



เอกสารเผยแพร่ผลงาน

เรื่อง การปรับปรุงด่านเรขาคณิตของทาง รหัสงาน 5400

กรณีปรับปรุง Broken Back Curve ด้วย Simple Curve

โดยไม่ทำให้เกิดสมการระยะทาง(Equation)

ของ

นาย บดินทร โลहितกาญจน

เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง

ผู้เชี่ยวชาญวิชาชีพเฉพาะด้านวิศวกรรมโยธา

(ด่านบำรุงรักษาทาง) วิศวกร

โยธาเชี่ยวชาญ ตำแหน่งเลขที่

2828

สำนักทางหลวงที่ 1 กรมทางหลวง

กระทรวงคมนาคม

คำนำ

เอกสารเผยแพร่เรื่อง “การปรับปรุงคานเรขาคณิตของทาง รหัสงาน 5400 กรณีปรับปรุง Broken Back Curve ด้วย Simple Curve โดยไม่ทำให้เกิดสมการระยะทาง (Equation)” เป็นการรวบรวมผลงานของผู้เขียน ซึ่งได้จัดทำเป็นเอกสารแจกจ่ายให้ผู้ปฏิบัติงานด้านสำรวจออกแบบและหน่วยสำรวจเพื่อการก่อสร้างของโครงการก่อสร้าง เมื่อครั้งดำรงตำแหน่ง วิศวกรโยธา 4 ที่ศูนย์สร้างทางลำปาง ป.พ.ศ. 2532 ซึ่งได้นำมาเรียบเรียงใหม่รวมกับข้อมูลอื่นๆ ให้เป็นปัจจุบันเพื่อนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ที่เหมาะสมกับลักษณะงานบำรุงทาง

การปรับปรุงคานเรขาคณิตของทางตาม รหัสงาน 5400 นี้ ไม่วากรณีใดๆ ล้วนเป็นการปรับปรุงหลังจากเป็นทางบำรุงแล้วทั้งสิ้น เป็นลักษณะของการทำงานในเชิงแก้ไข ซึ่งเรื่องที่คุณเขียนได้นำเสนอนี้ หวังไวว่าจะเป็นประโยชน์ตั้งแต่ขั้นตอนของการสำรวจออกแบบ และระหว่าง การก่อสร้างทาง เมื่อผู้ที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องของประสบกับเส้นทางในลักษณะนี้ จะสามารถทำการแก้ไขได้ในระยะเริ่มแรก ซึ่งจะช่วยประหยัดเงินงบประมาณแผ่นดินได้มาก

หากมีข้อผิดพลาดใดๆ ผู้เขียนขออภัยแต่เพียงผู้เดียว แต่หากมีความคือข้องบาง ขอความกรุณาท่านผู้อ่านนำไปต่อยอด ขยายผล เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อ “กรมทางหลวง ยุคหลัง 100 ปี” ต่อไป

ด้วยดวงจิตนอมการวะ



(นาย บดินทร โลहितกาญจน)

Bordin_lohit@hotmail.com

สารบัญ

หน้า

คำนำ

สารบัญ

บทที่ 1	บทนำ	1
	ความเป็นมา	1
	วัตถุประสงค์	2
	การนำไปใช้ประโยชน์	2
บทที่ 2	หลักเกณฑ์และมาตรฐาน	3
	มาตรฐานขั้นต่ำสำหรับทางหลวงทั่วประเทศ	4
บทที่ 3	การปรับปรุงคานเรขาคณิตของโค้งราบแบบ Broken Back Curve	7
	ลำดับขั้นตอนของการปรับปรุง	7
	การคำนวณหาค่า R ที่ทำให้ไม่เกิดสมการระยะทาง	9
	การตรวจสอบความถูกต้องของสูตรการคำนวณ	11
บทที่ 4	สรุปผลและขอเสนอแนะ	14
	สรุปผล	14
	ขอเสนอแนะ	15
บรรณานุกรม		17
ภาคผนวก		18

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเปิ่นมา

งานบำรุงรักษาทางหลวงนั้นจะต้องทำการบำรุงเพื่อแก้ไขซ่อมแซมความเสียหายที่เกิดขึ้นแล้ว และทำการบำรุงเชิงป้องกันเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายขึ้น ในตลอดช่วงอายุการใช้งานของทางหลวง โดยจำแนกลักษณะงานเป็น 3 กลุ่ม คือ งานบำรุงปกติ งานบำรุงตามกำหนดเวลา และงานบำรุงพิเศษและบูรณะ นอกจากนั้นยังจะต้องทำการปรับปรุงทางหลวง เช่น งานปรับปรุงคันเรขาคณิตของทาง งานปรับปรุงสะพานและทอระบายน้ำ และอื่นๆ ตลอดจนก่อสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกและปลอดภัย เช่น ศาลาที่พักผู้โดยสาร สะพานคนเดินข้าม ติดตั้งราวกันอันตราย ไฟฟ้าแสงสว่าง ไฟสัญญาณจราจร ป้ายจราจร สีสันและอื่นๆ โดยทั้งนี้เพื่อให้เกิดความสะดวกรวดเร็ว และปลอดภัย แก่ประชาชนผู้ใช้รถใช้ถนนที่สัญจรไปมา และประชาชนสองข้างทางหลวง จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่างานบำรุงรักษาทางหลวง มีกิจกรรมที่ต้องดำเนินการเป็นจำนวนมาก ซึ่งสำนักบริหารบำรุงทาง กรมทางหลวงได้กำหนดกิจกรรมต่างๆ จำแนกเป็น รหัสงาน และลักษณะงานต่างๆ ตามเอกสาร “รายละเอียดรหัสงานและลักษณะงาน สำหรับ งานบำรุงทาง งานบูรณะทาง งานบูรณะปรับปรุงทาง และอำนวยความสะดวก” ของสำนักแผนงาน สำนักบริหารบำรุงทาง สำนักอำนวยความสะดวก ฉบับเมื่อ ตุลาคม 2552

งานปรับปรุงคันเรขาคณิตของทาง(Improvement of Highway Geometry) รหัสงาน 5400 มีรายละเอียดลักษณะงาน หมายถึง งานแก้ไขปรับปรุงคันเรขาคณิตของทางหลวงในลักษณะต่างๆ เช่น แนวทาง(Alignment) ระยะมองเห็น(Sight Distance) ความลาดชัน(Gradient) โค้งราบ(Horizontal Curve) โค้งตั้ง(Vertical Curve) และการยกโค้ง(Superelevation) เป็นต้น ทั้งนี้อาจรวมถึงงานจัดทำเกาะแบ่งถนนหรือกิจกรรมอื่นที่จำเป็นตามที่ใดกำหนดไว้ในแบบ

ในเอกสารเผยแพร่ฉบับนี้ขอกล่าวถึง การปรับปรุงคันเรขาคณิตของโค้งราบ(Horizontal Curve) ที่มีลักษณะเป็น “โค้งหลังหัก” หรือ “Broken Back Curve” โดยการไขโค้งกลมเดี่ยว(Simple Curve) ซึ่งมีรัศมีโค้ง(R)ใดๆ ไปแทนที่ แต่เมื่อทำการวัดระยะทางของแนวทางราบ(Horizontal Alignment) จะปรากฏว่า แนวทางสั้นลงหรือยาวขึ้นกว่าเดิมได้ ทำให้มีสมการระยะทาง(Equation) ดังนั้นจึงได้นำเสนอวิธีการคำนวณหารัศมีโค้ง(R)หนึ่งที่เหมาะสม(ซึ่งจะ ไม่ทำให้เกิดสมการระยะทางโดยใดแสดงรายละเอียดไว้ในบทต่อไป

