

항공사진 이미지 데이터베이스 구축방안 연구

강영옥*, 안재영**, 김은모***

I. 서론

서울시를 비롯한 대도시지역에서는 무허가 건물 관리를 목적으로 대축척의 항공사진을 촬영해 왔다. 특히 서울시의 경우 항공사진 제작은 주택재개발과에서 1971년부터 1:5,000 축척으로 1년에 2번씩 제작해 왔으며 현재 약 10만매의 사진을 보유하고 있다. 항공사진은 대외비로 분류되어 활용이 매우 제한적이나 도시계획관련업무, 소송업무, 단속업무 등에 활용되고 있으며, 주기적 변동사항을 파악할 수 있는 귀중한 자료라 할 수 있다. 특히 국가지리정보체계 구축사업(NGIS)의 일환으로 제작하고 있는 1:1,000 수치지형도는 1:5,000 항공사진을 해석도화하여 벡터자료로 제작한 것으로 GIS 구축사업에 있어 우리보다 앞선 선진국에서는 이러한 항공사진에 위치정보를 넣고, 항공사진 기복변위를 제거한 정사사진 및 이를 수치 자료화한 수치정사사진을 제작·활용하고 있다. 이러한 수치정사사진은 일반지도와 같이 사진상에서의 면적, 거리의 계산이 용이하고, 벡터자료에 비해 현황에 대한 이해가 빠르며, 제작 및 갱신이 용이하여 GIS를 추진하는 외국에 있어 GIS의 기본데이터(framework data)로서 활용분야가 넓어지고 있다.

항공사진을 이용한 수치정사사진의 제작 및 활용이 활발한 것은 사실이나 기존에 촬영된 항공사진을 수치정사사진으로 제작하는 것이 기술적, 경제적으로 타당성이 있는가는 검토되어야 할 것이다. 즉 1:5,000의 대축척으로 제작되는 항공사진에 대해 과연 어떤 방법으로 제작되는 것이 바람직한 지에 대한 연구가 필요하다. 본 연구의 목적은 기존에 촬영된 항공사진 관리의 효율성을 제공하고, 항공사진을 1:1,000 수치지형도를 보완하는 하나의 자료층으로서 활용하며, 기존의 항공사진을 활용해 왔던 부서의 업무 효율성 증진을 위해 항공사진 구축방안을 모색해 보고자 한다.

항공사진을 이용한 이미지 데이터베이스 제작의 가능성을 점검해보기 위해 서울시 일부 실험지역에 대해 단계별로 항공사진 이미지데이터를 제작해 보았다. 항공사진 이미지 데이터의 제작은 서울시의 1:5,000 항공사진을 1,000dpi로 스캐닝한 후 항공사진에 위치만 보정한 데이터, 위치보정후 모자이크제작까지 한 데이터, 지형만을 대상으로 위치보정 및 편위수정한 수치정사사진, 건물높이까지 보정한 수치정사사진을 제작하였다. 위치보정 단계의 데이터 제작은 ERDAS Imagine 8.3 및 OrthoMAX, ERMapper 5.5를 이용하였으며, 수치정사사진 제작은 ERDAS Imagine 8.3 및 OrthoMAX, Leica SOCET SET을 사용하였다.¹⁾ 실험연구 대상지역은 종로구 종로 3·4가동, 중구 을지로 3·4·5가동, 충무로 4·5가동, 필동, 장충동 일부지역으로 하였으며, 1996년 11월에 촬영된 항공사진을 사용하였다.

* 서울시정개발연구원 지리정보연구센터 실장(Center for GIS, Seoul Development Institute, San 4-5, Yejang-Dong, Jung-Gu, Seoul 100-200, Korea, Tel:(02)726-1181)

** (주) 텐타인터랙티브 기술부 팀장 (Tel:(02)942-8996)

*** (주)지오원 연구원 (Tel:017-257-3508)

1) Leica SOCET SET을 이용한 수치정사사진의 제작은 (주)중앙항공의 협조를 받았다.

II. 수치정사사진의 개념 및 외국의 항공사진 및 수치정사사진 제공현황

1. 수치정사사진의 개념

항공사진의 이미지가 지도와 근본적으로 차이가 나는 것은 투영방식 때문이다. 지도는 정사투영인데 비해 사진은 렌즈의 중심을 통한 중심투영으로 투영의 중심점에서는 지도와 같이 정사의 형태를 띠지만 중심에서 멀어질수록 외곽으로 지형지물의 상이 높게 된다. 그리고 사진의 투영에서는 평행선이 어느 한 지점에서 만나게 되는데 지형의 기복이 없는 경우는 정사투영인 지도와 별차이가 없지만 지형의 기복이 있는 경우는 지도와 다르게 나타난다. 이렇게 지형의 기복에 따라서 이미지의 차이가 나타나는 것을 편위(displacement)라고 한다.

항공사진의 축척은 카메라의 초점거리와 비행기의 지상으로부터의 고도와 비율로서 정의된다. 사진상의 거의 모든 점에서 경사와 높이의 변화로 인하여 카메라 초점과의 거리가 다르게 되므로 모든 점들의 축척이 같지가 않다. 따라서, 항공사진은 영상 전체에 대하여 일정한 축척을 가지고 있지 않기 때문에 편위 제거 과정을 거치지 않는다면 특정 지물에 대하여 거리나 각도를 측정하는 것, 또는 정확한 위치를 추출하는 것에 사용되지 못한다. 이러한 항공사진은 위치좌표보정(Georeference)과 정사보정을 했는지에 따라 세 가지로 분류할 수 있는데, 그 관계는 다음의 <표 1>과 같다.

