

단영상과 수치지도의 상관관계를 이용한 건물 고도값 추출

Extraction of Building Height Using correlation of Digital Map and Single Imagery

유복모, 홍재민, 김민구
Yeu Bock Mo, Hong Jea Min, Kim Min Gu
석곡관측과학기술연구원

Abstract

Recently the extraction of building height information has been investigated using remotely sensed image and digital maps. In this study, based on the digital photogrammetry principle and mono imagery method the building height information can be extracted by using relationship between ground coordinates and image coordinates. To evaluate the result the comparison was done with building height from 1:5000 aerial photo. The experiment shows that extraction of building height could be performed using IKONOS single imagery and digital map and it is proved that the building height could be reconstructed within some extent.

요 지

최근 영상과 수치지도를 이용하여 빌딩의 고도 추출 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구는 단영상과 수치지도를 이용하여 건물의 고도값을 추출을 목표로 하였다. 이를 위하여 항공사진측량학적 방법론을 기본으로 하고 이에 monoplottting 방법을 활용하여 지상좌표와 영상좌표의 상관관계를 적용하여 단 영상에서의 건물 고도값을 추출할 수 있었으며 정확도를 비교하기 위하여 1:5000 항공사진을 이용하여 추출한 고도값을 기준으로 비교분석하였다. 그 결과 IKONOS 단영상과 수치지도를 이용하여 건물의 고도값을 일정 범위내의 값으로 복원할 수 있음을 알 수 있었다.

핵심용어(keywords) : 수치지도, monoplottting, RFM, 단영상, IKONOS 영상

1. 서 론

도심의 3차원 지형공간정보를 취득하기 위하여 항공사진과 위성영상만을 이용하는 경우, 영상으로부터 건물 객체를 자동으로 인식하기는 것이 매우 어려우므로 2D GIS 자료를 이용하여 건물 객체의 수평위치(X, Y)를 취득한 후 건물의 3D 모형을 효과적으로 복원할 수 있다.(손홍규 외 2인, 2003)

지금까지 국내·외적으로 기 구축된 자료를 활용하는 측면에서 2D GIS 자료(수치지형도)와 항공사진 및 위성영상을 이용한 연구가 수행되었으나, 대부분의 연구가 건물 고도의 정확도 증진과 효과적인 추출기법 개발에 주목적을 두고 있다.

그러나 단영상을 이용한 고도추출 연구는 미비한 실정이며, 자료의 효율적 활용 측면에서 단 영상과 수치지형도를 이용한 건물

유복모(석곡관측과학기술연구원 원장)
홍재민(석곡관측과학기술연구원 연구원)
김민구(석곡관측과학기술연구원 연구원)

고도 추출 기법 개발은 의미가 있는 연구 과제이다. 따라서 본 연구에서는 단영상과 수치지도의 상관관계를 이용하여 도심지 건물의 고도값을 복원하는데 목적을 두고 있다.

2. 영상과 지상과의 상관관계

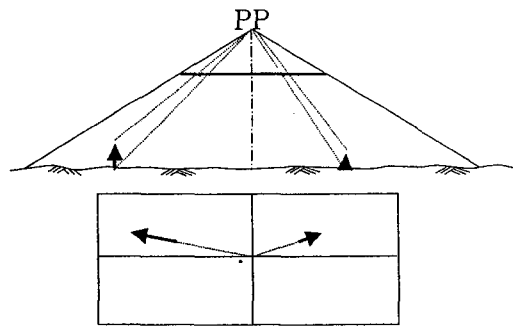


그림 1. 영상의 투영도

그림 1에서와 같이 인공위성 영상이 기본적으로 중심투영과 비슷한 형태로 영상면에서 모든 건물들은 기복변위를 가지고 있다. 이는 중심투영의 항공사진과 유사하다고 할 수 있으며 인공위성 영상에 기복변위를 이용한 고도값의 추출이 가능함을 알 수 있다. 항공사진의 기복변위는 영상의 초점거리와 지상에서부터 영상 면까지의 거리로 표현됨으로 고도는 축척계수에 의해서 산출된다. 기복변위를 통한 계산을 위해서 항공기의 고도와 카메라의 초점거리를 알아야하듯이 위성영상에서도 이를 적용하기 위해서 위성의 촬영당시의 고도값과 영상의 센서에 대한 상세정보가 필요하다. 그러나 현재 IKONOS와 같은 고해상도 영상은 위성의 자세정보나 센서의 상세정보 등을 제공하고 있지 않고 RPC 계수라는 비례다항식의 계수만을 제공하므로 직접적인 기복변위의 적용에는 문제점이 있다. 다른 위성인 SPOT-5는 위성의 궤도정보를 제공하고 있으나 해상도가 IKONOS 영상에 비해 매우 낮아 실

제적으로 건물의 고도값을 추출하는데 적합하지 않다.

