บทที่ 3

ทฤษฎีในการวิเคราะห์

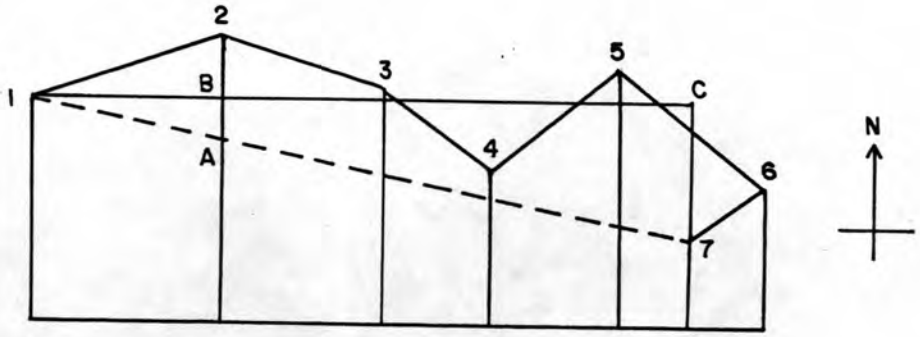
งานที่มีความสำคัญอีกประเภทหนึ่งของโครงการทางวิศวกรรมการทางก็คือ การวิเคราะห์ อันได้แก่ การคำนวณหาพื้นที่ การคำนวณหาปริมาณงานดิน และการสร้างแบบจำลองเส้นชั้นความสูง (Contour Lines) ดังได้กล่าวถึงความสำคัญของงานแต่ละอย่างไปแล้วใน บทที่ 1 ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่ใช้ในงานวิเคราะห์ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดย MOSS Consortium (2 และ 3)

3.1 การคำนวณหาพื้นที่

การคำนวณหาพื้นที่ในที่นี้หมายถึง การหาพื้นที่ผิวของแบบจำลองหรือการหาพื้นที่ผิวบางส่วนของแบบจำลอง ประโยชน์ที่จะได้จากการหาพื้นที่ เช่น ในการหาพื้นที่ผิวจราจร (Pavement Area) ในการหาปริมาณงานดินตัด หรือ ดินถม ในกรณีที่พื้นผิวที่ระดับดินเดิมกับพื้นผิวที่ระดับต้องการขนานกันโดยการคูณพื้นที่ที่คำนวณได้กับระยะระหว่างพื้นผิวที่ระดับทั้งสอง ฯลฯ

วิธีที่ใช้คำนวณหาพื้นที่ของโปรแกรมมีอยู่ 4 วิธี ดังนี้

3.1.1 <u>การคำนวณหาพื้นที่ในแนวระดับ โดยมี String เป็นตัวกำหนดของเขตของพื้นที่</u> วิธีนี้ให้ดูตัวอย่างในรูปที่ 3.1 String เส้นหนึ่งคือ เส้นที่เชื่อมต่อจุดที่ 1 ถึง 7 เป็น String ที่ใช้กำหนดขอบเขตของพื้นที่ที่ต้องการหา ในกรณีนี้ String ที่กำหนดไม่เป็นรูปปิด (คือ จุดที่ 1 และ 7 ไม่ใช่จุดเดียวกัน) ดังนั้น จะถือว่าเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างจุดที่ 1 และ 7 เป็นเส้นกำหนดขอบเขตด้วย



รูปที่ 3.1 การคำนวณพื้นที่ในแนวระดับโดยมี String เป็นตัวกำหนดขอบเขตของพื้นที่

วิธีการคำนวณทำโดยลากเส้นจากจุด (Elements) บน String ทุกจุดมาตั้งฉากกับเส้นตรงใดๆ เส้นหนึ่ง ทำให้ได้รูปสี่เหลี่ยมคางหมู 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่อยู่ระหว่างจุด 1 ถึง 6 กับเส้นตรงใดๆ และกลุ่มที่อยู่ระหว่างจุด 6 7 1 กับเส้นตรงใดๆ พื้นที่สุทธิ (Net Area) ภายในขอบเขตที่กำหนดหาโดยเอาผลรวมของพื้นที่รูปจากกลุ่มแรกลบด้วยผลรวมของพื้นที่รูปจากกลุ่มหลัง

เนื่องจากทุกจุด (Elements) บน Strings จะรู้ค่าพิกัดในแกน x และ y (โปรแกรมที่ใช้จะ กำหนดให้ทิศตะวันออกเป็นทิศทางบวกของแกน x และทิศเหนือเป็นทิศทางบวกของแกน y) ดังนั้นเราสามารถหาความยาวของด้านต่างๆ เพื่อนำมาหาพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมคางหมูได้ เช่น

$$AB = \left(\frac{1B}{1C}\right) 7C$$

โดย 1B คือระยะห่างตามแกน x ระหว่างจุด 1 กับ จุด 2

1C คือระยะห่างตามแกน x ระหว่างจุด 1 กับ จุด 7

7C คือระยะห่างตามแกน x ระหว่างจุด 1 กับ จุด 7

3.1.2 <u>การคำนวณหาพื้นที่ในแนวระดับ ซึ่งกำหนดขอบเขตของพื้นที่ด้วย Strings 2 เส้น</u> (เรียกว่า Subsidiary Strings) และเส้นตรง 2 เส้น ซึ่งลากตั้งฉากกับ String อีกเส้นหนึ่ง (เรียกว่า Reference String) ดังแสดงในรูปที่ 3.2 (ก) หลักการคำนวณหาพื้นที่ของวิธีนี้คือ สร้างรูปสามเหลี่ยมขึ้นโดยเริ่มต้นจากการให้เส้นที่ลากตั้งฉากกับ Reference String เป็นด้านของรูปสามเหลี่ยม แล้ว เชื่อมต่อจุด (Elements) บน Subsidiary Strings ทั้ง 2

ให้มาประกอบกันเป็นรูปสามเหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 3.2 (ก)

ในการเชื่อมต่อจุด (Elements) บน Subsidiary Strings 2 เส้นนั้น มีหลักว่าจะเชื่อมต่อระหว่างจุดที่ใกล้กันที่สุด ให้พิจารณารูปที่ 3.2 (ข) จะเห็นว่าหลังจากรูปสามเหลี่ยมก่อนหน้านั้นสร้างเสร็จแล้ว รูปต่อไปมีทางเป็นไปได้ 2 ทาง โปรแกรม MOSS จะเลือกเส้นที่สั้นกว่าเป็นด้านของรูปสามเหลี่ยมรูปต่อไป

หลังจากสร้างรูปสามเหลี่ยมแล้ว ก็คำนวณหาพื้นที่ของรูปสามเหลี่ยมแต่ละรูปแล้วนำมารวมกันเป็นพื้นที่ภายในขอบเขตที่ต้องการ การคำนวณหาพื้นที่รูปสามเหลี่ยมก็ทำได้โดยง่าย เพราะทุกจุด (Elements) บน Strings จะรู้ค่าพิกัดในแกน x และ y เช่นในรูปที่ 3.2 (ค) จุด A เป็น Element บน String 1 และจุด B C เป็น Elements บน String 2 เราคำนวณหาพื้นที่รูปสามเหลี่ยม ABC ได้ดังนี้

