บทที่ 2

ทบทวนผลงานที่ผ่านมา

การออกแบบแนวเส้นทางเป็นงานที่ซับซ้อน เพราะนอกจากจะต้องออกแบบให้สอดคล้องกับข้อกำหนดและข้อจำกัดต่างๆแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงปัจจัยอื่นๆ เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ การออกแบบแนวทางดิ่งโดยอาศัยการตัดสินใจของวิศวกร อาจจะไม่ได้แนวทางดิ่งที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นจึงมีการพัฒนาวิธีออกแบบเพื่อให้ได้แนวทางดิ่งที่เหมาะสมที่สุด วัตถุประสงค์ที่มักใช้ในการออกแบบ คือ ประหยัดค่าก่อสร้างและค่าบำรุงรักษา วิธีออกแบบมักใช้การคำนวณที่ซับซ้อน ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการออกแบบ

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อช่วยในการออกแบบทาง มีหน้าที่และการทำงานต่างๆ กัน สามารถแบ่งโปรแกรมออกเป็นสองประเภท คือ โปรแกรมประเภทที่เป็นเครื่องช่วยในการออกแบบทาง และ โปรแกรมประเภทที่ช่วยในการหาแนวทางดิ่ง

โปรแกรมที่เป็นเครื่องช่วยในการออกแบบทาง เป็นโปรแกรมที่สร้างระบบการทำงาน (System) เพื่อให้การทำงานของวิศวกรมีความสะดวก การคำนวณรวดเร็วและถูกต้อง โปรแกรมประเภทนี้จัดอยู่ในกลุ่มโปรแกรมช่วยในการออกแบบ (Computer aided design) โปรแกรมที่เป็นเครื่องช่วยในการออกแบบทางที่สำคัญเริ่มพัฒนาเมื่อปี พ.ศ. 2509 County Surveyors Society และ Ministry of Transport ของประเทศอังกฤษร่วมกันพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับงานสำรวจและออกแบบทาง ต่อมาในปี พ.ศ. 2510 ได้พัฒนาโปรแกรม British Integrated Program System for Highway Design หรือ BIPS1 สำเร็จ และ นำไปใช้อย่างแพร่หลายในช่วงเวลานั้น ในปี พ.ศ.2511 ถึง พ.ศ. 2518 BIPS 1 ถูกปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นเป็น BIPS 3 ในขณะเดียวกันก็มีการพัฒนาโปรแกรมอีกสอง โปรแกรมใหญ่ คือ GENeral Engineering System หรือ GENESYS และ MOdelling SyStem หรือ MOSS สำเร็จในปี พ.ศ. 2517 และ 2518 ตามลำดับ GENESYS มีระบบโปรแกรมย่อยเรียกว่า HIGHWAYS/1 เป็นโปรแกรมสำหรับออกแบบทาง

บทที่ 2

ทบทวนผลงานที่ผ่านมา

การออกแบบแนวเส้นทางเป็นงานที่ซับซ้อน เพราะนอกจากจะต้องออกแบบให้สอดคล้องกับข้อกำหนดและข้อจำกัดต่างๆแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงปัจจัยอื่นๆ เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ การออกแบบแนวทางดิ่งโดยอาศัยการตัดสินใจของวิศวกร อาจจะไม่ได้แนวทางดิ่งที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นจึงมีการพัฒนาวิธีออกแบบเพื่อให้ได้แนวทางดิ่งที่เหมาะสมที่สุด วัตถุประสงค์ที่มักใช้ในการออกแบบ คือ ประหยัดค่าก่อสร้างและค่าบำรุงรักษา วิธีออกแบบมักใช้การคำนวณที่ซับซ้อน ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการออกแบบ

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อช่วยในการออกแบบทาง มีหน้าที่และการทำงานต่างๆ กัน สามารถแบ่งโปรแกรมออกเป็นสองประเภท คือ โปรแกรมประเภทที่เป็นเครื่องช่วยในการออกแบบทาง และ โปรแกรมประเภทที่ช่วยในการหาแนวทางดิ่ง

โปรแกรมที่เป็นเครื่องช่วยในการออกแบบทาง เป็นโปรแกรมที่สร้างระบบการทำงาน (System) เพื่อให้การทำงานของวิศวกรมีความสะดวก การคำนวณรวดเร็วและถูกต้อง โปรแกรมประเภทนี้จัดอยู่ในกลุ่มโปรแกรมช่วยในการออกแบบ (Computer aided design) โปรแกรมที่เป็นเครื่องช่วยในการออกแบบทางที่สำคัญเริ่มพัฒนาเมื่อปี พ.ศ. 2509 County Surveyors Society และ Ministry of Transport ของประเทศอังกฤษร่วมกันพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับงานสำรวจและออกแบบทาง ต่อมาในปี พ.ศ. 2510 ได้พัฒนาโปรแกรม British Integrated Program System for Highway Design หรือ BIPS1 สำเร็จ และ นำไปใช้อย่างแพร่หลายในช่วงเวลานั้น ในปี พ.ศ.2511 ถึง พ.ศ. 2518 BIPS 1 ถูกปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นเป็น BIPS 3 ในขณะเดียวกันก็มีการพัฒนาโปรแกรมอีกสอง โปรแกรมใหญ่ คือ GENeral Engineering System หรือ GENESYS และ MOdelling SyStem หรือ MOSS สำเร็จในปี พ.ศ. 2517 และ 2518 ตามลำดับ GENESYS มีระบบโปรแกรมย่อยเรียกว่า HIGHWAYS/1 เป็นโปรแกรมสำหรับออกแบบทาง

นอกเหนือจากโปรแกรมที่กล่าวมานี้ ยังมีโปรแกรมอื่นๆ อีก เช่น โปรแกรม GCARS (Turner, 1973) และ โปรแกรมออกแบบทางของประเทศฮังการี (Janoshegyi, 1973) เป็นต้น โปรแกรมประเภทนี้เป็นโปรแกรมที่ใช้ได้ทั้งในงานสำรวจและออกแบบทาง ถึงแม้ว่าจะมีการนำโปรแกรมมาใช้เพื่อให้การคำนวณและออกแบบเป็นไปได้อย่างได้สะดวก รวดเร็ว แต่ก็มิได้มีการพัฒนาโปรแกรมเพื่อที่จะหาแนวเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด การหาแนวเส้นทางของถนนยังคงต้องออกแบบโดยวิศวกร

โปรแกรมช่วยในการหาแนวทางดิ่ง เป็นโปรแกรมซึ่งพัฒนาวิธีหาแนวเส้นทางของถนน เพื่อให้ได้แนวทางดิ่งที่เหมาะสมที่สุดตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบ และ สอดคล้องกับข้อกำหนดและข้อจำกัดต่างๆ เนื่องจากโปรแกรมประเภทนี้มีวิธีหาผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพ ทำให้ได้แนวทางดิ่งที่มั่นใจได้ว่าสอดคล้องกับข้อกำหนด ข้อจำกัด และ เป็นแนวเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด การศึกษาจึงเน้นพิจารณาโปรแกรมประเภทนี้

