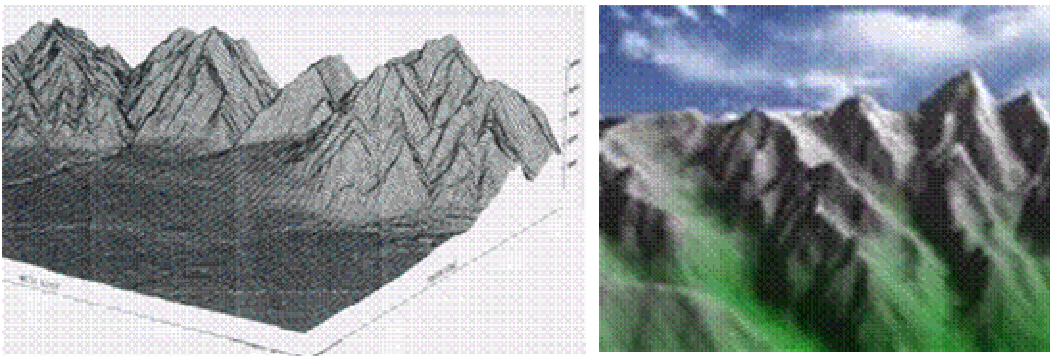


## แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข

### บทนำ

แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model : DEM) คือข้อมูลที่มีค่าความสูงของภูมิประเทศที่ถูกจัดเก็บไว้เป็นข้อมูลตัวเลขที่อยู่ในรูปแบบของข้อมูลตารางกริดแล้วนำมาจัดเก็บในคอมพิวเตอร์ โดยแต่ละตารางกริดจะเก็บค่าความสูงทางภูมิประเทศตามระยะความละเอียดที่มีหน่วยตามระยะบนพื้นผิวโลก แบบจำลองระดับสูงเชิงเลขมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความถูกต้องทางตำแหน่งของภาพถ่ายตัดแก้ออร์โทที่ผลิตได้ เนื่องจากค่าระดับสูงเชิงเลขที่เรียกออกมาใช้ในระหว่างการคำนวณความคลาดเคลื่อนบนภาพถ่ายทางอากาศเนื่องจากความสูงต่ำของภูมิประเทศ (Relief Displacement) ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดวิธีการรังวัด วิธีการประมวลผล และวิธีการจัดเก็บให้รัดกุม เพื่อให้ได้แผนที่ภาพถ่ายที่มีความถูกต้องทางตำแหน่งเช่นเดียวกับแผนที่ในรูปแบบอื่นตามที่มุ่งหวัง

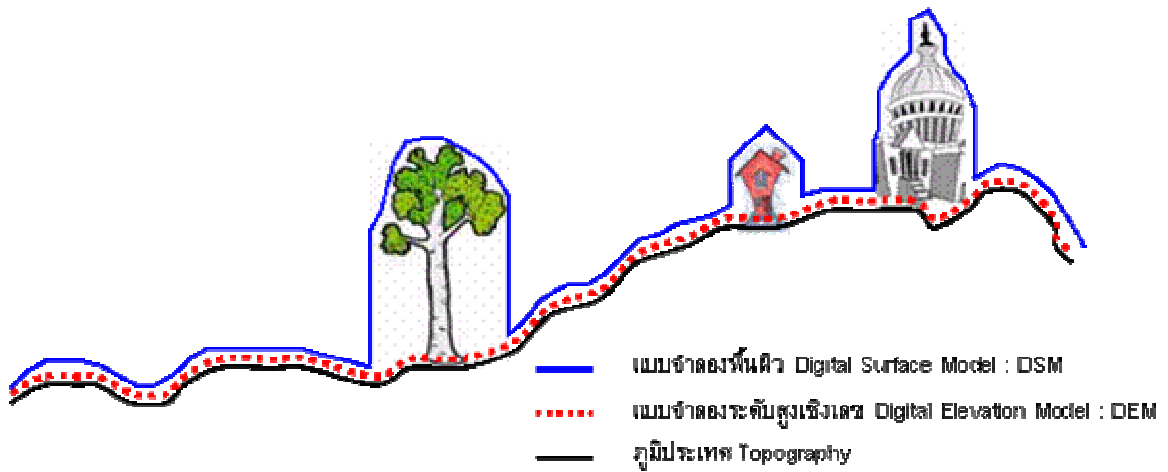


รูปที่ 7.1 แบบจำลอง ระดับสูงเชิงเลข

การรังวัดด้วยภาพโดยเฉพาะการวัดบนภาพคู่สามมิติสามารถให้ผลลัพธ์เป็นค่าพิกัดของภูมิประเทศพร้อมค่าระดับ การวัดบนภาพคู่สามมิติเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถให้ข้อมูลนำไปสร้างแบบจำลองระดับได้เป็นอย่างดีเพราะสามารถวัดบนภูมิประเทศในขอบเขตที่กว้างขวาง ไม่จำเป็นต้องเข้าถึงจุดที่ต้องรังวัด ผลลัพธ์ให้ความละเอียดถูกต้องสูง

โดยทั่วไปแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขจะเป็นตัวแทนของภูมิประเทศ บริเวณที่มีสิ่งปลูกสร้างหรือมีต้นไม้ที่หนาแน่นอาจเป็นอุปสรรคต่อการวัดระดับจากภาพถ่ายได้ ปัจจุบันเนื่องจากขีดความสามารถในการประมวลผลทางคอมพิวเตอร์กราฟฟิกและการประยุกต์ใช้งานที่หลากหลายขึ้น การวัดความสูงสิ่งปลูกสร้างและพุ่มไม้ที่น่าสนใจและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เราเรียก

