

인터넷 항공영상의 왜곡보정과 실감적 3차원 건물 모델링

Correction of Geometric Distortion of Internet Aerial Imagery and Photo-Realistic 3D Building Modeling

이동천¹⁾
Lee, Dong-Cheon

Abstract

Many internet portals provide maps with spatial information services. Recently, various images including aerial, satellite, street view, and photo-realistic 3D city models are provided as well as maps. This study suggested a method for geometric correction of the panoramic aerial images in the internet portal and 3D building modeling using information which is available in the internet. The key of this study is to obtain all necessary data easily from internet without restrictions. Practically, the ground control coordinates could be available from geo-referenced internet maps, and stereo pairs of the aerial images and close-range photographs for photo-realistic object modeling are provided by the internet service. However, the ground control points are not suitable for accurate mapping. RMSE of the plotting was about 9 meters and reduced upto 4 meters after coordinate transformation. The proposed methods would be applicable to various applications of photo-realistic object modeling which do not require high accuracy.

Keywords : Internet Map Service, Distortion, 디지털라이징, 3D Building Modeling

초 록

국내외의 많은 인터넷 포털 사이트는 지도 및 공간정보 서비스를 제공하고 있으며, 최근에는 지도뿐만 아니라 항공 및 위성영상, 거리영상, 실감적 3차원 도시공간모델 등 다양한 영상정보를 함께 제공하고 있다. 본 연구에서는 인터넷 지도 서비스에서 제공하는 파노라마 항공영상에 발생하는 왜곡을 보정하고, 입체영상으로부터 수치도화를 수행하여 3차원 건물 모델링을 용이하게 수행하는 방법을 제안하였다. 본 논문은 누구나 쉽게 접할 수 있는 인터넷 지도로부터 기준점 좌표를 획득하고, 이를 이용하여 인터넷에서 제공하는 항공영상과 지상사진을 이용하여 실사 객체 모델링을 가능하게 하였다는데 의의를 두고 있다. 도화에 필요한 기준점과 같은 데이터들이 인터넷에서 획득한 자료라는 점을 감안하면 높은 정확도를 요구하는 경우에 적용하기에는 한계가 있다. 수치도화 RMSE는 약 9m 이며, 좌표변환식을 이용하여 4m 정도로 향상시킬 수 있었다. 그러므로 높은 정밀도가 요구되지 않는 분야에서는 영상과 필요한 데이터 획득에 제약을 받지 않고 지형지물들을 용이하게 실감적으로 모델링할 수 있는 장점이 있다.

핵심어 : 인터넷 지도 서비스, 영상왜곡, 수치도화, 3차원 건물 모델링

1. 서 론

사진측량은 공간정보 생성에 필요한 핵심기술로서 정밀 수치지형도 제작, 디지털 국토 구축, 실감적 객체 모델링 및 3차원 사이버 공간 생성, 정밀 품질검사, 수치표면 데이터 획득, 문화재 복원 등 다양한 분야에 활용되고 있

다. 이와 같이 높은 정확도가 요구되는 분야는 Calibration 정보가 제공되는 측용용 카메라로 촬영된 영상과 정밀측량에 의한 기준점 좌표 등 엄격한 규정에 따라야 한다. 그러나 사진측량은 이러한 고도의 전문성이 요구되는 분야뿐만 아니라, 보다 보편적이고 일반적인 다양한 분야에서 일반인들도 쉽게 활용할 수 있는 방안을 제공하는 것은

1) 정회원 · 세종대학교 지구정보공학과 교수(E-mail:dclee@sejong.ac.kr)

사진측량의 활용성 향상과 기술보급 측면에서 의의가 크다고 할 수 있다.

사진측량의 주요 목적은 입체사진의 시각화에 의한 3차원 공간정보의 효율적 획득과 지형지물의 재현 및 실감적 객체 모델링이다. 이는 여러 분야에서 요구되는 사항이며, 사진측량 기술의 필요성과 실제 적용이 세계적으로 확대되고 있다. 최근 사진측량 기술을 기반으로 개발된 Microsoft의 Photosynth는 인터넷을 통해서 비전문가들도 용이하게 사진측량 기법을 접하여 다양한 분야에 응용할 수 있는 대표적인 사례이다. 특히 국내외의 주요 인터넷 포털 사이트들은 지도 서비스와 더불어 경쟁적으로 항공 및 위성영상, 실사거리 영상 등을 제공하고 있으며, 지속적으로 고품질의 정보 공급을 위해 다양한 기술과 접목을 시도하고 있다. 그 결과 이전에는 일반인들은 접하기 어려운 고해상도 항공영상과 위치좌표 등을 인터넷 포털 사이트에서 시·공간적인 제약 없이 획득할 수 있게 되었다.

또한 비측정용 카메라를 이용한 사진측량 기법의 활용도 중요한 분야이다. 정수(2009)는 보급형 컴팩트 디지털 카메라를 사용한 근거리 사진측량에 의해 지형공간정보 분야에서 필요한 3차원 형상정보를 획득하는 방법을 제시하였고, 또한 일반 디지털 카메라의 내부표정요소를 6개월간 25회 검측하여 장기간의 내부표정요소의 안정성을 검증한 바 있다(정수, 2011). 윤부열 등(2009)은 경량 항공사진을 이용하여 남극 세종과학기지의 수치 지형도를 제작하고, 빙하의 후퇴 등 변화 분석을 수행하였다. 노명중 등(2011)은 3차원 및 2차원 비선형 변환 방법을 통한 GPS 등의 지상기준점 자료 없이 제작된 자유 입체 모자이크 영상의 절대좌표를 구하는 과정을 제안하였다. 전영재 등(2011)은 인터넷 포털 사이트의 지도 서비스에서 제공하는 파노라마 항공영상을 이용한 건물도화를 수행하여 포털 사이트에서 제공하는 항공영상의 사진측정학적 활용 가능성을 제시하였다.