<표 1> 보정유무에 따른 사진영상의 종류

	Georeferenced	Orthorectified
Uncontrolled images	×	×
Semi-controlled images	○	×
Fully controlled images	○	○

출처: URISA, 1997, *Digital Orthophotos: Mapping with Desktop Software*, Workshop Manual

이렇게 항공사진상에 나타나는 편위를 제거함으로써, 사진상에 나타나는 상이 일반지도에서 보는 것처럼 사진상의 모든 점에서 축척이 일정하도록 만든 사진을 정사사진(Orthophoto)이라 하며, 이 사진을 컴퓨터에서 사용이 가능한 데이터로 만든 것을 수치정사사진(Digital Orthophoto)이라 한다.

2. 외국의 항공사진 및 수치정사사진 제공현황 비교

국내에서 국가지리정보체계 구축사업(NGIS)으로 제공하고 있는 데이터인 1:1,000 및 1:5,000 수치지형도 및 각종 주제도는 모두 벡터자료이나 외국의 경우 항공사진, 수치정사사진 그리고 인공위성 영상등 래스터데이터 또한 국가에서 제공하는 프레임워크 데이터로서 중요한 정보가 되고 있다.²⁾ 미국에서는 항공사진, 수치정사사진 등을 제작하여 보급하고 있으며, 호주에서는 항공사진과 모자이크한 정사사진을 제작하여 보급하고는 있지만 아직까지

는 수치정사사진을 제작하여 보급하지는 않고 있다. 일본의 경우 항공사진이나 항공사진과 벡터자료를 혼합한 사진지도는 제공되고 있으나 정사사진은 아직까지 제공하지 않는 것으로 나타났다. 미국의 경우 수치정사영상은 GIS를 활용하는 여러 업무에서 하나의 기본자료층으로서 널리 활용되고 있으며, 우리나라에서는 청주시에서 도시종합정보시스템 구축시 항공사진의 위치보정후 모자이크를 작성하고 이를 다시 1:1,000 수치지형도 도곽크기에 맞게 재단하여 도시계획 업무에 활용하고 있다.

III. 위치만을 보정시킨 항공사진 이미지 데이터 제작

위치만을 보정시킨 항공사진 이미지 데이터의 제작은 작업과정상으로는 항공사진 획득→양화필름스캐닝→표정(수평기준점만 입력)→영상의 지형보정→모자이크 제작의 단계를 거치게 된다. 위치보정 과정만을 거친 항공사진 데이터는 항공사진 이미지에 지상좌표계를 입력시키기 때문에 지상좌표와 연관시켜 볼 수는 있으나 항공사진 자체가 중심투영방법이기 때문에 생기는 방사왜곡이나 기복변위는 제거되지 않아 사진의 중심에서는 상이 위에서 본 것처럼 나타나지만 사진의 외곽으로 갈수록 지형지물이 바깥으로 높을 현상이 나타나게 된다. 위치만을 보정시킨 항공사진 이미지 데이터 제작시 중요요소는 지상기준점(Ground Control Point)의 선정과 지형보정방법의 선택, 그리고 위치보정된 항공사진의 모자이크를 어떻게 제작하는 가이다.

1. 지상기준점의 선정

본 연구에서는 항공사진 양화필름 스캐닝 자료를 1:1,000 수치지형도와 중첩하여 사용한다 는 가정하에 항공사진상에서 지상기준점을 잡는 위치와 선정방법에 대하여 살펴보았다. 대상이 되는 항공사진은 1996년 11월에 촬영된 33코스 14번, 15번, 16번 사진을 이용하였다. 33코스 14번 지역은 도심부의 건물이 밀집된 지역이며, 15번 지역은 도심의 建物密集地域과 남산이 혼재하는 지역, 그리고 16번 지역은 남산이 사진의 2/3이상을 차지하는 지역이다.

일반적으로 지상기준점은 사진 한 장 전체에 걸쳐 골고루 분포하는 것이 좋으며, 지상기준점을 잡는 위치는 1:1,000 수치지형도 데이터로부터 지상좌표값을 취득하여 이미지에 등록하여야 하기때문에 이미지상에서 경계가 뚜렷이 나타날 수 있는 부분을 기준으로 하며, 고층 건물의 경우 사진 외곽에서 높을 현상이 나타나기 때문에 가능한 바닥을 기준으로 하여 선정하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다. 지상기준점은 대개 도로시설물(횡단보도, 주·정차 금지구역 등)이나, 건물모서리 등을 선정하였다. 사진 중심부근에 건물이 밀집되어 건물의 바닥모서리가 보이지 않을 경우에는 건물지붕 모서리를 기준으로 지상기준점을 선정하였고, 고저차가 심한 구릉지역이나 산악지역에서는 고저차를 가장 최소화 할 수 있는 지표면 근처에 지상기준점을 선정하였다.

2) 프레임워크 데이터의 개념 및 국가별 프레임워크 데이터 유형에 대해서는 강영욱(1998) 참조

2. 지형보정방법의 선택

지상기준점을 선택하여 입력한 후에는 스캐닝된 영상을 지도좌표계를 갖는 영상으로서의 지형보정과정을 거치게 된다. 이 과정에서의 영상변환은 크게 2가지 단계를 고려해 볼 수 있다. 첫 번째는 어떠한 변환방법을 사용할 것인가와 두 번째는 몇 차원의 방정식을 선택할 것인가의 문제이다.

