



# 항공사진과 2차원 수치지형도를 이용한 건물 고도의 자동 추출 Automatic Extraction of Building Height Using Aerial Imagery and 2D Digital Map

진경혁\* · 홍재민\*\* · 유환희\*\*\* · 유복모\*\*\*\*

Jin, Kyeong Hyeok · Hong, Jae Min · Yoo, Hwan Hee · Yeu, Bock Mo

## 요 旨

GIS 분야에서 도심 건물 지역의 3차원 자료 생성에 대한 관심이 대두되면서 효율적인 3차원 자료 구축에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 3차원 자료 생성과 관련된 연구는 대부분 항공사진, 위성영상, LIDAR 자료를 이용한 건물 추출 및 건물 고도 복원 기법 개발에 초점을 두고 있다. 항공사진 및 위성영상의 단일 자료를 이용한 건물 고도의 추출이나 복원은 광학 영상의 기하학적 왜곡으로 많은 어려움이 있다. 건물의 고도를 추출하기 위해서는 일반적으로 입체 영상을 이용하는데, 광학 영상의 기복 변위로 인해 영상정합 시 오정합이 발생할 수 있어 부정확한 결과를 초래할 수 있다. 건물의 고도 추출을 위해서 국내·외적으로 단일 자료만을 이용하지 않고 2차원 GIS 자료(예, 수치지형도)와 같은 기 구축된 자료를 함께 활용하는 기법 개발이 진행되고 있다. 본 연구에서는 항공사진(1/5,000)과 기 구축되어 활용되고 있는 수치지형도(1/1,000)를 이용한 건물 고도 추출 기법 개발에 관한 연구를 수행하였다. 영상정합 대상점을 제한하기 위해 건물 영상에서 관심점을 추출하여 이용하였으며, 본 연구 성과의 정확도를 검증하기 위해 수치도화 장비를 이용한 건물 고도 모형 성과와 비교 평가하였다.

**핵심용어** : 3차원 건물 고도 추출, 관심점, 수직선 궤적, 영상정합

## Abstract

Efficient 3D generation of cultural features, such as buildings in urban area is becoming increasingly important for a number of GIS applications. For reconstruction of 3D building in urban area aerial images, satellite images, LIDAR data have been used mainly. In case of automatically extracting and reconstructing of building height using single aerial images or single satellite images, there are a lot of problems, such as mismatching that result from a geometric distortion of optical images. Therefore, researches of integrating optical images and existing 2D GIS data(e.g. digital map) has been in progress. In this paper, we focused on extracting of building height by means of interest points and vertical line locus for reducing matching points. Also we used digital plotter in order to validate for the results in this study using aerial images(1/5,000) and existing digital map(1/1,000).

**Keywords** : 3D Building Height Extraction, Interest Points, Vertical line locus, Image matching

## 1. 서 론

최근 각종 응용분야(도시 계획, 이동 통신, 토지 이용, 도심 분석 등)에서 GIS의 역할이 큰 비중을 차지하면서, 도심 지역의 3차원 자료 구축에 대한 관심이 증대되고 있다. 도심 3차원 자료에서 중요한 것은 대부분 건물과

도로 정보로서 다양한 형태의 정보를 추출하는데 많은 시간과 경비가 소요된다. 지금까지 이러한 정보를 자동 혹은 반자동으로 추출하려고 하는 많은 연구가 진행되어 왔으나(Gruen 등, 1995; Gruen 등, 1997; Baltavias 등, 2001), 도심 3차원 건물 복원을 위한 기법 개발에는 아직 많은 문제점이 있다. 도심 건물의 3차원 정보를 추

2005년 5월 13일 접수, 2005년 6월 14일 채택

\* 주저자, (재)석곡관측과학기술연구원 연구원 (tom51@sog.or.kr)

\*\* (재)석곡관측과학기술연구원 연구원 (alssmile@sog.or.kr)

\*\*\* 경상대학교 건설공학부 도시공학전공 교수 (hhyoo@gsnu.ac.kr)

\*\*\*\* (재)석곡관측과학기술연구원 원장 (ycubm@sog.or.kr)

출하기 위해 다양한 형태의 자료(항공사진, 위성영상, LIDAR, SAR, 수치지형도 등)를 이용하나 대부분의 연구가 이러한 다중 자료들의 통합 활용에 관심을 기울이고 있다.

