

PC 기반 수치사진측량시스템의 활용방안에 관한 연구
- 수치지도, DEM, 정사영상 제작을 중심으로 -
A Study on Application of PC Based
Digital Photogrammetric System
- Focusing on Producing Digital Map, DEM and Orthophoto -

박병욱¹⁾ · 서상일²⁾

Park, Byung Uk · Seo, Sang Il

Abstract

Digital map, DEM and orthophoto were produced by using PC based digital photogrammetric system and aerial photo images that were obtained with scale of 1/5,000 and scanning density of 1200dpi and 600dpi, and the accuracies of these outputs were evaluated by various methods. Non-skilled operator produced digital map with PC based digital photogrammetric system and aerial photo images scanned by 1200dpi. The results showed that it was impossible to insert contour lines, but the rest elements could be drawn with the accuracy of 1/1,000. In automatic generation of DEM, scanning density of aerial photo and grid interval of DEM didn't affect the accuracy of DEM. In production of orthophoto, we could know that the larger grid interval of DEM, the lower accuracy of orthophoto, but scanning density of original image had more effect on quality of orthophoto. By the way, accuracy comparison between orthophoto and digital map with same check points showed that orthophoto was more accurate than digital map, and orthophoto could be used in more diverse areas. Hereafter in civilian part, aerial photo image and PC based digital photogrammetric system could make practical application of data correction and update in GIS.

Keywords : PC based digital photogrammetric system, digital map, DEM, orthophoto

요 지

본 연구에서는 1/5,000 항공사진을 1200dpi와 600dpi로 자동독취한 영상에 대하여 저가의 PC 기반 수치사진측량시스템을 사용하여 수치지도, DEM, 정사영상 등의 제작을 수행하고 다양한 방법으로 정확도를 비교 평가하였다. 비숙련자가 PC 기반 수치사진측량시스템을 사용하여 1200dpi의 항공사진영상을 도화한 결과, 등고선 삽입은 불가능하였지만 이를 제외한 나머지 부분은 1/1,000 수준의 수치지도 제작 가능성을 나타냈으며, 자동 DEM 제작에 있어서는 자동독취 해상도 및 격자간격이 DEM의 정확도에 크게 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다. 정사영상의 제작에 있어서는 DEM의 격자간격이 커질수록 정확도가 저하되지만 그 차이는 크지 않았으며, 이보다는 원 영상의 자동독취 해상도가 정사영상의 품질에 더 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 한편 동일한 검사점에 대하여 정사영상과 수치지도 제작 결과를 비교한 결과 정사영상의 정확도가 수치지도보다 더 좋게 나타나, 보다 다양한 분야에서 정사영상이 활용될 수 있을 것으로 판단되며, 향후 민간 부문에서 항공사진영상과 PC 기반 수치사진측량시스템이 GIS 분야의 자료 수정 및 갱신에 적극적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심어 : PC 기반 수치사진측량시스템, 수치지도, DEM, 정사영상

1) 연결저자 · 정희원 · 한경대학교 토목공학과 부교수(E-mail: ukpark@hknu.ac.kr)
2) 정희원 · (주)범아엔지니어링 국토정보시스템연구소(E-mail: ssi76@hanmail.net)

1. 서 론

항공사진으로부터 지도를 제작하는 도화기는 초기 기계식 도화기에서 수치지도 제작이 가능한 해석식 도화기로 발전하였으며, 최근에는 수치영상을 이용하여 수치지도를 제작하는 일종의 컴퓨터시스템인 수치도화기로 발전하고 있다(유복모 등, 2003). 그러나 아직까지는 해석식 도화기가 주류를 이루고 있으며, 수치도화기의 활용은 위성영상을 이용한 지도제작 측면에서 활발한 연구가 진행되고 있는 상황이다.

한편, 기계식 및 해석식 도화기들은 장비가 매우 정밀하고 민감하며 가격이 매우 고가이기 때문에, 일반인이 직접 활용할 수 없으며 숙련된 전문도화사에 의해 도화작업이 이루어지고 있다. 수치도화기의 경우도 전문가용은 워크스테이션을 기반으로 고가의 하드웨어 및 소프트웨어를 필요로 하지만, 최근에는 일반인도 손쉽게 활용할 수 있도록 PC를 기반으로 하는 저가의 수치사진측량시스템이 개발·보급되고 있어 이에 대한 활용방안이 주목받고 있다.

최근 세계적인 정보화 흐름에 따라 우리나라에서도 항공사진에 대한 보안 규제가 완화되었으며, 이에 따라 국토지리정보원에서는 기 촬영된 약 20만 매의 항공사진을 자동독취하여 데이터베이스화하는 작업을 수행하고 있고, 이 중 보안에 문제가 없는 지역의 항공사진영상은 일반에게 공개하고 있다. 이에 따라, 항공사진영상 데이터베이스의 활용방안이 관심을 끌고 있으며(이현직 등, 2002), 저가의 수치사진측량시스템과 항공사진영상을 이용하여 사용자가 직접 GIS(Geographic Information System) 분야의 자료 구축 및 갱신 등을 수행할 수 있는 토대가 마련되고 있다.

그동안 전문가용 수치도화기를 이용한 수치지도 제작 및 정사영상 제작 등에 관한 연구는 많이 진행되어 왔지만(이현직 등, 1999 ; 김감래 등, 2004), PC 기반 수치사진측량시스템을 이용한 지도제작에 대해서는 구체적인 검증이 수행되지 않아 적절한 활용방안이 제시되지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 전문도화사가 아닌 일반인이 저가의 PC 기반 수치사진측량시스템을 이용하여 항공사진영상으로부터 직접 도화할 경우의 정확도를 분석하여 그 활용방안을 제시하고자 하며, 아울러 DEM(Digital Elevation Model) 제작 및 정사영상 제작을 통하여 PC 기반 수치사진측량시스템의 전반적 활용방안

을 제시하고자 한다.

