บทที่ 3

ข้อกำหนดทางเรขาคณิตของแนวทางดิ่ง

3.1 หลักการของการออกแบบแนวทางดิ่ง

การออกแบบทาง มีเป้าหมายสำคัญเพื่อที่จะหาเส้นทางที่สามารถให้บริการได้อย่างสะดวกสบาย ปลอดภัย และ ไม่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม เพื่อให้เป็นไปตามเป้าหมายดังกล่าว จึงมีการกำหนดนโยบายในการออกแบบทางเรขาคณิต เพื่อเป็นแนวทางให้ออกแบบได้อย่างถูกต้องตามหลักวิศวกรรม เกิดความสะดวกสบายและปลอดภัยในการขับขี่ และ มีความคงเส้นคงวา (Consistency) ของแนวเส้นทาง หน่วยงานที่สำคัญที่รับผิดชอบต่อการกำหนดนโยบายในปัจจุบัน คือ AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)

นโยบายการออกแบบของ AASHTO (1984) คำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ขับขี่เป็นหลัก ปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการพิจารณาหาข้อกำหนดทางเรขาคณิต คือ ปริมาณการจราจร ลักษณะของยานพาหนะ และ ความเร็วของยวดยาน ปัจจัยทั้งสามประการนี้จะเป็นตัวกำหนดความกว้างของช่องทางจราจร จำนวนช่องทาง ความกว้างของไหล่ถนน อัตราความโค้ง ความลาดชันของถนน ชนิดของผิวทาง ฯลฯ

ในการออกแบบจะใช้ความเร็วที่ใช้ออกแบบ (Design speed) เป็นตัวกำหนดองค์ประกอบทางเรขาคณิต ความเร็วที่ใช้ออกแบบ คือ ค่าความเร็วสูงสุดที่ผู้ขับสามารถขับขี่ได้อย่างปลอดภัยในสภาพที่กำหนด นอกจากนี้ความเร็วที่ใช้ออกแบบยังเป็นตัวกำหนดให้แต่ละองค์ประกอบสอดคล้องกัน

ค่าความเร็วที่ใช้ออกแบบ กำหนดมาจากระดับความต้องการของผู้ขับขี่ที่จะใช้เส้นทาง นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงสภาพภูมิประเทศด้วยว่า สามารถก่อสร้างได้จริง และ มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและการใช้รถไม่สูงจนเกินไป โดยทั่วไปแล้วค่าความเร็วที่ใช้ออกแบบจะกำหนดจากระดับชั้นของถนน และ ลักษณะภูมิประเทศ

ลักษณะภูมิประเทศมีผลต่อการออกแบบทางอย่างมากทั้งในการออกแบบแนวทางราบ และ แนวทางดิ่ง สามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภทคือ

1) ลักษณะภูมิประเทศทางราบ เป็นสภาพภูมิประเทศที่ตรงตามข้อกำหนดของระยะการมองเห็น (Sight distance) ทั้งในทางราบและทางดิ่ง โดยทั่วไปภูมิประเทศจะมีระยะการมองเห็นยาวกว่าข้อกำหนดจึงไม่ทำให้เกิดความยุ่งยากในการก่อสร้าง

2) ลักษณะภูมิประเทศทางเนิน เป็นสภาพภูมิประเทศที่มีความลาดชันขึ้นและลงส่วนใหญ่อยู่ภายในค่าความลาดชันของถนนที่กำหนด ในบางบริเวณอาจปรากฏความลาดชันสูงเกินข้อจำกัดของความลาดชันทางแนวราบ และ แนวดิ่ง

3) ลักษณะภูมิประเทศทางภูเขา เป็นสภาพภูมิประเทศที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับพื้นดินทั้งในแนวขนานและตั้งฉากกับแนวเส้นทาง การก่อสร้างถนนจึงมักต้องมีการขุดแนวข้างภูเขา (Side hill excavation) และ การถม (Benching) ให้ได้แนวทางราบ และ แนวทางดิ่งตามต้องการ

ลักษณะภูมิประเทศแบ่งตามสภาพภายในขอบเขตของแนวเส้นทาง เส้นทางที่ผ่านสภาพภูมิประเทศที่เป็นภูเขาแต่ภายในขอบเขตของเส้นทางมีลักษณะภูมิประเทศทางเรียบ หรือทางเนิน ก็จะต้องแบ่งประเภทเป็นลักษณะภูมิประเทศทางเรียบหรือทางเนิน โดยทั่วไปแล้วลักษณะภูมิประเทศทางเนิน เป็นบริเวณที่ทำให้แนวเส้นทางมีความลาดชันที่ทำให้ความเร็วของรถบรรทุกลดลงจนช้ากว่าความเร็วของรถส่วนบุคคล ส่วนลักษณะภูมิประเทศทางภูเขา เป็นบริเวณที่ทำให้รถบรรทุกต้องใช้ความเร็วฉุดลาก (Crawl speed) ในขณะวิ่งขึ้นทางลาดชัน

แนวทางดิ่งแบบดั้งเดิมประกอบด้วยสององค์ประกอบ คือ ทางลาดชัน และ โค้งดิ่ง ในการออกแบบแนวทางดิ่งจะแยกพิจารณาแต่ละองค์ประกอบ โดยใช้ค่าความเร็วที่ใช้ออกแบบเป็นตัวกำหนดให้องค์ประกอบทั้งสองสอดคล้องกัน ค่าดังกล่าวยังทำให้เกิดความสมดุลกันระหว่างแนวทางราบ และ แนวทางดิ่งอีกด้วย

3.2 <u>ทางลาดชัน</u> (Grade)

เส้นทางควรถูกออกแบบให้การขับขี่เป็นไปได้อย่างราบเรียบ (Smooth operation) การเลือกความเร็วที่ใช้ออกแบบ (Design speed) มีส่วนสำคัญในการออกแบบทางเรขาคณิตของถนนแต่ละส่วนให้สอดคล้องกัน ค่าความเร็วที่ใช้ออกแบบยังมีความสัมพันธ์กับความลาดชันและ ระยะทางลาดชัน

3.2.1 คุณลักษณะของการใช้รถบนทางลาดชัน

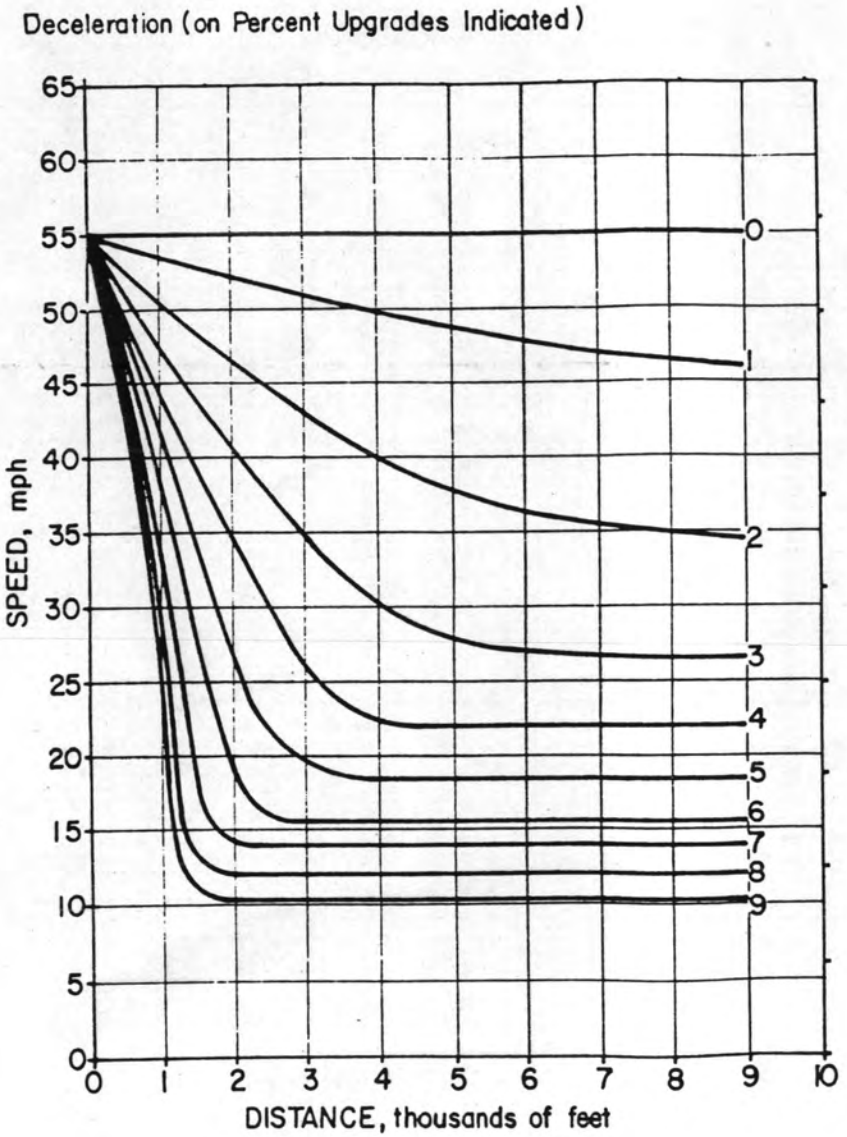
1) รถยนต์ส่วนบุคคล ผู้ใช้รถยนต์ส่วนบุคคลมีความชำนาญในการขับขี่รถบนทางลาดชันต่างกัน ผู้ขับขี่ส่วนใหญ่สามารถขับขี่บนทางลาดชันที่มีความลาดชัน 4-5 เปอร์เซนต์ โดยไม่มีการลดความเร็ว มากกว่าที่เคยชินในการขับขี่ถนนทางเรียบ ทั้งนี้ยังต้องขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของน้ำหนักรถต่อแรงม้าของเครื่องยนต์ และ ประเภทของรถอีกด้วย