แบบจำลองในลักษณะนี้ว่า แบบจำลองพื้นผิว (Digital Surface Model : DSM) ตัวอย่างของความสัมพันธ์ระหว่างสองแบบจำลองสามารถแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 7.2 การวัดความสูงภูมิประเทศจากภาพคู่สามมิติ

### เทคโนโลยีการรังวัดค่าระดับ

การสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขสามารถเลือกใช้เทคโนโลยีได้หลายแบบในการสร้างตามความละเอียดถูกต้องที่ต้องการ ความกว้างขวางของอาณาบริเวณที่ต้องทำงาน ในตารางต่อไปนี้เป็นภาพรวมของขีดความสามารถการใช้เทคโนโลยีเพื่อสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข

เทคโนโลยีการรังวัด	ขอบเขตการรังวัด			ความละเอียดถูกต้อง
	ระดับท้องถิ่น	ระดับภูมิภาค	ระดับโลก	
แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข				ของค่าระดับ
1. การรังวัดภาคพื้นดิน	•			เซนติเมตร ถึง เมตร
2. การรังวัดภาพ	•	•		เดซิเมตร ถึง เมตร
3. เลเซอร์สแกนเนอร์	•	•		10 - 30 เซนติเมตร
4. ภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง	•	•	•	เมตร
5. เรดาร์		•	•	10 - 25 เมตร

ตาราง 7.1 เทคโนโลยีการรังวัดแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข

จากตารางจะเห็นว่า

1. การรังวัดภาคพื้นดิน (Terrestrial Survey) จะให้ความละเอียดถูกต้องสูงสุดในระดับเซนติเมตรถึงเมตร แต่ขอบเขตการทำงานจำกัดเฉพาะในระดับท้องถิ่นเนื่องจากการทำงานที่ต้องเข้าถึงในพื้นที่ที่ต้องไปรังวัดโดยตรง ขีดจำกัดของการมองเห็นด้วยอุปกรณ์เชิงทัศนศาสตร์ของกล้องรังวัด ระยะทางที่จำกัดของการวัดระยะด้วย EDM

2. การรังวัดภาพ (Photogrammetry) สามารถให้ผลการรังวัดที่ความละเอียดถูกต้องในระดับเดซิเมตรถึงเมตร สามารถใช้งานได้ดีในพื้นที่กว้างขวางขึ้นถึงระดับภูมิภาค การสำรวจรังวัดมีความสะดวกไม่ต้องเข้าถึงโดยตรงแต่ก็จำกัดด้วยเครื่องมือ ภาพถ่ายทางอากาศ และวิธีการที่ซับซ้อน

3. เลเซอร์สแกนเนอร์ (Laser-Scanner) เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่กำลังแข่งขันโดยตรงกับการรังวัดด้วยภาพ เนื่องจากเป็นการใช้เลเซอร์ติดตั้งในแนวตั้งบนเครื่องบิน พร้อมอุปกรณ์นำหนที่มี ความละเอียดถูกต้องสูงผสมผสานระหว่าง GPS และ IMU (Initial Measurement Unit) ทำให้สามารถรังวัดได้ละเอียดถูกต้องถึง 10- 30 เซนติเมตร สามารถทำได้ทั้งกลางวันและกลางคืน เนื่องจากกระบวนการเป็นดิจิทัลทั้งสิ้น ดังนั้นรอบเวลาของการทำงานตั้งแต่บินเก็บข้อมูลจนนำข้อมูลประมวลผลจึงเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว

4. ภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง (High-resolution Satellite Imager) เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่เอกชนเป็นผู้ลงทุนดำเนินการ นอกจากจะให้ภาพถ่ายดาวเทียมความละเอียดสูงแล้วยังสามารถใช้ผลิตแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขด้วยความละเอียดถูกต้องระดับเมตรได้อีกด้วย

5. เรดาร์ ด้วยเทคนิค Interferometry สามารถที่จะใช้วัดความสูงของภูมิประเทศได้ ข้อดีของเรดาร์คือการที่เป็นระบบ Active สามารถทะลุทะลวงสภาวะอากาศที่ปิดหรือมีเมฆได้ทำให้ผลการวัดได้ตัวอย่างแบบจำลองความสูงนี้คือแบบจำลองระดับใหม่ครอบคลุมพื้นผิวโลกที่บินถ่ายด้วย

### รูปแบบการจัดเก็บแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข

การจัดเก็บแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขทำได้หลายแบบขึ้นอยู่กับวิธีการรังวัด สภาพภูมิประเทศ ปริมาณข้อมูลที่ต้องการจัดเก็บและประมวลผล วิธีการแสดงผลแบบจำลอง

## แบบจำลองระดับแบบแอสกี (ASCII)

การเก็บค่าระดับแบบแอสกีเป็นการใช้รหัส ASCII ในการจัดเก็บ โดยรูปแบบที่ง่ายที่สุดคือการระบุค่าพิกัดของความสูงตามด้วยค่าความสูงเอง แบบจำลองระดับแบบแอสกีจำกัดการใช้งานเฉพาะแบบจำลองขนาดเล็กแต่ก็มีความง่าย สามารถใช้ Text Editor ได้ เปิดดูหรือแก้ไขก็ได้ บางครั้งอาจมีข้อมูลเชิงบรรยายอธิบายอื่นๆ ประกอบมาด้วย รูปแบบมักจะเป็นหนึ่งจุดของความสูงต่อหนึ่งบรรทัด ข้อมูล ดังตัวอย่างในภาพ

