



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

ปริญญา

วิศวกรรมโยธา

วิศวกรรมโยธา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาและพัฒนาโปรแกรมตรวจสอบการออกแบบทางเรขาคณิตสำหรับ
ทางแยกต่างระดับ

A Study and Development of Interchange Geometric Design Checking Program

นามผู้วิจัย นายสรวิทย์ ศรีเพ็ญจันทร์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์วัชรินทร์ วิทยกุล, M.Eng.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ดิบุญ เมธากุลชาติ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ก่อโชค จันทรวงกูร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงสิงห์ ม.เกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาและพัฒนาโปรแกรมตรวจสอบการออกแบบทางเรขาคณิตสำหรับทางแยกต่างระดับ

A Study and Development of Interchange Geometric Design Checking Program

โดย

นายสรารุติ ศรีเพียงจันทร์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สราวุฒิ ศรีเพียงจันทร์ 2553: การศึกษาและพัฒนาโปรแกรมตรวจสอบการออกแบบ
ทางเรขาคณิตสำหรับทางแยกต่างระดับ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
(วิศวกรรมโยธา) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์วัชรินทร์ วิทย์กุล, M.Eng.
134 หน้า

ความมุ่งหมายของงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการตรวจสอบการออกแบบทางเรขาคณิตสำหรับทางแยกต่างระดับ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดความรวดเร็วและความถูกต้องในการออกแบบและลดค่าใช้จ่ายจากการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปซึ่งมีราคาแพง อีกทั้งวิศวกรที่ไม่มีประสบการณ์ในการออกแบบด้านวิศวกรรมงานทางก็สามารถใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มทักษะหรือเป็นผู้ช่วยวิศวกรอาวุโสในการออกแบบได้ งานวิจัยนี้ได้นำมาตรฐานของกรมทางหลวงและมาตรฐานของ AASHTO มาใช้ในการอ้างอิง สำหรับการพัฒนาโปรแกรมนั้นได้แบ่งตัวโปรแกรมออกเป็น 5 ส่วนหลัก คือ การตรวจสอบการออกแบบทางเรขาคณิตโค้งทางราบ โค้งทางตั้ง การตรวจสอบค่าระดับยกโค้ง การตรวจสอบทางร่วมทางแยก และการตรวจสอบระยะช่องว่างตามแนวดิ่ง

ในการคำนวณเพื่อตรวจสอบการออกแบบทางแยกต่างระดับนั้นมีรูปแบบที่ซับซ้อนและมีลักษณะเป็นการวนซ้ำจึงเหมาะสมอย่างยิ่งกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นมา ซึ่งสามารถลดโอกาสในการผิดพลาดและเพิ่มความรวดเร็วในการตรวจสอบการออกแบบทางแยกต่างระดับ

Saravut Sripiangchan 2010: A Study and Development of Interchange Geometric Design Checking Program. Master of Engineering (Civil Engineering), Major Field: Civil Engineering, Department of Civil Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Watcharin Witayakul, M.Eng. 134 pages.

The purpose of this research is to study and develop a computer program for checking interchange geometric design. The objective of this program is providing fast and accurate results and lower expense when comparing to commercial software in the market. Any engineer who has no experience in the highway design will have an opportunity to gain knowledge in the design or assist senior engineers. The DOH and AASHTO standards are used to be reference. The computer programs developed consist of 5 parts; Horizontal alignment design checking, Vertical alignment design checking, Super elevation design checking, Merging-Diverging checking and Vertical Clearance checking.

The developed program is thus suitable for design checking that involve complication and repetitive computations which inhere to the nature of the interchanges.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ.วัชรินทร์ วิทยกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ รศ.ดร.ดิบุญ เมธากุลชาติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ และ คำปรึกษา อันเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัยงานวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ตลอดจนทำการตรวจสอบและ แก้ไขวิทยานิพนธ์จนแล้วเสร็จด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณศิริประภา รติวัฒน์ ในการให้ข้อมูลทางแยกต่างระดับเพื่อนำมาใช้ในการ ปรับแก้โปรแกรมการตรวจสอบการออกแบบด้านงานทางในครั้งนี้ ให้แล้วเสร็จสมบูรณ์ และใช้ งานได้จริงตามที่ตั้งใจไว้

ท้ายที่สุด ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่เป็นกำลังใจและสนับสนุน ทุนการศึกษาเสมอมา รวมถึง พี่ น้องและเพื่อนๆ ที่ได้ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือมาโดย ตลอด จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จสมบูรณ์ด้วยดี

ประโยชน์อันเนื่องมาจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่ คุณพ่อ คุณแม่ และคณาจารย์ทุก ท่านที่ได้เมตตาอบรมสั่งสอนให้มีความรู้จนถึงปัจจุบัน

สราวุฒิ ศรีเพียงจันทร์

กรกฎาคม 2553

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	59
ผลการดำเนินงาน	85
สรุปและข้อเสนอแนะ	95
สรุป	95
ข้อเสนอแนะ	96
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	97
ภาคผนวก	99
ภาคผนวก ก การคำนวณหาอัตราการยกขอบถนนด้วยวิธี Method 5 Procedures	100
ภาคผนวก ข ข้อมูลทางแยกต่างระดับสำหรับการทดสอบโปรแกรม	104
ภาคผนวก ค คู่มือการใช้งานโปรแกรมตรวจสอบการออกแบบทางเรขาคณิต สำหรับทางแยกต่างระดับ	117
ภาคผนวก ง รายละเอียดทางแยกต่างระดับนครปฐมตะวันตก	130
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	134

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ความสามารถรองรับปริมาณจราจรของช่องทางต่อเชื่อม	28
2	ค่าความเร็วแนะนำที่ใช้ในการออกแบบช่องทางต่อเชื่อม	29
3	มาตรฐานการออกแบบด้านเรขาคณิตสำหรับทางแยกต่างระดับ	30
4	มาตรฐานการออกแบบด้านเรขาคณิตของทางหลวงพิเศษในเมือง	31
5	มาตรฐานการออกแบบด้านเรขาคณิตของทางหลวงพิเศษนอกเมือง	32
6	สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานด้านข้าง (Coefficient of Sideway Friction)	35
7	รัศมีโค้งวงกลมที่ความเร็วต่างๆ	36
8	ระยะหยุดรถปลอดภัยบนโค้งคว่ำ	54
9	ระยะหยุดรถปลอดภัยบนโค้งหงาย	56
10	ปัจจัยที่ใช้ในการตรวจสอบการออกแบบทางแยกต่างระดับด้านงานทาง	63
11	มาตรฐานที่ใช้ในการตรวจสอบ	66
12	ความสามารถรองรับปริมาณจราจรของช่องทางต่อเชื่อม	67
13	มาตรฐานการออกแบบด้านเรขาคณิตสำหรับทางแยกต่างระดับ	67
14	มาตรฐานการออกแบบด้านเรขาคณิตของทางหลวงพิเศษในเมือง	69
15	มาตรฐานการออกแบบด้านเรขาคณิตของทางหลวงพิเศษนอกเมือง	70
16	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วออกแบบกับการยกขอบถนน ของถนนขนาด 2 ช่องจราจร	73
17	ระยะหยุดรถปลอดภัยบนโค้งคว่ำ	77
18	ระยะหยุดรถปลอดภัยบนโค้งหงาย	78

ตารางผนวกที่

ข1	ข้อมูลโค้งทางราบของทางแยกต่างระดับกับทางหลวงหมายเลข 321 สำหรับ ใช้ในการทดสอบโปรแกรม	105
ข2	ข้อมูลโค้งทางโค้งของทางแยกต่างระดับกับทางหลวงหมายเลข 321 สำหรับ ใช้ในการทดสอบโปรแกรม	107

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ข3 ข้อมูลที่นำเข้าของทางแยกต่างระดับกับทางหลวงหมายเลข 321 เพื่อตรวจสอบ ค่าระดับและการยกขอบถนนบริเวณทางเชื่อม/ทางแยก	109
ข4 ข้อมูลที่นำเข้าของทางแยกต่างระดับกับทางหลวงหมายเลข 321 เพื่อตรวจสอบ ช่องลอดค้ำตั้ง	110
ข5 ข้อมูลโค้งทางราบของทางแยกต่างระดับกับมอเตอร์เวย์สาย 81 สำหรับใช้ ในการทดสอบโปรแกรม	111
ข6 ข้อมูลโค้งทางโค้งของทางแยกต่างระดับกับมอเตอร์เวย์สาย 81 สำหรับใช้ ในการทดสอบโปรแกรม	113
ข7 ข้อมูลที่นำเข้าของทางแยกต่างระดับกับมอเตอร์เวย์สาย 81 เพื่อตรวจสอบ ค่าระดับและการยกขอบถนนบริเวณทางเชื่อม/ทางแยก	115
ข8 ข้อมูลที่นำเข้าของทางแยกต่างระดับกับมอเตอร์เวย์สาย 81 เพื่อตรวจสอบ ช่องลอดค้ำตั้ง	116

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ส่วนประกอบของทางแยกต่างระดับ	6
2	ทางแยกต่างระดับ Trumpet type ที่มีช่องทางต่อเชื่อม (Loop Ramp)	8
3	ทางแยกต่างระดับ Trumpet type ที่ไม่มีช่องทางต่อเชื่อม	9
4	ทางแยกต่างระดับ Y - Type	10
5	ทางแยกต่างระดับ Diamond Interchange	11
6	ทางแยกต่างระดับ Partial Cloverleaf Interchange	12
7	ทางแยกต่างระดับ Cloverleaf Interchange	12
8	ทางแยกต่างระดับ Semi-Directional and Directional Interchange	13
9	ความคล้ายคลึงกันของรูปแบบ	16
10	ความต่อเนื่องของแนวเส้นทาง	17
11	การสมดุลช่องจราจร	19
12	รูปแบบการใช้ช่องจราจรเสริมพิเศษ	20
13	การใช้ช่องจราจรเสริมพิเศษเพื่อการสมดุลช่องจราจรและ จำนวนช่องจราจรพื้นฐาน	21
14	การตัดสลับของกระแสจราจร	23
15	ความยาวช่วงการตัดสลับกระแสจราจรแนะนำโดย HCM	24
16	ความยาวช่วงการตัดสลับกระแสจราจรแนะนำโดย AASHTO	25
17	ความกว้างช่องจราจรและไหล่ทางโครงสร้างต่างระดับ (แนะนำ)	26
18	ส่วนประกอบของโค้งกั้นหอย	37
19	ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวโค้งกั้นหอยกับการยกขอบถนน	40
20	ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีโค้งทางราบกับการยกขอบถนน ที่การยกขอบถนนสูงสุด 4%	42
21	ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีโค้งทางราบกับการยกขอบถนน ที่การยกขอบถนนสูงสุด 6%	43

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีโค้งทางราบกับการยกขอบถนน ที่การยกขอบถนนสูงสุด 8%	44
23	ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีโค้งทางราบกับการยกขอบถนน ที่การยกขอบถนนสูงสุด 10%	45
24	ระยะการมองเห็นปลอดภัย	47
25	องค์ประกอบของ Trumpet Interchange	48
26	องค์ประกอบของ Diamond Interchange	49
27	องค์ประกอบของ Partial Cloverleaf Interchange	49
28	องค์ประกอบของ Semi Cloverleaf Interchange	50
29	องค์ประกอบของ Full Cloverleaf Interchange	50
30	ลักษณะของโค้งแนวดิ่ง	51
31	โค้งแนวดิ่งแบบสมมาตรและไม่สมมาตร	52
32	ระยะมองเห็นบนโค้งคว่ำ	53
33	ระยะมองเห็นบนโค้งหงาย	55
34	ขั้นตอนดำเนินงาน	62
35	ความยาวของช่องจราจรสำหรับการเร่งความเร็ว (Acceleration Length)	75
36	ความยาวของช่องจราจรสำหรับการลดความเร็ว (Deceleration Length)	75
37	ข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบ	79
38	รูปแบบทางหลวง ช่วง บางใหญ่ – บ้านโป่ง	81
39	รูปแบบทางหลวง ช่วงบ้านโป่ง – กาญจนบุรี	82
40	รูปแบบทางหลวงที่มีทางบริการชุมชน (Service Road)	82
41	ตำแหน่งทางเข้าออก	83
42	รูปแบบของ “Input Horizontal Data”	85
43	รูปแบบของ “Input Vertical Data”	86
44	รูปแบบของ “Input Merging Data”	86
45	รูปแบบของ “Input Vertical Clearance Data”	87

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
46	รูปแบบของ ‘Superelevation Checking’	87
47	รูปแบบของ หน้าต่าง “Total Output”	88
48	รูปแบบของ ‘Output Merging / Diverging’	89
49	รูปแบบของ ‘Output Vertical Clearance’	89
50	รูปแบบของ ‘Geometric Cross section to Ramp’	90
51	รูปแบบของ ‘Design Standard for Ramp’	91
52	รูปแบบของ ‘Auxiliary Length’	91
53	ผลการตรวจสอบตัวแปรด้านงานทางทั้งหมด	93
54	ผลการตรวจสอบค่าระดับและการยกขอบถนน ณ จุดวิกฤต	93
55	ผลการตรวจสอบค่า ณ จุดลอด / จุดข้าม	94
ภาพผนวกที่		
ค1	หน้าต่างหลักของโปรแกรมตรวจสอบการออกแบบทางเรขาคณิตสำหรับแยกต่างระดับ	119
ค2	การนำเข้าข้อมูลปริมาณจราจรและ รูปตัดตามขวาง	119
ค3	การตรวจสอบโค้งทางราบ	120
ค4	หน้าต่างโปรแกรมคำนวณค่า Superelevation ที่น้อยที่สุดที่โค้งยอมรับได้ (Min e%) และค่าความยาวโค้งกั้นหยอที่อย่างน้อยที่สุดที่ยอมรับได้ (Min A)	121
ค5	การนำเข้าข้อมูลความยาวของช่องจราจรเสริมพิเศษ, ความยาวของช่วงผายออกและ/หรือลู่อื่น, ความยาวของการสลับกระแสจราจร	122
ค6	การนำเข้าข้อมูลโค้งแนวตั้งของทางแยกต่างระดับ	123
ค7	การตรวจสอบความถูกต้องของการออกแบบค่าระดับและการยกขอบถนน บริเวณทางเชื่อม/ทางแยก	124
ค8	ระยะในการตรวจสอบความสอดคล้องของค่าระดับและการยกขอบถนน บริเวณจุดเชื่อม/แยก	125

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ค9 การตรวจสอบความสูงของช่องลอดคานตั้ง (Vertical Clearance)	126
ค10 การตรวจสอบช่องลอดคานตั้ง	127
ค11 แสดงหน้าต่างผลการตรวจสอบข้อมูลการออกแบบทางเรขาคณิตทั้ง 12 ปีจชัย	128
ค12 หน้าต่างผลการตรวจสอบค่าระดับ ณ จุดวิกฤต	128
ค13 หน้าต่างผลการตรวจสอบค่าระดับ ณ จุดทางร่วม/ทางแยก	129
ง1 General Layout 1	131
ง2 General Layout 2	131
ง3 Setting Out Data 1 ของแต่ละ Ramp	132
ง4 Setting Out Data 2 ของแต่ละ Ramp	132
ง5 แบบแสดงภาพตัดด้านขวาง 1	133
ง6 แบบแสดงภาพตัดด้านขวาง 2	133

การศึกษาและพัฒนาโปรแกรมตรวจสอบการออกแบบทางเรขาคณิต สำหรับทางแยกต่างระดับ

A Study and Development of Interchange Geometric Design Checking Program

คำนำ

ในปัจจุบันการนำเทคโนโลยีเข้ามาใช้งานในอุตสาหกรรมการก่อสร้างได้มีบทบาทมาก อันเนื่องมาจากสถานะการแข่งขันทางธุรกิจที่สูงมากขึ้น ประกอบกับการใช้เทคนิคในการก่อสร้างที่ทันสมัย ส่งผลทำให้บริษัทหรือองค์กรที่มีความพร้อมทางด้านเทคโนโลยีมากกว่าจะมีแนวโน้มสามารถครอบครองส่วนแบ่งทางการตลาดได้สูงขึ้น โดยเฉพาะธุรกิจทางด้านที่ปรึกษาด้านวิศวกรรมซึ่งเป็นองค์กรที่ดำเนินธุรกิจในการให้บริการด้านการศึกษา ออกแบบ ควบคุมงานก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานระบบคมนาคมขนส่งให้กับหน่วยงานเอกชนและราชการ ที่มีการแข่งขันกันสูงในด้านการให้บริการที่มีความรวดเร็วเพื่อให้บรรลุจุดประสงค์ของเจ้าของโครงการ ทำให้การพัฒนาเทคโนโลยีภายในองค์กรเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อให้องค์กรสามารถแข่งขันในอุตสาหกรรมก่อสร้างต่อไปได้

วิธีหนึ่งที่ช่วยลดระยะเวลาในการออกแบบด้านวิศวกรรมงานทางคือ การพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อช่วยในการออกแบบ ซึ่งปัจจุบันมีบริษัทที่ดำเนินธุรกิจด้านนี้โดยตรงหลายบริษัท มีการผลิตโปรแกรมสำเร็จรูปเข้ามาช่วยในการออกแบบมากมายหลายโปรแกรม อาทิเช่น โปรแกรม NOVACAD, Softdeck, Land Development เป็นต้น ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ช่วยลดเวลาในการออกแบบได้จริงแต่จะมีราคาแพงมาก และต้องมีการปรับปรุงเวอร์ชันของโปรแกรมตลอดเวลาเพื่อตามให้ทันเทคโนโลยี นอกจากนี้วิธีการใช้โปรแกรมจะมีความเป็นลักษณะเฉพาะ ไม่ยืดหยุ่นต่อการใช้งาน

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นพัฒนาโปรแกรมสำหรับตรวจสอบการออกแบบลักษณะทางเรขาคณิตหลักๆ ของทางแยกต่างระดับ ให้เป็นไปตามมาตรฐานกรมทางหลวงและมาตรฐานอื่นๆที่เกี่ยวข้อง เพื่อช่วยในการออกแบบที่รวดเร็วและถูกต้อง นอกจากนี้จะสามารถใช้เป็นเครื่องมือสำหรับวิศวกรโยธาที่ยังไม่มีประสบการณ์หรือวิศวกรที่มีประสบการณ์ 2-3 ปี สามารถทำหน้าที่แทนวิศวกรอาวุโสในการตรวจสอบการออกแบบด้านเรขาคณิตของทางแยกต่างระดับในเบื้องต้นได้ด้วย

วัตถุประสงค์

เป้าหมายหลักของการศึกษาในครั้งนี้คือ พัฒนาโปรแกรมเพื่อตรวจสอบการออกแบบทางเรขาคณิตด้านงานทางสำหรับทางแยกต่างระดับ โดยใช้ภาษา Visual Basic 2008 ในการพัฒนาโปรแกรม เพื่อให้วิศวกรงานทางใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบการออกแบบ โดยมีวัตถุประสงค์ของการศึกษาดังนี้

1. เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่ใช้ในการตรวจสอบทางเรขาคณิตด้านงานทางสำหรับทางแยกต่างระดับ
2. พัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับตรวจสอบการออกแบบทางเรขาคณิตของทางแยกต่างระดับ เพื่อเป็นเครื่องมือในการดำเนินงานด้านวิศวกรรมงานทางให้มีประสิทธิภาพและรวดเร็ว
3. จัดทำคู่มือสำหรับโปรแกรมการตรวจสอบการออกแบบทางเรขาคณิตของทางแยกต่างระดับ เพื่อเป็นองค์ความรู้ต่อวิศวกรทั่วไปและช่วยวิศวกรงานทางให้สามารถดำเนินการได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น

ขอบเขตการศึกษา

1. เป็นการตรวจสอบความครบถ้วน ถูกต้องของตัวแปรด้านงานทางในปัจจัยที่มีผลต่อรูปแบบทางแยกต่างระดับ ซึ่งประกอบด้วยการตรวจสอบรูปแบบทางกายภาพโดยรวม และการตรวจสอบค่าตัวแปรด้านงานทางต่างๆ ซึ่งได้ออกแบบไว้แล้ว ว่าถูกต้องตามมาตรฐานหรือไม่ โดยไม่รวมถึงการออกแบบหรือการปรับแก้รูปแบบทางแยกต่างระดับใหม่ให้ถูกต้อง
2. มาตรฐานที่ใช้ในการตรวจสอบ จะใช้มาตรฐานที่กรมทางหลวงยึดถือในการออกแบบเป็นหลัก เนื่องจากเป็นกรมทางหลวงนับเป็นหน่วยงานหลักที่รับผิดชอบในเรื่องการออกแบบทางแยกต่างระดับของประเทศไทยในปัจจุบัน
3. ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Visual Studio 2008 ซึ่งมีภาษา Visual C# 2008 เป็นภาษาพื้นฐานสำหรับการพัฒนาโปรแกรมสำหรับตรวจสอบค่าตัวแปรของการออกแบบด้านวิศวกรรมงานทางสำหรับทางแยกต่างระดับ

4. ตัวอย่างประกอบการศึกษาคือ ทางแยกต่างระดับนครปฐมตะวันตก (Nakhon Pathom West Interchange) ของโครงการก่อสร้างถนนต่อเชื่อม ถนนมอเตอร์เวย์ สาย 81 บางใหญ่ – กาญจนบุรี ของกรมทางหลวงชนบท



การตรวจเอกสาร

ทางแยกต่างระดับ

ความหมายของทางแยกต่างระดับ

กรมทางหลวง (2550) ได้อธิบายเรื่องทางแยกต่างระดับไว้ว่า ทางแยกต่างระดับเป็นระบบหนึ่งในการเชื่อมต่อถนน 2 สายหรือมากกว่า โดยมีการต่างระดับกันในแนวทางตั้งเพื่อขจัดจุดขัดแย้งแบบตัดกัน (Crossing Conflict) แต่ให้มีการเคลื่อนที่แบบรวมเข้า (Merging) แยกออก (Diverging) หรือตัดสลับ (Weaving) แทน ซึ่งในกรณีก่อสร้างเป็นสะพานลอยข้ามทางแยกหรืออุโมงค์ลอดทางแยกเพียงอย่างเดียวจะเรียกว่า ทางต่างระดับ (Grade Separation) แต่ในกรณีที่มีการก่อสร้างช่องทางต่อเชื่อม (Ramp) อย่างน้อยหนึ่งทิศทางจะเรียกว่า ทางแยกต่างระดับ (Interchanges)

รูปแบบพื้นฐานของทางแยกต่างระดับ

กรมทางหลวง (2550) กล่าวไว้ในเอกสารประกอบการสัมมนาวิชาการถึงการพิจารณาเลือกใช้ทางต่างระดับหรือรูปแบบต่างๆของทางแยกต่างระดับใดๆ ว่า จะต้องพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ ร่วมกันหลายปัจจัย ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะของโครงสร้างและการจัดเรียงแต่ละแบบนั้นจะมีลักษณะเฉพาะตัวของแต่ละรูปแบบ มีข้อดีข้อด้อยแตกต่างกัน ดังนั้นการพิจารณาว่ารูปแบบใดเหมาะสมมากที่สุดจึงควรพิจารณาถึงองค์ประกอบปัจจัยต่างๆ ดังนี้

- ประเภทชั้นทางหลวง
- ปริมาณและลักษณะของการจราจรในแต่ละทิศทางบริเวณทางแยก
- ลักษณะของการใช้งาน ซึ่งประกอบด้วย ความสะดวก, ความสบายในการขับขี่, ความปลอดภัยในการขับขี่ และความสามารถที่จะรองรับขบวนยานได้ (Capacity)
- ความเร็วออกแบบ
- ระดับการควบคุมการเข้าถึง (Degree of Access Control)

- ความสำคัญ / รูปแบบ / จำนวนขา / การจัดระเบียบของทางแยก
- รูปแบบของถนนและทางแยก ณ สภาพปัจจุบัน และรูปแบบการพัฒนาในอนาคต
- ลักษณะภูมิประเทศและลักษณะการพัฒนาดังพื้นที่ใกล้เคียง
- เขตทาง (Right of Way) ที่สามารถใช้ได้ และอาจต้องเวนคืน
- ราคาค่าก่อสร้าง ซึ่งรวมถึงราคาที่ดิน และค่าบำรุงรักษา

ทางแยกต่างระดับมีหลากหลายรูปแบบ ตั้งแต่มีช่องทางต่อเชื่อม (Ramp) เพียงตัวเดียว ไปจนถึงทางเลี้ยวที่สลับซับซ้อนเพื่อเชื่อมต่อถนน โดยมีการผสมผสานกันของรูปแบบพื้นฐานของทางแยกต่างระดับเพื่อให้มีความเหมาะสมตามสภาพพื้นที่และการใช้งานเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

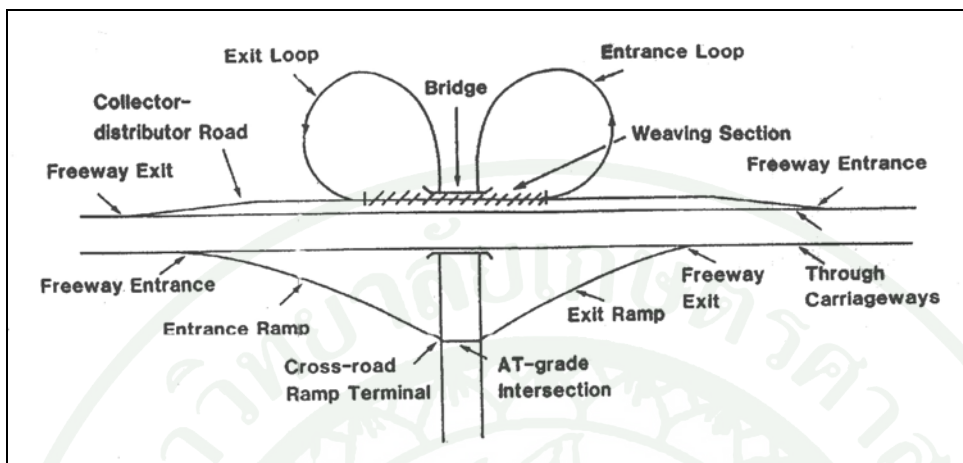
ระบบของทางแยกต่างระดับ

กรมทางหลวง (2550) จำแนกประเภทของทางแยกต่างระดับออกเป็น 2 ระบบคือ

1. ทางแยกต่างระดับแบบตามระบบ (System Interchanges) เป็นทางแยกต่างระดับที่เชื่อมเส้นทางระหว่างทางด่วน (Freeway) ด้วยกัน ทั้งนี้อาจพิจารณาออกแบบรูปแบบทางแยกต่างระดับให้เหมาะสมทั้งระบบกรณีที่จุดเชื่อมต่อเส้นทางทางด่วนหลายเส้นทางอยู่ใกล้กัน เนื่องจากทางแยกต่างระดับแต่ละจุดที่อยู่ใกล้กันจะส่งผลกระทบซึ่งกันและกันทั้งทางด้านความปลอดภัยและความสะดวกสบายในการขับขี่ ควรมีระยะการติดตั้งป้ายเตือนและแนะนำเส้นทางที่เหมาะสม ไม่ก่อให้เกิดความสับสนต่อผู้ขับขี่รถยนต์

2. ทางแยกต่างระดับแบบใช้งานเฉพาะ (Service Interchanges) เป็นทางแยกต่างระดับที่เชื่อมเส้นทางระหว่างทางด่วนกับถนนสายรองลงมา หรือพิจารณาเฉพาะตามลักษณะการใช้งานหรือการแก้ไขปัญหาเฉพาะจุด โดยระยะห่างระหว่างทางแยกต่างระดับ 2 จุด อยู่ห่างกันเพียงพอ ไม่ส่งผลกระทบซึ่งกันและกัน

ส่วนประกอบทั่วไปของทางแยกต่างระดับ (Elements of Interchange)



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของทางแยกต่างระดับ (Interchange Elements)

ที่มา: กรมทางหลวง (2550)

กรมทางหลวง (2550) อธิบายว่าทางแยกต่างระดับประกอบด้วย

1. โครงสร้างสะพานยกระดับ (Bridges)
2. ทางเลี้ยวสำหรับช่องทางต่อเชื่อมเข้า-ออก (Entrance and Exit Ramp)
 - ช่องทางต่อเชื่อมทแยงมุม (Diagonal Ramp) สำหรับการจราจรเลี้ยวซ้าย
 - ช่องทางต่อเชื่อมวน (Loop Ramp) สำหรับการจราจรเลี้ยวขวา
 - ช่องทางต่อเชื่อมกึ่งตรงและโดยตรง (Semi-directional and Directional Ramp) สำหรับการจราจรเลี้ยวขวา

3. ถนนรวมและกระจายจราจร (Collector-Distributor Road) เป็นถนนที่เสริมด้านข้างของถนนสายหลัก เพื่อไม่ให้รถที่เลี้ยวขวาจากทางรองและรถที่ต้องการเลี้ยวขวาจากทางหลักไปรบกวนกระแสจราจรบนทางตรง ซึ่งเป็นการลดการตัดสลับของกระแสจราจรออกไป

4. ช่วงการตัดสลับของกระแสจราจร (Weaving Section) เป็นช่วงที่มีการตัดสลับกันของกระแสจราจรซึ่งจะพบเห็นได้สำหรับกรณีมีทางเลี้ยวแบบวนติดต่อกัน

5. จุดตัดระดับพื้น (At-Grade Intersection) ในบางรูปแบบของทางแยกต่างระดับ จำเป็นต้องมีจุดตัดทางแยกระดับพื้น

รูปแบบทางแยกต่างระดับ

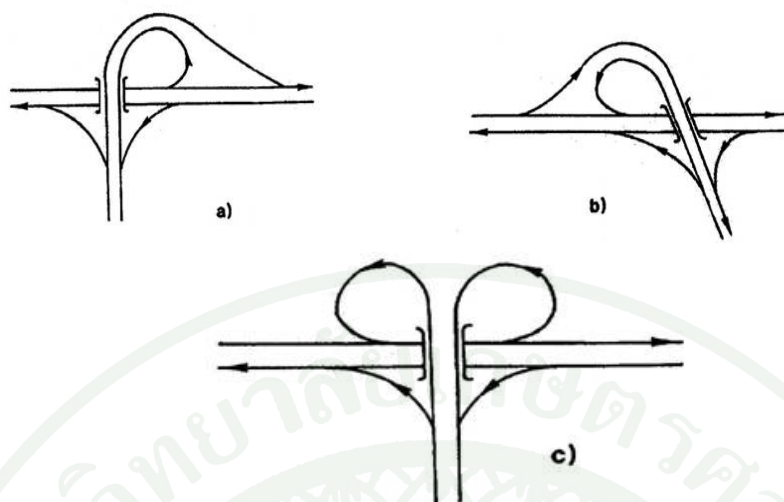
กรมทางหลวง (2550) ได้รวบรวมและสรุปรูปแบบพื้นฐานของทางแยกต่างระดับ ไว้ดังนี้

1. Trumpet Type และ Y Type (T and Y Interchange)

เป็นรูปแบบทางแยกต่างระดับสำหรับสามแยกที่ตัดกันในลักษณะตั้งฉาก (T-type) หรือมุมเฉียงกัน (Y-type) ประกอบด้วยทางต่างระดับชั้นเดียวหรือมากกว่า โดยที่ช่องทางเดินรถในทิศทางต่างๆมักจะออกแบบเป็นเดินรถทางเดียว (One Way) รูปแบบของทางแยกต่างระดับสำหรับสามแยกสามารถแบ่งเป็นกลุ่มได้ดังนี้

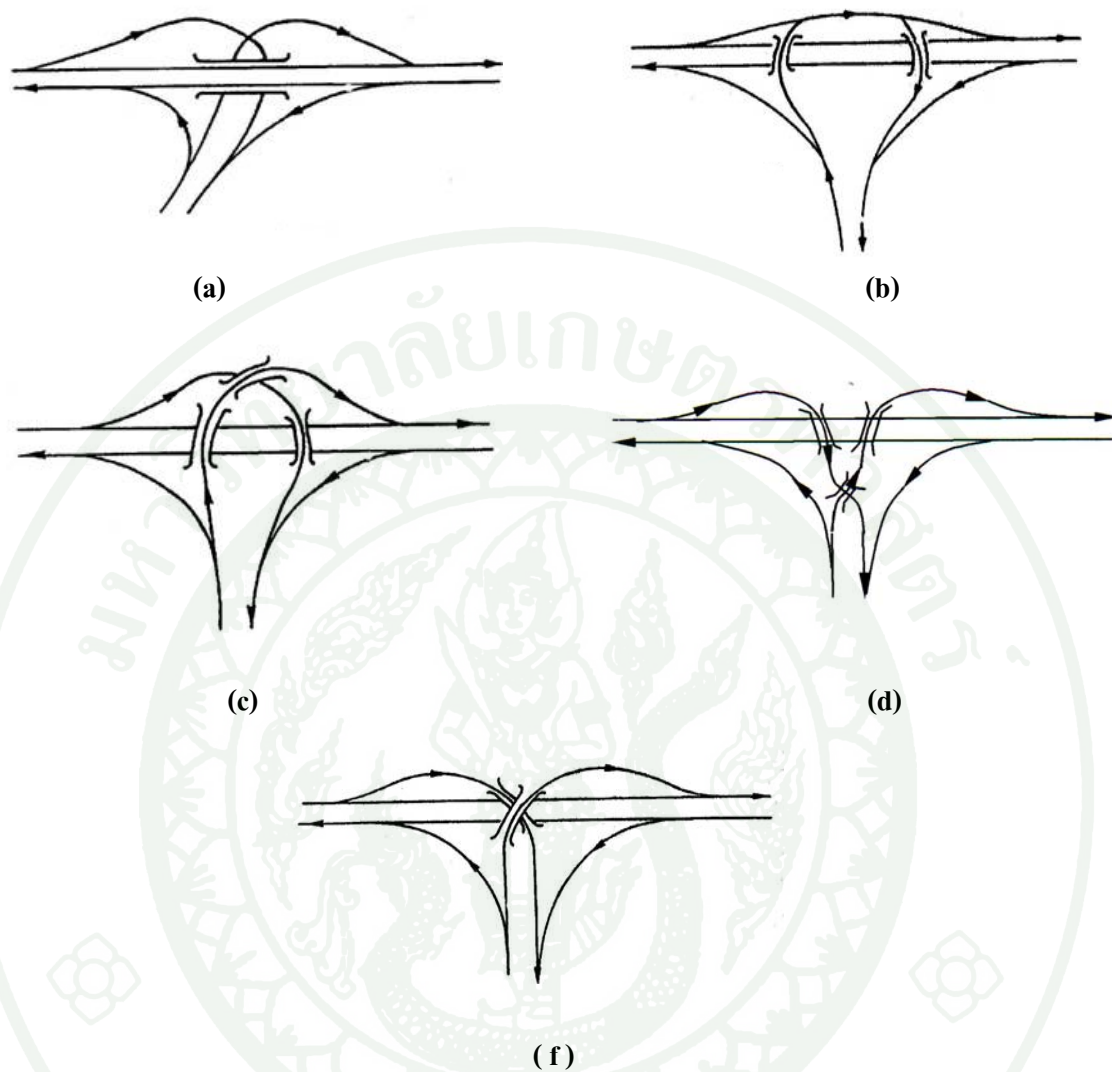
1.1 รูปแบบทางแยกต่างระดับสำหรับสามแยกที่ตัดกันในลักษณะตั้งฉาก (T-type)

T - Type ที่มีช่องทางต่อเชื่อมวน (Loop Ramp) หรือ “Trumpet Type” มีลักษณะช่องทางจราจรเลี้ยวซ้ายใช้ทางเลี้ยวเชื่อมต่อโดยตรง ส่วนรถที่จะเลี้ยวขวาให้โครงสร้างยกข้ามหรือลอดใต้ช่องทางรถผ่านตรง ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ทางแยกต่างระดับ Trumpet type ที่มีช่องทางต่อเชื่อมวน (loop ramp)

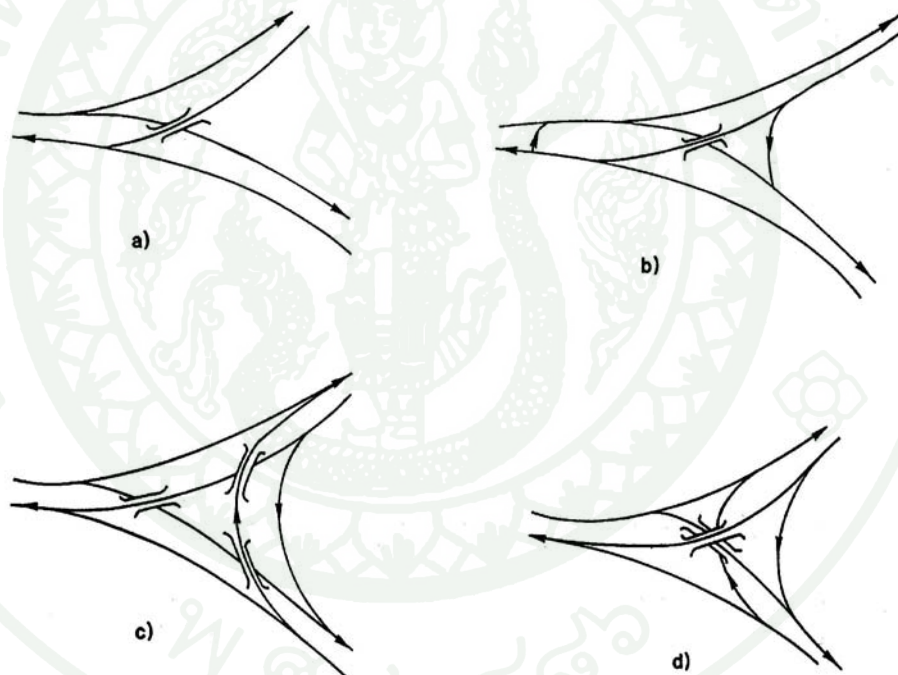
T - Type ที่ไม่มีช่องทางต่อเชื่อมวน (Loop Ramp) รูปแบบนี้มีการออกแบบให้รถที่ต้องการเลี้ยวขวาทั้งสองทิศทางใช้ช่องทางต่อเชื่อมถึงตรง ดังแสดงในภาพที่ 3 เพื่อให้รถสามารถใช้ความเร็วได้ค่อนข้างสูงทั้งสองทิศทาง อีกทั้งสามารถรองรับปริมาณรถเลี้ยวขวาค่อนข้างสูงได้ดี ส่วนโครงสร้างสะพานอาจมีได้มากถึงสามระดับ