1) 지형보정방법의 선택

지형보정의 방법으로는 영상을 회전(rotation)하는 방법, 영상전체에 대해 알고있는 지도 좌표계로 변환시키는 Map to Map Transformation 방법, 그리고 지상기준점을 입력하여 변환하는 Control Point Rectification 방법이 있다.³⁾ 이러한 방법 가운데 본 연구에서 사용할 수 있는 방법은 Control Point Rectification 방법이며, 이 방법은 크게 Polynominal Rectification 과 Delauny Triangle(Triangulation) Rectification으로 분류된다. Polynominal 변환은 좌표계를 모르거나 좌표가 없는 이미지를 알고 있는 투영으로 변환할 때 사용되며, Georeferencing, Geocoding 이라고도 한다. Polynominal 변환은 흔히 Polynominal Warping 이라고도 하며 전체적인 이미지의 왜곡을 줄여주지만 지역적 왜곡을 해결하진 못한다. 반면 Triangulation 변환은 스캐닝된 이미지에서 흔히 발생하는 이미지의 왜곡을 줄이는데 사용하기 때문에, 스캐닝하여 생성된 이미지의 지역적 왜곡을 줄이는데 주로 사용된다. 따라서 본 연구에서는 지상기준점 선정에 의해 전체 영상에 대한 지형보정을 수행하여야 하기 때문에 Polynominal Rectification 방법을 사용하였다.

2) 변환 방정식의 선택

지형보정방법을 선택한 후 변환방정식에 있어 선형변환(1차원)을 할 것인지 비선형변환(2차원 이상)을 할 것인지를 선택할 수 있다. 차원의 선택은 이론적으로는 1차원에서 10차원 이상의 이미지 변환차원이 있을 수 있으나, ER-Mapper에서는 linear(1차원), quadrangle(2차원), cubic(3차원) 변환방정식의 선택이 가능하며, 디폴트로 제공되는 것은 1차원 변환이다. 선형변환이란 단순히 축적 변경이나 회전만을 요구하는 경우이며 변환방정식은 선형방정식(1차원 방정식)이 된다. 이미지를 지도투영에 맞추는 변환과정은 일반적으로 스케일 변화와 이미지 좌표를 지도투영에 맞추는 것을 포함한다.

3) RMS error를 기준으로 한 지상기준점 개수와 지형보정방정식의 선택

지상기준점 선정, 그리고 변환방법의 선택문제를 생각하면서 고려되어야 할 사항은 위치보정된 영상에서 위치정확도 향상을 위해 지상기준점의 개수는 얼마를 할 것이며, 변환방정식은 몇 차원을 선택 할 것인가의 문제이다. 이 문제에 있어 얻고자 하는 해답은 이미지상에서 뚜렷이 판단할 수 있는 픽셀의 위치가 위치보정과정을 거친 후에도 입력한 지상좌표값을 갖게 되는 것이 가장 좋으며, 위치보정후 평균 제공근 오차의 값이 작게 나올수록, 다시 말

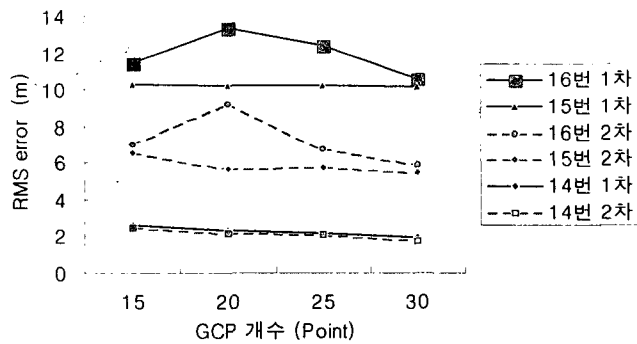
3) ER-mapper 5.0 Reference(1995), pp 388-389.

해 점들의 RMS error가 작게 나올수록 좋은 것으로 판단할 수 있다. 본 연구에서 항공사진 1장당 지상기준점은 15개로부터 5개씩 증가시켜 30개까지 선정해보았으며, 변환방정식은 1차와 2차 방정식을 각각 적용하여 보았다. 항공사진 1장당 RMS error를 구한 결과는 <표 2>, <그림 1>과 같다.

<표 2> 사진 1장당 RMS error

<단위 m>

항공사진	변환방정식	기준점의 개수(point)			
		15	20	25	30
33코스 14번	1차	2.61	2.31	2.14	1.97
	2차	2.50	2.20	2.08	1.77
33코스 15번	1차	10.30	10.25	10.24	10.15
	2차	6.51	5.66	5.72	5.47
33코스 16번	1차	11.46	13.34	12.43	10.56
	2차	7.03	9.18	6.72	5.84



<그림 1> 그래프로 본 RMS error

지상기준점 개수에 따른 RMS error의 변화는 일반적으로 지상기준점 개수를 늘릴수록 RMS error는 작아지는 것으로 나타났으나 사진상에 산악지역이 포함된 지역의 경우 지상기준점 개수를 늘릴수록 RMS error가 감소되지 않는 것으로 나타났다. 그러나 모든 경우에 지상기준점의 개수가 30개일 경우 RMS error 값이 작게 나타났음을 알 수 있고, 1차 방정식 보다는 2차 방정식으로 변환 했을때가 RMS error가 더 작게 나타났다. 33코스 14번 사진이 15번 사진이나 16번 사진보다 RMS error가 작은 것은 산악지역이 포함된 15번, 16번 사진보다 고저차에 따른 기본변위(起伏變位)량이 작기 때문인 것으로 생각된다. 기복변위는 중심투영으로 인한 항공사진 피사체의 고저차가 있을 경우에 사진상의 기하학적 왜곡으로 이미지 상에 거리의 오차가 생기기 때문에 발생한다. 고저차가 심한지역에서는 기본적으로 고저차에 따른 기복변위를 가지기 때문에 산악지역이 많은 지역은 평지보다 이미지 보정후에도 영상의 RMS error가 크게 된다.

