

## IKONOS 컬러 입체영상을 이용한 대규모 도심지역의 3차원 건물복원

### 3-D Building Reconstruction from Standard IKONOS Stereo Products in Dense Urban Areas

손흥규\*, 박정환\*\*, 김호성\*\*\*

연세대학교 사회환경시스템공학부

#### 1. 서 론

도심지역에 있어서 건물의 추출 및 3차원 복원은 지난 10여 년간 사진측량 및 원격탐사 분야에서 주요한 연구과제로 수많은 연구가 진행되었으며 지금도 새로운 시도가 이루어지고 있다. 국내의 경우 NGIS 사업을 통해 현재 유통되고 있는 수치지도에는 건물의 3차원 자료를 포함하고 있지 않기 때문에 고품질의 3차원 자료를 요구하는 위치기반서비스(Location-Based Service: LBS), 차량항법 장치, 도시설계, 재해관리, 가상도시(Cyber-City) 등과 같은 여러 새로운 활용분야에 바로 이용하기에는 부적합한 경우가 많다. 따라서 건물의 3차원 자료를 획득하는 부가적인 처리가 반드시 필요하다.

일반적으로 3차원 건물자료를 획득하는 방법은 3가지 경우로 크게 나눌 수 있다. 영상(항공사진 및 위성사진)만을 활용하는 방법, LIDAR 자료로 제작된 DEM(Digital Elevation Model) 혹은 입체영상을 활용하여 제작된 DEM을 활용하는 방법, 영상과 DEM 등을 같이 활용하는 방법 등이 있다. 최근 LIDAR 자료를 활용한 건물복원기법이 각광을 받고 있긴 하지만 대부분의 경우에 있어서 영상을 활용한 전통적인 사진측량학적 기법이 중심을 이루고 있다. 영상을 활용한 건물복원방법은 다시 2가지 경우로 나눌 수 있다. 자동화 기법을 추구하는 하는 영상기반의 접근법(Image-based approach)과 사전에 개략적인 건물모델을 갖고 정확한 건물모델링을 목적으로 하는 모델기반의 접근법(Model-based approach)이다. 본 연구에서는 밀집된 아파트 단지와 같은 대규모 도심지의 건물복원에 초점을 맞추고 있기 때문에 자동화 기법이 용이한 영상기반의 접근법을 채택하였다.

영상기반의 접근법은 다시 영역기반 처리법(Area-based process)과 경계기반 처리법(Edge-based process)으로 나뉜다. 영역기반 처리법은 유사한 영역을 하나의 세그먼트(segment)로 인식하여 건물과 건물이 아닌 부분으로 나누는 것을 목표로 한다. 이 방법은 건물/건물이 아닌 부분 두 가지로 분류되기 때문에 자료처리가 간단한 장점이 있다. 그러나 비건물 지역이 건물로 인식되는 문제가 발생할 수 있으며, 특히 밀집된 도심지역에서는 오류의 가능성이 높아진다. 이에 반해 경계기반 처리법은 대상영상에서 추출된 경계선들의 조합을 통해 건물을 인식하는 방법으로 건물의 외곽을 추출하는 기법이다. 그러나 이 방법 역시 건물 이외의 다른 부분들에서 수많은 경계선들이 추출되는 경우 건물이외의 경계선 처리문제가 상당히 난해하다. 또한 영역기반 처리법에 비해 복잡한 처리과정을 필요로 한다. 본 연구에서는 신속한 처리가 가능한 영역기반 처리법의 장점을 활용하고자 위에

\* 부교수 sohn1@yonsei.ac.kr

\*\* 박사과정 c142520@yonsei.ac.kr

\*\*\* 석사과정 hosung@yonsei.ac.kr

서 언급한 영역기반 처리법의 단점을 BDT(Background Discriminant Transformation)를 통해 보완하여 사용하였으며, 특히 동일건물 인식기법을 통한 영상정합법을 제안함으로써 일반적으로 비슷한 형태가 반복되어 나타나는 아파트 단지와 같은 대규모 밀집도심지역에서의 영상정합이 효율적으로 수행되도록 하였다.