ภาพที่ 3 ทางแยกต่างระดับ Trumpet Type ที่ไม่มีช่องทางต่อเชื่อมวน

1.2 รูปแบบทางแยกต่างระดับสำหรับสามแยกที่ตัดกันในลักษณะมีมุมเฉียงกัน (Y-type)

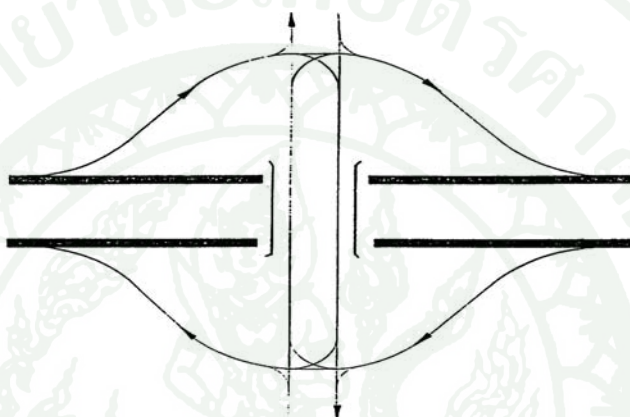
Y - Type เป็นรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับทางด่วนต่อเชื่อมกับทางด่วน โดยโครงสร้างจะรองรับตามทิศทางกระแสจราจรโดยตรง (Directional) มีรัศมีโค้งออกแบบค่อนข้างกว้าง รถสามารถใช้ความเร็วได้ใกล้เคียงกับช่วงทางตรง การก่อสร้างสามารถพัฒนาได้เป็นสามชั้นตามความเหมาะสมปริมาณจราจร ดัง ภาพที่ 4 a) ถึง c) โดยส่วนโครงสร้างที่พัฒนาเต็มที่จะมีการยกข้ามกระแสจราจรสามจุดสองระดับ ส่วน ภาพที่ 4 d) จะมีส่วนโครงสร้างยกข้ามกระแสจราจรจุดเดียวสามระดับ



ภาพที่ 4 ทางแยกต่างระดับ Y-type

2. Diamond Interchange

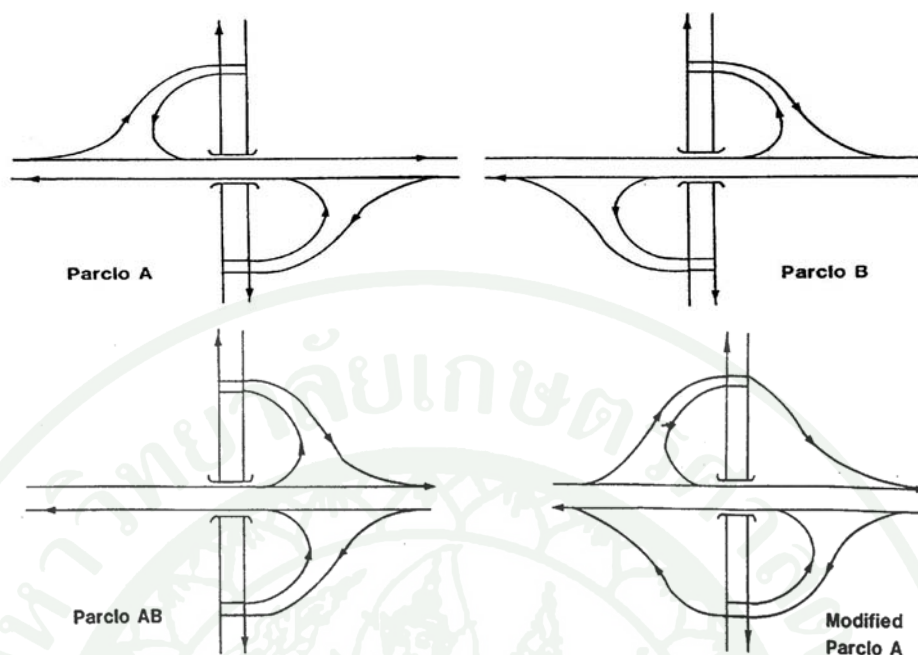
ลักษณะทั่วไป เป็นรูปแบบทางแยกต่างระดับสำหรับสี่แยกที่ธรรมดาที่สุด ใช้พื้นที่น้อย รถที่เข้าหรือออกจากทางสายหลักสามารถใช้ความเร็วได้สูงพอสมควร รูปแบบจะประกอบด้วยช่วงสะพานยกระดับข้ามถนน ช่องทางเลี้ยวเดินรถทางเดียวเข้าออกแบบทแยงมุม (Diagonal Ramp) ทั้งสี่ด้าน มีจุดตัดทางแยกระดับพื้นบนทางสายรอง ภาพที่ 5 แสดง Diamond Interchange



ภาพที่ 5 ทางแยกต่างระดับ Diamond Interchange

3. Partial Cloverleaf Interchange

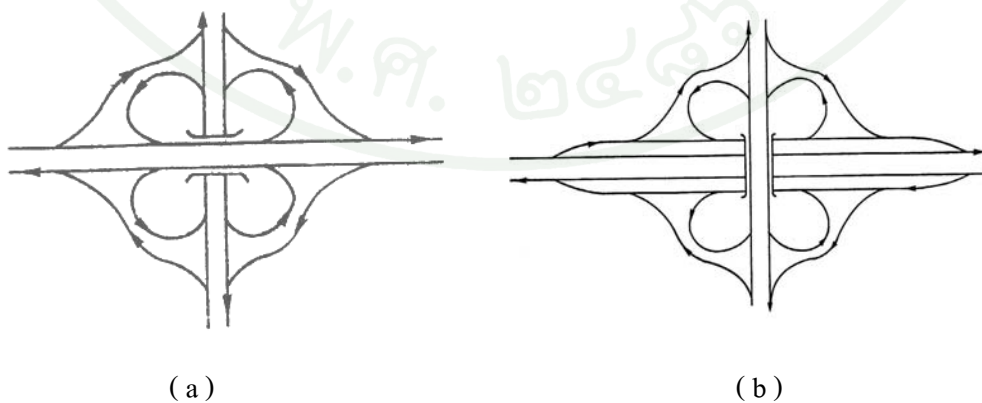
ลักษณะทั่วไป เป็นรูปแบบทางแยกต่างระดับที่มีช่องทางต่อเชื่อม(ขวา) วง (Loop Ramps) เพียงแค่ 2 มุม และช่องทางต่อเชื่อม (ซ้าย) ภายนอก 2 หรือ 4 ด้าน ทั้งนี้เพื่อลดพื้นที่ก่อสร้างและตามความเหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศ รวมถึงปริมาณรถเลี้ยวในทิศทางที่มาก ซึ่งรูปแบบนี้ยังคงมีจุดตัดระดับพื้นบนถนนสายรองสำหรับรถจากทางหลักที่ต้องการเลี้ยวขวา ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ทางแยกต่างระดับ Partial Cloverleaf Interchange

4. Cloverleaf Interchange

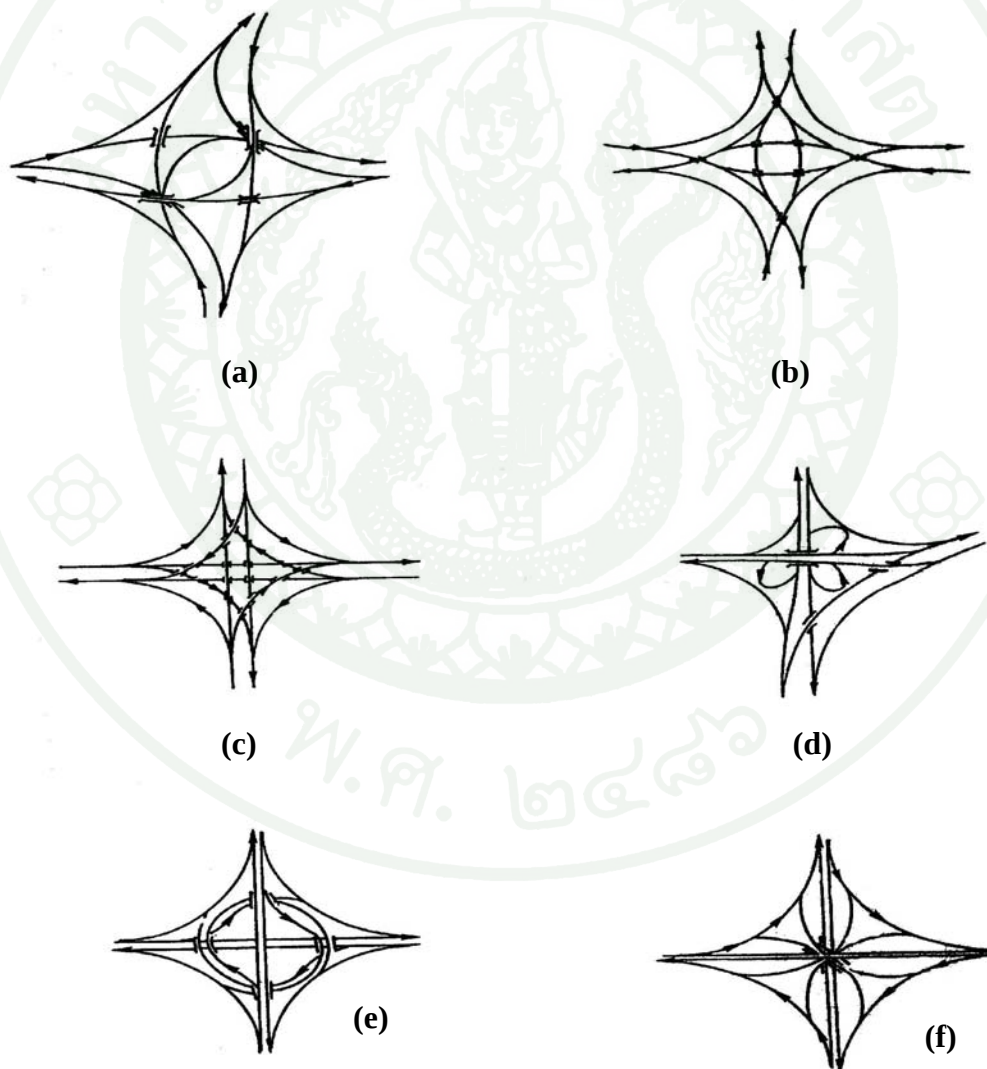
ลักษณะทั่วไป เป็นรูปแบบทางแยกต่างระดับที่มีช่องทางต่อเชื่อมวนทั้ง 4 มุม เพื่อให้รถสามารถเลี้ยวขวาได้ทั้ง 4 ขาของทางแยก และมีทางเลี้ยวซ้ายทั้ง 4 ขา ดังแสดงในภาพที่ 7 รูปแบบนี้ จะไม่มีจุดตัดทางแยกระดับพื้น อีกทั้งมีความเหมาะสมกับทางแยกที่มีปริมาณรถเลี้ยวที่มีสัดส่วนใกล้เคียงกันซึ่งช่วยขจัดปัญหาความล่าช้าได้



ภาพที่ 7 ทางแยกต่างระดับ Cloverleaf Interchange

5. Semi-directional and Directional Interchange

ลักษณะทั่วไป เป็นการออกแบบทางแยกต่างระดับให้มีช่องทางต่อเชื่อมกึ่งตรงหรือตรง (Semi-Directional or Directional Ramps) แสดงใน ภาพที่ 8 มักใช้กับแนวทิศทางที่มีปริมาณรถ เลี้ยวขวามากหรือเป็นทิศทางที่มีความสำคัญมากกว่าขาอื่น ทั้งนี้เพื่อลดระยะทางการเดินทาง อีกทั้ง รถสามารถใช้ความเร็วได้สูงกว่าช่องทางต่อเชื่อมวน มีรัศมีโค้งที่กว้างกว่า จึงสามารถรักษาปริมาณ ความจุ (Capacity) ของถนนได้ดี เพิ่มระดับการให้บริการ (Level of Service) ที่ดีกว่า โดยทั่วไปจะ ใช้พื้นที่มากกว่ารูปแบบ Cloverleaf Interchange



ภาพที่ 8 ทางแยกต่างระดับ Semi-directional and Directional Interchange

ทฤษฎีและหลักการในการออกแบบ

บทนำ

กรมทางหลวง (2539) อธิบายไว้ว่าการออกแบบงานทางของทางแยกต่างระดับ หมายถึง การออกแบบส่วนต่างๆ ของทางแยกต่างระดับที่มองเห็นได้ เช่น ความกว้างของผิวจราจร, ความกว้างของไหล่ทาง, รัศมีเลี้ยว, ความลาดชัน เป็นต้น ทั้งนี้ เพื่อตอบสนองต่อความปลอดภัยและการเลี้ยวของขบวนยานเป็นอย่างดี โดยทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของการจราจรอย่างอิสระ และมีผลกระทบต่อการลดอัตราความเร็วของการจราจรน้อยมาก ซึ่งต้องคำนึงถึงความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจและความเป็นไปได้ในการก่อสร้างประกอบด้วย ดังนั้น ในการออกแบบเรขาคณิตจึงต้องพิจารณาในหลายๆ ด้านประกอบกัน เช่น

- หลักเกณฑ์ มาตรฐาน และข้อกำหนดขั้นต่ำที่ใช้ในการออกแบบ (Minimum Design Standard)
- ประเภทของทางหลวงหรือถนนที่จะมาต่อเชื่อม (ทางหลวงแบบเปิดหรือแบบปิด)
- ความเร็วที่ใช้ในการออกแบบ และอัตราการเปลี่ยนความเร็ว
- ปริมาณการจราจรและปริมาณรถเลี้ยว(Turning Movement)
- ข้อจำกัดต่างๆ ในบริเวณที่จะก่อสร้าง เช่น สภาพภูมิประเทศ, สภาพการใช้ที่ดินสองข้างทาง, อุปสรรคสิ่งกีดขวาง, ระบบสาธารณูปโภคเดิม, รูปแบบการคมนาคมขนส่งเดิม
- ที่ดินซึ่งสามารถจัดหาได้ และผลกระทบต่อสาธารณะ
- ความสม่ำเสมอและความต่อเนื่องของรูปแบบทางแยกต่างระดับ และทิศทางการไหลเคลื่อนของการจราจร

- ความปลอดภัย และการบังคับขยวดยานให้เลี้ยว หรือเคลื่อนตัวไปในทิศทางที่กำหนดไว้ อย่างถูกต้องปลอดภัย

- ค่าก่อสร้างและจัดกรรมสิทธิ์ที่ดิน

- ผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม

ทางแยกต่างระดับนอกเมืองโดยทั่วไปจะอยู่ห่างกัน ดังนั้นจึงมักออกแบบเป็นทางแยกเฉพาะ จุด และไม่มีผลกระทบจากทางแยกต่างระดับใกล้เคียง อย่างไรก็ตามในการกำหนดรูปแบบทางแยกต่างระดับจำเป็นต้องพิจารณาถึง ความต่อเนื่องของแนวเส้นทาง (Route Continuity) ความคล้ายคลึงกันของรูปแบบทางออก (Uniformity of Exit Patterns) จุดแยกออกก่อนถึงโครงสร้างต่างระดับ (Single Exits in Advance of the Separate Structure) การจัดการตัดสลับของกระแสจราจรบนทางหลัก (Elimination of Weaving on the Main Facility) การติดตั้งป้ายเตือนและแนะนำเส้นทางที่มีประสิทธิภาพ และการออกแบบที่เหมาะสมกับพื้นที่เขตทาง ในส่วนของระยะมองเห็นควรออกแบบให้มีระยะเพียงพออย่างน้อยเท่ากับระยะมองเห็นเพื่อหยุด (Stopping Sight Distance) ตามความเร็วที่ออกแบบ และในส่วนของทางออกควรพิจารณาระยะมองเห็นเพื่อตัดสินใจ (Decision Sight Distance) ประกอบการออกแบบ (กรมทางหลวง. 2539)

ข้อควรพิจารณาทั่วไปในการออกแบบทางแยกต่างระดับ

กรมทางหลวง (2550) ได้สรุปข้อควรพิจารณาทั่วไปในการออกแบบทางแยกต่างระดับไว้ดังนี้

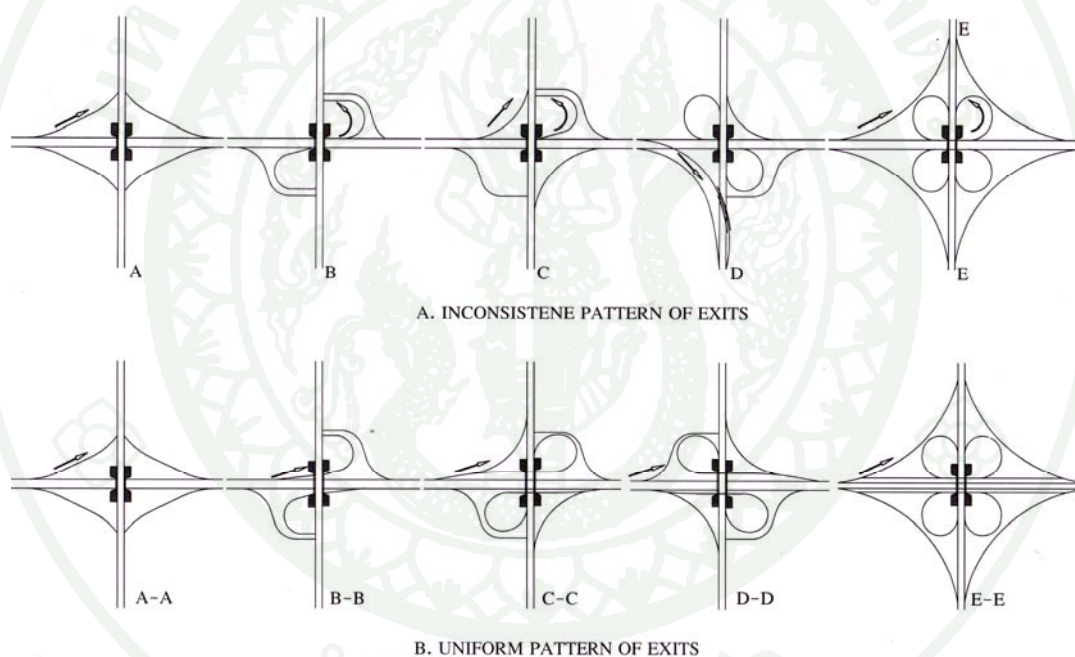
1. ระยะห่างของทางแยกต่างระดับ

ระยะห่างของทางแยกต่างระดับ จะมีผลกระทบต่อระบบการจราจรบนทางด่วน (Freeway) อย่างมาก โดยเฉพาะทางด่วนในเมืองที่มีทางแยกใกล้ๆกัน ระยะห่างน้อยที่สุดของทางแยกต่างระดับสายหลัก จะพิจารณาจากปริมาณกระแสจราจรตัดสลับ (Weaving Volumes) ความสามารถในการมองเห็นป้ายแนะนำต่างๆ รวมถึงความยาวสำหรับช่องจราจรปรับความเร็ว (Speed Change Lane)

ทางแยกต่างระดับสำหรับในเมือง ควรห่างกันอย่างน้อย 1.5 กิโลเมตร และ 3.0 กิโลเมตรสำหรับนอกเมือง

2. ความคล้ายคลึงกันของรูปแบบ (Uniformity of Patterns)

ในกรณีที่ต้องออกแบบทางแยกต่างระดับที่ต่อเนื่องกันหลายจุด เช่น ทางด่วนในเมือง ควรพิจารณาเป็นกลุ่มของทางแยกต่างระดับ โดยออกแบบทุกจุดทางเข้า-ออกทั้งระบบให้มีความคล้ายกันในการใช้งาน ทั้งนี้เพื่อให้ความปลอดภัย ความคล่องตัว และระดับการให้บริการที่เหมาะสม โดยทางเข้า-ทางออกจากทางด่วนควรให้อยู่ด้านซ้ายทั้งหมดและเป็นแนวทางเดียวกัน ดังแสดงใน ภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ความคล้ายคลึงกันของรูปแบบ

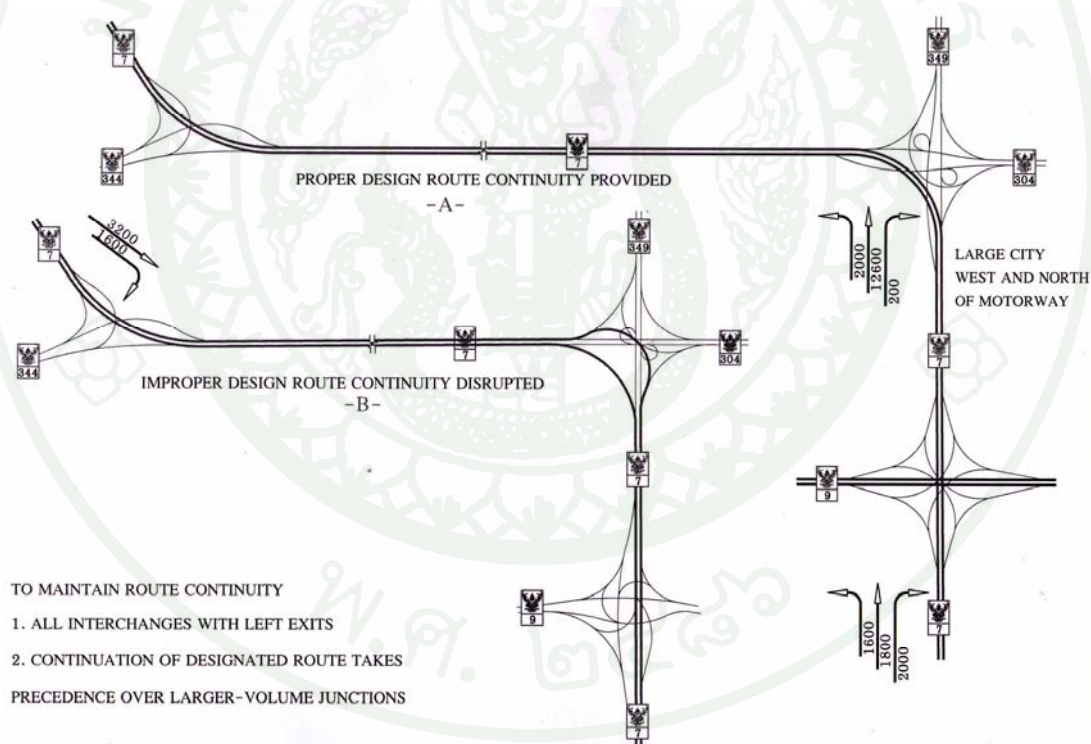
ที่มา: กรมทางหลวง (2550)

สำหรับทางแยกต่างระดับในเมือง ระยะห่างทางแยกอาจจะใกล้กันทำให้ผู้ขับขี่มีเวลาการรับรู้และตัดสินใจน้อย ซึ่งถ้ารูปแบบการเข้า-ออกไม่เหมือนกันแล้ว อาจจะก่อให้เกิดความสับสนและอุบัติเหตุจากการที่ผู้ขับขี่ลดความเร็วบนเลนขวา (เลนรถวิ่งเร็ว) และเกิดการเลี้ยวเข้า-ออกที่คาดไม่ถึงได้

3. ความต่อเนื่องของแนวทาง (Route Continuity)

การออกแบบความต่อเนื่อง จะทำให้การขับง่ายขึ้นโดยเฉพาะกับผู้ที่ไม่ชำนาญเส้นทาง เนื่องจากจะช่วยลดการแปรเปลี่ยนช่องจราจรบ่อยๆ สำหรับผู้ขับขึ้นทางหลัก การใช้ป้ายจราจรช่วยแนะนำเส้นทางที่จะไปต้องเน้นให้เห็นแนวทางหลักเส้นใดเส้นหนึ่งให้ชัดเจน โดยทั่วไปการเน้นความต่อเนื่องในทางแยกต่างระดับนั้น ไม่จำเป็นจะต้องเน้นเส้นที่มีปริมาณจราจรมากที่สุด แต่ควรเน้นเส้นทางที่ผ่านยาวมาตลอดและต่อไป (Through Route) โดยที่อาจจะออกแบบให้เส้นที่มีปริมาณการจราจรมากมีรัศมีโค้งกว้าง (Flat Curve) มีแนวเชื่อมเข้าหาโดยตรง (Direct Connection) พร้อมช่องจราจรช่วยเสริม (Auxiliary Lane) ให้เท่ากับเส้นที่รถผ่านตลอด

ตัวอย่างการออกแบบเพื่อความต่อเนื่องของแนวทางแสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ความต่อเนื่องของแนวเส้นทาง

ที่มา: กรมทางหลวง (2550)

4. การสมดุลช่องจราจร (Lane Balance)

ปริมาณจราจรออกแบบและการวิเคราะห์ความจุโดยทั่วไป จะใช้กำหนดจำนวนช่องจราจรพื้นฐาน รวมทั้งกำหนดจำนวนช่องจราจรอย่างน้อยสำหรับทางเลี้ยว และเพื่อให้การจัดการจราจรเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย ควรมีการสมดุลของจำนวนช่องจราจรบนทางตรงกับทางเลี้ยว ณ จุดเชื่อมต่อเข้า-ออกทางแยกต่างระดับ

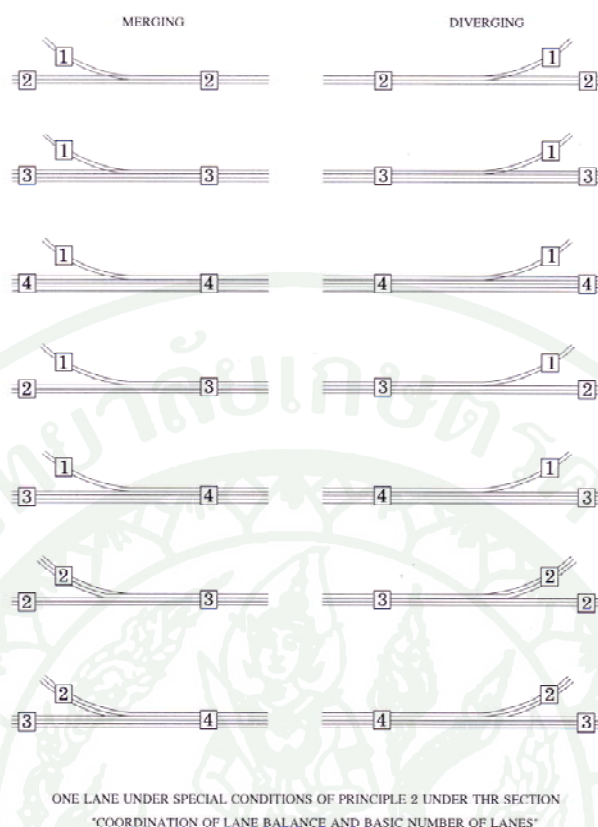
การปรับช่องจราจรให้สมดุลที่เกี่ยวข้องกับช่องจราจรพื้นฐาน จะขึ้นอยู่กับหลักการต่อไปนี้

- จุดเชื่อมต่อเข้าหา (Entrance) จำนวนช่องจราจรหลังจากการบรรจบกันของทางสองสาย ไม่ควรจะน้อยกว่าปริมาณช่องจราจรทั้งหมดก่อนจุดเชื่อมต่อเข้าหาลบด้วย 1

- จุดแยกออก (Exits) จำนวนช่องจราจรก่อนแยกจากกันจะต้องเท่ากับจำนวนช่องจราจรหลังจุดแยกจากกันรวมกับจำนวนช่องจราจรที่แยกออกกลับด้วย 1

หลักการนี้จะยกเว้นในกรณีที่เป็นช่องทางต่อเชื่อมวน (Loop Ramp) ที่อยู่ใกล้กันของรูปแบบ Cloverleaf Interchange ซึ่งถ้าระยะห่างระหว่างจุดสิ้นสุดการผาย (Taper) ของช่องทางขาเข้า (Entrance) และจุดเริ่มต้นการผายของช่องทางขาออก (Exit) น้อยกว่า 450 เมตร และใช้ช่องจราจรเสริมพิเศษยาวตลอดระหว่างจุดเข้าและจุดออกดังกล่าว ช่องจราจรเสริมพิเศษนั้นจะลดเป็นช่องทางออกเลนเดียวรวมกับจำนวนช่องจราจรช่วงเข้าหา จะเท่ากับจำนวนช่องจราจรในทางตรงหลังจุดออกรวมกับช่องจราจรที่ขาออกนั้น

การเพิ่มหรือลดจำนวนช่องจราจรของทางหลวง ไม่ควรเพิ่มขึ้นหรือลดลงเกิน 1 ช่องจราจร ในแต่ละครั้ง ตัวอย่างการสมดุลช่องจราจรแสดงดังภาพที่ 11



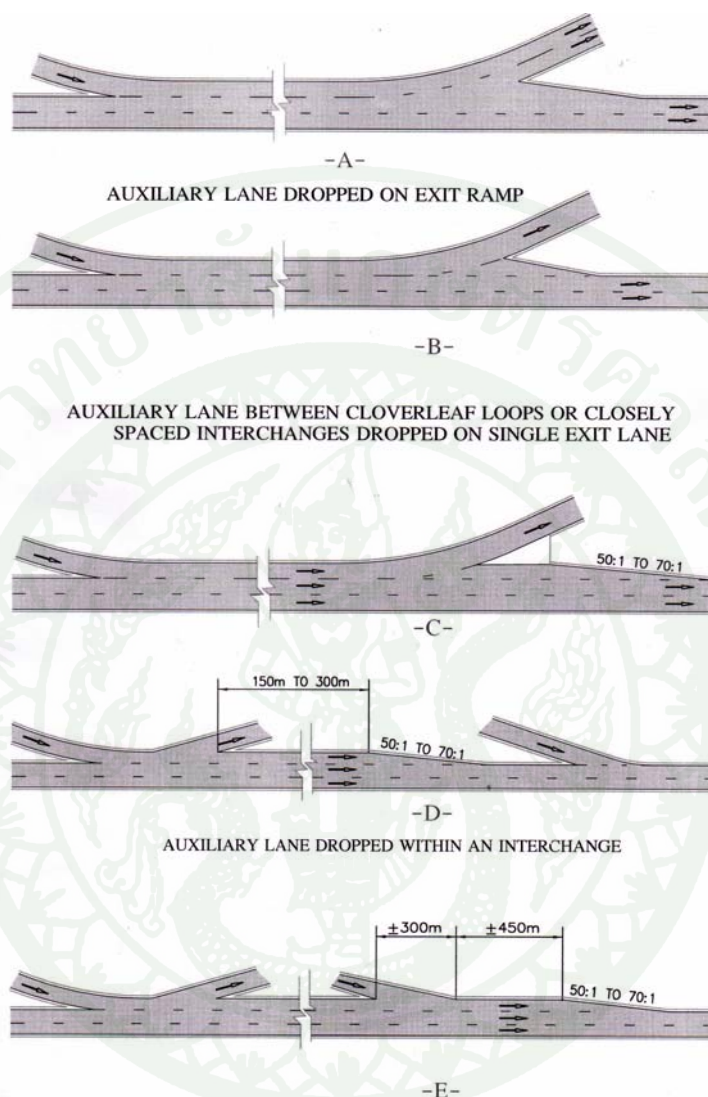
ภาพที่ 11 การสมดุลช่องจราจร

5. ช่องจราจรเสริมพิเศษ (Auxiliary Lanes)

ช่องจราจรเสริมพิเศษสำหรับทางแยกต่างระดับ จะนำมาใช้เพื่อให้ได้ตรงตามหลักการการสมดุลช่องจราจร และคงความจุของถนนเดิม รวมถึงเป็นช่องทางเปลี่ยนความเร็ว ช่องทางสำหรับการตัดสลับกระแสจราจร และการขับขึ้น-ออกทางแยกต่างระดับ

- ทางแยกต่างระดับอยู่ใกล้กัน
- ระยะทางระหว่างจุดสิ้นสุดการพายของช่องทางเข้ากับจุดเริ่มต้นการพายสำหรับช่องทางออก มีระยะทางที่สั้น
- ไม่มีทางคู่ขนานสำหรับการจราจรท้องถิ่น

รูปแบบการจัดช่องจราจรเสริมพิเศษแสดงดัง ภาพที่ 12



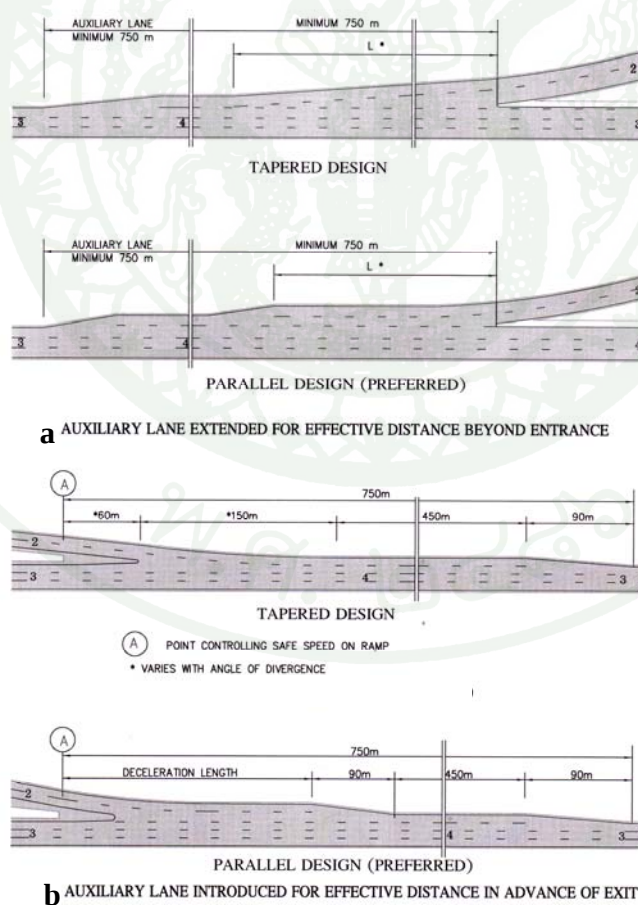
ภาพที่ 12 รูปแบบการใช้ช่องจราจรเสริมพิเศษ

ที่มา: กรมทางหลวง (2550)

การออกแบบช่องจราจรเสริมพิเศษเพื่อให้สอดคล้องกับจำนวนช่องจราจรพื้นฐานและการสมดุลช่องจราจร โดยทั่วไปออกแบบได้เป็น 2 วิธี คือ

- แบบผายออกหรือลู่เข้า (Tapered Design) วิธีนี้มีลักษณะการใช้ช่องจราจรร่วมกัน 1 ช่องบนทางหลักสำหรับรถที่ต้องการเลี้ยวและรถทางตรง และเป็นไปตามการสมดุลช่องจราจร ดังแสดงในภาพที่ 13 นอกจากนี้ การออกแบบด้วยรูปแบบนี้จำเป็นต้องระมัดระวังในส่วนของการเลี้ยวเชื่อมเข้าทางหลัก ควรมีระยะมองเห็นด้านข้างที่เพียงพอเพื่อปรับเร่งความเร็วสำหรับรถที่ต้องการเลี้ยวเข้าสู่ทางหลัก

- แบบขนาน (Parallel Design) เป็นวิธีการออกแบบที่เหมาะสม โดยการขยายช่องทางบนทางสายหลักให้ได้เท่าจำนวนช่องจราจรที่แยกออกหรือรวมเข้า แล้วค่อยปรับลดจำนวนช่องจราจรไปเป็นช่องจราจรพื้นฐานบนทางหลัก ดังแสดงใน ภาพที่ 13



ภาพที่ 13 การใช้ช่องจราจรเสริมพิเศษเพื่อการสมดุลช่องจราจรและจำนวนช่องจราจรพื้นฐาน

6. ระยะผายออกหรือลู่อื่น (Taper Length)

กรมทางหลวง (2539) อธิบายถึงการกำหนดระยะผายออกหรือลู่อื่นแยกตามการแยก/รวมรถไว้ดังนี้

- บริเวณแยก (Exit Area)

จะต้องพิจารณาแยกที่จะเลี้ยวก่อนที่จะถึงจุดเลี้ยวเป็นระยะทางพอสมควรซึ่งจะขึ้นอยู่กับ ปริมาณการจราจร โดยจะออกแบบให้มีส่วนขยายช่อง (Taper) ที่รับกับรัศมีโค้ง อัตราส่วนที่ Taper Lane แลออกไปนี้ต้องไม่น้อยกว่า 1:20 ซึ่งหมายถึงจะเบนช่องจราจรออกไป 1.00 เมตร ทุกระยะความยาวตามถนน 20 เมตรหรือยาวกว่า ในกรณีที่รัศมีการเลี้ยวน้อยมาก จนต้องมีการลดความเร็วลงมาก ก็จะมีช่องทางแยกลดความเร็ว (Deceleration Lane) เพิ่มเข้ามาด้วย เพื่อให้รถที่จะเลี้ยวหลบเข้าช่องทางพิเศษนี้ก่อน เป็นการหลีกเลี่ยงไม่ให้รถที่ตามมาเกิดการชนท้าย