변환방정식 선택에 따른 RMS error의 차이는 <표 3>과 같다. 33코스 14번 사진은 비교적 평탄한 지역이고, 33코스 15번 사진은 남산지역과 도시밀집지역이 혼재한 지역이며, 33코

스 16번 사진은 산악지역이 넓은 지역이다. 평탄한 지역에서는 1차 변환방정식과 2차 변환방정식 적용에 따른 RMS error의 차이가 20cm 이하로 나타났지만 산악이 포함된 지역에서는 보통 3~5m의 RMS error의 차이를 나타냈다. 평탄지역에서는 1차나 2차 변환방정식에 따른 RMS error의 차이가 심하지 않지만, 산악이 포함된 지역에서는 2차 변환방정식을 선택하는 것이 RMS error를 크게 줄일 수 있는 것으로 판단되었다.

<표 3> 변환방정식별(1차와 2차간) RMS error (단위 m)

	15point	20point	25point	30point
33코스 14번	0.9	0.11	0.6	0.20
33코스 15번	3.79	4.59	4.52	4.68
33코스 16번	4.43	4.16	5.71	4.72

결론적으로 지상기준점을 선정하여 위치보정한 항공사진 이미지를 제작할 때는 항공사진 1매당 30개 이상의 지상기준점과 Polynomial Rectification 방법에 의한 2차 변환방정식을 사용하는 것이 효과적인 것으로 나타났다. 지상기준점 개수를 30개로 정하고 Polynomial Rectification 방법에 의한 2차 변환방정식으로 위치보정한 후 지상기준점들의 RMS error를 살펴보면 14번 항공사진에서는 1.77m, 15번 항공사진에서는 5.47m, 16번 항공사진에서는 5.84m로 나타났다. 이것은 위치보정된 항공사진과 1:1,000 수치지형도를 중첩하는 경우 사진상의 이미지와 백터자료간의 차이가 평균적으로 14번, 15번, 16번 항공사진에서 각각 1.77m, 5.47m, 5.84m로 나타날 수 있다는 것을 의미한다. 측량학적으로 지도상에서 0.3~0.4mm의 허용오차를 갖는다고 보았을 때 1:1,000 수치지형도는 지상거리 30~40cm의 허용오차가 있다고 보게 되는데 이러한 기준에 따르면 14번 사진의 경우는 1:5,000정도의 수평정확도, 15번, 16번 사진의 경우는 1:15,000정도의 수평정확도를 갖는다고 볼 수 있다. 그러나 지상기준점을 선정하여 위치보정만 한 항공사진은 항공사진 특성상 중심으로부터 외곽으로 갈수록 변위가 심해지기 때문에 RMS error 값도 항공사진 1장에서 전체적으로 균일하게 나타나는 것이 아니라 중심으로부터 외곽으로 갈수록 더 크게 나타났다.

3. MOSAIC 제작

항공사진 모자이크는 대규모 지역에 연속적인 자료를 만들기 위해 필요하다. 특히 항공사진 제공에 있어 위치보정만을 하여 제공하는 경우 항공사진이 갖고 있는 편위 때문에 사진의 중심에서 외곽으로 갈수록 상이 늙는 현상이 발생하는데 모자이크 작업시 이러한 현상을 최소화하도록 작업하는 것이 필요하다. 항공사진은 촬영진행 방향으로 60%, 입체코스간 30%의 중복도를 갖도록 제작되기 때문에 모자이크시 사진의 중심부분을 중심으로 작업을 하는 것이 효율적이라 할 수 있다. 이러한 중복도의 개념을 중심으로 항공사진 한 장당 최소로 중첩시켜 사용할 수 있는 부분은 항공사진 한 장의 크기를 약 230mm × 230mm라 할 때 약 92mm × 161mm정도로 전체면적의 약 28% 정도를 사용하게 된다.

그러나 실제 항공사진을 중복을만을 고려하여 사진을 잘라서 모자이크 제작을 하게 되면 사진

경계부분의 상이 잘 맞지 않게 된다. 이러한 현상을 피하기 위해 한 장의 사진에서 사용되는 부분은 최소중복되는 부분을 기준으로 하고 사진간의 접합부분은 도로나 하천등 사진상에서 음영의 대조나 기복변위가 심하지 않은 부분이 되도록 하는 것이 바람직하다.⁴⁾ 즉, 위치보정만 시킨 항공사진을 이용하여 모자이크를 제작하는 경우 항공사진 한 장당 최소 중복되는 부분을 기준으로 하여 그 주변의 도로구획 등을 중심으로 항공사진을 cutting한 후, 이 cutting된 항공사진에 지상기준점을 선정한 후 모자이크를 제작하도록 하며, 접합부분에 대해 지상기준점을 조밀하게 잡아주면 건물 간의 불일치 등으로 인한 像의 왜곡을 보정할 수 있다.

모자이크영상 제공을 전제로 하여 항공사진의 위치정확도를 계산할 때는 앞에서 기술한 항공사진 한 장당 RMS error와는 달라질 수 있다. 즉, 항공사진 외곽부분에서 왜곡이 크기 때문에 필요한 중심부분에 지상기준점을 고루 분포하게 한 후 위치보정 후 RMS error를 산출하면 사진전체를 대상으로 산출한 것보다 정확도가 향상될 수 있다. 항공사진 최소중복도를 고려하여 모자이크 될 지역을 대상으로 30개의 지상기준점과 Polynomial 변환에 의한 2차 방정식을 적용하여 위치보정한 후 사진 한 장당 RMS error를 산출한 결과는 <표 4>와 같다. 사진 한 장 전체를 대상으로 RMS error를 산출한 결과와 비교해 보면 산악이 포함된 15번 사진에서는 RMS error가 최고 절반이하로 낮아진 것을 볼 수 있다. 모자이크 될 부분의 위치정확도는 14번 사진(평탄지역)과 15번 사진의 경우 1/4,000~1/5,000, 16번 사진의 경우 1/7,000~1/9,000의 위치정확도를 갖는다고 볼 수 있어서 전체적으로는 평탄한 지역은 1/5,000, 산악이 포함된 지역은 1/10,000 정도의 위치정확도를 갖는다고 볼 수 있다.