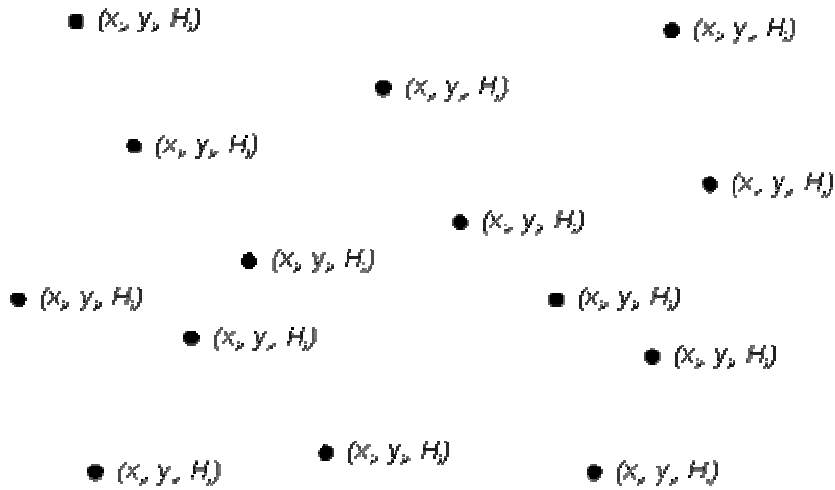
```
DGM - FILE : 372301.DATUM : 13.03.1997
13534000.00 5794000.00 1 136.12 -6.45 -5.38 8.77 52.42
23534000.00 5794012.50 1 134.71 -5.09 -6.50 8.23 42.25
33534000.00 5794025.00 1 133.64 -5.85 -6.07 8.41 48.82
43534000.00 5794037.50 1 132.12 -5.07 -10.37 12.04 27.37
53534000.00 5794050.00 1 130.86 -2.41 -9.40 9.70 15.87
.
.
.
.
.
251063536000.00 5795337.50 1 72.18 0.58 -1.13 1.27 369.81
251073536000.00 5795350.00 1 72.04 0.29 -0.70 0.76 375.00
251083536000.00 5795362.50 1 71.98 0.11 -0.50 0.51 380.21
956899536000.00 5795375.00 1 71.89 0.00 -0.42 0.50 375.89
```

รูปที่ 7.3 ส่วนหนึ่งของข้อมูลที่สุ่มจากไฟล์ 372301.dgm ตอนที่ n และตอนหา? ab

ในภาพแสดงให้เห็นถึงแบบจำลองระดับ DGM-5(Digital Elevation Model 5) ของประเทศไทยอร์มันนี้ จัดเก็บในรูปแบบแอสกีโดยคอลัมน์แรกเป็นหมายเลขจุด คอลัมน์ที่ 2 และ 3 เป็นค่าพิกัดทางราบของจุด คอลัมน์ที่ 5 เป็นค่าระดับ ส่วนคอลัมน์อื่นๆเป็นข้อมูลบรรยายเพิ่มเติม

## แบบจำลองระดับแบบจุด

แบบจำลองระดับแบบจุดในที่นี้หมายถึง แบบจำลองที่มีการเก็บค่าพิกัดของจุดความสูงแต่ละจุดพร้อมค่าระดับประจำจุดนั้น ซึ่งข้อมูลในลักษณะนี้สามารถใช้ประโยชน์จากข้อมูลชนิดหนึ่งที่เป็นมาตรฐานในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้ นั่นคือข้อมูลประเภทจุด (Point) โดยที่จำเป็นต้องมีฟิลด์ (Field) ของค่าระดับเป็นข้อมูลบรรยายเพิ่มเติม หากแสดงด้วยภาพจะแสดงดังรูป

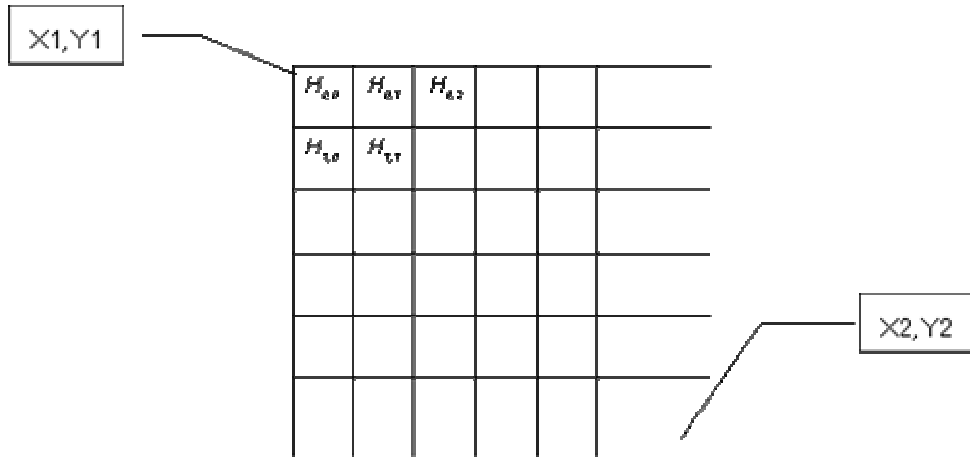


**รูปที่ 7.4 แบบจำลองระดับแบบจุด**

โดยทั่วไปการสุ่มเก็บค่าระดับจะหนาแน่นขึ้นบริเวณที่การเปลี่ยนแปลงความสูงหรือเป็นภูมิประเทศสูงชันและซับซ้อน