이러한 문제에 대해 monoplottting 방법을 활용하여 대상점에 대한 고도값을 추출할 수 있는 방안을 마련하고자 하였다. monoplottting은 영상과 DEM 표면을 이용하여 영상점과 이에 대응하는 지상점의 고도값을 계산할 수 있는 방법이다.

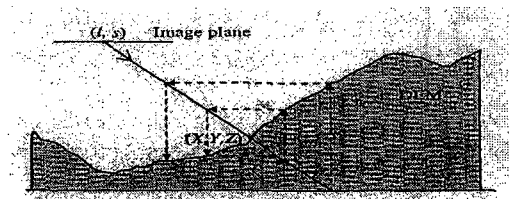


그림 2. monoplottting을 이용한 점의 고도값 추출

그림 2에서와 같이 영상점과 지상점 사이에 선형관계가 존재한다고 가정하면 이 관계식을 이용하여 반복적인 계산을 통하여 대상점에 대한 위치를 알 수 있다. 실제로 이러한 계산을 위해서는 영상좌표와 상응하는 좌표체계를 가지는 DEM의 존재가 선행되어야 하며 영상점과 대응하는 지상점 사이를 나타내는 관계식이 필요로 하다(Makarovic, 1973; Masry and McLaren, 1979; Mikhail 외 2001).

monoplottting을 이용하여 지상좌표의 추출이 가능하나 이는 DEM을 통한 지표면의 좌표 추출만이 가능할 뿐이다. 이에 본 연구에서는 기복변위와 monoplottting방법을 이용하여 영상점의 대상점에 대한 고도값을 계산하는 방안을 제안하고자 하였다.

기복변위는 중심투영에 의해서 지상면의 기복이 영상면에 투영되는 것으로 카메라의 위치를 중심으로 하여 영상면을 지상에 역투영한 것과 같다고 할 수 있다. 이는 하나의 지상 건물에 대응하는 영상좌표는 건물의 밑 부분과 지붕으로 나타

낼 수 있어 위성영상에서의 기복변위는 하나의 수평위치좌표를 갖는 건물의 고도값에 대한 기복변위가 될 수 있다.

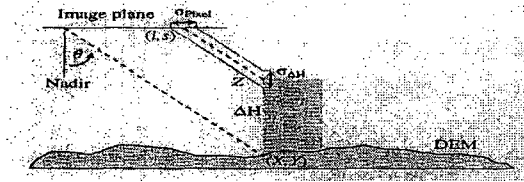


그림 3 monoploting을 통한 건물의 고도값 해석

여기에 monoploting을 적용하면 건물의 수평위치좌표와 건물의 지붕에 해당하는 영상좌표를 이용하여 대상점에 대한 상관관계를 알 수 있으므로 고도값을 추출할 수 있게 된다(J. Willneff 외 2인, 2005). 따라서 수치지도로부터 대상 건물의 수평위치좌표를 추출하고 이에 대응하는 건물의 지붕의 영상좌표를 추출한다면 건물의 고도값을 추출할 수 있다. 이때 IKONOS 영상에서 영상 점과 지상좌표간의 관계식은 RFM으로 표현되어지므로 이를 이용하여 건물의 고도값이 추출되어진다.

