



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

비연직 고해상도 위성영상을
이용한 모델 기반 고층건물
자동 탐지

Automatic Extraction of Tall Buildings
from Off-Nadir High Resolution Satellite
Images using Model-Based Approach

2015년 2월

서울대학교 대학원

건설환경공학부

정 민 영

비연직 고해상도 위성영상을
이용한 모델 기반 고층건물
자동 탐지

Automatic Extraction of Tall Buildings
from Off-Nadir High Resolution Satellite
Images Using Model-Based Approach

지도교수 김 용 일

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함
2014 년 11 월

서울대학교 대학원
건설환경공학부
정 민 영

정민영의 공학석사 학위논문을 인준함
2015 년 1 월

위 원 장 _____ (인)

부위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

국 문 초 록

최근 다양한 고해상도 지구관측위성이 발사 되고, 고해상도 위성 영상의 상업적인 보급이 활발해 짐에 따라 이를 이용한 다양한 연구들이 이루어지고 있다. 특히 1m 이하의 높은 공간해상도는 지상에 위치한 건물, 도로, 차량 등 다양한 물체에 관한 정보를 제공하고 있으며, 영상으로부터 건물의 2차원 정보를 추출하는 연구는 도시 모니터링, 재난관리 등의 분야에 사용될 수 있어 필요성이 대두되고 있다. 그러나 건물 추출 정확도에 영향을 미치는 요소가 다양하여 대다수의 건물 추출 연구가 연직영상을 사용한 저층 건물 추출에 제한되어 있다. 이러한 기존 연구를 이용하여 비연직 방향으로 촬영된 고층건물을 추출하는 데는 한계가 따르며, 이는 다양한 제원의 영상을 이용하여 다양한 높이의 건물을 추출하는데 어려움이 존재하게 만든다. 따라서 본 연구는 비연직 영상에서 고층건물의 상단을 자동으로 추출하는 알고리즘을 제안하여 기존 연구의 한계를 극복하고자 하였다.

제안하는 알고리즘은 고층건물 영역 자동 추출과 고층건물 상단 추출의 두 단계로 구분된다. 건물영역 자동 탐지 과정에서는 Otsu 기법과 영역확장 기법을 사용하여 그림자 영상과 건물 영역을 자동으로 추출한다. 추출된 두 영역과 영상의 메타데이터, 예지 정보를 이용하여 고층건물 상단의 선을 실제 건물 선에 최적화시킨 후, 건물의 구조적 특징과 영역적인 특징을 반영한 모델 기반 기법을 통해 고층건물 상단영역을 자동으로 완성하였다.

제안 방법을 주거지구와 업무지구의 IKONOS-2, QuickBird-2 영상에 적용하여 알고리즘의 우수성을 검증하였다. 화소 및 객체 기반의 정확도 분석 결과, 모든 경우에 대하여 사용자 정확도는 0.87, 생산자 정확도는 0.79, 그리고 F 측정치는 0.83 이상으로 나타나 영상의 종류와 실험 지역의 속성과 무관하게 알고리즘이 유용함을 보여주었다. 또한 객체 기반의 평균 F 측정치는 0.89로 나타났으며, 이는

기존 건물 추출 연구와 비교하여 비슷하거나 높았다.

본 연구에서는 흑백의 단영상만을 사용하여 다중 분광 영상이나 부가 데이터를 사용하는 기존의 연구에 비해 비용 효율적인 기법을 제안한다. 비연직 영상에서 고층건물의 상단을 다른 면과 구분하는 자동화된 방법을 제안하여 기존 건물 추출의 한계를 극복하고 고해상도 영상으로부터 고층건물의 정보를 추출할 수 있는 방안을 제시하였다. 기법의 우수성을 바탕으로, 제안 기법은 다양한 도시 지역의 고층건물 상단을 추출하는 연구에 적용될 수 있을 뿐만 아니라 건물 상단 간의 매칭을 통한 3차원 건물 모델 생성, 도시건물변화탐지 등의 분야에 적용될 수 있다. 이는 추출될 수 있는 건물 정보를 다양화하여 영상을 이용한 건물 추출 분야가 더욱 발전할 수 있는 기반을 제공한다.

주요어 : 모델 기반 건물 추출, 비연직 위성영상, 고층건물, 영역 확장 기법, LSD(Line Segment Detector)

학 번 : 2013-20937

<목 차>

1. 서론	1
1.1 연구 배경 및 동기	1
1.2 연구동향	2
1.3 연구의 목적 및 범위	7
2. 고층건물 영역 자동 추출	11
2.1 영상 전처리	12
2.2 Otsu 기법을 이용한 건물 그림자 영역 추출	15
2.3 영역확장 기법을 이용한 건물 영역 추출	16
2.3.1 영역확장 기법을 위한 초기 시드 추출	16
2.3.2 고층건물 영역 중첩 및 오추출 제거	18
3. 고층건물 상단 추출	21
3.1 고층건물 상단 선 추출	23
3.1.1 LSD를 이용한 영상 내 초기 건물 영역 선 추출	23
3.1.2 고층건물 상단 영역 선 추출	25
3.2 고층건물 상단 선 최적화	32
3.3 고층건물 상단 영역 추출	36
3.3.1 수직관계를 이용한 건물 상단 영역 추출	36
3.3.2 평행관계를 이용한 건물 상단 영역 추출	39
3.3.3 추출된 건물 상단 영역 통합 및 최적화	43
4. 실험 및 적용	47
4.1 실험 지역 및 자료	47

4.2 실험 결과	48
4.2.1 고층건물 영역 자동 추출 결과	48
4.2.2 고층건물 상단 추출 결과	53
4.2.2.1 고층건물 상단 선 추출 및 최적화 결과	53
4.2.2.2 고층건물 상단 영역 추출 결과	59
5. 결론	71
6. 참고문헌	74

<그림 목차>

[그림 1-1] 건물 상부의 꼭짓점을 이용한 측면 모서리 생성 예시 .. 8	8
[그림 1-2] 전체 연구 흐름도	10
[그림 2-1] 건물 영역 자동 탐지 연구 흐름도	11
[그림 2-2] 영상의 전처리 결과	14
[그림 2-3] 건물 내부 영역 정의	17
[그림 2-4] 도로 영역에 시드가 생성된 경우 영역확장 기법 결과	19
[그림 2-5] 시드 선정과 영역확장 기법 결과 예시	20
[그림 3-1] 고층건물 상단 추출 연구 흐름도	22
[그림 3-2] Line-support region 추출 과정(Gioi <i>et al.</i> , 2012)	24
[그림 3-3] LSD의 세 단계	24
[그림 3-4] 영상에서 고층건물을 이루는 선의 구분	25
[그림 3-5] 건물상단 영역의 선 추출 과정	27
[그림 3-6] 위성의 방위각과 건물 측면 선과의 위치 관계	28
[그림 3-7] 건물 하단 영역의 선을 정의하기 위한 두 가지 모델	29
[그림 3-8] 건물 하단 선의 각도 범위 선정과 태양 및 위성방위각	30
[그림 3-9] 선 주변 영역을 정의하기 위한 탐색 영역	32
[그림 3-10] 두 선 사이의 위치관계	33
[그림 3-11] LSD를 이용한 선 추출의 문제점	34
[그림 3-12] 에지 탐색 영역 폭 증가 여부와 건물 선 연장 결과 .. 35	35
[그림 3-13] 수직한 선소의 연속적인 탐색 과정 예시	37
[그림 3-14] 수직관계를 이용한 건물 상부 추출 방법	38
[그림 3-15] 평행관계를 이용한 건물 상단 추출 과정	40
[그림 3-16] 평행 관계 탐색 영역의 생성	41
[그림 3-17] 평행관계를 이용한 건물 상단 추출 방법	42
[그림 3-18] 건물 상부 통합 과정 예시	44
[그림 3-19] 건물 상단의 왜곡현상	45
[그림 3-20] 건물 상단 영역에 대한 허프 변환 수행 영역	46

[그림 4-1] 실험 영상	47
[그림 4-2] 그림자 영역 추출 결과	49
[그림 4-3] 건물 측면이 그림자 영역인 경우	50
[그림 4-4] 건물 영역 추출 결과	52
[그림 4-5] IKONOS-2 영상의 건물 상단 영역 선 추출 및 최적화 결과	54
[그림 4-6] QuickBird-2 영상의 건물 상단 영역 선 추출 및 최적화 결과	55
[그림 4-7] 건물 하단 선소가 제거되지 않는 경우	56
[그림 4-8] 건물 상단 선소가 제거된 경우	57
[그림 4-9] 최적화된 건물 상단 선 오추출 결과	58
[그림 4-10] IKONOS-2 영상에서 건물 상단 선 추출의 누락	59
[그림 4-11] IKONOS-2 영상의 건물 상단 추출 결과	60
[그림 4-12] QuickBird-2 영상의 건물 상단 추출 결과	61
[그림 4-13] 추출된 건물 상단이 실제 건물 상단과 형태적으로 유사한 경우에 대한 예시	64
[그림 4-14] 상단의 형태적 차이가 크게 추출된 건물 상단	64
[그림 4-15] 건물의 측면이 상단으로 추출된 경우	67
[그림 4-16] IKONOS-2 영상의 건물 상단 누락 영역	68
[그림 4-17] QuickBird-2 영상의 건물 상단 누락 영역	69

< 표 목차 >

[표 3-1] 건물 기복변위 방향과 그림자 방향이 동일한 범위에 있을 경우, 건물의 각 선에 따른 주변 영역 속성	31
[표 3-2] 건물 기복변위 방향과 그림자 방향이 서로 다른 범위에 있을 경우, 건물의 각 선에 따른 주변 영역 속성	31
[표 4-1] 실험에 사용된 고해상도 광학영상 제원	48
[표 4-2] 최적화된 건물 상단 영역 선 추출 결과의 정확도 (correctness)	58
[표 4-3] 건물 단위 별 건물 상단 선 추출 완성도(completeness) ·	59
[표 4-4] 2×2 오차행렬 요소	63
[표 4-5] IKONOS-2 영상의 건물 상단 추출 결과의 화소 기반 오차행렬	65
[표 4-6] QuickBird-2 영상의 건물 상단 추출 결과의 화소 기반 오차행렬	65
[표 4-7] IKONOS-2 영상의 건물 상단 추출 결과의 객체 기반 평가	66
[표 4-8] QuickBird-2 영상의 건물 상단 추출 결과의 객체 기반 평가	66

1. 서론

1.1 연구 배경 및 동기

최근 IKONOS, QuickBird, WorldView, Geoeye 등의 다양한 고해상도 지구관측위성이 발사 되고, 고해상도 위성영상의 상업적인 보급이 활발해 짐에 따라 이를 이용한 다양한 연구들이 이루어지고 있다. 특히 1m 이하의 높은 공간해상도는 지상에 위치한 건물, 도로, 차량 등 다양한 객체에 관한 정보를 제공해 주어, 고해상도 위성영상으로부터 지상 객체를 추출하는 기법들이 활발하게 연구되고 있다. 다양한 지상 객체 중 건물에 관한 정보는 도시 계획, 도시 변화 탐지, 인구추정, 재해관리시스템 등의 다양한 분야에 활용될 수 있기 때문에 고해상도 위성영상을 이용한 건물 정보 추출 연구가 활발하게 진행되고 있다(Jin & Davis, 2005; Akcay & Aksoy, 2010; Ahmadi *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2015). 위성영상으로부터 추출되는 건물 정보는 건물의 위치, 높이, 색상, 형태 등이 있으며, 이중 건물의 2차원 위치 정보를 추출하는 연구가 주를 이루고 있다.

영상에서 건물의 2차원 정보를 추출하기 위해서는 다양한 요소를 고려해야하는데, 건물의 복잡성, 배경, 그림자, 영상의 촬영각 등이 건물 추출의 정확도에 영향을 미치기 때문이다(Wang *et al.*, 2015). 이러한 영향을 줄이고자 많은 연구들이 연직방향으로 촬영된 영상(연직 영상)을 이용하거나 건물의 형태적 왜곡이 적게 발생하는 저층건물을 대상으로 하였다(Liu *et al.*, 2008; Katartzis & Sahli, 2008; Ahmadi *et al.*, 2010; Senaras *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2015). 그러나 연직 영상을 항상 사용할 수 있는 것은 아니며 연직 영상이라 하더라도 일정한 각도 오프셋을 포함하고 있다. 또한 스테레오 영상 매칭, 건물의 3D 모델링 등의 분야에 비연직으로 촬영된 영상(비연직 영상)이 이용되고 있으며 건물의 시계열 정보를 원할

경우 과거에 촬영된 다양한 영상을 사용하여 건물을 추출할 수 있어야하므로 비연직 영상을 이용하여 건물을 추출할 수 있는 방법이 필요하다.

비연직 영상에서 고층 건물은 건물의 기복변위에 따른 형태학적 왜곡이 크게 발생하고, 건물 측면이 저층 건물에 비해 크게 드러날 뿐만 아니라 측면과 상단과의 경계가 불분명하게 나타난다. 따라서 고층건물 추출 시 저층건물에 비해 더욱 많은 요소들이 고려되어야 하기 때문에 저층건물을 대상으로 개발된 기존의 건물 추출 기법을 비연직 영상의 고층건물에 적용하는 데에는 어려움이 따른다. 이는 영상의 촬영 조건에 따라 추출할 수 있는 건물이 제한되는 근본적인 원인이며 고층건물이 현대 도시를 구성하고 있는 중요 건축물이라는 점을 고려하였을 때, 비연직 영상의 고층건물 특성을 반영한 건물 추출 기법을 개발할 필요성이 매우 크다. 이를 통해, 건물 추출에 사용가능한 고해상도 위성영상을 다양화하고 추출 할 수 있는 건물을 고층화시킬 수 있을 것이다.

이를 충족시키고자 본 연구에서는 비연직 방향의 영상에서 고층 건물의 상단을 자동으로 추출하는 알고리즘을 제안하였다. 영역 기반(area-based) 접근을 통해 건물의 그림자 영역과 고층건물 영역을 일차적으로 추출한 뒤, 영상의 에지 정보와 추출된 두 가지 영역 정보를 이용하는 모델 기반(model-based) 기법을 이용하여 건물의 측면과 상단 간의 모호성을 해결하고 건물 상단을 추출하였다. 이를 통해, 보다 다양한 촬영각을 가진 영상에서 고층건물을 자동으로 탐지하고 그 정보를 활용할 수 있는 가능성을 제시하고자 하였다.

1.2 연구동향

영상에서 건물을 추출하는 연구는 1980년대 후반에 항공사진을 이용하여 시작되었다(Huertas & Nevatia, 1988; Liow & Pavlidis, 1990). 이후 고해상도 위성의 발전과 함께 고해상도 위성영상을 이

용한 건물 추출이 연구되어 왔으나, 데이터 간의 유사성이 크기 때문에 고해상도 위성영상에서 건물을 추출하는 연구는 고해상도 항공사진에서 건물을 추출하는 연구와 흐름을 함께 하고 있다.

고해상도 영상을 이용한 건물 추출은 건물 영역을 비건물 영역과 구분해내는 과정이기 때문에 많은 연구들이 다양한 영상분할 기법을 이용하여 건물을 추출하였다. 영상분할 기법의 하나인 분류(classification)는 다양한 건물 추출 연구에서 사용되었는데, k-means 클러스터링(clustering), ISODATA(Iterative Self Organizing Data Analysis), SVM(Support Vector Machine) 등의 기법이 사용되었다(Zhang, 1999; Lee *et al.*, 2003; Inglada, 2007). Unsalan & Boyer(2005)는 k-means 클러스터링을 IKONOS-2에 적용하고 물체의 형태학적 속성에 근거하여 건물을 추출하였으며, Senaras *et al.*(2013)은 평균 이동 분할(mean shift segmentation)을 수행하고 단계적인 분류를 적용하여 영상으로부터 건물을 추출하였다. 건물 추출 연구에 많이 사용되는 또 다른 영상분할 기법인 능동 윤곽모델(active contours)은 에너지 모델을 정의한 뒤 초기 윤곽을 설정하고 에너지가 최소화되는 방향으로 객체 윤곽선을 찾아내는 방법이다(Kass *et al.*, 1988). 최근에는 하나의 영역이 최대 균질성(homogeneity)과 유사성(similarity)을 가지는 방향으로 영상을 분할하는 Chan-Vese 능동윤곽모델(Chan & Vese, 2001)을 개선시켜 건물의 경계를 구성하는 연구가 활발하게 연구되고 있다(Karantzalos & Paraios, 2009; Ahmadi *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2014). 영상분할 기법을 이용한 연구는 다양한 모양의 건물을 추출할 수 있다는 장점을 가지고 있으나 트레이닝 데이터, 초기 건물 위치 등 건물 정보가 필요하다라는 단점이 있다. 또한, 건물 내부 영역과 건물 외부 영역의 유사도가 높을 경우 적용이 어렵다.

영역분할 기법을 비연직 영상에 적용한 연구는 주로 다중 분광 영상을 이용하고 있다. Ackay & Aksoy(2010)은 비연직 영상을 이용하여 건물을 추출할 수 있는 방법을 제안하였다. 이들은 워터셰드

(watershed) 영상분할 기법으로 영상을 분할하고 그림자의 방향을 이용하여 건물 후보 영역을 선정한 후, 그래프 컷(graph-cut) 기법을 이용하여 건물지역을 추출하는 알고리즘을 제안하였다. Ackay & Aksoy(2010)의 방법은 영상분할 기법을 이용하였기 때문에 다양한 모양의 건물을 추출할 수 있다는 장점이 있으나, 건물이 주변 영역과 유사한 특성을 가질 경우 주변 영역 또한 건물로 오분류되며 추출된 건물의 상단과 측면의 구분이 없다는 한계가 존재한다. Huang & Zhang(2012)은 건물과 그림자에 대한 형태학적 지수를 개발하고 이를 비연직 영상에 적용하여 건물을 추출하는 연구를 진행하였다. 측면이 드러나는 건물 또한 효과적으로 추출하는 결과를 보여주고 있으나, Ackay & Aksoy(2010)의 연구와 동일하게 추출된 건물의 상단과 측면의 구분이 없다는 한계를 가지고 있다.