수치영상을 이용한 자동 DEM 제작 및 이를 이용한 정사영상 제작의 경우 일반 원격탐사시스템에서도 수행할 수 있기 때문에, 위성영상에 대해서는 1990년대 초반부터 이에 대한 연구가 진행되어 왔으며(박병욱, 1991 ; 안철호 등, 1992), 항공사진영상의 경우 1990년대 후반부터 연구가 진행되어 왔다(박병욱 등, 1999). 한편, 항공사진영상을 이용하는 경우 선행 작업으로 자동독취 과정을 거치게 되는데, 이때 자동독취 해상도의 선택이 품질 및 작업량에 영향을 미치게 된다. 이에 대해서, 항공사진영상의 표정해석 결과를 바탕으로 항공사진영상을 이용한 지도제작 및 2차 제품 생성을 위해서는 1200dpi의 해상도가 적절하다는 연구 결과가 제시되어 있지만(이현직 등, 2000), 실제 제작된 DEM의 정확도 분석을 바탕으로 적절한 자동독취 해상도를 제시한 연구가 없고, 또한 DEM 제작시 적정 격자간격에 대한 기준도 제시되어 있지 않아 사용자가 임의로 선택하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 DEM 제작에 대한 다양한 실험 및 분석을 실시함으로써 적절한 기준을 제시하고자 하며, 정사영상 제작에 있어서도 자동독취 해상도 및 DEM의 격자간격에 따른 정사영상의 정확도를 분석함으로써 그 기준을 제시하고자 한다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 저가의 PC 기반 수치사진측량시스템으로서 중국에서 개발한 VirtuoZo 시스템을 사용하였으며, 이 시스템은 NuVision 60GX LCD 입체안경 및 마우스를 이용하여 입체시 및 도화작업이 가능하다. 실험에 사용된 항공사진은 2001년 10월 안성시에서 1/1,000 수치지도 제작을 위해 1/5,000 축척으로 촬영한 것으로 그림 1과 같으며, 이 중 한경대학교 부지를 실험 대상지역으로 선정하였다. 촬영에 사용된 카메라는 Zeiss사의 RMK A 15/23으로 초점거리는 152.592mm이다.

항공사진을 수치영상으로 전환하기 위하여 항공사진 전용 자동독취기인 GeoSystem사의 DeltaScan을 사용하였으며, 이것의 자동독취시 기하학적 정확도는 $\pm 2\mu\text{m}$ 이다. 항공사진 양화필름에 대하여 자동독취를 실시하였으며, 자동독취 해상도로는 기존 연구결과를 바탕으로 1200dpi를 기준으로 하였지만 비교 분석을 위하여 600dpi의 해상도로도 독취하였으며, 이때 1 화소(pixel)의 지상 격자

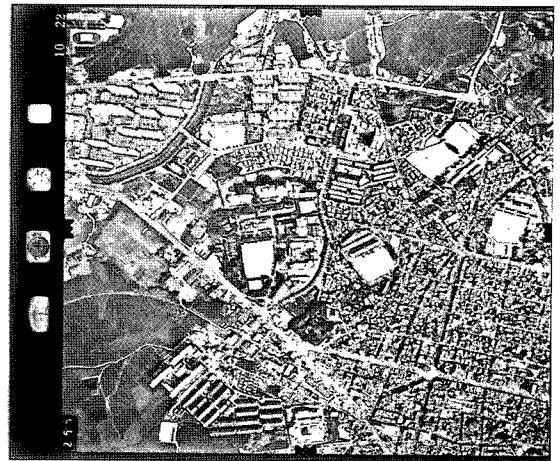
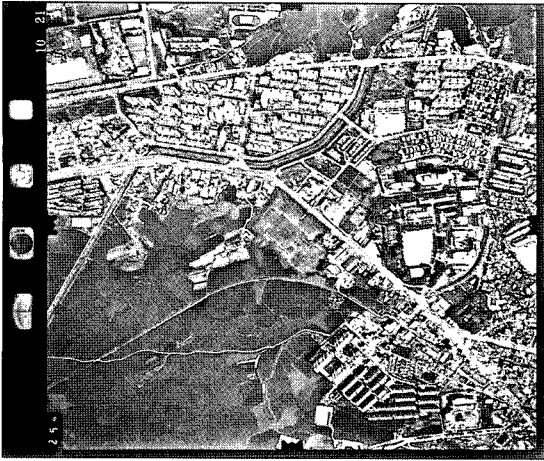


그림 1. 연구에 사용된 입체 항공사진 모델

표 1. 항공사진영상 입체모델의 외부표정요소

	1200dpi		600dpi	
	좌측영상	우측영상	좌측영상	우측영상
X (m)	223045.554	223564.418	223046.063	223564.285
Y (m)	390028.266	390026.663	390028.428	390027.028
Z (m)	995.013	989.243	995.097	989.260
ϕ (rad)	0.006549	0.005595	0.006941	0.005418
ω (rad)	0.022969	0.000000	0.02282	0.000000
κ (rad)	-0.018921	0.007191	-0.019084	0.006976
RMSE (m)	수평위치 : ± 0.0198		수평위치 : ± 0.0223	
	수직위치 : ± 0.0133		수직위치 : ± 0.0164	

간격은 각각 약 10cm 및 20cm 정도가 된다.

수치사진측량으로 수치지도, DEM, 정사영상 등의 제작을 위해서는 내부표정 및 외부표정 과정을 거쳐야 한다. 내부표정시에는 주점과 4개 지표에 대한 카메라의 검정결과를 적용하였으며, 외부표정에 필요한 지상기준점은 기 실시된 안성시 수치지도 제작과정에서 항공삼각측량 방법으로 지상좌표가 결정된 항공삼각점 중 연구대상 모델에 포함된 10개의 지상기준점을 표정점으로 사용하였다. 1200dpi 및 600dpi의 좌우 영상에 대한 외부표정결과는 표 1과 같다.

