

การจัดเก็บข้อมูลระดับของแบบจำลองค่าระดับ

Level Data for Digital Elevation Model

ธีระ ลาภิตชยางกุล

วศ.ม. (วิศวกรรมสำรวจ)

Theera Laphitchayangkul

M.Eng. (Surveying Engineering)

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถ.ประชาธิปไตย บางมด กรุงเทพฯ 10140

Department of Civil Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, 126 Prachauthit Road (Suksawat 48), Bangmod, Thung Khru District, Bangkok 10140

คำสำคัญ : ข้อมูลระดับ, แบบจำลองค่าระดับ

Keywords : Level Data, Digital Elevation Model

บทนำ

ในการรังวัดงานระดับจะให้ค่าความสูงของจุดที่กำหนดหรือที่เรียกว่า หนดควบคุมทางดิ่ง (Vertical Control Point) ทำให้ผู้ที่ทำการสำรวจทราบค่าความสูงของพื้นผิวภูมิประเทศได้อย่างถูกต้อง โดยค่าความสูงของหนดควบคุมทางดิ่งนี้จะนำมาใช้ขยายจำนวนหนดและหาความสูงของพื้นที่ที่ต้องการทราบทำให้การทำงานระดับจึงต้องมีค่าความสูงจำนวนมากสำหรับนำไปสร้างเส้นชั้นความสูง (contour) ที่แสดงระดับความสูงต่ำของพื้นที่ในการวางแผนงานต่างๆ ในอนาคต จากแผนที่เส้นชั้นความสูงที่มีลักษณะรูปแบบ 2 มิติเป็นภาพลายเส้นที่มีค่าความสูงกำหนดแต่ละเส้นทำให้การมองภาพอาจจะไม่ชัดเจนและตีความได้ยากเมื่อพื้นที่มีความลาดชันในปัจจุบันคอมพิวเตอร์มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูงทำให้การแสดงความสูงของพื้นผิว

ภูมิประเทศเห็นได้ในรูปแบบ 3 มิติและเปลี่ยนมุมมองได้อย่างเด่นชัด ในลักษณะแบบจำลองโดยเรียกว่า แบบจำลองค่าระดับ (Digital Elevation Model; DEM) ซึ่งแบบจำลองค่าระดับความสูงของพื้นผิวภูมิประเทศจะได้จากข้อมูลความระดับของจุดที่กำหนดบนพื้นดินในแต่ละจุดมาทำการสร้างแบบจำลอง ทำให้การวางแผนทำงานในการสำรวจพื้นที่บริเวณดังกล่าวสำหรับวิศวกรและผู้บริหารสามารถจัดการการใช้พื้นที่ได้อย่างเหมาะสมและเห็นสภาพภูมิประเทศได้อย่างชัดเจน ในการสร้างแบบจำลองประเภทนี้จะพบว่าข้อมูลค่าระดับของแต่ละจุดที่กระจายทั่วบริเวณพื้นที่ที่ต้องการเก็บข้อมูลซึ่งมีอยู่หลายวิธีการในแต่ละวิธีจะมีระยะเวลาและค่าใช้จ่ายไม่เท่ากัน ดังนั้นในการเลือกวิธีที่เหมาะสมกับงานหรือพื้นที่นั้นจะทำให้ผู้ทำการสำรวจไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและเสียเวลาในส่วนของการเก็บข้อมูลแต่ละจุดที่มีจำนวนมากสำหรับนำ

ไปประมวลผลในการสร้างแบบจำลอง สำหรับข้อมูลในรูปแบบของค่าพิกัดทางแกน x, y และ z ที่จับบนกระดาษหรือเก็บในรูปแบบของไฟล์ดิจิทัล ดังนั้นการคำนึงถึงวิธีการทำงานในสนามกับรูปแบบของข้อมูลในการทำงานจะทำให้งานนั้นประสบผลสำเร็จได้อย่างรวดเร็ว มีความถูกต้องสูง

