หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

วิธีออกแบบแนวทางดิ่งที่เหมาะสม และ โปรแกรมคอมพิวเตอร์

การออกแบบแนวทางดิ่งมักใช้วิศวกรเป็นผู้กำหนดแนวเส้นทางโดยใช้วิธีลองผิดลองถูก การพัฒนาประสิทธิภาพในการออกแบบทำได้โดยนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาใช้เพื่อให้เกิดความสะดวก และ รวดเร็ว โปรแกรมที่ใช้กันส่วนใหญ่จะเป็นโปรแกรมประเภทที่สร้างระบบการทำงานให้สะดวกยิ่งขึ้น แต่จะไม่ช่วยในการกำหนดแนวเส้นทาง การพัฒนาวิธีออกแบบโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะช่วยในการหาและออกแบบแนวเส้นทางให้ได้แนวทางดิ่งที่เหมาะสม และ สามารถนำมาพัฒนาเป็นโปรแกรมเพื่อช่วยในการออกแบบทางได้

ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการออกแบบแนวทางดิ่งที่เหมาะสมที่สุดแบ่งขั้นตอนการออกแบบเป็น 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการหาแนวทางดิ่งเบื้องต้นที่สอดคล้องกับข้อกำหนดและข้อจำกัด โดยการตั้งฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าใช้จ่ายอันเนื่องมาจากความสูงของดินตัดและดินถมรวมน้อยที่สุด และ หาผลลัพธ์โดยใช้วิธีการโปรแกรมเชิงเส้น ขั้นตอนที่สองเป็นการหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่นำมาแทนระดับทางของแนวทางดิ่งเบื้องต้น เพื่อใช้เป็นค่าเริ่มต้นในการค้นหาองค์ประกอบที่เหมาะสมต่อไป ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่เหมาะสม ที่ให้ค่าใช้จ่ายรวมจากปริมาณงานดินน้อยที่สุด หรือ อาจปรับปรุงให้พิจารณาค่าใช้จ่ายอื่นๆ ได้ด้วย

งานในบทนี้จึงเป็นการนำวิธีหาผลลัพธ์มาใช้กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อออกแบบแนวทางดิ่งที่เหมาะสม และ นำมาพัฒนาเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการออกแบบแนวทางดิ่ง

โปรแกรมช่วยในการออกแบบแนวทางดิ่งที่พัฒนาขึ้นในครั้งนี้ เขียนด้วยภาษาฟอร์แทรน 77 โดยแบ่งเป็นโปรแกรมย่อยหลายโปรแกรม แต่ละโปรแกรมมีหน้าที่เฉพาะ เช่น อ่านข้อมูล พิมพ์ข้อมูล เป็นต้น แผนผังของระบบโปรแกรม แสดงในตารางที่ 5.1 จากวิธีออกแบบแนวทางดิ่งที่เหมาะสม เราสามารถแบ่งการทำงานของโปรแกรมส่วนที่สำคัญแบ่งออกได้เป็น

HIGHWAY DESIGN AND CONSTRUCTION PROGRAM

0. END THIS PROGRAM

1. INITIALIZE DATA FILE - Create main data file

2. CONVERT THE OLD DATA FILE - Convert the old-formatted file to the new one

3. INPUT AND EDIT DATA - Input and/or edit ground, grade, constraint, and construction constraint data

4. DISPLAY DATA - Display input data

5. OPTIMIZE VERTICAL ALIGNMENT
   - 5.1 Linear optimization of ground profile
   - 5.2 Spline curve fitting
   - 5.3 Conventional alignment
     - 5.3.1 First geometric configuration
     - 5.3.2 Optimal design
       - Optimal length of curve (L)
       - Optimal PVI and L (direct)
       - Optimal PVI and L (approx)

6. CALCULATE AREA & VOLUME - Find interface, calculate areaand volume

7. PRINT OUT THE RESULTS - Write the results of ground, grade, volume summary to the files

8. DELETE EXCESSIVE STATION - Delete the unused station

ตารางที่ 5.1 ระบบโปรแกรมออกแบบทาง

3 ส่วน คือ การหาแนวทางดิ่งเบื้องต้น การหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตเริ่มต้น และการหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่เหมาะสม

5.1 วิธีหาแนวทางดิ่งเบื้องต้น

การหาแนวทางดิ่งเบื้องต้นเป็นการหาระดับทางโดยประมาณของแนวเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด จากข้อมูลพื้นดินเดิม และข้อกำหนดและข้อจำกัดที่สำคัญในการออกแบบ ในงานวิจัยนี้พัฒนาการหาแนวทางดิ่งเบื้องต้นจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