이처럼 영역분할 기법을 사용하여 비연직 영상에서 건물을 탐지할 경우, 건물의 상단과 측면의 구분이 어렵다. 그러나 건물의 상단과 측면은 건물에 대한 서로 다른 정보를 제공하므로 구분될 필요가 있다. 건물 상단의 경우 건물의 2차원 위치에 대한 단서를 제공하는 반면, 건물 측면은 건물의 높이 정보의 단서가 된다. 건물의 3D 정보를 추출하거나 다중 영상 간의 매칭에 이용하는 등의 영상을 통해 추출된 건물 정보를 활용하는 다양한 분야에서 건물의 측면과 상단을 구분할 필요성이 제기되고 있다. 따라서 영역분할 기법을 이용하여 추출된 고층 건물 영역에서 측면과 상단을 구분 가능성을 제시하는 연구가 필요하다.

영역분할 기법 외에 건물의 구조와 영상의 에지를 이용하여 건물의 외곽을 찾아내는 모델 기반 연구가 수행되고 있다. 모델 기반 기법은 건물의 구조적 특성을 이용하므로 건물 구조에 대한 가정을 세워야하며 영상에서 이를 만족하는 부분을 건물로 추출한다. 따라서 모델 기반 기법은 건물의 모서리와 점의 기하학적 관계를 주로 이용하며 분광학적인 특성이 각기 다른 다양한 건물을 추출할 수 있어 많은 연구에서 사용되고 있다(이승엽, 2000; Katartzis & Sahli,

2008; Cote & Saeedi, 2013; Wang *et al.*, 2015). 과거에는 프리윗 (Prewitt) 연산자를 사용하여 에지를 탐색하고 건물의 외곽을 추출하는 연구가 수행되었으나(이승엽, 2000), 최근에는 컴퓨터 비전 분야에서 개발된 다양한 선 추출법을 바탕으로 건물을 추출하는 연구가 수행되고 있다. Wang *et al.*(2015)은 영상에서 선을 추출하는 새로운 기법인 EDLines(Edge Drawing Lines) 이용하여 건물의 선을 추출하고 수직인 선들을 연결하여 사각형의 건물을 추출하는 효과적인 방법을 제안하였다. 추출된 직선을 연결하여 건물의 외곽을 추출한다는 점에서 건물의 외곽을 추출하는 기법은 건물의 형태가 제한적이다. 그러나 초기의 위치 정보 없이도 건물을 추출할 수 있고 영상의 밝기를 직접적으로 이용하지 않기 때문에 복잡한 도시 지역 영상에서도 적용이 가능하며 추출된 선을 연결하는 조건을 다양화 시킴으로써 상황에 따라 알맞게 조정될 수 있다는 장점이 있다.

영역분할 기법과 달리, 모델 기반 기법을 비연직 영상에 적용할 경우 건물의 꼭짓점이나 모서리 등의 요소를 추출하고 이들 사이의 위치 관계를 정의할 수 있어 건물의 측면과 상단을 구분할 수 있다. 건물 상단을 구분하기 위하여 모델 기반 기법을 사용한 다수의 연구에서 높이 정보를 사용하였는데, 다중영상으로 생성된 DEM(Digital Elevation Model)이나 LiDAR(Light Detection And Ranging)를 이용하여 생산된 정밀한 고도자료를 사용하였다(Cord *et al.*, 2001; Kim & Nevatia, 2004; Koc-San & Turker, 2012). Kim & Nevatia(2004)는 다중 영상을 이용하여 DEM을 추출하고 이를 다중 영상의 건물 매칭의 단서로 사용함으로써 건물의 지붕을 추출하는 방법을 제안하였다. DEM의 낮은 정확도를 극복하고 건물 지붕을 비교적 정확하게 추출하였으나, 하나의 건물이 존재하는 소규모 영상만을 이용하여 제안 기법의 우수성을 검증하였다. 다중 데이터에서 취득된 건물 높이를 이용하는 모델 기반 기법은 비교적 정확하게 건물의 상단을 취득할 수 있다. 그러나 다중영상을 이용하여 생성된 DEM은 건물 상단을 추출하기에 충분치 못한 정확도를

가지고 있다(Kim & Nevatia, 2004)). LiDAR와 같은 이중 데이터를 사용할 경우, LiDAR의 3차원 정보와 광학 영상의 2차원 정보 간의 융합을 위한 정확도 높은 영상정합(registration)에 대한 어려움이 존재한다(Teo & Huang, 2013). Katarzis & Sahli(2008)는 건물 상단에 대한 가설을 바탕으로 영상의 선을 연결하여 건물 상단을 추출하고 건물 측면 선을 정의하는 확률적인 방법을 제안하였다. 이들의 연구는 부가적인 데이터 없이도 비연직 영상에서 건물 상단을 추출할 수 있는 가능성을 보여주고자 하였으나, 건물 밀도가 낮은 지역의 다중 분광 항공영상을 사용하였고 높이 1.5-12m의 측면이 크게 드러나지 않는 건물을 대상으로 실험을 진행하였다는 한계를 가진다.

고해상도 위성영상에서는 건물의 에지가 약하게 표현되는 경우가 많고(Kim *et al.*, 2006) 하나의 에지가 아닌 다수의 끊어진 에지로 표현될 수 있다. 따라서 건물의 에지를 이용하는 모델 기반 기법 과정을 위해서는 추출된 선을 건물의 외곽에 최적화시켜야한다. 이를 위해, Kim *et al.*(2006)은 Line Voting과 템플릿 매칭을 이용하여 위성영상에서 건물의 선을 추출하는 반자동화된 알고리즘을 제안하였다. 건물의 에지가 명확하지 않게 표현되는 고해상도 위성영상에서도 건물의 선을 추출할 수 있는 가능성을 제시하였으나, 초기 건물의 위치에 대한 정보가 필요하며 건물의 주요 방향에 대한 선만을 추출하는데 그치고 있어 정확한 건물 상단 영역을 정의하기는 어려운 제약을 가지고 있다.

비연직 영상에서 고층건물이 저층건물과 다른 특성을 나타냄에도 불구하고 다수의 기존 연구에서 이를 고려하지 못하고 있다. 추출된 건물 영역을 이용하여 건물 정보를 생성하기 위해서는 고층건물의 영역만을 추출하는데 그치지 않고 건물의 측면과 상단 영역을 구분할 필요가 있다. 모델 기반 기법을 이용한 기존 연구에서 이를 구분하고자 하였으나, 높이 정보를 부가적으로 이용하거나 건물의 밀도가 낮은 지역에 대해 실험을 진행하였고 실질적인 고층건물에 대한

실효성을 검증하지 못했다는 한계를 가지고 있다.

1.3 연구의 목적 및 범위

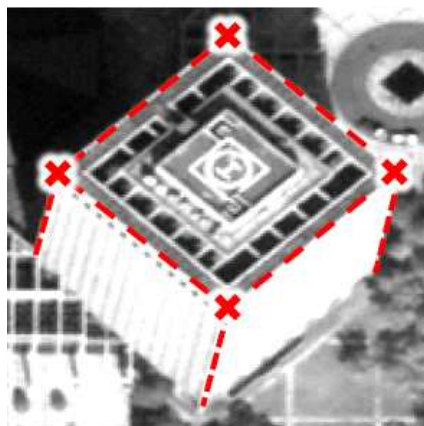
기존의 건물 추출 연구는 저층건물을 대상으로 하거나 연직 영상을 주로 사용하고 있어, 연직 영상이 존재하지 않거나 고층건물이 주로 존재하는 지역에서 건물 정보를 추출하고자 하는 경우 제약이 발생할 수 있다. 따라서 건물 추출 연구에 사용될 수 있는 영상의 폭을 넓히고 영상에서 추출할 수 있는 건물의 종류를 다양화시키기 위해 비연직 영상과 측면이 드러나는 고층건물에 대한 연구가 필요하다.

기존의 건물 추출 연구는 비연직 영상을 사용하여 건물을 추출하거나 고층건물을 추출하는 것에 한계가 존재하는데, 기존 연구의 한계를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 건물 추출 연구에 광범위하게 사용되고 있는 영역분할 기법을 비연직 영상에 적용할 경우 건물의 상단과 측면을 구분하기 어렵다. 건물의 상단과 측면의 특성을 각기 다르므로 건물 정보 추출을 위해서는 구분될 필요가 있어 상단과 측면을 구분하기 위한 추가적인 방법이 필요하다. 둘째, 모델 기반 기법을 이용한 기존의 연구는 건물 높이 정보를 추가적으로 사용하여 건물 상단을 추출하는데, 부가데이터의 취득에 대한 어려움과 얻어진 건물 높이 정확도를 극복할 수 있는 방법이 필요하다. 마지막으로 고해상도 영상에서 건물 선은 약화될 수 있으며 여러 개의 끊어진 선으로 표현되기 때문에 최적화된 건물 선을 추출할 수 있는 방법이 필요하다. 본 연구는 이러한 한계를 극복하는 것을 목표로 비연직 방향으로 촬영된 고해상도 위성영상에서 고층건물 상단 영역을 자동으로 추출할 수 있는 알고리즘을 개발하고자 한다.

제안하는 방법은 고층건물을 대상으로 하므로 고층건물에 대한 정의가 필요하다. 다양한 분야에서 고층건물에 대해 정의하고 있기 때문에 고층건물을 정확한 정의를 찾기는 어렵다. 일례로 건축법상

에서 고층건물은 “층수가 30층 이상이거나 높이가 120m 이상인 건물”¹⁾을 의미하며, 일반 사전적으로는 “높이 20m 이상, 층수로는 6층 이상 정도의 건물”²⁾을 지칭한다. 본 연구에서는 영상에서 높이에 따른 건물의 상부의 변위가 발생하여 건물 하단과 상단 간의 위치적 차이가 수십 화소(pixel) 이상 발생하는 높이의 건물을 의미한다. 추가적으로, 추출의 대상이 되는 건물의 각 면은 균일한 분광특성을 가지고 있으며 건물의 상부가 사각형임을 가정하였다.

이 같은 고층건물을 추출할 경우, 고층건물의 방향과 위성의 방위각에 따라 영상에서 나타나는 면은 다양하여 이를 구분할 수 있는 알고리즘의 설계가 필요하다. 이 중, 건물의 상단을 구분하는 과정은 상대적으로 더 중요한데, [그림 1-1]과 같이 상단 꼭짓점의 위치와 위성의 방위각정보를 이용해 건물의 측면을 자동으로 파악할 수 있기 때문이다. 더불어, 건물의 측면은 위성방위각에 따라 영상에 나타나는 부분이 변화하고 촬영 고도각에 따라 주변 건물에 의해 폐색되는 정도가 변화하므로 도심지와 같이 건물이 밀집된 지역에서 건물 측면을 이용하여 건물 정보를 추출하는 것은 한계가 있다.

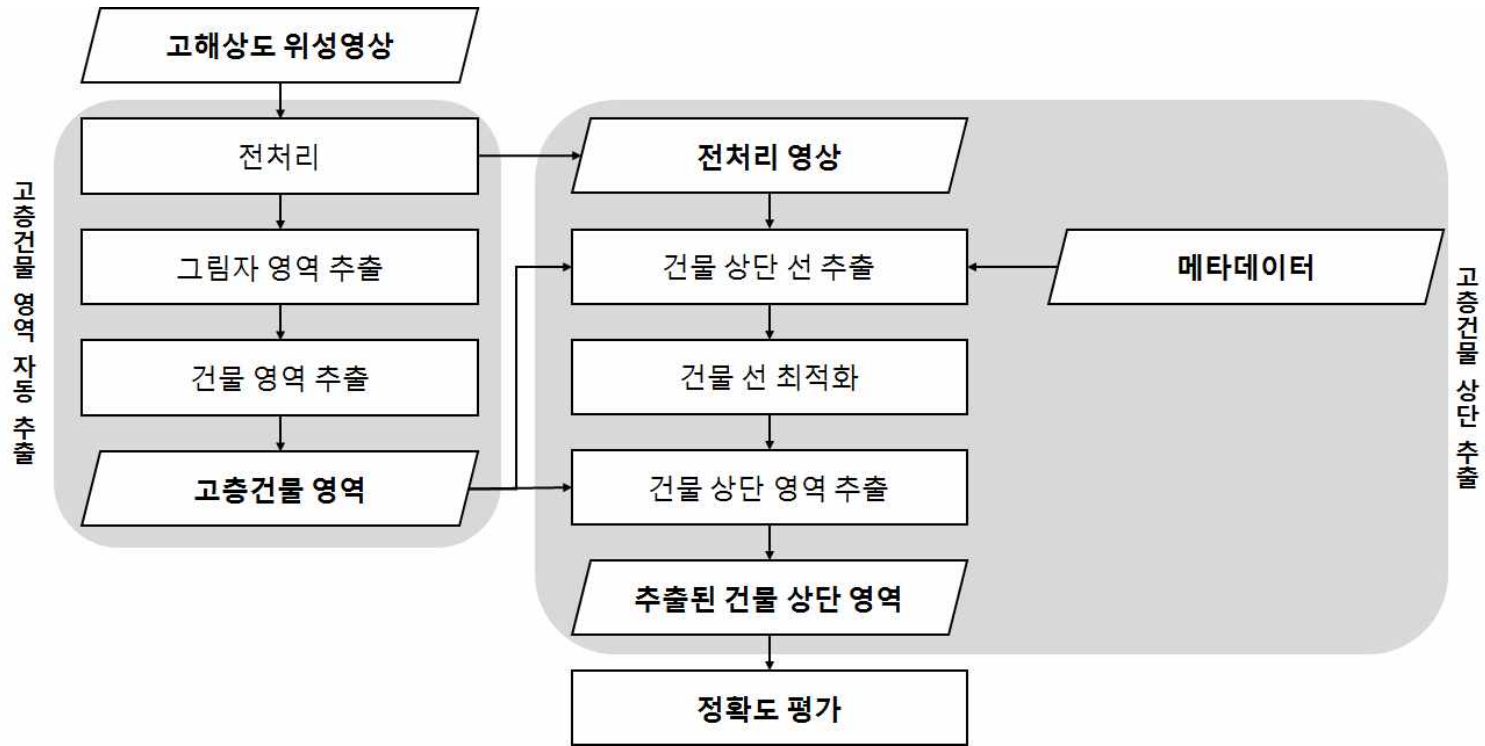


[그림 1-1] 건물 상부의 꼭짓점을 이용한 측면 모서리 생성 예시

1) 건축법 2조

2) 두산대백과사전, 검색일자: 2014.11.26., <http://www.doopedia.co.kr/>

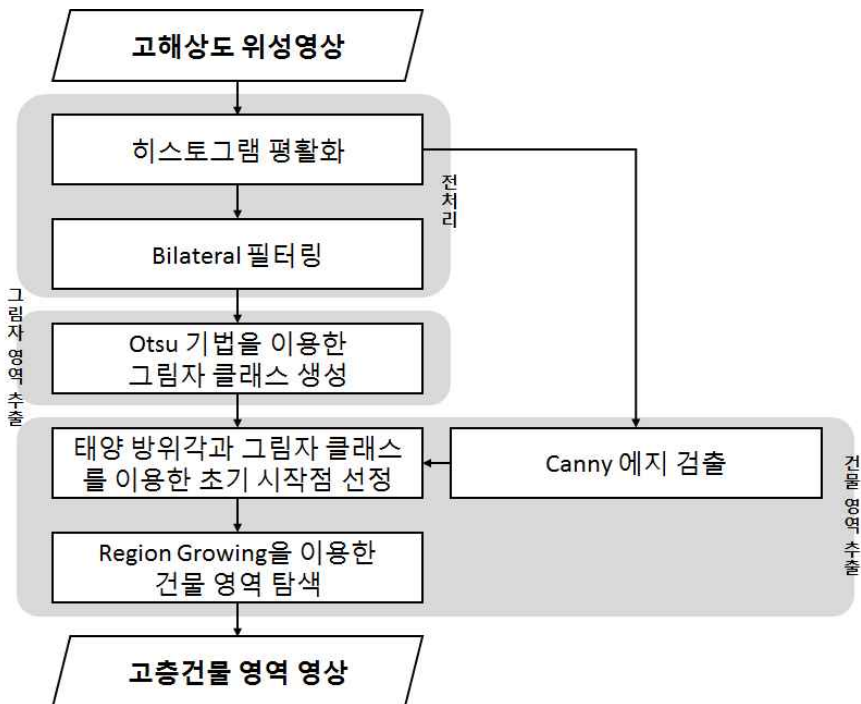
1.2절의 연구 동향을 통해, 기존의 건물 추출 연구에 사용되는 영역분할 기법과 모델 기반 기법 모두 비연직 영상에서 고층건물의 상단과 측면을 구분하는 부분에 한계를 가지고 있음을 볼 수 있다. 본 연구는 기존의 한계를 극복하고자, 영역분할 기법을 이용하여 고층건물 영역을 자동으로 추출한 뒤, 건물영역 내의 선을 이용하는 모델 기반 기법을 연이어 사용하여 고층건물의 상단을 추출하는 방법을 제안한다. 제안 알고리즘은 [그림 1-2]와 같이 ‘고층건물 영역 자동 추출’과 ‘고층건물 상단 추출’의 두 단계로 구성된다. 2장에서 제시한 ‘고층건물 영역 자동 추출’ 단계는 고층건물 영역을 자동으로 추출할 뿐만 아니라, 고층건물 상단을 추출하기 위한 단서를 제공하는 영역 정보를 생성하는 단계로 영상을 그림자 영역과 건물 영역, 그리고 기타 영역으로 구분하는 단계이다. 3장에서는 두 번째 단계인 ‘고층건물 상단 추출’에 대한 방법론을 제안하는데, 추출된 그림자 영역과 건물 영역, 메타데이터의 태양 및 위성의 방위각 정보를 이용하여 고층건물 상단 영역을 추출한다. 대표적인 고해상도 위성영상인 IKONOS-2와 QuickBird-2 영상을 이용하여 제안 알고리즘을 평가하였으며 실험 결과는 4장에 수록하였다. 마지막으로 5장에서는 본 연구로 얻을 수 있는 결론을 제시한다.



[그림 1-2] 전체 연구 흐름도

2. 고층건물 영역 자동 추출

고해상도 위성영상에서 고층건물의 추출을 자동화하고 알고리즘의 효율성 및 정확도를 향상시키기 위해 고층건물 영역을 자동으로 탐지하는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 고층건물 영역을 탐지하기 위해 기본적으로 영역확장 기법(region growing)을 사용하였으며, 이 과정에 필수적인 초기시작점(시드; seed)은 그림자를 이용하여 생성하였다. 고층건물 영역을 자동으로 탐지하는 과정은 [그림 2-1]로 요약되는데, 건물 영역을 추출하기 위해 영상을 최적화 시키는 전처리 과정, 영상의 임계화 분할을 이용한 그림자 영역 추출 과정, 그리고 영역확장 기법을 적용한 건물 영역 추출 과정으로 요약된다.