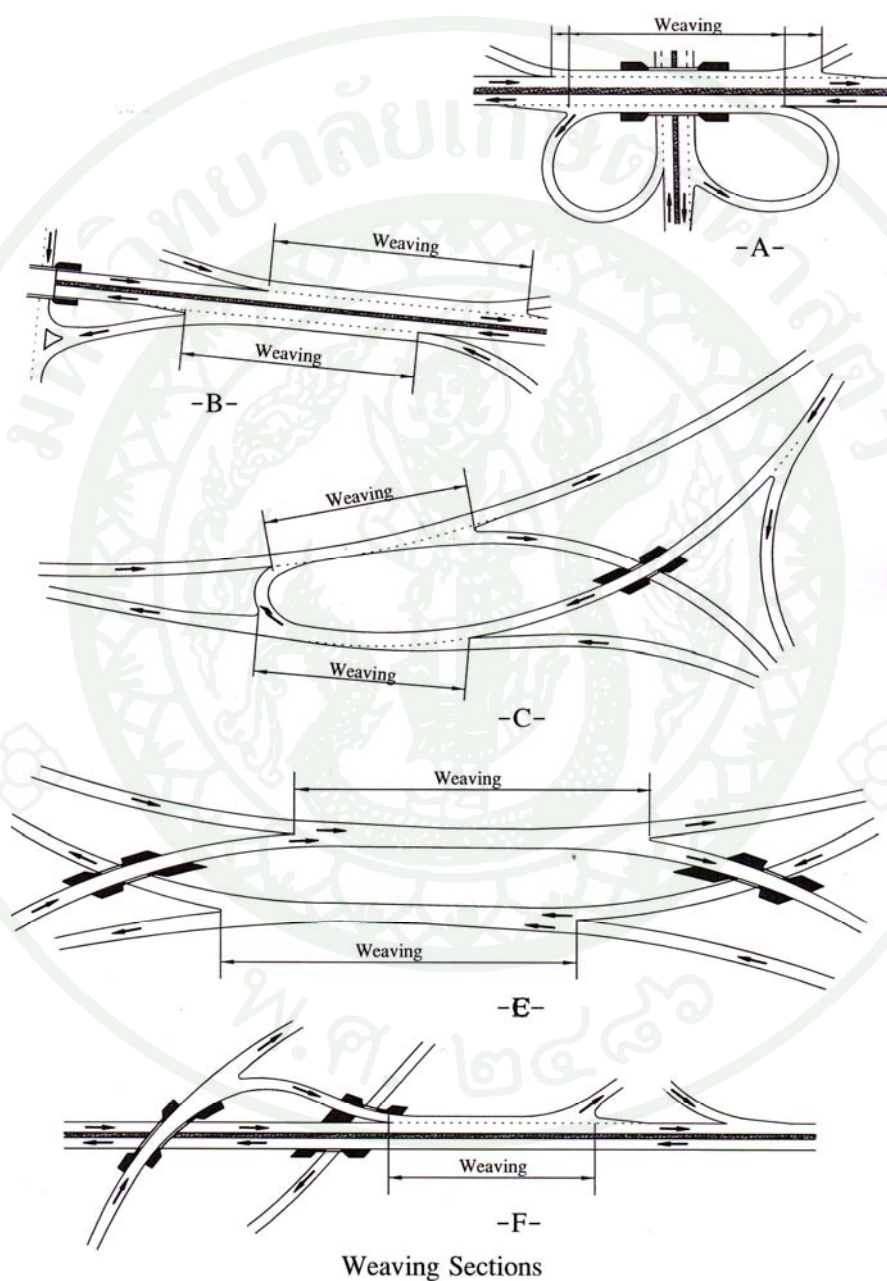
- บริเวณรวมรถ (Entrance Area)

เป็นจุดหรือบริเวณที่รถเลี้ยวจะเข้าร่วมช่องทางกับรถทางตรง จะต้องมี Taper Lane เพื่อให้ รถเลี้ยวเร่งความเร็วในการหาช่องว่างรวมเข้ากับรถทางตรงในลักษณะรวมตรง อัตราของ Taper จะใช้อัตราส่วนไม่น้อยกว่า 1:30 หรือปริมาณ 0.50 เมตรต่อวินาทีของความเร็วสูงสุดที่รถแล่นผ่าน ในการออกแบบจะพิจารณาความจำเป็นและประโยชน์ในการให้มีช่องทางแยกเร่งความเร็ว (Acceleration Lane) ด้วยเช่นกัน (กรมทางหลวง, 2539)

7. บริเวณกระแสดจราจรตัดกัน (Weaving Section)

บริเวณกระแสดจราจรตัดกันเป็นส่วนของทางที่เป็นรูปแบบที่ทำให้มีการจราจรเข้าและออก จาก จุดแยกที่ติดกันในทางที่รถแล่นตัดผ่านกันและกันใช้สำหรับให้การใช้รถใช้ถนนสลับช่องทางกันคือ ให้รถจากช่องซ้ายไปช่องขวาหรือให้รถจากช่องขวาไปช่องซ้ายซึ่งอาจมีการจัดกระแสดจราจรได้หลายช่องทาง ที่ปรึกษาจะคำนวณหาระยะที่ปลอดภัย และมีความจุที่เหมาะสมกับระยะ Weaving (กรมทางหลวง, 2539)

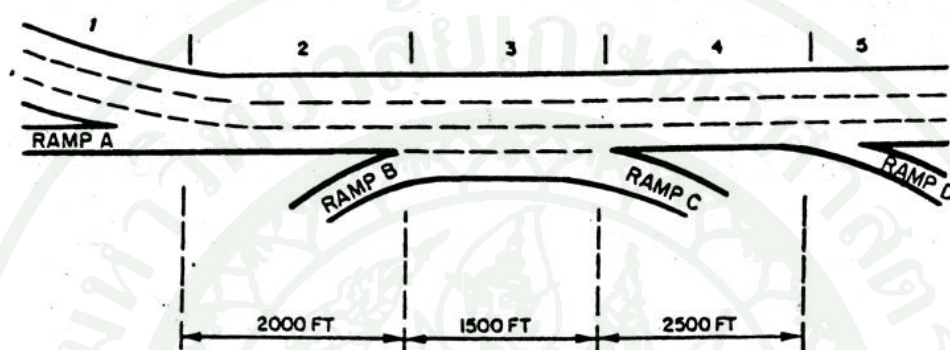
ในปี พ.ศ.2550 กรมทางหลวงได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับรูปแบบการเกิดการตัดสลับของ
กระแสาจราจรไว้ว่าจะพบได้บ่อยสำหรับทางแยกต่างระดับแบบ Cloverleaf Interchange ที่มีช่องทาง
ต่อเชื่อมเข้า (Entrance Ramp) และช่องทางต่อเชื่อมออก (Exit Ramp) บนทิศทางเดียวกัน ตัวอย่าง
ช่วงการตัดสลับกระแสาจราจรแสดงดัง ภาพที่ 14



ภาพที่ 14 การตัดสลับของกระแสาจราจร

ที่มา: กรมทางหลวง (2550)

สำหรับความยาวของช่วงการตัดสลับกระแสจราจรที่เหมาะสม จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น ความเร็วของรถ จำนวนช่องจราจร เป็นต้น ซึ่งได้มีการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ เพื่อหาความยาวช่วงการตัดสลับกระแสจราจรที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม Highway Capacity Manual [HCM] (2000) ได้เสนอแนะความยาวที่สามารถนำไปใช้ในการออกแบบได้ ดังแสดงในภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ความยาวช่วงการตัดสลับกระแสจราจรแนะนำโดย HCM

ที่มา: HCM (2000)

ซึ่งจะสอดคล้องกับที่มีการแนะนำไว้ AASHTO (2004) ว่าความยาวของช่วงการตัดสลับ
กระแสรถที่เหมาะสม ต้องไม่น้อยกว่า 300 ม.ดังแสดงใน ภาพที่ 16

EN-EN OR EX-EX		EX-EN		TURNING ROADWAYS		EN-EX (WEAVING)			
FULL FREEWAY	CDR OR FDR	FULL FREEWAY	CDR OR FDR	SYSTEM INTER- CHANGE	SERVICE INTER- CHANGE	SYSTEM TO SERVICE INTERCHANGE		SERVICE TO SERVICE INTERCHANGE	
						FULL FWY.	CDR OR FDR	FULL FWY.	CDR OR FDR
MINIMUM LENGTHS MEASURED BETWEEN SUCCESSIVE RAMP TERMINALS									
300 m [1000 ft]	240 m [800 ft]	150 m [500 ft]	120 m [400 ft]	240 m [800 ft]	180 m [600 ft]	600 m [2000 ft]	480 m [1600 ft]	480 m [1600 ft]	300 m [1000 ft]

NOTES:

FDR - FREEWAY DISTRIBUTOR ROAD
CDR - COLLECTOR DISTRIBUTOR ROAD

EN - ENTRANCE
EX - EXIT

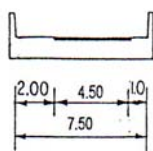
THE RECOMMENDATIONS ARE BASED ON OPERATIONAL EXPERIENCE AND NEED FOR FLEXIBILITY AND ADEQUATE SIGNING. THEY SHOULD BE CHECKED IN ACCORDANCE WITH THE PROCEDURE OUTLINED IN THE HIGHWAY CAPACITY MANUAL (4) AND THE LARGER OF THE VALUES IS SUGGESTED FOR USE. ALSO, A PROCEDURE FOR MEASURING THE LENGTH OF THE WEAVING SECTION IS GIVEN IN CHAPTER 24 OF THE 2000 HIGHWAY CAPACITY MANUAL (4). THE "L" DISTANCES NOTED IN THE FIGURES ABOVE ARE BETWEEN LIKE POINTS, NOT NECESSARILY "PHYSICAL" GORES. A MINIMUM DISTANCE OF 90 m [270 ft] IS RECOMMENDED BETWEEN THE END OF THE TAPER FOR THE FIRST ON RAMP AND THE THEORETICAL GORE FOR THE SUCCEEDING ON RAMP FOR THE EN-EN (SIMILAR FOR EX-EN).

ภาพที่ 16 ความยาวช่วงการตัดสลับกระแสรถ แนะนำโดย AASHTO

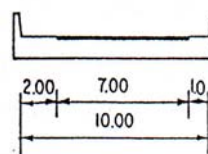
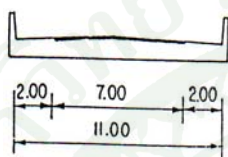
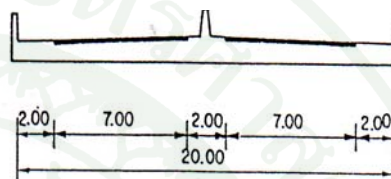
ที่มา: AASHTO (2004)

8. ความกว้างช่องจราจรบนช่องทางต่อเชื่อม (Ramp) และ ถนนรวมและกระจาย
การจราจร

กรมทางหลวง (2550) ความกว้างช่องทางต่อเชื่อมขึ้นกับลักษณะการใช้งานของ
ช่องทางต่อเชื่อม รัศมีของโค้ง และปริมาณจราจร ซึ่งรวมถึงชนิด ประเภทของยานพาหนะ สำหรับ
ความกว้างของช่องจราจรทางวิ่งและไหล่ทาง กำหนดไว้ดังแสดงในหัวข้อที่ป้านมา แสดงรูปแบบ
แนะนำไว้ในภาพที่ 17



(a) ความกว้างของโครงสร้างต่างระดับถนน 1 ช่องจราจร

(b) ความกว้างของโครงสร้างต่างระดับถนน 2 ช่องจราจร
ทิศทางเดียว(c) ความกว้างของโครงสร้างต่างระดับถนน 2 ช่องจราจร 2
ทิศทาง(d) ความกว้างของโครงสร้างต่างระดับถนน 4 ช่องจราจร 2
ทิศทางบนโครงสร้างเดียวกัน

ภาพที่ 17 ความกว้างช่องจราจรและไหล่ทางบนโครงสร้างต่างระดับ (แบบแนะนำ)

ที่มา: กรมทางหลวง (2550)

9. ช่องว่าง (Clearance)

9.1 ช่องว่างด้านข้าง (Lateral Clearance)

- จากขอบช่องจราจรถึงราวกันอันตรายหรือโครงสร้างใดๆ ที่อยู่เกาะกลางหรืออยู่ที่ด้านข้างทางให้กว้างเท่ากับ 1.30 เมตร เป็นอย่างน้อย หรือเท่ากับความกว้างของไหล่ทางด้านนั้นๆ สำหรับทางตั้งแต่ 6 ช่องจราจรขึ้นไป สำหรับนอกเมืองที่ความเร็วสูงให้ใช้ระยะดังกล่าวเท่ากับ 2.50 เมตร เป็นอย่างน้อย

- จากขอบช่องจราจรทางรถวิ่งถึงขอบทางเท้าหรือขอบของเกาะกลางแบบ Curbed Median ในเขตเมืองให้กว้างเท่ากับ 0.30 – 0.50 เมตร

- จากขอบช่องจราจรทางรถวิ่งบนทางข้าม (Overpass) หรือทางลอด (Underpass) ถึงราวหรือโครงสร้างใดๆด้านข้าง ในเขตเมืองซึ่งความเร็วต่ำให้ใช้กว้างเท่ากับ 1.00 เมตร เป็นอย่างน้อย ในกรณีที่มีความจำเป็นต้องวัดระยะดังกล่าว เนื่องจากปัญหาของความกว้างของเขตทางหรือรูปแบบ ต้องได้รับความเห็นชอบจากสำนักสำรวจและออกแบบ

- จากขอบช่องจราจรทางรถวิ่งบนทางข้าม (Overpass) หรือทางลอด (Underpass) ถึงราวหรือโครงสร้างใดๆด้านข้าง นอกเขตเมืองซึ่งความเร็วสูงให้ใช้กว้างเท่ากับความกว้างของไหล่ทางของด้านนั้นๆตามมาตรฐานชั้นทาง แต่ต้องไม่น้อยกว่า 1.30 เมตร

9.2 ช่องว่างแนวตั้ง (Vertical Clearance)

ช่องว่างจากโครงสร้างลงมายังผิวถนนต่ำสุด 5.0 เมตร และถ้าเป็นไปได้ควรจัดไว้ให้ได้ 5.50 เมตร (กรมทางหลวง, 2550)

10. ระยะในแนวนอนและแนวตั้งขั้นต่ำได้โครงสร้างทางแยกต่างระดับ

กรมทางหลวง (2550) ระยะในแนวนอนขั้นต่ำได้โครงสร้างทางแยกต่างระดับจากผิวของโครงสร้างรองรับ ซึ่งอาจเป็นกำแพงของตอม่อริมฝั่งหรือเสากลาง จะต้องมีความกว้างเพียงพอสำหรับถนนที่จะลอดใต้โครงสร้างนั้นโดยมีระยะห่าง (Clearance) จากขอบทางรถวิ่งถึงสิ่งกีดขวางเพียงพอ ระยะห่างขั้นต่ำ (Minimum) ด้านซ้ายมือ เท่ากับ 2 เมตร และด้านขวามือ 1.50 เมตร สำหรับระยะในแนวตั้งใต้โครงสร้างทางแยกต่างระดับ เกณฑ์ทั่วไป คือ 5.50 เมตร โดยสามารถลดได้ต่ำสุด 5.00 เมตร

การออกแบบด้านเรขาคณิต

ปริมาณจราจร

กรมทางหลวง (2550) ปริมาณจราจรที่ใช้ในการออกแบบจะได้มาจากการเก็บสำรวจและการคาดการณ์ประมาณการที่จะเกิดในปัจจุบันและอนาคต ทั้งนี้เพื่อความเหมาะสมในการเลือกรูปแบบของทางแยกต่างระดับ

โดยทั่วไปในการออกแบบจะต้องคำนึงถึงความสามารถรองรับปริมาณการจราจรของถนนบรรจบทางแยก ทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดการหยุดชะงักของกระแสของจราจร (Uninterrupted Flow) ซึ่งจะดูได้จากความสามารถรองรับปริมาณการจราจรสำหรับการออกแบบ (Design Capacity) ต่อช่องจราจรเป็นหลัก ตามมาตรฐานการออกแบบ ดังแสดงใน ตารางที่ 1 ซึ่งจะขึ้นกับส่วนประกอบ ดังนี้

ตารางที่ 1 ความสามารถรองรับปริมาณจราจรของช่องทางต่อเชื่อม

Level of Service	Ramp Design Speed ,mph. (kph.)				
	≤ 20	21 – 30	31 – 40	41 – 50	≥ 51
	(≤ 32)	(34-48)	(50-64)	(66-80)	(≥ 82)
A	b	b	b	b	600
B	b	b	b	900	900
C	b	b	1,100	1,250	1,300
D	b	1,200	1,350	1,550	1,600
E	1,250	1,450	1,600	1,650	1,700
F	WIDELY VARIABLE				

- หมายเหตุ: a For 2 Lane Ramp, Multiply the Value by 1.7 for ≤ 20 mph (≤ 32)
 1.8 for 21 – 30 mph (34-48)
 1.9 for 31 – 40 mph (50-64)
 2.0 for ≥ 41 mph (≥ 66)
- b Level of Service not attainable due = to restricted design speed

ความเร็วที่ใช้ในการออกแบบ (Design Speed)

กรมทางหลวง (2539) ความเร็วในการขับรถจะขึ้นอยู่กับหลักการพิจารณา 5 ประการคือ

- การตัดสินใจของผู้ขับขี่เพื่อถึงจุดประสงค์ในทางเข้า-ออก
- ลักษณะของทางก่อนเข้าทางแยกต่างระดับ
- สภาพจราจรบริเวณทางแยกต่างระดับ
- การจำกัดความเร็วเนื่องจากรูปแบบทางเรขาคณิต
- ความเร็วก่อนเข้าพื้นที่ของทางแยกต่างระดับ โดยพิจารณาจากสภาพแวดล้อม

ความเร็วออกแบบที่เหมาะสม (Desirable) สำหรับช่องทางต่อเชื่อม ควรมีค่าใกล้เคียงกับความเร็วออกแบบบนทางหลวงที่ตัดกัน อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติแล้วความเร็วออกแบบบนช่องทางต่อเชื่อมมักจะน้อยกว่าความเร็วบนทางหลวงและแตกต่างกันตามประเภทของช่องทางต่อเชื่อม แต่ทั้งนี้ต้องไม่น้อยกว่าค่าต่ำสุด (minimum) ที่แสดงใน ตารางที่ 2 สำหรับทางด่วน (Freeway) ความเร็วออกแบบจะต้องไม่น้อยกว่า 80 กม./ชม. สำหรับช่องทางออก (กรมทางหลวง, 2550)

ตารางที่ 2 แสดงค่าความเร็วแนะนำที่ใช้ในการออกแบบช่องทางต่อเชื่อมโดยสัมพันธ์กับความเร็วออกแบบของทาง

Highway Design Speed (km./hr.)	50	60	70	80	90	100	110	120
Ramp Design Speed (km./hr.)								
Upper range (85%)	40	50	60	70	80	90	100	110
Middle range (70%)	30	40	50	60	60	70	80	90
Lower range (50%)	20	30	40	50	50	50	60	70

ที่มา: กรมทางหลวง (2550); AASHTO (2004)

สำหรับการออกแบบทางด้านเรขาคณิตสำหรับทางแยกต่างระดับนั้น กรมทางหลวง (2550) ได้กำหนดว่า จะต้องออกแบบให้เป็นไปตามที่ระบุไว้ในมาตรฐานของกรมทางหลวง และมาตรฐานสากลซึ่งเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป เช่น AASHTO เป็นต้น โดยกรมทางหลวงได้กำหนด

มาตรฐานการออกแบบด้านเรขาคณิตสำหรับทางแยกต่างระดับทั่วไป แสดงใน ตารางที่ 3 มาตรฐานสำหรับทางหลวงพิเศษ (ในเมือง) แสดงใน ตารางที่ 4 และมาตรฐานสำหรับทางหลวงพิเศษ (นอกเมือง) แสดงใน ตารางที่ 5 มาตรฐานจะแสดงค่าไว้ 2 กรณี คือ เกณฑ์ที่เหมาะสม (Desirable) และเกณฑ์ต่ำสุด (Absolute Minimum)

ตารางที่ 3 มาตรฐานการออกแบบด้านเรขาคณิต สำหรับทางแยกต่างระดับ

Design Element	Unit	Desirable Standard	Absolute Minimum Standard
Loop Ramps			
Design Speed	kph	60	40
Minimum Horizontal Radius	m	130	50
Maximum Superelevation	%	6	10
Maximum Gradient (up)	%	4	6
Maximum Gradient (down)	%	5	7
Minimum Stopping Sight Distance	m	90	50
Semi-directional Ramps			
Design Speed	kph	70	50
Minimum Horizontal Radius	m	190	75
Maximum Superelevation	%	6	10
Maximum Gradient (up)	%	4	5
Maximum Gradient (down)	%	4	6
Minimum Stopping Sight Distance	m	130	70
Directional Ramps			
Design Speed	kph	90	70
Minimum Horizontal Radius	m	335	155
Maximum Superelevation	%	6	10
Maximum Gradient (up)	%	4	5
Maximum Gradient (down)	%	4	6
Minimum Stopping Sight Distance	m	170	110

ที่มา: AASHTO (2004)

ตารางที่ 4 มาตรฐานการออกแบบด้านเรขาคณิตของทางหลวงพิเศษในเมือง

Parameter		Desirable Standard	Absolute Lowest Standard
A.	GEOMETRIC CROSS SECTIONS OF MAIN RAMP		
	Lane width	3.50 m.	3.50 m.
	Outer Shoulder Width	2.50 m.	2.00 m.
	Inner Shoulder Width	0.70 m.	0.50 m.
	Ultimate Median Width (Barrier Type)	3.00 m.	2.60 m.
	Minimum Vertical Clearance	5.25 m.	5.00 m.
	Maximum Gradient	4%	4%
	Maximum Superelevation	4%	6%
B.	DESIGN SPEED RELATED STANDARDS FOR MAIN RAMP		
	Design Speed	100 kph.	80 kph.
	Min. Stopping Sight Distance	205 m.	157 m.
	Min. Horizontal Radius with 4% superelevation	490 m.	
	Min. Horizontal Radius with 6% superelevation	435 m.	
	Vertical Curvature K Value (crest)	105	62
	Vertical Curvature K Value (sag)	51	37
C.	GEOMETRIC CROSS SECTIONS TO RAMPS		
	Maximum Gradient (uphill)	4%	5%
	Maximum Gradient (downhill)	4%	6%
	Maximum Superelevation	6%	8%
	Outer Shoulder Width	2.50 m.	2.50 m.
	Inner Shoulder Width	1.50 m.	1.50 m.
	Single Lane Width	4.50 m.	4.50 m.
	Two Lane Width	7.00 m.	7.00 m.
	Entry Taper	1 : 30	1 : 30
	Exit Taper	1 : 30	1 : 30
D.	DESIGN SPEED RELATED STANDARDS FOR RAMPS		
D1	DIRECTIONAL RAMPS		
	Design Speed	50 kph.	50 kph.
	Minimum Horizontal Radius with 6% superelevation	90 m.	
	Minimum Horizontal Radius with 8% superelevation	80 m.	
	Min. Stopping Sight Distance	63 m.	58 m.
D2	LOOP RAMPS		
	Design Speed	40 kph.	40 kph.
	Minimum Horizontal Radius with 6% superelevation	55 m.	
	Minimum Horizontal Radius with 8% superelevation	50 m.	
	Min. Stopping Sight Distance	45 m.	45 m.

ที่มา: AASHTO (2004)

ตารางที่ 5 มาตรฐานการออกแบบด้านเรขาคณิตของทางหลวงพิเศษนอกเมือง

Parameter	Desirable Standard	Absolute Lowest Standard
A. GEOMETRIC CROSS SECTIONS OF MAIN RAMP		
Lane width	3.60 m.	3.60 m.
Outer Shoulder Width	3.00 m.	3.00 m.
Inner Shoulder Width	1.00 m.	1.00 m.
Ultimate Median Width (with 3 lanes)	6.30 m.	3.60 m.
Verge Width	0.50 m.	0.50 m.
Minimum Vertical Clearance	5.25 m.	5.00 m.
Maximum Gradient	3%	5%
Maximum Superelevation	4%	7%
B. DESIGN SPEED RELATED STANDARDS FOR MAIN MOTORWAY		
Design Speed	120 kph.	100 kph.
Min. Horizontal Radius with 4% superelevation	290 m.	210 m.
Min. Horizontal Radius with 7% superelevation	720 m.	
Vertical Curvature K Value (crest)	165	100
Vertical Curvature K Value (sag)	65	40
C. GEOMETRIC CROSS SECTIONS TO RAMPS		
Maximum Gradient (uphill)	4%	5%
Maximum Gradient (downhill)	4%	6%
Maximum Superelevation	6%	10%
Outer Shoulder Width	3.00 m.	3.00 m.
Inner Shoulder Width	1.00 m.	1.00 m.
Single Lane Width	4.00 m.	4.00 m.
Two Lane Width	7.20 m.	7.20 m.
Entry Taper	1 : 50	1 : 30
Exit Taper	1 : 50	1 : 30
D. DESIGN SPEED RELATED STANDARDS FOR RAMPS		
D1. DIRECTIONAL RAMPS		
Design Speed	90 kph.	70 kph.
Minimum Horizontal Radius with 6% superelevation	335 m.	
Minimum Horizontal Radius with 10% superelevation	155 m.	
Min. Stopping Sight Distance	170 m.	110 m.
D2. LOOP RAMPS		
Design Speed	60 kph.	40 kph.
Minimum Horizontal Radius with 6% superelevation	130 m.	
Minimum Horizontal Radius with 8% superelevation	50 m.	
Min. Stopping Sight Distance	90 m.	50 m.

ที่มา: กรมทางหลวง (2539), AASHTO (2004)

องค์ประกอบสำคัญในการออกแบบแนวทางราบ

การออกแบบแนวทางราบ จะต้องออกแบบให้การขับรถมีความปลอดภัย มีความต่อเนื่องที่ดี โดยความเร็วในแต่ละช่วงจะต้องเป็นไปในลักษณะ Uniform Speed

หลักการเบื้องต้นที่ควรยึดถือในการออกแบบโค้งทางราบสำหรับทางแยกต่างระดับ

- หลีกเลี่ยง Broken Back Curve
 - หลีกเลี่ยงการใช้โค้งประกอบ (Compound Curve) ที่มีรัศมีโค้งต่างกันเกิน 2 เท่า หากเป็นไปได้ ควรแก้ไขเป็น Simple Curve โค้งเดียว
 - หลีกเลี่ยงการใส่โค้งทางราบสั้นๆ เชื่อมระหว่างแนวทางตรงยาวๆ Reverse Curve ที่มีรัศมีน้อยๆ ควรแก้ไขให้มี Tangent ระหว่างโค้ง โดยความยาวของ Tangent ไม่ควรน้อยกว่า 0.6V เมตร ($V = \text{Design Speed}$, กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
 - ออกแบบให้มีระยะมองเห็นเพียงพอ อย่างน้อยต้องเท่ากับระยะหยุดโดยปลอดภัย
- การผสมผสานระหว่างแนวทางราบและทางโค้งที่เหมาะสม จะช่วยให้สภาพการมองเห็นดีขึ้น ลดความเครียดและรู้สึกผ่อนคลายในขณะที่ขับรถมากขึ้น อันจะส่งผลให้การเดินทางปลอดภัยมากขึ้น หลักการเบื้องต้นในการออกแบบโค้งทางราบให้มีความสัมพันธ์กับโค้งทางโค้ง เช่น
- จำนวนโค้งทางราบและทางโค้งควรจะสมดุลกัน และควรเป็นไปในลักษณะเดียวกัน คือมีตำแหน่งของจุด PI และ PVI ใกล้เคียงกัน โดยให้จุดยอดของโค้งทางโค้งอยู่ตรงกลางโค้งของโค้งทางราบ ในกรณีที่จะสามารถทำได้ อาจใช้การลดจำนวนโค้งทางราบ โดยให้ Long Tangent ของโค้งทางราบอยู่ตรงกับจุดต่ำสุดของโค้งทางโค้ง จะช่วยให้ Long Tangent มีความนุ่มนวลขึ้น
 - หลีกเลี่ยงการออกแบบให้จุดยอดของโค้งคว่ำ อยู่ตรงกับ Short Tangent หรือจุดเปลี่ยนโค้งของโค้งแนวราบ เนื่องจากจุดยอดของโค้งคว่ำจะบังแนวการมองเห็นของผู้ขับรถ และออกแบบให้จุดต่ำสุดของโค้งทางโค้ง อยู่ตรงกลางช่วง Short Tangent ของ Reverse Curve แต่ไม่ควรให้อยู่ตรง

จุดเริ่มต้นโค้งทางราบ เนื่องจากจุดต่ำสุดของโค้งหงาย จะทำให้โค้งทางราบมีลักษณะคล้ายเป็น Sharp Curve

การออกแบบแนวราบและแนวดิ่งจะสัมพันธ์กับระยะมองเห็นใน 2 ลักษณะ ที่ต้องนำมาพิจารณาในการออกแบบคือระยะมองเห็นเพื่อหยุดรถ (Stopping Sight Distance) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าระยะมองเห็นไม่มีการแซง (Non-passing Sight Distance) และระยะทางมองเห็นเพื่อแซงขึ้นหน้า (Passing Sight Distance) โดยจะต้องมี Stopping Sight Distance ที่เพียงพอตามความเร็วที่ใช้ในการออกแบบในทุกๆ จุด (กรมทางหลวง, 2539)

กรมทางหลวง (2539) กล่าวถึงองค์ประกอบสำคัญในการออกแบบแนวทางราบ คือ

- โค้งทางราบ
- การยกขอบถนน
- ระยะมองเห็น

1. โค้งทางราบ

1.1 โค้งวงกลม

การออกแบบแนวราบจะเกี่ยวข้องกับการออกแบบโค้ง (Horizontal Curve) ซึ่งต้องพิจารณารัศมีโค้งวงกลมความยาวของช่วงปรับเปลี่ยน (Transition Length) ที่ต้องการ สำหรับการปรับจาก Normal Crown Slope เป็นการยกโค้งเต็ม (Full Superelevation) การขยายความกว้างในโค้งและอัตราการใช้โค้ง การออกแบบทางยังไม่มีการใช้ Transition Curve แทรกระหว่างเส้นตรงและโค้งวงกลม ยกเว้นการออกแบบทางแยกต่างระดับซึ่งมีการใช้ Spiral Curve แทรกเพื่อให้เกิดการปรับเปลี่ยนของแนวไปตามลำดับรัศมีของโค้งวงกลมที่ต้องการขึ้นกับความเร็วที่ใช้ออกแบบตามสูตร

$$R = \frac{V^2}{127.5(e + f)}$$

โดยที่ R	=	รัศมีของโค้งวงกลม หน่วย เมตร
V	=	ความเร็วที่ใช้ออกแบบ หน่วย กม./ชม.
e	=	อัตราการยกโค้ง
f	=	สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานด้านข้าง (Coefficient of Sideway Friction) ที่ขึ้นกับความเร็วดังแสดงใน ตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานด้านข้าง (Coefficient of Sideway Friction)

ความเร็วที่ใช้ออกแบบ (กม./ชม.)	สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานด้านข้าง (f)
40	0.19
50	0.17
60	0.16
70	0.15
80	0.14
100	0.12
120	0.11

ที่มา: กรมทางหลวง (2539)

เมื่อใช้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานด้านข้างมาคำนวณรัศมีของโค้ง โดยกำหนดความเร็วที่ใช้ออกแบบจะได้รัศมีโค้งต่ำสุดที่ต้องการกรณีการยกโค้งเท่ากับ 0.04 ม./ม. และต่ำสุดกรณียกโค้งถึง 0.10 ม./ม. แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 รัศมีโค้งวงกลมต่ำสุดที่ความเร็วต่างๆ

ความเร็วที่ใช้ออกแบบ กม./ชม.	รัศมีโค้งวงกลม (ม.)	
	ต่ำสุดที่ต้องการ (Desirable Min.)	ต่ำสุด
40	55	45
50	95	75
60	145	110
70	205	155
80	280	210
90	370	275
100	490	355
120	750	540

ที่มา: กรมทางหลวง (2539)

1.2 โค้งก้นหอย (Spiral Curve)

วัชรินทร์ (2535) อธิบายถึงโค้งก้นหอยว่า คือโค้งเปลี่ยนแนวรูปก้นหอย นิยมใช้เป็นส่วนหนึ่งของโค้งทางราบสำหรับทางหลวง หรือทางรถไฟที่ออกแบบไว้สำหรับความเร็วสูง เพราะโค้งชนิดนี้ค่อยๆ เปลี่ยนความโค้งจากแนวเส้นตรงจนเป็นทางโค้งของส่วนโค้งวงกลม ทำให้การบังคับเลี้ยวเป็นไปได้อย่างสบายกว่าการใช้โค้งวงกลมต่อเชื่อมกับทางตรง ทั้งนี้เพราะแรงหนีศูนย์กลางค่อยๆ เพิ่มขึ้นทำให้ผู้ขับขี่ปรับตัวได้ง่าย

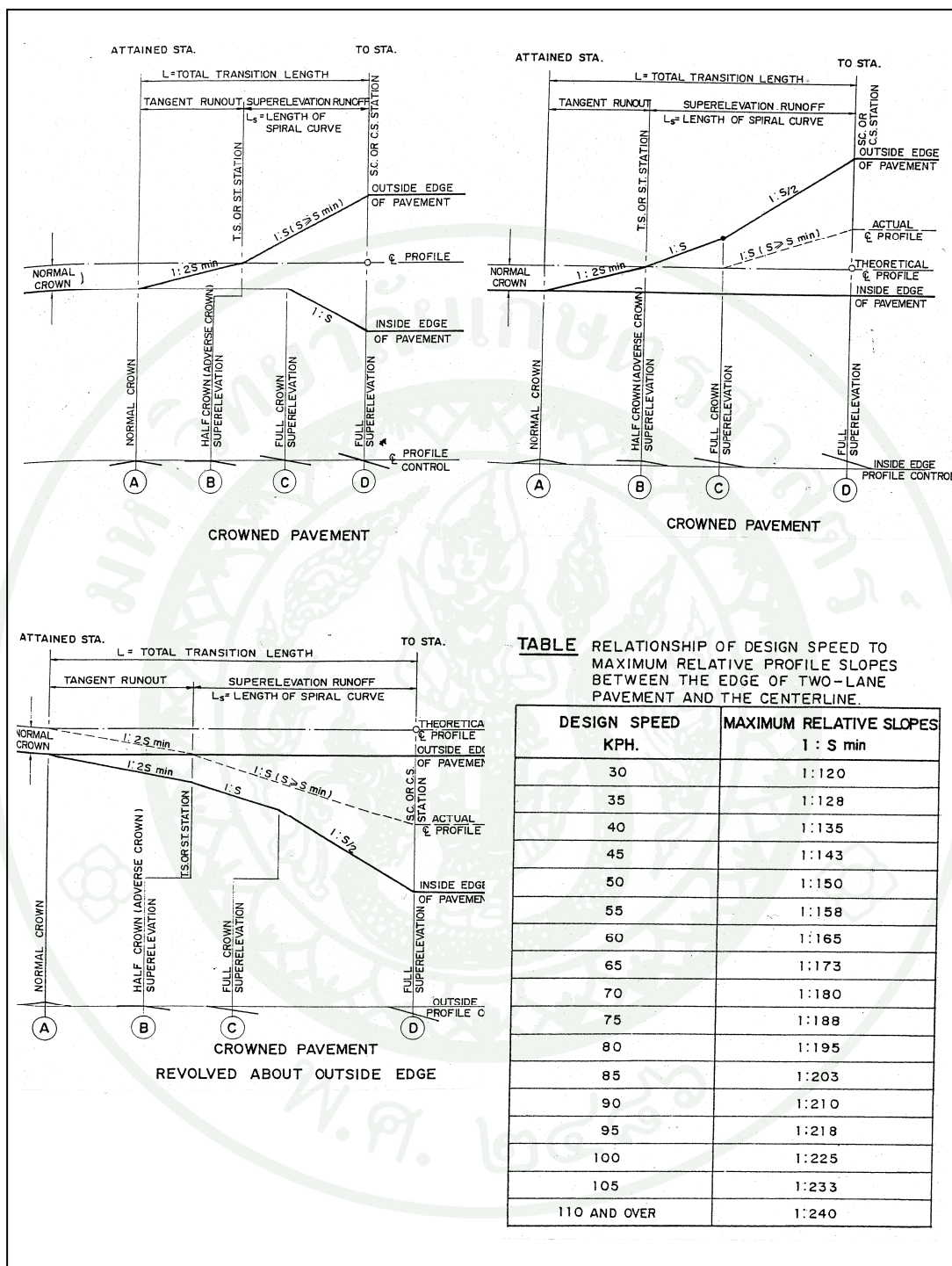
ส่วนประกอบของโค้งก้นหอยดังแสดงในภาพที่ 18 ซึ่งอธิบายส่วนประกอบและสูตรที่ใช้ของโค้งก้นหอย (Notation and Formulae for Spirals) ได้ดังนี้

θ_s	=	มุมที่จุดศูนย์กลาง (Central Angle) ของโค้งก้นหอยซึ่งรองรับด้วยส่วนโค้งยาว I_s อาจเรียกว่ามุมสไปรอล (Spiral Angle)
ϕ	=	มุมเห (Deflection Angle) ของโค้งก้นหอยจากจุด TS ของเส้นสัมผัสเส้นแรกไปยังจุดใดๆ บนโค้งก้นหอย
D	=	องศาของโค้ง (Degree of Curve) ของโค้งก้นหอยที่จุดใดๆ เมื่อ $R =$ รัศมีโค้ง
D_c	=	องศาของโค้ง (Degree of Curve) ของโค้งวงกลมที่เลื่อนมาสัมผัสกับโค้งก้นหอยที่จุด SC และโค้งวงกลมมีรัศมีเท่ากับ R_c
K	=	อัตราค่าการเปลี่ยนองศาของโค้งต่อหน่วยความยาวของโค้งก้นหอย
	=	$\frac{D_c}{I_s}$
Δ	=	ค่ามุมทั้งหมดที่จุดศูนย์กลางของโค้งวงกลมเดิม
Δ_c	=	มุมที่จุดศูนย์กลางของโค้งวงกลมซึ่งรองรับด้วยส่วนโค้ง L_c เชื่อมจากจุด SC ถึงจุด CS
	=	$\Delta - 2\theta_s$
y	=	ระยะตั้งฉากจากเส้นสัมผัสไปยังจุดบนโค้งก้นหอยเมื่อเทียบกับจุด TS
y_s	=	ระยะตั้งฉากจากเส้นสัมผัสไปยังจุด SC
x	=	ระยะตามแนวเส้นสัมผัสของจุดใดๆ บนโค้งก้นหอย เมื่อเทียบกับจากจุด TS
x_s	=	ระยะตามแนวเส้นสัมผัสของจุด SC เทียบจากจุด TS
p	=	ระยะตั้งฉากจากเส้นสัมผัสมายังจุด PC ของโค้งวงกลมเดิม
	=	$y_s - R_c \text{ vers } \theta_s$
k	=	ระยะตามแนวสัมผัส (Abscissa) ของจุด PC เดิมที่เลื่อน เมื่อเทียบกับจากจุด TS
	=	$x_s - R_c \sin \theta_s$
T_s	=	ความยาวทั้งหมดของเส้นสัมผัส คือระยะจากจุด PI ไปจุด TS หรือจากจุด PI ไปจุด ST
	=	$(R_c + p) \tan \frac{1}{2} \Delta + k$

E_s	=	ระยะภายนอกทั้งหมด (Total External Distance)
	=	$(R_c + p) \sec \frac{1}{2} \Delta + p$
L.C.	=	ความยาวคอร์ด (Long Chord)
L.T.	=	ความยาวเส้นสัมผัส (Long Tangent)
S.T.	=	ความสั้นสัมผัส (Short Tangent)