5.1.1 หลักการ

การหาแนวทางดิ่งเบื้องต้นเป็นการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับหาแนวทางดิ่งเบื้องต้นมาใช้ แนวทางดิ่งเบื้องต้นจะเป็นแนวเส้นทางที่สอดคล้องกับข้อกำหนดและข้อจำกัดทางเรขาคณิต และ มีค่าใช้จ่ายโดยประมาณน้อย ผลลัพธ์ของแนวทางดิ่งเบื้องต้นที่ได้จะเป็นระดับทางของทุกสถานี แบบจำลองแนวทางดิ่งเบื้องต้นใช้สมมติฐานของผลรวมของค่าความสูงของดินตัดและดินถม ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับค่าใช้จ่ายในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ดังนั้นจึงสามารถประยุกต์วิธีการโปรแกรมเชิงเส้น (Linear programming) มาใช้ได้ การโปรแกรมเชิงเส้นมีวิธีหาผลลัพธ์หลายวิธีซึ่งจะเหมาะสมในงานที่มีลักษณะต่างกัน ในงานวิจัยนี้ใช้วิธี simplex ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย และ เหมาะกับแบบจำลองทั่วไป การโปรแกรมเชิงเส้นยังสามารถพิจารณาข้อจำกัดที่เป็นอสมการได้โดยการเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของแบบจำลองมาตรฐาน (Equivalent model) ขั้นตอนของการโปรแกรมเชิงเส้น วิธีการ และ อัลกอริทึม simplex ปรากฏในหนังสือที่เกี่ยวกับการวิจัยการดำเนินงานทั่วไป (Gillett, 1976; Ravindran et.al., 1988; Bazaraa and Jarvis, 1990)

5.1.2 โปรแกรมสำหรับหาแนวทางดิ่งเบื้องต้น

โปรแกรมสำหรับหาแนวทางดิ่งเบื้องต้น มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 อ่านข้อมูลพื้นดินเดิม ข้อจำกัดทางเรขาคณิตของการออกแบบ และราคาต่อหน่วยของงานดินตัดและดินถม

ขั้นตอนที่ 2 สร้างเมตริกซ์ของสมการข้อจำกัด เวกเตอร์สัมประสิทธิ์ราคา เวกเตอร์ตัวแปร right hand side และ เวกเตอร์ของเครื่องหมายของสมการข้อจำกัด จากข้อมูลขั้นตอน 1 พร้อมทั้งตรวจสอบข้อมูลดังกล่าว หากพบว่าเครื่องหมาย หรือ ตัวแปรใด ไม่สอดคล้องกับข้อมูลที่โปรแกรมเชิงเส้นต้องการก็ทำการเปลี่ยนแปลงให้ถูกต้อง

ขั้นตอนที่ 3 เป็นขั้นตอนของการโปรแกรมเชิงเส้น โดยการเปลี่ยนแบบจำลองคณิตศาสตร์ให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน (equivalent model) โดยการเพิ่ม slack surplus และ artificial variable

ขั้นตอนที่ 4 เป็นกระบวนการคำนวณด้วยวิธี simplex หากแบบจำลองไม่สามารถหาผลลัพธ์ได้เนื่องจากไม่มีผลลัพธ์ที่ดีที่สุด หรือ ไม่อยู่ในขอบเขตสมการข้อจำกัด ก็จะหยุดการทำงาน