이후 입체영상을 이용하여 수치지도, DEM 및 정사영상 제작을 수행하였다. 수치지도 제작에 있어서는 정확도 비교를 위하여 PC 기반 수치사진측량시스템 뿐만 아니라 전문 수치도화기 및 해석도화기에 의한 도화도 실시하였다. DEM 제작에 있어서는 1200dpi 및 600dpi 영상을 이용하

여 영상정합에 의해 자동으로 DEM을(이후 자동 DEM이라 함) 제작하였으며, 이때 DEM의 격자 간격은 0.5m, 1m, 2m, 5m, 10m 등이 되도록 하였다. 정사영상은 원 영상의 해상도를 고려하여 1200dpi 영상에 대해서는 0.1m 격자간격으로, 600dpi 영상에 대해서는 0.2m 격자간격으로 제작하였으며, 앞서 제작된 모든 격자간격의 DEM을 각각 활용하여 제작하였다.

마지막으로 정확도 평가를 위하여, 수치지도 및 정사영상에 대해서는 대상지역에서 30개의 검사점을 선정하여 위치정확도를 평가하였으며, DEM에 대한 평가에 있어서는 해석도화기로 도화한 1/1,000 수치지도를 이용하여 편집 제작한 DEM을(이후 기준 DEM이라 함) 기준으로 하였다. 이상의 실험과정을 흐름도로 나타내면 그림 2와 같다.

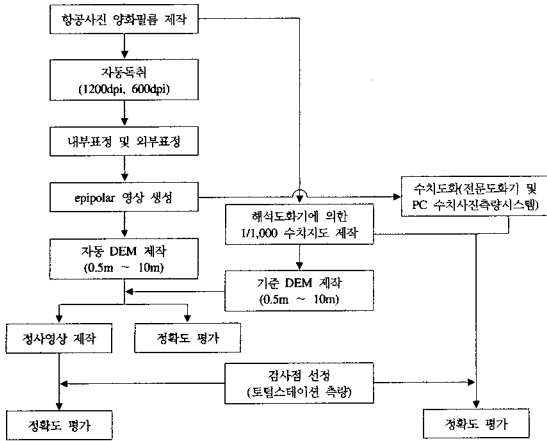


그림 2. 본 연구의 실험과정 흐름도

3. 수치지도 제작

3.1 수치지도 제작

PC 기반 수치사진측량시스템으로 VirtuZo 시스템을 사용하여 한경대학교 부지에 대한 도화작업을 직접 수행하였다. 도화작업은 기존 연구결과에 따라(이현직 등, 2000) 1200dpi 영상에 대해서만 실시하였으며, 표정과정을 거쳐 epipolar 영상을 생성한 후 NuVision 60GX LCD 입체안경으로 입체시하면서 마우스를 이용하여 도화를 하였다. 그 결과, 건물 및 도로, 경계선 등의 도화는 대부분 가능하였으나, 도화 경험이 전혀 없는 관계로 특정 표고를 따라 선을 그리는 등고선 삽입과정은 매우 어려웠으며 특히 나

무가 우거진 지형에서는 작업이 거의 불가능하였다. 즉 등고선 삽입은 고도의 숙련과정이 필요하여 일반 사용자의 도화 범주를 벗어남을 확인하고, 이에 대한 작업은 제외하였다. 이와 같이 제작된 도화 성과는 그림 3과 같다.

한편, 이러한 도화 성과를 현재 일반적으로 수행되고 있는 방법인 전문도화사에 의한 전문도화기를 사용한 수치도화 성과와 비교하기 위하여, 같은 영상을 전문도화사에게 의뢰하여 전문 수치도화기인 Intergraph사의 ImageStation2000으로 도화하였으며, 아울러 양화필름에 대해서도 Leica사의

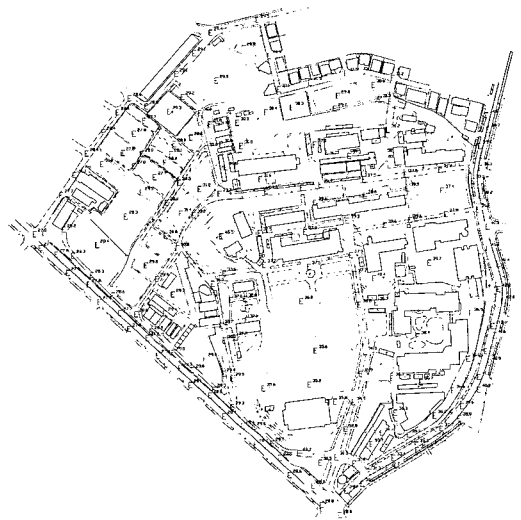


그림 4. 전문 수치도화기를 이용한 전문 도화

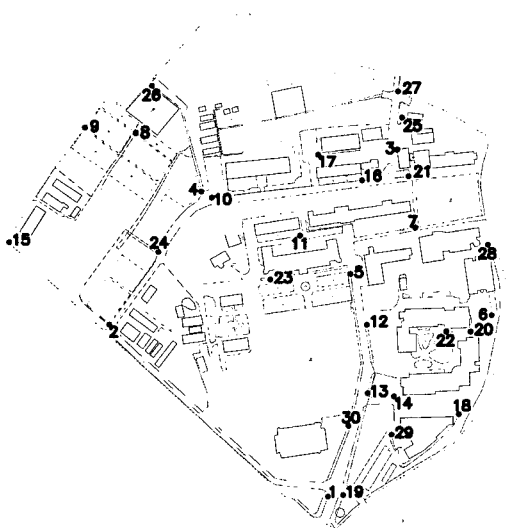


그림 3. PC 기반 수치사진측량시스템을 이용한 일반 도화

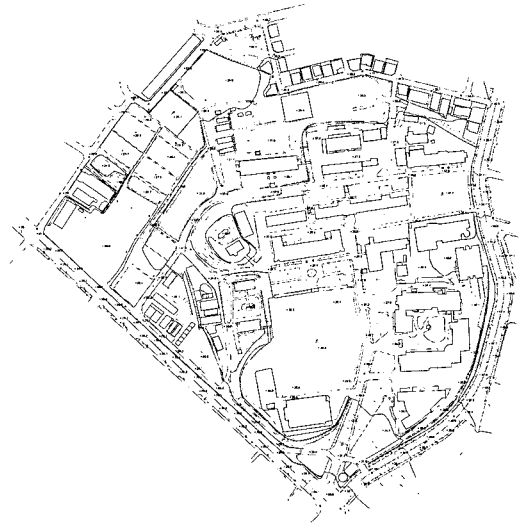


그림 5. 해석도화기를 이용한 전문 도화

SD2000 해석도화기로 전문 도화를 실시하였다. 그 결과는 그림 4, 5와 같다.

