

## 고해상도 위성영상을 활용한 자동화된 건물 영역 추출 하이브리드 접근법

### A Hybrid Approach for Automated Building Area Extraction from High-Resolution Satellite Imagery

안효원<sup>1)</sup> · 김창재<sup>2)</sup> · 이효성<sup>3)</sup> · 권원석<sup>4)</sup>

An, Hyowon · Kim, Changjae · Lee, Hyosung · Kwon, Wonsuk

#### Abstract

This research aims to provide a building area extraction approach over the areas where data acquisition is impossible through field surveying, aerial photography and lidar scanning. Hence, high-resolution satellite images, which have high accessibility over the earth, are utilized for the automated building extraction in this study. 3D point clouds or DSM (Digital Surface Models), derived from the stereo image matching process, provides low quality of building area extraction due to their high level of noises and holes. In this regards, this research proposes a hybrid building area extraction approach which utilizes 3D point clouds (from image matching), and color and linear information (from imagery). First of all, ground and non-ground points are separated from 3D point clouds; then, the initial building hypothesis is extracted from the non-ground points. Secondly, color based building hypothesis is produced by considering the overlapping between the initial building hypothesis and the color segmentation result. Afterwards, line detection and space partitioning results are utilized to acquire the final building areas. The proposed approach shows 98.44% of correctness, 95.05% of completeness, and 1.05m of positional accuracy. Moreover, we see the possibility that the irregular shapes of building areas can be extracted through the proposed approach.

Keywords : High-Resolution Satellite Imagery, Stereo Image Matching, Building Hypothesis Generation, Color based Image Segmentation, Line Detection and Space Partitioning, Building Area Extraction

#### 초 록

본 연구에서는 기존의 연구들에서 주로 사용하여왔던 현장측량, 항공사진, 라이다 데이터 등의 취득이 원천적으로 어려운 지역에 대한 건물 영역 추출을 구현하고자 하였다. 이에 접근성에 큰 영향을 받지 않는 거의 유일한 데이터인 고해상도 위성영상을 활용한 방법론을 제시하고자 한다. 영상정합을 통해 추출되는 점군 데이터 또는 DSM (Digital Surface Models)을 활용한 건물 영역 추출은 데이터내의 높은 잡음과 다수의 빈 영역으로 인해 그 정확성에 한계를 보이고 있다. 따라서 본 연구에서는 영상 정합을 통해 얻어진 3차원 점군 데이터, 영상의 색상 및 선형 정보를 결합하여 건물 영역 추출을 수행하는 하이브리드식 접근법을 제안하였다. 일차적으로 다중영상정합으로 얻어진 3차원 점군 데이터로부터 지면점과 비지면점을 분리하고, 비지면점으로부터 초기 건물 대상지를 추출한다. 이후, 영상의 색상이기반 분할을 수행하여 얻어진 결과와 초기 건물 대상지를 결합하여, 색상분할기반 건물 대상지를 추출한다. 이어서 영상의 선형 추출 및 공간 분할정보를 이용하여 최종적인 건물 영역을 선정하게 된다. 본 논문에서 제시한 건물 영역 자동 추출 방법론은 Correctness: 98.44%, Completeness: 95.05%, 위치오차: 1.05m 정도의 성능을 보임을 확인하였으며, 더불어 직각형태 이상의 복잡한 건물 영역도 잘 추출함을 확인하였다.

핵심어 : 고해상도 위성영상, 다중영상정합, 건물 대상지 추출, 색상이기반 영상분할, 선형 추출 및 공간 분할, 건물 영역 추출

Received 2019. 11. 24, Revised 2019. 11. 28, Accepted 2019. 12. 04

1) Member, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Myongji University (E-mail: gydnjs1110@naver.com)

2) Corresponding Author, Member, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Myongji University (E-mail: cjkim@mju.ac.kr)

3) Member, Dept. of Civil Engineering, Suncheon National University (E-mail: hslee@scnu.ac.kr)

4) Agency for Defense Development (E-mail: wskwon@add.re.kr)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서론

지난 수십 년간 컴퓨터 비전과 사진측량분야에서 건물 모델링을 위한 많은 연구들이 있어왔다. 건물 모델링의 주요한 목적중의 하나는 3차원의 도시 모델을 자동으로 정확하고 신속하게 구축함에 있다. 건물 모델링은 일반적으로 건물 대상지 추출(building hypothesis generation)과, 건물 형상화(building reconstruction)로 나누어 생각할 수 있다.

우선, 건물 대상지 추출은 주어진 데이터에서 건물과 비건물영역을 분리시키는 과정이다. 그 일차적인 과정으로 지면과 비지면을 분리시키는 과정이 선행되며, 이후 비지면 데이터에서 크기와 높이 등을 고려하여 건물 대상지를 추출한다(Vosselman, 2000; Roggero, 2001; Zhang 2003; Choi and Cho, 2007; Bartels and Wei, 2010). 지면과 비지면을 분리시키는 알고리즘의 다수는 지형의 기울기 및 자동화를 위한 파라미터 설정의 복잡성을 안고 있었는데, SMRF (Simple Morphological Filter)는 ISPRS (International Society of Photogrammetry and Remote Sensing)에서 제공한 15개의 샘플 데이터를 통하여 기존의 방법들보다 우수한 성능을 선보였다(Pingel *et al.*, 2013).