$$BC = \sqrt{BE^2 + CE^2}$$

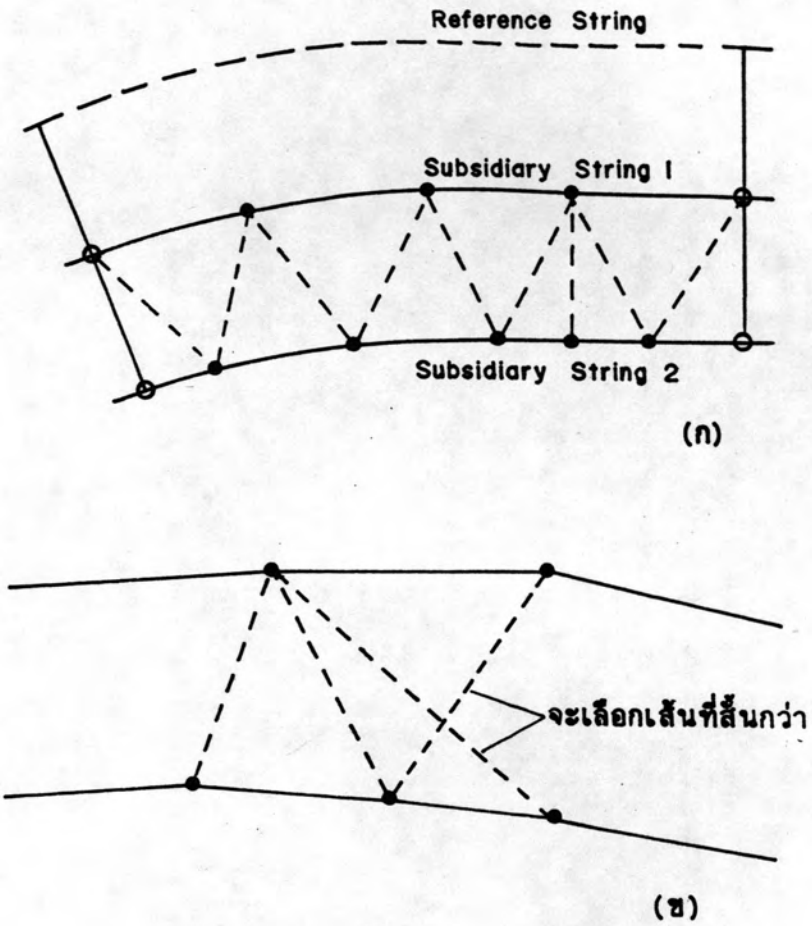
$$AB = \sqrt{AD^2 + BD^2}$$

$$\beta = \tan^{-1}(BE/CE)$$

$$\theta = \tan^{-1}(BD/AD)$$

$$AF = (AB)\sin(\theta + \beta)$$

$\therefore$ พื้นที่รูปสามเหลี่ยม ABC $= (1/2)(BC)(AF)$



รูปที่ 3.2 การคำนวณพื้นที่ในแนวระดับ ซึ่งกำหนดขอบเขตของพื้นที่ด้วย Subsidiary Strings 2 เส้นและเส้นตรง 2 เส้น ซึ่งลากตั้งฉากกับ Reference String

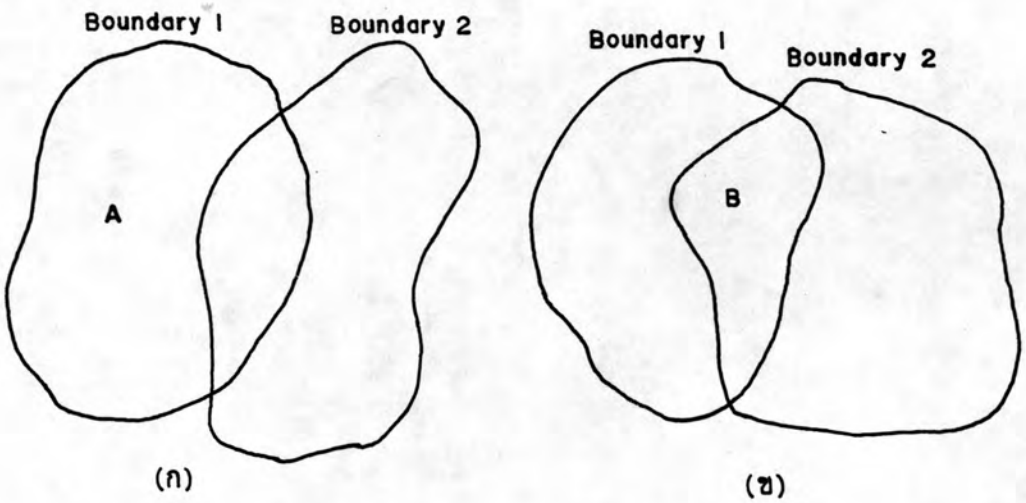
มีข้อสังเกตุสำหรับวิธีหาพื้นที่แบบนี้ คือ

ก) Subsidiary Strings 2 เส้นนี้ต้องไม่ตัดกัน

ข) Subsidiary String แต่ละเส้นต้องไม่วกกลับมาตัดกับตัวเอง (คือไม่เป็น Loop)

ค) เราสามารถใช้ Reference String เป็น Subsidiary String ได้

3.1.3 การคำนวณหาพื้นที่ในแนวระดับ ซึ่งกำหนดขอบเขตของพื้นที่โดย Strings 2 เส้น ตัดกันดังแสดงในรูปที่ 3.3 สำหรับ Strings ที่ใช้กำหนดขอบเขตในวิธีนี้ต้องเป็นวงปิด (Closed Loop) ซึ่งเรียกว่า Boundary String



รูปที่ 3.3 การคำนวณพื้นที่ในแนวระดับ ซึ่งกำหนดขอบเขตของพื้นที่โดย Boundary Strings 2 เส้น

สำหรับการคำนวณหาพื้นที่วิธีนี้โปรแกรมได้สร้างทางเลือกให้ใช้ 2 ทาง คือ

ก) คำนวณหาพื้นที่ใน Boundary String 1 แต่นอก Boundary String 2 เช่นหาพื้นที่ A ในรูปที่ 3.3 (ก)

ข) คำนวณหาพื้นที่ใน Boundary String 1 และ 2 เช่นหาพื้นที่ B ในรูปที่ 3.3 (ข)

การหาพื้นที่ทั้งลักษณะ A และ B ตามรูปที่ 3.3 (ก) และ (ข) ตามลำดับนั้น จะใช้วิธีเหมือนหัวข้อ 3.1.1 และให้ระวังไว้ว่า Boundary Strings ทั้ง 2 นั้นต้องอยู่ในแบบจำลองเดียวกัน

3.1.4 จาก 3 วิธีที่กล่าวมาแล้วนั้น เป็นการหาพื้นที่ในแนวระดับ ซึ่งพื้นที่ทั้งหมดจะถูกสมมุติว่าอยู่ในแนวระดับไม่มีความลาดเอียงใดๆ แต่ในวิธีที่ 4 นี้ จะเป็นการหาพื้นที่โดยคำนึงถึงความลาดเอียงด้วยการกำหนดขอบเขตของพื้นที่เหมือนกับหัวข้อที่ 3.1.2 ทุกประการ ส่วนวิธีการคำนวณนั้นก็ใช้วิธีสร้างรูปสามเหลี่ยมเหมือนกัน แต่การหาความยาวของด้านของสามเหลี่ยมจะต้องนำค่าความแตกต่างในแนวดิ่งระหว่างปลายทั้งสองของด้านนั้นมาใช้ในการคำนวณด้วย นอกจากนี้วิธีนี้จะไม่สนใจว่าระหว่าง Subsidiary String 1 และ 2 จะมี String ใดๆ อยู่หรือไม่ นั่นคือจะไม่นำเอาข้อมูลอื่นใดนอกจากข้อมูลบน String ที่ใช้กำหนดขอบเขตมาคำนวณหาพื้นที่

จากวิธีที่กล่าวมาแล้วทั้ง 4 คือ ตามหัวข้อ 3.1.1 ถึง 3.1.4 นั้น โปรแกรมได้ให้ความสะดวกในกรณีที่พื้นผิวที่ระดับดินเดิมกับพื้นผิวที่ระดับต้องการขนานกัน โดยเราป้อนข้อมูลเป็นระยะระหว่าง พื้นผิวที่ระดับทั้งสองเข้าไป เราจะได้ปริมาตรออกมา ซึ่งเราสามารถดัดแปลงไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้อีก เช่น ป้อนข้อมูลเป็นราคาต่อพื้นที่ของผิวจราจรเข้าไปก็จะได้ค่าใช้จ่ายเป็นต้น