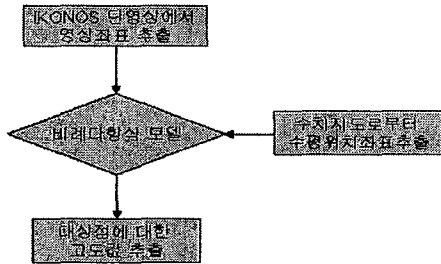


그림 4 단 영상에서의 고도값 추출 과정

3. RFM으로부터 고도값의 추출

RFM식을 고도값 Z 에 대하여 정리한다면 다음과 같은 식으로 표현된다(Jecek Grodecki, 2001; 이효성 외 2인, 2004; 진경혁 외 3인, 2004).

$$X(\text{sample}) = \frac{A_3 Z^3 + B_3 Z^2 + C_3 Z + D_3}{A_4 Z^3 + B_4 Z^2 + C_4 Z + D_4} \quad (1)$$

$$Y(\text{line}) = \frac{A_1 Z^3 + B_1 Z^2 + C_1 Z + D_1}{A_2 Z^3 + B_2 Z^2 + C_2 Z + D_2}$$

이때 영상좌표 (X, Y : sample, line)와 지상의 수평위치좌표를 알고 있다면 RFM식은 다음과 같이 두 개의 고도값 Z 에 대한 3차방정식을 정리할 수 있다.

$$AZ^3 + BZ^2 + CZ + D = 0, \quad (2a)$$

$$EZ^3 + FZ^2 + GZ + H = 0 \quad (2b)$$

단, $A=Y \cdot A_2 - A_1$, $B=Y \cdot B_2 - B_1$, $C=Y \cdot C_2 - C_1$, $D=Y \cdot D_2 - D_1$
 $E=X \cdot A_4 - A_3$, $F=X \cdot B_4 - B_3$, $G=X \cdot C_4 - C_3$, $H=X \cdot D_4 - D_3$

위의 3차방정식은 하나의 미지수에 두 개의 방정식을 가지므로 최소제곱법의 조건을 충족시킨다. 두 식을 최소제곱으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} \varphi F_1 \\ \varphi X \\ \varphi F_2 \\ \varphi X \end{pmatrix} Z = \begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} V_y \\ V_x \end{pmatrix} \quad (3)$$

단, $F_1 = (2a)$, $F_2 = (2b)$, (V_x, V_y) : 수평위치좌표에 대한 오차항

4. 연구대상지역

연구대상 지역은 대전지역을 테스트 필드로 정하였으며 이 지역에 대한 고해상도 광학영상위성인 IKONOS-2를 사용하였다. 대상지역은 $11 \times 11 \text{ km}$ 로 영상은 2001년 11월 22일에 취득된 IKONOS GEO 레벨 영상을 사용하였다.

대전 전 지역에 대한 연구 수행이 어려운 관계로 대상 사이트를 선정하였다. 대상 지역은 명확한 기복변위를 보이며 주변의 다른 건물들에 의한 그림자로 인하여 대상 건물이 가려지지 않도록 주변에 높은 건물이

없는 한 개의 아파트 단지로 선정하였다. 전체 대상건물의 수는 12동으로 대상점은 48점이다. 대상점은 대상 건물의 네 모서리로 정하였으며, 우상단점을 기준으로 반시계방향으로 각점에 대한 고도값을 구하였다. 그림 5는 대상 아파트단지 및 대상점을 나타낸 IKONOS 영상의 일부이다.

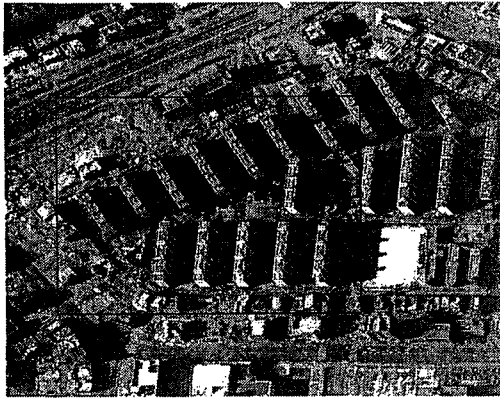


그림 5 대상 건물의 동번호 및 대상점

5. 수행 결과

5. 1. 대상건물의 지상좌표 및 기준 고도값

연구 대상 건물의 지상좌표는 1:1000수치지도에서 추출하였고 이에 대응하는 영상좌표는 EDARS 8.6을 이용하여 IKONOS GEO의 좌측 영상에서 추출하였다. RFM은 WGS84 좌표를 정규화하여 활용하고 있으므로 수치지도에서 추출한 지상좌표는 TM좌표로 RFM에서 직접적으로 활용할 수 없어 추출된 수평위치좌표를 7매개변수(parameter) 변환식을 이용하여 WGS84좌표로 변환하였다. 표 1은 추출된 지상좌표 및 변환좌표 그리고 대상점의 영상좌표를 나타내고 있다.