เมื่อตั้งเป้าหมายที่จะประหยัดค่าก่อสร้างทาง แนวทางดิ่งที่ได้จากโปรแกรมช่วยหาแนวเส้นทางจะทำให้มีค่าก่อสร้างต่ำลง เมื่อเปรียบเทียบกับแนวทางดิ่งที่ได้จากการออกแบบโดยวิศวกร (Stott, 1973a; Schacke, 1973) ผลประโยชน์ที่ได้รับจากการประหยัดค่าก่อสร้างทำให้มีผู้สนใจที่จะพัฒนาโปรแกรมประเภทนี้ขึ้น

อาจกล่าวได้ว่ามีการพัฒนาโปรแกรมช่วยในการหาแนวทางดิ่งที่เหมาะสมที่สุดเป็นโปรแกรมแรกที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งมลรัฐแมสซาชูเซท (Massachusett Institute of Technology, MIT) (Robinson, 1972a; Stott, 1973a) ประเทศสหรัฐอเมริกา ในปี พ.ศ.2480 นับตั้งแต่เวลานั้นเป็นต้นมา มีการพัฒนาโปรแกรมขึ้นมาอีกจำนวนมากในหลายประเทศ เช่น อังกฤษ ฝรั่งเศส สหพันธรัฐเยอรมัน เดนมาร์ก และ เบลเยี่ยม

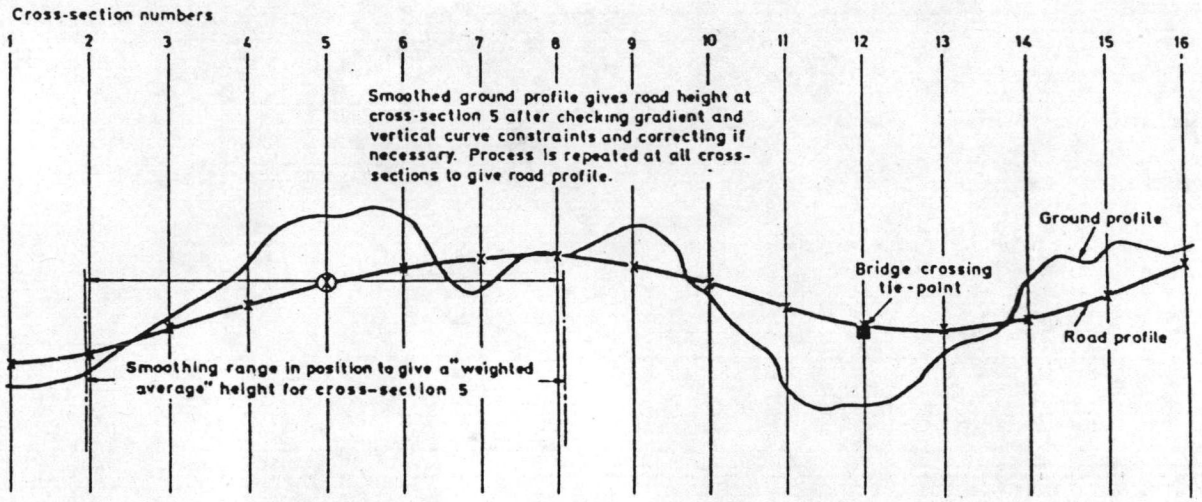
โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนั้น จะพิจารณาถึงค่าใช้จ่าย และ ข้อจำกัดต่างๆ ใกล้เคียงกัน โดยจะเน้นพิจารณาค่าใช้จ่ายของงานดิน และ ค่าโครงสร้างทาง ในการออกแบบแนวทางดิ่ง ค่าใช้จ่ายของงานดังกล่าวถูกนำมาพิจารณาเป็นค่าใช้จ่ายรวมในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) ของโปรแกรม ถึงแม้ว่าจะมีการนำค่าเวนคืนที่ดิน ค่าใช้จ่ายในการใช้รถ (User cost) และ ค่าใช้จ่ายอื่นๆ มาพิจารณาบ้างในบางโปรแกรม แต่ก็เป็นเพียงเงื่อนไขเฉพาะพื้นที่เท่านั้น มิใช่ความไร้ประสิทธิภาพของโปรแกรมอื่นๆ โปรแกรมที่จะใช้หาแนวทางดิ่งที่ดีนั้นจะต้องมีข้อจำกัดของความลาดชัน อัตราความโค้ง และ จุดควบคุมระดับ ร่วมอยู่ด้วย

โปรแกรมเหล่านี้มีข้อมูลเข้า (Input) ผลลัพธ์ (Output) และ วิธีหาผลลัพธ์ต่างๆ กัน ในการพิจารณาแต่ละโปรแกรม ผลลัพธ์ของโปรแกรมจะเป็นตัวกำหนดการนำแนวทางดิ่งไปใช้ เทคนิคและวิธีหาผลลัพธ์ เป็นส่วนสำคัญที่กำหนดประสิทธิภาพและข้อด้อยของการหาแนวทางดิ่งที่เหมาะสมที่สุด โปรแกรมช่วยหาและออกแบบแนวทางดิ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ตามผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม คือ โปรแกรมช่วยในการหาระดับทาง และโปรแกรมช่วยในการหาองค์ประกอบทางเรขาคณิต

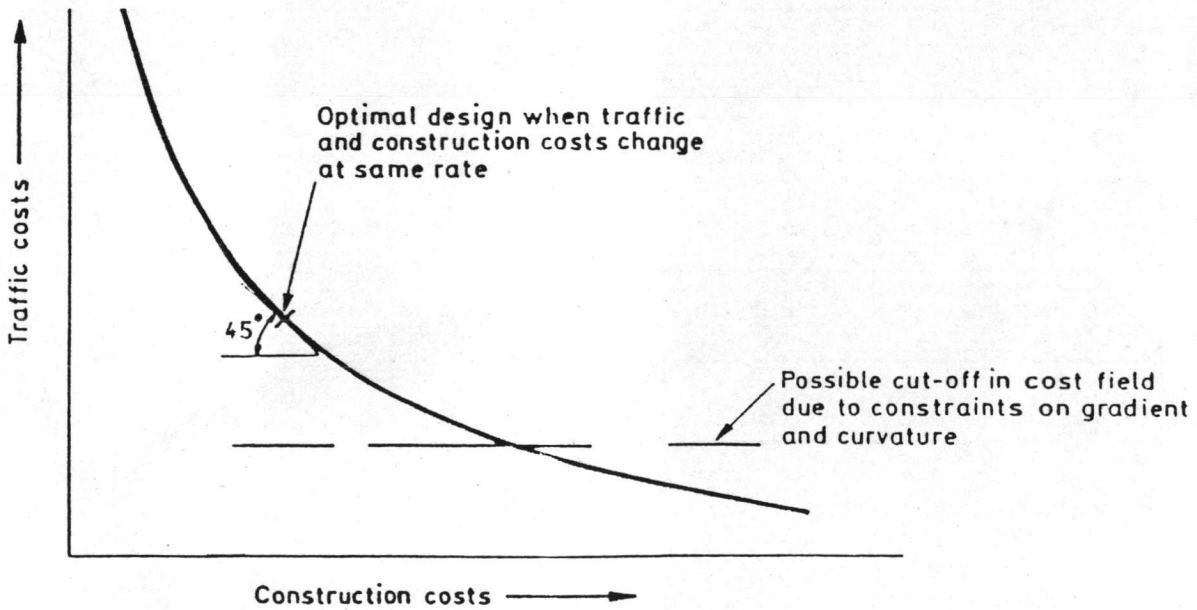
2.1 โปรแกรมช่วยในการหาระดับทาง

โปรแกรมช่วยในการหาระดับทาง เป็นโปรแกรมที่ค้นหาระดับของสถานีที่กำหนดบนเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายของเส้นทางในฟังก์ชันวัตถุประสงค์น้อยที่สุด สอดคล้องกับข้อกำหนดทางเรขาคณิต และ ข้อจำกัดของค่าระดับควบคุม (Control point) วิธีหาผลลัพธ์ มักใช้วิธีปรับพื้นดินให้เรียบขึ้น (Smooth ground process) หรือ วิธีการโปรแกรมพลวัต (Dynamic programming) เพราะสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานนี้ได้โดยตรง