본 연구에서의 실험은 분당지역의 아파트 단지를 중심으로 촬영된 IKONOS 컬러 입체위성영상을 대상으로 이루어졌으며, 최종적으로 실험지역의 3차원 건물복원 결과를 기준자료와 비교함으로써 본 연구에서 제안된 알고리즘의 활용 가능성을 검증하였다.

## 2. 건물추출 및 건물인식

본 연구에서 제안하는 건물추출을 위한 영역기반 처리법은 영상 내 건물을 탐지하고 탐지된 건물 영역과 비건물 영역으로 가능한 정확하게 분류하는 것을 목적으로 하고 있다. 이를 위해 BDT 기법(Shettigara, 1991)을 적용하였으며, 좌우 입체영상에서 추출된 건물들을 대상으로 건물인식 기법을 통해 동일한 건물끼리 자동적으로 인식하고자 하였다. 이는 뒤에서 다시 자세하게 언급하게 될 3차원 좌표 추출을 위해 수행되는 영상정합을 위한 전처리 과정으로써 필요하다.

### 2.1 BDT (Background Discriminant Transformation)

영상 내에 존재하는 중요한 정보를 추출하기 위해서는 해당 대상을 다른 것과 차별화되게 표현하는 기법이 필요로 한다. 이러한 경우에 일반적으로 활용되는 방법이 선형 혹은 비선형 스트레칭(stretching)기법, 히스토그램 평활화(histogram equalization)기법, 각종 필터(filter)를 활용하는 기법, 다변량 차원(multivariate space)에서의 선형변환 등이 있다. 본 연구에서 적용한 BDT는 선형변환의 한 종류로 배경(background)과 건물(non-background)을 구분하도록 설계되었다. 또한 이 기법은 척도에 변화하지 않는(scale-invariant) 특성을 갖는 장점이 있다. BDT 기법에서는 영상 내에 두 종류의 대상만이 존재한다고 가정하며, 건물을 강조하기 위해서 PCT(Principal Component Transformation)에서 수행하는 분광차원(spectral space)의 축회전과 유사하게 배경에 해당하는 밝기값의 분산을 줄이고 건물에 해당하는 밝기값의 분산은 증가하도록 축회전을 수행하게 된다. 다시 말하면, BDT 기법은 배경에 대한 건물의 분산을 최대로 하는 변환계수를 산정하는 것이다. 그림 1은 이 같은 BDT의 특성을 PCT와 비교하여 보여주고 있다.

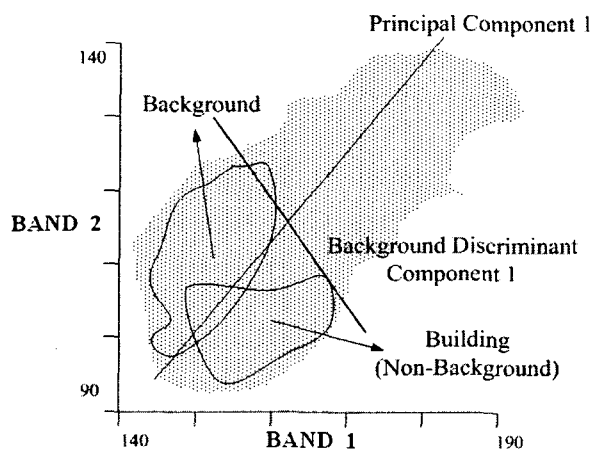


그림 1. BDT의 특성

실제 BDT 기법을 사용하기 위해서는 영상에서 배경에 해당하는 샘플지역의 밝기값의 평균과 공분산, 영상전체의 밝기값에 대한 평균과 공분산을 미리 계산해 놓아야 한다. 이를 이용하여 배경에 대하여 건물을 가장 강조할 수 있는 그림 1과 같은 축회전을 계산하게 된다. BDT의 세부적인 처리과정은 Carroll(1997)에 언급 되어있다. 최종적으로 BDT를 통해 건물이 강조된 변환영상은 ISODATA 알고리즘(Hall, 1977)을 통해 세그먼트 되어 추출하였다.