การรังวัดคาร์ระดับ

ในการสร้างแบบจำลองคาร์ระดับข้อมูลระดับสามารถกำหนดได้จากวิธีการสำรวจหลายๆวิธีตามความต้องการ ความถูกต้อง ค่าใช้จ่ายและการครอบคลุมพื้นที่ที่ทำการสำรวจ ดังนั้นการทราบลักษณะของเทคโนโลยีในการวัดคาร์ระดับของพื้นที่ที่ต้องการเพื่อสร้างแบบจำลองคาร์ระดับจะทำให้การทำงานสามารถเลือกวิธีที่เหมาะสมและลักษณะของข้อมูลระดับในการไปสร้างแบบจำลองคาร์ระดับได้อย่างเหมาะสม โดยการรังวัดข้อมูลระดับจะจำแนกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. การรังวัดภาคพื้นดิน (Terrestrial Survey)
2. การรังวัดด้วยภาพ (Image Survey)
3. การรังวัดด้วยเรดาร์หรือเลเซอร์ (Radar or Laser Scanner)

1. การรังวัดภาคพื้นดิน (Terrestrial Survey)

การสำรวจภาคพื้นดินจึงเป็นการกำหนดตำแหน่งของพื้นผิวภูมิประเทศบนโลก (Moffitt, H. F. and Bouchard, H., 1987). ด้วยกล้องธีโอดอลไลท์หรือกล้องประมวลผลรวมและกล้องระดับในการสำรวจพื้นดินให้ได้ค่าพิกัดและคาร์ระดับสำหรับบอกตำแหน่งและค่าความสูงของพื้นดิน ขอบเขตของการทำงานจำกัดในระดับท้องถิ่น (ไพศาล สันติธรรมนันทน์, 2546) แต่ในปัจจุบันได้ใช้เครื่องกำหนดพิกัดตำแหน่งด้วยดาวเทียมในการหาค่าพิกัดของพื้นดินจึงทำให้การทำงานรวดเร็วเพิ่มขึ้นเพราะได้คาร์ระดับของพื้นดินในสนามจากวิธีการทำงานแบบจลน์ทันทีทันใด (Real Time Kinematic, RTK) ที่ใช้เวลาในการทำงานแต่ละจุดภายใน 10-30 วินาที (วิชัย เยี่ยงวีรชน, 2549) เนื่องจากการสำรวจประเภทนี้ผู้สำรวจต้องทำการ

สำรวจในพื้นที่โดยตรงจึงทำให้ใช้เวลาในการทำงานนาน และความละเอียดถูกต้องของงานที่ได้สูงอยู่ระดับเซนติเมตร

2. การรังวัดด้วยภาพ (Image Survey)

เป็นการสำรวจด้วยการนำภาพถ่ายในการทำแผนที่ซึ่งภาพที่ใช้ก็คือ ภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งการสำรวจด้วยภาพนี้มีความสะดวกที่ไม่ต้องเข้าถึงพื้นที่ที่ทำการสำรวจแต่ก็จำกัดด้วยเครื่องมือและมีวิธีการประมวลผลที่ซับซ้อนจึงต้องใช้ผู้ที่มีความชำนาญในการทำงาน ส่วนความละเอียดถูกต้องจากการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศจะมีค่าในระดับเดซิเมตรถึงเมตร และครอบคลุมพื้นที่ในระดับภูมิภาคและความละเอียดถูกต้องจากการสำรวจด้วยภาพถ่ายดาวเทียมจะมีค่าในระดับเดซิเมตรถึงเมตร (ไพศาล สันติธรรมนันทน์, 2546) เช่นกันในปัจจุบันภาพจากดาวเทียมที่มีความละเอียดสูงมีจำนวนเพิ่มขึ้นทำให้การทำงานด้วยภาพถ่ายดาวเทียมจึงเป็นที่นิยมและครอบคลุมพื้นที่ในระดับโลกซึ่งสามารถถ่ายบริเวณใดก็ได้ตามต้องการ