본 논문은 획득하기 어려운 입체항공영상과 지상영상, 기준점 정보 등 필요한 데이터 모두를 인터넷상에서 얻어서 사용자가 원하는 지역의 건물을 3차원 도화하는 것이다. 최종적으로 건물의 지붕은 항공영상을 이용하고 건물의 옆면은 지상영상을 이용하여 실사 건물모델을 제시하였다. 연구에 사용한 항공영상은 업체가 가공 처리하여 인터넷을 통하여 파노라마 뷰를 제공하고 있으므로, 영상에서 왜곡이 크게 발생하고 카메라 Calibration 정보가 제공되지 않으므로 상대적으로 왜곡이 적은 영상의 중앙부

를 사용하였다. 그러나 on-the-fly 방사왜곡 보정을 수행하여 수치도화의 정확도 향상을 시도하였다.

원시 영상 데이터는 획득할 수 없으므로, 여러 위치에서 촬영한 항공영상들을 컴퓨터 모니터에 디스플레이하고 이를 화면 캡처한 중복 입체 영상을 사용하였다. 결과의 정확도 점검을 위해 수치지도와 비교 분석하였다. Calibration target을 사용할 수 없으며 영상의 투영 특성인 센서모델을 알 수 없으므로 일반적인 Calibration 방법에서 수행하는 것처럼 주점을 미지수로 하여 주점의 좌표를 계산하는 것은 불가능하다. 그러므로 좌표변환식을 이용하여 간접적으로 왜곡량과 영상의 투영 기하학적 특성을 파악하고 정확도를 분석하였다. 좌표변환식의 계수를 이용하면 도화결과를 보정할 수 있는 방법으로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

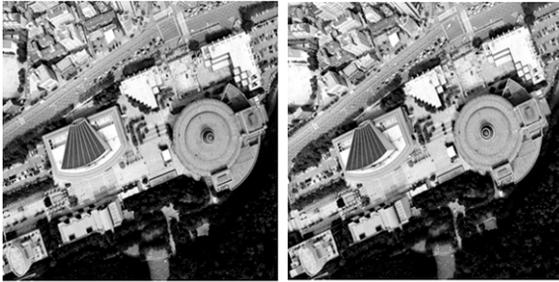
2. 항공영상과 기준점 데이터 획득

2.1 인터넷 항공영상

사용한 항공영상은 그림 1과 같이 인터넷 포털 사이트에서 제공하는 파노라마 항공영상이며, 촬영지역은 서울시 서초구 “예술의 전당” 부근이다. 경사를 조정하여 수직사진으로 하여 촬영지역을 선정하였다. 또한 3차원 도화는 입체영상이 요구되므로 그림 2에서 보여주는 것처럼 주변의 항공영상을 디스플레이하여 중복지역을 포함할 수 있는 좌우 입체영상을 모니터상에서 캡처하였으며, 그림 1에서 보여주는 것처럼 영상의 주변부는 왜곡이 심하기 때문에 중심 부분으로 영역을 한정하여 입체영상을 생성하였다. 영상의 특성은 표 1에 요약되어 있다.



그림 1. 파노라마 항공영상



(a)왼쪽 영상 (b)오른쪽 영상

그림 2. 수직 입체영상 생성

표 1. 영상의 특성

대상지역	서울 서초구 예술의 전당 부근
촬영면적	70m×45m
초점거리	62.77mm
촬영고도	2,500m
지상 해상도(GSD)	0.51m

2.2 지상기준점 좌표 획득

본 연구는 기하학적 정확도보다는 데이터 획득에서부터 결과 생성까지 편의성을 주요 측면으로 하고 있으므로 기준점 데이터도 인터넷상에서 획득하였다. 기준점 좌표는 해당지역을 Google Earth에 디스플레이하여 경위도 및 표고 좌표를 측정하고 이를 중부도원점을 원점으로 하는 평면직각좌표로 변환하였다.

지상기준점은 모니터상에서 측정 시 표고오차를 줄이기 위해서 지표면에 위치한 지점에서 6개를 획득하였다. 그림 3에서 보여주는 것처럼 지상기준점은 대상지역에 고르게 분포하고 있으며, 상호표정 수행 시 중시차를

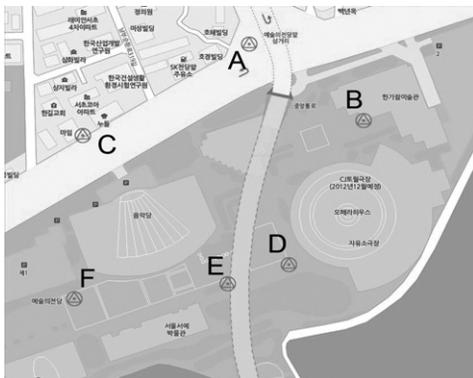


그림 3. 지상기준점의 위치

제거하기 위한 공액점으로 사용하였다. 즉, 모델좌표에 지상의 절대좌표를 부여하기 위한 직접표정(Direct Orientation)으로 상호표정과 절대표정을 동시에 수행하였다. 측정된 지상기준점 좌표는 표 2와 같다.