ในการกำหนดความยาวโค้งก้นหอย (Length of Spiral Curve, I_s) โดยทั่วไปจะไม่กำหนดเป็นค่าตายตัวที่ได้จากการแทนค่าในสูตรดังกล่าวข้างต้น ตราบใดที่มีความยาวเพียงพอที่จะทำให้ผู้ขับขี่สามารถขับรถเข้าโค้งได้อย่างนิ่มนวล ซึ่ง กรมทางหลวง (2539) ได้พิจารณากำหนด I_s จากการยกขอบถนน (Superelevation) ควบคู่กันไป โดย $I_s = \text{Superelevation Ruoff}$ ดังแสดงใน ภาพที่

19

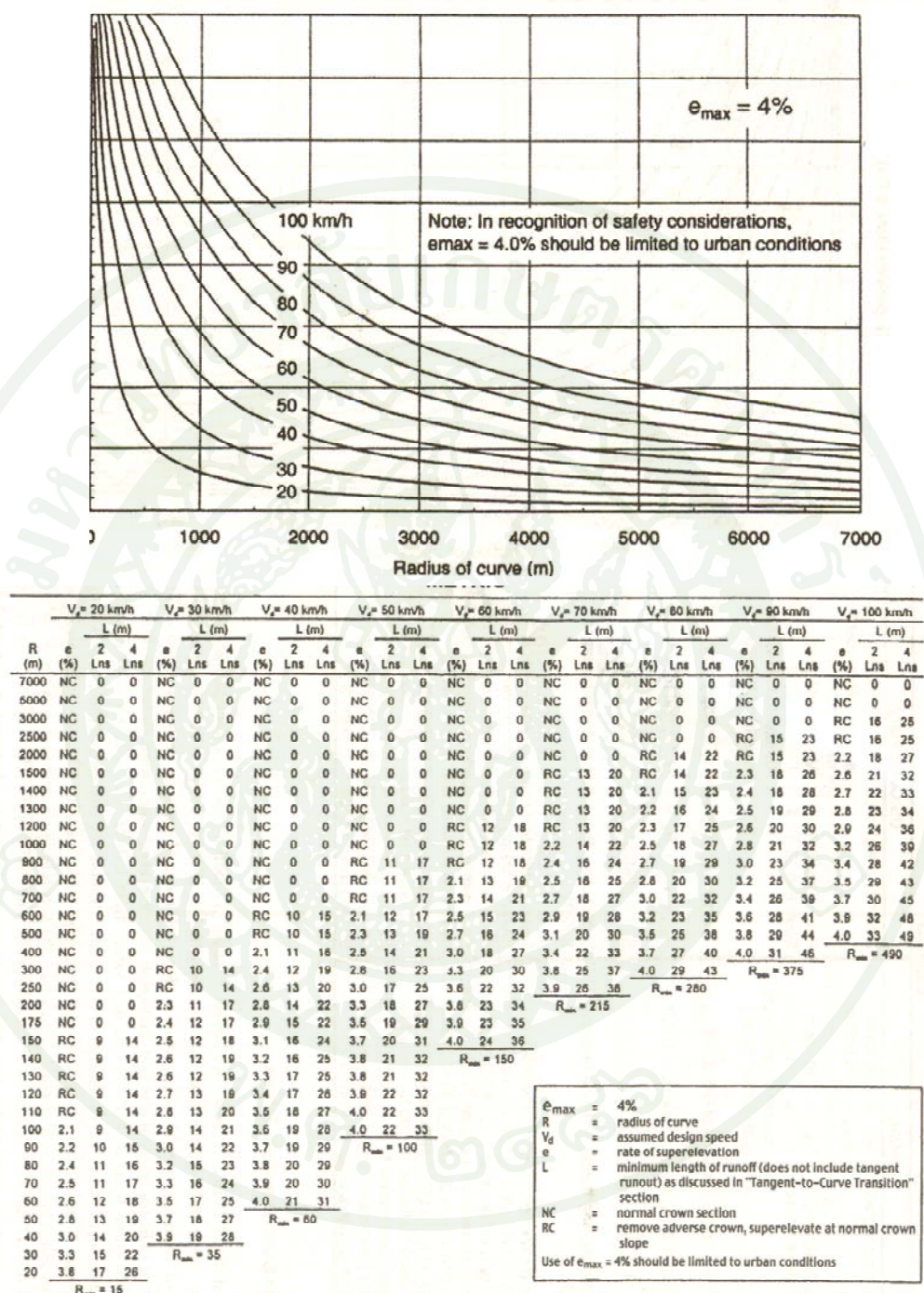


ภาพที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวโค้งก้นหอยและการยกขอบถนน

ที่มา: กรมทางหลวง (2539)

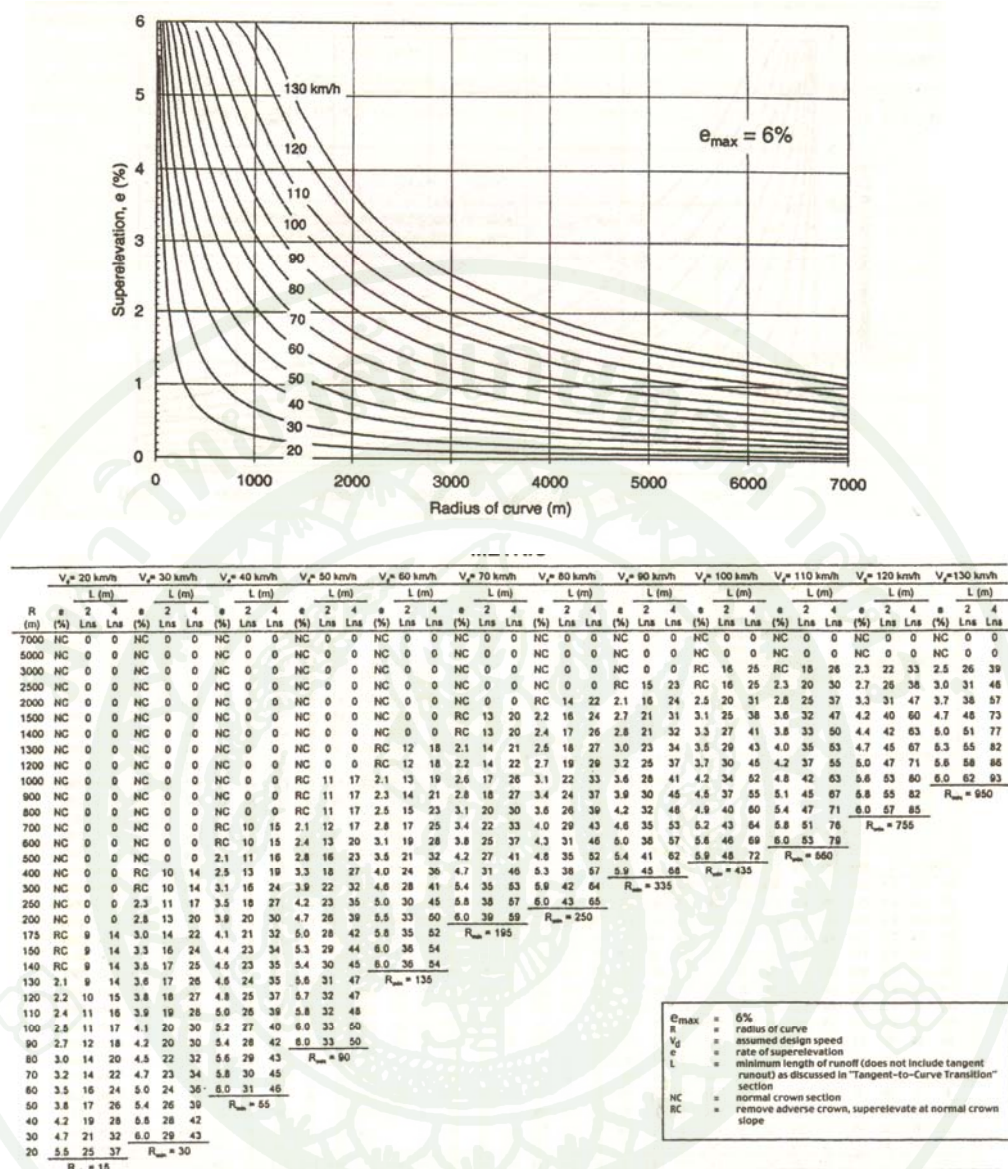
2. การยกขอบถนน (Superelevation)

เป็นที่ทราบกันดีว่าในขณะที่รถวิ่งบนทางโค้ง จะเกิดแรงหนีศูนย์กลางกระทำกับตัวรถ และหากแรงนี้มากพอจะทำให้รถพลิกคว่ำ ดังนั้นสิ่งที่สำคัญมากที่สุดอีกสิ่งหนึ่งที่จะต้องพิจารณาในการออกแบบรายละเอียด งานทางเพื่อให้เกิดความปลอดภัย คือการยกขอบถนน (Superelevation) และการจัดระยะในการยกขอบถนน (Transition Length) ให้ถูกต้องและเหมาะสมกับความเร็วที่ใช้ในการออกแบบ AASHTO (2004) อธิบายถึงวิธีการหาอัตราการยกขอบถนนด้วยวิธี method 5 Procedure โดยแสดงผลจากการคำนวณเป็นตารางและกราฟเทียบระหว่างรัศมีโค้งทางราบกับค่าอัตราการยกขอบถนน ณ ค่าการยกขอบถนนสูงสุดเท่ากับ 4%, 6%, 8% และ 10% ดังแสดงในภาพที่ 20 ถึง ภาพที่ 23



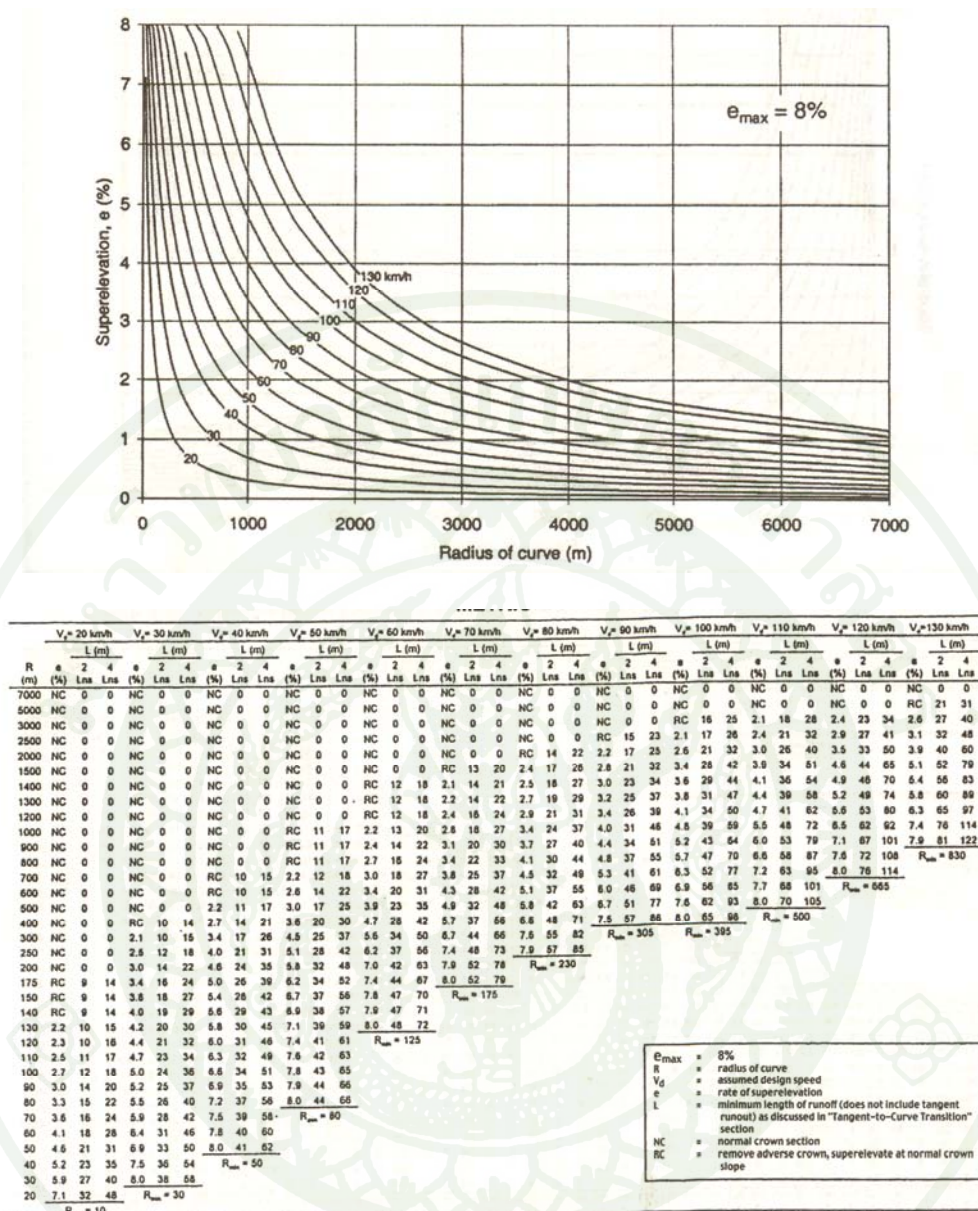
ภาพที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีโค้งทางราบและการยกขอบถนน ที่การยกขอบถนนสูงสุด 4%

ที่มา: AASHTO (2004)



ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีโค้งทางราบและการยกขอบถนน ที่การยกขอบถนนสูงสุด 6%

ที่มา: AASHTO (2004)



ภาพที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีโค้งทางราบและการยกขอบถนน ที่การยกขอบถนนสูงสุด 8%

ที่มา: AASHTO (2004)

กรมทางหลวง (2539) โดยทั่วไปการยกขอบถนนจะหาจากสูตร

$$e + f = V^2 / 127.5 R$$

โดย	e	=	อัตราการยกขอบถนน, ม./ม.
	f	=	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
	V	=	ความเร็วที่ใช้ในการออกแบบ, กม./ชม.
	R	=	รัศมีโค้ง, ม.

กล่าวอีกนัยหนึ่ง แรงหนีศูนย์กลาง สามารถสมดุลได้ด้วยแรง 2 แรงคือ แรงเนื่องจากการยกขอบถนน (e) และแรงเนื่องจากความเสียดทาน (f)

ถ้าอัตราการยกโค้งที่คำนวณได้ต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของ Crown Slope โค้งนั้นไม่ต้องยกโค้ง คงเป็น Normal Crown Slope ตลอดโค้ง ถ้าอัตราการยกโค้งที่คำนวณได้อยู่ระหว่างครึ่งหนึ่งของ Crown Slope จนถึงเท่ากับ Crown Slope ให้ยกโค้งเท่ากับ Crown Slope เรียกว่า Reverse Crown

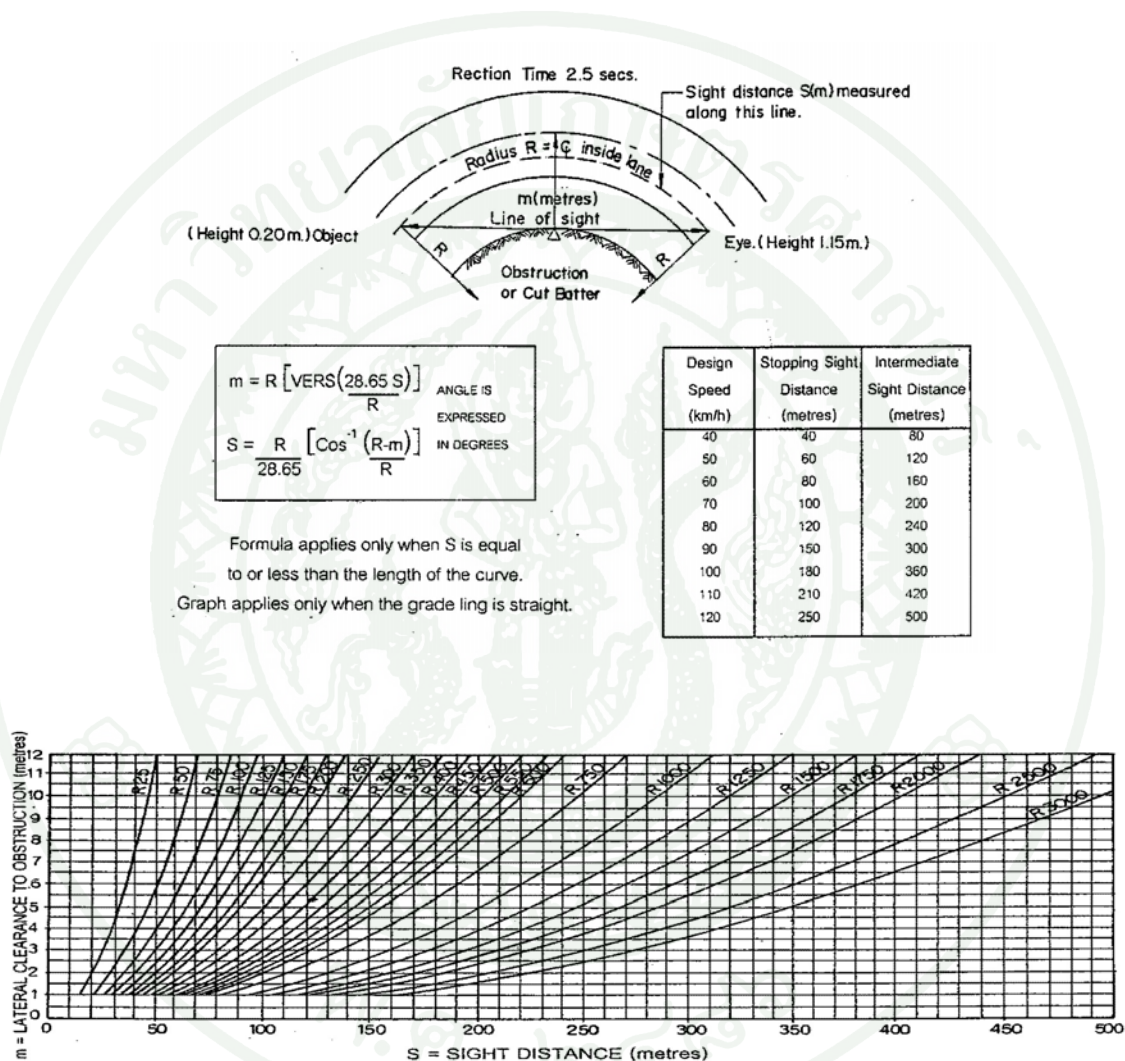
การปรับเปลี่ยนจาก Normal Crown Slope เป็น Full Superelevation จะใช้ความลาดชันสัมพัทธ์ (Relative Slope) ระหว่างขอบทางร่วกับ Centerline Profile Grade หรือระหว่างขอบทางร่วกับ ซึ่งขึ้นกับแกนที่ใช้หมุน (Axis of Rotation) ความลาดชันสัมพัทธ์สูงสุดขึ้นกับความเร็วที่ใช้ ออกแบบดังแสดงไว้แล้วใน ภาพที่ 19

3. ระยะมองเห็น

ระยะมองเห็นเป็นองค์ประกอบที่สำคัญมากในการออกแบบงานทาง ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อความปลอดภัยแก่ผู้ขับขี่รถยนต์ ระยะมองเห็นที่ออกแบบจะต้องยาวเพียงพอที่ผู้ขับขี่จะสามารถมองเห็นและตัดสินใจอย่างเหมาะสมเพื่อมิให้เกิดอุบัติเหตุ โดยจะต้องพิจารณาในการออกแบบ แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

- ระยะที่ผู้ขับขี่สามารถมองไปได้ไกลที่สุด (Sight Distance)
- ระยะมองเห็นในการหยุดรถโดยปลอดภัย (Stopping Sight Distance)
- ระยะมองเห็นในการแซง (Passing Sight Distance)

ระยะทางการมองเห็นในการหยุดรถโดยปลอดภัย ดังแสดงใน ภาพที่ 24 เป็นระยะทางขั้นต่ำที่ต้องการสำหรับผู้ขับขี่ ยวดยาน ซึ่งโดยเฉลี่ยขับขี่ด้วยความเร็วที่กำหนด มีปฏิกิริยาและหยุดรถก่อนที่จะถึงวัตถุที่ขวางอยู่บนทางนั้น ระยะทางการมองเห็นในการหยุดรถโดยปลอดภัยจะวัดจากตัวผู้ขับขี่ซึ่งสมมติให้ สายตาสูงจากผิวถนน 1.15 เมตร ไปยังวัตถุสูง 0.20 เมตร

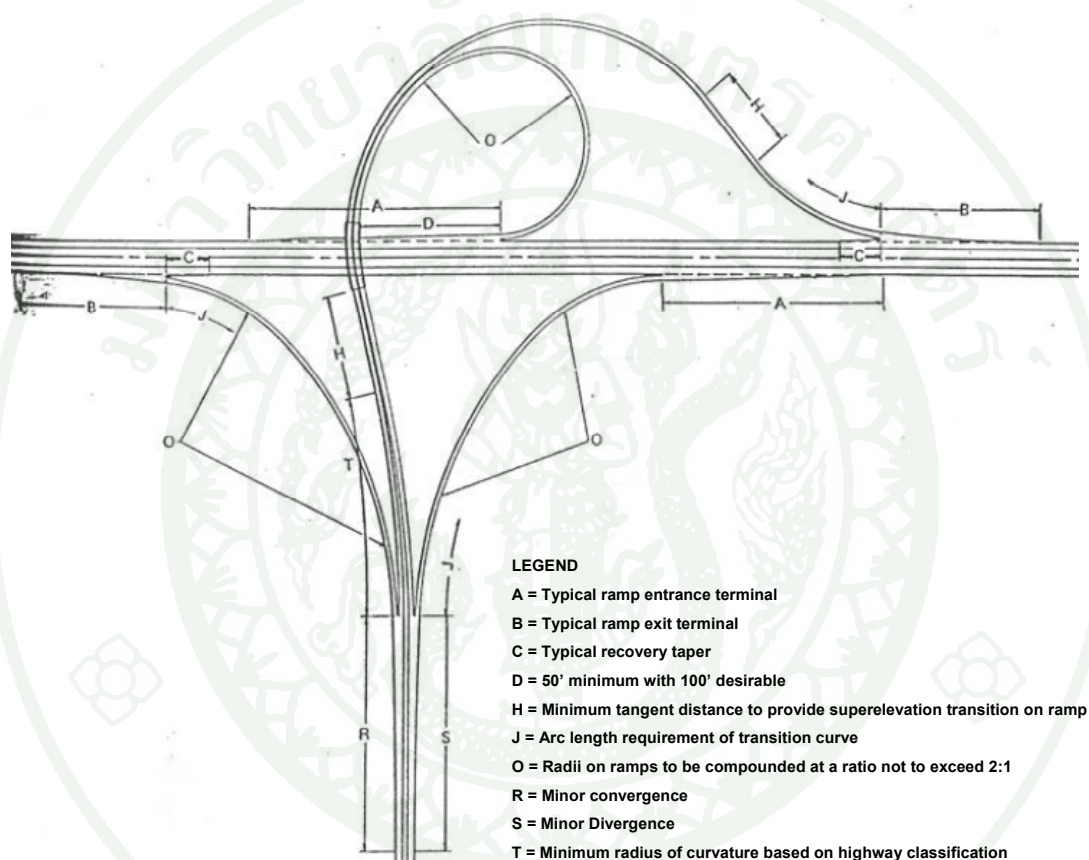


ภาพที่ 24 ระยะการมองเห็นปลอดภัย

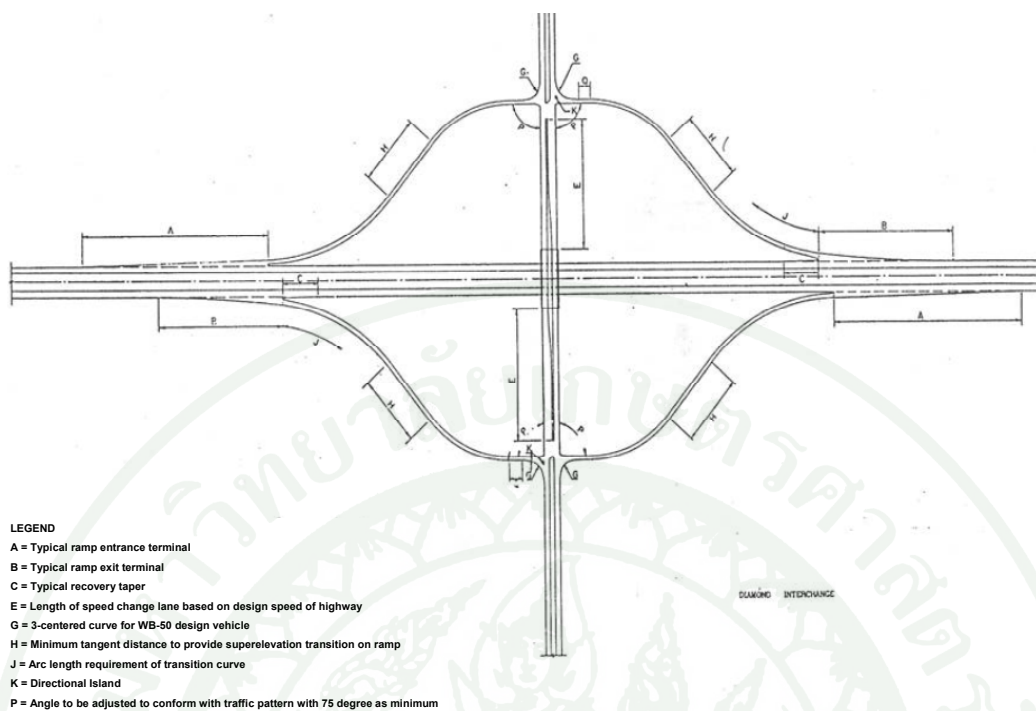
ที่มา: AASHTO (2004)

องค์ประกอบตัวแปรแนวทางราบของทางแยกต่างระดับ

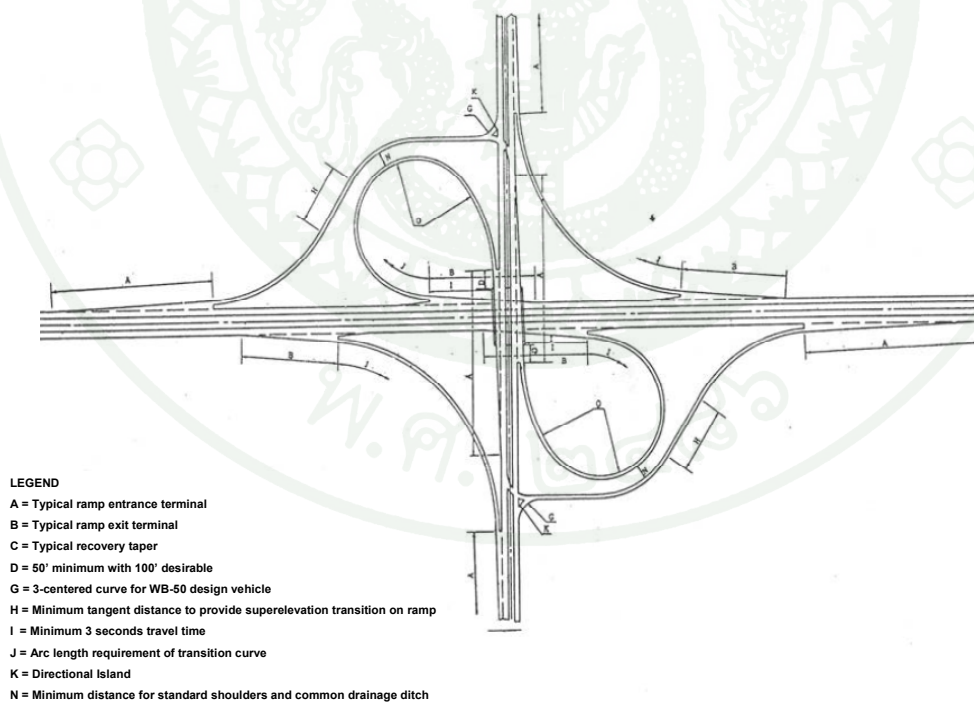
กรมทางหลวง (2550) แสดงองค์ประกอบของแนวทางราบของทางแยกต่างระดับในหลายๆ รูปแบบ ดังแสดงใน ภาพที่ 26 ถึง ภาพที่ 30



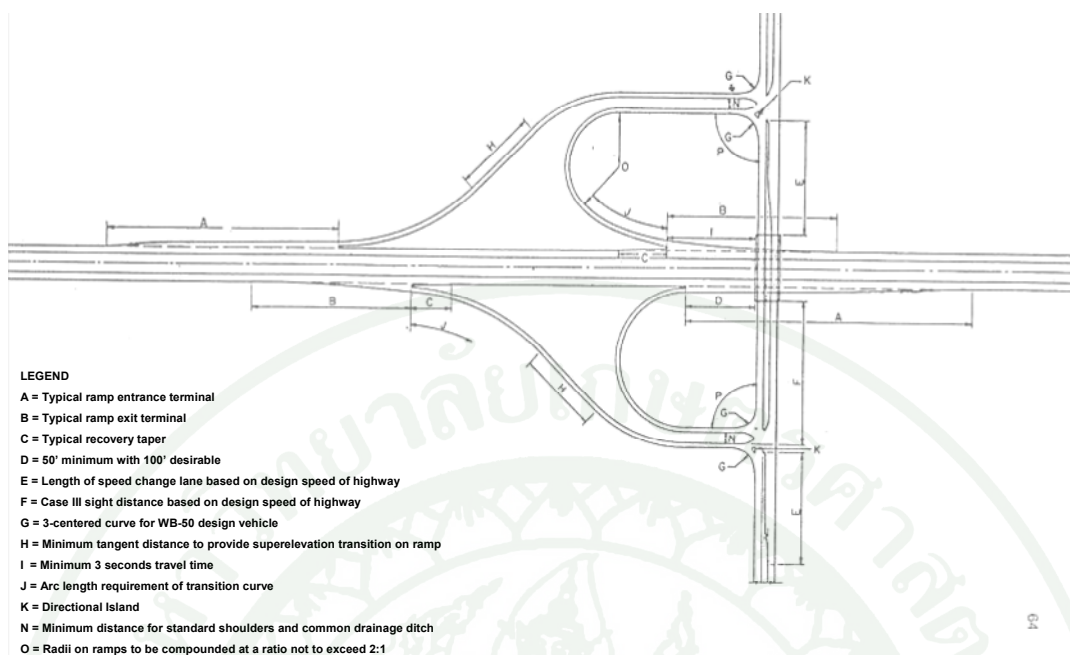
ภาพที่ 25 องค์ประกอบของTRUMPET INTERCHANGE



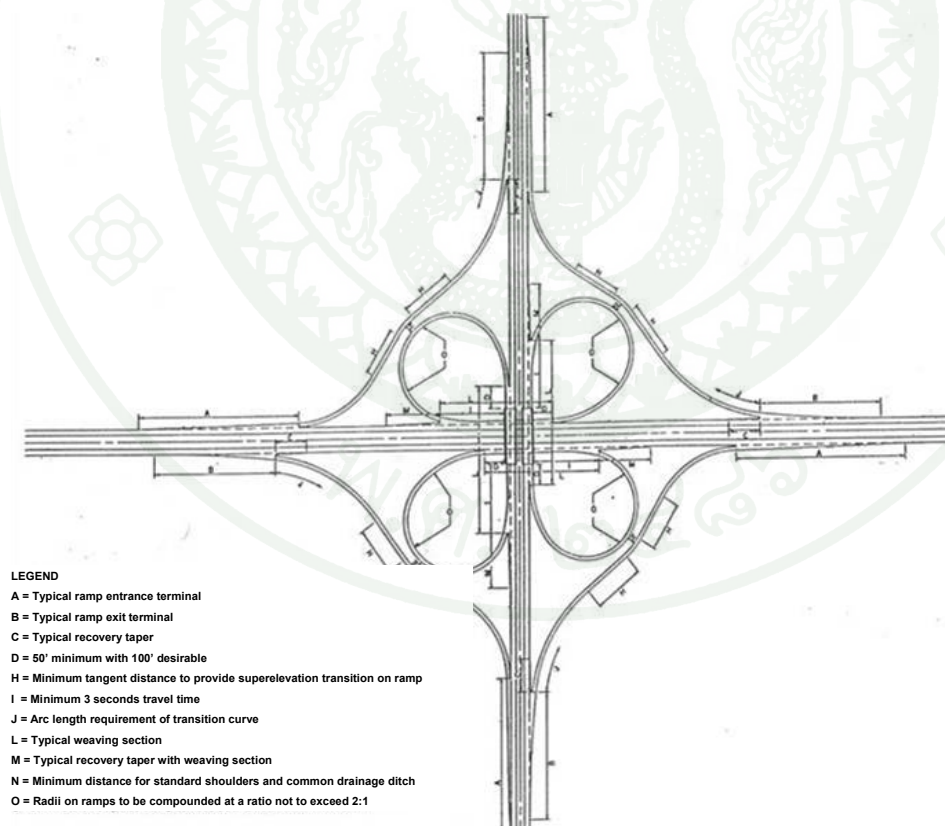
ภาพที่ 26 องค์ประกอบของ DIAMOND INTERCHANGE



ภาพที่ 27 องค์ประกอบของ PARTIAL CLOVERLEAF INTERCHANGE



ภาพที่ 28 องค์ประกอบของ SEMI CLOVERLEAF INTERCHANGE



ภาพที่ 29 องค์ประกอบของ FULL CLOVERLEAF INTERCHANGE

การออกแบบแนวทางโค้ง

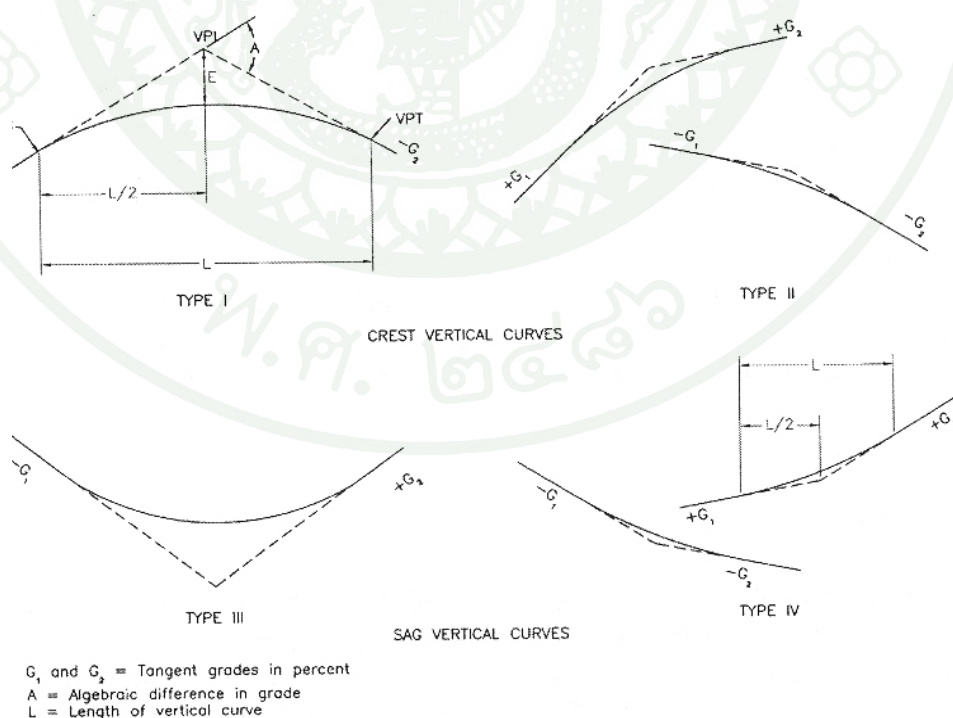
1. ลักษณะของโค้งแนวโค้ง

กรมทางหลวง (2539) โค้งแนวโค้งจะเป็นโค้งชนิด Parabolic Vertical Curve ซึ่งจะเป็นโค้งที่ใช้เชื่อมความลาดชันที่ต่อเนื่องกันเข้าด้วยกัน โดยเป็นการค่อยๆ เปลี่ยนความลาดชัน สำหรับกรณีที่มีความลาดชันตัดกันแล้ว ผลรวมทางพีชคณิตของความลาดชันทั้งสองไม่เกิน 0.3% ไม่จำเป็นต้องใช้โค้งแนวโค้ง ส่วนการวัดระยะทางในทางโค้งนั้นให้วัดระยะทางไปตามระยะราบ

AASHTO (2004) แบ่งโค้งแนวโค้งตามลักษณะออกเป็น 2 ลักษณะดังแสดงใน ภาพที่ 30 คือ

1. โค้งคว่ำ (Crest Vertical Curve)

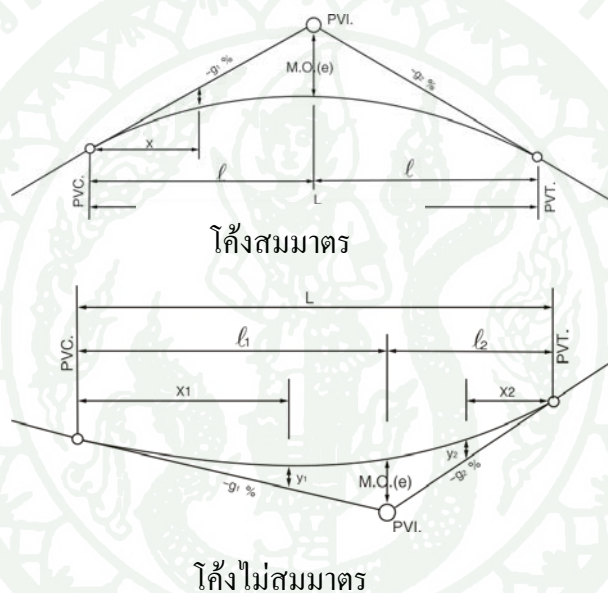
2. โค้งหงาย (Sag Vertical Curve)



ภาพที่ 30 ลักษณะของโค้งแนวโค้ง

นอกจากนี้ กรมทางหลวง (2539) ยังแยกออกได้เป็น 2 ชนิด ตามความสมมาตร แสดงในภาพที่ 3 คือ

1. โค้งสมมาตร (Symmetrical Curve) คือโค้งที่มีความยาวแต่ละข้างของจุดตัดโค้งตั้งเท่ากัน
2. โค้งไม่สมมาตร (Unsymmetrical Curve) คือโค้งที่มีความยาวแต่ละข้างของจุดตัดโค้งตั้งไม่เท่ากัน โดยทั่วไปจะให้ความยาวโค้งแต่ละข้างยาวไม่เกิน 2 เท่า



ภาพที่ 31 โค้งแนวตั้งแบบสมมาตรและไม่สมมาตร

2. องค์ประกอบสำคัญในการออกแบบทางแนวตั้ง

2.1 กรมทางหลวง (2539) ระยะมองเห็น โดยแบ่งออกตามลักษณะของโค้งแนวตั้งคือ

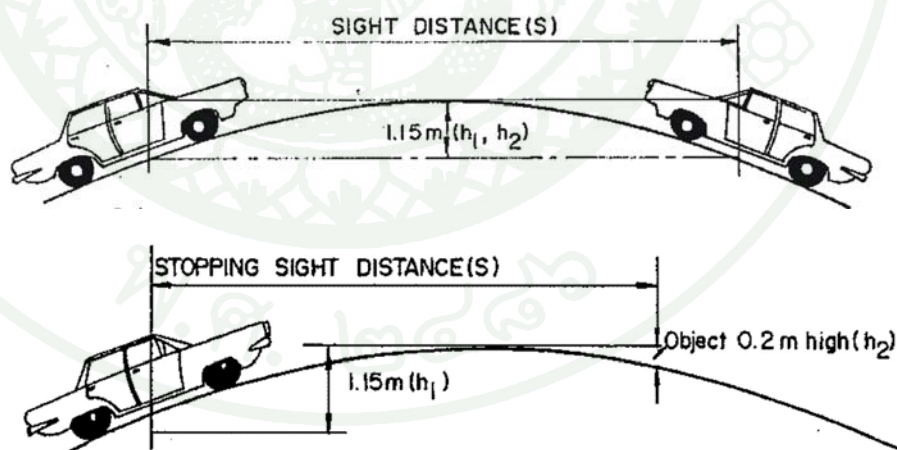
- ระยะมองเห็นบน โค้งคว่ำ (Sight Distance at Crest Vertical Curve) มี 2 กรณีคือ

กรณีที่ 1 : ระยะมองเห็นในการหยุดรถโดยปลอดภัย (Stopping Sight Distance) กำหนดระดับสายตาสูงจากผิวถนน 1.15 เมตร ไปยังวัตถุสูง 0.20 เมตร และกรณีที่ 2 : ระยะมองเห็นเพื่อแซงขึ้นหน้า (Overtaking Sight Distance) และระยะมองเห็นปานกลาง (Intermediate Sight Distance) กำหนดความสูงของระดับสายตา 1.15 เมตร ไปยังวัตถุสูง 1.15 เมตรจากผิวถนน AASHTO (2004) ดังแสดงใน ภาพที่ 32 โดยแสดงความสัมพันธ์ของระยะมองเห็นกับความยาวของโค้งแนวดิ่ง และผลต่างพีชคณิตของความลาดชันได้ดังนี้

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

$$\text{กรณี } L < S : L = 2S - \frac{200(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{A}$$

เมื่อ L = ความยาวโค้งแนวดิ่ง, ม.
 S = ระยะมองเห็น, ม.
 A = ผลต่างพีชคณิตของความลาดชัน
 h_1 = ความสูงของระดับสายตา,ม.