3. การรังวัดด้วยเรดาร์หรือเลเซอร์ (Radar or Laser Scanner)

เป็นการสำรวจประเภทหนึ่งของการสำรวจระยะไกลที่ใช้คลื่นเรดาร์หรือเลเซอร์ในการส่งสัญญาณไปกระทบวัตถุแล้วสะท้อนกลับมาไปยังเครื่องรับสัญญาณ โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานจากธรรมชาติหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อสร้างพื้นผิวภูมิประเทศ ในการถ่ายภาพด้วยระบบเลเซอร์ถ้าใช้บนเครื่องบินจะเรียกว่า เครื่องกวาดภาพระบบเลเซอร์ทางอากาศ (Airborne Laser Scanner, ALS) ส่วนบนดาวเทียมจะเรียกว่า ระบบนำแสงตรวจจับและจัดการ (Light Detection and Ranging, LIDAR) ในปัจจุบันทางด้านเชิงพาณิชย์จึงมีการพัฒนาและปรับปรุงทั้งสองระบบคือ ระบบเครื่องกวาดภาพระบบเลเซอร์ทางอากาศ (Airborne Laser Scanner, ALS) และระบบนำแสงตรวจจับและจัดการ (Light Detection and Ranging, LIDAR) (ธีระ ลาภิชชาญกุล, 2549) อีกทั้งเมื่อใช้ร่วมกับระบบบอกตำแหน่งพิกัดบนพื้นโลกด้วยดาวเทียมจีพีเอส

(Global Position System, GPS) ทำให้การสำรวจด้วยเลเซอร์สามารถสร้างรูปแผนที่และพื้นผิวค่าระดับในรูปแบบสามมิติได้ทันที โดยความถูกต้องของงานที่ได้อยู่ในช่วง 10-20 เซนติเมตร ส่วนการสำรวจด้วยเรดาร์ความถูกต้องของงานที่ได้อยู่ในช่วง 10-25 เมตร (ไพศาลสันติธรรมนนท์, 2546) และสามารถทำงานได้ทั่วโลก เพราะตัวส่งคลื่นเรดาร์จะถูกติดตั้งบนดาวเทียมที่สามารถทะลุเมฆได้จึงสามารถทำงานได้ทั้งเวลากลางวันและกลางคืน

รูปแบบการจัดเก็บค่าระดับ

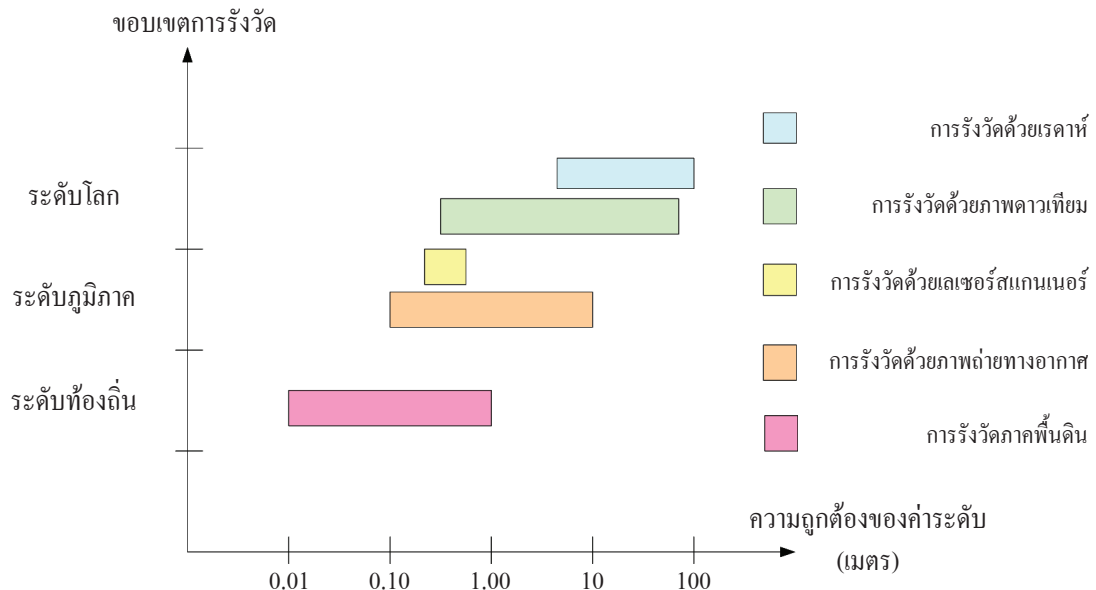
จากค่าระดับที่ได้จากการรังวัดด้วยวิธีการต่างๆ จะพบว่าตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อลักษณะของแบบจำลองคือ การกระจายตัวและความหนาแน่น (Li Z. et al, 2005) ของจุดที่ถูกกำหนดในรูปของค่าพิกัด X, Y และ Z ที่มีค่าความถูกต้องตามการรังวัดในแต่ละวิธีการ ข้อมูลค่าระดับ