## 2.2 Hausdorff 거리와 컬러 인덱싱(Color Indexing) 기법

좌·우 입체영상에서 추출된 건물들을 대상으로 동일한 건물로 인식하기 위해 본 연구에서는 Hausdorff 거리와 컬러 인덱싱의 두 가지 기법을 활용하였다. 먼저 Hausdorff 거리는 다음과 같이 정의된다 (Huttenlocher, 1993).

$$D(A, B) = \max(d(A, B), d(B, A)) \quad (1)$$

$$d(A, B) = \max_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\| \quad (2)$$

여기서  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ ,  $B = \{b_1, b_2, \dots, b_q\}$ 와 같이 구성된 객체를 의미한다. Hausdorff 거리는 본래 컴퓨터 비전분야에서 많이 활용되는 기법으로 좌측영상의 A도형에 속하는 모든 점들과 우측영상의 B도형에 속하는 모든 점들 간의 최단거리 중 최대거리를 산정함으로써 이를 통해 두 도형간의 유사도를 측정하는 것이다. Hausdorff 거리는 항상  $D \geq 0$  임을 알 수 있으며 만약 두 개의 도형이 완벽히 일치한다면  $D=0$ 의 값을 갖게 된다. Hausdorff 거리가 갖는 장점은 크게 두 가지로 하나는 영상의 왜곡에 덜 민감하다는 점이고 다른 하나는 계산이 단순하며 계산량이 많지 않다는 것이다.

Hausdorff 거리 D는 객체를 구성하고 있는 점들 간의 기하학적 거리에 기초한 값이기 때문에 두 객체 사이의 상대적인 변위, 축척, 회전 등에 의해 영향을 받게 된다(Huttenlocher, 1993). 따라서 사진측량에서 활용되는 입체영상에 적용하기 위해서는 반드시 두 영상 간의 등록(registration)을 수행할 필요가 있다. 본 연구에서는 affine 변환을 통해 두 영상 간의 등록이 이루어졌다.

컬러 인덱싱은 두 객체간의 색상을 비교함으로써 동일한 객체를 인식하는 기법으로 다음과 같은 식을 통해 계산될 수 있다. 본 연구에서는 Swain(1991)에 의해 제안된 히스토그램 생성법을 기준으로 한다.

$$HI, M) = \frac{\sum_{i=1}^n \min(I_i, M_i)}{\sum_{i=1}^n M_i} \quad (3)$$

여기서 I는 객체 M을 포함하는 기준영상을 의미하며, M은 인식하고자 하는 객체를 의미한다.  $i$ 는 히스토그램의 단계를 의미한다. 그러나 본 연구에서는 기준영상과 객체간의 인식이 아닌 객체를 포함하고 있는 좌우 영상에서 객체간의 인식에 활용되어야 하기 때문에 다음과 같이 변형된 식을 사용하였다.

$$C_I = \frac{\sum_{R=0}^{255} \sum_{G=0}^{255} \sum_{B=0}^{255} \min(H_1(R, G, B), H_2(R, G, B))}{\min(N_{H_1}, N_{H_2})} \quad (4)$$

여기서  $C_I$ 는 색상정보를 활용하여 측정된 두 대상물 사이의 유사도이며,  $N_{H_1}$ 와  $N_{H_2}$ 는 각각 히스토그램  $H_1$ 과  $H_2$ 로부터 계산되는 총 영상소의 개수이다.  $C_I$ 는 0에서 1사이의 값을 가지게 되며 두 대상물 중 하나의 히스토그램이 다른 하나에 완전히 포함되는 경우 1의 값을 갖게 된다.