โปรแกรมที่ใช้วิธีปรับพื้นดินให้เรียบขึ้น พัฒนาขึ้นที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งมลรัฐแมสซาชูเซท (MIT) (Robinson, 1972a; Stott, 1973a) เป็นการปรับพื้นดินโดยใช้ระดับการปรับต่างๆกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยที่การปรับพื้นดินให้เรียบขึ้นเพียงเล็กน้อยจะให้ค่าระดับทางที่ใกล้เคียงกับระดับพื้นดินเดิม เส้นทางที่มีระดับทางเช่นนี้จะมีค่าก่อสร้างต่ำแต่จะมีค่าใช้จ่ายอันเนื่องมาจากการจราจรสูง ในทางกลับกันการปรับพื้นดินให้เรียบมากขึ้นจะทำให้มีค่าก่อสร้างสูงขึ้น แต่ค่าใช้จ่ายอันเนื่องมาจากการจราจรน้อยลง ระดับการปรับพื้นดินที่ให้อัตราการเปลี่ยนแปลง ค่าก่อสร้าง และ ค่าใช้จ่ายอันเนื่องมาจากการจราจรเท่ากัน ถือว่าเป็นระดับทางที่เหมาะสมที่สุด วิธีการนี้ไม่แพร่หลายนักเนื่องจากการออกแบบทางสมัยใหม่ จะใช้ข้อจำกัดของความลาดชัน และ อัตราความโค้ง เป็นตัวกำหนดเพื่อการขับขี่ที่ปลอดภัย และ สะดวกสบายมากกว่า การแลกเปลี่ยน (Trade-off) ระหว่างค่าก่อสร้างและ ค่าใช้จ่ายอันเนื่องมาจากการจราจร



ก. วิธีปรับพื้นดินให้เรียบขึ้น



ข. Trade-off curve

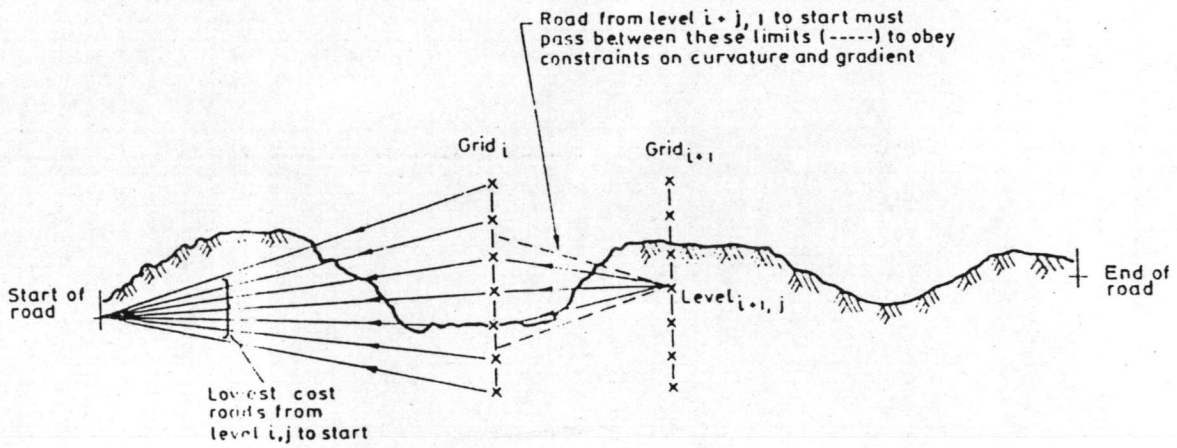
รูปที่ 2.1 การหาแนวทางดิ่งที่เหมาะสมที่สุดโดยวิธีปรับพื้นดินให้เรียบขึ้น (Smooth ground process) ที่พัฒนาโดย MIT (Stott, 1973a)

โปรแกรมที่ใช้วิธีการโปรแกรมพลวัต พัฒนาขึ้นที่ S.E.T.R.A. ประเทศฝรั่งเศส ในปี พ.ศ. 2512 ชื่อ APOLLON (Stott, 1973a) มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางดิ่งที่ค่าใช้จ่ายของงานดินน้อยที่สุด การทำงานของโปรแกรมอธิบายได้โดยย่อดังนี้ คือ แบ่งระยะทางออกเป็นส่วนๆ เรียกว่า กริด (Grid) แต่ละกริดมีระยะห่างระหว่าง 150 เมตร ถึง 300 เมตร ตลอดความยาวเส้นทางที่ต้องการออกแบบ ระยะของกริดดังกล่าวสามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการหาแนวทางเบื้องต้น และ การหาแนวทางโดยละเอียด แต่ละกริดจะแบ่งระดับออกเป็นจุดมีระยะห่างค่าหนึ่ง เส้นทางระหว่างกริดใดๆ คือ เส้นที่เชื่อมระหว่างระดับบนกริดทั้งสอง ซึ่งจะเป็นไปได้หลายเส้นทาง แนวเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด คือ เส้นที่เชื่อมต่อระหว่างจุดบนกริดที่มีค่าระดับทางที่ให้ค่าใช้จ่ายของงานดินรวมน้อยที่สุด ภายใต้ข้อจำกัดของความลาดชัน และ อัตราความโค้ง

จากรูปที่ 2.2 สมมติให้เส้นทางระหว่างจุดเริ่มต้นถึงจุดบนกริด i เป็นเส้นทางที่ให้ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด จากนั้นทำการหาเส้นทางจากกริด i ถึงกริด i+1 โดยหาค่าใช้จ่ายรวมทั้งเส้นทางจากจุดเริ่มต้นถึงจุดบนกริด i+1 เปรียบเทียบในทุกเส้นทางที่เป็นไปได้เพื่อหาระดับที่มีค่าใช้จ่ายรวมน้อยที่สุด เช่นนี้ไปจนถึงจุดสิ้นสุดของเส้นทาง

การหาเส้นทางระหว่างกริดต่างๆ จะต้องสอดคล้องกับข้อจำกัดของความชัน อัตราความโค้ง และ จุดควบคุมระดับ ข้อที่น่าสังเกตของโปรแกรมนี้ คือ ความถูกต้องของค่าใช้จ่ายของเส้นทางขึ้นอยู่กับระยะห่างของกริด ดังนั้นการเลือกระยะห่างระหว่างกริดจึงต้องอาศัยการตัดสินใจของวิศวกร ปริมาณงานดินที่คำนวณจากเส้นทางที่มีกริด และ ระดับบนกริดห่างกันมาก จะคลาดเคลื่อนจากปริมาณงานดินจริง ดังนั้นค่าใช้จ่ายของงานดินจึงเป็นเพียงค่าประมาณเท่านั้น นอกจากโปรแกรม APOLLON แล้ว ยังมีอีกหลายโปรแกรมที่พัฒนาโดยใช้วิธีการเดียวกัน

