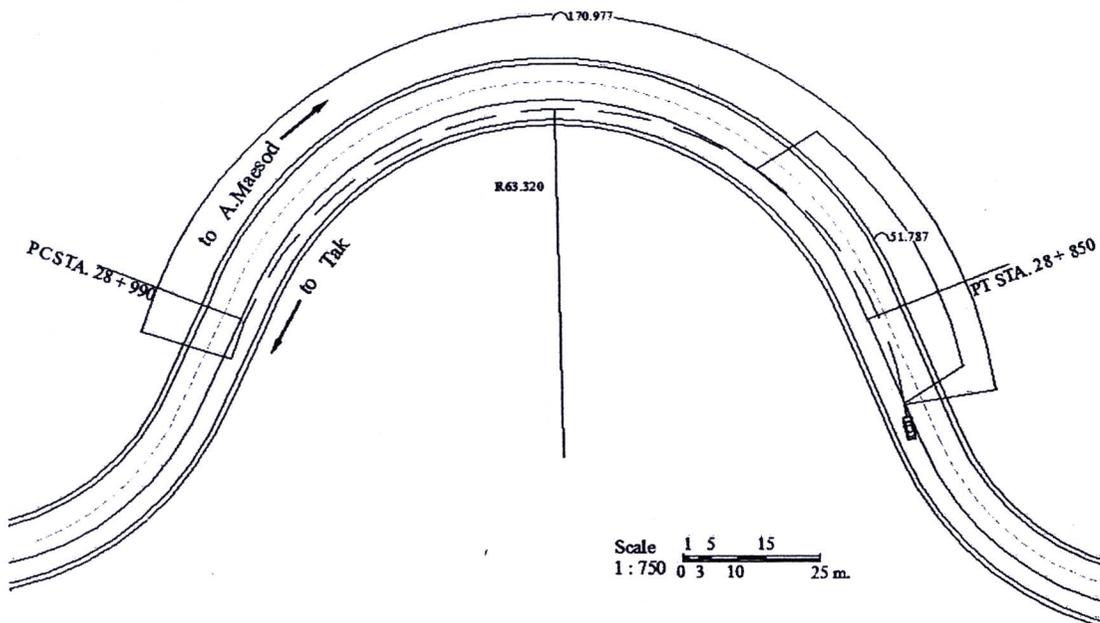
รูป 4.3-8 แสดงทางโค้งของขุดยาน แบบขับตามโค้ง หรือขับแบบไม่ตัดโค้ง บนโค้งที่พิจารณา สายแมริม - สะเมิง



รูป 4.3-9 แสดงทางโค้งของขุดยานแบบขับตัดโค้ง บนโค้งที่พิจารณา สายแมริม - สะเมิง



รูป 4.3-10 แสดงทางวิ่งของขบวนรถ แบบขับตามโค้ง หรือขับแบบไม่ตัดโค้ง บนโค้งที่พิจารณา สายแม่สอด - ดาก



รูป 4.3-11 แสดงทางวิ่งของขบวนรถแบบขับตัดโค้ง บนโค้งที่พิจารณา สายแม่สอด - ดาก

เมื่อพิจารณาพฤติกรรมการวิ่งของยวดยานทั้งแบบขับตามโค้งและตัดโค้ง ดังรูป 4.3-6 ถึงรูป 4.3-11 พบว่ายวดยานที่ขับตัดโค้งนั้น เพื่อต้องการรักษาความเร็วให้คงที่ จึงต้องมีการวิ่งตัด Center line ก่อนถึงหัวโค้ง หรือเป็นการเพิ่มรัศมีเลี้ยว (R) นั้นเอง ซึ่งค่ารัศมี (R) ตามทางวิ่งของยวดยานทั้งแบบขับตามโค้งและตัดโค้ง เป็นส่วนสำคัญที่จะนำไปใช้คำนวณความเร็วปลอดภัยทั้ง 3 สมการ ส่วนความยาวของทางวิ่งนั้นเป็นเพียงส่วนหนึ่งเพื่อดูพฤติกรรมการวิ่งของยวดยานเท่านั้น

4.4 ข้อมูลความเร็วของยวดยานที่ได้จากการวัด ตามโค้งที่พิจารณา

จากการเก็บข้อมูลตามขั้นตอนในบทที่ 3 ในการวัดความเร็วของยวดยานในทิศทาง Downgrade โดยแบ่งยวดยานตามขนาดที่แตกต่างกันออกเป็น 5 ประเภท ประเภทละ 170 คันต่อ 1 โค้ง เวลาในการสำรวจตั้งแต่เวลา 9.00 น. – 12.00 น. และ 13.00 น. – 17.00 น. ซึ่งได้ทำการสำรวจทั้ง 3 โค้ง โดยในแต่ละโค้งได้วัดความเร็วขับขี่ของยวดยานที่มีขนาดแตกต่างกันซึ่งแบ่งยวดยานที่ทำการสำรวจออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ 1) รถเก๋ง 2) รถกระบะ 3) รถเอนกประสงค์ (SUV) 4) รถตู้ และ 5) รถโดยสารขนาดใหญ่ ซึ่งแบ่งออกเป็นรถโดยสารชั้นเดียว 2 เพลา รถโดยสารชั้นเดียว 3 เพลา และรถโดยสารสองชั้น 3 เพลา เนื่องจากรถโดยสารที่ทำการวัดความเร็วขับขี่บนโค้งทั้ง 3 โค้งที่พิจารณาต่อวันนั้นมีจำนวนน้อยมาก เพื่อการเก็บข้อมูลให้ประหยัดเวลา และประหยัดค่าใช้จ่ายในการเดินทางไปเก็บข้อมูล สำหรับงานวิจัยนี้จึงได้รวมรถโดยสารทั้ง 3 ประเภทให้เป็นประเภทเดียวกันในการวัดความเร็วขับขี่โดยรวมทั้งหมด 170 คัน แต่ในการคำนวณความเร็วปลอดภัยสำหรับรถโดยสารสามารถทำได้ทั้ง 3 ประเภท ซึ่งในการเปรียบเทียบระหว่างความเร็วที่ได้จากการวัดกับความเร็วที่ได้จากการคำนวณความเร็วปลอดภัยจะมุ่งเน้นไปที่รถโดยสารสองชั้นเป็นหลัก เนื่องจากมีขนาดและความสูงมากกว่ารถโดยสารชั้นเดียวซึ่งเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุมากที่สุด และหลังจากที่ได้ข้อมูลความเร็วขับขี่ของยวดยานประเภทต่างๆแล้วจะนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาทดสอบทางสถิติ ซึ่งสามารถสรุปเป็นตารางได้ ดังตาราง 4.12 – 4.14 ส่วนข้อมูลความเร็วที่ได้จากการวัดแสดงในภาคผนวก ข และข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเบื้องต้นทางสถิติโดยอาศัยโปรแกรม SPSS ช่วยในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล การหาค่าความเร็วเฉลี่ย และผลการวิเคราะห์ความเร็วที่ 85 เปอร์เซนต์ไทล์ของยวดยาน ทั้งการขับแบบตัดโค้งและขับแบบตามโค้ง แสดงในภาคผนวก ค

ตาราง 4.12 ข้อมูลความเร็วของขบวนรถทั้ง 5 ประเภท ประเภทละ 170 คัน บนทางหลวงหมายเลข 1004 ตอนห้วยแก้ว – คอยสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 14+095 ถึง STA. 14+145 ทิศทางลงเขา เข้าสู่ตัวเมืองเชียงใหม่ รัศมีโค้ง = 18.120 เมตร (วัดจาก Center line) เวลาในการสำรวจตั้งแต่เวลา 9.00 น. – 12.00 น. และ 13.00 น. – 17.00 น.

ประเภทขบวนรถ ความเร็ว, กม./ชม.	รถเก๋ง	รถ กระบะ	รถSUV	รถตู้	รถโดยสาร ขนาดใหญ่
ความเร็วต่ำสุดของรถที่ตัดโค้ง	17	18	13	13	10
ความเร็วสูงสุดของรถที่ตัดโค้ง	39	35	33	28	25
ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของ รถที่ตัดโค้ง	30	30	29	26	22
ความเร็วเฉลี่ยของรถที่ตัดโค้ง	25	25	24	23	18
เปอร์เซ็นต์ของรถที่ตัดโค้ง	55 %	54 %	53 %	49 %	65 %
ความเร็วต่ำสุดของรถที่ไม่ตัดโค้ง	9	5	11	10	10
ความเร็วสูงสุดของรถที่ไม่ตัดโค้ง	30	30	38	28	22
ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของ รถที่ไม่ตัดโค้ง	25	24	28	24	15
ความเร็วเฉลี่ยของรถที่ไม่ตัดโค้ง	20	20	23	20	13
เปอร์เซ็นต์ของรถที่ไม่ตัดโค้ง	45 %	46 %	47 %	51 %	35 %
ความเร็วเฉลี่ยของรถทั้งหมด	23	23	23	21	16
ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของ รถทั้งหมด	28	28	29	25	20

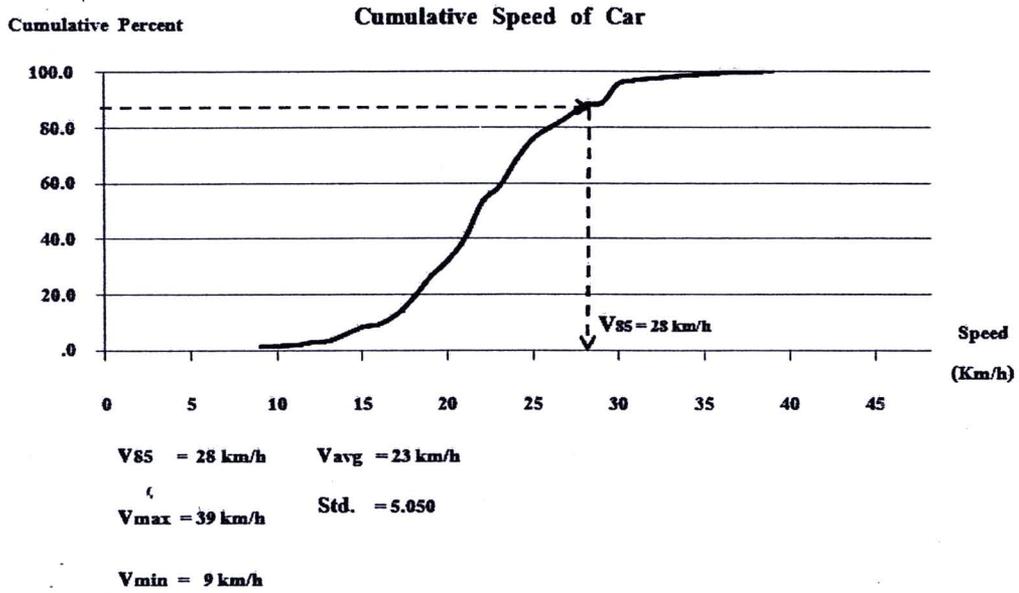
ตาราง 4.13 ข้อมูลความเร็วของขบวนรถทั้ง 5 ประเภท ประเภทละ 170 คัน บนทางหลวงหมายเลข 1096 ตอน แม่ริม – สะเมิง อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ STA. 7+925 ถึง STA. 8+015 ทิศทางลงเขา เข้าสู่ตัวอำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ รัศมีโค้ง = 55.610 เมตร (วัดจาก Center line) เวลาในการสำรวจตั้งแต่เวลา 9.00 น. – 12.00 น. และ 13.00 น. – 17.00 น.

ประเภทขบวนรถ ความเร็ว, กม./ชม.	รถเก๋ง	รถกระบะ	รถSUV	รถตู้	รถโดยสาร ขนาดใหญ่
ความเร็วต่ำสุดของรถที่ตัดโค้ง	29	17	22	23	18
ความเร็วสูงสุดของรถที่ตัดโค้ง	58	62	57	54	44
ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ของ รถที่ตัดโค้ง	49	49	47	46	39
ความเร็วเฉลี่ยของรถที่ตัดโค้ง	44	43	42	41	30
เปอร์เซ็นต์ของรถที่ตัดโค้ง	82%	84 %	82 %	89 %	100 %
ความเร็วต่ำสุดของรถที่ไม่ตัดโค้ง	19	26	24	20	-
ความเร็วสูงสุดของรถที่ไม่ตัดโค้ง	48	50	44	40	-
ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ของ รถที่ไม่ตัดโค้ง	44	42	38	37	-
ความเร็วเฉลี่ยของรถที่ไม่ตัดโค้ง	37	37	35	31	-
เปอร์เซ็นต์ของรถที่ไม่ตัดโค้ง	18 %	16 %	18 %	11 %	0 %
ความเร็วเฉลี่ยของขบวนรถทั้งหมด	42	42	41	40	30
ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ของ รถทั้งหมด	48	49	47	45	39

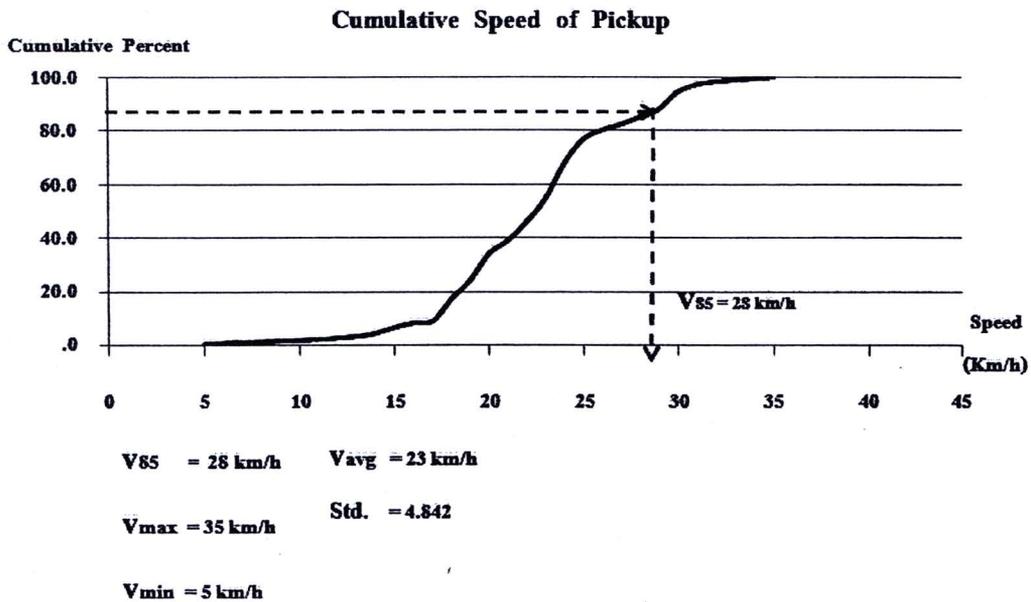
ตาราง 4.14 ข้อมูลความเร็วของยานทั้ง 5 ประเภท ประเภทละ 170 คัน บนทางหลวงหมายเลข 12 (105 เก้า) ตอน แม่สอด – ตาก อำเภอเมือง จังหวัดตาก STA. 28+850 ถึง STA. 28+990 ทิศทางลงเขาเข้าสู่ตัวอำเภอเมือง จังหวัดตาก รัศมีโค้ง = 61.080 เมตร (วัดจาก Center line) เวลาในการสำรวจตั้งแต่เวลา 9.00 น. – 12.00 น. และ 13.00 น. – 17.00 น.

ประเภทยาน ความเร็ว, กม./ชม.	รถเก๋ง	รถกระบะ	รถSUV	รถตู้	รถโดยสาร ขนาดใหญ่
ความเร็วต่ำสุดของรถที่ตัดโค้ง	36	39	31	39	32
ความเร็วสูงสุดของรถที่ตัดโค้ง	74	65	63	64	54
ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของ รถที่ตัดโค้ง	59	61	58	58	50
ความเร็วเฉลี่ยของรถที่ตัดโค้ง	54	54	51	52	46
เปอร์เซ็นต์ของรถที่ตัดโค้ง	58 %	66 %	46 %	52 %	70 %
ความเร็วต่ำสุดของรถที่ไม่ตัดโค้ง	24	28	38	36	30
ความเร็วสูงสุดของรถที่ไม่ตัดโค้ง	75	61	68	60	50
ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของ รถที่ไม่ตัดโค้ง	54	54	56	54	47
ความเร็วเฉลี่ยของรถที่ไม่ตัดโค้ง	47	47	50	48	41
เปอร์เซ็นต์ของรถที่ไม่ตัดโค้ง	42 %	34 %	54 %	48 %	30 %
ความเร็วเฉลี่ยของยานทั้งหมด	51	51	50	50	45
ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของ รถทั้งหมด	58	59	57	56	50

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความเร็วสะสมที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ (V_{85}) ของยานทั้ง 5 ประเภท จำนวนประเภทละ 170 คัน ที่วิ่งผ่านทางโค้งสายห้วยแก้ว – คอยสุเทพ ดังแสดงในรูป 4.4-1 ถึงรูป 4.4-5

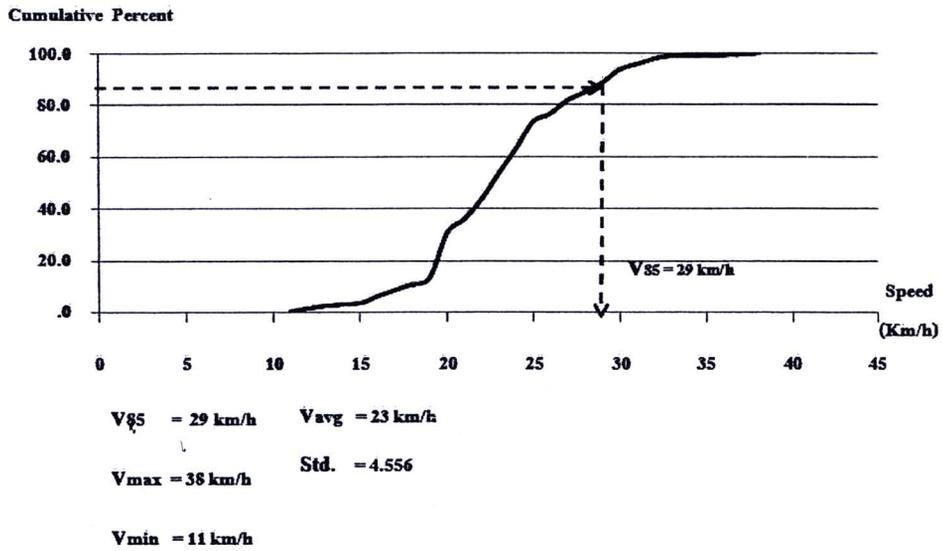


รูป 4.4-1 กราฟแสดงข้อมูลความเร็วสะสมที่ได้จากการวัดความเร็วขบชี้ที่ 85 เปอร์เซนต์ไทล์ (V_{85}) ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (รถเก๋ง) บนทางโค้งสายห้วยแก้ว – คอยสุเทพ



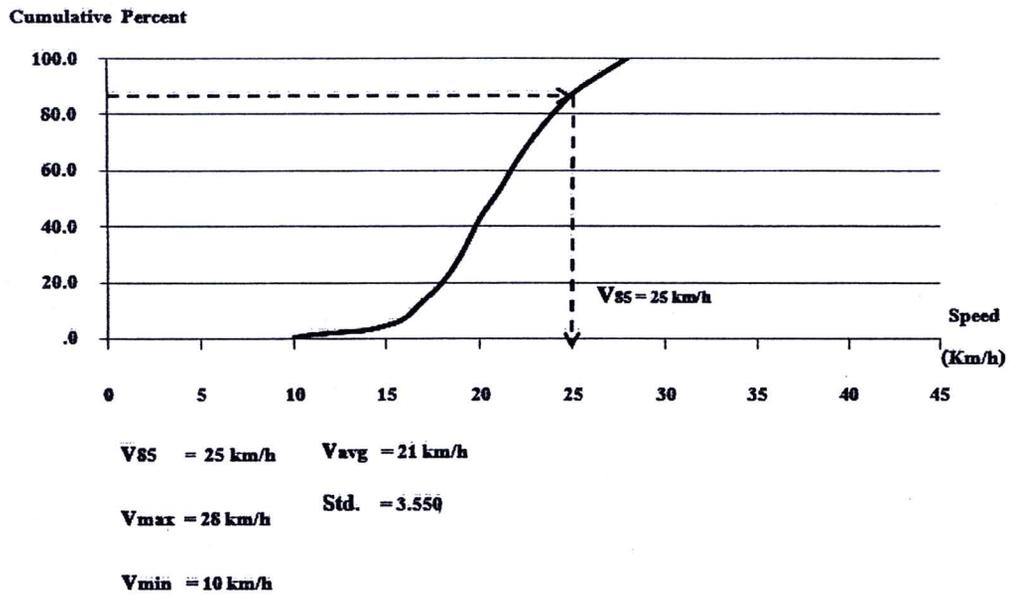
รูป 4.4-2 กราฟแสดงข้อมูลความเร็วสะสมที่ได้จากการวัดความเร็วขบชี้ที่ 85 เปอร์เซนต์ไทล์ (V_{85}) ของรถกระบะบนทางโค้งสายห้วยแก้ว – คอยสุเทพ

Cumulative Speed of SUV.



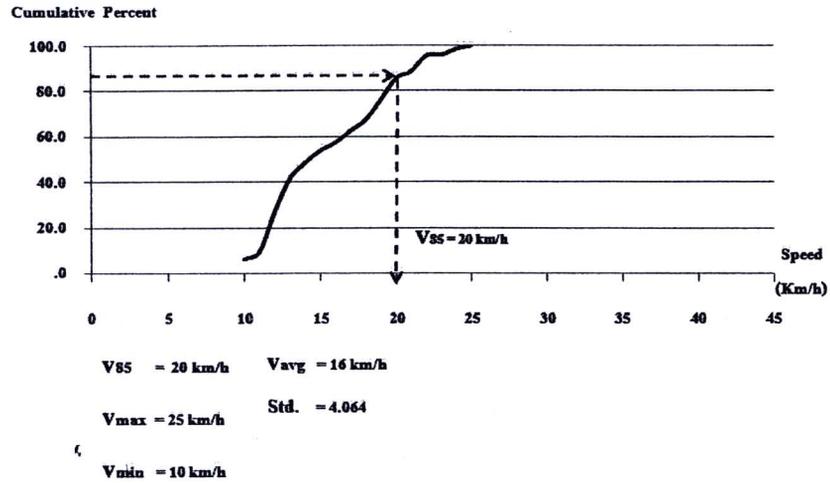
รูป 4.4-3 กราฟแสดงข้อมูลความเร็วสะสมที่ได้จากการวัดความเร็วขั้วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ (V_{85}) ของรถเอนกประสงค์ (SUV) บนทางโค้งสายห้วยแก้ว - คอยสุเทพ

Cumulative Speed of Van



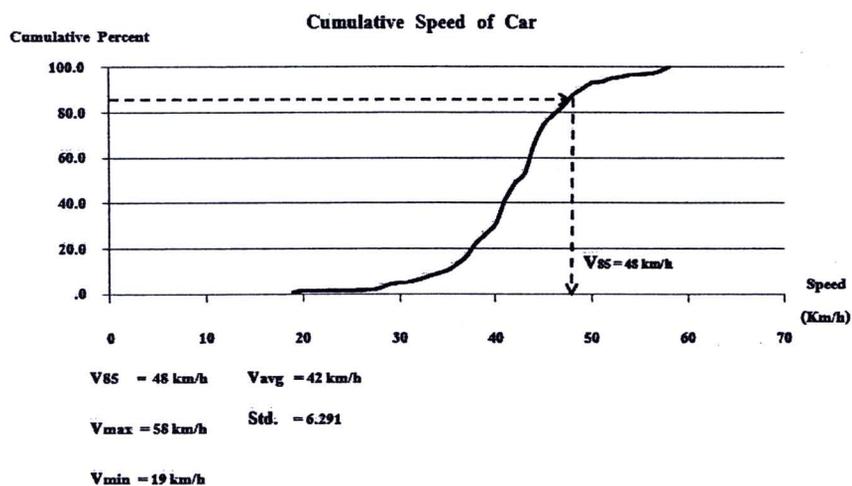
รูป 4.4-4 กราฟแสดงข้อมูลความเร็วสะสมที่ได้จากการวัดความเร็วขั้วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ (V_{85}) ของรถตู้บนทางโค้งสายห้วยแก้ว - คอยสุเทพ