### 3. 영상정합 및 건물복원

추출된 좌우의 건물에 대하여 건물인식과정을 수행하는 동안 동일하다고 인식된 건물들은 각각의 건물들에 대하여 건물번호와 건물을 구성하고 있는 점들에 대하여 번호가 부여된다. 이러한 처리과정은 영상정합을 위한 것들로 영상정합시 제약조건들로 활용된다. 일반적으로 영상정합에 활용될 수 있는 제약조건은 두 가지로 알려져 있다. 첫째, 에피폴라 기하를 활용하여 에피폴라 영상을 제작함으로써 좌측영상의 임의의 점에 해당하는 우측 공액점의 위치를 동일한 라인상으로만 제약하는 방법이 있다. 둘째, 대상지역의 고도정보를 이용하여 우측영상의 임의의 점이 우측영상에서 투영 가능한 라인을 계산함으로써 탐색영역을 제약하는 방법이 있다(Sohn et al., 2004). 그러나 두 가지 경우 모두 정확한 센서모델을 필요로 하는 제약이 있기 때문에 본 연구에서와 같이 25M급의 다항식비례모형계수(Rational Polynomial Coefficients: RPC)를 제공하는 일반적인 IKONOS 영상의 경우 적용이 어렵다. 물론, 두 번째 방법의 경우 다항식비례모형계수를 최소 1점의 지상기준점을 통해 갱신하는 방법을 통해 적용가능하나 본 연구의 대상지역과 같이 밀집된 도심지역의 경우 동일한 패턴의 건물(아파트)이 다수 존재하기 때문에 오정합의 가능성이 크다. 이에 본 연구에서는 동일한 건물로 인식된 공액건물의 번호와 공액건물을 구성하고 있는 점들에 부여된 번호를 영상정합시 탐색영역을 제한하는 조건으로 활용하고자 한다. 그림 2는 본 연구에서 제안하는 영상정합법의 개념을 나타내고 있다.

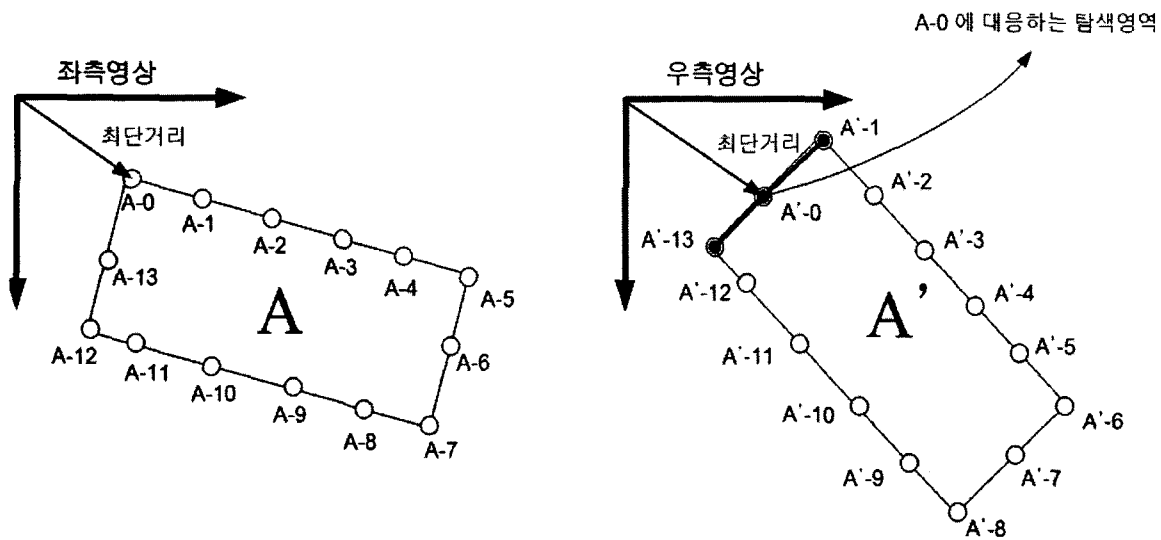


그림 2. 건물인식을 활용한 영상정합법

좌측과 우측영상에서 동일한 건물로 인식된 건물들을 구성하고 있는 점들에 대하여 동일한 순서로 번호를 부여하기 위하여 각 건물들의 점 번호는 영상좌표 상의 원점과 가장 가까운 거리에 있는 점을 0번으로 하고 경계선추적(edge tracing) 기법을 통해 순차적으로 번호를 부여하였다(그림 2 참조).