건물 형상화는 추출된 건물 대상지를 기반으로 3차원의 건물 형상을 실세계와 유사하게 만들어내는 과정이다(Ma, 2004). 건물 형상화에 관련한 연구는 크게 1) 모델 기반과 2) 데이터 기반의 두 연구 흐름으로 나뉜다(Forstner, 1999; Faig and Widmer, 2000). 모델 기반 건물 형상화 방법들은 정형화된 건물 모델의 파라미터를 주어진 데이터에 최적화시키는 방법을 활용한다. 한편 데이터 기반 건물 형상화 방법들은 건물의 형태에 고정되지 않고 데이터로부터 얻어진 정보들로부터 건물을 형상화한다. 두 접근 방법을 결합한 CSG(Constructive Solid Geometry) 모델도 활용되고 있다(Ma, 2004). CSG 방법론은 복잡한 건물의 형상을 단순한 건물모델들의 조합으로 가정하고 접근한다(Haala *et al.*, 1998; Vosselman and Dijkman, 2001; Suveg and Vosselman, 2004).

건물 모델링을 수행하기 위한 활용 자료 측면에서 보면 크게 1) 영상 기반, 2) 라이다기반, 3) 데이터 융합 기반으로 나누어볼 수 있다. 우선 영상 기반 건물 모델링 방법은 일반적으로 다중 영상의 매칭에 기반하여 3차원 점군 또는 DSM (Digital Surface Model)를 생성하고, 이로부터 건물 모델링을 수행하는 순서로 진행된다(Baillard *et al.*, 1999; Kim *et al.*, 2001; Wang *et al.*, 2008; Yan and Li, 2014). 한편 건물 모델링 연구의 한 축으로 높은 위치정확도와 점밀도를 제공하는 라이다를 기반으로 한 연구가 다수 진행되어왔다(Maas and Vosselman, 1999; Alharthy, 2003; Sohn *et al.*, 2008; Sampath and Shan, 2010;

Kwak and Habib, 2014; Kim *et al.*, 2016). 이들 연구들은 region growing, segmentation, step edge 기법을 활용하여 건물의 패치 영역을 결정하고, 정규화(regularization)하여 건물의 외곽선과 전체적인 형상을 재구성하려 시도하였다. 그러나 라이다 데이터의 속성상 건물 외곽에서 발생하는 불연속성을 정밀하게 추출하지 못하며, 그 정확도는 라이다 데이터의 점밀도에 상당한 영향을 받게 된다(Wang *et al.*, 2008). 또한 직사각형의 조합을 통하여 건물 외곽선 정규화 하는 MBR (Minimum Boundary Rectangle)을 활용한 연구들(Cheng *et al.*, 2011; Kwak *et al.*, 2012)이 있으나, 이러한 접근 방법은 직각형태 이상의 다양한 건물을 모델링하는데 한계를 보이고 있다.

영상 또는 라이다 데이터와 같이 한 종류의 데이터만을 사용하여 건물 모델링 수행시 발생하는 문제들을 극복하고자 다중 데이터를 융합하여 건물 모델링을 수행하는 연구가 진행되어 왔으며, 그중에서 특히 라이다와 영상 데이터를 융합하여 건물 모델링을 수행하는 연구들이 주류를 이루어왔다(Rottensteiner and Jansa, 2002; Schenk and Csatho, 2002; Seo, 2003; Ma, 2004; Chen *et al.*, 2005; Lee *et al.*, 2008; Habib *et al.*, 2010; Kwak, 2013). 이들 연구 대부분은 라이다데이터로부터 건물의 초기영역과 평면정보를 추출하고, 영상으로부터 선형정보를 추출하여, 건물 외곽선의 정확도를 향상시켜 건물의 전체적인 형상을 재구성하였다.

본 연구에서는 기존의 연구들에서 주로 사용하여왔던 항공 사진과 라이다 데이터의 취득이 원천적으로 어려운 지역에 대한 건물 모델링의 선행 작업으로, 건물 영역 추출을 구현하고자 하며, 이에 접근성에 큰 영향을 받지 않는 고해상도 위성영상을 활용한 방법론을 제시하고자 한다. 영상 매칭을 통하여 얻어진 3차원 점군 데이터만을 활용하여 건물 영역 추출을 수행하기에는 매칭결과물의 불완전성과 정확도 측면에서 한계가 있기에 본 연구에서는 매칭으로 추출된 3차원 점군 데이터와 위성영상의 시맨틱(semantic) 정보를 동시에 고려하는 하이브리드 접근 방법을 기반으로 직각형상 이상의 다양한 건물 영역 추출이 가능한 데이터 기반 방법론을 제시하였다. 제시된 방법론은 간략하게 1) 스테레오 위성영상의 매칭을 통하여 3차원 점군데이터를 생성하고, 2) 지면 및 비지면 점군 데이터 분류와 초기 건물 대상지 추출, 3) 초기 건물 대상지와 pan-sharpened 위성영상을 활용한 색상분할기반 건물 대상지 추출, 4) 위성영상의 선형정보를 활용한 건물 영역 정밀 추출의 단계로 구성되어 있다. 본 논문 2장에서는 제시된 건물 영역 추출 방법론에 대하여 단계별로 구체적인 기술을 하였으며, 3장에서는 다양한 형태의 건물에 대하여 적용한 실험결과 및 정확도 분석을 기술하였고, 4장에서는 결론을 언급하였다.