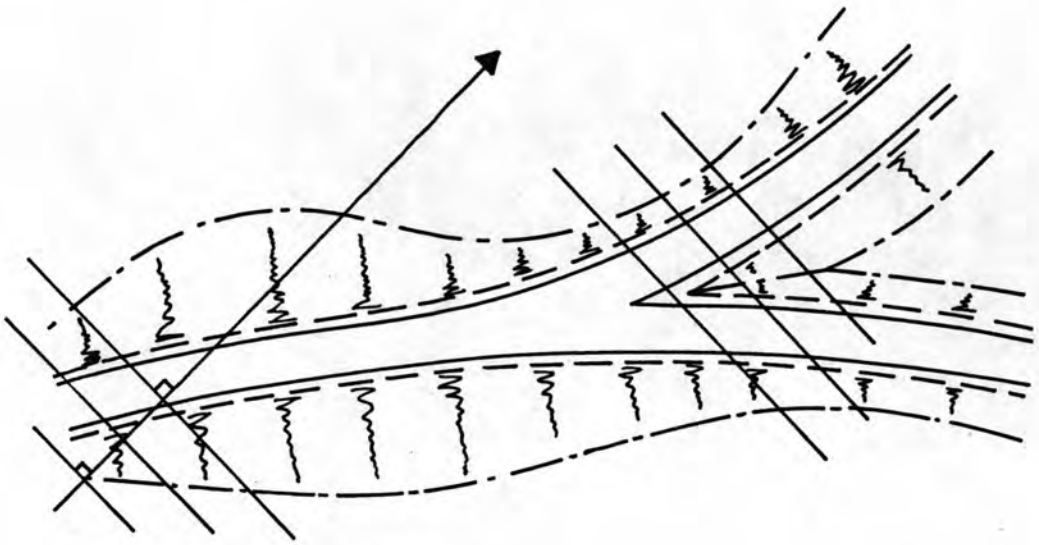
3.2 การคำนวณหาปริมาณงานดิน

การคำนวณหาปริมาณงานดินมีความสำคัญต่องานวิศวกรรมการทางมาก เพราะต้องใช้ในการคิดราคาของการก่อสร้าง ประมาณระยะเวลาที่จะใช้ในการก่อสร้าง และการวางแผนการก่อสร้าง โปรแกรมมีขั้นตอนในการคำนวณหาปริมาณงานดิน ดังนี้

3.2.1 สร้างรูปตัดขวาง ขั้นตอนนี้อาจไม่ต้องทำก็ได้ในกรณีที่แบบจำลองที่เราจะหาปริมาณงานดิน ได้มีการสร้างรูปตัดขวางและเก็บข้อมูลรูปตัดขวางไว้ก่อนแล้วการสร้างรูปตัดขวางแบ่งได้ 3 ลักษณะ คือ

3.2.1.1 เมื่อเรามีแบบจำลองของพื้นผิว อยู่ 2 แบบจำลอง เช่น แบบจำลองของดินเดิม และแบบจำลองของถนน และต้องการหาปริมาณงานดินโดยให้รูปตัดขวางที่สร้างขึ้นทุกรูป

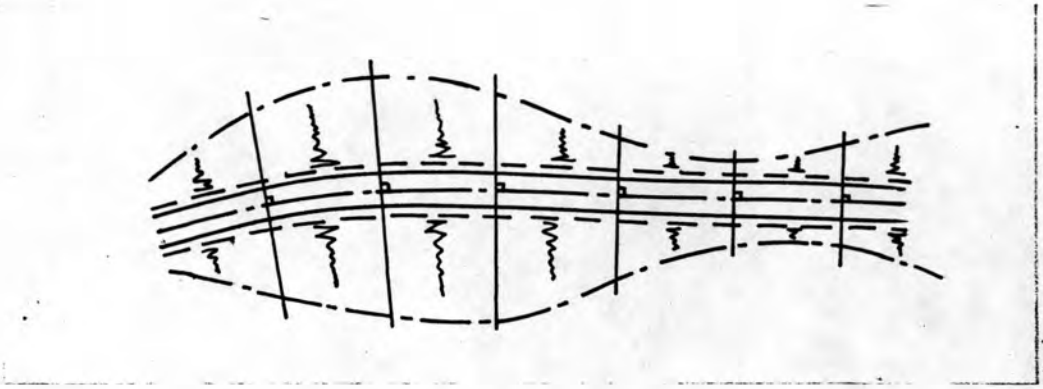
ขนานกัน นั่นคือแนวตัดทุกแนวจะตั้งฉากกับแกนใดๆ แกนหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การสร้างรูปตัดขวางแบบขนานกัน

วิธีนี้เราจะกำหนดแกนใดๆ ที่แนวตัดขวางจะมาตั้งฉากโดยบอกเป็นค่า Bearing และต้องกำหนดขอบเขต (Boundary) ของบริเวณที่จะหาปริมาณงานดินด้วย การคำนวณโดยสร้างรูปตัดขวางแบบนี้จะได้ผลการคำนวณที่ละเอียดถูกต้องเพราะรูปตัดขวางทุกรูปขนานกัน ระยะระหว่างรูปจะเท่ากันตลอด ทำให้ผลการคำนวณในขั้นต่อไปถูกต้องด้วย วิธีนี้เหมาะสำหรับงานที่ซับซ้อนเช่นบริเวณทางแยกต่างระดับ งานเหมือง งานปรับปรุงพื้นที่ขนาดใหญ่ ฯลฯ

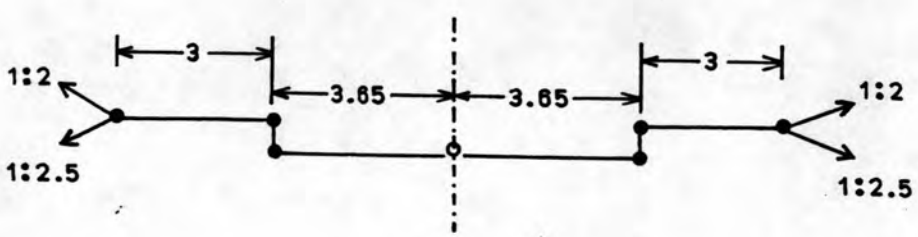
3.2.1.2 เมื่อเรามีแบบจำลองของพื้นผิวอยู่ 2 แบบจำลอง และต้องการหาปริมาณงานดินโดยให้รูปตัดขวางที่สร้างขึ้นทุกรูปตั้งฉากกับ String ใดๆ เส้นหนึ่ง เช่น การสร้างรูปตัดขวางของถนนโดยให้แนวตัดทุกแนวตั้งฉากกับเส้นศูนย์กลางของถนนดังแสดงในรูปที่ 3.5 อันเป็นวิธีที่แนะนำในหนังสือเกี่ยวกับวิศวกรรมการทางทั่วไป เช่น แนะนำโดย Clarkson H.Oglesby (4) โดย John H.Bateman (5) โดย Thomas F.Hickerson (6) โดย Russell R.Skelton (7) และโดย Carl F.Meyer (8)



รูปที่ 3.5 การสร้างรูปตัดขวางตั้งฉากกับ String ใดๆ

วิธีนี้ก็คือวิธีที่เราใช้กันอยู่แล้ว ซึ่งจะมีความผิดพลาดในตอนคำนวณหาปริมาณงานดิน เพราะรูปตัดไม่ได้ขนานกัน ระยะระหว่างรูปตัดแต่ละคู่จะไม่เท่ากันตลอด อย่างไรก็ตามเรายอมรับค่าความผิดพลาดนี้ได้และนิยมใช้วิธีนี้ในงานถนนทั้งนี้เพราะวิธีนี้เราสามารถหาปริมาณงานดินระหว่างสถานี (Station) ได้ เนื่องจากรูปตัดขวางถูกสร้างที่สถานี (Station) ต่างๆ ตามแนวศูนย์กลางถนน สำหรับวิธีนี้เราต้องกำหนดขอบเขต (Boundary) ของบริเวณที่จะหาปริมาณงานดินด้วยเช่นกัน

