

# 분할과 중첩 기법을 이용한 항공 사진 상의 빌딩 경계 추출

## Extraction of Building Boundary on Aerial Image Using Segmentation and Overlaying Algorithm

김용민<sup>1)</sup> · 장안진<sup>2)</sup> · 김용일<sup>3)</sup>  
Kim, Yong Min · Chang, An Jin · Kim, Yong Il

### Abstract

Buildings become complex and diverse with time. It is difficult to extract individual buildings using only an optical image, because they have similar spectral characteristics to objects such as vegetation and roads. In this study, we propose a method to extract building area and boundary through integrating airborne Light Detection and Ranging(LiDAR) data and aerial images. Firstly, a binary edge map was generated using Edison edge detector after applying Adaptive dynamic range linear stretching radiometric enhancement algorithm to the aerial image. Secondly, building objects on airborne LiDAR data were extracted from normalized Digital Surface Model and aerial image. Then, a temporary building areas were extracted by overlaying the binary edge map and building objects extracted from LiDAR data. Finally, some building boundaries were additionally refined considering positional accuracy between LiDAR data and aerial image. The proposed method was applied to two experimental sites for validation. Through error matrix, F-measure, Jaccard coefficient, Yule coefficient, and Overall accuracy were calculated, and the values had a higher accuracy than 0.85.

Keywords : Extraction of building boundary, Airborne LiDAR, Aerial image, Segmentation, Overlay

### 초 록

도시지의 빌딩들은 시간이 갈수록 형태가 다양해지고, 식생이나 도로와 같은 객체들과 유사한 분광 특성을 나타냄으로써 광학 영상만을 이용하여 추출하기가 어려워지고 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 항공 Light Detection and Ranging(LiDAR) 자료와 항공 사진의 융합을 통해 항공 사진상에서의 빌딩과 그 경계를 추출하는 방법을 제안한다. 먼저 항공 사진에 Adaptive dynamic range linear stretching 방사 강조 기법을 적용하고, 에디슨 에지 디텍터를 이용하여 이진 경계 지도를 생성하였다. 동시에 항공 LiDAR 자료로부터 normalized Digital Surface Model을 생성하고, 빌딩 영역을 추출하여 이진 경계 지도와의 중첩을 통해 임시 빌딩 영역을 추출하였다. 마지막으로 항공 LiDAR 자료와 항공 사진 간의 위치 오차를 고려하여 경계 강화 과정을 수행함으로써 최종 빌딩 경계를 추출하였다. 제안 방법의 검증을 위해 두 개의 실험 지역을 선정하여 제안 방법을 적용하였고, 정량적인 정확도평가에서 F-measure, Jaccard coefficient, Yule coefficient, Overall accuracy의 값이 모두 0.85 이상의 정확도를 보여주었다.

핵심어 : 빌딩 경계 추출, 항공 LiDAR, 항공 사진, 분할, 중첩

## 1. 서 론

도시 환경은 빌딩, 도로 등의 인공 요소와 수목, 초지, 하

천 등의 자연 요소로 구성되어 있으며, 시간이 갈수록 점 점 복잡해지고 빠르게 변화하고 있다(Yu 등, 2009). 특히 빌딩 요소는 필요에 따라 제거되고 다시 건축이 이루어지

1) 학생회원 · 서울대학교 건설환경공학부 박사과정(E-mail : kym0210@snu.ac.kr)  
2) 학생회원 · 서울대학교 건설환경공학부 박사후과정(E-mail : hal0208@snu.ac.kr)  
3) 교신저자 · 정회원 · 서울대학교 건설환경공학부 교수(E-mail : yik@snu.ac.kr)

기 때문에 변화의 정도가 빠를뿐만 아니라 건물의 형태도 복잡해지고 있다. 또한 우리 나라의 빌딩들은 빌딩 지붕에 녹색, 적색 등의 방수제를 도포하거나 옥상녹화를 통해 녹지 공간으로 조성하기 때문에 산림, 초지와 같은 식생과 유사한 분광 특성을 나타내어 광학 영상만으로는 추출하기가 어렵다. 따라서 많은 연구들은 도심지 빌딩 추출을 위한 최적의 도구로서 항공 Light Detection and Ranging(LiDAR)를 제안하고 있다(Rottensteiner 등, 2005 ; Sampath 등, 2007 ; Shen 등, 2011). 항공 LiDAR는 지면과 지면 위에 존재하는 객체의 정확한 높이 정보를 수집하는 능동형 원격탐사 기술로서 펄스(Pulse)가 지면이나 지면 위의 객체에 반사되어 센서로 돌아오는 시간을 측정하여 그 지점의 정확한 X, Y, Z 좌표 정보를 취득하며, 고밀도의 3차원 포인트 클라우드 형태이다(Shrestha 등, 1999 ; James 등, 2007).

LiDAR를 이용하여 빌딩을 추출하거나 재구성하는 연구는 활발히 진행되고 있다. Vosselman 등(2001)은 Hough 변환의 3차원 버전을 이용하여 추출한 평면으로 도심지의 3차원 모델을 재구성하였다. Ma(2005)는 회귀 평면(regression planar surface)을 통해 지면점들을 추출하여 Digital Terrain Model(DTM)을 구성하고, 이를 이용하여 높은 객체를 추출한 후에 식생을 제거하여 빌딩을 추출하였다. Sampath 등(2007)은 정사 기반 1차원 양방향 필터, 영역 확장 기법, 수정된 컨벡스홀(Convex hull) 구성 기법을 이용하여 빌딩의 경계를 추출하고 이를 재구성하였고, Ekhtari 등(2008)은 normalized Digital Surface Model(nDSM)으로부터 높이, 면적, 텍스처 정보를 활용하여 도심지의 빌딩을 추출하는 자동화 시스템을 제안하였다. 정확도를 향상시키기 위해 LiDAR 자료와 함께 항공 사진을 추가적으로 사용하여 빌딩을 추출하는 연구들도 활발히 진행되고 있다. Sohn 등(2003)은 팬샤프(pan-sharpened) 멀티스펙트럴 IKONOS 영상과 항공 LiDAR 자료의 융합을 통해 빌딩 footprint를 추출하였고, Rottensteiner 등(2005)은 항공 LiDAR 자료와 멀티스펙트럴 정사 항공 사진을 이용하여 빌딩을 추출하기 위한 자료 융합 프레임워크로서 Dempster-Shafer 이론을 제시하였다. 각 화소의 컬러, 높이 변화, 표면 거칠기 등의 다양한 정보를 확률적으로 계산하여 화소 기반 분류를 통해 빌딩을 추출한다. Chen 등(2009)은 Quickbird 영상과 LiDAR 자료로부터 Normalized Difference Water Index, Spectral Shape Index, Normalized Difference Vegetation Index, nDSM을 생성한 후에 여러 임계치를 적용하여 객체 기반 계층적 분류를 통해 도심지

