

비 측량용 주사기에 의한 항공수치영상의 DTM 정확도 평가 The Estimation of DTM Accuracy of Aerial Digital Image with Non-photogrammetric Scanner

박운용* · 김희규** · 이인수***

Park, Woon-Yong · Kim, Hee-Gyoo · Lee, In-Soo

要 旨

본 연구는 해석도화기대신 주사기를 이용해서 항공사진 양화필름을 주사하여 영상처리 기법으로 정밀한 수치지형모델을 구현하고자 하였다. 평상형 주사기와 원통형 주사기를 이용해서 상이한 해상력으로 항공사진 양화필름을 주사하여 자동상관기법을 이용해서 영상처리 기법으로 표고를 구하여 1:5,000 지형도에서 50^m×50^m 격자를 사용해서 구한 표고값과 비교하였다. 그 결과 주사기로 얻은 고해상도의 항공사진 수치영상을 이용한 경우의 표고는 1:5,000 지형도에 의한 수치지형모델로 구한 표고값에 근접함을 알 수 있었다.

ABSTRACT

This study describes the precise DTM by image processing method through scanning the positive film of aerial photo using scanner instead of plotter. First, scanned the positive film of aerial photo by drum scanner and flatbed scanner in different resolution, and then compared the height from image processing method using auto correlation method with height which is taken using 50^m×50^m grid in 1:5,000 geographical map. It shows that heights from aerial photo image of high resolution obtained from scanner are comparable to the heights from 1:5,000 geographical map.

1. 서 론

컴퓨터 기술의 발전은 사진측량의 작업절차와 장비 개발에 큰 변화를 가져왔고, 디지털 영상으로부터 정보를 추출하는 사진측량 시대는 점점 자동화 방향으로 나아가고 있다. 컴퓨터 기술의 발전, 특히 자료 처리속도, 저장매체 개발과 영상자료 처리 알고리즘의 개발 가속화로 사진측량은 디지털 영상처리시대로 발전하고 디지털 사진측량 시대의 도래는 도면화(mapping)와 영상의 자료추정 자동화를 더욱 가속시킬 것이다.¹⁾

수치사진측량은 아날로그 필름을 대신하여 수치영상을 사용한다는 점에서 해석적사진측량과 구별되며, 필름 주사, 자동적인 영상정합, 자동적인 수치표고모델 생성, 그리고 수치정사사진의 생성을 목적으로 한다.

특히, 수치사진측량의 주요 결과물인 수치지형모델의 생성은 수치정사사진 생성의 근거가 된다는 점에서, 그리고 지형공간정보체계(GSIS; Geo-spatial Information System)와의 통합적 이용을 위해 매우 중요하다.²⁾ 해석적사진측량에서는 수치지형모델을 해석도화기에서 운영자를 중심으로 이루어졌고 수치사진측량에서는 자동적으로 수치지형모델을 생성한다.³⁾

따라서, 본 연구에서는 평상형 주사기와 원통형 주사기를 이용해서 상이한 해상력으로 항공사진 양화필름을 주사해서 영상처리 워크스테이션으로 수치지형모델을 만들어 1:5,000 지형도로 만든 수치지형모델과 정확도를 비교하였다.

2. 수치지형모델 생성

수치 영상처리 워크스테이션 사용으로 재래의 수치지형모델 생성 기법이 수정되었고, 디지털 기술은 수 작업 측정을 자동화할 수 있는 가능성을 가지고 있다. 수치

*동아대학교 토목·해양공학부 교수

**경남정보대학 토목과 교수

***동아대학교 토목공학과 박사과정

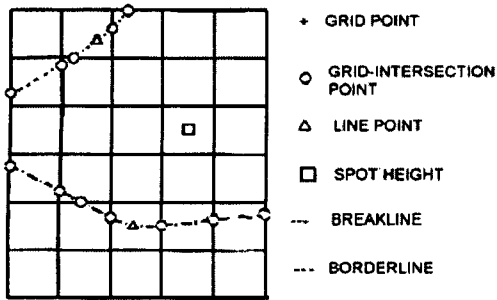


그림 1. 수치지형모델의 자료구조

영상처리에 의한 수치지형모델 생성의 경우 자동화가 주요 관심사항이며 영상정합기술을 중심으로 한다. 영역중심정합과 형상중심정합이 직접적인 관심사이고 수치 영상처리 워크스테이션에 설치된 프로그램에서 실행된다.³⁾