ภาพที่ 32 ระยะมองเห็นปลอดภัยบนโค้งคว่ำ

จะได้ระยะหยุดรถปลอดภัยสำหรับโค้งคว่ำดังแสดงใน ตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ระยะหยุดรถปลอดภัยบนโค้งคว่ำ

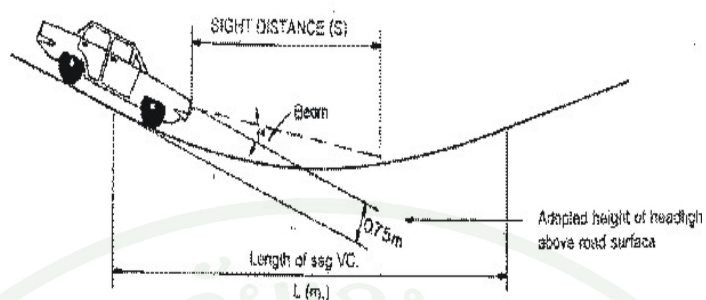
Design Speed (km/h)	Stopping Sight Distance (m)	Rate of Vertical Curvature, K^a	
		Calculated	Design
20	20	0.6	1
30	35	1.9	2
40	50	3.8	4
50	65	6.4	7
60	85	11.0	11
70	105	16.8	17
80	130	25.7	26
90	160	38.9	39
100	185	52.0	52
110	220	73.6	74
120	250	95.0	95
130	285	123.4	124

หมายเหตุ: K^a = Rate of vertical curvature, K, is the length of curve per percent algebraic difference in intersection grade (A). $K=L/A$

ที่มา: AASHTO (2001)

- ระยะหยุดรถปลอดภัยบนโค้งหงาย (Stopping Sight Distance at Sags Vertical Curve)

ในบริเวณโค้งดิ่งที่เป็นแอ่งต้องออกแบบให้มีมาตรฐานความสะดวกสบาย หรือ จัดให้มีระยะมองเห็นจากการฉายของ ไฟหน้ารถเพียงพอ ภาพที่ 33 แสดงระยะทางการมองเห็น ในการหยุดรถโดยปลอดภัยจากการฉายของไฟหน้ารถบนโค้งทางดิ่ง (โค้งหงาย) ในแต่ละความเร็ว ที่ใช้ออกแบบ



ภาพที่ 33 ระยะมองเห็นปลอดภัยบนโค้งหงาย

AASHTO (2004) โดยแสดงความสัมพันธ์ของระยะมองเห็นกับความยาวของโค้งแนวตั้ง และผลต่างพีชคณิตของความลาดชันได้ดังนี้

กรณี $L > S$: $L = \frac{S^2 A}{120 + 3.5S}$

กรณี $L < S$: $L = 2S - \frac{120 + 3.5S}{A}$

เมื่อ L = ความยาวโค้งแนวตั้ง, ม.

S = ระยะมองเห็น, ม.

A = ผลต่างพีชคณิตของความลาดชัน

จะได้ระยะหยุดรถปลอดภัยสำหรับโค้งคว่ำดังแสดงใน ตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ระยะหยุดรถปลอดภัยบนท้องทาง

Design Speed (km/h)	Stopping Sight Distance (m)	Rate of Vertical Curvature, K ^a	
		Calculated	Design
20	20	2.1	3
30	35	5.1	6
40	50	8.5	9
50	65	12.2	13
60	85	17.3	18
70	105	22.6	23
80	130	29.4	30
90	160	37.6	38
100	185	44.6	45
110	220	54.4	55
120	250	62.8	63
130	285	72.7	73

หมายเหตุ: K^a = Rate of vertical curvature, K, is the length of curve per percent algebraic difference in intersection grade (A). $K=L/A$

ที่มา: AASHTO (2004)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อาทร (2538) ได้ทำวิทยานิพนธ์โดยจัดทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการออกแบบด้านเรขาคณิตชนิด Partial – Cloverleaf แบบ Four Quadrant ซึ่งเป็นทางแยกต่างระดับที่ใช้กับ 4 แยก การสร้างโปรแกรมได้นำเอาแบบของทางแยกต่างระดับมาคำนวณทางด้านเรขาคณิตคือ โค้งทางราบ โค้งทางตั้ง และการยกโค้งทีละขั้นตอน จนได้ผลเท่ากับแบบ ต่อจากนั้น จึงทำการสร้างโปรแกรมให้สามารถคำนวณทางเรขาคณิตของทางแยกต่างระดับ โดยโปรแกรมนี้อาจช่วยในการออกแบบแนวทางราบได้ทั้งโค้งวงกลมและโค้งเปลี่ยนแนว ซึ่งจะแสดงผลออกมาเป็นค่าพิกัดใน 2 มิติ สำหรับการออกแบบโค้งทางตั้งสามารถคำนวณได้ทั้งโค้งแบบสมมาตรและไม่สมมาตร โดยแสดงผลเป็นค่าระดับของสถานีต่างๆ และแสดงผลด้วยรูปภาพ การออกแบบการยกโค้งสามารถคำนวณได้ทั้ง 3 แบบ คือ การหมุนรอบจุดศูนย์กลาง ขอบนอก และขอบใน นอกจากนั้น

ยังสามารถแสดงผลทางด้านรูปภาพการยกโค้งได้ด้วย การคำนวณโดยใช้โปรแกรมนี้ทำให้การออกแบบสะดวก รวดเร็วและลดโอกาสผิดพลาดได้มากกว่าการคำนวณที่ละขั้นตอนด้วยมือมาก

ชัยฤกษ์ (2543) ได้ทำวิทยานิพนธ์ในหัวข้อเรื่อง การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการออกแบบงานถนนทางด้านเรขาคณิต ซึ่งเป็นพัฒนาโดยใช้โปรแกรม Visual Basic (Version 5) ซึ่งเป็นโปรแกรมในเครือ Microsoft ที่ง่ายต่อการใช้งานเนื่องจากเป็นโปรแกรมแบบ Graphical User Interface โดยการนำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อออกแบบการคำนวณปริมาณงานซึ่งเป็นผลจากการออกแบบด้านเรขาคณิต เช่น ค่าการยกโค้ง การคำนวณปริมาณดิน เป็นต้น โดยจะใช้ได้สำหรับถนนขนาด 2 ช่องจราจร ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง กรมโยธาธิการ และสำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท โดยผลลัพธ์ที่ได้อยู่ในระดับใกล้เคียงกับการคำนวณโดยวิธีเดิมมาก แต่ใช้ระยะเวลาในการคำนวณน้อยกว่าและผลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมนี้ สามารถนำไปใช้เป็นหลักฐานทางราชการได้

ธีรลักษณ์ (2544) ได้ทำการวิจัยโดยนำเอาหลักการออกแบบแนวเส้นทางของถนนให้มีความปลอดภัยมาพัฒนาโปรแกรม เพื่อช่วยประเมินความปลอดภัยในการออกแบบความเร็วและระยะมองเห็นเพื่อใช้กำหนดแนวเส้นทางสำหรับทางหลวงนอกเมืองสองช่องทาง เกณฑ์ประเมินความปลอดภัยพิจารณาจากความสอดคล้องในการออกแบบ ความสอดคล้องของความเร็ว ระยะมองเห็นที่เพียงพอต่อการหยุดรถ และ แขงอย่างปลอดภัย โปรแกรมที่พัฒนานั้นเขียนโดยใช้ภาษา AutoLISP ซึ่งเป็นโปรแกรมคำสั่งที่ทำงานภายใต้โปรแกรม AutoCAD และใช้โปรแกรม Softdesk เตรียมข้อมูลป้อนเข้าสู่โปรแกรมโปรแกรมที่ได้ทำการพัฒนามี 2 ส่วน คือ 1. โปรแกรมประเมินความเร็วที่เป็นไปได้ของยานพาหนะที่เคลื่อนที่บนแนวเส้นทางของรถยนต์นั่งและรถบรรทุกโดยใช้วิธีการหาความเร็วจากเกณฑ์การประเมินความปลอดภัยของประเทศสหพันธรัฐเยอรมัน และ Leisch ตามลำดับ และ 2. โปรแกรมประเมินระยะมองเห็นโดยใช้วิธี Graphic แบ่งเป็นระยะมองเห็นแนวทางตั้งและแนวทางราบ ตามวิธีการของ American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) และทำการประเมินประสิทธิภาพการมองเห็นตาม Highway Capacity Manual (HCM) วิธีการออกแบบแนวเส้นทางให้มีความปลอดภัยโดยใช้โปรแกรมที่พัฒนานี้ได้ใช้ข้อมูลของโครงการสะพานข้ามลำน้ำแควน้อยพบว่าสามารถช่วยวิศวกรให้ทราบจุดบกพร่องของแนวเส้นทาง และสามารถลดระยะเวลาที่ใช้ในการตรวจสอบทำให้ออกแบบแนวเส้นทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ และ แนวเส้นทางมีความปลอดภัย

อัศวิน (2548) ได้ทำการวิจัยเพื่อศึกษาและพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการออกแบบทางเรขาคณิตสำหรับทางแยกต่างระดับ พัฒนาโดยใช้โปรแกรม Delphi 6.0 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดความรวดเร็วและความถูกต้องในการทำงาน อีกทั้งเพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกใช้ชนิดของทางแยกต่างระดับในขั้นต้น ด้วยงานวิจัยนี้ได้นำมาตรฐานของ AASHTO มาประยุกต์ใช้โดยกลับทิศทางเดินรถจากชิดขวาเป็นชิดซ้าย เพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานจริงในประเทศ และส่วนของการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ได้แบ่งตัวโปรแกรมออกเป็น 4 ส่วนหลักคือ การตัดสินใจเลือกใช้ชนิดของทางแยกต่างระดับขั้นต้น การออกแบบทางเรขาคณิตของโค้งทางราบ โค้งทางตั้ง และการยกโค้ง

ศิริประภา (2552) ได้จัดทำคู่มือการตรวจสอบการออกแบบด้านงานทางสำหรับทางแยกต่างระดับและโปรแกรมสำหรับตรวจสอบการออกแบบด้านงานทางสำหรับทางแยกต่างระดับ โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เอกเซล (Microsoft Excel) เชื่อมโยงกับมาตรฐานการออกแบบด้านงานทางเพื่อช่วยในการตรวจสอบค่าตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อรูปแบบของทางแยกต่างระดับ ทำให้วิศวกรทั่วไปที่ไม่มีประสบการณ์ด้านการออกแบบด้านงานทาง มีโอกาสเข้ามาเรียนรู้ในการออกแบบหรือช่วยวิศวกรอาวุโสในการตรวจสอบ โดยสามารถรับผิดชอบชิ้นงานด้วยตนเองและสามารถส่งข้อมูลให้งานวิศวกรรมด้านอื่นๆ เพื่อออกแบบได้รวดเร็วยิ่งขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการออกแบบรายละเอียดทางแยกต่างระดับลงได้อีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

1. เครื่องคอมพิวเตอร์
2. ซอฟต์แวร์ Microsoft Office 2007
3. ซอฟต์แวร์ AutoCAD 2006
4. ซอฟต์แวร์ Microsoft Visual Studio 2008

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

1. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 2004
2. มาตรฐานกรมทางหลวง
3. Motorway Design Standard, 1996
4. ข้อมูลและรูปแบบทางแยกต่างระดับนครปฐมตะวันตก (Nakhon Pathom West Interchange) ของโครงการก่อสร้างถนนต่อเชื่อม ถนนมอเตอร์เวย์ สาย 81 บางใหญ่ – กาญจนบุรี เพื่อเป็นตัวอย่างในการตรวจสอบ

รูปแบบของข้อมูลที่ตรวจสอบ

การตรวจสอบการออกแบบด้านงานทางสำหรับทางแยกต่างระดับในครั้งนี้ เป็นการตรวจสอบความครบถ้วน ถูกต้องที่มีผู้ออกแบบรายละเอียดไว้แล้ว โดยจะตรวจสอบเฉพาะปัจจัยที่มีความสำคัญและมีผลต่อการออกแบบวิศวกรรมด้านอื่นๆเท่านั้น ซึ่งความละเอียดของค่าที่ตรวจสอบจะไม่ละเอียดมากเท่ากับการออกแบบโดยตรง ข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบจะเป็นข้อมูลโดยทั่วไปที่ได้จากการออกแบบรายละเอียดด้านงานทางอยู่แล้ว ซึ่งประกอบด้วย

- แปลนทางแยกต่างระดับบนภาพถ่ายทางอากาศ และ/หรือ บนแผนที่แสดงสภาพภูมิประเทศ พิมพ์ลงบนกระดาษขนาด A3 หรือใหญ่กว่า เพื่อใช้ในการตรวจสอบรูปแบบทางกายภาพเบื้องต้น พร้อมข้อมูลโค้งทางราบ (Setting Out Data) ซึ่งอย่างน้อยต้องประกอบด้วย หลัก กม.ของจุดเริ่มต้น, จุดสิ้นสุด และ จุดควบคุมต่างๆ รวมถึงรัศมีโค้งและค่าความเร็วออกแบบ

- AutoCAD File ของแปลนทางแยกต่างระดับ เพื่อใช้ในการตรวจสอบในกรณีที่ต้องการความละเอียดของระยะต่างๆ มากขึ้น

- รูปตัดตามยาว (Profile) แสดงค่าระดับทุก 25 เมตร รวมถึงตัวแปรต่างๆ ของโค้งแนวตั้ง ที่แสดงค่าระดับ ณ จุด PVI , ความยาวโค้ง, ค่าความเร็วออกแบบ และค่าการยกขอบถนน (Superelevation)

- รูปตัดตามขวางแสดงขนาดของช่องจราจรและขนาดของโครงสร้างในแต่ละทิศทาง

- ข้อมูลปริมาณจราจรในแต่ละทิศทางเฉลี่ย

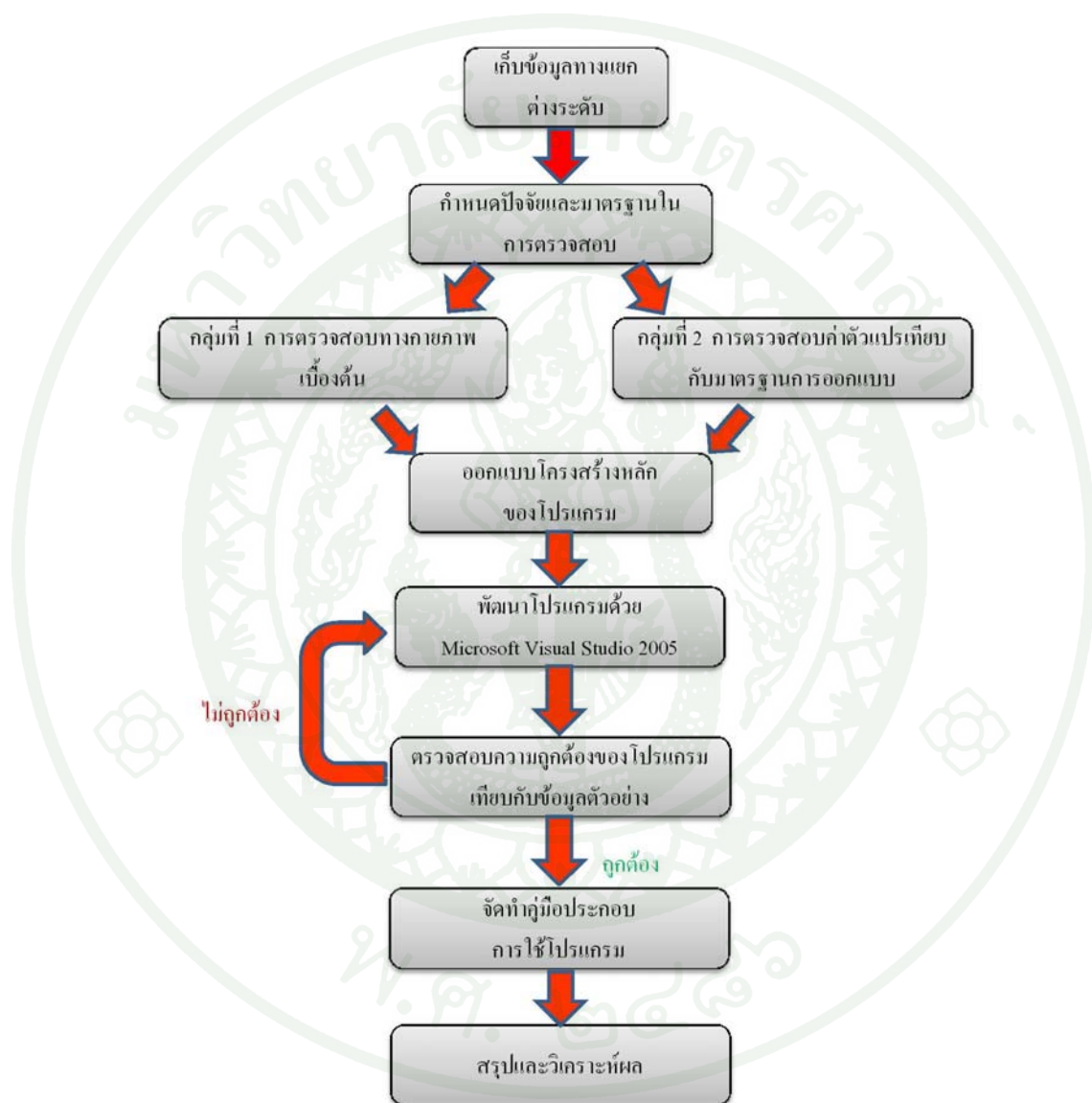
คุณสมบัติของผู้ตรวจสอบ

เนื่องด้วยการออกแบบทางแยกต่างระดับต้องใช้วิศวกรที่ความรู้และประสบการณ์ในสาขาวิชาเฉพาะด้าน ซึ่งจะมีศัพท์เทคนิคเฉพาะของค่าตัวแปรและองค์ประกอบทางแยกต่างระดับ ดังนั้นผู้ตรวจสอบจำเป็นต้องมีความรู้เบื้องต้น และ/หรือ มีประสบการณ์ในการทำงานที่เกี่ยวข้องทางแยกต่างระดับในระดับหนึ่ง จึงได้ทำการกำหนดคุณสมบัติเบื้องต้นของผู้ตรวจสอบดังนี้

- เป็นวิศวกรโยธาที่มีความสนใจและ/หรือมีทักษะด้านวิศวกรรมสำรวจ (Survey Engineering) และ/หรือ วิศวกรรมงานทาง (Highway Engineering)
- เป็นวิศวกรที่มีความรู้เบื้องต้นด้านวิศวกรรมสำรวจ (Survey Engineering) และ/หรือ วิศวกรรมงานทาง (Highway Engineering)

ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน

เพื่อให้การดำเนินงานครั้งนี้ บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้แสดงขั้นตอนวิธีการดำเนินงานไว้ดังแสดงใน ภาพที่ 34 อธิบายวิธีการในแต่ละขั้นตอนได้ดังนี้



ภาพที่ 34 ขั้นตอนดำเนินงาน

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดปัจจัยตัวแปรที่สำคัญ และมาตรฐานที่ใช้ในการตรวจสอบการออกแบบทางแยกต่างระดับด้านงานทาง

สำหรับปัจจัยและตัวแปรที่ใช้ในการตรวจสอบการออกแบบทางแยกต่างระดับ ด้านงานทาง จะพิจารณาจาก “ข้อควรพิจารณาทั่วไปสำหรับการออกแบบทางแยกต่างระดับ” ซึ่งได้รวบรวมไว้ในเอกสารประกอบการบรรยายหลักสูตรการออกแบบทางแยก ทางแยกต่างระดับ อุโมงค์ทางหลวง โดยฝ่ายพัฒนาทรัพยากรบุคคล กองฝึกอบรม กรมทางหลวง ประกอบกับพิจารณาถึงปัจจัยที่จำเป็นอื่นๆจากผู้ที่ได้ศึกษามาแล้ว โดยได้แสดงปัจจัยและเหตุผลจากการคัดกรองในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ปัจจัยที่ใช้ในการตรวจสอบการออกแบบทางแยกต่างระดับด้านงานทาง

ลำดับ	ปัจจัยที่ใช้ตรวจสอบ
กลุ่มที่ 1 การตรวจสอบทางกายภาพเบื้องต้น	
1	ความครบถ้วนของทิศทางจราจร
2	ตำแหน่งของ Loop Ramp
3	การจัดให้มีทางบริการเพื่อลดผลกระทบต่อประชาชนในพื้นที่
4	ความสมดุลของช่องจราจร
กลุ่มที่ 2 การตรวจสอบค่าตัวแปรเทียบกับมาตรฐานการออกแบบ	
1	จำนวนช่องจราจรและความกว้างของโครงสร้าง (No. of Lane and Ramp Width)
2	รัศมีโค้งทางราบต่ำสุด (Minimum Horizontal Radius)
3	การยกขอบถนน (Superelevation)
4	ความยาวโค้งก้นหอย (Spiral Curve)
5	ความยาวช่วงทางตรงระหว่างโค้ง (Tangent between Curves)
6	ความยาวของการขยายช่องจราจรสำหรับเร่ง/ลดความเร็ว (Acceleration Length and Deceleration Length)

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่ใช้ตรวจสอบ
7	ความยาวของการผายออก / ถูเข้า (Taper Length)
8	ความยาวของการสลับกระแสงจราจร (Weaving Length)
9	ความลาดชันสูงสุด (Maximum Gradient)
10	ความยาวโค้งทางตั้ง (Vertical Length)
11	ค่าระดับและการยกขอบถนนบริเวณทางร่วม/ทางแยก (Elevation And Superelevation at Merging / Diverging)
12	ช่องลอดด้านตั้งบริเวณจุดตัดโครงสร้าง (Vertical Clearance)

กลุ่มที่ 1 การตรวจสอบรูปแบบทางกายภาพเบื้องต้น

เป็นการตรวจสอบโดยไม่ต้องอาศัยข้อมูล Digital File สามารถดูจากแปลนบนกระดาษได้เลย การตรวจสอบนี้จะอาศัยประสบการณ์ของผู้ตรวจสอบโดยไม่จำเป็นต้องใช้โปรแกรมใดๆ นับเป็นการตรวจสอบข้อมูลในเบื้องต้น ประกอบด้วย

1. ความครบถ้วนของทิศทางจราจร

ตรวจสอบโดยพิจารณาจากรูปแบบของทางแยกต่างระดับว่า กระแสจราจรสามารถเคลื่อนตัวได้อย่างต่อเนื่องในทุกทิศทางหรือไม่ ซึ่งหมายถึงจราจรทิศทางตรง เลี้ยวขวา เลี้ยวซ้าย รวมถึงการกลับรถ

2. ตำแหน่งของ Loop Ramp

ตำแหน่งในการก่อสร้าง Loop Ramp อยู่ในบริเวณที่เกิดผลกระทบต่อนอกน้อยที่สุดแล้วหรือไม่ ปัจจัยนี้จะพิจารณาจากสภาพภูมิประเทศและ/หรือภาพถ่ายทางอากาศว่า พื้นที่ที่จะก่อสร้างทางแยกต่างระดับอยู่ในพื้นที่โล่งที่สุดเท่าที่จะทำได้หรือไม่

3. การจัดให้มีทางบริการเพื่อลดผลกระทบต่อประชาชนในพื้นที่

สำหรับปัจจัยนี้ แม้จะดูเหมือนว่าอาจไม่มีความจำเป็นจะต้องตรวจสอบในขั้นตอนนี้ เนื่องจากทางบริการส่วนใหญ่จะเป็นทางระดับดิน ซึ่งจะไม่มีการออกแบบด้านโครงสร้างโดยตรง แต่ในความเป็นจริงแล้วหากผู้ออกแบบไม่ได้คำนึงถึงเรื่องนี้ในขั้นตอนแรก อาจทำให้ต้องออกแบบจุดลอด/จุดข้ามใหม่เพื่อเป็นทางสัญจรให้กับท้องถิ่น หรือแม้แต่ต้องเปลี่ยนรูปแบบทางแยกต่างระดับใหม่ เพื่อให้เกิดผลกระทบต่อประชาชนให้น้อยที่สุด

4. ความสัมพันธ์ระหว่างช่องจราจรสมดุลกับจำนวนช่องจราจรพื้นฐาน

สำหรับปัจจัยนี้ เป็นการตรวจสอบความสมดุลของช่องจราจรบริเวณทางเข้า-ทางออก เพื่อให้การจัดการจราจรเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย ซึ่งควรมีการสมดุลของจำนวนช่องจราจรบนทางตรงกับทางเลี้ยว ณ จุดเชื่อมต่อเข้า-ออกทางแยกต่างระดับ การตรวจสอบปัจจัยนี้มีหลายปัจจัยที่ต้องพิจารณาประกอบกัน เช่น ปริมาณจราจร ความต่อเนื่องของจำนวนช่องจราจร จำนวนช่องจราจรพื้นฐาน ระยะการตัดสลับกระแสจราจร ระยะห่างระหว่างจุดสิ้นสุดการผายออก/ลู่เข้า เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้ตรวจสอบเป็นสำคัญ

กลุ่มที่ 2 การตรวจสอบตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อรูปแบบทางแยกต่างระดับ

สำหรับมาตรฐานที่ใช้ในการตรวจสอบในแต่ละตัวแปร แสดงใน ตารางที่ 11 ซึ่งจะใช้มาตรฐานของกรมทางหลวง ซึ่งเป็นมาตรฐานหลักในการออกแบบโครงสร้างพื้นฐานของระบบคมนาคมขนส่งทางถนนของประเทศไทย และมาตรฐาน AASHTO,2001 ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลที่ยอมรับกันโดยทั่วไป เป็นหลักในการตรวจสอบ

ตารางที่ 11 มาตรฐานที่ใช้ในการตรวจสอบ

ลำดับ	ตัวแปรด้านงานทาง	มาตรฐานที่ใช้ในการตรวจสอบ
1	จำนวนช่องจราจรและความกว้างของโครงสร้าง	มาตรฐานกรมทางหลวง
2	รัศมีโค้งทางราบต่ำสุด	มาตรฐานกรมทางหลวง
3	การยกขอบถนน	มาตรฐานกรมทางหลวง
4	ความยาวโค้งกั้นหอย	มาตรฐานกรมทางหลวง
5	ความยาวช่วงทางตรงระหว่างโค้ง	มาตรฐานกรมทางหลวง
6	ความยาวของการขยายช่องจราจรสำหรับเร่ง/ลดความเร็ว	มาตรฐานกรมทางหลวง
7	ความยาวของการฝายออก / ลู่เข้า	มาตรฐานกรมทางหลวง
8	ความยาวของการสลับกระแสจราจร	มาตรฐานกรมทางหลวง
9	ความลาดชันสูงสุด	มาตรฐานกรมทางหลวง
10	ความยาวโค้งทางดิ่ง	มาตรฐานกรมทางหลวง
11	ค่าระดับและการยกขอบถนนบริเวณทางร่วม/ทางแยก	มาตรฐานกรมทางหลวง
12	ช่องลอดด้านตั้งบริเวณจุดตัดโครงสร้าง	มาตรฐานกรมทางหลวง

รายละเอียดการตรวจสอบในแต่ละปัจจัย อธิบายได้ดังนี้

1. จำนวนช่องจราจรและความกว้างของโครงสร้างในแต่ละทิศทาง

เป็นการตรวจสอบจำนวนช่องจราจรของ Ramp ในแต่ละทิศทาง โดยจะนำมาเทียบกับปริมาณจราจรที่คาดการณ์ไว้ ดังแสดงในตารางที่ 12 โดยใช้ระดับการให้บริการอยู่ที่ D (ในเมือง) และ C (ชานเมือง) ซึ่งเป็นหลักการที่กรมทางหลวงใช้อยู่ในปัจจุบัน สำหรับการออกแบบจากปริมาณจราจรในที่สุดท้ายของการคาดการณ์

ความกว้างของโครงสร้างจะประกอบด้วยช่องจราจรและไหล่ทาง ดังนั้นจะเป็นการตรวจสอบความกว้างของช่องจราจรและไหล่ทาง เทียบกับมาตรฐานการออกแบบด้านเรขาคณิตของกรมทางหลวง โดยมาตรฐานการออกแบบด้านเรขาคณิตสำหรับทางแยกต่างระดับทั่วไป

แสดงใน ตารางที่ 13 มาตรฐานสำหรับทางหลวงพิเศษ (ในเมือง) แสดงใน ตารางที่ 14 และ มาตรฐานสำหรับทางหลวงพิเศษ (นอกเมือง) แสดงใน ตารางที่ 15

ตารางที่ 12 ความสามารถรองรับปริมาณจราจรของช่องทางต่อเชื่อม

Level of Service	Ramp Design Speed ,mph. (kph.)				
	≤ 20	21 – 30	31 – 40	41 – 50	≥ 51
	(≤ 32)	(34-48)	(50-64)	(66-80)	(≥ 82)
A	b	b	b	b	600
B	b	b	b	900	900
C	b	b	1,100	1,250	1,300
D	b	1,200	1,350	1,550	1,600
E	1,250	1,450	1,600	1,650	1,700
F	WIDELY VARIABLE				

หมายเหตุ: a For 2 Lane Ramp, Multiply the Value by 1.7 for ≤ 20 mph (≤ 32)
 1.8 for 21 – 30 mph (34-48)
 1.9 for 31 – 40 mph (50-64)
 2.0 for ≥ 41 mph (≥ 66)
 b Level of Service not attainable due = to restricted design speed

ตารางที่ 13 มาตรฐานการออกแบบด้านเรขาคณิตของทางแยกต่างระดับ

Design Element	Unit	Desirable	Absolute
		Standard	Maximum Standard
Loop Ramp			
Design Speed	kph	60	40
Maximum Horizontal Radius	m	130	50
Maximum Superelevation	%	6	10

ตารางที่ 13 (ต่อ)

Design Element	Unit	Desirable	Absolute
		Standard	Maximum Standard
Maximum Gradient (Up)	%	4	6
Maximum Gradient (Down)	%	5	7
Maximum Stopping Sight Distance	m	90	50
Semi - Directional Ramp			
Design Speed	kph	70	50
Maximum Horizontal Radius	m	190	75
Maximum Superelevation	%	6	10
Maximum Gradient (Up)	%	4	5
Maximum Gradient (Down)	%	4	6
Maximum Stopping Sight Distance	m	130	70
Directional Ramp			
Design Speed	kph	90	70
Maximum Horizontal Radius	m	335	155
Maximum Superelevation	%	6	10
Maximum Gradient (Up)	%	4	5
Maximum Gradient (Down)	%	4	6
Maximum Stopping Sight Distance	m	170	110

ที่มา: กรมทางหลวง (2539)

ตารางที่ 14 มาตรฐานการออกแบบด้านเรขาคณิตของทางหลวงพิเศษในเมือง

Parameter	Unit	Desirable Standard	Absolute Maximum Standard
A. Geometric Cross Sections Of Main Ramp			
Lane Width	m	3.50	3.50
Outer Shoulder Width	m	2.50	2.00
Inner Shoulder Width	m	0.70	0.50
Ultimate Median Width (Barrier type)	m	3.00	2.60
Minimum Vertical Clearance	m	5.25	5.00
Maximum Gradient	%	4	4
Maximum Superelevation	%	4	6
B. Design Speed Related Standards for Main Ramp			
Design Speed	kph	100	80
Min. Stopping Sight Distance	m	205	157
Min. Horizontal Radius with 4 % Superelevation	m	490	
Min. Horizontal Radius with 6 % Superelevation	m	435	
Vertical Curvature K Value (Crest)		51	37
Vertical Curvature K Value (Sag)			
D. Design Speed Related Standards for Ramp			
D1 Directional Ramps			
Design Speed	kph	50	50
Minimum Horizontal Radius with 6% superelevation	m	90	
Minimum Horizontal Radius with 8% superelevation	m	80	
Min. Stopping Sight Distance	m	63	58

ตารางที่ 14 (ต่อ)

Parameter	Unit	Desirable	Absolute
		Standard	Maximum Standard
D2 Loop Ramps			
Design Speed	kph	40	40
Minimum Horizontal Radius with 6% superelevation	m	55	
Minimum Horizontal Radius with 8% superelevation	m	50	
Min. Stopping Sight Distance	m	45	45

ที่มา: กรมทางหลวง (2539)

ตารางที่ 15 มาตรฐานการออกแบบด้านเรขาคณิตของทางหลวงพิเศษนอกเมือง

Parameter	Unit	Desirable Standard	Absolute Maximum Standard
A. Geometric Cross Sections Of Main Ramp			
Lane Width	m	3.60	3.60
Outer Shoulder Width	m	3.00	3.00
Inner Shoulder Width	m	1.00	1.00
Ultimate Median Width (Barrier type)	m	6.30	3.60
Outer Verge Width	m	0.50	0.50
Inner Verge Width	m	0.50	0.50
Minimum Vertical Clearance	m	5.25	5.00
Maximum Gradient	%	3	5
Maximum Superelevation	%	4	7

ตารางที่ 15 (ต่อ)

Parameter	Unit	Desirable Standard	Absolute Maximum Standard
B. Design Speed Related Standards for Main Ramp			
Design Speed	kph	120	100
Min. Stopping Sight Distance	m	290	210
Min. Horizontal Radius with 4 % Superelevation	m	1,500	
Min. Horizontal Radius with 7 % Superelevation	m	720	
Vertical Curvature K Value (Crest)		165	100
Vertical Curvature K Value (Sag)		65	40
C. Geometric Cross Sections to Ramps			
Maximum Gradient (uphill)	%	4	5
Maximum Gradient (downhill)	%	4	6
Maximum Superelevation	%	6	10
Outer Shoulder Width	m	3.00	3.00
Inner Shoulder Width	m	1.00	1.00
Single Lane Width	m	4.00	4.00
Two Lane Width	m	7.20	7.20
Entry Taper		1:50	1:30
Exit Taper		1:50	1:30
D. Design Speed Related Standards for Ramp			
D1 Directional Ramps			
Design Speed	kph	90	70
Minimum Horizontal Radius with 6% superelevation	m	335	
Minimum Horizontal Radius with 8% superelevation	m	155	
Min. Stopping Sight Distance	m	170	110

ตารางที่ 15 (ต่อ)

Parameter	Unit	Desirable	Absolute
		Standard	Maximum
			m
Standard			
D2 Loop Ramps			
Design Speed	kph	60	40
Minimum Horizontal Radius with 6% superelevation	m	130	
Minimum Horizontal Radius with 8% superelevation	m	50	
Min. Stopping Sight Distance	m	90	50

ที่มา: กรมทางหลวง (2539)

2. รัศมีโค้งทางราบต่ำสุด

เป็นการตรวจสอบรัศมีโค้งในแต่ละโค้ง โดยการป้อนรัศมีโค้งจากข้อมูลโค้งทางราบ และค่าความเร็วออกแบบมาเปรียบเทียบกับรัศมีโค้งทางราบต่ำสุดตามมาตรฐาน

3. การยกขอบถนน (Superelevation)

จากภาพที่ 20 ถึง ภาพที่ 23 ซึ่งแสดงตารางและกราฟเทียบระหว่างรัศมีโค้งทางราบกับ อัตราการยกขอบถนน ณ อัตราการยกขอบถนนสูงสุดที่ 4%, 6%, 8% และ 10% ตามลำดับนั้น ในการคำนวณหาค่าการยกขอบถนนออกแบบได้ จึงเลือกใช้สมการด้วยวิธี Method 5 Procedure ที่ แนะนำโดย AASHTO (2004) ซึ่งเป็นที่มาของตารางและกราฟดังกล่าว

4. ความยาวของโค้งก้นหอย (Spiral Length)

ความยาวของโค้งก้นหอยจะสัมพันธ์กับรัศมีโค้งทางราบ ความเร็วในการออกแบบ ความกว้างของถนน และการยกขอบถนนออกแบบ สามารถตรวจสอบโดยหาค่าความยาวโค้งก้นหอยจากข้อมูลโค้งทางราบ เทียบกับความยาวของโค้งก้นหอย ตามสมการ

$$l_s = \frac{S \times e \times W}{100} \quad (\text{สมการที่ 1})$$

โดยที่ l_s = ความยาวโค้งก้นหอย, ม.
 S = Relative Slope จากตารางที่ 16
 e = อัตราการยกขอบถนนออกแบบ, %
 W = ความกว้างช่องจราจรที่ยกขอบถนน, ม.