3.2 수치지도 정확도 평가

제작된 수치지도의 위치정확도를 평가하기 위하여 실험 대상지역 전반에 걸쳐 건물을 제외하고 비교적 항공사진에서 식별이 용이한 30개의 검사점을 선정하였으며, 각 검사점의 위치는 그림 3에 표시하였다. 이와 같이 검사점을 선정한 것은 추후 정사영상에 대한 정확도 평가시에도 같은 검사점을 사용하여 비교하기 위함이다. 검사점에 대

한 기준 좌표로는 기존 연구에서(박병욱 등, 2003) 수행되었던 토털스테이션에 의한 현황측량 결과를 활용하였다.

표 2에 검사점에 대하여 각 수치도화 결과의 정확도 평가 결과를 제시하였다. 수평위치에 대한 RMSE는 해석도화에 의한 성과가 $\pm 0.365\text{m}$ 로 가장 정확도가 좋게 나타나고 전반적으로 고른 오차분포를 나타냈다. 반면에 PC 기반 수치사진측량시스템 및 전문 수치도화기에 의한 도화 성과에서는 수평위치 0.8m 이상의 과대오차가 발생한 검사점의 수가 각각 3개 및 5개로 나타나 전체적인 정확도 저하를 가져왔으며, 또한 예상 외로 PC 기반 수치사진측

표 2. 각 수치도화 결과의 정확도 평가 (단위:m)

검사점	토털스테이션 측량 결과		PC 수치사진측량시스템			전문 수치도화기			해석도화기		
	X	Y	dX	dY	dXY	dX	dY	dXY	dX	dY	dXY
1	223432.352	389813.678	0.194	0.207	0.284	-0.048	0.039	0.062	-0.008	0.125	0.125
2	223209.436	389990.861	-0.218	-0.460	0.509	0.273	-0.069	0.282	0.106	0.202	0.228
3	223504.106	390170.246	0.304	-0.254	0.396	0.083	-0.470	0.477	0.109	-0.361	0.377
4	223304.100	390127.407	0.247	-0.013	0.247	0.164	0.215	0.270	-0.065	-0.089	0.110
5	223456.351	390041.947	0.053	-0.182	0.190	-0.344	0.374	0.508	-0.254	0.154	0.297
6	223600.197	389999.433	0.428	0.146	0.452	0.077	0.104	0.129	-0.014	-0.142	0.143
7	223522.729	390089.741	0.236	-0.227	0.327	0.041	0.024	0.048	-0.171	-0.172	0.243
8	223237.015	390187.198	-0.038	0.183	0.187	1.274	-0.078	1.276	0.193	-0.125	0.230
9	223185.540	390192.392	0.267	-0.269	0.379	0.264	0.340	0.430	-0.264	0.141	0.299
10	223314.423	390121.046	0.083	0.311	0.322	0.539	0.086	0.546	0.274	0.013	0.274
11	223405.027	390081.581	-0.005	-0.053	0.053	-0.230	0.002	0.230	-0.317	0.188	0.369
12	223472.950	389990.350	-0.066	-0.220	0.230	0.319	-0.819	0.879	-0.260	-0.395	0.473
13	223473.053	389920.078	0.173	-1.112	1.125	0.005	-0.873	0.873	0.160	-0.439	0.467
14	223500.502	389916.580	-0.557	-0.872	1.035	-0.503	-0.820	0.962	-0.404	-0.380	0.555
15	223107.647	390076.169	-0.505	-0.213	0.548	-0.381	-0.396	0.550	-0.221	0.066	0.231
16	223468.642	390137.866	0.270	0.370	0.458	0.400	-0.374	0.548	-0.434	0.312	0.535
17	223423.414	390164.930	-0.158	-0.306	0.344	-0.280	0.148	0.317	0.019	0.172	0.173
18	223566.778	389897.967	-0.046	0.310	0.313	-0.238	-0.134	0.273	-0.387	-0.296	0.487
19	223448.470	389815.882	-0.351	-0.521	0.628	-0.291	-0.659	0.720	-0.541	-0.465	0.713
20	223578.924	389982.264	-0.138	-0.306	0.336	-0.204	-0.176	0.269	-0.265	0.058	0.271
21	223515.592	390141.708	0.039	-0.040	0.056	0.048	-0.198	0.204	0.079	0.295	0.305
22	223554.026	389982.319	0.046	0.155	0.162	-0.647	-0.078	0.652	-0.375	0.142	0.401
23	223374.515	390036.898	-0.208	-0.201	0.289	-0.116	-0.263	0.287	-0.250	-0.157	0.295
24	223260.049	390065.625	-0.016	-0.170	0.171	0.280	-0.019	0.281	-0.022	-0.117	0.119
25	223509.209	390201.724	0.360	-0.276	0.454	-0.038	-0.223	0.226	0.154	-0.267	0.308
26	223254.069	390234.814	0.003	-0.200	0.200	-0.148	-0.097	0.177	-0.169	-0.048	0.176
27	223504.986	390227.696	-0.120	-0.480	0.495	0.238	0.148	0.280	0.252	0.246	0.352
28	223596.284	390071.858	-0.927	0.906	1.296	-0.965	-0.559	1.115	0.188	-0.323	0.374
29	223497.842	389877.048	-0.292	0.475	0.558	-0.066	0.171	0.183	-0.220	0.268	0.347
30	223453.696	389887.144	-0.132	-0.366	0.389	-0.193	-0.626	0.655	-0.145	-0.656	0.672
RMSE			± 0.292	± 0.410	± 0.503	± 0.398	± 0.383	± 0.552	± 0.248	± 0.268	± 0.365

량시스템을 이용한 일반 도화 성과가 전문 수치도화기를 이용한 전문 도화 성과보다 약간 좋은 결과를 나타냈다.