표 1. 영상 좌표 및 수치지도에서 추출하여 변환한 지상좌표

모서리 번호	영상좌표 (Sample)	영상좌표 (Line)	WGS84(위도) (단위 : °)	WGS84(경도) (단위 : °)
101_1	7162.47809	5115.85325	36.348891081	127.38089568
101_2	7152.45462	5117.69089	36.348785461	127.38089661
101_3	7170.66392	5200.71860	36.348778947	127.38186810
101_4	7180.18621	5197.71156	36.348885465	127.38186840
102_1	7117.87366	5125.04143	36.348479284	127.38091239
102_2	7108.01725	5127.04612	36.348377192	127.38090911
102_3	7126.56066	5209.73972	36.348375770	127.38186636
102_4	7135.91590	5207.06680	36.348479586	127.38186587
103_1	7073.60335	5134.39667	36.348072722	127.38091064
103_2	7064.24811	5136.56842	36.347975086	127.38091050
103_3	7082.29035	5218.92790	36.347967734	127.38186215
103_4	7091.31147	5215.75380	36.348073708	127.38186311
104_1	7029.73346	5144.05456	36.347666172	127.38090833
104_2	7020.00615	5146.28374	36.347565154	127.38090751
104_3	7038.24485	5228.35788	36.347561574	127.38186329
104_4	7046.95890	5225.11545	36.347668371	127.38186058
105_1	6985.55522	5153.37656	36.347259472	127.38090926
105_2	6975.82797	5156.01104	36.347154677	127.38090563
105_3	6994.47197	5238.08519	36.347154336	127.38186321
105_4	7003.27519	5235.43212	36.347258440	127.38185714
106_1	7102.80112	5034.20383	36.348515605	127.37988836
106_2	7093.96319	5036.11005	36.348423145	127.37988835
106_3	7108.51979	5104.90733	36.348419817	127.38068195
106_4	7117.70431	5102.82781	36.348515782	127.38068498
모서리 번호	영상좌표 (Sample)	영상좌표 (Line)	WGS84(위도) (단위 : °)	WGS84(경도) (단위 : °)
107_1	7044.40142	4975.28424	36.348114198	127.37909938
107_2	7037.12312	4981.34949	36.348030377	127.37916035
107_3	7086.33830	5032.47090	36.348365884	127.37984318
107_4	7093.61660	5026.40565	36.348441949	127.37978429
108_1	7003.85088	4997.46573	36.347713348	127.37924527
108_2	6995.87941	5003.87757	36.347625895	127.37931458
108_3	7054.62570	5065.56984	36.348026143	127.38012750
108_4	7062.07729	5058.29154	36.348114931	127.38006354
109_1	6971.09852	5029.00504	36.347362415	127.37950714
109_2	6964.16681	5034.72371	36.347280751	127.37956991
109_3	7023.95286	5098.49549	36.347692862	127.38042098
109_4	7031.92433	5092.95012	36.347779804	127.38037072
110_1	6937.90445	5059.40461	36.347014459	127.37976813
110_2	6930.97334	5065.65952	36.346933792	127.37982879
110_3	6991.66281	5130.06812	36.347346903	127.38067664
110_4	6998.25582	5122.96796	36.347425675	127.38061686
111_1	6905.61562	5090.00293	36.346670384	127.38002680
111_2	6898.00831	5096.08878	36.346586735	127.38009012
111_3	6946.69513	5147.64948	36.346917208	127.38076746
111_4	6953.28813	5140.54931	36.346995984	127.38070601
112_1	6873.17015	5121.37734	36.346321814	127.38028189
112_2	6865.52501	5126.64986	36.346240066	127.38034254
112_3	6913.90032	5178.18868	36.346569348	127.38102533
112_4	6920.75459	5171.72965	36.346653817	127.38095934

5. 2. RPC 계수 보정

5. 2. 1. RPC 계수 보정 전

일반적으로 스테레오 영상을 이용할 경우 추가적인 기준점 정보 없이 제공되는 GEO level의 RPC를 사용한 경우 수평 위치오차가 15m(GEO 레벨 영상)라고 Space Imaging사는 발표하였다. 또한 IKONOS 입체 영상을 이용하여 3차원 지형좌표를 추출할 경우 얻을 수 있는 정확도는 수평 25m, 수직 22m라고 제시되었다(이재빈 외 2인, 2003; Frank Gerlach, 2000).