3.2.1.3 ในกรณีที่เรามีแบบจำลองอยู่ 1 แบบ เช่น แบบจำลองของพื้นดินเดิม และมีรูปแบบมาตรฐานของเส้นตัดขวาง (เรียกว่า Standard Profile) ซึ่งการกำหนดค่าพิกัดที่จุดต่างบน Standard Profile นั้น อ้างอิงจาก String ใดๆ เส้นหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.6 การสร้างรูปตัดขวางจะทำในลักษณะเดียวกับหัวข้อ 3.2.1.2 คือ แนวตัดขวางตั้งฉากกับ String ใดๆ



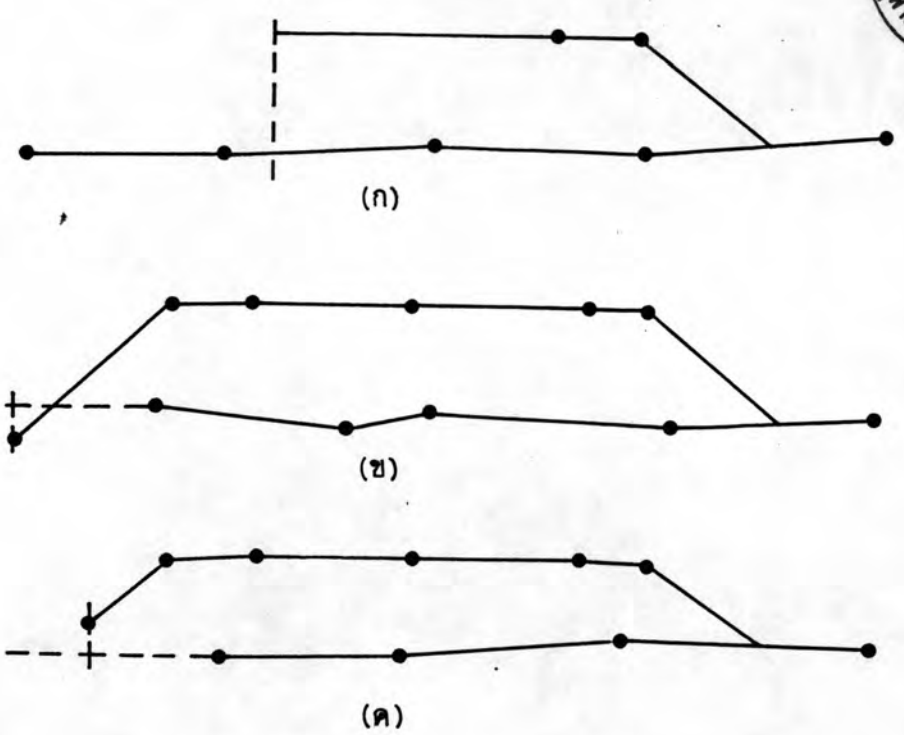
รูปที่ 3.6 Standard Profile

วิธีนี้เหมาะกับงานที่มีรูปตัดขวางคงที่ เช่นถนนในช่วงที่มีความกว้างของถนนและความลาดเอียง คงที่

3.2.2 สร้างรูปหลายเหลี่ยมจากรูปตัดขวาง คือ การนำรูปตัดขวางของแบบจำลอง 2 แบบ จำลองมารวมกันเป็นรูปหลายเหลี่ยม หรือการนำรูปตัดขวางของแบบจำลองและ Standard Profile มารวมกันเป็นรูปหลายเหลี่ยม

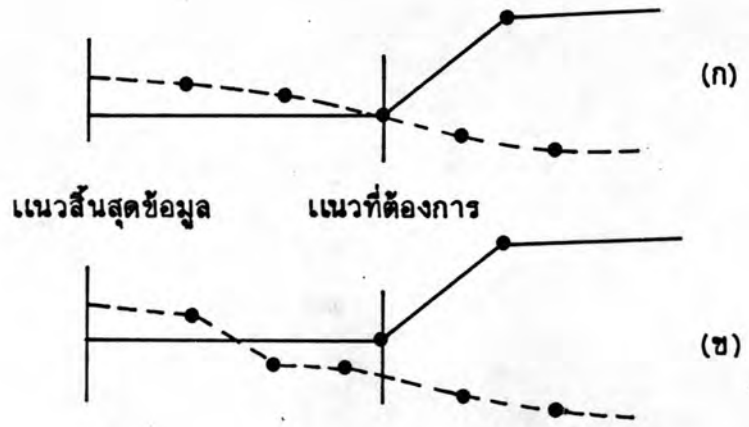
ในกรณีที่รูปตัดขวางมารวมกันแล้วไม่เป็นรูปปิด โปรแกรมจะสร้างให้เป็นรูปปิดโดย รูปตัดขวางของพื้นผิวที่ต้องการ (เช่นรูปตัดขวางของถนน) จะต่อเส้นจากจุดปลายสุดไปในแนวดิ่ง และรูปตัดขวางของพื้นผิวเดิมจะต่อเส้นจากจุดปลายสุดไปในแนวระดับ ดังตัวอย่าง 3 ตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 3.7 (ก) (ข) และ (ค) จุดที่เห็นบนรูปนั้นคือตำแหน่งซึ่งแนวตัดขวางตัดกับ Strings ที่อยู่ในแบบจำลอง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



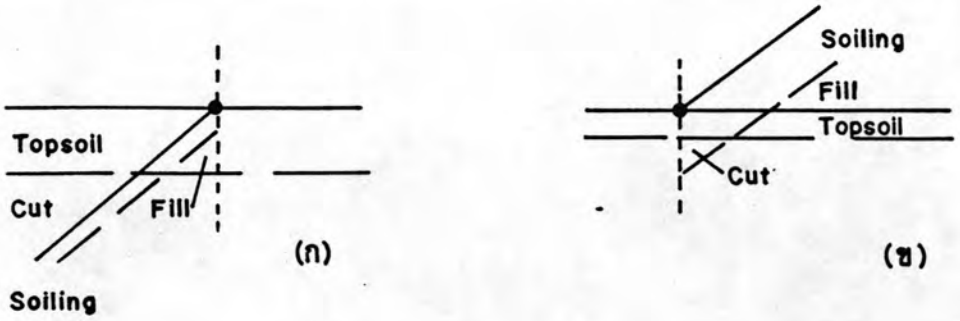
รูปที่ 3.7 แสดงการสร้างรูปหลายเหลี่ยมจากรูปตัดขวาง

จากที่เคยกล่าวไว้แล้วว่า การสร้างรูปตัดขวางของแบบจำลอง 2 แบบนั้น ต้องกำหนดขอบเขต ทั้งนี้เพราะถ้าไม่กำหนดแล้วจะถือเอาแนวสิ้นสุดของข้อมูลของดินเดิมเป็นขอบเขต ดังนั้นเมื่อสร้างรูปหลายเหลี่ยม เส้นของรูปตัดขวางจะถูกต่อออกไปในแนวระดับจนถึงแนวสิ้นสุดข้อมูล ดังรูปที่ 3.8 (ก) และ (ข) ทำให้มีพื้นที่ของรูปหลายเหลี่ยมเพิ่มขึ้นจากความเป็นจริง