이로부터 항공사진영상을 사용하는 수치도화기의 성과에서는 양화필름을 사용하는 해석도화기의 성과보다 과대오차가 발생할 확률이 높다는 것을 알 수 있으며, 이는 컴퓨터 시스템으로 입체시를 하기 때문에 상의 별림에 의한 눈의 피로가 높기 때문으로 판단된다. 그러나 전반적으로 모든 도화 성과가 1/1,000 지도의 요구 정확도(도상 0.7mm)를 만족하였으며, 비속련자도 PC 기반 수치사진측량시스템을 사용하여 등고선을 제외한 지형 지물을 요구 정확도로 도화할 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 향후 민간 부문에서 항공사진영상과 저가의 PC 기반 수치사진측량시스템이 GIS 분야의 자료 수정 및 갱신에 적극적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

4. DEM 제작

4.1 수치사진측량시스템을 이용한 DEM 제작

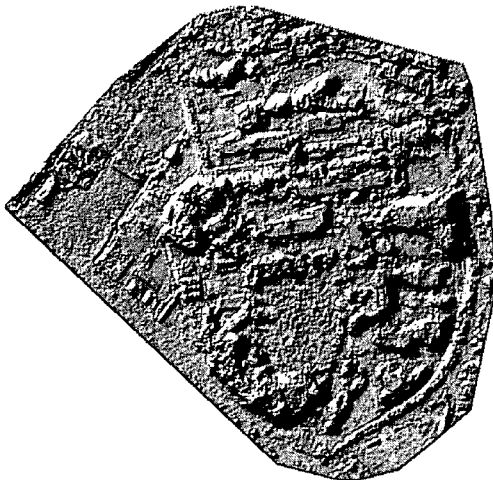
PC 기반 수치사진측량시스템을 이용한 DEM 제작에 있어서는 1200dpi 및 600dpi 영상을 모두 사용하였으며, epipolar 영상에 대해 영역기반의 상관계수를 이용한 영상 정합 방법으로 자동 DEM 제작을 수행하였다. 이때 자동 독취 해상도별 적정 격자간격의 파악 및 추후 정사영상 제작시 DEM 격자간격의 영향을 분석하기 위하여 DEM의 격자 간격을 0.5m, 1m, 2m, 5m, 10m 등이 되도록 하였다. 상관계수를 이용한 영상정합은 좌측영상의 임의화소에

대하여 그 화소를 중심으로 하는 윈도우를 바탕으로 우측영상에서 상관계수가 가장 큰 화소를 찾음으로써 이루어진다. 이때 윈도우의 크기는 보통 촬영된 사진상에서 0.25mm~0.5mm 정도의 크기가 되도록 하는 것이 적당하며, 대축 적일수록 윈도우 크기가 커야 한다. 따라서 본 연구에서는 윈도우의 크기가 사진상에서 약 0.5mm 정도가 되도록 1200dpi 영상에 대해서는 25×25 윈도우를, 600dpi 영상에 대해서는 13×13의 윈도우를 적용하였다.

한편 영상정합은 모든 화소에 대하여 실시하기 보다는 최소한 2화소 이상의 간격으로 실시하며, 제작하고자 하는 DEM의 격자간격보다 약간 좁은 간격으로 3차원 좌표가 계산될 수 있도록 선정하여야한다. 이에 따라, 600dpi 영상에 대한 0.5m 간격의 DEM 제작은 부적절하다고 판단되어 제외

표 3. 영상정합시 윈도우 크기 및 영상정합 간격

자동독취 해상도	DEM 격자간격	윈도우 크기	영상정합 간격
1200dpi	0.5m	25×25	3화소 단위
	1m		7화소 단위
	2m		13화소 단위
	5m		31화소 단위
	10m		63화소 단위
600dpi	1m	13×13	3화소 단위
	2m		7화소 단위
	5m		15화소 단위
	10m		31화소 단위



(a) 1200dpi 영상에 의한 DEM



(b) 600dpi 영상에 의한 DEM

그림 6. 자동독취 해상도별 1m 격자간격의 자동 DEM 비교도

하였다. 본 연구에서 적용한 영상정합시 간격은 표 3과 같다.

영상정합에 의하여 공액점이 결정되면 외부표정요소를 이용한 공간교차이론에 의하여 공액점의 3차원 좌표가 계산되며, 이 결과는 불규칙한 위치 분포를 나타내므로 이를 일정한 격자간격으로 보간함으로써 DEM을 제작한다. 그림 6은 대표적으로 1m 격자간격으로 제작한 자동 DEM의 음영기복도를 나타낸 것으로, 대체적으로 자동동

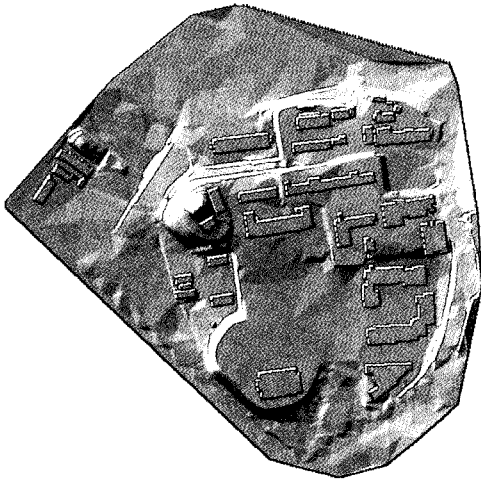


그림 7. 수치지도를 이용하여 제작한 1m 격자간격의 기준 DEM

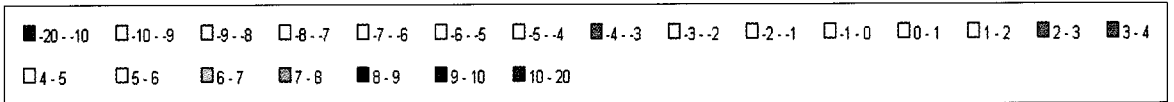
취 해상도에 따른 차이가 거의 없음을 알 수 있다.