Cumulative Speed of Buses

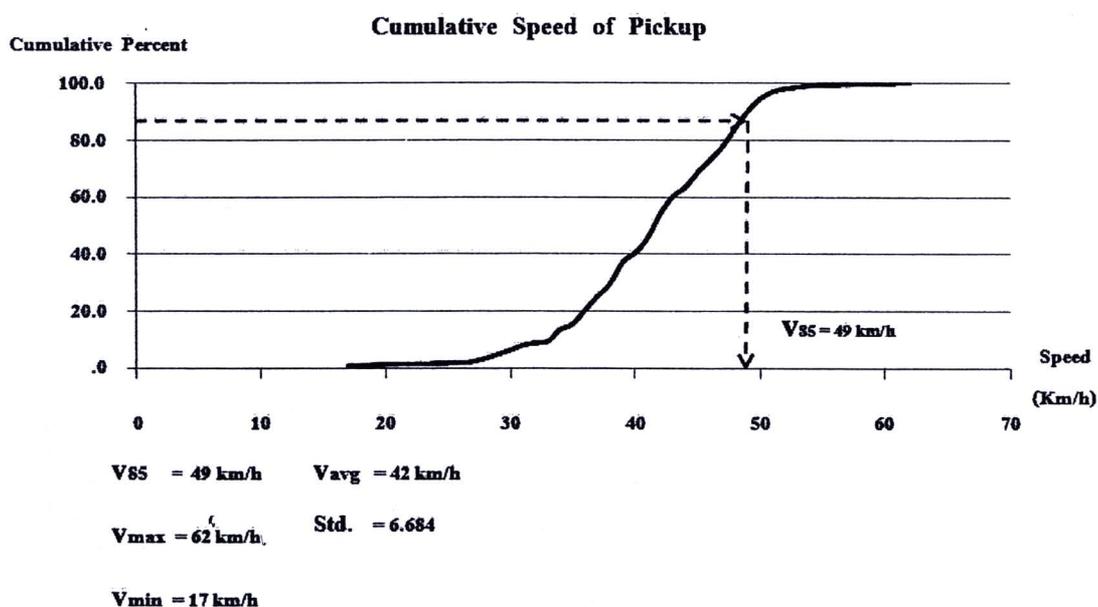


รูป 4.4-5 กราฟแสดงข้อมูลความเร็วสะสมที่ได้จากการวัดความเร็วขบชี้ที่ 85 เปอร์เซนต์ไทล์ (V_{85}) ของรถโดยสารบนทางโค้งสายห้วยแก้ว – คอยสุเทพ

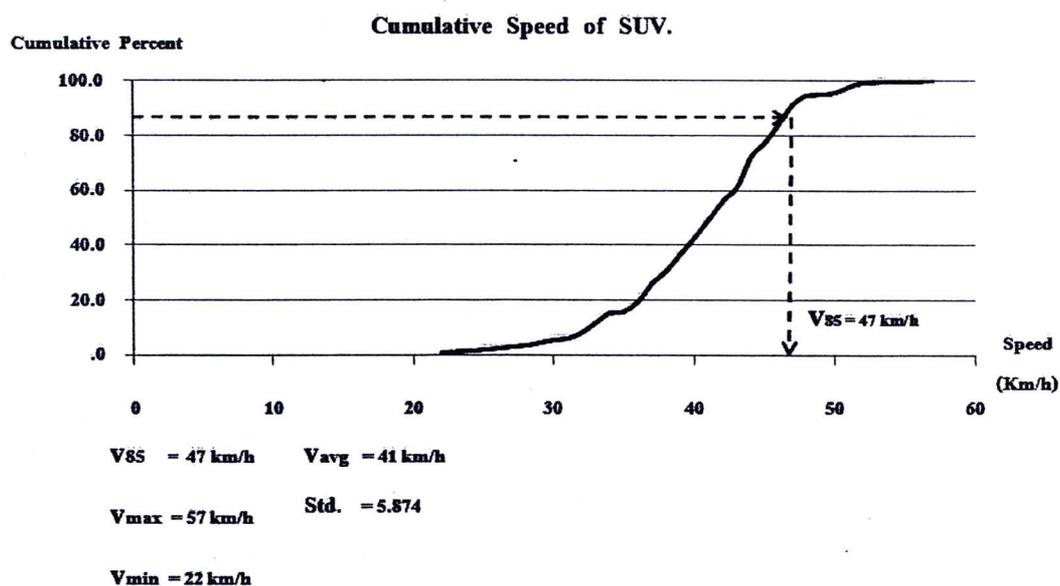
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความเร็วสะสมที่ 85 เปอร์เซนต์ไทล์ (V_{85}) ของขบวนทั้ง 5 ประเภท จำนวนประเภทละ 170 คัน ที่วิ่งผ่านทางโค้งสายแมริม – สะเมิง ดังแสดงในรูป 4.4-6 ถึง รูป 4.4-10



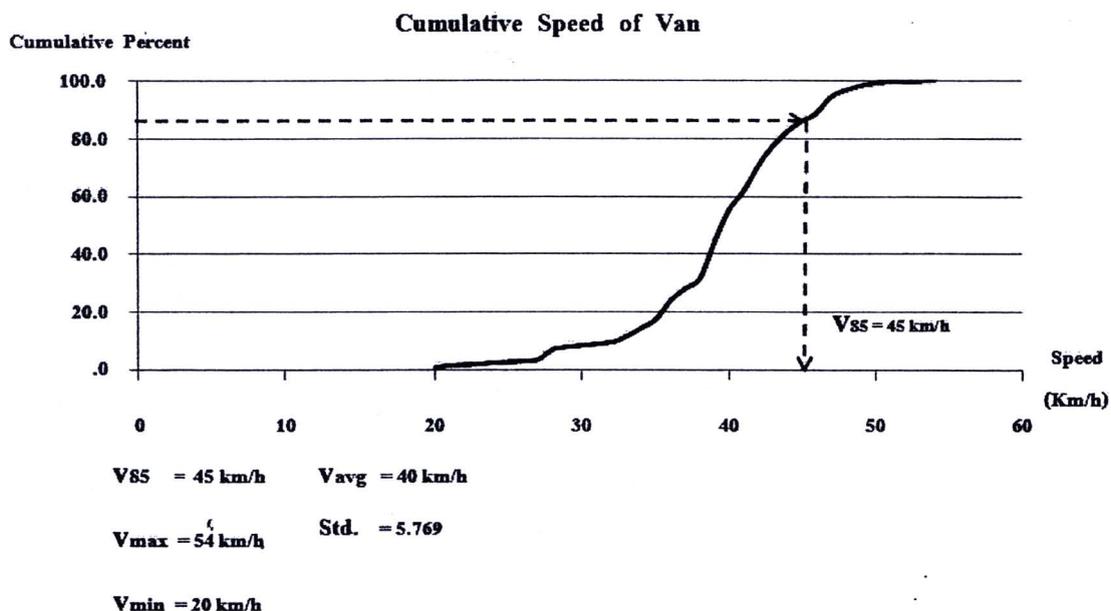
รูป 4.4-6 กราฟแสดงข้อมูลความเร็วสะสมที่ได้จากการวัดความเร็วขบชี้ที่ 85 เปอร์เซนต์ไทล์ (V_{85}) ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (รถเก๋ง) บนทางโค้งสายแมริม – สะเมิง



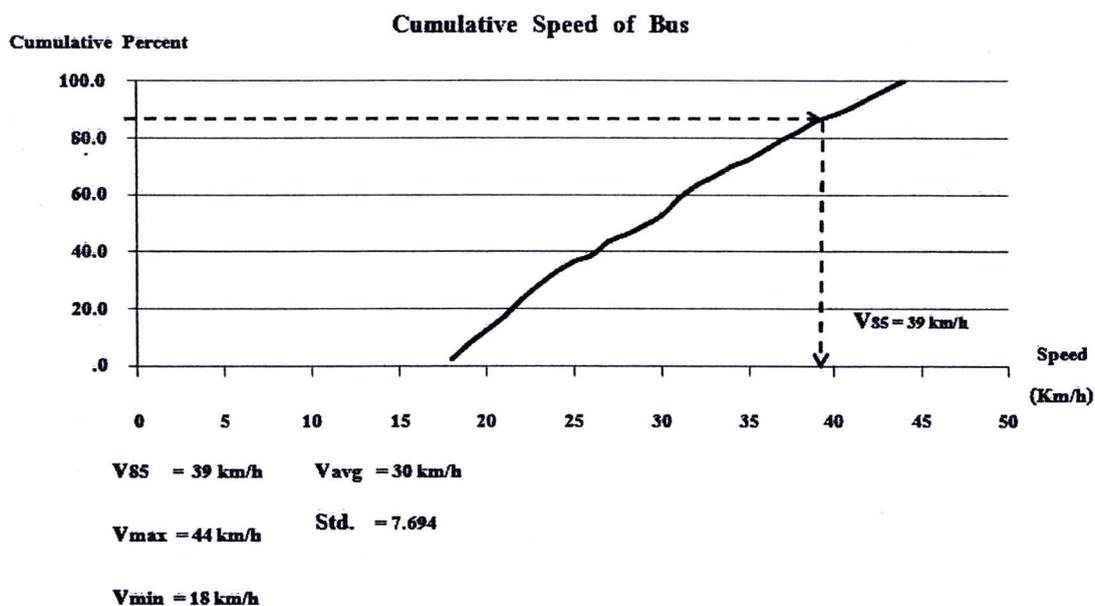
รูป 4.4-7 กราฟแสดงข้อมูลความเร็วสะสมที่ได้จากการวัดความเร็วขั้วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ (V_{85}) ของรถกระบะบนทางโค้งสายแมริม – สะเมิง



รูป 4.4-8 กราฟแสดงข้อมูลความเร็วสะสมที่ได้จากการวัดความเร็วขั้วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ (V_{85}) ของรถเอนกประสงค์ (SUV) บนทางโค้งสายแมริม – สะเมิง

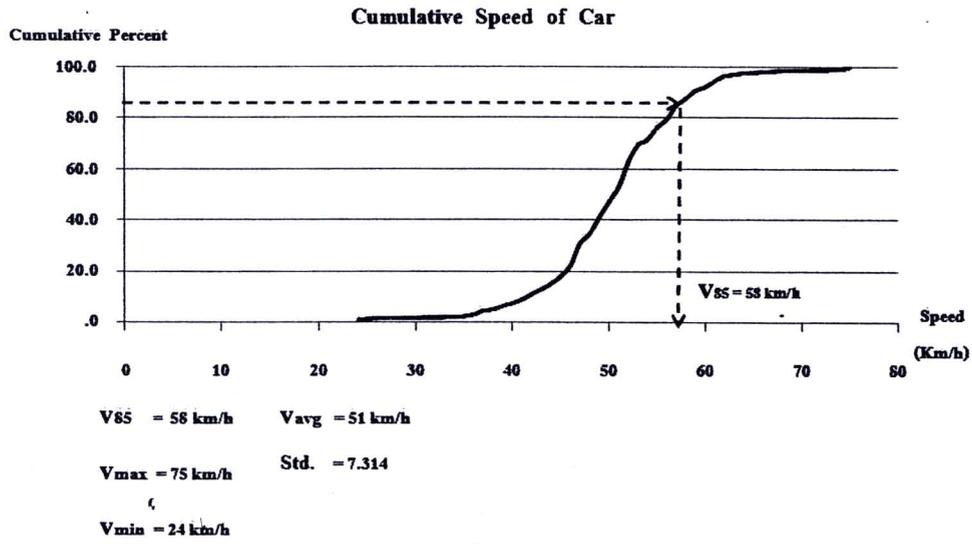


รูป 4.4-9 กราฟแสดงข้อมูลความเร็วสะสมที่ได้จากการวัดความเร็วขั้วชี้ที่ 85 เปอร์เซนต์ไทล์ (V_{85}) ของรถตู้บนทางโค้งสายแม่ริม - สะเมิง

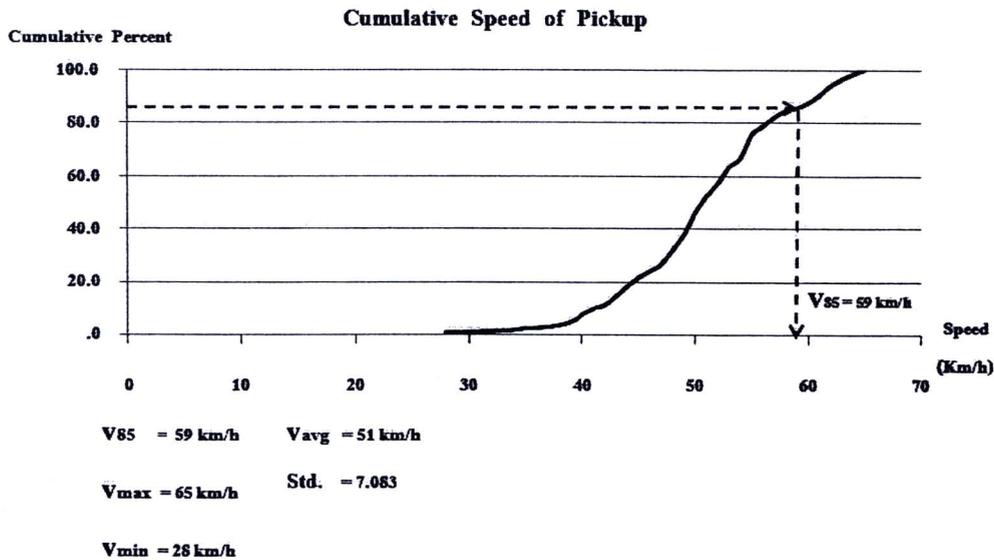


รูป 4.4-10 กราฟแสดงข้อมูลความเร็วสะสมที่ได้จากการวัดความเร็วขั้วชี้ที่ 85 เปอร์เซนต์ไทล์ (V_{85}) ของรถโดยสารบนทางโค้งสายแม่ริม - สะเมิง

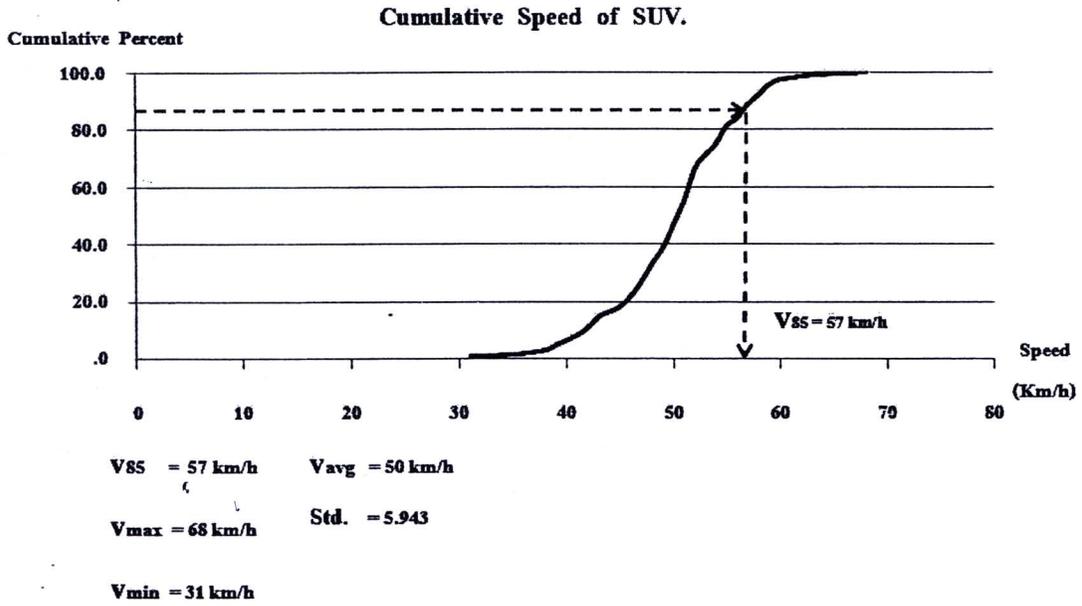
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความเร็วสะสมที่ 85 เปอร์เซนต์ไทล์ (V_{85}) ของขบวนยานทั้ง 5 ประเภท จำนวนประเภทละ 170 คัน ที่วิ่งผ่านทางโค้งสายแม่สอด - ดาก ดังแสดงในรูป 4.4-11 ถึง รูป 4.4-15



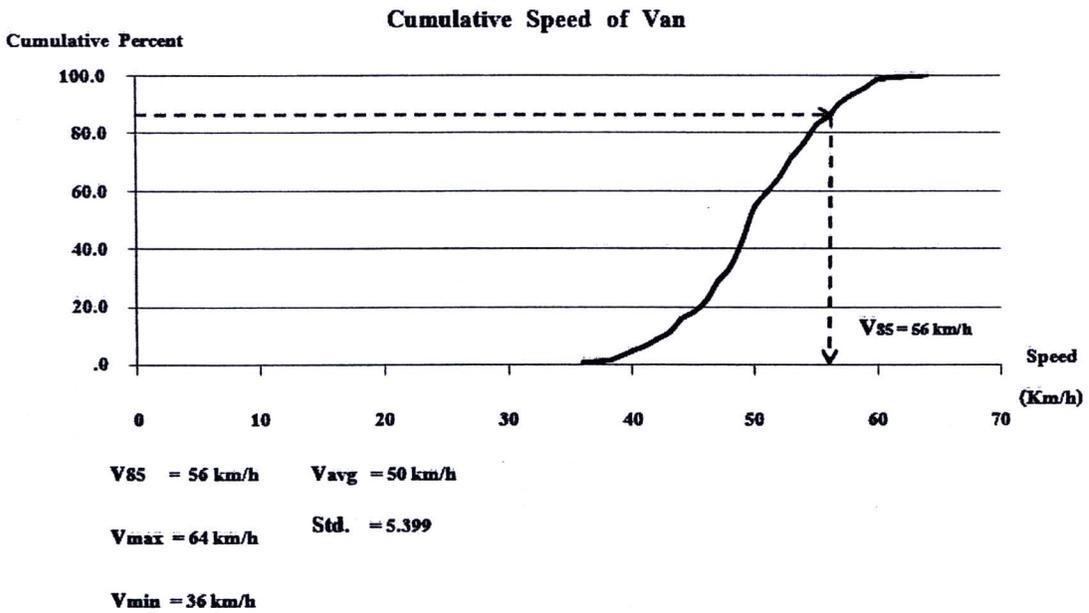
รูป 4.4-11 กราฟแสดงข้อมูลความเร็วสะสมที่ได้จากการวัดความเร็วขั้วปีที่ 85 เปอร์เซนต์ไทล์ (V_{85}) ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (รถเก๋ง) บนทางโค้งสายแม่สอด - ตาก



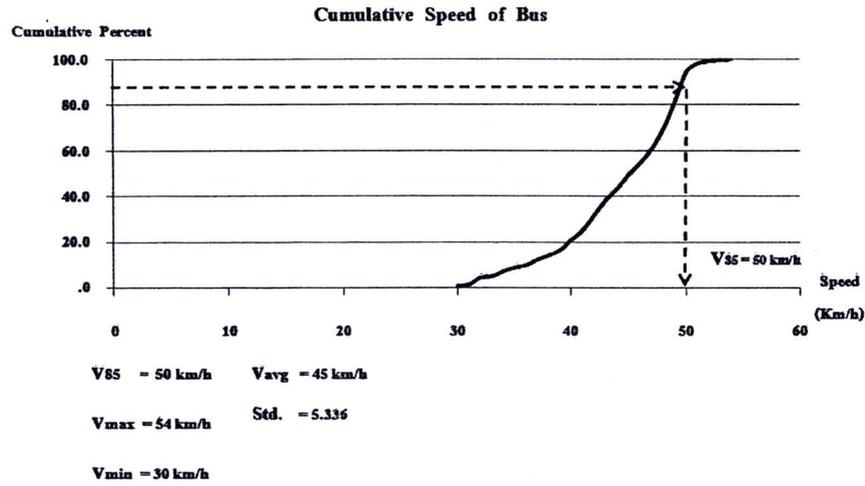
รูป 4.4-12 กราฟแสดงข้อมูลความเร็วสะสมที่ได้จากการวัดความเร็วขั้วปีที่ 85 เปอร์เซนต์ไทล์ (V_{85}) ของรถกระบะบนทางโค้งสายแม่สอด - ตาก



รูป 4.4-13 กราฟแสดงข้อมูลความเร็วสะสมที่ได้จากการวัดความเร็วขั้วปีที่ 85 เปอร์เซนต์ไทล์ (V_{85}) ของรถเอนกประสงค์ (SUV) บนทางโค้งสายแม่สอด - ตาก

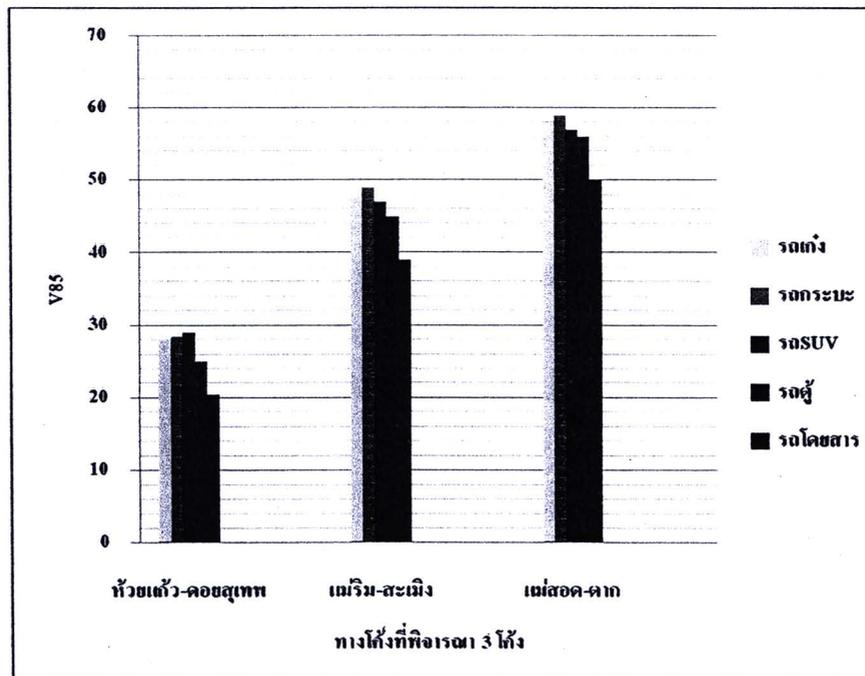


รูป 4.4-14 กราฟแสดงข้อมูลความเร็วสะสมที่ได้จากการวัดความเร็วขั้วปีที่ 85 เปอร์เซนต์ไทล์ (V_{85}) ของรถตู้บนทางโค้งสายแม่สอด - ตาก



รูป 4.4-15 กราฟแสดงข้อมูลความเร็วสะสมที่ได้จากการวัดความเร็วขั้นที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ (V_{85}) ของรถโดยสารบนทางโค้งสายแม่สอด - ดาก

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความเร็วขั้นที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ (V_{85}) ของขบวนรถ 5 ประเภท บนทางโค้งจำนวน 3 โค้งที่พิจารณาดังแสดงในรูป 4.4-16



รูป 4.4-16 กราฟแสดงข้อมูลความเร็วที่ได้จากการวัดความเร็วขั้นที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ (V_{85}) ของขบวนรถทั้งหมด 5 ประเภท บนทางโค้งจำนวน 3 โค้งที่พิจารณา

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลความเร็วขับเคลื่อนที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ (V_{85}) ของขบวน 5 ประเภท บนทางโค้งจำนวน 3 โค้ง พบว่ารถที่มีขนาดใหญ่อย่างเช่น รถโดยสารซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับรถเล็กประเภทอื่นๆที่วิ่งผ่านโค้งเดียวกัน รถโดยสารจะใช้ความเร็วต่ำกว่ารถประเภทอื่นๆ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกราฟแสดงข้อมูลความเร็วสะสมดังรูป 4.4-1 ถึงรูป 4.4-15 จะพบว่ารถโดยสารมีขอบเขต (Range) ของการใช้ความเร็วจำกัดมากที่สุดหรือใช้ความเร็วได้ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับรถเล็กประเภทอื่นๆ และจากผลการวิเคราะห์ข้อมูลความเร็วขับเคลื่อนที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ (V_{85}) ของขบวน 5 ประเภท บนทางโค้งจำนวน 3 โค้งที่พิจารณาดังรูป 4.4-16 พบว่าขบวนใดๆก็ตามที่เข้าสู่ทางโค้งที่มีรัศมีโค้งมากจะสามารถใช้ความเร็วได้มากกว่าขบวนที่เข้าสู่ทางโค้งที่มีรัศมีโค้งแคบ

4.5 การวิเคราะห์หาความเร็วปลอดภัย

จากทฤษฎีที่แสดงไว้ในบทที่ 2 (หัวข้อ 2.3) สามารถคำนวณด้วยกฎทางฟิสิกส์ของการเกิดอุบัติเหตุในลักษณะที่ต่างกันออกไป อันได้แก่

4.5.1 การคำนวณความเร็วปลอดภัยที่ไม่ทำให้รถพลิกคว่ำ (Rollover)

จากสมการคำนวณความเร็วปลอดภัยที่ไม่ทำให้รถพลิกคว่ำ ในหัวข้อ 2.3.1 ดังสมการที่ 26

$$v = \sqrt{gR\left(\frac{t}{2h}\right)} \quad (26)$$

สมการที่ 26 ให้สำหรับหาความเร็ว (v) ของขบวนที่เลี้ยวโค้งที่มีรัศมีโค้งเท่ากับ R โดยขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างล้อด้านซ้ายกับล้อด้านขวา (t) ซึ่งเป็นไปตามลักษณะเฉพาะของขบวนแต่ละประเภท (Spec) และยังขึ้นอยู่กับความสูงจากจุดศูนย์กลางถ่วงถึงพื้น (h) ของขบวนแต่ละประเภทซึ่งสามารถคำนวณได้โดยการเพิ่มและลดค่าความสูงจากจุดศูนย์กลางถ่วงถึงพื้นที่ได้จากค่าแนะนำในตาราง 4.11 ทำให้ได้ค่าความเร็วปลอดภัยที่ไม่ทำให้รถพลิกคว่ำ (v) ของขบวนแต่ละประเภท ทั้ง 3 โค้งที่พิจารณาดังแสดงในตาราง 4.15 – 4.20