Space Imaging사에서 제공하는 RPC 계수를 이용하여 추출한 대상점의 고도값의 정확도를 평가하기 위하여 대전지역의 1:5000 항공사진을 VirtualZo 프로그램을 이용하여 수치도화를 하여 추출한 고도값을 기준값으로 설정하였다. 1:5000 항공사진은 2002년 11월 22일에 RC 30 카메라를 사용하여 대전광역시를 촬영한 영상이다. 기준값과 앞서 언급된 식을 통해 추출된 값을 비교 분석한 결과 RMSE는 22.676m, 평균 오차는 21.571m로 나타났다.

표 2. 보정 전 RPC계수를 활용한 결과값과 항공사진 추출값 비교 (단위 : m)

모서리 번호	RFM 추출값	항공사진 추출값	모서리 번호	RFM 추출값	항공사진 추출값
101_1	149.062899	109.021909	107_1	140.421772	109.419558
101_2	143.978090	108.711988	107_2	131.669840	109.999724
101_3	127.519394	110.163588	107_3	125.422621	110.770593
101_4	123.854539	109.333504	107_4	131.632041	110.620439
102_1	135.370920	109.342246	108_1	140.088374	109.570097
102_2	134.604980	109.372317	108_2	128.061746	109.440275
102_3	125.351195	110.443888	108_3	126.547140	110.381309
102_4	124.056006	110.593811	108_4	129.490818	110.231137
103_1	134.993816	109.652549	109_1	142.230689	107.220774
103_2	134.194092	109.192619	109_2	130.320775	107.440939
103_3	125.061465	110.404186	109_3	121.918828	108.332026
103_4	119.737278	110.374108	109_4	128.261837	108.121878
104_1	137.049353	109.482849	110_1	137.461478	107.631463

104_2	136.521858	109.182921	110_2	130.739374	107.511621
104_3	123.488730	110.354492	110_3	128.906679	108.542703
104_4	120.069938	110.334407	110_4	128.891974	108.672548
105_1	134.774592	109.473154	111_1	136.127154	108.542147
105_2	138.163608	109.343226	111_2	126.113597	108.082311
105_3	124.562146	110.654798	111_3	125.451371	109.243177
105_4	126.860413	110.624710	111_4	126.459133	109.203017
106_1	134.420754	107.960539	112_1	141.652609	108.412824
106_2	132.544830	108.170609	112_2	127.913125	108.452984
106_3	126.206870	109.331914	112_3	123.570921	109.083857
106_4	125.601501	108.921845	112_4	132.758236	109.383688
RMSE	22.676		평균 오차	21.571	

5. 2. 2. RPC 계수 보정 후

RPC 계수를 보정할 수 있었던 기존의 편의 보정은 스테레오영상에서 조정방법들이다(방기인의 3인, 2003; 이재빈의 2인, 2003; 김원만의 2인, 2004). 이에 단영상에 대해 적용하기가 힘들어 본 연구에서는 GCP 점을 활용하여 각 점의 편의량을 구하고 편의량 평균값을 이용하여 RPC 계수의 보정을 하였다. 편의량 보정에 사용된 GCP는 전체 영상에 고르게 분포하도록 하여 전체 보유 GCP점 중에서 20점의 GCP를 선정하였다.

표 2는 선택한 지상기준점 내역이며 그림 6은 IKONOS Level-1 영상에서의 전체 기준점 분포를 나타낸 영상이다.