영상정합은 교차상관계수법과 최소제곱법 두 가지를 혼용하여 수행되었으며, 최종 정합점에 대해서는 다항식비례모형계수 블록조정(RPC block adjustment)기법을 통해 갱신된 다항식비례모형계수를 활용하여 3차원 좌표를 계산하였다(Grodecki, 2003). 최종적으로 모든 3차원 좌표들은 ArcView에 입력되어 polygon화 되었으며 구성된 polygon에 평균 높이값을 부여함으로써 3차원 shape 파일로 제작할 수 있었다. 3차원 좌표의 입력부터 polygon 제작, 높이값 부여, 3차원 shape 파일의 제작 등의 과정은 ArcScript를 이용하여 자동적으로 처리되도록 하였다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

본 연구에서는 사용된 실험영상은 2001년 2월 1일 2분 간격으로 분당시를 중심으로 촬영된 Standard IKONOS Stereo Product로 1m의 전정색(Panchromatic) 영상과 1m의 컬러(color) 입체 영상으로 구성되어 있다. 본래의 IKONOS 컬러(multispectral) 영상은 4m의 해상도를 갖고 있으나 1m의 전정색 영상과의 융합을 통해 1m급의 컬러(color) 영상을 제공하고 있다. 제공되는 다항식비례모형계수는 25m(CE90)의 정확도를 갖고 있다. 그림 3은 실험을 위해 원영상에서 절취된 지역을 보여주고 있으며 절취된 지역은 아파트 단지의 일부로 총 28개의 건물로 구성되어 있다. 또한, 실험 지역에 해당하는 기준자료(reference data)는 1:1000 수치지도에서 취득된 해당건물들의 수평좌표와 LaserAce 300 광파기를 이용하여 실측된 건물의 고도값을 이용하여 제작되었다.

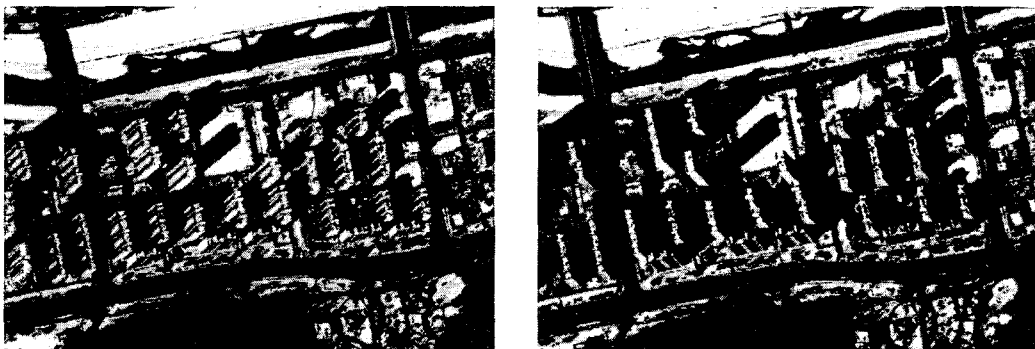


그림 3. 실험지역의 좌우 IKONOS 영상

##### 4.1 건물추출 및 건물인식 결과

본 연구에서는 BDT를 적용하기 위해 배경(background)에 해당하는 5 지역의 샘플을 활용하였다. 그림 4는 BDT를 통해 건물지역이 강조된 영상을 보여주고 있다. 변환된 3개의 BDC(Background Discriminant Component)들을 각각 R에 BDC1, G에 BDC3, B에 BDC2를 부여하게 되면 그림 4와 같이 붉은 색으로 표시되어 시각적으로도 구분이 가능하다. BDT를 통해 건물지역이 강조된 영상은 ISODATA 알고리즘을 통해 세그먼트가 수행되었다. 실험지역에 대하여 총 28개의 건물이 추출되었으며 영상촬영 당시 건물 위에 존재하던 눈으로 인해(건물과 배경의 밝기값 차이가 변화가 없음) 일부 건물들은 추출에 실패하였다.