ตาราง 4.15 แสดงความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถพลิกคว่ำ (v) สำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคล ซึ่งมีระยะห่างระหว่างล้อด้านซ้ายกับล้อด้านขวา (t) เท่ากับ 1.520 เมตร

ความสูงจากจุดศูนย์กลางถ่วงของรถ ถึงพื้น h , (เมตร)	ลดค่า h ลง 20 %	ลดค่า h ลง 10 %	ค่า h แนะนำ	เพิ่มค่า h ขึ้น 10 %	เพิ่มค่า h ขึ้น 20 %
		0.466	0.525	0.583	0.641
รัศมีโค้ง R , (วัดจากทางวิ่งของ รถที่ขับตาม โค้ง)	ความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถพลิกคว่ำ v , (กิโลเมตร/ชั่วโมง)				
โค้งสายห้วยแก้ว – คอยสุเทพ ค่า $R = 20.12$ เมตร	65	61	58	55	53
โค้งสายแม่ริม – สะเมิง ค่า $R = 53.76$ เมตร	106	99	94	90	86
โค้งสายแม่สอด – ตาก ค่า $R = 59.28$ เมตร	111	104	99	95	90

จากตาราง 4.15 เมื่อนำความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถพลิกคว่ำ (v) ซึ่งได้จากการคำนวณในตารางมาเปรียบเทียบกับความเร็วขั้วจริงที่ได้จากการวัดทั้ง 3 โค้งที่พิจารณา สำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคล ซึ่งความเร็วสูงสุด (v_{max}) เท่ากับ 30, 48 และ 75 กิโลเมตร/ต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งถือว่าความเร็วขั้วยังอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำ

ตาราง 4.16 แสดงความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถพลิกคว่ำ (v) สำหรับรถกระบะและรถเอนกประสงค์ (SUV) ซึ่งมีระยะห่างระหว่างล้อด้านซ้ายกับล้อด้านขวา (t) เท่ากับ 1.651 เมตร

ความสูงจากจุดศูนย์กลางถ่วงของรถ ถึงพื้น h , (เมตร)	ลดค่า h ลง 20 %	ลดค่า h ลง 10 %	ค่า h แนะนำ	เพิ่มค่า h ขึ้น 10 %	เพิ่มค่า h ขึ้น 20 %
		0.610	0.686	0.762	0.838
รัศมีโค้ง R , (วัดจากทางวิ่งของ รถที่ขับตาม โค้ง)	ความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถพลิกคว่ำ v , (กิโลเมตร/ชั่วโมง)				
โค้งสายห้วยแก้ว – คอยสุเทพ ค่า $R = 20.12$ เมตร	59	55	53	50	48
โค้งสายแม่ริม – สะเมิง ค่า $R = 53.76$ เมตร	96	91	86	82	79
โค้งสายแม่สอด – ตาก ค่า $R = 59.28$ เมตร	101	95	90	86	82

จากตาราง 4.16 เมื่อนำความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถพลิกคว่ำ (v) ซึ่งได้จากการคำนวณในตารางมาเปรียบเทียบกับความเร็วขับเคลื่อนจริงที่ได้จากการวัดทั้ง 3 โค้งที่พิจารณา สำหรับรถกระบะ ซึ่งความเร็วสูงสุด (v_{max}) เท่ากับ 30, 50 และ 61 กิโลเมตร/ต่อชั่วโมง และรถเอนกประสงค์ (SUV) ซึ่งความเร็วสูงสุด (v_{max}) เท่ากับ 38, 44 และ 68 กิโลเมตร/ต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งถือว่าความเร็วขับเคลื่อนยังอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำ

ตาราง 4.17 แสดงความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถพลิกคว่ำ (v) สำหรับรถตู้ซึ่งมีระยะห่างระหว่างล้อด้านซ้ายกับล้อด้านขวา (t) เท่ากับ 1.655 เมตร

ความสูงจากจุดศูนย์กลางถ่วงของรถถึงพื้น h , (เมตร)	ลดค่า h ลง 20 %	ลดค่า h ลง 10 %	ค่า h แนะนำ	เพิ่มค่า h ขึ้น 10 %	เพิ่มค่า h ขึ้น 20 %
		0.652	0.734	0.815	0.897
รัศมีโค้ง R , (วัดจากทางวิ่งของรถที่ขับเคลื่อนตามโค้ง)	ความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถพลิกคว่ำ v , (กิโลเมตร/ชั่วโมง)				
โค้งสายห้วยแก้ว – คอยสุเทพ ค่า $R = 20.12$ เมตร	57	54	51	49	47
โค้งสายเมรัม – สะเมิง ค่า $R = 53.76$ เมตร	93	88	83	79	76
โค้งสายแม่สอด – ตาก ค่า $R = 59.28$ เมตร	98	92	87	83	80

จากตาราง 4.17 เมื่อนำความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถพลิกคว่ำ (v) ซึ่งได้จากการคำนวณในตารางมาเปรียบเทียบกับความเร็วขับเคลื่อนจริงที่ได้จากการวัดทั้ง 3 โค้งที่พิจารณา สำหรับรถตู้ ซึ่งความเร็วสูงสุด (v_{max}) เท่ากับ 28, 40 และ 60 กิโลเมตร/ต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งถือว่าความเร็วขับเคลื่อนยังอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำ

ตาราง 4.18 แสดงความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถพลิกคว่ำ (v) สำหรับรถโดยสารชั้นเดียว 2 เพลา ซึ่งมีระยะห่างระหว่างล้อด้านซ้ายกับล้อด้านขวา (t) เท่ากับ 2.00 เมตร

ความสูงจากจุดศูนย์กลางถ่วงของรถถึงพื้น h , (เมตร)	ลดค่า h ลง 20 %	ลดค่า h ลง 10 %	ค่า h แนะนำ	เพิ่มค่า h ขึ้น 10 %	เพิ่มค่า h ขึ้น 20 %
	0.866	0.975	1.083	1.191	1.300
รัศมีโค้ง R , (วัดจากทางวิ่งของรถที่ขับตามโค้ง)	ความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถพลิกคว่ำ v , (กิโลเมตร/ชั่วโมง)				
โค้งสายห้วยแก้ว – คอยสุเทพ ค่า $R = 20.12$ เมตร	54	51	49	46	44
โค้งสายเมริม – สะเมิง ค่า $R = 53.76$ เมตร	89	84	79	76	73
โค้งสายแม่สอด – ดาก ค่า $R = 59.28$ เมตร	93	88	83	80	76

จากตาราง 4.18 เมื่อนำความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถพลิกคว่ำ (v) ซึ่งได้จากการคำนวณในตารางมาเปรียบเทียบกับความเร็วขบซึ่งจริงที่ได้จากการวัดทั้ง 3 โค้งที่พิจารณา สำหรับรถโดยสารชั้นเดียว 2 เพลา ซึ่งความเร็วสูงสุด (v_{max}) เท่ากับ 22, 44 และ 50 กิโลเมตร/ต่อชั่วโมง ถือว่าความเร็วขบซึ่งอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำ

ตาราง 4.19 แสดงความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถพลิกคว่ำ (v) สำหรับรถโดยสารชั้นเดียว 3 เพลา ซึ่งมีระยะห่างระหว่างล้อด้านซ้ายกับล้อด้านขวา (t) เท่ากับ 2.07 เมตร

ความสูงจากจุดศูนย์กลางถ่วงของรถถึงพื้น h , (เมตร)	ลดค่า h ลง 20 %	ลดค่า h ลง 10 %	ค่า h แนะนำ	เพิ่มค่า h ขึ้น 10 %	เพิ่มค่า h ขึ้น 20 %
	0.866	0.975	1.083	1.191	1.300
รัศมีโค้ง R , (วัดจากทางวิ่งของรถที่ขับตามโค้ง)	ความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถพลิกคว่ำ v , (กิโลเมตร/ชั่วโมง)				
โค้งสายห้วยแก้ว – คอยสุเทพ ค่า $R = 20.12$ เมตร	55	52	49	47	45
โค้งสายเมริม – สะเมิง ค่า $R = 53.76$ เมตร	90	85	81	77	74
โค้งสายแม่สอด – ดาก ค่า $R = 59.28$ เมตร	95	89	85	81	77

จากตาราง 4.19 เมื่อนำความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถพลิกคว่ำ (v) ซึ่งได้จากการคำนวณในตารางมาเปรียบเทียบกับความเร็วขั้วจริงที่ได้จากการวัดทั้ง 3 โถงที่พิจารณา สำหรับรถโดยสารชั้นเดียว 3 เพลา ซึ่งความเร็วสูงสุด (v_{max}) เท่ากับ 22, 44 และ 50 กิโลเมตร/ต่อชั่วโมง ซึ่งถือว่าความเร็วขั้วยังอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำ

ตาราง 4.20 แสดงความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถพลิกคว่ำ (v) สำหรับรถโดยสารสองชั้น 3 เพลา ซึ่งมีระยะห่างระหว่างล้อด้านซ้ายกับล้อด้านขวา (t) เท่ากับ 2.08 เมตร

ความสูงจากจุดศูนย์กลางของรถถึงพื้น h , (เมตร)	ลดค่า h ลง 20 %	ลดค่า h ลง 10 %	ค่า h แนะนำ	เพิ่มค่า h ขึ้น 10 %	เพิ่มค่า h ขึ้น 20 %
	1.075	1.210	1.344	1.478	1.613
รัศมีโค้ง R , (วัดจากทางวิ่งของรถที่ขับตามโค้ง)	ความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถพลิกคว่ำ v , (กิโลเมตร/ชั่วโมง)				
โค้งสายห้วยแก้ว – คอยสุเทพ ค่า $R = 20.12$ เมตร	50	47	44	42	41
โค้งสายเมืงรม – สะเมิง ค่า $R = 53.76$ เมตร	81	77	73	69	66
โค้งสายแม่สอด – ตาก ค่า $R = 59.28$ เมตร	85	80	76	73	70

จากตาราง 4.20 เมื่อนำความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถพลิกคว่ำ (v) ซึ่งได้จากการคำนวณในตารางมาเปรียบเทียบกับความเร็วขั้วจริงที่ได้จากการวัดทั้ง 3 โถงที่พิจารณา สำหรับรถโดยสารสองชั้น 3 เพลา ซึ่งความเร็วสูงสุด (v_{max}) เท่ากับ 22, 44 และ 50 กิโลเมตร/ต่อชั่วโมง ซึ่งถือว่าความเร็วขั้วยังอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำ

จากการประมาณค่าความสูงจากจุดศูนย์กลางของรถถึงพื้นของขบวนโดยการเพิ่มและลดค่าความสูงจากจุดศูนย์กลางขบวนที่ได้จากคำแนะนำ ($\pm 10\%$ ถึง 20%) และใช้ระยะห่างระหว่างล้อด้านซ้ายกับล้อด้านขวา (t) ตามลักษณะเฉพาะ (Specification) ของขบวนแต่ละประเภท ที่วิ่งในโค้ง 3 โถงที่พิจารณา ซึ่งมีรัศมีโค้ง (R) แตกต่างกัน เมื่อนำตัวแปรทั้งหมดมาคำนวณตามสมการความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถพลิกคว่ำ (v) สมการ 27 ทำให้ได้ค่าความเร็วปลอดภัยที่ไม่ทำให้รถพลิกคว่ำ ดังแสดงในตาราง 4.15 – 4.20 สามารถสรุปได้ว่าขบวนประเภทใดๆก็ตาม หากมีระยะห่างระหว่างล้อด้านซ้ายกับล้อด้านขวา (t) น้อย และความสูงจากจุดศูนย์กลาง

ของรถถึงพื้น (h) มาก หรือมีความชะลุดมากจะส่งผลให้รถต้องใช้ความเร็วต่ำตามไปด้วยเพื่อหลีกเลี่ยงการพลิกคว่ำ

4.5.2 การคำนวณความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถไถลออกนอกโค้ง (Sliding out of curve)

ในการตรวจสอบความต้องการ Side friction ของขยวดยานโดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการวัดความต่างระดับของขอบถนน 2 ด้าน ตาม Station ทุกๆ 5-10 เมตร ตามวิธีการวิเคราะห์ผลกระทบจากลักษณะเรขาคณิตของถนนที่มีผลต่อการขับขี่รถบรรทุกบนเส้นทางแห่งหนึ่ง (Ervin et al, 1985) โดยความต้านทานด้านข้างต่อการลื่นไถลคำนวณได้จากสมการ 11 ในหัวข้อ 2.2.2 และจากสมการดังกล่าวทำให้สามารถหาความต้องการ Side friction (f) ของขยวดยานได้ดังสมการ

$$f = \left(\frac{v^2}{gR} \right) - e \quad (29)$$

ค่ารัศมีโค้ง (R) ที่นำมาใช้คำนวณในสมการ 29 เป็นรัศมีโค้งซึ่งวัดตามแนวโค้งของรถโดยสารแบบขับตามโค้ง ซึ่งมีค่าแตกต่างกันตามโค้งที่พิจารณา 3 โค้ง และใช้ความเร็วที่ได้จากการวัดที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ (v_{85}) ของรถโดยสารทั้งหมดที่วิ่งผ่านโค้งที่พิจารณา เมื่อนำมาคำนวณทั้งหมดมาคำนวณในสมการ 29 แล้ว จะทำให้ทราบความต้องการ Side friction (f) ของรถโดยสารที่ Station ต่างๆ ในโค้ง ซึ่งค่าจากการคำนวณแสดงในตาราง 4.21

ตาราง 4.21 ความต้องการ Side friction (f) ของรถโดยสารที่ Station ต่างๆ ในโค้ง ซึ่งแต่ละ Station มีค่าการยกโค้ง (e) ที่แตกต่างกัน

โค้งที่พิจารณา	รัศมีโค้ง R , (เมตร)	ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของ รถโดยสาร (v_{85})	$f = \left(\frac{v^2}{gR} \right) - e$
สายห้วยแก้ว - คอยสุเทพ	20.12	20	$f = 0.156 - e$
สายแม่มิม - สะเมิง	53.76	39	$f = 0.223 - e$
สายแม่สอด - ดาก	59.28	50	$f = 0.332 - e$

เมื่อใช้ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ (v_{85}) ที่ได้จากการวัดความเร็วขับขี่จริงของขยวดยานซึ่งขับเข้าโค้งที่มีรัศมีโค้ง (R) และการยกโค้ง (e) ตาม Station ต่างๆ ในโค้งตามสภาพการยกโค้ง

จริง ซึ่งสามารถนำมาใช้เปรียบเทียบกับอัตราเร่งด้านข้าง (Lateral acceleration, a_y) ที่ทำให้พลิกคว่ำ หรือเรียกว่า Rollover threshold โดยคำนวณได้จากสมการ

$$\frac{a_y}{g} = \frac{t}{2h} \quad (30)$$

จากสมการดังกล่าวได้เลือกรถที่มีโอกาสเสี่ยงต่อการพลิกคว่ำมากที่สุด นั่นก็คือรถโดยสารสองชั้นมาใช้คำนวณหาอัตราเร่งด้านข้าง เนื่องจากมีขนาดและความสูงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับรถประเภทอื่นๆ รถโดยสารสองชั้นมีระยะห่างระหว่างล้อด้านซ้ายและล้อด้านขวา (t) เท่ากับ 2.08 เมตร และความสูงจากจุดศูนย์กลางถ่วงรถถึงพื้น (h) เท่ากับ 1.344 เมตร ทำให้ได้ค่า Static Rollover Threshold (SRT) เท่ากับ 0.774 , หรืออัตราเร่งด้านข้าง (a_y) ที่ทำให้รถพลิกคว่ำ เท่ากับ $0.774g$ แต่หากต้องการปรับการประมาณค่า Rollover threshold ให้ใกล้เคียงความจริงมากขึ้นก็ต้องพิจารณาผลจากระบบ Suspension และยางของรถ (Quasi-Static rollover with suspension) หรือเพิ่ม Roll moment of inertia ของรถเข้ามาพิจารณาด้วย (Roll Model) (Gillespie, 1994). จากโมเดลที่ปรับใหม่ดังกล่าวจะพบว่า ได้ค่า Rollover threshold ที่ลดลงจาก Static model 36 % (ดูในตาราง 2.2) ดังนั้นทำให้ได้ค่า Rollover threshold สูงสุด จากเดิม 0.774 อาจลดลงเป็น 0.495 นอกจากนั้นถ้าหากสมมติให้ความสูงจากจุดศูนย์กลางถ่วงรถถึงพื้น (h) ของรถโดยสารสองชั้นอาจเพิ่มขึ้นอีก 20 % ซึ่งจากเดิมสูงเท่ากับ 1.344 เมตร เป็น 1.613 เมตร เมื่อนำมาคำนวณหาค่า Rollover threshold (สมการ 30) จะทำให้ได้ค่าขั้นต่ำที่ทำให้รถเริ่มพลิกคว่ำ (Minimum rollover threshold) เท่ากับ 0.413

จากความต้องการ Side friction กับอัตราเร่งทางด้านข้างของขยวดยาน (สมการ 29) สามารถหาค่า $(e + f)$ ที่ต้องการสำหรับรถโดยสารสองชั้นขณะวิ่งในโค้งได้จากสมการ

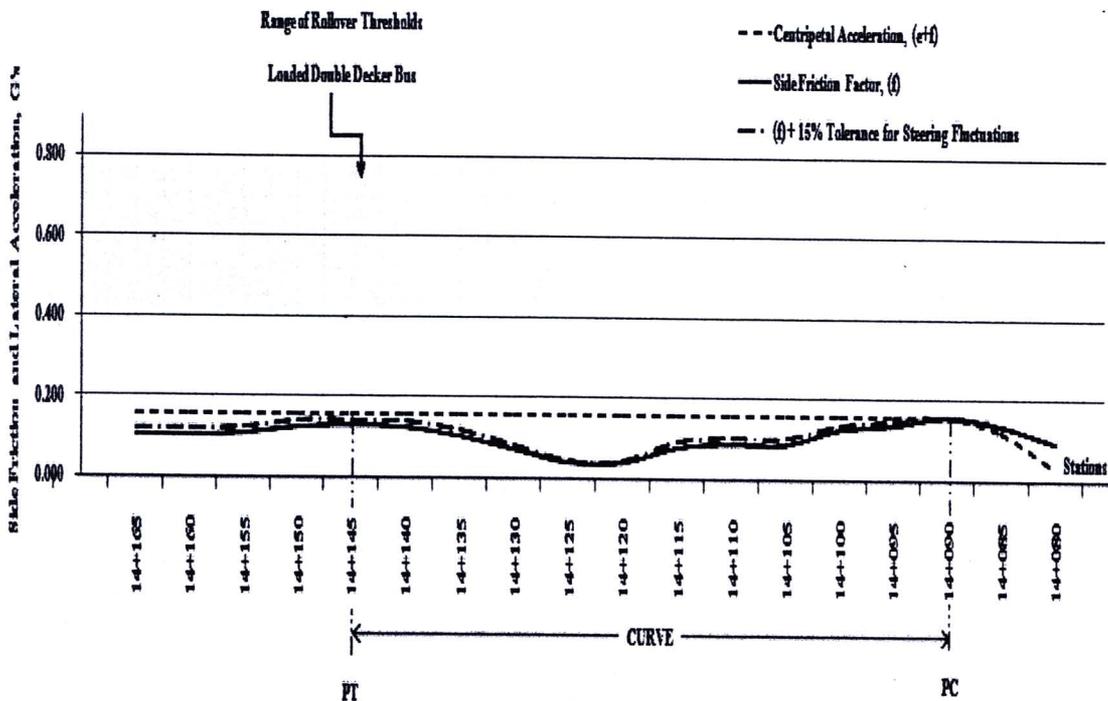
$$(e + f) = \left(\frac{v^2}{gR} \right) \quad (31)$$

ค่า $(e + f)$ ที่ต้องการสำหรับรถโดยสารสองชั้น (สมการ 31) ตามโค้งที่พิจารณา 3 โค้ง แสดงในตาราง 4.22

ตาราง 4.22 ค่า $(e + f)$ ที่ต้องการสำหรับรถโดยสารสองชั้นในโค้งที่พิจารณา 3 โค้ง

โค้งที่พิจารณา	รัศมีโค้ง R , (เมตร)	ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของ รถโดยสาร (v_{85})	$(e + f) = \left(\frac{v^2}{gR} \right)$
สายห้วยแก้ว – คอยสุเทพ	20.12	20	$(e + f) = 0.156$
สายเมริม – สะเมิง	53.76	39	$(e + f) = 0.223$
สายแม่สอค – ตาก	59.28	50	$(e + f) = 0.332$

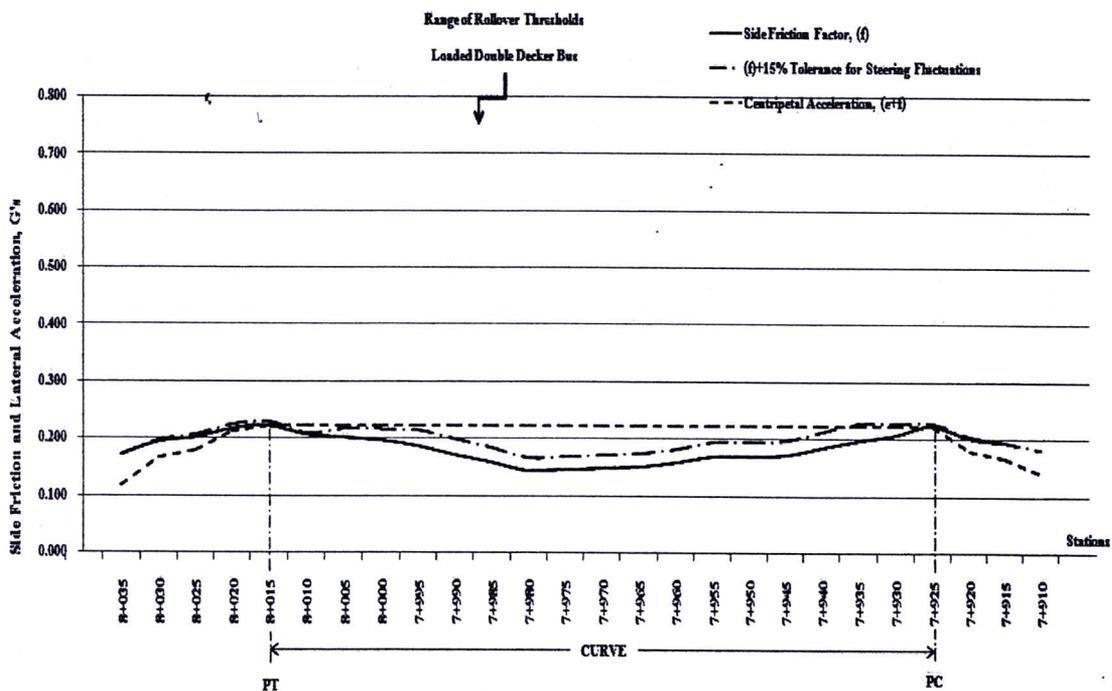
ค่า Rollover threshold ของรถโดยสารสองชั้น และค่า $(e + f)$ ที่ต้องการ ขณะวิ่งในโค้ง 3 โค้งที่พิจารณาแสดงในรูป 4.5-1 ถึงรูป 4.5-3



รูป 4.5-1 แสดงค่า Rollover threshold ของรถโดยสารสองชั้น และค่า $(e + f)$ ที่ต้องการ ขณะวิ่งในโค้งสายห้วยแก้ว – คอยสุเทพ

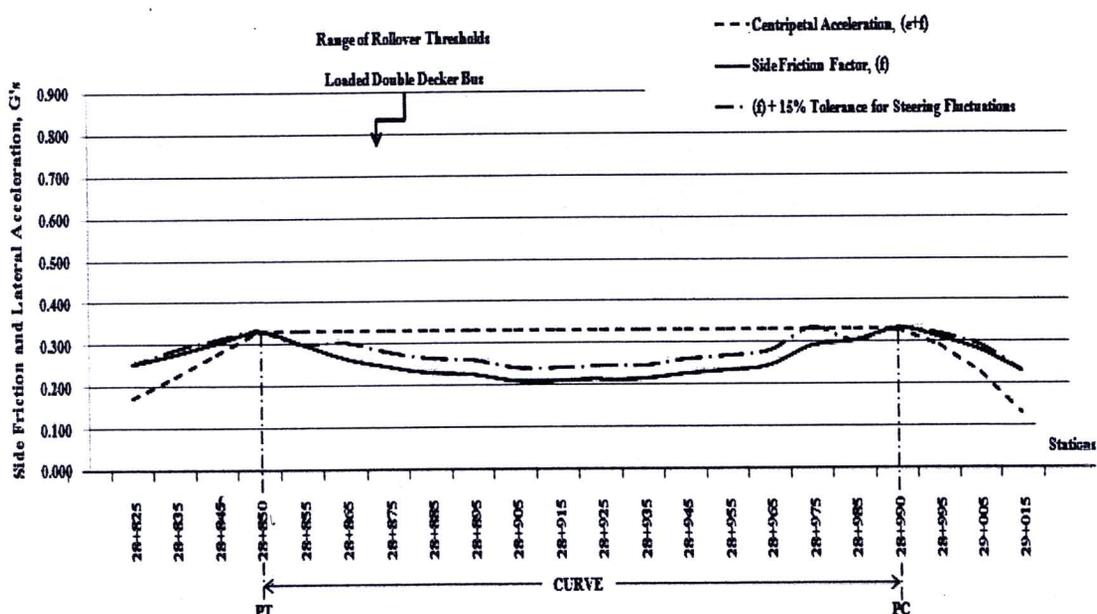
จากการเปรียบเทียบกันระหว่างค่าที่ทำให้รถโดยสารพลิกคว่ำกับความต้องการ Side friction สำหรับทางโค้งสายห้วยแก้ว – คอยสุเทพ ดังรูป 4.5-1 ซึ่งมีการยกโค้งสูงสุด (e_{max}) = 11.79 % ที่ STA. 14+125 ถึง STA. 14+120 เมื่อพิจารณาในกรณีที่รถโดยสารเริ่มเข้าโค้งที่