수치지형모델을 생성하기 위해서는 break line, form line, spot height, 그리고 mass points 등의 여러 유형의 자료가 필요하고, break line은 경사의 불연속성을 나타내며, form lines는 평활 경사변환선이다. 그리고 spot height는 표고에 대한 국지적 최대값 혹은 최소값이다. 수치지형모델의 자료구조는 그림 1과 같다.⁴⁾

3. 영상정합알고리즘

3.1 영역중심정합법(area-based matching)

영역중심정합에서 요소(entities)는 밝기값이며 영상소구역(image patch)이라고 부르는 부영상(sub-image)의 밝기값 분포를 다른 영상소구역에 있는 상대 밝기값 분포와 비교하는 것이다.

기준영역(template)은 두 영상 중 하나에서 고정된 위치로 남아있는 영상소구역(image patch)이다. 대상영역(match window)은 영상소구역이 기준영역과 비교되는 대

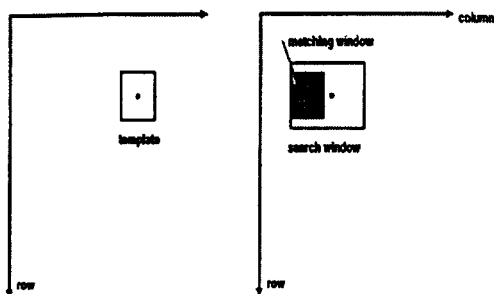


그림 2. 영역중심정합의 개념

상영역이다. 그림 2는 영역중심정합법의 개념을 도시한 것이다. 그리고 유사성판정기준으로 기준영역과 탐색영역을 비교한다. 두 가지 기준은 교차상관(cross-correlation)과 최소제곱영상정합법(least squares matching)이다.

3.2 상관계수정합법

상관계수정합법은 수치사진측량에서 공액점을 탐색하는데 오래 전부터 사용되어 왔으며, 1950년대에 기계적 상관계수정합법이 처음 시도되었다. 이 방법은 상관인자를 계산하여 기준영역과 정합영역의 유사성을 판정하는 것이다.

3.2.1 교차상관인자

상관계수 ρ 는 아래 식 (1)과 같이 정의된다.

$$\rho = \frac{\sigma_{LR}}{\sigma_L \sigma_R} \quad (1)$$

여기서, σ_{LR} : 영상소구역 L과 R의 공분산

σ_L : 영상소구역 L(기준영역)의 표준편차.

σ_R : 영상소구역 R(정합영역)의 표준편차.

좌측과 우측 영상소구역(또는 자료의 기준영역과 정합영역)의 영상함수 $g_L(x, y)$, $g_R(x, y)$ 의 밝기값의 평균 (\bar{g}_L) , (\bar{g}_R) 은 아래의 식으로 정의된다.

$$\bar{g}_R = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g_R(x_i, y_j)}{n \cdot m} \quad (2)$$

$$\bar{g}_L = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g_L(x_i, y_j)}{n \cdot m}$$

$$\sigma_L = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (g_L(x_i, y_j) - \bar{g}_L)^2}{n \cdot m - 1}}$$

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (g_R(x_i, y_j) - \bar{g}_R)^2}{n \cdot m - 1}}$$

$$\sigma_{LR} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (g_L(x_i, y_j) - \bar{g}_L)(g_R(x_i, y_j) - \bar{g}_R)}{n \cdot m - 1}}$$

그리고 교차 상관계수값은 다음과 같이 표현된다.

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g_L(x_i, y_j) g_R(x_i, y_j) - 1/n \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g_L(x_i, y_j) \right) \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g_R(x_i, y_j) \right)}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g_L(x_i, y_j) - 1/n \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g_L(x_i, y_j) \right)^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g_R(x_i, y_j) - 1/n \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g_R(x_i, y_j) \right)^2 \right)}}$$

여기서,

n, m : 기준영역의 행과 열이다. 교차 상관계수값은 탐색영역내의 모든 정합영역의 위치 r, s 에 대해 결정된다.