**แบบจำลองระดับแบบแรสเตอร์หรือกริด**

แบบจำลองระดับแบบแรสเตอร์หรือกริด คือแบบจำลองระดับที่จัดเก็บจุดระดับเป็นแถวอย่างมีระบบ โดยตำแหน่งที่จัดเก็บจะมีตำแหน่งแน่นอนจนเป็นระยะห่างที่เท่าๆกันที่เรียกว่าเป็น แรสเตอร์หรือ กริด ระยะห่างของจุดค่าระดับเท่าๆกัน พื้นที่ที่จัดเก็บก็จะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส ด้วยวิธีนี้สามารถหลีกเลี่ยงการบันทึกค่าพิกัดได้เป็นจำนวนมากโดยการบันทึกเฉพาะค่าพิกัดของจุดระดับที่มุมด้านใดด้านหนึ่งกับค่าพิกัดของจุดระดับที่อยู่ในด้านตรงข้ามทุกจุดก็จะมีค่าระดับซึ่งนิยมที่จะเข้าเป็นรหัสไบนารีที่คอมพิวเตอร์เข้าใจได้



รูปที่ 7.5 แบบจำลอง ระดับแบบแรสเตอร์

ค่าระดับชนิดไบนารีสามารถเลือกได้จากช่วงความสูงที่ต้องการเทียบกับหน่วยของการจัดเก็บในคอมพิวเตอร์ ตัวอย่างของชนิดข้อมูลในคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้ในการจัดเก็บค่าระดับมีดังนี้

ชนิดข้อมูล	ขนาด (ไบต์)	รูปแบบของบิต	ช่วงความสูง
Signed Integer(Short)	2	15+1	$-32768 ? H ? +32767$
Unsigned Integer	2	16	$0 ? H ? +65535$
Single Precision Float	4	24+8	$1.17549435 \times 10^{-38} ? H ?$ $3.4028238 \times 10^{+38}$

ตารางที่ 7.2 ชนิดข้อมูลในคอมพิวเตอร์สำหรับการจัดเก็บ

ดังนั้นการเลือกชนิดข้อมูลสำหรับค่าระดับมีความจำเป็น เนื่องจากจะทำให้การจัดเก็บประหยัดสามารถเรียกใช้ได้รวดเร็วด้วยเหตุผลของการที่ค่าระดับมีความละเอียดถูกต้องที่จำกัดด้วยวิธีการรังวัดและสภาพทางกายภาพของจุดความสูงที่มีความไม่แน่นอนในการกำหนดตำแหน่งอยู่แล้วในธรรมชาติ เช่นสถานการณ์ที่จุดความสูงอยู่บนพื้นดินมีหญ้าปกคลุมและพื้นผิวขรุขระ

ในการจัดเก็บค่าระดับที่ได้จากการรังวัดด้วยภาพ สามารถที่จะปิดเศษจุดทศนิยมของค่าระดับซึ่งไม่มีนัยสำคัญต่อความละเอียดถูกต้องทั้งนี้ ด้วยวิธีนี้จะต้องมีการกำหนดสเกลแฟคเตอร์ (Scale Factor) ขึ้นมา โดยนำสเกลแฟคเตอร์ไปคูณค่าระดับ ดังตัวอย่างข้างล่างนี้

ในตารางต่อไปนี้เป็นค่าระดับค่าหนึ่ง เมื่อพิจารณาความละเอียดถูกต้องสามารถจัดเก็บด้วยชนิดข้อมูล Signed Integer หรือ Unsigned Integer ดังนี้

ตัวอย่างค่าระดับ	ความละเอียดถูกต้อง	สเกลแฟคเตอร์	ค่าระดับที่จัดเก็บ
10.256 เมตร	เซนติเมตร	100	1026
10.256 เมตร	เดซิเมตร	10	103

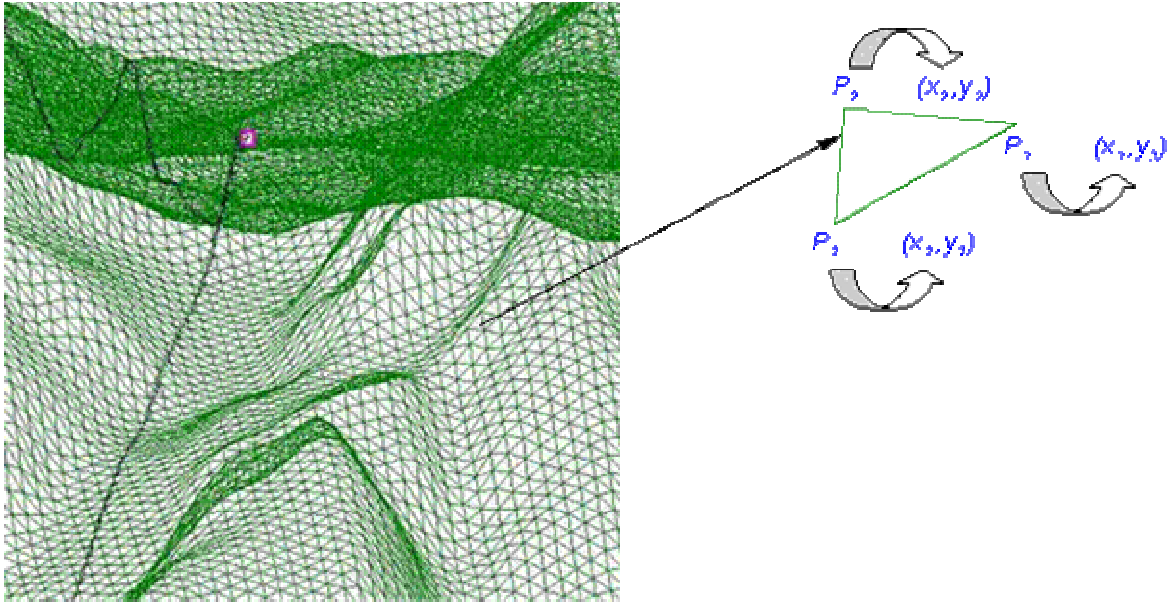
ตารางที่ 7.3 ตัวอย่างค่าระดับจัดเก็บโดยคำนึงถึงความละเอียดถูกต้อง