STA. 14+165 ซึ่งยังเป็นทางตรงอยู่และมีการยกโค้ง = 5.13 % แต่เมื่อรถเริ่มเคลื่อนเข้าสู่ที่ PT STA. 14+145 ซึ่งมีการยกโค้งเพียง 2.58 % และมีความต้องการ Side friction ที่ 0.13 ส่วนในช่วงออกโค้งที่ STA. 14+090 มีความต้องการ Side friction ที่ 0.156 เพื่อป้องกันการไถลออกนอกโค้ง โดยตามมาตรฐาน AASHTO แนะนำให้ใช้ค่า Friction ที่ 0.16 ดังนั้นหากรถโดยสารใช้ความเร็วสูงจนเกินความเร็วที่ได้จากการสำรวจ (v_{85}) ซึ่งเท่ากับ 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง จะทำให้ผู้ขับขี่และผู้โดยสารเกิดความรู้สึกไม่สะดวกสบาย (Uncomfortable)



รูป 4.5-2 แสดงค่า Rollover threshold ของรถโดยสารสองชั้น และค่า $(e + f)$ ที่ต้องการ ขณะวิ่งในโค้งสายแมริม - สะเมิง

จากการเปรียบเทียบกันระหว่างค่าที่ทำให้รถโดยสารพลิกคว่ำกับความต้องการ Side friction สำหรับทางโค้งสายแมริม - สะเมิง ดังรูป 4.5-2 ซึ่งมีการยกโค้งสูงสุด (e_{max}) = 8.00 % ที่ STA. 7+980 ถึง STA. 7+965 แต่เมื่อพิจารณาในขณะที่รถโดยสารเริ่มเข้าโค้งที่ PT STA. 8+015 มีความต้องการ Side friction สูงถึง 0.223 เพื่อป้องกันการไถลออกนอกโค้ง โดยตามมาตรฐาน AASHTO แนะนำให้ใช้ค่า Friction ที่ 0.16 และหากรถโดยสารใช้ความเร็วสูงจนเกินความเร็วที่ได้จากการสำรวจ (v_{85}) ซึ่งเท่ากับ 39 กิโลเมตร/ชั่วโมง จะทำให้ผู้ขับขี่และผู้โดยสารเกิดความรู้สึกไม่สะดวกสบาย (Uncomfortable)



รูป 4.5-3 แสดงค่า Rollover threshold ของรถโดยสารสองชั้น และค่า $(e + f)$ ที่ต้องการ ขณะวิ่งในโค้งสายแม่สอด - ดาก

จากการเปรียบเทียบกันระหว่างค่าที่ทำให้รถโดยสารพลิกคว่ำกับความต้องการ Side friction สำหรับทางโค้งสายแม่สอด - ดาก ดังรูป 4.5-3 ซึ่งมีการยกโค้งสูงสุด (e_{max}) = 12.12 % ที่ STA. 28+905 ถึง STA. 28+935 แต่เมื่อพิจารณาในขณะที่รถโดยสารเริ่มเข้าโค้งที่ PT STA. 28+850 มีความต้องการ Side friction สูงมากถึง 0.332 เพื่อป้องกันการปิด โดยตามมาตรฐาน AASHTO แนะนำให้ใช้ค่า Friction ที่ 0.16 และยังเกินค่า Side friction ที่แนะนำสำหรับถนนในประเทศที่กำลังพัฒนาซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.15 - 0.33 (Bennett, 1994, t.9.2, p.198) และหากรถโดยสารใช้ความเร็วสูงจนเกินความเร็วที่ได้จากการสำรวจ (v_{85}) ซึ่งเท่ากับ 50 กิโลเมตร/ชั่วโมง จะทำให้ผู้ขับขี่และผู้โดยสารเกิดความรู้สึกไม่สะดวกสบาย (Uncomfortable) และเมื่อเทียบกับอัตราเร่งทางด้านข้าง (Lateral acceleration) แล้ว ก็ยังพบว่ามีความเสี่ยงต่อการเกิดการพลิกคว่ำอีกด้วย (ใกล้กับ Range ของ rollover threshold)

4.5.3 การคำนวณความเร็วสูงสุดที่ทำให้รถสามารถเลี้ยวไปตามโค้งได้ โดยไม่หลุดออกนอกโค้ง (Fail to negotiate curve)

หากความเร็วสูงกว่าค่าที่คำนวณ รถจะไม่สามารถเลี้ยวไปตามโค้งได้ ซึ่งในขณะที่ขบวนเข้าโค้งที่มีรัศมีโค้งและใช้ความเร็วที่แตกต่างกัน มุมบิดที่ล้อหน้าของขบวนแต่ละ

ประเภทในขณะเข้าโค้งก็จะมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นเราสามารถคำนวณมุมบิดที่ล้อหน้าของยวดยาน (δ) ในหัวข้อ 2.2.3 ได้ดังสมการ

$$\delta = 57.3 \left(\frac{L}{R} \right) + \left(\frac{W_f}{C_{\alpha f}} - \frac{W_r}{C_{\alpha r}} \right) \frac{v^2}{gR} \quad (32)$$

สมการ 32 ใช้สำหรับหาค่ามุมบิดที่ล้อหน้า Steer angle (δ) ที่ต้องการสำหรับ ยวดยานที่เลี้ยวโค้งรัศมี = R โดยใช้ความเร็ว v ผลการคำนวณแสดงในตาราง 4.23 – 4.36 และ ค่าสูงสุดของมุมบิดที่ล้อหน้า (δ) ต้องไม่เกินค่าตามที่ Specification ของยวดยานแต่ละประเภท นั้นกำหนด

ตาราง 4.23 แสดงมุมบิดที่ล้อหน้า (δ) สำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคล ซึ่งมีระยะห่างระหว่างล้อ ด้านหน้ากับล้อด้านหลัง (L) เท่ากับ 2.600 เมตร น้ำหนักของล้อหน้า (W_f) เท่ากับ 387 กิโลกรัม น้ำหนักของล้อหลัง (W_r) เท่ากับ 258 กิโลกรัม ค่า Cornering stiffness ของล้อหน้า ($C_{\alpha f}$) เท่ากับ 79.379 กิโลกรัม/องศา และค่า Cornering stiffness ของล้อหลัง ($C_{\alpha r}$) เท่ากับ 58.967 กิโลกรัม/องศา

ความเร็ว, กม./ชม.	10	20	30	40	50
รัศมีโค้ง, เมตร	มุมบิดล้อหน้าของยวดยาน, δ (องศา)				
10	14.94	15.06	15.25	15.53	15.88
20	7.47	7.53	7.63	7.76	7.94
30	4.98	5.02	5.08	5.18	5.29
40	3.73	3.76	3.81	3.88	3.97
50	2.99	3.01	3.05	3.11	3.18
60	2.49	2.51	2.54	2.59	2.65
70	2.13	2.15	2.18	2.22	2.27

ตาราง 4.23 แสดงมุมบิดที่ล้อหน้า (δ) สำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (ต่อ)

ความเร็ว, กม./ชม.	60	70	80	90	100	110
รัศมีโค้ง, เมตร	มุมบิดล้อหน้าของรถยนต์, δ (องศา)					
10	16.31	16.83	17.42	18.08	18.83	19.66
20	8.16	8.41	8.71	9.04	9.42	9.83
30	5.44	5.61	5.81	6.03	6.28	6.55
40	4.08	4.21	4.35	4.52	4.71	4.91
50	3.26	3.37	3.48	3.62	3.77	3.93
60	2.72	2.80	<u>2.90</u>	<u>3.01</u>	3.14	3.28
70	2.33	2.40	2.49	2.58	2.69	2.81

จากตาราง 4.23 ค่ามุมบิดที่ล้อหน้าสำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลอยู่ในช่วงระหว่าง 2.90 ถึง 7.76 องศา (ค่าที่ขีดเส้นใต้ คือมุมบิดของรถยนต์ที่เลี้ยวได้ตามรัศมีโค้ง, R ของโค้งที่พิจารณา 3 โค้ง) เนื่องจากมุมบิดที่ต้องการ (δ) น้อยกว่ามุมบิดสูงสุด (δ_{max}) เพื่อให้คนขับสามารถหักพวงมาลัยให้รถเลี้ยวได้โดยไม่หลุดออกนอกโค้ง เมื่อนำมาคำนวณในสมการ 31 โดยใช้รัศมีโค้ง (R) ของโค้งที่พิจารณาทั้ง 3 โค้ง ทำให้ได้มุมบิดที่ต้องการ (δ) ซึ่งทำให้รถสามารถเลี้ยวได้โดยไม่หลุดโค้ง ที่ความเร็ว (v) โดยสรุปดังตาราง 4.24

ตาราง 4.24 แสดงมุมบิดที่ล้อหน้าที่ต้องการ (δ) สำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (รถเก๋ง) ซึ่งเลี้ยวที่รัศมีโค้ง (R) ตามโค้งที่พิจารณาทั้ง 3 โค้ง

โค้งที่พิจารณา	รัศมีโค้ง R , (เมตร)	ความเร็วปลอดภัย สำหรับรถเก๋ง v , (กม./ชม.)	มุมบิดที่ทำให้รถเลี้ยวได้ โดยไม่หลุดโค้ง δ , (องศา)
ห้วยแก้ว – คอยสุเทพ	20.12	42	7.75
แม่ริม – สะเมิง	53.76	56	3.00
แม่สออด – ตาก	59.28	86	3.00

จากตาราง 4.24 ความเร็วสูงสุดที่ทำให้รถเลี้ยวได้โดยไม่หลุดโค้ง (v) สำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการคำนวณมีค่าสูงกว่า ความเร็วสูงสุด (v_{max}) ที่ได้จากการวัดจริงทั้ง 3 โค้งซึ่งเท่ากับ 30, 48 และ 75 กิโลเมตร/ต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งถือว่าความเร็วขับขี่ยังอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย รถสามารถบังคับให้เลี้ยวไปตามโค้งได้ เมื่อบังคับให้ Steer angle (δ) เท่าที่คำนวณ

ตาราง 4.25 แสดงมุมบิดที่ล้อหน้า (δ) สำหรับรถกระบะ ซึ่งมีระยะห่างระหว่างล้อด้านหน้ากับล้อด้านหลัง (L) เท่ากับ 3.085 เมตร น้ำหนักของล้อหน้า (W_f) เท่ากับ 314 กิโลกรัม น้ำหนักของล้อหลัง (W_r) เท่ากับ 628 กิโลกรัม ค่า Cornering stiffness ของล้อหน้า (C_{af}) เท่ากับ 90.718 กิโลกรัม/องศา และค่า Cornering stiffness ของล้อหลัง (C_{ar}) เท่ากับ 77.111 กิโลกรัม/องศา

ความเร็ว, กม./ชม.	10	20	30	40	50
รัศมีโค้ง, เมตร	มุมบิดล้อหน้าของยวดยาน, δ (องศา)				
10	17.77	18.03	18.47	19.09	19.88
20	8.88	9.01	<u>9.23</u>	<u>9.54</u>	9.94
30	5.92	6.01	6.16	6.36	6.63
40	4.44	4.51	4.62	4.77	4.97
50	3.55	3.61	3.69	3.82	3.98
60	2.96	3.00	3.08	3.18	3.31
70	2.54	2.58	2.64	2.73	2.84

ตาราง 4.25 แสดงมุมบิดที่ล้อหน้า (δ) สำหรับรถกระบะ (ต่อ)

ความเร็ว, กม./ชม.	60	70	80	90	100	110
รัศมีโค้ง, เมตร	มุมบิดล้อหน้าของยวดยาน, δ (องศา)					
10	20.85	21.99	23.31	24.81	26.49	28.34
20	10.42	11.00	11.66	12.41	13.24	14.17
30	6.95	7.33	7.77	8.27	8.83	9.45
40	5.21	5.50	5.83	6.20	6.62	7.08
50	4.17	4.40	4.66	4.96	5.30	5.67
60	3.47	<u>3.67</u>	<u>3.89</u>	4.14	4.41	4.72
70	2.98	3.14	3.33	3.54	3.78	4.05

จากตาราง 4.25 ค่ามุมบิดที่ล้อหน้าสำหรับรถกระบะอยู่ในช่วงระหว่าง 3.67 ถึง 9.54 องศา (ค่าที่ขีดเส้นใต้ คือมุมบิดของยวดยานที่เลือกได้ตามรัศมีโค้ง, R ของโค้งที่พิจารณา 3 โค้ง) เนื่องจากมุมบิดที่ต้องการ (δ) น้อยกว่ามุมบิดสูงสุด (δ_{max}) เพื่อให้คนขับสามารถหักพวงมาลัยให้รถเลี้ยวได้โดยไม่หลุดออกนอกโค้ง เมื่อนำมาคำนวณในสมการ 31 โดยใช้รัศมีโค้ง (R) ของโค้งที่

พิจารณาทั้ง 3 โค้ง ทำให้ได้มุมบิดที่ต้องการ (δ) ซึ่งทำให้รถสามารถเลี้ยวได้โดยไม่หลุดโค้ง ที่ความเร็ว (v) โดยสรุปดังตาราง 4.26

ตาราง 4.26 แสดงมุมบิดที่ล้อหน้าที่ต้องการ (δ) สำหรับรถกระบะ ซึ่งเลี้ยวที่รัศมีโค้ง (R) ตามโค้งที่พิจารณาทั้ง 3 โค้ง

โค้งที่พิจารณา	รัศมีโค้ง R , (เมตร)	ความเร็วปลอดภัย สำหรับรถกระบะ v , (กม./ชม.)	มุมบิดที่ทำให้รถเลี้ยวได้ โดยไม่หลุดโค้ง δ , (องศา)
ห้วยแก้ว – คอยสุเทพ	20.12	33	9.25
แมร์ม – สะเมิง	53.76	59	3.85
แม่สอ – ตาก	59.28	76	3.85

จากตาราง 4.26 ความเร็วสูงสุดที่ทำให้รถเลี้ยวได้โดยไม่หลุดโค้ง (v) สำหรับรถกระบะที่ได้จากการคำนวณมีค่าสูงกว่า ความเร็วสูงสุด (v_{max}) ที่ได้จากการวัดจริงทั้ง 3 โค้งซึ่ง เท่ากับ 30, 50 และ 61 กิโลเมตร/ต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งถือว่าความเร็วขับขี่ยังอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย รถสามารถบังคับให้เลี้ยวไปตามโค้งได้ เมื่อบังคับให้ Steer angle (δ) เท่าที่คำนวณ

ตาราง 4.27 แสดงมุมบิดที่ล้อหน้า (δ) สำหรับรถเอนกประสงค์ (SUV) ซึ่งมีระยะห่างระหว่างล้อด้านหน้ากับล้อด้านหลัง (L) เท่ากับ 2.750 เมตร น้ำหนักของล้อหน้า (W_f) เท่ากับ 588 กิโลกรัม น้ำหนักของล้อหลัง (W_r) เท่ากับ 392 กิโลกรัม ค่า Cornering stiffness ของล้อหน้า ($C_{\alpha f}$) เท่ากับ 91.852 กิโลกรัม/องศา และค่า Cornering stiffness ของล้อหลัง ($C_{\alpha r}$) เท่ากับ 83.915 กิโลกรัม/องศา

ความเร็ว, กม./ชม.	10	20	30	40	50
รัศมีโค้ง, เมตร	มุมบิดล้อหน้าของยวดยาน, δ (องศา)				
10	15.89	16.30	16.98	17.93	19.16
20	7.95	8.15	8.49	<u>8.97</u>	<u>9.58</u>
30	5.30	5.43	5.66	5.98	6.39
40	3.97	4.08	4.25	4.48	4.79
50	3.18	3.26	3.40	3.59	3.83
60	2.65	2.72	2.83	2.99	3.19
70	2.27	2.33	2.43	2.56	2.74

ตาราง 4.27 แสดงมุมบิดที่ล้อหน้า (δ) สำหรับรถ SUV (ต่อ)

ความเร็ว, กม./ชม.	60	70	80	90	100	110
รัศมีโค้ง, เมตร	มุมบิดล้อหน้าของยวดยาน, δ (องศา)					
10	20.66	22.43	24.47	26.78	29.37	32.22
20	10.33	11.21	12.23	13.39	14.68	16.11
30	6.89	7.48	8.16	8.93	9.79	10.74
40	5.16	5.61	6.12	6.70	7.34	8.06
50	4.13	4.49	4.89	5.36	5.87	6.44
60	<u>3.44</u>	<u>3.74</u>	4.08	4.46	4.89	5.37
70	2.95	3.20	3.50	3.83	4.20	4.60

จากตาราง 4.27 ค่ามุมบิดที่ล้อหน้าสำหรับรถเอนกประสงค์ (SUV) อยู่ในช่วงระหว่าง 3.44 ถึง 9.58 องศา (ค่าที่ขีดเส้นใต้ คือมุมบิดของยวดยานที่เลี้ยวได้ตามรัศมีโค้ง, R ของโค้งที่พิจารณา 3 โค้ง) เนื่องจากมุมบิดที่ต้องการ (δ) น้อยกว่ามุมบิดสูงสุด (δ_{max}) เพื่อให้คนขับสามารถหักพวงมาลัยให้รถเลี้ยวได้โดยไม่หลุดออกนอกโค้ง เมื่อนำมาคำนวณในสมการ 31 โดยใช้รัศมีโค้ง (R) ของโค้งที่พิจารณาทั้ง 3 โค้ง ทำให้ได้มุมบิดที่ต้องการ (δ) ซึ่งทำให้รถสามารถเลี้ยวได้โดยไม่หลุดโค้ง ที่ความเร็ว (v) โดยสรุปดังตาราง 4.28

ตาราง 4.28 แสดงมุมบิดที่ล้อหน้าที่ต้องการ (δ) สำหรับรถเอนกประสงค์ (SUV) ซึ่งเลี้ยวที่รัศมีโค้ง (R) ตามโค้งที่พิจารณาทั้ง 3 โค้ง

โค้งที่พิจารณา	รัศมีโค้ง R , (เมตร)	ความเร็วปลอดภัย สำหรับรถ SUV. v , (กม./ชม.)	มุมบิดที่ทำให้รถเลี้ยวได้ โดยไม่หลุดโค้ง δ , (องศา)
ห้วยแก้ว – คอยสุเทพ	20.12	40	8.90
แมริม – สะเมิง	53.76	57	3.74
แม่สอ – ตาก	59.28	69	3.74

จากตาราง 4.28 ความเร็วสูงสุดที่ทำให้รถเลี้ยวได้โดยไม่หลุดโค้ง (v) สำหรับรถเอนกประสงค์ (SUV) ที่ได้จากการคำนวณมีค่าสูงกว่า ความเร็วสูงสุด (v_{max}) ที่ได้จากการวัดจริงทั้ง 3 โค้งซึ่ง เท่ากับ 38, 38 และ 56 กิโลเมตร/ต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งถือว่าความเร็วขับขี่ยังอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย รถสามารถบังคับให้เลี้ยวไปตามโค้งได้ เมื่อบังคับให้ Steer angle (δ) เท่าที่คำนวณ

ตาราง 4.29 แสดงมุมบิดที่ล้อหน้า (δ) สำหรับรถตู้ ซึ่งมีระยะห่างระหว่างล้อด้านหน้ากับล้อด้านหลัง (L) เท่ากับ 3.110 เมตร น้ำหนักของล้อหน้า (W_f) เท่ากับ 633 กิโลกรัม น้ำหนักของล้อหลัง (W_r) เท่ากับ 422 กิโลกรัม ค่า Cornering stiffness ของล้อหน้า (C_{af}) เท่ากับ 92.986 กิโลกรัม/องศา และค่า Cornering stiffness ของล้อหลัง (C_{ar}) เท่ากับ 88.450 กิโลกรัม/องศา

ความเร็ว, กม./ชม.	10	20	30	40	50
รัศมีโค้ง, เมตร	มุมบิดล้อหน้าของขดยาน, δ (องศา)				
10	17.98	18.46	19.26	20.38	21.82
20	8.99	<u>9.23</u>	<u>9.63</u>	10.19	10.91
30	5.99	6.15	6.42	6.79	7.27
40	4.50	4.62	4.82	5.10	5.46
50	3.60	3.69	3.85	4.08	4.36
60	3.00	3.08	3.21	3.40	3.64
70	2.57	2.64	2.75	2.91	3.12

ตาราง 4.29 แสดงมุมบิดที่ล้อหน้า (δ) สำหรับรถตู้ (ต่อ)

ความเร็ว, กม./ชม.	60	70	80	90	100	110
รัศมีโค้ง, เมตร	มุมบิดล้อหน้าของขดยาน, δ (องศา)					
10	23.59	25.67	28.07	30.79	33.84	37.20
20	11.79	12.83	14.04	15.40	16.92	18.60
30	7.86	8.56	9.36	10.26	11.28	12.40
40	5.90	6.42	7.02	7.70	8.46	9.30
50	4.72	5.13	5.61	6.16	6.77	7.44
60	<u>3.93</u>	<u>4.28</u>	4.68	5.13	5.64	6.20
70	3.37	3.67	4.01	4.40	4.83	5.31

จากตาราง 4.29 ค่ามุมบิดที่ล้อหน้าสำหรับรถตู้ อยู่ในช่วงระหว่าง 3.93 ถึง 9.63 องศา (ค่าที่ขีดเส้นใต้ คือมุมบิดของขดยานที่เลี้ยวได้ตามรัศมีโค้ง, R ของโค้งที่พิจารณา 3 โค้ง) และไม่เกินค่าตาม Specification ของรถตู้ ซึ่งมุมบิดสูงสุด (δ_{max}) มีค่าเท่ากับ 33 องศา (ค่าที่แรงงา มีค่าเกิน Specification กำหนด) เนื่องจากมุมบิดที่ต้องการ (δ) น้อยกว่ามุมบิดสูงสุด (δ_{max}) เพื่อให้

คนขับสามารถหักพวงมาลัยให้รถเลี้ยวได้โดยไม่หลุดออกนอกโค้ง เมื่อนำมาคำนวณในสมการ 31 โดยใช้รัศมีโค้ง (R) ของโค้งที่พิจารณาทั้ง 3 โค้ง ทำให้ได้มุมบิดที่ต้องการ (δ) ซึ่งทำให้รถสามารถเลี้ยวได้โดยไม่หลุดโค้ง ที่ความเร็ว (v) โดยสรุปดังตาราง 4.30

ตาราง 4.30 แสดงมุมบิดที่ล้อหน้าที่ต้องการ (δ) สำหรับรถคู่ ซึ่งเลี้ยวที่รัศมีโค้ง (R) ตามโค้งที่พิจารณาทั้ง 3 โค้ง

โค้งที่พิจารณา	รัศมีโค้ง R , (เมตร)	ความเร็วปลอดภัย สำหรับรถคู่ v , (กม./ชม.)	มุมบิดที่ทำให้รถเลี้ยวได้ โดยไม่หลุดโค้ง δ , (องศา)
ห้วยแก้ว – คอยสุเทพ	20.12	30	9.55
แมริม – สะเมิง	53.76	55	4.20
แม่สออด – ตาก	59.28	66	4.20

จากตาราง 4.30 ความเร็วสูงสุดที่ทำให้รถเลี้ยวได้โดยไม่หลุดโค้ง (v) สำหรับรถคู่ ที่ได้จากการคำนวณมีค่าสูงกว่า ความเร็วสูงสุด (v_{max}) ที่ได้จากการวัดจริงทั้ง 3 โค้งซึ่ง เท่ากับ 28, 40 และ 60 กิโลเมตร/ต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งถือว่าความเร็วขับซึ่งอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย รถสามารถบังคับให้เลี้ยวไปตามโค้งได้ เมื่อบังคับให้ Steer angle (δ) เท่าที่คำนวณ

ตาราง 4.31 แสดงมุมบิดที่ล้อหน้า (δ) สำหรับรถโดยสารชั้นเดียว 2 เพลา ซึ่งมีระยะห่างระหว่างล้อด้านหน้ากับล้อด้านหลัง (L) เท่ากับ 6.050 เมตร น้ำหนักของล้อหน้า (W_f) เท่ากับ 2,625 กิโลกรัม น้ำหนักของล้อหลัง (W_r) เท่ากับ 2,000 กิโลกรัม ค่า Cornering stiffness ของล้อหน้า (C_{af}) เท่ากับ 234.734 กิโลกรัม/องศา และค่า Cornering stiffness ของล้อหลัง (C_{ar}) เท่ากับ 201.849 กิโลกรัม/องศา