표 2. 지상기준점 좌표 (단위: m)

GCP	Easting	Northing	Elevation
A	201141.22	442365.23	56
B	201230.42	442293.72	61
C	200985.96	442278.27	60
D	201174.17	442154.98	76
E	201118.89	442139.25	76
F	200984.01	442115.80	73

정확한 지상기준점 좌표를 획득하는 것은 용이하지 않다. 그러나 인터넷 지도로부터 정확도는 낮지만 공간적 제약을 받지 않고 원하는 지점의 기준점 좌표를 쉽게 획득할 수 있는 것은 큰 장점이다.

3. 영상의 왜곡보정과 표정

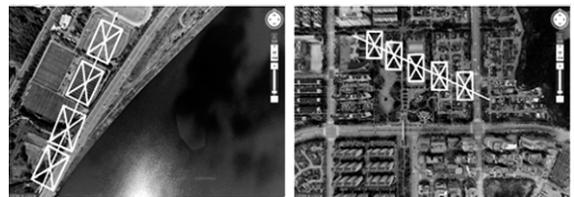
3.1 방사왜곡 보정

인터넷 지도 서비스의 항공영상은 초점거리와 주점, 렌즈왜곡 계수 등과 같은 내부표정 요소가 제공되지 않기 때문에 영상에 발생하는 왜곡을 보정하기 위한 별도의 과정을 수행해야 한다. 이를 위하여 on-the-fly 개념의 calibration 방법을 적용하였다.



(a) 수평방향

(b) 수직방향



(c) 상향 대각선방향

(d) 하향 대각선방향

그림 4. On-the-fly Calibration을 위한 대상물의 디지털라이징 결과

그림 4와 같이 주변의 항공영상들을 이용하여 수평, 수직 및 대각선의 4개 방향별로 스트립을 형성하고 기준이 되는 객체에 대하여 영상에서의 위치에 따른 변위를 계산하여 방사왜곡 계수를 결정하였다. 그림 4에서 보여주는 것처럼 스트립상에 위치하는 축구장을 기준 객체로 선정하고 각 방향에 대하여 왜곡량을 추정하는 방법이다.

대상물의 4개의 모서리점을 연결한 선의 교점으로 도심을 설정하고, 도심을 기준으로 대상물간의 거리를 측정하였다. 도심을 기준으로 각 대상물을 중첩시켜서 대상물의 네 개의 모서리에서의 좌표값의 변화를 계산하여 이를 왜곡량으로 취하였다. 방사왜곡은 식 (1)과 같이 다항식으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta r = K_1 + K_2r + K_3r^2 + K_4r^3 \quad (1)$$

여기서 Δr 은 방사왜곡량, K_1, K_2, K_3, K_4 는 왜곡계수, r 은 영상중심으로부터의 거리를 나타낸다. 영상중심으로부터 거리에 따른 방사왜곡량을 최소제곱법을 이용하여 최적함수를 결정하였다. 방사왜곡은 영상의 중심에서 대칭으로 발생하므로 중심에서 좌우방향에 따른 구분 없이 거리의 절대값을 취하여 1차, 2차 및 3차 다항식에 대하여 계수를 구하였다(그림 5, 표 3 참조). 왜곡량의 분포를 나타

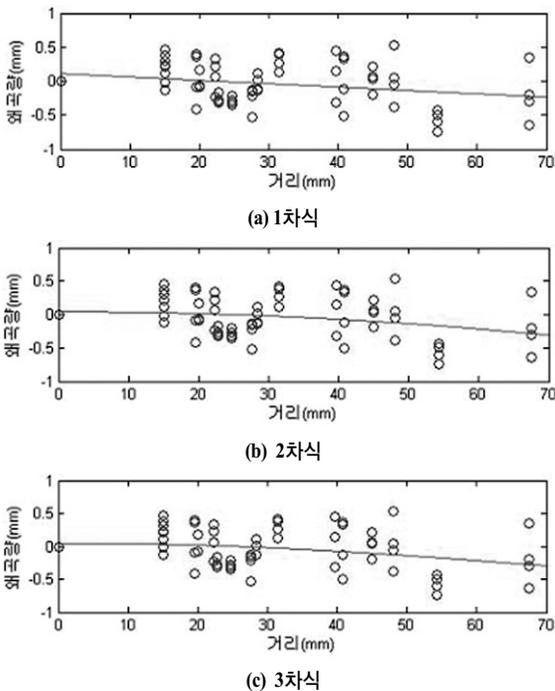


그림 5. 왜곡분포와 다항식 함수

내는 그림 5의 그래프에서 왜곡량은 투영중심으로부터의 거리에 따른 영향을 크게 받지 않고 평균 약 $\pm 0.24\text{mm}$ 로 거의 일정한 왜곡이 발생하였다.

연구에 사용한 영상의 왜곡량 분포에서 보여주는 것처럼 일반적인 항공사진에서 발생하는 방사왜곡의 형태와 다르다. 또한 왜곡보정 계수를 결정하기 위해 정확한 calibration target을 사용하지 않고 사진에 촬영된 대상물을 기준으로 on-the-fly로 측정하였으므로 방사왜곡을 정밀하게 보정하는 것은 한계가 있다.

표 3. 방사왜곡 함수의 계수

지역	1차식	2차식	3차식
K_1	0.1115	0.0450	0.0356
K_2	-0.0050	0.0001	0.0018
K_3	N/A	-0.00007	-0.0001
K_4	N/A	N/A	0.000001
RMSE (mm)	0.2884	0.2873	0.2872

최소제곱법으로 결정한 함수의 RMSE(평균제곱근오차)는 1차, 2차 및 3차 다항식에서 거의 동일하지만, 그 중 RMSE가 최소로 나타나는 3차 다항식의 계수를 이용하여 방사왜곡을 보정하였다.