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อให้ผู้มีหน้าที่ในการดูแลบำรุงรักษาทางทราบ และตรวจสอบเส้นทางในความรับผิดชอบว่ามีทางโค้งในลักษณะ Broken Back Curve ที่จะต้องปรับปรุงหรือไม่
- 2.2 เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานฝ่ายวิศวกรรมของแขวงทางสามารถที่จะคำนวณออกแบบปรับปรุงโค้งดังกล่าวได้
- 2.3 เพื่อให้วิศวกรผู้ออกแบบทางสามารถที่จะเรียนรู้ และปรับปรุงโค้งตั้งแต่ขั้นตอนของการออกแบบทางได้
- 2.4 เพื่อให้ช่างสำรวจแนวทางสามารถที่จะสำรวจแนวทางโดยหลีกเลี่ยงโค้ง Broken Back Curve ได้

3. การนำไปใช้ประโยชน์

- 3.1 ถนนหรือเส้นทางที่ได้รับการปรับปรุงด้านเรขาคณิตของทางแล้ว จะมีความปลอดภัยต่อผู้สัญจรไปมา
- 3.2 การปรับปรุง Broken Back Curve จะทำให้ผู้ขับขี่คลายความสับสนต่อการคาดเดาโค้งข้างหน้าจะไปในด้านใด เพราะผู้ขับขี่ส่วนใหญ่จะไม่คาดคิดว่า เมื่อขับรถไปตามโค้งราบโค้งหนึ่งแล้วจะมีโค้งราบถัดไปที่มีทิศทางไปในแนวเดียวกัน
- 3.3 การเลือกใช้โค้งกลม Simple Curve ที่มีค่า R เหมาะสมซึ่งไม่ทำให้เกิดสมการระยะทาง (Equation) จะทำให้ไม่ต้องทำการออกแบบแนวทางตั้ง (Vertical Alignment) ใหม่
- 3.4 ผู้รับผิดชอบในการดูแลบำรุงรักษาทางใช้เป็นหลักในการตรวจสอบและแก้ไขปรับปรุงแนวทาง
- 3.5 ผู้ปฏิบัติงานด้านสำรวจและออกแบบ เรียนรู้เพื่อหลีกเลี่ยงการสำรวจและออกแบบทางในลักษณะ Broken Back Curve ได้

บทที่ 2

หลักเกณฑ์และมาตรฐาน

การปรับปรุงด้านเรขาคณิตของโค้ง Broken Back Curve ในเอกสารเผยแพร่ฉบับนี้ ได้ดำเนินการให้เป็นไปตามมาตรฐานกรมทางหลวง โดยอ้างอิงตามหนังสือ “คู่มือการออกแบบทาง” หลักสูตรที่ 1 เล่มที่ 1 ของฝ่ายฝกอบรมคานโยธา กองฝกอบรม กรมทางหลวง เมื่อ ธันวาคม 2539 ในเรื่อง “การออกแบบทางเรขาคณิตและออกแบบโครงสร้างทาง” และหนังสือ A Policy on Geometric Design of Highway and Streets 2001 ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 4 ของ AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials) ซึ่งได้กล่าวไว้ตามลำดับดังนี้

โค้ง Broken Back Curve คือ โค้งสองโค้งในทิศทางเดียวกัน เชื่อมโดย Short Tangent ที่สั้นกว่า $0.75 V$ เมตร ($V = \text{Design Speed, kph}$) โค้งลักษณะนี้ควรหลีกเลี่ยงเป็นอย่างยิ่ง ควรจะแก้ไขเป็น Simple Curve โค้งเดียว ในกรณีที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ไซการยกขอบถนนช่วง Short Tangent ขว้ โดยรักษ้อัตรการยกขอบถนนของช่วงนี้ เช่นเดียวกับตอนออกจากโค้ง

The “broken-back” or “flat-back” arrangement of curves (with a short tangent between two curves in the same direction) should be avoided except where very unusual topographical or right-of-way conditions make other alternatives impractical. Except on circumferential highways, most drivers do not expect successive curves to be in the same direction; the preponderance of successive curves in opposite directions may develop a subconscious expectation among drivers that makes successive curves in the same direction unexpected. Broken-back alignments are also not pleasing in appearance. Use of spiral transitions or compound curve alignments, in which there is some degree of continuous superelevation, is preferable for such situations. The term “broken-back” usually is not applied when the connecting tangent is of considerable length. Even in this case, the alignment may be unpleasant in appearance when both curves are clearly visible for some distance ahead.

จากที่กล่าวมาข้างต้น สรุปได้ว่า โค้ง Broken Back Curve ดังแสดงตามภาพที่ 1 คือ โค้งสองโค้งที่มีแนวทางไปในทิศทางเดียวกัน โดยเชื่อมต่อกด้วย Short tangent คือ ระยะทางจากจุด P.T.STA. ของโค้งที่ 1 ไปยังจุด P.C.STA. ของโค้งที่ 2 ที่สั้นกว่า $0.75 V$ ซึ่ง V คือ Design Speed หรืออัตราความเร็วที่ไซในการออกแบบ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานชั้นทางสำหรับทางหลวงทั่วประเทศ ดังแสดงตามตารางที่ 1

มาตรฐานชั้นทางสำหรับทางหลวงทั่วประเทศ
Minimum Design Standard for Highways

ชั้นทาง Class	พิเศษ Special	1	2	3	4	5	เขตเมือง Urban area	ทางขนาน Frontage
ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน Average daily traffic (ADT)	มากกว่า 8,000	4,000-8,000	2,000-4,000	1,000-2,000	300-1,000	น้อยกว่า 300		
อัตราความเร็วที่ออกแบบ กม./ชม. (Design speed, Km/hr.)	Above							
- ทางราบ (Flat and moderately rolling)		90-110			70-90	60-80	60	70-80
- ทางเนิน (Rolling or hilly)		80-110			55-70	50-60	60	70-80
- ทางเขา (Mountainous)		70-90			40-55	30-50	60	60-70
ความลาดชันสูงสุด (Maximum grading)								
- ทางราบ (Flat and moderately rolling)	4		4		4	ตามสภาพพื้นที่ (Varies)		4
- ทางเนิน (Rolling or hilly)	6		6		8	ตามสภาพพื้นที่ (Varies)		6
- ทางเขา (Mountainous)	6		8		12	ตามสภาพพื้นที่ (Varies)		8
ประเภทผิวทางจราจรที่เสนอแนะและไหล่ทาง (Suggested surface type and shoulder)		ชั้นสูง (High)	กลาง-สูง (Intermediate-High)			ลูกritz (Soil aggregate)	ชั้นสูง (High)	กลาง-สูง (Intermediate-high)
ความกว้างของผิวจราจร (เมตร)	อย่างน้อย (Min)	7.00	7.00	7.00	7.00	8.00	ช่องจราจรละ (Per lane)	ช่องจราจรละ (Per lane)
(Width of carriageway (M))	ข้างละ 7.00 (each direction)						3.00-3.50	3.00-3.50
ความกว้างของไหล่ทาง (เมตร)	ซ้าย (Left side)	2.50	2.00	1.50	1.00		2.50 หรือ เป็นทางเท้า (or side walk)	อย่างน้อย(Min) 2.00 ม.(m)
(Width of shoulder (M))	ขวาทาง (Right side)	2.50-3.00						
	11.00 (Min)	12.00	11.00	11.00	11.00	11.00	สะพานกว้างตามรูปแบบ Design หรืออย่างน้อย 11.00 ม. (Bridge Width with Ultimate Design or 11.0 m. (Min)	Ultimate Design หรืออย่างน้อย 11.00 ม. (Bridge Width with Ultimate Design or 11.0 m. (Min)
ความกว้างของสะพาน (เมตร)	60-80			40-60		30-40	ตามความเหมาะสม (Varies)	
(Width of right of ways (M))				10%			6%	10%
ยกใต้ราบสูงสุด (Maximum rate of superelevation)								

หมายเหตุ:

Remarks:

1. ความกว้างไหล่ทางที่ปรากฏเป็นเส้นทาง
ทั่วไปสำหรับบางช่วง หากมีความจำเป็น อาจ
ขยาย ความกว้างได้ตามความจำเป็นของทางใน
ช่วงนั้นๆ

1. The width of shoulder can generally be
expanded in some sections, if necessary.

2. การแบ่งผิวจราจรและไหล่ทางแบ่งด้วยเส้น
ขอบทาง

2. The edge line will separate carriageway
and shoulder.

3. สะพานที่มีทางเท้า ความกว้างทางเท้าอย่าง
น้อย ข้างละ 1.50 ม.