[그림 2-1] 건물 영역 자동 탐지 연구 흐름도

2.1 영상 전처리

고층건물 영역을 추출하기 위해 영역 기반 영역분할 기법³⁾을 사용하기 때문에 영상의 잡음(noise)을 줄이고 영상이 가진 밝기 대비(contrast)를 극대화 시켜 건물 추출에 최적화된 영상을 생성하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 히스토그램 평활화(histogram equalization)와 스무딩(smoothing) 필터인 Bilateral 필터(Tomasi & Manduchi, 1998)를 사용하여 건물 추출에 최적화된 영상을 생성하였다.

히스토그램 평활화는 영상의 대비를 극대화시키기 위해 사용되는 일반적인 방법으로 영상의 모든 밝기 값이 히스토그램에서 동일한 빈도수를 가지도록 하여 영상의 대비를 강화한다. 히스토그램 평활화를 적용하면 영상의 밝기가 넓은 범위에 걸쳐 골고루 분포하게 되어 영상의 대비가 강화되게 된다. [그림 2-2]의 (라)와 (마)는 히스토그램 평활화 적용 전과 후의 영상의 밝기 분포를 나타내는 것으로 히스토그램 평활화 적용 후 영상의 밝기가 넓은 범위에 걸쳐 골고루 분포됨을 확인 할 수 있다. 이렇게 대비가 강화될 경우 영상 분할과 특징 추출에 유리하므로(전미진과 이준재, 2012) 건물 영역을 분할하기 위해 영상의 대비 강화는 필수적이다. [그림 2-2]의 (가)와 (나)는 히스토그램 평활화 적용 전과 후의 영상을 보여주는 데, 영상의 대비가 강조되면서 그림자와 건물 사이의 구분이 명확해졌음을 볼 수 있다.

Tomasi & Manduchi(1998)의 Bilateral 필터는 종래의 개발된 스무딩 필터가 에지를 약화 시킨다는 점을 극복하기 위해 제안되었다. Bilateral 필터는 에지를 보존할 뿐만 아니라 반복연산의 구조를 취하고 있지 않기 때문에 비교적 빠른 연산이 가능하다는 장점이 있

3) 영역 기반 영역분할 기법: 하나의 영역이 균질하다는 가정 하에 영상 밝기값의 평균이나 편차 등의 통계적 접근을 통해 영상을 분할하는 방법

다. 이 필터는 이웃 화소들 간의 근접성(closeness)과 유사성(similarity)에 따라 변화하는 가우시안 필터를 적용하는 비선형 필터로(조성재, 2013) 다음과 같은 식 (2.1)에 의해 연산된다.

$$h(x) = k^{-1}(x) \iint_{-\infty}^{\infty} f(w)c(w,x)s(f(w), f(x))dw \quad (2.1)$$

여기서 x 는 이웃 영역 내의 중심화소로, 중심화소로부터 일정 반지름 영역 내부에 있는 화소를 이웃화소, w 로 정의한다. f 는 대상영상, h 는 결과 영상을 지칭하고 $k(x)$ 는 영역의 정규화 함수로 다음 식 (2.2)와 같다.

$$k(x) = \iint_{-\infty}^{\infty} c(w,x)s(f(w), f(x))dw \quad (2.2)$$

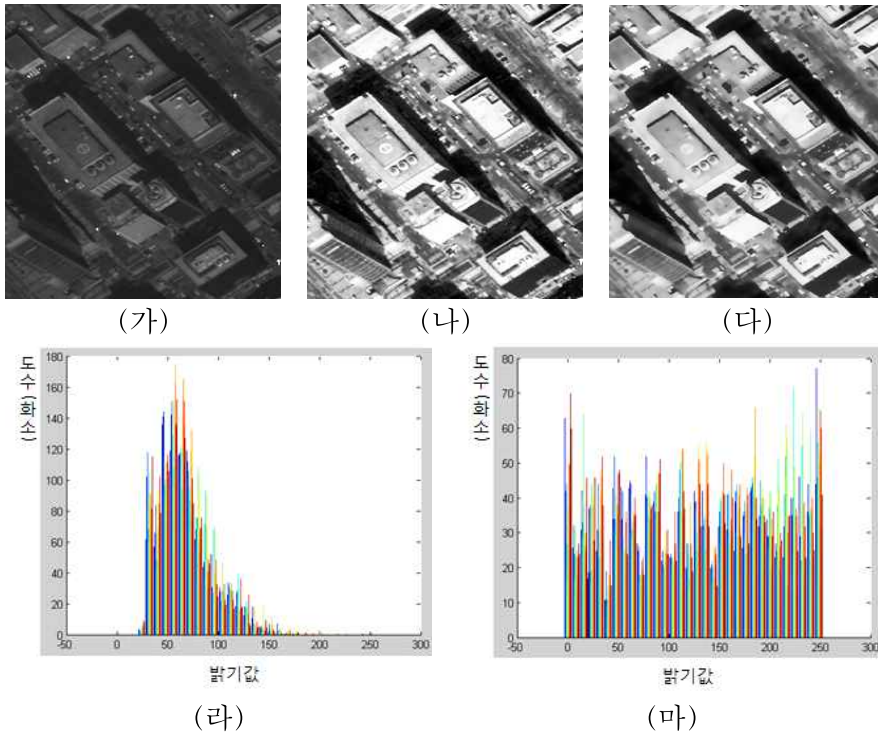
$c(w,x)$ 는 영역의 근접성, $s(f(w), f(x))$ 는 영역의 유사성을 반영한 가우시안 커널(kernel)로 다음 식 (2.3)과 같다. σ_c 와 σ_s 는 가우시안 커널을 위한 초기 임계값으로 연구에서는 3과 0.1을 각각 적용하여 실험을 진행하였다.

$$c(w,x) = \exp\left(-\frac{\|x-w\|^2}{\sigma_c^2}\right) \quad (2.3)$$

$$s(f(w), f(x)) = \exp\left(-\frac{(f(x)-f(w))^2}{\sigma_s^2}\right)$$

이와 같이, 영역의 근접성과 유사성을 반영하여 서로 다른 가우시안 함수를 사용하기 때문에 필터링 적용 후에도 영상의 에지가 보존될 수 있다. 본 연구는 고층건물 영역을 탐지하는 것을 목표로하기 때문에 영상의 에지를 보존하는 것은 중요하므로 Bilateral 필터를

적용하여 영상의 잡음을 약화시키는 한편 에지를 보존하여 건물의 경계를 배경과 구분 지을 수 있도록 하였다. [그림 2.2]의 (다)는 Bilateral 필터의 적용 후의 결과 영상으로 건물 영역 내부의 밝기가 스무딩된 반면, 건물의 에지는 선명하게 드러남을 확인 할 수 있다.



[그림 2-2] 영상의 전처리 결과:

- (가) 원 영상, (나) 히스토그램 평활화 적용 후,
- (다) Bilateral 필터 적용 후, (라) 원 영상의 히스토그램,
- (마) 히스토그램 평활화 적용 후의 히스토그램

2.2 Otsu 기법을 이용한 건물 그림자 영역 추출

고해상도 위성영상에서 고층건물 영역을 추출하기 위해, 건물의 그림자를 이용하였다. 그림자를 사용하게 될 경우, 태양의 방위각과 위성의 방위각이 유사하고 태양고도각이 위성고도각보다 크게 촬영된 영상의 사용이 불가능해지는데, 이는 건물의 기복변위로 인해 건물의 그림자가 가려지기 때문이다. 그림에도 불구하고 건물의 그림자는 건물의 위치를 알려주는 유용한 단서이며 많은 연구에서 그림자를 이용하였다(Jin & Davis, 2005; Akcay & Aksoy, 2010; Ok, 2013).

건물의 그림자를 사용하는 경우, 건물의 그림자를 정확히 정의하는 단계가 중요하다(Ok, 2013). 그림자 영역은 적외선 영상을 사용할 때 가장 쉽게 구분이 가능하나, 본 연구에서는 가시광 영역의 흑백(panchromatic) 영상을 사용하기 때문에 정확한 그림자 영역을 정의하는데 어려움이 따른다. 이를 고려하여, 이후 영역확장 기법을 적용하는 과정에서 잘못된 그림자 영역을 제외하는 과정을 추가하였다.

기본적으로 그림자 영역의 밝기는 다른 지역에 비해 낮으므로 본 연구에서는 Otsu 기법(Otsu's method)을 이용하여 영상을 5개의 클래스로 분류하고, 가장 낮은 밝기를 가진 클래스를 그림자 클래스로 분류하였다. Otsu 기법은 영상 내의 클래스를 분할할 때, 분할되는 클래스 간의 분산을 최대화 시키는 방향으로 클래스 간의 임계값을 찾는 방법이다(Otsu, 1975). 이는 영상에 대한 사전 지식 없이 최적화된 값을 찾을 수 있다는 장점이 있다.

Otsu 기법으로 생성된 그림자 클래스 내에는 건물 그림자 외에도 고가도로나 가로수 등의 물체로 인한 그림자가 포함될 수 있다. 이 중 가로수와 같은 소규모 식생의 그림자를 제거하기 위해 규모가 작은 그림자는 제거하여 그림자 클래스를 완성하였다. 고가도로 및 수계 지역에서 생성된 그림자의 경우, 해당 영역의 규모가 큰 것을

고려하여 영역확장 기법을 적용하는 단계에서 제거하였다. 최종적으로 추출된 그림자 영역은 건물 영역을 추출하는 초기 시드를 선정하는 단서를 제공할 뿐만 아니라, 3장의 고층건물 상단 추출 단계에서도 건물 상단 위치의 단서를 제공한다.

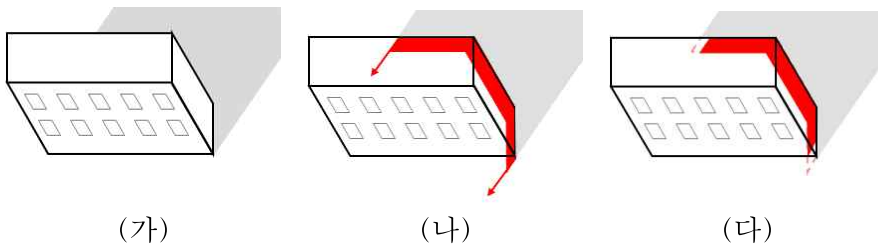
2.3 영역확장 기법을 이용한 건물 영역 추출

2.3절은 고층건물 영역 추출을 위한 단계로, 영역확장 기법을 이용하였다. 영역확장 기법은 영상을 분할하는데 일반적으로 사용되는 방법으로 영역의 시작점인 초기 시드로부터 통계적으로 유사한 값을 가지는 이웃화소들을 통합하여 점차적으로 영역을 확대시켜 나가는 반복적인 방법이다(Gonzalez *et al.*, 2004). 건물의 내부는 통계적으로 유사한 특성을 지니기 때문에 건물 내부를 시드로 설정한다면 영역확장 기법을 이용하여 건물 영역을 추출할 수 있다.

2.1.1 영역확장 기법을 위한 초기 시드 추출

영역확장에 필요한 시드가 건물내부 영역에 위치하기 위해, Otsu 기법을 이용하여 만들어진 그림자 영역을 이용하였다. 시드 추출을 위해 태양방위각에 대한 정보가 필요한데, 이는 건물 그림자에 대해 어느 방향으로 건물이 위치하고 있는지 추정하기 위해서이다. [그림 2-3]의 (가)와 같이 그림자는 물체를 기준으로 태양의 반대편에 위치하게 되므로 물체가 위치하는 지점은 그림자를 기준으로 태양방위각 방향으로 위치한다. 이러한 그림자와 건물 간의 위치관계를 이용하여 각 그림자의 가장자리 화소를 태양방위각 방향으로 확장하여 건물 영역 내부 영역을 찾고, 찾아진 영역 내에서 시드를 추출하였다. 그러나 [그림 2-3] (나)의 붉은 부분의 일부와 같이, 그림자의 확장 과정에서 건물의 외부 영역에서 시드가 추출 될 수 있다. 건물

외부의 시드를 이용하게 될 경우, 건물 이외의 지역이 영역확장 기법의 결과물로 산출되므로 태양방위각 방향의 수직인 방향으로 가장 자리에 위치한 그림자 화소에서 확장된 영역은 건물 내부 영역에서 제외하였다. 그림자 가장자리 화소가 확장되어 정의된 건물 내부 영역이 건물의 폭 보다 커질 경우, 건물의 외부 영역이 건물 내부 영역으로 추출 될 수 있다. 영상의 건물 폭의 다양성을 고려하여 제안 알고리즘에서는 그림자를 태양방위각 방향으로 5m 연장하여 건물 내부 영역을 생성하였다.

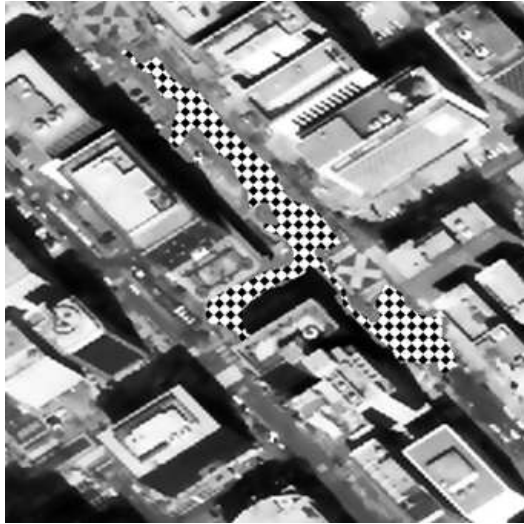



[그림 2-3] 건물 내부 영역 정의: (가) 건물과 그림자의 위치관계,
 (나) 그림자 가장자리 화소 확장을 통한 건물 내부 영역 정의,
 (다) 정의된 최종 건물 내부 영역

선정된 건물 내부 영역의 모든 화소를 영역확장 기법에 적용하게 될 경우, 연산에 소요되는 시간이 매우 길어진다. 하나의 건물 영역 내에 위치한 화소는 유사한 영역확장 기법 결과를 도출하므로, 연산의 효율성을 향상시키기 위해 영역 당 10개의 화소를 랜덤하게 선정하였다. 이 때, 선정된 시드가 색상의 변화가 심한 에지부분에 위치할 경우, 잘못된 분할결과가 발생할 수 있다(변영기와 김용일, 2010). 따라서 10개의 시드를 선정할 때, 밝기가 급격하게 변화하는 에지부분에서는 시드가 선정되지 않도록 하였으며 선정된 시드 사이 간격이 3화소 이상이 되도록 하였다. 이 과정에서 사용된 에지 영상은 Canny 에지 검출 기법으로 추출되었다.

2.1.2 고층건물 영역 중첩 및 오추출 제거

영역확장 기법을 적용하기 위해 시드와 주변 화소의 통합에 대한 기준을 제시하여야 하는데, 본 연구에서는 시드와의 밝기 차가 영상의 최대 밝기와 최소 밝기 차의 10% 이하인 이웃 화소를 동일한 영역으로 정의하고 영역의 확장이 이루어지도록 하였다. 건물의 외벽에 설치된 유리창과 같은 요소는 건물 외벽의 밝기 변화를 가져오기 때문에 임의로 선정된 시드를 이용한 영역확장 기법의 결과물은 차이가 있을 수 있다. 이를 고려하여 임의로 선정된 시드가 개별적으로 만들어내는 영역을 중첩하여 하나의 건물 영역으로 생성해 내었다. 이 과정에서 각각의 시드가 도출한 결과물을 일차적으로 걸러내는데, 이는 그림자가 도시지역의 수계 지역이나 도로에서 생성될 수 있기 때문이다. 수계 지역이나 도로 영역에서 초기 시드가 추출될 경우, 수계 지역과 도로 영역이 건물 영역으로 오인될 가능성이 높으며 [그림 2-4]와 같이 추출된 영역이 건물의 크기보다 커지게 된다. 이 같은 도로와 수계 영역의 특성을 반영하여 추출하려는 건물의 최대 크기보다 큰 영역(200m)은 최종 건물 영역에서 제거하였다.

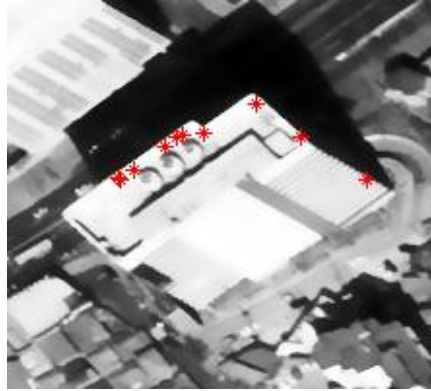


[그림 2-4] 도로 영역에 시드가 생성된 경우 영역확장 기법 결과
( : 영역확장 기법 결과)

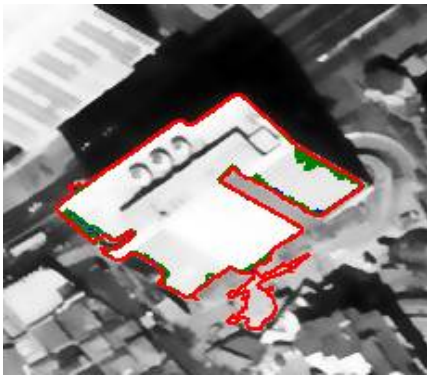
[그림 2-5]는 고층건물 영역을 추출하기 위해 영역확장 기법을 적용한 일련의 과정을 보여주고 있다. [그림 2-5]의 (가)는 Otsu 기법으로 추출된 그림자 클래스 영상이며 (나)는 그림자 클래스를 이용하여 추출된 10개의 시드를 보여주고 있다. [그림 2-5]의 (다)는 선정된 10개의 시드의 결과물을 보여주는데, 각 시드로 추출된 건물 영역이 유사한 것을 보여준다. [그림 2-5]의 (라)는 (다)의 결과를 중첩하여 추출된 최종적인 건물영역이다. 최종적으로 추출된 건물 영역은 영상 내의 비건물 지역에서 추출된 선을 선별하는 과정에 사용되어, 알고리즘의 효율성을 높임과 동시에 보다 정확한 결과를 도출할 수 있도록 한다.