광학 영상과 수치지형도를 통합하여 활용할 경우, 수치지형도의 특징을 이용하여 광학 영상에서 건물의 위치를 정확하게 검출할 수 있어 건물의 고도를 효과적으로 복원할 수 있다. 3차원 건물 고도 복원과 관련된 연구로서 Eidenbenz 등(2000)은 국가 지도를 스캔하여 수치화하고 항공사진들을 이용하여 건물과 도로 정보를 갱신하는 연구를 수행하였으며, Haala 등(1996)은 항공사진과 2차원 수치지형도를 이용하여 수치지형도로부터 건물의 형태와 위치 정보를 추출하고 건물의 높이를 건물 종류에 따라 가정한 후 항공사진을 이용하여 정확한 높이를 추출하는 연구를 수행하였다. Paško 등(1996)은 항공사진과 기존의 2차원 GIS 자료에 대해서 항공사진으로부터 경계선 정보를 추출하고 GIS 자료부터 건물 윤곽을 검출한 후 이 두 자료 간에 어파인 정합을 적용한 후 입체 영상을 이용하여 건물 지붕의 상세정보를 추출하는 연구를 수행하였다. Yom 등(2004)은 수치지형도에서 건물 객체의 폴리곤을 이용하여 건물의 고도를 변화시키면서 상관성을 계산하여 가장 높은 상관성을 나타내는 고도를 건물의 최종 고도로 결정하여 3차원 건물 모형을 생성하였다. 항공사진과 2차원 GIS 자료를 이용하는 경우, 항공사진으로부터 건물 객체를 자동으로 인식하기는 것이 매우 어려우므로 2차원 GIS 자료를 이용하여 건물 객체의 수평위치(X,Y)를 취득함으로써 건물의 3차원 모형을 효과적으로 복원할 수 있다.

본 연구는 기 구축되어 활용되고 있는 수치지형도(1/1,000)와 항공사진(1/5,000)을 사용하여 도심 건물의 수평 위치 및 형태 정보를 추출함으로써 도심 건물의 3차원 건물모형 추출 기법 개발에 역점을 두었다. 본 연구내용의 구성은 1절에서는 개요, 2절에서는 건물의 고도 추출을 위한 알고리즘에 대하여 개괄적으로 설명하였다. 3절에서는 본 연구에서 개발한 알고리즘의 결과를 분석하였으며, 4절에서는 연구를 통해 나타난 결과를 정리하였다.

## 2. 3차원 건물 고도 추출 알고리즘

항공사진으로부터 도심 건물의 3차원 정보를 취득하는데 있어 가장 큰 문제점은 두 가지로 구분될 수 있다. 첫째, 3차원 건물 고도를 자동으로 추출하기 위해서는 우선 영상에서 건물 객체를 자동으로 검출해야 하며, 기복면 위, 그림자, 분광 정보 특성으로 인해 광학 영상에서 자동으로 건물 분류하는 작업이다. 둘째, 항공사진을 이용하여 건물의 3차원 고도를 추출하기 위해서는 입체 영상

을 이용한 영상정합 과정을 거쳐야 한다. 건물의 3차원 정보를 취득하는 방법은 영상에서 건물 객체를 인식한 후 영상정합을 통해 건물의 고도를 계산할 수도 있으며, 영상 전체에 대해 일정 간격으로 영상정합을 한 후 특성을 분석하여 건물 영역을 검출하는 방법이 있다. 두 가지 모두 영상정합이 중요한 요소로 작용하는데, 일반적으로 영상정합은 시간이 많이 소요되는 특징을 지니고 있다. 본 연구에서는 영상에서의 자동 건물 검출은 수치지형도의 건물 레이어 정보를 이용하였으며, 건물의 3차원 정보 취득을 위한 영상정합 과정에서 영상정합의 정확도를 향상시키고 정합 대상점을 제한하기 위해 에피플라 영상과 관심점(interest point) 검출 연산자를 이용하였다. 그리고 관심점 검출 과정에서 대상 영역을 제한하기 위해 수직선계 정보 이용하였다. 본 연구에서 개발한 알고리즘은 그림 1과 같다.