빌딩을 분류하였다. 하지만 항공 사진과 항공 LiDAR 자료의 취득 특성의 상이함으로 인하여 LiDAR 자료로부터 추출된 빌딩 영역을 항공 사진이나 위성 영상으로 중첩할 경우 정확하게 일치하지 않는다. 이는 LiDAR 자료로부터 추출한 빌딩 정보를 중간 처리 과정을 거치지 않고 광학 영상에서 그 상태로 사용하면 이들에 대한 위치차로 인하여 오차가 발생한다.

따라서 본 연구에서는 분할과 중첩 기법을 통해 항공 LiDAR 자료와 항공 사진을 융합하여 언급된 문제점을 해결하고, 항공 사진상의 빌딩들과 그 경계를 추출하는데 목적이 있다. 다음 그림 1은 제안 방법을 통해 항공 사진상의 빌딩 경계를 추출하는 과정을 설명하고 있다. 먼저 Adaptive dynamic range linear stretching(ADRLS) 기법을 이용하여 항공 사진의 방사 강조를 수행하고 에디슨 에지 디텍터(Edison Edge Detector)를 이용하여 분할을 수행한다. 분할 영상은 LiDAR 자료로부터 추출한 빌딩과의 중첩 과정을 통해 항공 사진상의 임시 빌딩 영역을 추출하고, 경계 강화 과정을 수행함으로써 최종적으로 빌딩 경계 지도를 생성한다.

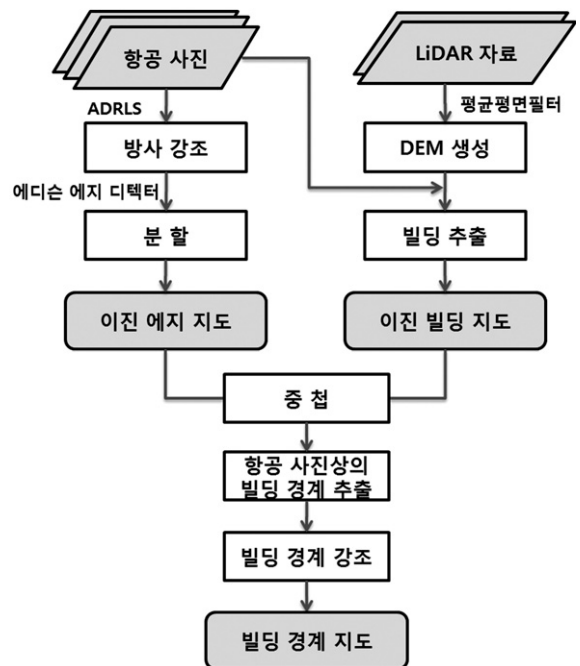


그림 1. 항공 사진상의 빌딩 경계를 추출하기 위한 연구흐름도

## 2. 항공 사진과 LiDAR 자료를 이용한 빌딩 경계 추출

### 2.1 항공사진을 이용한 이진 에지 지도의 생성

#### 2.1.1 ADRLS 기법을 이용한 방사강조

ADRLS 기법은 원영상의 히스토그램을 다수의 서브 히스토그램으로 분할하고, 각 서브 히스토그램에 adaptive scale factor와 선형 강조(Linear stretching) 기법을 순차적으로 적용하는 방사 강조 기법중 하나로, 히스토그램 평활화나 선형 강조 기법에 비해 입력 히스토그램의 분포 특성을 유지하면서 명암 대비를 확장할 수 있다는 장점을 갖는다. 따라서 ADRLS 기법을 통해 건물 경계의 명암 대비가 강조됨으로써 방사 강조 전보다 더 많은 건물 경계가 추출된다.

먼저 입력 영상의 히스토그램에서 국지적 최소치를 탐지하여 두 국지적 최소치 사이를 정규분포를 갖는 하나의 서브 히스토그램으로 정의한다(Abdullah-Al-Wadud 등, 2007). 국지적 최소치는 히스토그램의 시작값, 끝값, 변곡점으로 구성된다. 서브 히스토그램의 분할 과정은 다음 식 (1), (2)에 의해 정의된다.

$$range_i = \frac{span_i}{\sum span_i} (L-1) \quad (1)$$

$$new\ range_i = range_i * \frac{CDF_i}{\sum CDF} \quad (2)$$

$span_i$ : 입력 영상의 i번째 서브 히스토그램의 동적 범위

$CDF_i$ : 입력 영상의 i번째 서브 히스토그램 속의 전체 화소수

L: 입력 영상의 동적 범위

adaptive scale factor는 scale factor에 의해 동적 범위를 재조정하는 역할을 수행한다. 이론적인 서브 히스토그램의 재조정 범위 r을 다음 식 (3)과 같이 정의하면,

$$r = \frac{L}{k} \quad (3)$$

L: 방사해상도

k: 분할값(서브 히스토그램의 수)

최종 서브히스토그램의 동적 범위는 다음 식 (4)에 의해 정의된다. Scale factor는 이론적인 서브 히스토그램의 동

적 범위와 빈도수를 이용해 재조정된 서브 히스토그램과의 차이를 일정한 축척  $\alpha$ 를 적용하여 재조정함으로써 지나치게 많은 동적 범위를 갖는 서브 히스토그램의 영향을 최소화하고, 상대적으로 적은 동적 범위를 갖는 서브 히스토그램의 동적 범위를 확장하는 역할을 한다. scale factor는 [0, 1]의 범위를 가지며, 본 논문에서는 scale factor의 값을 선행 연구와 동일한 값인 0.5를 사용하였다(Park 등, 2008).