เหล่านี้เรียกว่ากลุ่มตัวอย่างสำหรับนำมาเลือกก่อนหรือหลังทำการรังวัดเพื่อให้ได้แบบจำลองที่เหมาะสมจากข้อมูลเหล่านั้น ดังนั้นการเลือกวิธีการจัดเก็บค่าระดับที่เหมาะสมจะทำให้การทำงานรวดเร็วและใช้ประโยชน์จากข้อมูลได้สูงสุด โดยทั่วไปการเก็บค่าระดับในการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับนำไปใช้งานมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ คือ

1. แบบแอสกี (ASCII)
2. แบบจุด (point)
3. แบบราสเตอร์ (raster)

1. แบบแอสกี (ASCII)

เป็นการเก็บค่าระดับแบบใช้รหัสแอสกีในการทำงานซึ่งจะมีรายละเอียดของชื่อ ค่าพิกัดทางราบ ค่าพิกัดทางตั้งและรายละเอียดอื่นๆ ซึ่งแสดงในรูปรายละเอียด (text) ที่สามารถเปิดดูและแก้ไขได้และในแต่ละบรรทัดจะเป็นค่าของจุดหนึ่งจุด (King County,



รูปที่ 1 ความถูกต้องการสำรวจวิธีการต่างๆ

2006) ประดิษฐ์ข้อมูลชนิดนี้จะมีนามสกุลของไฟล์เฉพาะสำหรับแต่ละโปรแกรมในการทำงานด้านสำรวจ ดังตัวอย่างในรูปที่ 2 แสดงลักษณะของข้อมูลคาร์ระดับแบบแอสกีในไฟล์ 372301.dgm (ไพศาล สันติธรรมนนท์, 2546) ที่จัดเก็บแบบแอสกีโดยคอลัมส์แรกเป็นหมายเลขจุด คอลัมส์ที่สองและสามเป็นค่าพิกัดทางราบ ส่วนคอลัมส์ที่สี่เป็นค่าระดับ และอาจจะมีวัน เวลา ชื่อไฟล์หรือรายละเอียดอื่นๆตามลักษณะของนามสกุลที่ผู้ผลิตโปรแกรมในการสร้างแบบจำลองต้องการ

DGM - FILE : 372301 DATUM : 13.03.1997									
1	3534000.00	5794000.00	1	136.12	-6.45	-5.98	8.77	52.42	
2	3534000.00	5794012.50	1	134.71	-5.09	-6.50	8.23	42.25	
3	3534000.00	5794025.00	1	132.64	-5.85	-6.07	8.41	48.82	
4	3534000.00	5794037.50	1	132.12	-5.07	-10.97	12.04	27.37	
5	3534000.00	5794050.00	1	130.86	-2.41	-9.40	9.70	15.87	
...									
25106	3536000.00	5795937.50	1	72.18	0.58	-1.13	1.27	369.81	
25107	3536000.00	5795950.00	1	72.04	0.29	-0.70	0.76	375.00	
25108	3536000.00	5795962.50	1	71.98	0.11	-0.50	0.51	386.21	
25109	3536000.00	5795975.00	1	71.89	0.20	-0.46	0.50	373.89	
25110	3536000.00	5795987.50	1	71.82	-0.02	-0.52	0.52	2.45	
25111	3536000.00	5796000.00	1	71.71	-0.03	-0.56	0.56	3.41	
ส่วนหนึ่งของข้อมูล จากไฟล์ 372301.dgm ก่อนต้นและตอนท้ายจุด									