## 2.2 초기 건물 대상지 추출

앞에서 얻어진 3차원 점군 데이터로부터 초기 건물 대상지를 추출하기 위해, 일차적으로 지면 및 비지면 분리 과정을 거치게 된다. 이를 위해 기존 알고리즘들과의 비교를 통해 그 우수성이 검증된 SMRF 방법을 적용하였다. 이는 간단한 형태소 이미지 처리 단계를 기반으로 하는 지형 분류 기법이며, 선형적으로 증가하는 윈도우 크기와 간단한 기울기 임계값을 이용하여 모폴로지 기법을 적용시켜 지면 및 비지면으로 점군 데이터를 분리한다(Pingel *et al.*, 2013). 이후 분리된 비지면 점군 데이터로부터 건물 대상지를 추출하기 위하여, 이웃한 점들 간의 3차원 거리를 계산하여 일정거리 (1m) 이하에 들어오는 점들을 그룹화 하였다. 이는 3차원 상에서 이웃한 점들과 이웃하지 않은 점들을 일차적으로 분리시키고자 함이며, 이후 각 그룹의 크기를 산정하여 일정크기 (10m) 이상이 되는 경우 건물 대상지로 선택하였다. 이는 작은 크기의 그룹은 나무이 아닌 나무의 일부, 차량, 기타 부속물 등으로 판단되기 때문이다. Fig. 4(a)는 3차원 점군 데이터로부터 분리된 지면 및 비지면 데이터를 보이고 있으며, 지면 데이터는 회색으로, 비지면 데이터는 녹색으로 나타내었다. 이후 획득한 비지면 데이터로부터 그룹화 과정과 크기 결정을 통하여 선택된 초기 건물대상지가 Fig. 4(b)에 보이고 있다.

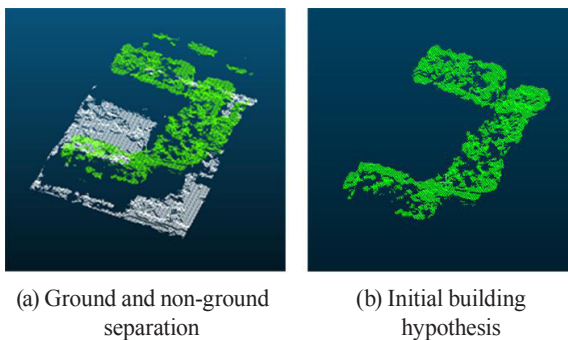


Fig. 4. Example of ground and non-ground separation and initial building hypothesis

## 2.3 색상분할기반 건물 대상지 추출

Fig. 4에서 보는 바와 같이 추출된 초기 건물 대상지는 높은 잡음과 다수의 빈 영역을 포함하고 있다. 이는 영상정합으로부터 얻어진 3차원 점군 데이터 자체의 높은 잡음, 매칭 실패 등에 기인함이며, 이러한 초기 건물 대상지 점군 데이터로부터 건물 형상을 재현하는 것은 상당한 무리가 따른다. 이에 본 연구에서는 건물 대상지의 품질을 향상시키고자 영상의 색상기반 분할 결과와 앞서 얻어진 초기 건물 대상지를 결합하여

색상분할기반 건물 대상지를 추출하였다.

우선 panchromatic 영상과 multi-spectral 영상을 결합하여 얻어진 pan-sharpened 영상을 제작한 후 이에 색상기반 분할을 적용하였다. 색상기반 분할은 클러스터링 기법을 기반으로 컬러 영상의 RGB 색상 정보를 활용하여, 동질적인 영역을 분할하는 것을 말한다. 대표적인 클러스터링 알고리즘으로 K-means clustering과 Mean-Shift 알고리즘을 들 수 있다. K-means clustering은 전체 데이터를 K개의 클러스터로 빠르게 묶어낸다는 장점이 있다. 그러나 클러스터의 개수 K가 사전에 결정되어야 하고, 초기 중심점 설정에 따라 수렴 여부가 크게 좌우된다는 한계가 있다(Chen *et al.*, 2008). 한편, Mean-Shift 알고리즘은 데이터의 밀도분포를 기반으로 피크 또는 무게중심을 활용하여 클러스터를 고속으로 추출하는 알고리즘이다. Mean-Shift 알고리즘은 대표적인 비모수 클러스터링 기법이며, 커널(kernel)함수를 사용한다(Zheng *et al.*, 2009). 본 연구에서는 두 클러스터링 기법을 데이터에 적용한 경험을 바탕으로 Mean-Shift 알고리즘이 건물 대상지 추출에 보다 적합함을 확인하고, 이 알고리즘을 색상기반 분할에 활용하였다. Mean-Shift 알고리즘은 활용 시 커널값을 지정해 주어야 하는데, 이는 주로 이용하고자 하는 데이터의 특성을 고려해서 결정해준다. 각 건물 대상지는 일반적으로 단일 건물 또는 몇몇 부속 건물들로 그룹화 되어 있어, 다양한 색상 정보를 포함하고 있지 않으므로, 적은 수의 분할을 수행하도록 커널값을 0.8~1.0으로 설정하여 실험을 진행하였다.