นอกจากการพิจารณาความละเอียดถูกต้องที่มีนัยสำคัญเพื่อนำไปสู่การเลือกสเกลแฟคเตอร์แล้ว ยังต้องคำนึงถึงช่วงต่ำสุดและสูงสุดที่ข้อมูลชนิดนั้นๆ จะจัดเก็บได้

ซึ่งจะเห็นได้ว่าสำหรับข้อมูลแรสเตอร์หากขนาดของข้อมูลที่จะใช้ในการจัดเก็บค่าระดับต่างกันสองเท่า ปริมาณข้อมูลที่จัดเก็บจะเพิ่มขึ้นเป็นสี่เท่า นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าวิธีการจัดเก็บค่าระดับแบบแรสเตอร์มีหลักการเดียวกับการจัดเก็บภาพดิจิทัลเพียงแต่ค่าที่ประจำแต่ละจุดภาพเป็นค่าระดับ ดังนั้นจึงสามารถนำรูปแบบการจัดเก็บภาพดิจิทัลมาประยุกต์ใช้ได้ รูปแบบการจัดเก็บภาพดิจิทัลก็ต้องมีความสามารถที่จะจัดการกับอ้างอิงพิกัดโลก (Georeferencing) ได้ด้วย ตัวอย่างของรูปแบบการจัดเก็บนี้ได้แก่ GeoTIFF หรือรูปแบบอื่นๆ ที่ออกแบบไว้จัดเก็บแบบจำลองระดับ โดยเฉพาะได้แก่ USGS SDTS/DEM

### แบบจำลองระดับแบบข่ายสามเหลี่ยมไม่ปกติ

แบบจำลองระดับแบบข่ายสามเหลี่ยมไม่ปกติ (Triangular Irregular Network) เป็นบันทึกค่าระดับที่มีการระบุความสัมพันธ์ระหว่างจุดระดับที่อยู่ใกล้กันที่ละสามจุด แบบจำลองระดับแบบข่ายสามเหลี่ยมไม่ปกติจะประกอบด้วยสามเหลี่ยมขนาดต่างๆ ที่ปรับตัวไปตามภูมิประเทศ โครงสร้างค่อนข้างซับซ้อน ดังในภาพ



รูปที่ 7.6 โครงสร้างข้อมูลของ TIN

รูปแบบหนึ่งของการจัดเก็บ TIN คือมีโครงสร้างตารางของรูปสามเหลี่ยมดังนี้

รูปสามเหลี่ยม	จุดมุม
? 1	$p_1, p_2, p_3$
? 2	$p_1, p_2, p_4$
? 3	$p_2, p_3, p_4$
...	
? 4	$p_p, p_q, p_r$

ในตารางจะเห็นว่า มีรูปสามเหลี่ยม  $n$  รูป ที่ประกอบด้วยจุดมุมเพียง 3 มุมที่จัดเก็บเฉพาะรหัสเท่านั้น ค่ารหัสของชื่อจุดมุมของสามเหลี่ยมต่างๆ จะเชื่อมโยงไปยังค่าพิกัดในอีกตารางหนึ่ง ดังนี้

จุดมุม	จุดมุม	ค่าระดับ
$p_1$	$(x_1, y_1)$	$H_1$
$p_2$	$(x_2, y_2)$	$H_2$
$p_3$	$(x_3, y_3)$	$H_3$
...	...	...
$p_m$	$(x_m, y_m)$	$H_m$



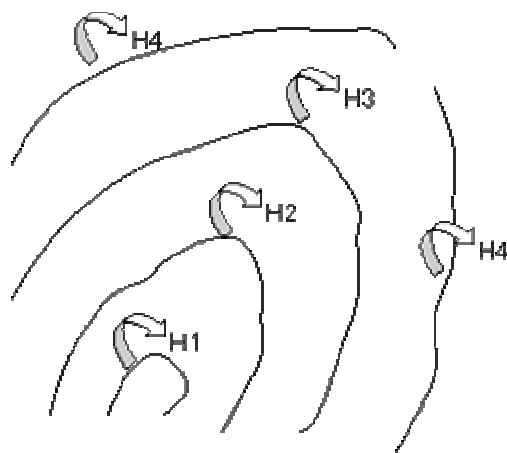
จากตารางจะเห็นว่าเป็นตารางค่าพิกัดของจุดมุมของรูปสามเหลี่ยม ซึ่งมีทั้งสิ้น  $m$  จุด ที่ ตารางนี้ก็จะเก็บค่าระดับไว้ด้วย

ในทางปฏิบัติแบบจำลอง TIN ได้จากการวัดระดับบนภูมิประเทศสุ่มไปตามพื้นที่ที่มีความสูงเปลี่ยนแปลง อย่างมีนัยสำคัญในภูมิประเทศ ซอฟต์แวร์จะทำการอ่านค่าพิกัดและค่าระดับของจุดสุ่มที่รังวัดได้แล้วสร้างรูปสามเหลี่ยมที่มีลักษณะดี กล่าวคือสามเหลี่ยมจะต้องไม่ปานจนเกินไปซึ่งหมายความว่าจุดยอดของสามเหลี่ยมอยู่ใกล้กันมากจะทำให้เมื่อต้องคำนวณความลาดชันจากรูปสามเหลี่ยมนั้นให้ผลลัพธ์ที่ไม่สอดคล้องกับภูมิประเทศได้