3. Sidewalk on bridge should be at least
1.50 m. wide.

4. ความกว้างสะพานในทางชั้น 4.5 ในสายทาง
ที่คาดว่าจะไม่พัฒนาตราบชั้นทางในระยะยาว
อันสั้น ความกว้างสะพานอาจลดลงได้แต่ต้อง
ไม่น้อยกว่า 9.00 ม.

4. For Class 4.5 which will not be upgraded
the design standard of highway at short time,
the width of bridge can be reduced but not
less than 9.00 m.

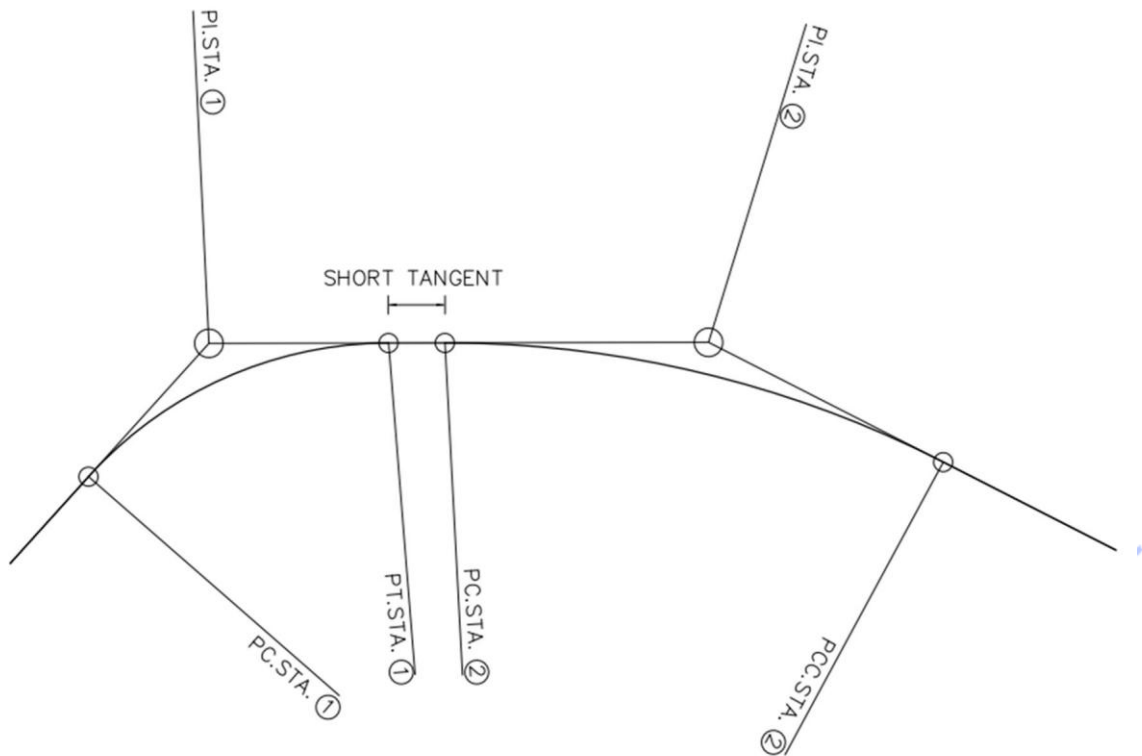
5. ลาดชันทางโดยทั่วไปให้ใช้ความลาดเอียง 4:1
ถึง 6:1 ยกเว้นบางช่วงที่มีความจำเป็น ความ
ลาดเอียงอาจใช้ 2:1 ถึง 3:1 ตามแต่กรณี

5. The slope of embankment is generally
between 4:1-6:1. However, if necessary, the
slope of 2:1-3:1 may be acceptable.

6. มาตรฐานทางชั้น 4.5 ไม่แนะนำให้สำหรับทาง
หลวงแผ่นดิน

6. The standards of class 4.5 are not
suggested for National Highways

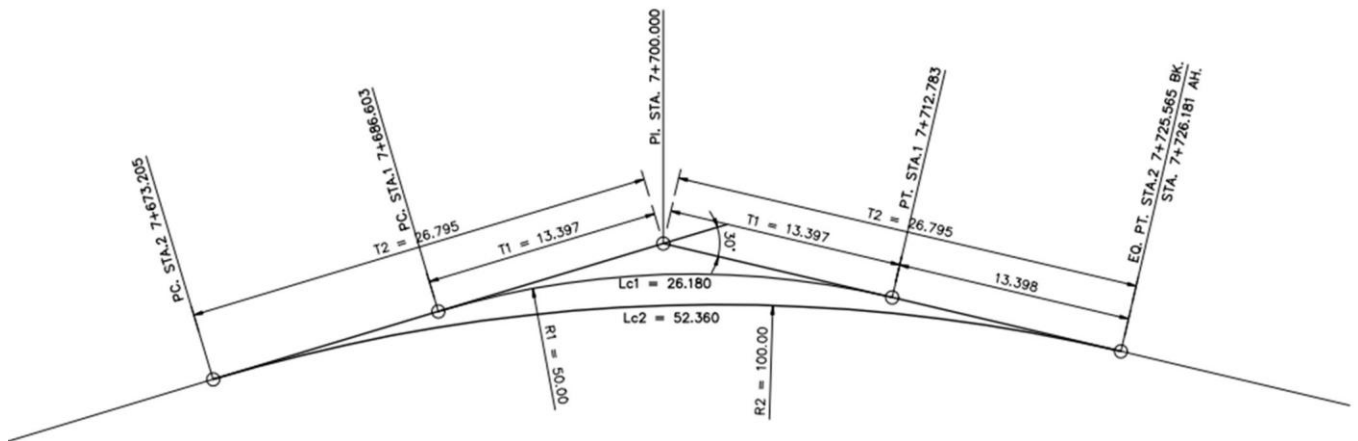
ตารางที่ 1: มาตรฐานชั้นทางสำหรับทางหลวงทั่วประเทศ



รูปที่ 1 โค้ง Broken Back Curve

จากตารางที่ 1 ค่า Design Speed ที่ใช้จะขึ้นอยู่กับมาตรฐานชั้นทางที่กำหนด และสภาพเส้นทางที่จำแนกเป็นทางราบ ทางเนิน และทางเขา โดยพิจารณาจากค่าความลาดชันของเส้นทาง เช่น เส้นทางมาตรฐานชั้นทาง 4 และเส้นทางขวงนั้นมีค่าความลาดชันเท่ากับ 7.5% ซึ่งอยู่ระหว่าง 4.0%-8.0% เป็นลักษณะทางเนิน จะได้อา Design Speed อยู่ระหว่าง 55-70 กิโลเมตรต่อชั่วโมง(Kph.) เมื่อเลือกใช้เท่ากับ 60 Kph. ดังนั้นระยะ Short Tangent จะเท่ากับ $0.75 \times 60 = 45.00$ เมตร ดังนี้เป็นตน