광학 영상(항공사진, 위성영상 등)을 이용한 영상 정합 시 관심점을 이용하여 정합 대상점을 제한할 수 있으며, 본 연구에서는 웨이블릿 변환 기법을 이용하여 관심점을 추출하였다. 웨이블릿 변환 기법을 이용한 관심점 추출은 국부 최대 계수(local modulus maxima of wavelet transform)를 사용하며 관심점들을 검색하는 과정은 저해상-고해상(coarse-to-fine)순서로 수행된다. 영상에 대해  $j$  단계까지 다해상도 웨이블릿 변환을 수행하고 각 단계에서 분해된 영상들은 각각 근사영상(LL 대역), 수평방향 영상(LH 대역), 수직방향 영상(HL 대역), 대각방향 영상(HH 대역)으로 정의되며, 영상정합을 위해 사용된

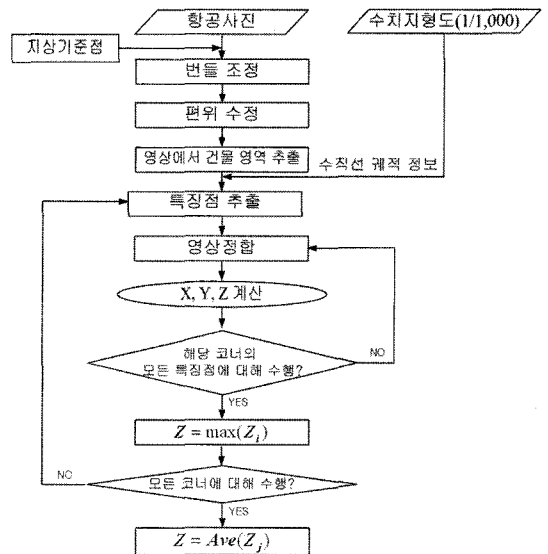


그림 1. 연구수행 과정

다. 그런 다음 웨이블릿 변환의 계수 영상, 즉 LH, HL 영상에서 임계값을 이용하여 계수값이 큰 점들을 추출한다.

$$M[f(2^j, x, y)] > \tau_{2j} \quad (1)$$

여기서,  $\tau_{2j} = \alpha(\sigma_{2j} + \mu_{2j})$  이며,  $\alpha$ 는 사용자에게 의해 정의된 상수, 그리고  $\sigma_{2j}$ 와  $\mu_{2j}$ 는 각각 단계  $2^j$ 에서 웨이블릿 변환 계수 영상 표준편차와 평균이다. 고해상의 단계로 갈수록 관심점들의 수가 증가하기 때문에  $\alpha$ 를 이용하여 적합한 관심점을 추출하게 된다(Fonseca 등, 1997).

수치지형도의 건물 레이어 정보를 이용하여 항공사진에서 건물영역에 해당하는 부분을 절취한 후, 수치지형도에서 추출한 건물 폴리곤의 각 절점(vertex)에 대한 수평위치좌표(X, Y)를 이용하여 Z값을 0m와 200m로 가정하고 이 두 점에 해당하는 영상좌표를 계산한 후 수직선 궤적을 추출하였다.

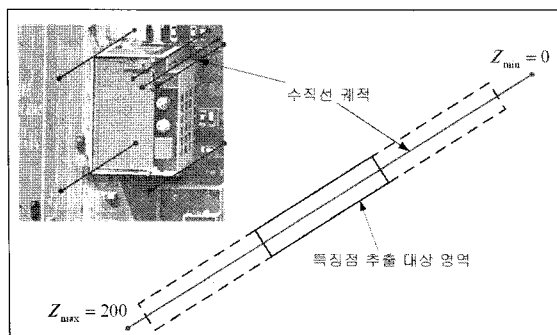


그림 2. 특징점 추출을 위한 영역 설정

수치사진측량에서 영상정합 시 유용한 기하학적 제약 수단인 수직선 궤적정보를 기반으로 관심점 검출 대상 영역을 제한할 수 있다. 각각의 모서리에서 수직선 궤적을 따라 일정 영역을 설정하였으며, 수직선 궤적 전체에서 관심점이 특정 영역에서 과다하게 검출되는 것을 방지하고 골고루 분포하도록 하기 위해 영역 설정 범위를 고도 20m로 제한하였다. 영역 설정 방법은 수직선 궤적을 따라 20m 간격으로 등분하고 등분된 선을 중심으로 그림 2와 같이 사각형 형태로 영역을 설정하였다. 그 결과 건물의 모서리를 따라 관심점들이 추출되었으며, 영상정합 대상을 관심점들로 제한함으로써 수행속도 향상 및 건물 고도의 정확도 향상을 기대할 수 있다.