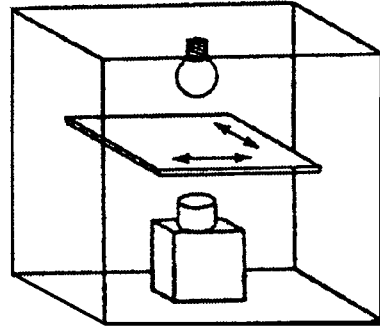
3.3 최소제곱영상정합법

이 방법은 80년대 중엽에 독일(Förstner, Ackermann)에서 시작되었고, 기준영역과 정합영역사이의 밝기값의 차를 최소화하는 것이 기본 개념이고, 여기서 정합영역의 위치와 형태는 조정과정에서 인자에 의해서 결정된다. 즉 정합영역의 위치와 형태는 변형된 영역과 일정한 기준영역사이의 밝기값의 차가 최소가 될 때까지 변환된다.

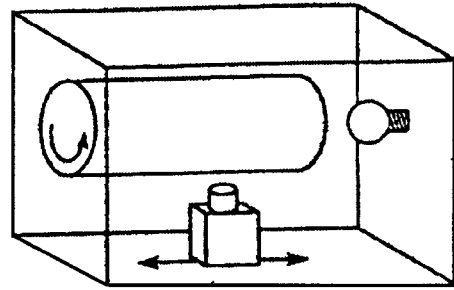
4. 주사기(scanner)

수치사진측량에서 주사기는 매우 중요한 요소로서 항공영상의 디지털화에 필수적이다. 특히, 정사영상 생성, 자동화된 항공삼각측량(AT), 자동화된 수치지형모델 생성 등에 수치영상의 필요성이 증가하고 있다. 주사의 정확도는 색상의 품질을 결정하며 수치사진측량의 우수한 최종 성과물을 만들기 위해서는 주사기 해상력, 동력범위(dynamic range), 초점 정확도, 그리고 광원 등이 함께 결합되어야 한다. 주사기는 사진이나 전광장식처럼 평평한 도판에 빛을 반사함으로써 혹은 칼라 슬라이드를 통해 빛을 전송함으로써 작동한다.

주사기는 반사되거나 전송된 빛의 양을 측정하고 그것이 감지하는 색상의 강도값을 측정한다. 주사기의 구성은 사용한 광검출기(photodetector) 유형에 크게 영향을 받는다. 현재 가장 많이 이용되는 광검출기는 선이나 행렬로 배열될 수 있는 광전배증관(photo-multipliers)과 광전변환장치(photodiodes)이다. 광전배증관은 독립적으로만 사용될 수 있고 원통형 주사기는 이 원리를 사용한다. 원통형 주사기에서 원본은 회전원통에 부착된다. 광검출기는 원통외부에 부착되고 영상을 한줄씩 주사한다. 칼라 슬라이드를 사용하는 경우 문서는 원통내부에서 조명을 받고 과열을 피하기 위해 가끔 강한 직사광선이 사용



(a) 평상형 주사기



(b) 원통형 주사기

그림 3. 주사기 구조

된다. 원통형 주사기는 해상력과 동력범위에서 매우 높은 수행능력을 가진다. 하지만, 원통에 필름이 부착되므로 기하학적 정밀도가 좋지 못한 단점을 가지고 있다.

그러므로 모든 사진측량용 주사기들은 평상형 주사기이고 유리판사이에 필름을 부착하므로 보호성이 좋다. 필름은 모터(motor)로 움직이는 이동대위에 고정되어 주사장치가 조명장치와 함께 움직인다. 그림 3(a),(b)는 평상형 주사기와 원통형 주사기 구조를 보여주고 있다.³⁾ 그리고 평상형 주사기의 최대 해상력은 300 dpi~3,000 dpi이고, 원통형 주사기는 4,000 dpi~10,000 dpi 이상이다.

5. 관측 및 결과 분석

5.1 관측

5.1.1 항공사진 촬영 및 연구대상 지역

본 연구에서는 사진 크기 23 cm×23 cm이며, 화면 거리가 153.590 mm의 광학렌즈가 장착된 항공사진카메라로 고도 약 3,017.8 m, 그리고 사진축척은 1:20,000인 항공사진을 이용하였다. 연구 대상지역은 동서로 3.02 km,

남북으로 약 2 km로 약 6.02 km² 면적을 절취하여 사용하였다.

촬영지역은 해안가에서 최대 표고가 약 460 m에 이르는 산악지역으로서 산 정상을 기준으로 해서 동쪽은 약간의 가옥이 있고 대부분은 숲으로 이루어져 있다. 실험대상지역의 사진을 그림 4에 도시하였다.