ส่วนสมการระยะทาง (Equation) จะเกิดขึ้นเมื่อใดปรับแก้หรือเปลี่ยนแปลงแนวทางราบ (Horizontal Alignment) ที่กำหนดไว้เดิม ไปตามแนวทางใหม่ แล้วกลับเขามาบรรจบกับแนวทางเดิม ซึ่งจุดที่บรรจบนั้น จะแสดงค่าตำแหน่งหรือ STA. จำนวน 2 ค่า โดยค่าแรกจะเป็นตำแหน่งของจุดสุดท้ายที่วัดระยะทางตามแนวทางที่แก้ไขใหม่ ใช้สัญลักษณ์ BK.(Back) ต่อท้ายจากตำแหน่ง STA. นั้น ส่วนอีกค่าหนึ่งจะเป็นตำแหน่งจุดเริ่มต้นของทางวัดระยะทางตามแนวทางเดิม ใช้สัญลักษณ์ AH.(Ahead) ต่อท้ายจากตำแหน่ง STA. นั้นเช่นกัน ตัวอย่างเช่น ปรับปรุงแก้ไขทางโค้งที่มีคาร์รัสมิโค้งน้อยหรือ Sharp Curve ด้วยการใช้คาร์รัสมิโค้งที่มากขึ้นตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 การปรับปรุงแก้ไขทางโค้งที่มีคาร์คมีโค้งน้อย
ด้วยการใช้คาร์คมีโค้งที่มากขึ้น ทำให้เกิดสมการระยะทาง

จากรูปภาพจะคำนวณค่าใด $T1 = 13.397$ เมตร , $L1 = 26.180$ เมตร ,

$T2 = 26.795$ เมตร และ $L2 = 52.360$ เมตร ซึ่งต่อมาจะสามารถคำนวณได้ค่า

$$PC.STA.1 = PI.STA. - T1 = (7+700) - 13.397 = 7+686.603$$

$$PT.STA.1 = PC.STA.1 + L1 = (7+686.603) + 26.180 = 7+712.783$$

$$PC.STA.2 = PI.STA. - T2 = (7+700) - 26.795 = 7+673.205$$

$$PT.STA.2 = PC.STA.2 + L2 = (7+673.205) + 52.360 = 7+725.565$$

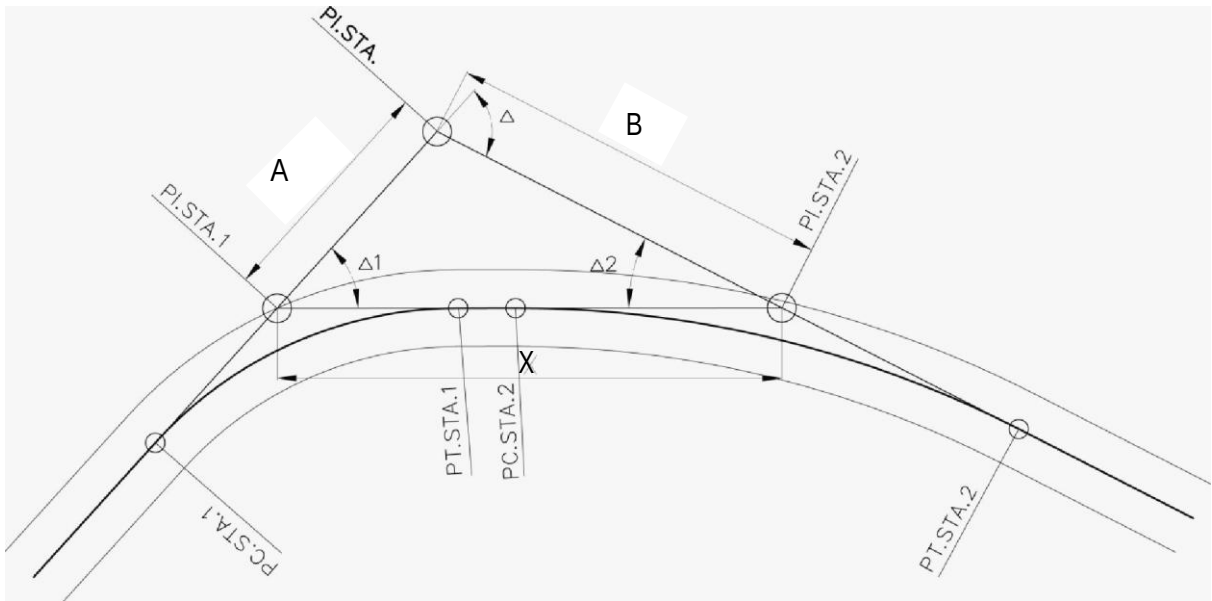
ให้สมการระยะทางอยู่ที่ตำแหน่ง $PT.STA.2$ ซึ่งจะไดคาคาเป็น $STA. 7+725.565$ BK. ดังนั้นอีกค่าจะ
เป็น $PT.STA.1 - T1 + T2 = (7+712.783) - 13.397 + 26.795 = STA. 7+726.181$ AH. ในกรณีนี้จะเห็นได้ว่า
ระยะทางตามแนวทางราบจะสั้นกว่าเดิม 0.616 เมตร โดยพิจารณาจากค่า BK. ซึ่งน้อยกว่าค่า AH. ในทาง
กลับกันถ้าค่า BK. มากกว่าค่า AH. จะได้แนวทางที่ปรับแก้จะยาวกว่าเดิม

บทที่ 3

การปรับปรุงด้านเรขาคณิตของโค้ง Broken Back Curve

1. ลำดับขั้นตอนของการปรับปรุง

การปรับปรุงด้านเรขาคณิตของโค้งแบบ Broken Back Curve ด้วยโค้งกลมเดี่ยว(Simple Curve) ซึ่งมีรัศมีโค้ง(R)ใดๆ ดังแสดงตามรูปที่ 3 มีลำดับขั้นตอน ดังนี้



รูปที่ 3 การปรับปรุงด้านเรขาคณิตของโค้ง Broken Back Curve

1. ต่อเส้น Tangent ของโค้งทั้งสองออกไปตัดกัน จะได้จุด PI.STA. ใหม่และมีคามุมเบี่ยงเบน(Δ)

$$\text{ซึ่ง } \Delta = \Delta_1 + \Delta_2$$

$$\text{โดยที่ } \Delta_1 = \text{มุมเบี่ยงเบนของโค้งที่ 1}$$

$$\Delta_2 = \text{มุมเบี่ยงเบนของโค้งที่ 2}$$

2. หาระยะทางระหว่าง PI.STA.1 และ PI.STA.2 หรือ ระยะ X

$$X = T_1 + Z + T_2$$

$$\text{โดย } T_1 = \text{ระยะ Tangent ของโค้งที่ 1}$$

$$Z = \text{ระยะ Short Tangent}$$

$$T_2 = \text{ระยะ Tangent ของโค้งที่ 2}$$

3. หาระยะ A และ B

จากตรีโกณมิติ Sin's Law จะได้ว่า

$$\frac{X}{\sin (180^\circ - \Delta)} = \frac{A}{\sin \Delta_2} = \frac{B}{\sin \Delta_1}$$

$$\begin{aligned}\sin(180^\circ - \Delta) &= \sin \Delta \\ \text{เพราะฉะนั้น จะได้ } A &= X \times \frac{\sin \Delta 2}{\sin \Delta} \\ B &= X \times \frac{\sin \Delta 1}{\sin \Delta}\end{aligned}$$

4. หา P.I.S.T.A. ใหม่

$$\text{จะได้ P.I.S.T.A.} = \text{P.I.S.T.A.1} + A$$

5. กำหนดค่ารัศมีโค้งหรือ R

ค่า R ที่กำหนดจะต้องสอดคล้องสัมพันธ์กับค่าอัตราความเร็วที่ใช้ในการออกแบบ (Design Speed) และค่าอัตรายกโค้งสูงสุด (Superelevation) โดยเป็นไปตามมาตรฐานชั้นทางที่กำหนดไว้แล้ว ดังแสดงตามตารางที่ 1 มาตรฐานชั้นทางสำหรับทางหลวงทั่วประเทศ ทั้งนี้ความสัมพันธ์ของค่าต่างๆ จะเป็นไปตามสูตรสำเร็จคือ

$$\text{S.E.} = 0.004 \times V^2 / R$$

ยกตัวอย่างตามมาตรฐานทางชั้น 4 เมื่อใช้ค่า Design Speed หรือ V เท่ากับ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (Kph.) และค่าอัตรายกโค้งสูงสุดไม่เกิน 10% หรือ 0.1 ซึ่งเมื่อแทนค่าลงในสูตรข้างต้น