ความเร็ว, กม./ชม.	10	20	30	40	50
รัศมีโค้ง, เมตร	มุมบิดล้อหน้าของขยวดยาน, δ (องศา)				
10	34.77	35.07	35.57	36.27	37.17
20	17.38	17.53	17.78	18.14	<u>18.59</u>
30	11.59	11.69	11.86	12.09	12.39
40	8.69	8.77	8.89	9.07	9.29
50	6.95	7.01	7.11	7.25	<u>7.43</u>
60	5.79	5.84	5.93	6.05	6.20
70	4.97	5.01	5.08	5.18	5.31

ตาราง 4.31 แสดงมุมบิดที่ล้อหน้า (δ) สำหรับรถโดยสารชั้นเดียว 2 เพลา (ต่อ)

ความเร็ว, กม./ชม.	60	70	80	90	100	110
รัศมีโค้ง, เมตร	มุมบิดล้อหน้าของขบวน, δ (องศา)					
10	38.28	39.58	41.08	42.79	44.69	46.80
20	<u>19.14</u>	19.79	20.54	21.39	22.35	23.40
30	12.76	13.19	13.69	14.26	14.90	15.60
40	9.57	9.89	10.27	10.70	11.17	11.70
50	<u>7.66</u>	7.92	8.22	8.56	8.94	9.36
60	6.38	6.60	6.85	<u>7.13</u>	<u>7.45</u>	7.80
70	5.47	5.65	5.87	6.11	6.38	6.69

จากตาราง 4.31 ค่ามุมบิดที่ล้อหน้าสำหรับรถโดยสารชั้นเดียว 2 เพลา อยู่ในช่วงระหว่าง 7.13 ถึง 19.14 องศา (ค่าที่ขีดเส้นใต้ คือมุมบิดของขบวนที่เลี้ยวได้ตามรัศมีโค้ง, R ของโค้งที่พิจารณา 3 โค้ง) และไม่เกินค่าตาม Specification ของรถโดยสารชั้นเดียว 2 เพลา ซึ่งมุมบิดสูงสุด (δ_{max}) มีค่าเท่ากับ 35 องศา (ค่าที่แรเงา มีค่าเกิน Specification กำหนด) เนื่องจากมุมบิดที่ต้องการ (δ) น้อยกว่ามุมบิดสูงสุด (δ_{max}) เพื่อให้คนขับสามารถหักพวงมาลัยให้รถเลี้ยวได้โดยไม่หลุดออกนอกโค้ง เมื่อนำมาคำนวณในสมการ 31 โดยใช้รัศมีโค้ง (R) ของโค้งที่พิจารณาทั้ง 3 โค้ง ทำให้ได้มุมบิดที่ต้องการ (δ) ซึ่งทำให้รถสามารถเลี้ยวได้โดยไม่หลุดโค้ง ที่ความเร็ว (v) โดยสรุปดังตาราง 4.32

ตาราง 4.32 แสดงมุมบิดที่ล้อหน้าที่ต้องการ (δ) สำหรับรถโดยสารชั้นเดียว 2 เพลา ซึ่งเลี้ยวที่รัศมีโค้ง (R) ตามโค้งที่พิจารณาทั้ง 3 โค้ง

โค้งที่พิจารณา	รัศมีโค้ง R , (เมตร)	ความเร็วปลอดภัย สำหรับรถโดยสารชั้น เดียว 2 เพลา v , (กม./ชม.)	มุมบิดที่ทำให้รถเลี้ยวได้ โดยไม่หลุดโค้ง δ , (องศา)
ห้วยแก้ว – คอยสุเทพ	20.12	59	18.95
แมร์ม – สะเมิง	53.76	85	7.80
แม่สออด – ดาก	59.28	107	7.80

จากตาราง 4.32 ความเร็วสูงสุดที่ทำให้รถเลี้ยวได้โดยไม่หลุดโค้ง (v) สำหรับรถโดยสารชั้นเดียว 3 เพลา ที่ได้จากการคำนวณมีค่าสูงกว่า ความเร็วสูงสุด (v_{max}) ที่ได้จากการวัดจริง ทั้ง 3 โค้งซึ่ง เท่ากับ 22, 44 และ 50 กิโลเมตร/ต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งถือว่าความเร็วขับขี่ยังอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย รถสามารถบังคับให้เลี้ยวไปตามโค้งได้ เมื่อบังคับให้ Steer angle (δ) เท่าที่คำนวณ

ตาราง 4.33 แสดงมุมบิดที่ล้อหน้า (δ) สำหรับรถโดยสารชั้นเดียว 3 เพลา ซึ่งมีระยะห่างระหว่างล้อด้านหน้ากับล้อด้านหลัง (L) เท่ากับ 6.500 เมตร น้ำหนักของล้อหน้า (W_f) เท่ากับ 2,025 กิโลกรัม น้ำหนักของล้อหลัง (W_r) เท่ากับ 1,181.25 กิโลกรัม ค่า Cornering stiffness ของล้อหน้า (C_{af}) เท่ากับ 207.292 กิโลกรัม/องศา และค่า Cornering stiffness ของล้อหลัง (C_{ar}) เท่ากับ 156.489 กิโลกรัม/องศา

ความเร็ว, กม./ชม.	10	20	30	40	50
รัศมีโค้ง, เมตร	มุมบิดล้อหน้าของยวดยาน, δ (องศา)				
10	37.42	37.94	38.82	40.04	41.61
20	18.71	18.97	19.41	20.02	20.81
30	12.47	12.65	12.94	13.35	13.87
40	9.35	9.49	9.70	10.01	10.40
50	7.48	7.59	7.76	8.01	8.32
60	6.24	6.32	6.47	6.67	6.94
70	5.35	5.42	5.55	5.72	5.94

ตาราง 4.33 แสดงมุมบิดที่ล้อหน้า (δ) สำหรับรถโดยสารชั้นเดียว 3 เพลา (ต่อ)

ความเร็ว, กม./ชม.	60	70	80	90	100	110
รัศมีโค้ง, เมตร	มุมบิดล้อหน้าของยวดยาน, δ (องศา)					
10	43.53	45.80	48.42	51.39	54.71	58.38
20	21.77	22.90	24.21	25.70	27.35	29.19
30	14.51	15.27	16.14	17.13	18.24	19.46
40	10.88	11.45	12.11	12.85	13.68	14.59
50	8.71	9.16	9.68	10.28	10.94	11.68
60	7.26	7.63	8.07	8.57	9.12	9.73
70	6.22	6.54	6.92	7.34	7.82	8.34

จากตาราง 4.33 ค่ามุมบิดที่ล้อยหน้าสำหรับรถโดยสารชั้นเดียว 3 เพลา อยู่ในช่วงระหว่าง 7.26 ถึง 18.97 องศา (ค่าที่ขีดเส้นใต้ คือมุมบิดของขยวดยานที่เลี้ยวได้ตามรัศมีโค้ง, R ของโค้งที่พิจารณา 3 โค้ง) และไม่เกินค่าตาม Specification ของรถโดยสารชั้นเดียว 3 เพลา ซึ่งมุมบิดสูงสุด (δ_{max}) มีค่าเท่ากับ 35 องศา (ค่าที่แรเงา มีค่าเกิน Specification กำหนด) เนื่องจากมุมบิดที่ต้องการ (δ) น้อยกว่ามุมบิดสูงสุด (δ_{max}) เพื่อให้คนขับสามารถหักพวงมาลัยให้รถเลี้ยวได้โดยไม่หลุดออกนอกโค้ง เมื่อนำมาคำนวณในสมการ 31 โดยใช้รัศมีโค้ง (R) ของโค้งที่พิจารณาทั้ง 3 โค้ง ทำให้ได้มุมบิดที่ต้องการ (δ) ซึ่งทำให้รถสามารถเลี้ยวได้โดยไม่หลุดโค้ง ที่ความเร็ว (v) โดยสรุป ดังตาราง 4.34

ตาราง 4.34 แสดงมุมบิดที่ล้อยหน้าที่ต้องการ (δ) สำหรับรถโดยสารชั้นเดียว 3 เพลา ซึ่งเลี้ยวที่รัศมีโค้ง (R) ตามโค้งที่พิจารณาทั้ง 3 โค้ง

โค้งที่พิจารณา	รัศมีโค้ง R , (เมตร)	ความเร็วปลอดภัย สำหรับรถโดยสารชั้น เดียว 2 เพลา v , (กม./ชม.)	มุมบิดที่ทำให้รถเลี้ยวได้ โดยไม่หลุดโค้ง δ , (องศา)
ห้วยแก้ว – คอยสุเทพ	20.12	22	18.95
แม่ริม – สะเมิง	53.76	52	7.80
แม่สออด – ดาก	59.28	72	7.80

จากตาราง 4.34 ความเร็วสูงสุดที่ทำให้รถเลี้ยวได้โดยไม่หลุดโค้ง (v) สำหรับรถโดยสารชั้นเดียว 3 เพลา ที่ได้จากการคำนวณ มีค่าสูงกว่าหรือเท่ากับความเร็วสูงสุด (v_{max}) ที่ได้จากการวัดจริงทั้ง 3 โค้งซึ่ง เท่ากับ 22, 44 และ 50 กิโลเมตร/ต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งถือว่าความเร็วขับยังอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย รถสามารถบังคับให้เลี้ยวไปตามโค้งได้ เมื่อบังคับให้ Steer angle (δ) เท่าที่คำนวณ

ตาราง 4.35 แสดงมุมบิดที่ล้อหน้า (δ) สำหรับรถโดยสารสองชั้น 3 เพลา ซึ่งมีระยะห่างระหว่างล้อด้านหน้ากับล้อด้านหลัง (L) เท่ากับ 6.020 เมตร น้ำหนักของล้อหน้า (W_f) เท่ากับ 3,500 กิโลกรัม น้ำหนักของล้อหลัง (W_r) เท่ากับ 1,875 กิโลกรัม ค่า Cornering stiffness ของล้อหน้า (C_{af}) เท่ากับ 258.548 กิโลกรัม/องศา และค่า Cornering stiffness ของล้อหลัง (C_{ar}) เท่ากับ 190.509 กิโลกรัม/องศา

ความเร็ว, กม./ชม.	10	20	30	40	50
รัศมีโค้ง, เมตร	มุมบิดล้อหน้าของขดยาน, δ (องศา)				
10	34.79	35.66	37.11	39.14	41.76
20	17.39	17.83	18.56	19.57	20.88
30	11.60	11.89	12.37	13.05	13.92
40	8.70	8.91	9.28	9.79	10.44
50	6.96	7.13	7.42	7.83	8.35
60	5.80	5.94	6.19	6.52	6.96
70	4.97	5.09	5.30	5.59	5.97

ตาราง 4.35 แสดงมุมบิดที่ล้อหน้า (δ) สำหรับรถโดยสารสองชั้น 3 เพลา (ต่อ)

ความเร็ว, กม./ชม.	60	70	80	90	100	110
รัศมีโค้ง, เมตร	มุมบิดล้อหน้าของขดยาน, δ (องศา)					
10	44.96	48.74	53.10	58.04	63.56	69.66
20	22.48	24.37	26.55	29.02	31.78	34.83
30	14.99	16.25	17.70	19.35	21.19	23.22
40	11.24	12.18	13.27	14.51	15.89	17.42
50	8.99	9.75	10.62	11.61	12.71	13.93
60	7.49	8.12	8.85	9.67	10.59	11.61
70	6.42	6.96	7.59	8.29	9.08	9.95

จากตาราง 4.35 ค่ามุมบิดที่ล้อหน้าสำหรับรถโดยสารชั้นเดียว 3 เพลา อยู่ในช่วงระหว่าง 6.96 ถึง 19.57 องศา (ค่าที่ขีดเส้นใต้ คือมุมบิดของขดยานที่เลี้ยวได้ตามรัศมีโค้ง, R ของโค้งที่พิจารณา 3 โค้ง) และไม่เกินค่าตาม Specification ของรถโดยสารชั้นเดียว 3 เพลา ซึ่งมุมบิดสูงสุด

(δ_{max}) มีค่าเท่ากับ 35 องศา (ค่าที่แรงงา มีค่าเกิน Specification กำหนด) เนื่องจากมุมบิดที่ต้องการ (δ) น้อยกว่ามุมบิดสูงสุด (δ_{max}) เพื่อให้คนขับสามารถหักพวงมาลัยให้รถเลี้ยวได้โดยไม่หลุดออกนอกโค้ง เมื่อนำมาคำนวณในสมการ 31 โดยใช้รัศมีโค้ง (R) ของโค้งที่พิจารณาทั้ง 3 โค้ง ทำให้ได้มุมบิดที่ต้องการ (δ) ซึ่งทำให้รถสามารถเลี้ยวได้โดยไม่หลุดโค้ง ที่ความเร็ว (v) โดยสรุปดังตาราง 4.36

ตาราง 4.36 แสดงมุมบิดที่ล้อหน้าที่ต้องการ (δ) สำหรับรถโดยสารสองชั้น 3 เพลา ซึ่งเกี่ยวข้องกับรัศมีโค้ง (R) ตามโค้งที่พิจารณาทั้ง 3 โค้ง

โค้งที่พิจารณา	รัศมีโค้ง R , (เมตร)	ความเร็วปลอดภัย สำหรับรถโดยสารชั้น เดียว 2 เพลา v , (กม./ชม.)	มุมบิดที่ทำให้รถเลี้ยวได้ โดยไม่หลุดโค้ง δ , (องศา)
ห้วยแก้ว – คอยสุเทพ	20.12	35	18.95
แม่ริม – สะเมิง	53.76	51	7.80
แม่สออด – ดาก	59.28	64	7.80

จากตาราง 4.36 ความเร็วสูงสุดที่ทำให้รถเลี้ยวได้โดยไม่หลุดโค้ง (v) สำหรับรถโดยสารสองชั้น 3 เพลา ที่ได้จากการคำนวณ มีค่าสูงกว่า ความเร็วสูงสุด (v_{max}) ที่ได้จากการวัดจริง ทั้ง 3 โค้งซึ่ง เท่ากับ 22, 44 และ 50 กิโลเมตร/ต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งถือว่าความเร็วขับซึ่งอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย รถสามารถบังคับให้เลี้ยวไปตามโค้งได้ เมื่อบังคับให้ Steer angle (δ) เท่าที่คำนวณ

จากการคำนวณความเร็วปลอดภัยของขบวนทั้ง 3 สมการ สามารถนำมาใช้เปรียบเทียบกับความเร็วขับซึ่งได้จากการตรวจวัดจริง ซึ่งแบ่งพฤติกรรมการขับซึ่งขบวนออกเป็น 2 ลักษณะ อันได้แก่ การขับซึ่งขบวนตัดโค้ง (ถ้าเข้าไปในเลนที่มีทิศทางจราจรตรงกันข้าม หรือการขับแบบย้อนศร) และการขับซึ่งขบวนแบบไม่ตัดโค้ง (ขับในเลนตามปกติ) โดยสรุปดังแสดงในตาราง 4.37 - 4.42 และรูป 4.5-4 - 4.5-9 .

ตาราง 4.37 เปรียบเทียบความเร็วขับเคลื่อนทางโค้งสาย ห้วยแก้ว - คอยสุเทพ (ขับแบบตามโค้งหรือไม่ตัดโค้ง) ข้อมูลความเร็วขับเคลื่อนของยานทั้ง 5 ประเภท ประเภทละ 170 คัน (รถโดยสาร 3 ประเภท รวมเป็นประเภทเดียวกัน อยู่ใน 170 คัน)

ประเภทของ ยาน	ความเร็ว สูงสุดที่ไม่ทำ ให้รถพลิกคว่ำ จากการ คำนวณด้วย สมการ $v = \sqrt{gR \left(\frac{t}{2h} \right)}$ (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 ซึ่งสูงสุดที่ได้ จากการวัด (กม./ชม.)
		$f_{min}=0.15$	$f_{max}=0.33$		
รถเก๋ง	58	26*	34	42	30
รถกระบะ	53	26*	34	33	30
รถ SUV	53	26*	34	40	38
รถตู้	51	26*	34	30	28
รถโดยสารชั้น เดียว 2 เพลา	49	26*	34	59	22
รถโดยสารชั้น เดียว 3 เพลา	49	26*	34	22**	22
รถโดยสาร 2 ชั้น 3 เพลา	44	26*	34	35	22

ที่มา : ค่า Side-friction (f) ที่แนะนำสำหรับถนนในประเทศที่กำลังพัฒนาอยู่ระหว่าง 0.15 - 0.33 (Bennett, 1994, t.9.2, p.198) และมีเปอร์เซ็นต์ยกโค้งสูงสุด (e_{max}) = 11.79 % ส่วนค่ารัศมีโค้ง (R) ซึ่งวัดจากทางวิ่งของรถ = 20.12 เมตร

หมายเหตุ ค่าที่ทำเครื่องหมาย * หมายถึง ใช้ค่า Side friction ขั้นต่ำ (f_{min}) เป็นตัวควบคุมเพื่อความสะดวกสบายของผู้โดยสารและผู้ขับขี่รถยนต์ (Comfortable side friction controls) ส่วนค่าที่ทำเครื่องหมาย ** หมายถึง ใช้ค่ามุมบังคับที่ล้อหน้าของรถยนต์ (δ) ที่ได้จากการคำนวณเป็นตัวควบคุม (Steering angle controls)



ตาราง 4.38. เปรียบเทียบความเร็วขับเคลื่อนทางโค้งสาย ห้วยแก้ว - คอยสุเทพ (ขับแบบตัดโค้ง)
ข้อมูลความเร็วขับเคลื่อนของรถยนต์ทั้ง 5 ประเภท ประเภทละ 170 คัน (รถโดยสาร 3 ประเภท รวมเป็น
ประเภทเดียวกัน อยู่ใน 170 คัน)

ประเภทของ รถยนต์	ความเร็ว สูงสุดที่ไม่ทำ ให้รถพลิก คว่ำ จากการ คำนวณด้วย สมการ $v = \sqrt{gR \left(\frac{t}{2h} \right)}$ (กม./ชม.)	ความเร็วสูงสุดที่ไม่ ทำให้รถไถลออก นอกโค้ง จากการ คำนวณด้วยสมการ $v = \sqrt{gR (e + f)}$ (กม./ชม.)		ความเร็วสูงสุดที่ทำให้รถ สามารถแล่นไปตามโค้งได้ โดยไม่หลุดโค้ง จากการ คำนวณด้วยสมการ $v = \sqrt{\left[\frac{\delta - \left(\frac{57.3L}{R} \right)}{\left(\frac{W_f}{C_{af}} - \frac{W_r}{C_{ar}} \right)} \right] gR}$ (กม./ชม.)	ความเร็ว ขับเคลื่อน สูงสุดที่ ได้จาก การวัด (กม./ ชม.)
		$f_{min}=0.15$	$f_{max}=0.33$		
รถเก๋ง	60	27*	35	68	39
รถกระบะ	54	27*	35	51	35
รถ SUV	54	27*	35	50	33
รถตู้	53	27*	35	42	28
รถโดยสารชั้น เดียว 2 เพลา	50	27*	35	78	25
รถโดยสารชั้น เดียว 3 เพลา	51	27*	35	45	25
รถโดยสาร 2 ชั้น 3 เพลา	46	27*	35	47	25

ที่มา : ค่า Side-friction (f) ที่แนะนำสำหรับถนนในประเทศที่กำลังพัฒนาอยู่ระหว่าง 0.15 - 0.33
(Bennett, 1994, t.9.2, p.198) และมีเปอร์เซ็นต์ยกโค้งสูงสุด (e_{max}) = 11.79 % ส่วนค่า
รัศมีโค้ง (R) ซึ่งวัดจากทางวิ่งของรถที่ขับแบบตัดโค้ง = 21.55 เมตร
หมายเหตุ ค่าที่ทำเครื่องหมาย * หมายถึง ใช้ค่า Side friction ขั้นต่ำ (f_{min}) เป็นตัวควบคุม เพื่อ
ความสะดวกสบายของผู้โดยสารและผู้ขับขี่รถยนต์ (Comfortable side friction controls)

ตาราง 4.39 เปรียบเทียบความเร็วขับเคลื่อนทางโค้งสาย แมริม – สะเมิง (ขับแบบตามโค้งหรือไม่ตัดโค้ง) ข้อมูลความเร็วขับเคลื่อนทั้ง 5 ประเภท ประเภทละ 170 คัน (รถโดยสาร 3 ประเภท รวมเป็นประเภทเดียวกัน อยู่ใน 170 คัน)

ประเภทของ ขบวน	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 รถสามารถแล่นไปตาม 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 สูงสุดที่ได้ จากการวัด (กม./ชม.)
		$f_{min}=0.15$	$f_{max}=0.33$		
รถเก๋ง	94	40*	53	56	48
รถกระบะ	86	40*	53	59	50
รถ SUV	86	40*	53	57	44
รถตู้	83	40*	53	55	40
รถโดยสารชั้น เดียว 2 เพลา	79	40*	53	85	-
รถโดยสารชั้น เดียว 3 เพลา	81	40*	53	52	-
รถโดยสาร 2 ชั้น 3 เพลา	73	40*	53	51	-

ที่มา : ค่า Side-friction (f) ที่แนะนำสำหรับถนนในประเทศที่กำลังพัฒนาอยู่ระหว่าง 0.15 - 0.33 (Bennett, 1994, t.9.2, p.198) และมีเปอร์เซ็นต์ยกโค้งสูงสุด (e_{max}) = 8.00 % ส่วนค่ารัศมีโค้ง (R) ซึ่งวัดจากทางวิ่งของรถ = 53.76 เมตร

หมายเหตุ ค่าที่ทำเครื่องหมาย * หมายถึง ใช้ค่า Side friction ขั้นต่ำ (f_{min}) เป็นตัวควบคุม เพื่อความสะดวกสบายของผู้โดยสารและผู้ขับขี่ขบวน (Comfortable side friction controls) และค่าที่ทำเครื่องหมาย - หมายถึง ไม่มีรถโดยสารคันใดที่ขับตามโค้ง หรือขับแบบตัดโค้งทุกคัน

ตาราง 4.40 เปรียบเทียบความเร็วขับเคลื่อนทางโค้งสาย แมริม – สะเมิง (ขับแบบตัดโค้ง) ข้อมูลความเร็วขับเคลื่อนของขบวนทั้ง 5 ประเภท ประเภทละ 170 คัน (รถโดยสาร 3 ประเภท รวมเป็นประเภทเดียวกัน อยู่ใน 170 คัน)

ประเภทของ ขบวน	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 รถสามารถแล่นไปตาม 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 จีสูงสุดที่ได้ จากการวัด (กม./ชม.)
		$f_{min}=0.15$	$f_{max}=0.33$		
รถเก๋ง	96	40*	54	67	58
รถกระบะ	88	40*	54	65	62
รถ SUV	88	40*	54	61	57
รถตู้	85	40*	54	59	54
รถโดยสารชั้น เดียว 2 เพลา	81	40*	54	93	44
รถโดยสารชั้น เดียว 3 เพลา	82	40*	54	59	44
รถโดยสาร 2 ชั้น 3 เพลา	74	40*	54	55	44

ที่มา : ค่า Side-friction (f) ที่แนะนำสำหรับถนนในประเทศที่กำลังพัฒนาอยู่ระหว่าง 0.15 - 0.33

(Bennett, 1994, t.9.2, p.198) และมีเปอร์เซ็นต์ยกโค้งสูงสุด (e_{max}) = 8.00 % ส่วนค่า

รัศมีโค้ง (R) ซึ่งวัดจากทางวิ่งของรถที่ขับแบบตัดโค้ง = 55.59 เมตร

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

ตาราง 4.41 เปรียบเทียบความเร็วขับเคลื่อนทางโค้งสาย แม่สอด – ตาก (ขับแบบตามโค้ง หรือไม่ตัดโค้ง) ข้อมูลความเร็วขับเคลื่อนของขบวนทั้ง 5 ประเภท ประเภทละ 170 คัน (รถโดยสาร 3 ประเภท รวมเป็นประเภทเดียวกัน อยู่ใน 170 คัน)

ประเภทของ ขบวน	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 รถสามารถแล่นไปตาม 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.)	ความเร็วขับเคลื่อน สูงสุดที่ได้ จากการวัด (กม./ชม.)
		$f_{min}=0.15$	$f_{max}=0.33$		
รถเก๋ง	99	45*	58	86	75
รถกระบะ	90	45*	58	76	61
รถ SUV	90	45*	58	69	68
รถตู้	87	45*	58	66	60
รถโดยสารชั้น เดียว 2 เพลา	83	45*	58	107	50
รถโดยสารชั้น เดียว 3 เพลา	85	45*	58	72	50
รถโดยสาร 2 ชั้น 3 เพลา	76	45*	58	64	50