5.1.2 항공사진의 주사

본 연구에서는 각각 평상형 주사기와 원통형 주사기를 이용해서 항공사진을 각각 635 dpi, 907 dpi, 그리고 1207 dpi 해상력으로 주사하였다. 그림 5의 (a),(b)는 실험

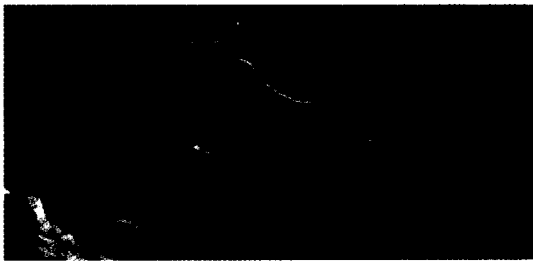


그림 4. 실험대상지역

험에 이용한 주사기이다. 그리고 각 주사기의 사양을 표 1에 기록하였고, 표 2에는 두 주사기로 한 장의 항공사진 양화필름을 주사하는데 소요된 시간을 기록하였다.

5.1.3 항공사진의 표정

표 2. 주사 소요시간

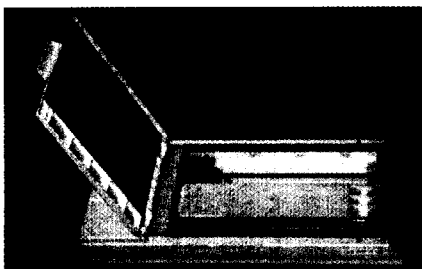
주사기 해상도	평상형 주사기	원통형 주사기
635 dpi	50 (sec)	6 (min)
907 dpi	56 (sec)	7 (min)
1270 dpi	88 (sec)	10 (min)

표 3. 카메라 변수

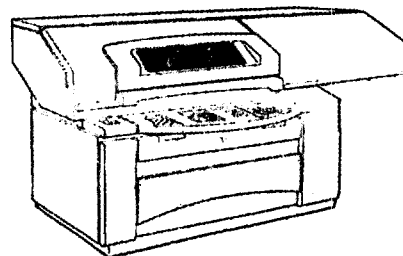
· 카메라 모델	Wild 15/4 UAGA-F Nr 13084 153.590 mm
· Focal length	X : 0.000mm, Y : 0.000mm
· Princiapl point offset	K0 : 0 K1 : 0 K2 : 0 K3 : 0 K4 : 0 K5 : 0 K6 : 0 K7 : 0 K8 : 0
· Radial lens distortion	Top left : X - 100.669 mm Y - 105.635 mm
· Fiducial marks	Top right : X -111.175 mm Y-105.656 mm Bottom right : X-111.245 mm Y-106.001 mm Bottom left : X -100.633 mm Y-106.101 mm
· Photo Scale	1:20. 000, Earth radius : 6370,000.00 m

표 1. 평상형 주사기이나 원통형 주사기 사양

	평상형 주사기	원통형 주사기
모델명	AVA3	Fujifilm Celsis 6250 Color Drum Scanner
해상도 (V*H)	광학해상도-600×300 dpi 최대해상도-9600×9600 dpi	25 at 8000 dpi
스캐닝 모드	칼라-30 bit/pixel (10억 칼라) 그레이스칼라-10 bit/pixel (1024 levels) 하프톤-1 bit/pixel (2 levels) 텍스트/라인아트-1bit / pixel (2 levels)	14 bits per color
최대 스캔크기	A3(297×432 mm)	20"×28" Full scanning area
광원	Cold Cathode Fluorscent Lamp	Xenon arc
사용전원	115~230V/50~60Hz	220-250 VAC, 20 KVA



(a) 평상형 주사기



(b) 원통형 주사기

그림 5. 주사기

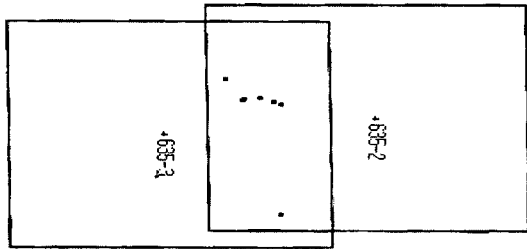


그림 6. 사진 배치도

먼저 PCI 사의 프로그램을 이용해서 영상을 128배 확대하여 각 지표(fiducial marks)를 주사해상력 이내로 측정하여 부등각사상변환(affine transformation)으로 사진좌표로 변환하였다. 표 3은 사진을 촬영하는데 사용한 카메라 변수들이다. 그리고 그림 6에 사진 배치도(photo layout)를 도시하였다.