$$\text{จะได้ } 0.1 \geq 0.004 \times 60^2 / R$$

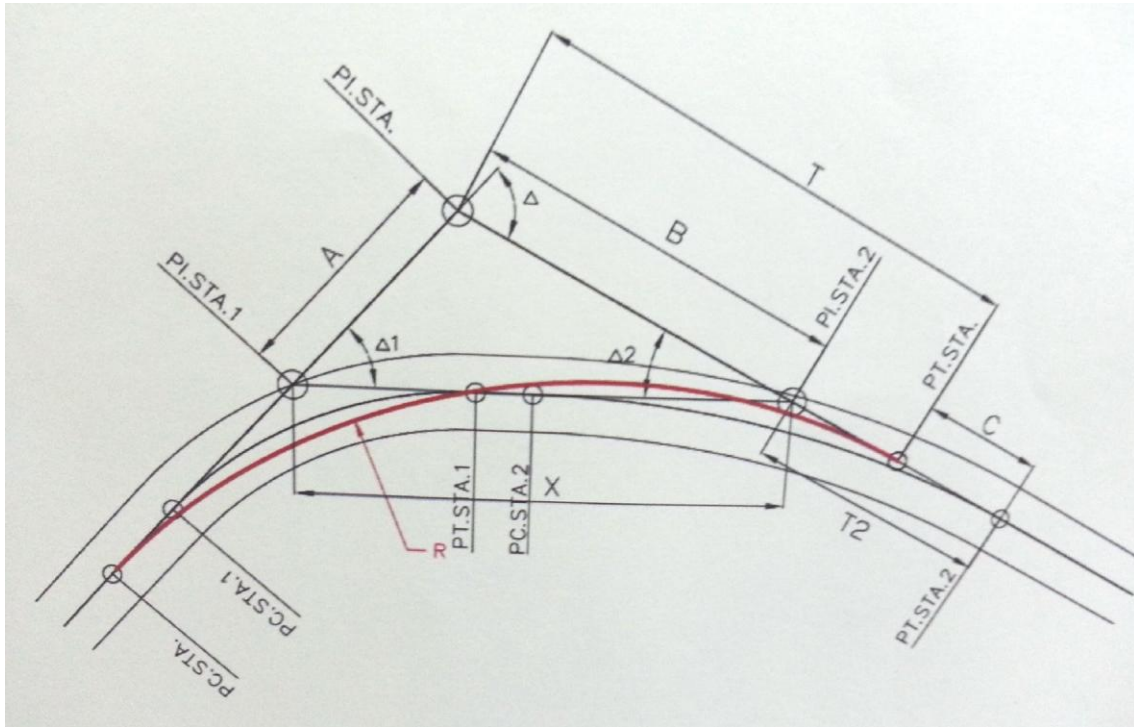
$$\text{ดังนั้น } R \geq 0.004 \times 60^2 / 0.1 \geq 144 \text{ เมตร}$$

6. คำนวณหาตัวแปรทางดานเรขาคณิต (Geometric Functions) ต่างๆ ของโค้งราบ เมื่อทราบค่า P.I.S.T.A. , ค่า Δ และค่า R ก็สามารถคำนวณหาค่า T, D, L, E ในกรอบตามข้อมูลที่จะต้องกรอกลงตารางโค้งราบ (Horizontal Curve Data) ซึ่งสามารถหาค่า P.C.S.T.A. และ P.T.S.T.A. ได้

จากที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นเป็นลำดับขั้นตอนของ การปรับปรุงทางดานเรขาคณิตของโค้งราบแบบ Broken Back Curve ด้วย Simple Curve (โค้งกลมเดี่ยว) โดยการเลือกใช้ค่า R ใดๆ ที่สอดคล้องกับมาตรฐานชั้นทาง แต่อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์ทางตามแนวทางราบที่ได้ปรับปรุงใหม่ จะต้องมีส่วนการระยะทาง (Equation) เกิดขึ้นซึ่งอาจจะสั้นกว่าหรือยาวกว่าเดิมก็ได้ ทำให้เกิดผลเสียที่เห็นได้ชัดเจนคือ จะต้องทำการออกแบบแนวทางตั้ง (Vertical Alignment) ใหม่ ซึ่งในหลายกรณีที่วิศวกรผู้ออกแบบทางไวเดิมได้ออกแบบไวดีแล้วคือ กำหนดความลาดชัน (Grade) ของเส้นทางเป็นช่วงยาวๆ ซึ่งเมื่อมีส่วนการระยะทางเกิดขึ้นจะต้องกำหนดค่าความลาดชันของเส้นทางช่วงดังกล่าวนั้นใหม่ หรือออกแบบเป็นโค้งตั้ง (Vertical Curve) เพิ่มเติม ทำให้แนวทางตั้งไม่ราบเรียบ (Smooth) และการระดับก่อสร้างของจุดใดๆ เปลี่ยนแปลงอาจจะสูงขึ้นหรือต่ำกว่าเดิม จนเป็นเหตุให้ต้องทำการก่อสร้างปรับปรุงแนวทางตั้งใหม่ในช่วงที่นอกเหนือจากที่ได้ปรับปรุงแนวทางราบ ทำให้สิ้นเปลืองงบประมาณในการก่อสร้างเกินกว่าที่ควรจะเป็น

ดังนั้นถ้าหากสามารถกำหนดค่า R ขึ้นมาค่าหนึ่ง ซึ่งเมื่อทำการคำนวณหาค่าต่างๆ แล้วทำให้ไม่เกิดสมการระยะทาง ปัญหาที่เกิดจากกรณีดังกล่าวข้างต้นย่อมจะไม่เกิดขึ้น ซึ่งมีวิธีการคำนวณหาค่า R ดังกล่าวนั้น ดังแสดงตามรูปที่ 4

2. การคำนวณหาค่า R ที่ทำให้ไม่เกิดสมการระยะทาง



รูปที่ 4 ภาพประกอบวิธีการคำนวณหาค่า R ที่ทำให้ไม่เกิดสมการระยะทาง

สมมติให้ $PT.STA.2$ เป็นจุดบรรจบซึ่งมีค่าสมการระยะทางเท่ากับศูนย์

$$\text{ดังนั้น } PT.STA.2 = PT.STA.1 + C$$

$$\begin{aligned} \text{โดย } PT.STA.1 &= PC.STA.1 + L \\ &= (PI.STA.1 - T) + L \end{aligned}$$

$$\text{และ } C = B + T2 - T$$

$$\text{จะได้ว่า } PT.STA.2 = (PI.STA.1 - T + L) + (B + T2 - T)$$

จัดรูปสมการใหม่ จะได้

$$2T - L = PI.STA.1 - PT.STA.2 + T2 + B \quad \dots\dots\dots \text{สมการที่ 1}$$

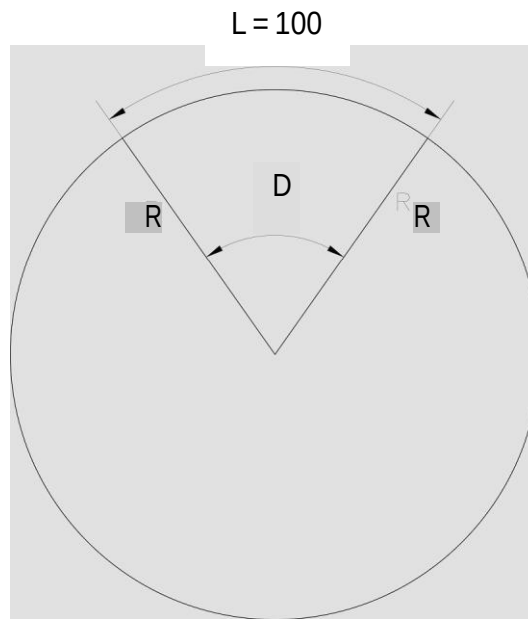
แทนค่าตัวแปรต่างๆ ลงในสมการที่ 1

$$\text{จาก } T = R \times \tan(\Delta / 2)$$

$$D = \text{Degree of Curve มุมที่จุดศูนย์กลางซึ่งรองรับโค้งที่มี}$$

$$= \text{ความยาว 100 หน่วย}$$

โดย D มีความสัมพันธ์กับค่า R ดังแสดงตามรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า D กับค่า R

$$L / D = 2 \sin R / 360^\circ$$

$$R = (360^\circ \times L) / (D \times 2 \sin)$$

$$= (360^\circ \times 100) / (D \times 2 \sin)$$

$$\text{ดังนั้น } R = 5,729.578 / D$$

$$\text{จะได้ } T = 5,729.578 / D \times \tan(\Delta / 2)$$

$$L = 100 \times \Delta / D$$

เพราะฉะนั้นจะได้ว่า

$$2 \{ 5,729.578 / D \times \tan(\Delta / 2) \} - (100 \times \Delta / D) = \text{PI.STA.} - \text{PT.STA.} + T^2 + B$$