โปรแกรมที่พัฒนาโดย MIT และ U.S. Forest Service ชื่อ OPTLOC (Stott, 1973a) และ โปรแกรมที่พัฒนาโดยมหาวิทยาลัยแห่งประเทศสิงคโปร์ (Goh, Chew and Fwa, 1988; Chew, Goh and Fwa, 1989) สำหรับออกแบบแนวทางดิ่ง มีหลักการ และ วิธีหาผลลัพธ์เช่นเดียวกับโปรแกรม APOLLON นอกจากนี้ยังมีโปรแกรมที่พัฒนาที่ Technical College ประเทศเดนมาร์ก (Stott,1973a; Schacke, 1973) ซึ่งใช้วิธีการโปรแกรมพลวัตเช่นกัน แต่จะใช้การโปรแกรมเชิงเส้นในการหาปริมาณการขนย้ายมวลดิน และ หาแนวทางดิ่งที่ให้ค่าขนย้ายมวลดินที่ต่ำที่สุด โปรแกรมนี้จะนำบ่อยืม



รูปที่ 2.2 วิธีหาแนวเส้นทาง โดยใช้การโปรแกรมพลวัต (Dynamic programming) ที่ใช้ในโปรแกรม APOLLON OPTLOC โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นที่ Technical College ประเทศเดนมาร์ก (Stott, 1973a) และ โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นที่มหาวิทยาลัยแห่งประเทศสิงคโปร์ (Goh et.al., 1988)

(Borrow pit) และ บ่อทิ้ง (Disposal หรือ Spoil heap) มาพิจารณาในการคำนวณการขนย้ายมวลดินด้วย

เนื่องจากโปรแกรมหาระดับทางมักใช้วิธีหาผลลัพธ์ที่ไม่มีข้อจำกัดในรูปแบบฟังก์ชันวัตถุประสงค์ จึงสามารถตั้งฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ซับซ้อนได้ โดยหาค่าใช้จ่ายรวมของค่าก่อสร้าง และ ค่าใช้จ่ายของการใช้รถ ค่าก่อสร้างอาจพิจารณาทั้งค่าขุดดิน และค่าขนย้ายดิน

วิธีการที่ใช้ในโปรแกรมหาระดับทางมีข้อเด่นและข้อด้อยหลายประการ การปรับพื้นดินจะทำให้ระดับทางทั้งหมดเปลี่ยนไป หากแนวเส้นทางประกอบด้วยช่วงที่สอดคล้องและไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดทางเรขาคณิต เมื่อปรับพื้นดินให้ราบขึ้นจะทำให้ช่วงเส้นทางที่สอดคล้องกับข้อกำหนดอยู่แล้วเปลี่ยนแปลงไปด้วย จึงทำให้ความชัน และ อัตราความโค้งไม่ใกล้เคียงกันในทุกช่วงของเส้นทาง ด้วยเหตุนี้แนวเส้นทางที่ได้จะไม่มีความคงเส้นคงวา (Consistency) ในการออกแบบ การหาระดับทางจากวิธีการโปรแกรมพลวัต การแบ่งกริด และ ระดับกริดเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพของโปรแกรม ค่าใช้จ่ายที่ได้จึงเป็นเพียงค่าใช้จ่ายโดยค่าประมาณเท่านั้น การโปรแกรมพลวัต มักประสบปัญหาการเก็บข้อมูลที่มีจำนวนมาก จึงอาจต้องกำหนดการทำงานหลายรอบ โดยลดระยะห่างระหว่างกริด และระยะบนกริดในแต่ละรอบของการคำนวณ แต่การโปรแกรมพลวัตก็มีข้อเด่นที่สามารถหาแนวเส้นทางที่เหมาะสมจากจุดเริ่มต้นถึงกริดใดๆ ได้

อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมหาระดับทางนี้ไม่สามารถที่จะนำไปใช้ในการก่อสร้างได้ทันที เนื่องจากการออกแบบและก่อสร้างแนวทางดิ่งในปัจจุบันจะใช้องค์ประกอบทางเรขาคณิตแบบดั้งเดิม คือ จุดตัดแนวดิ่ง และ ความยาวโค้ง เป็นตัวกำหนดระดับทาง ดังนั้นแนวทางดิ่งที่ได้จะเป็นแนวเส้นทางที่เหมาะสมทาง "ทฤษฎี" เท่านั้น ผลของระดับทางที่สถานีต่างๆ ที่ได้ จะต้องใช้วิศวกรในการออกแบบเพื่อหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตอีกครั้งหนึ่ง หรือ สร้างองค์ประกอบทางเรขาคณิตแบบอื่นแทน

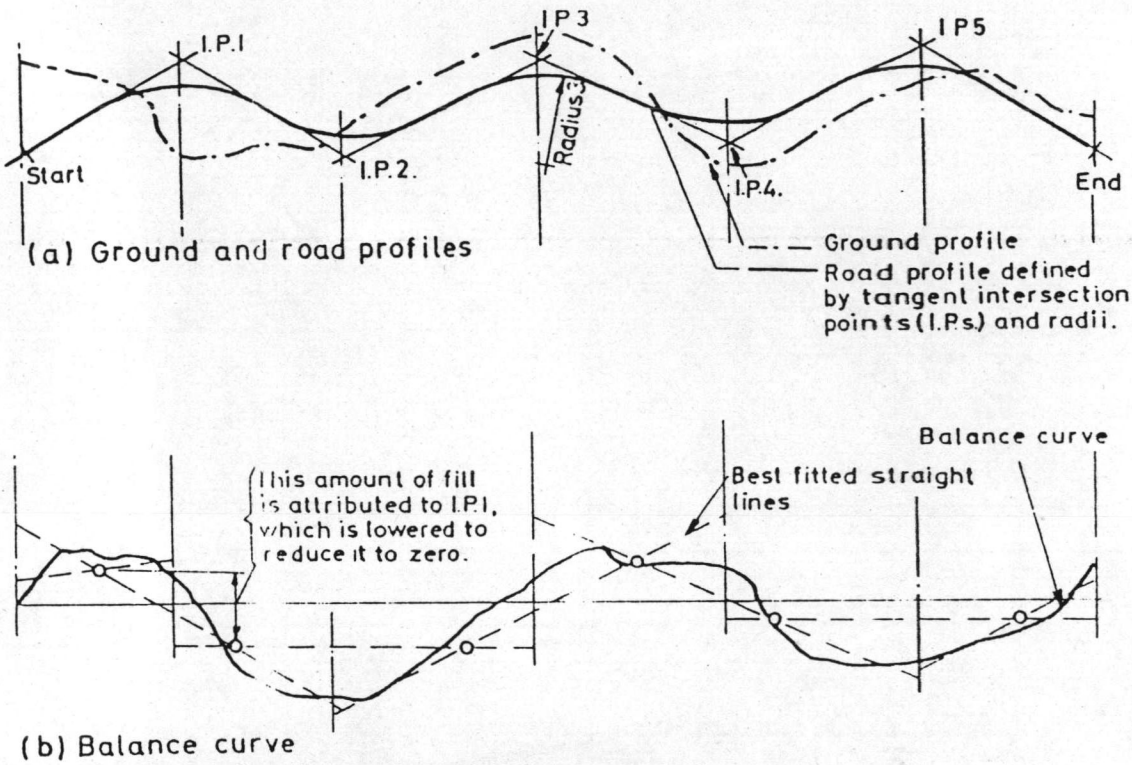
2.2 โปรแกรมช่วยในการหาองค์ประกอบทางเรขาคณิต