4.2 수치지도를 이용한 기준 DEM 제작

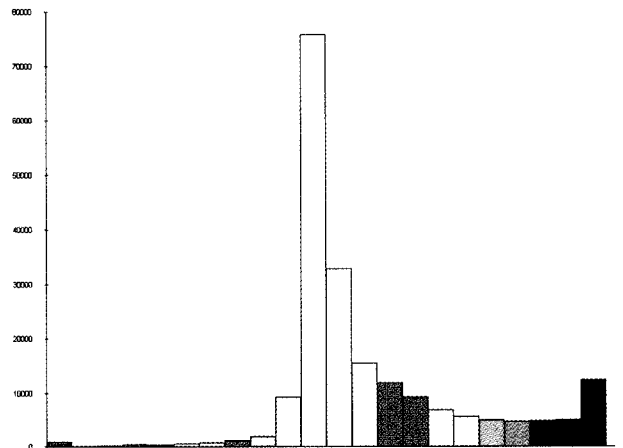
영상정합에 의해 자동 제작된 DEM의 정확도를 평가하기 위하여, 해석도화기로 도화한 1/1,000 수치지도에서(그림 5 참조) 등고선과 표고점을 추출하여 ArcView 소프트웨어상에서 TIN을 생성한 후 이로부터 격자간격 0.5m, 1m, 2m, 5m, 10m의 DEM을 제작하였다. 한편 영상정합에 의해 제작된 DEM은 수목 및 건물 등의 높이까지 포함한 표고를 나타내므로, 보다 정확한 평가를 위해서 별도로 수치지도에서 건물 레이어를 분리하여 폴리곤으로 변환한 후 테이블 작업으로 건물에 대한 DEM을 제작하여 합성함으로써 기준 DEM을 작성하였다. 그러나 수치도화시 외곽부분의 건물 도화가 누락되어 건물에 대한 DEM은 한경대학교 교내에 있는 건물만을 대상으로 하였다. 그림 7은 이와 같이 제작된 기준 DEM 중 대표적으로 1m 격자간격에 대한 것을 음영기복도 형태로 나타낸 것이다.

4.3 DEM 정확도 평가

자동 제작된 DEM의 정확도를 평가하기 위하여 자동 DEM과 기준 DEM의 차이를 나타내는 오차파일을 생성하고, 이에 대한 통계적 분석을 실시하였다. 그림 8은 1200dpi 영상을 이용하여 제작한 1m 격자간격의 자동



(a) 공간적 오차분포도



(b) 정량적 오차분포도

그림 8. 1200dpi 영상을 이용하여 제작한 1m 격자간격의 자동 DEM의 오차분포도

DEM을 기준 DEM과 비교하였을 때의 오차에 대한 공간적 분포도 및 정량적 분포도를 나타낸 것이다. 여기서 오차 범위 -10m~+10m는 1m 간격으로, 그 이상의 오차는 하나로 묶어 나타냈으며, 오차가 -1m~+1m 사이에 가장 많이 분포되어 있음을 알 수 있다. 그러나 비교적 큰 양(+)의 오차를 나타내는 녹색 계열의 부분도 많이 분포되어 있음을 볼 수 있는데, 이들의 공간적 분포를 보면 학교 부지내의 수목지역이나 부지 외곽의 주택지역임을 알 수 있었다. 이것은 기준 DEM 제작시 수목의 높이가 고려되지 못하였고, 또한 건물 DEM 제작시 부지 외곽의 주택이 누락되었기 때문이다. 한편, 비교적 큰 음(-)의 오차를 나타내는 노란색 계열은 상대적으로 적은 분포를 나타내며, 주로 부지내 건물 주변에서 급격한 높이 변화에 따른 사각지대 및 오정합에 의해 발생된 것으로 판단된다.

표 4에 모든 경우의 자동 DEM에 대하여 오차의 통계적 분석결과를 나타냈다. 전체적으로 볼 때 최소값은 -34.20m, 최대값은 40.85m로 오정합에 의해 매우 큰 오차가 발생한 지점도 있지만 이는 극소수에 불과하며, 평균값이 0.90m~2.10m로 양(+)의 값으로 나타난 것은 수목 및 부지 외곽 건물에 의한 영향인 것으로 판단된다. 모든 경우에서 RMSE가 ±4m 이상으로 비교적 크게 나타났지만, 이것 역시 수목 및 건물에 의한 영향이라고 할 수 있다. 가장 좋은 결과는 1200dpi의 영상으로 0.5m 격자간격의 DEM을 제작한 경우로 나타났으나, 1m 이상의 격자간격에 대해서는 1200dpi 보다 오히려 600dpi 영상에 의한 DEM 정확도가 더 좋게 나타났으며 그 차이는 크지 않음을 알 수 있다. 한편, 1200dpi 영상 및 600dpi 영상 모두 격자간격 2m까지는 격자간격이 증가함에 따라 RMSE가 소폭 증가하였으나, 그 이상의 격자간격에서는 RMSE가

오히려 감소한 것도 볼 수 있다.

결과적으로, 자동 DEM 제작에 있어서 자동독취 해상도 및 격자간격은 DEM의 정확도에 크게 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 따라서 DEM 제작만을 목적으로 하는 경우에는 작업의 효율성을 고려할 때 화일 크기가 작은 600dpi 영상을 사용하는 것이 바람직하고, 격자간격은 추후 사용목적에 따라 적절히 선택하면 될 것으로 판단된다.

5. 정사영상 제작

5.1 정사영상 제작

수치사진측량시스템에서는 항공사진영상 및 DEM을 이용하여 비교적 손쉽게 정사영상을 제작할 수 있으며, 이와 같이 제작된 정사영상은 수치지도와 중첩하여 사진지도로 활용할 수 있으므로 GIS분야에서 활용도가 매우 높다.

일반적으로 수치적 정사영상 제작은 출력 화일의 격자좌표계를 미리 설정하고 DEM과 외부표정요소를 이용한 공선조건식에 의해 원 영상을 보정하는 간접방식을 채택한다. 본 연구에서 정사영상 제작시 출력 화일의 격자간격은 원 영상의 해상도를 고려하여 1200dpi 영상에 대해서는 0.1m로, 600dpi 영상에 대해서는 0.2m로 하였다.