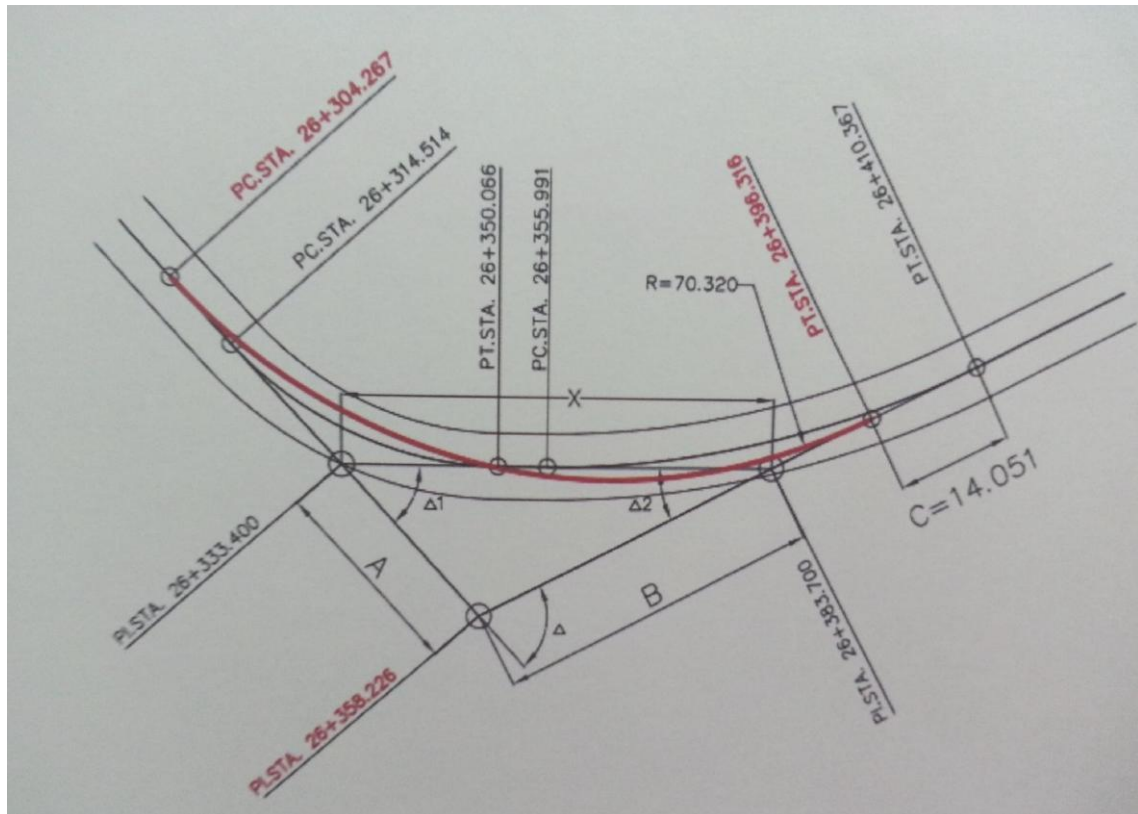
$$1 / D \times [2 \{ 5,729.578 \times \tan(\Delta / 2) \} - (100 \times \Delta)] = \text{PI.STA.} - \text{PT.STA.} + T^2 + B$$

$$\text{ดังนั้น สูตร } D = \frac{2 \{ 5,729.578 \times \tan(\Delta / 2) \} - (100 \times \Delta)}{\text{PI.STA.} - \text{PT.STA.} + T^2 + B}$$

เมื่อหาก D ได้ ขอมจะสามารถหาค่า R ได้ จากนั้นใ้การดำเนินการตามขั้นตอนที่ 5 และ 6 ของลำดับขั้นตอนของการปรับปรุงถนนเรขาคณิตของโครงแบบ Broken Back Curve ตามที่ได้กล่าวถึงตั้งแต่ต้นต่อไป

3. การตรวจสอบความถูกต้องของสูตรการคำนวณ

เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของสูตรการคำนวณหาค่า D และค่า R จึงได้ทำการปรับปรุงงานเรขาคณิตของโค้งราบแบบ Broken Back Curve ของแนวทางการทางหลวงหมายเลข 1266 ตอนแยกทางหลวงหมายเลข 108 (อ.แม่ลาน้อย - บ.ละอุ่น ชว. กม. 26+300 - กม. 26+500) ดังแสดงตามรูปที่ 6 และแบบก่อสร้างทางตามภาคผนวก



④ PI.STA. 26+333.400				
Δ	47°-50'-00" LT.	E	4.00	M.
D	134°-32'-36.4"	V		KPH.
R	42.585 M.	SE		M./M.
T	18.886 M.	W		M.
L	35.552 M.			
SE.ATTAINED STA.		TO STA.		
SE.REMOVED STA.		TO STA.		

⑤ PI.STA. 26+383.700				
Δ	27°-10'-00" LT.	E	3.30	M.
D	49°-57'-39.85"	V		KPH.
R	114.681 M.	SE		M./M.
T	27.709 M.	W		M.
L	54.376 M.			
SE.ATTAINED STA.		TO STA.		
SE.REMOVED STA.		TO STA.		

รูปที่ 6 ภาพประกอบการตรวจสอบความถูกต้องของสูตรการคำนวณหาค่า D

ทำการคำนวณตามลำดับขั้นตอนดังนี้

1. คอเส้น Tangent ของโค้งทั้งสองออกไปตัดกัน จะได้จุด PI.STA และมุมเบี่ยงเบน(Δ)

$$\begin{aligned}\Delta &= \Delta_1 + \Delta_2 \\ &= (47^\circ - 50' - 00'') + (27^\circ - 10' - 00'') \\ &= 75^\circ - 00' - 00'' \text{ LT.}\end{aligned}$$

2. หาระยะทางระหว่าง PI.STA.1 และ PI.STA.2 หรือระยะ X

$$\begin{aligned}X &= T_1 + Z + T_2 \\ &= 18.886 + \{(\text{กม. } 26+355.991) - (\text{กม. } 26+350.066)\} + 27.709 \\ &= 52.520 \text{ เมตร}\end{aligned}$$

3. หาระยะ A และ B

จากตรีโกณมิติ Sin's Law จะได้ว่า

$$\frac{X}{\sin(180^\circ - \Delta)} = \frac{A}{\sin \Delta_2} = \frac{B}{\sin \Delta_1}$$

เพราะฉะนั้น จะได้ $A = 52.520 \times \frac{\sin(27^\circ - 10' - 00'')}{\sin(75^\circ - 00' - 00'')} = 24.825 \text{ เมตร}$

$$B = 52.520 \times \frac{\sin(47^\circ - 50' - 00'')}{\sin(75^\circ - 00' - 00'')} = 40.301 \text{ เมตร}$$

4. หา PI.STA. ใหม่

$$\begin{aligned}\text{จะได้ PI.STA.} &= \text{PI.STA.1} + A \\ &= (\text{กม. } 26+333.400) + 24.825 \\ &= \text{กม. } 26+358.226\end{aligned}$$