(가)



(나)



(다)

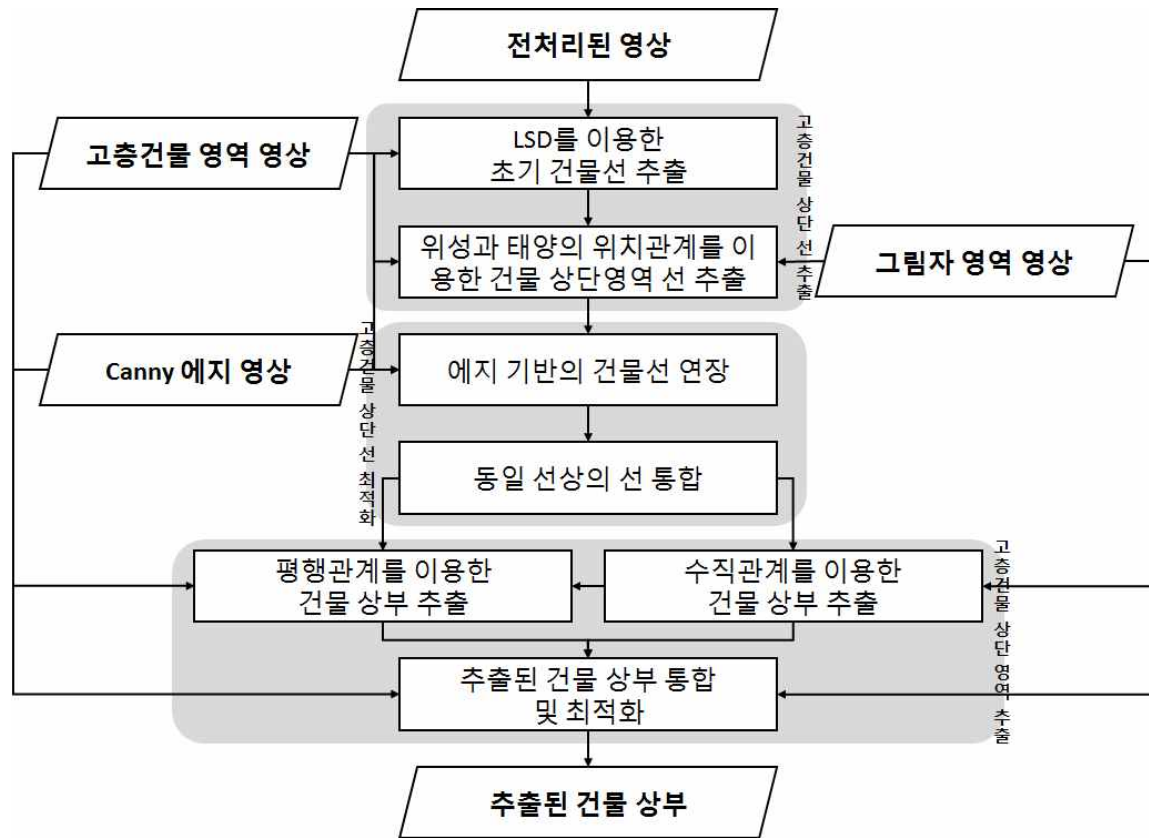


(라)

[그림 2-5] 시드 선정과 영역확장 기법 결과 예시:
(가) 추출된 그림자 영역(흰 영역), (나) 선정된 시드,
(다) 영역확장 기법결과, (라) 최종 건물 영역

3. 고층건물 상단 추출

2장에서 제안된 방법을 통해 추출된 건물 영역은 건물의 상단과 측면의 구분이 이루어지지 않았으므로 3장에서는 건물 영역 내의 선을 이용하여 건물의 상단을 구분할 수 있는 방법을 제안한다. 제안 방법은 [그림 3-1]과 같이 세단계로 구성된다. 우선, 추출된 건물 영역과 그림자 영역을 이용하여 영상 내의 건물 상단 영역의 선을 추출하는 단계가 수행된다. 고해상도 영상에서 건물 선은 약화되거나 끊어진 여러 개의 선으로 표현되므로 앞의 단계에서 추출된 건물 상단 영역의 선을 에지 정보를 이용하여 건물에 최적화 시키는 단계를 수행한다. 최종적으로, 최적화된 건물 상단 선을 이용하여 건물의 상단 영역을 추출한다.



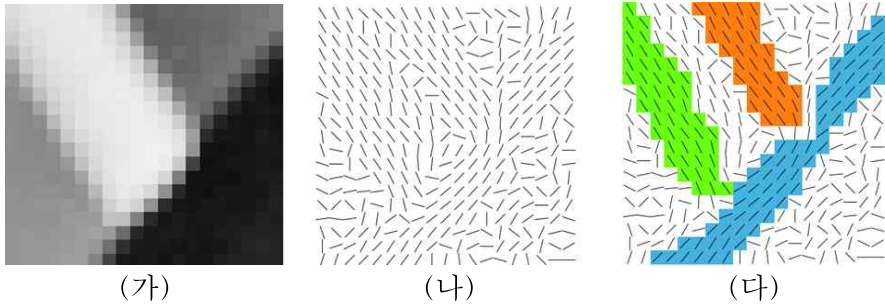
[그림 3-1] 고층건물 상단 추출 연구 흐름도

3.1 고층건물 상단 선 추출

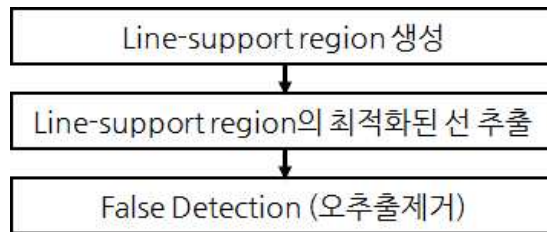
3.1.1 LSD를 이용한 영상 내 초기 건물 영역 선 추출

영상처리 기술의 발전과 함께 다양한 선 추출법이 개발되었다. 이 중 가장 일반적으로 사용되어지는 선 추출법은 허프 변환으로, 일정 개수 이상의 에지를 연결하는 모든 직선을 추출하는 방법이다. 영상 내의 모든 에지를 대상으로 하기 때문에 에지가 많은 물체의 텍스처(texture)가 선으로 추출될 수 있으며, 연산 시간이 길다는 단점이 존재한다(Gioi *et al.*, 2010). 이를 해결하기 위한 연구가 존재하나(Matias *et al.*, 2000), 에지정보를 이용한다는 점에 있어 잘못된 에지로 인한 오추출 결과가 빚어지며, 추출 정확도가 변수 설정에 의존적이라는 한계가 존재한다.

이를 극복하기 위해, Burns *et al.*(1986)은 에지를 연결하던 방식에서 벗어나, 영상의 그래디언트(gradient)의 방향을 고려하여 선을 찾아내는 방법을 제안하였다. 이 방법은 그래디언트 방향 영상에 영역확장 기법을 적용하여 유사한 그래디언트 방향을 가지는 영역을 영상의 선이 존재할 수 있는 영역(line-support region)으로 지정하고, 각 영역에 적합한 선을 영상의 선으로 추출하는 방법이다. [그림 3-2]는 line-support region을 보여주고 있다. 이 방법은 완성도 높은 선 추출 결과를 보이지만 초기 변수 설정에 대한 문제가 여전히 존재한다. Gioi *et al.*(2010)은 이를 개선하여 별도의 변수가 필요 없는 자동화된 선 추출법, LSD(Line Segment Detector)를 제안하였다. LSD는 [그림 3-3]과 같이 세 단계로 구성되어 있으며, 마지막 단계에서 오추출된 선을 제거함으로써 영상의 선을 자동으로 추출할 수 있다.



[그림 3-2] Line-support region 추출 과정(Gioi *et al.*, 2012):
 (가) 원영상, (나) Level-line field(그래디언트 방향의 수직 방향),
 (다) Line-support region

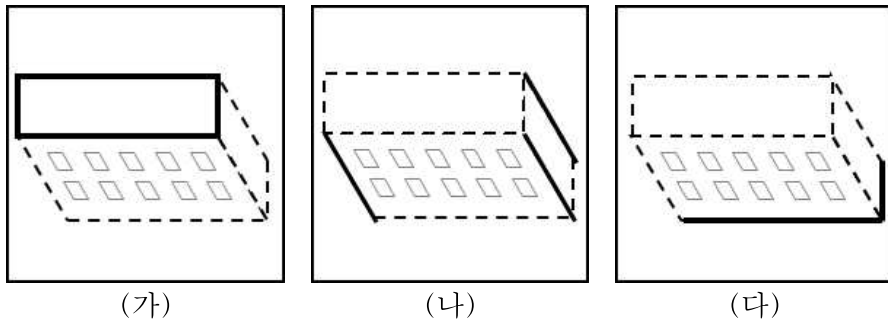


[그림 3-3] LSD의 세 단계

LSD는 사용자의 개입이 없는 자동화된 방법이지만, 영상의 잡음에 영향을 받는다(Ackinlar & Topal, 2011). 따라서 히스토그램 평활화와 Bilateral 필터가 적용된 전처리 영상에 LSD를 사용하여 영상 내의 선을 추출하였다. 전체 영상에 대해 선을 추출하였으므로 건물을 비롯하여 도로와 그림자 경계부 등에서 선이 추출되게 된다. 비건물 영역의 선은 비효율적인 연산을 초래하므로, 2장에서 추출된 건물 영역을 이용하여 건물 영역의 선만을 추출하였다.

3.1.2 고층건물 상단 영역 선 추출

2장에서 제안된 방법을 이용하여 추출된 건물영역의 대다수는 건물의 상단과 측면이 모두 포함되어 있으므로 3.1.1의 과정을 거친 선 집합에는 건물의 상단과 측면 내의 모든 선이 포함되어 있다. 건물 면에 장애물이 없다는 가정 하에 추출된 건물 선은 세 가지로 구분할 수 있는데, [그림 3-4]와 같이 상단 영역 선, 높이에 의한 변위로 생겨나는 측면 선, 건물 하단 영역의 선으로 구분할 수 있다. 본 연구는 건물의 상단을 추출하는 것이 최종적인 목표이므로 추출된 선들의 속성을 정의하여 건물 상단 영역의 선만을 추출할 수 있도록 하였다.



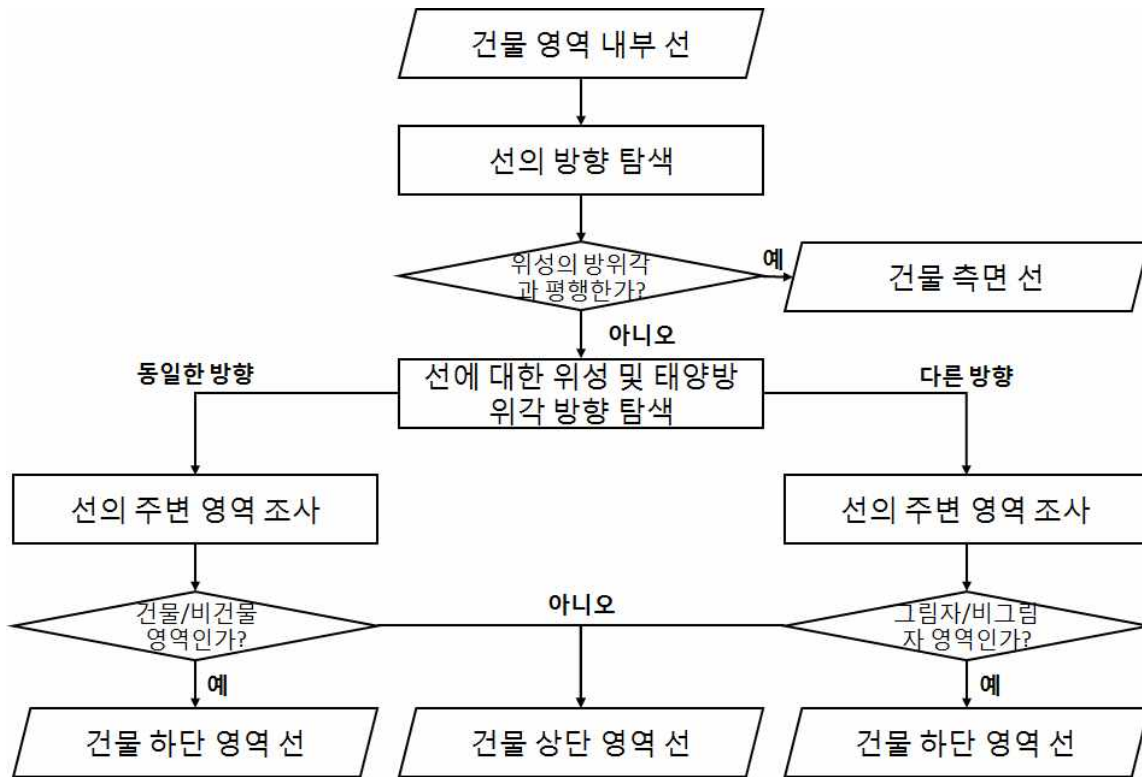
[그림 3-4] 영상에서 고층건물을 이루는 선의 구분:

- (가) 건물 상단 영역의 선, (나) 건물 측면 선,
- (다) 건물 하단 영역의 선

각각의 선에 대한 속성을 정의하기 위해 선의 기울기, 길이와 같은 기하학적인 특징들을 이용할 수 있다. 또한, 선 주변 영역의 밝기를 이용하여 선의 속성을 정의할 수 있다. 그러나 건물 주변 밝기의 다양성과 건물 방향의 다양성을 고려하였을 때, 선의 기하학적인 특징이나 주변 밝기만으로는 건물 상단 영역의 선을 추출하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 건물 주변 영역의 밝기가 아닌 2장에서

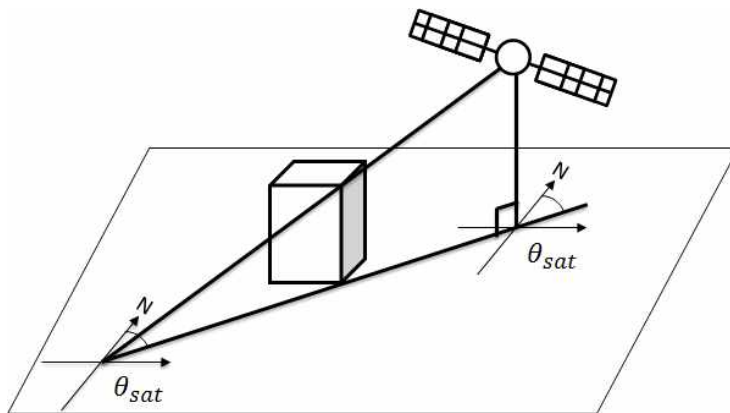
추출한 건물 영역과 그림자 영역을 이용한다.

2장에서 추출된 건물과 그림자 영역을 이용하여 영상을 그림자, 건물, 기타의 세 가지 영역으로 구분할 수 있다. 세 가지 영역과 추출된 세 종류의 건물 선이 가지는 위치관계는 서로 상이하다. 따라서 이를 반영하여 추출된 세 종류의 건물 선을 정의할 수 있는 모델을 가정하고 상단의 선만을 추출하는 알고리즘을 제안한다. [그림 3-5]는 추출된 세 종류의 선을 구분하고 최종적으로 건물 상단 선만을 추출하는 과정을 나타낸다. 건물 상단 영역의 선은 건물의 높이로 인한 기복변위가 발생하므로 태양방위각 및 위성방위각에 따라 다양한 특징을 나타낸다. 이와 달리, 건물 측면 선과 하단 영역의 선은 영상에서 비교적 제한된 특징을 가지므로 건물 측면 선과 하단 영역의 선을 정의하고 이를 제거함으로써 최종적인 건물 상단 영역의 선을 추출하였다. 위성방위각과의 위치관계를 이용하여 상대적으로 쉽게 정의할 수 있는 건물 측면 선을 우선적으로 정의하며 건물 하단 영역의 선은 주변 영역의 성질을 이용하여 정의되었다. [그림 3-5]에서 나타난 고려요소는 건물 측면 선과 하단 영역의 선의 특징을 반영한 결과로 각 선의 특징 요소는 다음과 같다.



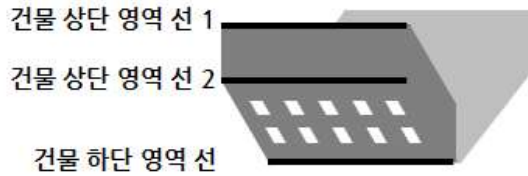
[그림 3-5] 건물상단 영역의 선 추출 과정

[그림 3-6]과 같이 건물의 측면에서 추출되는 선은 위성의 방위각과 평행한 방향으로 생겨나게 된다. 따라서 위성영상과 함께 제공되는 위성방위각 정보를 이용하여 건물 측면의 선을 확인하고 제거할 수 있다. 그러나 최근 고해상도 위성영상은 push-broom 방식을 채택하고 있으므로 영상의 각 스트립(strip) 별로 위성방위각은 미세한 차이를 보인다. 또한, 영상처리 과정에서 생겨난 왜곡 등으로 인해, 영상에서 나타나는 건물 측면 선의 각도가 실제 위성방위각과 차이가 날 수 있다. 이를 고려하여 메타데이터로 제공되는 위성방위각의 평균값에 대해 $\pm 10^\circ$ 의 범위를 설정하여 건물 측면의 선소를 정의하고 제거하였다.



[그림 3-6] 위성의 방위각과 건물 측면 선과의 위치 관계

건물 하단 영역의 선을 정의하기 위해 다음 [그림 3-7]의 두 가지 경우를 가정해야 한다. [그림 3-7]의 (가)는 어떤 건물 하단 선에 대해 건물 기복변위의 발생 방향과 그림자의 발생 방향이 동일한 범주에 존재하는 경우를 나타내며, (나)는 건물 기복변위의 발생 방향과 그림자의 발생 방향이 서로 다른 범주에 존재하는 경우를 나타낸다.