3.2 직접표정에 의한 외부표정요소 결정

일반적으로 상호표정과 절대표정을 분리하여 순차적으로 수행하지만, 본 연구의 경우에는 입체모델 내에서 충분한 개수의 지상기준점을 획득할 수 있으므로 상호표정에서 중시차 제거를 위해 측정해야할 공역점 자체를 지

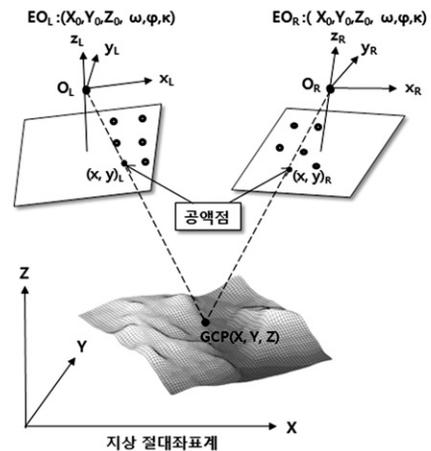


그림 6. 직접표정

상기준점으로 선택하는 직접표정(Direct orientation)을 수행하였다. 그러므로 상호표정에 의해 생성된 모델좌표계는 절대표정을 수행하지 않아도 절대좌표계와 동일하며, 사용되는 수식은 공선조건식에 기초하고 있다(그림 6, 식 (2) 참조)(Schenk, 1996).

$$x, y = f[(x_p, y_p, c); (X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \kappa)_L; (X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \kappa)_R; (X, Y, Z)_{1, \dots, n}] \quad (2)$$

여기서 x, y 는 사진좌표, x_p, y_p 는 주점의 좌표, c 는 초점거리, $(X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \kappa)_L$ 은 왼쪽사진의 외부표정 요소, $(X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \kappa)_R$ 은 오른쪽사진의 외부표정 요소이며, $(X, Y, Z)_1, \dots, n$ 은 기준점이다. 즉 상호표정 수행을 위한 종시차 방정식의 미지요소 5개(y 변위, z 변위 및 영상의 x, y, z 축 회전)와 절대표정 수행에 필요한 3차원 similarity 변환식의 미지요소 7개(3차원 좌표이동, 모델 회전각 및 축척)를 따로 계산할 필요 없이 외부표정을 직접 구할 수 있는 방법이 직접표정이다. 직접표정에 의한 외부표정 결과는 표 4에 요약되어 있다.

표 4. 계산된 외부표정 요소

표정요소	왼쪽 사진	오른쪽 사진
$X_0(m)$	200482.140	201802.563
$Y_0(m)$	442192.109	442243.986
$Z_0(m)$	3377.784	3440.912
ω (deg)	0.080	-0.842
ϕ (deg)	-10.875	11.564
κ (deg)	1.806	-1.530

외부표정 요소를 이용하여 다시 계산한 조정된 지상기준점 좌표와 인터넷 지도로부터 측정된 지상기준점 좌표와의 잔차를 계산하여 표 5와 표 6에서 보여주고 있다. 또한 그림 7에는 기준점 잔차의 범위를 시각적으로 보여주기 위하여 그래프로 표시하였다. 평면잔차의 RMSE는 4.002m이고, 높이잔차의 RMSE는 2.400m이다.

표 5. 조정된 지상기준점 좌표 (단위 : m)

GCP	Easting	Northing	Elevation
A	201142.852	442362.716	54.677
B	201233.663	442296.233	64.499
C	200987.652	442273.128	59.669
D	201173.780	442158.100	74.264
E	201117.017	442142.169	72.896
F	200979.740	442114.943	75.996

표 6. 지상기준점 좌표의 잔차와 RMSE (단위 : m)

GCP	ΔX	ΔY	평면 ($\Delta X^2 + \Delta Y^2$) ^{1/2}	높이 (ΔZ)
A	1.625	-2.522	3.000	-1.323
B	3.240	2.507	4.097	3.499
C	1.691	-5.151	5.421	-0.331
D	-0.399	3.115	3.140	-1.736
E	-1.882	2.915	3.470	-3.104
F	-4.275	-0.864	4.361	2.996
RMSE	2.516	3.112	4.002	2.400

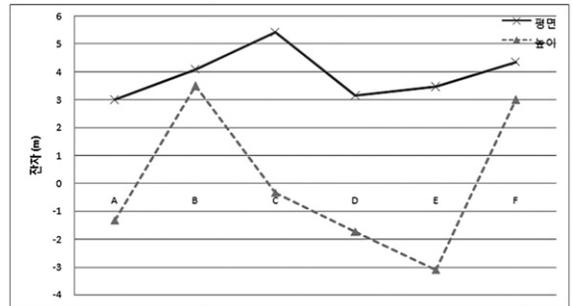


그림 7. 기준점 좌표의 잔차 분포

4. 3차원 수치도화

4.1 수치도화 결과

촬영지역인 “예술의 전당” 부근의 3차원 도화대상은 “오페라 하우스”, “음악당”, “서예 박물관”, “한가람 디자인 미술관”을 포함한 4개의 건물이다. Intergraph Imagestation 수치도화기(DPW)를 사용하여 3차원 도화를 수행하였으며, 방사왜곡 보정 전후의 도화결과를 축척 1:5,000 수치지도와 비교하였다(그림 8 참조). 수치지도에