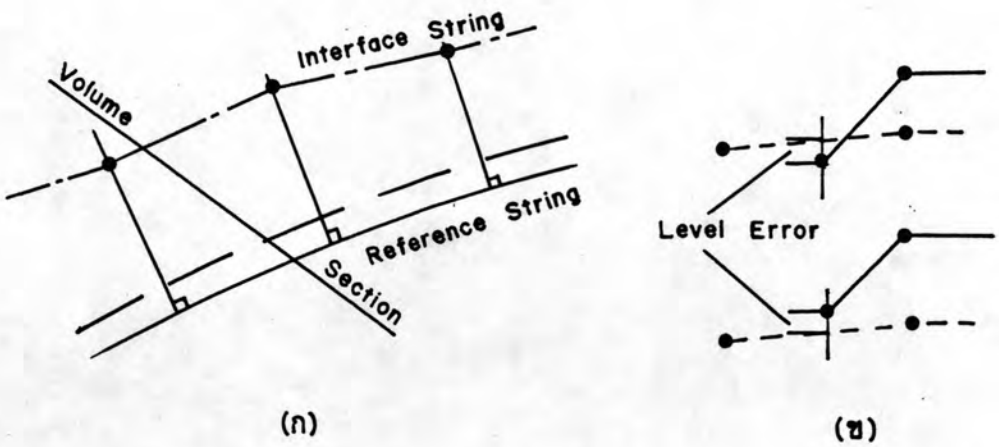
รูปที่ 3.8 ความผิดพลาดที่เกิดจากการไม่กำหนดขอบเขตของการสร้างรูปตัดขวาง

3.2.3 <u>คำนวณปริมาตร</u> ทำโดยเอาพื้นที่ของรูปหลายเหลี่ยมที่อยู่ติดกัน 2 รูป มาหาค่าเฉลี่ยแล้วคูณด้วยระยะระหว่าง 2 รูปนั้น ผลที่ได้นั้นถ้าเป็นงานดินถมจะเป็นค่าบวก และถ้าเป็นงานดินตัดจะเป็นค่าลบ ในกรณีที่เรากำหนดความหนาของชั้นดินเดิมที่จะต้องขุดออก (Topsoil) ระดับของพื้นดินเดิมจะถูกลดให้ต่ำลงเป็นระยะเท่ากับความหนาของ Topsoil นั้น การทำเช่นนี้จะทำให้เกิดปริมาณดินถมเล็กน้อยในบริเวณที่เป็นงานดินตัดเมื่อ Topsoil หนากว่า Soiling (Soiling คือ การปรับปรุงผิวหน้าดิน) ดังรูปที่ 3.9 (ก) และจะเกิดปริมาณดินตัดเล็กน้อยในบริเวณที่เป็นงานดินถม เมื่อ Topsoil บางกว่า Soiling ดังรูปที่ 3.9 (ข)



รูปที่ 3.9 การกำหนดความหนาของ Topsoil

ในบางครั้งของการหาปริมาตร เราจะพบว่ามีงานดินตัดหรือดินถมเกิดขึ้นในบริเวณที่ไม่น่าจะมี สาเหตุคือ ในการสร้างเส้น Interface เราสร้างจากการลากเส้นตั้งฉากกับ String ตัดไปบนแบบจำลองของพื้นดินเดิม เมื่อเรามาทำรูปตัดขวางเพื่อหาปริมาณงานดิน เราอาจกำหนดให้แนวตัดขวางไม่ทับกับแนวตัดขวางที่เคยทำในการสร้างเส้น Interface ดังรูปที่ 3.10 (ก) ดังนั้น จุดที่แนวตัดเพื่อหาปริมาณงานดินพบกับเส้น Interface จึงเป็นจุดที่ไม่มีข้อมูลที่แท้จริงของเส้น Interface อยู่ ต้องหาข้อมูลจากการประมาณ (Interpolation) การประมาณนี้จะทำให้ข้อมูลคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงบ้าง จึงเกิดเป็นลักษณะดังรูปที่ 3.10 (ข)



รูปที่ 3.10 การเกิดงานดินตัดหรือถมในบริเวณที่ไม่น่าจะเกิด

การแก้ปัญหาก็เพียงแต่กำหนดให้แนวตัดเพื่อการหาปริมาณงานดินทับกับแนวตัดเพื่อหาเส้น Interface ความคลาดเคลื่อนในลักษณะนี้ก็จะหมดไป

3.3 การสร้างแบบจำลองเส้นชั้นความสูง

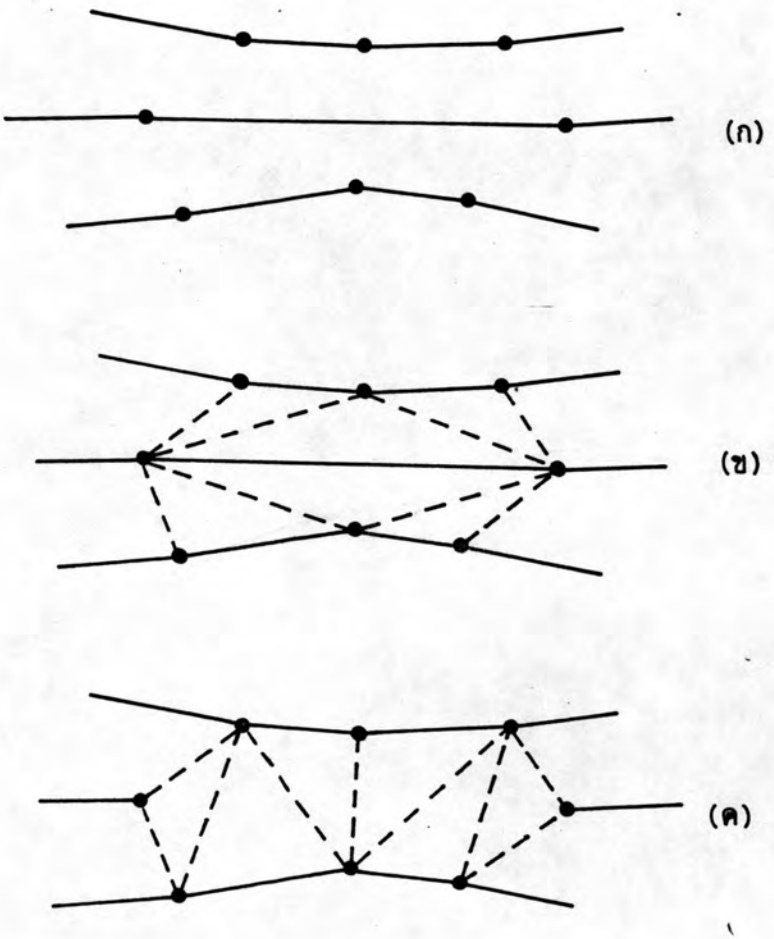
ก่อนจะกล่าวถึงวิธีการสร้างแบบจำลองเส้นชั้นความสูง เราจำเป็นต้องเข้าใจถึงหลักการของการสร้างแบบจำลองพื้นผิว เช่น พื้นดินเดิม ลักษณะของงานที่ต้องการ ฯลฯ เสียก่อน

ในการทำงานประเภทอื่นๆ เราไม่จำเป็นต้องสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง Strings ยกเว้นการทำงาน 2 ประเภท คือ

ก) การสร้างแบบจำลองเส้นชั้นความสูง (Contouring)

ข) การสร้างภาพเหมือนโดยกำจัดเส้นที่ถูกบัง (Perspective View with the Removal of Hidden Lines) ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดของวิธีการสร้างภาพใน บทที่ 4 ต่อไป

การสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง Strings ทำโดยสร้างรูปสามเหลี่ยมจาก Strings แล้วสามเหลี่ยมเหล่านี้จะประกอบกันเป็นแบบจำลองของพื้นผิวการสร้างรูปสามเหลี่ยมจะเริ่มต้นจาก Strings 2 เส้นที่อยู่ใกล้กัน (การเลือก Strings ที่อยู่ใกล้กันจะคำนึงถึงระยะในแนวระดับเท่านั้น ไม่นำเอาระยะในแนวดิ่งมาเกี่ยวข้องด้วย) เส้นที่เชื่อมต่อระหว่างจุดของข้อมูล (Elements) บน String เดียวกันซึ่งเรียกว่า String Link จะถูกกำหนดให้เป็นด้านหนึ่งของรูปสามเหลี่ยม ทุกๆ String Link จะต้องนำมาใช้ แล้วจึงจะเชื่อมจุดบน String คนละเส้น เข้าด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การสร้างแบบจำลองของพื้นผิว : (ก) Strings ซึ่งจะสร้างรูปสามเหลี่ยม (ข) การสร้างรูปสามเหลี่ยมที่ถูกต้อง และ (ค) การสร้างรูปสามเหลี่ยมที่ไม่ถูกต้อง เพราะตัด String Link ออก

