บทที่ 2

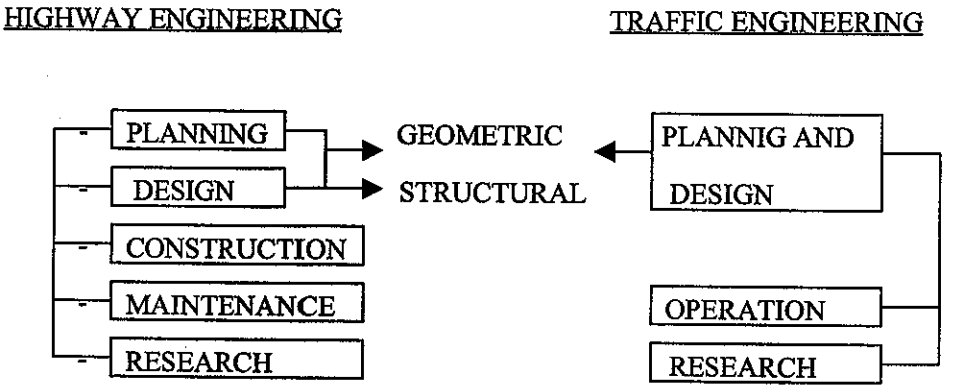
การออกแบบทางเรขาคณิตของแนวเส้นทาง

2.1 หลักการและข้อกำหนดพื้นฐานในการออกแบบทาง

2.1.1 ความหมายของงานออกแบบทาง

ในวิศวกรรมการทาง การออกแบบ จะหมายถึง การออกแบบทางเรขาคณิต (Geometric Design) และการออกแบบทางโครงสร้าง (Structural Design)

การออกแบบทางเรขาคณิต จะเป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบร่วมกับการวางแผนซึ่งจะเป็นตัวเชื่อมโยงระหว่าง วิศวกรรมการทาง (Highway Engineering) และวิศวกรรมการจราจร (Traffic Engineering) ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้



การออกแบบทางเรขาคณิต คือการออกแบบรูปพรรณสัณฐานของทางหลวง ด้วยวัตถุประสงค์ที่จะสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกให้เข้ากันได้กับลักษณะของยานพาหนะ (Vehicle) และการจราจร (Traffic) สภาวะแวดล้อม (Environ-mental) ตลอดจนพฤติกรรมของคนขับ (Driver) การออกแบบทางเรขาคณิตประกอบด้วยการกำหนดมาตรฐานชั้นทาง(Ciassification) การกำหนดแนวทาง (Route Location) การออกแบบรูปตัด (Cross section) การออกแบบแนวทางราบ (Horizontal Alignment) การออกแบบแนวทางดิ่ง (Vertical Alignment) การออกแบบทางแยก (Intersection)และงานประกอบอื่นๆ

การออกแบบทางโครงสร้าง คือ การออกแบบ

- โครงสร้างทาง (Pavehent Structure)
- โครงสร้างของอาคารระบายน้ำ (Drainage Structure)
- โครงสร้างของสะพานลอย (Overpass Structure)
- โครงสร้างของถนนลอดใต้ (Underpass Structure)
- โครงสร้างของงานประกอบต่างๆ เช่น อุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยต่างๆ
- กำแพงกันดิน,โครงสร้างรองรับดันทางในดินอ่อน
- งานป้องกันการกัดเซาะพังทลาย

2.1.2 หลักการออกแบบทางที่ดี

1) การใช้ข้อกำหนด หรือมาตรฐานขั้นต่ำในการออกแบบ
2) ควรแบ่งการออกแบบออกเป็นสองลักษณะ คือ

- การออกแบบในหลักการ (Conceptual Design) ได้แก่ การกำหนดโครงรูปหรือลักษณะของรูปแบบ เช่น การกำหนดรูปแบบของทางแยกให้เหมาะสมกับสภาพการจราจรที่ปรากฏเฉพาะที่จุดนั้น ซึ่งจะต้องออกแบบให้ใช้งานได้ดีกับสภาพเฉพาะดังกล่าว

- การออกแบบในรายละเอียด (Detailed Design) ได้แก่ การกำหนดส่วนรายละเอียดในโครงรูป หรือในลักษณะรูปแบบที่กำหนดในการออกแบบในหลักการ เช่น การกำหนดตามมาตรฐานขั้นต่ำต่างๆ กำหนดระดับก่อสร้าง การยกโค้ง ขยายผิว ขนาดและตำแหน่งของเกาะกลาง ระยะการปรับความเร็ว รัศมีเลี้ยว อุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่างๆ ฯลฯ ซึ่งจะต้องออกแบบแสดงรายละเอียดให้มากพอและเหมาะสมเช่นกัน

3) ควรพิจารณาถึงมูลฐานของคน (Human Element) ซึ่งได้แก่ผู้ใช้รถใช้ถนน ซึ่งจะเป็นปัจจัยในการให้แนวความคิดและการปรับการออกแบบเพื่อจะอำนวยความสะดวกรวดเร็วและปลอดภัยในทุกกรณี

3.1) HUMAN FACTOR INPUT ได้แก่

- คนขับ (Driver) ความสามารถในการควบคุมบังคับรถ

- ยานพาหนะ (Vehicle) ประเภทของยานพาหนะ สัดส่วน และน้ำหนัก สมรรถนะของรถ การใช้พื้นที่ในการจราจร สภาพและอุปกรณ์ความปลอดภัยของรถ
- สภาพแวดล้อม (Environment) สภาพภูมิประเทศ สภาพถนน สภาพอากาศ สภาพสังคม ป้ายและสัญญาณต่างๆ ฯลฯ

3.2) DESIGN OUTPUTS ผลงานการออกแบบที่ดีควรจะพิจารณาจาก

- การเลือกใช้ความเร็วออกแบบ (Design Speed) ที่เหมาะสมกับลักษณะของภูมิประเทศ ลักษณะการจราจร ประเภทของทางหลวง การพิจารณาทางด้านเศรษฐศาสตร์ พื้นที่ขีดทาง และความสวยงามของทางหลวง
- การออกแบบที่ผสมผสานกันระหว่างแนวทางราบ (Horizontal Alignment) และแนวทางดิ่ง (Vertical Alignment)
- การออกแบบโค้งราบ ควรมีรัศมีที่เหมาะสมกับความเร็วออกแบบ
- การเลือกใช้ระยะมองเห็น (Sight Distance)
- การออกแบบรูปตัด (Cross Section)
- ควรออกแบบให้ผู้ขับรถสัญจรไปในลักษณะเดียวกัน (Uniformity)
- ควรออกแบบให้ถนนแลดูต่อเนื่องกันได้ตลอดในสายทางเดียวกัน
- การออกแบบจำนวนช่องจราจรให้เหมาะสมและมีการปรับให้สมดุล (Lane Balance)
- การออกแบบจุดที่เป็นทางแยก ทางเชื่อม
- การออกแบบองค์ประกอบข้างทาง (Roadside Features)

2.1.3 ข้อกำหนดขององค์ประกอบของทาง

1) ค่า ADT เป็นปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันที่คาดการณ์ไว้ในอีก 7 ปีหลังจาก การก่อสร้างหรือปรับปรุงถนนแล้วเสร็จและเป็นการจราจรแล้วโดยอาศัยข้อมูลและวิธีการคำนวณด้านจราจรของกองวิศวกรรมการจราจร กรมทางหลวง
2) ปริมาณจราจรเป็น ADT นี้ให้ใช้ในกรณีที่มีปริมาณรถหนัก (Heavy Trucks) ไม่เกิน 20 % ของปริมาณการจราจรทั้งหมด

3) สำหรับทางหลวงที่มีรถบรรทุกหนัก (Heavy Trucks) เกินกว่า 30 % ให้วิศวกรออกแบบพิจารณาความเหมาะสมของความหนาของชั้นทาง ช่องทางเสริม ฯลฯ ให้สอดคล้องกับข้อเท็จจริงเฉพาะสายทาง ลักษณะการจราจร สภาพภูมิประเทศ ฯลฯ

4) ทางหลวงที่ผ่านพื้นที่ลาดชันมากๆเฉพาะบริเวณภูเขา ที่มีปริมาณรถบรรทุกหนักมากพอควร ให้วิศวกรออกแบบ พิจารณาความเหมาะสมในการเพิ่มช่องไต่ลาด (Climbing Lanes) ตามความจำเป็น

5) ในบริเวณย่านชุมชนอาจเพิ่มช่องทางหรือช่องจราจรให้เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ช่องทางหลวงในบริเวณนั้นและ/หรือ เขตทางและระบบระบายน้ำตามความจำเป็น

6) ความกว้างของผิวจราจรให้เป็นไปตามระบุในตารางมาตรฐานชั้นทาง ยกเว้นในกรณีทางในย่านชุมชนที่เขตทางแคบและต้องการขยายมากกว่าสองช่องจราจร ช่องจราจรเสริมด้านริมอาจจะแคบกว่ามาตรฐานได้แต่ต้องไม่แคบกว่าช่องละ 2.5 เมตร

7) ส่วนอื่นของชั้นพื้นทาง (Base Course) จากขอบผิวทางให้กว้าง 50 ซม. สำหรับชั้นทางมาตรฐาน D , 1 , 2 , และ 3 และให้ใช้กว้าง 25 ซม. สำหรับทางมาตรฐานชั้นทาง 4 ในกรณีที่ผิวทางเป็นผิวลาดยางสองชั้นแบบ Double Surface Treatment หรือแบบ Asphaltic Concrete สองชั้นให้ผิวทางลาดยางชั้นแรกคลุมเต็มส่วนยื่นของชั้นพื้นทางทั้งสองข้าง

8) ความกว้างของไหล่ทางให้เป็นไปตามระบุในมาตรฐานชั้นทาง ยกเว้นทางหลวงที่ผ่านไปในย่านชุมชนที่จะมีการจอดรถมาก ถ้าไม่มีการขยายเพิ่มช่องจราจร ให้ใช้ไหล่ทางกว้างข้างละ 3.00 เมตร พร้อมก่อสร้างส่วนของไหล่ทางด้วยวัสดุชั้นพื้นทางพร้อมลาดยาง (Paved Shoulder) สำหรับทางทุกมาตรฐานชั้นทาง ยกเว้นทางมาจรฐานชั้นทาง 5

เงื่อนไขของการให้ก่อสร้างไหล่ทางลาดยาง (Paved Shoulder) ให้ยึดถือตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้

8.1) สำหรับไหล่ทางของทางมาตรฐานชั้นทาง D 1 และ 2

8.2) สำหรับไหล่ทาง ในช่วงที่เป็นชุมชนหรือหมู่บ้าน

8.3) สำหรับไหล่ทาง ของสายทางที่อยู่ภายในระยะ 50 กม. จากเมืองใหญ่ทุกมาตรฐานชั้นทาง

8.4) สำหรับไหล่ทางบริเวณทางแยก

8.5) สำหรับไหล่ทางในช่วงที่มีการยกลาดหลังทางเอียงในโค้งราบ (Superelevation) เท่ากับและมากกว่า 5%