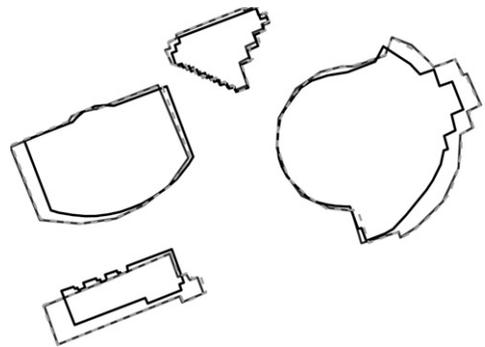


그림 8. 수치도화결과 (실선: 수치지도, 점선: 왜곡보정 전, 회색선: 왜곡보정 후)

묘사된 건물은 평면 좌표만 포함하고 있으므로 높이 좌표에 대한 정확도는 직접 산출할 수 없었다. 그러므로 도화 정확도와 수치지도와의 변환관계는 2차원 평면상에서 수행되었다.

그림 8에서 보여주는 것처럼 방사왜곡 보정 전후의 도화결과는 큰 차이가 없었으며, 수치지도와 비교해 보면 영상의 중심부에서는 왜곡량이 작지만, 주변부에서는 방사왜곡 성분이 여전히 남아 있음을 알 수 있다. 그러므로 좌표변환을 수행하여 도화결과와 수치지도 사이의 기하학적인 관계인 변위, 회전 및 축척변화를 구함으로써 도화결과를 보정하여 정확도를 향상시키는 데 간접적으로 사용할 수 있다.

비록 정확한 카메라 calibration을 수행할 수 없으며, 화면에서 캡처한 영상과 인터넷 지도 서비스의 부정확한 지상기준점 좌표를 사용하였지만, 정밀 항공측량에 의해 제작된 수치지도와 정확도를 비교 분석하는 것은 의의가 크다고 사료된다. 더 나아가 도화결과와 수치지도사이의 기하학적 관계를 규명하는 것도 중요하다. 그 이유는 인터넷에서 획득할 수 있는 항공영상과 기준점 데이터를 기반으로 객체를 3차원 도화할 경우 예상되는 정확도와 이를 향상시킬 수 있는 방안을 제시해 줄 수 있기 때문이다.

4.2 도화결과와 수치지도의 기하학적 관계

2차원 평면간의 관계를 결정할 수 있는 대표적인 수학적 모델은 등각 상사변환(Similarity), 부등각 상사변환(Affine), 투영변환(Projective) 등이다. 사용한 영상은 일반적인 렌즈왜곡과 다른 특성을 가지고 있으므로, 본 연구에서는 위와 같은 좌표변환식을 이용하여 도화결과와 정확도의 기준으로 설정한 수치지도 사이의 기하학적 관계를 규명하여 도화에서 발생한 오차의 특성을 파악하고 이를 감소시키는 것이 목적이다.

변환식의 변환계수를 구하기 위하여, 각 건물마다 4개의 코너점을 선택하여 총 16개의 점을 변환 기준점으로 설정하여 방사왜곡을 보정한 영상을 이용하여 도화한 좌표와 수치지도의 좌표를 이용하여 변환을 수행하고 정확도를 산정하였다. 공간상에서 좌표변환은 원점이동, 회전 및 축척 성분으로 구성되며, 변환 요소로부터 수치도화 결과 발생하는 오차를 추정하고 on-the-fly 왜곡보정에서 수정되지 않은 오차를 수정할 수 있다. Similarity, affine 및 projective 변환식은 식 (3), (4) 및 (5)와 같다(Schenk, 1996).

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}_{map} = \begin{bmatrix} a_{11} & -a_{21} \\ a_{21} & a_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}_{plot} + \begin{bmatrix} X_T \\ Y_T \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}_{map} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}_{plot} + \begin{bmatrix} X_T \\ Y_T \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$X_{map} = \frac{a_1 X_{plot} + a_2 Y_{plot} + a_3}{c_1 X_{plot} + c_2 Y_{plot} + 1} \quad (5)$$

$$Y_{map} = \frac{b_1 X_{plot} + b_2 Y_{plot} + b_3}{c_1 X_{plot} + c_2 Y_{plot} + 1}$$

여기서 $(X, Y)_{map}$ 과 $(X, Y)_{plot}$ 은 각각 수치지도와 도화좌표를 나타내고, 식 (3)과 식 (4)에서 X_T, Y_T 는 좌표이동, $a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22}$ 는 축척과 회전행렬의 성분을 나타낸다. 또한 그림 9에서 보여주는 것처럼 투영변환식 (5)의 a_1, \dots, c_2 는 3차원 공간에서 2차원 평면으로(본 연구에서는 항공사진과 수치지도)의 투영관계를 나타내는 요소이다. 각 요소는 식 (6)과 같이 정의되어 변환 관계를 물리적 및 기하학적 특성으로 설명하고 있다. 즉 투영변환식은 경사를 이루는 두 평면에 적용될 수 있으므로 편위수정에 사용된다(Salma, 1980).