ที่มา : ค่า Side-friction (f) ที่แนะนำสำหรับถนนในประเทศที่กำลังพัฒนาอยู่ระหว่าง 0.15 - 0.33 (Bennett, 1994, t.9.2, p.198) และมีเปอร์เซ็นต์ยกโค้งสูงสุด (e_{max}) = 12.12 % ส่วนค่ารัศมีโค้ง (R) ซึ่งวัดจากทางวิ่งของรถ = 59.28 เมตร

หมายเหตุ ค่าที่ทำเครื่องหมาย * หมายถึง ใช้ค่า Side friction ขั้นต่ำ (f_{min}) เป็นตัวควบคุม เพื่อความสะดวกสบายของผู้โดยสารและผู้ขับเคลื่อนขบวน (Comfortable side friction controls)



ตาราง 4.42 เปรียบเทียบความเร็วขับเคลื่อนทางโค้งสาย แม่สอด – ตาก (ขับแบบตัดโค้ง) ข้อมูลความเร็วขับเคลื่อนของขบวนรถทั้ง 5 ประเภท ประเภทละ 170 คัน (รถโดยสาร 3 ประเภท รวมเป็นประเภทเดียวกัน อยู่ใน 170 คัน)

ประเภทของขบวนรถ	ความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถพลิกคว่ำ จากการคำนวณด้วยสมการ $v = \sqrt{gR \left(\frac{t}{2h} \right)}$ (กม./ชม.)	ความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถไถลออกนอกโค้ง จากการคำนวณด้วยสมการ $v = \sqrt{gR (e + f)}$ (กม./ชม.)		ความเร็วสูงสุดที่ทำให้รถสามารถแล่นไปตามโค้งได้โดยไม่หลุดโค้ง จากการคำนวณด้วยสมการ $v = \sqrt{\left[\frac{\delta - \left(\frac{57.3L}{R} \right)}{\left(\frac{W_f}{C_{af}} - \frac{W_r}{C_{ar}} \right)} \right] gR}$ (กม./ชม.)	ความเร็วขับเคลื่อนสูงสุดที่ได้จากการวัด (กม./ชม.)
		$f_{min}=0.15$	$f_{max}=0.33$		
รถเก๋ง	102	47*	60	102	74
รถกระบะ	93	47*	60	87	65
รถ SUV	93	47*	60	76	63
รถตู้	90	47*	60	74	64
รถโดยสารชั้นเดียว 2 เพลา	86	47*	60	121	54
รถโดยสารชั้นเดียว 3 เพลา	88	47*	60	83	54
รถโดยสาร 2 ชั้น 3 เพลา	79	47*	60	72	54

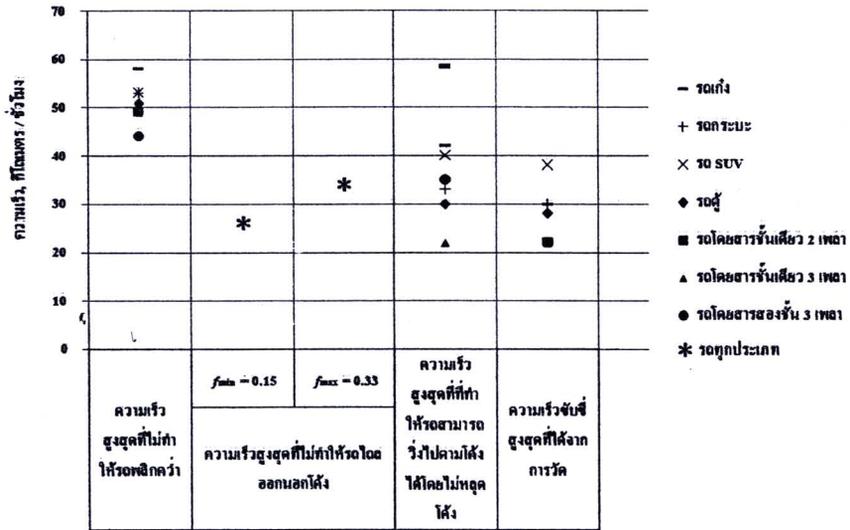
ที่มา : ค่า Side-friction (f) ที่แนะนำสำหรับถนนในประเทศที่กำลังพัฒนาอยู่ระหว่าง 0.15 - 0.33

(Bennett, 1994, t.9.2, p.198) และมีเปอร์เซ็นต์ยกโค้งสูงสุด (e_{max}) = 12.12 % ส่วนค่า

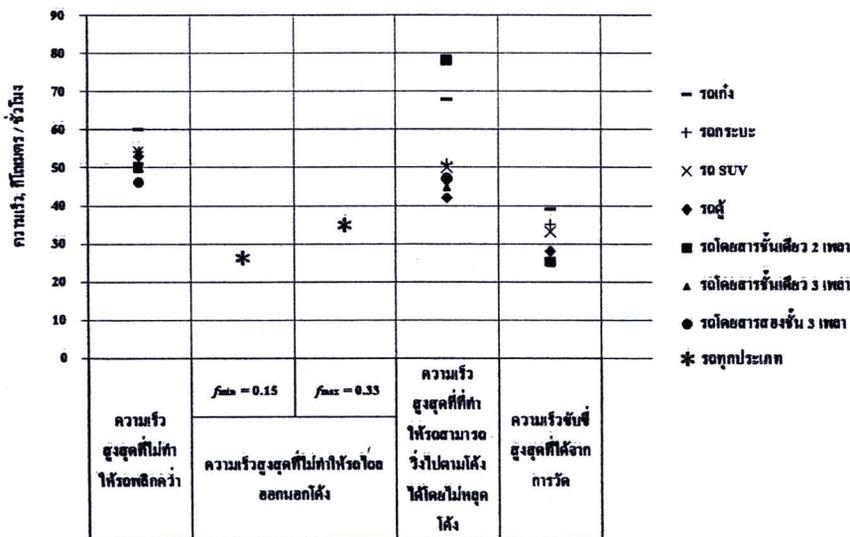
รัศมีโค้ง (R) ซึ่งวัดจากทางวิ่งของรถที่ขับแบบตัดโค้ง = 63.32 เมตร

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

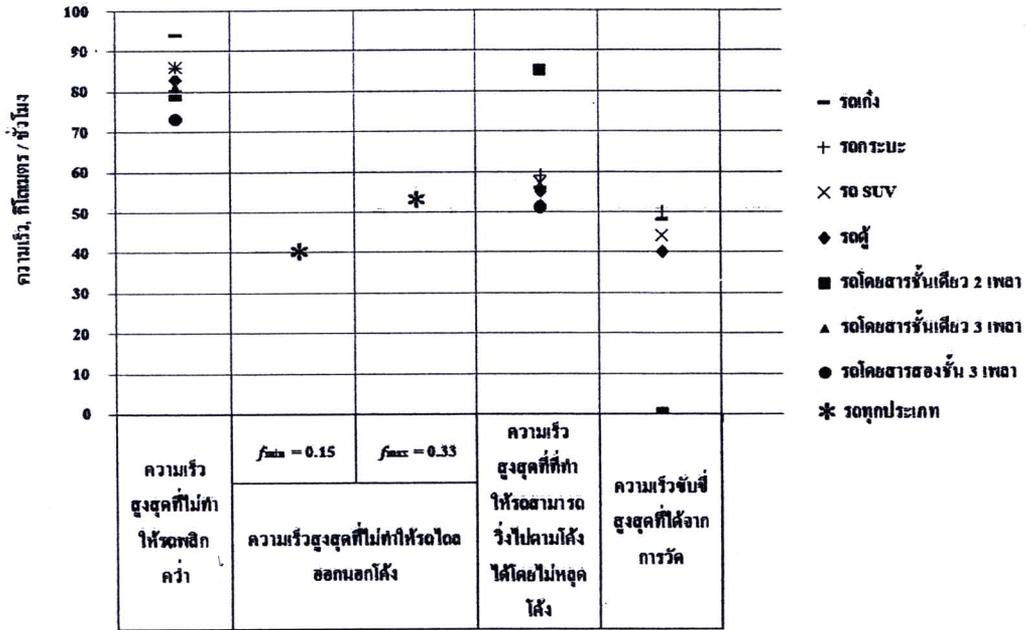
จากตาราง 4.37 ถึงตาราง 4.42 สามารถเปรียบเทียบความเร็วของรถแต่ละประเภททั้ง 3 โค้งที่พิจารณาได้เป็นแผนภูมิแสดงดังรูป 4.5-4 ถึงรูป 4.5-9



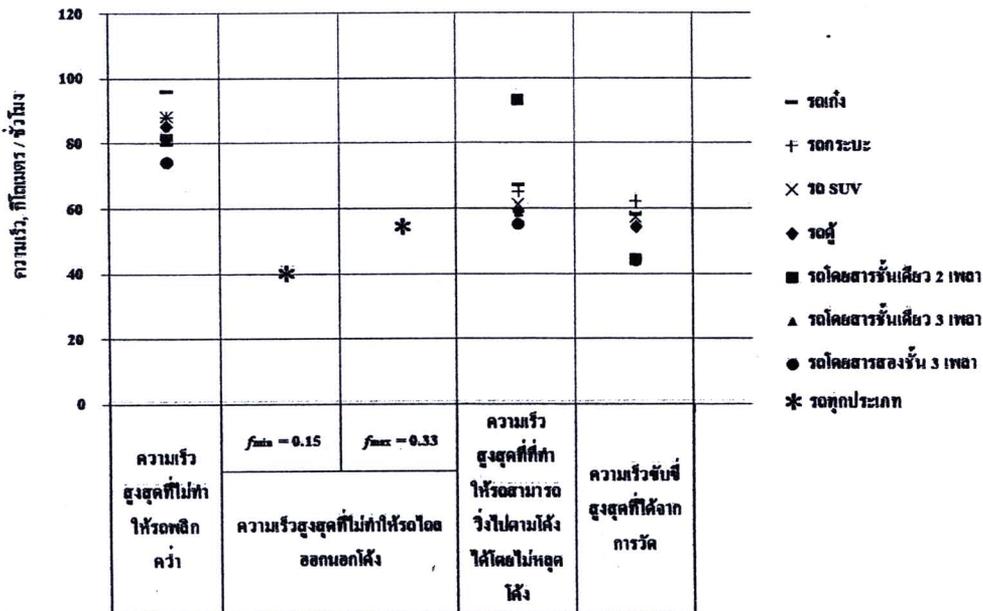
รูป 4.5-4 แสดงความเร็วปลอดภัยที่ได้จากคำนวณ 3 สมการ เปรียบเทียบกับความเร็วขับขี่จริงที่ได้จากการวัดของรถทั้งหมด 7 ประเภท ซึ่งมีพฤติกรรมการขับขี่แบบไม่ตัดโค้ง บนทางโค้งสายห้วยแก้ว - คอยสุเทพ



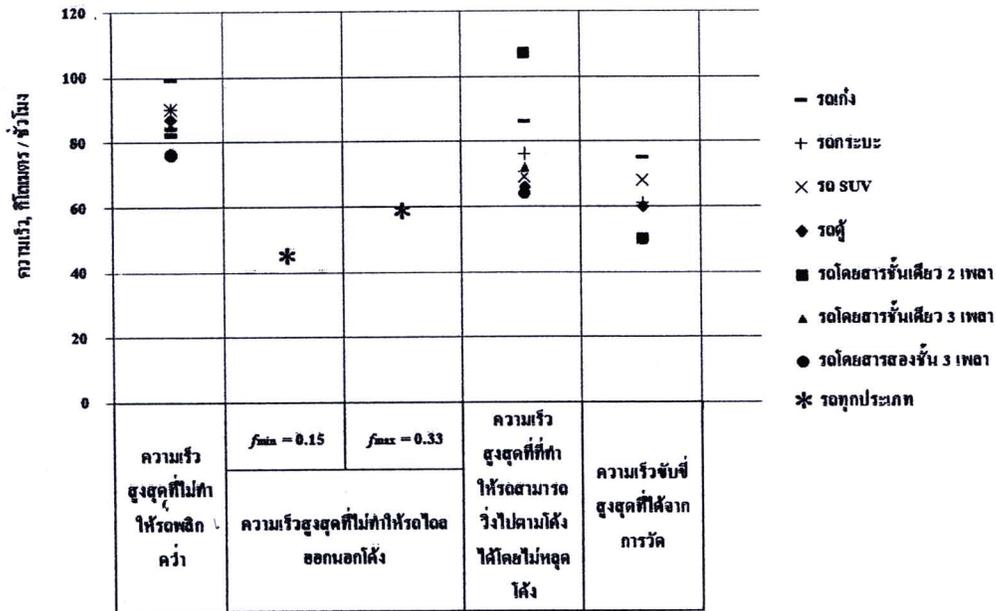
รูป 4.5-5 แสดงความเร็วปลอดภัยที่ได้จากคำนวณ 3 สมการ เปรียบเทียบกับความเร็วขับขี่จริงที่ได้จากการวัดของรถทั้งหมด 7 ประเภท ซึ่งมีพฤติกรรมการขับขี่แบบตัดโค้ง บนทางโค้งสายห้วยแก้ว - คอยสุเทพ



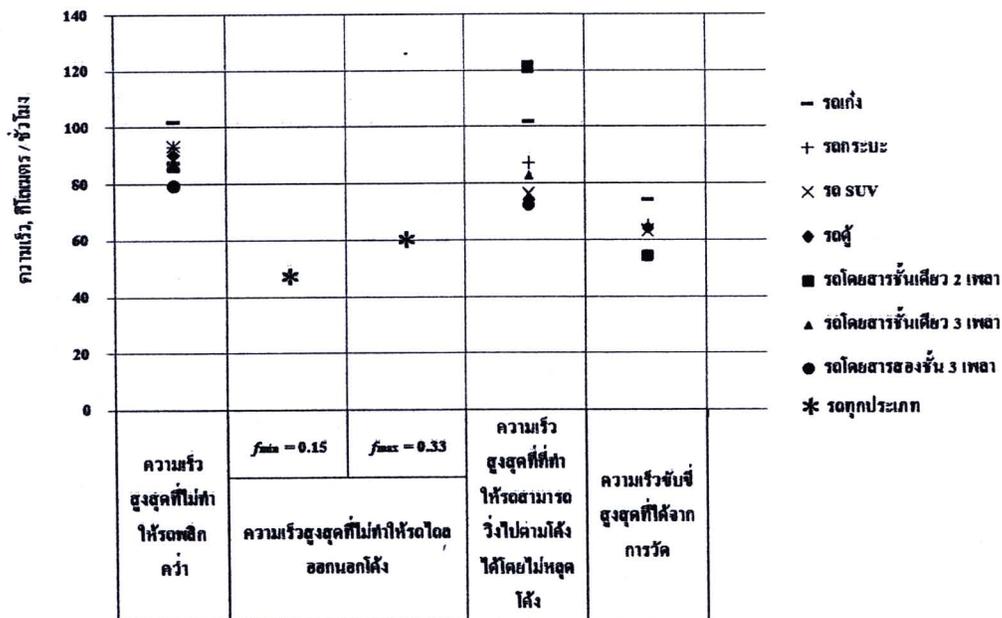
รูป 4.5-6 แสดงความเร็วปลอดภัยที่ได้จากคำนวณ 3 สมการ เปรียบเทียบกับความเร็วขั้นต่ำจริงที่ได้จากการวัดของรถทั้งหมด 7 ประเภท ซึ่งมีพฤติกรรมการขับขี่แบบไม่ตัดโค้ง บนทางโค้งสายสะเมิง - แมริม



รูป 4.5-7 แสดงความเร็วปลอดภัยที่ได้จากคำนวณ 3 สมการ เปรียบเทียบกับความเร็วขั้นต่ำจริงที่ได้จากการวัดของรถทั้งหมด 7 ประเภท ซึ่งมีพฤติกรรมการขับขี่แบบตัดโค้ง บนทางโค้งสายสะเมิง - แมริม



รูป 4.5-8 แสดงความเร็วปลอดภัยที่ได้จากคำนวณ 3 สมการ เปรียบเทียบกับความเร็วขั้วจริงที่ได้จากการวัดของรถทั้งหมด 7 ประเภท ซึ่งมีพฤติกรรมการขับขี่แบบไม่ตัดโค้ง บนทางโค้งสายแม่สอด - ตาก



รูป 4.5-9 แสดงความเร็วปลอดภัยที่ได้จากคำนวณ 3 สมการ เปรียบเทียบกับความเร็วขั้วจริงที่ได้จากการวัดของรถทั้งหมด 7 ประเภท ซึ่งมีพฤติกรรมการขับขี่แบบตัดโค้ง บนทางโค้งสายแม่สอด - ตาก

จากกราฟในรูป 4.5-4 และรูป 4.5-9 ทำให้ทราบว่าขบวนการที่เพิ่มความเร็วมากขึ้น ก็ต้องการรัศมีโค้งเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย และจากการเปรียบเทียบสมการคำนวณความเร็วที่ไม่ทำให้ขบวนการสูญเสียการควบคุม ซึ่งนำไปสู่การเกิดอุบัติเหตุใน 3 ลักษณะ พบว่าสมการคำนวณความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถไถลออกโค้ง (Sliding out of curve) เป็นความเร็วที่ใกล้เคียงกับความเร็วขบขันจริงมากที่สุด และโดยทั่วไปเป็นความเร็วต่ำสุดซึ่งต่ำกว่าความเร็วที่ได้จากการพลิกคว่ำ และความเร็วที่รถสามารถเลี้ยวตามโค้ง ดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะใช้สมการคำนวณความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถไถลออกโค้ง (Sliding out of curve) ไปใช้คำนวณความเร็วปลอดภัยของรถโดยสารขนาดใหญ่ครอบคลุมเส้นทางที่ทำการพิจารณา โดยใช้ค่า Side friction ขั้นต่ำ (f_{min}) เป็นตัวควบคุมเพื่อความสะดวกสบายของผู้โดยสารและผู้ขับขี่รถโดยสาร (Comfortable side friction controls) โดยเลือกคำนวณความเร็วปลอดภัยตลอดเส้นทาง ในทิศทางลงเขา (Down grade) สายแมริม – สะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ ทางหลวงหมายเลข 1096 ซึ่งมีระยะทาง 32 กิโลเมตร เป็นเส้นทางภูเขาที่มีช่องจราจรแคบ มีความคดเคี้ยวและเกิดอุบัติเหตุรถโดยสารบ่อยครั้งตลอดเส้นทาง โดยนำข้อมูลมาประยุกต์ใช้กับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS)

4.5.4 ตัวอย่างการคำนวณความเร็วปลอดภัย (Safe speed) โดยอาศัยข้อมูลเรขาคณิตของถนนจากแบบของกรมทางหลวง

ในตัวอย่างการคำนวณความเร็วปลอดภัยที่ไม่ทำให้รถไถลออกโค้ง (Sliding out of curve) ได้ใช้ค่า Side friction ขั้นต่ำ (f_{min}) ซึ่งเท่ากับ 0.15 มาใช้คำนวณในสมการ 27 จากทฤษฎีในบทที่ 2 หัวข้อ 2.3.2 ซึ่งมีสมการดังนี้

$$v = \sqrt{gR(e + f)} \quad (27)$$

ตัวอย่างนี้ได้เลือกโค้งแห่งหนึ่งบนสายแมริม – สะเมิงที่ PI STA. 2+738.480 มีรัศมีโค้ง (R) ที่เส้นกึ่งกลางถนน (Center line) เท่ากับ 124.556 เมตร แต่หากคิดตามแนววิ่งของรถแบบวิ่งตามโค้งในทิศทางลงเขาเข้าสู่โค้งไปขวา และช่องจราจรกว้าง 3.70 เมตร ดังนั้นต้อง Offset ออกจาก Center line เท่ากับครึ่งหนึ่งของความกว้างของช่องจราจรนั่นก็คือ 1.85 เมตร ทำให้ได้รัศมีโค้ง (R) ที่นำมาใช้คำนวณเท่ากับ 126.406 เมตร มีค่าการยกโค้ง (e) เท่ากับ 6.5 % และใช้ค่าสัมประสิทธิ์การไถลทางด้านข้างระหว่างล้อรถกับผิวถนน (Side friction) โดยใช้ค่าขั้นต่ำ (f_{min}) เท่ากับ 0.15 จากนั้นนำค่าทั้งหมดมาแทนค่าในสมการ

$$v = \sqrt{((9.81)(126.406)) \left(\left(\frac{6.5}{100} \right) + 0.15 \right)}$$

$$v = (16.328)(3.6)$$

$$v = 58.78 \text{ กิโลเมตรต่อชั่วโมง}$$

ดังนั้นความเร็วปลอดภัยของรถโดยสารทางบนทางโค้งสายแม่ริม – สะเมิง ที่ PI STA. 2+738.480 เท่ากับ 58 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

4.6 การวิเคราะห์ความเร็วปลอดภัยสำหรับรถโดยสารสองชั้นตลอดเส้นทาง (ตัวอย่างสายแม่ริม – สะเมิง)

4.6.1 รายละเอียดของเส้นทางที่พิจารณาตลอดเส้นทาง

เส้นทางที่นำมาคำนวณความเร็วปลอดภัยตลอดทั้งเส้นทางก็คือ ทางหลวงหมายเลข 1096 สายแม่ริม – สะเมิง มีระยะทาง 27 กิโลเมตร โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกพิจารณาเฉพาะ ทิศทางลงเขา (Down grade) เข้าสู่อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ เนื่องจากเคยเกิดอุบัติเหตุรถโดยสารแหกโค้งชนรถกระบะและพลิกคว่ำมาแล้ว เมื่อวันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2550 ที่บริเวณกิโลเมตรที่ 8+015 ถึงกิโลเมตรที่ 7+925 ซึ่งมีผู้บาดเจ็บจำนวนมาก ดังรูป 4.6-1



รูป 4.6-1 อุบัติเหตุรถโดยสารสองชั้นแหกโค้งพลิกคว่ำ

ที่มา : สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร กระทรวงคมนาคม (2550)

ในปัจจุบันเส้นทางนี้ก็ยังคงเป็น เส้นทางหลักของนักท่องเที่ยวในการท่องเที่ยวชมธรรมชาติ และยังมีสถานที่ท่องเที่ยวที่น่าสนใจอื่นๆอีกมากมาย อันได้แก่ สวนงู สวนกล้วยไม้ ฟาร์มผีเสื้อ น้ำตกแม่สา ปางช้างแม่สา และสวนพฤกษศาสตร์สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ เป็นต้น ซึ่งสถานที่ทั้งหมดที่กล่าวมานี้ล้วนต้องใช้เส้นทางที่เป็นภูเขาในการเดินทางตลอดเส้นทางซึ่งเป็นถนนที่มีเพียง 2 ช่องจราจร มีความลาดชันและความแคบเป็นอย่างมาก ถึงแม้หน่วยงานทางได้ทำป้ายเตือนหรือป้ายแนะนำไม่ให้รถโดยสารขนาดใหญ่หรือรถโดยสารสองชั้นใช้เส้นทางนี้แล้วก็ตามดังรูป 4.6-2



รูป 4.6-2 ป้ายแนะนำจราจรบนทางหลวงหมายเลข 1096 สายแม่ริม – สะเมิง ขาขึ้นเขาไปอำเภอสะเมิง

แต่จากการสำรวจโค้งระหว่างทำการวิจัยพบว่า มีรถโดยสารขนาดใหญ่ (2 ชั้น) ยังคงใช้เส้นทางสายนี้ในการสัญจรอยู่เป็นจำนวนมาก ดังรูป 4.6-3



รูป 4.6-3 รถโดยสารสองชั้นขับผ่านโค้งบริเวณกิโลเมตรที่ 8+025 บนทางหลวงหมายเลข 1096 สายแม่ริม – สะเมิง ทิศทางลงเขาไปสู่อำเภอแม่ริม

สำหรับเส้นทางสายแม่ริม – สะเมิง โดยเฉพาะขาลงเขาเข้าสู่อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ มีโค้งทั้งหมดจำนวน 168 โค้ง โดยมีรายละเอียดและข้อมูลเรขาคณิตของโค้งที่พิจารณาทั้งหมดแสดงในภาคผนวก ง

4.6.2 การวิเคราะห์หาความเร็วปลอดภัยสำหรับรถโดยสารสองชั้นตลอดเส้นทางสายแม่ริม – สะเมิง

สำหรับการวิเคราะห์หาความเร็วปลอดภัยของรถโดยสารสองชั้นตลอดเส้นทางที่พิจารณาสายแม่ริม – สะเมิง โดยอาศัยสมการคำนวณความเร็วปลอดภัย (Safe speed) ทั้ง 3 สมการตามทฤษฎีในบทที่ 2 หัวข้อ 2.3 การคำนวณความเร็วปลอดภัย เพื่อเปรียบเทียบกันว่าสมการใดมีความเหมาะสมที่สุด ที่จะนำมาใช้คำนวณความเร็วปลอดภัยสำหรับรถโดยสารสองชั้นตลอดเส้นทางที่พิจารณา โดยอาศัยข้อมูลเรขาคณิตของถนนจากแบบของกรมทางหลวง และ ข้อมูลด้านเทคนิค มิติ และขนาด ของรถโดยสารสองชั้น 3 เพลา จากตาราง 4.6 เนื่องจากในปัจจุบันยังพบว่า มีรถโดยสารสองชั้นใช้เส้นทางนี้อยู่ ซึ่งในการคำนวณปลอดภัยทั้ง 3 สมการ โดยใช้ข้อมูลเรขาคณิต