$$Final\ range_i = new\ range_i + \alpha(r - new\ range_i) \quad (4)$$

$\alpha$ : scale factor

위의 과정을 통해 ADRLS 기법은 히스토그램 평활화(Histogram equalization) 기법과 선형 강조 기법에 비해 원영상이 갖는 히스토그램의 분포 특성을 보존하면서 영상의 명암 대비 분포를 확장시킨다(김용민 등, 2010). 따라서 본 연구에서는 항공 사진의 분할을 위한 전처리 단계로서 ADRLS 기법을 활용하여 영상 속에 존재하는 객체(Object)들 간의 경계를 강조하고, 명암 대비를 확장하여 정확하고 세밀한 분할 결과를 도출할 수 있도록 한다. 표 1은 ADRLS 기법을 적용하기 전과 후의 평균과 표준편차를 보여주고 있다. 적용 후 영상에서의 평균은 8비트 영상의 중앙값인 128 부근으로 이동하였으며, 표준편차는 적용 전의 영상보다 높아졌음을 알 수 있다. 이는 ADRLS 기법의 적용을 통해 적용 후의 영상이 적용 전의 영상에 비

표 1. ADRLS 적용 전과 후의 영상 밝기값 평균과 표준편차

	ADRLS 적용 전		ADRLS 적용 후	
	평균	표준편차	평균	표준편차
Band 1(Red)	149.9	56.2	139.3	71.1
Band 2(Green)	160.5	49.7	131.9	70.4
Band 3(Blue)	136.4	57.8	111.6	74.7

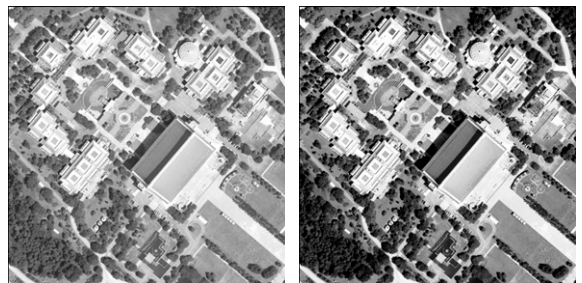


그림 2. ADRLS 방사강조 기법의 적용 전(좌)과 후(우)

해 동적 범위를 효율적으로 사용했다는 것을 의미한다. 그림 2(a)는 원본 항공 사진이며, 그림 2(b)는 ADRLS 기법을 이용하여 방사 강조를 수행한 결과 영상이다. ADRLS의 적용 후의 영상이 명암 대비의 확장을 통해 시각적인 판독성이 향상된 것을 확인할 수 있다.

### 2.1.2 에디슨 에지 디텍터를 이용한 분할

Meer 등(2001)이 개발한 에디슨 에지 디텍터는 에지를 추출할 뿐만 아니라 추출된 각 에지와 관련된 신뢰도  $\eta$ 와  $\rho$ 를 제공한다. 에디슨 에지 디텍터에서 에지 신뢰도  $\eta$ 를 유도하기 위해서 원형 정합(템플릿 매칭) 접근법을 사용하는데, 신뢰도  $\eta$ 는 고려된 에지(considered edge)와 동일한 기울기 방향을 가지는 이상적 에지 원형 사이의 관련성을 나타낸다. 기울기 크기 신뢰도  $\rho$ 는 고려된 에지보다 기울기 크기가 더 작은 화소 부분을 세어 계산한다. 두 신뢰도 모두 [0, 1] 범위의 값을 취한다. 일반적으로 에디슨 에지 디텍터는 에지 화소의 위치를 찾아낼 때 Canny와 유사한 접근법을 사용하지만, 이력단계(hysteresis step)에 두 가지 신뢰도를 포함한다는 점에서 Canny와 분명한 차이점을 보인다. 에디슨 에지 디텍터에서 두 결정 평면  $f(L)(\eta, \rho)$ 와  $f(H)(\eta, \rho)$ 가 있는데, 이 결정 평면은 Canny 디텍터의 고정된 임계값을 대체하기 위해 계산된 신뢰도  $\eta$ 와  $\rho$ 에 따라 결정된다. 이 두 결정 평면으로 인하여 에지 추출이 더욱 다루기 쉽고 안정적으로 수행된다. 에디슨 에지 디텍터는 모든 에지 디텍터 중에서 가장 많은 자유 매개변수(9)가 있다. 모든 값을 구하는 것은 불가능하며, 불필요하다. 계산 과정에서는 "oxed" 결정 평면을 사용하여 가장 중요한 매개변수  $P_e^H$ 와  $P_e^L$ 의 값을 구하는데,  $P_e^H = \eta_{high} = \rho_{high}$ ,  $P_e^L = \eta_{low} = \rho_{low}$ 이다. 이 두 가지 매개변수에 따라 결정 평면에서 신뢰도의 임계값이 정해진다(Wang 등, 2006). 본 연구에서는 Rutgers 대학에서 개발하고 웹에서 무료로 배포하고 있는 분할 프로그램인 'Edge Detection and Image SegmentatiON System v1.1'을 이용하여 매개 변수를 'Default'로 설정한 후 에지 추출을 수행하였다. 다음 그림 3은 에디슨 에지 디텍터를 ADRLS 방사강조 전과 후의 항공 사진에 나누어 적용한 결과를 보여주고 있다. 방사 강조 후에는 영상의 명암 대비 증가로 인해 방사 강조 적용 전에 비해 더욱 많은 에지들이 추출된 것을 확인할 수 있다. 이는 그림 3의 원 속에 나타나듯이, 방사 강조 전의 결과보다 빌딩과 지면 간의 경계를 추가적으로 추출함으로써 다음 단계에서 진행되는 중첩과정에서의 정확도를 향상시킨다.