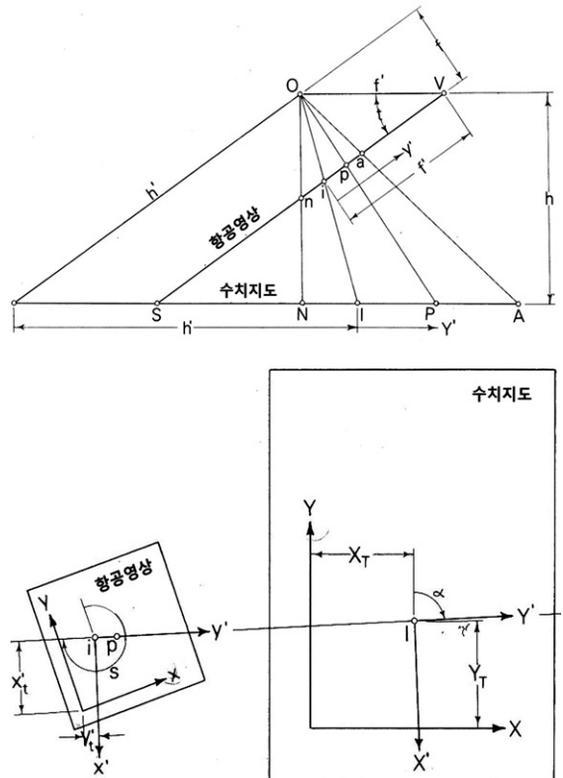


그림 9. 항공영상과 수치지도간의 투영변환 관계

$$\begin{aligned}
 s &= \tan^{-1}(a_4/b_4) \\
 X_T &= (a_4(a_1 - b_2) + b_4(a_2 + b_1)) / (a_4^2 + b_4^2) \\
 Y_T &= (a_4(a_2 + b_1) - b_4(a_1 - b_2)) / (a_4^2 + b_4^2) \\
 \tan(s - \alpha) &= \frac{a_4(a_4b_1 - b_4a_1) + b_4(a_4b_2 - b_4a_2)}{a_4(-a_4b_2 + b_4a_2) + b_4(a_4b_1 - b_4a_1)} \\
 x_i' &= \frac{(f' - y_i')}{h'}((d_1 - X_T)\cos\alpha - (d_2 - Y_T)\sin\alpha) \\
 y_i' &= \frac{(f' - y_i')}{h'}((d_1 - X_T)\sin\alpha - (d_2 - Y_T)\cos\alpha) \\
 f' &= (a_4^2 + b_4^2)^{-1/2} + y_i' \\
 h' &= (f' - y_i')^3(a_4(a_4b_1 - b_4a_1) + b_4(a_4b_2 - b_4a_2)) / \sin(s - \alpha)
 \end{aligned} \tag{6}$$

표 7은 방사왜곡 보정 전과 후에 대하여 각 변환식에 의해 계산된 변환계수를 보여주고 있다.

표 7. 방사왜곡 보정 전후의 변환식에 따른 변환계수

변환식	변환요소	보정 전	보정 후
Similarity	이동 (m)	$X_T = 5.031$ $Y_T = 15.528$	$X_T = 6.164$ $Y_T = 16.392$
	회전 (deg)	$\theta = 0.794$	$\theta = 0.842$
	축척	$S = 0.935$	$S = 0.934$
Affine	이동 (m)	$X_T = 6.358$ $Y_T = 12.458$	$X_T = 7.899$ $Y_T = 14.186$
	회전 및 비직교각 (deg)	$\theta = -0.669$ $\epsilon = 0.917$	$\theta = -0.433$ $\epsilon = 1.161$
	축척	$S_x = 0.927$ $S_y = 0.958$	$S_x = 0.930$ $S_y = 0.953$
Projective	이동 (m)	$x_i' = -451.539$ $y_i' = -353.368$ $X_i = 251.908$ $Y_i = 30.865$	$x_i' = -358.062$ $y_i' = -110.127$ $X_i = 294.083$ $Y_i = 12.704$
	회전 (deg)	$s = 29.584$ $\alpha = 35.067$	$s = 15.731$ $\alpha = 18.079$
	경사기선 (m)	$h' = 2151.185$ $f' = 4717.083$	$h' = 6240.881$ $f' = 8107.024$

서로 다른 좌표변환식을 적용하여 계산된 변환 요소를 기반으로 수치지도를 기준으로 도화시 발생한 왜곡에 대한 의미적 분석을 시도할 수 있었다. 이동은 대략 X축으로 5m-6m, Y축으로 6m-7m 정도 발생하였으며, 약 0.8도 미소량의 회전과 약 1도 비직교각이 발생하였다. 축척 변

화는 도화결과가 수치지도에 비해 약 1.09배(즉 0.935의 역수) 확대되었으며, affine 변환 결과에서 X축에 대한 축척변화는 약 0.93, Y축에 대한 축척변화는 약 0.95로 축척변화에 약간의 방향성이 있음을 알 수 있다. 이와 같은 축척변화는 원래 항공영상을 재배열하여 초광각 파노라마 형태로 변환되어 초점거리가 짧아졌기 때문으로 분석되었다.

연구지역의 4개 건물도화를 위해 총 88개의 점을 디지털 타이핑 하였으며, 좌표변환에 사용한 16개의 기준점을 제외한 디지털 타이핑 점들 중 수치지도상에서 식별이 확실하고 1대 1 대응이 가능한 28개의 도화점을 검사점으로 선택하여 좌표변환 수행 전후의 RMSE를 비교하였다(표 8 참조). 좌표변환 적용 전의 RMSE는 왜곡보정 유무와 크게 관계없이 9m 정도였지만, 좌표변환 후 RMSE는 약 4m 정도로 감소되었다. 방사왜곡보정 후의 경우에는 similarity의 경우 0.230m, affine의 경우 0.107m, projective의 경우에는 0.168m의 정확도가 향상되었다. 그러나 수치지도는 건물의 높이 좌표를 제공하지 않으므로 높이에 대한 정확도 평가는 하지 않았다.