8.6) สำหรับไหล่ทางในช่วงที่ลาดตามยาวของทาง (Phofile Grade) ลาดชันจนจะเกิดปัญหาการกัดเซาะของไหล่ทาง

8.7) สำหรับไหล่ทาง ของทางผิวคอนกรีต

9) ความกว้างของทางเท้า ของทางหลวงในย่านชุมนุมชนให้ถือตามที่กำหนดในรูปแบบมาตรฐาน ULTIMATE DESIGN ของเขตทางต่างๆ ในกรณีที่เขตทางแคบจนไม่สามารถก่อสร้างทางเท้าตามมาตรฐานได้ให้ลดความกว้างของทางเท้าได้ แต่ต้องไม่น้อยกว่า 1.50 เมตร ในกรณีที่ต้องการขยายความกว้างของทางเท้าให้มากกว่าที่กำหนดในแบบมาตรฐานตามปริมาณคนเดินเท้าและมีพื้นที่พอให้ขยายได้ แต่ต้องไม่มากกว่า 5.00 เมตร

10) รูปแบบของทางหลวงประเภท DIVIDED HIGHWAY นอกเมืองที่มีเขตทางกว้าง 80 เมตร และในเมืองตามเขตทางมาตรฐานต่างๆ ให้ถือตามมาตรฐานของกองสำรวจและออกแบบ กรมทางหลวง

2.1.4 หลักการกำหนด DESIGN SPEED

1) พิจารณากำหนดจาก มาตรฐานชั้นทาง และลักษณะภูมิประเทศตามระบุในมาตรฐานขั้นต่ำที่ใช้ในการออกแบบสำหรับทางหลวงประเภทต่างๆนั้น

2) ทางในย่านชุมนุมชนหรือช่วงที่เป็นที่อยู่อาศัยหนาแน่นที่มีระยะช่วงยาวพอควร ควรกำหนด DESIGN SPEED เท่ากับ 40 – 60 กม. / ชม.

3) โค้งที่อยู่ใกล้กันหรือติดกันควรออกแบบกำหนด DESIGN SPEED เท่ากันและใช้ค่าการขยายโค้ง (Widening)เดียวกัน

4) ควรออกแบบความเร็วให้เป็นย่าน (Zone) โดยใช้ความเร็วเท่ากันหรือใกล้เคียงกันในลักษณะภูมิประเทศที่คล้ายกัน ในย่านความเร็วที่อยู่ติดกัน แต่ความเร็วของย่านแตกต่างกันอันเนื่องจากลักษณะภูมิประเทศ ไม่ควรให้ความเร็วแตกต่างกันมากกว่า 15 กม. / ชม.

5) ในการออกแบบทางแยก ความเร็วที่ใช้ออกแบบโค้ง ช่องเลี้ยว (Turning Roadway) และช่องปรับความเร็ว(Speed Change Lane) ใช้ AVERAGE RUNNING SPEED ซึ่งมีค่า 80% - 90% ของ DESIGN SPEED ปกติ

6) ในการออกแบบความลาดชัน (Profile Grade) ความเร็วที่ลดลงระหว่างจุดเริ่มต้น GRADE LINE และจุดปลายของ GRADE LINE ไม่ควรให้มากกว่า 25 กม. / ชม.

ตาราง 2.1 อัตราการยกโค้งสูงสุดแนะนำ (MAX. RATE. OF S.E.)

ลักษณะของทางหลวง	อัตราการยกโค้งสูงสุด (e) ม. /ม.
1. ทางในเมืองหรือในย่านชุมชน	0.04 - 0.06
2. ทางหลวงประเภทมาตรฐานสูง	0.06 - 0.08
3. ทางหลวงทั่วไปนอกเมือง	0.10

2.2 การสำรวจเพื่อการออกแบบ

การสำรวจ เป็นการกระทำเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลและรายละเอียด เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบวางแผน และก่อสร้างเส้นทางคมนาคมขนส่ง รวมไปถึงระบบขนส่งต่างๆ โดยเราสามารถแบ่งลำดับขั้นตอนของการสำรวจได้ดังนี้

2.2.1 ขั้นตอนการศึกษานโยบายและข้อมูล พร้อมทำการสำรวจ

เมื่อหน่วยสำรวจได้รับคำสั่งให้ทำการสำรวจเส้นทางสายใดแล้ว หน่วยสำรวจจะต้องทำการศึกษาขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) มีความประสงค์จะสร้างทางจากไหนไปไหน
2) มีจุดบังคับที่ใดบ้าง คือ จุดออก จุดผ่าน และจุดบรรจบ
3) จะสร้างเป็นทางขั้นไหน (แบบไหน) มีมาตรฐานอะไร
4) ทำการสำรวจเพื่องานอะไร เช่น ก่อสร้าง บูรณะ หรือทำแผนที่
5) ศึกษาแนวทางจากแผนที่ระวาง **Base Map** หรือภาพถ่ายทางอากาศของบริเวณที่ทำการสำรวจ
6) กำหนดระยะเวลาเพื่อเตรียมงาน พนักงาน คนงาน และเครื่องมือ

7) จัดเตรียมแบบ Plan & Profile ที่จะต่องานและจุดบรรจบพร้อมทั้งค่า B.M. ที่จะใช้ในการสำรวจทาง

2.2.2 ขั้นตอนการเตรียมงาน เครื่องมือ เครื่องใช้ ในการสำรวจทาง

1) ก่อนออกปฏิบัติงานสำรวจทาง จะต้องทำการเตรียมและตรวจสอบสภาพของเครื่องมือเครื่องใช้ ให้ครบถ้วนและพร้อมที่จะใช้งาน โดยเครื่องมือที่ใช้ในงานสำรวจมีดังนี้

- กล้องวัดมุม สำหรับรังวัดมุมราบ (Horizontal angle) รังวัดมุมดิ่ง (Vertical angle) เช่น กล้องทรานสิท (Transit) กล้องธีโอโดไลท์ (Theodolite) สามารถรังวัดมุม อ่านค่าจานองศาได้ละเอียดจนกระทั่งถึงจุดทศนิยมของฟิลิบดา
- กล้องระดับ (Level) ใช้สำหรับงานรังวัดหาความแตกต่างระหว่างจุดสองจุดต่อเนื่องกัน โดยอาศัยพื้นระดับของแนวเล็ง เป็นการทำระดับโดยตรง (Direct leveling) หรือการทำระดับจีโอเมตริก (Geometric leveling)
- เข็มทิศ (Compass) ใช้สำหรับแนวทิศเหนือ หาทิศทางและมุมราบเป็นหลัก
- โต๊ะสำรวจ (Plane table) ใช้สำหรับการสำรวจแผนที่บริเวณเล็กๆ การแก้ไขแผนที่ การสำรวจทำแผนที่ ซึ่งไม่ต้องการความละเอียดถูกต้องมากนัก
- กล้องแทคฮีโอมิเตอร์ (Tacheometer) เป็นกล้องที่ใช้หาความสูงและระยะทางจากกล้อง ใช้สำหรับงานที่เป็นภูเขาหรือบริเวณสูงๆ ต่ำๆ หรือบริเวณที่ไม่สะดวกในการวัดระยะโดยตรง
- เทป (Tape) เป็นเครื่องมือสำหรับวัดระยะทางโดยตรง เช่น เทปผ้า เทปโลหะ เทปวาร์ (Invar tape) มีทั้งหน่วยฟุตและหน่วยเมตร
- โซ่ (Chain) เป็นเครื่องมือวัดระยะทางโดยตรง ให้ค่าโดยประมาณ มีทั้งหน่วยฟุตและหน่วยเมตร
- เครื่องมือวัดระยะระบบอิเล็กโทนิกส์ เป็นการรังวัดด้วยระบบคลื่นแสง และคลื่นวิทยุ ให้ความละเอียดสูง
- เครื่องมือสำรวจด้วยภาพถ่าย (Photogrammetric instrument) ได้แก่กล้องถ่ายภาพทางอากาศ กล้องถ่ายภาพภาคพื้นดิน เครื่องมือเขียนแผนที่จากภาพถ่ายเดี่ยว เครื่องมือเขียนร่างแผนที่จากภาพถ่ายคู่สามมิติ (Stcrecscope plotting instrument)

- อุปกรณ์อื่นๆ ซึ่งเป็นเครื่องมือประกอบการทำงาน เช่น ไม้เล็งระดับ (staff) หลักเล็งแนว (pole) เครื่องส่องฉาก (optical square) ห่วงคะแนน (pins) ลูกดิ่ง ค้อน คลิโนเมตร (Clinometer or Abney level) กล้องระดับมือถือ (Hand level) กล้องเซคซแทนท์ (Sextent) และอื่นๆ

2) เตรียมแบบฟอร์ม เครื่องเขียนแบบพิมพ์ต่างๆ ที่จะนำไปใช้ในการสำรวจทางให้ครบถ้วนเพียงพอ

3) เมื่อหน่วยสำรวจออกปฏิบัติงาน ให้ติดต่อ เขตฯ แขวงฯ เพื่อวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

- รายงานตัว
- ชี้แจงงานที่จะทำการสำรวจ
- เรื่องที่จะขอความช่วยเหลือ
- ขอข้อแนะนำและความคิดเห็น
- หาข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องกับสายทางสำรวจ

4) ทำความเข้าใจกับผู้ร่วมงานในเรื่องต่อไปนี้

- สิทธิและหน้าที่
- ระเบียบปฏิบัติ
- นโยบายการปฏิบัติงาน
- การมอบหมายงานให้รับผิดชอบ

2.2.3 ขั้นตอนการสำรวจโดยสังเขป (Reconnaissance Survey)

เป็นการสำรวจอย่างกว้างๆ ในพื้นที่จริงและอาศัยข้อมูลที่มีอยู่แล้ว เช่น แผนที่ต่างๆพร้อมกับทำการสำรวจตรวจสอบกับข้อเท็จจริงในสนามด้วย เพื่อนำมาใช้ตัดสินใจเลือกแนวทางที่ดีที่สุด โดยมีลักษณะเส้นทางที่ควรจะสั้นที่สุด สะดวก ปลอดภัย ได้รับประโยชน์คุ้มค่ากับการลงทุน ใช้งบประมาณในการก่อสร้างและบำรุงรักษาน้อยที่สุด

2.2.4 ขั้นตอนการรังวัดสำรวจเบื้องต้น (Preliminary Survey)

เป็นการสำรวจตามแนวทางที่เลือกไว้ในการสำรวจขั้นการสำรวจโดยสังเขป เพื่อให้ได้ข้อมูลมาใช้เขียนแผนที่ภูมิประเทศตามแนวทางที่ได้เลือกไว้

2.2.5 ขั้นตอนการสำรวจแนวทางและการก่อสร้าง (Location and Construction Survey)

เป็นการสำรวจขั้นสุดท้าย จากแนวทางที่พิจารณาแล้วว่ามีความเหมาะสมมากที่สุดซึ่งในขั้นตอนนี้เป็นการสำรวจที่มีความละเอียดมาก โดยจะเป็นการออกแบบเส้นทาง การวางแนวทางในสนาม โดยการวางเส้นศูนย์กลางแนวทางทั้งส่วนที่เป็นแนวทางและแนวโค้ง การทำระดับแนวทาง การทำรูปตัดขวาง คำนวณงานดิน การกำหนดตำแหน่งและระดับทางระบายน้ำ กำหนดจุดที่จะทำการก่อสร้างสะพานและท่อ การกำหนดเขตทาง ฯลฯ

ซึ่งงานต่างๆเหล่านี้ต้องอาศัยความรู้และความชำนาญเป็นอย่างมากเพราะเป็นงานที่ละเอียดอ่อนมีข้อปลีกย่อยค่อนข้างมากต้องการความถูกต้องสูงโดยผู้ปฏิบัติสามารถค้นคว้าเพื่อเก็บในรายละเอียดได้จากหนังสือที่เกี่ยวกับการสำรวจ หรือ คู่มืองานสำรวจทางของกองสำรวจและออกแบบกรมทางหลวง

หลังจากที่ทำการปฏิบัติหน้าที่แล้วต้องมีการรายงานผลการปฏิบัติงานด้วยเป็นประจำทุกเดือนต่อผู้บังคับบัญชาเพื่อรับทราบและสั่งการต่อไป

2.2.6 การสำรวจเพื่อเก็บรายละเอียดและข้อมูลในการนำมาออกแบบโครงสร้างงานสะพาน

สิ่งที่สำคัญอย่างยิ่งที่จะต้องคำนึงถึงก็คือต้องออกแบบให้ถูกต้องตามหลักการ ประหยัดและไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณใกล้เคียง โดยการจะทำให้เกิดสิ่งเหล่านี้ได้เราจะต้องทำการสำรวจให้ได้ข้อมูลที่ละเอียดและถูกต้องเพียงพออย่างครบถ้วนนั่นเอง

ดังนั้นเพื่อเป็นข้อแนะนำในการสำรวจเพื่อเก็บรายละเอียด ข้อมูลต่างๆ สำหรับนำมาประกอบในการออกแบบโครงสร้างจึงต้องสำรวจและพิจารณาข้อมูลต่างๆดังนี้

รายละเอียดซึ่งจำเป็นต้องทำการสำรวจอย่างถูกต้อง

1) B.M. ต้องระบุให้ชัดเจนว่าทำด้วยอะไร อยู่ที่ sta. ใด ควรทำไว้สองตัวเพื่อสามารถจะตรวจสอบค่าระดับได้ถูกต้อง
2) แนวทางที่ถูกต้องบริเวณคอสะพานทั้งสองข้าง ต้องระบุทิศทางที่แน่นอน มุมหักเบนมากน้อยเพียงใด ตำแหน่งของ P.I. รายละเอียด Curve – Data ทิศทางของแนวทางกับลำน้ำ

3) แนวศูนย์กลางสะพาน ต้องทำการสำรวจแนวทางทั้งสองข้างออกไปด้วย เพื่อจะสามารถใช้ควบคุมแนวศูนย์กลางที่จะทำการก่อสร้างสะพาน หรือ เพื่อกำหนด Grade line ให้ถูกต้องเหมาะสม

4) แนวสะพานที่เหมาะสม หากต้องทำการก่อสร้างสะพานจากแนวทางที่ยังไม่ได้สำรวจ โดยมีสะพานชั่วคราวอยู่ก่อนแล้ว ให้ทำการสำรวจและแก้ไขแนวให้เหมาะสมดีเสียก่อน มิใช่วางไว้ตามแนวเดิมทันทีเพราะเมื่อก่อสร้างสะพานถาวรแล้วจะกลายเป็นตัว Control แนวทางตลอด

5) การเลือกแนวสะพานข้ามลำห้วย ควรเริ่มจากลำน้ำออกไป โดยเลือกแนวสะพานก่อนแนวทาง เพราะอาจเกิดปัญหา skew เกิน limit หรืออาจต้องก่อสร้างสะพานที่มีราคาสูงเกินไปได้

6) รายละเอียดช่องลำน้ำ เขียนให้ชัดเจนบอกทิศทางน้ำไหลมุมskew เก็บรายละเอียดของลำน้ำที่ผ่านแนวทางทั้งเหนือลำน้ำและท้ายน้ำออกไปทั้งสองข้างให้เพียงพอ

7) รายละเอียดบริเวณคอสะพานทั้งสองข้าง ต้องเก็บรายละเอียดบ้านเรือน หรือโครงสร้างอื่นๆ บอกขนาด ตำแหน่ง ชนิด รวมทั้งเขตทางบริเวณคอสะพานทั้งสองข้างมาด้วย

8) ระดับน้ำ ต้องทำการสำรวจระดับน้ำอย่างรอบคอบ หาข้อเท็จจริงให้แน่นอน ตรวจสอบจากหลายๆแหล่งเพราะเป็นสิ่งที่จำเป็นมาก

9) การจราจรทางน้ำ บอกให้ชัดเจนว่ามีหรือไม่ เป็นเรือชนิดใด ขนาดใด มีกี่เที่ยวตามความเป็นจริง

10) ระดับดินเดิม ต้องทำรายละเอียด Profile ของท้องคลองและดินเดิมทั้งสองฝั่ง

11) รายละเอียดของสะพานและถนนเดิม ต้องระบุตำแหน่งของตอม่อสะพานเดิมให้ละเอียดส่งมาด้วย

12) ลักษณะดินท้องคลอง ระบุให้ชัดเจนว่าเป็นดินหรือหินชนิดใด

13) เขตการชลประทาน ต้องแจ้งรายละเอียดการควบคุมการไหลของกระแสน้ำมาด้วย

14) การเขียนแผนที่ ให้ใช้แบบตามที่กำหนด

2.3 <u>การออกแบบทางเรขาคณิตของแนวทางราบ</u>

การออกแบบทางเรขาคณิตของแนวทางราบ (Horizontol Alignment) จะต้องออกแบบให้การขับรถมีความปลอดภัย มีความต่อเนื่องที่ดี และความเร็วในแต่ละช่วงให้เป็นไปในลักษณะ Uniform speed

2.3.1 กฎเกณฑ์บางประการที่ควรยึดถือในการออกแบบแนวทางราบ

1) หลีกเลี่ยง BROKEN BACK CURVE
2) หลีกเลี่ยง COMPOUND CURVE ที่รัศมีของโค้งแตกต่างกันมาก (มากกว่า 50 %) และหากเป็นไปได้ ควรแก้ไขเป็น SIMPLE CURVE โค้งเดียว
3) ในทางที่มาตรฐานสูง และช่วงใดที่ DESIGN SPEED สูง (มากว่า 60 KPH) TRANSITION ของโค้งราบแนะนำให้ออกแบบเป็น SPIRAL CURVE
4) หลีกเลี่ยงแนวทางตรงยาวๆที่ตามด้วย SHORT CURVE
5) REVERSE CURVE ที่มีรัศมีน้อยๆควรแก้ไขให้มี TANGENT ระหว่างโค้งโดยความยาวของ TANGENT ไม่ควรน้อยกว่า 0.6 V เมตร
6) ไม่ควรให้มีแนวทางโค้ง หรือ ช่วง TRANSITION ล้ำเข้าไปในช่วงของสะพานในกรณีที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงควรให้ทุกส่วนของสะพานอยู่ใน SIMPLE CURVE
7) กำหนดค่ารัศมีความโค้งให้สอดคล้องกับ DESIGN SPEED และอัตราการยกขอบของถนน

   รัศมีความโค้ง สามารถคำนวณได้

   จากสูตร $e = 0.004v^2/R$ เมตร/เมตร

   e = อัตราการยกขอบถนน เมตร/เมตร (0.1 เมตร/เมตร เป็นค่าสูงสุด)

   v = DESIGN SPEED, KPH

   R = รัศมีความโค้ง,เมตร
8) ทุกจุดวิกฤตของถนน เช่น ทางแยก ทางเชื่อม โค้งตั้ง สะพาน ฯลฯ จะต้องให้มี STOPPING DISTANCE เพียงพอ

2.3.2 หลักเกณฑ์ของความสัมพันธ์ระหว่างแนวทางราบและระดับ

1) จำนวนโค้งนอนและโค้งตั้งจะต้องสมดุลกัน โดยทั่วไปการเคลื่อนที่ในระนาบหนึ่งระนาบใดไม่ควรจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันในอีกระนาบหนึ่ง เช่น โค้งราบสั้นๆบนทางลาดชันที่เปอร์เซ็นต์ความลาดชันค่อนข้างคงที่ จะทำให้เกิดภาพลวงตาและมีลักษณะเป็นมุมหักแก่ผู้ขับรถ แต่ที่พบส่วนมากมักเป็นแบบโค้งตั้งสั้นๆและถี่ปรากฏในโค้งราบ(ดูรูปที่2.3 และ รูปที่ 2.4) โดยปกติการออกแบบโค้ง

ตั้งอาศัย minimum stopping sight distance ซึ่งมีข้อจำกัดอยู่แล้วถ้าเป็นถนนที่ต้องการความเร็วสูงความยาวโค้งจะยาวกว่าค่าminimum stopping sight distance และควรจะลดจำนวนโค้งตั้งลงทั้งนี้เพื่อให้จำนวนโค้งตั้งและโค้งนอนใกล้เคียงกัน (ดูรูปที่ 2.5)

2) โค้งตั้งและโค้งนอนควรจะเป็นไปในลักษณะเดียงกัน (Coincide) จุด P.I. หรือจุด PVI ควรจะใกล้เคียงกัน (ดูรูปที่ 2.6)
3) ความยาวของแนวทางตรง (Tangent) และโค้งควรจะสมดุลกันถนนที่มีแนวทางตรงยาวๆแต่ความยาวโค้งสั้นๆ (Long Tangent – Short Curve) ควรจะหลีกเลี่ยงเป็นอย่างยิ่ง โดยแก้ไขให้ความยาวโค้งเพิ่มขึ้นและลด Tangent ลง การแก้ไขในลักษณะเช่นนี้จะทำให้ความเร็วของคนขับรถเป็นไปในลักษณะ Uniform Speed เป็นการช่วยเพิ่มความปลอดภัยแก่ผู้ขับรถ (ดูรูปที่ 2.7)
4) ควรหลีกเลี่ยง Compound Curve ที่รัศมีหรือ Degree of Curve แตกต่างกันมากๆ และไม่ควรให้โค้งที่มีรัศมีสั้นๆตามหลังโค้งที่มีรัศมียาวมากๆ (ดูรูปที่ 2.8)
5) ควรหลีกเลี่ยงโค้งตั้งบนทางที่มีความลาดชันมากๆเพราะจะทำให้มองดูคล้ายถนนขึ้นสวรรค์คนขับรถจะรู้สึกเสียวไส้ นอกเสียจากว่าโค้งตั้งลักษณะนี้มีธรรมชาติด้านหลังบังอยู่ (Landscape Backdrop)วิธีการแก้ไขให้ดีขึ้นโดยการปรับปรุงให้มีโค้งนอนประสานกับโค้งตั้ง ทำให้คนขับเห็นแนวถนนช่วงถัดไปได้ดีขึ้น หรือหากปรากฏว่าโค้งตั้งชันๆสั้นๆอยู่ในโค้งนอนในภูมิประเทศเป็นที่ราบ จะทำให้ระยะมองเห็นสั้นลงการแก้ไขควรจะเพิ่มความยาวโค้งตั้ง ลดเปอร์เซ็นต์เกรดลงและปลูกต้นไม้ช่วยจะทำให้ได้แนวทางที่ดีขึ้น (ดูรูปที่ 2.9 และ รูปที่ 2.10)
6) ให้หลีกเลี่ยงแนวทางและระดับที่ทำให้เกิดการสูญเสียระยะมองเห็น (Sight Loss) บางครั้งจะพบว่าถนนบางช่วงเข้าลักษณะเดี๋ยวมองเห็นเดี๋ยวมองไม่เห็นแนวทางโค้งข้างหน้าโดยปกติมักจะปรากฏในช่วงที่มีโค้งตั้งสั้นๆและถี่ วิธีการแก้ไขให้ปรับแนวทางใหม่ทั้งโค้งตั้งและโค้งนอน ปลูกต้นไม้ช่วยและปรับปรุงภูมิประเทศข้างทาง
7) โค้งหงาย (Sag vertical curve) บน Tangent ยาวๆจะเกิดเป็นจุดหักของระดับก่อสร้าง ควรจะแก้ไขให้มีความยาวโค้งเพียงพอ โดยใช้หลักว่าระยะที่มองเห็นโค้งครั้งแรก (The initial viewing distance)จะต้องเท่ากับหรือใกล้เคียงกับความยาวโค้ง (ดูรูปที่ 2.11)

8) กฎเกณฑ์อีกอย่างหนึ่งของการผสมกลมกลืนระหว่างโค้งนอนและโค้งตั้ง คือ ณ ช่วงหนึ่งช่วงใดของถนนการเปลี่ยนแปลงจำนวนโค้งนอนไม่ควรเกิน 2 ครั้ง (2 Breads Maximum) ต่อการเปลี่ยนแปลงโค้งตั้ง 3 ครั้ง (3 Breads Maximum) (ดูรูปที่ 2.12)

2.3.3 การออกแบบโค้ง (Curve Design)

เมื่อรถวิ่งเข้าทางโค้ง การเปลี่ยนทิศทางของการเคลื่อนที่จะทำให้เกิดแรงหนีศูนย์กลางซึ่งจะถูกต้านทานโดยแรงเสียดทานระหว่างล้อกับผิวถนน และแรงเนื่องจากการยกขอบถนน (Super elevetion)อย่างไรก็ตามแม้ว่าได้ออกแบบตามมาตรฐาน (Standards) เกี่ยวกับโค้งอย่างดีแล้วก็ตาม อุบัติเหตุก็ยังเกิดขึ้นจนได้ ทั้งนี้ยังมีองค์ประกอบบางสิ่งบางอย่างที่ไม่ได้กล่าวไว้อย่างครบถ้วนในมาตรฐานเหล่านั้น เช่น

- คนขับรถมักจะใช้ความเคยชินของช่วงที่ขับมาแล้ว และไม่ได้ลดความเร็วเมื่อเข้าสู่โค้งอันตราย
- คนขับอาจจะขับรถแบบพลิกแพลงช่วงเข้าโค้ง เช่น ทำการแซง เปลี่ยนช่องจราจร คนขับรถดังเช่นว่านี้จะไม่ทำให้รถวิ่งตามรัศมีความโค้งที่ได้ออกแบบไว้
- โค้งนอนในช่วงลาดลง (down grade) ขณะเปลี่ยนทิศทางจากแนวตรงสู่โค้ง จะเกิดแรงกระทำกับตัวรถเพิ่มขึ้นกว่าที่ได้ประมาณไว้ในตารางมาตรฐานทั่วไป
- โดยทั่วไปในช่วงปรับ (Transition) จากแนวตรงสู่แนวโค้ง การยกขอบถนนส่วนหนึ่งได้กระทำในแนวตรง และส่วนหนึ่งในแนวโค้ง แต่กระนั้นก็ตามผลของมันก็ยังทำให้การขับรถไม่นิ่มนวลพอ กล่าวคือ เมื่อคนขับขับรถเข้าช่วงปรับช่วงแรกที่ได้ยกขอบถนนไว้ เขาจะบิดพวงมาลัยเล็กน้อยเพื่อต้านกับความลาดเอียง แต่เมื่อเข้าโค้ง เขาจำเป็นต้องหมุนพวงมาลัยกลับไปตามแนวโค้ง Spiral Curve การแก้ไข โดยใช้ Transition Spiral ช่วยให้การขับรถนิ่มนวลและสบายยิ่งขึ้น ความยาวนี้อาจจะคำนวณได้จากสูตรของ

Short t, $L_s = 3.15v^3/RC$ **, ft (min)**

เมื่อ V = ความเร็วของรถ , kph

R = รัศมีของความโค้ง (ft)

C = อัตราเพิ่มของ Centripetal acceleration

โดยปกติมีค่า 1 – 3 โดยทั่วไปใช้ C = 2 หรือคำนวณได้จากการยกขอบถนน (Super elevation) โดยสมมุติทีแรกว่าเป็น Simple Curve คำนวณหาค่า Transition Length (T_s) และเพื่อให้การขับรถได้อย่างนิ่มนวลโดยใช้ Spiral Transition ควรกำหนดค่า $L_s = T_s$

ตาราง 2.2 ความยาวของ Spiral Transition (ft.)

Design Speed (kph)	Centripetal Acceleration		L_s Super elevation Run off(min) 2-lane Traveled Way (AASHO)
	C = 2 (min)	C = 1 (desirable)	
30	150	300	140
40	220	440	170
50	260	520	190
60	300	600	220
70	330	660	240

จะเห็นว่าค่า Transition Spiral จาก Assumption ต่างๆกันจะแตกต่างกันมากในการออกแบบจริงๆให้เลือกเอาตามความเหมาะสมของภูมิประเทศ ทั้งนี้ให้ยึดหลักว่าหากใช้ L_s มากกว่าค่า Minimun จาก Standards จะทำให้การขับรถเข้าสู่โค้งรู้สึกนิ่มนวลขึ้น

Compound Curve : โค้งตั้งแต่สองโค้งขึ้นไปต่อเนื่องกัน และรัศมีแตกต่างกันมากเป็นสิ่งควรหลีกเลี่ยง ควรจะแก้ไขเป็น Simple Curve โค้งเดียว และถ้าหากไม่สามารถแก้ไขได้ รัศมีของสองโค้งติดกันไม่ควรเกิน 50 %

Reverse Curve : (โค้งตั้งแต่สองโค้งต่อเนื่องกัน แต่ทิศทางตรงข้ามกัน) ในกรณีที่จำเป็นต้องใส่ Reverse Curve ควรจะใช้

1) Transition Spiral

2) รัศมีของความโค้งมากๆ

3) ในกรณีที่รัศมีของความโค้งน้อยๆควรจะแก้ไขให้มี Tangent เชื่อมระหว่างโค้งโดยให้ความยาวของ Tangent ไม่น้อยกว่า 0.6v เมตร (v = Design speed , kph) ทั้งนี้เพื่อ

3.1) เพื่อให้รถได้วิ่งภายใน Lane ช่วงเปลี่ยนจากโค้งหนึ่งสู่อีกโค้งหนึ่ง

3.2) เพื่อให้ระยะพอที่จะจัดระยะของการยกขอบถนนได้

Broken Back Curve : คือโค้งสองโค้งในทิศทางเดียวกัน เชื่อมด้วย Short Tangent ที่สั้นกว่า 0.75v เมตร (v = Design Speed, kph) โค้งลักษณะนี้ควรจะหลีกเลี่ยงเป็นอย่างยิ่ง ควรจะแก้ไขเป็น Simple Curve โค้งเดียว ในกรณีที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ใช้การยกขอบถนนช่วง Short tangent ช่วย โดยรักษาอัตราการยกขอบถนนของช่วงนี้ เช่นเดียวกับช่วงตอนออกจากโค้ง

2.3.4 DESIGN SPEED

จุดประสงค์อันสำคัญของค่า Design Speed เพื่อให้การออกแบบถนนแยกประเภทให้ขับรถได้ตามความเร็วที่กำหนด เป็นความเร็วสูงสุดที่ให้ความปลอดภัยแก่ผู้ขับรถ องค์ประกอบบางอย่างที่ต้องทำให้ต้องลดค่า Design Speed ลง เช่น ภูมิประเทศที่เป็นภูเขา หรือในย่านชุมชนหนาแน่น แต่อย่างไรก็ตามควรรักษาค่า Design Speed ให้มีลักษณะคงเส้นคงวา (Consistency) ให้มากที่สุด ณ จุดที่ใกล้เคียง ไม่ควรเปลี่ยนค่า Design Speed มากเกินไป เช่น โค้งอันตรายที่ต้องปลดค่า Design speed อย่างกระทันหันจะเป็นจุดที่เกิดอุบัติเหตุมากที่สุด จึงควรแก้ไขโค้งอันตรายเหล่านี้ โดยให้มีค่า Design speed เท่ากันหรือมีค่าใกล้เคียงกับส่วนอื่นของถนน ผู้ออกแบบควรจะ plot speed profile ทุกๆช่วงของถนนเพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของค่า Design Speed และเพื่อเป็นแนวทางที่จะปรับปรุงแนวทางและระดับก่อสร้าง เพื่อให้บรรลุจุดประสงค์ที่จะให้ค่า Design Speed มีลักษณะ Uniform หรือ Consistency มากที่สุด ถ้าปรากฏว่าในส่วนใหญ่ของถนนให้ค่า Design Speed สูง การแก้ไขช่วงที่ Design speed ต่ำ ให้มีค่าสูงขึ้น ควรจะกระทำเป็นอย่างยิ่ง การเลือกค่า Design Speed และการแก้ไขปรับปรุงค่า Design Speed บางช่วงอย่างเหมาะสมจะเพิ่มความปลอดภัยแก่ผู้ขับรถได้มาก

2.3.5 SUPER ELEVATION และ TRANSITION LENGTH AND PAVEMENT WIDENING

เป็นที่ทราบกันดีว่าในขณะที่รถวิ่งบนทางโค้งจะเกิดแรงหนีศูนย์กลางกระทำกับตัวรถและหากแรงนี้มากพอจะทำให้รถพลิกคว่ำหรือแหกโค้งได้ ดังนั้นในการออกแบบในแนวโค้ง สิ่งที่สำคัญที่สุดที่ผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาคือ การยกขอบถนน (Transition Length) ให้ถูกต้อง

เหมาะสมกับความเร็วของรถ รัศมีเลี้ยวโค้ง จึงจะทำให้เกิดความปลอดภัยแก่ผู้ขับรถมากที่สุด อัตราการยกขอบถนนสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$e + f = v^2/127R$$

ในเมื่อ e = อัตราการยกขอบถนน เมตร/เมตร

f = สัมประสิทธิ์ของความเสียดทานระหว่างล้อกับผิวถนน

v = ความเร็วของรถ กม./ชม.

R = รัศมีความโค้ง เมตร

กล่าวอีกนัยหนึ่ง แรงหนีศูนย์กลางสามารถสมดุลได้ด้วยแรงสองแรง คือแรงเนื่องจากการยกขอบถนน (e) และแรงเนื่องจากความเสียดทาน (f) โดยทั่วไปจากผลของการทดลองในทางปฏิบัติหากพิจารณาเฉพาะแรงเนื่องจากการยกขอบถนนจะได้ว่า

$$e = 0.004\, v^2/R \quad \text{เมตร/เมตร}$$

(และ 0.10 เมตร/เมตร เป็นค่าสูงสุด)

ในขณะเดียวกันบริเวณทางโค้ง เมื่อรถเลี้ยวโค้งล้อหลังของรถจะกินเข้ามาด้านในโค้งและล้ำเข้ามาในผิวจราจรของรถที่สวนมา เป็นบริเวณที่เกิดอุบัติเหตุรถชนกันได้ง่าย เราจึงจำเป็นต้องขยายผิวจราจรบริเวณของโค้งให้กว้าง ความกว้างของผิวจราจรที่จะขยายขึ้นอยู่กับรัศมีเลี้ยวโค้ง ความเร็วของรถ ขนาดของรถ ความกว้างของช่องจราจรเดิม

ตาราง 2.3 แสดงค่า v, R, e, และ f

Design Speed , v (kph)	Radius , v , (M)		สัมประสิทธิ์ของความเสียดทาน		Super elevation (e) (m/m)	
	Desirable	Min.	ลาดยางหรือผิวคอนกรีต	ลูกรัง	Desirable	Max.
40	50	40	0.19	0.14	0.06	0.12
50	90	70	0.17	0.12	0.06	0.12
60	130	105	0.16	0.11	0.06	0.10
80	255	195	0.14	0.10	0.06	0.10
100	440	330	0.12	0.09	0.06	0.10
120	670	495	0.11	0.08	0.06	0.10

วิธีการยกขอบถนนและการคำนวณหาค่า Transition

การยกขอบถนนกระทำได้ 3 วิธี คือ

1.) หมุนผิวจราจรรอบศูนย์กลางทาง (Revolt Pavement about its center line) ใช้ในกรณีที่คันทางไม่สูงไม่ต่ำจนเกินไป

2.) หมุนผิวจราจรรอบขอบใน (Revolt Pavement about inner edge of Pavement) ใช้ในกรณีที่คันทางค่อนข้างต่ำ ระดับน้ำอยู่สูง

3.) หมุนผิวจราจรรอบขอบนอก (Revolt Pavement about outer edge of Pavement) ใช้ในกรณีที่คันทางค่อนข้างสูง ระดับน้ำต่ำ หรือในงานภูเขา

2.3.6 SIGHT DISTANCE

แทบจะกล่าวได้ว่า Sight Distance เป็นองค์ประกอบอันสำคัญที่สุดในการออกแบบถนน ที่มีผลต่อความปลอดภัยแก่ผู้ขับรถ เป็นระยะยาวที่เพียงพอที่ผู้ขับรถสามารถมองเห็น แปลภาพที่มองเห็นที่ปรากฏด้านหน้าของเขา และตัดสินใจอย่างเหมาะสมเพื่อไม่ให้เกิดอุบัติเหตุ เช่น ชะลอความเร็วของรถ หยุดรถ ฯลฯ มีข้อสมมุติบางอย่างเกี่ยวกับการคำนวณหา Sight Distance คือ

1) ระยะเวลาของการรับรู้ของคนเราโดยทั่วไปก่อนจะมีปฏิกิริยากระทำการอย่างหนึ่งอย่างใด เช่น ระยะเมื่อเริ่มเห็นจนกระทั่งเหยียบเบรค เพื่อชะลอหรือหยุดรถเราเรียกเวลาช่วงนี้ว่า Perception Reaction Time โดยปกติคนเราจะใช้เวลาประมาณ 2.5 วินาที กล่าวคือ ระยะเวลารับรู้ (Perception Time) 1 วินาที และระยะเวลาตอบสนอง (Reaction Time) 1.5 วินาที

2) ความสูงของสายตาคนขับ (ทั้งผู้ขับรถไปและขับรถสวน) ใช้ 3.75 ft. หรือ 1.15 เมตร และความสูงของวัตถุ 0.6 ฟุต หรือ 0.20 เมตร

3) สภาพของผิวถนนเปียก และยางรถไม่ดี

4) สภาพอากาศดีและแสงสว่างเพียงพอ

จากมาตรฐานของ AASHO เกี่ยวกับ Sight Distance ได้แบ่งออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ คือ

(1) Sight Distance ตามความยาวที่ผู้ขับรถสามารถมองไปได้ไกลที่สุด

(2) ระยะหยุดรถที่ปลอดภัย (Safe Stopping Sight Distance)

(3) Passing Sight Distance บนทางหลวง 2 ช่องจราจร

2.3.6.1 STOPPING SIGHT DISTANCE (SSD)

เป็นระยะที่น้อยที่สุดที่คนขับรถด้วย Design Speed ค่าหนึ่งสามารถหยุดรถได้ทันก่อนที่จะชนวัตถุที่ขวางอยู่ข้างหน้า ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$SSD = 0.28\,vt + \frac{0.0039\,v^2}{(f + 0.01G)} \quad \text{เมตร}$$

ในเมื่อ v = ความเร็วรถ

t = Perception and reaction Time (วินาที)

f = สัมประสิทธิ์ของความเสียดทานระหว่างล้อรถและผิวถนน

G = เปอร์เซ็นต์ความลาดชันของถนน

ความลาดชันลง (down grade) = -

ความลาดชันขึ้น (up grade) = +

ตาราง 2.4 แสดงค่า Stopping Distanceบนทางราบ (สำหรับผิวทางลาดยางหรือผิวคอนกรีต)

Design Speed ก.ม./ ชม.	Stopping Distance (จากการคำนวณ) เมตร	Stopping Distance (การนำไปใช้) เมตร	สัมประสิทธิ์ของความเสียดทาน
40	40	40	0.52
50	55	60	0.50
60	73	80	0.47
70	93	100	0.45
80	116	120	0.43
90	142	150	0.41
100	172	180	0.39
120	249	150	0.37
130	197	300	0.33

ค่า Stopping Distance นี้ นำไปประยุกต์ใช้ในหลายๆ กรณี เพื่อความปลอดภัยแก่ผู้ขับขี่ ดังนี้

- การกั้นเขตทางบริเวณทางแยก เพื่อการมองเห็นสำหรับการหยุดรถ หรือเพื่อการปรับตัวได้ทัน
- การกำหนดตำแหน่งทางเชื่อม ฯลฯ บริเวณใกล้ทางแยก ใกล้สะพาน ฯลฯ
- ฯลฯ

ตารางที่ 2.5 มาตรฐานของ AASHO ได้กำหนดค่า SSD ไว้กว้างๆ ดังนี้

Design speed (mph)	30	40	50	60	65	70	75	80
Min.SSD (Feet)	200	275	350	475	550	600	675	750

ในกรณีที่เป็นทางหลวงพิเศษ หรือทางหลวงที่ต้องการให้รถวิ่งได้ด้วยความเร็วสูงๆ ควรจะใช้ค่า SSD มากกว่าค่า minimum SSD ตาม Standard เพื่อความปลอดภัยแก่ผู้ขับรถ ทั้งเนื่องนี้จากเหตุผลว่า

1. โดยปกติผู้ขับรถไม่ค่อยลดความเร็ว แม้ว่าผิวจราจรจะเปียก
2. สภาพของยางรถบางคันอาจจะลื่น
3. คนขับรถบางคนต้องการเวลาตัดสินใจมากกว่าปกติ

ดังนั้นควรเผื่อค่า SSD จากค่า Minimum SSD ประมาณ 10 – 40 % (Desirable SSD)

TE
209
ส4361 ก
2543

- 3 ก.ค. 2544
4440190

25
สำนักหอส

2.3.6.2 OVERTAKING SIGHT DISTANCE (PASSING SIGHT DISTANCE)

บนทางหลวง 2 ช่องจราจร จะต้องจัดให้มีระยะมองเห็นยาวพอที่จะทำการแซงและหลบเข้าเลนเดิมได้อย่างสบายและปลอดภัยก่อนที่จะชนกับรถคันที่สวนมา ในกรณีของ Vertical crest curve จะไม่นิยมออกแบบให้มี Sight Distance เพียงพอเพื่อการแซง (No- Overtaking Zone) เพราะจะเป็นการสิ้นเปลืองในการก่อสร้าง เนื่องจากต้องเพิ่มความยาวของโค้งตั้งมาก ใช้ Assumption ของ Stopping Sight Distance ในการคำนวณหาความยาวของ Crest Curve

2.3.6.3 INTERMEDIATE SIGHT DISTANCE

คือระยะมองเห็นที่ได้จัดไว้ เพื่อให้รถสองคันที่ขับด้วยความเร็วเดียวกัน สามารถหยุดได้ทันก่อนที่จะชนกัน สมมุติให้ความสูงของสายตาของคนขับทั้งสองเท่ากับ 1.15 เมตร ระยะทางนี้จะเป็น 2 เท่าของ Stopping Sight Distance

2.3.6.4 SIGHT DISTANCE – HORIZONTAL CURVE

ในทางโค้ง ในกรณีที่มีวัตถุหรือสิ่งก่อสร้าง เสาสะพาน Cut Slope ฯลฯ เป็นตัวบังคับรัศมีน้อยที่สุดของโค้ง คำนวณได้จาก Stopping Sight Distance และสามารถหาระยะ Off Set (m) ในกรณีที่ทราบค่า R และ Design Speed ฯลฯ

เทคนิคการออกแบบที่กล่าวมาแล้วนี้ จุดมุ่งหมายอันสำคัญเพื่อให้การขับรถมีความปลอดภัยมากที่สุด ไม่ได้คำนึงถึง Balanced Cut และ Fill ดังนั้นจะเห็นได้ว่าหากการออกแบบจำเป็นต้องเพิ่มงาน Cut และ Fill และทำให้ค่าก่อสร้างสูงขึ้นในอัตราที่ไม่มากจนเกินไป

วิธีการออกแบบข้างทางให้มีความปลอดภัย(Roadside Safety)

วิศวกรออกแบบ นอกจากจะออกแบบให้ตัวถนนมีความสมดุลให้ความปลอดภัยแก่ผู้ใช้ถนนแล้ว ต้องคำนึงถึงองค์ประกอบต่างๆ ข้างถนนด้วย เพื่อป้องกันหรือลดความรุนแรงของอุบัติเหตุ โดยใช้เครื่องไม้เครื่องมือ หรืออุปกรณ์ต่างๆช่วย เช่น BARRIER , GUARDRAIL , GUIDE

POST , BREAKAWAY DEVICES , ไฟฟ้าแสงสว่าง และไฟสัญญาณ การทาสีตีเส้นบนผิวทาง ป้ายจราจร ฯลฯ

2.4 การออกแบบทางเรขาคณิตของแนวทางดิ่ง

แนวทางดิ่ง (Vertical alignment) คือ การกำหนดความลาดชันและระดับก่อสร้างของทาง ซึ่งประกอบด้วยเส้นตรงและโค้งทางดิ่งซึ่งเป็นโค้งพาราโบลา (Parabolic Curve)

2.4.1 การออกแบบระดับก่อสร้าง (Grade line design)

การออกแบบระดับก่อสร้างต้องพิจารณาถึงความสะดวก รวดเร็ว และปลอดภัย ประหยัดค่าก่อสร้าง ค่าบำรุงรักษาตลอดจน ค่าใช้ทาง (road user cost) ซึ่งมีหลักการออกแบบโดยทั่วไปดังนี้

1) ต้องเป็นไปตามมาตรฐานชั้นทางและลักษณะของภูมิประเทศที่กำหนดให้ลาดชันสูงสุดไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด
2) ไม่ควรออกแบบระดับก่อสร้างในแต่ละช่วงลาดชันมาก หรือเปลี่ยนอย่างกระทันหัน และในแต่ละช่วงเป็นระยะทางสั้นๆซึ่งมีลักษณะเป็นลูกคลื่น ควรออกแบบให้ค่อยๆ เปลี่ยนไปตามลักษณะส่วนใหญ่ของภูมิประเทศ โดยให้ความรู้สึกเป็นเส้นที่ต่อเนื่องกัน และให้ระดับก่อสร้างในแต่ละช่วงยาวที่สุดเท่าที่จะทำได้ แต่ต้องคำนึงถึงระยะการไต่ลาดชันวิกฤต (critical length of grade) ด้วย
3) วัสดุโครงสร้างชั้นทาง (pavement structure) ชั้นล่างสุดจะต้องอยู่สูงจากระดับน้ำสูงสุดอย่างน้อย 30 ซม.
4) การออกแบบถนนที่อยู่บนดินอ่อน ต้องพิจารณาถึงการทรุดตัวของถนนกับอายุการใช้งาน ความสูงวิกฤต (critical hight) ระดับน้ำใต้ดิน และความมั่นคงแข็งแรงของคันทาง ถ้าออกแบบระดับก่อสร้างไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดความวิบัติ (failure) ของคันทางได้
5) งานบูรณะลาดยางผิวทางเดิมที่สามารถนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างชั้นทางใหม่ได้ ระดับก่อสร้างกำหนดโดยใช้ความหนาของวัสดุที่เสริมทับบนผิวทางเดิมและค่าระดับน้ำสูงสุด

6) ทางในย่านชุมชน การกำหนดระดับก่อสร้างจะต้องพิจารณาถึงความสูงของอาคารสองข้างทาง หรือเขตทางที่แคบเป็นเหตุให้ตีนคันทาง (toe slope) ล้ำเข้าอาคาร หรืออยู่นอกเขตทาง

7) การปรับระดับก่อสร้างให้เข้ากับถนน ทางแยก สะพาน ที่ได้มาตรฐานแล้ว ควรให้มีระยะปรับระดับ (transition) ยาวเพียงพอ

8) ระยะมองเห็น (sight distance) ต้องมีระยะยาวเพียงพอต่อการแซงรถและหยุดรถ (passing and stopping sight distance) ได้ด้วยความปลอดภัย โดยให้มีความยาวโค้งตั้งไม่น้อยกว่าค่าที่แสดงไว้ในตาราง 2.7 และอาจใช้ความยาวโค้งตั้งมากกว่าค่าที่แสดงไว้ในตารางได้ เพื่อแก้ปัญหาการตัดลึกถมสูง

9) ไม่ควรออกแบบให้มีระยะตรง (tangent) ระหว่างสองโค้งที่อยู่ใกล้เคียงกันสั้นจนเกินไป

10) บริเวณทางแยก บริเวณที่มีผู้ใช้ทางจักรยานมากและบริเวณสะพาน ให้กำหนดระดับก่อสร้างลาดชันน้อยที่สุด ในบริเวณทางแยก บริเวณที่มีผู้ใช้ทางจักรยานมากให้ลาดชันไม่เกิน 2% และบริเวณสะพานไม่เกิน 6%

11) ทางในที่เนินและภูเขา

11.1) ให้พิจารณากำหนดระดับก่อสร้างให้มีลาดชันน้อยที่สุดเท่าที่ลักษณะภูมิประเทศจะอำนวยให้ความลาดชันต้องไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด และไม่ยาวเกินไปจนเป็นเหตุให้ความเร็วของรถที่ไต่ลาดชันลดลงมากเกินพิกัดที่กำหนด (25 kph)

11.2) ในกรณีที่ลักษณะภูมิประเทศลาดชันเป็นระยะทางยาว ควรออกแบบให้ระดับก่อสร้างที่ชันกว่าอยู่ช่วงเริ่มต้นขึ้นเนินและลดลงบริเวณยอดเนิน และไม่ควรออกแบบให้มีระดับก่อสร้างระดับเดียวกันยาวมากเกินไป ควรมีระดับก่อสร้างที่ราบหรือลาดชันน้อยเป็นระยะๆ เพื่อให้รถสามารถเพิ่มความเร็วได้

11.3) พยายามกำหนดระดับก่อสร้างให้มีปริมาณงานดินตัดใกล้เคียงกับปริมาณงานดินถม เพื่อลดปัญหาการนำดินตัดส่วนเกินไปทิ้ง หรือลดปัญหาการนำดินจากที่อื่นมาถม ซึ่งเป็นการช่วยลดค่างานก่อสร้าง

11.4) พยายามกำหนดระดับก่อสร้างให้รูปตัดคันทางเป็นรูปตัดเต็มพื้นคันทาง (full cut) หรือตัดบางส่วน (partial cut partial fill) เพื่อลดค่างานก่อสร้าง

12) ในช่วงลำน้ำที่ต้องออกแบบเป็นสะพาน กรณีที่ไม่มีการสัญจรทางน้ำหรือสิ่งของลอยน้ำ ระดับก่อสร้างกำหนดโดยค่าระดับน้ำสูงสุด ความสูงของช่องลอดและความหนาของพื้นสะพาน กรณีที่มีการสัญจรทางน้ำหรือสิ่งลอยน้ำระดับก่อสร้างกำหนดโดยค่า

ระดับน้ำสูงสุด ความสูงของช่องลอด ความสูงของสิ่งลอยน้ำหรือการสัญจรทางน้ำ และความหนาของพื้นสะพาน

12.1)ช่องลอด

ก. หากไม่มีสิ่งลอยน้ำให้ใช้ 0.50 – 0.70 เมตร

ข. สำหรับเรือแจวหรือเรือเล็กให้ใช้ 1.50 เมตร

ค. สำหรับเรือของกรมชลประทานให้ใช้ 3.80 เมตร

ง. หากมีซุงหรือ ขอนไม้ ฯลฯ ให้ใช้ประมาณ 1.00 เมตร

จ. ในกรณีพิเศษให้กำหนดตามลักษณะของความสูงพิเศษนั้นๆ

12.2)ความหนาของพื้นสะพาน

ก. สำหรับแผ่นพื้น (slab type) ประมาณ 53 ซม. (span 10 เมตร)

ข. สำหรับ Box Girder ประมาณ 73 ซม. (span 20 เมตร)

ค. สำหรับ I - Girder ประมาณ 110 ซม. (span 30 เมตร)

การออกแบบระดับก่อสร้างตามที่กล่าวมาแล้วเป็นแนวทางในการออกแบบเท่านั้น ซึ่งขึ้นกับข้อมูลการออกแบบและประสบการณ์ของผู้ออกแบบ ทั้งนี้ จะต้องพิจารณาถึงความสะดวกรวดเร็ว และปลอดภัย ประหยัดค่าก่อสร้าง ค่าบำรุงรักษา และค่าใช้ทาง ความสะดวกสบายในการขับรถ ความสวยงามของทาง ความเหมาะสมในทางปฏิบัติและถูกต้องตามหลักวิชาการด้วย

2.4.2 ระยะการไต่ลาดวิกฤต (Critical length of grade)

ระยะการไต่ลาดวิกฤต คือ ความยาวของการขึ้นลาดชันที่ออกแบบให้รถบรรทุกสามารถไต่ขึ้นได้โดยความเร็วไม่ลดลงมากเกินไป ซึ่งเป็นเหตุให้รถวิ่งช้ามากและกีดขวางการจราจรประเภทอื่น ในการขึ้นที่ลาดชันความเร็วของรถบรรทุกขึ้นอยู่กับความลาดชัน ระยะทางที่ไต่ลาด น้ำหนักต่อกำลังของรถบรรทุก ความเร็วก่อนการไต่ลาด และความชำนาญของผู้ขับขี่ โดยทั่วไปการออกแบบจะพิจารณาถึงความเร็วของรถบรรทุกให้ลดลงได้ไม่เกินกว่า 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เมื่อถึงปลายของลาดชันเมื่อเทียบกับความเร็วก่อนการไต่ลาด ถ้าหากจำเป็นต้องใช้ลาดชันยาวเกินกว่าระยะการไต่ลาดชันวิกฤตและปริมาณรถมากจำเป็นต้องเพิ่มช่องทางวิ่งสำหรับรถบรรทุกที่วิ่งช้า ช่องทางวิ่งที่เพิ่มขึ้นนี้มีชื่อว่า climbing lane

2.4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความลาดชันสูงสุดกับความเร็วที่ออกแบบ

ในทางหลวงสายหลัก (Main highway) ความสัมพันธ์ระหว่างความลาดชันสูงสุดกับความเร็วที่ใช้ออกแบบได้แสดงไว้ในตารางข้างล่าง กรณีที่ระยะการไต่ลาดชันสั้นกว่า 150 เมตร ให้เพิ่มอีก 1% จากค่าที่แสดงไว้ในตาราง และในกรณีของทางหลวงนอกเมือง (rural highway) ที่มีปริมาณการจราจรน้อย ให้เพิ่มความลาดชันอีก 2% จากค่าที่แสดงไว้ในตาราง

ตาราง 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลาดชันสูงสุดกับความเร็วที่ใช้ออกแบบ

ลักษณะภูมิประเทศ	ความเร็วที่ใช้ออกแบบ กม./ ชม.				
	40	50	65	80	100
ที่ราบและลูกเนิน (flat & rolling)	7%	6%	5%	4%	3%
ภูเขา (hilly)	8%	7%	6%	5%	4%
ภูเขาสูง (mountainous)	10%	9%	8%	7%	6%

2.4.4 โค้งทางดิ่ง (Vertical Curve)

โค้งทางดิ่งคือ โค้งที่ใช้เชื่อมความลาดชันสองลาดที่ต่อเนื่องกันเข้าด้วยกัน เพื่อให้การเปลี่ยนลาดชันค่อยๆเปลี่ยน สำหรับกรณีที่ความลาดชันตัดกันแล้ว ผลรวมทางพีชคณิตของความลาดชันทั้งสองไม่เกิน 0.5% ไม่จำเป็นต้องใช้โค้งทางดิ่ง ส่วนการวัดระยะทางในทางดิ่งนั้น ให้วัดระยะทางไปตามระยะราบ (Horizontal projection)

โค้งดิ่ง แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

ก. โค้งทางดิ่งหงาย (Sag Vertical Curve)

ข. โค้งทางดิ่งคว่ำ (Crest Vertical Curve)

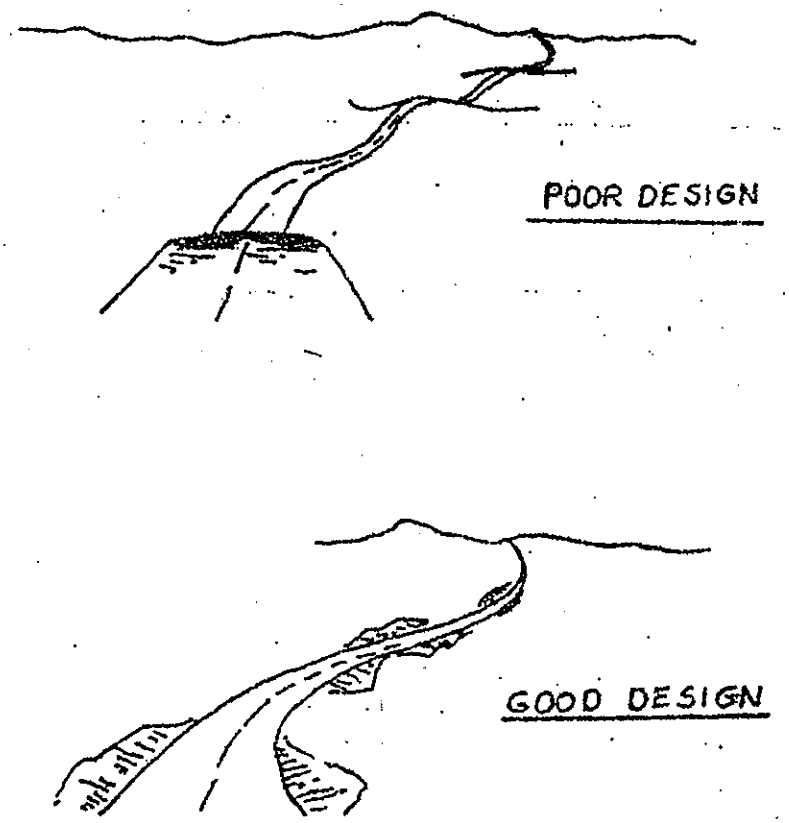
โค้งทางดิ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

ก. โค้งสมมาตร (Symmetrical Curve) คือโค้งที่มีความยาวแต่ละข้างของจุดตัดโค้งดิ่งเท่ากัน

ข. โค้งไม่สมมาตร (Unsymmetrical Curve) คือโค้งที่มีความยาวแต่ละข้างของจุดตัดโค้งดิ่งยาวไม่เท่ากันปกติจะให้ความยาวโค้งแต่ละข้างยาวไม่เกิน 2 เท่า

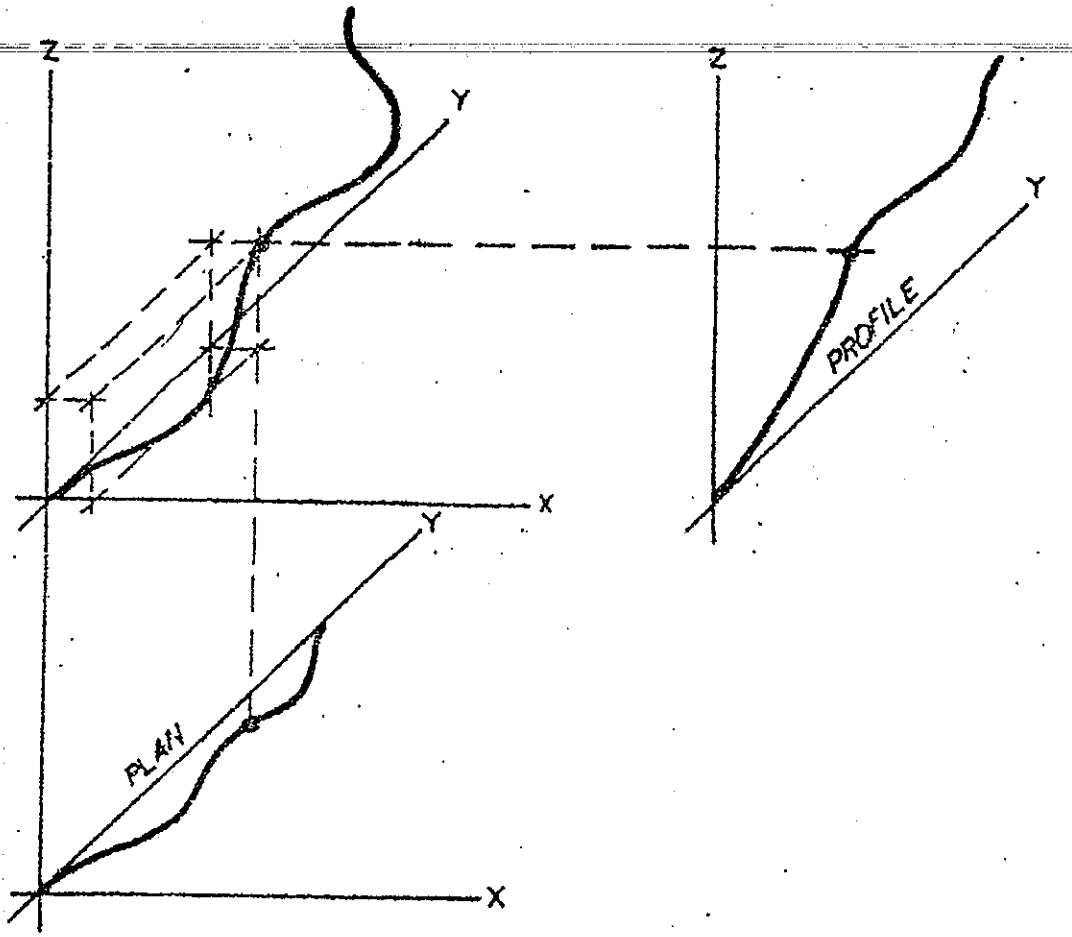
ตารางที่ 2.7 BASED ON STOPPING SIGHT DISTANCE

ALGEBRAIC DIFFERENCE IN GRADES (%)	LENGTHS OF VERTICAL SAG CURVES (M.)						LENGTHS OF VERTICAL CREST CURVES (M.)					
	SPEED (K.P.H.)						SPEED (K.P.H.)					
	40	50	60	70	80	90	40	50	60	70	80	90
1	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
2	50	50	50	50	50	70	50	50	50	50	70	100
3	50	50	50	60	80	80	50	50	50	70	100	140
4	50	50	60	80	100	130	50	50	60	90	130	190
5	50	60	80	100	130	160	50	50	70	110	160	230
6	50	70	90	120	150	190	50	60	80	130	170	280
7	50	70	110	140	180	220	50	60	90	150	220	330
8	60	80	120	160	200	250	50	70	110	170	250	370
9	60	90	140	180	230	280	50	80	120	190	280	420
10	70	100	150	200	260	310	50	90	130	210	310	460
11	80	110	170	220	280	340	60	100	150	230	340	510
12	80	120	180	240	310	370	60	110	160	260	370	560
13	90	130	190	260	330	400	70	120	170	280	410	600
14	100	140	210	280	360	430	70	120	190	300	440	650
15	100	150	220	300	380	460	80	130	200	320	470	690
16	110	160	240	320	410	490	80	140	210	340	500	740
17	120	170	250	340	430	520	80	150	220	360	530	790
18	120	180	260	360	460	550	90	160	240	380	560	830
19	130	190	280	380	480	580	90	160	250	400	590	880
20	130	200	290	400	510	610	100	170	260	430	620	920
21	140	210	310	420	530	650	100	180	280	450	650	970
22	150	220	320	440	560	680	110	190	290	470	680	1020
23	150	230	340	460	580	710	110	200	300	490	720	1060
24	160	240	350	480	610	740	120	210	320	510	750	1110

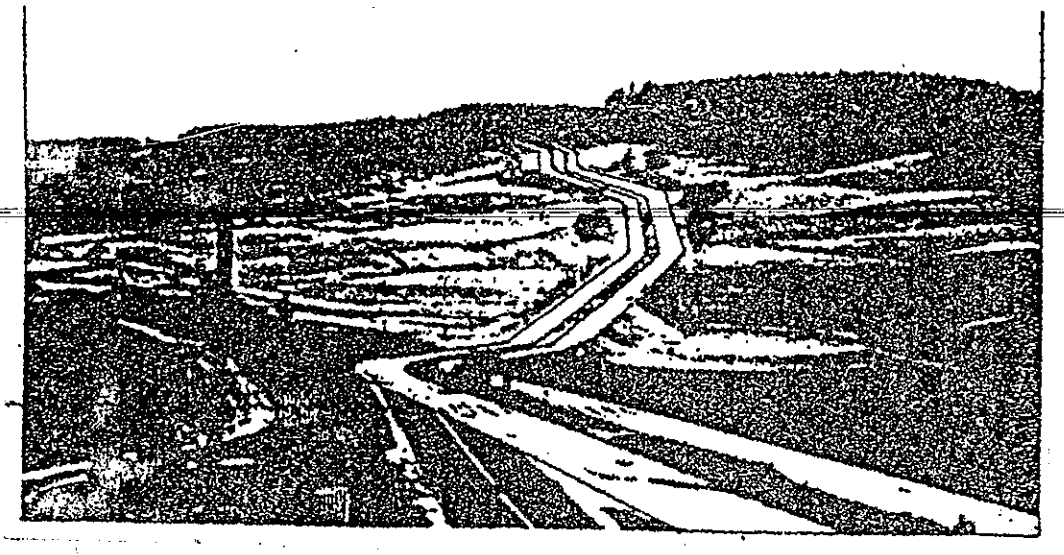


HIGHWAY ALIGNMENT

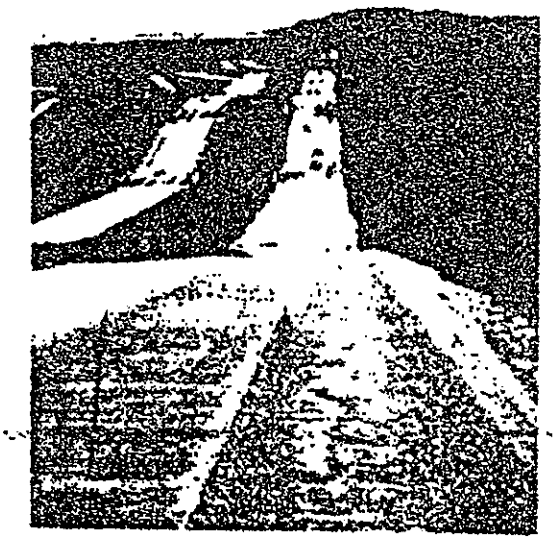
รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะที่เป็นลูกคลื่นขึ้นๆลงๆและลักษณะถนนที่ได้ออกแบบอย่างดี ขับรถสบายและปลอดภัย



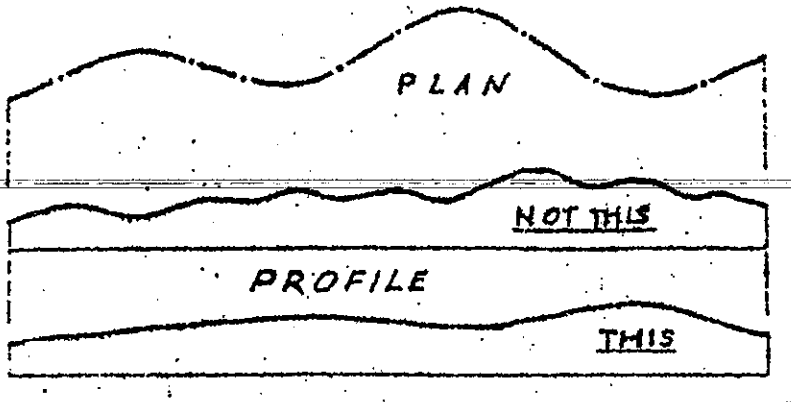
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะ 3 มิติ ของถนน



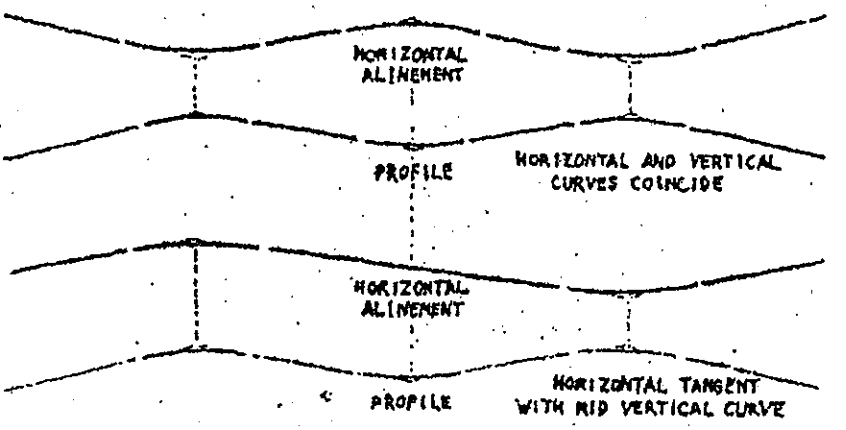
รูปที่2.3 SHORT HORIZONTAL CURVES ON GRADUAL



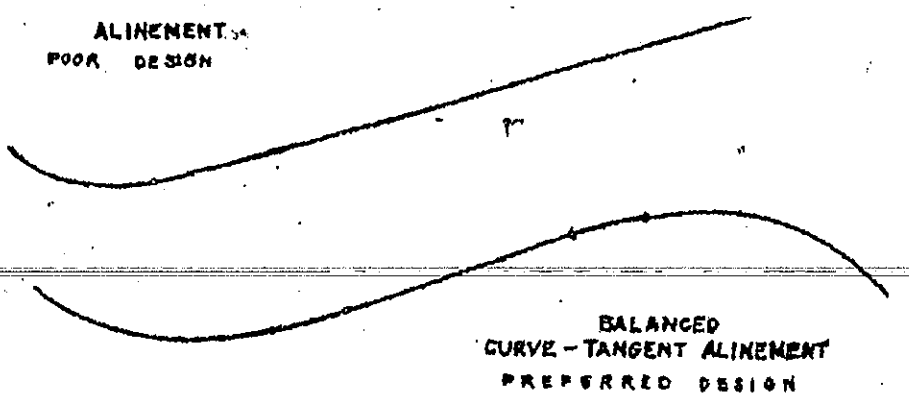
รูปที่ 2.4 SHORT VERTICAL CURVES ALONG FLAT HORIZONTAL ALIGNMENT



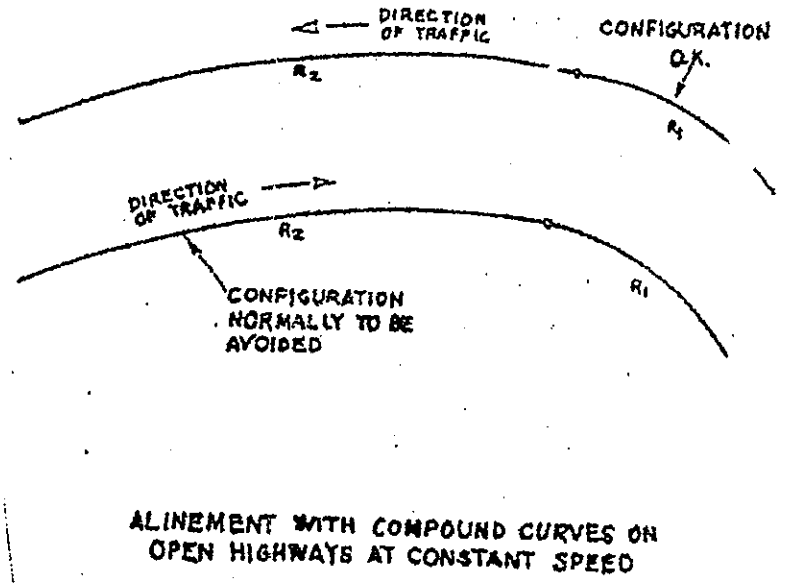
รูปที่ 2.5 แสดงการแก้ไขให้โค้งนอนและโค้งตั้งมีจำนวนใกล้เคียงกัน



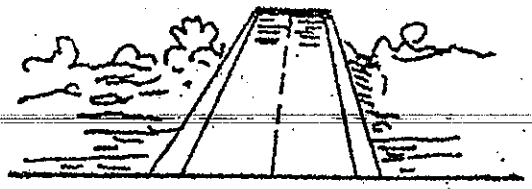
รูปที่ 2.6 แสดงความสมดุลของโค้งนอนและโค้งตั้ง



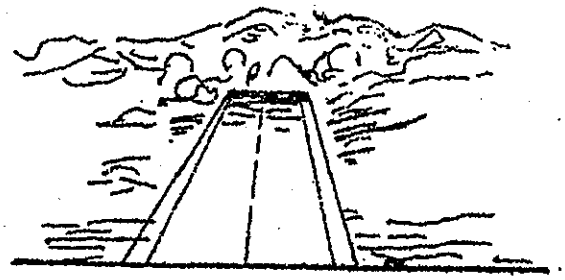
รูปที่ 2.7 แสดง LONG TANGENT – SHORT CURVE ควรหลีกเลี่ยงเป็น LONG CURVE และ ลด TANGENT ให้สมดุลกัน



รูปที่ 2.8 แสดง COMPOUND CURVE ที่โค้งรัศมีน้อย ตามหลักโค้งที่มีรัศมีมากควรหลีกเลี่ยง



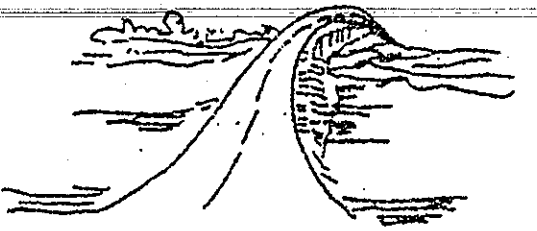
SKY LINE HORIZON



LAND SCAPE BACKDROP

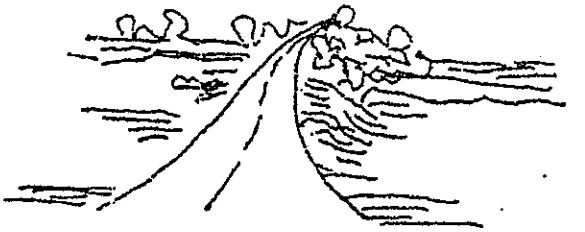
TANGENT CREST

รูปที่ 2.9 แสดงถนนลักษณะขึ้นสวรรค์(รูปบน)ควรหลีกเลี่ยง นอกจากมีทัศนียภาพด้านหน้าประกอบ(รูปล่าง)



SKYLINE HORIZON

FORSHORTENED OVER THE-CREST VIEW

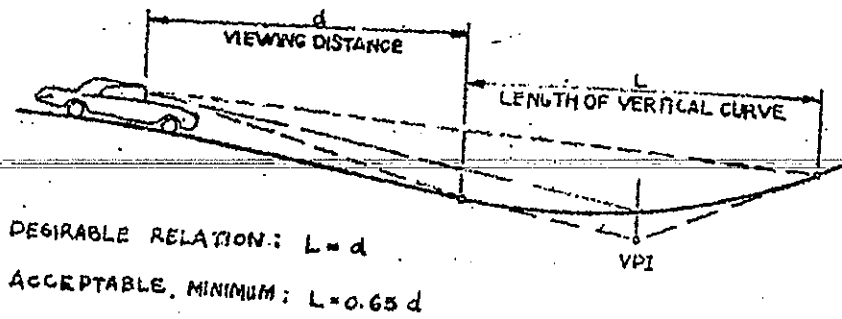


LANDSCAPE FRAME

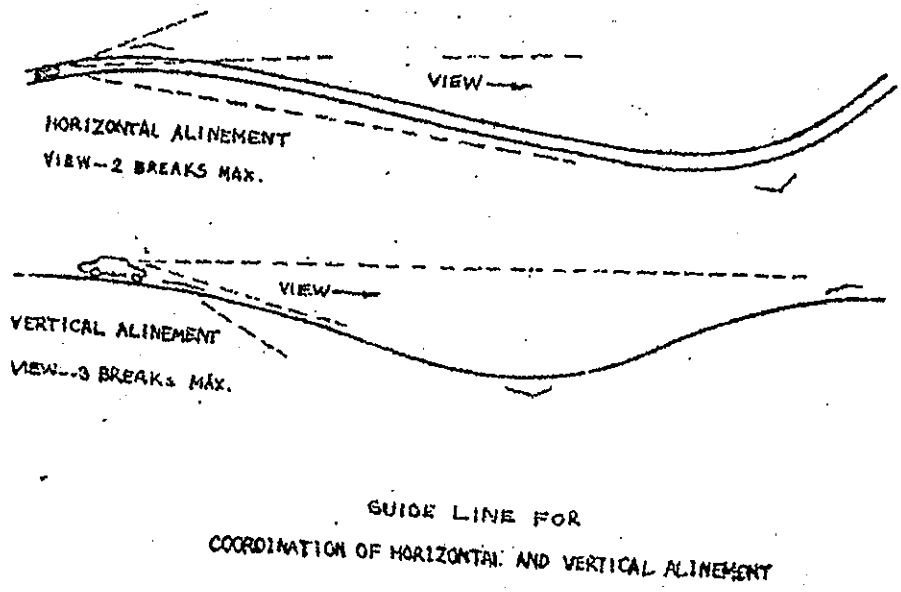
HIDDEN SIDEVIEW OF THE CREST

CURVED CREST

รูปที่ 2.10 แสดงการแก้ไขลักษณะถนนขึ้นสวรรค์ โดยการเพิ่มโค้งราบและปลูกต้นไม้ช่วย จะทำให้มีทัศนวิสัยดีขึ้น



รูปที่ 2.11 แสดงความยาวของ SAG CURVE ให้สัมพันธ์กับการมองเห็น



รูปที่ 2.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงจำนวนโค้งนอนและโค้งตั้งที่สัมพันธ์กัน