รูปที่ 2 ส่วนหนึ่งของข้อมูลจากไฟล์ 372301. dgm
ตอนต้นและตอนท้าย (ไพศาล สันติธรรมนนท์, 2546)

2. แบบจุด

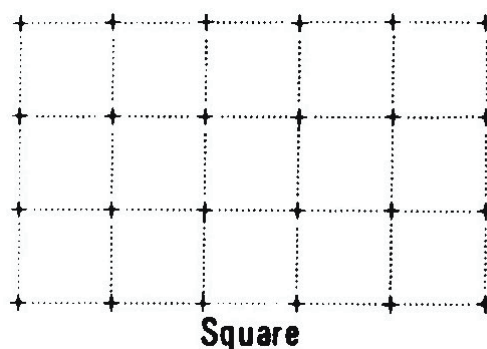
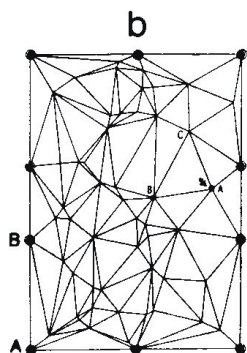
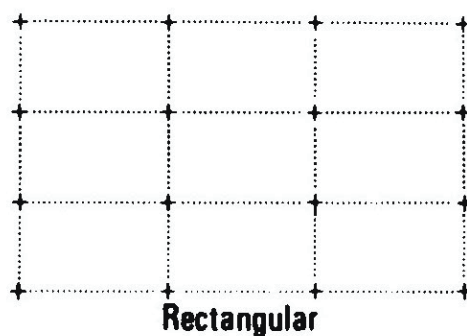
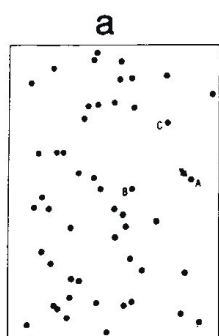
เป็นลักษณะของข้อมูลที่เก็บในรูปแบบของชื่อหมายเลข ตำแหน่งค่าพิกัดทางราบและตั้งในแต่ละจุด ซึ่งเป็นข้อมูลมาตรฐานในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์แบบจุด ในการเก็บข้อมูลประเภทนี้จะกระจายทั่วพื้นที่