표 8. 변환 전후의 RMSE (단위: m)

변환식 적용		방사왜곡 보정 전	방사왜곡 보정 후	정확도 향상
변환식 적용 전		9.094	9.027	0.067
변환식	Similarity	4.459	4.229	0.230
	Affine	4.164	4.057	0.107
	Projective	4.388	4.220	0.168

그림 10은 세 가지 변환식 중 RMSE가 가장 작은 affine 변환 계수를 도화결과에 적용하여 수치지도와 비교한 것

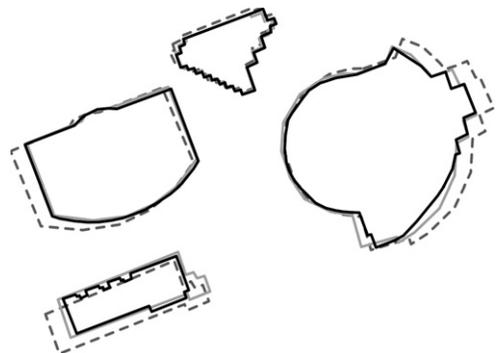


그림 10. 수치도화결과(실선: 수치지도, 점선: Affine 변환 전, 회색 실선: Affine 변환 후)

을 보여주고 있다. 변환 전의 결과인 점선과 변환 후의 결과인 실선을 비교해 보면 변환 계수 적용 후 수치지도에 근접함을 알 수 있다. 또한 이는 변환 전의 결과인 그림 8과 비교해 보면 확인 할 수 있다.

표 9는 국토지리정보원의 도화 축척별 정확도 기준을 보여주고 있다. 사용한 항공영상을 이용한 도화 성과의 평면 RMSE는 좌표변환식을 적용한 후 약 4m로 중축척 지도인 축척 1:25,000 수치지형도의 정확도 기준에 부합된다. 즉, 높은 정확도가 요구되는 대축척 수치도화에는 사용하기 부적합하고, 지상기준점 등의 부정확함으로 인해 일반적인 수치지도 제작에 사용하기에는 무리가 있지만, 본 연구의 결과는 축척 1:25,000 이하의 수치도화 정확도 기준에 준하는 수준이다.

표 9. 수치도화 정확도 기준 (단위: m)

도화 축척	표준편차			최대오차		
	평면	등고선	표고점	평면	등고선	표고점
1:1,000	0.2	0.3	0.15	0.4	0.6	0.3
1:5,000	1.0	1.0	0.5	2.0	2.0	1.0
1:25,000	5.0	3.0	1.5	10.0	5.0	2.5

4.3 3차원 실사 건물 모델링

실사 건물 모델링에 필요한 영상도 인터넷에서 획득하였다. 3차원 도화 데이터로부터 객체를 모델링하고, 객체의 표면에 실사 영상을 이용한 텍스처를 매핑하여 실감적인 3차원 건물모델을 생성하였다. 텍스처 매핑 시 건물의 상부는 도화에 사용한 인터넷 항공사진을 이용하였으며, 건물의 측면은 사용자가 인터넷에 업로드한 사진을 이용하였다. 3차원 모델링은 Google Earth의 Sketchup을 이용하였으며, 결과는 그림 11에서 보여주고 있다.

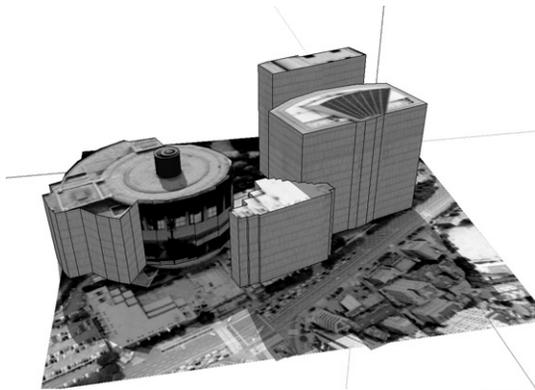


그림 11. 실사 영상으로 매핑한 3차원 건물 모델

4.4 결과 분석

인터넷 지도 서비스에서 제공하는 항공영상을 이용하여 내부표정과 직접표정을 수행한 후 3차원 도화한 결과, 카메라 왜곡은 제한된 객체를 대상으로 한 on-the-fly calibration에 의해 효과적으로 보정되지 않았다. 도화결과를 보면 방사왜곡 요소가 포함됨을 확인하여, 이를 보정하기 위한 간접적인 방법으로 도화결과와 수치지도간의 좌표 변환 계수를 산정하고 이를 적용한 후 RMSE를 계산한 결과 축척 1:25,000 수치지도의 정확도 기준을 만족하는 수준의 도화가 가능함을 알 수 있었다.

즉 카메라 calibration 정보와 정확한 기준점 좌표가 포함되어 있지 않으므로 간접적인 방법으로 약 25%의 정확도를 향상시킬 수 있었다. 카메라 왜곡보정은 촬영된 특정 대상을 기준으로 수행하였지만, 일반화된 방사 보정식을 적용하기 위해서는 더 많은 영상을 대상으로 왜곡의 특성을 분석하여 실험할 필요가 있다고 사료된다. 그러나 수치지도를 기준으로 다양한 좌표변환식을 적용하여 도화결과 발생한 오차의 특성을 파악하고 이를 감소시킬 수 있었다.