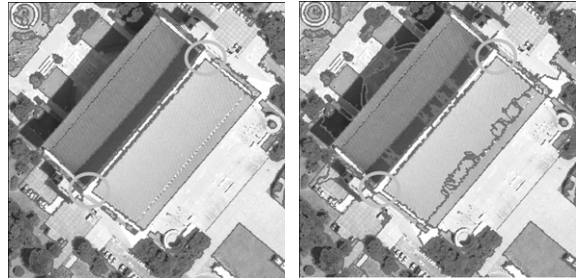


그림 3. ADRLS 방사 강조 기법의 적용 전(좌)과 후(우)에 대한 에지 탐색 결과의 변화

## 2.2 이진 빌딩 지도의 생성

### 2.2.1 평균평면필터를 이용한 DTM 생성

래스터 기반 자료는 포인트 자료로부터의 변환 과정에서 정보의 손실이 발생한다는 단점이 있는 반면, 영상에서 사용하는 처리 기법들을 쉽게 적용할 수 있으며, 필터링 연산과 정보 저장에 있어 가장 효율적이고 단순한 접근 방법이다(Ziadat, 2007). 본 연구에서는 커널을 기반으로 필터링 연산을 반복적으로 사용하기 때문에 항공 LiDAR 포인트 자료를 불규칙 삼각망을 이용하여 보간(Interpolation)하고, 0.5 m의 격자 크기를 갖는 라스터 자료로 변환하여 사용하였다. 또한 데이터 취득 과정에서 발생하는 국지적 이상치를 변환 과정에서 제거하였다.

평균평면필터는 3x3 격자의 커널로서 커널 내 높이값들의 평균값을 이용하여 3x3 크기의 평균평면을 구성하고, 커널 내 높이값들 중 평균평면과의 높이차가 0.3m를 초과하는 값이 하나라도 존재하면 커널의 중심을 비평면으로 정의하는 역할을 한다. 평균평면필터를 통해 LiDAR 자료는 비평면점들을 경계로 하는 평면 세그먼트(Segment)로 분할되며, 이 때 도로, 건물 지붕 등의 요소는 평면 세그먼트로, 건물의 경계면, 수목의 수관 등의 요소는 비평면 점들로 이진 분할된다. 이후 '지면점들은 서로 비슷한 높이값을 갖고, 서로 연결되어 있다(Han 등, 2007; Lee 등, 2011)' 라는 특성을 이용하여 평면 세그먼트 중 가장 큰 지붕 면적을 갖는 건물의 넓이를 임계치로 하여, 그 임계치 이하의 면적을 갖는 평면 세그먼트들을 제거함으로써 지면점들을 추출한다. DTM은 위 과정을 통해 추출된 지면점들을 불규칙삼각망을 이용하여 보간하고, Ma(2005)에 의해 제안된 정제(Refinement) 과정을 추가적으로 수행함으로써 생성된다. 이 과정에서 사용되는 임계치 0.3m는 LiDAR의 수직정확도인  $\pm 0.15m$ 를 고려하여 산정하였다. 그림 4는 DSM(좌)과 평균평면필터를 통해 생

성한 DTM(우)을 보여주고 있다.

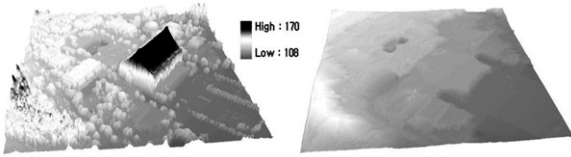


그림 4. DSM(좌)과 평균평면필터를 이용한 DTM 추출 결과(우)

### 2.2.2 빌딩 추출

nDSM은 DSM에서 DTM을 빼줌으로써 생성할 수 있으며, 이는 지면으로부터의 높이값을 의미한다(Koch 등, 2009). nDSM을 이용하여 빌딩을 추출하는 일반적인 방법은 nDSM으로부터 빌딩, 수목과 같은 높은 높이값을 갖는 객체들을 추출하고, 추출된 객체들 중에서 수목을 제거함으로써 남은 빌딩 객체들을 추출하는 것이다. 이 과정은 빌딩 추출의 정확도에 직접적으로 영향을 미치는 단계라고 할 수 있다. LiDAR 자료만을 이용하여 높은 객체를 추출한 후에 수목을 제거하는 단계에서는 주로 수목의 높낮이 특성을 이용한 텍스처(Texture) 정보를 이용한다. 하지만 대상 지역 내에 경사나 곡선으로 이루어진 지붕을 갖는 빌딩이 존재할 때, 텍스처 정보만을 이용하여 이들을 수목으로부터 분리하기 어렵다는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하고, 효율적으로 수목을 제거하기 위해 RGB밴드를 갖는 항공사진, LiDAR의 반사강도(Intensity) 정보, nDSM을 이용한다.

먼저 빌딩과 수목 등의 높은 객체들을 추출하기 위해 nDSM에 높이 임계치를 적용한다. 임계치는 단층으로 구성된 건물의 최소 높이 2m를 기준으로 하여 그 이상의 높이를 갖는 모든 건물들을 추출하는 것을 목표로 한다. 높이 임계치를 기준으로 추출한 높은 객체 중 수목을 제거하기 위해 항공사진의 RGB 밴드, nDSM, LiDAR의 반사강도로 구성된 5개의 밴드와 함께 Support Vector Machine 분류자를 이용하여 감독분류를 수행한다. 이 때 nDSM은 객체의 높이 정보를 제공함으로써 산림과 초지, 콘크리트로 만들어진 도로와 건물 지붕 등 유사한 분광 정보를 갖지만 높이차가 존재하는 객체들의 분리도를 향상시킨다(Lee 등, 2003 ; Chadwick, 2011). 하지만 지붕에 녹색 방수제를 도포한 건물의 경우, 지붕이 수목과 비슷한 높이이면 가시광 영역 정보와 높이 정보만으로는 그들 사이에 오분류가 발생한다. 이 때 LiDAR의 반사강도 정보는 근적외 영역의 분광 특성을 갖기 때문에 가시광 영역에서 유

사한 분광정보를 갖는 객체들 사이의 분리도를 향상시킨다(Bork 등, 2007). 따라서 감독 분류에 있어 LiDAR의 반사강도 정보와 nDSM의 활용은 기존의 광학 자료만을 사용한 분류 결과보다 매우 향상된 분류 결과를 도출한다. 본 연구에서는 산림, 초지, 도로, 건물의 분류 항목에 대해 400점 이상의 트레이닝 자료를 수집하여 감독분류를 수행하였으며, 분류 항목은 대상 지역이나 필요에 따라 변경할 수 있다. 최종적으로 감독분류 결과에서 수목 및 초지로 분류된 지역을 높은 객체들로부터 제거하고, 추가적으로 노이즈 성격을 띠는 작은 면적의 화소들을 필터링함으로써 LiDAR 자료로부터 빌딩 객체들을 추출한다. SVM을 이용한 감독분류는 ENVI 4.7 프로그램을 이용하였으며, 산림, 초지에 대한 분류정확도는 각각 95.4%, 99.1%였다. 그림 5는 nDSM으로부터 추출한 높은 객체(좌)와 감독분류의 결과를 이용하여 추출한 빌딩 객체(우)를 보여주고 있으며, 이를 통해 수목이 효과적으로 제거되었음을 확인할 수 있다.