จากการศึกษาพบว่าการขับขี่ในสภาพการจราจรไม่ติดขัดบนทางลาดชันขึ้นหรือลง 3 เปอร์เซนต์ มีสภาพแตกต่างจากการขับขี่บนถนนทางเรียบเพียงเล็กน้อยเท่านั้น บนเส้นทางที่ลาดชันขึ้นมากกว่า 3 เปอร์เซนต์ ความเร็วในการขับขี่จะลดลงแปรผันกับความลาดชันที่เพิ่มขึ้น บนเส้นทางที่ลาดชันลง ความเร็วของรถมักจะมากกว่าความเร็วบนถนนทางเรียบ

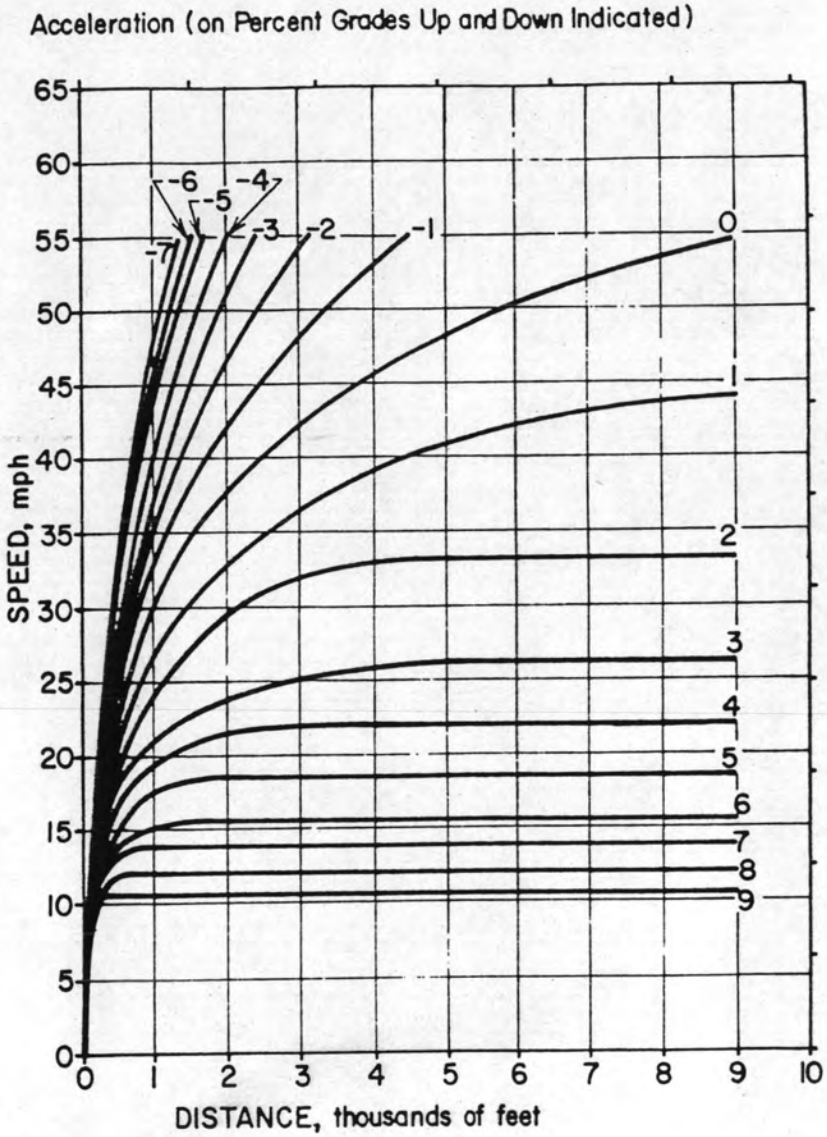
2) รถบรรทุก ทางลาดชันส่งผลกระทบต่อความเร็วของรถบรรทุกมากกว่าความเร็วของรถยนต์ส่วนบุคคล บนเส้นทางที่ลาดชันขึ้น ความเร็วมากที่สุดของรถบรรทุกในการวิ่งขึ้นทางลาดชันขึ้นอยู่กับระยะทาง ความชันของทางลาดชัน และ อัตราส่วนของน้ำหนักรถต่อกำลังของเครื่องยนต์ ส่วนปัจจัยอื่นๆ เช่น ระยะทางลาดชันก่อนจะเข้าสู่ช่วงถนนแรงต้านทานโดยลม และ ทักษะการขับขี่จะมีผลต่อความเร็วเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ผลกระทบของความลาดชัน และ ระยะทางลาดชันที่มีผลต่อรถบรรทุกหนักแสดงในรูปที่ 3.1 และ 3.2

รูปที่ 3.1ก ใช้หาระยะทางที่รถบรรทุกเคลื่อนที่จนมีความเร็วสุดท้ายเป็นความเร็วคงที่ โดยมีความเร็วเริ่มต้นเท่ากับ 55 ไมล์ต่อชั่วโมงหรือต่ำกว่า วิ่งขึ้นทางลาดชันที่มีเปอร์เซนต์ความลาดชันต่างๆกัน ส่วนรูปที่ 3.1ข แสดงสมถนะ (Performance) ของรถบรรทุกในการวิ่งขึ้นทางลาดชันด้วยความเร็วฉุดลากหรือต่ำกว่า และ จะพบว่ารถบรรทุกสามารถเร่งความเร็วจนถึงความเร็วเพียง 25 ไมล์ต่อชั่วโมง เมื่อถนนมีความชันเท่ากับ 3.5 เปอร์เซนต์ รูปที่ 3.1 เป็นข้อแนะนำในการออกแบบที่คำนึงถึงผลกระทบของรถบรรทุกในการจราจร



รูปที่ 3.1ก ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและระยะทางของการลดความเร็วของรถบรรทุก 300 lb/hp (AASHTO, 1984)



รูปที่ 3.1ข ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและระยะทางของการเร่งความเร็วของรถบรรทุก 300 lb/hp (AASHTO, 1984)

เวลาในการเดินทาง (หรือ ความเร็ว) ของรถบรรทุกบนทางลาดชันเป็นผลโดยตรงจากอัตราส่วนของน้ำหนักรถต่อแรงม้าของเครื่องยนต์ รถที่มีอัตราส่วนของน้ำหนักรถต่อแรงม้าของเครื่องยนต์เดียวกัน จะถูกสมมติให้มีคุณลักษณะการขับขี่ใกล้เคียงกัน ดังนั้น อัตราส่วนของน้ำหนักรถต่อแรงม้าของเครื่องยนต์ จึงถูกหาในรูปของน้ำหนักรวมของรถทั้งหมด และ แรงม้ารวมของเครื่องยนต์ ได้ค่าอัตราส่วนนี้เท่ากับ 300 ปอนด์ต่อ 1 แรงม้าของเครื่องยนต์ ซึ่งใช้เป็นตัวแทนคุณลักษณะของรถในประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2.2 การควบคุมทางลาดชันในการออกแบบ

3.2.2.1 ความลาดชันสูงสุด

จากรูปที่ 3.1 และ 3.2 แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นของการกำหนดค่าความลาดชันสูงสุดในการออกแบบแนวทางดิ่ง สำหรับการออกแบบโดยใช้ความเร็วที่ใช้ออกแบบ 30 ไมล์ต่อชั่วโมงจะมีค่าความลาดชันสูงสุดอยู่ในช่วง 7-12 เปอร์เซนต์ ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ และ ประเภทของทาง

ตามปกติไม่ควรออกแบบทาง ให้มีความลาดชันเท่ากับค่าความลาดชันสูงสุด แต่ในบางกรณี เช่น ทางลาดชันที่มีระยะทางสั้นกว่า 500 ฟุต หรือ ถนนเดินรถทางเดียว ความลาดชันสูงสุดอาจจะชันได้มากขึ้น 1 เปอร์เซนต์ สำหรับทางหลวงที่มีการจราจรเบาบาง ความลาดชันอาจชันขึ้นได้ถึง 2 เปอร์เซนต์

3.2.2.2 ความลาดชันต่ำสุด

ถนนทางเรียบที่ไม่ได้ทำขอบถนนอาจไม่ต้องใช้ค่าความลาดชันต่ำสุดในการออกแบบ หากผิวทางระบายน้ำได้เพียงพอสำหรับผิวทางที่มีขอบถนน บางครั้งต้องการความลาดชันในแนวยาวเล็กน้อย เพื่อช่วยให้ระบายน้ำได้สะดวกยิ่งขึ้น ในกรณีนี้ค่าความลาดชันต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 0.5 เปอร์เซนต์

3.2.3 ระยะทางวิกฤตของทางลาดชัน (Critical length of grade)