3가지 변환식을 적용한 결과 RMSE는 서로 크게 상이하지 않았지만, affine 변환식을 적용한 경우 상대적으로 다소 향상된 정확도를 얻을 수 있었다. 수치지도는 도화구정에 따라 지형지물에 대한 3차원 측정에 의해 작성되지만, 도화사의 주관적 판단에 의해 좌우될 수 있다. 또한, 도화 결과의 정확도 검증을 위해 사용한 수치지도를 제작하는데 사용한 항공영상과 본 연구에서 사용한 인터넷 항공영상은 해상도, 화질, 카메라의 종류 및 기하학적 특성 등이 서로 다르므로 수치지도상의 측정점과 수치도화 측정점이 1대1 대응 관계가 성립되지 않는 경우가 발생하여 정확한 정확도 산정에는 한계가 있다. 수치지도상의 점과 수치도화점이 서로 1대1 대응이 성립되지 않은 경우는 (1) 수치지도에는 존재하지만 도화결과와 비교했을 때 정확히 대응된다고 판단하기 어려운 점, (2) 수치지도에 존재하지 않고 도화수행시 측정된 점이다.

인터넷 항공영상은 원래 촬영한 여러 영상들을 가공 처리하여 광범위한 지역을 사용자가 볼 수 있도록 350도 파노라마 형태로 제공하고 있다. 이 과정에서 여러 형태의 기하학적 변형과 왜곡이 발생하고 영상 재배열(resampling)이 수행되어 정확한 센서모델을 정의하기 어렵다. 그 결과 원래 카메라의 초점거리가 유지되지 않고 불규칙하게 변하게 된다. 그러므로 다양한 원인으로 영상에서 발생하는 왜곡과 오차를 최소화하기 위해서는 영상의 경

사를 수직으로 조절하여 수직화하고, 가능하면 영상의 중앙부를 사용하여 도화할 필요가 있다.

5. 결론

본 연구를 통해 얻어진 결론은 첫째로 인터넷 지도 서비스에서 제공되는 항공영상을 이용해 3차원 수치도화를 수행할 수 있고, 둘째로 도화한 결과를 다양한 변환공식을 이용하여 변환한 결과 오차의 수준이 축척 1:25,000 수치지도의 정확도 기준에 부합되었다는 것을 확인할 수 있다.

인터넷 지도 서비스에서 제공하는 항공영상은 카메라 calibration 정보와 정확한 기준점 좌표가 포함되어 있지 않으므로 대축척 수치지도 제작과 같이 높은 정밀도가 요구되는 분야에는 사용하기 부적합 하지만, 인터넷에서 제공하는 데이터만을 이용하여 사진측량기법으로 3차원 수치도화에 의한 객체 모델링을 수행하는 데 의의가 있다. 본 연구는 인터넷상에서 쉽게 획득 가능한 데이터를 이용하여 효율적으로 3차원 공간정보의 구축 및 높은 정확도가 요구되지 않는 다양한 분야에서 활용 가능성을 제시하였다.

On-the-fly calibration 방법에 의해서 카메라의 근본적인 왜곡을 보정할 수 없었다. 그 이유는 인터넷상에 제공되는 영상은 원래 촬영된 영상을 이용하여 파노라마 영상으로 생성하는 과정에서 카메라의 내부표정 과 기하학적 특성이 유지되지 않았기 때문이다. 그러나 왜곡 특성을 좌표변환식을 이용하여 간접적으로 분석할 수 있었다. 도화 정확도는 측량용 항공영상을 이용한 경우보다 낮은 한계를 가지고 있으나 도화한 결과를 다양한 변환공식을 이용하여 변환한 결과 약 4.2~4.4m 정도의 RMSE를 나타내었고, 이는 축척 1:25,000 이하의 소축척 지도의 도화 정확도에 준하는 수준으로 나타났다.

이상의 결과를 통해 3차원 도화 및 모델링 과정에 필요한 데이터와 정보를 쉽게 접할 수 있고 소유권 및 보안 제약이 없는 인터넷 포털에서 제공되는 항공영상과 기준점 데이터를 이용할 수 있는 방안을 제시하였다.

참고문헌

- 노명중, 조우석, 박준구, 김정섭, 고진우 (2011), 비디오 프레임 영상으로부터 제작된 자유 입체 모자이크 영상의 실좌표 등록, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 29권 제 3호, pp. 249-255.
- 윤부열, 이재원, 손호웅 (2009), 경량 항공사진촬영 시스템을 이용한 남극 세종과학기지의 수치지형도 제작과 활용에 관한 연구, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제 29권, 제 1D호, pp. 121-128.
- 전영재, 이동천 (2011), 인터넷 지도 서비스의 항공영상을 이용한 3D 수치도화, 춘계학술발표회 논문집, 한국측량학회, pp. 251-252.
- 정수 (2009), 비측량용 카메라를 이용한 3차원 형상 해석, 한국지형공간정보학회지, 한국지형공간정보학회, 제 17권 제 2호, pp. 91-99.
- 정수 (2011), 비측량용 카메라 내부표정요소의 장기간 안정성 평가, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 29권 제 3호, pp. 283-291.
- Schenk, T. (1996), *Topics in Photogrammetry*, Class Note, Dept. of Geodetic Science & Surveying, The Ohio State University, Columbus, USA, pp. 28-31.
- Slama, C. (1980), *ASP Manual of Photogrammetry*, 4th edition, American Society of Photogrammetry, Falls Church, VA, pp. 723-740.

(접수일 2011. 12. 13, 심사일 2011. 12. 24, 심사완료일 2011. 12. 25)