<표 4> 항공사진 전체지역과 모자이크부분의 RMS error 비교 (단위:m)

	14번 사진	15번 사진	16번 사진
모자이크부분	1.40	1.90	3.04
사진 한 장 전체	1.77	5.47	5.84

IV. 수치정사사진 제작

수치정사사진의 제작은 항공사진 획득→양화필름 스캐닝→지상기준점 획득→표정→수치표고모델(DEM) 생성→수치표고모델 편집→모자이크 제작의 단계를 거치게 된다. 이러한 일반적인 과정 가운데 수치표고모델 편집과정은 지형을 대상으로 보정하는 경우와 건물마다의 높이를 고려하여 보정하는 단계로 나뉘 볼 수 있다. 본 연구에서와 같이 대축척의 항공사진을 이용하여 수치정사사진을 제작하는 경우에 건물마다 생기는 break line을 처리하지 않으면 영상이 찌그러지는 현상이 발생하기 때문에 대축척의 항공사진을 이용하여 고층빌딩이 많은 지역의 수치정사사진을 제작하는 경우 건물마다의 DEM을 수정하는 작업이 필요하다.

4) 측량학에서는 기존에 밀착인화지에 현상한 항공사진을 이용하여 모자이크를 만드는 법을 집성법이라 부르며, 어떤 지역의 개괄적 상황을 보기위한 항공사진지도 작성에 사용해 왔다. 집성법을 이용한 항공사진지도 작성은 지형의 고저, 기복의 유무, 사진 경사의 여하, 혹은 코스마다 비행고도가 다소 달라짐에 따라 생기는 오차등이 심하지 않은 경우에 사용해 왔으며, 집성법을 실시할 때의 중요 사항은 첫째, 사진을 붙여 나갈 때 지면의 기복, 사진의 경사에 의한 오차로부터 오는 영향을 될 수 있는 대로 적게 하고, 둘째, 오차를 되도록 고르게 전면적으로 배포하며, 셋째, 축적적 정확성을 보충하기 위해서 되도록 많은 기준점을 모아서 이용하도록 권장하고 있다. (김시원의 공저, 1992, 측량학, 일조각)

1. 지상기준점 획득

본 연구에서 실험데이터 제작에 사용된 지상기준점들은 현지측량을 하지 않고, 서울시 1/1,000 수치지형도의 자료를 이용하여 사진과 수치지형도상에서 동일지점이라고 판단되는 곳을 선택하여 좌표값을 입력하였다. 지상기준점의 입력은 사진 2장으로 스테레오가 형성되는 모델에 수평 및 수직기준점의 값을 입력하여야 하는데, 지상기준점의 선정은 도로안전지대 라인, 횡단보도 라인, 도로중앙선과 정지선이 만나는 점, 화단경계의 꺾이는 부분, 옥탑헬기장 H표시 중앙, 횡단보도와 인도의 경계선이 만나는 부분 등을 사용하였으며, 이 부분의 수평값과 주위 표고점의 고도값을 이용하여 수평 및 높이값을 입력하고 모니터 상의 항공사진 이미지에 입력된 점의 위치를 표시하였다. 다음 단계로 두 사진간의 연결점 역할을 하는 Tie Point를 입력해야 하는데, Tie Point의 선정도 지상기준점과 같이 도로상에 표시된 교통지시선이나 횡단보도의 모서리 부분, 도로와 인도의 경계가 이루는 변곡점 부분 등 이미지상에서 구분이 쉬운 곳을 선정하였다.

2. 표정

표정(orientation)은 확실하지 않은 값으로부터 구하고자 하는 가장 정확한 값을 구하는 단계적인 해석 및 작업을 말한다. 사진측량에서는 사진기와 사진촬영시의 주위사정으로 인해 엄밀한 수직사진을 얻을 수 없다. 따라서, 촬영점의 위치나 사진기의 경사 및 사진의 축척 등을 구하여 촬영시의 사진기와 대상물좌표계와의 관계를 재현하는 것을 사진의 표정이라 한다. 표정은 사진의 단위에 따라 한 장의 사진만을 이용하여 해석하기 위한 단사진표정(orientation of single photography)과 2장 이상의 사진을 중복 촬영하여 3차원좌표(X, Y, Z)를 얻기 위한 입체사진표정 또는 중복사진표정(orientation of stereo photography)으로 대별된다. 그리고, 표정의 처리에는 기계적 방법(analogue method)과 해석적 방법(analytical or digital method)이 있으며, 표정의 종별은 내부표정(inner orientation)과 외부표정(exterior orientation)이 있으며, 외부표정은 크게 상호표정(relative orientation), 접합표정(successive orientation)과 절대표정(또는 대지표정; absolute orientation)으로 세분된다.