한 장의 사진에서 접합점을 선택하면 다른 사진에서 자동상관기법(auto-correlation method)을 이용하여 공액점을 찾게 된다. 이렇게 구한 공액점을 접합점으로 식별시켜 주면 그림 6과 같은 사진배치도를 형성하게 된다.⁵⁾

지상기준점은 항공사진상에서 식별이 용이한 지역으로 도로 등의 인공지물의 교차점을 택했고 사진기의 위치와 자세를 결정하기 위한 외부표정요소는 지상기준점을 이용해서 S/W를 통해 결정되었고 지상기준점 좌표는 현지의 측량조건이 불량하여 1:5,000 지형도상에서 디지털하여 이용하였다. 3차원 지상좌표는 광속조정법(bundle adjustment)으로 구하였으며, 다음으로 지상기준점(GCPs

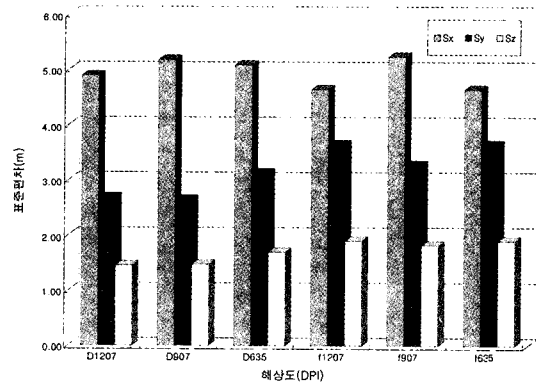


그림 7. 주사기별 표준편차

; Ground Control Points)과 접합점(TP ; Tie Points)을 이용하여 수치지형모델을 생성하였다.

5.2 분석

5.2.1 주사기별 평면위치 및 표고 정확도

지상기준점과 접합점으로 S/W에서 수치지형모델을 작성하여 기존의 1:5,000 지형도상에서 50 m×50 m 격자를 이용해서 만든 수치지형모델과 비교하였다. 특히 여기에서는 항공사진의 주사 해상력에 의한 수치지형모델 정확도 평가, 즉 표고 측정에 주목적을 두었으므로 평면 위치의 정확도는 우수하지 않았다. 먼저 주사기 별 해상력에 따른 평면위치와 표고의 표준편차를 검토하여 표 4와 그림 7에 기록하고 도시하였다.

평상형 주사기와 원통형 주사기에 의한 수치지형모델

표 4. 주사기별 표준편차

RMS	DPI	원통형 주사기			평상형 주사기		
		D1207	D907	D635	F1207	F907	F635
Sx(m)		4.888	5.178	5.080	4.636	5.234	4.636
Sy(m)		2.686	2.650	3.125	3.642	3.271	3.642
Sz(m)		1.451	1.469	1.690	1.897	1.817	1.897

표 5. 기준점수별 표준편차

RMS	DPI	GCP 8			GCP 7			GCP 6		
		Sx(m)	Sy(m)	Sz(m)	Sx(m)	Sy(m)	Sz(m)	Sx(m)	Sy(m)	Sz(m)
D1207		4.888	2.686	1.451	5.133	2.952	1.502	5.206	2.982	1.567
D907		5.178	2.650	1.469	4.638	3.504	1.764	4.522	3.545	1.871
D635		5.08	3.125	1.690	6.005	3.837	1.770	5.978	3.806	2.329
F1207		4.741	3.642	1.897	4.591	2.440	1.702	4.687	2.369	1.706
F907		5.234	3.271	1.817	5.292	3.317	1.748	5.444	3.600	1.799
F635		4.636	3.642	1.897	4.665	3.667	1.809	4.694	3.620	1.793

의 평면위치와 표고오차를 분석하면 두 주사기의 평면 위치 표준편차는 큰 차이를 보이지 않은 반면에, 표고에서는 약 40 cm 차이로 원통형 주사기 정확도가 우수하였다.

5.2.2 지상기준점 수에 의한 평면위치 및 표고 정확도 지상기준점은 외부표정요소 결정에 있어 필수적이므로 이에 의한 평면위치의 영향을 알아보기 위해 GCP 8개, 7개 그리고 6개인 경우에 대해 표준편차를 구하였다. 표 5에 값들을 나타내었다.