ที่มีลักษณะแตกต่างกันตามความต้องการในการประมวลผลข้อมูลที่เก็บคาร์ระดับประเภทนี้จะอยู่ในไฟล์นามสกุล txt, fbk ของโปรแกรม autocad land และนามสกุล slk ของโปรแกรม surfer และสามารถเปิดในโปรแกรม Microsoft Word ได้ ดังนั้นในการประมวลผลเพื่อแสดงค่าของลักษณะแบบจำลองคาร์ระดับจะอยู่ในรูปของโครงข่ายสามเหลี่ยมไม่ปกติ (Triangular Irregular Network : TIN) ดังรูปที่ 3 หรือแบบตารางกริด (Grid Network) (G. Petrie and T.J.M. Kennie, 1990) สำหรับสร้างแบบจำลองระดับดังรูปที่ 4 จากแบบจำลองทั้งสองแบบพบว่าแบบจำลองคาร์ระดับในรูปแบบของข่ายสามเหลี่ยมไม่ปกติจะปรับตัวไปตามสภาพภูมิประเทศที่ซับซ้อนได้ดีกว่าจึงทำให้คาร์ระดับที่ได้จะมีความแตกต่างกันมาก และมีจำนวนข้อมูลมาก ส่วนคาร์ระดับแบบจำลองตารางกริดเหมาะสมกับพื้นที่ที่ราบเรียบหรือมีความสูงต่างกันไม่มากและมีลักษณะแบบตารางกริดที่เหลี่ยมจัตุรัสและผืนผ้าทำให้จำนวนข้อมูลจึงมีไม่มากนักและมีความต่างระดับน้อย ส่วนการเก็บข้อมูลคาร์ระดับแบบนี้ลักษณะความสัมพันธ์ของจุดแต่ละจุดในข่ายแบบสามเหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยมจะมีความสัมพันธ์ของแต่ละจุดในแต่ละด้านที่ต่อเนื่องกันและการเก็บค่าพิกัด คาร์ระดับจะมีลักษณะตามโครงสร้างของโครงข่ายดังตารางที่ 1 จากข้อมูลในรูปที่ 5 ดังนี้

ตารางที่ 1 การจัดเก็บข้อมูลค่าพิกัดทางราบและค่าระดับของโครงข่ายแบบสามเหลี่ยมไม่เท่า

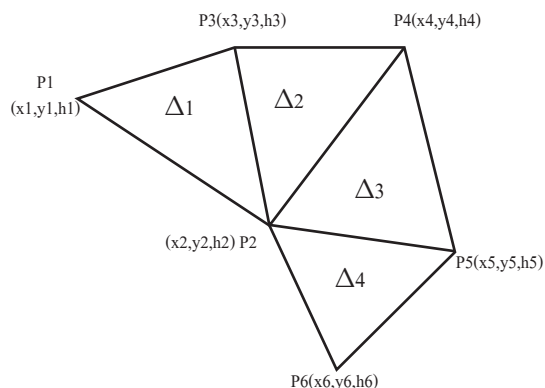
ตำแหน่งความสัมพันธ์		การจัดเก็บ		
รูปสามเหลี่ยม	จุดในแต่ละด้าน	จุดที่	ค่าพิกัดทางราบ	ค่าระดับ
Δ_1	P1,P2,P3	P1	x1,y1	h1
Δ_2	P2,P3,P4	P2	x2,y2	h2
Δ_3	P2,P4,P5	P3	X3,y3	h3
Δ_4	P2,P5,P6	P4	x4,y4	h4
...	...	...	...	...
Δ_n	Pm,Pq,Pr	Pt	xt,yt	Ht

จากตารางค่าของตัวแปร n, m, q, r, t เป็นเลขจำนวนเต็มแสดงลำดับที่ของรูปและค่าพิกัด

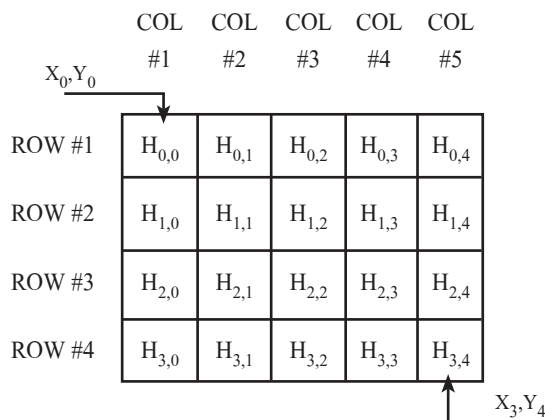


รูปที่ 3 ลักษณะของข้อมูลระดับแบบจุดในแบบข่ายสามเหลี่ยมไม่ปกติ (G. Petrie and T.J.M. Kennie, 1990)

รูปที่ 4 ลักษณะของข้อมูลระดับแบบจุดในแบบตารางกริดแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสและสี่เหลี่ยมผืนผ้า (G. Petrie and T.J.M. Kennie, 1990)