(가)



(나)

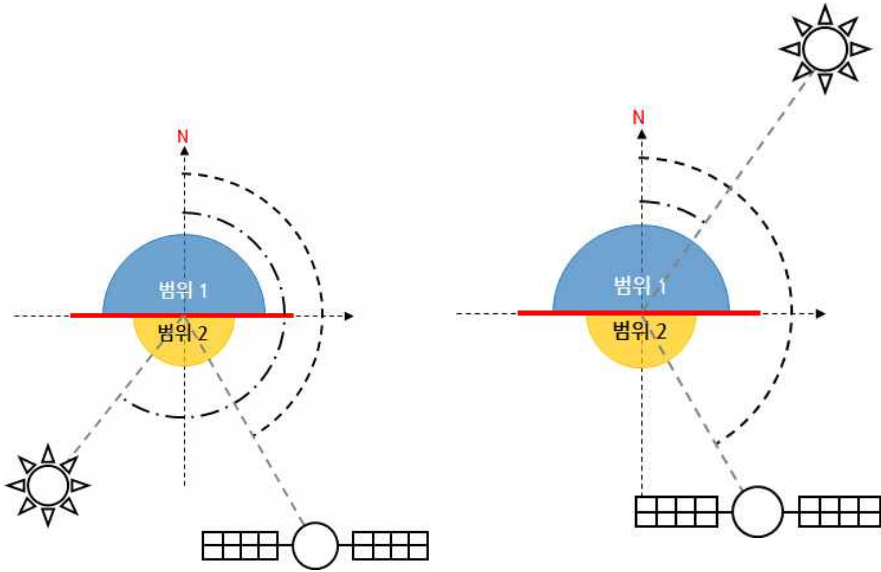
- 영역확장 기법을 이용해 추출된 건물 영역
- Otsu 기법을 이용해 추출된 그림자 영역

[그림 3-7] 건물 하단 영역의 선을 정의하기 위한 두 가지 모델:
 (가) 건물 기복변위 방향과 그림자 방향이 동일한 범위에 있는 경우,
 (나) 건물 기복변위 방향과 그림자 방향이 서로 다른 범위에 있는 경우

그림자와 기복변위의 발생방향은 건물 하단 선의 각도와 관련지을 수 있다. 건물 하단 영역의 선의 방위각을 θ_{line} 으로 지칭하고 다음과 같이 ‘각도 범위’를 정의한다. 건물의 기복변위는 위성방위각과 평행하게 발생하며, 건물의 그림자 발생방향은 태양방위각과 평행하다. 따라서 [그림 3-8]과 같이 각각 선에 대해 범위를 정의하고, 위성 및 태양방위각(θ)이 아래의 범위 중 어느 범위에 속하는지를 확인하면 건물 하단 선이 [그림 3-7]의 어느 경우에 해당하는지 알 수 있다.

$$\text{범위 1 : } \theta_{line} - 180^\circ \leq \theta < \theta_{line}$$

$$\text{범위 2 : } \theta_{line} \leq \theta < \theta_{line} + 180^\circ$$



(가)

(나)

— 건물 하단 영역의 선 위성방위각 - - - - 태양방위각

[그림 3-8] 건물 하단 선의 각도 범위 선정과 태양 및 위성방위각:

(가) 두 방위각이 동일한 범위에 속하는 경우,

(나) 두 방위각이 서로 다른 범위에 속하는 경우

2장에서 그림자 영역과 건물 영역을 추출하였기 때문에 영상의 각 부분을 건물 영역과 그림자 영역 그리고 기타 영역으로 속성을 정의할 수 있다. 건물 선과 위성 및 태양방위각의 위치관계에 따라 건물 하단 선과 건물 상단 선의 주변 영역 속성은 다르게 나타난다. 개개의 선의 주변 영역을 고려하면 [표 3-1], [표 3-2]와 같이 나타나는데, [그림 3-7]의 두 가지 경우에 대해 건물 상단 선과 건물 하단 선이 가지는 주변 영역의 속성이 다를 수 있다. 건물 하단 영역의 선은 건물 기복변위의 방향과 그림자 방향이 동일한 각도 범위에 속할 경우 건물 영역과 비 건물 영역이 선의 양쪽 영역에 위치하게 되며, 반대의 경우 그림자 영역과 비 그림자 영역이 선의

양쪽 영역에 위치하게 된다. 따라서 이를 이용하여 건물 하단 영역의 선을 정의하고 제거할 수 있다.

[표 3-1] 건물 기복변위 방향과 그림자 방향이 동일한 범위에 있을 경우, 건물의 각 선에 따른 주변 영역 속성

	건물 상단 선 1	건물 상단 선 2	건물 하단 선
주변 영역 (선의 위)	기타 또는 그림자 영역	건물 영역	건물 영역
주변 영역 (선의 아래)	건물 영역	건물 영역	비건물 영역

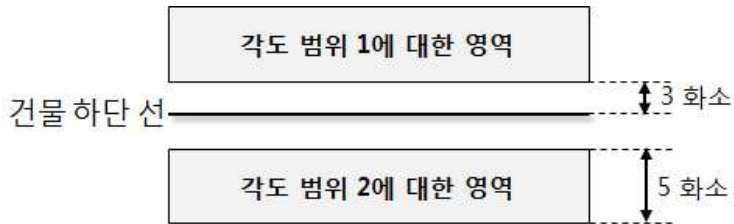
[표 3-2] 건물 기복변위 방향과 그림자 방향이 서로 다른 범위에 있을 경우, 건물의 각 선에 따른 주변 영역 속성

	건물 상단 선 1	건물 상단 선 2	건물 하단 선
주변 영역 (선의 위)	기타 영역	건물 영역	건물 영역
주변 영역 (선의 아래)	건물 영역	건물 영역	그림자 영역

2장의 건물 영역을 사용하여 추출된 건물 선 집합에서 건물 하단부의 선을 제거하기 위해서 우선적으로 각각의 선에 대한 각도 범위를 구하고 위성방위각과 태양방위각의 위치관계를 정의하였다. 그리고 정의된 위치관계에 따라 선의 주변 영역이 어떤 종류의 영역으로 구성되는지를 파악하여 다음과 같이 영역이 구성되면 건물 하단 선으로 간주하여 제거하였다.

- 위성 및 태양방위각이 동일한 각도 범위에 있는 경우 :
 위성방위각과 동일한 각도 범위의 선 주변 영역 : 비건물 영역
 위성방위각과 반대 각도 범위의 선 주변 영역 : 건물 영역
- 위성 및 태양 방위각이 서로 다른 각도 범위에 있는 경우 :
 위성방위각과 동일한 각도 범위의 선 주변 영역 : 그림자 영역
 위성방위각과 반대 각도 범위의 선 주변 영역 : 비그림자 영역

선의 주변 영역이 포함된 영역을 정의하기 위해 선과 이웃한 화소들을 [그림 3-9]와 같이 선정하였다. 선은 밝기의 변화가 심한 에지 주변에 주로 생겨나므로 선 주변 탐색할 때 선으로부터 3화소 이내의 화소는 고려되지 않았으며 선으로부터 수직한 방향으로 8화소 내의 영역에 존재하는 화소를 이웃화소로 간주하였다. 각 영역에 속한 이웃화소 중 건물 영역이나 그림자 영역과 겹치는 개수를 조사하여 50% 이상의 면적이 겹칠 때 각 영역을 그림자 영역 또는 건물 영역으로 설정하였다.



[그림 3-9] 선 주변 영역을 정의하기 위한 탐색 영역

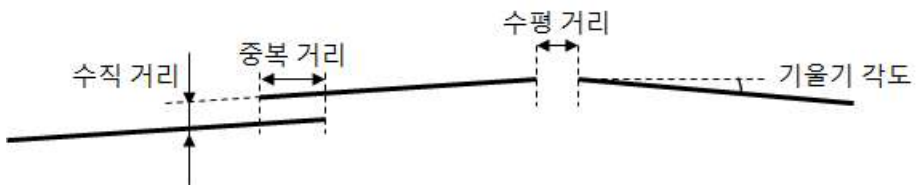
3.2 고층건물 상단 선 최적화

고해상도 영상에서의 선은 다수의 끊어진 선으로 표현되기 때문에 고해상도 광학영상의 선을 이용하는 다양한 연구에서 동일 선상의 선을 연결하는 작업을 진행하였다(Izadi & Saedi, 2012; Wang

et al., 2015). 두 선이 동일 선상의 선임을 확인하는 과정은 선의 기하학적인 위치관계를 바탕으로 진행되며, 선 주변 영역의 밝기 또한 이용되기도 한다. 건물 선의 경우, 주변 배경이 다양하게 변화하기 때문에 동일 선임에도 불구하고 주변 영역의 밝기는 다를 수 있어 기하학적 관계만을 이용하여 동일한 건물 선임을 밝힌다. 이때 이용되는 기하학적인 관계는 다음과 같으며(Izadi & Saeedi, 2012), 구체적 수치는 영상과 지역에 따라 변화시킬 수 있다.

- 두 선 사이의 수직거리가 2화소 이내인 경우, 동일 선상에 있는 선일 확률이 높다.
- 두선의 기울기의 차이가 10° 이내인 경우, 동일 선상에 있는 선일 확률이 높다.
- 앞의 두 조건이 만족할 때, 아래의 조건 중 하나가 만족하면 동일 선상에 있는 선일 확률이 높다.
 - 두 선이 겹치는 영역의 길이가 전체 선분의 길이의 15% 이내이다.
 - 두 선이 사이의 수평거리가 전체 선분의 길이의 15% 이내이다.

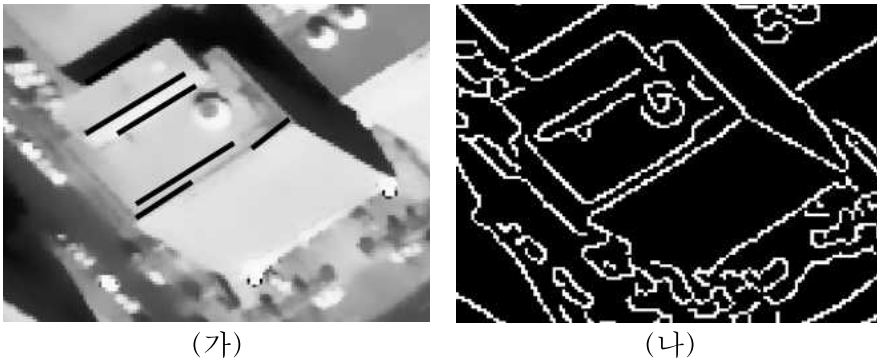
선 사이의 수직거리, 수평거리, 중복거리는 [그림 3-10]과 같이 정의된다.



[그림 3-10] 두 선 사이의 위치관계

3.1의 과정에서 사용되는 LSD는 영상의 그래디언트의 방향을 고려하여 선을 추출하기 때문에 연속적인 에지가 존재함에도 불구하고 끊어진 선으로 추출되는 경우가 발생한다. [그림 3-11]과 같이, 동일한 건물의 한 모서리를 구성하고 있는 선의 일부분이 추출되지

않은 경우에는 추출된 선과의 기하학적인 관계만으로는 동일 선상의 선을 연결하기 어렵기 때문에 에지 영상을 추가적으로 이용하여 선을 연장하는 과정을 진행하였다.



— LSD로 추출된 건물 선

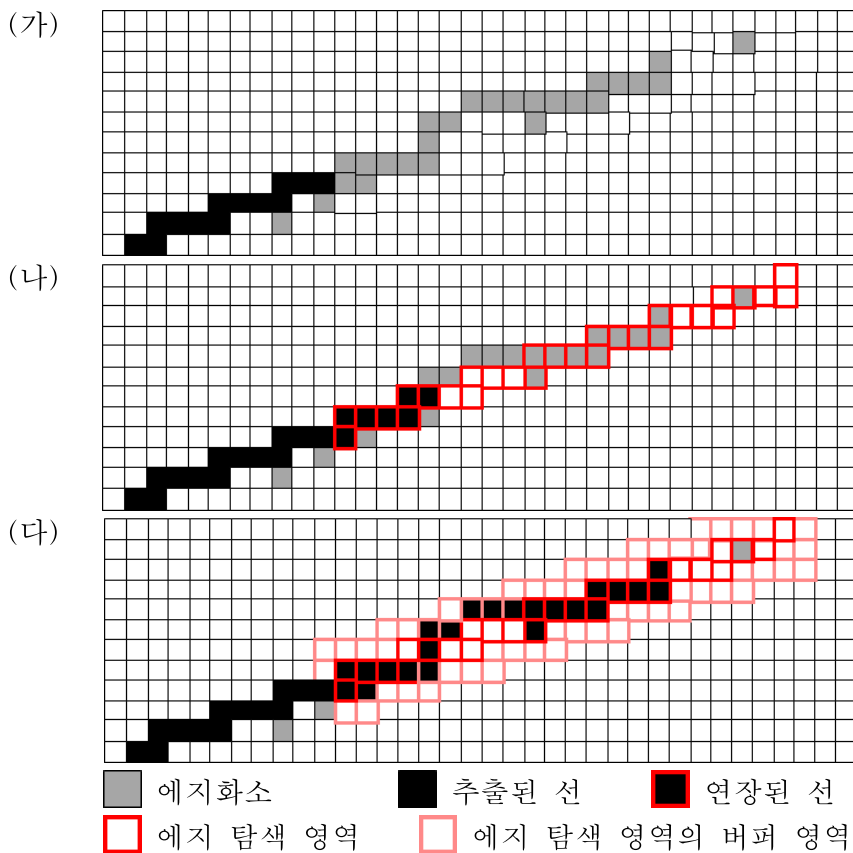
[그림 3-11] LSD를 이용한 선 추출의 문제점:

(가) 원영상과 LSD로 추출된 건물 선, (나) 에지 영상

에지 정보를 이용하여 건물의 선을 연장하기 위해, 추출된 하나의 건물 상단부의 선 끝에 에지 탐색 영역을 지정하였다. 에지 탐색 영역은 선과 동일한 기울기로 연장되면서 생성되고 에지와 조우 여부를 확인하는데 사용된다. 연장된 부분이 에지와 연속적으로 만날 경우, 해당 선을 에지와 만나는 가장 마지막 화소까지 연장시킨다. 그러나 경우에 따라, 건물 상부는 영상에서 일관된 기울기를 가진 하나의 선으로 표현되지 않기 때문에, 탐색영역의 폭을 확장시켜 에지탐색 영역을 생성하였다. 탐색 영역의 폭을 확장한 경우가 탐색 영역의 폭을 확장하지 않았을 때 보다 정확한 건물 선 추출 결과를 보여준다.

[그림 3-12]는 추출된 건물 선에서 에지 탐색 영역이 형성된 모습과 탐색 영역의 폭의 확장 유무에 따른 건물선 추출 결과를 보여준다. (가)는 에지 영상과 추출된 선을 보여주고 있으며, (나)와 (다)는

에지를 이용하여 추출된 선을 연장한 결과를 비교해 주고 있다. (나)의 경우, 에지 탐색 영역의 폭을 확장하지 않았을 때 최종적으로 선이 연장되는 결과를 보여준다. 이와 달리, (다)는 에지 탐색 영역의 폭을 양쪽으로 1화소씩 증가시켜 건물의 선을 연장한 결과를 보여주고 있는데, (다)의 경우가 (나)의 경우보다 선의 연장이 더 적합하게 이루어짐을 확인 할 수 있다.



[그림 3-12] 에지 탐색 영역 폭 증가 여부와 건물 선 연장 결과:

(가) 추출된 선과 에지화소,

(나) 폭을 증가시키지 않은 에지 탐색 영역과 선 연장 결과,

(다) 폭을 증가시킨 에지 탐색 영역과 선 연장 결과

에지 탐색 영역을 이용하여 선을 연장할 때, 연장된 선이 이미 추출된 다른 선과 만나는 경우가 발생한다. 만난 선과의 각도 차이가 10° 이내인 경우에 대해 만나는 선의 끝점을 기준으로 새로운 에지 탐색 영역을 생성하여 선소의 연장 과정을 계속 진행하였다. 더 이상 연장이 이루어지지 않을 경우, 선의 시작점과 연장이 이루어진 마지막 에지화소를 연결하여 연장된 선으로 추출하였다.

에지 정보를 이용하여 최종적으로 연장된 직선들을 위에서 설명된 Izadi & Saedi(2012)의 조건 4가지를 적용하여 동일 선상의 선들을 연결하여 건물 선을 연결하였다. 건물 선의 최적화 과정을 거치며, 대다수의 선이 건물에 최적화되기 때문에 하나의 긴 직선이 되게 된다. 최적화 과정을 거쳤음에도 일정 길이 이상으로 연장되지 못한 대다수의 선은 건물 상단에 위치한 구조물로 인해 발생하는 경우가 많기 때문에 상대적으로 길이가 짧은 20m 이하의 선은 최종 건물 선에서 제외시켰다.

3.3 고층건물 상단 영역 추출

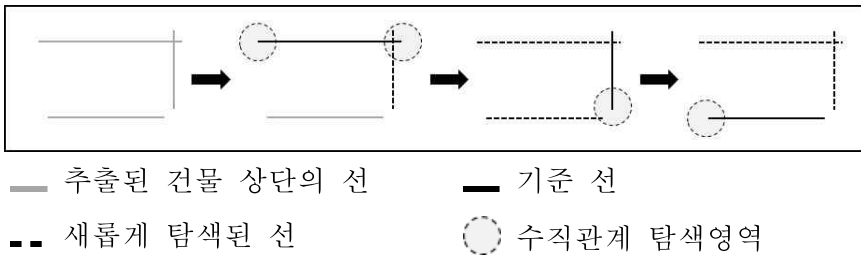
일련의 과정을 통해 영상에서 건물 상단에 최적화된 선들이 추출되었고 이를 이용하여 고층건물의 상단을 추출할 수 있다. 제안하는 알고리즘은 상단이 사각형인 건물을 대상으로 하므로 추출된 선들 사이에는 평행관계와 수직관계가 존재하게 된다. 따라서 상단은 추출하는 알고리즘은 서로 가까운 선소 사이의 수직과 평행을 찾는 단계로 나누어지며, 이를 통합하여 최종적인 고층건물의 상단을 추출하였다.

3.1.1 수직관계를 이용한 건물 상단 영역 추출

먼저, 서로 수직한 선을 찾기 위해, 기준이 되는 선소의 양 끝 점

으로부터 일정 영역의 탐색영역을 설정하고 탐색영역 안의 선 중 수직한 관계의 선을 추출하였다. 탐색영역은 10화소의 반지름을 가지는 원으로 설정하였으며, 두 선의 각도 차이가 $90\pm 18^\circ$ 인 경우를 수직한 관계에 놓여있는 것으로 간주하였다(Wang *et al.*, 2015).