ของถนนที่โค้งเดียวกันจากแบบของกรมทางหลวง โดยทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้เลือกโค้งแห่งหนึ่งบนสายแมริม – สะเมิง ที่ PI STA. 2+627.990 มีรัศมีโค้ง (R) ที่เส้นกึ่งกลางถนน (Center line) เท่ากับ 56.728 เมตร แต่หากคิดตามแนววิ่งของรถแบบวิ่งตามโค้งในทิศทางลงเขาเข้าสู่โค้งไปขวา และช่องจราจรกว้าง 3.70 เมตร ดังนั้นต้อง Offset ออกจาก Center line เท่ากับครึ่งหนึ่งของความกว้างของช่องจราจรนั่นก็คือ 1.85 เมตร ดังนั้นทำให้ได้รัศมีโค้ง (R) ที่นำมาใช้คำนวณมีค่าเท่ากับ 58.578 เมตร มีค่าการยกโค้ง (e) เท่ากับ 8.6 % ซึ่งมีตัวอย่างการคำนวณดังต่อไปนี้

4.6.2.1 ตัวอย่างการคำนวณความเร็วปลอดภัยที่ไม่ทำให้รถพลิกคว่ำ (Rollover) โดยอาศัยข้อมูลเรขาคณิตของถนนจากแบบของกรมทางหลวง

ในตัวอย่างการคำนวณความเร็วปลอดภัยที่ไม่ทำให้รถพลิกคว่ำ (Rollover) โดยใช้ระยะห่างระหว่างล้อซ้ายกับล้อขวา (t) เท่ากับ 2.08 เมตร ซึ่งได้จาก Specification ของรถโดยสารสองชั้น และใช้ความสูงจากจุดศูนย์กลางถ่วงของรถถึงพื้น (h) เท่ากับ 1.344 เมตร (ทรงวุฒิและคณะ, 2550) มาใช้คำนวณในสมการ จากทฤษฎีในบทที่ 2 หัวข้อ 2.3.1 มีสมการดังนี้

$$v = \sqrt{gR \left(\frac{t}{2h} \right)} \quad (40)$$

ตัวอย่างโค้งที่เลือกจากในแบบของกรมทางหลวงคือโค้งที่ PI STA. 2+627.990 มีรัศมีตามทางวิ่งของรถ (R) เท่ากับ 58.578 เมตร จากนั้นนำค่าทั้งหมดมาแทนค่าในสมการ 26

$$v = \sqrt{(9.81)(58.578) \left(\frac{2.08}{(2)(1.344)} \right)}$$

$$v = (21.087)(3.6)$$

$$v = 75.91 \text{ กิโลเมตรต่อชั่วโมง}$$

ดังนั้นความเร็วปลอดภัยที่ไม่ทำให้รถโดยสารสองชั้นพลิกคว่ำ (Rollover) บนทางโค้งสายแมริม – สะเมิง ที่ PI STA. 2+627.990 เท่ากับ 76 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

4.6.2.2 ตัวอย่างการคำนวณความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถไถลออกนอกโค้ง (Sliding out of curve) โดยอาศัยข้อมูลเรขาคณิตของถนนจากแบบของกรมทางหลวง

ในตัวอย่างการคำนวณความเร็วปลอดภัยที่ไม่ทำให้รถไถลออกโค้ง (Sliding out of curve) ได้ใช้ค่า Side friction ขั้นต่ำ (f_{min}) ซึ่งเท่ากับ 0.15 (Bennett, 1994, t.9.2, p.198) มาใช้คำนวณในสมการ จากทฤษฎีในบทที่ 2 หัวข้อ 2.3.2 มีสมการดังนี้

$$v = \sqrt{gR(e + f)} \quad (41)$$

ตัวอย่างโค้งที่เลือกจากในแบบของกรมทางหลวงคือโค้งที่ PI STA. 2+627.990 มีรัศมีตามทางวิ่งของรถ (R) เท่ากับ 58.578 เมตร และมีการยกโค้ง (e) เท่ากับ 8.6 % จากนั้นนำค่าทั้งหมดมาแทนค่าในสมการ 27

$$v = \sqrt{((9.81)(58.578)) \left(\left(\frac{8.6}{100} \right) + 0.15 \right)}$$

$$v = (11.645)(3.6)$$

$$v = 41.92 \text{ กิโลเมตรต่อชั่วโมง}$$

ดังนั้นความเร็วปลอดภัยที่ไม่ทำให้รถไถลโดยสารสองชั้นไถลออกนอกโค้ง (Sliding out of curve) บนทางโค้งสายแมริม – สะเมิง ที่ PI STA. 2+627.990 เท่ากับ 42 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

4.6.2.3 ตัวอย่างการคำนวณความเร็วปลอดภัยที่ทำให้รถสามารถเลี้ยวไปตามโค้งได้ โดยไม่หลุดออกนอกโค้ง (Fail to negotiate curve) โดยอาศัยข้อมูลเรขาคณิตของถนนจากแบบของกรมทางหลวง

ในตัวอย่างการคำนวณความเร็วปลอดภัยที่ทำให้รถสามารถเลี้ยวไปตามโค้งได้ โดยไม่หลุดออกนอกโค้ง (Fail to negotiate curve) โดยใช้มุมบิดที่ล้อหน้า (δ) เท่ากับ 8.12 องศา ได้จากการคำนวณหามุมบิดที่ล้อหน้าสำหรับรถโดยสารสองชั้นในตารางที่ 4.35 ระยะระหว่างล้อหน้ากับล้อหลัง (L) เท่ากับ 6.02 เมตร น้ำหนักของล้อหน้าหนึ่งล้อ (W_f) เท่ากับ 3,500 กิโลกรัม น้ำหนักของล้อหลังหนึ่งล้อ (W_r) เท่ากับ 1,875 กิโลกรัม ซึ่งได้จาก Specification ของรถ

โดยसारสองชั้น ส่วนค่า Cornering Stiffness ที่ล้อหน้า (C_{af}) เท่ากับ 258.548 กิโลกรัม/องศา และค่า Cornering Stiffness ที่ล้อหลัง (C_{ar}) เท่ากับ 190.509 กิโลกรัม/องศา ได้จากรูป 4.2-1 (Clark S. K. et. al., 1981) มาใช้คำนวณในสมการ จากทฤษฎีในบทที่ 2 หัวข้อ 2.3.3 มีสมการ ดังนี้

$$v = \sqrt{\left[\frac{\delta - \left(\frac{57.3L}{R} \right)}{\left(\frac{W_f}{C_{af}} - \frac{W_r}{C_{ar}} \right)} \right] gR} \quad (42)$$

ตัวอย่าง โค้งที่เลือกจากในแบบของกรมทางหลวงคือโค้งที่ PI STA. 2+627.990 มีรัศมีตามทางวิ่งของรถ (R) เท่ากับ 58.578 เมตร จากนั้นนำค่าทั้งหมดมาแทนค่าในสมการ 28

$$v = \sqrt{\left[\frac{8.12 - \left(\frac{(57.3)(6.02)}{58.578} \right)}{\left(\frac{3,500}{258.548} - \frac{1,875}{190.509} \right)} \right] (9.81)(58.578)}$$

$$v = (18.628)(3.6)$$

$$v = 67.06 \text{ กิโลเมตรต่อชั่วโมง}$$

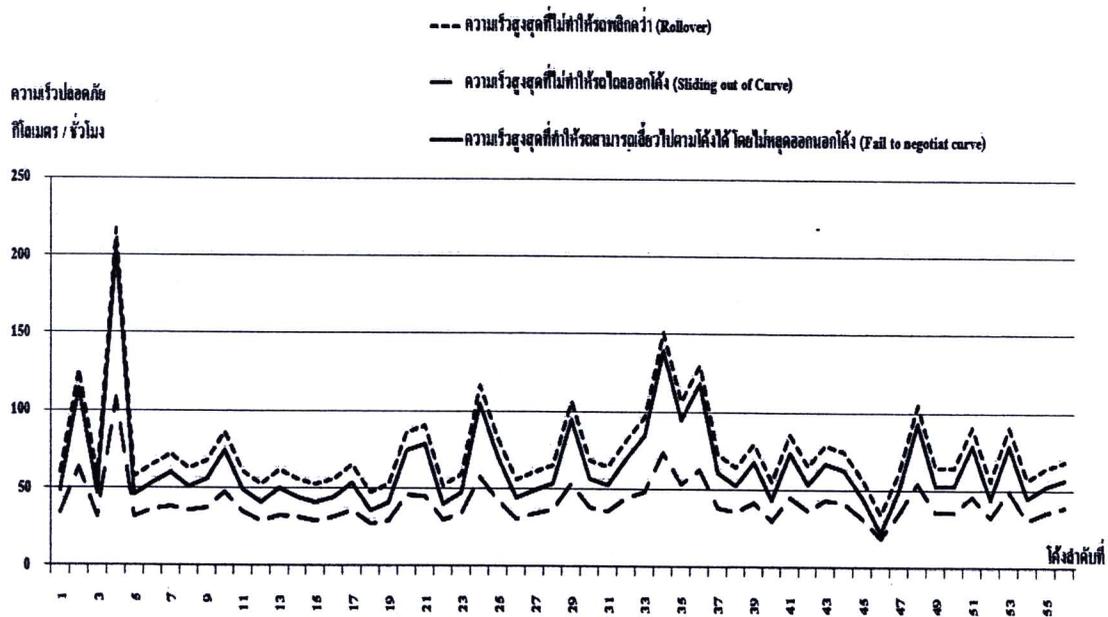
ดังนั้นความเร็วปลอดภัยที่ทำให้รถโดยสารสองชั้นสามารถเลี้ยวไปตามโค้งได้โดยไม่หลุดออกนอกโค้ง (Fail to negotiate curve) บนทางโค้งสายแมริม – สะเมิง ที่ PI STA. 2+627.990 เท่ากับ 67 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

จากตัวอย่างการคำนวณความเร็วปลอดภัยสำหรับรถโดยสารสองชั้นทั้ง 3 สมการ ในหัวข้อที่ 4.6.2.1 ถึง 4.6.2.3 โดยใช้ข้อมูลเรขาคณิตจากแบบของกรมทางหลวงที่โค้งเดียวกัน ซึ่งได้ค่าความเร็วปลอดภัยจากการคำนวณความเร็วปลอดภัยทั้ง 3 สมการ (สมการ 35 ถึง 38) เท่ากับ 76, 42 และ 67 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ พบว่า การคำนวณความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถไถลออกนอกโค้ง (Sliding out of curve) ได้ค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 41 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (สมการ 37) ซึ่ง

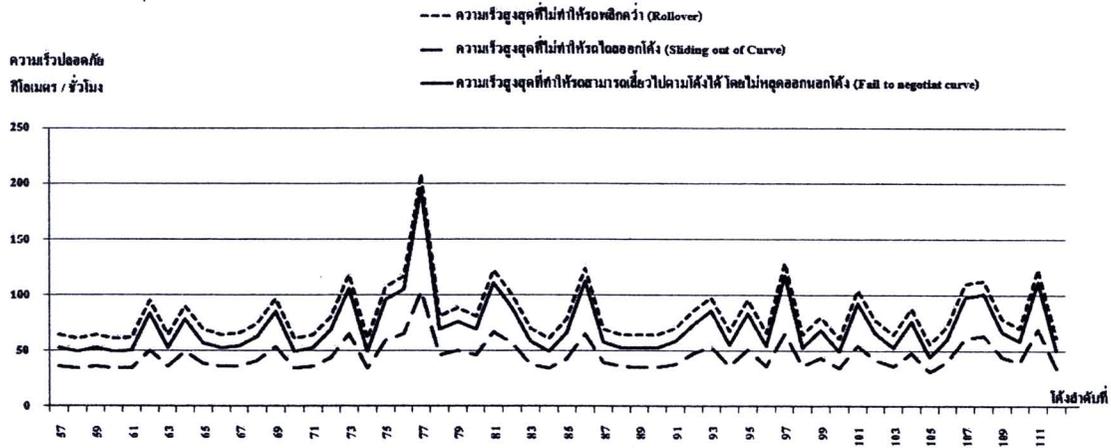
เหมาะสมที่จะนำไปใช้คำนวณความเร็วปลอดภัยสำหรับรถโดยสารสองชั้นที่วิ่งบนเส้นทางสายแม่ริม – สะเมิง ตลอดเส้นทาง

4.6.2.4 การเปรียบเทียบความเร็วปลอดภัยสำหรับรถโดยสารขนาดใหญ่ ที่ได้จากการคำนวณความเร็วปลอดภัยทั้ง 3 สมการ ตลอดเส้นทางที่พิจารณา

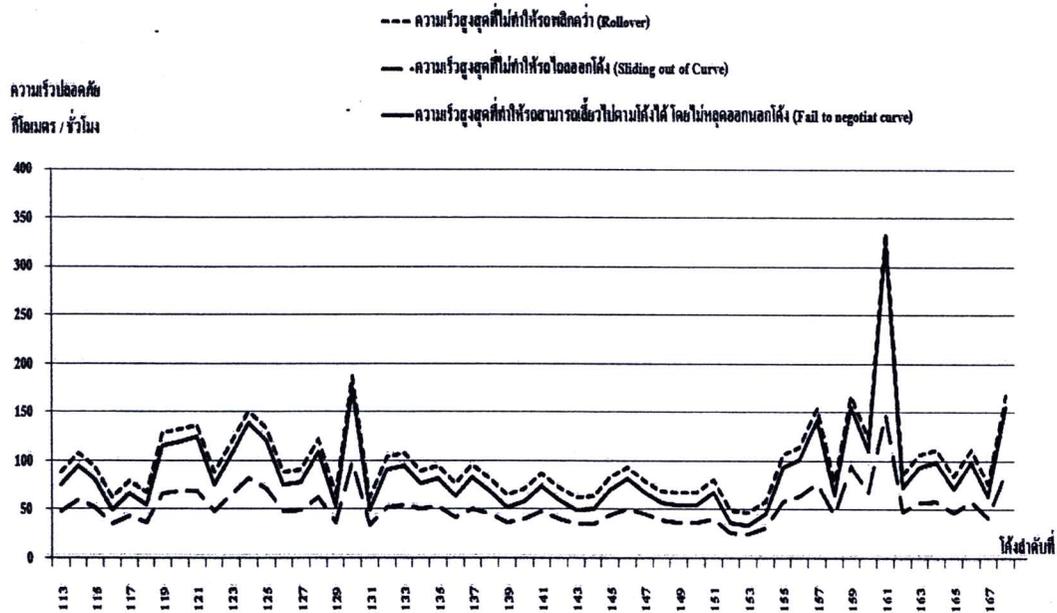
ในการเปรียบเทียบความเร็วปลอดภัยสำหรับรถโดยสารขนาดใหญ่ ที่ได้จากการคำนวณความเร็วปลอดภัยทั้ง 3 สมการ ตลอดเส้นทางสายแม่ริม – สะเมิง ทางหลวงหมายเลข 1096 โดยพิจารณาเส้นทางจากอำเภอสะเมิงไปสู่อำเภอแม่ริม ในทิศทางลงเขาซึ่งเคยเกิดอุบัติเหตุรถโดยสารดังรูป 4.6-1 มีจำนวนโค้งทั้งหมด 168 โค้ง ซึ่งผลจากการคำนวณความเร็วปลอดภัยทั้ง 3 สมการ (สมการ 35 ถึง 38) ได้เปรียบเทียบเป็นกราฟเส้นดังแสดงในรูป 4.6-4 ถึงรูป 4.6-6 ค่าที่ได้จากการคำนวณความเร็วปลอดภัยทั้ง 3 สมการ 168 โค้ง แสดงในภาคผนวก จ



รูป 4.6-4 เปรียบเทียบความเร็วปลอดภัยสำหรับรถโดยสารสองชั้นที่ได้จากการคำนวณความเร็วปลอดภัย 3 สมการ ตั้งแต่โค้งที่ 1 ถึงโค้งที่ 56 กิโลเมตรที่ 26+442.976 ถึงกิโลเมตรที่ 18+823.600 บนทางหลวงหมายเลข 1096 สายแม่ริม – สะเมิง ทิศทางลงเขาไปสู่อำเภอแม่ริม



รูป 4.6-5 เปรียบเทียบความเร็วปลอดภัยสำหรับรถโดยสารสองชั้นที่ได้จากการคำนวณความเร็วปลอดภัย 3 สมการ ตั้งแต่โค้งที่ 57 ถึงโค้งที่ 112 กิโลเมตรที่ 18+781.608 ถึงกิโลเมตรที่ 11+500.910 บนทางหลวงหมายเลข 1096 สายแม่ริม – สะเมิง ทิศทางลงเขาไปสู่อำเภอแม่ริม



รูป 4.6-6 เปรียบเทียบความเร็วปลอดภัยสำหรับรถโดยสารสองชั้นที่ได้จากการคำนวณความเร็วปลอดภัย 3 สมการ ตั้งแต่โค้งที่ 113 ถึงโค้งที่ 168 กิโลเมตรที่ 11+428.976 ถึงกิโลเมตรที่ 0+961.060 บนทางหลวงหมายเลข 1096 สายแม่ริม – สะเมิง ทิศทางลงเขาไปสู่อำเภอแม่ริม



จากกราฟเปรียบเทียบความเร็วปลอดภัยสำหรับรถโดยสารสองชั้นที่ได้จากการคำนวณความเร็วปลอดภัยทั้ง 3 สมการ (สมการ 35 ถึง 38) ทั้ง 168 โค้ง ดังรูป 4.6-4 ถึงรูป 4.6-6 พบว่าสมการคำนวณความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถไถลออกนอกโค้ง (Sliding out of curve) สมการ 37 ได้ค่าความเร็วปลอดภัย (Safe speed) สำหรับรถโดยสารสองชั้นต่ำที่สุด (เส้นประยาว) และมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้คำนวณความเร็วปลอดภัยสำหรับรถโดยสารสองชั้นโดยครอบคลุมทั้งเส้นทางสายแอมริม – สะเมิง มากที่สุด เนื่องจากสมการดังกล่าว (สมการ 37) ใช้ค่า Side friction ต่ำ (f_{min}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.15 (Bennett, 1994, t.9.2, p.198) เมื่อนำมาใช้คำนวณในสมการแล้วทำให้ได้ความเร็วที่ส่งผลให้ผู้โดยสารและผู้ขับขี่รถโดยสารสองชั้นเกิดความสะดวกสบาย (Comfortable speed) ขณะเข้าโค้ง จึงเลือกสมการคำนวณความเร็วสูงสุดที่ไม่ทำให้รถไถลออกนอกโค้ง (Sliding out of curve) สมการ 37 มาคำนวณความเร็วปลอดภัย (Safe speed) สำหรับรถโดยสารสองชั้นครอบคลุมตลอดเส้นทางสายแอมริม – สะเมิง ซึ่งข้อมูลความเร็วปลอดภัย (Safe speed) สำหรับรถโดยสารสองชั้นทั้ง 168 โค้งแสดงในตาราง จ-2 ภาคผนวก จ

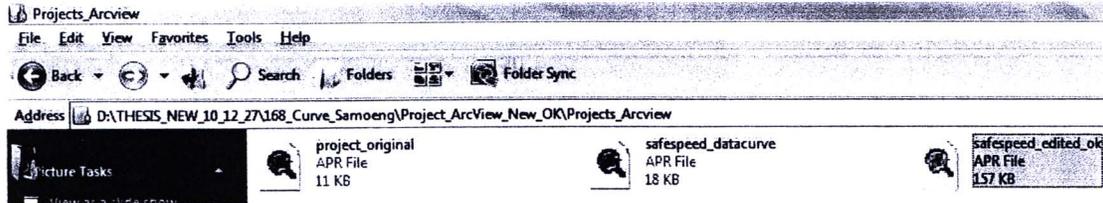
4.7 ผลการพัฒนาแผนที่แสดงผลความเร็วปลอดภัย

การแสดงผลความเร็วปลอดภัยโดยใช้โปรแกรม ArcView3.3 ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับใช้ในงานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) โดยจัดทำข้อมูลทางโค้งครอบคลุมทางหลวงหมายเลข 1096 สายแอมริม – สะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ มีระยะทาง 27 กิโลเมตร ซึ่งแสดงข้อมูลในแต่ละโค้งที่มีทิศทางลงเขาเข้าสู่อำเภอแอมริม มีจำนวนโค้ง 168 โค้ง โดยบอกรายละเอียดของโค้งรวมถึงความเร็วปลอดภัย (Safe Speed) ในแต่ละโค้งด้วย

4.7.1 การเรียกดูฐานข้อมูลแสดงผลความเร็วปลอดภัยจากโปรแกรม ArcView3.3

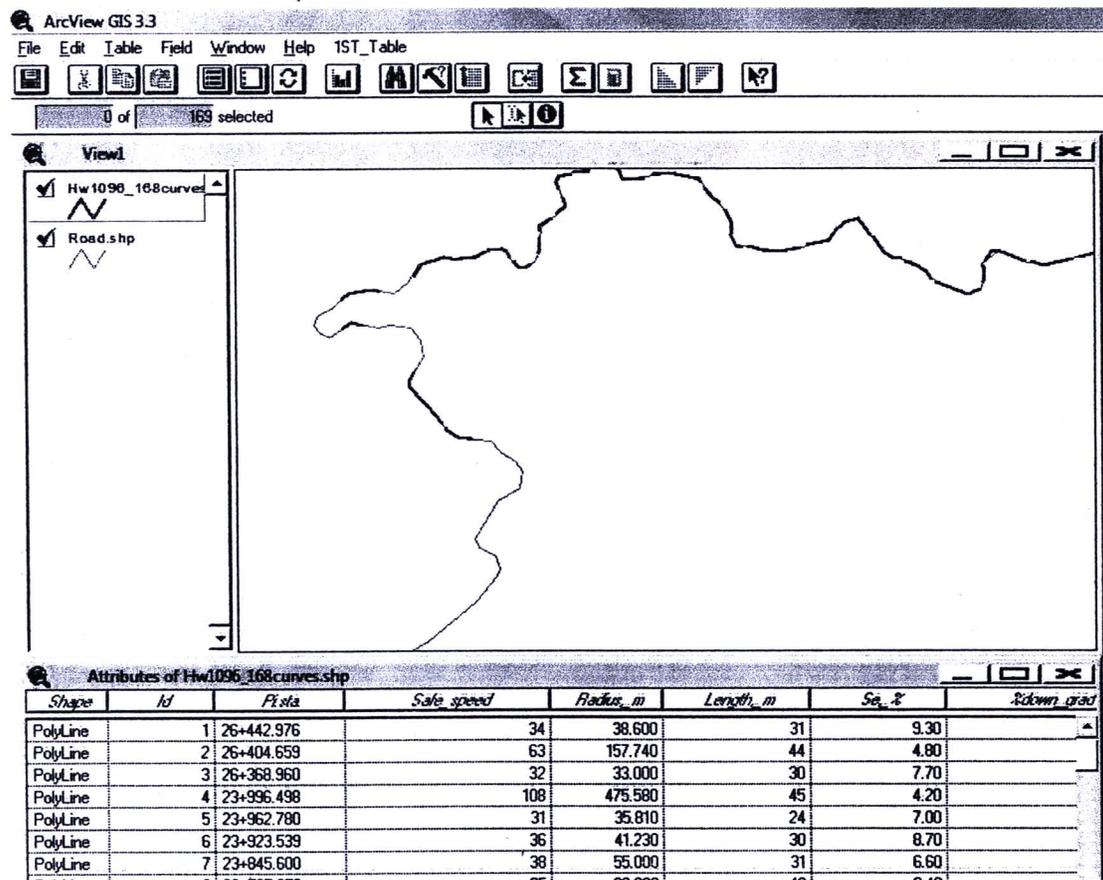
การเรียกดูฐานข้อมูลแสดงผลความเร็วปลอดภัยจากโปรแกรม ArcView3.3 ซึ่งได้มีการสร้างฐานข้อมูลไว้เสร็จสมบูรณ์แล้ว การเรียกดูฐานข้อมูลมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ฐานข้อมูลที่มีการสร้างไว้แล้วจะบันทึกอยู่ในรูปของ Project ไฟล์ ซึ่งเมื่อดับเบิลคลิกไฟล์ดังกล่าว จะมีการเข้าโปรแกรม ArcView3.3 ได้โดยอัตโนมัติ จากตัวอย่างได้บันทึกฐานข้อมูลเป็น Project ไฟล์โดยใช้ชื่อ safespeed_edited_ok ดังแสดงในรูป 4.7-1 (ไฟล์ที่อยู่ในกรอบสี่เหลี่ยมสีฟ้า)