ถึงแม้ว่าจะไม่มี String Link (ในกรณีของ Point Strings) ก็สามารถสร้างรูปสามเหลี่ยมได้ โดยเชื่อมต่อจุดของข้อมูลเข้าด้วยกันเป็นด้านของรูปสามเหลี่ยม แต่ถ้ามีจุดข้อมูลใดๆ ไม่มีค่าระดับ (Null Level) จุดข้อมูลนั้น และ String Link ที่เชื่อมต่อจุดข้อมูลนั้นจะไม่นำมาสร้างรูปสามเหลี่ยม

ในบางครั้งการเก็บข้อมูลมาเพื่อสร้างแบบจำลองมีปัญหา จึงตั้งสมมุติฐานสำหรับแต่ละ

กรณีไว้ ดังนี้

ก) ถ้ามี String Links ตัดกัน Links ที่มาตัดกันนั้นจะยังคงเป็นด้านของสามเหลี่ยม โดยจุดที่ตัดกันจะเป็นจุดที่มุมหนึ่งของรูปสามเหลี่ยมถ้าที่จุดตัดนั้นค่าระดับจาก String Links ที่มาตัดกันไม่เท่ากัน จะถือว่าค่าจะ String Link เส้นแรกที่บันทึกไว้เป็นค่าที่ถูกต้อง

ข) ถ้ามีจุดของข้อมูล (Elements) 2 จุด มาทับกันและค่าระดับแตกต่างกัน จุดแรกที่บันทึกไว้จะถือว่าเป็นค่าที่ถูกต้อง

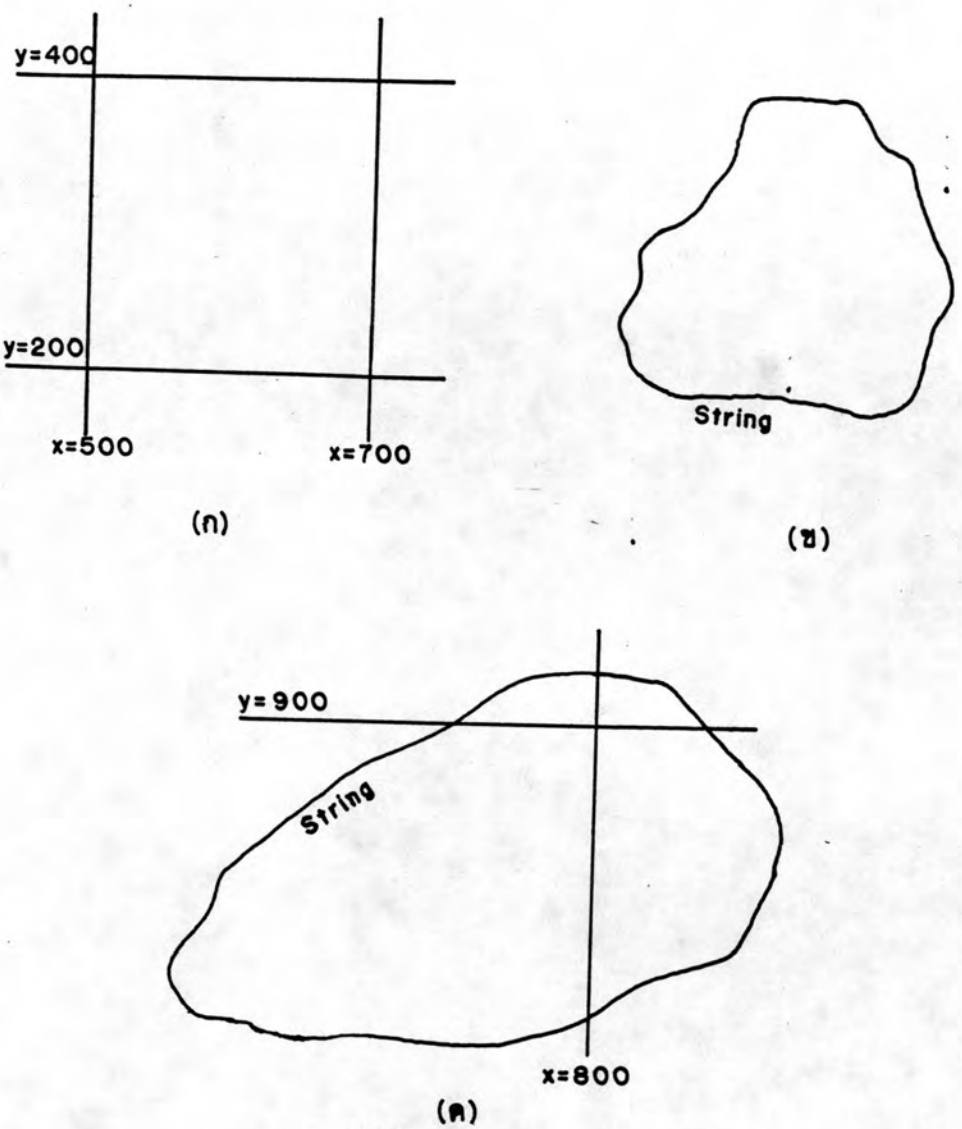
ค) ถ้ามี String Links มาทับกัน ก็จะถือว่า String Links เส้นแรกที่บันทึกไว้เป็นค่าที่ถูกต้อง

การกำหนดขอบเขตของพื้นที่ที่เราจะสร้างแบบจำลองของพื้นผิวนั้น มีอยู่ 3 ลักษณะ คือ

ก) กำหนดโดยค่าพิกัดสูงสุด และต่ำสุด (Simple Boundary Coordinates) คือ กำหนดค่าพิกัดตามแนวแกน x และ y ดังแสดงในรูปที่ 3.12 (ก)

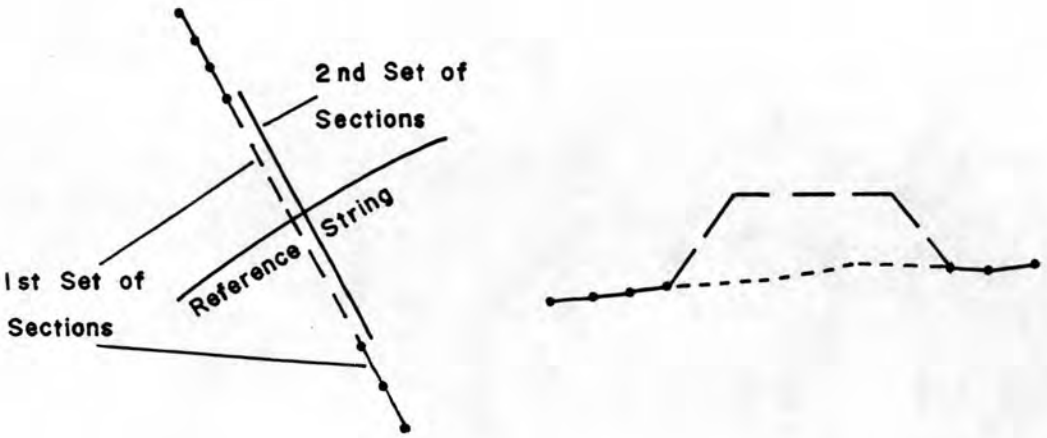
ข) กำหนดขอบเขตโดยใช้ String (Simple Boundary) ดังแสดงในรูปที่ 3.12 (ข)

ค) กำหนดโดยใช้ 2 วิธี ผสมกัน (Modified Boundary) ดังแสดงในรูปที่ 3.12 (ค)