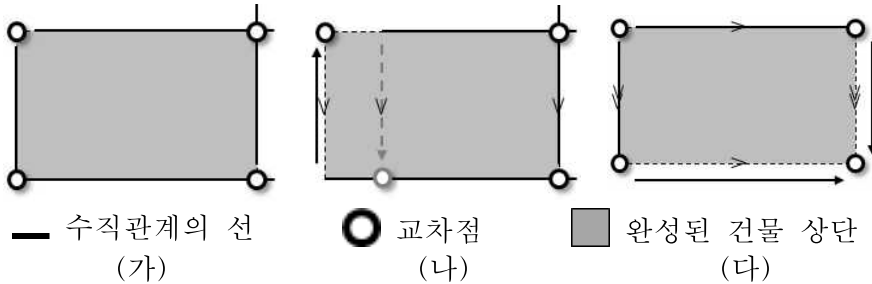
하나의 건물은 최대 4쌍의 수직 관계를 가질 수 있으므로, 수직선의 탐색이 연속적으로 이루어질 수 있도록 알고리즘을 설계하였다. 하나의 직선을 사용하여 찾아낸 수직한 선의 다른 쪽 끝에 새로운 탐색영역을 생성하고 또 다른 수직한 선을 찾는 과정을 반복하여 수직관계로 연결될 수 있는 모든 직선이 추출되도록 하였다. [그림 3-13]은 이러한 수직한 선소의 연속적인 탐색 과정을 보여준다.



[그림 3-13] 수직한 선소의 연속적인 탐색 과정 예시

추출된 건물 상단의 선과 수직관계에 놓여 있는 선을 이용하여 건물 상단을 추출하였다. [그림 3-14]는 수직관계를 찾는 과정에서 나올 수 있는 다양한 결과를 보여준다. [그림 3-14]의 (가)와 같이 수직관계에 의해 네 변이 모두 탐색된 경우, 건물의 선들의 교차점을 이용하여 건물의 상단을 완성한다. 이와 달리, (나)와 (다)처럼 건물 상단의 모든 선이 추출되지 않은 경우에는 추출되어 있는 선과 평행한 선을 서로 다른 선의 끝에 생성하고 이들의 교차점을 찾은 후 건물 상단을 완성하였다. [그림 3-14]의 (나)와 같이 두선이 동일한 교차점을 생성하지 않는 경우, 상대적으로 긴 변을 기준으로 건물 상부를 완성하였다. 이는 건물 선 최적화 과정을 거쳤음에도

불구하고 건물 선이 완성되지 못한 채 추출되는 경우가 존재하기 때문이다.



[그림 3-14] 수직관계를 이용한 건물 상부 추출 방법:

- (가) 건물의 네 변이 모두 나온 경우,
 (나) 건물의 세 변이 나온 경우, (다) 건물의 두 변만 나온 경우

대다수의 고층건물이 도시지역에 밀집되어 있어 고층건물 사이의 간격이 매우 협소한 경우가 존재한다. 이 경우에, 서로 다른 건물에서 추출된 선 사이에서 수직관계에 있는 선이 추출될 가능성이 있다. 이를 방지하기 위해 추출된 건물 상단이 다음의 두 조건을 모두 만족할 경우에만 건물 상단 영역으로 정의하였으며, 정의된 건물 상단 영역은 이후 과정인, 평행관계를 이용한 건물 상단 추출 과정과 추출된 영역의 통합 과정에 동일하게 적용되었다.

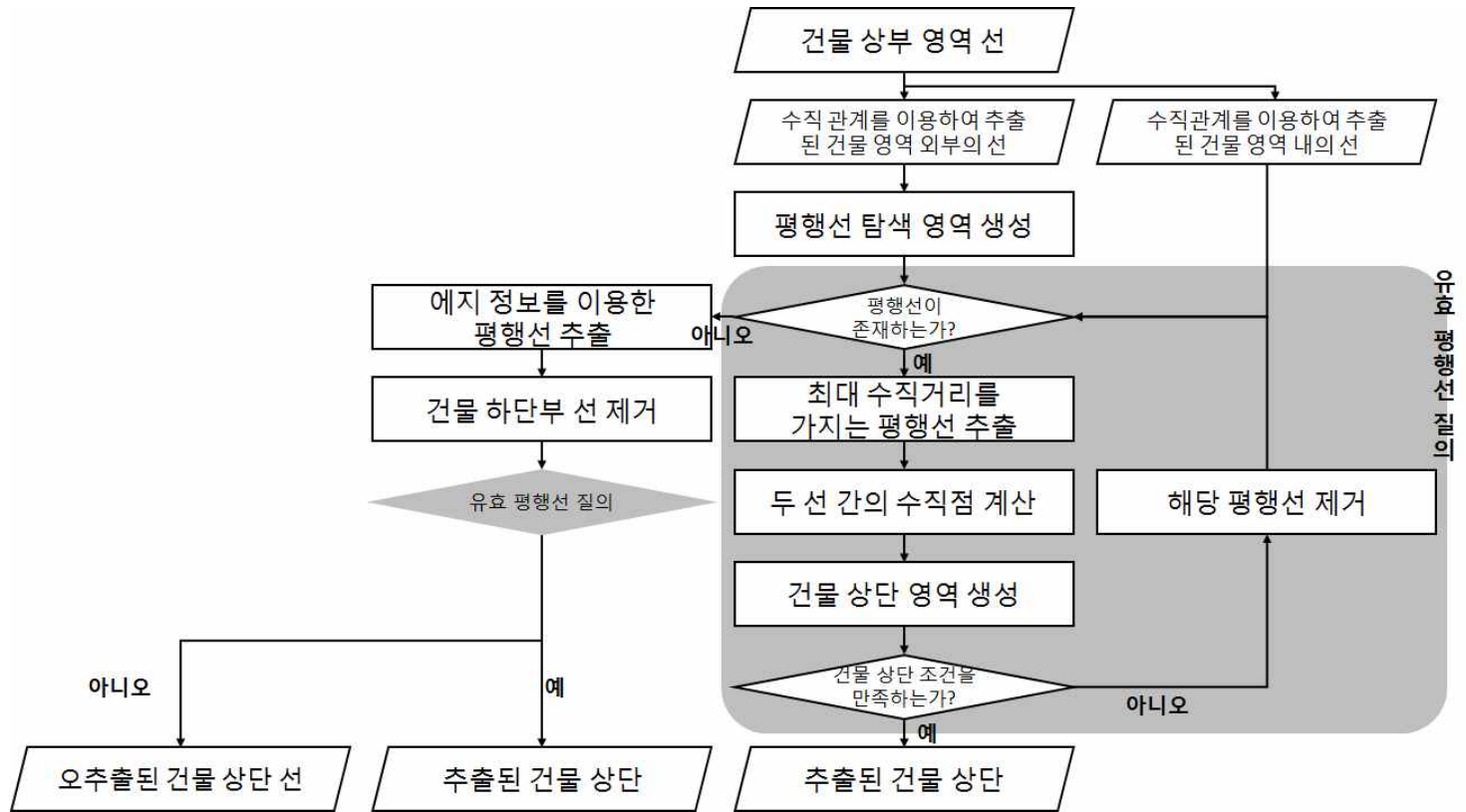
- 생성된 상단 영역 내의 그림자 영역의 넓이는 10% 미만이다.
- 생성된 상단 영역 내의 건물 영역의 넓이는 50% 이상이다.

고층건물 상단에 위치한 다양한 구조물로 인해, 고층건물 상단에 그림자 영역이 존재할 수 있으며 건물 영역에 포함되지 않는 구조물들도 존재하게 된다. 따라서 상단 영역 내의 그림자 영역의 넓이는 10% 미만으로, 건물 영역의 넓이를 50% 이상으로 설정하였다.

3.1.2 평행관계를 이용한 건물 상단 영역 추출

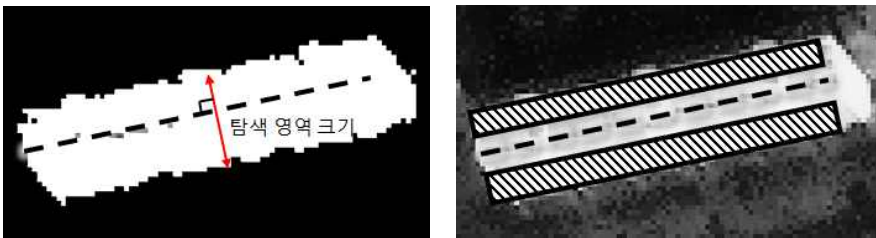
만약, 건물 상부의 모든 모서리에서 유의미한 선이 추출된다면 3.3.1 절에서 제안한 수직관계의 선만을 이용하여 모든 건물의 상단을 추출할 수 있다. 그러나 건물 측면 선과 건물 상단 선 일부의 각도가 유사한 건물이나 가로가 세로에 비해 긴 형태를 가지는 아파트와 같은 구조물에서는 3.2의 과정에서 일부 상단 선이 누락되는 경우가 발생한다. 따라서 수직관계만을 이용하여 건물을 추출하는 것에는 한계가 따르므로 평행관계를 이용하여 건물 상단을 추출하는 방법이 필요하다.

평행한 선을 찾는 과정은 수직한 선소를 찾는 과정에 비해 많은 정보가 요구된다. 이는 고층건물의 상단에는 다양한 구조물이 만들어내는 선이 존재하여 평행한 선을 추출하는 과정에서 잘못된 결과를 초래할 수 있기 때문이다. 이를 최소화하고자 2장에서 추출된 건물 영역과 그림자 영역을 이용하였다.



[그림 3-15] 평행관계를 이용한 건물 상단 추출 과정

[그림 3-15]는 평행관계를 이용한 건물 상단의 추출 과정을 나타내고 있다. 우선, 수직 관계를 이용하여 추출된 건물 상단 내부에 존재하는 선소들을 평행선 탐색 영역을 생성하는 선에서 제외하여 연산의 효율을 높일 수 있도록 하였다. 그 외의 선들에 대해서는 평행선을 찾기 위한 평행관계 탐색 영역을 생성하였는데, 고층건물의 규모가 크기 때문에 건물 상단이 크다는 점을 이용하여 선으로부터 5m 이내의 지역은 탐색 영역에서 제외하였다. 평행선을 탐색하는 영역의 최대 크기는 평행관계 탐색 영역을 생성할 선이 포함되어 있는 건물영역의 크기와 동일하게 설정하였고 선의 수직 방향으로 영역을 팽창하여 직사각형 모양의 탐색영역을 생성한다([그림 3-16]).



(가)

(나)

▨ 평행관계 탐색 영역

--- 평행영역을 생성할 건물 선

[그림 3-16] 평행 관계 탐색 영역의 생성:

(가) 영역확장 기법을 이용하여 추출된 건물 영역 영상,

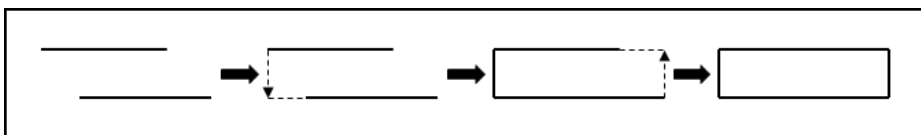
(나) 원영상

평행관계 탐색 영역 내부의 선 가운데 기준이 되는 선과의 각도 차이가 $\pm 10^\circ$ 이내인 선을 평행선으로 추출하였다. 평행선을 탐색하기 위한 탐색영역 내부에는 건물 상단의 다양한 구조물에서 비롯된 선들이 존재하기 때문에 평행 관계 탐색 영역 내에 다수의 평행선이 존재할 수 있다. 이 경우, 수직 거리가 먼 순서대로 건물 상단 영역을 생성해가며 3.3.1에 적용된 건물 상단 영역의 두 조건을 만

족시키는지를 조사하였다. 두 조건 모두 만족할 경우 해당 영역을 최종적인 건물 상단 영역으로 추출하며, 그렇지 않을 경우 그 다음으로 먼 거리에 있는 평행선과 위의 과정을 반복한다. 이러한 반복 연산은 건물 영역이 추출될 때까지 시행되거나 탐색 영역 내의 모든 평행선에 대해 적용될 때까지 시행된다.

경우에 따라 건물 상단에 하나의 선만이 존재하는 경우가 있어 평행관계 탐색 영역 내에 평행선이 존재하지 않는 경우가 발생한다. 이 경우 평행관계 탐색 영역의 에지 정보를 이용하여 추출되지 않은 건물 선을 탐색하는 과정을 거쳐 건물 상부를 완성할 수 있도록 하였다. 새로운 평행선을 에지 정보로부터 추출하기 위한 방법은 에지 영상에 평행관계 탐색 영역을 동일하게 설정하고 평행관계 탐색 영역을 생성한 선을 한 화소씩 옮겨가며 선을 이루고 있는 화소의 50% 이상이 에지와 만날 때, 평행관계의 여부를 조사한다. 평행관계의 여부를 조사하는 프로세스는 앞에 시행된 과정과 동일하게 반복적으로 진행되며, 새로 추출된 선이 3.1.2에서 언급한 건물 하단부의 선의 성질을 가질 경우, 새로 추출된 선을 제거하고 평행한 선을 찾는 작업을 반복한다.

평행관계로 정의된 두 선을 이용하여 건물 상단을 완성하기 위해 하나의 평행선 끝에 수직인 선소가 다른 평행선과 만나는 지점을 건물의 꼭짓점으로 추출하였다. 그러나 건물선이 완전하게 추출되지 못한 경우가 존재하기 때문에 두 평행선의 끝이 동일한 수직선 위에 있지 않을 수 있다([그림 3-17]). 이 경우, 각각의 선소를 연장하여 두 평행선이 만들어 낼 수 있는 최대 영역을 건물의 상단으로 추출하였다.



[그림 3-17] 평행관계를 이용한 건물 상단 추출 방법

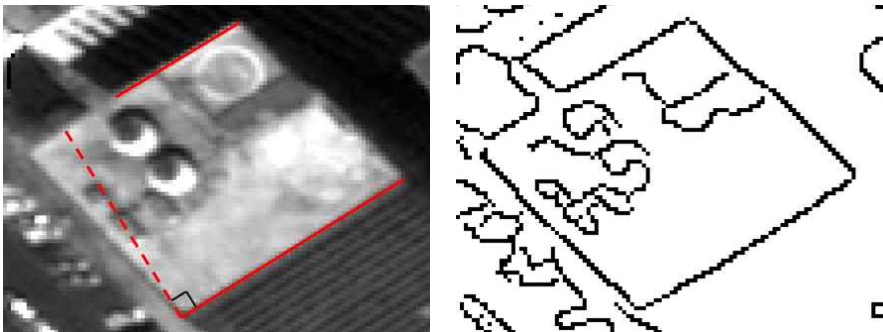
3.1.3 추출된 건물 상단 영역 통합 및 최적화

제안하는 알고리즘은 수직관계를 바탕으로 건물 상부를 추출하는 과정과 평행관계를 바탕으로 건물 상부를 추출하는 과정을 병렬적으로 구성하였기 때문에 건물 상단이 중복되어 추출될 수 있다. 이러한 중복 추출은 연산에 있어 비효율성을 가져올 수 있으나, 장애물 등의 영향으로 고층건물의 선이 완전히 추출되지 못해 건물 상단의 일부가 추출 되는 문제점을 해결하는 방안이 될 수 있다. 따라서 서로 다른 과정에서 추출된 두 건물 상단 영역이 인접해 있거나 중복되는 영역이 존재할 경우, 해당 영역들을 구성하고 있는 선을 이용하여 통합된 건물 영역을 완성하였다([그림 3-18]).

않을 경우, 두 건물 상단 영역은 통합되지 않도록 하였다.

- 추출된 두 상단 영역 사이의 최소 수직 거리가 5m 이하일 때 두 상부 영역은 인접해 있다고 정의한다.
- 인접한 두 영역 사이의 빈 공간을 ‘인접 영역’이라 정의하며, 2장에서 추출된 건물 영역이 인접영역 내에 80% 이상 일 때, 두 영역은 통합된다.

통합의 과정을 거쳐 추출된 최종 건물 상단 영역은 경우에 따라 실제 건물의 상단과 매우 다른 모습을 나타낸다. 이는 고층건물 상단을 완성하는 과정에 있어 수직점을 건물의 꼭짓점으로 가정하였기 때문이다. 그러나 고층건물의 상단은 왜곡현상이 발생하여 건물의 상단은 평행사변형과 유사한 모양을 나타낸다([그림 3-19]). [그림 3-19]의 (가)의 점선은 추출된 상단 영역과 수직의 관계를 형성하는 선으로 (나)에서 보여 지는 실제 건물의 에지와 차이가 있음을 볼 수 있다. 따라서 최종적으로 추출된 건물 상단 영역에 대하여 왜곡이 발생한 건물 경계 부분에 대하여 허프 변환을 실시하여 실제 왜곡이 발생한 건물 경계를 추출하였다.



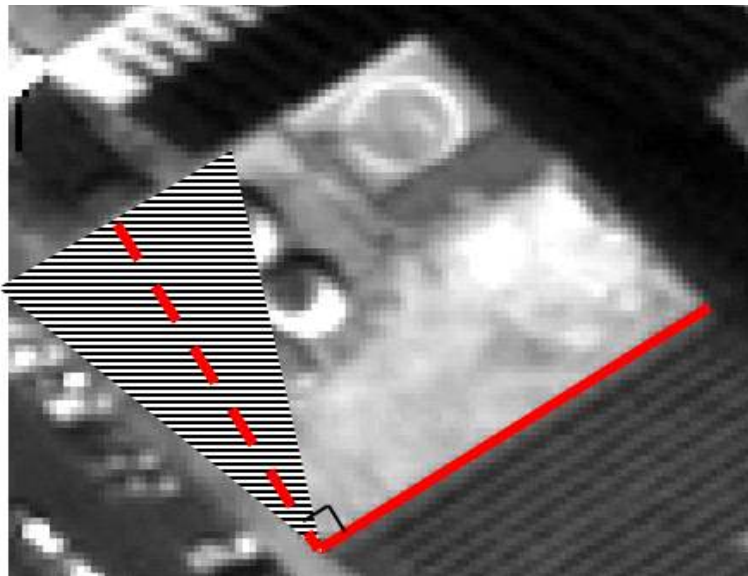
(가)


(나)

— 추출된 건물 상단 영역의 선 --- 수직 관계를 형성하는 선

[그림 3-19] 건물 상단의 왜곡현상: (가) 원영상 (나) 에지 영상

3.1.1에서 허프 변환의 비효율적인 연산과 초기 변수에 설정에 대한 문제점을 지적하였다. 이를 해결하기 위해, 추출된 건물 상단 영역의 최적화된 건물 선 양 끝점에 대해 $90\pm 18^\circ$ 의 방향으로 허프 변환 수행 영역을 생성하고 해당 영역 내에서 하나의 허프 선만을 추출하도록 하였다([그림 3-20]). 건물 선의 에지가 약해 의미 있는 허프 선이 추출되지 않는 경우, 선에 대한 수직점을 건물의 꼭짓점으로 가정하고 추출된 건물의 상단을 실제 건물의 상단으로 추정하였다.