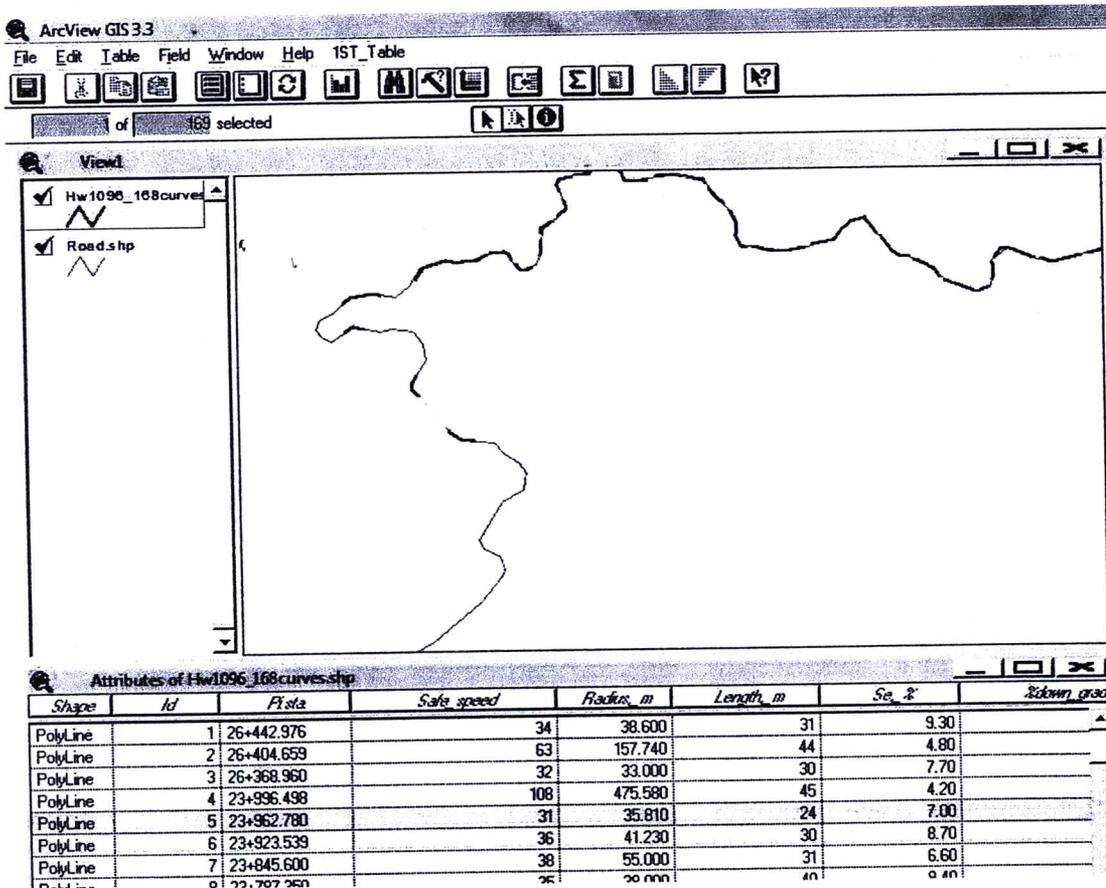
รูป 4.7-1 ไฟล์ฐานข้อมูลความเร็วปลอดภัยสำหรับแสดงผลในโปรแกรม ArcView3.3

ขั้นตอนที่ 2 หลังจากดับเบิลคลิกไฟล์ดังรูป 4.7-1 แล้ว ก็จะเข้าสู่โปรแกรม ArcView3.3 ได้โดยอัตโนมัติดังแสดงในรูป 4.7-2



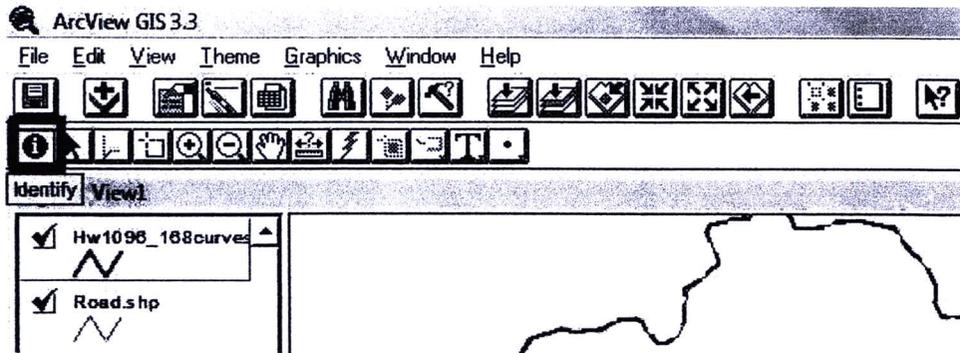
รูป 4.7-2 ไฟล์ฐานข้อมูลความเร็วปลอดภัยที่แสดงผลในโปรแกรม ArcView3.3 ได้โดยอัตโนมัติ

ซึ่งสามารถเลือกโค้งที่ต้องการดูรายละเอียดโค้งนั้นๆ จากตารางในตัวโปรแกรมได้ (จากตัวอย่างตารางชื่อ Attributes of Hw1096_168curves) โดยขณะที่คลิกเลือกข้อมูลโค้งใดๆ ก็จะมีปรากฏโค้งที่มีการสร้างไว้แล้วเป็นแถบสีเหลือง จากตัวอย่างทดลองเลือกโค้งที่ 5 (*Id* 5) ดังแสดงในรูป 4.7-3



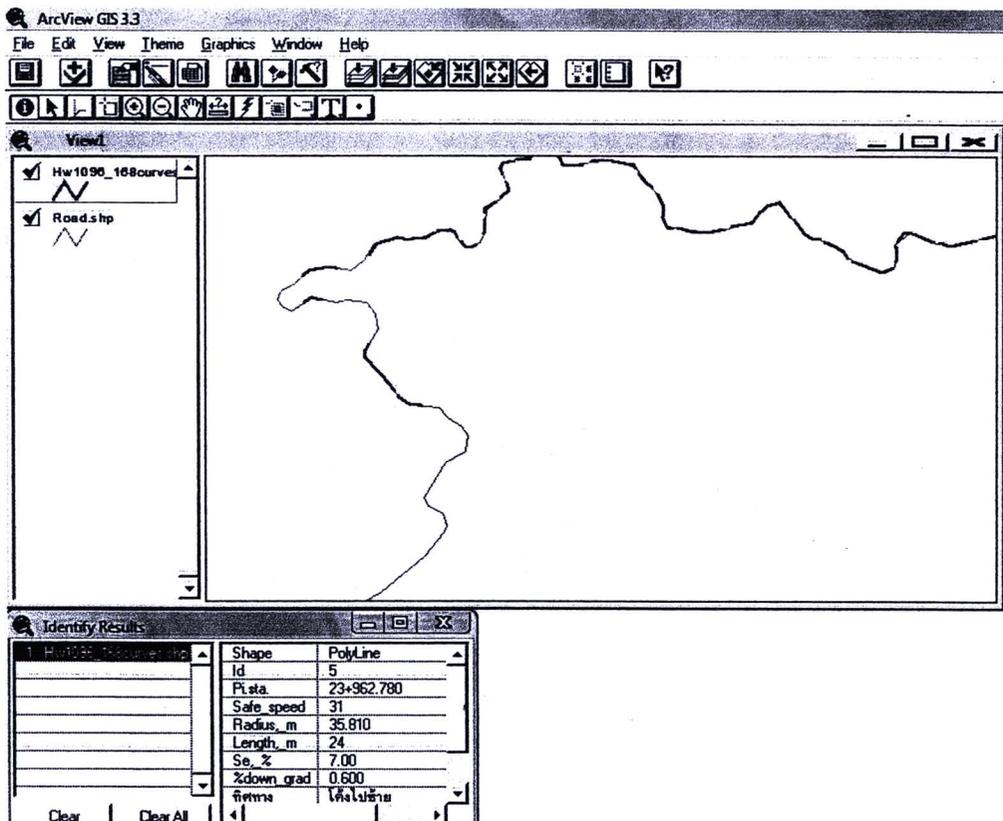
รูป 4.7-3 แสดงรายละเอียดโค้งที่เลือกจากตารางข้อมูล ซึ่งจะปรากฏตำแหน่งโค้งในแผนที่

ขั้นตอนที่ 3 ถ้าหากต้องการเลือกดูข้อมูลโค้งโดยเฉพาะเจาะจงจากในแผนที่ (View1) สามารถทำได้โดยการเลือกคำสั่งจากเครื่องมือในตัวโปรแกรมชื่อ Identify ดังแสดงในรูป 4.7-4 (คำสั่งที่อยู่ในกรอบสี่เหลี่ยมสีแดง)



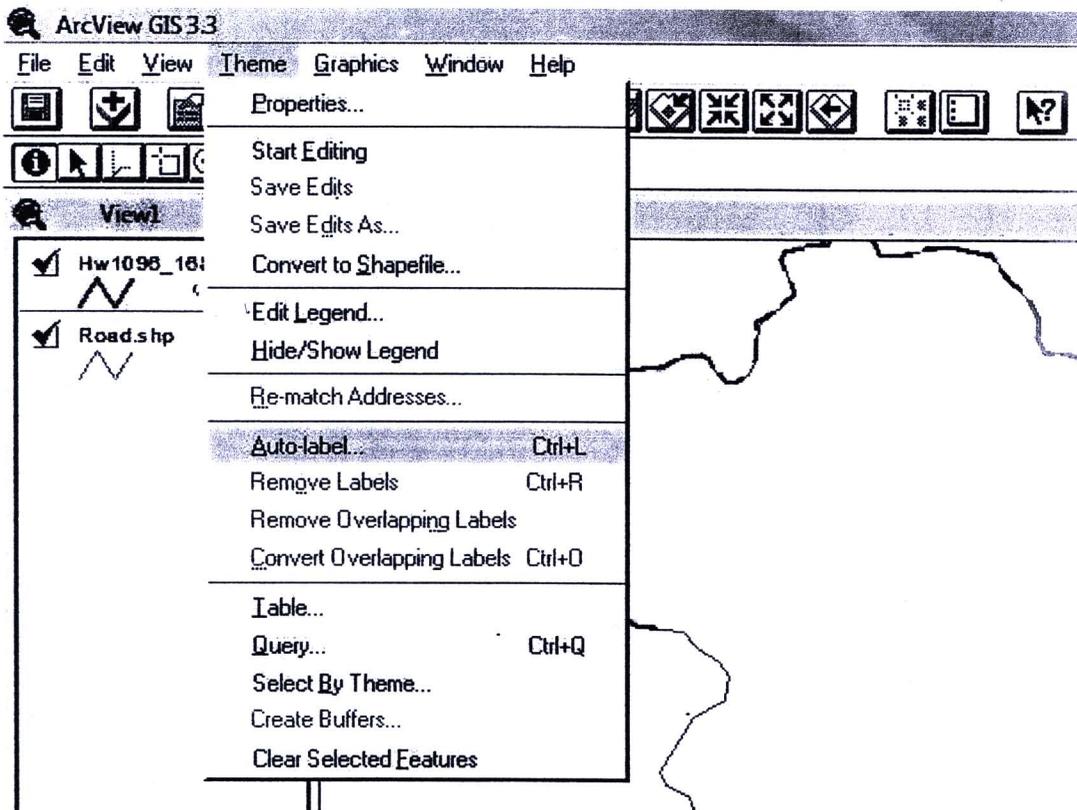
รูป 4.7-4 คำสั่งเพื่อใช้เรียกดูข้อมูลของโค้งใดโค้งหนึ่งจากรูปในแผนที่ (View1)

หลังจากทำการเลือกเครื่องมือที่ชื่อ Identify แล้วเมื่อคลิกไปที่โค้งที่ต้องการดูข้อมูล ก็จะปรากฏตารางข้อมูล โดยเฉพาะ โค้งนั้นได้ ดังแสดงในรูป 4.7-5 โค้งในแผนที่ที่ทำการเลือกจะมีแถบเป็นสีน้ำเงิน



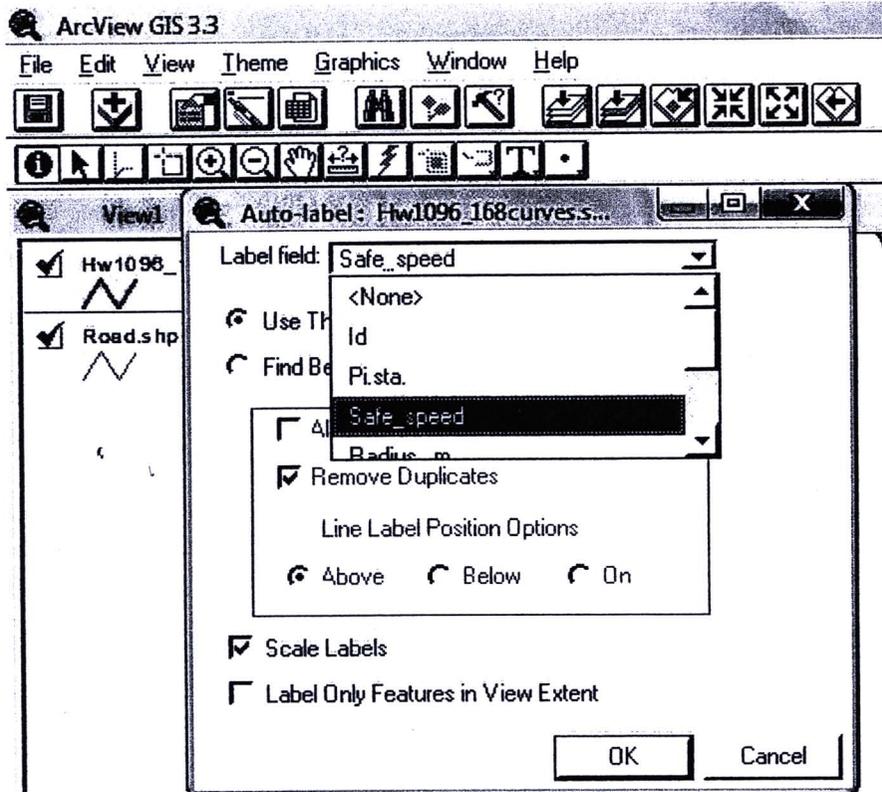
รูป 4.7-5 แสดงรายละเอียดเฉพาะ โค้งที่ทำการเลือกจากแผนที่

ขั้นตอนที่ 4 ถ้าหากต้องการให้ข้อมูลใดข้อมูลหนึ่งจากรายแสดงผลบนโค้งในแผนที่ทั้งหมด 168 โค้ง สามารถทำได้โดยการใช้คำสั่ง Theme แล้วเลือกคำสั่ง Auto-label... ดังแสดงในรูป 4.7-6

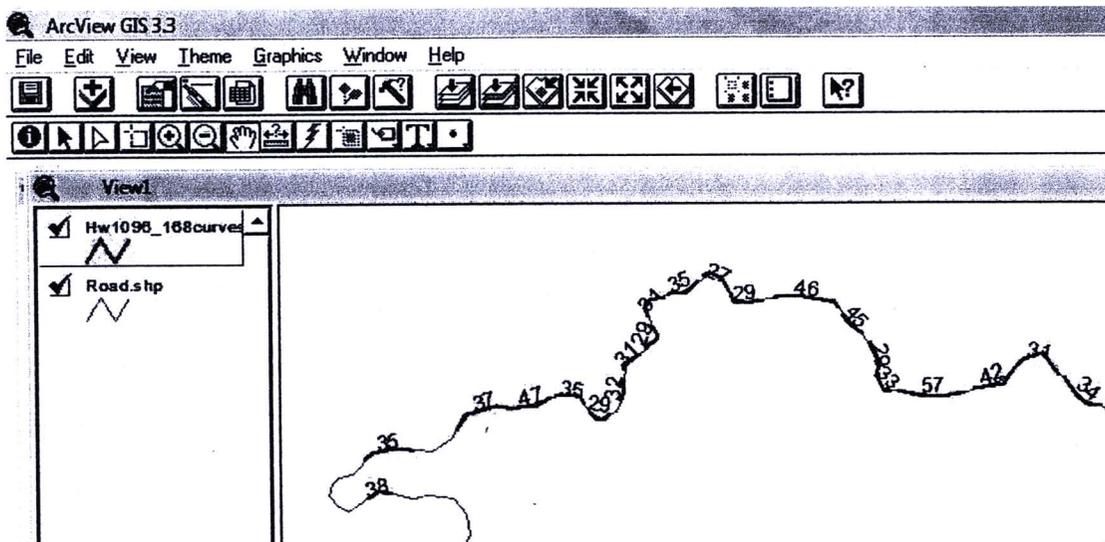


รูป 4.7-6 คำสั่งแสดงข้อมูลจากรายให้ปรากฏบนแผนที่ทั้งหมด 168 โค้ง

จากนั้นให้ทำการเลือกข้อมูลจากรายที่ต้องการแสดงผลบนโค้ง (โปรแกรมนี้สามารถแสดงข้อมูลได้เพียงคอลัมน์เดียวเท่านั้น) ในตัวอย่างนี้ได้เลือกแสดงข้อมูลความเร็วปลอดภัย (Safe speed) บนโค้งในแผนที่ทั้งหมด 168 โค้ง ดังแสดงในรูป 4.7-7 จากนั้นคลิกคำสั่ง OK จะปรากฏข้อมูลความเร็วปลอดภัย (Safe speed) แสดงอยู่บนโค้งในแผนที่ทั้งหมด 168 ดังแสดงในรูป 4.7-8



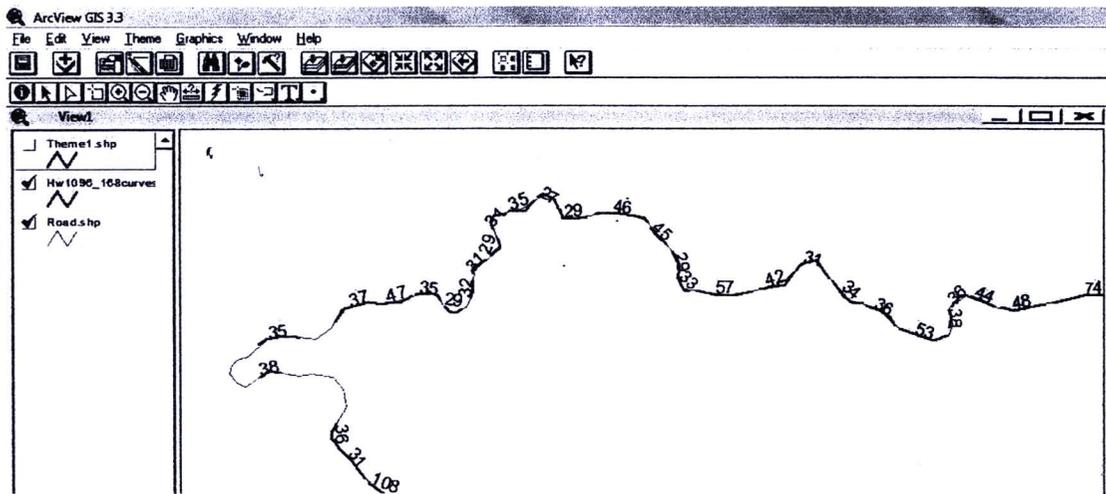
รูป 4.7-7 คำสั่งในการเลือกข้อมูลจากตารางที่ต้องการแสดงผลบนโค้งทั้ง 168 โค้ง



รูป 4.7-8 แสดงข้อมูลความเร็วปลอดภัย (Safe speed) บน โค้งในแผนที่ทั้งหมด 168 โค้ง

4.8 การปรับปรุงแผนที่แสดงผลความเร็วปลอดภัยสำหรับรถโดยสารสองชั้นตลอดเส้นทางสาย แมริม – สะเมิง

จากผลการพัฒนาแผนที่แสดงผลความเร็วปลอดภัย ในหัวข้อ 4.6 ซึ่งทำให้ได้ความเร็วปลอดภัยสำหรับรถโดยสารสองชั้นที่แตกต่างกันในแต่ละโค้ง ซึ่งมีจำนวนรวมทั้งหมด 168 โค้งดังแสดงในรูป 4.8-1



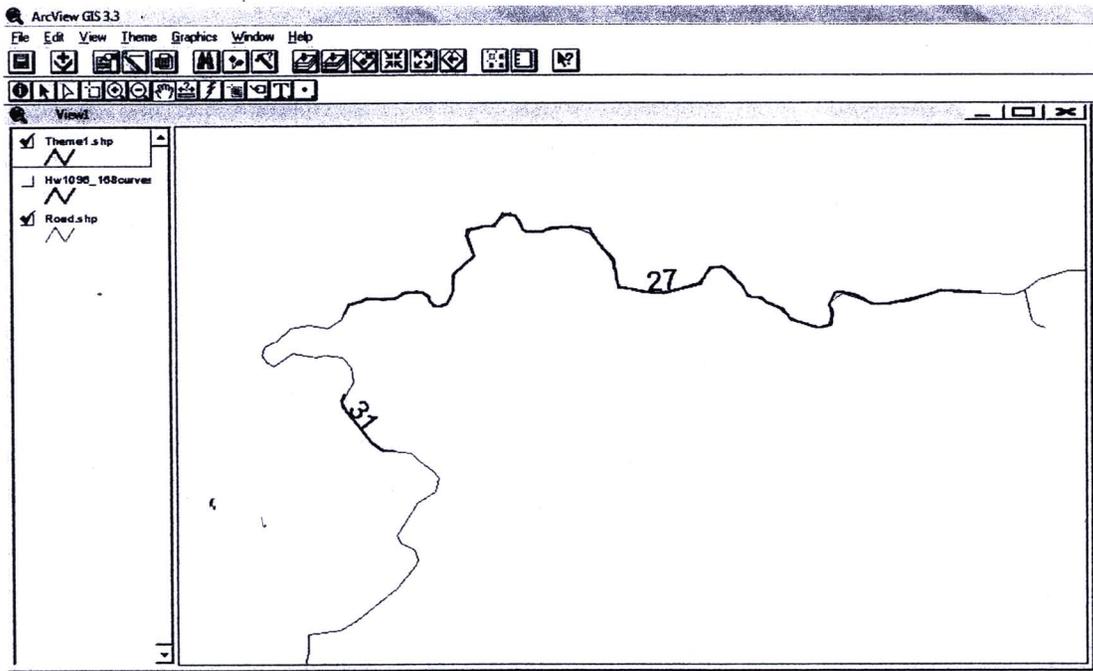
รูป 4.8-1 แผนที่แสดงผลความเร็วปลอดภัยสำหรับรถโดยสารสองชั้นตลอดเส้นทางสายแมริม – สะเมิง ทั้ง 168 โค้ง

การเรียกดูข้อมูลความเร็วปลอดภัยในหัวข้อนี้มีลักษณะขั้นตอนเดียวกับการเรียกดูฐานข้อมูลใน หัวข้อ 4.7.1 และจากรูป 4.8-1 จะพบว่าความเร็วปลอดภัยที่แสดงผลในแต่ละโค้งนั้นมีความเร็วปลอดภัยหลายค่า (เส้นสีแดง) และยากต่อการนำไปประยุกต์ใช้เป็นมาตรการอย่างเช่น การออกแบบเครื่องหมายควบคุมจราจรเพื่อกำหนดความเร็วแนะนำบน โค้งจริง เป็นต้น ดังนั้นจึงทำการปรับปรุงความเร็วปลอดภัยใหม่ โดยในช่วงที่เป็นทางโค้งและลงเนินติดต่อกันหลายโค้งได้ทำการปรับปรุงโดยการเลือกความเร็วปลอดภัยที่มีค่าต่ำสุดมาใช้เป็นความเร็วปลอดภัยครอบคลุมเป็นช่วงๆ และทำการตัดโค้งเดียวที่ไม่ต่อเนื่องกับโค้งอื่นๆและมีรัศมีโค้งมากซึ่งไม่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุของขบวน ทำให้ได้ความเร็วปลอดภัยใหม่ครอบคลุมในแต่ละช่วง ซึ่งแบ่งได้เป็น 11 ช่วงดังแสดงในตาราง 4.43

ตาราง 4.43 ความเร็วปลอดภัยสำหรับรถโดยสารสองชั้นหลังจากปรับปรุงให้เป็นช่วงครอบคลุม
ตลอดเส้นทางสายแม่ริม – สะเมิง

ช่วงที่	ตั้งแต่ PISTA. ถึง PISTA.	ความเร็วปลอดภัย, กิโลเมตร/ชั่วโมง
1	26+442.976 ถึง 26+368.960	32
2	23+996.498 ถึง 23+923.539	31
3	23+567.110 ถึง 21+091.740	27
4	20+545.120 ถึง 18+218.574	18
5	17+717.960 ถึง 17+440.145	36
6	16+783.920 ถึง 16+338.100	34
7	15+947.920 ถึง 15+024.000	46
8	14+457.072 ถึง 12+831.870	34
9	12+460.180 ถึง 9+287.440	31
10	8+835.827 ถึง 5+325.052	25
11	3+686.001 ถึง 2+627.990	42

หลังจากได้ความเร็วปลอดภัยใหม่ดังข้อมูลในตาราง 4.43 แล้ว จึงนำข้อมูลทั้งหมดมาพล็อตบนแผนที่แสดงผลความเร็วปลอดภัยในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS) โดยอาศัยโปรแกรม ArcViewGIS3.3 ในการแสดงผลความเร็วปลอดภัยสำหรับรถโดยสารสองชั้นตลอดเส้นทางสายแม่ริม – สะเมิง ซึ่งแสดงความเร็วปลอดภัยเป็นช่วง (เส้นสีเขียว) ดังแสดงในรูป 4.8-2



รูป 4.8-2 แผนที่แสดงผลความเร็วปลอดภัยสำหรับรถโดยสารสองชั้นตลอดเส้นทางสายแม่ริม – สะเมิง โดยแบ่งความเร็วปลอดภัยครอบคลุมเป็นช่วง