โปรแกรมช่วยในการหาองค์ประกอบทางเรขาคณิต เป็นโปรแกรมที่หาจุดตัดแนวดิ่ง และ ความยาวโค้ง ที่ประกอบกันเป็นแนวเส้นทาง ค่าองค์ประกอบทางเรขาคณิตนี้นำไปใช้คำนวณหาระดับทางที่ทุกๆ สถานีอีกครั้งหนึ่ง จึงจะนำไปใช้ในการก่อสร้างได้

วิธีการที่จะหาองค์ประกอบทางเรขาคณิต มักจะต้องกำหนดจุดตัดแนวดิ่ง และความยาวโค้งเริ่มต้นเสียก่อน จากนั้นจึงนำไปค้นหาองค์ประกอบที่เหมาะสมที่สุด บางโปรแกรมอาจค้นหาตำแหน่งจุดตัดแนวดิ่งเพียงอย่างเดียว แต่ละโปรแกรมจะตั้งฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต่างๆ กัน วิธีหาผลลัพธ์ที่นำมาประยุกต์ใช้มีหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อเด่นและ ข้อด้อยต่างๆ กัน

ในปี พ.ศ. 2510 U.S. Forest service ซึ่งเป็นหน่วยงานของรัฐบาลประเทศสหรัฐอเมริกา ได้พัฒนาโปรแกรมชื่อ AEAP (Stott, 1973a) เพื่อใช้ในการออกแบบถนนคุณภาพต่ำ (Low-grade roads) โดยใช้วิธีการคำนวณรอบ (Iteration) เพื่อหาแนวเส้นทางที่ให้พื้นที่ใต้เส้นการขนย้ายมวลดิน (Balance or mass haul curve) น้อยที่สุด การทำงานของโปรแกรมโดยย่อ เป็นการสร้างแผนผังการขนย้ายมวลดินจากแนวทางดิ่งที่กำหนดจุดตัดแนวดิ่ง และ ความยาวโค้งเริ่มต้นโดยวิศวกร จากนั้นแบ่งเส้นขนย้ายมวลดินออกเป็นช่วงตามระยะจุดตัดแนวดิ่ง และ แทนด้วย best-fitted straight line เพื่อคำนวณหาระดับจุดตัดแนวดิ่งใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 นำจุดตัดแนวดิ่งที่ได้ไปเปรียบเทียบกับจุดตัดแนวดิ่งเดิม และ ทดลองเปลี่ยนระดับจุดตัดแนวดิ่งอีก เมื่อคำนวณวนรอบจนค่าแตกต่างระหว่างจุดตัดแนวดิ่งที่ได้ กับ จุดตัดแนวดิ่งจากการคำนวณของรอบที่ผ่านมาเท่ากับศูนย์ จะได้ตำแหน่งจุดตัดแนวดิ่งที่ถือว่า เป็นองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่เหมาะสมที่สุด จะเห็นว่าโปรแกรมนี้มีข้อด้อยที่การหาแนวเส้นทางจะกระทำจากแผนผังการขนย้ายมวลดิน มิได้สร้างความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดทางเรขาคณิต กับ แนวเส้นทางโดยตรง

วิธีการค้นหาแบบสุ่ม (Random search) นำมาประยุกต์ใช้ในโปรแกรมหาแนวทางดิ่ง ที่วิทยาลัยแห่งเมืองอาเคน ประเทศสหพันธรัฐเยอรมัน (Stott, 1973a) แนวทางดิ่งจะถูกกำหนดโดย จุดตัดแนวดิ่ง และ ความยาวโค้งเริ่มต้น นำมาทำเป็นตัวแปรสุ่ม จากนั้นสุ่มค่าตัวแปร และ นำไปคำนวณหาค่าใช้จ่าย ดังนั้นกระบวนการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด



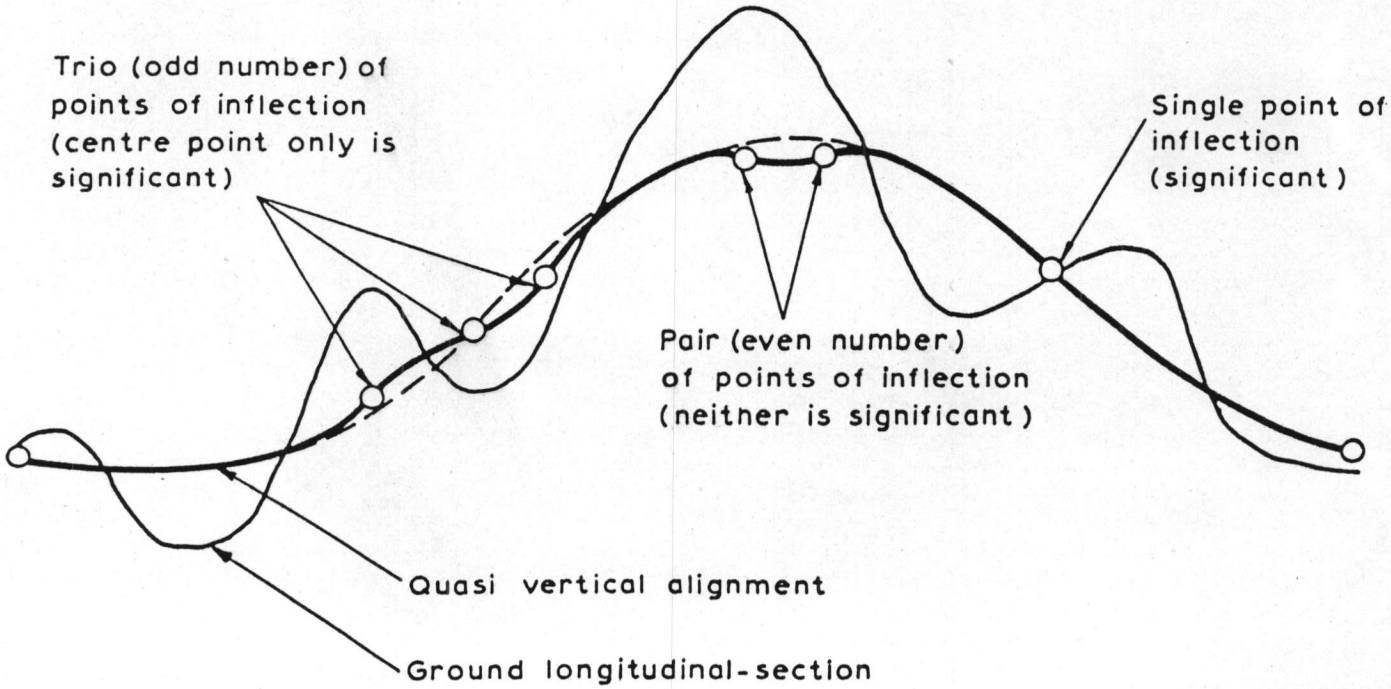
รูปที่ 2.3 เทคนิคการเลื่อนจุดตัดแนวดิ่ง เพื่อหาตำแหน่งของจุดตัดแนวดิ่งที่เหมาะสมจากเส้นการขนย้ายมวลดิน ในโปรแกรม AEAP (Stott, 1973a)