ตารางที่ 16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วออกแบบกับการยกขอบถนนของถนนขนาด 2 ช่องจราจร

ความเร็วออกแบบ กม./ชม.	Maximum Relative Slope 1 : S min
30	1 : 120
35	1 : 128
40	1 : 135
45	1 : 143
50	1 : 150
55	1 : 158
60	1 : 165
65	1 : 173
70	1 : 180
75	1 : 188
80	1 : 195
85	1 : 203
90	1 : 210
95	1 : 218
100	1 : 225
105	1 : 233
110 and Over	1 : 240

ตารางที่ 16 (ต่อ)

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่า Relative Slope สำหรับถนนขนาด 2 ช่องจราจรเท่านั้น
 ค่าสำหรับถนนขนาด 3 ช่องจราจร จะมีค่าเป็น 1.2 เท่าของค่าที่ได้จากตาราง
 ค่าสำหรับถนนขนาด 4 ช่องจราจร จะมีค่าเป็น 1.5 เท่าของค่าที่ได้จากตาราง
 ค่าสำหรับถนนขนาด 6 ช่องจราจร จะมีค่าเป็น 2.0 เท่าของค่าที่ได้จากตาราง

ที่มา: กรมทางหลวง (2539)

5. ความยาวของทางตรงระหว่างโค้งทางราบ

เนื่องจากการออกแบบให้มีช่วงทางตรงระหว่างโค้ง 2 โค้งสั้นเกินไป จะทำให้ประสิทธิภาพของความต่อเนื่องของการจราจรลดลง จึงต้องมีการตรวจสอบความยาวของทางตรงในช่วงนี้ด้วย การตรวจสอบทำได้โดยดูค่าจากข้อมูลโค้งทางราบ ระหว่างจุด PT. / ST. กับ PC. / CS. ว่าเป็นไปตามมาตรฐานหรือไม่

หลักเกณฑ์ต่ำสุดของระยะทางตรงระหว่างโค้ง 2 โค้งหาได้จาก

$$L_{\min} = 0.6 V \quad (\text{สมการที่ 2})$$

โดย $L_{\min}$ = ความยาวช่วงทางตรงต่ำสุดระหว่างโค้ง, ม.

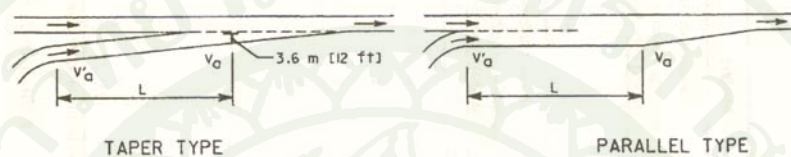
V = ความเร็วที่ใช้ในการออกแบบ, กม./ชม.

6. ความยาวของการขยายช่องจราจรสำหรับเร่ง/ลดความเร็ว (Acceleration Length/ Deceleration Length)

ความยาวของการขยายช่องจราจรสำหรับการเร่ง / ลดความเร็ว (Acceleration Length / Deceleration Length) เพื่อให้สามารถเข้าหรือออกทางหลักได้อย่างปลอดภัย ซึ่งจะตรวจสอบโดยการวัดความยาวนี้จากแปลน แล้วป้อนข้อมูลลงไปในโปรแกรม เพื่อเทียบกับความยาวของการขยายช่องจราจรเสริมพิเศษ สำหรับการเร่ง / ลดความเร็ว (Acceleration Length / Deceleration Length) ตามมาตรฐานของ AASHTO ดังแสดงใน ภาพที่ 35 และ ภาพที่ 36 ตามลำดับ

Metric									
Acceleration length, L (m) for entrance curve design speed (km/h)									
Highway	Stop condition	20	30	40	50	60	70	80	
Design speed, V (km/h)	Speed reached, V_a (km/h)	and initial speed, V'_a (km/h)							
		0	20	28	35	42	51	63	70
50	37	60	50	30	—	—	—	—	—
60	45	95	80	65	45	—	—	—	—
70	53	150	130	110	90	65	—	—	—
80	60	200	180	165	145	115	65	—	—
90	67	260	245	225	205	175	125	35	—
100	74	345	325	305	285	255	205	110	40
110	81	430	410	390	370	340	290	200	125
120	88	545	530	515	490	460	410	325	245

Note: Uniform 50:1 to 70:1 tapers are recommended where lengths of acceleration lanes exceed 400 m.

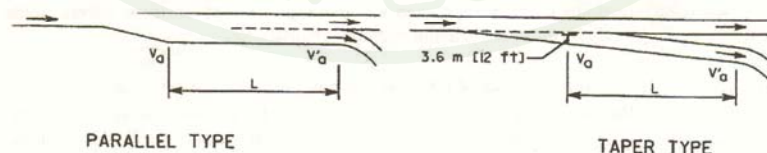


ภาพที่ 35 ความยาวของช่องจราจรสำหรับเร่งความเร็ว (Acceleration Length)

ที่มา: AASHTO (2004)

Metric									
Deceleration length, L (m) for design speed of exit curve V' (km/h)									
Highway design speed, V (km/h)	Speed reached, V _a (km/h)	Stop condition	20	30	40	50	60	70	80
		For average running speed on exit curve V' _a (km/h)							
		0	20	28	35	42	51	63	70
50	47	75	70	60	45	—	—	—	—
60	55	95	90	80	65	55	—	—	—
70	63	110	105	95	85	70	55	—	—
80	70	130	125	115	100	90	80	55	—
90	77	145	140	135	120	110	100	75	60
100	85	170	165	155	145	135	120	100	85
110	91	180	180	170	160	150	140	120	105
120	98	200	195	185	175	170	155	140	120

V = design speed of highway (km/h)
V_a = average running speed on highway (km/h)
V' = design speed of exit curve (km/h)
V'_a = average running speed on exit curve (km/h)



ภาพที่ 36 ความยาวของช่องจราจรสำหรับลดความเร็ว (Deceleration Length)

ที่มา: AASHTO (2004)

7. ความยาวของการผายออก/ลู่เข้า (Taper Length)

ความยาวของ Taper จะต่อเนื่องมาจากช่องจราจรเสริมพิเศษสำหรับเร่ง/ลดความเร็ว ตรวจสอบโดยการวัดจากแปลน แล้วป้อนข้อมูลลงในโปรแกรม เพื่อเทียบกับความยาวของ Taper ตามมาตรฐาน ดังแสดงใน ตารางที่ 13 ถึง ตารางที่ 15

8. ความยาวของการสลับกระแสงจราจร (Weaving Length)

ความยาวของการสลับกระแสงจราจร (Weaving Length) ตรวจสอบโดยการวัดความยาวของการสลับกระแสงจราจร (Weaving Length) นี้จากแปลน แล้วป้อนข้อมูลลงในโปรแกรม เพื่อเทียบกับความยาวของการสลับกระแสงจราจร (Weaving Length) ตามมาตรฐานที่แนะนำไว้โดย AASHTO คือ 300 ม.

9. ความลาดชันสูงสุดในแต่ละ Ramp

ตรวจสอบโดยการตรวจสอบความลาดชันจากข้อมูลโค้งทางโค้ง แล้วเทียบกับมาตรฐาน ตามที่แสดงใน ตารางที่ 13 ถึง ตารางที่ 15

10. ความยาวโค้งทางโค้ง

เป็นการตรวจสอบความยาวโค้งทางโค้ง โดยการป้อนความยาวโค้งจากข้อมูลโค้งทางโค้งเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่า K (Rate of Vertical Curve) ตามมาตรฐาน สำหรับ ค่า K (Rate of Vertical Curve) ที่ได้จากการออกแบบหาได้จากความยาวโค้งทางโค้งและค่าผลต่างทางพีชคณิตของความลาดชัน ดังสมการ

$$K = L/A \quad (\text{สมการที่ 3})$$

$$\text{โดย } K = \text{Rate of Vertical Curvature}$$

$$L = \text{ความยาวโค้งพาราโบลา}$$

$$A = \text{ค่าผลต่างทางพีชคณิตของความลาดชัน}$$

ค่า K สำหรับการออกแบบความยาวของโค้งคว่ำและโค้งหงาย ตามมาตรฐาน AASHTO แสดงดัง ตารางที่ 17 และ ตารางที่ 18 ตามลำดับ

ตารางที่ 17 ระยะหยุดรถปลอดภัยบนโค้งคว่ำ

Design Speed (km/h)	Stopping Sight Distance (m)	Rate of Vertical Curvature, K ^a	
		Calculated	Design
20	20	0.6	1
30	35	1.9	2
40	50	3.8	4
50	65	6.4	7
60	85	11	11
70	105	16.8	17
80	130	25.7	26
90	160	38.9	39
100	185	52	52
110	220	73.6	74
120	250	95	95
130	285	123.4	124

ที่มา: AASHTO (2004)

ตารางที่ 18 ระยะหยุดรถปลอดภัยบนโค้งทาง

Design Speed (km/h)	Stopping Sight Distance (m)	Rate of Vertical Curvature, K^a	
		Calculated	Design
20	20	2.1	3
30	35	5.1	6
40	50	8.5	9
50	65	12.2	13
60	85	17.3	18
70	105	22.6	23
80	130	29.4	30
90	160	37.6	38
100	185	44.6	45
110	220	54.4	55
120	250	62.8	63
130	285	72.7	73

ที่มา: AASHTO (2004)

11. ค่าระดับและการยกขอบถนนบริเวณทางร่วม/ทางแยกบนโครงสร้าง

บริเวณทางเชื่อม/ทางแยกของ Ramp ที่เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างมีความสำคัญมาก และจะมีผลต่อตำแหน่งในการเชื่อมโดยตรง ซึ่งโดยทั่วไปวิศวกรโครงสร้าง จะกำหนดให้เสาของโครงสร้างอยู่ที่บริเวณทางเชื่อม/ทางแยกนี้ ดังนั้นจึงต้องมั่นใจว่าค่าระดับและการยกขอบถนน มีความถูกต้องและสอดคล้อง โดยค่าระดับ ณ จุดเดียวกันไม่ควรต่างกันเกิน 1 ซม. และค่าการยกขอบถนนระหว่าง Ramp ที่เชื่อม/แยก กับทางหลัก ไม่ควรต่างกันเกิน 7%

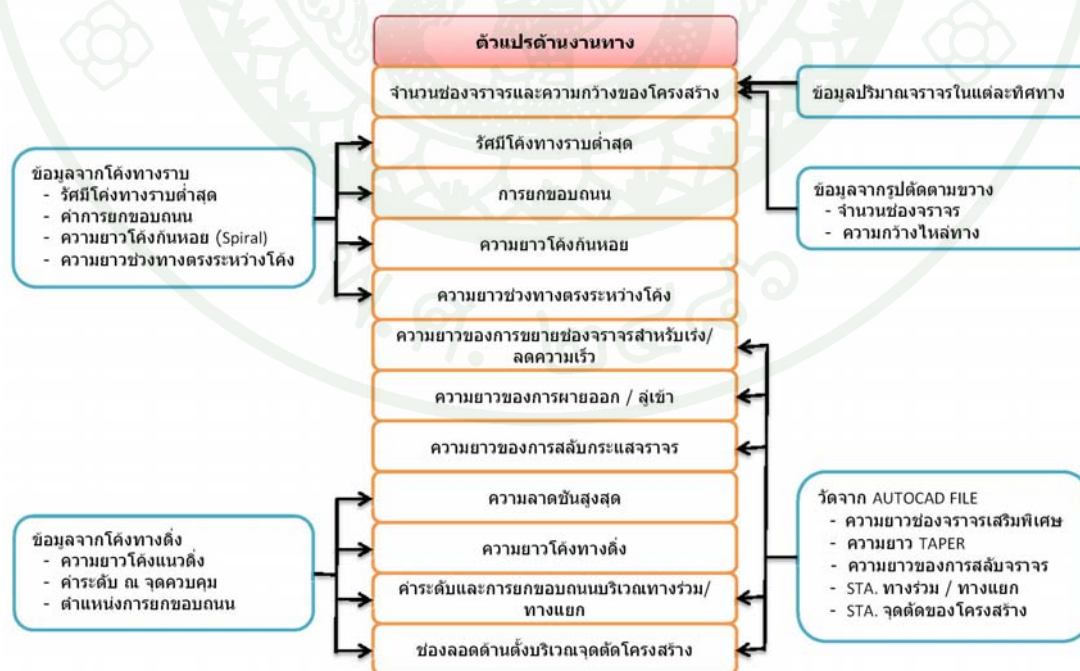
12. ช่องลอดด้านตั้งบริเวณจุดตัดของ Ramp

ปัจจัยนี้เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากในการออกแบบด้านงานทาง เพราะมีผลกระทบโดยตรงต่อความยาวของโครงสร้าง และราคาค่าก่อสร้างโครงการ จึงต้องให้ความระมัดระวังเป็น

พิเศษ หากยกระดับ Ramp ที่ยกข้ามสูงเกินไปจะทำให้โครงสร้างมีความยาวมาก และหากยกระดับน้อยเกินไปจะทำให้ช่องลอดด้านตั้งของ Ramp ด้านล่างไม่เป็นไปตามมาตรฐาน ในการออกแบบและการตรวจสอบจะค่อนข้างยุ่งยาก เพราะเป็นส่วนที่ต้องพิจารณาทั้งแนวราบและแนวตั้งควบคู่กันไป ซึ่งหากผู้ออกแบบไม่ละเอียดรอบคอบจะก่อให้เกิดผลเสียหายนมาก และจากการดำเนินงานที่ผ่านมาพบว่า เป็นค่าตัวแปรที่มีผลให้ต้องปรับแก้รูปแบบทางแยกต่างระดับบ่อยครั้งที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากโดยส่วนใหญ่การออกแบบมักจะใช้ค่าระดับ ณ จุด Control Line มาเป็นตัวกำหนดค่าระดับของ Ramp ที่ข้ามหรือลอดแต่เพียงอย่างเดียว โดยไม่ได้นำผลจากการยกขอบถนนมาคิดเผื่อด้วย จึงทำให้ระยะของช่องลอดด้านตั้งไม่เป็นไปตามมาตรฐาน คือ 5.50 ม. (หรือหากมีข้อจำกัดด้านพื้นที่ยอมให้ได้ถึง 5.0 ม.) ดังนั้นผู้ตรวจสอบจึงต้องให้ความระมัดระวังในการตรวจสอบปัจจัยนี้ ซึ่งทำให้เสียเวลาในการตรวจสอบมาก

ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบโครงสร้างของโปรแกรม (Architecture)

อาทิ ข้อมูลที่ต้องนำเข้า (Input) การแสดงผล (Output) และกระบวนการทำงานของโปรแกรม จากปัจจัยที่ต้องตรวจสอบดังกล่าวข้างต้น สามารถสรุปข้อมูลที่ต้องป้อนเข้า ในแต่ละปัจจัยได้ดังแสดงใน ภาพที่ 37



ภาพที่ 37 ข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบ

ซึ่งในการนำเข้าสู่ข้อมูล จะกำหนดให้เป็นการนำเข้าสู่ข้อมูลทั้งหมดในคราวเดียวกัน เพื่อให้ง่ายต่อการดำเนินงาน จากนั้นจะเป็นการออกแบบรูปร่างหน้าตาของโปรแกรม (Graphic User Interface) ให้สามารถป้อนข้อมูลได้โดยสะดวกและง่ายต่อการเข้าใจ รวมถึงกำหนดรูปแบบของการแสดงผลการตรวจสอบแบบอัตโนมัติ โดยไม่ต้องกรอกข้อมูลใดๆ ในตารางแสดงผลเลย

ขั้นตอนที่ 3 จัดทำโปรแกรมโดยใช้ไมโครซอฟท์ Visual Studio 2008

ขั้นตอนนี้ จะใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์ Visual Studio 2008 เป็นเครื่องมือในการพัฒนาโปรแกรม

ขั้นตอนที่ 4 ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมและปรับแก้ โดยตรวจสอบกับการออกแบบทางแยกต่างระดับนครปฐมตะวันตก (Nakhon Pathom West Interchange) ของโครงการก่อสร้างถนนต่อเชื่อม ถนนมอเตอร์เวย์ สาย 81 บางใหญ่ – กาญจนบุรี

ขั้นตอนการตรวจสอบโปรแกรม โดยมีรายละเอียดของข้อมูลดังกล่าวดังนี้

1. ข้อมูลทั่วไปของโครงการ

ทางหลวงพิเศษหมายเลข 81 (กรุงเทพมหานคร-กาญจนบุรี) หรือที่นิยมเรียกว่า "มอเตอร์เวย์ สายบางใหญ่-บ้านโป่ง-กาญจนบุรี" เป็นโครงการทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองเพื่อเชื่อมต่อกรุงเทพมหานคร ผ่านทางจังหวัดนนทบุรีกับจังหวัดทางภาคตะวันตก และยังสามารถเดินทางไปสหภาพพม่าได้สะดวกยิ่งขึ้น

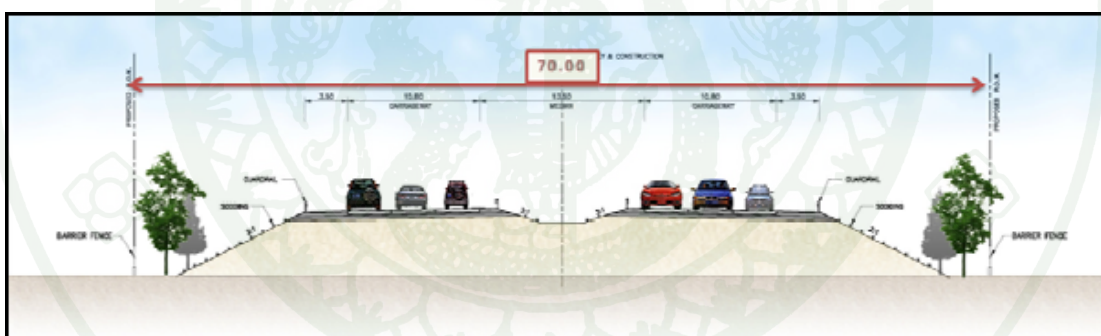
แนวเส้นทางโครงการทางหลวงพิเศษหมายเลข 81 ตามผลการศึกษาเดิมที่เคยศึกษาไว้ จะแบ่งการก่อสร้างออกเป็น 2 ช่วง

- ช่วงที่ 1 บางใหญ่-บ้านโป่ง ระยะทาง 51 กิโลเมตร ก่อสร้างเป็นถนนขนาด 6 ช่องจราจร เมื่อปริมาณการจราจรเพิ่มจะขยายเป็น 8 ช่องจราจร มีจุดเริ่มต้นจากทางหลวงพิเศษหมายเลข 9 (กาญจนบุรี-เชียงใหม่) บริเวณทางแยกต่างระดับบางใหญ่ ไปจนถึงทางแยกต่างระดับบ้านโป่ง โดยจะเชื่อมต่อกับทางหลวงพิเศษหมายเลข 8 (นครปฐม-ชะอำ)

- ช่วงที่ 2 บ้านโป่ง-กาญจนบุรี ระยะทาง 47 กิโลเมตร นับจากปลายทางแยกต่างระดับที่บริเวณบ้านโป่ง ด้านที่ออกมาทางกาญจนบุรี ในระยะแรกจะก่อสร้างเป็นทางหลวงพิเศษขนาด 4 ช่องจราจร มีทางเข้าออกจากโครงการเป็นทางแยกต่างระดับ 2 แห่ง คือ ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3081 (ท่าเรือ-พระแท่นฯ) และทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 324 (กาญจนบุรี-อุ้มทอง) เมื่อปริมาณการจราจรเพิ่มขึ้นจะขยายเป็น 6 ช่องจราจร มูลค่าการลงทุน 6,482 ล้านบาท ค่าจัดกรรมสิทธิ์ที่ดิน 657 ล้านบาท

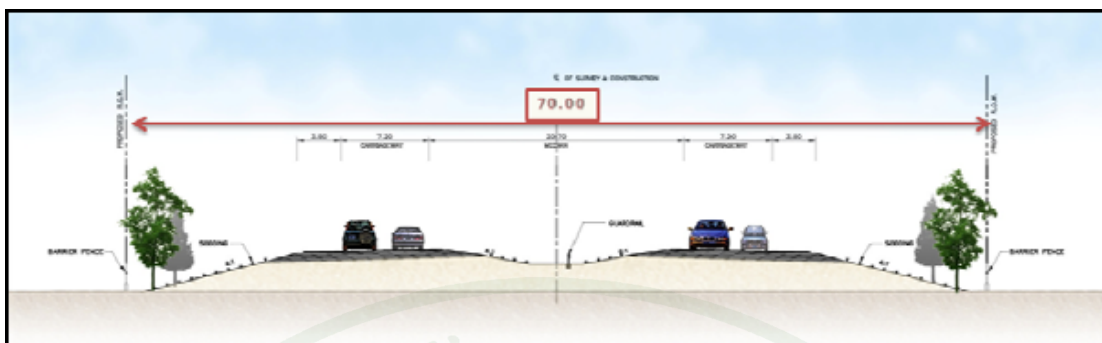
2. รูปแบบเบื้องต้นของโครงการ

รูปแบบของทางหลวงพิเศษหมายเลข 81 ช่วงบางใหญ่ – บ้านโป่ง เป็นทางหลวงขนาด 6 ช่องจราจร มีความกว้างช่องจราจรละ 3.6 เมตร มีเกาะกลางถนนแบบกดเป็นร่องกว้าง 10.5 เมตร สำหรับแบ่งแยกทิศทางการจราจร มีไหล่ทางด้านขวากว้าง 1.0 เมตร ส่วนไหล่ทางด้านซ้ายกว้าง 3.0 เมตร มีเขตทางกว้าง 70 เมตร ตามแนวเขตทางมีรั้วกันทั้งสองข้าง ดัง ภาพที่ 38



ภาพที่ 38 รูปแบบทางหลวง ช่วง บางใหญ่ - บ้านโป่ง

สำหรับรูปแบบทางหลวงช่วง บ้านโป่ง – กาญจนบุรี เป็นทางหลวงขนาด 4 ช่องจราจร มีความกว้างช่องจราจรละ 3.6 เมตร มีเกาะกลางถนนแบบกดเป็นร่องกว้าง 17.7 เมตร สำหรับแบ่งแยกทิศทางการจราจรมีไหล่ทางด้านซ้ายกว้าง 3.0 เมตร ด้านขวากว้าง 1.0 เมตร มีเขตทางกว้าง 70 เมตร ตามแนวเขตทางมีรั้วกัน ทั้งสองข้าง ดัง ภาพที่ 39



ภาพที่ 39 รูปแบบทางหลวง ช่วงบ้านโป่ง – กาญจนบุรี

ในกรณีที่แนวเส้นทางตัดผ่านหรืออยู่ใกล้พื้นที่ชุมชน รูปแบบของทางหลวงจะมีทางบริการชุมชน(Service Road) ทั้งสองข้างโดยมีความกว้างเขตทางข้างละ 15 เมตร ซึ่งทางบริการชุมชนดังกล่าวมีขนาด 2ช่องจราจร กว้าง 6 เมตร ยานพาหนะสามารถวิ่งสวนทางกันได้ และสามารถใช้ทางบริการชุมชนนี้ไปข้ามทางหลวงพิเศษบริเวณที่กำหนดให้มีโครงสร้างระหว่างจุดตัดทางหลวงพิเศษกับทางสัญจรท้องถิ่นได้ โดยมีรายละเอียดแสดงดัง ภาพที่ 40



ภาพที่ 40 รูปแบบทางหลวงที่มีทางบริการชุมชน (Service Road)

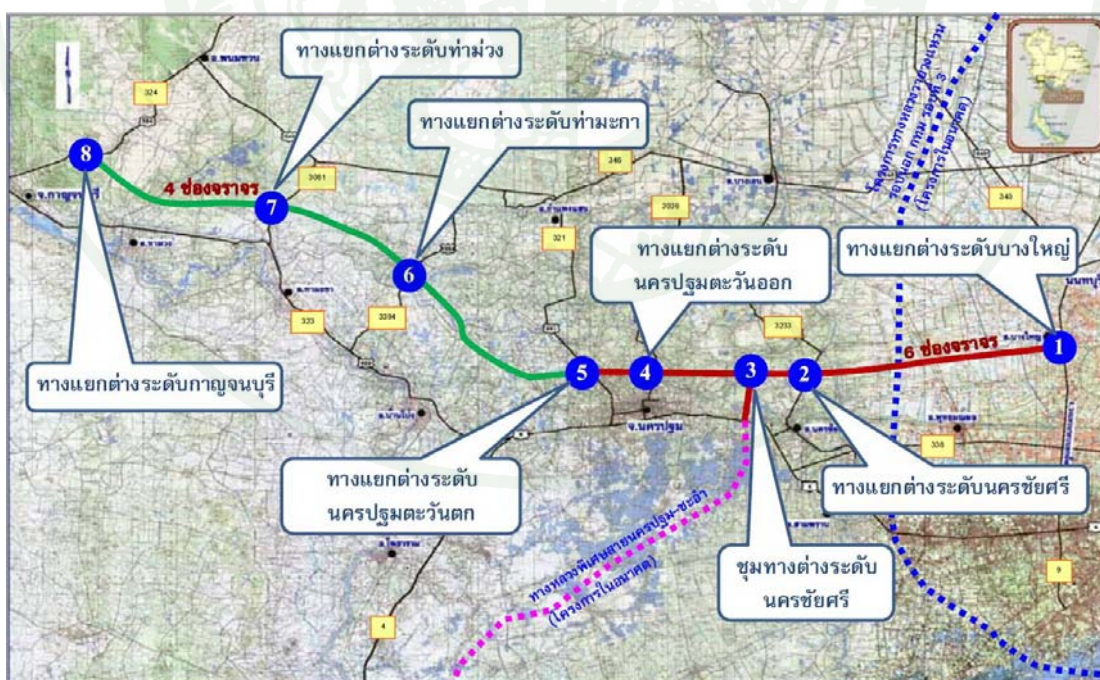
3. ตำแหน่งทางเข้าออก

โครงการทางหลวงพิเศษ สายบางใหญ่-บ้านโป่ง เมื่อปี พ.ศ.2540 ทางเข้าออกในโครงการมีทั้งหมด 4 แห่ง ดังนี้

- ทางแยกต่างระดับบางใหญ่หรือจุดเริ่มต้นโครงการ (ตัดทางหลวงพิเศษหมายเลข 9)
- ทางแยกต่างระดับนครชัยศรี (ตัดทางหลวงหมายเลข 3323)
- ทางแยกต่างระดับนครปฐมฝั่งตะวันออก (ตัดทางหลวงหมายเลข 3036)
- ทางแยกต่างระดับนครปฐมฝั่งตะวันตก (ตัดทางหลวงหมายเลข 321)

โครงการทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง สายบ้านโป่ง-กาญจนบุรี เมื่อปี พ.ศ.2544 ทางเข้าออกในโครงการมีทั้งหมด 2 แห่ง ดังนี้

- ทางแยกต่างระดับที่จุดตัดกับทางหลวงหมายเลข 3081
- ทางแยกต่างระดับที่จุดตัดกับทางหลวงหมายเลข 324 (จุดสิ้นสุดโครงการ)



ภาพที่ 41 ตำแหน่งทางเข้าออก

ขั้นตอนที่ 5 จัดทำคู่มือการใช้โปรแกรม

เมื่อมีความมั่นใจว่าโปรแกรมมีความถูกต้องแล้ว จะเริ่มจัดทำ “คู่มือในการใช้โปรแกรมตรวจสอบการออกแบบด้านงานทางของทางแยกต่างระดับ”



ผลการดำเนินงาน

โครงสร้างของโปรแกรม

การตรวจสอบการออกแบบทางเรขาคณิตสำหรับทางแยกต่างระดับนั้น เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบด้านงานทางด้วยโปรแกรมตรวจสอบการออกแบบทางเรขาคณิต โครงสร้างของโครงสร้างของโปรแกรมจะประกอบไปด้วยต่างๆที่สำคัญ 3 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1 : ส่วนของการป้อนข้อมูล (Input Data)

ซึ่งเป็นส่วนที่ผู้ตรวจสอบต้องป้อนข้อมูลลงไป มีทั้งหมด 4 ส่วน ด้วยกันคือ

- ‘Input Horizontal Data’ เป็นการตรวจสอบค่าตัวแปรด้านเรขาคณิตแนวราบ

ปริมาณจราจร	1826	คัน / วัน
จำนวนช่องจราจร	2 <td>ช่อง</td>	ช่อง
ความกว้างช่องจราจรต่อ 1 ช่องจราจร	3.5 <td>ม.</td>	ม.
ไหล่ทางด้านซ้าย	1.5 <td>ม.</td>	ม.
ไหล่ทางด้านขวา	0.5 <td>ม.</td>	ม.
ความกว้างราวกันตก	0.5 <td>ม.</td>	ม.
ความกว้างโครงสร้างรวม	9.5 <td>ม.</td>	ม.

โค้งที่ 1 Station at P.I. 926.153

ความเร็วออกแบบ 40 กม./ชม.

3.1 รัศมีโค้งทางราบล่าสุด

Directional Ramp / Loop Ramp Directional

on Motorway / on Highway Highway

รัศมีโค้งทางราบล่าสุด 65 ม.

Check Result Back to Menu

ภาพที่ 42 แสดงรูปแบบของ “Input Horizontal Data”

- ‘Input Vertical Data’ เป็นการตรวจสอบค่าตัวแปรด้านเรขาคณิตแนวตั้ง

ข้อมูลตัวแปรแนวทางตั้ง (Vertical Geometric Parameter)

Ramp A Ramp B Ramp C Ramp D Ramp E Ramp F Ramp G Ramp H Ramp I Ramp J Ramp K

Ramp	PVI Station	ELE(m)	%G	L1	L2	V Design	Cross Fall (Right Side)
							Station Cross fall (Right)
A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Check Result Back to Menu

ภาพที่ 43 แสดงรูปแบบของ “Input Vertical Data”

- ‘Input_Merging Data’ เป็นการตรวจสอบความสอดคล้องของค่าระดับระหว่าง Ramp ที่มาเชื่อมกัน

Frm_InputMerging

จุดที่	รายละเอียด	Ramp	Station	Elev. At Control Line	e %	Diff. of Superelevation Checking	Dist. To Outer Edge Next to Other	Elev. at Outer Edge Next to Other	Elevation Checking at Merge or Diverge
1	ทางหลัก		0.000	0.000	0.000		0.00	0.000	
	ทางเชื่อม/ทางแยก		0.000	0.000	0.000	OK	0.00	0.000	OK
2	ทางหลัก		0.000	0.000	0.000		0.00	0.000	
	ทางเชื่อม/ทางแยก		0.000	0.000	0.000	OK	0.00	0.000	OK
3	ทางหลัก		0.000	0.000	0.000		0.00	0.000	
	ทางเชื่อม/ทางแยก		0.000	0.000	0.000	OK	0.00	0.000	OK
4	ทางหลัก		0.000	0.000	0.000		0.00	0.000	
	ทางเชื่อม/ทางแยก		0.000	0.000	0.000	OK	0.00	0.000	OK
5	ทางหลัก		0.000	0.000	0.000		0.00	0.000	
	ทางเชื่อม/ทางแยก		0.000	0.000	0.000	OK	0.00	0.000	OK
6	ทางหลัก		0.000	0.000	0.000		0.00	0.000	
	ทางเชื่อม/ทางแยก		0.000	0.000	0.000	OK	0.00	0.000	OK
7	ทางหลัก		0.000	0.000	0.000		0.00	0.000	
	ทางเชื่อม/ทางแยก		0.000	0.000	0.000	OK	0.00	0.000	OK
8	ทางหลัก		0.000	0.000	0.000		0.00	0.000	
	ทางเชื่อม/ทางแยก		0.000	0.000	0.000	OK	0.00	0.000	OK

Check Result Back to Menu

ภาพที่ 44 แสดงรูปแบบของ “Input Merging Data”

- ‘Input Vertical Clearance Data’ เป็นการตรวจสอบช่องลอดด้านตั้งของ Ramp

ภาพที่ 45 แสดงรูปแบบของ “Input Vertical Clearance Data”

- ‘Superelevation Checking’ เป็นการตรวจสอบค่า ยกโค้ง(Superelevation)และความยาวโค้งก้นหอย

ภาพที่ 46 แสดงรูปแบบของ ‘Superelevation Checking’

ส่วนที่ 2 : ส่วนของการแสดงผล (Output)

มีทั้งหมด 3 ส่วนที่สำคัญ ด้วยกันคือ

- ‘Total Output’

จุดที่	ตัวแปรที่ตรวจสอบ	ผลการตรวจสอบ	ข้อคิดเห็นผู้ตรวจสอบ
การตรวจสอบค่าตัวแปรด้านงานทาง			
1	จำนวนช่องจราจรและความกว้างของโครงสร้างในแต่ละทิศทาง (No. of Lanes and Width of Ramp)	ผ่าน	
2	รัศมีโค้งทางราบต่ำสุด (Minimum Radius of Horizontal Curve)	ผ่าน	
3	การยกขอบถนน (Superelevation)	ผ่าน	
4	ความยาวของโค้งก้นหอย (Spiral Length)	ผ่าน	
5	ความยาวของช่วงทางตรงระหว่างโค้ง (Length of Tangent)	ผ่าน	
6	ความยาวของการขยายช่องจราจรเสริมพิเศษ (Length of Auxiliary Lane)	ผ่าน	
7	ความยาวของช่วงนำออกหรือเข้า (Taper Length)	ผ่าน	
8	ความยาวของการสลับกระแสจราจร (Weaving Length)	ผ่าน	
9	ความลาดชันสูงสุดในแต่ละ Ramp (Maximum of Gradient)	ผ่าน	
10	ความยาวโค้งทางตั้งเกี่ยวกับความเร็วในการออกแบบ (Length of Vertical Curve)	ผ่าน	
11	ค่าระดับและการยกขอบถนนบริเวณทางร่วม/ทางแยกบนโครงสร้าง (Elevation and Superelevation at Entrance and Exit Ramp)	ผ่าน	
12	ช่องออกคาน้ำตั้งบริเวณจุดตัดของ Ramp (Vertical Clearance at Intersection Point)	ผ่าน	

ภาพที่ 47 แสดงรูปแบบของ หน้าต่าง “Total Output”

- ‘Output Merging / Diverging’

การตรวจสอบค่าระดับและการยกขอบถนน

โครงการ

ทางแยกต่างระดับ

การตรวจสอบค่าระดับและการยกขอบถนนบริเวณทางเชื่อม/ทางแยก

1. ระดับและการยกขอบถนนบริเวณทางเชื่อม/ทางแยก	ผลการตรวจสอบ
Ramp ☐ With Ramp ☐	
1.2 ระดับและการยกขอบถนนบริเวณทางเชื่อม/ทางแยก	
Ramp ☐ With Ramp ☐	
1.3 ระดับและการยกขอบถนนบริเวณทางเชื่อม/ทางแยก	
Ramp ☐ With Ramp ☐	
1.4 ระดับและการยกขอบถนนบริเวณทางเชื่อม/ทางแยก	
Ramp ☐ With Ramp ☐	
1.5 ระดับและการยกขอบถนนบริเวณทางเชื่อม/ทางแยก	
Ramp ☐ With Ramp ☐	
1.6 ระดับและการยกขอบถนนบริเวณทางเชื่อม/ทางแยก	
Ramp ☐ With Ramp ☐	

Print

ผู้ตรวจสอบ
วันที่ / /

ภาพที่ 48 แสดงรูปแบบของ ‘Output Merging / Diverging’

- ‘Output Vertical Clearance’

Form :: Output Vertical Clearance

การตรวจสอบค่าระดับ ณ จุดลอด / จุดข้าม

โครงการ

ทางแยกต่างระดับ

การตรวจสอบค่า ณ จุดลอด/จุดข้าม

1.1 ช่องลอดด้านตั้งบริเวณจุดตัดของ Ramp	ผลการตรวจสอบ
Ramp ☐ With Ramp ☐	
1.2 ช่องลอดด้านตั้งบริเวณจุดตัดของ Ramp	
Ramp ☐ With Ramp ☐	
1.3 ช่องลอดด้านตั้งบริเวณจุดตัดของ Ramp	
Ramp ☐ With Ramp ☐	
1.4 ช่องลอดด้านตั้งบริเวณจุดตัดของ Ramp	
Ramp ☐ With Ramp ☐	
1.5 ช่องลอดด้านตั้งบริเวณจุดตัดของ Ramp	
Ramp ☐ With Ramp ☐	
1.6 ช่องลอดด้านตั้งบริเวณจุดตัดของ Ramp	
Ramp ☐ With Ramp ☐	

Check Print

ผู้ตรวจสอบ
วันที่ / /

ภาพที่ 49 แสดงรูปแบบของ ‘Output Vertical Clearance’

ส่วนที่ 3: ส่วนของมาตรฐานการออกแบบและการประมวลผล

มีทั้งหมด 3 ส่วน ด้วยกันคือ

- ‘Geometric Cross section to Ramp’

Highway Standard Setting

Highway Standard

Geometric Cross Sections to Ramp | Design Standard Related Standards for Ramps | Auxiliary Length - Deceleration Length | Auxiliary Length - Acceleration

		For Motorway		For Highway
	Unit	Desirable Standard	Absolute Minimum Standard	
Max. Gradient - Uphill	%	4.0	5.0	5.0
Max. Gradient - Downhill	%	4.0	6.0	6.0
Max. Superelevation	%	6.0	10.0	10.0
Outer Shoulder Width	m	3.0	3.0	1.5
Inner Shoulder Width	m	1.0	1.0	0.5
Single Lane Width	m	4.5	4.5	4.5
Two Lane Width	m	7.2	7.2	7.0
Entry Taper	-	1:50	1:30	1:20
Exit Taper	-	1:50	1:30	1:15