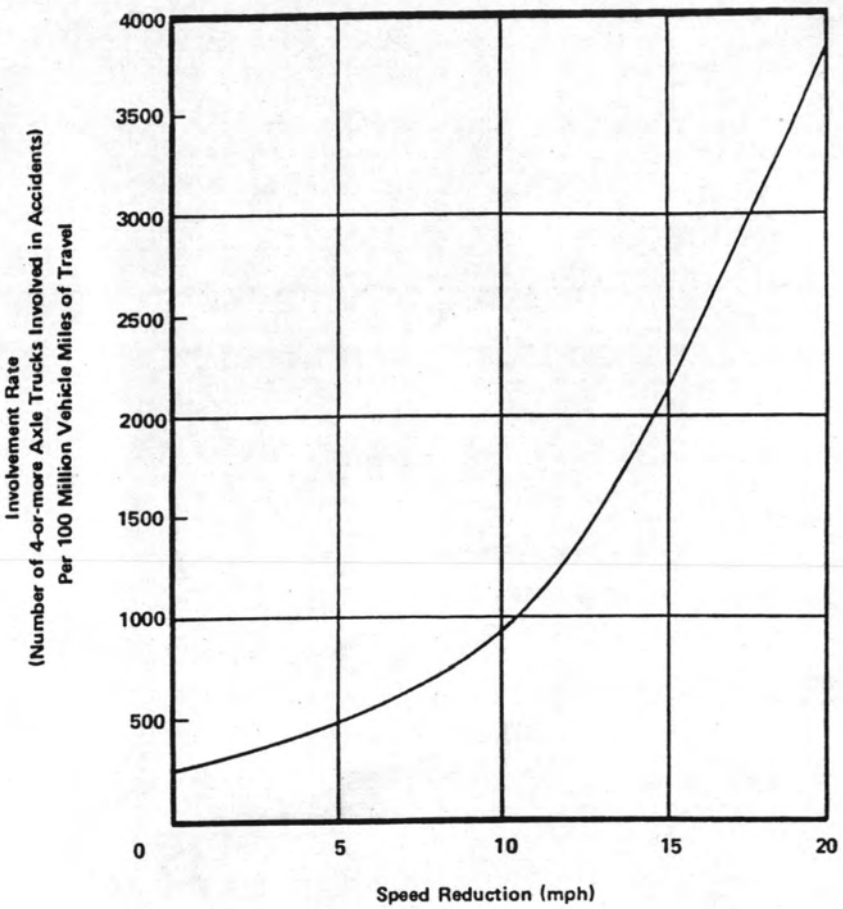
ค่าความลาดชันสูงสุดเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอในการออกแบบ จะต้องพิจารณาถึงระยะทางของทางลาดชันซึ่งมีความสัมพันธ์กับการขับขี่ด้วย ระยะทางวิกฤตของทางลาดชัน หมายถึง ระยะทางที่ยาวที่สุดของทางลาดชันขึ้นที่รถบรรทุกสามารถวิ่งขึ้นได้โดยไม่มีการสูญเสียความเร็วมากกว่าค่าที่กำหนด ถ้าถนนช่วงนั้นมีระยะทางของทางลาดชันสั้นกว่าระยะทางวิกฤต จะทำให้ขับขี่ได้อย่างสะดวก ถ้าต้องการออกแบบทางลาดชันให้มีระยะทางลาดชันยาวกว่าระยะทางวิกฤต จะต้องจัดหาช่องทางพิเศษสำหรับรถที่มีความเร็วต่ำ ดังนั้นระยะทางวิกฤตของทางลาดชันเป็นปัจจัยสำคัญในการพิจารณาจัดทำช่องทางพิเศษ

องค์ประกอบสำคัญในการหาค่าระยะทางวิกฤตของทางลาดชันประกอบด้วย

1) ขนาดและกำลังเครื่องยนต์ของรถบรรทุก ในการคำนวณค่าระยะทางวิกฤตของทางลาดชัน ใช้ค่าอัตราส่วนของน้ำหนักรถต่อแรงม้าของเครื่องยนต์เท่ากับ 300 ปอนด์ต่อแรงม้า

2) ความเร็วของรถที่เข้าสู่ช่วงระยะทางวิกฤต ใช้ความเร็วขณะวิ่งเฉลี่ย (Average running speed) เป็นความเร็วเริ่มต้นของรถที่วิ่งเข้าสู่ช่วงระยะทางวิกฤตบนทางลาดชัน ความลาดชันของถนนช่วงก่อนที่จะเข้าสู่ช่วงระยะทางวิกฤตมีผลต่อความเร็ว โดยถ้าเป็นทางลาดชันลงความเร็วต้นจะเพิ่มขึ้น ในทางกลับกัน ถ้าเป็นทางลาดชันขึ้นความเร็วเริ่มต้นจะลดลง

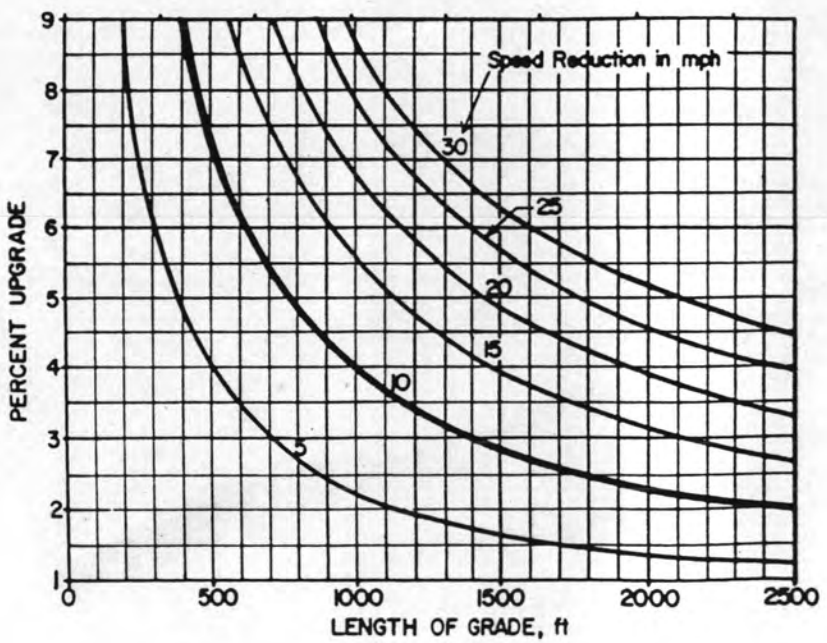
3) ความเร็วต่ำสุดของรถที่วิ่งอยู่บนทางลาดชันที่ไม่ส่งผลกระทบต่อการจราจรจนทำให้เกิดการสูญเสียความเร็วอย่างมาก ความเร็วดังกล่าวถูกสมมติให้มีความสัมพันธ์กับความเร็วที่ใช้ออกแบบ และ ความไม่พึงพอใจของผู้ขับขี่รถคันอื่นเนื่องจากการสูญเสียเวลา บนทางหลวงสี่ช่องทางขึ้นไปจะมีความเร็วต่ำสุดของรถบรรทุกที่ยอมให้ต่ำกว่าบนทางหลวงสองช่องทาง นอกจากนี้ยังพบว่าผลของการลดหรือเพิ่มความเร็วก่อให้เกิดอุบัติเหตุได้ ผลการศึกษาปรากฏในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 อัตราการเกิดอุบัติเหตุของรถบรรทุกที่มีความเร็วต่ำกว่าความเร็วขณะวิ่งเฉลี่ย (Average running speed) ของรถทุกประเภท (AASHTO, 1984)

ปัจจัยพื้นฐานของการกำหนดระยะทางวิกฤตของทางลาดชัน คือ การสูญเสียความเร็ว โดยเทียบกับความเร็วขณะวิ่งเฉลี่ย ในอดีตการออกแบบยอมให้ความเร็วรถบรรทุกลดลง 15 ไมล์ต่อชั่วโมง จากความเร็วขณะวิ่งเฉลี่ย (จากรูปที่ 3.2) และ พบว่าการลดลงของความเร็วขณะวิ่งเฉลี่ยที่ยอมให้นั้นก่อให้เกิดอุบัติเหตุอย่างมาก จึงกำหนดให้การสูญเสียความเร็วลดลงเหลือ 10 ไมล์ต่อชั่วโมง ในการหาค่าระยะทางวิกฤตของทางลาดชัน

ระยะทางบนทางลาดชันที่ทำให้รถบรรทุกที่มีอัตราส่วนของน้ำหนักรถต่อกำลังเครื่องยนต์ เท่ากับ 300 ปอนด์ต่อแรงม้า ที่เข้าสู่ช่วงระยะทางดังกล่าวด้วยความเร็ว 55 ไมล์ต่อชั่วโมง เกิดการสูญเสียความเร็วที่ระดับต่าง ๆ แสดงไว้ในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ระยะทางวิกฤตของทางลาดชัน เมื่อสมมติให้รถบรรทุก 300 lb/hp วิ่งเข้าสู่ทางลาดชันด้วยความเร็ว 55 mph (AASHTO, 1984)

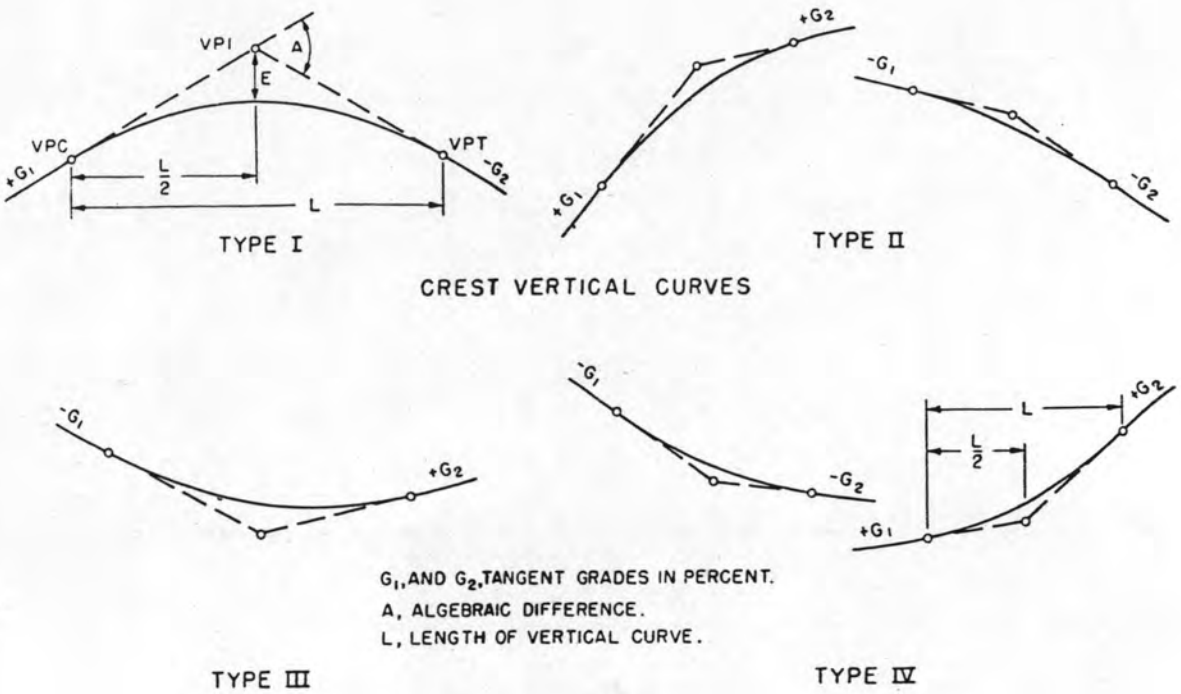
ระยะทางวิกฤตของทางลาดชันในรูปที่ 3.3 ได้มาจากการวิเคราะห์บนช่วงทางลาดชันที่เป็นทางตรง ถ้าบนระยะทางวิกฤตอยู่บนช่วงของโค้งดิ่งแบบที่ 1 และแบบที่ 2 (จากรูปที่ 3.4) ที่มีความโค้งน้อย ๆ จะมีระยะทางโดยประมาณเท่ากับช่วงทางตรงบนเส้นลาดชัน ระยะทางวิกฤตจะหาได้จากระยะทางบนเส้นลาดชันระหว่าง จุดตัดแนวดิ่ง (PVI) แต่ถ้าเป็นโค้งที่มีความโค้งมาก ระยะทางวิกฤตในช่วงของโค้งดิ่งจะเท่ากับหนึ่งในสี่ของความยาวส่วนโค้ง