우선 각각의 원 영상에 대하여 다양한 격자간격의 기준 DEM을 이용하여 정사영상을 제작하고 이에 대한 수평위치 정확도 검증을 실시함으로써 원 영상의 해상도 및 DEM 격자간격의 영향을 분석하였다. 아울러 영상정합에 의해 자동 제작된 DEM을 이용한 정사영상도 제작하여 이를 기준 DEM에 의한 정사영상과 비교 평가하였다.

5.2 정사영상 정확도 평가

그림 9에 대표적으로 1200dpi 영상과 0.5m 격자간격의 기준 DEM을 이용하여 제작한 정사영상을 나타냈으며, 시각적 평가를 위하여 수치지도의 벡터도면을 중첩한 결과 거의 모든 부분에서 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

각각의 정사영상에 대하여 3.2절에서 사용된 30개의 동일 검사점을 이용하여 수평위치 정확도 평가를 실시하였다. 기준 DEM을 사용하였을 때와 자동 DEM을 사용하였을 때의 결과를 각각 표 5, 6에 나타냈으며, 그림 10은 이를 그래프로 정리한 것이다.

그림 10에서 보면 모든 경우에서 DEM의 격자간격이 커질수록 정사영상의 정확도가 저하되는 것으로 나타나

표 4. 자동 DEM의 통계적 오차 비교 (단위:m)

영상 해상도	격자간격	최소값	최대값	평균값	RMSE
1200dpi	0.5m	-33.00	27.78	0.90	±4.35
	1m	-34.20	32.43	1.87	±4.87
	2m	-30.60	28.48	2.12	±5.19
	5m	-25.10	27.58	1.71	±4.55
	10m	-28.10	26.60	1.23	±4.95
600dpi	1m	-32.80	40.85	1.51	±4.68
	2m	-31.60	30.51	1.71	±4.85
	5m	-23.50	29.03	1.51	±4.53
	10m	-29.30	26.53	0.92	±4.45

고는 있으나, 1200dpi 영상과 격자간격 5m 및 10m의 자동 DEM을 사용한 경우를 제외하고는 그 차이가 크지 않았으며, 600dpi 영상보다는 1200dpi 영상의 정확도가 훨씬 좋게 나타나 원 영상의 자동독취 해상도가 정사영상의 품질에 더 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

한편 정사영상의 정확도와 수치도화 결과의 정확도를 비교해보면, 1200dpi 영상을 이용하여 제작한 정사영상의 대부분이(10m 격자 자동 DEM 사용의 경우만 제외) 수치도화 중 가장 정확도가 좋은 해석도화 결과보다도 오히려 더 좋은 정확도를 보여주고 있다. 이것은 수치도화

에서는 지형 지물을 묘사할 때 순간적으로 도화사 개인의 판단에 의해 수평위치가 표현되기 때문에 우연오차가 발생할 수 있지만, 정사영상에서는 수학적으로 기복변위를 소거하여 자동으로 수평위치를 나타내므로 정사영상이 더 정확할 수 있다는 것을 의미하며, 향후 정사영상이 보다 폭 넓게 활용될 수 있음을 의미하는 결과로 판단된다.

전반적으로 모든 정사영상의 수평위치 오차가 $\pm 0.6m$ 이내로 나타나 모두 1/1,000의 정사영상지도로 활용할 수 있음을 알 수 있으나, 종이지도로의 출력시 양호한 인쇄 품질을 얻기 위해서는 1200dpi 영상으로는 1/1,000 정사영상지도를, 600dpi 영상에 대해서는 1/2,500 정사영상지도를 제작하는 것이 바람직할 것이다. 아울러 정사영상 제작을 위한 DEM의 격자간격은 작업의 효율성을 고려하면 5m 또는 10m 정도로 하여도 큰 무리가 없을 것으로 판단된다.

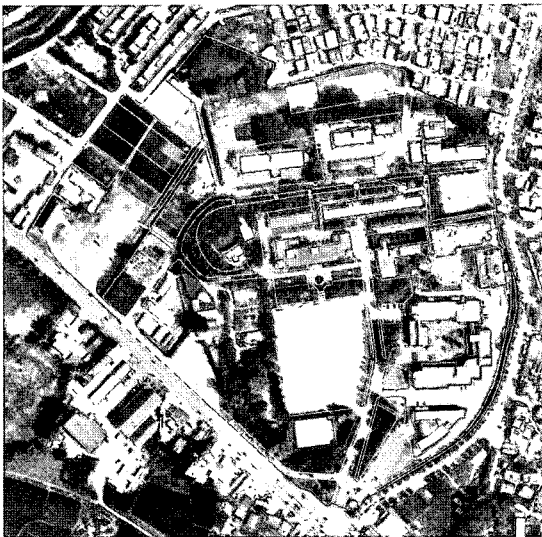


그림 9. 정사영상과 벡터도면 중첩(1200dpi 영상, 0.5m 기준 DEM 사용)

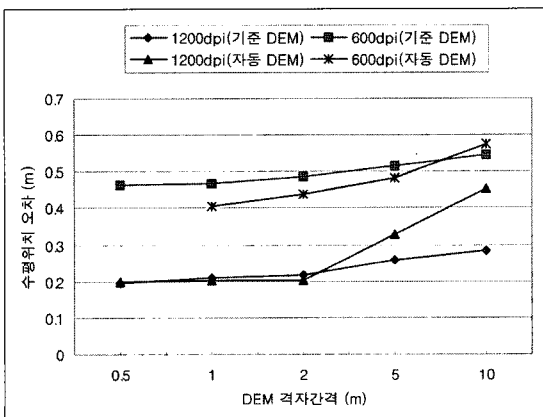


그림 10. 영상 해상도 및 DEM 종류에 따른 정사영상의 정확도 비교

표 5. 기준 DEM을 사용한 정사영상의 정확도 평가 (단위:m)

영상 해상도	DEM 격자간격	RMSE X	RMSE Y	RMSE XY
1200dpi	0.5m	± 0.106	± 0.166	± 0.197
	1m	± 0.123	± 0.171	± 0.210
	2m	± 0.157	± 0.153	± 0.219
	5m	± 0.187	± 0.179	± 0.259
	10m	± 0.206	± 0.196	± 0.285
600dpi	0.5m	± 0.418	± 0.203	± 0.464
	1m	± 0.423	± 0.203	± 0.469
	2m	± 0.437	± 0.217	± 0.488
	5m	± 0.439	± 0.271	± 0.515
	10m	± 0.462	± 0.289	± 0.545