ขั้นตอนที่ 5 นำตัวแปรในการตัดสินใจมาหาแนวทางดิ่งเบื้องต้น

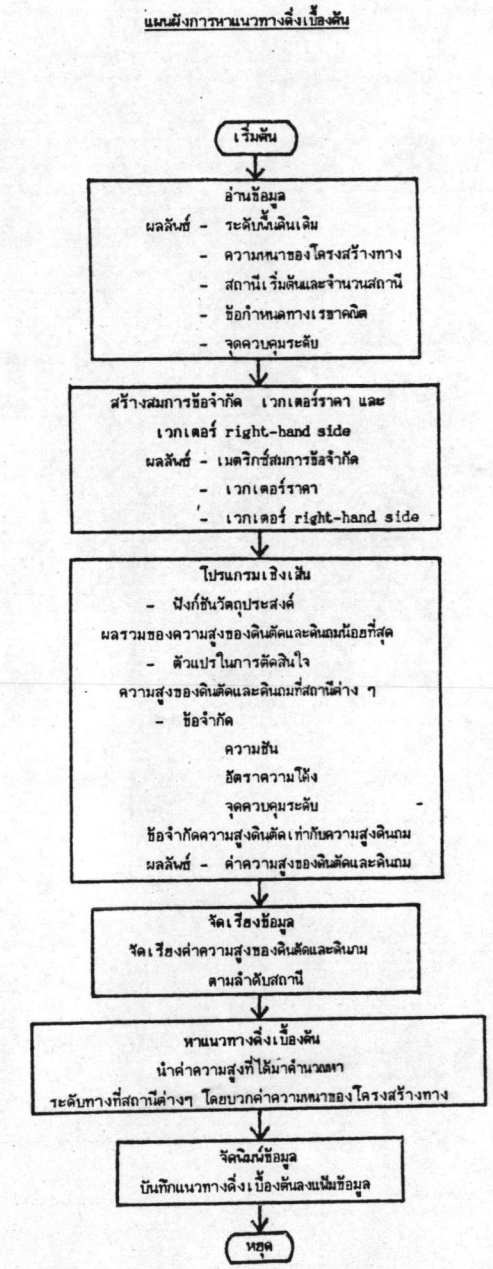
ขั้นตอนที่ 6 บันทึกลงแฟ้มข้อมูล

การทำงานของโปรแกรมหาแนวทางดิ่งเบื้องต้น แสดงในรูปที่ 5.1

5.2 วิธีหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตเริ่มต้น

การหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตเริ่มต้น เป็นการบรรจุองค์ประกอบทางเรขาคณิตแบบดั้งเดิม (ทางลาดชัน และ โค้งพาราโบลา) ที่เหมาะสม เพื่อใช้เป็นแนวเส้นทางแทนแนวทางดิ่งเบื้องต้น นอกจากองค์ประกอบทางเรขาคณิตแบบดั้งเดิมแล้ว เราอาจจะใช้องค์ประกอบทางเรขาคณิตของโค้งกำลังสาม (Spline curve) เพื่อหาระดับของเส้นทางได้ วิธีการคำนวณหาแนวเส้นทางของแนวทางดิ่งโดยใช้โค้งกำลังสาม แสดงในภาคผนวก ข

วิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตเริ่มต้น จำลองมาจากวิธีการออกแบบของวิศวกร และ ได้ผลลัพธ์เป็นจุดตัดแนวดิ่ง และ ความยาวโค้งเริ่มต้นที่ใกล้เคียงกับแนวทางดิ่งที่ต้องการ



รูปที่ 5.1 แผนผังการหาแนวทางดิ่งเบื้องต้น

5.2.1 หลักการ

การหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตเริ่มต้นเป็นการจำลองวิธีออกแบบของวิศวกรโดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ วิธีการเริ่มจากการใช้แนวทางดิ่งเบื้องต้นเป็นเส้นประมาณของแนวเส้นทาง และ กำหนดตำแหน่งของจุดตัดแนวดิ่งตามเส้นทาง ตำแหน่งของจุดตัดแนวดิ่งพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงระดับทาง ถ้าหากบริเวณใดมีการเปลี่ยนแปลงระดับทางมาก แสดงว่าควรจะใส่โค้งที่บริเวณสถานีนั้น เราไม่สามารถนำความเป็นลูกคลื่น (Undulation) ของเส้นทางมาพิจารณาได้โดยตรง เนื่องจากจะไม่สามารถหาจุดตัดแนวดิ่งในบริเวณที่เส้นทางมีเครื่องหมายของค่าความลาดชันเหมือนกัน ในวิธีการทางคณิตศาสตร์จึงสร้างแนวเส้นทางสมมติที่มีความเป็นลูกคลื่นตรงกันกับแนวทางดิ่งเบื้องต้นโดยการคูณค่าน้ำหนักและ หาค่าแตกต่างของสองแนวเส้นทางเพื่อกำหนดจุดเปลี่ยนโค้ง จากนั้นจึงสร้างเส้นลาดชันจากจุดเปลี่ยนโค้ง และ ได้จุดตัดของเส้นลาดชันเป็นจุดตัดแนวดิ่ง จุดตัดแนวดิ่งที่ได้อาจเกิดจากแนวเส้นทางบางช่วงที่มีโค้งยาวมาก ซึ่งจะทราบได้จากระยะห่างในแนวดิ่งระหว่างระดับของจุดตัดแนวดิ่งกับระดับทาง (MO) มีค่ามาก ช่วงโค้งประเภทนี้จะก่อสร้างยุ่งยาก และเสียค่าใช้จ่ายมาก ดังนั้นจึงต้องปรับแก้จุดตัดแนวดิ่งเช่นนี้โดยการแทนจุดตัดแนวดิ่งดังกล่าวด้วยจุดตัดแนวดิ่งใหม่สองจุดที่มีค่าความชันระหว่างจุดทั้งสองเท่ากับค่าความชันของเส้นที่เชื่อมระหว่างจุดเปลี่ยนโค้งที่อยู่ใกล้เคียง ตำแหน่งของจุดตัดแนวดิ่งที่ได้จะต้องตรวจสอบความชันและ ระยะระหว่างจุดตัดแนวดิ่งให้สอดคล้องกับข้อกำหนด เมื่อได้จุดตัดแนวดิ่งแล้วจะนำค่าความชันของเส้นลาดชันมาหาค่าแตกต่างสัมบูรณ์ และ ความยาวโค้งสั้นที่สุดของช่วงโค้งที่จุดตัดแนวดิ่งทุกจุดจากข้อแนะนำของ AASHTO ค่าความยาวโค้งที่นำมาใช้จะมีความยาวเป็นจำนวนเท่าของระยะระหว่างสถานี ผลที่ได้จากการหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตอาจแก้ไขโดยวิศวกรได้

5.2.2 โปรแกรมสำหรับหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตเริ่มต้น

โปรแกรมสำหรับหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตของแนวทางดิ่งเริ่มต้นแบบดั้งเดิม มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 อ่านข้อมูลแนวทางดิ่งเบื้องต้น ข้อกำหนดทางเรขาคณิต และจุดควบคุมระดับ

ขั้นตอนที่ 2 จากข้อมูลแนวทางดิ่งเบื้องต้น นำมาหาจุดเปลี่ยนโค้ง (Point of inflection)

ขั้นตอนที่ 3 ปรับแก้จุดเปลี่ยนโค้ง จากค่าความชันของเส้นลาดชัน
ขั้นตอนที่ 4 หาจุดตัดแนวดิ่ง (PVI)
ขั้นตอนที่ 5 ปรับแก้จุดตัดแนวดิ่ง
ขั้นตอนที่ 6 หาความยาวโค้งสั้นที่สุดจากข้อแนะนำของ AASHTO
ขั้นตอนที่ 7 แก้ไขจุดตัดแนวดิ่งและความยาวโค้ง หากวิศวกรต้องการ
ขั้นตอนที่ 8 บันทึกลงแฟ้มข้อมูล

การทำงานของโปรแกรมหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตแบบดั้งเดิม แสดงในรูปที่ 5.2

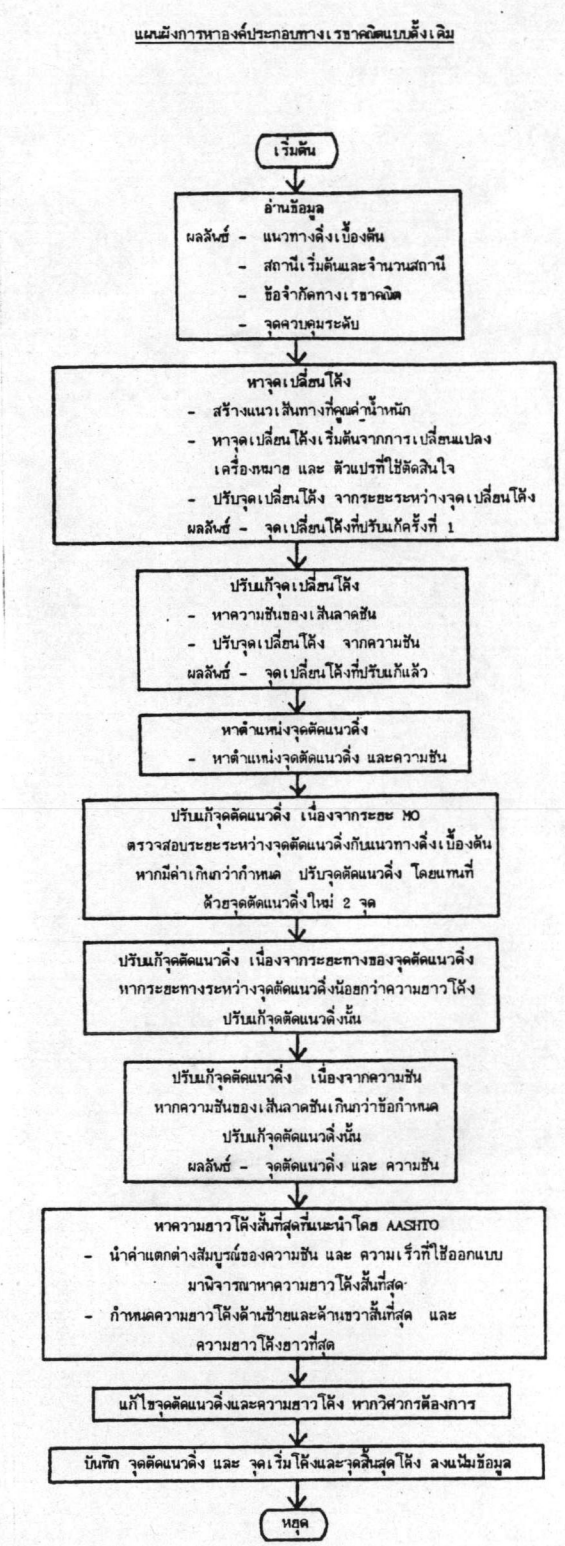
5.3 วิธีหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่เหมาะสม

การหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่เหมาะสมเป็นการค้นหาองค์ประกอบ (ตำแหน่งจุดตัดแนวดิ่ง และ ความยาวโค้ง) ที่ให้ค่าใช้จ่ายของเส้นทางน้อยที่สุด ค่าใช้จ่ายนี้อาจรวมค่าใช้จ่ายของแต่ละงานที่เกี่ยวข้อง ในงานวิจัยนี้สนใจค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับปริมาณงานดิน โดยตั้งวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวเส้นทางที่มีปริมาณดินตัดและดินถมรวมน้อยที่สุด และ มีปริมาณใกล้เคียงกัน การหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตทำได้สองแบบ คือ การหาความยาวโค้งที่เหมาะสมเพียงอย่างเดียว และ การหาจุดตัดแนวดิ่งและความยาวโค้งที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับความต้องการในการออกแบบ

5.3.1 วิธีหาความยาวโค้งที่เหมาะสม

5.3.1.1 หลักการ

การหาความยาวโค้งที่เหมาะสมเป็นการหาความยาวโค้งที่ทำให้เส้นทางมีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดโดยกำหนดจุดตัดแนวดิ่งคงที่ เราสามารถนำแบบจำลองหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่เหมาะสมมาใช้หาความยาวโค้งที่เหมาะสมได้ โค้งดิ่งที่ใช้ในการออกแบบในที่นี้คือ โค้งไม่สมมาตร ดังนั้นตัวแปรในการตัดสินใจที่ต้องการทราบ คือ ความยาวโค้งด้านซ้าย และ ด้านขวา วัตถุประสงค์ของการหาความยาวโค้งที่เหมาะสมเช่นเดียวกับที่ปรากฏในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแบบจำลอง เนื่องจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นฟังก์ชันไม่เชิงเส้น การหาผลลัพธ์จึงต้องใช้วิธีที่สามารถแก้ปัญหาไม่เชิงเส้นได้ ในงาน



รูปที่ 5.2 แผนผังการหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตเริ่มต้น

วิจัยนี้ใช้วิธีค้นหาโดยตรง (Direct search method) เพราะ เป็นวิธีที่สามารถหาผลลัพธ์ของแบบจำลองที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ไม่เชิงเส้นได้ นอกจากนี้ยังใช้ได้กับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่หาค่าอนุพันธ์อันดับหนึ่งไม่ได้ หรือ เป็นฟังก์ชันไม่ต่อเนื่อง ประสิทธิภาพของการค้นหาขึ้นอยู่กับค่าเริ่มต้น เงื่อนไขที่กำหนดให้กับการค้นหา และ อัลกอริทึมที่ใช้ ในงานวิจัยนี้นำอัลกอริทึม Hooke-Jeeves (Bunday, 1984; Ravindran et. al., 1988) มาประยุกต์ใช้โดยดัดแปลงให้ใช้กับแบบจำลองที่มีข้อจำกัดได้ อัลกอริทึม Hooke-Jeeves มีประสิทธิภาพกว่าอัลกอริทึมค้นหาโดยตรงทั่วไปตรงที่มีการเปลี่ยนค่าตัวแปรตามทิศทางของการเพิ่ม หรือ ลดค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้ (Pattern move)(Bunday, 1984) ข้อจำกัดในการหาความยาวโค้งที่เหมาะสม คือ สมการ (4.26) (4.27) (4.29) และ (4.30) แต่จะไม่นำข้อจำกัดสมการ (4.25) และ (4.28) มาใช้ในการค้นหา เพราะ สมการจะมีค่าคงที่ เมื่อกำหนดตำแหน่งจุดตัดแนวดิ่งคงที่