สำหรับกรณีของทางลาดชันลง ความลาดชันจะมีผลต่อความจุของถนน และความปลอดภัย โดยเฉพาะเมื่อมีปริมาณการจราจร และ ปริมาณรถบรรทุกสูง ถึงแม้ว่าจะไม่มีบรรทัดฐาน (Criteria) ในการออกแบบ จากการศึกษาพบว่าการใช้เกียร์ต่ำของรถบรรทุกขณะวิ่งบนทางลาดชันลงมีผลเช่นเดียวกับบนทางลาดชันขึ้น ดังนั้นจึงควรจัดหาช่องทางสำหรับรถบรรทุกในทางลาดชันลง

นโยบายของการออกแบบระยะทางวิกฤตของทางลาดชันนี้เป็นเพียงข้อแนะนำในการปฏิบัติเท่านั้น เนื่องจากการปรับปรุงเส้นทางในบางสภาพภูมิประเทศ ต้องกำหนดความลาดชันขึ้นใหม่ เพื่อที่จะให้สอดคล้องกับข้อกำหนดของการออกแบบระยะทางวิกฤต และ ต้องบูรณะ (Reconstruction) ทางใหม่ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายมาก บนถนนที่มีการสูญเสียความเร็วมาก และ ทางหลวงสองช่องทางที่มีการจราจรหนาแน่นหรือปริมาณรถบรรทุกมาก ควรคำนึงระยะทางวิกฤตนี้ หากในช่วงเส้นทางใดมีระยะทางลาดชันเกินกว่าระยะทางวิกฤตของทางลาดชัน ควรจัดหาช่องทางพิเศษสำหรับรถที่ใช้ความเร็วต่ำ โดยใช้รูปที่ 3.3 ประกอบการพิจารณา

3.3 โค้งดิ่ง (Vertical curve)

โค้งดิ่งเป็นลักษณะของช่วงเส้นทางที่มีการเปลี่ยนแปลงความลาดชัน รูปแบบของโค้งดิ่งแสดงในรูปที่ 3.4 โค้งดิ่งจะต้องทำให้ผู้ขับขี่เดินทางได้อย่างสะดวก ปลอดภัย ทัศนวิสัยดี และ มีการระบายน้ำอย่างเพียงพอ ข้อกำหนดเพื่อความปลอดภัยของโค้งคว่ำ (Crest vertical curve) คือ ต้องมีระยะการมองเห็น (Sight distance) เพียงพอในการขับขี่ด้วยความเร็วที่ใช้ออกแบบ ระยะการมองเห็นสำหรับหยุด (Stopping sight distance) เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาในการออกแบบโค้ง ถ้าเป็นไปได้ควร



รูปที่ 3.4 ประเภทของโค้งดิ่ง

ออกแบบให้มีระยะทางมองเห็นไกล ๆ และ จะต้องมีระยะการมองเห็นยาวขึ้นกว่าค่าต่ำสุดในบางช่วงของเส้นทาง

ผู้ขับขี่จะรู้สึกสบายในการขับขี่รถเข้าโค้ง เมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงความลาดชันอยู่ในช่วงที่ทนได้ อัตราการเปลี่ยนความลาดชันนี้เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาในการออกแบบโค้งหงาย (Sag vertical curve) เนื่องจากมีแรงเหวี่ยง (Gravitational force) และ แรงหนีศูนย์กลางแนวดิ่ง (Vertical centrifugal force) กระทำในทิศทางเดียวกัน ทัศนวิสัยก็เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณา โค้งที่มีระยะทางยาวทำให้มีทัศนวิสัยดีกว่าโค้งที่มีระยะทางสั้นซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงระดับทางรวดเร็วกว่า

เพื่อความสะดวกในการออกแบบแนวเส้นทางจึงมักใช้โค้งพาราโบลาที่มีรูปสมมาตรที่ จุดตัดแนวดิ่ง (PVI) เพื่อหาระดับทาง ระยะห่างในแนวดิ่ง (Offset) จากเส้นลาดชันถึงจุดบนโค้ง แปรผันตรงกับค่ากำลังสองของระยะทางราบจากจุดเริ่มต้นโค้ง ซึ่งเป็นจุดที่มีค่าความลาดชันเท่ากับค่าของเส้นลาดชัน ระยะห่างในแนวดิ่งที่จุดตัดแนวดิ่ง (PVI)

มีค่าเท่ากับ AL/800 สัญญลักษณ์ที่ใช้แสดงในรูปที่ 3.4 การเปลี่ยนแปลงของความลาดชันจะคงที่เมื่อระยะทางในแนวราบเปลี่ยนไปเป็นระยะเท่า ๆ กัน และ เท่ากับค่าแตกต่างสัมบูรณ์ของความลาดชันหน่วยเป็นเปอร์เซนต์หารด้วยความยาวโค้งหน่วยเป็นฟุต หรือ A/L ดังนั้นค่า L/A หมายถึงระยะทางในแนวราบหน่วยเป็นฟุต ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความลาดชัน 1 เปอร์เซนต์ หรือ อัตราความโค้ง (Curvature) แทนด้วยสัญญลักษณ์ K ค่า K ยังใช้ในการหาความยาวโค้งดิ่งที่สั้นที่สุด เมื่อกำหนดความเร็วที่ใช้ออกแบบ การหาค่าระดับทางในช่วงโค้ง และ ค่าความยาวโค้งดิ่ง แสดงในภาคผนวก ก

ในบางกรณีจำเป็นต้องออกแบบโดยใช้โค้งพาราโบลาที่ไม่สมมาตรเนื่องจากข้อจำกัดของระยะการมองเห็น ข้อจำกัดของสภาพภูมิประเทศ และ ข้อจำกัดอื่น ๆ การคำนวณรูปโค้งพาราโบลาไม่สมมาตรแสดงในภาคผนวก ก

3.3.1 โค้งคว่ำ (Crest vertical curve)

ความยาวโค้งดิ่งที่สั้นที่สุดหาได้โดยใช้ข้อจำกัดของระยะการมองเห็นที่ทำให้เกิดความปลอดภัย ความสบาย และ ทัศนวิสัยดี แต่มีข้อยกเว้นสำหรับบริเวณที่ผู้ขับขี่ต้องตัดสินใจจะต้องการระยะการมองเห็นที่ไกลขึ้น เช่น บริเวณทางแยก เป็นต้น

สูตรเบื้องต้นในการหาความยาวโค้งดิ่ง คือ

$$L = \frac{AS^2}{100(\sqrt{(2h_1)}+\sqrt{(2h_2)})^2} \qquad S < L \qquad (3.1)$$

และ

$$L = 2S - \frac{200\,(\sqrt{h_1}+\sqrt{h_2})^2}{A} \qquad S > L \qquad (3.2)$$

โดยที่ L = ความยาวโค้งดิ่ง (ฟุต)

S = ระยะการมองเห็น (ฟุต)

A = ค่าแตกต่างสัมบูรณ์ของเส้นลาดชัน (เปอร์เซนต์)

h_1 = ความสูงของระดับสายตาเหนือผิวถนน (ฟุต)

h_2 = ความสูงของวัตถุเหนือผิวถนน (ฟุต)