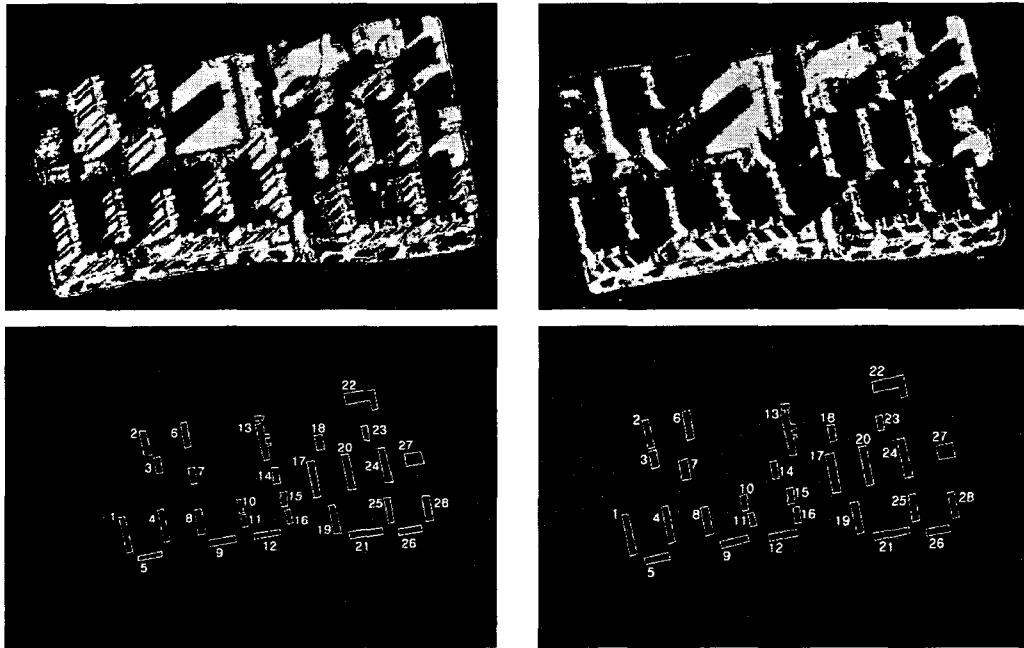


그림 4. 실험지역의 세그먼트 영상(상)과 최종적으로 추출된 건물들(하)

다음으로 추출된 좌우 건물에 대하여 동일건물 인식실험이 수행되었다. 표 1은 각각 경계정보와 색상정보 그리고 두 정도를 모두 사용한 경우의 인식성공률을 보여주고 있다. 총 28개의 건물에 대하여 경계정보만을 사용할 경우 13개의 건물만이 인식되었으며, 색상정보만을 사용할 경우 2개의 건물만이 인식되었다. 특히, 색상정보의 경우 촬영당시 건물 지붕에 쌓여있던 눈으로 인해 인식이 낮은 것으로 판단된다. 경계정보와 색상정보를 모두 사용한 경우 22개의 건물이 인식되었다. 따라서 동일건물을 인식함에 있어서 두 가지 정보 모두가 활용되어야 함을 확인할 수 있었다.

표 1. 실험지역의 동일건물 인식실험 결과

방법	평균순위	최대순위	인식실패	인식성공	인식률(%)
경계정보	2.6	6	17	11	39
색상정보	16.6	24	26	2	7
경계+색상정보	2.1	6	6	22	79

#### 4.2 영상정합 및 건물복원 결과

최종적으로 자동 인식된 22개의 건물들과 수동 인식된 6개의 건물로부터 각각의 건물을 구성하고 있는 총 3358점에 대한 영상정합 실험이 이루어졌다. 영상정합을 위한 제약조건은 그림 2에서 설명한 것과 같은 알고리즘을 사용하였으며 부영상소 단위의 영상정합 결과를 얻기 위하여 최소제곱영상정합법이 적용되었다. 총 3358점의 건물경계점에 대한 영상정합 결과 3052점에 대하여 공액점이 계산되었으며 대략 90%에 가까운 정합률을 나타내었다. 한편, 제공되는 25m 수준의 다항식비례모형 계수를 사용한 3차원 건물복원은 정확도 측면에 있어서 부적합하다고 판단되어 본 연구에서는 1점의 지상기준점을 사용하여 다항식비례모형계수 블록조정을 통해 계수를 갱신하였다. 그림 5는 실험지