표 6. 자동 DEM을 사용한 정사영상의 정확도 평가 (단위:m)

영상 해상도	DEM 격자간격	RMSE X	RMSE Y	RMSE XY
1200dpi	0.5m	± 0.104	± 0.169	± 0.198
	1m	± 0.103	± 0.172	± 0.201
	2m	± 0.111	± 0.170	± 0.203
	5m	± 0.176	± 0.275	± 0.327
	10m	± 0.300	± 0.342	± 0.455
600dpi	1m	± 0.350	± 0.206	± 0.406
	2m	± 0.390	± 0.199	± 0.438
	5m	± 0.431	± 0.217	± 0.483
	10m	± 0.467	± 0.338	± 0.576

또한 1200dpi 영상으로 10m 격자간격의 자동 DEM을 사용한 경우를 제외하면, 기존 DEM을 사용한 경우와 자동 DEM을 사용한 경우의 차이가 매우 작게 나타나 앞서 자동 DEM의 오차가 크게 발생한 원인이 주로 수목 및 건물 등의 영향이었음을 확인할 수 있었으며, 수치사진측량 시스템을 이용하여 정사영상을 제작할 때 건물에 대한 엄밀한 정보정까지 요구하지 않는 경우에는 굳이 별도로 수치지도로부터 DEM을 제작할 필요없이 자동으로 DEM을 제작하여 사용하는 것이 효율적일 것으로 판단된다.

6. 결 론

본 연구에서는 1/5,000 항공사진을 1200dpi와 600dpi로 자동독취한 영상에 대하여 저가의 PC 기반 수치사진측량시스템을 사용하여 수치지도, DEM, 정사영상 등의 제작을 수행하고 다양한 방법으로 정확도를 비교 평가함으로써 이의 활용방안을 모색하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 비숙련자가 PC 기반 수치사진측량시스템을 사용하여 1200dpi의 항공사진영상을 도화한 결과, 등고선 삽입은 불가능하였지만 이를 제외한 나머지 부분은 1/1,000 수준의 수치지도 제작 가능성을 나타냈다. 따라서 향후 민간 부문에서 항공사진영상과 저가의 PC 기반 수치사진측량시스템이 GIS 분야의 자료 수정 및 갱신에 적극적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 수치사진측량시스템을 이용한 자동 DEM 제작에 있어서 자동독취 해상도 및 격자간격은 DEM의 정확도에 크게 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다. 따라서 DEM 제작만을 목적으로 하는 경우에는 작업의 효율성을 고려할 때 파일 크기가 작은 600dpi 영상을 사용하는 것이 바람직하고, 격자간격은 추후 사용목적에 따라 적절히 선택하면 될 것으로 판단된다.

3. 정사영상의 제작에 있어서 DEM의 격자간격이 커질수록 정확도가 저하되지만 그 차이는 크지 않았으며, 600dpi 영상보다 1200dpi 영상의 정확도가 훨씬 좋게 나타나 원 영상의 자동독취 해상도가 정사영상의 품질에 더 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 아울러 정사영상 제작을 위한 DEM의 격자간격은 작업의 효율성을 고려하면 5m 또는 10m 정도로 하여도 큰 무리가 없을 것으로 판단된다.

4. 동일한 검사점에 대하여 정사영상과 수치지도 제작 결과를 비교한 결과 정사영상의 정확도가 수치지도보다 더 좋게 나타났다. 이는 도화사의 우연오차가 발생할 수 있는 수치도화보다 수학적으로 기복변위를 소거하는 정사영상의 정확도가 더 좋을 수 있음을 의미하며, 향후 보다 다양한 분야에서 정사영상이 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

한편, 이러한 결과들은 좁은 지역을 대상으로 검증하여 도출된 결과이므로 향후 보다 다양한 지형 조건에 대한 실험을 통하여 광범위한 검증이 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2003년도 한경대학교 교비 해외파견 연구비의 지원에 의한 것이며, 항공사진 자료제공 및 전문도화를 지원해 주신 (주)범아엔지니어링, 중앙항공(주), 안성시청에 감사드립니다.

참고문헌

- 김감래, 황보상원, 임건혁, 박세진 (2004), 항공사진에 의한 수변 구역 수치정사영상자동 제작에 관한 연구, 한국측량학회지, 제22권, 제4호, pp. 349-357.
- 박병옥 (1991), SPOT 위성데이터를 이용한 수치표고모델 생성에 관한 연구, 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 박병옥, 김상수, 최윤수, 차영수 (1999), 지적분야에서의 수치정사사진 활용방안에 관한 연구, 한국측지학회지, 제17권, 제3호, pp. 233-243.
- 박병옥, 이대근, 양경주 (2003), 시설물 현황도 작성을 위한 GPS와 토탈스테이션 측량의 적용 및 성과분석, 한국측량학회지, 제21권, 제4호, pp. 373-381.
- 안철호, 연상호, 박병옥, 이병길 (1992), 인공위성 데이터를 이용한 정사투영사진 제작에 관한 연구, 한국측지학회지, 제10권, 제1호, pp. 1-7.
- 유복모, 토니헝크 (2003), 현대 디지털 사진 측량학, 피어슨 에듀케이션 코리아, pp. 4-7.
- 이현직, 박경식, 구대성 (2002), 항공사진영상 데이터베이스의 활용방안, 대한토목학회논문집, 제22권, 제2-D호, pp. 313-321.
- 이현직, 이승호, 박홍기 (2000), 영상데이터베이스 구축을 위한 항공사진의 최적해상도, 한국지형공간정보학회논문집, 제8권, 제2호, pp. 89-99.
- 이현직, 정수, 이승호 (1999), 수치사진측량시스템 환경에서의 수치지도의 수정 및 갱신, 한국측량학회지, 제17권, 제4호, pp. 359-372.

(접수일 2005. 8. 30, 심사일 2005. 9. 6, 심사완료일 2005. 9. 13)