เมื่อกำหนดความสูงของระดับสายตาเหนือผิวถนนเท่ากับ 3.50 ฟุต และความสูงของวัตถุเหนือผิวถนนเท่ากับ 6 นิ้ว ในการหาระยะการมองเห็นสำหรับหยุด จะได้

$$L = \frac{AS^2}{1329} \qquad S < L \qquad (3.3)$$

และ

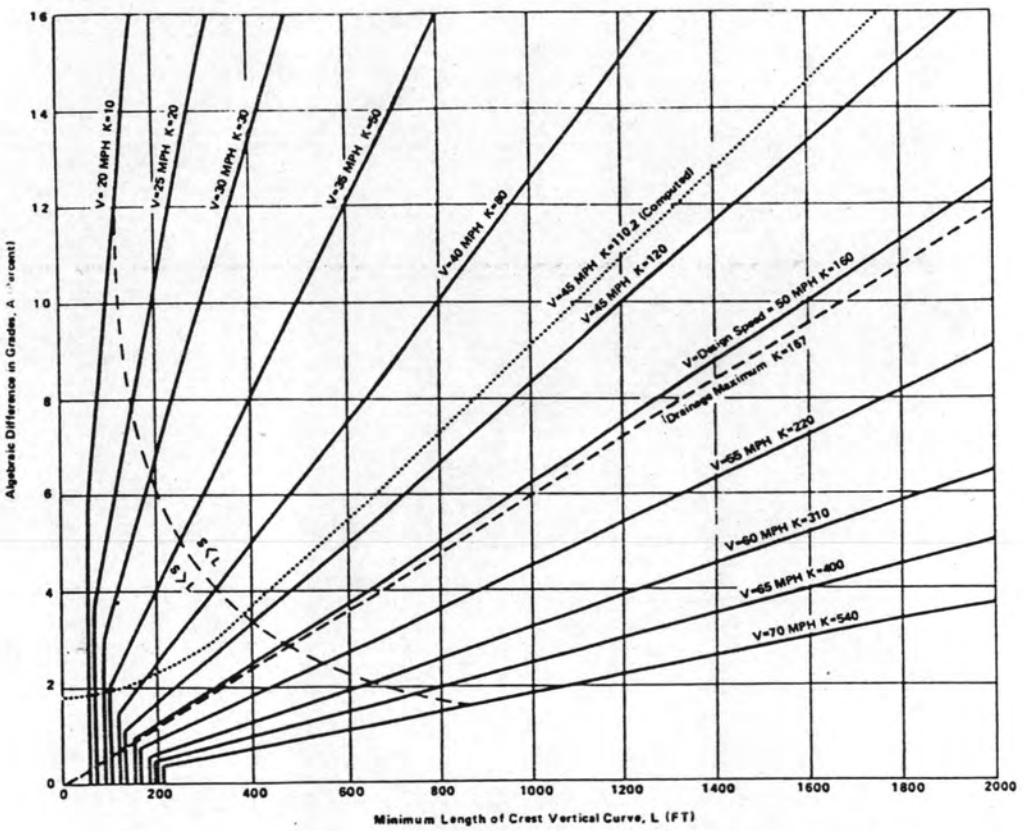
$$L = 2S - \frac{1329}{A} \qquad S > L \qquad (3.4)$$

3.3.1.1 การหาความยาวโค้งคว่ำ เมื่อกำหนดระยะการมองเห็นสำหรับหยุด

ความยาวโค้งดิ่งที่หาได้จากสูตร (3.3) และ (3.4) ที่ค่าแตกต่างสัมบูรณ์ของเส้นลาดชันต่าง ๆ กันแสดงในรูปที่ 3.5 ค่า L ที่หาได้จากส่วนของเส้นที่อยู่เหนือเส้นประนำไปหาค่า K ได้จาก L = KA

ตารางที่ 3.1 แสดงค่า K สำหรับความยาวโค้งดิ่งที่มีระยะการมองเห็นสำหรับหยุดตามที่กำหนดซึ่งหาได้จากตารางที่ 3.2

เมื่อค่า S มากกว่าหรือเท่ากับ L หรือ แสดงในส่วนใต้เส้นประในรูปที่ 3.5 การคำนวณหาค่า L เขียนเป็นเส้นกราฟที่ความเร็ว 45 ไมล์ต่อชั่วโมงพบว่าเส้นกราฟจะโค้ง แสดงถึง ความยาวโค้งที่ต้องการจะลดลงเนื่องจากผู้ขับขี่สามารถมองข้ามจุดยอดของโค้ง แต่ค่าดังกล่าวไม่เหมาะสมที่จะนำมาหาความยาวโค้ง ค่าความยาวโค้งที่สั้นที่สุดจึงถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 3 เท่าของความเร็วที่ใช้ออกแบบ หรือ Lmin = 3V โดยที่ V คือ ความเร็วที่ใช้ออกแบบ หน่วยเป็นไมล์ต่อชั่วโมง และ Lmin คือ ความยาวโค้งสั้นที่สุด หน่วยเป็นฟุต ผลของการคำนวณแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ค่าความยาวโค้งคว่ำจากการออกแบบโดยใช้ระยะการมองเห็นสำหรับหยุด (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 3.1 ค่า K สำหรับการออกแบบโค้งคว่ำโดยใช้ระยะการมองเห็นสำหรับหยุด (AASHTO, 1984)

ในการขับขี่ยวดยานเวลากลางคืนบนถนนที่ไม่มีไฟส่องสว่าง ระยะการมองเห็นบนถนนจะขึ้นอยู่กับแสงไฟจากยวดยาน ซึ่งมีระยะสั้นกว่าระยะการมองเห็นสำหรับหยุด ทั้งนี้ก็เพราะ แสงไฟจากยวดยานสามารถส่องสว่างให้มีความเข้มที่ต้องการภายในระยะทางที่จำกัด ไม่ว่าจะเป็นบนถนนทางเรียบหรือขณะเข้าโค้ง และ โค้งคว่ำจะทำให้เกิดเงาบดบังทัศนวิสัยข้างหน้า นอกจากนี้ความสูงของดวงไฟของยวดยานยังต่ำกว่าระดับสายตา เราสามารถออกแบบความยาวโค้งคว่ำ โดยใช้ความสูงของดวงไฟแทนความสูงของระดับสายตา ความสูงของดวงไฟเหนือผิวถนนโดยทั่วไปมีค่าเท่ากับ 1.5 ถึง 2.0 ฟุต เนื่องจากแสงไฟจากยวดยานเป็นตัวกำหนดระยะการมองเห็นในเวลากลางคืน จึงทำให้ผู้ขับขี่มีความระมัดระวังมากขึ้น และ ขับขี่อย่างตั้งใจ

i17312103

Design Speed (mph)	Assumed Speed for Condition (mph)	Brake Reaction		Coefficient of Friction f	Braking Distance on Level[a] (ft)	Stopping Sight Distance	
		Time (sec)	Distance (ft)			Computed[a] (ft)	Rounded for Design (ft)
20	20-20	2.5	73.3- 73.3	0.40	33.3- 33.3	106.7-106.7	125-125
25	24-25	2.5	88.0- 91.7	0.38	50.5- 54.8	138.5-146.5	150-150
30	28-30	2.5	102.7-110.0	0.35	74.7- 85.7	177.3-195.7	200-200
35	32-35	2.5	117.3-128.3	0.34	100.4-120.1	217.7-248.4	225-250
40	36-40	2.5	132.0-146.7	0.32	135.0-166.7	267.0-313.3	275-325
45	40-45	2.5	146.7-165.0	0.31	172.0-217.7	318.7-382.7	325-400
50	44-50	2.5	161.3-183.3	0.30	215.1-277.8	376.4-461.1	400-475
55	48-55	2.5	176.0-201.7	0.30	256.0-336.1	432.0-537.8	450-550
60	52-60	2.5	190.7-220.0	0.29	310.8-413.8	501.5-633.8	525-650
65	55-65	2.5	201.7-238.3	0.29	347.7-485.6	549.4-724.0	550-725
70	58-70	2.5	212.7-256.7	0.28	400.5-583.3	613.1-840.0	625-850

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

ตารางที่ 3.2 ระยะการมองเห็นสำหรับหยุดสั้นที่สุด

(AASHTO, 1984)

3.3.1.2 การหาความยาวโค้งคว่ำ เมื่อกำหนดระยะการมองเห็นสำหรับแซง

การออกแบบโค้งคว่ำโดยใช้ระยะการมองเห็นสำหรับแซง แตกต่างจากการออกแบบโดยใช้ระยะการมองเห็นสำหรับหยุดที่ข้อกำหนดความสูงของวัตถุการคำนวณโดยใช้สูตร (3.1) และ (3.2) โดยใช้ความสูงของวัตถุเท่ากับ 4.5 ฟุต จะได้

$$L = \frac{AS^2}{3093} \qquad S < L \qquad (3.5)$$

และ

$$L = 2S - \frac{3093}{A} \qquad S > L \qquad (3.6)$$

หรือ หาระยะการมองเห็นสำหรับแซงสั้นที่สุดได้จากตารางที่ 3.3

Design Speed (mph)	Assumed Speeds		Minimum Passing Sight Distance (ft)	
	Passed Vehicle (mph)	Passing Vehicle (mph)		Rounded
20	20	30	810	800
30	26	36	1,090	1,100
40	34	44	1,480	1,500
50	41	51	1,840	1,800
60	47	57	2,140	2,100
65	50	60	2,310	2,300
70	54	64	2,490	2,500

ตารางที่ 3.3 ระยะการมองเห็นสำหรับแซงสั้นที่สุด

(AASHTO, 1984)

จากตารางที่ 3.3 พบว่าความยาวโค้งดิ่งในกรณีออกแบบโดยใช้ระยะการมองเห็นสำหรับแซงจะมีระยะทางยาวกว่าการออกแบบโดยใช้ระยะการมองเห็นสำหรับหยุด ค่า K หรือ ความยาวโค้งดิ่งต่อค่าแตกต่างสัมบูรณ์ของความลาดชันสำหรับการออกแบบโดยใช้ระยะการมองเห็นสำหรับแซง แสดงในตารางที่ 3.4 เปรียบเทียบกับค่าเดียวกันที่ออกแบบโดยใช้ระยะการมองเห็นสำหรับหยุดในตารางที่ 3.1

โดยทั่วไปแล้วจะไม่ใช้ระยะการมองเห็นสำหรับแซงเป็นข้อกำหนดในการออกแบบ ทั้งนี้เพราะจะทำให้มีค่าก่อสร้างสูง และ ปฏิบัติงานก่อสร้างลำบากขึ้น ระยะการมองเห็นสำหรับแซง อาจใช้เป็นข้อกำหนดในการออกแบบสำหรับถนนที่มีช่วงถนนที่มีความเร็วที่ใช้ออกแบบต่ำ และ มีความลาดชันต่ำต่อกับช่วงถนนที่มีความเร็วที่ใช้ออกแบบสูงกว่า แต่มีค่าความแตกต่างสมบูรณ์ของความลาดชันน้อย

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 3.4 ค่า K สำหรับการออกแบบโค้งคว่ำโดยใช้ระยะการมองเห็นสำหรับแซง (AASHTO, 1984)

3.3.2 โค้งหงาย (Sag vertical curve)