### แบบจำลองระดับแบบเวกเตอร์

แบบจำลองระดับโดยใช้เวกเตอร์ เป็นแบบจำลองระดับที่ผู้ใช้แผนที่คุ้นเคยเป็นอย่างดี แต่รู้จักและใช้งานในรูปแบบอื่นๆ นั่นคือการใช้เส้นชั้นความสูงบนแผนที่ แบบจำลองระดับแบบเวกเตอร์คือการจัดเก็บเวกเตอร์ที่ลากผ่านจุดระดับที่มีความสูงเท่าๆกัน (Iso-height) ดังนั้นแบบจำลองระดับโดยใช้เวกเตอร์จะได้จากการ วิเคราะห์แบบจำลองระดับอื่นๆ เช่น แบบจำลองระดับแบบจุดสุ่ม หรือแบบจำลองระดับ TIN

ภาพข้างล่างแสดงตัวอย่างของแบบจำลองระดับแบบเวกเตอร์ที่สามารถใช้โครงสร้างข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับข้อมูลเวกเตอร์ทั่วไปในการจัดเก็บพร้อมกับมีข้อมูลอรรถธิบายสำหรับระดับในที่นี้คือ H1, H2, H3 และ H4 ตามลำดับ



รูปที่ 7.7 แบบจำลองระดับแบบเวกเตอร์

## การควบคุมคุณภาพ

เมื่อทำการผลิตแบบจำลองความสูงจากการวัดจุดความสูงบนภาพจำลองสามมิติแล้ว จะต้องมี การตรวจสอบคุณภาพด้วยสายตาอีกครั้งซึ่งจำเป็นมากสำหรับการวัดด้วยวิธีทาง digital photogrammetry บ่อยครั้งที่ซอฟต์แวร์วัดจุดที่ผิดไปจากวัตถุประสงค์ที่ต้องการวัด ได้แก่ จุดที่เป็นขอบหรือมุมที่เป็นแสงเงาของวัตถุบนภูมิประเทศ จุดที่ปรากฏอยู่บนส่วนบนของวัตถุที่มีความสูงผิดไปจากบนภูมิประเทศโดยตรงเช่น ยอดต้นไม้ หลังคาของบ้านและอาคาร จุดเหล่านี้สามารถตรวจดูความถูกต้องด้วยสายตาได้เปล่าและใช้เครื่องมือช่วย โดยเฉพาะการใช้เครื่องช่วยมองสามมิติในการมองจุดที่วาดซ้อนทับบนแบบจำลองระดับสูง เมื่อพบจุดที่ผิดพลาดแล้วจะทำการลบจุดเหล่านี้ทิ้งไปพร้อมกันนี้จะได้มีการวัดลงไปทดแทนเสียใหม่โดยที่จุดที่วัดใหม่นี้จะอยู่บนภูมิประเทศที่ถูกต้อง ทั้งนี้เพื่อให้ระยะห่างของจุดระดับไม่ห่างกันจนเกินเกณฑ์ที่ตั้งไว้

นอกจากนั้นการใช้วิธีทางสถิติมาช่วยก็สามารถที่จะตรวจหาความผิดพลาดของการวัดจุดระดับได้เช่น สมมุติฐานที่ว่าโดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงความสูงในภูมิประเทศอย่างเฉียบพลันนั้นไม่มี เช่นอาจใช้อัลกอริทึมในการประมวลผลทางสถิติพร้อมกับการสังเกตค่าความสูงที่มีสถิติผิดปกติ

แบบจำลองระดับที่ได้จากการวัดในเบื้องต้นจะเป็นจุดระดับสูงที่กระจายทั่วภูมิประเทศ การเปลี่ยนรูปแบบการจัดเก็บแบบจำลองระดับในรูปแบบอื่นๆ ได้แก่ การสร้างเป็นเส้นชั้นความสูง การสร้างข่ายสามเหลี่ยมรูปร่างไม่ปกติ(Triangular Irregular Network : TIN) การสร้างแบบจำลองสามมิติ( 3-D modeling ) ตลอดจนการแสดงผลแบบจำลองเสมือนจริงสามมิติ(virtual reality model) ก็จะช่วยตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองระดับสูงที่วัดได้เช่นกัน โดยการสังเกตความไม่สอดคล้องกันของภูมิฐานและรูปร่างที่ผิดปกติอื่นๆ เช่นบริเวณที่มีเส้นชั้นความสูงหนาแน่นมาก บริเวณที่มีสันหรือของไม่ตรงกับภาพถ่ายทางอากาศตามภูมิประเทศ

เมื่อได้แบบจำลองระดับจากแต่ละคู่ภาพสามมิติแล้วจะต้องทำการนำมาต่อชนกับแบบจำลองระดับที่อยู่ติดกันระหว่างรอยต่อจะต้องต่อกันได้สนิท แต่หากมีความเหลื่อมล้ำทางด้านความสูง ค่าแย้งก็จะต้องไม่เกินเกณฑ์ความถูกต้องทางดิ่งที่กำหนดให้ เมื่อพิจารณาแล้วว่าแบบจำลองทั้งสองจะสามารถต่อกันได้จะต้องมีการผนวกแบบจำลองระดับเข้าเป็นผืนเดียวกัน ค่าระดับที่เป็นของจุดเดียวกันจะต้องทำการเฉลี่ยเข้าหากัน

## การแปลงรูปแบบแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข

แบบจำลองระดับที่ได้จากการวัดในเบื้องต้นจะเป็นจุดระดับสูงที่กระจายทั่วภูมิประเทศพร้อมคำอธิบายสำหรับคุณลักษณะของภูมิศาสตร์ สามารถจัดเก็บลงในรูปแบบข้อมูลที่เป็นจุดในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้ทันที

## แบบจำลองระดับชนิดข่ายสามเหลี่ยมรูปร่างไม่ปกติ(Triangular Irregular Network: TIN)

ผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดบนภาพคู่สามมิติและได้รับการตรวจสอบแล้วว่าถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ซึ่งอยู่ในรูปของจุดความสูงที่กระจายไปทั่วภูมิประเทศ แต่ละจุดที่ประกอบไปด้วยค่าพิกัดและค่าระดับพร้อมกันนี้อาจจะมีคำบรรยายแสดงสถานะสำหรับภูมิศาสตร์(geomorphology) จะถูกแปลงเป็นข่ายสามเหลี่ยมรูปร่างไม่ปกติ(Triangular Irregular Network: TIN) ซึ่งจะยังคงความสอดคล้องได้ดีกับภูมิศาสตร์ของภูมิประเทศในพื้นที่นั้นๆ TIN สร้างขึ้นโดยการกำหนดด้วยของรูปสามเหลี่ยมขึ้นจากจุดมุมที่เป็นจุดความสูงที่ได้จากการวัดสุ่มมาข้างต้น โดยที่สามเหลี่ยมที่จะประกอบเป็น TIN ได้ต้องเป็นสามเหลี่ยมมีคุณภาพดีโดยที่ TIN นั้นจะมีจุดความสูงมีตำแหน่งสุ่มไปตามภูมิประเทศบริเวณที่ราบก็จะมีรูปสามเหลี่ยมขนาดใหญ่ ในขณะที่ในพื้นที่สูงชันก็จะมีสามเหลี่ยมขนาดเล็กลดลงไปเรื่อยๆ ในบริเวณที่ความสูงเปลี่ยนแปลงอย่างเฉียบพลันรูปสามเหลี่ยมก็จะมีมุมที่กว้างหรือรูปร่างที่บิดเบี้ยว แต่จะมีขอบด้านใดด้านหนึ่งของรูปสามเหลี่ยมเป็นส่วนหนึ่งของแนวสันหรือร่องเอง ดังนั้นการประมวลผลและจัดเก็บแบบจำลองระดับในรูปแบบของ TIN จะต้องให้ผลลัพธ์ที่มีความสอดคล้องดีกับภูมิศาสตร์ของภูมิประเทศให้มากที่สุด

แบบจำลองระดับสูงในรูปแบบของ TIN มักจะถูกจัดเก็บเป็นรูปแบบที่แต่ละซอฟต์แวร์คิดค้นขึ้นมาเอง(proprietary format) เนื่องจากยังไม่มีมาตรฐานสำหรับโครงสร้างข้อมูล TIN กรณีที่ไม่มีรูปแบบสำหรับ TIN โดยเฉพาะก็อาจใช้รูปแบบรูปข้อมูลเวกเตอร์เช่นเดียวกับข้อมูลชนิดรูปหลายเหลี่ยม(polygon) พร้อมกับข้อมูลของจุดที่มีค่าระดับกำกับ

## แบบจำลองระดับชนิดเส้นชั้นความสูง

TIN ที่ได้จะถูกนำมาสร้างเวกเตอร์ของเส้นชั้นความสูง เมื่อมีสมมติฐานที่ค่าความถูกต้องของการวัดค่าระดับเป็น 2 ถึง 5 เมตร ดังข้อพิจารณาก่อนหน้านี้จะสามารถกำหนดให้ระยะห่างเส้นชั้นความสูงเป็น 2.5เมตร แต่อย่างไรก็ตามเวกเตอร์ของเส้นชั้นความสูงที่สร้างจากซอฟต์แวร์โดยการจำกัดระยะห่างเส้นชั้นความสูงเป็นค่าคงที่นั้น อาจทำให้ความถูกต้องของภูมิศาสตร์ของแบบจำลองระดับในรูปแบบของเส้นชั้นความสูงเทียบกับภูมิประเทศจริงลดลงไปบ้าง แต่อย่างไรก็ตาม

ตามเส้นชั้นความสูงก็ยังมีประโยชน์ในแง่ของความคุ้นเคยในการช่วยอ่านและแปลความหมายภูมิประเทศบนแผนที่

แบบจำลองระดับสูงในรูปของเส้นชั้นความสูงจะถูกจัดเก็บเป็นข้อมูลเวกเตอร์เช่นเดียวกับข้อมูลชนิดเส้นในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ทั่วไป โดยมีค่าประจำเส้นชั้นความสูงกำกับอยู่บนเส้นชั้นความสูงแต่ละเส้น

### **แบบจำลองระดับสูงชนิดแรสเตอร์**

ในอีกทางหนึ่งแบบจำลองระดับที่มีระยะห่างเท่าๆกันและจัดเก็บเป็นแถวเป็นแนวแบบแรสเตอร์จะถูกสร้างขึ้นจาก TIN ด้วยเช่นกัน ระยะห่างของแรสเตอร์สามารถกำหนดได้จากระยะห่างระหว่างจุดที่ต้องทำการรังวัดเพื่อให้แบบจำลองระดับสูงมีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น แต่โดยสมมุติฐานที่ว่า โดยการประมาณค่าจากรูปสามเหลี่ยมโดยเช่นเดียวกับเส้นชั้นความสูง