5.3.1.2 โปรแกรมสำหรับหาความยาวโค้งที่เหมาะสม

โปรแกรมสำหรับหาความยาวโค้งที่เหมาะสม มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 อ่านค่าจุดตัดแนวดิ่ง ข้อมูลพื้นดินเดิม และ ข้อกำหนดต่างๆ

ขั้นตอนที่ 2 หาความยาวโค้งสั้นที่สุดที่แนะนำโดย AASHTO เพื่อหาความยาวโค้งสั้นที่สุด และ ยาวที่สุด

ขั้นตอนที่ 3 หาตัวแปรในการตัดสินใจ คือ ค่าความยาวโค้งด้านซ้าย และ ด้านขวา

ขั้นตอนที่ 4 หาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เริ่มต้น ภายใต้ข้อจำกัดของความยาวโค้งสั้นที่สุดและยาวที่สุด ความยาวโค้งยาวที่สุดที่บรรจุอยู่ระหว่างจุดตัดแนวดิ่งได้ และ จุดควบคุมระดับ

ขั้นตอนที่ 5 เริ่มการค้นหาโดยการเปลี่ยนแปลงตัวแปรในการตัดสินใจทีละตัว และ ตรวจสอบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ หากน้อยกว่าค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์เดิม บันทึกค่าตัวแปรในการตัดสินใจดังกล่าว

ขั้นตอนที่ 6 หากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ได้หลังจากเปลี่ยนแปลงตัวแปรในการตัดสินใจทุกตัว ได้น้อยกว่าค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เดิมลบด้วยค่าความถูกต้อง บันทึกค่าตัวแปรในการตัดสินใจ และ หาตัวแปรเริ่มต้นของการค้นหารอบใหม่ ที่มีขนาดเป็น สองเท่าของค่าแตกต่างระหว่างค่าตัวแปรที่ได้กับค่าตัวแปรเริ่มต้นบวกกับขนาดของค่าตัวแปรเริ่มต้นใน

ทิศทางเดียวกัน ถ้าหากตัวแปรในการตัดสินใจไม่สอดคล้องกับข้อจำกัด ค่าตัวแปรจะเท่ากับค่าที่สอดคล้องกับข้อจำกัดพอดี

ขั้นตอนที่ 7 หากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์มากกว่าค่าเดิมลบด้วยค่าความถูกต้อง ลดขนาดของการเปลี่ยนแปลง และ เริ่มต้นการค้นหาใหม่ หากขนาดของการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าที่กำหนด ถือว่าค่าตัวแปรในการตัดสินใจเริ่มต้นของการค้นหาครั้งสุดท้ายเป็นค่าที่ดีที่สุด

ขั้นตอนที่ 8 หากจำนวนรอบของการกระทำซ้ำเกินกว่าข้อกำหนด ถือว่าค่าตัวแปรในการตัดสินใจเริ่มต้นของการค้นหาครั้งสุดท้าย เป็นค่าที่ดีที่สุด