รูปที่ 3.12 การกำหนดของขอบเขตพื้นที่ที่จะสร้างแบบจำลอง : (ก) Simple Boundary Coordinates (ข) Simple Boundary และ (ค) Modified Boundary

ในกรณีที่เราเคยทำรูปตัดขวาง (Cross Section) และเก็บข้อมูลนั้นไว้แล้ว เราสามารถสร้างรูปสามเหลี่ยมจากรูปตัดขวางนั้นได้ เช่น เรามีรูปตัดขวางของพื้นดินเดิม กับรูปตัดขวางของถนน และรูปตัดขวางทั้งสองกลุ่มนี้สร้างโดยมี String ที่ใช้อ้างอิงตัวเดียวกัน รูปตัดขวางของถนนจะถูกซ้อนลงบนรูปตัดขวางของพื้นดินเดิม ดังแสดงในรูปที่ 3.13 แล้วรูปตัดขวางที่ซ้อนกันไว้นี้ จะสร้างรูปสามเหลี่ยมเพื่อประกอบกันเป็นแบบจำลองของพื้นผิวซึ่งจะเป็นพื้นผิวของถนนและสภาพพื้นดินข้างเคียง



รูปที่ 3.13 แสดงการซ้อนกันของรูปตัดขวางสองกลุ่มเพื่อสร้างรูปสามเหลี่ยม

โดยปกติ โปรแกรมจะสร้างรูปสามเหลี่ยมเพื่อประกอบกันเป็นแบบจำลองของพื้นที่ โดยอัตโนมัติ เมื่อเราสั่งให้สร้างเส้นชั้นความสูงหรือสั่งให้สร้างภาพเหมือน และหลังจากทำงานตามคำสั่งเสร็จแล้ว แบบจำลองนี้จะถูกทำลายทันที เพราะจะเปลืองที่ในการเก็บข้อมูลนี้มาก แต่ถ้าเราจะเก็บแบบจำลองนี้ไว้ก็ได้ อาจเพื่อนำมาแก้ไขในภายหลัง หรืออาจต้องการเรียกมาใช้อีกเพราะการสั่งให้สร้างเส้นชั้นความสูงหลายครั้ง แล้วต้องสร้างรูปสามเหลี่ยมทุกครั้งจะเสียเวลามาก

ถ้าเราสร้างรูปสามเหลี่ยมเพื่อประกอบกันเป็นแบบจำลองของพื้นผิวแล้วเก็บข้อมูลนี้ไว้ ข้อมูลจะถูกเก็บเป็น Strings 3 เส้น คือString เส้นแรกเป็น 3 พารามิเตอร์ (3-D String) เก็บข้อมูลด้านทุกด้านของสามเหลี่ยมทุกรูป String นี้มีคุณสมบัติเหมือน String ในระบบอื่นๆ คือ สามารถนำไปเขียนภาพ ไปทำรูปตัดขวาง ฯลฯ ได้ String เส้นที่สองเป็น 6 พารามิเตอร์ (6 - D String) เก็บข้อมูลของจุด Centroid ของทุกรูปสามเหลี่ยม และความสัมพันธ์ระหว่างจุด Centroid ของรูปสามเหลี่ยมที่อยู่ติดกันString เส้นที่สามเป็น 4 พารามิเตอร์ (4-D String) เก็บค่าพิกัดและ String Label อันเป็นที่มาของจุดในรูปสามเหลี่ยม String เส้นแรกนั้นเราจะต้องตั้งชื่อเอง เช่น ABCD ส่วน String ที่สองและสามจะเอาตัว PP และ PC ไปแทนที่ตัวอักษรสองตัวแรกของ String แรกเป็น PCCD และ PPCD ตามลำดับ

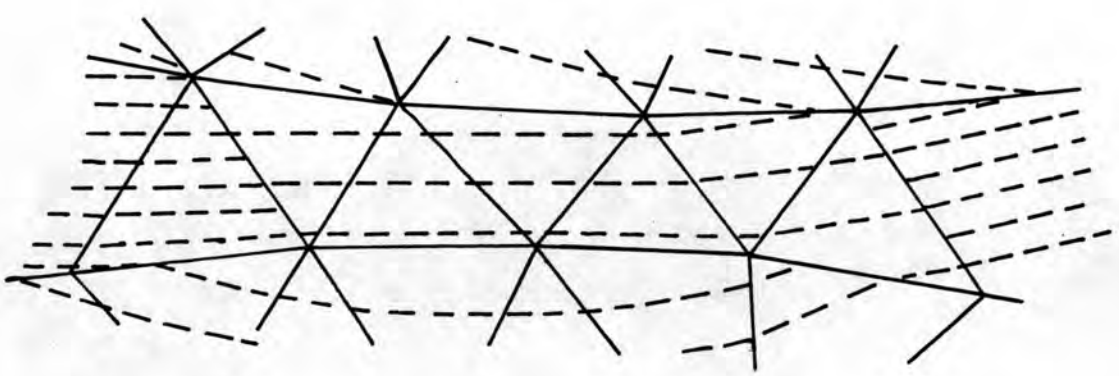
การเก็บข้อมูลรูปสามเหลี่ยมไว้นี้เป็นประโยชน์สำหรับการสร้างเส้นชั้นความสูงหลาย

I 10298186

ครั้ง เช่น เราอาจเคยสั่งให้หาเส้นชั้นความสูงทุก 1 เมตร แล้วจะเปลี่ยนเป็นที่ 2 เมตร หรือต้องการสร้างรูปจากหลายๆ มุมมอง การเก็บข้อมูลไว้จะช่วยประหยัดเวลาทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ แต่ต้องระลึกไว้เสมอว่าการเก็บข้อมูลไว้จะเปลืองเนื้อที่ของหน่วยความจำ เช่น ทางแยกต่างระดับแห่งหนึ่ง ประกอบไปด้วย จุด 1,750 จุด จะสร้างรูปสามเหลี่ยมถึง 3,308 รูป ข้อมูลที่เก็บไว้ประกอบด้วย 3 - D String 7,802 จุด 6 - D String 3,308 จุด และ 4 - D String 1,750 จุด

แบบจำลองของรูปสามเหลี่ยมนี้เราสามารถใช้เป็นแบบจำลองของพื้นผิวเพื่อการสร้างรูปตัดขวาง หรือหาปริมาณงานดินได้ แต่ต้องระวังไว้ว่าถ้านำข้อมูลพื้นฐานชุดหนึ่งมาสร้างรูปสามเหลี่ยมแล้วเก็บข้อมูลรูปสามเหลี่ยมไว้หลังจากนั้นมีการแก้ไขข้อมูลพื้นฐาน ข้อมูลรูปสามเหลี่ยมที่เก็บไว้จะยังคงเป็นข้อมูลเดิม ไม่ได้ถูกแก้ไขไปด้วย