ข้อกำหนดในการออกแบบโค้งหงายมี 4 ข้อ คือ

1) ระยะการมองเห็นในแสงไฟ
2) ความสบายในการขับขี่
3) การควบคุมการระบายน้ำ
4) การพิจารณาทัศนวิสัย

โดยทั่วไปมักจะใช้ระยะการมองเห็นในแสงไฟเป็นข้อกำหนดในการออกแบบในการขับขี่ยวดยานเวลากลางคืน ระยะทางบนถนนที่มองเห็นขึ้นอยู่กับตำแหน่งและทิศทางของแสงจากดวงไฟ การออกแบบมักใช้ความสูงของดวงไฟเท่ากับ 2.0 ฟุต และ เอียงลงจากทิศทางการเคลื่อนที่ของรถ 1 องศา ความยาวโค้งหงายหาได้จาก

$$L = \frac{AS^2}{400 + 3.5S} \qquad S < L \qquad (3.7)$$

$$L = 2S - \frac{400 + 3.5S}{A} \qquad S > L \qquad (3.8)$$

โดยที่ L = ความยาวโค้งหงาย (ฟุต)
S = ระยะแสงไฟ (ฟุต)
A = ค่าแตกต่างสัมบูรณ์ของความลาดชัน (เปอร์เซ็นต์)

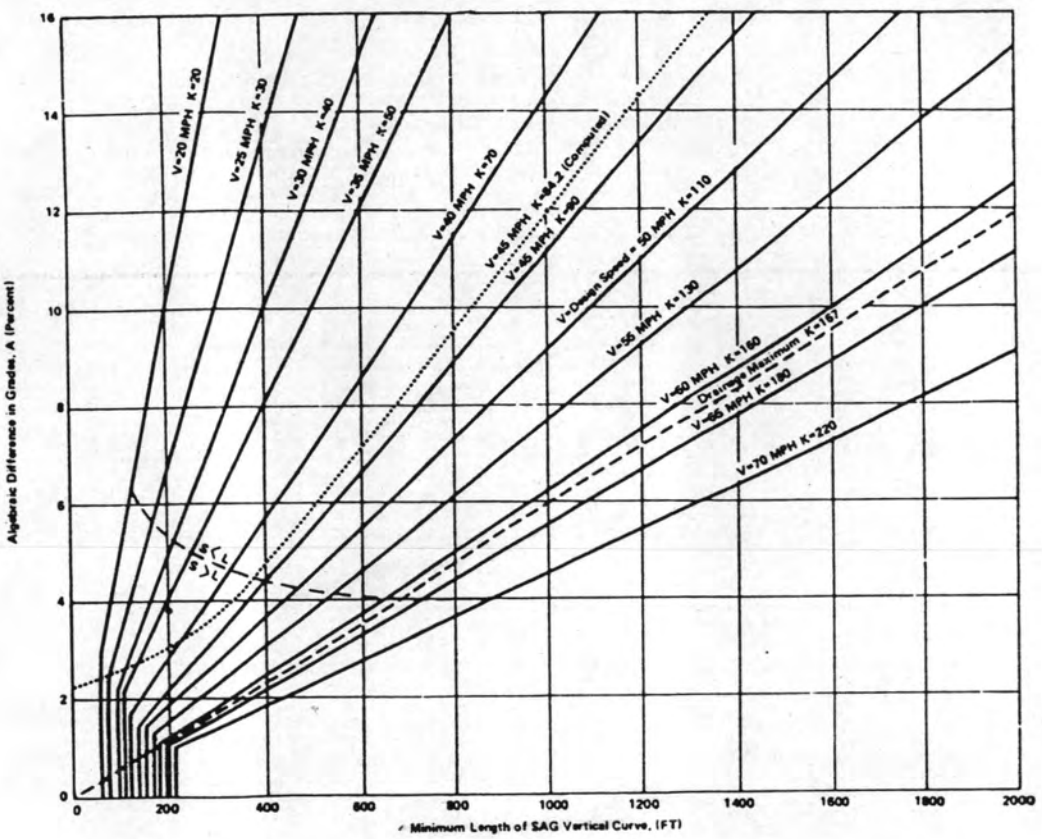
ความยาวโค้งหงายควรเพียงพอที่ทำให้ระยะแสงไฟมีค่าใกล้เคียงระยะการมองเห็นสำหรับหยุด ดังนั้นการออกแบบจึงใช้ค่าระยะแสงไฟที่ได้จากสูตร (3.7) และ (3.8) แทนระยะการหยุดรถ ผลการคำนวณดังปรากฏในรูปที่ 3.6

ในกรณีข้อกำหนดของความสบายในการขับขี่ ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่ของรถในโค้งหงาย มีค่ามากกว่าในกรณีโค้งคว่ำ เนื่องจากผลของแรงโน้มถ่วงและแรงหนีศูนย์กลางที่อยู่ในแนวเดียวกัน ระบบกันสะเทือน ความยืดหยุ่นของยาง และ น้ำหนักบรรทุก ก็มีผลต่อความสบายในการขับขี่จึงทำให้ไม่สามารถวัดความสบายในการขับขี่ผ่านโค้งเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่ได้โดยตรง แต่ควรจำกัดความเร่งสู่ศูนย์กลางไม่ให้เกิน 1 ฟุตต่อเมตร^2 โดยที่

$$L = \frac{AV^2}{46.5} \qquad (3.9)$$

โดยที่ L,A แทนเช่นเดียวกับสูตรที่ผ่านมา และ V แทนความเร็วที่ใช้ออกแบบ

ความยาวโค้งดิ่งที่คำนวณได้ตามข้อกำหนดความสบายในการขับขี่มีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของความยาวโค้งที่คำนวณได้ตามข้อกำหนดของระยะการมองเห็นในแสงไฟ



รูปที่ 3.6 ความยาวโค้งหงายจากการออกแบบโดยใช้ระยะการมองเห็นในแสงไฟ (AASHTO, 1984)

ข้อกำหนดของการระบายน้ำมีผลกระทบต่อการออกแบบโค้งหงายแบบที่ 3 (รูปที่ 3.4) สำหรับถนนที่มีขอบถนน ข้อกำหนดในการออกแบบจึงเป็นเช่นเดียวกับการออกแบบโค้งคว่ำ ที่ต้องการค่าแตกต่างของความชันน้อยที่สุดเท่ากับ 0.3 เปอร์เซนต์ในระยะส่วนโค้ง 50 ฟุต ดังปรากฏเป็นเส้นประในรูปที่ 3.6 ซึ่งให้ค่า K = 167 ข้อกำหนดของการระบายน้ำนี้แตกต่างจากข้อกำหนดอื่นๆ ที่กำหนดความยาวโค้งยาวที่สุดแทนการกำหนดความยาวโค้งสั้นที่สุด

ในกรณีของข้อกำหนดเกี่ยวกับทัศนวิสัย การออกแบบจะต้องใช้วิจารณญาณในการตัดสินใจหาความยาวโค้งหงาย บางหน่วยงานใช้ค่าความยาวโค้งหงายสั้นที่สุดเท่ากับ 100A หรือ K = 100 เปรียบเทียบกับการออกแบบโดยใช้ระยะการมองเห็นในแสงไฟเป็นข้อกำหนดจะได้ความเร็วที่ใช้ออกแบบอยู่ระหว่าง 45 ถึง 50 ไมล์ต่อชั่วโมง

จากข้อกำหนดเหล่านี้ AASHTO (1984) แนะนำให้ใช้ข้อกำหนดของระยะการมองเห็นในแสงไฟ เนื่องจากมีความสมเหตุสมผล สำหรับโค้งหงายค่า K จะเป็นตัวกำหนดความสบายในการขับขี่ ตารางที่ 3.5 แสดงค่า K ที่ได้จากการออกแบบโค้งหงาย การออกแบบค่าความยาวโค้งหงาย มากกว่าค่าที่กำหนดในรูปที่ 3.6 จะต้องระมัดระวังเรื่องการระบายน้ำ ความยาวโค้งหงายสั้นที่สุดในบริเวณที่มีความลาดชันต่ำๆ แสดงในรูปที่ 3.6 ค่าของความยาวโค้งหงายมีค่าเป็นสามเท่าของค่าความเร็วที่ใช้ออกแบบ

3.4 ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับแนวทางดิ่ง

นอกเหนือจากข้อกำหนดเฉพาะของแนวทางดิ่งที่ได้กล่าวมาข้างต้น ยังมีข้อกำหนดทั่วไปในการออกแบบ คือ

1) ควรออกแบบเส้นทางให้มีความราบเรียบ (Smooth) โดยเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ (Gradual change) และ อย่างคงเส้นคงวา (Consistent) แทนการออกแบบเป็นช่วงทางตรงสั้น ๆ หลาย ๆ ช่วงเชื่อมกันโดยโค้งดิ่ง ถึงแม้ว่าข้อกำหนดในการออกแบบจะกำหนดเพียงค่าสูงสุดของความลาดชัน และ ระยะทางวิกฤตของเส้นลาดชัน ควรออกแบบเส้นทางให้เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศ มีทัศนวิสัยและทัศนียภาพดี

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 3.5 ค่า K สำหรับการออกแบบโค้งหงายโดยใช้ระยะการมองเห็นสำหรับหยุด (AASHTO, 1984)

2) ควรหลีกเลี่ยงระดับทางประเภท roller-coaster หรือ hidden-dip ระดับทางเหล่านี้ มักจะเกิดกับเส้นทางที่มีแนวทางราบตรง แต่มีแนวทางดิ่งเป็นลูกคลื่น (rolling) สภาพเหล่านี้ทำให้เกิดความไม่พึงพอใจ (Unpleasant) ในการขับขี่ และเกิดอันตราย Hidden dip จะทำให้เกิดอุบัติเหตุจากการแซง เนื่องจากถนนจะบดบังสายตาของผู้ขับขี่ ทำให้ผู้ขับไม่ทราบว่ามีรถสวนมาข้างหน้าหรือไม่ เช่นเดียวกับกรณีสภาพของระดับทางประเภท shallow dip ระดับทางประเภทนี้หลีกเลี่ยงได้โดยการใส่โค้งแนวราบ หรือ เปลี่ยนความลาดชันของแนวทางดิ่ง