그림 6. IKONOS-2 위성영상의 기준점 분포

표 3. 활용한 기준점 정보

관측점	영상좌표 (sample)	영상좌표 (line)	위도(WGS84) (단위: °)	경도(WGS84) (단위: °)	타원체고 (단위: m)
2	8003.5100	1727.6700	36.362638	127.345837	48.4640
3	6683.9700	413.7700	36.353540	127.328431	54.8440
7	8037.1800	4323.0900	36.357982	127.374186	44.5590
8	8788.4400	5400.0000	36.362518	127.387675	40.5380
10	8539.5000	7091.6900	36.357133	127.405497	41.8030
15	4476.9500	1098.6900	36.332776	127.330693	51.7230
21	4962.9600	6254.2300	36.327215	127.387970	47.3420
22	5959.4400	6885.4500	36.334782	127.397176	47.7720
24	7385.1200	8027.0400	36.345139	127.412968	41.5450
31	5432.9100	2697.9900	36.338137	127.350355	45.6680
32	6037.4200	4775.8200	36.339548	127.374470	63.6290
35	4073.2600	2713.9900	36.326142	127.347337	50.0320
37	4056.0500	4375.5900	36.322964	127.365570	102.1080
41	3440.2100	7549.5100	36.311343	127.398489	52.2600
49	1379.9800	2652.2750	36.302565	127.340335	59.6750
51	2233.9400	3419.4600	36.308612	127.350676	52.8750
53	1279.5300	4550.9300	36.298028	127.360741	50.7330
55	2454.2900	5118.7400	36.307365	127.369790	75.7570
59	1813.1000	6411.3300	36.299214	127.382284	58.1400
69	3913.0800	5546.6400	36.319333	127.377818	52.0890

위의 GCP점을 이용하여 각 기준점의 편의량을 계산하였다. 영상좌표의 X(sample)축은 10.50 영상소, Y(line)축은 5.09 영상소의 평균 편의량을 나타내었다. 이를 이용하여 RFM의 분자항 RPC 계수를 다음과 같이 보정하였다.

$$\sum_{i=0}^{19} A_i = \sum_{i=0}^{19} (A_i - \Delta P B_i) \quad (6)$$

여기서 A' : 보정된 분자항의 RPC 계수
 A_i : 보정전 분자항의 RPC 계수
 B_i : 보정전 분모항의 RPC 계수
 ΔP : 평균 편의량

보정된 RPC를 이용하여 대상점들에 대한 고도값을 추출하였고 이를 항공사진에서 추출한 건물의 높이값과 비교 분석한 결과 RMSE는 3.46m, 평균 오차는 2.546m로 나타났다. 이는 RPC를 보정하기 전의 결과에 비교할 때 정확도가 향상되었음을 알 수 있었다. 표 4는 항공사진

에서의 추출값과 보정된 RFM에 의해 추출된 값을 나타낸 것이다.

표 4. 보정된 RPC 계수를 활용한 결과값과 항공사진 추출값 비교 (단위 : m)

모서리 번호	보정 RFM 추출값	항공사진 추출값	모서리 번호	보정 RFM 추출값	항공사진 추출값
101_1	112.472347	109.021909	107_1	109.487884	109.419558
101_2	110.971655	108.711988	107_2	106.995911	109.999724
101_3	106.330233	110.163588	107_3	105.423155	110.770593
101_4	105.314529	109.333504	107_4	107.211412	110.620439
102_1	108.360537	109.342246	108_1	109.210801	109.570097
102_2	108.102279	109.372317	108_2	105.816510	109.440275
102_3	105.537665	110.443888	108_3	105.613917	110.381309
102_4	105.202781	110.593811	108_4	106.472626	110.231137
103_1	108.063630	109.652549	109_1	109.657387	107.220774
103_2	107.799578	109.192619	109_2	106.316642	107.440939
103_3	105.284478	110.404186	109_3	104.193559	108.332026
103_4	103.809741	110.374108	109_4	106.003035	108.121878
104_1	108.453141	109.482849	110_1	108.182499	107.631463
104_2	108.264509	109.182921	110_2	106.294358	107.511621
104_3	104.673237	110.354492	110_3	106.020319	108.542703
104_4	103.742159	110.334407	110_4	106.042359	108.672548
105_1	107.626943	109.473154	111_1	107.671655	108.542147
105_2	108.530572	109.343226	111_2	104.885207	108.082311
105_3	104.807711	110.654798	111_3	104.882506	109.243177
105_4	105.480627	110.624710	111_4	105.187075	109.203017
106_1	108.038542	107.960539	112_1	109.043610	108.412824
106_2	107.470786	108.170609	112_2	105.249546	108.452984
106_3	105.723046	109.331914	112_3	104.235543	109.083857
106_4	105.585384	108.921845	112_4	106.795029	109.383688
RMSE	3.45982		평균 오차	-2.546	

5. 3 결과 분석

추출된 결과값을 보았을 때 각 건물의 1, 2번 점과 3, 4번 점들이 grouping되어 상이한 오차량을 가지고 있다. 또한 항공사진에서 추출한 값들도 동일한 유형을 보이고 있었다. 이는 IKONOS 영상 및 항공사진에서 대상점을 선정할 때에 1, 2번 점들은 그림자 혹은 도로 등 주변 영상소와 건물모서리의 추출이 쉬웠으나 3, 4번은 벽면과 모서리와의 구분이 어려워 정확한 모서리의 추출이 되지 않았다고 판단되어진다. 이에 1, 2번 점들과 3, 4번

점들의 grouping이 발생하였고 이로 인해 systematic error를 발생시킨 것으로 사료된다.