5. คำนวณหาค่า D

$$\begin{aligned}\text{สูตร } D &= \frac{2 \{ 5,729.578 \times \tan(\Delta/2) \} - (100 \times \Delta)}{\text{PI.STA.} - \text{PT.STA.2} + T_2 + B} \\ &= \frac{2 \{ 5,729.578 \times \tan(75^\circ - 00' - 00''/2) \} - \{ 100 \times (75^\circ - 00' - 00'') \}}{(\text{กม. } 26+358.226) - (\text{กม. } 26+410.367) + 27.709 + 40.301} \\ &= 81.478 \\ &= 81^\circ - 28' - 41.27'' \\ \text{จะได้ } R &= 5,729.578 / (81^\circ - 28' - 41.27'') \\ &= 70.320 \text{ เมตร}\end{aligned}$$

6. คำนวณหาค่าตัวแปรทางด้านเรขาคณิตอื่นๆ

$$\begin{aligned} T &= R \times \tan(\Delta / 2) \\ &= 70.320 \times \tan(75^\circ - 00' - 00'' / 2) \\ &= 53.959 \text{ เมตร} \\ L &= 100 \times \Delta / D \\ &= 100 \times (75^\circ - 00' - 00'') / (81^\circ - 28' - 41.27'') \\ &= 92.049 \text{ เมตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น PC.STA.} &= \text{PI.STA.} - T \\ &= (\text{กม. 26+358.226}) - 53.959 \\ &= \text{กม. 26+304.267} \\ \text{PT.STA.} &= \text{PC.STA.} + L \\ &= (\text{กม. 26+304.267}) + 92.049 \\ &= \text{กม. 26+396.316} \end{aligned}$$

7. คำนวณตรวจสอบตำแหน่ง PT.STA.2 ซึ่งสมมุติให้เป็นจุดบรรจบซึ่งมีค่าสมการระยะทางเท่ากับศูนย์

$$\begin{aligned} \text{หาระยะ } C &= B + T2 - T \\ &= 40.301 + 27.709 - 53.959 \\ &= 14.051 \text{ เมตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เพราะฉะนั้น PT.STA.2 BK.} &= \text{PT.STA.} + C \\ &= (\text{กม. 26+396.316}) + 14.051 \\ &= \text{กม. 26+410.367} \end{aligned}$$

$$\text{เปรียบเทียบกับ PT.STA.2 AH.} = \text{กม. 26+410.367}$$

ค่าทั้งสองเท่ากันแสดงว่า สมการระยะทางเท่ากับศูนย์หรือไม่มีสมการระยะทาง ดังนั้นจะเห็นได้ว่า สูตรการคำนวณหาค่า D และค่า R ที่นำเสนอมาดังกล่าวข้างต้นถูกต้องทุกประการ

บทที่ 4

สรุปผลและขอเสนอแนะ

1. สรุปผล

การปรับปรุงถนนเรขาคณิตของโครงแบบ Broken Back Curve ด้วย Simple Curve นี้ เป็นส่วนหนึ่งของงานบำรุงทางลักษณะงานบูรณะและปรับปรุงทาง ตามรหัสงาน 5400 งานปรับปรุงถนนเรขาคณิตของทางซึ่งผู้มีหน้าที่ในการดูแลบำรุงรักษาทางตั้งแต่ แขวงการทาง หมวดการทาง ควรจะรู้ในหลักการและสามารถตรวจสอบเส้นทางในความรับผิดชอบว่ามีโครงแบบในลักษณะนี้ แล้วเสนอแผนงานของงบประมาณเพื่อปรับปรุงต่อไป

โครงแบบ Broken Back Curve นี้ ทำให้ไม่เกิดความปลอดภัยต่อผู้ขับขี่ ซึ่งตามคำจำกัดความที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ของ AASHTO คือ ผู้ขับขี่ส่วนใหญ่จะไม่คาดคิดว่าเมื่อขับรถไปตามโครงแบบโค้งหนึ่งแล้วจะมีโครงแบบถัดไปที่มีทิศทางไปในทิศทางเดียวกัน(most drivers do not expect successive curves to be in the same direction) ซึ่งอาจจะสร้างความสับสนให้ผู้ขับขี่ได้ และแนวทางการแบบนี้ทำให้เกิดความรู้สึกที่ไม่ดีเมื่อได้ปรากฏแก่สายตา(Broken-back alignments are also not pleasing in appearance)

เมื่อเป็นเช่นนี้ตั้งแต่ขั้นตอนของการสำรวจและการออกแบบ ควรจะหลีกเลี่ยงแนวทางการแบบในลักษณะนี้ แต่ถ้ามองพบในขั้นตอนของการก่อสร้างทางก็สามารถที่จะทำการปรับปรุงได้หลายวิธีการ เช่น ในช่วงระยะปรับเปลี่ยนจากทางโค้งแรกเข้าสู่ทางตรงแล้วเข้าสู่ทางโค้งที่สอง ใช้โค้งกนหอย(Spiral) หรือปรับปรุงให้โค้งทั้งสองมาต่อกันพอดีเป็น โค้งกลมรวม(Compound Curve) หรือวิธีต่อเส้น Tangent ของโค้งทั้งสองมาตัดกันเป็นจุด PLSTA. แล้วใช้โค้งกลมเดี่ยว(Simple Curve) ในกรณีที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ให้ใช้วิธีการยกขอบถนนช่วง Short Tangent โดยการรักษาระดับการยกขอบถนน(Superelevation) เช่นเดียวกับตอนออกจากโค้งแรกแล้วปรับเขาหาโค้งที่สอง

เมื่อก่อสร้างทางแล้วเสร็จสมบรูณ์เป็นทางบำรุงโดยสำนักทางหลวงและ แขวงการทางเป็นผู้รับผิดชอบก็สามารถที่จะปรับปรุงได้โดยวิธีการที่ง่ายที่สุดคือ การใช้โค้งกลมเดี่ยวตามที่ไดกล่าวถึงแล้ว แต่อาจเลือกใช้คาร์ซีมีโค้ง(R)ใดๆ(ขอมจะทำให้ช่วงระยะทางที่ปรับปรุงยาวขึ้นหรือสั้นลงกว่าเดิมได้ เกิดสมการระยะทาง(Equation) ทำให้ต้องมาทำการออกแบบแนวตั้ง(Vertical Alignment) คำนวณการระดับก่อสร้างใหม่อันจะเป็นผลทำให้ แนวทางตั้งไม่ราบเรียบและอาจจะต้องก่อสร้างเพิ่มเติมในช่วงที่นอกเหนือจากที่ได้ปรับปรุงแนวทางการแบบ ทำให้สิ้นเปลืองงบประมาณในการก่อสร้างเกินกว่าที่ควรจะเป็น

ดังนั้นถ้าสามารถกำหนดค่า R ขึ้นมาค่าหนึ่ง ซึ่งเมื่อทำการคำนวณหาค่าต่างๆ ทางด้านเรขาคณิตของทาง(Geometric Functions) แล้วทำให้ไม่เกิดสมการระยะทาง ขอมจะสามารถแก้ปัญหาที่กล่าวถึงข้างต้นได้ โดยคาร์ซีมีโค้ง(R)นั้น สามารถคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$\text{สูตร } D = \frac{2 \{ 5,729.578 \times \tan(\Delta/2) \} - (100 \times \Delta)}{PI.STA. - PT.STA.2 + T2 + B}$$

$$\text{และ } R = 5,729.578 / D$$

ทั้งนี้ ได้ทำการพิสูจน์สูตรการคำนวณดังกล่าวแล้วในบทที่ 3 โดยทำการคำนวณปรับปรุงทางโค้งแบบ Broken Back Curve ของทางหลวงหมายเลข 1266 ตอนแยกทางหลวงหมายเลข 108 (อ.แม่ออน - บ.ละอุ่น) ช่วง กม. 26+300 - กม. 26+500 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ถูกต้องสอดคล้องกับสมมุติฐานที่ตั้งไว้ทุกประการ