이후 초기 건물 대상지 3차원 점 데이터를 RPC를 이용하여 2차원 영상에 투영한 결과와 앞에서 추출된 색상기반 분할 영상을 비교분석한다. 즉, 각 분할 영역 내 총화소수와 그 영역 내에 포함되는 투영 점의 개수를 비교하여, 일정 크기 (30%) 이상의 중복도를 가지는 분할 영역들을 선택하였다. 이렇게 선택된 분할 영역들을 통합하여 새로운 건물 대상지로 선정하였으며, 이를 '색상분할기반 건물 대상지'라 칭한다. 여기서 중복도 수치는 3차원 점군 데이터의 잡음 수준 및 다수의 빈 화소를 고려하여 결정하였다. Fig. 5는 색상분할기반 건물 대상지 추출을 단계 별로 보여준다. Fig. 5(a)는 실험대상 건물의 Pan-sharpened 영상을 보여준다. Fig. 5(b)는 Mean-Shift를 활용한 색상기반분할 결과를 보여주며, Fig. 5(c)는 초기 건물대상지의 3차원 점군 데이터를 영상에 투영한 결과를 보여준다. Fig. 5(d)는 생성된 색상분할기반 건물 대상지를 보여준다. 초기 건물 대상지(Fig. 4(b) 또는 Fig. 5(c))에 비해, 초기 건물대상지 정보와 영상정보를 융합하여 얻은 색상분할기반 건물 대상지(Fig. 5(d))의 품질이 매우 향상되었음을 가시적으로 확인할 수 있다.

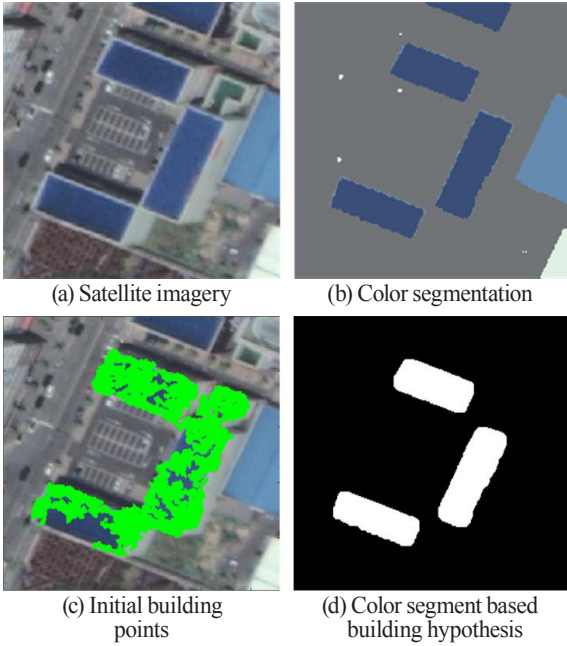


Fig. 5. Color based segmentation process for extraction building candidate

### 2.4 선형정보 추출 및 공간분할

선형정보 추출 및 공간분할은 건물의 외곽선 및 형태를 보다 정확하게 고려하기 위해 중요 단계이다. 본 장에서는 2.3장에서 추출된 색상분할기반 건물 대상지와 Panchromatic 영상에서 얻어지는 선형정보를 이용하여 최종 건물 영역을 선정한다. Fig. 1에 보인 선형추출 및 공간분할 단계를 Fig. 6에서 보다 상세한 흐름으로 보이고 있다.

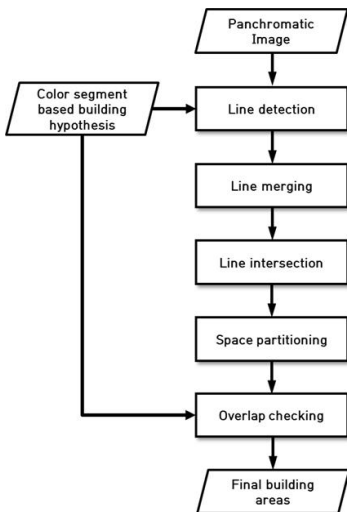


Fig. 6. Workflow of line extraction and space partitioning

먼저 색상분할기반 건물 대상지에 버퍼를 설정하고 이 버퍼 영역에 해당하는 Panchromatic 영상을 불러온다. 이후 해당 영상에서 선형정보를 추출하는데 본 연구에서는 LSD (Line Segment Detector)기법을 적용하였다. 건물 외곽선 추출은 다수의 연구에서 대중적으로 Canny edge detector와 Hough transform을 활용하였는데, 이때 에지의 공간적 관계성이 고려되지 않고 hough space에 정보가 쌓이며, 각각 거리의 임계값 설정에 영향을 받아 에지 밀도가 높은 영상에서는 많은 오탐지를 유발한다. 이러한 문제를 해결하고자, 본 연구에서는 에지의 방향성을 고려하여 매개변수 수정 없이 선형정보를 제공하는 LSD (Von Gioi *et al.*, 2010; on Gioi *et al.*, 2012)를 선정하여 활용하였다.