6. 결론

본 연구는 monoplotting방법을 RFM에 적용하여 IKONOS 위성의 단영상과 수치지도를 사용하여 대상 건조물의 고도값을 추출하여 정확도를 비교 분석함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 고해상도 위성영상에 항공사진의 기복변위 이론을 직접 적용하기는 어려웠으나 기복변위 이론을 기본으로 단영상과 수치지도를 사용하므로써 건물의 고도값 추출에 관한 검증할 수 있었다.
2. IKONOS의 단영상과 수치지도를 이용한 경우 영상을 제공하는 Space Imaging사에서 제공한 RPC를 보정하지 않고 사용하여 얻는 스테레오 영상에서 추출한 고도값과 비슷한 RMSE 값을 얻을 수 있었다.
3. 기존의 수치지도와 단 영상만을 이용하여 건물의 고도값을 추출할 수 있음을 검증한 본 연구의 결과가 이중의 자료를 활용하여 고도값 추출이 가능할 수 있음을 예시하였다고 사료된다.

향후 연구과제로서 영상의 건물 모서리의 자동 추출 및 수치지도와의 매칭을 통하여 자동화의 방안을 고려할 수 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

- 김원만, 김성감, 유환희, 2004. IKONOS Geo Imagery의 편위 보정, 대한측량학회 춘계학술발표회 논문집, pp. 197~202
- 방기인, 정수, 김경옥, 조우석, 2002. 지상 기준점 추가에 의한 IKONOS RPC 갱신. 한국지형공간정보학회지, 제10권, 제4호, pp. 41-50.
- 손홍규, 최종현, 김의명, 2003, 수치지도와 항공사진을 이용한 시설물 3차원 모델링, 2003 한국측량학회 추계학술발표회
- 이재빈, 광태석, 김용일, 2003. IKONOS 영상으로부터 추출되는 3차원 지형자료의 정확도 향상에 관한 연구 - RPC 모델의 위치정확도 보정을 통하여, 한국측량학회지, 제 21권 제 4호, pp. 301~308
- 이효성, 안기원, 신석효, 2004. IKONOS 위성영상 RPC 자료의 수정보완에 의한 3차원 위치결정, 대한 측량학회 춘계학술발표회 논문집, pp. 279~284
- 진경혁, 홍재민, 유환희, 유복모, 2004. IKONOS 위성영상의 3차원 위치결정 모형화 기법 개발, 대한측량학회 춘계학술발표회 논문집, pp.269~274
- 진경혁, 홍재민, 유환희, 유복모, 2004. 고해상도 위성영상 처리를 위한 센서모형화 기법 개발, 대한토목학회 정기학술대회 논문집, pp. 4358~4363
- Frank Gerlach, 2000. Characteristics of Space Imaging's One Meter

Resolution satellite Imagery ,
Photogrammetric Engineering and
Remote Sensing, Vol. 66, No. 9, pp.
1103 - 1112.

Jecek Grodecki, 2001. IKONOS Stereo
Feature Extraction-RPC Approach,
ASPRS Annual Conference, CD-ROM

J. Willneff, J. Poon, C. Fraser, 2005.
SINGLE-IMAGE HIGH-RESOLUTION
SATELLITE DATA FOR 3D
INFORMATION EXTRACTION, ISPRS
Hannover Workshop 2005 :
High-Resolution Earth Imaging for
Geospatial Information, May, 2005,

Makarovic, B., 1973. Digital
mono-plotters. ITC J., vol. 4,
pp.583-599.

Masry, S.E. and McLaren, R.A., 1979.
Digital map revision. Photogrammetric
Engineering and Remote Sensing, vol.
45, no. 2, pp. 193-200.

Mikhail, E.M., Bethel, J.S. and
McGlone, J.C., 2001. Introduction to
Modern Photogrammetry, John Wiley &
Sons, New York, p. 215.