3) ควรหลีกเลี่ยงแนวทางดิ่งที่เป็นลูกคลื่น (Undulating gradeline) ระดับทางเช่นนี้จะทำให้รถบรรทุกใช้ความเร็วมากขึ้นขณะวิ่งขึ้นทางลาดชัน รถบรรทุกที่มีความเร็วมากขึ้นนี้อาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุกับยวดยานอื่น ๆ ได้

4) ควรหลีกเลี่ยงโค้งดิ่ง 2 ช่วงที่มีทิศทางความโค้งเดียวกัน เชื่อมกันด้วยทางลาดชันสั้น ๆ หรือ broken-back gradeline โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการออกแบบโค้งหงาย

5) ในช่วงทางลาดชันยาว ควรออกแบบทางให้มีค่าความลาดชันสูงสุดบริเวณช่วงถนนที่ขึ้นทางลาดชัน และ ค่าความลาดชันลดลงเมื่อใกล้สิ้นสุดทางลาดชัน หรือ ตัดช่วงทางลาดชันยาว และ ออกแบบทางลาดชันที่มีค่าความลาดชันต่ำระหว่างช่วงทั้งสอง มักใช้ในกรณีที่ทางลาดชันที่ยาวใกล้เคียงกับค่าระยะทางวิกฤต วิธีนี้นำไปใช้ออกแบบถนนสำหรับรถความเร็วต่ำ (Low design-speed road)

6) ควรออกแบบถนนบริเวณทางแยกให้มีความลาดชันลดลง เพื่อให้บังคับเลี้ยวรถได้สะดวกยิ่งขึ้น เป็นการช่วยลดอุบัติเหตุ

3.5 การพิจารณาการประกอบแนวทางราบและแนวทางดิ่ง

3.5.1 หลักการทั่วไปสำหรับการพิจารณา

แนวทางราบ และ แนวทางดิ่งเป็นส่วนของถนนที่ถูกออกแบบอย่างถาวร การปรับปรุง หรือ การบูรณะแนวเส้นทางหลังการก่อสร้าง ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงมาก แนวทางราบและแนวทางดิ่ง ไม่ควรแยกพิจารณาระหว่างการออกแบบ การออกแบบที่ไม่กลมกลืนกันจะทำให้ประสิทธิภาพในการใช้ถนนลดลง การออกแบบที่ดี จะทำให้เกิดประโยชน์และปลอดภัยสูงสุดใช้ความเร็วคงที่ และมีทัศนวิสัยดี

3.5.2 ข้อกำหนดทั่วไปในการออกแบบ

ข้อกำหนดทางกายภาพที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบเส้นทางประกอบด้วย ลักษณะของถนน ซึ่งพิจารณาจากการจราจร ภูมิประเทศ คุณสมบัติของดิน กิจกรรมสังคมในพื้นที่ การปรับปรุงพื้นที่ในอนาคต และ สถานที่ตั้งอาคารต่าง ๆ ความเร็วที่ใช้ออกแบบ (Design speed) ใช้เป็นข้อกำหนดในการออกแบบองค์ประกอบโดยทั่วไป และ จะมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการออกแบบรายละเอียดของแนวเส้นทาง ความเร็วที่ใช้ออกแบบที่กำหนดขึ้นนี้ จะทำให้ทุกๆองค์ประกอบที่ออกแบบสมดุลกัน ความเร็วที่ใช้ออกแบบจะเป็นตัวกำหนดค่าในองค์ประกอบต่างๆ เช่น อัตราความโค้ง ระยะการมองเห็น และ จะมีผลต่อค่าที่เกี่ยวข้องอื่นๆ เช่น ความกว้างของถนน ระยะห่างจากสิ่งกีดขวางหรือขอบถนน ค่าความลาดชันสูงสุด

ผลของการออกแบบแนวทางราบและแนวทางดิ่งที่สอดคล้องกันอย่างเหมาะสม จะต้องพิจารณาข้อกำหนดทั่วไปดังต่อไปนี้

1) อัตราความโค้ง และ ความลาดชันจะต้องสมดุลกัน เส้นทางที่ชันประกอบกับโค้งที่แบนราบ หรือ เส้นลาดชันยาวประกอบกับโค้งที่มีความโค้งมาก เป็นการออกแบบที่ไม่ดี การออกแบบที่มีหลักเกณฑ์ จะทำให้เกิดความปลอดภัย ความจุ ความสะดวกสบาย ความราบรื่น (Uniform) ในการขับขี่ และ มีทัศนวิสัยและทัศนียภาพที่ดี ดังนั้นจึงจำเป็นต้องออกแบบองค์ประกอบทั้งสองให้เหมาะสม

2) โค้งดิ่งที่อยู่ในบริเวณที่เป็นโค้งราบ หรือ ในทางกลับกัน จะทำให้เกิดความพึงพอใจในการขับขี่มากกว่า แต่ทั้งนี้จะต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อการจราจรด้วย การเปลี่ยนแปลงระดับทางที่ไม่สัมพันธ์กับแนวทางราบ จะทำให้รู้สึกคล้ายหลุม หรือ เนินกีดขวางการจราจร

3) โค้งราบที่มีรัศมีความโค้งน้อย ๆ หรือ โค้งอันตราย ไม่ควรอยู่บริเวณใกล้กับจุดยอดของโค้งคว่ำในแนวดิ่ง เพราะจะทำให้เกิดอันตรายเนื่องจากผู้ขับขี่มองไม่เห็นแนวทางราบที่เปลี่ยนแนวไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเวลากลางคืนที่แสงไฟของรถจะส่องตรงไปข้างหน้า การหลีกเลี่ยงสภาพทางดังกล่าวทำได้โดยการเพิ่มความยาวของโค้งราบให้ยาวกว่าโค้งดิ่ง หรือ การออกแบบโดยใช้ค่าความเร็วมากกว่าค่าความเร็วที่ใช้ออกแบบ

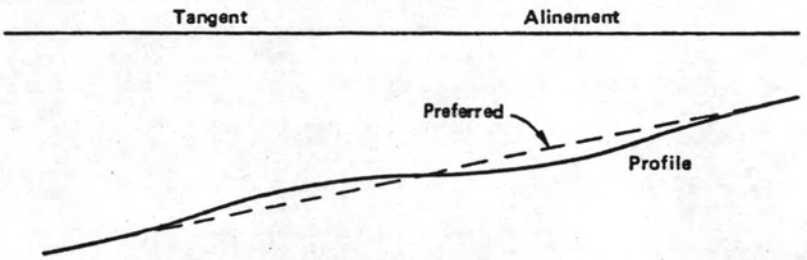
4) โค้งราบที่มีรัศมีความโค้งน้อย ๆ ไม่ควรอยู่ใกล้กับจุดต่ำสุดของโค้งหงาย เพราะจะทำให้ระยะการมองเห็นสั้นลงและคาดคะเนเส้นทางข้างหน้าผิด ยิ่งไปกว่านั้นความเร็วของยวดยาน โดยเฉพาะความเร็วของรถบรรทุกจะสูงขึ้นในบริเวณดังกล่าว ทำให้บังคับรถได้ยากขึ้น

5) ควรมีช่วงเส้นทางที่ออกแบบสำหรับแซงอยู่เป็นช่วงๆ ตามเส้นทางบนทางหลวงสองช่องทาง ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับสภาพของแนวเส้นทางทั้งแนวราบและแนวดิ่ง อาจใช้ช่วงที่มีทางลาดชันยาวเป็นช่วงถนนสำหรับแซง โดยกำหนดค่าระยะการมองเห็นสำหรับแซงให้เพียงพอ

6) ควรออกแบบแนวทางราบและแนวทางดิ่งให้ราบเรียบ (flat) ในบริเวณทางแยก (Intersection) ที่ระยะการมองเห็นของสองเส้นทางที่ตัดกัน เป็นสิ่งสำคัญในการจำกัดความเร็ว

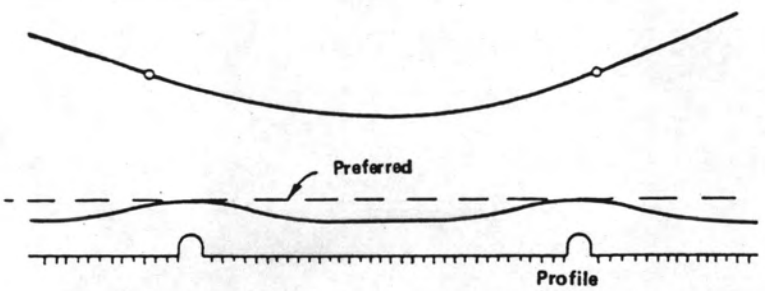
7) ในเขตที่พักอาศัยควรออกแบบให้ยวดยานก่อความรำคาญกับผู้พักอาศัยน้อยที่สุด โดยการเลือกแนวเส้นทางให้ผู้พักอาศัยเห็นการจราจรและได้ยินเสียงน้อยที่สุด

8) ควรออกแบบแนวเส้นทางให้กลมกลืนกับสภาพแวดล้อม



A. Profile with Tangent Alinement

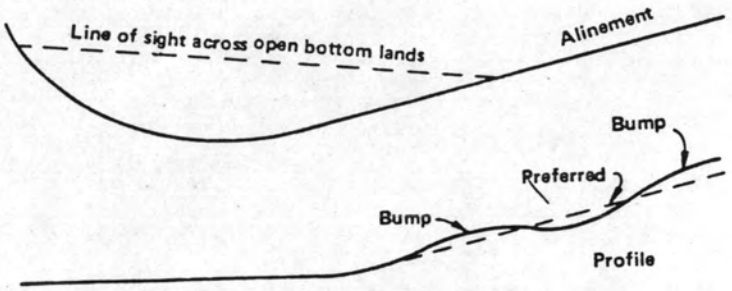
Note: Avoid designing little local dips in an otherwise long, uniform grade. These usually result from zeal to balance cut and fill exactly and reduce overhaul.