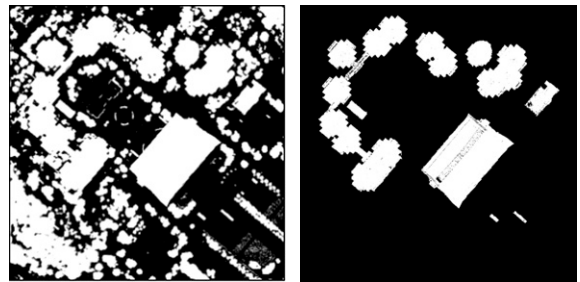


그림 5. nDSM으로부터 추출한 높은 객체(좌)와 수목 객체를 제거함으로써 추출된 빌딩 객체(우)

## 2.3 항공 사진상의 빌딩 경계 추출

### 2.3.1 중첩을 통한 빌딩 경계 추출

에디슨 에지 디텍터를 이용하여 추출한 항공사진의 분할 영상은 분광특성을 기반으로 객체들 간의 이질적인 경계뿐만 아니라 객체 내에서의 이질적인 경계를 추출하여 많은 수의 세그먼트들을 형성한다. 따라서 이들 중에 빌딩을 구성하는 세그먼트들을 추출하는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 빌딩 세그먼트를 추출하기 위해 중첩 기법을 이용한다. 중첩 과정은 LiDAR 자료로부터 추출한 빌딩 객체들을 이용하여 항공 사진의 분할 세그먼트들 중 빌딩을 구성하는 세그먼트들을 추출하는 역할을 한다. 먼저 에지를 경계로 하는 세그먼트들로 구성된 항공사진의 분할 영상에 LiDAR로부터 추출한 빌딩 영역을 중첩 시킨

후, 각 세그먼트에 대하여 LiDAR의 빌딩 영역이 중첩된 면적을 구한다. 빌딩 세그먼트의 판별여부는 포함 오차 (Commission error)를 최소화하는 경험적인 임계치를 이용하는 데, 각 세그먼트당 중첩된 빌딩의 면적이 50%가 넘을 경우 해당 세그먼트를 빌딩 세그먼트로 판명한다(Kim 등, 2010). 다음 식(5)는 중첩을 통한 빌딩 세그먼트 추출 과정을 설명하고 있다.

$$\begin{cases} RoS_i = \frac{Building\ area_i}{Segment\ area_i} \\ \text{If } RoS_i \geq 0.5, Segment_i = Building\ segment \end{cases} \quad (5)$$

$RoS_i = i$  번째 세그먼트에서 빌딩 영역이 차지하는 비율  
 $Building\ area_i = i$  번째 세그먼트에서의 빌딩 면적  
 $Segment\ area_i = i$  번째 세그먼트의 면적

중첩 과정을 통해 추출된 다수의 빌딩 세그먼트들은 모폴로지(Morphology) 필터인 닫힘(Closing) 연산을 적용하여 하나의 빌딩으로 재구성된다. 그림 6은 중첩 과정과 닫힘 연산을 통해 추출한 항공 사진상의 빌딩 영역을 보여 주고 있다.

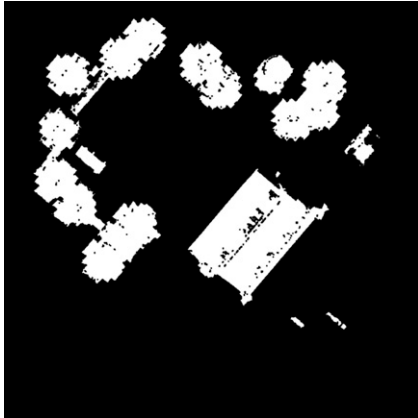


그림 6. 중첩과 닫힘 연산을 통해 추출한 항공 사진상의 빌딩 영역

### 2.3.2 버퍼존을 이용한 빌딩 경계 강화

중첩을 통한 빌딩 경계 추출 결과는 항공 사진의 분할 과정과 빌딩 추출의 정확도에 의해 영향을 받는다. 특히, 영상에서 유사한 분광 특성으로 인해 빌딩의 경계를 정확하게 추출하지 못하는 경우나 LiDAR 자료에서 빌딩을 실제보다 적게 추출하는 경우에 누락 오차(Omission error)가 발생하게 된다. 따라서 이러한 누락 오차를 줄이고 경계 추출의 정확도를 향상시키기 위해 버퍼존(Buffer zone)을 이용하여 빌딩 경계를 추가적으로 탐색하는 경계 강화 과

정을 수행한다.

먼저 LiDAR 자료로부터 추출한 빌딩 경계에 3x3 크기의 커널로 팽창(Dilate) 연산을 수행하여 빌딩 버퍼존을 생성한다. 빌딩 버퍼존이 생성되면 버퍼존 내에 중첩 과정으로부터 추출한 빌딩 경계가 80% 이상 위치해 있는지 확인하는 과정을 거친다. 이 과정에서 사용되는 80%는 경험적인 임계치로서, 만약 80% 이상 위치해 있다면 경계 강화 과정을 수행하고 80% 미만으로 위치해 있다면 항공 사진과 LiDAR 자료 간의 위치 차이가 너무 크다고 판단하여 경계 강화 과정을 수행하지 않는다. 이는 자료 간의 위치 차이가 너무 클 경우에 경계 강화 과정을 통해 추출된 경계는 결과적으로 포함오차가 되기 때문이다. 다음 그림 7에서는 경계 강화 과정 설명하고 있다. 버퍼존을 중심으로 3x3 커널을 이동시키며 커널 내에 중첩을 통해 추출한 빌딩 경계가 존재하지 않을 경우 커널의 중심을 빌딩 경계로 할당하여 빌딩 경계점 추가함으로써 경계 강화 과정을 수행한다. 경계점들이 추가된 후, 경계의 끝부분에서 발생하는 단절점을 연결하기 위해 닫힘 연산을 추가적으로 수행한다. 경계 강화 과정 후에 노이즈 형태로 발생하는 작은 면적의 세그먼트들을 제거하는 필터링을 수행함으로써 최종적으로 항공 사진상의 빌딩 경계를 추출할 수 있다. 위의 과정들을 통해 누락 오차나 포함 오차를 감소 시킴으로써 경계 추출 정확도를 향상시킬 수 있다. 그림 8