LSD를 통하여 추출된 선분들(Fig. 7(a))은 건물의 동일 외곽선에 속함에도 불구하고, 작은 선분들로 나뉘어져있는 경우가 다수이다. 이에 선분통합(Fig. 7(b))이라는 과정을 통하여, 대상 선분의 끝점들이 인접하고 방향성이 유사한 경우에 (즉, 대상 선분 끝점들 간의 이격 거리와 선분간 사이 각을 확인하여), 이들 선분들을 동일 선분으로 간주하고 최소제곱법을 통하여 하나의 선분을 만들었다. 이후 이렇게 통합된 선분들을 이용하여 공간분할을 수행하기 위하여 우선 추출된 선분들의 길이를 늘려 선분들 간에 교차점을 추출하였다(Fig. 7(c)). 선분교차를 통하여 교차점들을 찾았으나, 이는 폐합된 공간들로의 분할이 이루어진 상태는 아니므로, 교차점과 교차선들 간의 연결성을 기반으로 Convex hull을 적용하여 전체 영역을 닫힌 다각형들로 분할하였다(Fig. 7(d)). 이후 건물 영역은 각 다각형들과 색상분할기반 대상지와의 중복도(50% 이상)를 평가하여 최종적으로 선정되었다(Fig. 7(e)).

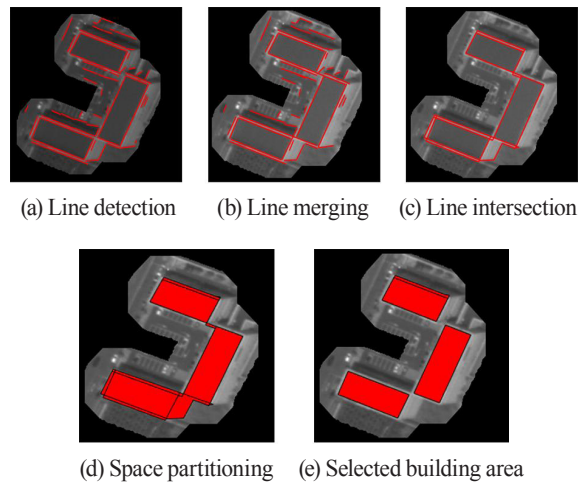


Fig. 7. Step-by-step results of line and space extraction

### 3. 실험 결과 및 분석

본 연구에서 제시한 하이브리드식 접근법을 통한 건물 영역 추출 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여, 실험지역으로부터 실험대상 건물을 선정하고, 수동으로 추출한 건물 영역과 자동으로 추출된 건물 영역을 비교하여 정성 및 정량 평가를 수행하였다. 실험데이터는 0.5m 정도의 공간해상도를 갖는 Worldview-2 영상을 사용하였으며, 실험지역은 대전광역시 도심지의 일부를 발췌하여 사용하였다. Fig. 8은 실험지역의 위성영상을 보여주고 있으며, 실험대상 건물은 크기, 색상특성, 형태 등을 고려하여 5개를 선정하여 실험하였다.

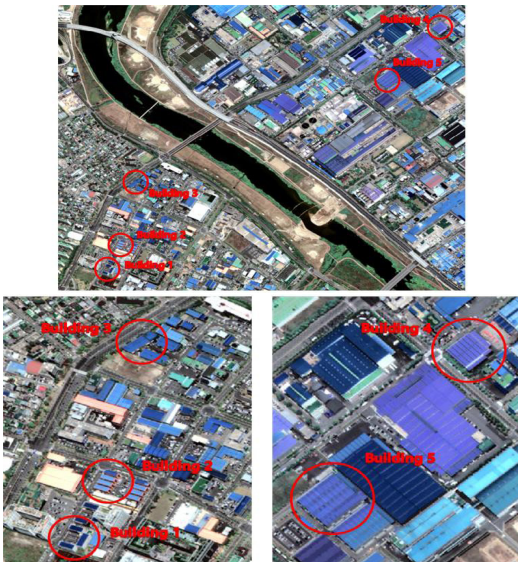


Fig. 8. Test area and buildings for the experiments

Table 1은 각 실험대상 건물별 해당 위성영상, 수동으로 추출된 건물 영역, 색상분할기반 건물 대상지, 그리고 자동으로 추출된 최종 건물 영역을 보이고 있다. 수동으로 추출한 건물 영역은 해당 위성영상위에 빨간 선으로 표시하였다. 노란 점선으로 표시된 영역은 자동으로 추출된 건물 영역과 수동으로 추출된 영역 간에 상이한 지점을 나타낸다. 건물 1은 3개의 부속 건물들로 이루어져있으며, 각 건물의 최외각에 펜스가 존재한다. 건물의 펜스는 건물지붕과 다른 색상정보를 가지고 있기에 색상분할에서 다른 클러스터로 인지되었다. 해당 클러스터의 총화소수에 비하여, 해당 클러스터에 포함되는 건물 대상지 점의 수가 중복도 30% 이상을 넘지 못하여 색상분할기반 대상지 선정에서 제외되었다. 이에 추출된 색상분할기반 대상지가 수동으로 추출한 건물영역보다 작아진 것을 확인할 수 있다. 더불어, 선형정보 추