รูปที่ 5 ลักษณะของข้อมูลค่าพิกัดทางราบและค่าระดับ
แบบจุดในแบบข่ายสามเหลี่ยมไม่ปกติ



รูปที่ 6 ตัวอย่างลักษณะของข้อมูลค่าพิกัดทางราบและ
ค่าระดับแบบราสเตอร์ขนาด 4X4 จุดภาพ

3. แบบราสเตอร์

เป็นการจัดเก็บข้อมูลค่าระดับในรูปแบบแถวและคอลัมน์ส้อย่างมีระเบียบที่ใช้ในแบบจำลองระดับแบบราสเตอร์ของภาพเชิงเลข ซึ่งตำแหน่งของค่าระดับในการจัดเก็บจะมีระยะห่างที่เท่ากันตามระยะห่างของจุดภาพ ทำให้การเก็บข้อมูลพิกัดตำแหน่งของจุดค่าระดับสามารถบันทึกได้ง่ายและหลีกเลี่ยงข้อมูลที่มีจำนวนมากด้วยการกำหนดค่าพิกัดตำแหน่งที่มุมซ้ายบนของจุดภาพและมุมขวาล่างของจุดภาพดังรูปที่ 6 เป็นตัวอย่างของภาพเชิงเลขที่มีขนาด 4X4 จุดภาพ ส่วนค่าระดับจะเก็บอยู่ในรูปของไบนารีในแต่ละจุดภาพที่คอมพิวเตอร์เข้าใจสำหรับประมวลผลเพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติ

โดยค่าระดับที่เก็บในรูปไบนารีจะมีช่วงของจำนวนค่าสูงสุดและต่ำสุดตามชนิดของข้อมูลที่ใช้ในคอมพิวเตอร์โดยทั่วไปมี 2 ประเภทใหญ่ด้วยกันคือแบบเลขจำนวนเต็ม (integer) และแบบเลขทศนิยม (float or double) (มันทนา ปราการสมุทร, 2534) ซึ่งการเลือกใช้ขึ้นอยู่กับความละเอียดและการจัดเก็บ

ข้อมูลแต่ละแบบ เพื่อให้สามารถเรียกนำมาใช้ได้อย่างรวดเร็วตามความต้องการในการสร้างแบบจำลอง เพราะข้อมูลค่าระดับที่ได้มาจะขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศและวิธีสำรวจที่มีอยู่ด้วยกันหลายทางเช่น การสำรวจในสนาม, การสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ ฯ ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการจัดเก็บมีรูปแบบที่ใช้ทั่วไปดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะชนิดของข้อมูลค่าระดับในคอมพิวเตอร์ (มันทนา ปราการสมุทร, 2534)

ชนิดข้อมูล	รูปแบบบิต	ช่วงความสูง
integer	16	$-32,768 \leq H \leq +32,767$
unsigned integer	16	$0 \leq H \leq +65,535$
short integer	8	$-128 \leq H \leq +127$
unsigned short integer	8	$0 \leq H \leq +255$
float	32	$3.4 \times 10^{-38} \leq H \leq 3.4 \times 10^{+38}$
double	64	$1.7 \times 10^{-308} \leq H \leq 1.7 \times 10^{+308}$

จากการเก็บข้อมูลค่าระดับในแบบราสเตอร์จะมีลักษณะเหมือนกับข้อมูลในภาพเชิงเลขเพียงแต่ค่าระดับในจุดภาพจะเป็นความสว่างในภาพเชิงเลขที่จุดภาพเดียวกัน ดังนั้นในการสร้างแบบจำลองสามมิติโดยการเก็บข้อมูลแบบราสเตอร์จะต้องใช้รูปแบบการจัดเก็บในไฟล์ภาพที่สามารถจัดการข้อมูลทั้งสองแบบได้และอ้างอิงพิกัดโลก (Georeferencing) ด้วย ซึ่งรูปแบบของไฟล์ภาพที่จัดเก็บในลักษณะนี้ได้แก่ GeoTiff, Tiff, SDTS เป็นต้น (U.S. Geological Survey, 2003) เหมาะสมสำหรับการทำงานและจัดเก็บข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS) อีกทั้งเป็นมาตรฐานการจัดเก็บข้อมูลที่ใช้ในปัจจุบัน โดยมีตัวอย่างของซอฟต์แวร์ที่อ่านข้อมูลในรูปแบบนี้ได้แก่ AutoCAD, GeoMedia, ArcView, MapInfo, ERDAS และ ENVI เป็นต้น (ไพศาล สันติธรรมนนท์, 2546 ; U.S. Geological Survey, 2003)