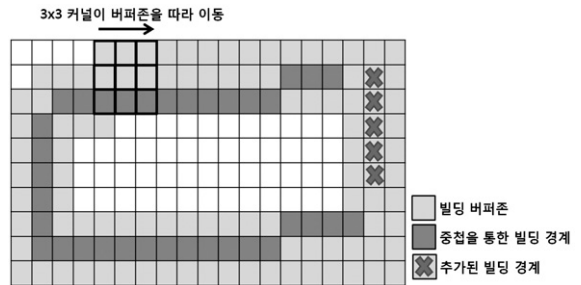


그림 7. 빌딩 경계 강화 과정



그림 8. 빌딩 경계 강화 과정을 통해 추가된 빌딩 경계

은 제안된 중첩 과정을 통해 추출되지 않은 빌딩 경계, 즉 누락 오차를 추가적으로 수행된 빌딩 경계 강화 과정을 통해 개선시킨 결과를 보여주고 있다.

### 3. 연구 지역 및 연구 자료

본 연구에서의 실험 지역은 충청남도 천안시 독립기념관과 인근의 목천 중고등학교이다(36° 7' 78" N, 127° 3' 88" E). 실험 지역은 다양한 모양과 함께 비교적 규모가 큰 빌딩들로 이루어져 있으며, 서로 다른 피복이지만 유사한 분광 특성을 갖는 시멘트 도로와 지붕, 식생과 녹색 지붕 등이 존재한다. 이들은 항공 사진만으로는 분리해내기가 어렵기 때문에 LiDAR 자료의 융합이 주는 효과를 쉽게 파악할 수 있다.

실험에 사용된 LiDAR 자료는 2009년 9월 1일에 Optech ALTM 3070 장비를 사용하여 취득되었으며, 점밀도는 4.3 points/m<sup>2</sup>이다. 항공 사진은 LiDAR 자료와 함께 0.25 m의 공간해상도로 취득되었다. 그림 9는 실험 지역인 독립기념관(좌)과 인근의 목천 중고등학교(우)를 보여주고 있다.

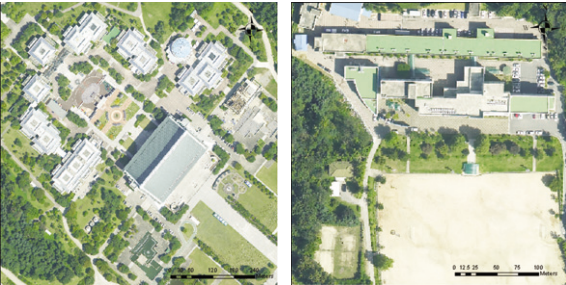


그림 9. 연구 대상 지역인 독립기념관(좌)과 목천 중고등학교(우)의 항공 사진

### 4. 결과 및 고찰

그림 10은 실험 지역1(좌)과 실험 지역2(우)에 적용한 결과이며, 추출된 건물의 외곽선은 주황색 선으로 표시하였다. 실험 지역1은 빌딩의 규모가 크며, 대부분의 빌딩이 도로와 비슷한 분광 특성을 갖는 지붕들로 구성되어 있다는 특징이 있다. 이는 광학 영상만을 이용하여 이들을 분리해내기가 어렵다는 것을 의미한다. 하지만 제안 방법은 LiDAR 자료의 높이 정보를 기반으로 항공 사진과 융합하여 대상 지역 내의 빌딩들을 추출하였으며, 빌딩의 외곽선을 보다 정교하고 세밀하게 보정하였다. 특히, 실험 지

역1은 항공 사진과 LiDAR 자료의 위치 오차가 임계값 이하이기 때문에 추가적인 경계 강화 과정을 통해서 중첩 과정에서 추출되지 않은 빌딩 경계들을 추가적으로 추출하여 정확도가 향상되었다. 다만 실험 지역1 내의 독립기념관 본관의 경우, 측면 벽면이 빌딩 지붕보다 더 바깥쪽에서 시작되고 아래에서 위로 갈수록 건물 안쪽으로 좁아지는 경사를 갖기 때문에 빌딩 지붕이 아닌 빌딩의 외곽 벽면이 빌딩 경계로 추출되는 결과를 보였다. 실험 지역2의 경우 일부 지붕들이 녹색 방수재로 도색되어 가시광 영역에서 식생과 유사한 분광 특성을 갖는다. 또한 실험 지역1과 마찬가지로 콘크리트로 만들어진 도로와 유사한 분광 특성을 갖는 지붕도 존재한다. 제안 방법은 LiDAR의 높이 정보와 반사 강도 정보를 이용하여 이러한 피복들 간의 분류 문제를 해결하여 대상 지역 내의 빌딩 경계를 높은 수준의 정확도로 추출하였으며, 특히 산림 지역 내에 존재하는 빌딩의 경계 역시 정확하게 추출했음을 확인할 수 있었다. 경계 강화 과정은 중첩 과정을 통해 추출한 빌딩 경계와 LiDAR 자료로부터 추출한 빌딩 버퍼존 사이의 중첩도가 임계치 이하였기 때문에 실험 지역2에서는 수행하지 않았다. 대상 지역 위쪽 중앙 부근에 존재하는 소규모 빌딩은 제안 방법을 통해 경계가 추출되지 않았는데, 이는 해당 빌딩의 지붕이 도로와 유사한 분광 특성을 갖고 있으며 상대적으로 다른 빌딩보다 낮은 2.2m의 높이 값을 갖기 때문에 감독 분류 과정에서 도로로 분류된 것으로 확인되었다.