출과 공간분할을 통한 최종 건물 영역에서도 펜스 안쪽으로 선정되었음을 확인할 수 있다. 건물 2는 4개의 부속건물들로 이루어져 있으며, 이 중 1개의 부속건물은 다른 부속건물들과 색상이 다르다. 자동으로 추출된 건물 정보에서는 전체적으로 실제 건물 외곽선과 유사한 형태로 추출되었으나, 노란 점선에 해당하는 지역은 선형정보 오추출 또는 미추출로 인하여 다른 형상을 만들어 냈다. 건물 3은 직각구조로만 이루어지지 않은 건물 형태를 보여주고 있다. 일부 선형정보의 미추출로 인하여 실제보다 단순화된 건물 영역을 추출하게 되었으며, 건물 외부의 선형정보가 영향을 주어 수동 측정된 건물보다 크게 추출되었다. 그러나 한편으로 제안한 알고리즘을 통하여 직각형태 이상의 복잡한 건물 영역을 추출할 수 있는 가능성을 확인하였다. 건물 4는 여러 직각요소들로 이루어진 건물이다. 대상 건물 우측의 복잡한 모서리들을 자동으로 잘 탐지하였으나, 하단의 모서리(노란 점선 영역)에서 외곽선의 미세한 기울어짐을 탐지하지는 못했다. 자동화된 추출 결과에서는 선분통합으로 인해 하나의 선분으로 단순화된 모습을 보이고 있다. 건물 5는 대상 건물 우측 상단부분에 비가림막 (또는 처마)처럼 생긴 부분을 가지고 있으며 이 부분을 자동으로 잘 탐지하였다. 그러나 우측 모서리에서 두 개의 선분이 추출되지 못하여 형상이 보다 단순화되었다.

Table 1. Satellite images, manually detected buildings, color segment based building hypotheses, and automatically detected buildings

	Test area images + manually detected buildings	Color segment based building hypotheses	Automatically detected buildings
Building 1			
Building 2			
Building 3			
Building 4			
Building 5			

Table 2. Correctness and completeness evaluation

Test Buildings	No. of Pixels Detected Manually	No. of Pixels Detected Automatically	No. of Pixels Matched	Correctness (%)	Completeness (%)
Building 1	10841	9382	9298	99.1	85.8
Building 2	10886	9187	9008	98.1	82.7
Building 3	11905	13150	11643	88.5	97.8
Building 4	32864	32886	32724	99.5	99.6
Building 5	61696	59226	59225	99.9	95.9
Minimum	-	-	-	88.5	82.7
Maximum	-	-	-	99.9	99.6
Overall	128192	123831	121898	98.44	95.09

정량 평가는 자동화된 건물 영역 추출의 성능을 평가하기 위해 Correctness, Completeness 그리고 건물 모서리점의 위치 정확도 평가를 수행하였다. Correctness는 자동 추출된 건물 영역 중 얼마나 정확하게 실제 건물 영역을 추출하였는가를 평가하는 지표이며(Eq.(1)), Completeness는 수동 추출된 건물 영역을 기준으로 얼마나 완벽하게 자동으로 건물 영역을 추출하였는가를 평가하는 지표이다(Eq.(2)). 식에서 보는 바와 같이 Correctness는 자동 추출된 건물 영역 내 화소수 대비 자동과 수동에서 공통되는 영역의 화소수를 비교하여 계산하며, Completeness는 수동 추출된 건물 영역 내 화소수 대비 자동과 수동에서 공통되는 영역의 화소수를 비교하여 계산한다.

Table 2는 대상 건물별로 수동으로 추출한 건물 영역의 화소수, 자동으로 추출한 건물 영역의 화소수, 수동과 자동의 공통 영역의 화소수, Correctness, Completeness 수치를 보이고 있다. Correctness는 건물 5에서 최대 99.9%, 건물 3에서 최저 88.5%를 보여주었다. Completeness는 건물 4에서 최대 99.6%로 건물 2에서 최저 82.7%를 보여주었다. 최저 Correctness가 나온 건물 3에서는 선형정보의 부족으로 인해 건물형태가 단순화되고 건물의 옆면 선분을 최외각선분으로 판단하여 나온 결과이며, 최저 Completeness가 나온 건물 2에서도 선형정보의 부족 및 선형정보의 오추출로 인해 건물정보에 오차가 발생하였다. 5개 건물 모두를 포함하는 Correctness는 98.44%가 나왔으며, Completeness는 95.05%가 나왔다. 한편 위치정확도 평가는 자동으로 추출된 건물 모서리 점과 대응되는 수동 추출 건물 모서리 점의 영상 좌표를 비교하여 RMSE(Root Mean Squares Error)를 계산하였다(Table 3). 위치 정확도는 5개 건물에 대하여 전반적으로 1.7~2.7 화소의 오차를 나타내었다. 평균적으로 2.1 화소 오차를 보이고 있다. Worldview-2의 공간해상도 0.5m를 고려하였을 경우 1m 정도의 위치오차를 발생시킴을 확인할 수 있었다.

$$Correctness = \frac{\text{Number of pixels matched}}{\text{Number of pixels detected automatically}} \quad (1)$$

$$Completeness = \frac{\text{Number of pixels matched}}{\text{Number of pixels detected manually}} \quad (2)$$

Table 3. Positional accuracy evaluation

Test Buildings	RMSE <sub>Row</sub> (pixel)	RMSE <sub>Col</sub> (pixel)	RMSE <sub>Total</sub> (pixel)	RMSE <sub>Total</sub> (m)
Building 1	2.1	1.3	2.4	1.2
Building 2	1.2	2.3	2.7	1.35
Building 3	1.5	1.0	1.8	0.9
Building 4	1.3	1.4	1.9	0.95
Building 5	1.1	1.4	1.7	0.85
Overall	1.4	1.5	2.1	1.05