Back to Menu

ภาพที่ 50 แสดงรูปแบบของ ‘Geometric Cross section to Ramp’

- ‘Design Standard for Ramp’

Highway Standard

Geometric Cross Sections to Ramp | Design Standard Related Standards for Ramps | AuxiliaryLength - Deceleration Length | AuxiliaryLength - Acceleration Length

For Motorway

Unit Desirable Standard Absolute Minimum Standard

1. Directional Ramps

Design Speed kph 90.0 0.0 0.0

Min. Horizontal Radius with 6% m 335.0 0.0 0.0

Min. Horizontal Radius with 10% m 0.0 160.0 160.0

Min. Stopping Sight Distance m 170.0 110.0 0.0

2. Loop Ramps

Design Speed kph 60.0 40.0 40.0

Entry Taper m 135.0 0.0 0.0

Exit Taper m 0.0 50.0 50.0

Min. Stopping Sight Distance m 90.0 50.0 0.0

Back to Menu

ภาพที่ 51 แสดงรูปแบบของ ‘Design Standard for Ramp’

- ‘Auxiliary Length’

Highway Standard

Design Standard Related Standards for Ramps | AuxiliaryLength - Deceleration Length | AuxiliaryLength - Acceleration Length

Acceleration Length

Exit Design Speed

Highway Design Speed 0 20 30 40 50 60 70 80

50	60	50	30	0	0	0	0	0
60	95	80	65	45	0	0	0	0
70	150	130	110	90	65	0	0	0
80	200	180	165	145	115	65	0	0
90	260	245	225	205	175	125	35	0
100	345	325	305	285	255	205	110	40
110	430	410	390	370	340	290	200	125
120	545	530	515	490	460	410	325	245

Back to Menu

ภาพที่ 52 แสดงรูปแบบของ ‘Auxiliary Length’

การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมเทียบกับการตรวจสอบแบบเดิม

ในการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม จะทำโดยใช้ข้อมูลทางแยกต่างระดับนครปฐม ตะวันตก (Nakhon Pathom West Interchange) ของโครงการก่อสร้างถนนต่อเชื่อม ถนนมอเตอร์เวย์ สาย 81 บางใหญ่ – กาญจนบุรี โดยมีรูปแบบเป็น Trumpet Interchange เริ่มต้นการทดสอบ ดังนี้

1. การตรวจสอบค่าตัวแปรด้านงานทาง

ดำเนินการโดยการนำเข้าสู่ข้อมูลแนวทางราบและทางโค้งลงในหน้าต่างโปรแกรม ‘Input Horizontal Data’ และ ‘Input Vertical Data’

2. การตรวจสอบค่าระดับและการยกขอบถนนบริเวณจุดเชื่อมต่อ/แยก

ดำเนินการโดยนำเข้าสู่ข้อมูลลงในหน้าต่างโปรแกรม ‘Input Merging Data’

3. การตรวจสอบช่องลอดด้านตั้ง

ดำเนินการโดยนำเข้าสู่ข้อมูลลงในหน้าต่างโปรแกรม ‘Input Vertical Clearance Data’

ผลการตรวจสอบการออกแบบด้านงานทางของทางแยกต่างระดับนครปฐมตะวันตก (Nakhon Pathom West Interchange) ด้วยโปรแกรมการตรวจสอบการออกแบบทางเรขาคณิตของทางแยกต่างระดับ พบว่า ข้อมูลที่ทดสอบเป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบด้านงานทาง ดังแสดงใน ภาพที่ 53, ภาพที่ 54 และภาพที่ 55

จากที่กล่าวไว้แล้วว่า ข้อมูลการออกแบบทางต่างระดับแห่งนี้ ได้ผ่านการตรวจสอบความถูกต้องด้วยวิธีเดิมคือการให้วิศวกรอาวุโสเป็นผู้ตรวจสอบ ในขั้นตอนการสำรวจและออกแบบรายละเอียดโครงการมาแล้ว ดังนั้นเมื่อโปรแกรมแสดงผลว่าผ่านการตรวจสอบ จึงนับว่าโปรแกรมถูกต้องและสามารถใช้งานได้จริง

การตรวจสอบรูปแบบทางกายภาพเบื้องต้นและค่าตัวแปรด้านงานทาง

จุดที่	ตัวแปรที่ตรวจสอบ	ผลการตรวจสอบ	ข้อคิดเห็นผู้ตรวจสอบ
การตรวจสอบค่าตัวแปรด้านงานทาง			
1	จำนวนช่องจราจรและความกว้างของโครงสร้างในแต่ละทิศทาง (No. of Lanes and Width of Ramp)	ผ่าน	
2	รัศมีโค้งทางราบต่ำสุด (Minimum Radius of Horizontal Curve)	ผ่าน	
3	การยกของถนน (Superelevation)	ผ่าน	
4	ความยาวของโค้งก้นหอย (Spiral Length)	ผ่าน	
5	ความยาวของช่วงทางตรงระหว่างโค้ง (Length of Tangent)	ผ่าน	
6	ความยาวของการขยายช่องจราจรเสริมพิเศษ (Length of Auxiliary Lane)	ผ่าน	
7	ความยาวของช่วงมาออกหรือเข้า (Taper Length)	ผ่าน	
8	ความยาวของการสลับกระแสจราจร (Weaving Length)	ผ่าน	
9	ความลาดชันสูงสุดในแต่ละ Ramp (Maximum of Gradient)	ผ่าน	
10	ความยาวโค้งทางตั้งเทียบกับความเร็วในการออกแบบ (Length of Vertical Curve)	ผ่าน	
11	ผ่าน		
12	ช่องลอดค้ำตั้งบริเวณจุดตัดของ Ramp (Vertical Clearance at Intersection Point)	ผ่าน	

Back to Menu

ภาพที่ 53 ผลการตรวจสอบตัวแปรด้านงานทางทั้งหมด

การตรวจสอบค่าระดับและการยกของถนน

โครงการ: ก่อสร้างถนนเชื่อมไฮม ทางหลวงสาย 321 และมอเตอร์เวย์ สาย 81

ทางแยกต่างระดับ: นครปฐมตะวันตก

การตรวจสอบค่าระดับและการยกของถนนบริเวณทางเชื่อม/ทางแยก

ระดับและค่าการยกของถนนบริเวณทางเชื่อม/ทางแยก	ผลการตรวจสอบ
1.1 ระดับและค่าการยกของถนนบริเวณทางเชื่อม/ทางแยก Ramp E With Ramp B	PASS
1.2 ระดับและค่าการยกของถนนบริเวณทางเชื่อม/ทางแยก Ramp A With Ramp C	PASS
1.3 ระดับและค่าการยกของถนนบริเวณทางเชื่อม/ทางแยก Ramp F With Ramp D	PASS
1.4 ระดับและค่าการยกของถนนบริเวณทางเชื่อม/ทางแยก Ramp B With Ramp D	PASS
1.5 ระดับและค่าการยกของถนนบริเวณทางเชื่อม/ทางแยก Ramp E With Ramp A	PASS
1.6 ระดับและค่าการยกของถนนบริเวณทางเชื่อม/ทางแยก Ramp F With Ramp C	PASS

Check Print

ผู้ตรวจสอบ: _____
วันที่:/...../.....

ภาพที่ 54 ผลการตรวจสอบค่าระดับและการยกของถนน ณ จุดวิกฤต

Form :: Output Vertical Clearance

การตรวจสอบค่าระดับ ณ จุดลอด / จุดข้าม

โครงการ

ทางแยกต่างระดับ

การตรวจสอบค่า ณ จุดลอด/จุดข้าม

1.1ช่องลอดตั้งแต่บริเวณจุดตัดของ Ramp	ผลการตรวจสอบ
Ramp E With Ramp A	PASS
1.2ช่องลอดตั้งแต่บริเวณจุดตัดของ Ramp	
Ramp E With Ramp B	PASS
1.3ช่องลอดตั้งแต่บริเวณจุดตัดของ Ramp	
Ramp F With Ramp A	PASS
1.4ช่องลอดตั้งแต่บริเวณจุดตัดของ Ramp	
Ramp F With Ramp B	PASS
1.5ช่องลอดตั้งแต่บริเวณจุดตัดของ Ramp	
Ramp With Ramp	
1.6ช่องลอดตั้งแต่บริเวณจุดตัดของ Ramp	
Ramp With Ramp	

ผู้ตรวจสอบ
วันที่...../...../.....

ภาพที่ 55 ผลการตรวจสอบค่า ณ จุดลอด / จุดข้าม

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การจัดทำโปรแกรมตรวจสอบการออกแบบทางเรขาคณิตสำหรับทางแยกต่างระดับ โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์วิสวลสตูดิโอ เวอร์ชัน 2008 (Microsoft Visual Studio Version 2008) เป็นโปรแกรมพื้นฐานในการพัฒนาโปรแกรมเพื่อให้วิศวกรงานทางใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบการออกแบบทางเรขาคณิตด้านงานทางของทางแยกต่างระดับนี้ นับเป็นองค์ความรู้ให้แก่วิศวกรทั่วไปที่มีความสนใจในเรื่องการออกแบบด้านเรขาคณิตของทางแยกต่างระดับเป็นอย่างดี และยังสามารถใช้เป็นเครื่องมือช่วยให้วิศวกรงานทางที่มีประสบการณ์ ใช้ในการตรวจสอบการออกแบบด้านงานของทางแยกต่างระดับได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว โดยไม่ต้องเปิดมาตรฐานเพื่อการตรวจสอบในแต่ละตัวแปร และไม่จำเป็นต้องมีความรู้ด้านคอมพิวเตอร์มากนัก นอกจากนี้ยังเป็นประโยชน์ต่อวิศวกรงานทางที่ไม่มีประสบการณ์หรือวิศวกรโยธาที่ไม่มีความรู้ในเรื่องการออกแบบทางแยกต่างระดับมาก่อน สามารถใช้เป็นโอกาสในการเรียนรู้และใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการตรวจสอบการออกแบบด้านงานทางของทางแยกต่างระดับได้ ในกรณีที่ได้รับมอบหมาย ซึ่งนับเป็นอีกเครื่องมือหนึ่งที่จะเป็นประโยชน์ในการดำเนินธุรกิจการให้บริการด้านวิศวกรรม สำหรับงานออกแบบทางแยกต่างระดับ

ข้อได้เปรียบที่เกิดจากการพัฒนาโปรแกรมสำหรับตรวจสอบการออกแบบทางเรขาคณิตสำหรับทางแยกต่างระดับนี้มีหลายประการคือ

1. ใช้งานได้ง่ายเนื่องจากเป็นโปรแกรมที่ไม่ต้องการซอฟต์แวร์มารองรับในการทำงาน
2. สามารถใช้ได้กับหลากหลายเวอร์ชันของระบบปฏิบัติการ โดยไม่ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงให้สอดคล้องกับเวอร์ชันต่างๆ เหมือนโปรแกรมสำเร็จรูปที่ขายอยู่ตามท้องตลาด
3. มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน หากต้องการปรับปรุงแก้ไขให้สอดคล้องกับโครงการอื่นๆ จะทำได้ง่าย ไม่ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการจ้างโปรแกรมเมอร์จากภายนอกให้ยุ่งยาก สามารถทำได้เองภายในสำนักงาน

ข้อเสนอแนะ

การนำเข้าข้อมูลของโปรแกรมโดยการป้อนค่าตัวแปรทีละค่า ซึ่งได้มาจากการจดบันทึกมาจาก Digital File ของ โปรแกรม AutoCAD และมีข้อมูลค่อนข้างมาก จึงอาจมีความยุ่งยากในการป้อนข้อมูล และมีความยุ่งยากในการตรวจสอบความถูกต้องของการป้อนข้อมูล จึงควรมีการพัฒนาโปรแกรมนี้ ให้สามารถเชื่อมโยงข้อมูลจาก ข้อมูลใน Digital File ของ โปรแกรม AutoCAD ได้อย่างอัตโนมัติโดยไม่ต้องมีการป้อนข้อมูล จะสามารถลดขั้นตอนความยุ่งยากในการป้อนข้อมูลลงไปได้มาก

การพัฒนาเพื่อเชื่อมโยงข้อมูลจาก Digital File ของ โปรแกรม AutoCAD เข้ากับ โปรแกรมการตรวจสอบการออกแบบทางเรขาคณิตสำหรับทางแยกต่างระดับนี้ ควรจะต้องมีการศึกษาในขั้นตอนต่อไป ซึ่งอาจจะเหมาะสำหรับหลักสูตรด้านคอมพิวเตอร์มากกว่า เนื่องจากต้องอาศัยการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาคอมพิวเตอร์ ร่วมกับการออกแบบด้านระบบฐานข้อมูล ให้มีความกระชับและรัดกุมมากกว่านี้

การออกแบบป้ายและเครื่องหมายจราจรบริเวณทางแยกต่างระดับควรมีการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อให้เกิดความปลอดภัยสูงสุดต่อผู้ใช้งาน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมทางหลวง. 2539. คู่มือการออกแบบทาง หลักสูตรที่ 1. กรมทางหลวง, กรุงเทพฯ.

ชัยฤกษ์ เมษสุวรรณ. 2543. การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการออกแบบงานถนน
ทางด้านเรขาคณิต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ธำรงลักษณ์ จงกมลวิวัฒน์. 2544. การพัฒนาโปรแกรมที่ใช้ในการประเมินความปลอดภัยในการ
ออกแบบความเร็วและระยะมองเห็นสำหรับทางสองช่องทางนอกเมือง. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บริษัท เอ็ม เอ เอ คอนซัลแตนท์ จำกัด. 2552. เอกสารประกอบการประชุมกลุ่มย่อยครั้งที่ 2 : งาน
บริการด้านวิศวกรรมการสำรวจและออกแบบรายละเอียดโครงการทางหลวงพิเศษ
หมายเลข 81สายบางใหญ่- กาญจนบุรี. กรมทางหลวง, กรุงเทพฯ.

ขรรขง ทรัพย์สุขอำนวย. 2524. การสำรวจแนวเส้นทาง. แผนกวิชาช่างสำรวจ วิชาเขตเทคนิค
กรุงเทพฯ, กรุงเทพฯ

ยอดพล ธนาบริบูรณ์. 2524. วิศวกรรมจราจร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิชาเขตธนบุรี,
กรุงเทพฯ

วัชรินทร์ วิทยกุล. 2535. การออกแบบและวางแผนแนวเส้นทาง. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

ศิริประภา รติวัฒน์. 2552. การจัดทำคู่มือการตรวจสอบการออกแบบด้านงานทางสำหรับทางแยก
ต่างระดับ. การศึกษาค้นคว้าอิสระ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อัศวิน วรรณสุต. 2539. เอกสารประกอบการเรียนรายวิชา Advanced Highway Design.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อัศวิน จริยานพิวาทย์. 2548. การศึกษาและพัฒนาโปรแกรมออกแบบทางเรขาคณิตสำหรับ
ทางแยกต่างระดับ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อาทร จุปราง. 2538. โปรแกรมไมโครคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบทางเรขาคณิตของ
ทางแยกต่างระดับ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

American Association of State Highway and Transportation Officials. 2004. **A Policy on
Geometric Design of Highways and Streets.** Washington, D.C.

Transportation Research Board. 2000. **Highway Capacity Manual.** Special Report 2009.
Fourth Edition. National Research Council, Washington, D.C.





วิธีการคำนวณหาอัตราการยกขอบถนนด้วยวิธี method 5 Procedure

AASHTO (2001) อธิบายถึงวิธีการคำนวณหาอัตราการยกขอบถนนด้วยวิธี method 5 Procedure ไว้ดังนี้

$$0.01e + f = \frac{0.0079V^2}{R} \quad (1)$$

เมื่อ

- V = ความเร็วออกแบบ , กม./ชม.
 e = อัตราการยกขอบถนน , ม./ม.
 f = สัมประสิทธิ์ความฝืดด้านข้าง
 R = รัศมีโค้งทางราบ, ม.

และเมื่อ

- $e_{\max}$ = อัตราการยกขอบถนนสูงสุด , ม./ม.
 $f_{\max}$ = สัมประสิทธิ์ความฝืดด้านข้างสูงสุดที่ยอมรับ
 $R_{\min}$ = รัศมีโค้งทางราบต่ำสุด, ม.
 R_{PI} = รัศมีโค้งทางราบที่จุดตัด (PI, Point of Intersection) ของ
 ขาที่ 1 และ 2 ของการกระจายตัวความฝืดด้านข้างของ
 โค้งพาราโบลา (จะมีค่าเท่ากับความรัศมีโค้ง ณ จุดตัดที่
 $0.01e_{\max}$ และ ที่ $(0.01e + f)_R$), ม.

ดังนั้น

$$R_{\min} = \frac{0.0079V_D^2}{0.01e_{\max} + f_{\max}} \quad (2)$$

และ

$$R_{PI} = \frac{0.0079V_R^2}{0.01e_{\max}} \quad (3)$$

ทั้งนี้เนื่องจาก $(0.01e + f)_D - (0.01e + f)_R = h$ ดังนั้นที่จุด R_{PI} สมการจะลดลง
เป็น

$$h_{PI} = \left[\frac{0.01e_{\max} V_D^2}{V_R^2} \right] - 0.01e_{\max} \quad (4)$$

เมื่อ $h_{PI} = PI$ ที่ offset จาก แกน $1/R$

ดังนั้น $S_1 = h_{PI}(R_{PI})$ เมื่อ $S_1 =$ ความลาดชันของขาที่ 1 (5)

$$S_2 = \frac{\frac{f_{\max} - h_{PI}}{1} - \frac{1}{R_{PI}}}{\frac{1}{R_{\min}} - \frac{1}{R_{PI}}} \quad \text{เมื่อ } S_2 = \text{ความลาดชันของขาที่ 2} \quad (6)$$

สำหรับสมการหาค่า MO (Middle ordinate) บนโค้งอสมมาตร แสดงในสมการ

$$MO = \frac{L_1 L_2 (S_2 - S_1)}{2(L_1 + L_2)} \quad (7)$$

หาก $L_1 = 1/R_{PI}$ และ $L_2 = 1/R_{\min} - 1/R_{PI}$
จะได้สมการ

$$MO = \frac{1}{R_{PI}} \left[\frac{1}{R_{\min}} - \frac{1}{R_{PI}} \right] \left[\frac{S_2 - S_1}{2} \right] R_{\min} \quad (8)$$

เมื่อ MO คือ Middle ordinate ของ f distribution curve และ

$$(0.01e + f)_D = \frac{(0.01e_{\max} + f_{\max}) R_{\min}}{R} \quad (9)$$

เมื่อ R คือ รัศมีโค้ง ณ จุดใดๆ

เมื่อพิจารณาสมการของโค้งแนวดิ่งทั่วไป คือ

$$\frac{Y}{MO} = \left(\frac{x}{L} \right)^2 \quad (10)$$

$1/R$ วัดจากแนวแกนตั้ง ด้วย $1/R \leq 1/R_{PI}$

$$f_1 = MO \left(\frac{R_{PI}}{R} \right)^2 + \frac{S_1}{R} \quad (11)$$

เมื่อ f_1 คือ f distribution ณ จุดใดๆ ที่ $1/R \leq 1/R_{PI}$

และ

$$0.01e_1 = (0.01e + f)_D - f_1 \quad (12)$$

เมื่อ $0.01e_1$ คือ 0.01e distribution ณ จุดใดๆ ที่ $1/R \leq 1/R_{PI}$

ในกรณี $1/R \geq 1/R_{PI}$

$$f_2 = MO \left(\frac{\frac{1}{R_{\min}} - \frac{1}{R}}{\frac{1}{R_{\min}} - \frac{1}{R_{PI}}} \right)^2 + h_{PI} + S_2 \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R_{PI}} \right) \quad (13)$$

เมื่อ f_2 คือ f distribution ณ จุดใดๆ ที่ $1/R \geq 1/R_{PI}$

และ

$$0.01e_2 = (0.01e + f)_D - f_2 \quad (14)$$

เมื่อ $0.01e_2$ คือ 0.01e distribution ณ จุดใดๆ ที่ $1/R \geq 1/R_{PI}$



ข้อมูลทางแยกต่างระดับสำหรับตรวจสอบโปรแกรม

ตารางผนวกที่ ข1 ข้อมูลโค้งทางราบของทางแยกต่างระดับกับทางหลวงหมายเลข 321 สำหรับใช้ในการทดสอบโปรแกรม

ปัจจัยในการนำเข้าข้อมูล	Ramp A	Ramp B	Ramp C	Ramp D
1. ปริมาณจราจร	1,635	1,185	1,850	985
2. จำนวนช่องจราจร	2	1	2	1
ความกว้างช่องจราจรต่อ 1 ช่องจราจร	3.6	4	3.5	4.5
ไหล่ทางด้านซ้าย	3	3	2	2
ไหล่ทางด้านขวา	1	1	1	1
ความกว้างราวกันตก	0.5	0.5	0.5	0.5
3. การตรวจสอบโค้งทางราบ				
<u>โค้งที่ 1</u>	Loop	Loop	Loop	Loop
กม. ของ PI	2+803.900	0+101.470	0+313.379	0+165.002
รัศมีโค้งทางราบต่ำสุด	55	150	150	150
การยกขอบถนนปกติ	2.5	2.5	2.5	2.5
การยกขอบถนนออกแบบ	6	6	6	6
ความยาวโค้งกั้นหยอขาเข้า	80	73.5	73.5	54
ความยาวโค้งกั้นหยอขาออก	-	73.5	73.5	54
ความยาวของช่วงทางตรงระหว่างโค้ง (ก่อนถึงโค้งถัดไป)	-	-	-	-

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ปัจจัยในการนำเข้าสู่ข้อมูล	Ramp A	Ramp B	Ramp C	Ramp D
<u>โค้งที่ 2</u>	Loop	Loop	-	-
กม. ของ PI	2+938.436	0+417.198	-	-
รัศมีโค้งทางราบต่ำสุด	55	58.5	-	-
การยกขอบถนนปกติ	2.5	2.5	-	-
การยกขอบถนนออกแบบ	6	6	-	-
ความยาวโค้งกั้นหอยขาเข้า	-	69.45	-	-
ความยาวโค้งกั้นหอยขาออก	80	69.45	-	-
ความยาวของช่วงทางตรงระหว่างโค้ง (ก่อนถึงโค้งถัดไป)	-	-	-	-
4. ความยาวของการขยายช่องเสริมพิเศษ				
ความเร็วออกแบบของทางหลัก	100	100	100	100
ความเร็วออกแบบของ Ramp	60	60	60	60
ความยาวของช่วงขาออกจากทางหลัก	-	-	-	-
ความยาวของช่วงเข้าทางหลัก	-	-	-	-
5. ความยาวของช่วงพายออก/คู่เข้า				
ช่วงออกจากทางหลัก	-	150	110	150
ช่วงเข้าเชื่อมทางหลัก	175	-	150	-
6. ความยาวของการสลับกระแสจราจร	-	-	-	-

ตารางผนวกที่ ข2 ข้อมูลโค้งทางตั้งของทางแยกต่างระดับกับทางหลวงหมายเลข 321 สำหรับใช้ในการทดสอบโปรแกรม

หลักกม.	ค่าระดับ	ความยาวโค้ง	ความยาวโค้ง	ความเร็วออกแบบ	หลักกม. ณ จุดเปลี่ยนการยก	การยก
(Station)	(Elevation)	LVC1	LVC2	(Design Speed)	(Station)	ขอบถนนฝั่งขวา (ม./ม.)
		(ม.)	(ม.)	(กม./ชม.)		
Ramp A						
0+000.000	6.558	-	-	-	2+038.130	0
0+565.450	6.558	60	60	60	2+117.456	2.5
0+839.000	17.5	100	100	60	2+651.239	2.5
1+101.500	7	60	60	60	2+697.970	6
1+892.500	7	50	50	60	2+881.951	6
2+080.000	14.5	50	50	60	2+928.682	2.5
2+651.000	14.5	37.5	37.5	60	2+961.951	2.5
2+868.500	5.8	37.5	37.5	60		
2+961.951	5.8					
Ramp B						
0+000.000	5.8				0+000.000	2.5
0+169.500	5.8	37.5	37.5	60	0+030.812	2.5
0+387.000	14.5	37.5	37.5	60	0+073.500	6
0+958.000	14.5	50	50	60	0+121.244	6
1+145.500	7	50	50	60	0+194.744	0
1+933.500	7	60	60	60	0+277.203	-6
2+196.000	17.5	100	100	60	0+339.369	-6
2+469.425	6.563	60	60	60	0+421.828	0

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

หลักกม.	ค่าระดับ	ความยาว โค้ง	ความ ยาวโค้ง	ความเร็ว ออกแบบ	หลักกม. ณ จุด เปลี่ยนการยก ขอบถนน	การยก ขอบถนน ฝั่งขวา
(Station)	(Elevation)	LVC1 (ม.)	LVC2 (ม.)	(Design Speed) (กม./ชม.)	(Station)	(ม./ม.)
2+994.219	6.563				0+490.609	2.5
					1+038.062	2.5
					1+078.399	5
					1+259.950	5
					1+300.287	1
Ramp C						
0+000.000	14.213	-	-	-	0+000.000	2.5
0+045.000	14.213	40	40	60	0+110.395	2.5
255.325	5.8	40	40	60	141.207	6
433.485	5.8				359.985	6
					402.673	2.5
					433.485	2.5
Ramp D						
0+000.000	5.8				0+000.000	2.5
0+174.675	5.8	40	40	60	0+022.637	2.5
0+385.000	14.213	40	40	60	0+054.000	6
0+426.061	14.213				0+222.356	6
Ramp E						
5+894.916	6.24	-	-	-	5+894.916	2.5

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

หลักกม.	ค่าระดับ	ความยาว โค้ง	ความ ยาวโค้ง	ความเร็ว ออกแบบ	หลักกม. ณ จุด เปลี่ยนการยก ขอบถนน	การยก ขอบถนน ฝั่งขวา (ม./ม.)
(Station)	(Elevation)	LVC1 (ม.)	LVC2 (ม.)	(Design Speed) (กม./ชม.)	(Station)	
6+389.446	6.24	-	-	-	6+389.446	2.5
Ramp F						
6+061.476	6.44	-	-	-	6+061.476	2.5
6+187.466	6.44	-	-	-	6+471.736	2.5
6+471.736	6.24					

ตารางผนวกที่ ข3 ข้อมูลที่นำเข้าของทางแยกต่างระดับกับทางหลวงหมายเลข 321 เพื่อตรวจสอบ
ค่าระดับและการยกขอบถนนบริเวณทางเชื่อม/ทางแยก

จุดที่	รายละเอียด	Ramp	หลัก กม. Station	ระยะทางจากเส้นควบคุมถึง ขอบถนนฝั่งที่มีการเชื่อม/แยก
1	ทางหลัก	F	6+187.466	-16.1
	ทางเชื่อม/ทางแยก	A	2+961.950	9.5
2	ทางหลัก	B	0+632.047	-10
	ทางเชื่อม/ทางแยก	D	0+426.060	1.5
3	ทางหลัก	E	6+389.445	-16.1
	ทางเชื่อม/ทางแยก	C	0+433.485	1.5
4	ทางหลัก	A	2+367.220	-10
	ทางเชื่อม/ทางแยก	C	0+000.000	1.5

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

จุดที่	รายละเอียด	Ramp	หลัก กม. Station	ระยะทางจากเส้นควบคุมถึง ขอบถนนฝั่งที่มีการเชื่อม/แยก
5	ทางหลัก	E	5+994.916	-16.1
	ทางเชื่อม/ทางแยก	D	0+000.000	1.5
6	ทางหลัก	F	6+471.735	-16.1
	ทางเชื่อม/ทางแยก	B	0+000.000	1.5

ตารางผนวกที่ ข4 ข้อมูลที่นำเข้าของทางแยกต่างระดับกับทางหลวงหมายเลข 321 เพื่อตรวจสอบ
ช่องลอดด้านตั้ง

จุดที่	รายละเอียด	Ramp	หลัก กม. Station	ความหนา ของโครงสร้าง	ระยะทางจากเส้น ควบคุมถึงขอบนอก ของโครงสร้างฝั่งที่ วิกฤต
1	Ramp ลอด	E	6+172.016	2.5	-2.1
	Ramp ข้าม	A	2+575.000		-9.5
2	Ramp ลอด	F	6+172.016	2.5	-2.1
	Ramp ข้าม	A	2+600.000		-9.5
3	Ramp ลอด	E	6+161.476	2.5	-2.1
	Ramp ข้าม	B	0+462.000		-9.5
4	Ramp ลอด	F	6+161.476	2.5	-2.1
	Ramp ข้าม	B	0+437.000		-9.5

ตารางผนวกที่ ข5 ข้อมูลโค้งทางราบของทางแยกต่างระดับกับมอเตอร์เวย์สาย 81 สำหรับใช้ในการทดสอบโปรแกรม

ปัจจัยในการนำเข้าข้อมูล	Ramp A	Ramp B	Ramp C	Ramp D
1. ปริมาณจราจร	1,826	1,245	1,156	1,038
2. จำนวนช่องจราจร	2	1	1	1
ความกว้างช่องจราจรต่อ 1 ช่องจราจร	3.6	4	4	4
ไหล่ทางด้านซ้าย	3	3	3	3
ไหล่ทางด้านขวา	1	1	1	1
ความกว้างราวกันตก	0.5	0.5	0.5	0.5
3. การตรวจสอบโค้งทางราบ				
<u>โค้งที่ 1</u>	Loop	Loop	Loop	Loop
กม. ของ PI	0+400.276	3+266.634	241.212	322.703
รัศมีโค้งทางราบต่ำสุด	135	138.5	200	200
การยกขอบถนนปกติ	2.5	2.5	2.5	2.5
การยกขอบถนนออกแบบ	6	5	5	5
ความยาวโค้งกั้นหอยขาเข้า	100	101.282	45	45
ความยาวโค้งกั้นหอยขาออก	-	101.282	45	45
ความยาวของช่วงทางตรงระหว่างโค้ง	-	-	-	-
(ก่อนถึงโค้งถัดไป)				

ตารางผนวกที่ ข5 (ต่อ)

ปัจจัยในการนำเข้าสู่ข้อมูล	Ramp A	Ramp B	Ramp C	Ramp D
<u>โค้งที่ 2</u>	Loop	Loop	-	-
กม. ของ PI	0+725.675	2+937.374	-	-
รัศมีโค้งทางราบต่ำสุด	135	200	-	-
การยกขอบถนนปกติ	2.5	2.5	-	-
การยกขอบถนนออกแบบ	6	5.5	-	-
ความยาวโค้งกั้นหอยขาเข้า	-	94.87	-	-
ความยาวโค้งกั้นหอยขาออก	100	94.87	-	-
ความยาวของช่วงทางตรงระหว่างโค้ง (ก่อนถึงโค้งถัดไป)	-	-	-	-
4. ความยาวของการขยายช่องเสริมพิเศษ				
ความเร็วออกแบบของทางหลัก	100	100	100	100
ความเร็วออกแบบของ Ramp	60	60	60	60
ความยาวของช่วงขาออกจากทางหลัก	-	-	-	-
ความยาวของช่วงเข้าทางหลัก	-	-	-	-
5. ความยาวของช่วงพายออก/คู่เข้า				
ช่วงออกจากทางหลัก	140	-	350	175
ช่วงเข้าเชื่อมทางหลัก	-	140	140	350
6. ความยาวของการสลับกระแสจราจร	-	-	-	-

ตารางผนวกที่ ข6 ข้อมูลโค้งทางตั้งของทางแยกต่างระดับกับมอเตอร์เวย์สาย 81 สำหรับใช้
ในการทดสอบโปรแกรม

หลักกม.	ค่าระดับ	ความ ยาวโค้ง	ความ ยาวโค้ง	ความเร็ว ออกแบบ	หลักกม. ณ จุดเปลี่ยนการ ยกขอบถนน	การยก ขอบถนน ฝั่งขวา
(Station)	(Elevation)	LVC1 (ม.)	LVC2 (ม.)	(Design Speed) (กม./ชม.)	(Station)	(ม./ม.)
Ramp A						
0+000.000	6.558	-	-	-	0+000.000	2.5
0+565.450	6.558	60	60	60	0+041.592	2.5
0+839.000	17.5	100	100	60	0+100.000	6
1+101.500	7	60	60	60	0+647.954	6
1+892.500	7	50	50	60	0+706.361	2.5
2+080.000	14.5	50	50	60	1+300.000	2.5
2+651.000	14.5	37.5	37.5	60	1+347.596	1
2+868.500	5.8	37.5	37.5	60	1+664.848	1
2+961.951	5.8	-	-	-	1+696.579	0
					1+776.579	-5
					1+958.130	-5
Ramp B						
0+000.000	5.8	-	-	-	1+300.287	1
0+169.500	5.8	37.5	37.5	60	1+686.914	1
0+387.000	14.5	37.5	37.5	60	1+734.510	2.5
0+958.000	14.5	50	50	60	2+200.000	2.5
1+145.500	7	50	50	60	2+285.913	0
1+933.500	7	60	60	60	2+387.195	-6

ตารางผนวกที่ ข6 (ต่อ)

หลักกม.	ค่าระดับ	ความยาวโค้ง	ความยาวโค้ง	ความเร็วออกแบบ	หลักกม. ณ จุดเปลี่ยนการยกขอบถนน	การยกขอบถนน
(Station)	(Elevation)	LVC1 (ม.)	LVC2 (ม.)	(Design Speed) (กม./ชม.)	(Station)	(ม./ม.)
2+196.000	17.5	100	100	60	2+679.192	-6
2+469.425	6.563	60	60	60	2+780.473	0
2+994.219	6.563	-	-	-	2+825.473	5.5
					2+994.219	5.5
Ramp C						
0+000.000	6.563	-	-	-	0+086.494	6.6
0+456.855	6.683	-	-	-	0+247.645	6.6
					0+297.342	2.5
					0+587.645	2.5
Ramp D						
0+000.000	6.763	-	-	-	0+000.000	2.5
0+353.879	6.763	37.5	37.5	60	0+136.919	2.5
0+476.525	8.445	-	-	-	0+161.560	5.5
Ramp E						
45+197.175	6.860	-	-	-	45+197.175	2.5
45+422.511	6.860	-	-	-	45+771.067	2.5
45+771.067	6.800	-	-	-		

ตารางผนวกที่ ข6 (ต่อ)

หลักกม.	ค่าระดับ	ความยาวโค้ง	ความยาวโค้ง	ความเร็วออกแบบ	หลักกม. ณ จุดเปลี่ยนการยกขอบถนน	การยกขอบถนน
(Station)	(Elevation)	LVC1 (ม.)	LVC2 (ม.)	(Design Speed) (กม./ชม.)	(Station)	(ม./ม.)
Ramp F						
45+197.175	7.7	-	-	-	45+197.175	2.5
45+612.942	6.563	-	-	-	45+602.942	2.5

ตารางผนวกที่ ข7 ข้อมูลที่นำเข้าของทางแยกต่างระดับกับมอเตอร์เวย์สาย 81 เพื่อตรวจสอบค่าระดับและการยกขอบถนนบริเวณทางเชื่อม/ทางแยก

จุดที่	รายละเอียด	Ramp	หลัก กม. Station	ระยะทางจากเส้นควบคุมถึงขอบถนนฝั่งที่มีการเชื่อม/แยก
1	ทางหลัก	E	45+422.510	-12.3
	ทางเชื่อม/ทางแยก	B	2+993.219	-1.5
2	ทางหลัก	A	1+181.500	-11.2
	ทางเชื่อม/ทางแยก	C	0+455.855	1.5
3	ทางหลัก	F	45+197.175	-12.3
	ทางเชื่อม/ทางแยก	D	0+390.713	1.5
4	ทางหลัก	B	1+853.010	-8
	ทางเชื่อม/ทางแยก	D	0+000.000	1.5
5	ทางหลัก	E	45+422.510	-12.3
	ทางเชื่อม/ทางแยก	A	0+000.000	1.5
6	ทางหลัก	F	45+602.942	1.5
	ทางเชื่อม/ทางแยก	C	0+000.000	1.5

ตารางผนวกที่ ข8 ข้อมูลที่นำเข้าของทางแยกต่างระดับกับมอเตอร์เวย์สาย 81 เพื่อตรวจสอบช่อง
ลอดด้านตั้ง

จุดที่	รายละเอียด	Ramp	หลัก กม. Station	ความหนา ของโครงสร้าง	ระยะทางจากเส้น ควบคุมถึงขอบนอก ของโครงสร้างฝั่งที่ วิกฤต
1	Ramp ลอด	E	45+327.500	2.5	-5.25
	Ramp ข้าม	A	0+825.000		-10.7
2	Ramp ลอด	E	45+315.000	2.5	-5.25
	Ramp ข้าม	B	2+200.000		-7.5
3	Ramp ลอด	F	45+327.500	2.5	-5.25
	Ramp ข้าม	A	0+850.000		-10.7
4	Ramp ลอด	F	45+315.000	2.5	-5.25
	Ramp ข้าม	B	2+175.000		-7.5



คู่มือการใช้งานโปรแกรมตรวจสอบการออกแบบทางเรขาคณิตสำหรับทางแยกต่างระดับ

การเตรียมข้อมูล

ในการนำเข้าข้อมูลของโปรแกรมเพื่อใช้ในการตรวจสอบการออกแบบทางเรขาคณิตสำหรับแยกต่างระดับนั้น ขั้นตอนแรกต้องมีการเตรียมข้อมูลตามหัวข้อปัจจัยหลัก ทั้ง 12 ปัจจัย ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ “ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน” โดยข้อมูลที่จะนำมาใช้จะได้จากการศึกษาแบบและค่าตัวแปรด้านงานทางจาก Digital File ซึ่งจะอยู่ในรูปของ AutoCAD File โดยการใช้คำสั่งอย่างง่าย ทั้งนี้ในแต่ละทางแยกต่างระดับจะประกอบด้วย Ramp ที่ต้องตรวจสอบหลาย Ramp ขึ้นอยู่กับรูปแบบทางแยกต่างระดับแต่ละแห่ง

การนำเข้าข้อมูล

ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีการนำเข้าข้อมูลสำหรับ 1 Ramp เพื่อเป็นตัวอย่างเท่านั้น ส่วน Ramp อื่นๆ จะดำเนินการอย่างเดียวกัน การนำเข้าข้อมูลเพื่อตรวจสอบค่าตัวแปรจะมี 4 ส่วนด้วยกัน แยกอธิบายได้ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลตัวแปรของแนวทางราบ

การตรวจสอบส่วนนี้ เป็นการตรวจสอบการออกแบบแนวทางราบว่าเป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบหรือไม่ เริ่มดำเนินการโดยเปิด หน้าต่าง ‘Input Horizontal Data’ โดยโปรแกรมจะสามารถรองรับจำนวนโค้งราบได้สูงสุด 7 โค้งต่อ Ramp

- 1) เลือกชื่อ Ramp ที่จะตรวจสอบ และเลือกกว่าเป็นทางหลวงหรือทางหลวงพิเศษ
- 2) เริ่มกระบวนการนำเข้าข้อมูลที่ปริมาณจราจรและความกว้างโครงสร้างรวมของ Ramp
- 3) นำเข้าข้อมูลปริมาณจราจรและ รูปตัดตามขวาง ซึ่งจะแสดงขนาดความกว้างของ Ramp ประกอบด้วย จำนวนช่องจราจร ความกว้างของช่องจราจร ไหล่ทางด้านซ้าย ไหล่ทางด้านขวาและความกว้างราวกันตก จะได้ความกว้างรวมของโครงสร้างปรากฏในช่องสรุปด้านล่าง

โปรแกรมตรวจสอบการออกแบบทางเรขาคณิตของทางแยกต่างระดับ

โครงการ

ทางแยกต่างระดับ

Input Horizontal Data

Input Merging Data

Input Vertical Data

Input Vertical Clearance Data

Superelevation Checking

Highway Standard

Total Result

Load Exit Save

ภาพผนวกที่ ค1 หน้าต่างหลักของโปรแกรมตรวจสอบการออกแบบทางเรขาคณิตสำหรับแยกต่างระดับ

Form :: Input Horizontal Data

Ramp A Ramp B Ramp C Ramp D Ramp E Ramp F Ramp G Ramp H Ramp I Ramp J Ramp K

Highway

ปริมาณจราจร 1826 คัน / วัน

จำนวนช่องจราจร 2 ช่อง

ความกว้างช่องจราจรต่อ 1 ช่องจราจร 3.6 ม.