B. Profile with Curve Alinement

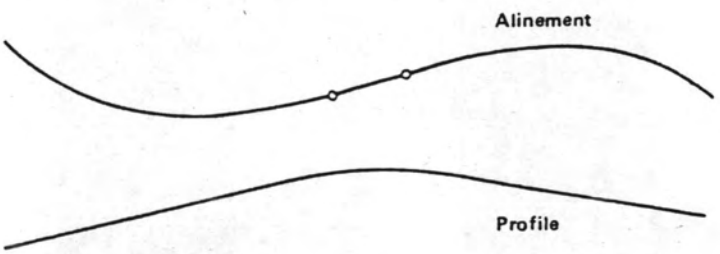
Note: Short humps in the grade should be avoided.

รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแนวทางราบและแนวทางดิ่ง (AASHTO, 1984)



C. Distant View Showing Bumps in Profile Grade Line

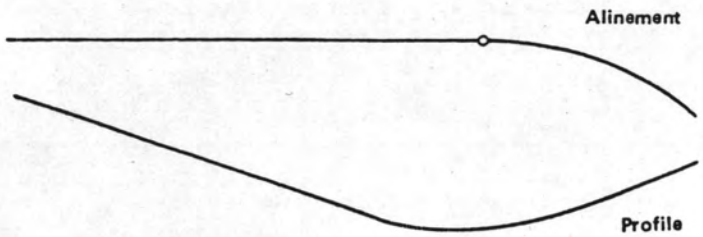
Note: A distant side view of a long grade on tangent will reveal every bump on it.



D. Short Tangent on a Crest Between Two Horizontal Curves

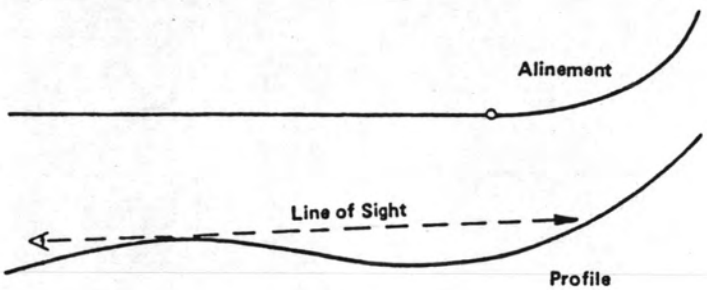
Note: This combination is deficient for two reasons. The tangent between the curve is too short, and the reserve occurs on a crest.

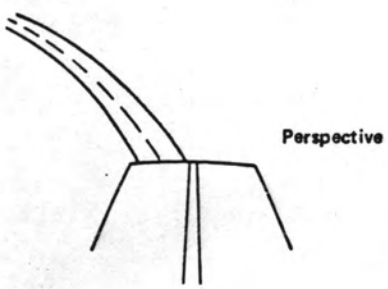
รูปที่ 3.7 (ต่อ)



E. Sharp Angle Appearance

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

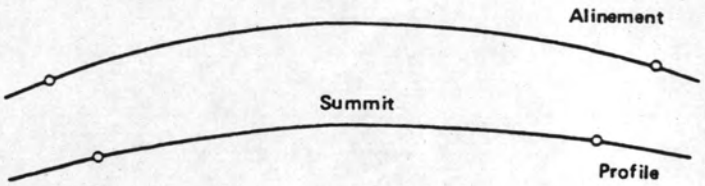




F. Disjointed Effect

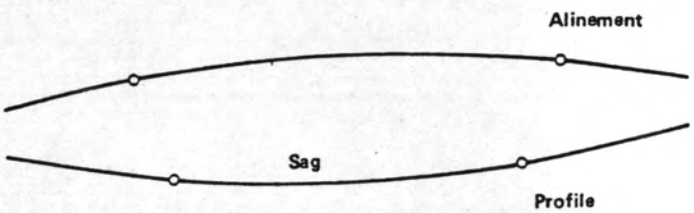
Note: A disjointed effect occurs when the beginning of a horizontal curve is hidden from the driver by an intervening crest while the continuation of the curve is visible in the distance beyond the intervening crest.

รูปที่ 3.7 (ต่อ)



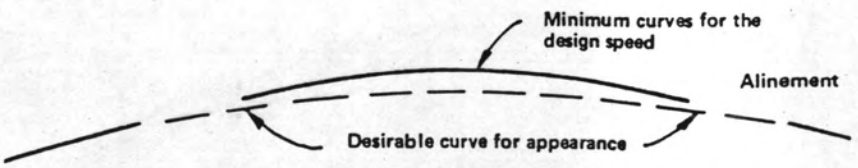
G. Coinciding Curves in Horizontal and Vertical Dimensions

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



H. Opposing Curves in Horizontal and Vertical Dimensions

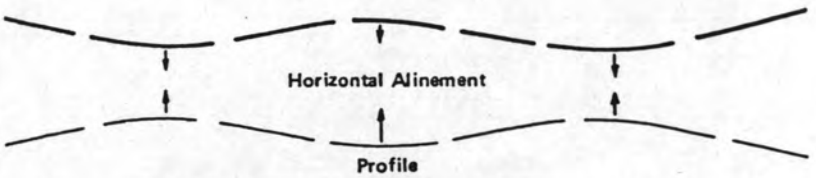
Note: When horizontal and vertical curves oppose, a very satisfactory appearance results.



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

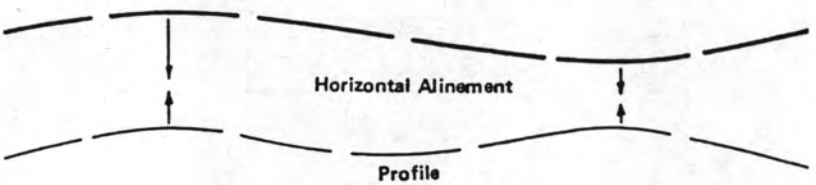
Note: Very long flat curves, even where not required by the design speed, also have a pleasing appearance when the central angle is very small.

รูปที่ 3.7 (ต่อ)



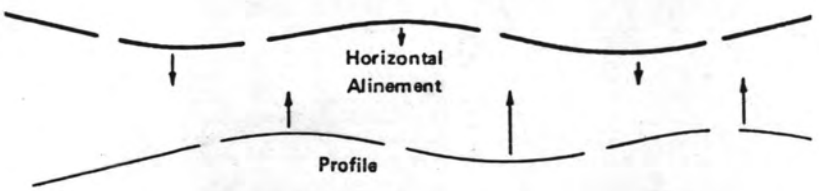
J. Coinciding Vertices in Horizontal and Vertical Dimensions

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

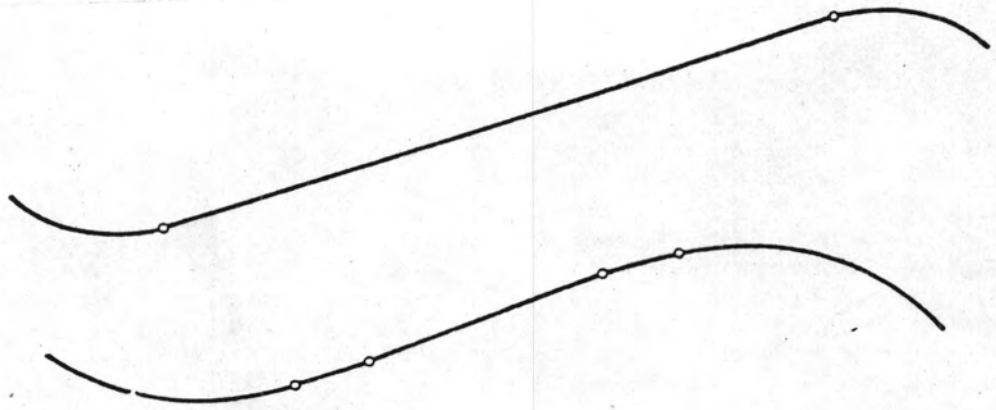
Note: A legitimate case of coordinaton: one phase is skipped in the horizontal plane, but vertices still coincide. The long tangent in plan is softened by vertical curvature.



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.

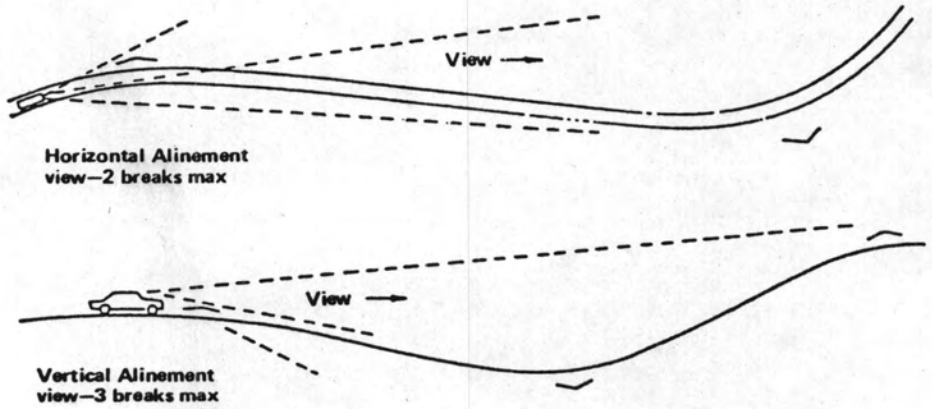
รูป 3.7 (ต่อ)



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 3.7 (ต่อ)



N. Good Coordination of Horizontal and Vertical Alinements

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

รูปที่ 3.7 (ต่อ)