ขั้นตอนที่ 9 แก้ไขจุดตัดแนวดิ่งและความยาวโค้ง หากวิศวกรต้องการ

ขั้นตอนที่ 10 คำนวณระดับทาง

ขั้นตอนที่ 11 บันทึกผล

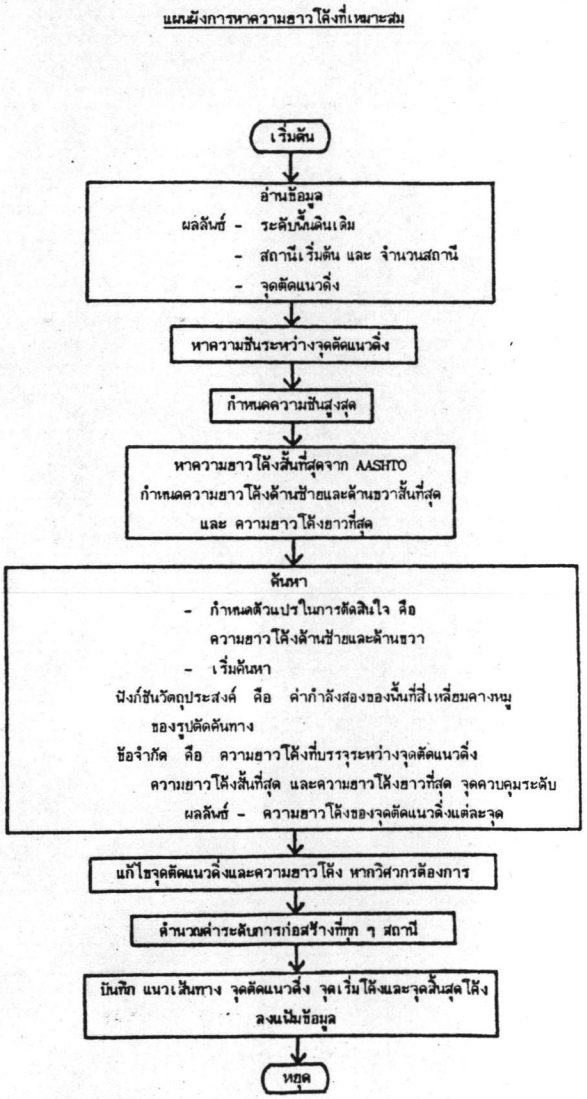
การทำงานของโปรแกรมหาความยาวโค้งที่เหมาะสม แสดงในรูปที่ 5.3

5.3.2 วิธีหาจุดตัดแนวดิ่งและความยาวโค้งที่เหมาะสม

5.3.2.1 หลักการ

การหาจุดตัดแนวดิ่งและความยาวโค้งที่เหมาะสม มีหลักการเช่นเดียวกันกับการหาความยาวโค้งที่เหมาะสม แต่จะนำระยะทางและระดับของจุดตัดแนวดิ่งมาพิจารณาร่วมกับความยาวโค้งโดยทำให้เป็นตัวแปรในการตัดสินใจของแบบจำลอง ดังนั้นจึงต้องนำสมการข้อจำกัด (4.26) ถึง (4.30) มาใช้ในการหาผลลัพธ์ วิธีการหาผลลัพธ์ใช้วิธีค้นหาโดยตรง เนื่องจากตัวแปรในการตัดสินใจประกอบด้วยตำแหน่งของจุดตัดแนวดิ่ง และความยาวโค้ง ดังนั้นวิธีค้นหาอาจทำได้สองวิธี คือ

1) วิธีหาผลลัพธ์จากตัวแปรสองระดับ วิธีหาผลลัพธ์วิธีนี้จะกำหนดตำแหน่งของจุดตัดแนวดิ่งเป็นตัวแปรระดับบน และ ความยาวโค้งเป็นตัวแปรระดับล่าง การค้นหาจะกำหนดตัวแปรระดับบนคงที่ก่อน และ หาตัวแปรระดับล่างที่เหมาะสมเพื่อหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ จากนั้นทดลองเปลี่ยนตัวแปรระดับบน และ หาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์จากการหาค่าตัวแปรระดับล่างที่เหมาะสมนำมาเปรียบเทียบเพื่อหาค่าตัวแปรที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายต่ำกว่า ทำเช่นนี้จนได้ผลลัพธ์ที่ทำให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ลดลงมากที่สุด ในการค้นหาตัวแปรระดับบน จะต้องสอดคล้องกับข้อจำกัด (4.25) และ (4.28) ส่วนการค้นหาตัวแปรระดับล่างจะมีหลักการ



รูปที่ 5.3 แผนผังการหาความยาวโค้งที่เหมาะสม

เช่นเดียวกับการหาความยาวโค้งที่เหมาะสม

2) วิธีหาผลลัพธ์จากตัวแปรระดับเดียว วิธีหาผลลัพธ์วิธีนี้จะค้นหาผลลัพธ์ของตัวแปรทั้งสองโดยกำหนดตัวแปรหนึ่งคงที่ เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของอีกตัวแปรหนึ่ง ดังนั้นในแต่ละรอบของการค้นหาจะทดลองเปลี่ยนค่าของตำแหน่งจุดตัดแนวดิ่ง และ ความยาวโค้งตามลำดับ และ ตรวจสอบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์หลังจากการค้นหาจุดตัดแนวดิ่ง และ ความยาวโค้งทุกครั้ง หากพบว่าค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ไม่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้ก่อนการค้นหาก็จะถือว่าตัวแปรที่ได้ก่อนการค้นหาเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีหาผลลัพธ์จากตัวแปรระดับเดียว เพราะ จะประหยัดเวลาในการคำนวณลงได้มากเมื่อเปรียบเทียบกับการหาผลลัพธ์จากตัวแปรสองระดับ