### 3. 실험 및 결과 분석

본 연구에서 개발한 3차원 건물 고도 추출 알고리즘을 검증하기 위해 대전지역 항공사진(1/5,000)과 수치지형도(1/1,000)를 이용하였다. 항공사진은 Leica RC30 카메라에 의해 2002년 11월 28일 촬영된 영상이며, 수치지형도로부터 고층 아파트, 상가 건물, 저층 건물을 대상으로 19개의 건물 객체를 추출하였다. 알고리즘은 Visual C++6.0을 이용하여 구현하였다. 항공사진의 내부·외부 표정을 위한 지상기준점은 GPS 측량을 통해 취득하였다. 그림 3은 본 연구에서 사용한 대전지역 항공사진을 나타낸 것이다.

그림 4는 수치지형도의 건물 폴리곤의 각 절점에 대해 고도 0m~200m에 해당하는 수직선 궤적 따라 추출한 관심점들을 나타낸 그림이다. 그림에서 보듯이 건물의 옥상 모서리 부분에서 관심점들이 검출되는 것을 알 수 있다. 본

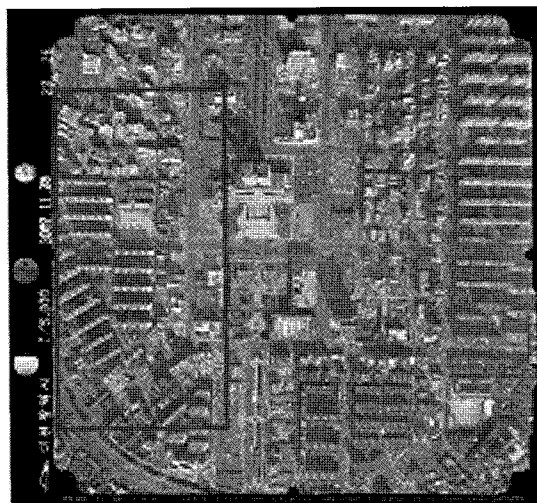
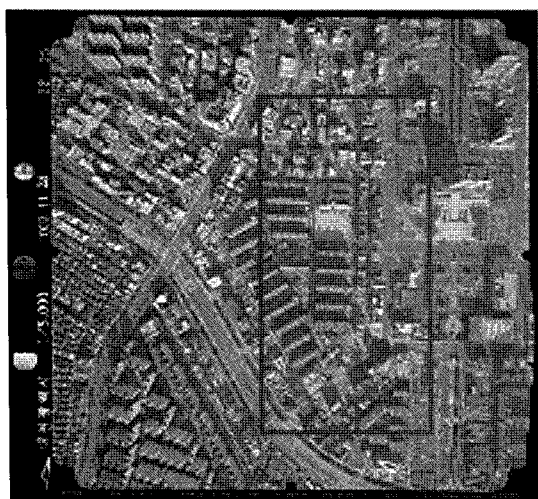


그림 3. 연구대상 항공사진(대전지역, 축척 1/5,000)