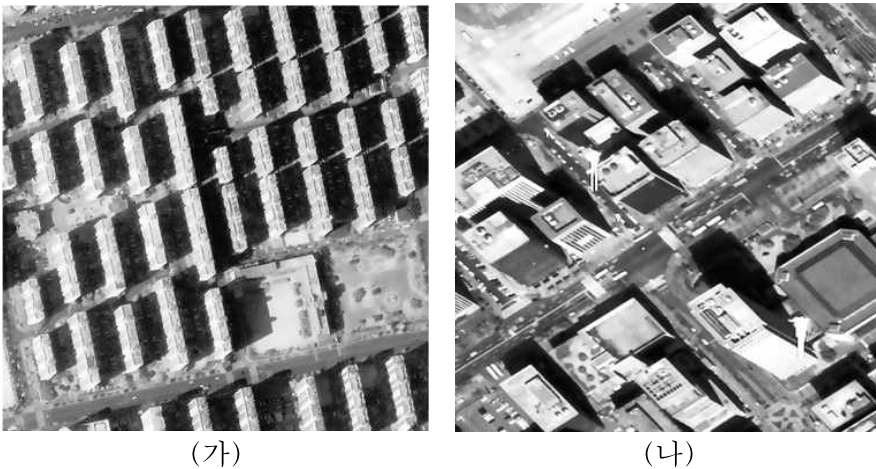
— 추출된 건물 상단 영역의 선 - - - 건물 상단 선의 연직선
 허프 변환 수행 영역

[그림 3-20] 건물 상단 영역에 대한 허프 변환 수행 영역

4. 실험 및 적용

4.1 실험 지역 및 자료

본 연구에서는 제안한 알고리즘을 평가하기 위해 두 가지 영상을 사용하였다. [그림 4-1]의 (가)는 대전시의 주거지역을 1m의 공간해상도를 가지는 IKONOS-2로 촬영한 영상이다. [그림 4-1]의 (나)는 0.6m의 공간해상도를 가지는 QuickBird-2로 촬영된 지역으로 건물의 크기가 큰 사무용 건물로 이루어져 있다. 이처럼 서로 다른 위성 영상을 사용했을 뿐만 아니라 서로 다른 특성을 가진 실험 지역을 선택함으로써 본 연구에서 제안한 고층건물 자동 탐색 알고리즘이 다양한 제원의 영상에 적용 가능한지를 알아보고자 하였다. 영상의 자세한 제원은 [표 4-1]과 같다.



[그림 4-1] 실험 영상: (가) IKONOS-2로 촬영된 주거지구,
(나) QuickBird-2로 촬영된 업무지구

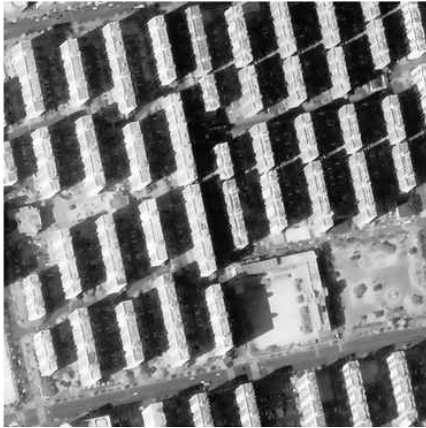
[표 4-1] 실험에 사용된 고해상도 광학영상 제원

제원	IKONOS-2	QuickBird-2
대상지역 특성	주거지역	업무지역
공간해상도 (m)	1	0.6
위성방위각 (°)	151.8	125.7
태양방위각 (°)	164.1	153.4
촬영날짜	2001-11-19	2006-3-26
영상 크기 (화소)	500×500	600×600
영상처리수준	Standard Geometrically Corrected	Standard product

4.2 실험 결과

4.1.1 고층건물 영역 자동 추출 결과

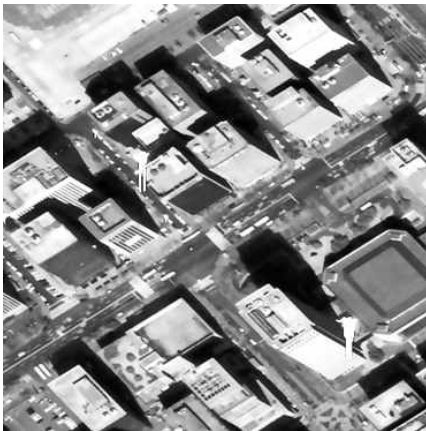
영역확장 기법을 이용하여 건물 영역을 탐지하기에 앞서, 그림자 영역 추출하였으며 그 결과는 [그림 4-2]와 같다. 두 실험 지역 모두 5개의 클래스로 분할된 영상 중 가장 낮은 밝기 값을 가지는 영역을 그림자 영역으로 선정하였으며, 식생의 그림자를 제거하기 위해 그림자 영역의 크기가 100화소 보다 작은 지역은 그림자 영역에서 제거하였다.



(가)



(나)



(다)

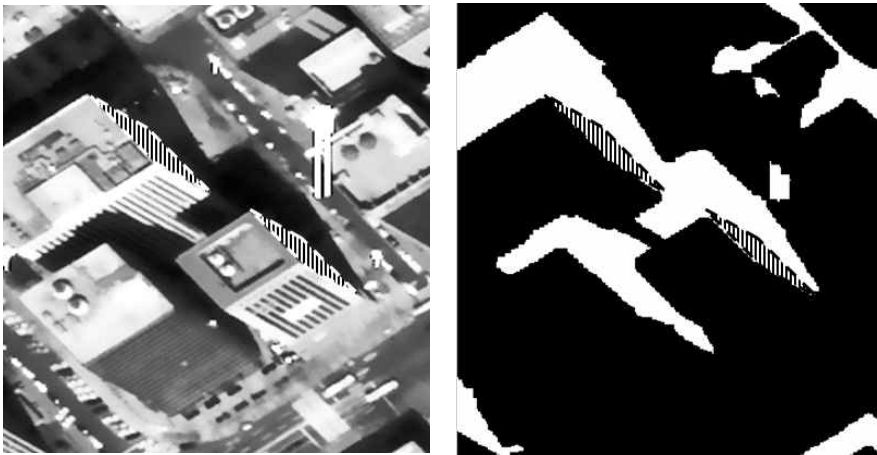


(라)

[그림 4-2] 그림자 영역 추출 결과: (가) IKONOS-2 원 영상,
(나) IKONOS-2의 그림자 영상(흰 영역),
(다) QuickBird-2 원 영상,
(라) QuickBird-2의 그림자 영상(흰 영역)

IKONOS-2 영상에서 그림자를 추출한 결과는 [그림 4-2]의 (나)로, 그림자 추출의 정확도가 높지 않음을 확인 할 수 있다. 이는 나 대지와 같이 높은 밝기를 가지는 영역에 그림자가 드리워진 경우로 인해 발생했으며, 이러한 영역은 그림자 영역임에도 불구하고 상대적으로 높은 밝기를 가지므로 다른 그림자와 동일한 영역으로 분류되지 않게 된다. 그러나 건물과 인접한 그림자 화소는 빠짐없이 추출되기 때문에 그림자 영역을 이용하여 건물 영역을 생성하는 과정에는 문제가 없다. 따라서 추출된 그림자 영역은 연구에서 제안하는 알고리즘에 사용되기에 적합하다.

QuickBird-2의 그림자 추출 결과의 경우, 건물의 측면이 그림자 영역으로 분류되었음을 볼 수 있다([그림 4-3]). 이는 건물의 측면에서 햇빛의 반사가 거의 이루어지지 않아 측면이 그림자로 나타나기 때문이다. 그러나 영역확장 기법에 필요한 시드는 건물 영역 내에서 추출될 수 있음을 예상할 수 있다.



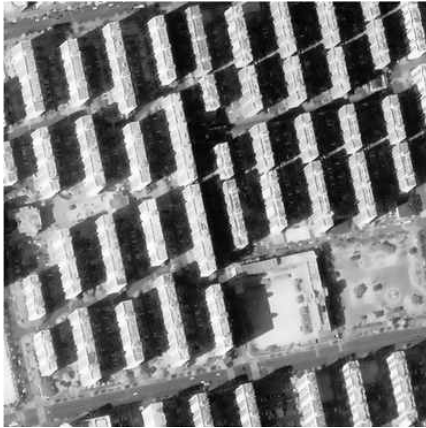
(가)

(나)

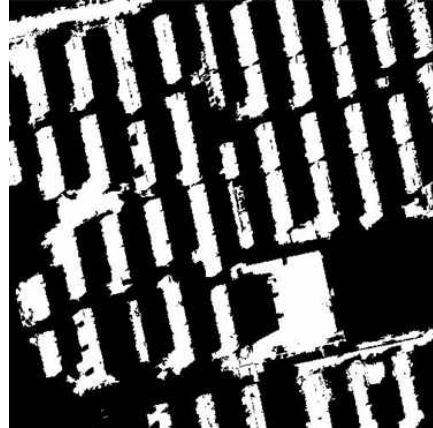
[그림 4-3] 건물 측면이 그림자 영역인 경우(빛금):

(가) 원 영상, (나) 그림자 영역

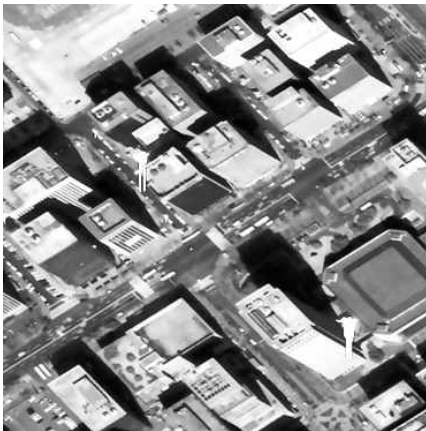
추출된 그림자 영역 이용하여 건물 영역 내에 위치한 시드를 추출하고 영역확장 기법을 적용한 결과는 [그림 4-4]와 같다. 두 지역 모두 건물과 건물 주변 영역의 밝기가 유사한 지역이 존재하기 때문에 건물 주변 영역이 건물 영역으로 오추출된 영역이 존재한다. 또한, 영역확장 기법에서 도로와 수계 같은 지역이 오추출 되는 것을 해결하고자 가정된 최대 건물 크기인 200m 이상의 크기를 가지는 영역을 제거하였음에도 불구하고 두 영상 모두 도로의 일부가 여전히 잔재하고 있다. 이는 추출된 도로의 크기가 건물의 크기와 유사하여 영역의 크기만으로는 제거되지 않았기 때문이다. 도로 영역이 건물 영역으로 오추출된 결과는 이후 건물 상단의 선을 추출할 때 영향을 미치는 요소가 될 수 있다.



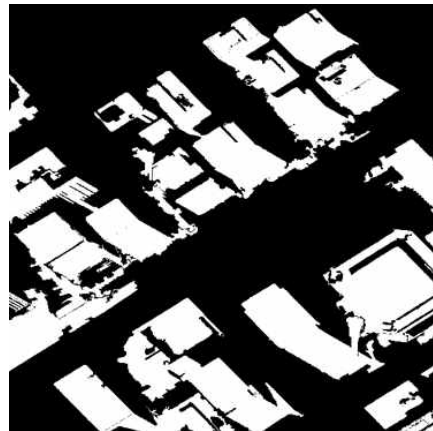
(가)



(나)



(다)



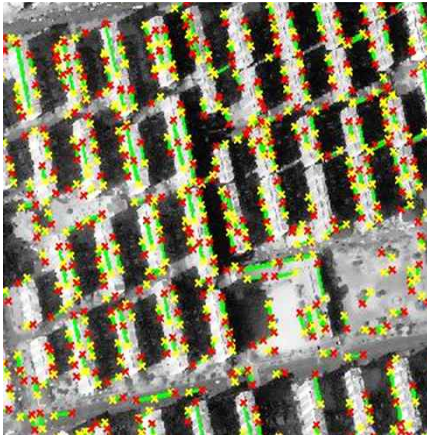
(라)

[그림 4-4] 건물 영역 추출 결과: (가) IKONOS-2 원 영상, (나) IKONOS-2의 건물 영역, (다) QuickBird-2 원 영상, (라) QuickBird-2의 건물 영역

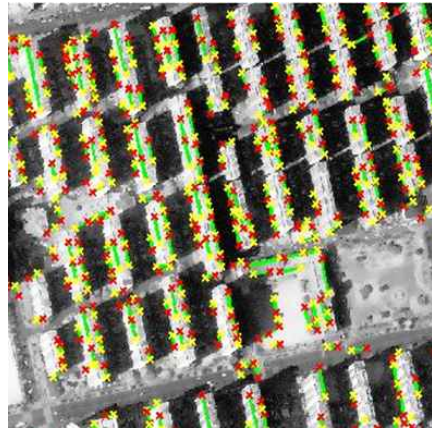
4.1.2 고층건물 상단 추출 결과

4.1.1.1 건물 상단 영역 선 추출 및 최적화 결과

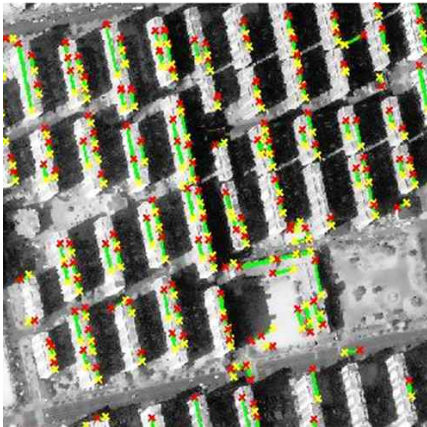
[그림 4-5]와 [그림 4-6]은 건물 상단의 선을 추출하고 이를 최적화 시킨 결과를 보여준다. [그림 4-5]와 [그림 4-6]의 (가)는 LSD로 추출된 영상의 모든 선을 나타낸다. LSD를 통해 다수의 건물 선이 추출되었으나 도로와 같은 비건물 영역에서도 많은 선이 추출되었다. 따라서 영역확장 기법을 이용하여 추출된 건물 영역을 이용하여 건물 내의 선만을 추출한 결과, 비건물 영역의 선들이 대다수 제거되었음을 볼 수 있다([그림 4-5]의 (나), [그림 4-6]의 (나)). 건물 영역 내의 선을 모두 추출하였으므로 건물 상단, 하단, 측면의 선이 혼재되어 있으므로 3.1.2에서 제안한 방법을 이용하여 건물의 상단 선만을 추출하였다. 추출 결과는 [그림 4-5]와 [그림 4-6]의 (다)와 같다. 특히, IKONOS-2 영상의 결과에서 건물 하단의 선들이 모두 제거되었음을 확인 할 수 있다. 이는 영역확장 기법으로 추출된 건물 영역이 실제 건물과의 일치도가 매우 높고 이웃 건물의 그림자의 영향이 적기 때문이다. IKONOS-2 영상의 건물 형태는 3.1.2에서 가정한 이상적인 건물에 해당하며, 제안 기법에서 가정한 건물 상단 선에 대한 모델은 실제 영상에 유의하게 적용됨을 볼 수 있다. 그러나 건물 선이 다수의 끊어진 선으로 이루어져 있음을 볼 수 있어, 건물 상단을 완성하기 위해서는 건물 선을 연장하고 연결해주는 과정이 필요하다. 에지 정보를 이용하여 실제 건물 선을 최적화 시키는 과정을 수행한 결과는 [그림 4-5], [그림 4-6]의 (라)와 같다. 다수의 끊어진 직선으로 구성되어 있던 건물선이 최적화 과정을 통해 실제 건물의 선의 길이와 유사하게 연장이 되었다.