역에 대하여 AcrView를 통해 시각화시킨 3차원 복원결과를 보여주고 있다. 3차원 복원결과의 정확도는 준비된 기준자료를 통해 검증되었다. 비교결과 x 방향으로 2.62m의 표준편차, y 방향으로 1.62m의 표준편차를 나타내었으며, 높이값에 대해서는 2.28m의 표준편차를 나타내었다.

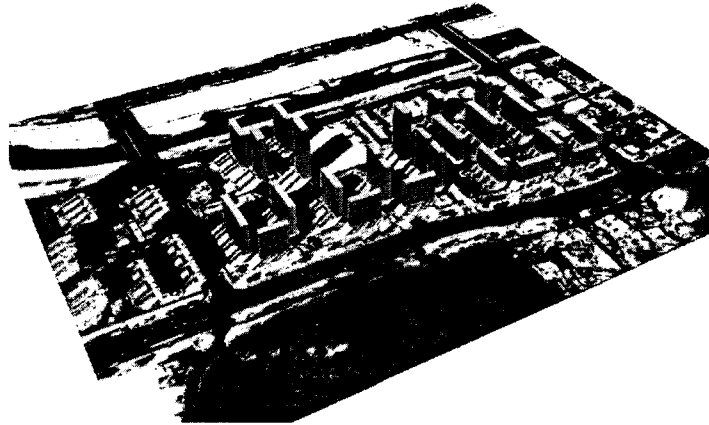


그림 5. 실험지역의 3차원 건물복원 결과

## 5. 결 론

본 연구는 IKONOS 컬러 입체영상을 활용하여 대규모 도심지역에 있어서 3차원 건물복원의 자동화 가능성에 대한 연구를 수행하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 첫째, 건물추출시 컬러정보의 유용함을 확인할 수 있었으며, 특히 BDT와 같이 분광특성에 기반한 선형변환법이 컬러영상의 경우 적합함을 확인할 수 있었다. 둘째, 동일건물을 인식함으로써 영상정합의 탐색영역을 제한하는 방법은 영상정합의 시간이나 정확도 측면에 있어서 상당한 장점을 갖고 있음을 확인할 수 있었다. 셋째, IKONOS 위성영상을 이용한 대규모 도심지역의 건물복원이 상당부분 자동화될 수 있는 가능성을 확인하였으며 정확도 비교결과 고품질의 3차원 자료획득이 가능함을 알 수 있었다.

## 참고문헌

1. Carroll, J. D., Green, P. E., and Chaturvedi, A.: Mathematical tools for applied multivariate analysis, Elsevier Science, Revised edition, (1997) 259-294
2. Hall, D. J., Khanna, D. K.: The ISODATA method computation for the relative perception of similarities and differences in complex and real data, Statistical Methods for Digital Computers, Wiley, (1977) 340-373
3. Huttenlocher, D. P., Klanderman, G. A., and Rucklidge, W. J.: Comparing images using the hausdorff distance, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 15(9), (1993) 850-863
4. Shettigara, V. K.: Image enhancement using background discriminant transformation, International Journal of Remote Sensing, 12(10), (1991) 2153-2167
5. Swain, M. J., Ballard, D. H.: Color indexing, International Journal of Computer Vision, 7(1), (1991) 11-32
6. Sohn, H.-G., Park, C.-H., and Chang, H.: RFM-based image matching technique using object-space approach, Journal of Japan Society of Photogrammetry and Remote Sensing, 43(4), (2004) 4-12.
7. Grodecki, J., Dial, G.: Block adjustment of high-resolution satellite images described by rational polynomials. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 69(1), (2003) 59-68