## 4. 결론

본 연구에서는 기존의 연구들에서 주로 사용하여왔던 라이더 또는 항공영상과 같은 데이터의 취득이 원천적으로 어려운 지역에 대한 건물 영역 추출을 구현하고자 목적하였으며, 이에 접근성에 큰 영향을 받지 않는 고해상도 위성영상을 활용한 방법론을 제안하였다. 영상정합으로부터 얻어진 3차원 점군 데이터는 높은 수준의 잡음과 정합 오차가 존재하기에 이로부터 건물 영역을 추출하는 것은 많은 한계가 있음을 확인하였고, 이의 극복을 위해 3차원 점군 정보와 영상의 색상 및 선형정보를 융합 활용하여 보다 향상된 건물 영역을 추출하는 하이브리드 접근법을 제안하였다. 색상정보의 활용은 3차원 점군 데이터에서 얻어진 초기 건물 대상지의 불안전성을 극복하게 해주었으며, 이후 선형 정보 추출 및 공간 분할 기술을 적용함으로써 보다 실제 건물 형태에 가까운 건물 정보를 추출할 수 있게 되었다. 제안한 방법론은 다양한 크기, 색상, 형상을 갖는 대상지를

신청하여, 정성 및 정량적으로 검증하였다. 대상지 전체에 대하여 Correctness는 98.44%, Completeness는 95.05%라는 수치를 얻었으며, 위치정확도는 2.1 화소 오차 (1.05m)를 획득하였다. 더불어, 본 연구에서 제안한 방법론은 직각형태 이상의 복잡한 건물 영역을 추출할 수 있음을 확인하였다. 그러나 대상 건물들의 일부 영역에서 선형정보의 오추출 또는 미추출로 인하여 실제 건물과 다른 형상을 얻는 것도 확인하였다. 더불어 건물 지붕의 색상과 벽면 또는 지면의 색상이 매우 유사한 경우에 있어서, 색상분할이 불안정하게 되어 건물 영역 추출에 오류를 보일 가능성도 존재한다. 따라서 향후 연구에서는 보다 향상된 건물 영역 추출을 위해 색상분할, 선형 정보 추출 및 공간 분할의 성능을 향상시키고 더불어 3차원 모델링을 위한 연구도 진행하고자 한다.

## 감사의 글

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원을 받아 수행되었음 (UD170091FD)

## References

- Alharthy, A. (2003), *Airborne Laser Scanning: System Evaluation and Building Extraction*, Ph.D. dissertation. Purdue University, Indiana, USA, 233p.
- Baek, S.H. and Park, S.Y. (2010), A stereo matching technique using multi-directional scan-line optimization and reliability-based hole-filling, *The KIPS Transactions: Part B*, Vol.17, No. 2, pp. 115-124. (in Korean with English abstract)
- Baillard, C., Schmid, C., Zisserman, A., and Fitzgibbon, A. (1999), Automatic line matching and 3D reconstruction of buildings from multiple views, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, IAPRS, 8-10 September, Munich, Germany, Vol.32, pp. 69-80.
- Bartels, M. and Wei, H. (2010), Threshold-free object and ground point separation in LIDAR data, *Pattern Recognition Letters*, Vol. 31, No. 10, pp. 1089-1099.
- Chen, L.C., Teo, T.A., Rau, J.Y., Liu, J.K., and Hsu, W.C. (2005), Building reconstruction from LIDAR data and aerial imagery, In *Proceedings. 2005 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS'05*, IEEE, 25-29 July, Seoul, Korea, Vol. 4, pp. 2846-2849.
- Chen, T.W., Chen, Y.L., and Chien, S.Y. (2008), Fast image segmentation based on K-Means clustering with histograms in HSV color space, In *2008 IEEE 10th Workshop on Multimedia Signal Processing*, IEEE, 8-10 October, Cairns, Qld, Australia, pp. 322-325.
- Cheng, L., Gong, J., Li, M., and Liu, Y. (2011), 3D building model reconstruction from multi-view aerial imagery and lidar data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 77, No. 2, pp. 125-139.
- Choi Y. and Cho G. (2007), Classification of raw LiDAR data using entropy theory, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 27(2D), pp. 225-231.
- Faig, W. and Widmer, T. (2000), Automatic building extraction from aerial images, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, IEEE, 4-8 December, Cancun, Mexico, Vol. 33, pp. 1708-1715.
- Forstner, W. (1999), 3D-city models: automatic and semiautomatic acquisition methods, *Photogrammetric Week 99*, PHOWO99, 20-24 September, Stuttgart, Germany, pp.291-303.
- Haala, N., Brenner, C., and Anders, K.H. (1998), 3D urban GIS from laser altimeter and 2D map data, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, ISPRS, 6-10 July, Columbus, Ohio, USA, Vol. 32, pp. 339-346.
- Habib, A.F., Zhai, R., and Kim, C. (2010), Generation of complex polyhedral building models by integrating stereo-aerial imagery and lidar data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 76, No. 5, pp. 609-623.
- Hirschmuller, H. (2008), Stereo processing by semi-global matching and mutual information, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 30, No. 2, pp. 328-341.
- Hirschmuller, H. and Scharstein, D. (2009), Evaluation of stereo matching costs on images with radiometric differences, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 31, No. 9, pp. 1582-1599.
- Kim, C., Habib, A., Pyeon, M., Kwon, G.R., Jung, J., and Heo, J. (2016), Segmentation of planar surfaces from laser scanning data using the magnitude of normal position vector for adaptive neighborhoods, *Sensors*, Vol. 16, No. 2, p. 140.
- Kim, Z., Huertas, A., and Nevatia, R. (2001), Automatic description of buildings with complex rooftops from multiple images, *Computer Vision and Pattern Recognition CVPR*