5.3.2.2 โปรแกรมสำหรับหาจุดตัดแนวดิ่งและความยาวโค้งที่เหมาะสม

โปรแกรมสำหรับหาตำแหน่งจุดตัดแนวดิ่งและความยาวโค้งที่เหมาะสม มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 อ่านข้อมูลพื้นดินเดิม ข้อกำหนด และ จุดตัดแนวดิ่งเริ่มต้น

ขั้นตอนที่ 2 หาความยาวโค้งสั้นที่สุดที่แนะนำโดย AASHTO

ขั้นตอนที่ 3 หาความยาวโค้งที่เหมาะสม จากกระบวนการใน 5.3.1

ขั้นตอนที่ 4 นำค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ได้จากการหาความยาวโค้งที่เหมาะสมเป็นค่าเริ่มต้น กำหนดระยะทาง และ ระดับของจุดตัดแนวดิ่ง เป็นตัวแปรในการตัดสินใจ

ขั้นตอนที่ 5 ทำการค้นหาจุดตัดแนวดิ่ง โดยมีค่าความยาวโค้งคงที่ วิธีการค้นหาเช่นเดียวกับการหาความยาวโค้งดิ่งที่เหมาะสม ภายใต้ข้อจำกัด ความชัน ระยะระหว่างจุดตัดแนวดิ่งที่บรรจุโค้ง และ จุดควบคุมระดับ

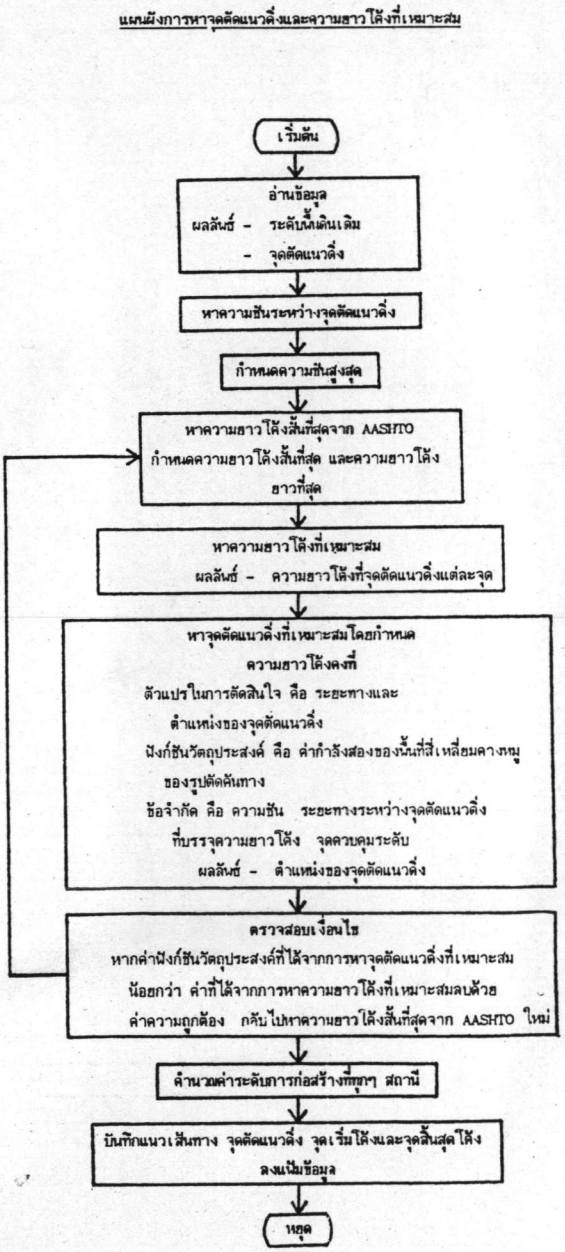
ขั้นตอนที่ 6 เมื่อได้ผลการค้นหา นำค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เทียบกับค่าที่ได้จากการหาความามยาวโค้งที่เหมาะสมลบด้วยค่าความถูกต้อง หากมีค่าน้อยกว่า กลับไปกระทำขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 7 แก้ไขจุดตัดแนวดิ่งและความยาวโค้ง หากวิศวกรต้องการ

ขั้นตอนที่ 8 คำนวณค่าระดับก่อสร้าง

ขั้นตอนที่ 9 นำผลลัพธ์สุดท้ายบันทึกลงแฟ้มข้อมูล

การทำงานของโปรแกรมหาจุดตัดแนวดิ่งและความยาวโค้งที่เหมาะสม แสดงในรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 แผนผังการหาจุดตัดแนวดิ่งและความยาวโค้งที่เหมาะสม