3. 수치표고모델(DEM) 생성

3차원 모델링이 완료되고 나면, 입체영상에서 기하학적 조건, 모델결과 등을 고려하여 입체매칭을 통해 수치자료를 생성한다. 자동상관매칭의 기본원리는 두 영상의 일정부분을 서로 비교하여 유사성을 측정하고 상관계수를 이용하여 동일한 점을 결정하는 영역적 매칭기법과 두 영상에서 유사한 선형성분을 추출하여 동일한 영상점의 위치를 결정하는 특징적 매칭기법으로 구분된다. 자동상관매칭에 의해 수치자료를 생성하기 위해서는 먼저 표정요소데이터 파일과 영상을 복원하여, 영상관독과 최적화 조건에 따른 수치자료추출 영역을 결정하여야 한다. 또한, 수치자료의 생성간격과 결과물이 저장될 파일의 이름 및 격자간격의 단위, 범위 및 매칭 파라미터 등에 대한 자료가 입력되어 제작되며, 표고모델의 격자는 남북과 동서의

선을 기준으로 격자간격으로 생성된다.

내부표정과 항공삼각측량이 성공적으로 수행되면 입체모델이 형성되며, 형성된 입체모델에서 DEM 간격을 결정하여 DEM을 추출하는데, 본 연구에서는 1m 간격으로 수치표고모델을 추출하였다. 이렇게 추출된 수치표고모델을 편집하지 않고 수치정사사진제작에 이용하게 되면 이미지가 물결치는 듯하게 나타나게 된다. 이러한 현상이 발생하는 이유는 수치표고모델이 1m 격자간격대로 3차원 좌표값을 생성하기 때문에 이미지상에서 격자간격과 일치하지 않는 부분에 해당하는 값에 대한 정보는 존재하지 않기 때문이다. 즉, 각 화소는 격자간격에 따라 건물의 높이값 또는 지형높이값을 갖게 되므로 건물외곽선이 정연하게 나타나는 것이 아니라, 격자간격에 따라 톱니처럼 상이 형성되어 찌그러지는 현상이 나타나게 되는 것이다. (<그림 2>)

4. 수치표고모델(DEM) 편집

<그림 2>처럼 이미지가 찌그러지는 현상을 제거하기 위해서는 추출된 DEM에 대한 편집 과정을 거쳐야 한다. 이러한 이미지의 왜곡현상은 고층빌딩이 많은 도시지역의 경우에 더욱 심하게 나타나는데, 건물 외곽선에 따른 표고의 break line을 일정한 격자간격대로 형성한 수치표고모델로는 나타내기 어렵기 때문이다. 수치표고모델의 편집은 실제지형의 나대지를 기준으로 보정하는 단계와 지형을 보정해 준 후에 건물높이값까지 보정해 주는 단계가 있다.



<그림 2> 편집하지 않은 DEM을 이용해 제작한 수치정사사진



<그림 3> 건물높이를 보정한 수치지정사사진

1) 지형만을 보정하는 단계

지형만을 보정해 주는 단계는 입체모델에서 추출한 수치표고모델 값을 건물의 밑부분, 즉, 도로나 평지가 갖는 수치표고모델 값에 맞춰 건물 윗부분이 갖는 수치표고모델 값을 낮춰주는 단계이다. 이러한 수치표고모델편집은 편집을 하고자 하는 지역을 다각형 형태로 선정하면 되는데, 다각형 내에 있는 수치표고모델 값들이 선정된 점을 기준으로 편집이 된다. 편집시 선정된 점 사이의 지형기복이 심한 지역은 피하는 것이 좋으며, 어쩔수 없이 선택해야 하는 경우에는 기준이 되는 수치표고모델 값을 조밀하게 선택하는 것이 좋다. 이와 같이 주변의 지형에 맞게 수치표고모델 값을 편집한 후에 수치정사사진을 제작하게 되면 나대지나 도로 등을 기준으로 지형만을 보정한 수치정사사진이 되는 것이다.

이렇게 지형만을 보정시킨 수치정사사진은 수치표고모델의 편집과정을 거치지 않고 제작된 정사이미지와 비교했을 때, 지형에 대해서 수치표고모델값을 보정함으로써 기복변위를 제거시킨 상태이므로 이미지가 찌그러지는 현상이 없어지게 된다. 지형만을 보정시킨 정사사진에서는 이미지의 왜곡현상은 없어졌으나, 고층건물의 경우 위에서 본 것 같은 정사이미지는 아니며 누워있는 형상을 볼 수 있다. 지형만을 보정한 수치정사사진에 1:1,000 수치지형도를 중첩하면 정사이미지와 건물의 윗부분이 일치하지 않는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상은 주변 지형의 높이값을 기준으로 단지 높은 건물의 높이값을 낮추어 이미지의 왜곡현상을 줄일 뿐, 건물의 기울기까지는 제거되지 않았기 때문이다.

2) 건물 높이값까지 보정하는 단계

건물 높이값까지 보정하는 단계는 기울어진 건물까지 세운 수치정사사진을 제작하는 단계로서, 건물마다 발생하는 기복변위의 제거를 위해 건물외곽선을 따라 실제 건물높이값으로 DEM을 편집해 주어야 한다. 건물높이값에 대한 데이터는 SOCET SET에서 수치도화하여 구할 수도 있고, 1:1,000 수치지형도 해석도화 과정에서 생긴 표고데이터를 이용할 수도 있다. 본 연구에서는 작업의 편이상 1:1,000 수치지형도 해석도화시에 생성된 건물의 높이데이터를 이용하였다. 여기에서 건물 높이값을 가지고 있는 해석도화 데이터는 3차원 성과가 정확하게 표현되어 있어야 하며, 건물은 폴리곤의 형태로 만들어져 있어야 한다.