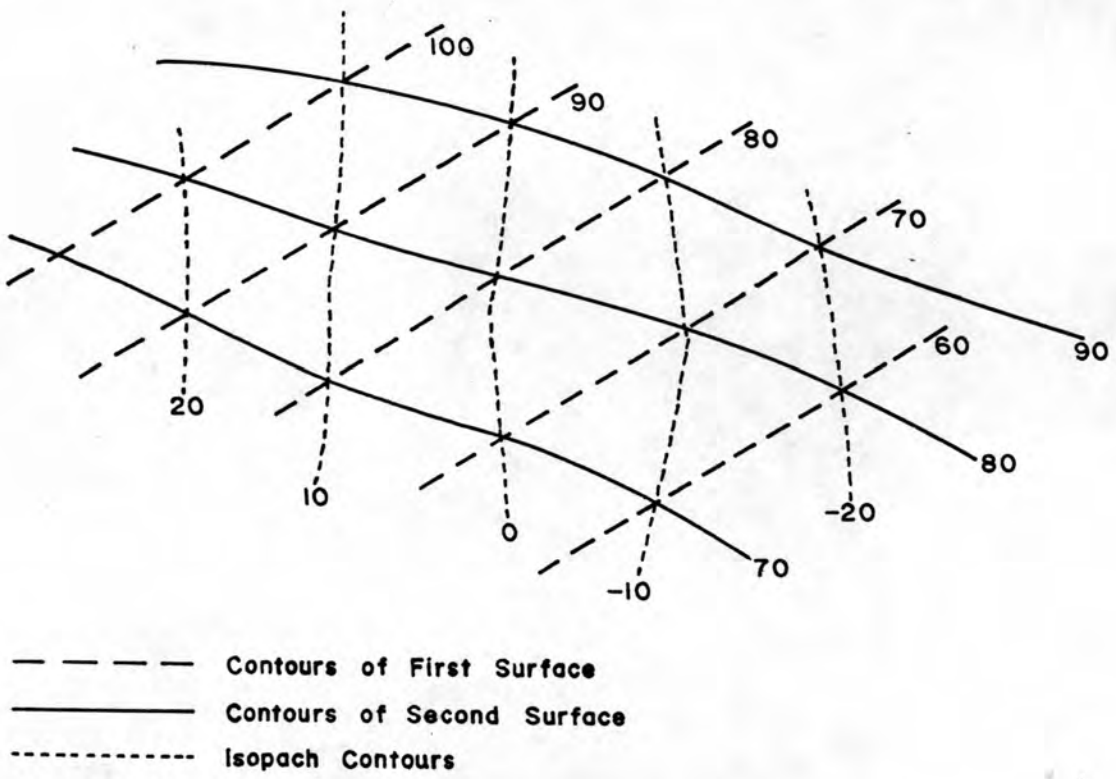
หลังจากสร้างรูปสามเหลี่ยมขึ้นเป็นแบบจำลองพื้นผิวแล้ว การหาเส้นชั้นความสูงที่ค่าต่างๆ ก็จะทำได้โดยการประมาณ (Interpolation) ตามแนวด้านของรูปสามเหลี่ยม ในระบบของโปรแกรมนี้ ผู้ใช้จะเป็นผู้เลือกเองว่าต้องการช่วงระหว่างค่าความสูงของเส้นชั้นความสูงแต่ละเส้นเป็นเท่าไร เช่น กำหนดว่า 1 เมตร โปรแกรมก็จะหาตำแหน่งของจุดบนด้านรูปสามเหลี่ยมที่มีค่าระดับเป็นเลขลงตัวทุกๆ 1 เมตร เช่น 100 101 102 ..... แล้วเชื่อมต่อจุดที่มีค่าระดับเดียวกันก็จะได้ เส้นชั้นความสูงที่ค่าต่างๆ ตามต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 การสร้างเส้นชั้นความสูงจากรูปสามเหลี่ยม

ระบบของโปรแกรมนี้ยังสามารถให้เราเปลี่ยนช่วงระหว่างค่าความสูงของเส้นชั้นความสูงแต่ละเส้นได้ในบางแห่งโดยใช้ค่าความลาดเอียงของพื้นที่เป็นตัวควบคุม เช่น ในบริเวณที่ความลาดเอียงสูงเราสามารถเปลี่ยนการสร้างเส้นชั้นความสูงทุกๆ ค่า 1 เมตร ไปเป็น 2 เมตร ทั้งนี้เพราะในพื้นที่ที่เอียงมากเส้นชั้นความสูงจะถี่มากด้วยอาจเป็นปัญหาในตอนสร้างรูป

ลักษณะพิเศษของเส้นชั้นความสูงที่โปรแกรมนี้สร้างได้ คือ Isopach Contours คือ เส้นที่แสดงความสูงที่มีค่าเดียวกัน โดยความสูงนั้นเป็นความสูงระหว่างพื้นที่ใดๆ สองพื้นที่ ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 Isopach Contours

การสร้าง Isopach Contours โดยโปรแกรมนี้จะทำเป็น 4 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 สร้างรูปสามเหลี่ยมของพื้นผิวแรกแล้วเปรียบเทียบกับ Strings ของพื้นผิวที่สอง เพื่อสร้าง Strings ซึ่งเก็บข้อมูลของความแตกต่างทางความสูงระหว่างพื้นผิวแรกกับพื้นผิวที่สอง Strings นี้จะมีค่าพิกัดตามแกน x และ y เหมือน Strings ของพื้นผิวที่สอง แต่

ค่าระดับ จะเปลี่ยนไปเป็นความแตกต่างทางความสูงระหว่างสองพื้นผิว ค่าความแตกต่างก็หาได้โดยหาจุดที่ Strings ตัดกับด้านของรูปสามเหลี่ยม (คำว่าตัดในที่นี้หมายถึง มีค่าพิกัดตามแกน x และ y เท่ากัน) แล้วนำค่าระดับของพื้นผิวทั้งสองที่จุดนั้นมาลบกัน Strings นี้เรียกว่า Equivalent Strings

ขั้นตอนที่ 2 สร้างรูปสามเหลี่ยมของพื้นผิวที่สอง แล้วเปรียบเทียบกับ Strings ของพื้นผิวแรก เพื่อสร้าง Equivalent Strings ทำนองเดียวกับขั้นตอนที่ 1

ขั้นตอนที่ 3 นำ Strings ที่สร้างขึ้นใหม่จากขั้นตอนที่ 1 และ 2 มาสร้างรูปสามเหลี่ยม

ขั้นตอนที่ 4 สร้างเส้นชั้นความสูงจากรูปสามเหลี่ยมในขั้นตอนที่ 3 เส้นชั้นความสูงที่ได้จะเป็น Isopach Contours

Isopach Contours ใช้ประโยชน์ในงานต่างๆ ได้มากทั้งในงานวิศวกรรมการทางและงานวิศวกรรมโยธา อื่นๆ ได้แก่

ก) งานซ่อมแซมผิว (Overlay) ของถนนและสนามบิน

ข) ใช้ในงานเขียนแบบสำหรับสัญญาก่อสร้างของงานเกี่ยวกับพื้นผิว

ค) ใช้วิเคราะห์งานปรับปรุงพื้นที่ หาความสัมพันธ์ระหว่างสองพื้นผิว เช่น หาบริเวณที่พื้นผิวทั้งสองตัดกัน หาระดับสูงสุดของงานดินตัดและดินถม

ง) ใช้ในการเปรียบเทียบพื้นผิว เช่น หาการกัดเซาะ การทรุดตัว ฯลฯ

จ) ใช้ในงานเหมืองแร่ เช่น หาความหนาของชั้นแร่ที่ตำแหน่งต่างๆ หาความหนาของชั้นดินที่ปกคลุมแร่ที่ตำแหน่งต่างๆ ฯลฯ

การสร้างรูปสามเหลี่ยมเพื่อประกอบกันเป็นพื้นที่ดังที่กล่าวมาแล้วนั้น นอกจากจะใช้สร้างเส้นชั้นความสูงได้แล้ว เรายังสามารถใช้ประโยชน์อื่นได้อีก คือ จากรูปสามเหลี่ยมที่สร้างขึ้นนั้น ด้านทุกด้านเป็น Strings ที่มีค่าพิกัด ดังนั้นเราจึงคำนวณหาพื้นที่ของแต่ละรูปได้ และเมื่อรวมกัน

ก็จะเป็นพื้นที่ทั้งหมดในขอบเขตที่เรากำหนด นั้นก็คือเราสามารถหาพื้นที่จากรูปสามเหลี่ยมได้ และละเอียดกว่าที่ได้จากวิธีที่แสดงในหัวข้อ 3.1 เพราะใช้ Strings ทุกเส้นมาคำนวณ และเมื่อเราได้พื้นที่แล้ว ถ้าเรากำหนดระดับอ้างอิง ขึ้นมาระดับหนึ่ง ก็จะคำนวณหาปริมาตรได้โดยคูณพื้นที่รูปสามเหลี่ยมกับระยะระหว่างรูปสามเหลี่ยมกับระดับอ้างอิงที่กำหนดนั้น