จึงต้องกระทำซ้ำหลายครั้ง เพื่อเปรียบเทียบหาแนวเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุด ถ้าดำเนินกระบวนการค้นหามากกว่าจำนวนรอบการกระทำซ้ำสูงสุด ก็จะถือว่าแนวเส้นทางที่ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด คือ แนวเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด สมการวัตถุประสงค์จะสะท้อนตัวแปรของค่าใช้จ่ายอันเนื่องมาจากปริมาณดิน การขนย้ายมวลดิน หรือ ค่าใช้จ่ายอันเนื่องมาจากการจราจร ซึ่งผู้ออกแบบจะต้องเลือกตัวแปรดังกล่าวครั้งละหนึ่งตัวแปรเพื่อนำมาหาผลลัพธ์ และ เปรียบเทียบกัน วิธีการสุ่มในการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด มีข้อที่น่าสังเกตตรงที่สามารถหลีกเลี่ยง local optima ที่ทำให้เกิดปัญหาในการค้นหาค่าที่ดีที่สุดวิธีอื่นๆ ถึงแม้ว่าจะไม่สามารถรับประกันการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดของข้อมูลทั้งหมด (Global optimum) ได้ เนื่องจากการวนรอบกระทำซ้ำน้อยครั้ง

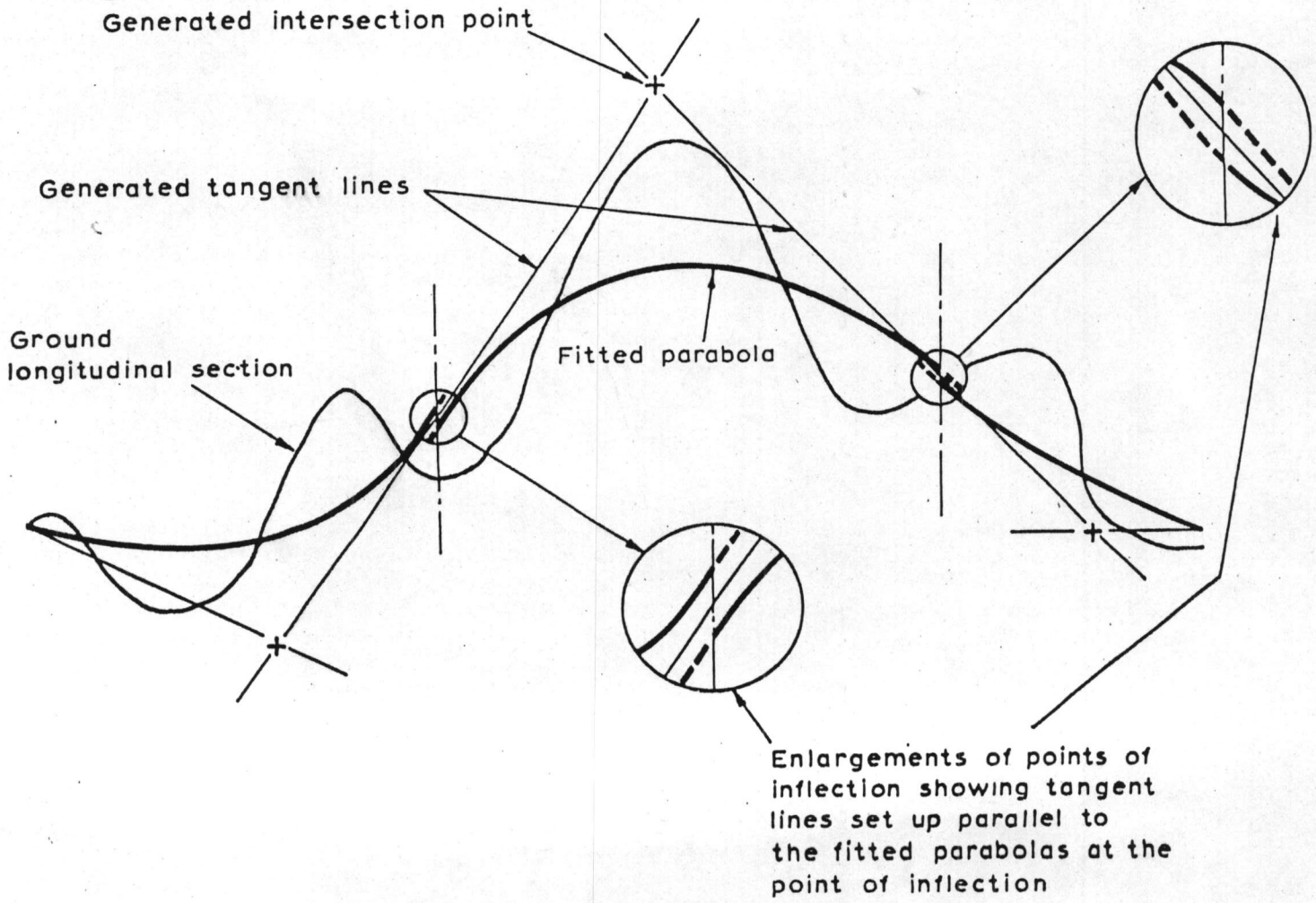
โปรแกรมที่สำคัญโปรแกรมหนึ่งที่ใช้หาองค์ประกอบทางเรขาคณิต คือ โปรแกรม HOPS (Davies, 1972; Robinson, 1972a, 1972b; Stott, 1973a, 1973b; Baker, 1978) เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่สามารถหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตจากข้อมูลพื้นดินเดิมได้ โดยไม่ต้องกำหนดองค์ประกอบทางเรขาคณิต คือ จุดตัดแนวดิ่ง และ ความยาวโค้งเริ่มต้นโดยวิศวกร การหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตเริ่มต้นจากพื้นดินเดิม ทำได้โดยการจำลองขั้นตอนการออกแบบของวิศวกร (Engineer's design process simulation) แล้วนำมาค้นหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่เหมาะสม วัตถุประสงค์ของการหาแนวทางดิ่งก็เพื่อจะหาเส้นทางที่มีปริมาณงานดินน้อยที่สุด การทำงานของ HOPS จะสร้างแนวทางดิ่งเบื้องต้นจากการคูณค่าน้ำหนัก และ หาองค์ประกอบทางเรขาคณิตเริ่มต้น จากนั้นจึงค้นหาจุดตัดแนวดิ่ง และ ความยาวโค้งที่ให้แนวเส้นทางใกล้เคียงกับพื้นดินเดิมมากที่สุด วิธีค้นหาใช้วิธีค้นหาโดยตรง (Direct search)