건물높이를 반영한 수치정사사진의 제작은 지형지물을 실제 위치에 나타나게 하기 위해서 지형을 대상으로 편집한 수치표고데이터를 이용하고, 건물의 기울기를 제거하기 위하여 3차원 해석도화 데이터를 이용하여 고층건물이나 고가도로, 지형기복이 심한 곳의 기울어져 있던 건물이나 다른 지형지물을 완전하게 세우게 된다. 그리고, 입체모델을 형성하는 사진 2장 중에 한쪽 사진에서 감춰진 영역은 다른쪽 영상을 이용하여 가장 적합한 영상의 영역을 찾아 한 장의 정확한 수치정사사진을 만들게 된다. 실험연구 대상지역에 대해 3차원 해석도화 데이터를 이용하여 건물높이값까지 보정시킨 수치정사사진을 제작한 것은 <그림 3>에 나타나 있다. 이와 같이 원래의 항공사진으로부터 기복변위와 건물의 기울기를 제거하면, 사진상의 지형지물은 상호위치가 지형도와 동일하게 된다. 따라서, 사진상에서 거리, 각도, 면적, 위치 및 좌표에 대한 정보를 얻을 수 있다.

5. 모자이크 제작

생성된 입체모델 전부를 수치정사사진으로 제작하지 않고, 작업의 효율성을 위해 도로선을 따라 모델을 여러 개로 나눠서 수치정사사진을 제작하였다. 이렇게 여러 개로 만들어진 수치정사사진을 모자이크하여 실험대상지역에 대한 수치정사사진을 제작하였다.

6. 수치정사사진 제작에 있어서 문제점

본 연구에서 서울시에서 보유하고 있는 항공사진을 이용하여 수치정사사진을 제작해 본 결과 여러 가지 문제점이 도출되었다. 첫째, 현재 항공사진은 1/5,000의 대축척으로 제작되며 광각카메라를 사용하기 때문에 항공사진 외곽부근에 건물이 높은 현상이 심하며, 특히 고층빌딩이 많은 도시지역의 경우 고층빌딩이 누워서 그림자가 지는 경우 좌·우 양쪽사진의 이미지를 합성하여도 영상이 나타나지 않고 검은색으로 처리가 된다는 점이다. 둘째, 현재 항공사진은 1/5,000으로 제작되는데 이렇게 대축척의 항공사진을 이용하여 수치정사사진을 제작하는 경우에는 건물마다의 break line을 처리해야 하며, 이를 위해서는 건물외곽선마다 도화작업을 하여 높이값을 보정해주는 과정이 필요하다는 점이다. 이렇게 건물마다의 도화작업은 많은 노력과 시간이 소요되며, 숙련된 노동력이 필요하다.

본 연구에서는 건물의 높이값을 부여하기 위해 수치도화를 하지 않고, 서울시 1/1,000 수치지형도 제작과정에서 만들어진 해석도화 데이터를 이용하였는데, 해석도화 당시 부분별로 각각의 건물들이 하나로 묶여서 제작되거나 건물 위와 멀리 떨어진 담이 하나로 제작, 또는 건물의 가장자리를 정확히 도화하지 않는 등의 문제점이 발견되었다. 이와 같이 건물이 겹치거나 끊어져 있는 등의 3차원 도화데이터를 편집하고 수정하는데 많은 시간이 소요되었으며, 이러한 도화데이터가 최종적으로 수치정사사진 제작 성과물에도 영향을 미쳤다.

V. 항공사진 데이터 구축의 기본방향

항공사진의 제공 및 활용을 위해서는 보안의 문제가 선결되어야 할 과제라 볼 수 있다. 그러나 현재 서울시 내부적으로는 공문처리에 의해 관계부서에서 항공사진을 대출하여 사용하고 있으며, 항공사진 보안에 관한 규정은 여러 가지 측면에서 완화될 가능성이 많다는 전제하에 항공사진 이미지 데이터를 어떻게 구축하는 것이 효율적인 지를 고려해 보고자 한다. 항공사진 이미지 데이터 구축에 대해서는 수요자의 요구사항, 경제적 문제, 기술적 문제 등이 고려되어야 할 것으로 판단되며, 항공사진 데이터 구축 대안별 데이터정확도 및 기술적 문제점, 구축시 소요예산에 대한 내역은 <표 5>와 같다. 항공사진의 이미지 데이터 구축에 대해서는 과거의 항공사진에 대해서는 스캐닝하여 관리하며, 수치정사사진을 제작할 수 있는 여건이 형성될 때까지는 위치만을 보정한 후 제공하거나 위치보정 및 모자이크 제작후 1:1,000 수치지형도 도곽크기대로 분할하여 제공하는 것이 현실적인 대안으로 판단되었다.

<표 5> 항공사진 제공대안별 데이터 정확도 및 기술적 문제점

대안 유형	내 용	데이터 정확도(m) (RMS error)	문제점	소요예산 (천원)
1	스캐닝 하여 제공	-	수치지형도와 중첩해서 사용하기 위해서는 사용자가 직접 위치보정을 해야 함.	106,237
2	위치보정 후 제공	평탄지역: 1.77 산악지역: 5.84	중심 투영된 항공사진의 특성상 정확도가 불균일 소규모지역만 수치지형도와 중첩사용 가능	279,623
3	위치보정 및 모자이크 제작 후 제공	평탄지역: 1.40 산악지역: 3.04	중심 투영된 항공사진의 특성상 정확도가 불균일 접합부분의 영상에 왜곡이 있을 수 있음	497,997
4	수치정사사진으로 제공	평면정확도: 1	기술적으로 기존의 주택재개발과에서 보유하고 있는 항공사진을 이용하여 정사사진을 제작하는 경우 고층 건물에 의한 그림자 문제, DEM 데이터의 생성 및 편집과정에 많은 비용과 시간이 소모되며 숙련된 노동력이 필요함.	3,987,571