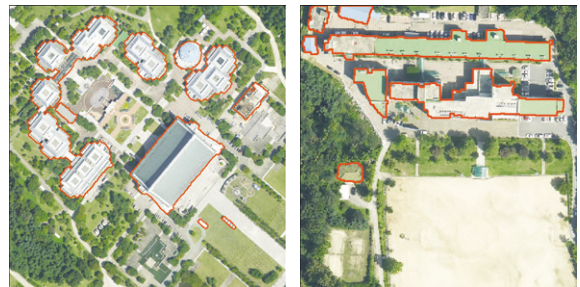


그림 10. 제안 방법을 실험 지역1(좌)과 실험 지역2(우)에 적용하여 추출한 빌딩의 외곽선

정량적인 정확도평가를 위해 제안 방법을 통해 추출된 빌딩 경계의 내부를 채운 빌딩 영역과 항공 사진을 통해 수동으로 추출한 빌딩 영역을 이용하여 표 2와 같이 2x2 오차행렬(Confusion matrix)을 구성하고, F-measure, Jaccard coefficient(JC), Yule coefficient(YC), Overall accuracy(OA)를 산출하여 추출 정확도의 척도로서 사용하였다.

표 2. 2x2 오차행렬

		참조 자료	
		빌딩 지역	빌딩 아닌 지역
제안 방법을 통한 결과	빌딩 지역	True Positive	False Positive
	빌딩 아닌 지역	False Negative	True Negative

F-measure, JC, YC는 대상 영역 내에서 추출하고자 하는 영역이 상대적으로 매우 작아 OA만을 이용하여 정확도를 평가하기 어려울 때 사용된다. F-measure는 데이터마이닝 분야에서 사용되는 평가 도구로서 정확성(Correctness)과 완전성(Completeness)을 함께 고려하여 추출 성능을 측정하는 도구이다(Rottensteiner 등, 2005). 정확성은 빌딩으로 탐지된 영역들 중에 실제 빌딩 영역의 비율을 말하고, 완전성은 실제 빌딩 영역들 중에 빌딩 영역으로 추출된 비율을 말한다. JC와 YC는 컴퓨터 비전 분야에서 주로 사용되는 평가 도구로서 그 값이 높을수록 높은 추출 정확도를 보인다고 할 수 있다(Rosin 등, 2003). 다음 식(6)-식(11)은 각 통계치에 대해 설명하고 있다.

$$Correctness(C_1) = \frac{TP}{TP+FP} \tag{6}$$

$$Completeness(C_2) = \frac{TP}{TP+FN} \tag{7}$$

$$F-measure(F) = \frac{2C_1C_2}{C_1+C_2} \tag{8}$$

$$JC = \frac{TP}{TP+FP+FN} \tag{9}$$

$$YC = \frac{TP}{TP+FP} + \frac{TN}{TN+FN} - 1 \tag{10}$$

$$OA = \frac{TP+TN}{TP+FP+FN+TN} \tag{11}$$

실험 지역1에 대해 오차행렬을 구성하여 평가치를 구한 결과, F-measure는 0.93, JC는 0.879, YC는 0.886, OC는 0.976이 산출되었다(표 3). 모든 평가치는 0.85 이상의 정확도를 보였으며, 특히 F-measure와 OC의 경우 0.90 이상의 높은 정확도를 보였다. 하지만 빌딩이 아닌 지역을 빌딩으로 추출하는 포함 오차가 발생하였는데, 이는 중첩을 통한 빌딩 추출 과정에서 빌딩 주위에 위치한 빌딩의 그림자 중 일부가 빌딩으로 추출되어 정확도에 영향을 미친 것으로 확인되었다. 실험 지역2에서 F-measure는 0.937, JC는 0.882, YC는 0.971, OA는 0.983의 정확도를 보여줬다(표

4). 실험 지역1의 결과와는 달리 YC가 상대적으로 높은 이유는 실험 지역2의 오차 행렬에서 빌딩이 아닌 지역을 빌딩이 아닌 지역으로 추출한 화소수가 전체 화소수에서 차지하는 비율이 크고 이는 YC 수식의 특성상 YC의 정확도를 높이는 결과를 만들었기 때문이다. JC는 감독 분류 과정에서 빌딩 지역을 빌딩이 아닌 지역으로 분류한 누락 오차가 발생하였기 때문에 상대적으로 다른 평가치에 비해 낮게 산출된 것을 확인할 수 있었다.

표 3. 실험 지역1에 대한 오차행렬과 정확도평가

실험 지역 1		참조 자료	
		빌딩 지역	빌딩 아닌 지역
제안 방법을 통한 결과	빌딩 지역	128046	16019
	빌딩 아닌 지역	1625	576810
F-measure=0.930 JC=0.879 YC=0.886 OA=0.976			

표 4. 실험 지역2에 대한 오차행렬과 정확도평가

실험 지역 2		참조 자료	
		빌딩 지역	빌딩 아닌 지역
제안 방법을 통한 결과	빌딩 지역	16926	175
	빌딩 아닌 지역	2087	110412
F-measure=0.937 JC=0.882 YC=0.971 OA=0.983			

## 5. 결론

도심지 환경은 다양한 요인들로 인해 더욱 복잡해지고 있으며, 특히 빌딩 객체는 다른 객체들에 비해 모양과 분광 특성이 다양해짐으로써 광학 영상만을 이용하여 추출하기가 어려워졌다. 따라서 본 연구에서는 항공 사진의 분할 영상과 높이 정보를 제공하는 LiDAR 자료로부터 빌딩 영역을 중첩하여 두 자료를 융합함으로써 항공 사진상의 빌딩 외곽선을 추출하는 방법을 제안하였고, 검증을 위해 정량적인 정확도평가를 수행하였다. 제안 방법은 실험 지역1에서 F-measure, JC, YC, OC의 값이 각각 0.93, 0.879, 0.886, 0.976으로 산출되었으며, 실험 지역2에서는 각각 0.937, 0.882, 0.971, 0.983으로 산출되어 두 실험 지역에서 모두 0.85 이상의 추출 정확도를 보였다. 하지만 빌딩 주위의 그림자 지역이 빌딩으로 추출되는 포함오차와 식생 제거를 위한 분류 과정에서 발생하는 오차가 최종 결과로 전파되어 추출 정확도가 낮아지는 문제점을 보였다.