การโปรแกรมคณิตศาสตร์ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการค้นหาแนวทางดิ่งที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีข้อจำกัดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการโปรแกรมคณิตศาสตร์ จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ในบางปัญหาที่เท่านั้น การโปรแกรมเชิงเส้น (Linear programming) นำมาใช้หาวิธีขนย้ายมวลดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดได้ เพราะ รูปแบบของปัญหาสามารถจัดให้อยู่รูปของสมการเชิงเส้นได้ Easa S.M. (1988) นำการโปรแกรมเชิงเส้นมาประยุกต์ใช้ในโปรแกรมหาแนวทางดิ่งที่มีค่าขนย้ายมวลดินต่ำที่สุด โดยการทดลองเปลี่ยนระดับจุดตัดแนวดิ่งที่กำหนดขึ้นก่อนโดยวิศวกร เพื่อนำมาคำนวณค่าขนย้ายมวลดิน และ นำมาเปรียบเทียบกัน หากแนวเส้นทางใดที่ให้ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด ถือว่าเป็นเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด ข้อจำกัดของวิธีการนี้ คือ การค้นหาจุดตัดแนวดิ่ง เป็นเพียงการคำนวณวนรอบ และ นำมาเปรียบเทียบกันเท่านั้น นอกจากนี้ จะต้องกำหนดตำแหน่งจุดตัดแนวดิ่ง ความยาวโค้งเริ่มต้น และ บริเวณ

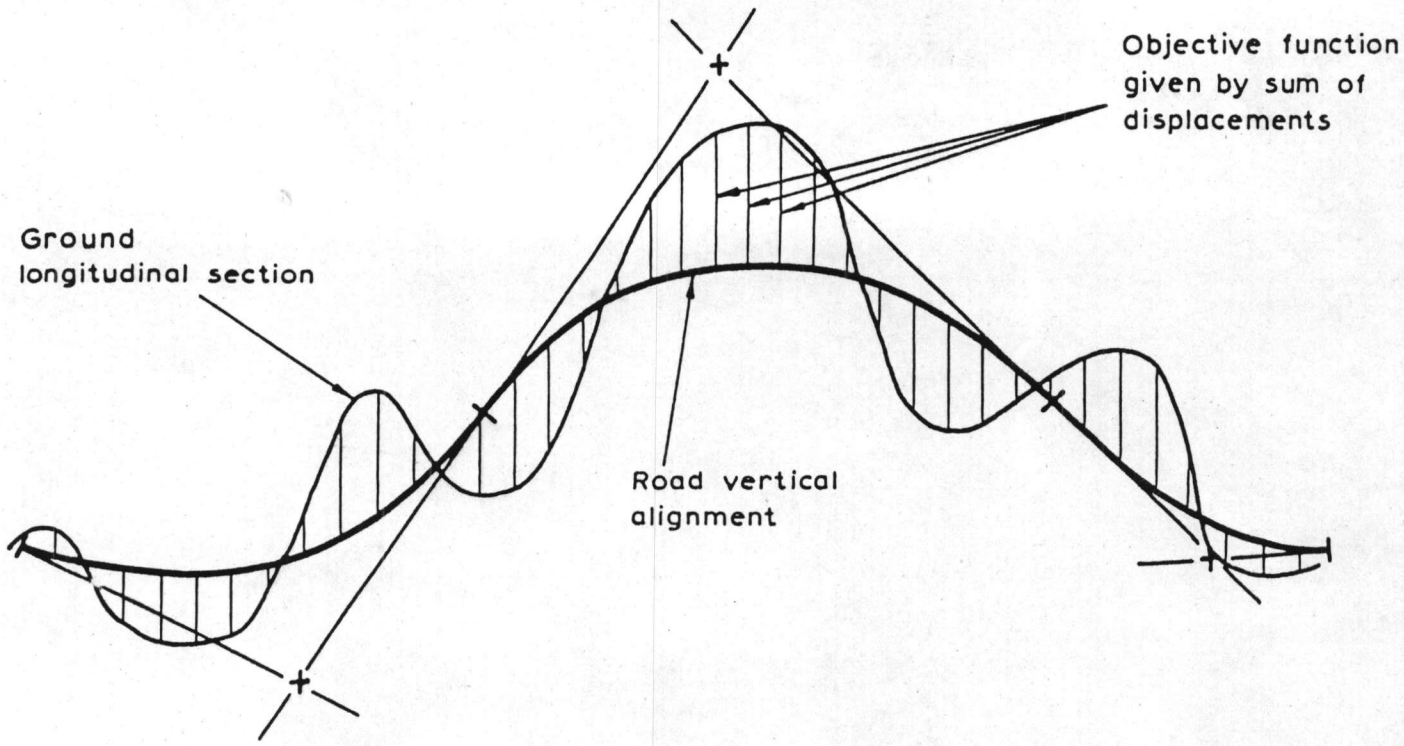
017805



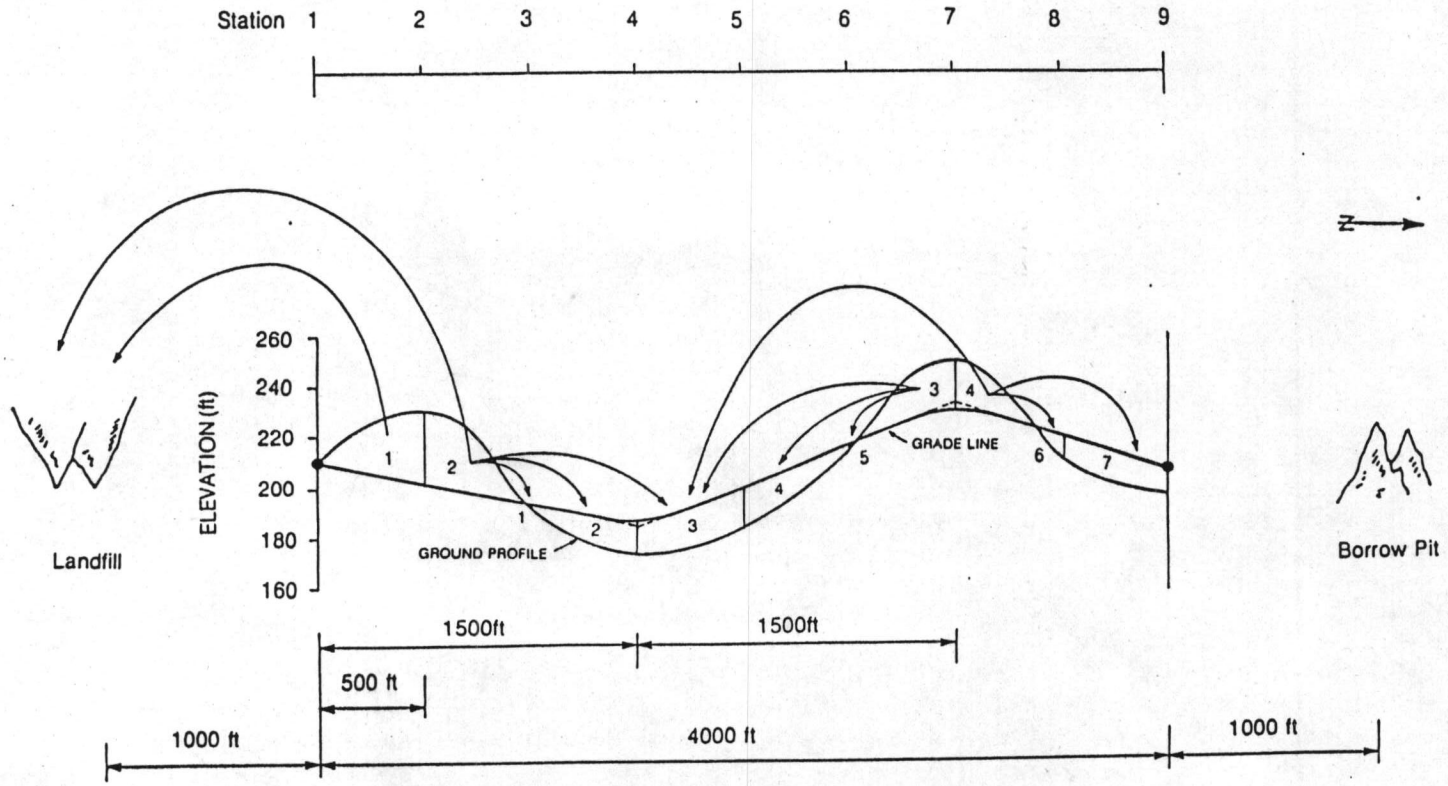
รูปที่ 2.4 วิธีการหาจุดตัดแนวดิ่งโดยการหาจุดเปลี่ยนโค้งจากผลต่างของ Quasi vertical alignment กับ แนวเส้นทางที่คูณค่าน้ำหนัก ในโปรแกรม HOPS (Robinson, 1972a)