- 2001, IEEE, 8-14 December, Kauai, HI, USA, Vol. 2, pp. 272-279.
- Kwak, E. (2013), *Automatic 3D Building Model Generation by Integrating LiDAR and Aerial Images Using a Hybrid Approach*, Ph.D. dissertation, University of Calgary, Alberta, Canada, 163p.
- Kwak, E., Al-Durgham, M., and Habib, A. (2012), Automatic 3D building model generation from lidar and image data using sequential minimum bounding rectangle, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, ISPRS, 5 August – 01 September, Melbourne, Australia, Vol. 39, pp. 285-290.
- Kwak, E. and Habib, A. (2014), Automatic representation and reconstruction of DBM from LiDAR data using recursive minimum bounding rectangle, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 93, pp. 171-191.
- Lee, D.H., Lee, K.M., and Lee, S.U. (2008), Fusion of lidar and imagery for reliable building extraction, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 74, No. 2, pp. 215-225.
- Ma, R. (2004), *Building Model Reconstruction from LiDAR Data and Aerial Photographs*, Ph.D. dissertation, The Ohio State University, Ohio, USA, 166p.
- Maas, H.G. and Vosselman, G. (1999), Two algorithms for extracting building models from raw laser altimetry data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 54, pp. 153-163.
- Pingel, T.J., Clarke, K.C., and McBride, W.A. (2013), An improved simple morphological filter for the terrain classification of airborne LIDAR data, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 77, pp. 21–30.
- Roggero, M. (2001), Airborne laser scanning-clustering in raw data, *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, ISPRS, 22-24 October, Annapolis, Maryland, USA, Vol. 34, pp. 227-232.
- Rottensteiner, F. and Jansa, J. (2002), Automatic extraction of buildings from LIDAR data and aerial images, *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, ISPRS, 9-12 July, Ottawa, Canada, Vol. 34, pp. 569-574.
- Sampath, A. and Shan, J. (2010), Segmentation and reconstruction of polyhedral building roofs from aerial lidar point clouds, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 48, No. 3, pp. 1554–1567.
- Schenk, T. and Csathó, B. (2002), Fusion of LIDAR data and aerial imagery for a more complete surface description, *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, ISPRS, 9-13 September, Graz, Austria, Vol. 34, pp. 310-317.
- Seo, S. (2003), *Model-based Automatic Building Extraction from Lidar and Aerial Imagery*, Ph.D dissertation, The Ohio State University, Ohio, USA, 139p
- Sohn, G., Huang, X., and Tao, V. (2008), Using a binary space partitioning tree for reconstructing polyhedral building models from airborne lidar data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 74, No. 11, pp. 1425-1438.
- Suveg, I. and Vosselman, G. (2004), Reconstruction of 3D building models from aerial images and maps, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 58, pp. 202-224.
- Toutin, T. (2004), Comparison of stereo-extracted DTM from different high-resolution sensors: SPOT-5, EROS-A, IKONOS-II, and QuickBird, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 42, No. 10, pp. 2121-2129.
- Von Gioi, R.G., Jakubowicz, J., Morel, J.M., and Randall, G. (2010), LSD: A fast line segment detector with a false detection control, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 32, No. 4, pp. 722-732.
- Von Gioi, R.G., Jakubowicz, J., Morel, J.M., and Randall, G. (2012), LSD: a line segment detector, *Image Processing on Line*, Vol. 2, pp. 35-55.
- Vosselman, G. (2000), Slope based filtering of laser altimetry data, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, IAPRS, 16-22 July, Amsterdam, The Netherlands, Vol. 33, pp. 935-942.
- Vosselman, G. and Dijkman, S. (2001), 3D building model reconstruction from point clouds and ground plans, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, ISPRS, 22-24 October, Annapolis, Maryland, Vol. 34, pp. 37-44.
- Wang, Y., Schultz, S., and Giuffrida, F. (2008), Pictometry's proprietary airborne digital imaging system and its application in 3D city modelling, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, ISPRS, 3-11 July, Beijing, China, Vol. 37, pp. 1065-1070.

- Yan, L. and Li, P. (2014), Building footprints extraction methods based on marker-controlled watershed segmentation and local radon transformation. *Information Technology Journal*, Vol. 13, No. 11, pp. 1903-1907.
- Zhang, K., Chen, S.C., Whitman, D., Shyu, M.L., Yan, J., and Zhang, C. (2003), A progressive morphological filter for removing nonground measurements from airborne LIDAR data, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 41, No. 4, pp. 872-882.
- Zhang, L. and Gruen, A. (2006), Multi-image matching for DSM generation from IKONOS imagery, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 60, No. 3, pp. 195-211.
- Zheng, L., Zhang, J., and Wang, Q. (2009), Mean-shift-based color segmentation of images containing green vegetation, *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 65, No. 1, pp. 93-98.