향후 이러한 문제들을 해결하기 위해 광학 영상의 분할



후 빌딩 주위에 존재하는 그림자 지역을 제거하는 연구와 분류 과정에서의 오차를 줄이기 위해 nDSM으로부터 추가적인 정보를 추출하여 적용하는 연구를 진행할 예정이다.

## 감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단(2011-0027595)의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

## 참고문헌

- 김용민, 최재완, 김용일 (2010), 영상 강조를 위한 Adaptive Dynamic Range Linear Stretching 기법, 대한원격탐사학회지, 대한원격탐사학회, 제 26권, 제 4호, pp. 395-401.
- Abdullah-Al-Wadud, M., Kabir, Md. H., Akber dewan, M. A. and Chae, O. (2007), A Dynamic Histogram Equalization for Image Contrast Enhancement, *IEEE Transaction on Consumer Electronics*, IEEE, Vol. 53, No. 2, pp. 593-600.
- Bork, E. W. and Su, J. G. (2007), Integrating LIDAR data and multispectral imagery for enhanced classification of rangeland vegetation: a meta analysis, *Remote Sensing of Environment*, RSE, Vol. 111, No. 1, pp. 11-24.
- Chadwick, J. (2011), Integrated LiDAR and IKONOS multispectral imagery for mapping mangrove distribution and physical properties. *International Journal of Remote Sensing*, IJRS, DOI: 10.1080/01431161.2010.512944.
- Chen, Y., Su, W., Li, J. and Sun, Z. (2009), Hierarchical object oriented classification using very high resolution imagery and LIDAR data over urban areas, *Advances in Space Research*, ASR, Vol. 43, No. 7, pp. 1101-1110.
- Ekhartari, N., Sahebi, M. R., Valadan Zoj, M. J. and Mohammadzadeh, A. (2008), Automatic building detection from LiDAR point cloud data, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, PartB 4, Beijing, pp. 473-477.
- Han, S., Lee, J. and Yu, K. (2007), An approach for segmentation of airborne laser point clouds utilizing scan-line characteristics, *ETRI Journal*, ETRI, Vol. 29, No. 5, pp. 641-648.
- James, L. A., Watson, D. G. and Hansen, W. F. (2007), Using LiDAR data to map gullies and headwater streams under forest canopy: South Carolina, USA, *Catena*, Catena, Vol. 71, pp. 132-144.
- Kim, Y. M., Byun, Y. G., Chang, A. J., Kim, Y. I. and Eo, Y. D. (2010), Building extraction on aerial image using airborne LiDAR data, *International Symposium on Remote Sensing 2010, Jeju, Korea*, pp. 628-631.
- Koch, B., Straub, C., Dees, M., Wang, Y. and Weinacker, H. (2009), Airborne laser data for stand delineation and information extraction. *International Journal of Remote Sensing*, IJRS, Vol. 30, No. 4, pp. 935-963.
- Lee, J., Han, S., Byun, Y. and Kim, Y. (2011), Extraction and regularization of various building boundaries with complex shapes utilizing distribution characteristics of airborne LIDAR points, *ETRI journal*, ETRI, Vol. 33, No. 4, pp. 547-557.
- Lee, D. S. and Shan, J. (2003), Combining LiDAR Elevation Data and IKONOS Multispectral Imagery for Coastal Classification Mapping. *Marine Geodesy*, Marine Geodesy, Vol. 26, pp. 117-127.
- Ma, R. (2005), DEM Generation and Building Detection from LiDAR Data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, ASPRS, Vol. 71, No. 7, pp. 847-854.
- Meer, P. and Georgescu, B. (2001), Edge detection with embedded confidence, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, IEEE, Vol. 23, No. 12, pp. 1351-1365.
- Park, G. H., Cho, H. H. and Choi, M. R. (2008), A contrast enhancement method using dynamic range separate histogram equalization, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, IEEE, Vol. 54, No. 4, pp. 1981-1987.
- Rosin, P. L. and Ioannidis, E. (2003), Evaluation of global image thresholding for change detection, *Pattern Recognition Letters*, Pattern Recognition, Vol. 24, No. 14, pp. 2345-2356.
- Rottensteiner, F., Trinder, J., Clode, S. and Kubik, K. (2005), Using the Dempster-Shafer method for the fusion of LIDAR data and multispectral images for building detection. *Information Fusion*, Information Fusion, Vol. 6, No. 4, pp. 283-300.
- Sampath, A. and Shan, J. (2007), Building boundary tracing and regularization from airborne LiDAR point clouds, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, ASPRS, Vol. 73, No. 7, pp. 805-812.
- Shen, W., Zhang, J. and Yuan, F. (2011), A new algorithm of

- building boundary extraction based on LIDAR data, *Geoinformatics*, 2011 19th International Conference, unpaginated CD-ROM.
- Shrestha, R. L., Carter, W. E., Lee, M., Finer, P. and Satori, M. (1999), Airborne laser swath mapping: Accuracy assessment for surveying and mapping applications, *Journal of the American Congress on Surveying and Mapping*, Surveying and Land Information Systems, Vol. 59, No. 2, pp. 83-94.
- Sohn, G., and Dowman, I. (2003), Building extraction using LiDAR DEMs and IKONOS images, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, WGIII/3 Workshop on 3-D Reconstruction from Airborne Laserscanner and InSAR Data, Dresden, Germany, Vol. 34,3/W13.
- Vosselman, G. and Dijkman, S. (2001), 3D building model reconstruction from point clouds and ground plans, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume XXXIV-3/W4, Annapolis, pp. 37-43.
- Wang, S., Ge, F. and Liu, T. (2006), Evaluation edge detection through boundary detection, *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, pp. 1-15.
- Yu, B., Liu, H., Zhang, L., and Wu, J. (2009), An object-based two-stage method for a detailed classification of urban landscape components by integrating airborne Lidar and color infrared image data: A case study of downtown Houston., *Urban Remote Sensing Event, 2009 Joint*.
- Ziadat, F. M. (2007), Effect of Contour intervals and grid cell size on the accuracy of DEMs and slop derivatives, *Transactions in GIS*, Transactions in GIS, Vol. 11, No. 1, pp. 67-81.

---

(접수일 2011. 12. 30, 심사일 2012. 01. 19, 심사완료일 2012. 01. 26)