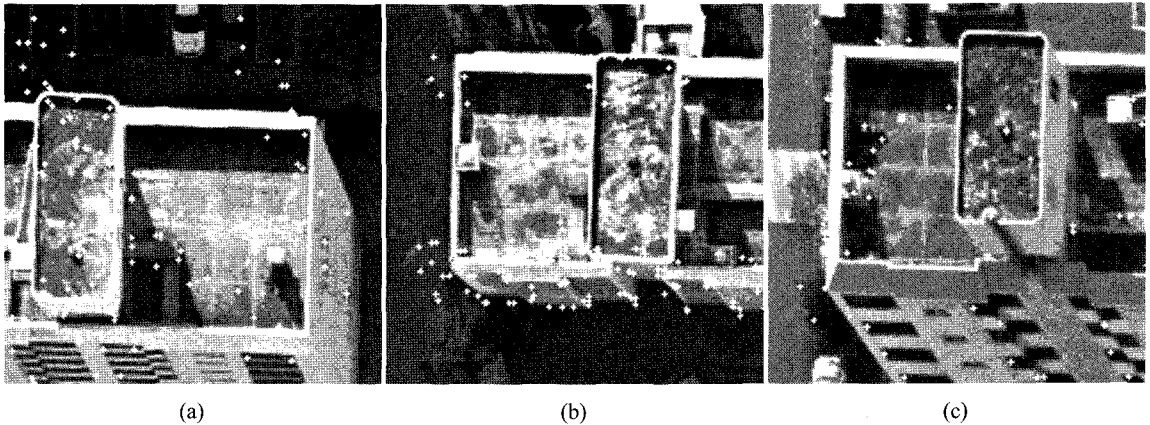


그림 4. 건물 폴리곤의 각 절점에 대해 수직선 궤적을 따라 추출된 관점점

연구에서는 이러한 점들에 대해 영상정합을 시도하였다.

관점점들을 기반으로 영상정합을 적용한 결과, 주로 건물의 상층부에서 영상정합점이 추출되는데, 건물 옥상의 바닥면과, 난간, 그리고 옥탑 건물에서도 영상정합점이 추출되는 것을 확인할 수 있었다. 건물의 각 모서리에서 영상정합을 수행한 후 고도가 가장 큰 값을 해당 모서리의 고도값으로 설정하였다. 이러한 과정을 모든 모서리에 대해 적용한 후 모든 모서리에 대한 고도값을 취득하였다. 결과적으로 각각의 모서리에 대한 고도값이 다소 상이하게 나타났으며, 평균값을 취하여 건물의 3차원 고도값으로 설정하였다.

본 연구 성과의 정확도를 평가하기 위해서 수치도화기를 이용하여 건물의 고도값을 추출하였으며, 그 기준은 건물 상층부에 있는 난간을 중심으로 하였다. 표 1은 본 연구에서 개발한 기법을 이용하여 추출한 건물 고도와 수치도화기를 이용하여 추출한 건물 고도값을 비교한 것이다. 표 1에서 보듯이 RMSE는 약 1.8m로 나타났으며, 건물 11, 17, 18의 경우, 오차가 다른 건물에 비해 크게 나타났는데, 이러한 건물들은 옥상에 옥탑 건물이 없었으며, 옥상 바닥면과 난간의 고도차가 약 4m로 다른 건물에 비해 난간의 높이가 큰 건물이었다. 본 연구에서는 옥상면과 난간, 그리고 옥탑부분에서 영상정합점을 검출하고자 하였으나 일부 건물들의 경우, 옥상면에서만 영상정합점이 검출되었다. 그러므로 난간의 높이가 큰 건물의 경우, 오차가 크게 나타날 수 있다. 전반적으로 고도 오차가 양호하게 나타난 것을 알 수 있었으며, 현재까지 건물의 3차원 정보 취득에 많이 이용되고 있는 LIDAR 자료의 정확도에는 못 미치지만, 기 구축된 수치지형도와 항공사진 자료를 효과적으로 활용하는 측면에서 본 연구에서 개발한 알고리즘이 유용하게 활용될 것

으로 사료 된다.

그림 5는 본 연구에서 추출한 건물 모형을 상용 소프트웨어 ArcView 3.2 S/W를 이용하여 3차원으로 표현한 것이다.

표 1. 추출된 건물 고도 및 오차

건물번호	추출된 건물 고도(m)	실제 건물 고도(m)	$\Delta Z(m)$
1	87.09	86.93	0.16
2	86.89	87.69	-0.80
3	89.86	88.02	1.84
4	89.82	88.21	1.62
5	89.97	88.80	1.16
6	89.61	88.23	1.38
7	90.72	88.45	2.27
8	85.83	85.02	0.81
9	69.51	69.97	-0.46
10	80.37	81.73	-1.35
11	95.15	92.65	2.50
12	72.44	73.26	-0.82
13	78.10	77.75	0.35
14	69.45	68.35	1.10
15	69.92	70.35	-0.43
16	64.64	62.59	2.05
17	96.40	100.85	-4.45
18	80.07	83.39	-3.32
19	77.91	77.57	0.34
RMSE			1.79