### **การแบ่งข้อมูลแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขเป็นระวางแผนที่**

เมื่อสร้างแบบจำลองระดับในรูปแบบต่างๆแล้วจะต้องทำแบ่งข้อมูลออกเป็นส่วนๆ เพื่อให้ง่ายต่อการจัดเก็บ การบำรุงรักษา การนำมาใช้งานบนคอมพิวเตอร์ โดยเฉพาะเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีขีดความสามารถในการบรรจุข้อมูลและหน่วยความจำที่จำกัด ดังนั้นจึงต้องทำการแบ่งแบบจำลองระดับออกเป็นระวางแผนที่ซึ่งสำหรับประเทศไทยมักจะแบ่งแบบจำลองระดับให้หน่วยที่เล็กที่สุดของระวางมีขอบเขตภูมิศาสตร์ซ้อนทับลงพอดีกับการแบ่งระวางตามแผนที่ภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหารชุด L7018 ซึ่งมีขนาดระวางเป็นสี่เหลี่ยมเกือบจัตุรัสขนาดกว้าง 15 ลิปดาและยาว 15 ลิปดา สำหรับข้อมูลระดับบางประเภทโดยเฉพาะข้อมูลที่เป็นจุดสูง หากพบว่าแบ่งเป็นระวางตามแผนที่ภูมิประเทศขนาด 15 ลิปดาแล้วข้อมูลมีน้อยเกินไป ซึ่งจะส่งผลทำให้ต้องมีการบริหารการจัดเก็บเพิ่มข้อมูลเป็นจำนวนมากก็อาจพิจารณาให้ขนาดระวางมีขนาดใหญ่ขึ้นเป็นจำนวนเท่าของ 15 ลิปดาหรือจำนวนเท่าของระวางแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ได้ตามความเหมาะสม

### **รูปแบบการจัดเก็บแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข**

สำหรับรูปแบบในการจัดเก็บนั้นให้ใช้รูปแบบในการจัดเก็บที่เป็นมาตรฐานที่เป็นกลางยอมรับได้สำหรับผู้ผลิตซอฟต์แวร์ส่วนใหญ่ มาตรฐานหนึ่งที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางคือ Spatial Transfer Data Standard : STDS ซึ่งเป็นรูปแบบกลางที่หน่วยงานทำแผนที่ของสหรัฐอเมริกา the U.S. Geological Survey และ Federal Geodetic Data Committee(FGDC) ตลอดจนองค์การมาตรฐานสากล(ISO) โดย Technical Committee TC211 ส่งเสริมให้ใช้ โดยที่ไฮมเพจของ U.S.

Geological Survey จะมีเอกสารคู่มือซอฟต์แวร์ไลบรารี พร้อมซอฟต์แวร์เพื่อใช้ในการเข้าถึงข้อมูลอย่างครบถ้วน

รูปแบบการจัดเก็บ SDTS ถูกออกแบบมาให้ในรูปแบบสำหรับจัดเก็บข้อมูล GIS ทุกรูปแบบ ได้แก่ point, line polygon raster พร้อม attribute ด้วยเหตุนี้ในการจัดเก็บคงคลังระยะยาวจะทำให้ข้อมูลที่มูลค่าสูงมีหนทางที่จะอ่านออกมาอย่างถูกต้องได้เสมอ จากการเลือกใช้รูปแบบการจัดเก็บที่ผู้ผลิตซอฟต์แวร์ให้การยอมรับคือผลในทางปฏิบัติที่ซอฟต์แวร์ส่วนใหญ่รู้จักรูปแบบการจัดเก็บตามมาตรฐาน USGS SDTS เป็นอย่างดีและสามารถอ่านหรือเขียนข้อมูลในรูปแบบ SDTS ได้โดยตรง ตัวอย่างของซอฟต์แวร์ที่สามารถอ่านข้อมูลปริภูมิในรูปแบบนี้ที่สำคัญได้แก่ AutoCAD, Intergraph MGE, GeoMedia, ArcView, Arc/Info, Mapinfo, ERDAS, ENVI

เมื่อมีการจัดเก็บในรูปแบบมาตรฐานที่แพร่หลายตามแบบ USGS แล้วยังสามารถที่จะใช้ Software dlgv32 : Software for viewing USGS digital cartographic data ซึ่งใช้ได้กับ Window 95/NT เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ เรียกดู USGS Digital Line Graphi Optional(DLG-O), Digital Raster Graphic(DRG) data และ Spatial Data Transfer Standard(SDTS)

ดังนั้นผลิตผลจากการสร้างแบบจำลองระดับและรูปแบบการจัดเก็บเป็นดังนี้

ผลิตผลแบบจำลองระดับสูง เชิงเลข	ชนิดของข้อมูล	รูปแบบการจัดเก็บ
แบบจำลองระดับชนิดเป็นจุดสูงที่มีระยะห่างบนภูมิประเทศไม่เกินมาตรฐานในการทำแผนที่ภูมิประเทศ	จุดสูงพร้อมค่าระดับและคำอธิบายสำหรับภูมิฐาน	USGS SDTS with Vector Profile
ข่ายสามเหลี่ยมรูปร่างไม่ปกติ (TIN) ที่มีคุณภาพดี ได้จากการสร้างความสัมพันธ์จากแบบจำลองระดับชนิดเป็นจุดสูง	เวกเตอร์ของรูปหลายเหลี่ยม	USGS SDTS with Vector Profile
เส้นชั้นความสูง	เวกเตอร์พร้อมอธิบายของค่าเส้นชั้นความสูง	USGS SDTS with Vector Profile