지상기준점 수가 많은 수록 평면위치의 정확도는 두 주사기에서 정확도가 우수하였고, 표고에서는 지상기준점 수가 많은 경우는 원통형 주사기가 정확하였으며, 평상형 주사기에서는 기준점수가 적은 경우 더 정확한 결과를 보였다. 그리고 그림 8, 9와 10에 기준점수별 표준편차(S_x , S_y , S_z)를 도시하였다.

5.2.3 접합점 수에 의한 주사기별 평면위치 및 표고 접합점은 사진의 모빌형성에 있어 매우 중요한 인자이다. 그래서 이 접합점 수에 따른 평면 위치와 표고의 표

준편차를 표 6에 기록하였고, 그림 11, 12와 13에 접합점수별 표준편차(S_x , S_y , S_z)를 도시하였다. 접합점수가 많은 경우(TP 4)에 평면위치와 표고에서 좋은 결과를 보였다.

5.2.4 평상형 주사기와 원통형 주사기에 의한 등고선도와 수치지형모델 비교

각 주사기에 의한 등고선도와 수치지형모델을 평가하기 위해 1:5,000 지형도에서 50m×50m 격자를 이용해

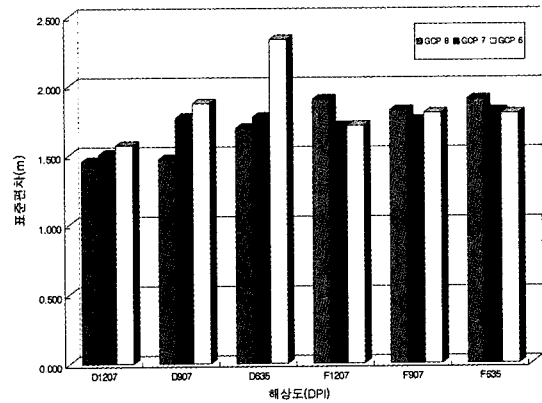


그림 10. 기준점수별 표준편차(S_x)

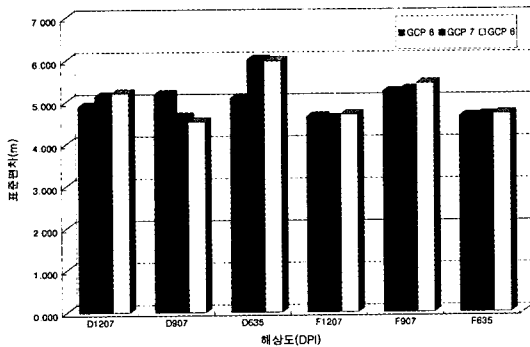


그림 8. 기준점수별 표준편차(S_x)

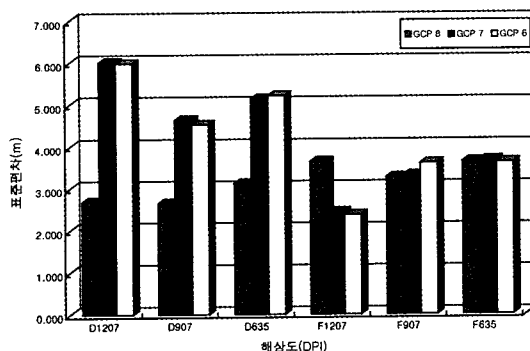


그림 9. 기준점수별 표준편차(S_y)

표 6. 접합점수에 의한 주사기별 평면위치 및 표고

DPI	TP 4			TP 3		
	S_x (m)	S_y (m)	S_z (m)	S_x (m)	S_y (m)	S_z (m)
D1207	5.133	2.952	1.502	5.089	2.851	1.802
D907	4.638	3.504	1.764	5.760	3.641	1.862
D635	6.005	3.837	1.770	5.935	3.784	1.823
F1207	4.591	2.440	1.702	4.689	2.344	1.719
F907	5.292	3.317	1.738	5.525	3.315	1.744
F635	4.665	3.667	1.809	4.781	3.603	2.584

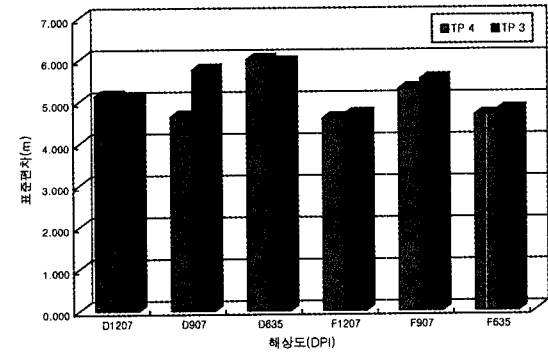


그림 11. 접합점수별 표준편차(S_x)