2. ข้อเสนอแนะ

2.1 การปรับปรุงด้านเรขาคณิตของแนวทางตาม รหัสงาน 5400 ในส่วนโค้งราบ (Horizontal Alignment) แบบ Broken Back Curve นี้ไม่ว่าจะใช้วิธีการใดๆ ก็ตามมีข้อจำกัดคือ แนวทางราบที่ได้ปรับปรุงแล้วอยู่ในสภาพภูมิประเทศ) Topographic เนื้ออันวยเขตที่ไม่ (แนวทางเดิมก่อสร้างบนสันเขา หรือ บริเวณพื้นที่ภูเขาที่มีการก่อสร้างแบบตัดลึกและถมสูง) Deep cut and high fill) ทำให้การก่อสร้างแนวทางใหม่ทำได้ยุ่งยากต้องใช้งบประมาณในการก่อสร้างสูง และอีกกรณีคือ แนวทางที่ปรับปรุงออกนอกเขตทาง (Right of Ways) ที่มีอยู่

2.2 การปรับปรุงด้านเรขาคณิตของทางนี้ ส่วนใหญ่จะเป็นการดำเนินงานบนทางบำรุงภายหลังจากทางก่อสร้างแล้วเสร็จ ซึ่งเมื่อเปิดการใช้งานแล้วระยะเวลาหนึ่งอาจจะเกิดปัญหา หรือเกิดอุบัติเหตุทำให้ผู้ใช้รถใช้ถนนไม่ปลอดภัย จึงต้องมาทำการแก้ไขโดยการปรับปรุงเส้นทาง อันเป็นงานในลักษณะบำรุงทางเชิงแก้ไข แต่วางก็สามารถที่จะดำเนินการในลักษณะเชิงป้องกันได้ก่อนที่จะก่อให้เกิดปัญหาขึ้น โดยการตรวจสอบความปลอดภัยของถนน (Road Safety Audit) ตั้งแต่ขั้นตอนของการสำรวจและออกแบบ เมื่อพบแล้วจึงทำการแก้ไขปรับปรุงเมื่อขณะเป็นข้อมูลสำรวจในสมุดสนาม (Field book) หรือ แบบก่อสร้างทางบนกระดาษ ซึ่ง อุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ใช้อาจเป็นเพียงเพียงอย่างเดียวหนึ่งก้อน หรือ ปุ่ม Delete บนแป้นคอมพิวเตอร์เท่านั้น ทั้งนี้ ผู้ที่ปฏิบัติงานทางด้านการสำรวจและออกแบบซึ่งเป็นผู้ที่ทำงานแบบ “ปิดทองหลังพระ” มาโดยตลอด ต้องเสียสละอดทนทำงาน “ปิดทองฐานพระ” เพิ่มขึ้น แต่ทว่าเมื่อทำงานสำเร็จแล้วจะทำให้เกิดความภาคภูมิใจว่า ได้ช่วยประหยัดงบประมาณแผ่นดินได้มาก เพราะเมื่อนำแบบก่อสร้างไปก่อสร้างจนแล้วเสร็จ แล้วมาทำการแก้ไขปรับปรุงในภายหลัง จะต้องใช้เครื่องจักร อุปกรณ์ต่างๆ แรงงาน สูญเสียเวลาและความสะดวกสบายแก่กระทั่งสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินของผู้ใช้รถใช้ถนน ซึ่งเมื่อตีค่าเป็นตัวเงินก็เป็นจำนวนมากเช่นกัน

2.3 การปรับปรุงด้านเรขาคณิตของทางในส่วนโค้งแนวราบ) Horizontal Alignment) หรือ โค้งราบไม่ว่าจะเป็นการปรับแก้แนวทางหรือเพิ่มรัศมีโค้ง หรือลักษณะของโค้งแบบ Broken Back Curve หรือ Reverse Curve ต่างๆ นั้น ล้วนกระทำไปเพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้แก่ผู้ขับขี่รถยนต์ ซึ่งการเกิดอุบัติเหตุบนเส้นทางนั้นมีหลายกรณีพบว่าผู้ขับขี่ขาดความเร็วเกินกว่าอัตราความเร็วที่ใช่ในการออกแบบ

(Design Speed) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโครงการซึ่งตามมาตรฐานชั้นทางสำหรับทางหลวงทั่วประเทศ ให้ใช้อัตราการยกโครงการตามที่คำนวณได้จากสูตร $S.E. = 0.004 \times V^2 / R$ นั้น กำหนดให้ค่าสูงสุดไม่เกิน 10% หรือ 0.1 เมตร/เมตร เมื่อเป็นเช่นนี้ถ้าต้องการจะเพิ่มอัตราความเร็วที่ใช้ในการออกแบบจะทำได้โดย การเพิ่มรัศมีโค้งเท่านั้น ทั้งนี้อัตราความเร็วที่ใช้ในการออกแบบนั้นต้องกำหนดให้เป็นไปตามมาตรฐานชั้นทางฯ หรือ สูงกว่า ดังนั้นในการสำรวจและออกแบบจะต้องกำหนดค่าความเร็วที่ใช้ในการออกแบบ สำหรับแนวทางราบใดๆก่อน ซึ่งตามมาตรฐาน AASHTO และหนังสือคู่มือการออกแบบทาง เสนอให้ออกแบบเป็น Zone Speed โดยมีค่าแตกต่างกันในโครงการที่ต่อเนื่องกันไม่เกิน 10 ไมล์ต่อชั่วโมง หรือ 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ขั้นตอนต่อมาจะต้องทำการกำหนดรัศมีความโค้ง ให้สัมพันธ์กับค่าความเร็วที่ใช้ในการออกแบบ และอัตราการยกโครงการสูงสุด ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความเร็วที่ใช้ในการออกแบบและรัศมีโค้งต่ำสุด

อัตราความเร็วที่ใช้ในการออกแบบ (Design Speed : Kph)	รัศมีโค้ง R)ต่ำสุด (m.)	หมายเหตุ
20	16	ความสัมพันธ์ตามสูตร $S.E. = 0.004 v^2 / R$ โดย $S.E. \leq 0.1 \text{ m/m}$
30	36	
40	64	
50	100	
60	144	
70	196	
80	256	
90	324	
100	400	
110	484	
120	576	

จากตารางดังกล่าวจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับปฏิบัติงานสำรวจในสนาม ซึ่งสามารถทำการวางโครงการให้มีรัศมีความโค้งสูงกว่าตามตาราง เพื่อให้ได้ค่าอัตราความเร็วที่ใช้ในการออกแบบเป็นไปตามที่กำหนดไว้ เพื่อให้ง่ายในการจดจำความสัมพันธ์ของค่าทั้งสองจึงเสนอวิธีการคำนวณดังนี้ ให้ใช้อัตราความเร็วที่ใช้ในการออกแบบหารด้วย 5 ได้ค่าเท่าไร นำมายกกำลังสอง จะได้รัศมีโค้งต่ำสุด เช่น Design Speed = 70 Kph. หารด้วย 5 จะได้เท่ากับ 14 เมื่อยกกำลังสอง $= 14^2$ จะได้ 196 เมตร ดังนั้นเป็นต้น

บรรณานุกรม

กรมทางหลวง (2539) คู่มือการออกแบบทาง หลักสูตรที่ 1 เล่มที่ 1 ธันวาคม 2539

ฝ่ายฝกอบรมดานโยธา กองฝกอบรม

กรมทางหลวง (2552) รายละเอียดรหัสงานและลักษณะงานสำหรับ งานบำรุงทาง งานบูรณะทาง

งานบูรณะปรับปรุงทาง และอำนวยความสะดวก ตุลาคม 2552

สำนักแผนงาน สำนักบริหารบำรุงทาง สำนักอำนวยความสะดวก

AASHTO (2001) *A Policy on Geometric Design of Highway and Streets*. 4th ed.

This document was created using
SOLID CONVERTER PDF
To remove this message, purchase the product at
www.SolidDocuments.com