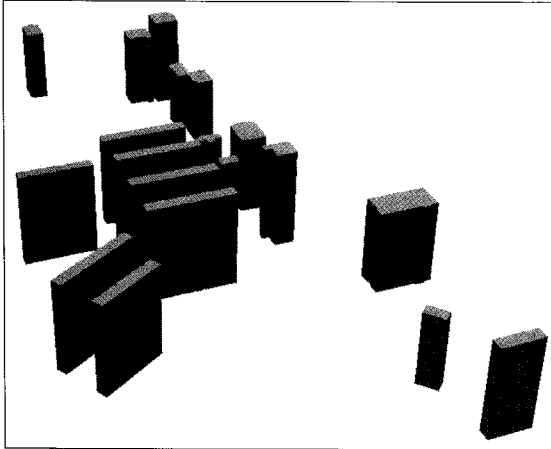


그림 5. 추출된 건물 고도의 3차원 가시화

#### 4. 결 론

본 연구에서는 항공사진과 기 구축된 수치지형도를 이용한 건물 모형 추출 기법을 제시하였으며, 수치도화기로부터 추출한 건물 모형과 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 영상정합 시 기하학적 제약 수단인 수직선 궤적 정보 이론을 이용하여 관심점을 추출하여 정합 대상점을 제한함으로써 영상정합 수행시간이 단축되었으며, 건물 모서리를 따라 관심점을 추출함으로써 효율적인 3차원 건물 모형을 구축할 수 있었다.
2. 수치도화기를 이용하여 추출한 건물 고도와 본 연구에서 추출한 건물 고도를 비교한 결과 전반적으로 오차가 양호하게 나타남으로써 기 구축된 자료를 효과적으로 활용한 3차원 건물 모형 생성에 활용성이 많을 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. 손흥규, 김의명, 송영선, 박정환, 2004. 영상정합을 위한 관심점 추출 연산자들의 정확도 평가. 대한토목학회 2004년도 정기 학술대회 논문집. pp. 4403-4406
2. Baltasvias, E.P., 2004. Object Extraction and Revision by Image Analysis Using Existing Geodata and Knowledge: Current Status and Steps Towards Operational Systems, ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing, Vol. 58, No. 3/4, pp. 129-151.

3. Baltasvias, E.P., Gruen, A., Van Gool, L.(Eds), 2004. Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images(III). A.A Balkema, Lisse.
4. Eidenbenz, C., Kaser, C., Baltasvias, E., 2000. ATOMI- Automated Reconstruction of Topographic Objects from Aerial Images Using Vectorized Map Information, International Archives of Photogrammetry and Remote sensing, Vol. 33, Part B3/1, pp. 462-471.
5. Fonseca, L. M. G. and Costa, M. H., 1997. Automatic Registration of Satellite Images, Proceedings. Los Alamitos: IEEE Computer Society, 219-226.
6. Gruen, A., Kuebler, O., Agouris, P. (Eds), 1995. Automatic Extraction of Man-made Objects from Aerial and Space images, Birkh user, Basel.
7. Gruber, M., 1996. Fusion of 2-D GIS Data and Aerial Images for 3-D Building Reconstruction, International archives of photogrammetry and remote sensing, Vol. 31, No. B pt.3, pp. 257-260
8. Gruen, A., Baltasvias, E.P., Henricsson, O.(Eds), 1997. Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images( II ), Birkh user, Basel.
9. Haala, N., Anders, K., 1996. Fusion of 2D GIS and Image Data for 3D Building Reconstruction, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 31, Part B3, pp. 285-290.
10. Heipke, C., Pakzad, K., Willrich, F., Peled, A., 2004. Theme issue: Integration of Geodata and Imagery for Automated Refinement and Update of Spatial Databases, ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing, Vol. 58, No.3/4, 2004, pp. 127-128
11. Lucas, B. D., Kanade, T., 1981. An iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision, Proceedings of the 1981 DARPA Image Understanding Workshop, April, 1981, pp. 121-130.
12. Paško, M., Gruber, M., 1996. Fusion of 2-D GIS Data and Aerial Images for 3-D Building Reconstruction, International archives of photogrammetry and remote sensing, Vol. 31, Part B3, pp.257-260.
13. Shi, J., Tomasi, C., 1994. Good Features to Track, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 593-600.
14. Tomasi, C., Kanade, T., 1991. Detection and Tracking of Point Features, Carnegie Mellon University Technical Report CMU-CS-91-132, April 1991.
15. Yom, J, H., Lee, D. C., Kim, D, I., 2004. Automatic 3D Building Reconstruction by Integration of Digital Map and Stereo Imagery for Urban Area, KSCE Journal of Civil Engineering, Vol. 8, No. 4, pp. 443-449.