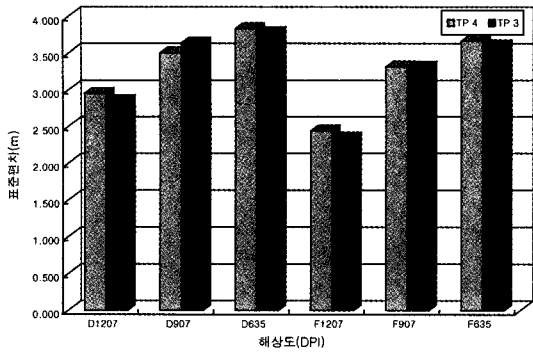


그림 12. 집합점수별 표준편차(Sy)

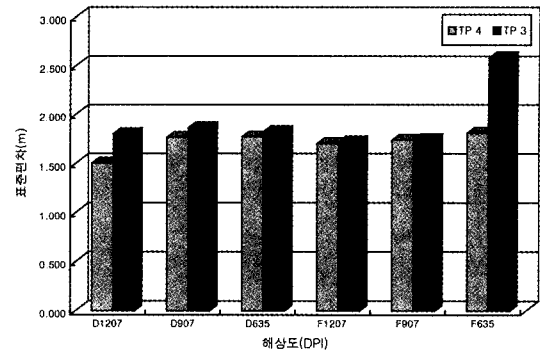
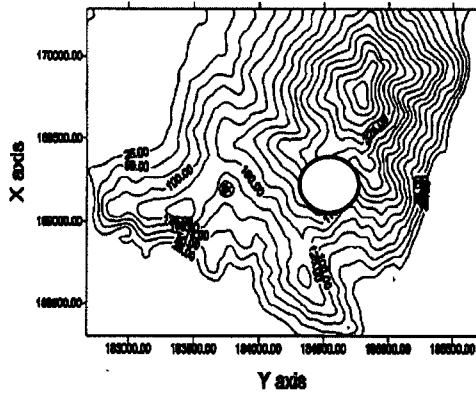
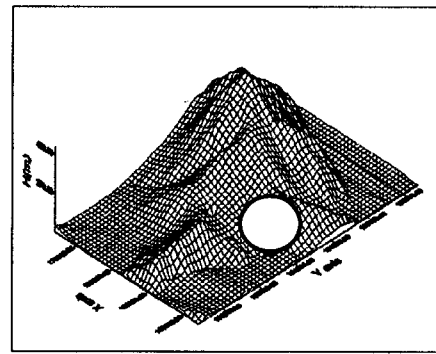


그림 13. 집합점수별 표준편차(Sz)