สรุป

จากลักษณะของค่าระดับสำหรับสร้างแบบจำลองค่าระดับที่เก็บอยู่ในลักษณะแบบแอสกี, แบบจุด และแบบราสเตอร์ทั้งสามแบบมีความแตกต่างกันในลักษณะของพื้นที่ที่ใช้ในการจัดเก็บ ลักษณะของข้อมูล และความละเอียดถูกต้องโดยที่แบบแอสกีมีรูปแบบเฉพาะในการจัดเก็บที่ผู้ใช้ต้องเข้าใจลักษณะข้อมูลเหล่านั้นในการจัดเรียงก่อนนำไปใช้และต้องมีโปรแกรมที่ใช้ต้องเปิดไฟล์ประเภทนี้เฉพาะ ส่วนแบบจุดจะทำการบันทึกข้อมูลได้ 2 แบบคือบนกระดาษที่ยากต่อการเก็บรักษา และหน่วยความจำในรูปแบบค่าพิกัดทางแกน x, y และ z ที่ง่ายต่อการนำไปใช้และประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ส่วนแบบราสเตอร์ก็จะเก็บค่าในรูปแบบแถวและสดมภ์ที่มีการอ่านข้อมูลในรูปแบบเฉพาะและสามารถนำไปใช้ประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์รวดเร็ว ดังนั้นการทราบถึงวิธีการสำรวจและจัดเก็บข้อมูลค่าระดับแบบต่างๆ ทำให้การจัดการข้อมูลค่าระดับที่นำไปสร้างแบบจำลองค่าระดับที่มีจำนวนมากสำหรับใช้งานมี

ความเหมาะสมกับพื้นที่แต่ละแบบจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายและสร้างแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- ไพศาล สันติธรรมนนท์. (2546). เอกสารการฝึกอบรมการสำรวจจริงวัดด้วยภาพดิจิทัล. ครั้งที่ 1-2. ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ธีระ ลาภิชชาญกุล. (2549). เครื่องกวาดภาพระบบเลเซอร์ทางอากาศ. วารสาร มจร. วิชาการ. มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ. 10(19): 73-79.
- มันทนา ปราการสมุทร. (2534). การเขียนชุดคำสั่งภาษา C. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 493 หน้า 344
- วิชัย เขียววีรชน. (2549). การสำรวจจริงวัด : ทฤษฎีและการประยุกต์. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 493 หน้า
- G. Petrie and T.J.M. Kennie. (1990). Terrain Modelling in Surveying and Civil Engineering. Bell and Bain Ltd., Glasgow.
- Moffitt, H. F. and Bouchard, H. (1987). Surveying. New York : HARPER & ROW, PUBLISHERS. 876 p.
- Li Z., Zhu Q. and Gold C. (2005). Digital Terrain Model : Principles and Methodology, USA: CRC PRESS. 323 p.
- King County. (2006). Lidar Data Products. Retrieved September 28, 2006 from the World Wide Web : http://www.metrokc.gov/gis/sdc/raster/elevation/LiDAR_Data.htm#DGM_Elevation
- U.S. Geological Survey. (2003). Digital Orthoquadrangle and GeoTIF. Retrieved November 28, 2008 from the World Wide Web : <http://mcmcweb.er.usgs.gov/sdts/geotiff.html>