รูปที่ 2.5 การหาจุดตัดแนวดิ่งและโค้งดิ่งในโปรแกรม HOPS (Robinson, 1972a)



รูปที่ 2.6 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการหาแนวทางดิ่งที่เหมาะสมที่สุด
ของโปรแกรม HOPS (Robinson, 1972a)



รูปที่ 2.7 การหาทางลาดชันที่ให้ค่าขนย้ายมวลดินต่ำที่สุด (Easa, 1988)

ที่เป็นดินตัดและดินถมไว้ก่อน แต่โปรแกรมนี้มีข้อดีที่ นำวิธีหาการขนย้ายมวลดินที่แน่นอนกว่ามาใช้แทนวิธีหาจากแผนผังการขนย้ายมวลดิน (Mass haul diagram) โดยจะคิดการบวมตัว (Swell) ของดิน การยุบตัวของดินในบริเวณที่บดอัด และ การบวมตัวของดินขณะขนส่งด้วย นอกจากนี้ยังสามารถคิดค่าขนส่ง ค่าขุด และ ค่าบดอัดดินได้

การโปรแกรมกำลังสอง (Quadratic programming) นำมาประยุกต์ใช้ในโปรแกรม GEROS 68 (Stott, 1973a) ซึ่งพัฒนาที่มหาวิทยาลัยแห่งลอนดอน โปรแกรม GEROS 68 เป็นโปรแกรมหาแนวทางดิ่งที่มีค่าขุดดิน และ ค่าใช้จ่ายของการใช้รถน้อยที่สุด โดยหาปริมาณดินจากแบบจำลองรูปตัดคันทาง ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการหาแนวทางดิ่งจะเป็นฟังก์ชันกำลังสอง วิธีการคล้ายกันนี้ยังปรากฏในโปรแกรม SYSFAP ที่พัฒนาที่มหาวิทยาลัยแห่งเมือง Liege ประเทศเบลเยี่ยม ข้อจำกัดของโปรแกรม คือ จะต้องกำหนดสถานีบนเส้นทางที่เป็นจุดตัดแนวดิ่ง และ ค่าใช้จ่ายของงานดินคิดจากค่าประมาณในแต่ละช่วงจุดตัดแนวดิ่ง

Goh C.J. Chew E.P. และ Fwa T.F. (1988) จากมหาวิทยาลัยแห่งประเทศสิงคโปร์ พัฒนาโปรแกรมช่วยออกแบบแนวทางดิ่งที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้องค์ประกอบทางเรขาคณิตของฟังก์ชันกำลังสาม (Cubic spline) โปรแกรมดังกล่าวยังสามารถพัฒนาให้ใช้ออกแบบแนวเส้นทาง 3 มิติได้ เนื่องจากแนวเส้นทางถูกสร้างเป็นฟังก์ชันกำลังสาม ดังนั้นโปรแกรมนี้จึงไม่สามารถหาองค์ประกอบของแนวทางดิ่งแบบดั้งเดิมได้

โปรแกรมหาองค์ประกอบทางเรขาคณิต มีข้อดีที่สามารถนำผลลัพธ์ของแนวเส้นทางที่ได้ไปใช้ในการก่อสร้างได้ทันที จึงเป็นการหาแนวทางดิ่งในทาง "ปฏิบัติ" อย่างไรก็ตาม ข้อด้อยของโปรแกรมกลุ่มนี้ คือ มักจะต้องกำหนดองค์ประกอบทางเรขาคณิต (จุดตัดแนวดิ่ง และ ความยาวโค้ง) เริ่มต้น ให้กับโปรแกรม เพื่อใช้ในการคำนวณและค้นหาผลลัพธ์ ประสิทธิภาพของโปรแกรมจะขึ้นอยู่กับข้อมูลเริ่มต้น และ วิธีหาผลลัพธ์ วิธีหาผลลัพธ์แบบหนึ่งจะเหมาะกับวัตถุประสงค์อย่างหนึ่งเท่านั้น

2.3 สรุป

จากการศึกษาวิธีออกแบบ และ การพัฒนาโปรแกรมเพื่อช่วยในการออกแบบทาง พบว่า แต่ละวิธีการยังมีข้อจำกัดหลายประการ วิธีออกแบบที่พัฒนาเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแต่ละโปรแกรมจะมีประสิทธิภาพ และ ความสามารถในการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับการตั้งฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ข้อจำกัด และ การเลือกใช้วิธีหาผลลัพธ์ โปรแกรมหาระดับทางมักใช้วิธีหาผลลัพธ์ที่สามารถพิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ซับซ้อนได้แต่ข้อจำกัดที่สำคัญ คือ แนวเส้นทางที่ได้จะเป็นระดับทางที่ทุกสถานีซึ่งจะต้องนำไปหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตก่อนที่จะนำไปใช้ในการก่อสร้าง ส่วนโปรแกรมหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตมักจะใช้การโปรแกรมคณิตศาสตร์ในการหาผลลัพธ์ซึ่งจะมีข้อจำกัดข้อจำกัดในวิธีต่างๆ ที่ใช้ ผลลัพธ์ที่ได้เป็นค่าองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่สามารถนำไปใช้ในภารก่อสร้างได้ โปรแกรมหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตมีข้อจำกัดที่สำคัญ คือ มักจะต้องกำหนดค่าองค์ประกอบเริ่มต้นเพื่อใช้ในการหาผลลัพธ์ ค่าองค์ประกอบเริ่มต้นนี้มีผลต่อประสิทธิภาพของการหาผลลัพธ์ และ จะต้องกำหนดโดยใช้วิจารณญานของวิศวกร