ไหล่ทางด้านซ้าย 1.5 ม.

ไหล่ทางด้านขวา 0.5 ม.

ความกว้างราวกันตก 0.5 ม.

ความกว้างโครงสร้างรวม ม.

โค้งที่ 1 Station at P.I. 400.276

ความเร็วออกแบบ 60 กม./ชม.

3.1 รัศมีโค้งทางราบล่าสุด

Directional Ramp / Loop Loop

Ramp on Motorway / on Highway Motorway

รัศมีโค้งทางราบล่าสุด 100 ม.

Check Result Back to Menu

ภาพผนวกที่ ค2 นำเข้าข้อมูลปริมาณจราจรและ รูปตัดตามขวาง

4) ขั้นตอนนี้เป็น การตรวจสอบโค้งทางราบ ซึ่งใน Ramp หนึ่งจะประกอบด้วยโค้งทางราบหลายโค้ง ในที่นี้จะแสดงการนำเข้าข้อมูลของ 1 โค้ง เพื่อเป็นตัวอย่าง ข้อมูลโค้งทางราบที่ต้องนำเข้าประกอบด้วย

- 4.1 Station ของ PI (Point of Intersection) และความเร็วออกแบบของโค้งนั้น โดยการป้อนข้อมูลเป็นหน่วยเมตร เช่น หลัก กม. (Station) ที่ 0+400.276 ให้ป้อนตัวเลข 400.276 หลัก กม. (Station) ที่ 0+725.675 ให้ป้อนตัวเลข 725.675
- 4.2 ความเร็วออกแบบของโค้งนั้นๆ
- 4.3 รัศมีโค้งทางราบต่ำสุด ซึ่งจะต้องนำเข้าข้อมูล 3 ข้อมูลคือ 1) เลือกประเภทของ Ramp ว่าเป็น Directional Ramp หรือ Loop Ramp 2) เลือกว่าเป็น Ramp ที่ใช้มาตรฐาน Motorway หรือ Highway และ 3) รัศมีโค้งทางราบของโค้งนั้น

ภาพผนวกที่ ค3 การตรวจสอบโค้งทางราบ

- 4.4 นำเข้าข้อมูลการยกขอบถนน ซึ่งจะต้องนำเข้าข้อมูล 2 ข้อมูลคือ 1) การยกขอบถนนปกติ (Normal Crown) และ 2) การยกขอบถนนตามที่ออกแบบไว้
- 4.5 นำเข้าข้อมูลความโค้งก้นหอยทั้งขาเข้าและขาออก (ถ้ามี) แต่หากโค้งนั้นไม่จำเป็นต้องมีโค้งก้นหอย ให้เว้นการกรอกข้อมูลในหัวข้อนี้ได้เลย

- 4.6 นำเข้าข้อมูลความยาวของช่วงทางตรงระหว่างโค้ง โดยวัดระยะจากจุด PT. หรือ ST. ของโค้งนี้จนถึงจุด PC.หรือ TS. ของโค้งถัดไป
- 4.7 นำเข้าข้อมูลค่า Superelevation ที่น้อยที่สุดที่โค้งยอมรับได้(Min e%) และค่าความยาวโค้งก้นหอยที่ยาวน้อยที่สุดที่ยอมรับได้(Min A) โดยคำนวณจากหน้าต่างโปรแกรม “Superelevation Checking”

Parameter	Value	Unit
NORMAL CROWN	2.50	%
WIDTH OF CARRIAGE WAY / LANE	3.50	m
NO. OF LANE	2	
DESIGN SPEED	35	KPM
RADIUS OF CURVE	60.000	m
SUPER ELEVATION	6.5	%
USE SUPER ELEVATION	6.5	%
NC - HC (Tangent Runout)	44.625	m
HC - FS (Lf or Ls)	58.013	m
S (Relative Slope)	127.500	m
USE NC - HC (Tangent Runout)	46.154	m
HC - FS (Lf or Ls)	60.000	m
S (Relative Slope)	131.868	m
FC-FS (for outside edge)	36.923	m
USE A	60.000	m

ภาพผนวกที่ ค4 หน้าต่างโปรแกรมคำนวณค่า Superelevation ที่น้อยที่สุดที่โค้งยอมรับได้(Min e%) และค่าความยาวโค้งก้นหอยที่ยาวน้อยที่สุดที่ยอมรับได้(Min A)

5) นำเข้าข้อมูลความยาวของช่องจราจรเสริมพิเศษ (Auxiliary Length), ความยาวของช่วงผายออกและ/หรือคู่เข้า (Taper Length) และ ข้อมูลความยาวของการสลับกระแสจราจร (Weaving Length) (ถ้ามี) ซึ่งเป็นข้อมูลสุดท้ายของ Ramp นี้ เข้าสู่การนำเข้าข้อมูลโค้งทางราบของ Ramp ต่อไป ข้อมูลโค้งความยาวที่ต้องนำเข้าประกอบด้วย

- 5.1) ข้อมูลความยาวของช่องจราจรเสริมพิเศษ (Auxiliary Length) ประกอบด้วย ความเร็วออกแบบของทางหลัก ความเร็วของ Ramp ความยาวช่วงออกจากทางหลัก (Deceleration Length) และความยาวช่วงเข้าเชื่อมทางหลัก (Acceleration Length) ตามลำดับ

5.2) นำเข้าข้อมูลความยาวของช่วงผายออกและ/หรือลู่อื่น (Taper Length) ประกอบด้วย ความยาวช่วงออกจากทางหลักและความยาวช่วงเข้าเชื่อมทางหลัก จะได้ความกว้างรวมของโครงสร้าง นำเข้าข้อมูลความโค้งก้นหอยทั้งขาเข้าและขาออก (ถ้ามี) แต่หากโค้งนั้นไม่จำเป็นต้องมีโค้งก้นหอย ให้เว้นการกรอกข้อมูลในหัวข้อนี้ได้เลย

5.3) นำเข้าข้อมูลความยาวของการสลับกระแสจราจร (Weaving Length) (ถ้ามี) แต่หาก Ramp นั้นไม่มีโค้งก้นหอย ให้เว้นการกรอกข้อมูลในหัวข้อนี้ได้เลย ซึ่งถัดไปทางขวามือจะแสดงข้อความ “NO WEAVING?” เพื่อเตือนผู้นำเข้าข้อมูลว่าไม่มีช่วงการสลับกระแสจราจรใช่หรือไม่

6) กดที่คำสั่ง “Check” จะเป็นการตรวจสอบข้อมูลของ โค้งทางราบและกดที่คำสั่ง “Result” จะแสดงผลการตรวจสอบของโปรแกรม

ภาพผนวกที่ ค5 การนำเข้าข้อมูลความยาวของช่องจราจรเสริมพิเศษ,ความยาวของช่วงผายออก และ/หรือลู่อื่น,ความยาวของการสลับกระแสจราจร

ส่วนที่ 2 ข้อมูลตัวแปรของแนวทางโค้ง

เป็นการนำเข้าข้อมูลโค้งแนวโค้งของทางแยกต่างระดับ เพื่อตรวจสอบการออกแบบว่าเป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบหรือไม่เช่นเดียวกับส่วนที่ 1 ซึ่งในทางแยกต่างระดับหนึ่งจะประกอบด้วย Ramp หลาย Ramp ในที่นี้จะแสดงการนำเข้าข้อมูล 1 Ramp เพื่อเป็นตัวอย่าง เริ่มดำเนินการโดยเปิดหน้าต่าง 'Input Vertical Data' การป้อนข้อมูลจะเริ่มดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

- 7) เลือกชื่อ Ramp ที่จะตรวจสอบ
- 8) นำเข้าข้อมูลโค้งทางโค้ง โดย
 - 8.1) นำเข้าค่า Station ,ค่าระดับ ณ จุด PVI ของแต่ละโค้งและเปอร์เซ็นต์เกรด
 - 8.2) นำเข้าค่าความยาวโค้งแต่ละข้าง (L1 และ L2) ของแต่ละโค้ง
 - 8.3) นำเข้าค่าความเร็วออกแบบของแต่ละโค้ง
- 9) นำเข้าข้อมูลการยกขอบถนนออกแบบ โดยใส่ค่า Station ที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการยกขอบถนน และใส่ค่าอัตราการยกขอบถนน
- 10) กดที่คำสั่ง "Check" จะเป็นการตรวจสอบข้อมูลของโค้งทางราบและกดที่คำสั่ง "Result" จะแสดงผลการตรวจสอบของโปรแกรม

ข้อมูลตัวแปร-แนวทางโค้ง (Vertical Geometric Parameter)							
Ramp A Ramp B Ramp C Ramp D Ramp E Ramp F Ramp G Ramp H Ramp I Ramp J Ramp K							
Ramp	PVI Station	ELE(m)	%G	L1	L2	V Design	Cross Fall (Right Side)
							Station Cross fall (Right)
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000

Check Result Back to Menu

ภาพผนวกที่ ค6 การนำเข้าข้อมูลโค้งแนวโค้งของทางแยกต่างระดับ

ส่วนที่ 3 การตรวจสอบค่าระดับและการยกขอบถนนบริเวณทางร่วม/ทางแยก

การดำเนินการในส่วนนี้ จะเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของการออกแบบค่าระดับและการยกขอบถนน ณ บริเวณทางเชื่อม/ทางแยกว่ามีความสอดคล้องกันหรือไม่ ซึ่งต้องอาศัยข้อมูลทั้งโค้งแนวราบและโค้งแนวตั้ง ในทางแยกต่างระดับหนึ่งจะมีจุดทางเชื่อม/ทางแยกหลายจุดด้วยกัน ในที่นี้จะยกตัวอย่างประกอบคำอธิบายเพียง 1 ตัวอย่างเท่านั้นคือจุดที่ 1 เริ่มดำเนินการโดยเปิดหน้าต่าง 'Input_Merging Data' การป้อนข้อมูลจะเริ่มดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

11) นำเข้าชื่อ Ramp และค่า Station ของทางหลักทางเชื่อม/ทางแยก, ค่าระดับ ณ เส้นบังคับ (Elevation at Control Line), การยกขอบถนน (Superelevation, e %)

จุดที่	รายละเอียด	Ramp	Station	Elev. At Control Line	e %	Diff. of Superelevation Checking	Dist. To Outer Edge Next to Other	Elev. at Outer Edge Next to Other	Elevation Checking at Merge or Diverge
1	ทางหลัก		0.000	0.000	0.000		0.00	0.000	
	ทางเชื่อม/ทางแยก		0.000	0.000	0.000	OK	0.00	0.000	OK
2	ทางหลัก		0.000	0.000	0.000		0.00	0.000	
	ทางเชื่อม/ทางแยก		0.000	0.000	0.000	OK	0.00	0.000	OK
3	ทางหลัก		0.000	0.000	0.000		0.00	0.000	
	ทางเชื่อม/ทางแยก		0.000	0.000	0.000	OK	0.00	0.000	OK
4	ทางหลัก		0.000	0.000	0.000		0.00	0.000	
	ทางเชื่อม/ทางแยก		0.000	0.000	0.000	OK	0.00	0.000	OK
5	ทางหลัก		0.000	0.000	0.000		0.00	0.000	
	ทางเชื่อม/ทางแยก		0.000	0.000	0.000	OK	0.00	0.000	OK
6	ทางหลัก		0.000	0.000	0.000		0.00	0.000	
	ทางเชื่อม/ทางแยก		0.000	0.000	0.000	OK	0.00	0.000	OK
7	ทางหลัก		0.000	0.000	0.000		0.00	0.000	
	ทางเชื่อม/ทางแยก		0.000	0.000	0.000	OK	0.00	0.000	OK
8	ทางหลัก		0.000	0.000	0.000		0.00	0.000	
	ทางเชื่อม/ทางแยก		0.000	0.000	0.000	OK	0.00	0.000	OK

Buttons: Check, Result, Back to Menu

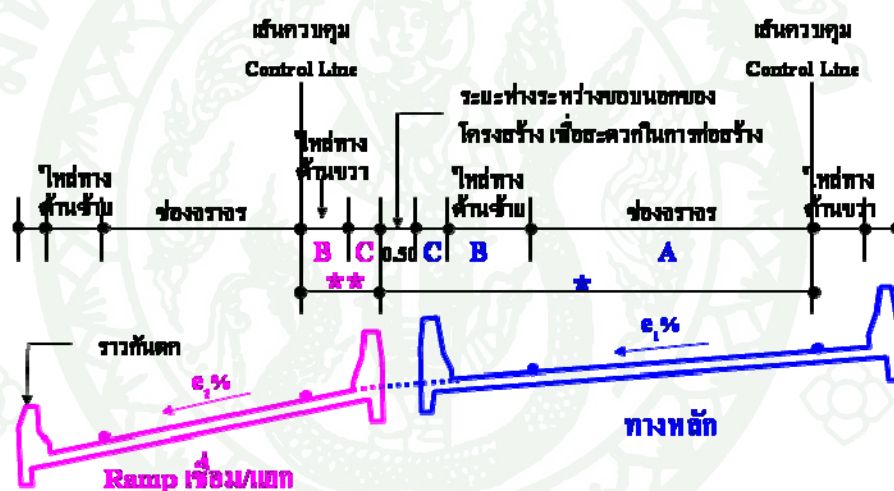
ภาพผนวกที่ ค7 การตรวจสอบความถูกต้องของการออกแบบค่าระดับและการยกขอบถนน ณ บริเวณทางเชื่อม/ทางแยก

12) นำเข้าระยะจากเส้นบังคับ (Control Line) ถึงจุดเชื่อม/จุดแยกเพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของค่าระดับ ณ จุดดังกล่าว โดยทั่วไปหาได้จากระยะจากเส้นบังคับ (Control Line) ถึงขอบทางหรือขอบโครงสร้างด้านนอก (Outer Edge) ฝั่งที่เชื่อมเข้าหรือแยกออกจากอีก Ramp หนึ่ง ทั้งนี้ในกรณีที่เป็นโครงสร้างเชื่อม / แยกกับโครงสร้างด้วยกัน ระยะสำหรับทางหลักจะต้องบวก

เพิ่มสำหรับระยะห่างระหว่างขอบโครงสร้างด้านนอกของแต่ละ Ramp เพื่อสะดวกในการก่อสร้าง (สำหรับโครงการนี้กำหนดไว้ที่ 0.50 ม.) แสดงใน ภาพผนวกที่ ค7 อธิบายได้ดังนี้

สำหรับทางหลัก เท่ากับ $A + B + C + 0.50$
 สำหรับทางเชื่อม/ทางแยก เท่ากับ $B + C$
 เมื่อ

- A = ความกว้างของช่องจราจร
 B = ความกว้างของไหล่ทางด้านซ้าย (สำหรับทางหลัก)
 = ความกว้างของไหล่ทางด้านขวา (สำหรับทางเชื่อม/ทางแยก)
 C = ความกว้างของราวกันตก



★ ระยะในการตรวจสอบความสอดคล้องของค่าระดับและการยกขอบถนนบริเวณจุดเชื่อม/แยก สำหรับทางหลัก

★★ ระยะในการตรวจสอบความสอดคล้องของค่าระดับและการยกขอบถนนบริเวณจุดเชื่อม/แยก สำหรับทางเชื่อม/ทางแยก

ภาพผนวกที่ ค8 ระยะในการตรวจสอบความสอดคล้องของค่าระดับและการยกขอบถนนบริเวณจุดเชื่อม/แยก

ส่วนที่ 4 การตรวจสอบความสูงของช่องลอดด้านตั้ง (Vertical Clearance)

นับเป็นการตรวจสอบลำดับสุดท้าย ของกระบวนการตรวจสอบการออกแบบรายละเอียด ด้านงานทางของโปรแกรม เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของการออกแบบค่าระดับและการยก ขอบถนน ณ บริเวณที่มีการลอด/ข้าม Ramp อื่น ซึ่งต้องอาศัยข้อมูลทั้งโค้งแนวราบและโค้งแนวตั้ง ประกอบกันเช่นเดียวกับส่วนที่ 3 ในทางแยกต่างระดับหนึ่งอาจมีจุดลอด/ข้ามหลายจุดแต่บางแห่ง อาจมีจุดเดียวก็ได้ ในที่นี้จะยกตัวอย่างประกอบคำอธิบายเพียง 1 ตัวอย่างเท่านั้นคือจุดที่ 1 เริ่ม ดำเนินการโดยเปิด 'Input_Vertical Clearance' การป้อนข้อมูลจะเริ่มดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

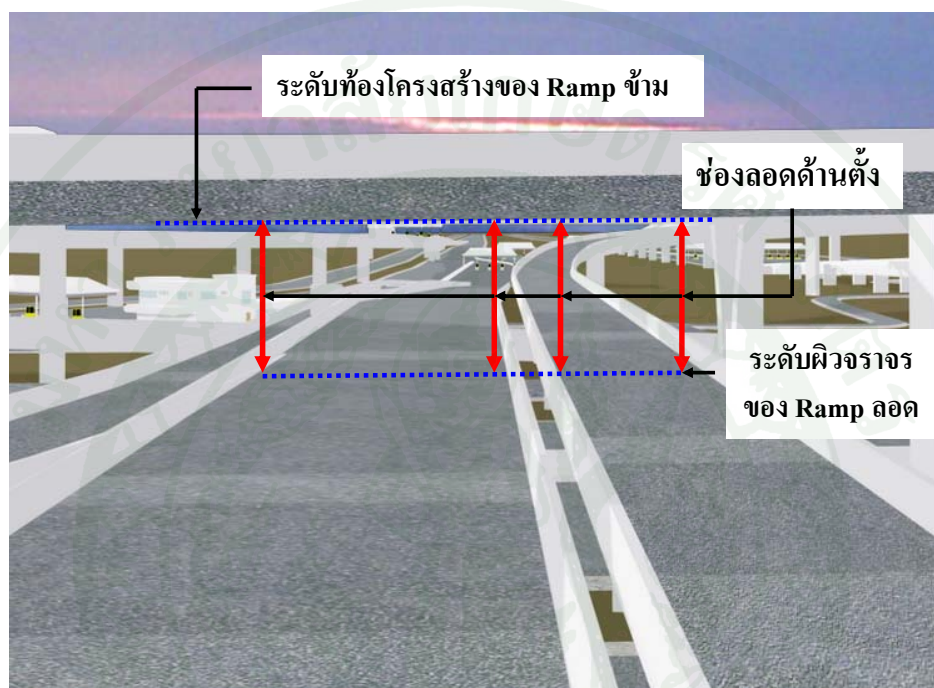
12) นำเข้าชื่อ Ramp , ค่า Station ของ Ramp ลอด และ Ramp ข้าม, ค่าระดับ ณ เส้นบังคับ (Elevation at Control Line) และการยกขอบถนน (Superelevation, e %) ตามลำดับ

13) นำเข้าระยะจากเส้นบังคับ (Control Line) ถึงจุดลอด/ข้ามที่วิกฤตที่สุดเพื่อตรวจสอบ ช่องลอดด้านตั้ง ณ จุดดังกล่าว โดยทั่วไปหาได้จากระยะจากเส้นบังคับ (Control Line) ถึงขอบ โครงสร้างด้านนอก (Outer Edge) ฝั่งที่ยกระดับขอบถนน (สำหรับ Ramp ลอด) หรือฝั่งที่ลดระดับ ขอบถนน (สำหรับ Ramp ข้าม)

จุดที่	รายละเอียด	Ramp	Station	Elev. At Control Line	e %	Dist. To Critical Outer Edge	Elev. At Critical Outer Edge	Thickness of Structure	Vertical Clearance m.	Vertical Clearance Checking
-	Ramp ลอด		0.000	0.000	0.000000	0.00	0.000			
	Ramp ข้าม		0.000	0.000	0.000000	0.00	0.000	0	0.000	OK
-	Ramp ลอด		0.000	0.000	0.000000	0.00	0.000			
	Ramp ข้าม		0.000	0.000	0.000000	0.00	0.000	0	0.000	OK
-	Ramp ลอด		0.000	0.000	0.000000	0.00	0.000			
	Ramp ข้าม		0.000	0.000	0.000000	0.00	0.000	0	0.000	OK
-	Ramp ลอด		0.000	0.000	0.000000	0.00	0.000			
	Ramp ข้าม		0.000	0.000	0.000000	0.00	0.000	0	0.000	OK
-	Ramp ลอด		0.000	0.000	0.000000	0.00	0.000			
	Ramp ข้าม		0.000	0.000	0.000000	0.00	0.000	0	0.000	OK
-	Ramp ลอด		0.000	0.000	0.000000	0.00	0.000			
	Ramp ข้าม		0.000	0.000	0.000000	0.00	0.000	0	0.000	OK

ภาพผนวกที่ ค9 การตรวจสอบความสูงของช่องลอดด้านตั้ง (Vertical Clearance)

14) นำเข้าความหนาของโครงสร้าง ณ บริเวณนั้น ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิด ประเภท และความยาวช่วงสะพานของโครงสร้างที่ต้องได้จากวิศวกรโครงสร้าง (สำหรับโครงการนี้ใช้ 2.50 ม. เป็นความหนาของโครงสร้างสำหรับโครงสร้างแบบคอนกรีตรูปกล่องหล่อในที่ ความยาวช่วงสะพานประมาณ 20-35 ม. รวมการเททับหน้าด้วยแอสฟัลต์ติกหนา 0.05-0.10 ม.)



ภาพผนวกที่ ค10 การตรวจสอบช่องลอดด้านตั้ง

การแสดงผลการตรวจสอบ

ผลการตรวจสอบจะอยู่ในรูปของหน้าต่างหลัก 3 หน้าต่าง คือ หน้าต่างผลการตรวจสอบ ข้อมูลการออกแบบทางเรขาคณิตทั้ง 12 ปัจจัย ที่อยู่ในคำสั่ง Total Result ที่หน้า Main Menu, หน้าต่างผลการตรวจสอบค่าระดับ ณ จุดวิกฤตและหน้าต่างผลการตรวจสอบค่าระดับ ณ จุดทางร่วม/ทางแยก ดังแสดงในภาพผนวกที่ ค11, ภาพผนวกที่ ค12และภาพผนวกที่ ค13

การตรวจสอบรูปแบบทางกายภาพเบื้องต้นและค่าตัวแปรด้านงานทาง

จุดที่	ตัวแปรที่ตรวจสอบ	ผลการตรวจสอบ	ข้อคิดเห็นผู้ตรวจสอบ
การตรวจสอบค่าตัวแปรด้านงานทาง			
1	จำนวนช่องจราจรและความกว้างของโครงสร้างในแต่ละทิศทาง (No. of Lanes and Width of Ramp)	ผ่าน	
2	รัศมีโค้งทางราบต่ำสุด (Minimum Radius of Horizontal Curve)	ผ่าน	
3	การยกขอบถนน (Superelevation)	ผ่าน	
4	ความยาวของโค้งก้นหอย (Spiral Length)	ผ่าน	
5	ความยาวของช่วงทางตรงระหว่างโค้ง (Length of Tangent)	ผ่าน	
6	ความยาวของการขยายช่องจราจรเสริมพิเศษ (Length of Auxiliary Lane)	ผ่าน	
7	ความยาวของช่วงขยายออกหรือเข้า (Taper Length)	ผ่าน	
8	ความยาวของการสลับกระแสจราจร (Weaving Length)	ผ่าน	
9	ความลาดชันสูงสุดในแต่ละ Ramp (Maximum of Gradient)	ผ่าน	
10	ความยาวโค้งทางตั้งเกี่ยวกับความเร็วในการออกแบบ (Length of Vertical Curve)	ผ่าน	
11	ค่าระดับและการยกขอบถนนบริเวณทางร่วม/ทางแยกบนโครงสร้าง (Elevation and Superelevation at Entrance and Exit Ramp)	ผ่าน	
12	ช่องลอดคานตั้งบริเวณจุดตัดของ Ramp (Vertical Clearance at Intersection Point)	ผ่าน	

Back to Menu

ภาพผนวกที่ ค11 แสดงหน้าต่างผลการตรวจสอบข้อมูลการออกแบบทางเรขาคณิตทั้ง 12 ปัจจัย

Form :: Output Vertical Clearance

การตรวจสอบค่าระดับ ณ จุดลอด / จุดข้าม

โครงการ: ก่อสร้างถนนต่อเชื่อม ทางหลวงสาย 321 และ มอเตอร์เวย์ สาย 81

ทางแยกต่างระดับ: นครปฐมตะวันตก

การตรวจสอบค่า ณ จุดลอด/จุดข้าม

รายการตรวจสอบ	ผลการตรวจสอบ
1.1 ช่องลอดคานตั้งบริเวณจุดตัดของ Ramp Ramp E With Ramp A	PASS
1.2 ช่องลอดคานตั้งบริเวณจุดตัดของ Ramp Ramp E With Ramp B	PASS
1.3 ช่องลอดคานตั้งบริเวณจุดตัดของ Ramp Ramp F With Ramp A	PASS
1.4 ช่องลอดคานตั้งบริเวณจุดตัดของ Ramp Ramp F With Ramp B	PASS
1.5 ช่องลอดคานตั้งบริเวณจุดตัดของ Ramp Ramp With Ramp	
1.6 ช่องลอดคานตั้งบริเวณจุดตัดของ Ramp Ramp With Ramp	

Check Print

ผู้ตรวจสอบ:
วันที่:/...../.....

ภาพผนวกที่ ค12 หน้าต่างผลการตรวจสอบค่าระดับ ณ จุดวิกฤต

การตรวจสอบค่าระดับ ณ จุดวิกฤติ

การตรวจสอบค่าระดับและการยกขอบถนน

โครงการ

ทางแยกต่างระดับ

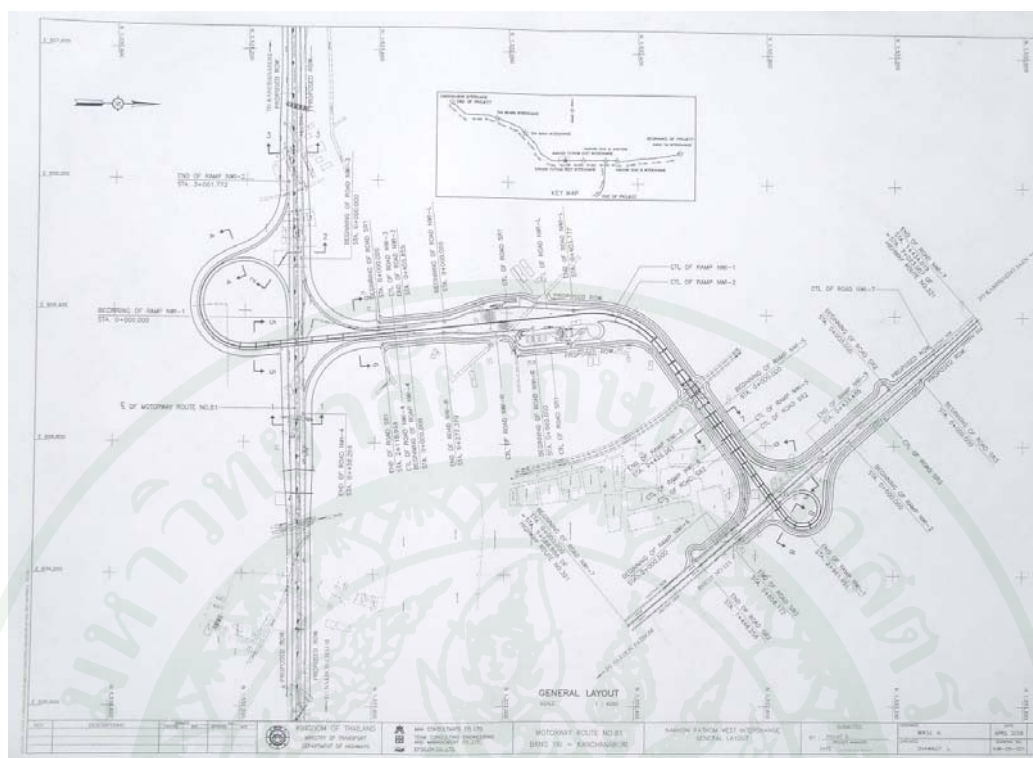
การตรวจสอบค่าระดับและการยกขอบถนนบริเวณทางเชื่อม/ทางแยก

1. ระดับและการยกขอบถนนบริเวณทางเชื่อม/ทางแยก	ผลการตรวจสอบ
Ramp E With Ramp B	PASS
1.2 ระดับและการยกขอบถนนบริเวณทางเชื่อม/ทางแยก	
Ramp A With Ramp C	PASS
1.3 ระดับและการยกขอบถนนบริเวณทางเชื่อม/ทางแยก	
Ramp F With Ramp D	PASS
1.4 ระดับและการยกขอบถนนบริเวณทางเชื่อม/ทางแยก	
Ramp B With Ramp D	PASS
1.5 ระดับและการยกขอบถนนบริเวณทางเชื่อม/ทางแยก	
Ramp E With Ramp A	PASS
1.6 ระดับและการยกขอบถนนบริเวณทางเชื่อม/ทางแยก	
Ramp F With Ramp C	PASS

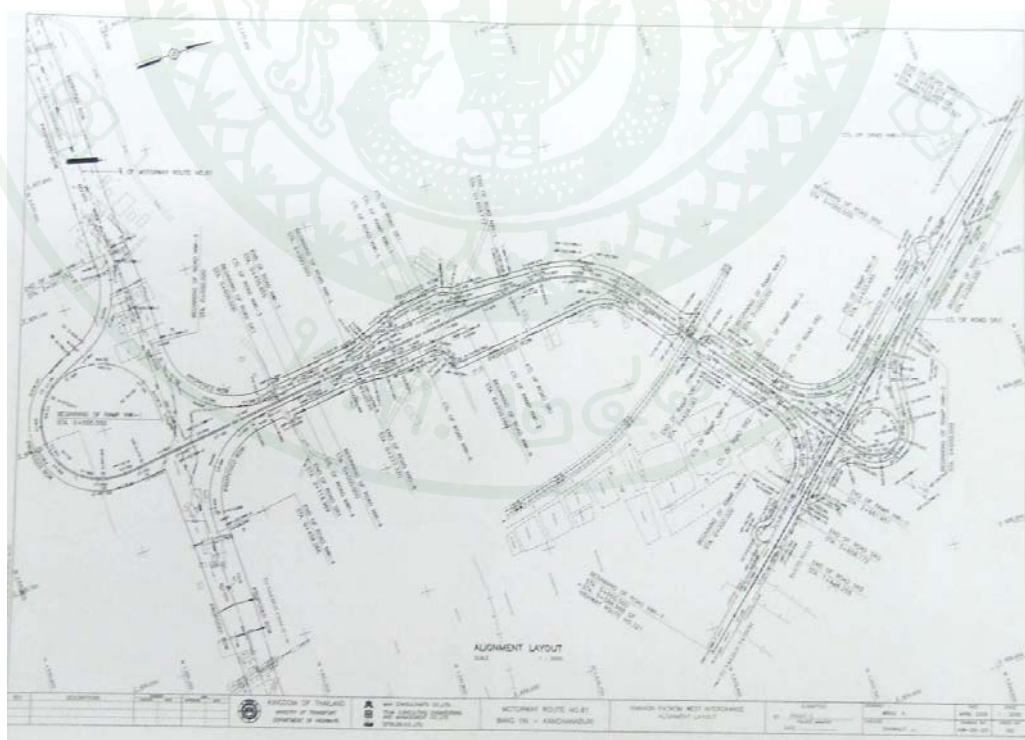
ผู้ตรวจสอบ
วันที่...../...../.....

ภาพผนวกที่ ค13 หน้าต่างผลการตรวจสอบค่าระดับ ณ จุดทางร่วม/ทางแยก

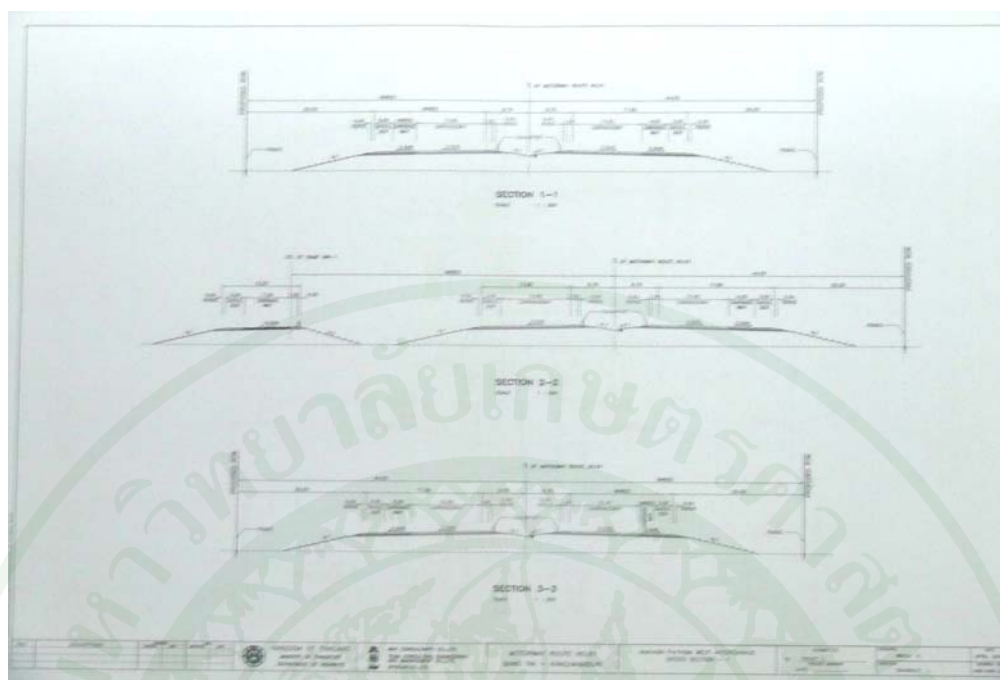




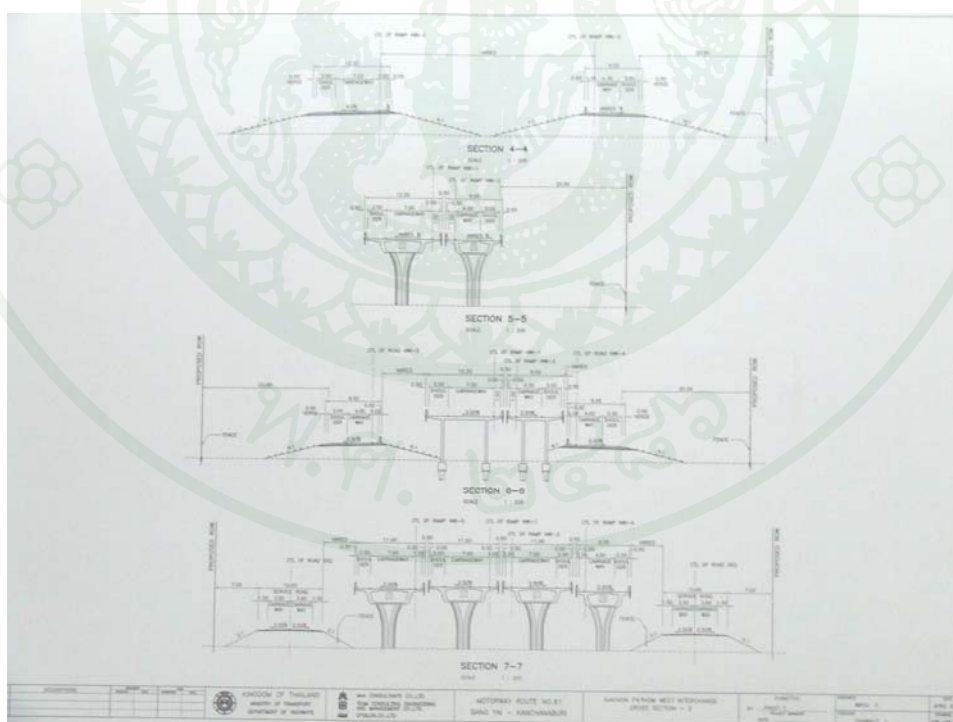
ภาพผนวกที่ ง1 General Layout 1



ภาพผนวกที่ ง2 General Layout 2



ภาพผนวกที่ 5 แบบแสดงภาพตัดด้านขวาง 1



ภาพผนวกที่ 6 แบบแสดงภาพตัดด้านขวาง 2

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อสกุล	นายสรายุฒิ ศรีเพียงจันทร์
เกิดวันที่	15 ตุลาคม 2525
สถานที่เกิด	จังหวัดสุพรรณบุรี
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (โยธา) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกรโยธา
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม