บทที่ 4

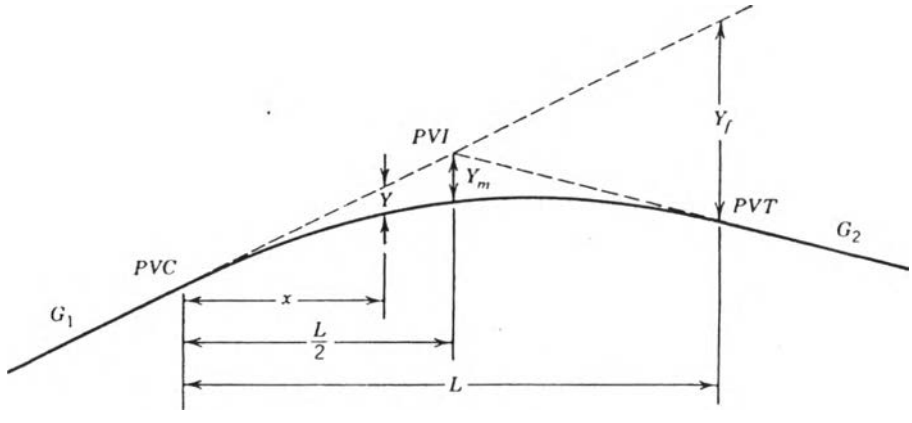
การออกแบบทางเรขาคณิตของแนวทางดิ่ง

4.1 บทนำ

ในงานก่อสร้างทางหลวงใหม่ หรือปรับปรุงทางหลวงเดิม แนวทางราบของทางหลวงจะเป็นตัวกำหนดตำแหน่งแนวทางของโครงการก่อสร้างที่จะเกิดขึ้น แนวทางดิ่งจะเป็นตัวกำหนดระดับของทางหลวง การออกแบบแนวทางดิ่งจึงเป็นการออกแบบระดับหลังทางของทางหลวง ผลลัพธ์จากการออกแบบจะเกี่ยวกับงานดิน เช่น งานขุดดิน งานถมดิน ตลอดจนการบรรทุกดินจากบ่อยืมไปยังจุดที่ต้องการถมด้วย ดังนั้น การออกแบบแนวทางดิ่งจึงมีส่วนสำคัญอย่างยิ่ง และจะมีผลกระทบโดยตรงต่อค่าก่อสร้าง การใช้งานของถนน และค่าใช้จ่ายของผู้ใช้รถใช้ถนน

แนวทางดิ่งของทางหลวงประกอบไปด้วย ส่วนที่เป็นแนวเส้นตรง (Grade lines) เชื่อมกับโค้งดิ่ง (Vertical curve) ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้โค้งพาราโบลา (Parabalic curve) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 หลักการออกแบบแนวทางดิ่งก็เป็นเช่นเดียวกับแนวทางราบ ซึ่งถือเป็นเป้าหมายหลักหรือหัวใจ ในการออกแบบแนวเส้นทางทางหลวง คือ การออกแบบให้เหมาะสมมีความปลอดภัยสะดวกสบายในการขับขี่ และประหยัดในการก่อสร้าง

ดังได้กล่าวแล้วในบทที่ 1 ว่าการออกแบบแนวเส้นทางของทางหลวงมีลักษณะเป็น 3 มิติ ซึ่งมีความซับซ้อนและยุ่งยาก เพื่อลดความยุ่งยากจึงแบ่งขั้นตอนการออกแบบเป็น 2 ขั้นตอน คือ ออกแบบแนวทางราบ และ ออกแบบแนวทางดิ่ง โดยปกติแล้วงานออกแบบแนวทางดิ่งจะเริ่มต้นเมื่อได้มีการเลือกตำแหน่งหรือออกแบบแนวทางราบแล้ว แต่ในการออกแบบแนวทางราบ จำเป็นจะต้องพิจารณาข้อจำกัดที่มีส่วนเกี่ยวข้อง และ มีผลกระทบต่อแนวทางดิ่งด้วย โดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องและมีผลกระทบต่อการออกแบบแนวทางดิ่ง คือ สภาพภูมิประเทศ (Terrain) คุณลักษณะและความสามารถของยวดยาน และองค์ประกอบเกี่ยวกับความปลอดภัย ต่าง ๆ เช่น ระยะมองเห็น ความลาดชันสูงสุด เป็นต้น



รูปที่ 4.1 รูปแบบทั่วไปของแนวทางดิ่งประกอบไปด้วย
ส่วนที่เป็นเส้นตรง และโค้งดิ่งพาราโบลา

4.2 สภานภูมิประเทศ

ปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อการออกแบบแนวทางดิ่งมากที่สุด คือ สภานภูมิประเทศ เนื่องจากจะเป็นตัวควบคุมระดับของทางหลวง ทางหลวงที่มีแนวผ่านพื้นที่ที่มีสภานภูมิประเทศแตกต่างกันจะมีข้อจำกัดในการออกแบบแตกต่างกัน บางครั้งผู้ออกแบบไม่สามารถออกแบบแนวทางดิ่งให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานขั้นต่ำของการออกแบบได้ เนื่องจากมีข้อจำกัดทางด้านสภาพภูมิประเทศ หากจะออกแบบให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแล้ว อาจต้องเสียค่าก่อสร้างสูงมาก ไม่คุ้มกับการลงทุน จึงจำเป็นต้องอนุโลมให้จุดที่มีข้อจำกัดดังกล่าวมีสภาพต่ำกว่ามาตรฐาน หรืออาจกล่าวได้ว่า ข้อกำหนดมาตรฐานการออกแบบจำเป็นต้องมีความยืดหยุ่นให้เข้ากับสภาพภูมิประเทศ ทั้งนี้ขึ้นกับการตัดสินใจของผู้ออกแบบว่าจะเลือกออกแบบอย่างไร

จากเหตุผลที่กล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าเป็นการยาก ที่จะชี้ชัดลงไปว่าจะต้องใช้มาตรฐานข้อกำหนดอย่างไร จึงจะเหมาะสมกับสภาพพื้นที่ ดังนั้น จึงมีการกำหนดแยกประเภทของสภาพภูมิประเทศ ออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ แล้วตั้งข้อกำหนดมาตรฐานการออกแบบขั้นต่ำที่เหมาะสมสำหรับสภาพภูมิประเทศที่ได้แบ่งไว้ เพื่อช่วยเป็นแนวทางสำหรับการออกแบบ ในหนังสือนโยบายการออกแบบทางเรขาคณิตทางหลวง(1984) ของ AASTO แบ่งสภาพภูมิประเทศออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1) พื้นที่ราบ (Level Terrain) คือสภาพที่ระยะมองเห็นของแนวทางราบและดิ่งมีระยะยาว ๆ หรือสามารถ ทำให้ระยะมองเห็นยาวได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายมากและก่อสร้างได้ง่าย

2) พื้นที่เนิน (Rolling terrain) คือสภาพที่ความลาดชันขึ้นและลงตามธรรมชาติมีค่าสูงและต่ำกว่าความลาดชันของทางหลวง ซึ่งบางโอกาสความลาดชันสูง ๆ จะเป็นข้อจำกัดในการออกแบบทั้งแนวทางราบและแนวทางดิ่ง

3) พื้นที่ภูเขา (Mountaineous terrain) คือสภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าระดับอย่างรวดเร็วทั้งในแนวยาวและขวางตามแนวทางถนน ทำให้บ่อยครั้งต้องมีการถม และตัดไหล่เขาเพื่อทำให้ได้แนวทางที่เหมาะสม

การแบ่งประเภทของภูมิประเทศนั้น พิจารณาจากพื้นที่ที่อยู่ในเขตของทางหลวง ทางหลวงที่อยู่ในหุบเขา หรือพื้นที่ภูเขาและมีแนวทางผ่านพื้นที่ราบหรือพื้นที่เนิน อาจจัดอยู่ในประเภทพื้นที่ราบ หรือ พื้นที่เนิน โดยทั่วไปแล้วพื้นที่เนินจะทำให้แนวทางดิ่งของทางหลวงมีความลาดชัน ทำให้ความเร็วของรถบรรทุก ลดลงต่ำมากกว่าของรถยนต์โดยสาร และพื้นที่เป็นภูเขาอาจทำให้รถบรรทุกขับเคลื่อนได้ช้ามาก

4.3 ระดับหลังทาง

เส้นแสดงค่าระดับหลังทาง คือ อนุกรมของเส้นตรงเชื่อมกับโค้งดิ่งพาราโบลา ซึ่งใช้แสดงค่าระดับหลังทางที่ศูนย์กลางของถนน ในการกำหนดระดับหลังทางผู้ออกแบบต้องกำหนดให้มีความประหยัดมากที่สุด โดยออกแบบให้มีปริมาณงานดินน้อยที่สุด แต่ต้องอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบขั้นต่ำด้วย หลักเกณฑ์ในการพิจารณากำหนดระดับหลังทางสรุปได้ดังนี้

1) ในบริเวณพื้นที่ภูเขา และ พื้นที่เนิน ผู้ออกแบบควรกำหนดระดับหลังทางให้ปริมาณงานดินตัด และ ดินถมสมดุลย์กัน ทั้งนี้เพื่อให้เสียค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างน้อยที่สุด

2) ในพื้นที่ราบอาจกำหนดระดับหลังทางให้มีแนวขนานหรือเกือบขนานกับระดับดินตามธรรมชาติ แต่ต้องให้มีระดับสูงเพียงพอสำหรับการระบายน้ำที่ผิวทางด้วย

3) ในพื้นที่ที่แนวถนนขนาน หรือ อยู่ใกล้ทางน้ำธรรมชาติ ความสูงของระดับหลังทางของถนน จะต้องมีระดับสูงกว่าระดับน้ำท่วม

4) สำหรับทางหลวงชนิดแยกทิศทาง (Devided highways) ควรกำหนดระดับทางแยกจากกันในแต่ละทิศทาง แต่แนวเส้นทางของทางหลวง และ ระดับหลังทางของทั้งสองทิศทางจะต้องพิจารณาร่วมกัน เพื่อป้องกันแสงไฟจากยวดยานที่วิ่งในทิศทางตรงกันข้ามเข้าตาผู้ขับขี่

4.4 ความลาดชัน

ในการออกแบบแนวเส้นทางทางหลวง จะต้องออกแบบให้ยวดยานสามารถขับขี่ได้อย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอตลอดแนวเส้นทาง ความเร็วออกแบบที่เลือกใช้จะทำให้สามารถหาความสัมพันธ์ และ องค์ประกอบทางเรขาคณิตของทางหลวงได้ ในบริเวณที่แนวทางทางหลวง อยู่ในแนวระดับไม่มีความลาดชัน ยวดยานต่าง ๆ สามารถวิ่งได้ด้วยความเร็วออกแบบ หรือมากกว่า เมื่อทางหลวงมีความลาดชัน ยวดยานที่มีน้ำหนักมากจะมีความเร็วลดลง ทำให้การขับขี่บนทางหลวง ไม่เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ตามเป้าหมายของการออกแบบ ดังนั้นในการกำหนดความลาดชันของทางหลวงต้องพิจารณา ถึงความสัมพันธ์ของความลาดชัน ความยาววิกฤติของทาง และคุณลักษณะของยวดยานด้วย

4.4.1 คุณลักษณะของยวดยานบนทางลาดชัน

4.4.1.1 รถยนต์ส่วนบุคคล

ผู้ขับขี่รถยนต์ส่วนบุคคล มีความชำนาญในการขับขี่รถบนทางลาดชันแตกต่างกัน เป็นที่ยอมรับกันว่า ผู้ขับขี่ส่วนใหญ่สามารถขับขี่รถบนทางลาดชันที่มีความลาดชัน 4-5 เปอร์เซ็นต์ ได้โดยไม่มีการลดความเร็วต่ำกว่าที่ขับขี่บนทางหลวงที่อยู่ในแนวราบ ยกเว้นที่มีอัตราส่วนของน้ำหนักรถต่อแรงม้าของเครื่องยนต์สูง

จากการศึกษา พบว่า การขับขี่ในสภานการจราจรไม่ติดขัด บนทางลาดชันขึ้น หรือ ลง 3 เปอร์เซ็นต์ มีสภาพแตกต่างจากการขับขี่บนทางหลวงที่ไม่มีความลาดชันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น บนทางหลวงที่มีความลาดชันมากกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ ความเร็วในการขับขี่จะลดลงแปรผันกับความลาดชันที่เพิ่มขึ้น บนทางลาดชันลงความเร็วของรถจะมากกว่าบนทางหลวงที่อยู่ในแนวราบ

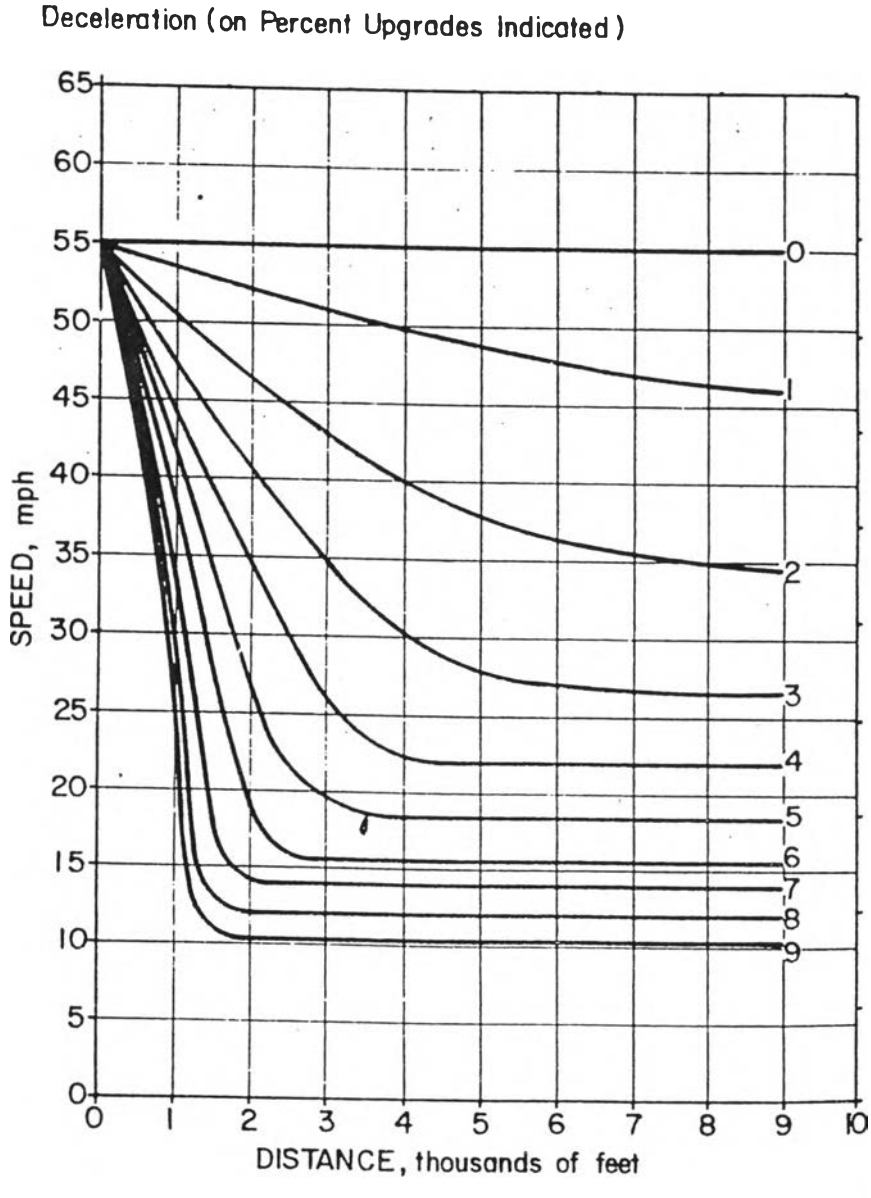
4.4.1.2 <u>รถบรรทุก</u>

ทางลาดชัน ส่งผลกระทบต่อความเร็วของรถบรรทุกมากกว่ารถยนต์ส่วนบุคคลบนทางลาดชันขึ้น ความเร็วสูงสุดในการวิ่งขึ้นกับระยะทางที่เป็นทางลาดชัน ความลาดชันและอัตราส่วนของน้ำหนักรถต่อแรงม้าของเครื่องยนต์ ปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลกระทบต่อความเร็วของรถบรรทุกทางลาดชันคลอดระยะทางที่วิ่งบนทางลาดชัน ได้แก่ ความเร็วเริ่มต้นเมื่อเข้าสู่ทางลาดชัน แรงต้านทานของลม และ ความชำนาญของผู้ขับขี่ อย่างไรก็ตามปัจจัยเหล่านี้จะมีผลกระทบ ต่อความเร็วเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

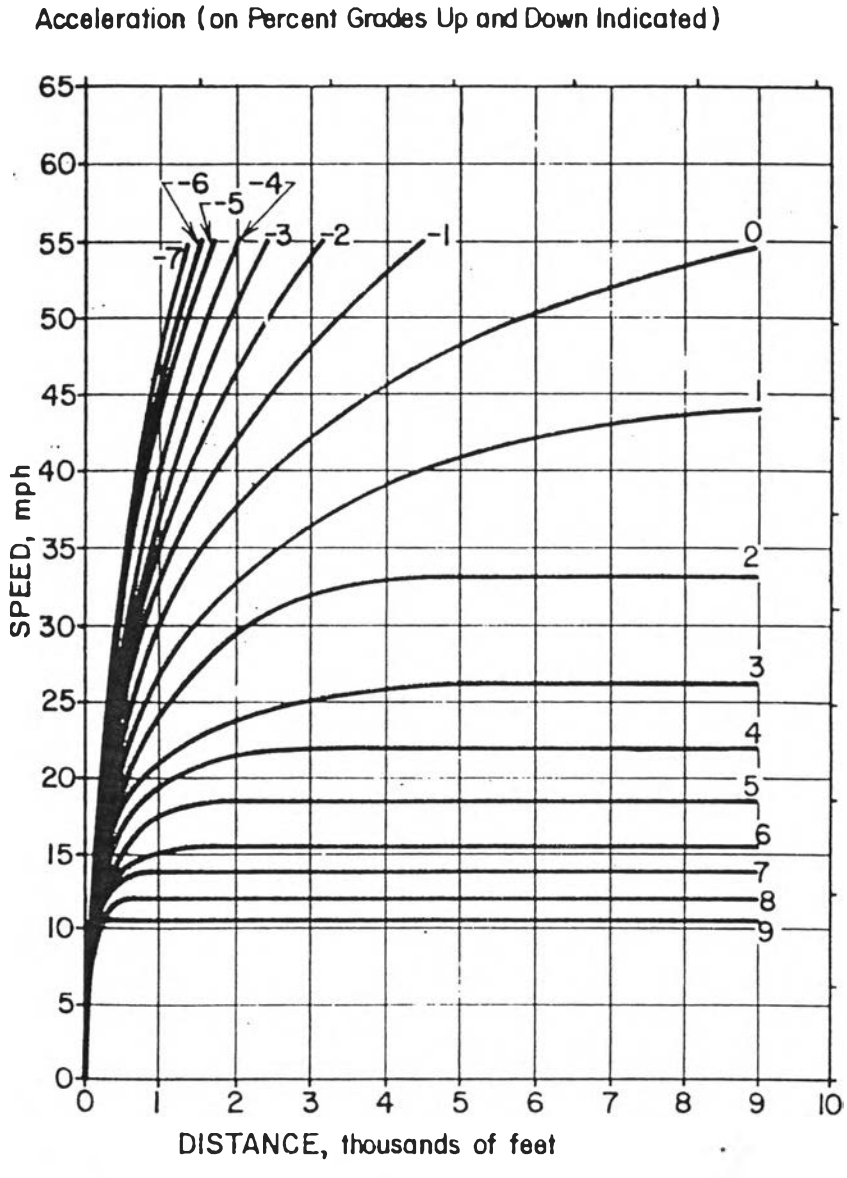
รูปที่ 4.2 และ 4.3 แสดงผลกระทบของความลาดชัน และระยะทางของทางลาดชันที่มีผลต่อความเร็วของรถบรรทุกหนัก

รูปที่ 4.2 ใช้หาระยะทางที่รถบรรทุกเคลื่อนที่จนมีความเร็วสุดท้ายเป็นความเร็วคงที่ โดยมีความเร็วเริ่มต้นเท่ากับ 55 ไมล์ต่อชั่วโมงหรือต่ำกว่าวิ่งขึ้นทางลาดชันที่มีเปอร์เซ็นต์ความลาดชันต่าง ๆ กัน

รูปที่ 4.3 แสดงสมรรถนะของรถบรรทุก ในการวิ่งขึ้นทางลาดชันด้วยความเร็วฉุดลากหรือต่ำกว่า และ จะพบว่ารถบรรทุกสามารถเร่งความเร็วจนถึงความเร็วเพียง 25 ไมล์ต่อชั่วโมง เมื่อถนนมีความลาดชันเท่ากับ 3.5 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับระยะทาง
ของการลดความเร็วของรถบรรทุก ขนาด
300 lb/hp บนทางลาดชันขึ้น
(AASHTO, 1984)



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับระยะทาง ของการเร่งความเร็วของรถบรรทุก ขนาด 300 lb/hp บนทางลาดชันขึ้นและลง (AASHTO, 1984)

4.4.2 การควบคุมความลาดชันในการออกแบบ

4.4.2.1 ความลาดชันสูงสุด

จากคุณลักษณะของยวดยานบนทางลาดชันที่กล่าวในหัวข้อที่แล้ว แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นในการควบคุมความลาดชันของทางหลวง เพื่อให้ยวดยานทุกชนิดสามารถวิ่งได้อย่างสะดวก จากตัวเลขที่ได้จากรูปที่ 4.2 และ 4.3 ความลาดชันสูงสุด 5 เปอร์เซ็นต์ จะเหมาะสมกับความเร็วออกแบบ 70 ไมล์ต่อชั่วโมง และสำหรับความเร็วออกแบบ 30 ไมล์ต่อชั่วโมง ความลาดชันสูงสุดควรจะอยู่ในช่วงประมาณ 7-12 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ ค่าความลาดชันสูงสุดที่กำหนดนี้ขึ้นกับ สภาพภูมิประเทศ มาตรฐาน และ ประเภทของทางหลวง

ปกติควรออกแบบให้ความลาดชันมีค่าน้อยกว่า ความลาดชันสูงสุด สำหรับทางลาดชัน ที่มีระยะทางสั้นกว่า 500 ฟุต หรือ ถนนเดินรถทางเดียว อาจเพิ่มความลาดชันสูงสุดได้อีก 1 เปอร์เซ็นต์ สำหรับทางหลวง ที่มีการจราจรน้อย อาจเพิ่มได้ถึง 2 เปอร์เซ็นต์

4.4.2.2 ความลาดชันต่ำสุด

ทางหลวงที่อยู่ในแนวราบและไม่ได้ทำขอบถนน (Uncurbed pavement) ไม่จำเป็นต้องกำหนดความลาดชันต่ำสุด ถ้าผิวทาง มีความลาดเพียงพอที่จะระบายน้ำออกด้านข้างได้เพียงพอ สำหรับถนนที่ทำขอบถนน จะต้องมีความลาดชันเล็กน้อย เพื่อช่วยให้ระบายน้ำได้สะดวกยิ่งขึ้น ค่าความลาดชันต่ำสุด ที่ใช้กันทั่วไป คือ 0.50 เปอร์เซ็นต์ แต่อาจใช้ 0.30 เปอร์เซ็นต์ ในกรณีที่ผิวทางมีมาตรฐานสูง ทำลาดหลังทางอย่างดี และอยู่บนดินเดิมที่มีความมั่นคงแข็งแรง

4.4.3 ความยาววิกฤติของทางลาดชัน

ความยาววิกฤติของทางลาดชัน คือ ความยาวสูงสุดของทางลาดชันที่มีความลาดชันค่าหนึ่ง ซึ่งรถบรรทุกสามารถวิ่งได้ โดยไม่สูญเสียความเร็วมากกว่า ค่าที่กำหนด เมื่อถนนมีความยาวของทางลาดชันน้อยกว่าค่าวิกฤติ จะทำให้ลักษณะการสัญจร

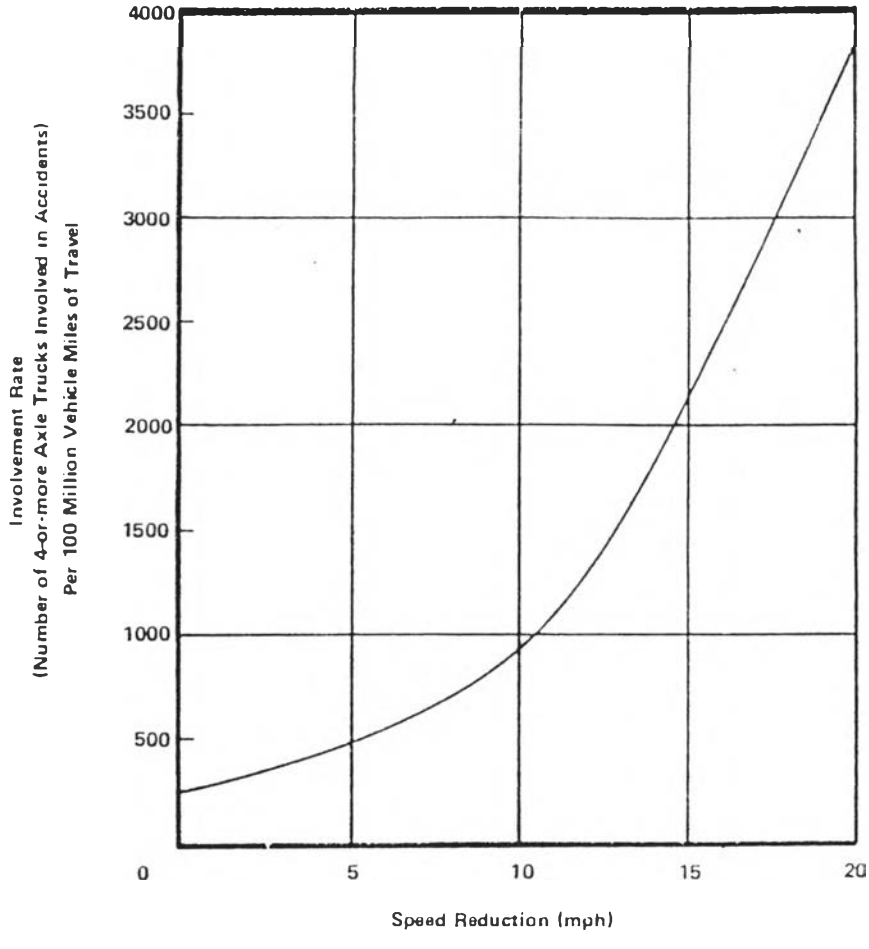
อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ภายในช่วงความเร็วที่ต้องการ ถ้าต้องการออกแบบทางลาดชันให้มีความยาวมากกว่าค่าวิกฤติจะต้องจัดเตรียมช่องทางพิเศษสำหรับรถที่มีความเร็วต่ำ

ในการหาค่าความยาววิกฤติสำหรับการออกแบบขึ้นอยู่กับความสามารถในการไต่ทางลาดชันของรถบรรทุก จะต้องทราบข้อมูลหรือสมมติฐาน ดังต่อไปนี้

1) ขนาดและกำลังของรถบรรทุกที่ใช้เป็นตัวแทนในการออกแบบ โดยกำลังของรถบรรทุกที่ใช้เป็นตัวแทนในการออกแบบทั่วไปใช้ค่าอัตราส่วนน้ำหนักรถต่อแรงม้าของเครื่องยนต์ เท่ากับ 300 ปอนด์ต่อแรงม้า

2) ความเร็วของรถขณะเข้าสู่ช่วงความยาววิกฤติ อาจใช้ความเร็วเฉลี่ย (average running speed) ของรถ ในการประมาณค่าความเร็วของรถขณะเริ่มไต่ทางลาดชันขึ้น แต่ถ้ามีความลาดชันน้อย อาจใช้ความเร็วของรถ (running speed) โดยตรงเลยก็ได้

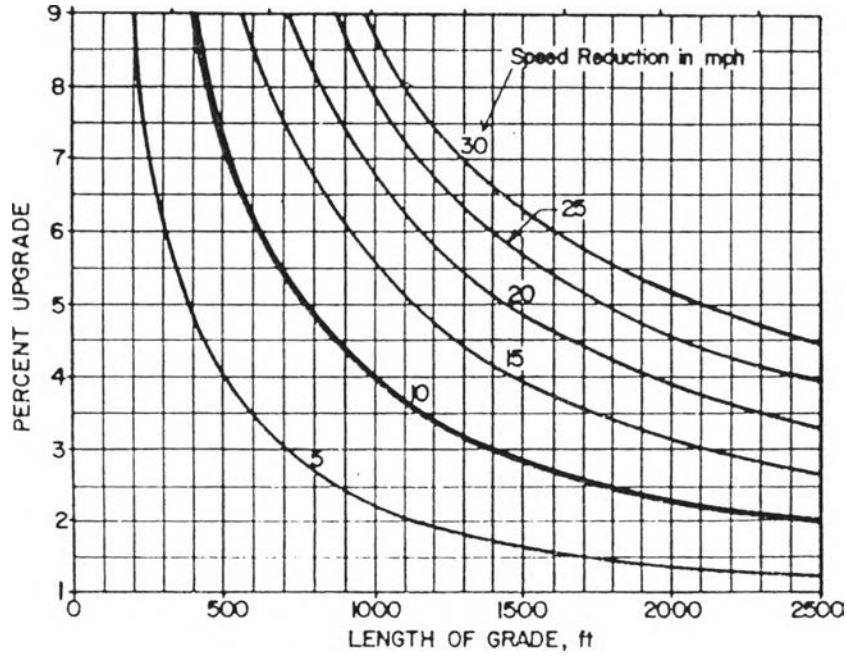
3) ความเร็วต่ำสุดของรถบนทางลาดชัน ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อรถที่วิ่งตามมาจนอยู่ในเกณฑ์ไม่เหมาะสม ข้อมูลเกี่ยวกับความเร็วต่ำสุดดังกล่าวนี้ ไม่สามารถหามาได้ แต่อย่างไรก็ตามอาจสมมุติให้ความเร็วต่ำสุดนี้ มีความสัมพันธ์กับความเร็วออกแบบและความไม่พึงพอใจของผู้ขับขี่ เนื่องจากการเสียเวลาในช่วงที่ไม่สามารถแซงรถบรรทุกได้ โดยระยะเวลาดังกล่าวนี้อาจไม่เท่ากันบนถนนสายเดียวกันขึ้นกับสภาพของถนนและปริมาณการจราจร ในการออกแบบทางหลวง จะต้องออกแบบให้รถบรรทุกไม่สูญเสียความเร็วมาก จนส่งผลกระทบต่อผู้ขับขี่รถคันที่ตามมา จากการศึกษา พบว่า ผลของการลดหรือสูญเสียความเร็วของรถบรรทุกมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดอุบัติเหตุด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของอัตราการเกิดอุบัติเหตุ
ของรถบรรทุก เนื่องจากความเร็วต่ำกว่า
ค่าเฉลี่ยของยวดยานทุกประเภท
(AASHTO, 1984)

หลักการพื้นฐานในการหาความยาววิกฤติ คือ ความเร็วของรถบรรทุกที่ลดลงต่ำกว่าความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งของยวดยานทุกชนิด ในอดีตใช้ค่าความเร็วที่ลดลงของรถบรรทุกที่ต่ำกว่าความเร็วเฉลี่ย เท่ากับ 15 ไมล์ต่อชั่วโมง แต่จากการศึกษาพบว่าความเร็วที่ลดลงมากกว่า 10 ไมล์ต่อชั่วโมง จะมีส่วนเกี่ยวข้องและเกิดอุบัติเหตุมาก จึงกำหนดให้ใช้ค่าความเร็วที่ลดลงของรถบรรทุก เท่ากับ 10 ไมล์ต่อชั่วโมง สำหรับการหาความยาววิกฤติของทางลาดชัน

ความยาววิกฤติของทางลาดชันต่าง ๆ สำหรับรถบรรทุกที่ใช้เป็นตัวแทน (300 ปอนด์ต่อแรงม้า) ซึ่งวิ่งเข้าสู่ทางลาดชันด้วยความเร็ว 55 ไมล์ต่อชั่วโมง และมีความเร็วลดลงต่ำกว่าความเร็วเฉลี่ยค่าต่าง ๆ แสดงไว้ในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ความยาววิกฤติของทางลาดชันสำหรับการออกแบบสมมติรถบรรทุกขนาด 300 lb/hp วิ่งเข้าสู่ทางลาดชันด้วยความเร็ว 55 mph (AASHTO, 1984)

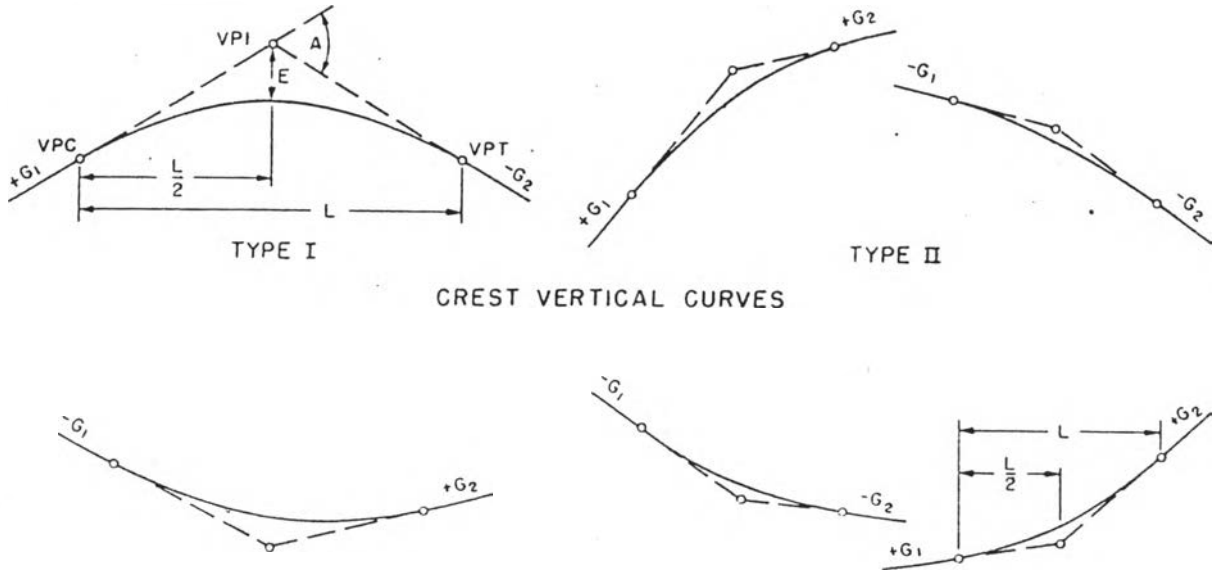
ความยาววิกฤติของทางลาดชันที่แสดงในรูปที่ 4.5 ได้จากการวิเคราะห์บนทางลาดชันที่เป็นทางตรง หากความยาววิกฤติประกอบไปด้วยโค้งดิ่งชนิดที่ 2 และ 4 ของรูปที่ 4.6 และ ความแตกต่างของความลาดชันไม่มาก อาจหาความยาววิกฤติได้โดยใช้ความยาวของเส้นสัมผัส (Tangent) ของโค้งดิ่งระหว่างจุดตัดแนวดิ่ง (PVI) มาร่วมคำนวณก็ได้ แต่ถ้าเป็นโค้งดิ่งชนิดที่ 1 และ 3 ในรูปที่ 4.6 อาจใช้ความยาวหนึ่งในสี่ของความยาวโค้งดิ่งมาร่วมคำนวน

สำหรับกรณีของทางลาดชันลง ความลาดชันจะมีผลต่อความจุและความปลอดภัยของถนน โดยเฉพาะเมื่อมีปริมาณการจราจร และ ปริมาณรถบรรทุกสูง จากการศึกษา พบว่า การใช้เกียร์ต่ำของรถบรรทุกขณะวิ่งลงทางลาดชัน มีผลเช่นเดียวกับบนทางลาดชันขึ้น ดังนั้นจึงควรจัดหาช่องทางสำหรับรถบรรทุกในทางลาดชันลง

ข้อกำหนดสำหรับคำนวณหาความยาววิกฤติของทางลาดชันนี้ เป็นเพียงข้อแนะนำเท่านั้น ในบางสภาพภูมิประเทศอาจสามารถปรับปรุงแนวทางให้เข้ากับข้อกำหนดดังกล่าวนี้ได้ แต่ในบางสภาพภูมิประเทศอาจไม่สามารถทำได้ซึ่งจะทำให้มีผลกระทบต่อการขับขี่บนทางหลวงที่มีปริมาณรถบรรทุกสูง โดยเฉพาะบนทางหลวง 2 ช่องจราจร ที่มีปริมาณการจราจรสูงใกล้ความจุของถนน หากความยาวของทางลาดชันมีค่ามากกว่าความยาววิกฤติ ควรพิจารณาจัดช่องทางจราจรเพิ่มสำหรับยวดยานที่มีความเร็วต่ำโดยใช้รูปที่ 4.5 ประกอบกับข้อพิจารณาอื่น ๆ

4.5 โค้งดิ่ง (Vertical Curve)

โค้งดิ่งเป็นโค้งที่ใช้เชื่อมเส้นลาด (grade) สองเส้น เพื่อให้การเคลื่อนที่ของยานพาหนะในแนวดิ่งเป็นไปอย่างราบเรียบ โค้งดิ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ โค้งดิ่งคว่ำ (Crest vertical curve) และโค้งดิ่งหงาย (Sag vertical curve) ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 รูปแบบของโค้งดิ่ง

เนื่องจากโค้งดิ่งเป็นโค้งที่เชื่อมระหว่างเส้นลาดสองเส้น ที่มีความเอียงลาดไม่เท่ากัน ดังนั้นแนวของโค้งดิ่งจะเป็นแนวที่มีการเปลี่ยนแปลงความลาด (Change of grade) จากเส้นลาดเส้นหนึ่งไปยังเส้นลาดอีกเส้นหนึ่ง ถ้าเราประสงค์จะให้แนวของโค้งดิ่งช่วยให้การเคลื่อนที่เป็นไปอย่างราบเรียบ โค้งที่จะนำมาใช้จะต้องเป็นโค้งที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงแปลงความลาดคงที่ โค้งพาราโบลา (Parabalic curve) เป็นโค้งที่มีคุณสมบัติดังกล่าว โค้งพาราโบลามีสมการทั่วไป ดังสมการที่ 4.1

$$y = ax^2 + bx + c \qquad (4.1)$$

โค้งดิ่งพาราโบลา มีคุณสมบัติที่สำคัญคือ ระยะในแนวดิ่งจากเส้นสัมผัสโค้งไปยังโค้งพาราโบลา หรือระยะ offset จะเป็นสัดส่วนกับกำลังสองของระยะทางจากจุดสัมผัสและระยะ offset ที่จุดยอดของโค้งหรือระยะ External สำหรับโค้งพาราโบลาสมมาตร (Symmetrical parabolic curve) ซึ่งเท่ากับ AL/800 สัญญลักษณ์ที่ใช้เรียกสถานีต่าง ๆ บนโค้ง แสดงในรูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงความลาดชันจะคงที่ เมื่อระยะทางในแนวราบเปลี่ยนไปเป็นระยะทางเท่ากัน และ เท่ากับค่าแตกต่างสมบูรณ์ของความลาดชัน

หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์หารด้วยความยาวโค้ง หน่วยเป็นฟุต หรือ A/L ดังนั้นค่า L/A หมายถึงระยะทางในแนวราบมีหน่วยเป็นฟุต ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความลาดชัน 1 เปอร์เซ็นต์ หรืออัตราความโค้งแทนด้วยสัญญลักษณ์ K ค่า K ยังใช้ในการหาความยาวต่ำสุดของโค้งดิ่ง ที่ความเร็วที่กำหนด ในบางกรณีจำเป็นต้องออกแบบโดยใช้โค้งพาราโบลาไม่สมมาตร เนื่องจากมีข้อจำกัดที่ระยะมองเห็น ข้อจำกัดของสภาพภูมิประเทศ และข้อจำกัดอื่น ๆ

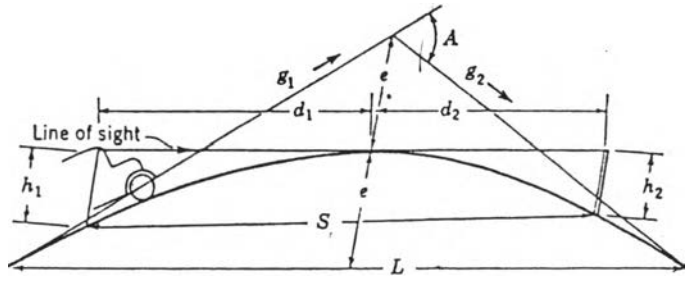
การออกแบบโค้งดิ่งนอกจากจะมีวัตถุประสงค์ให้การขับขี่รถที่บริเวณโค้งเป็นไปอย่างราบเรียบแล้ว ยังต้องคำนึงถึงความปลอดภัยด้วย ข้อกำหนดเพื่อความปลอดภัยของโค้งดิ่งคว่ำ (Crest vertical curve) คือ ต้องมีระยะมองเห็น (Sight distance) เพียงพอในการขับขี่ภายใต้ความเร็วออกแบบ ระยะมองเห็นสำหรับการหยุดรถเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาในการออกแบบโค้ง โดยความยาวโค้งต่ำสุดต้องเหมาะสมกับระยะมองเห็นดังกล่าว การออกแบบโค้งดิ่งหงาย (Sag vertical curve) ระยะมองเห็นไม่มีผลกระทบในช่วงเวลากลางวัน เนื่องจากลักษณะของโค้ง มีส่วนทำให้ผู้ขับขี่สามารถมองเห็นได้ในระยะไกล แต่ในเวลากลางคืนจะประสบปัญหา เนื่องจากมีปัจจัยเกี่ยวกับแสงไฟส่องสว่างมาเกี่ยวข้องด้วย

4.6 การหาความยาวโค้งดิ่งให้สอดคล้องกับระยะมองเห็น

4.6.1 โค้งดิ่งคว่ำ (Crest Vertical Curve)

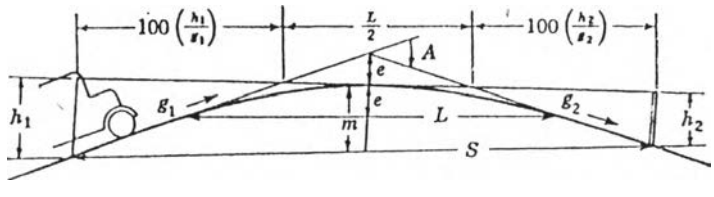
ปัจจัยสำคัญที่ใช้กำหนดระยะมองเห็นในโค้ง ได้แก่ ระดับสายตาของผู้ขับขี่ ความสูงของวัตถุ หรือ สิ่งกีดขวาง และ ความแตกต่างสมบูรณ์ของความลาดชันของเส้นลาดชันทั้งสอง ในการหาความยาวโค้งดิ่งให้สอดคล้องกับระยะมองเห็นจะแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ ระยะมองเห็นสั้นกว่าความยาวโค้งดิ่ง และ ระยะมองเห็นยาวกว่าความยาวโค้งดิ่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ก. และ ข. ตามลำดับ

กรณีที่ 1 เมื่อระยะการมองเห็นน้อยกว่าความยาวโค้ง (S<L)



ก) ระยะมองเห็นสั้นกว่าความยาวโค้งดิ่งคว่ำ

กรณีที่ 2 ระยะการมองเห็นมากกว่าความยาวของโค้ง (S>L)



ข) ระยะมองเห็นยาวกว่าความยาวโค้งดิ่งคว่ำ

รูปที่ 4.7 การหาความยาวต่ำสุดของโค้งดิ่งคว่ำสัมพันธ์กับระยะมองเห็น

สูตรเบื้องต้นในการหาความยาวโค้งดิ่งคว่ำ คือ

$$L = \frac{AS^2}{100(\sqrt{2h_1}+\sqrt{2h_2})^2} \quad , S<L \qquad (4.2)$$

$$L = 2S - \frac{200(\sqrt{2h_1}+\sqrt{2h_2})^2}{A} \quad , S>L \qquad (4.3)$$

เมื่อ L = ความยาวโค้งดิ่ง

S = ระยะมองเห็น

A = ค่าแตกต่างสัมบูรณ์ของเส้นลาดชัน , เปอร์เซ็นต์

h_1 = ความสูงของระดับสายตาเหนือผิวถนน

h_2 = ความสูงของวัตถุเหนือผิวถนน

กรมทางหลวงกำหนดให้ความสูงของระดับสายตาเหนือผิวถนน เท่ากับ 1.15 เมตร และความสูงของวัตถุเหนือผิวถนน เท่ากับ 0.20 เมตร สามารถเขียนสมการที่ 4.2 และ 4.3 ใหม่ได้ดังสมการที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ

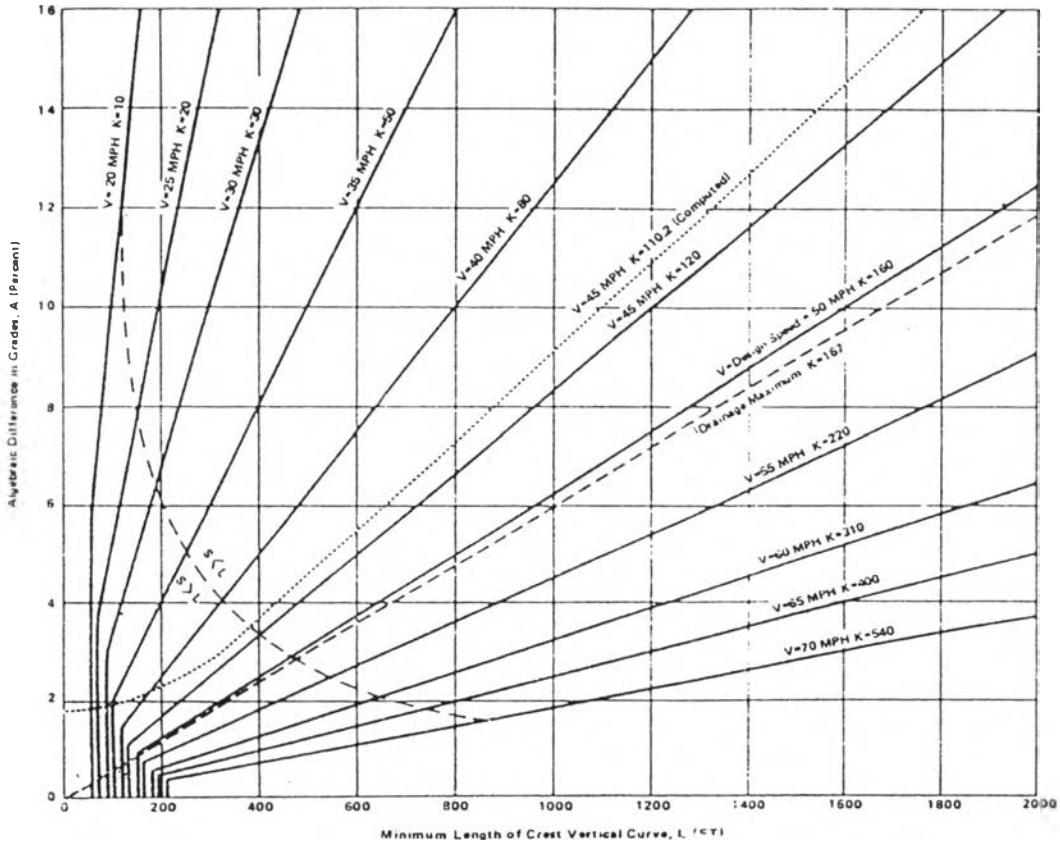
$$L = \frac{AS^2}{461.5} \quad , S<L \qquad (4.4)$$

$$L = 2S - \frac{461.5}{A} \quad , S>L \qquad (4.5)$$

4.6.1.1 ข้อกำหนดการออกแบบสำหรับระยะมองเห็นเพื่อการหยุดรถ

ความยาวโค้งดิ่งที่หาได้จากสมการ (4.2) และ (4.3) ที่ค่าความแตกต่างสัมบูรณ์ของเส้นลาดชันต่าง ๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.8 โดย AASHTO กำหนดให้ค่าความสูงของระดับสายตาเหนือผิวถนนเท่ากับ 3.50 ฟุต และความสูงของวัตถุเหนือผิวถนนที่อยู่เหนือผิวถนนเท่ากับ 6 นิ้ว ค่า L ที่หาได้จากส่วนของที่อยู่เหนือเส้นประนำไปหาค่า K ได้จาก L = KA

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 ความยาวโค้งดิ่งภายใต้ความเร็วและอัตรา
ความแตกต่างสัมบูรณ์ของความลาดชันต่าง ๆ
(AASHTO, 1984)

Design Speed (mph)	Assumed Speed for Condition (mph)	Coefficient of Friction, f	Stopping Sight Distance, Rounded for Design (ft)	Rate of Vertical Curvature, K[a] (length (ft) per percent of A)	
				Computed[b]	Rounded for Design
20	20-20	0.40	125-125	8.6- 8.6	10- 10
25	24-25	0.38	150-150	14.4- 16.1	20- 20
30	28-30	0.35	200-200	23.7- 28.8	30- 30
35	32-35	0.34	225-250	35.7- 46.4	40- 50
40	36-40	0.32	275-325	53.6- 73.9	60- 80
45	40-45	0.31	325-400	76.4-110.2	80-120
50	44-50	0.30	400-475	106.6-160.0	110-160
55	48-55	0.30	450-550	140.4-217.6	150-220
60	52-60	0.29	525-650	189.2-302.2	190-310
65	55-65	0.29	550-725	227.1-394.3	230-400
70	58-70	0.28	625-850	282.8-530.9	290-540

[a]Different K values for the same speed result from using unequal coefficients of friction.

[b]Using computed values of stopping sight distance

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า K สำหรับความยาวโค้งดิ่งสัมพันธ์กับ
ระยะมองเห็นสำหรับการหยุดรถตามที่กำหนด
(AASHTO, 1984)

ในรูปที่ 4.8 เมื่อ S มากกว่า L ค่าความยาวโค้งที่คำนวณได้ จะเป็นเส้นโค้ง ดังแสดงด้วยเส้นประ สำหรับความเร็ว 45 ไมล์ต่อชั่วโมง เมื่อค่า A น้อย ๆ ความยาวโค้งดิ่ง จากการคำนวณจะเท่าหรือใกล้เคียงกับศูนย์ เนื่องจากแนวสายตาของผู้ขับขี่อยู่เหนือจุดยอดของโค้งดิ่ง ค่าที่ได้นี้ไม่เหมาะสม ดังนั้น จึงกำหนดให้ค่าความยาวต่ำสุดของโค้งดิ่งมีค่าเท่ากับ 3 เท่าของความเร็วออกแบบ หรือ $L_{min} = 3*V$ โดย V คือ ความเร็วออกแบบ มีหน่วยเป็นไมล์ต่อชั่วโมง และ L คือ ความยาวต่ำสุดของโค้งดิ่งคว่ำ หน่วยเป็นฟุต

ในการขับขี่ยวดยานเวลากลางคืนบนถนนที่ไม่มีไฟฟ้าส่องสว่าง ระยะมองเห็นจะขึ้นกับแสงไฟจากยวดยานซึ่งมีระยะสั้นกว่าระยะมองเห็นสำหรับการหยุดรถ ทั้งนี้เพราะแสงไฟจากยวดยานสามารถส่องสว่างให้มีความเข้มที่ต้องการภายในระยะทางที่จำกัดไม่ว่าจะเป็นช่วงแนวทางตรงหรือช่วงโค้ง ในกรณีเช่นนี้ให้ใช้ความสูงของดวงไฟ

แทนความสูงของระดับสายตาของผู้ขับขี่ โดยทั่วไปใช้ความสูงของแสงไฟ เท่ากับ 1.50 ถึง 2.0 ฟุต

4.6.1.2 ข้อกำหนดการออกแบบสำหรับระยะมองเห็นเพื่อการแซง

ความยาวต่ำสุดของโค้งดิ่ง เมื่อ กำหนดให้ใช้ระยะมองเห็นเพื่อการแซงสามารถหาได้จากสมการที่ 4.2 และ 4.3 เช่นเดียวกันแต่ใช้ค่าความสูงของวัตถุ เท่ากับ 1.15 เมตร ดังแสดงในสมการที่ 4.6 และ 4.7

$$L = \frac{AS^2}{920} \quad , S<L \qquad (4.6)$$

และ

$$L = 2S - \frac{920}{A} \quad , S>L \qquad (4.7)$$

ระยะมองเห็นสั้นที่สุดเพื่อการแซง ที่แสดงในตารางที่ 4.2 ใช้ค่าความสูงของวัตถุเท่ากับ 4.5 ฟุต

Design Speed (mph)	Minimum Passing Sight Distance, Rounded for Design (ft)	Rate of Vertical Curvature, K,[a] Rounded for Design (length (ft) per percent of A)
20	800	210
25	950	300
30	1,100	400
35	1,300	550
40	1,500	730
45	1,650	890
50	1,800	1,050
55	1,950	1,230
60	2,100	1,430
65	2,300	1,720
70	2,500	2,030 .

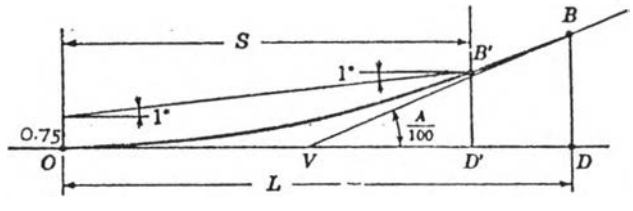
[a]Computed from rounded values of minimum passing sight distance.

ตารางที่ 4.2 ความยาวโค้งดิ่งต่ำสุดสัมพันธ์กับระยะมองเห็นเพื่อการแซง (AASHTO, 1984)

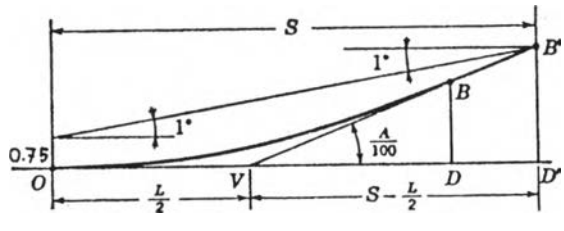
โดยทั่วไปแล้ว จะไม่ใช้ระยะมองเห็นเพื่อการแซง เป็นข้อกำหนดในการออกแบบเนื่องจากมีระยะยาวกว่าระยะมองเห็นเพื่อการหยุดรถมาก และจะทำให้เสียค่าก่อสร้างสูง และปฏิบัติงานก่อสร้างลำบากขึ้น ระยะมองเห็นเพื่อการแซงอาจใช้ออกแบบถนนเมื่อความเร็วออกแบบต่ำ และ มีความลาดชันต่ำ

4.6.2 โค้งดิ่งหงาย (Sag Vertical Curve)

ในโค้งดิ่งหงาย ระยะมองเห็นในเวลากลางวันไม่เป็นปัญหาแต่ประการใด แต่ในเวลากลางคืน ระยะทางที่ผู้ขับขี่มองเห็นจะจำกัด โดยเฉพาะช่วงที่แสงไฟหน้ารถส่องถึงผิวจราจร ดังแสดงในรูปที่ 4.9



ก) ระยะมองเห็นสั้นกว่าความยาวโค้งดิ่งหงาย



ข) ระยะมองเห็นยาวกว่าความยาวโค้งดิ่งหงาย

รูปที่ 4.9 การหาความยาวโค้งดิ่งหงายสัมพันธ์กับระยะมองเห็น

สูตรเบื้องต้นในการหาความยาวโค้งดิ่งหงาย แสดงในสมการที่ 4.8 และ 4.9

$$L = \frac{AS^2}{200(H + Stan\beta)} \quad , S < L \qquad (4.8)$$

$$L = 2S - \frac{200(H + Stan\beta)}{A} \quad , S > L \qquad (4.9)$$

เมื่อ

L = ความยาวโค้งดิ่งหงาย

S = ระยะมองเห็น (ระยะแสงไฟ)

H = ความสูงของไฟหน้ารถจากผิวถนน

A = ค่าแตกต่างสัมบูรณ์ของความลาดชัน, เปอร์เซนต์

β = มุมที่แสงไฟทำกับแนวขนานของตัวรถ, องศา

องค์ประกอบสำคัญ ในการพิจารณาออกแบบความยาวโค้งหงาย มี 4 ประการคือ

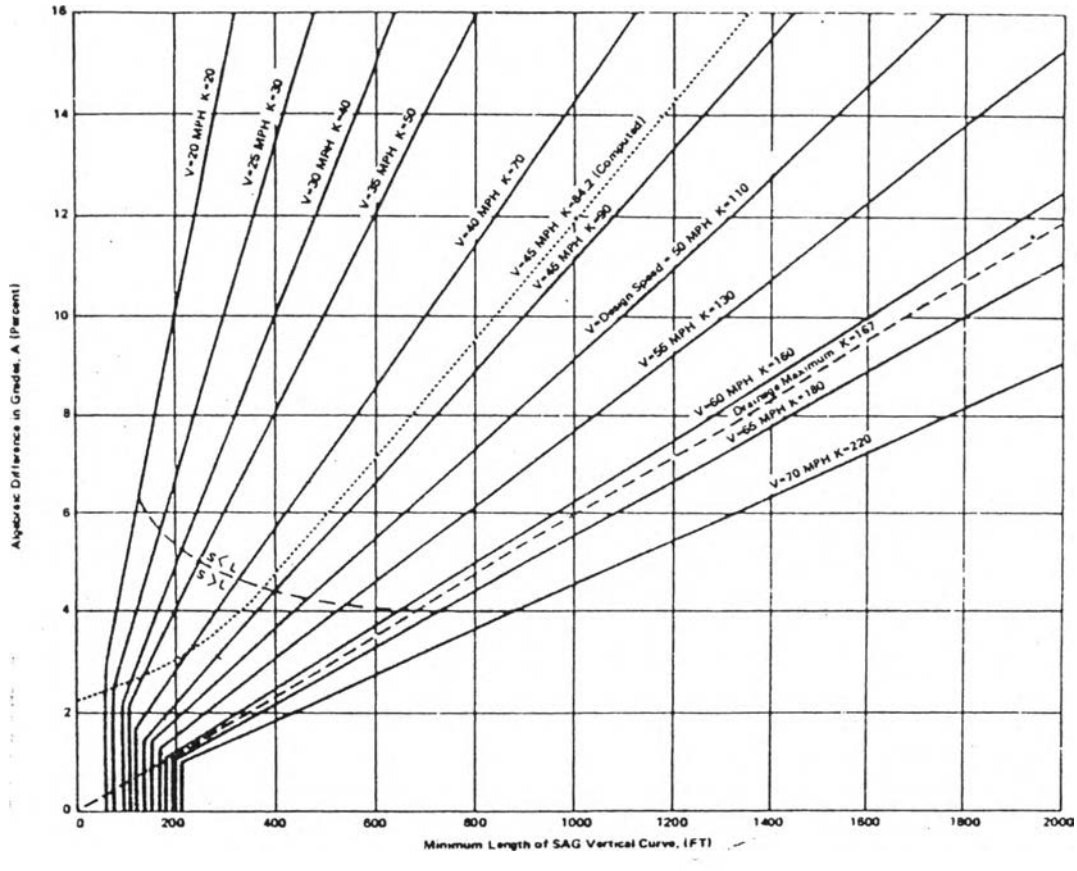
1) ระยะมองเห็นในแสงไฟ
2) ความสะดวกสบายในการขับขี่
3) การควบคุมการระบายน้ำ
4) ทัศนวิสัย

ปกติมักใช้ระยะมองเห็นในแสงไฟ เป็นตัวกำหนด ในการออกแบบหาความยาวโค้งดิ่งหงาย กรมทางหลวงใช้ความสูงของแสงไฟหน้ารถเท่ากับ 0.75 เมตร และ มุมที่แสงไฟทำกับแนวขนานของตัวรถเท่ากับ 1 องศา เมื่อแทนค่าในสมการที่ 4.8 และ 4.9 จะได้

$$L = \frac{AS^2}{150 + 3.5S} \quad , S < L \qquad (4.10)$$

$$L = 2S - \frac{(150 + 3.5S)}{A} \quad , S > L \qquad (4.11)$$

ความยาวโค้งดิ่งหงายที่ได้จากสมการ 4.8 และ 4.9 แสดงในรูปที่ 4.10 โดยใช้ค่าความสูงของแสงไฟหน้ารถเท่ากับ 2.0 ฟุต และมุมของแสงไฟเท่ากับ 1 องศา



รูปที่ 4.10 ความยาวโค้งดิ่งหงายต่ำสุด ภายใต้ความเร็ว และอัตราความแตกต่างสัมบูรณ์ของความลาดชันต่าง ๆ (AASHTO, 1984)

ในกรณีที่พิจารณาให้ผู้ขับขี่มีความสะดวกสบายในการขับขี่ การเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่ของรถในโค้งหงาย จะมีผลการะทบมากกว่าในโค้งคว่ำ เนื่องจากผลของแรงโน้มถ่วงและแรงหนีศูนย์กลางอยู่ในแนวเดียวกัน สมรรถนะของรถ เช่น ระบบกันสะเทือนความยืดหยุ่นของยางและน้ำหนักบรรทุก ก็มีผลต่อความสะดวกสบายในการขับขี่เช่นเดียวกัน จึงเป็นการยากที่จะวัดความสะดวกสบายได้ AASHTO แนะนำ ให้จำกัดความเร็วสู่ศูนย์กลางไม่เกิน 1 ฟุต ต่อวินาที^{2} ในกรณีนี้ ความยาวโค้งดิ่งหงายหาได้จาก สมการที่ 4.12

$$L = \frac{AV^2}{46.5} \qquad (4.12)$$

ความยาวโค้งดิ่งที่คำนวนได้จากสมการที่ 4.12 จะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของค่าที่ได้จากการกำหนดระยะมองเห็นในแสงไฟ

เมื่อต้องการควบคุมการระบายน้ำ ซึ่งจะมีผลต่อโค้งดิ่งหงายแบบที่ 2 ของรูปที่ 4.6 สำหรับถนนที่มีขอบถนน ข้อกำหนดการออกแบบจะเป็นเช่นเดียวกับโค้งคว่ำ คือ ต้องการความแตกต่างของเส้นลาดชันน้อยที่สุดเท่ากับ 0.30เปอร์เซนต์ ในระยะทางส่วนโค้งยาว 50 ฟุต ดังแสดงเป็นเส้นประ ในรูปที่ 4.10 (ค่า K เท่ากับ 167) ข้อกำหนดนี้จะกำหนดความยาวโค้งมากที่สุดแทนการกำหนดความยาวโค้งต่ำสุด

ในกรณีที่พิจารณาถึงทัศนวิสัย ผู้ออกแบบจะต้องใช้วิจารณญาณในการตัดสินใจเลือกความยาวโค้งหงาย บางหน่วยงานกำหนด ให้ใช้ความยาวโค้งหงายต่ำสุดเท่ากับ 100A หรือ K = 100 เปรียบเทียบกับการออกแบบที่ใช้ระยะมองเห็นในแสงไฟเป็นตัวกำหนด ซึ่งจะอยู่ในช่วงความเร็วประมาณ 45 ถึง 50 ไมล์ต่อชั่วโมง บนถนนที่มีมาตรฐานการออกแบบสูง อาจเพิ่มความยาวโค้งหงาย เพื่อปรับปรุงทัศนวิสัยให้ดีขึ้น

AASHTO (1984) แนะนำให้ใช้ระยะมองเห็นในแสงไฟเป็นตัวกำหนดในการหาความยาวโค้งดิ่งหงาย เนื่องจากมีความสมเหตุสมผล ตารางที่ 4.4 แสดงค่า K ที่ได้จากการออกแบบโค้งหงาย

Design Speed (mph)	Assumed Speed for Condition (mph)	Coefficient of Friction, f	Stopping Sight Distance, Rounded for Design (ft)	Rate of Vertical Curvature, K[a] (length (ft) per percent of A)	
				Computed[b]	Rounded for Design
20	20-20	0.40	125-125	14.7- 14.7	20- 20
25	24-25	0.38	150-150	21.7- 23.5	30- 30
30	28-30	0.35	200-200	30.8- 35.3	40- 40
35	32-35	0.34	225-250	40.8- 48.6	50- 50
40	36-40	0.32	275-325	53.4- 65.6	60- 70
45	40-45	0.31	325-400	67.0- 84.2	70- 90
50	44-50	0.30	400-475	82.5-105.6	90-110
55	48-55	0.30	450-550	97.6-126.7	100-130
60	52-60	0.29	525-650	116.7-153.4	120-160
65	55-65	0.29	550-725	129.9-178.6	130-180
70	58-70	0.28	625-850	147.7-211.3	150-220

[a]Different K values for the same speed result from using unequal coefficients of friction.

[b]Using computed values of stopping sight distance.

ตารางที่ 4.3 ความยาวโค้งดิ่งหงายสัมพันธ์กับระยะมองเห็นเพื่อการหยุดรถ (AASHTO, 1984)

4.7 ข้อพิจารณาทั่วไปในการออกแบบแนวทางดิ่ง

การออกแบบแนวทางดิ่งเป็นการกำหนดระดับของหลังทางของทางหลวง ในการออกแบบให้รถวิ่งได้สะดวกสะบาย ปลอดภัย ประหยัด และแนวทางสอดคล้องกับภูมิประเทศ ควรจะได้พิจารณา ในสิ่งต่อไปนี้

1) แนวเส้นทางที่ผ่านที่ราบควร กำหนดระดับหลังทางให้สูงกว่าระดับน้ำท่วมข้างทางไม่น้อยกว่า 0.45 เมตร

2) พิจารณากำหนดระดับหลังทาง ให้มีความลาดชันน้อยที่สุด เพื่อให้ความเร็วของรถไม่ลดลงมาก ถ้าระยะที่ต้องไต่ทางลาดชันยาว ควรกำหนดให้ช่วงที่ชันที่สุดอยู่ระดับล่างและช่วงลาดชันน้อย ๆ อยู่ช่วงบน แทนที่จะใช้ทางลาดชันคงที่ตลอด

3) พยายามกำหนดระดับหลังทาง ให้ปริมาณดินตัดใกล้เคียงกับปริมาณดินถม ทั้งนี้ เพื่อลดปัญหาน่าดินส่วนเกินไปทิ้ง หรือนำดินจากที่อื่นมาถม เป็นการช่วยลดค่าก่อสร้างทาง

4)ให้พยายามหลีกเลี่ยงการกำหนดระดับทางแบบลูกคลื่น ซึ่งเกิดจากทางลาดชันสั้น ๆ จำนวนมากเชื่อมต่อด้วยโค้งดิ่ง แนวเส้นทางลักษณะนี้นอกจากจะไม่สวยงามแล้วยังไม่เป็นการปลอดภัยอีกด้วย

5) ควรพยายามหลีกเลี่ยง การใช้โค้งดิ่งหงายที่สั้นมาก ๆ เชื่อมระหว่างทางลาดชันที่ยาวมาก ๆ เพราะ นอกจากจะทำให้ผู้ใช้ถนนไม่สะดวกสบายแล้วยังอันตรายในระหว่างการแซงของรถด้วย

6) หลีกเลี่ยงการออกแบบที่ไม่สอดคล้องกับภูมิประเทศ เช่นใช้โค้งคว่ำ ในช่วงดินถมหรือใช้โค้งดิ่งหงายในช่วงดินตัด

7) เมื่อมีทางแยกระดับเดียวกัน (At-grade intersection) ในช่วงที่มีความลาดชันปานกลางหรือลาดชันสูง ควรจะลดความลาดชันลงในช่วงทางแยก พยายามกำหนดให้เป็นทางราบ จะช่วยให้การเลี้ยวรถสะดวกยิ่งขึ้นและช่วยลดอุบัติเหตุ

8) จะต้องสอดคล้องกับแนวทางราบ

4.8 การผสมผสานระหว่างการออกแบบแนวทางราบและแนวทางดิ่ง

แนวทางราบและแนวทางดิ่งไม่ควรจะแยกกันออกแบบ เนื่องจากเป็นส่วนประกอบของซึ่งกันและกัน เมื่อใดก็ตามที่การผสมผสานของแนวทางทั้งสองไม่ดีแล้ว ก็อาจจะทำลายจุดดีและเสริมจุดด้อยของกันและกัน แนวทางราบ และ ระดับทางเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของทางหลวงซึ่งควรได้ศึกษาให้ถ่องแท้ การออกแบบ และ การผสมผสานที่ดีจะทำให้ได้ทางหลวงที่ใช้งานได้ดี สะดวกสบาย และ ปลอดภัย โดยที่ไม่ได้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นมามากมายนัก ดังนั้นในการออกแบบแนวทางจึงควรพิจารณาในหัวข้อ ต่อไปนี้

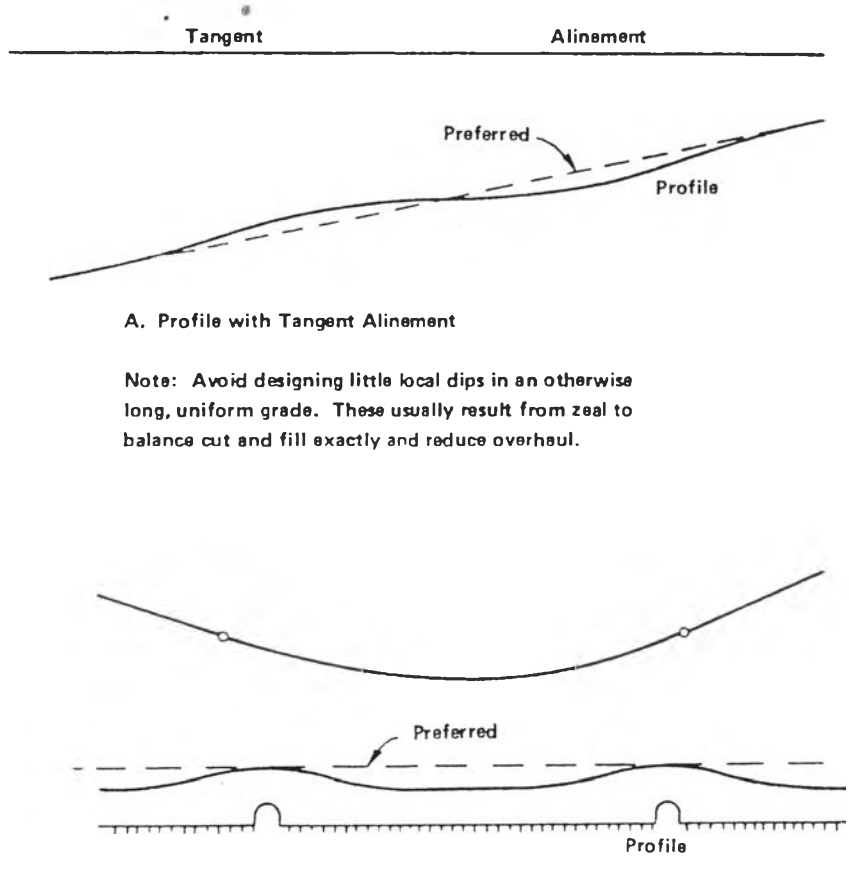
1) ความโค้งและความลาดชันของทางควรจัดให้สมดุลย์ การออกแบบให้ถนนตรงและโค้งน้อย แต่มีความลาดชันมาก หรือ แนวถนนมีความโค้งมาก แต่มีระดับราบ ๆ เป็นการออกแบบที่ไม่ดีทั้งคู่ การออกแบบที่ดีที่สุดก็คือการประนีประนอมเข้าหากันจะทำให้ได้ทางที่ปลอดภัย ประหยัดและสวยงาม

2) โค้งราบและโค้งดิ่งไม่จำเป็นต้องแยกกัน (อาจจะซ้อนอยู่ในสถานีเดียวกันได้) ปกติแล้วลักษณะของแนวทางจะดูเป็นธรรมชาติและดูดีถ้าได้คำนึงถึงข้อจำกัดบางอย่าง

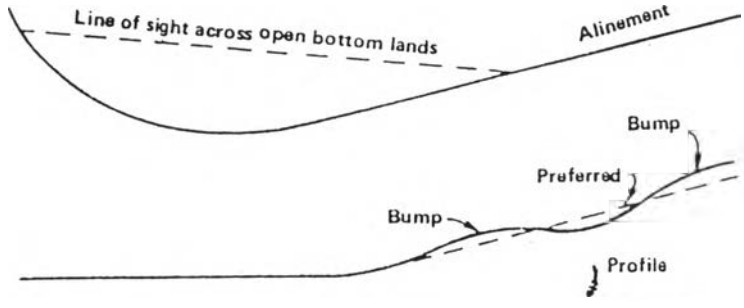
3) การเปลี่ยนแปลงแนวทางราบควรจะทำในช่วงของโค้งดิ่งหงาย ผู้ขับขี่จะมองเห็นการเปลี่ยนทิศทางได้ง่าย อย่างไรก็ตามโค้งราบที่ออกแบบควรเป็นโค้งที่มีรัศมียาว เพื่อป้องกันการบิดเบี้ยว Distortion) ของภาพเส้นทางที่ปรากฏแก่คนขับ

4)ไม่ควรใส่โค้งราบที่มีความยาวรัศมีน้อย ๆ ให้อยู่ที่เดียว หรือใกล้กับยอดของโค้งดิ่งคว่ำที่มีความลาดชันสูง สภาพเช่นนี้เป็นอันตรายมากเพราะคนขับจะไม่เห็นว่ามีการเปลี่ยนแนวทางราบ (โดยเฉพาะกลางคืนเพราะแสงไฟหน้ารถส่องขึ้นสูง) อันตรายอย่างนี้อาจหลีกเลี่ยงได้ ถ้าให้โค้งราบยาวกว่าโค้งดิ่ง หรือ ออกแบบให้ดีกว่ามาตรฐานต่ำสุดสำหรับความเร็วออกแบบหนึ่ง ๆ

5) ไม่ควรใส่โค้งราบที่มีความยาวรัศมีน้อย ๆ ให้อยู่ที่เดียวหรือใกล้กับจุดต่ำของโค้งดิ่งหงายที่มีความลาดชันสูง เพราะนอกจากจะมีความบิดเบี้ยวของภาพ (Distortion appearance) แล้ว ที่บริเวณนั้น ความเร็วรถมักจะสูงเกินไป (โดยเฉพาะรถบรรทุก) ที่จะวิ่งในโค้งที่แคบ

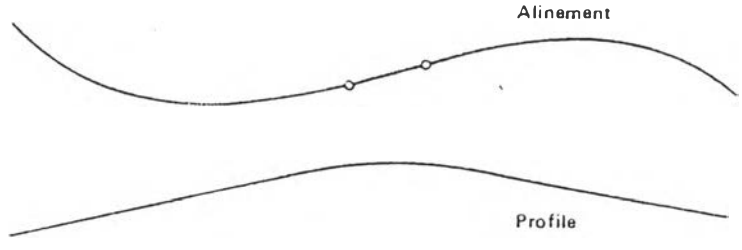


รูปที่ 4.11 ข้อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างแนวทางราบ และแนวทางดิ่งในการออกแบบทางหลวง (AASHTO, 1984)



C. Distant View Showing Bumps in Profile Grade Line

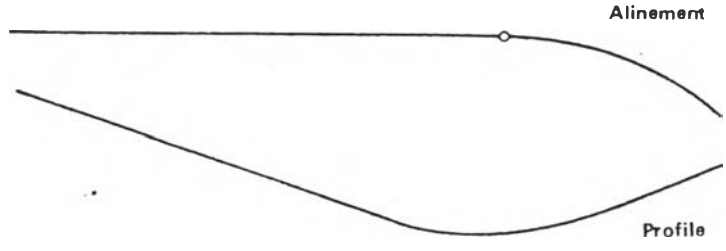
Note: A distant side view of a long grade on tangent will reveal every bump on it.



D. Short Tangent on a Crest Between Two Horizontal Curves

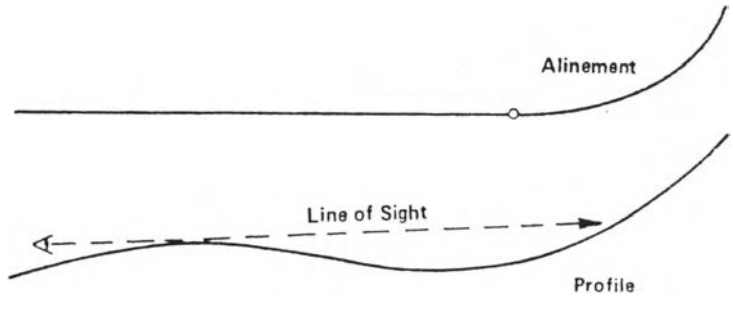
Note: This combination is deficient for two reasons. The tangent between the curve is too short, and the reserve occurs on a crest.

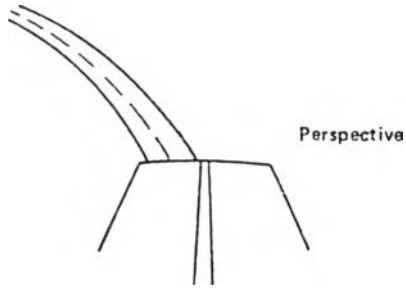
รูปที่ 4.11 (ต่อ)



E. Sharp Angle Appearance

Note: This combination presents a poor appearance—the horizontal curve looks like a sharp angle.

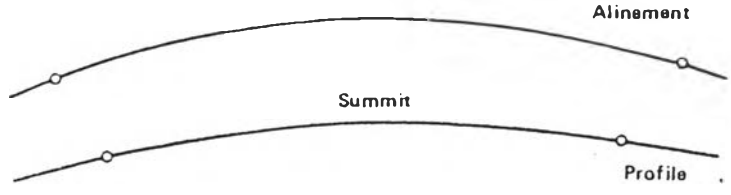




F. Disjointed Effect

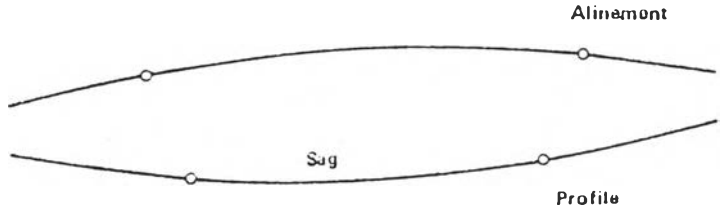
Note: A disjointed effect occurs when the beginning of a horizontal curve is hidden from the driver by an intervening crest while the continuation of the curve is visible in the distance beyond the intervening crest.

รูปที่ 4.11 (ต่อ)



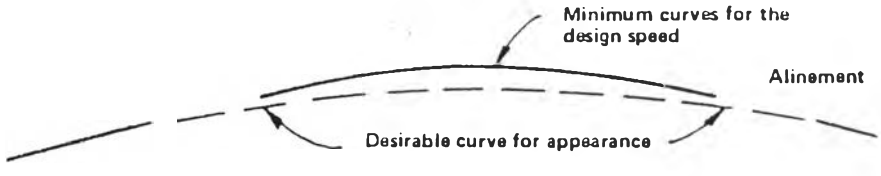
G. Coinciding Curves in Horizontal and Vertical Dimensions

Note: When horizontal and vertical curves coincide, a very satisfactory appearance results.



H. Opposing Curves in Horizontal and Vertical Dimensions

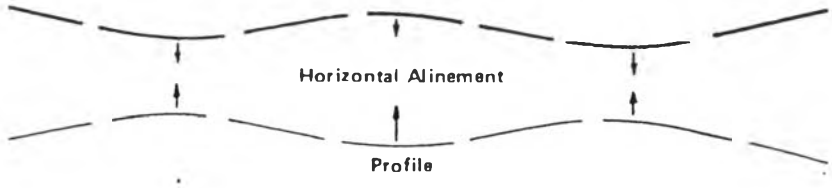
Note: When horizontal and vertical curves oppose, a very satisfactory appearance results.



I. Flat Curves Appropriate for Horizontal with Small Central Angles Regardless of Profile.

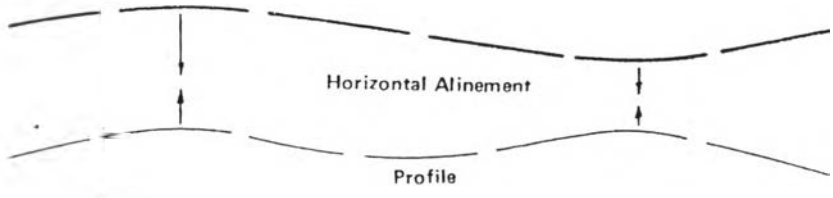
Note: Very long flat curves, even where not required by the design speed, also have a pleasing appearance when the central angle is very small.

รูปที่ 4.11 (ต่อ)



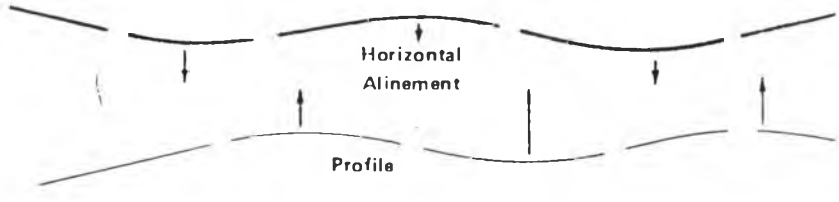
J. Coinciding Vertices in Horizontal and Vertical Dimensions

Note: The classic case of coordination between horizontal and vertical alinement in which the vertices of horizontal and vertical curves coincide, creating a rich effect of three-dimensional S-curves, composed of convex and concave helixes.



K. Coinciding Vertices with Single–Phase Skip

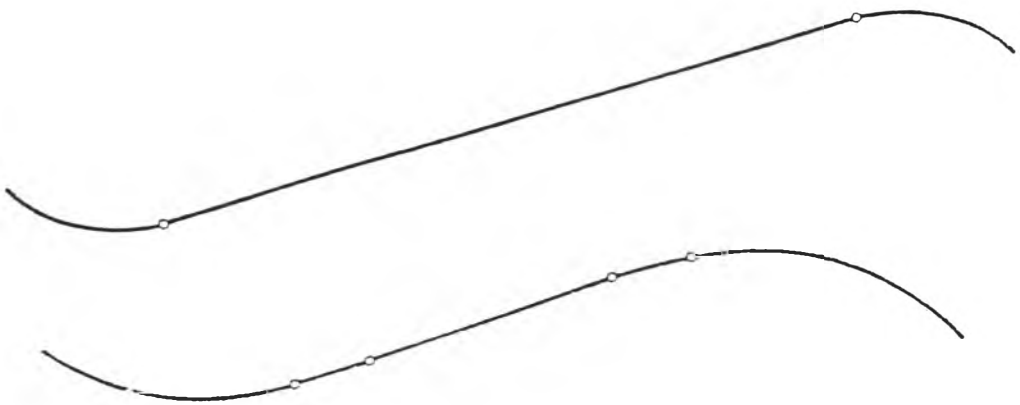
Note: A legitimate case of coordinaton: one phase is skipped in the horizontal plane, but vertices still coincide. The long tangent in plan is softened by vertical curvature.



L. Weak Coordination of Horizontal and Vertical Alinements

Note: A case with weak coordination where the vertical alinement is shifted half a phase with respect to horizontal alinement so the vertices coincide with points of inflection. The superelevation in this case occurs on grade, while crests and sags have normal crowned sections; in the first case, superelevation occurs on crests and sags, while grades have normal crowned sections.

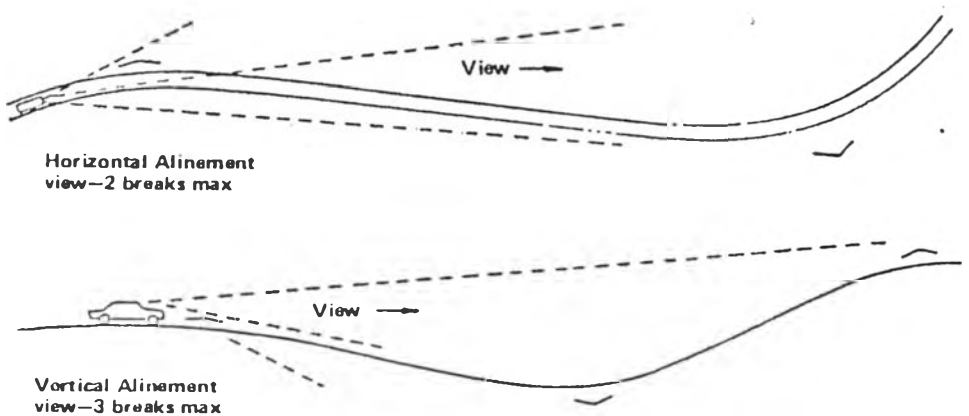
รูปที่ 4.11 (ต่อ)



M. Horizontal Alinement Should Be Balanced

Note: The upper line is an example of poor design because the alinement consists of a long tangent with short curves, whereas the balance between the curves and tangents in the lower alinement is the preferred design.

รูปที่ 4.11 (ต่อ)



N. Good Coordination of Horizontal and Vertical Alinements

Note: Guideline to be used for coordination of horizontal and vertical alinement.

รูปที่ 4.11 (ต่อ)