- * 데이터의 정확도는 대안2와 대안3의 경우, ER-Mapper를 사용하였으며, 변환은 polynomial 변환과 2차 변화방정식을 이용하였으며, GCP 수는 30 POINT 기준으로 하였음. 대안4는 SOCET SET으로 시정개발연구원에서 실험한 것을 기준으로 하였음.
- ** 소요예산은 항공사진 평균 1회 촬영시 발생하는 1,800매를 기준으로 산출
- *** 소요예산의 산정기준은 유니섹스에서 청주시의 항공사진 모자이크 제작시(디지털 형태) 산출한 기초, 항공사진 측량에 관련된 정밀사진 모자이크 제작시 표준품셈(98, 한국항공), 중앙항공에서 실험지역 수치정사사진 제작시 산출한 기초, 그리고 서울시정개발연구원에서 ER-Mapper와 ERDAS를 이용하여 위치보정 및 수치정사사진을 제작한 것을 기준으로 하여 산출하였음

VI. 결론

본 연구에서는 서울시 중구 일부 실험지역에 대하여 서울시의 1:5,000 항공사진을 1,000 dpi로 스캐닝한후 항공사진 1매당 위치보정하는 단계, 위치보정 및 모자이크 제작까지 수행하는 단계, 수치정사사진으로 제작하는 단계등 단계별 항공사진 이미지 데이터를 제작해 보고 이에 대한 기술적, 경제적 가능성 및 각 제작단계별 항공사진 이미지 데이터의 정확도를 점검해 보았다. 항공사진은 수치정사사진으로 제작하는 것이 가장 바람직한 것으로 판단되나, 기존의 광각카메라를 이용하여 촬영한 항공사진을 이용하여 수치정사사진을 제작하는 데에는 고층건물에 의한 그림자 문제, DEM 데이터의 생성 및 편집과정에 많은 비용과 시간이 소모되며 숙련된 노동력이 필요한 문제등이 나타났다. 항공사진 이미지 데이터의 구축에 대해 과거의 항공사진에 대해서는 스캐닝하여 관리하며, 수치정사사진을 제작할 수 있는 여건이 형성될 때까지는 위치만을 보정한 후 제공하거나 위치보정 및 모자이크 제작후 1:1,000 수치지형도 도곽크기대로 분할하여 제공하는 것이 현실적인 대안으로 판단되었다.

향후 대도시 지역의 수치정사사진 제작을 위해서는 현재와 같이 대축척의 광각카메라를 이용하여 촬영한 항공사진이 아닌 중축척정도의 항공사진으로서 보통각카메라를 이용하여 외곽부근에 늪는 현상이 덜하도록 촬영한 항공사진을 이용하여 제작하는 것이 기술적, 경제적으로 훨씬 경제적일 것으로 판단되었다. 이와 관련하여 대도시의 수요에 부합하며, 기술적

이고 경제적 측면에서 수치정사사진을 제작할 수 있는 항공사진 제작 및 관련기술에 대한 연구가 지속적으로 필요하며, 특히 1999년 말부터 출시된 고해상도 위성영상을 이용한 수치정사사진 제작에 대한 연구도 병행되어야 할 것으로 고려된다.

참고문헌

- 강영욱, 1998, 「항공사진을 이용한 수치정사사진 제작방안 연구」, 서울시정개발연구원
- 김성환, 1997, 「항공사진을 이용한 정사투영 사진지도 생성에 관한 연구」, 연세대학교 산업대학원, 토목공학전공, 석사학위 논문
- 박희주, 1987, 「항공사진측량에 의한 지형도제작의 정도에 관한 실험적 연구」, 서울대학교 대학원, 토목공학과 도시공학전공, 석사학위 논문
- 유복모, 1993, 「측량학」, 동명사.
- , 1995, 「측량학원론(Ⅰ)」, 박영사.
- 윤중성, 1991, 「PC와 저가의 Scanner를 이용한 정사투영사진 제작에 관한 연구」, 서울대학교 대학원, 토목공학과, 도시공학전공, 석사학위 논문
- 주현승, 1992, 「항공사진을 이용한 정사투영 사진지도에 관한 연구」, 연세대학교 대학원, 토목공학과, 석사학위 논문
- 캐드랜드, 1998, 「IMAGINE 기초과정」
- 한국전산원, 1998, 「수치지도 활용을 위한 영상데이터 구조 및 모델링에 관한 연구」
- American Society for Photogrammetry & Remote Sensing, 1996, *Digital Photogrammetry: An Addendum to the Manual of Photogrammetry*
- David P. Paine, 1981, *Aerial Photography and Image Interpretation for Resource Management*, John Wiley & Sons.
- Erdas, 1991, *ERDAS FIELD GUIDE*.
- ER-mapper, 1995, *ER-mapper 5.0 Reference*
- John R. Jensen, 1996, *Introductory Digital Image Processing*, Prentice Hall.
- Manzer, Gary, 1995, "Maximizing Digital Orthophoto," *GIS World*, December, 50-55.
- OEEPE, 1996, *OEEPE Workshop on the Application of Digital Photogrammetry Workstations*
- Paul R. Wolf, 1983, *Elements of Photogrammetry With Air Photo Interpretation and Remote Sensing*, McGraw-Hill Book Company.
- URISA, 1997, *Digital Orthophotos: Mapping with Desktop Software*, Workshop Manual
- http://edcwww.cr.usgs.gov/glis/hyper/order_info/prices
- http://edcwww.cr.usgs.gov/glis/hyper/guide/usgs_dco
- <http://mapping.usgs.gov/esic/aphowto.html>
- <http://www.auslig.gov.au/products/photos/photopr.html>
- <http://gis-mc.go.jp/english/maps/varieties/products/gsi-tizu-e.html>