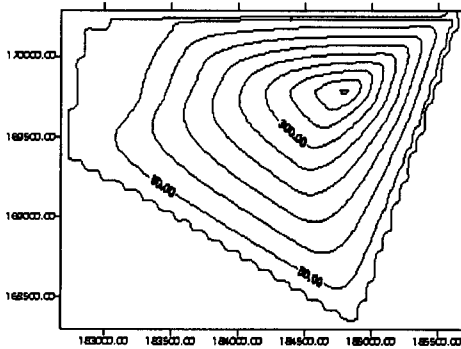


(a) 등고선도

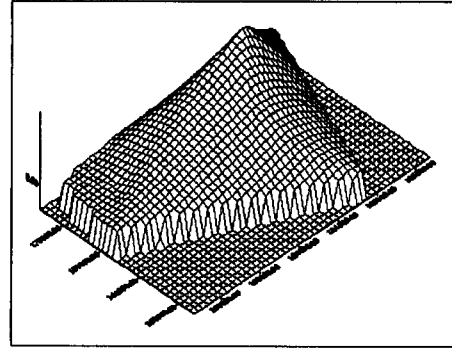


(b) 수치지형모델

그림 14. 지형도에 의한 성과물



(a) 등고선도



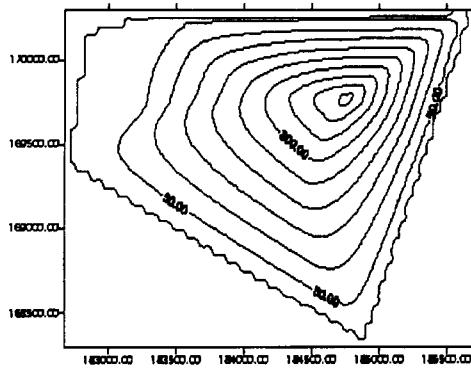
(b) 수치지형모델

그림 15. 원통형 주사기에 의한 성과물

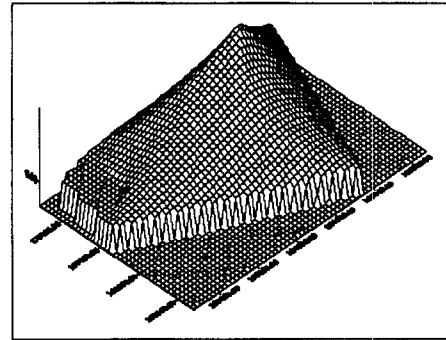
서 얻은 등고선도와 수치지형모델을 그림 14, 15와 16에 각각 도시하였다.

그림 14, 15와 16에서 알 수 있듯이 그림 14의 등고

선도와 수치지형모델에 비해 그림 15, 16의 등고선도와 수치지형모델은 정확하지 못하다. 특히 그림 14의 왼 부분의 등고선도와 수치지형모델에서 더욱 큰 차이를 보이



(a) 등고선도



(b) 수치지형모델

그림 16. 평상형 주사기에 의한 성과물

고 있다. 이 부분은 실험 시 지상기준점이나 접합점이 설정되지 않은 영역이기 때문에 정합시에 오차가 발생하는 것으로 사료된다.

6. 결 론

본 연구에서는 1:20,000 항공사진 양화필름을 평상형 주사기와 원통형 주사기로 각각 주사하여 수치지형모델을 생성하여 1:5,000 지형도의 50m×50m 격자로 생성한 수치지형모델과 그 값을 비교한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 원통형 주사기가 평상형 주사기보다 평면위치와 표고에서 정확도가 우수하였지만, 실험에 사용한 평상형 주사기는 문서 등의 편집에 이용되는 비 측량용 주사기였으므로 해상력에 따른 평면위치와 표고의 정확도는 큰 차이가 없었다.

2. 지상기준점수에 의한 평면위치와 표고의 표준편차는 각각 기준점이 많을수록, 해상력이 높을수록, 그리고 원통형 주사기가 평면위치와 표고에서 상대적으로 우수한 정확도를 보였다.

3. 평상형 주사기와 원통형 주사기에서 접합점 수가 4개인 경우가 3개인 경우보다 평면위치와 표고에서 우수한 값을 보였으며, 특히, 평면위치는 평상형 주사기에서 좋은 값을 보였다.

4. 두 주사기에 의한 등고선도와 수치지형모델은 지형도에서 얻은 성과만큼 정확도는 높지 않았지만 매우 근접하였다. 이것은 실험지역이 산악지가 대부분이므로 영

상정합의 불완전, 지상기준점의 영상에서의 설정 오류, 그리고 지상기준점의 디지털이저에 의한 독취오차에 의한 좌표 부정확 등에 의해 나타나는 것으로 예상되며, 주사기 개발 등을 통해 이런 단점을 보완해야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. John C. Trinder, "Digital Image Processing-The New technology for Photogrammetry", The AUSTRALIAN Surveyor, pp. 267-274, 1994. 12.
2. T. Schenk, "Concepts in Digital Photogrammetry", Course Notes, pp. 132-137, 1996.
3. ASPRS, Digital Photogrammetry : An Addendum to the Manual of Photogrammetry, pp. 3-4, 1996.
4. Robert Ecker, "Digital orthophoto generation based on a high-quality DTM", ITC Journal 1992-1, pp. 59-63.
5. Manual of Orthoengine 6.2, pp. 99-100, 1997.
6. 박운용, 이기부, 정성모, 이인수, "DTM의 정확도 향상에 의한 정밀 수치정사사진 생성", 한국측지학회지, 제16권 제2호, pp. 243-250.
7. 김감래, 전호원, "수치정사영상 정확도 평가", 대한토목학회 논문집, 제19권 제III-4호, pp. 709-717.
8. 유복모, 염재홍, "수치사진측량 적용을 위한 면적중심 영상정합의 특성 분석", 대한토목학회지, 제16권, 제III-6호, 1996, pp. 497-504.
9. Cand. geod. Matthias G bler, "Optimierung der Produktion digitaler Orthobilder", Diplomarbeit, 1997, Institute f r Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen, Universität Hannover.