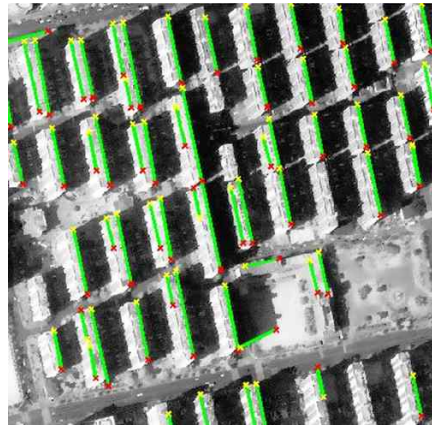
(가)



(나)

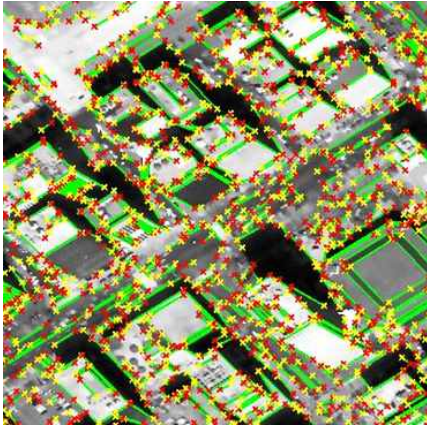


(다)



(라)

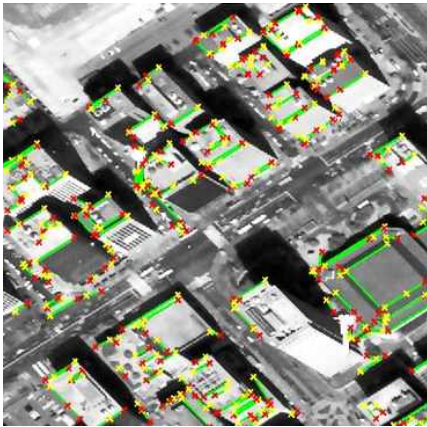
[그림 4-5] IKONOS-2 영상의 건물 상단 영역 선 추출 및 최적화 결과: (가) LSD 결과, (나) 건물 영역 내의 선 추출 결과, (다) 건물 상단 선 추출 결과, (라) 건물 상단 선 최적화 결과



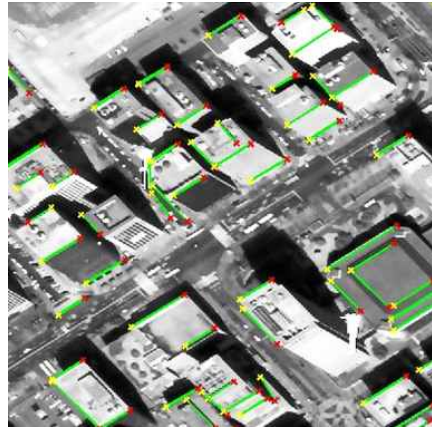
(가)



(나)



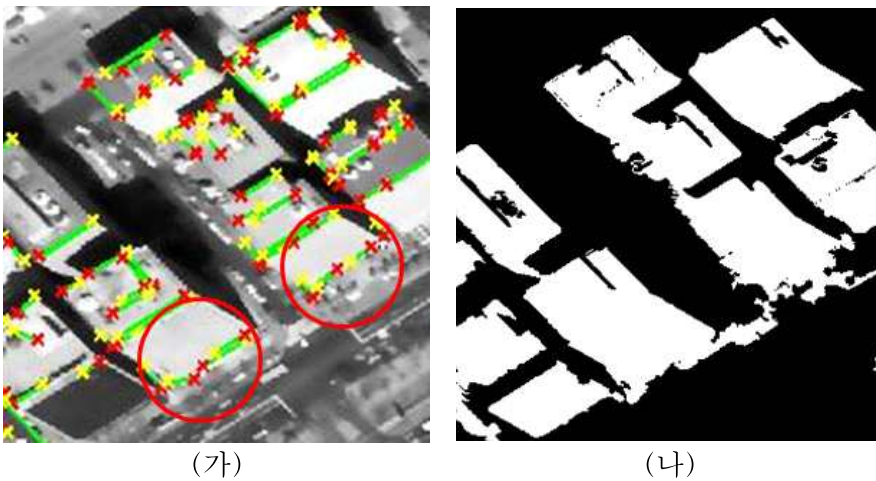
(다)



(라)

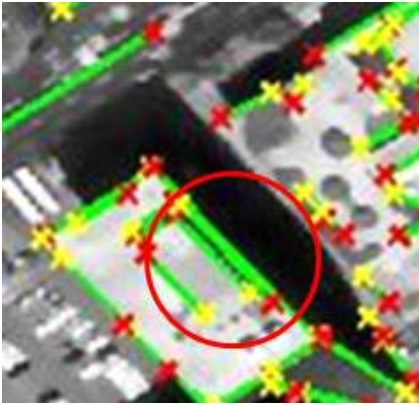
[그림 4-6] QuickBird-2 영상의 건물 상단 영역 선 추출 및 최적화 결과: (가) LSD 결과, (나) 건물 영역 내의 선 추출 결과, (다) 건물 상단 선 추출 결과, (라) 건물 상단 선 최적화 결과

영역확장 기법을 이용한 건물 영역 추출 시 오추출 결과가 발생하면 건물 주변의 비건물 영역이 건물영역으로 추출될 경우 건물 하단부의 선이 사라지지 않는다([그림 4-7]). 업무지역의 건물은 주거지역의 건물에 비해 건물이 다양한 밝기를 가지며 건물 주변 지역이 다양한 재질의 포장 면을 가지고 있기 때문에 비건물 영역이 건물 영역으로 추출될 수 있다. 이를 해결하기 위해 영역확장 기법의 변수를 변화시킬 수 있으나, 사무용 건물은 밝기의 변화가 주거용 건물보다 두드러지므로 건물의 영역이 과소 추정되는 결과를 가져올 수 있다.

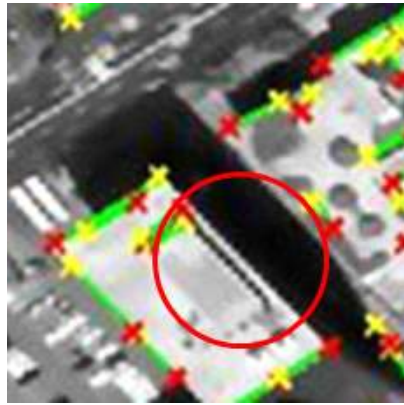


[그림 4-7] 건물 하단 선소가 제거되지 않는 경우:
 (가) 건물 상단 선소의 오추출 결과 (붉은 원),
 (나) 영역확장 기법을 이용한 건물영역 추출 결과

[그림 4-8]과 같이 QuickBird-2 영상 내의 건물 상단의 방향과 위성방위각의 차이가 크지 않기 때문에 건물 상단의 선이 사라지는 경우가 발생하였다. 그러나 [그림 4-8]의 (나)와 같이 문제가 되고 있는 방향의 수직한 방향에 대해 건물 상단의 선이 추출되었으므로, 이후 과정인 건물 상단 추출 과정에는 큰 영향을 미치지 않게 된다.



(가)



(나)

[그림 4-8] 건물 상단 선소가 제거된 경우 (붉은 원):

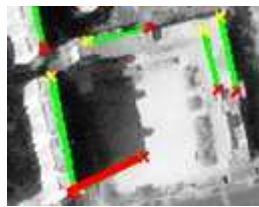
(가) 건물 영역 내의 선 추출 결과,

(나) 건물 상단 선 추출 결과

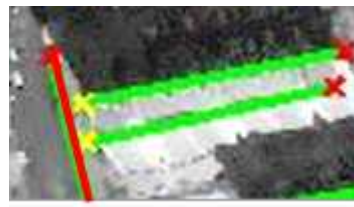
건물 상단 영역의 선 추출 정확도를 평가하고자, 추출된 선 중 실제 건물의 상단에 있는 선의 비율을 조사하였다([표 4-2]). IKONOS-2의 경우, 63개의 최적화된 선 가운데 61개가 실제 건물의 상단부에 있었으며, QuickBird-2 영상의 경우 58개의 최적화된 선 중 48개가 실제 건물의 상단부에 존재하였다. 정확도를 낮추는 요인으로는 건물 영역으로 오추출된 비건물 영역 내의 선이 있다([그림 4-9]의 (가), (나), (라)). 두 영상의 정확도에 차이가 존재하는 것을 확인 할 수 있는데, 이는 [그림 4-9]의 (다)와 같이 QuickBird-2 영상에서 건물 주변의 밝기가 건물과 유사하여 건물 하단 선이 건물 상단 선으로 추출된 것이 주요 원인이다.

[표 4-2] 최적화된 건물 상단 영역 선 추출 결과의 정확도(correctness)

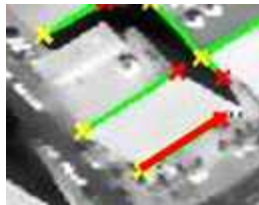
영상	추출된 선의 수	실제 건물 상단에 포함된 선의 수	정확도 (%)
IKONOS-2	63	61	96.8
QuickBird-2	58	48	82.8



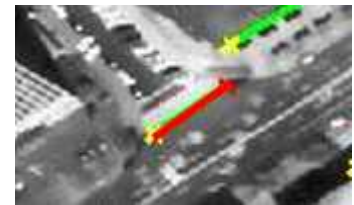
(가)



(나)



(다)



(라)

[그림 4-9] 최적화된 건물 상단 선 오추출 결과
(붉은 선, 위: IKONOS-2, 아래: QuickBird-2):

(가) 그림자 경계가 추출된 경우, (나) 도로의 선이 추출된 경우,
(다) 건물 하단 선이 추출된 경우, (라) 도로의 선이 추출된 경우

추출된 건물 상단 선은 수직 및 평행 관계를 고려하여 동일 건물 영역 내에 상단을 완성할 수 있는 추가적인 선을 찾는 과정에 사용된다. 따라서 이후 과정에서 건물 상단 영역이 누락 없이 추출되기 위해서는 하나의 건물 영역 내에 적어도 하나의 상단 선이 존재하여 건물 상단에 대한 단서를 제공하는 것이 중요하다. 건물 상단 영

역의 선 추출 기법의 유용성을 검토하고자 적어도 하나 이상의 상단 선이 추출된 건물의 비율을 확인한 결과는 [표 4-3]과 같다. 건물 상단 선 추출의 결과, 높은 비율로 대다수의 건물에서 하나 이상의 상단 선이 추출되었다. IKONOS-2의 건물의 경우, [그림 4-10]과 같이 건물의 규모가 작고 건물 에지의 왜곡이 두드러져 건물 상단 선 추출이 누락되는 경우가 발생하였고 이로 인해 상대적으로 낮은 건물 상단 선 추출 완성도가 나타났다.

[표 4-3] 건물 단위 별 건물 상단 선 추출 완성도(completeness)

영상	건물 수	상단 선이 추출된 건물 수	정확도 (%)
IKONOS-2	47	42	89.4
QuickBird-2	21	21	100



(가)



(나)

[그림 4-10] IKONOS-2 영상에서 건물 상단 선 추출의 누락:

(가) 원영상, (나) 에지 영상

4.1.1.2 고층건물 상단 영역 추출 결과

최적화된 건물 상단 선을 이용하여 건물의 상단을 추출한 결과는 [그림 4-11], [그림 4-12]와 같다.



[그림 4-11] IKONOS-2 영상의 건물 상단 추출 결과



[그림 4-12] QuickBird-2 영상의 건물 상단 추출 결과

두 영상 모두 대다수의 건물 상단을 탐지하였으므로 제안한 건물 상단 추출 기법이 효과적임을 알 수 있다. 건물 추출 기법을 평가하는 통일된 기준은 없는데(Avbelj *et al.*, 2015), 기존의 연구는 시각적 판독과 함께 다음 식 (4.1), (4.2), (4.3)과 같은 지표들을 사용하여 정량적 평가를 실시하고 있다(Rutzinger *et al.*, 2009; Aksoy *et al.*, 2012; Ok, 2013; Wang *et al.*, 2015). 사용된 지표에 대한 용어 또한 다양하게 사용되고 있는데, 사용자 정확도(user's accuracy)는 정확률(precision 또는 correctness)으로도 표현되며, 제안하는 기법으로 추출된 건물 상단 지역이 실제 건물 상단인 비율을 의미한다. 생산자 정확도(producer's accuracy)는 재현율(recall), 완성도(completeness), 또는 DR(Detection Rate)으로도 표현되며, 실제 건물 상단지역과 비교하여 제안 기법으로 추출된 건물 상단 지역이 차지하는 비율을 의미한다. 이 두 지표를 종합적으로 평가하기 위한 지표는 F 측정치(F-measure)가 있다. 이러한 지표들은 서로 다른 건물 추출 기법을 비교하는데 유용하게 사용되고 있다(Rutzinger *et al.*, 2009).

$$User's Accuracy = \frac{TP}{TP+FP} \quad (4.1)$$

$$Producer's Accuracy = \frac{TP}{TP+FN} \quad (4.2)$$

$$F-measure(F) = \frac{2 \times precision \times recall}{precision + recall} \quad (4.3)$$

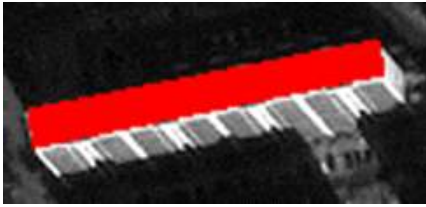
식 (4.1), (4.2), (4.3), (4.4)에 사용된 TP , FP , FN 은 [표 4-4]와 같이, 건물 추출 기법의 적용 결과와 참조자료를 비교하여 구성된 2×2 오차행렬의 각각의 요소를 의미한다. 오차행렬의 구성 시, 화소 기반(pixel-based)과 객체 기반(object-based)의 비교로 나누어 질 수 있다. 객체 기반(object-based)으로 비교할 경우, 건물의 추출 여부를 결정하기 위한 임계치가 필요하다. 실제 건물 면적과 비교하여

추출된 면적의 비율을 가지고 건물 단위의 추출 여부를 결정하고 있으며 그 수치는 50-70%가 일반적으로 사용되고 있다(Rutzinger *et al.*, 2009).

[표 4-4] 2×2 오차행렬 요소

단위 (화소)		참조 자료	
		건물	비건물
연구 결과	건물	True positive (TP)	False positive (FP)
	비건물	False negative (FN)	True negative (TN)

제안 기법은 사각형의 상단을 가진 건물을 추출하는 것을 목표로 하기 때문에 완성된 건물 상단 영역 또한 사각형의 형태 가진다. 사용된 두 영상 내의 대다수의 건물 상단 모양이 사각형이므로 추출된 건물 상단은 영상 내 대다수의 건물 상단과 일치함을 볼 수 있다 ([그림 4-13]). 부분적으로 건물의 실제 형태와 다른 건물 상단이 추출되었는데, IKONOS-2 영상에서 [그림 4-14]의 (가)와 같이 두 개의 건물 상단이 하나의 건물 상단으로 추출된 것을 볼 수 있다. 이는 건물 사이 간격이 매우 협소하고 건물의 경계가 동일 선상에 위치하여 건물 상단 통합 과정에서 통합되었기 때문이다. QuickBird-2의 경우, 건물 상단의 실제 모양이 사각형이 아닌 건물로 인해 형태학적 차이가 있는 건물 상단이 추출되었다([그림 4-14]의 (나), (다)).

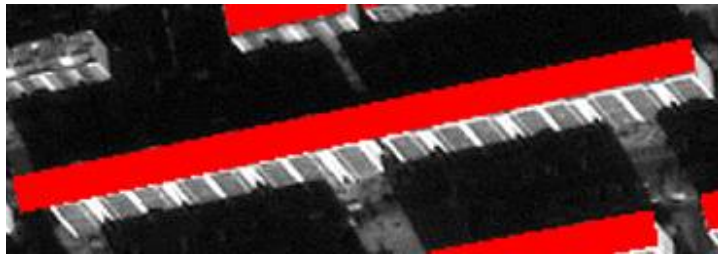


(가)



(나)

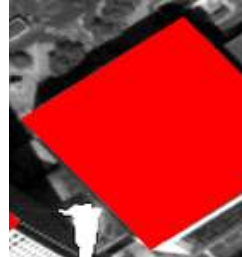
[그림 4-13] 추출된 건물 상단이 실제 건물 상단과 형태적으로 유사한 경우에 대한 예시: (가) IKONOS-2, (나) QuickBird-2



(가)



(나)



(다)

[그림 4-14] 상단의 형태적 차이가 크게 추출된 건물 상단:
(가) IKONOS-2 영상, (나)와 (다) QuickBird-2 영상

제안 기법의 정량적 평가를 위해 각 영상의 건물 상단을 수작업으로 추출하고 이를 제안하는 알고리즘의 결과와 비교하였다. 화소기반으로 제안 기법을 평가한 결과는 [표 4-5]와 [표 4-6]과 같다. IKONOS-2 영상에 적용한 결과 사용자 정확도 0.87, 생산자 정확도 0.79, 그리고 F 측정치 0.83으로 나타났다. 또한, QuickBird-2 영상

의 경우 사용자 정확도 0.92, 생산자 정확도 0.79, 그리고 F 측정치 0.85로 나타났다. 사용자 정확도와 생산자 정확도를 모두 반영한 F 측정치는 두 영상 모두 0.8 이상으로 나타났다.

[표 4-5] IKONOS-2 영상의 건물 상단 추출 결과의 화소 기반 오차행렬

단위 (화소)		참조 자료		
		건물	비건물	계
연구 결과	건물	27,735	4,202	31,937
	비건물	7,506	210,557	218,063
	계	35,241	214,759	250,000

User's Accuracy=0.8684, Producer's Accuracy=0.7870, F= 0.8257

[표 4-6] QuickBird-2 영상의 건물 상단 추출 결과의 화소 기반 오차행렬

단위 (화소)		참조 자료		
		건물	비건물	계
연구 결과	건물	69,631	5,823	75,454
	비건물	18,122	266,424	284,546
	계	87,753	272,247	360,000

User's Accuracy=0.9228, Producer's Accuracy=0.7935, F= 0.8533

더불어, 제안 기법에 대해 객체 기반의 평가를 실시하였다. [표 4-7]과 [표 4-8]은 객체 기반의 평가에 대한 결과를 나타낸다. 건물 상단의 추출 여부는 건물 전체 면적의 60% 이상이 추출된 경우 유의미한 건물 상단을 추출한 것으로 간주하였다(Ok, 2013). 객체 기반의 평가 결과, QuickBird-2의 사용자 정확도는 소폭 감소하였으나

이를 제외한 모든 수치가 화소 기반의 평가보다 증가하였다. IKONOS-2 영상의 경우, 0.98의 사용자 정확도, 0.83의 생산자 정확도, 그리고 0.90의 F 측정치로 나타났으며 QuickBird-2 영상의 경우, 0.90의 사용자 정확도, 0.86의 생산자 정확도, 그리고 0.88의 F 측정치가 나타났다.

[표 4-7] IKONOS-2 영상의 건물 상단 추출 결과의 객체 기반 평가

영상 내 전체 건물 수	TP	FP	FN
47	39	1	8

User's Accuracy= 0.975, Producer's Accuracy= 0.8298, F=0.8966

[표 4-8] QuickBird-2 영상의 건물 상단 추출 결과의 객체 기반 평가

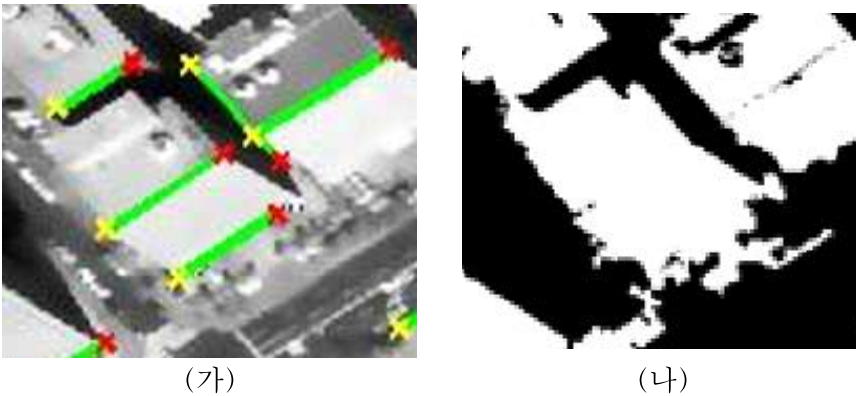
영상 내 전체 건물 수	TP	FP	FN
21	18	2	3

User's Accuracy= 0.9000, Producer's Accuracy= 0.8571, F=0.8780

화소 기반 평가와 객체 기반 평가 결과, [표 4-2]와 같이 QuickBird-2 영상의 선 추출 정확도가 IKONOS-2에 비해 낮음에도 불구하고 두 영상에 대한 제안 기법의 정확도에 큰 차이가 없음을 볼 수 있다. 이는 건물의 상단을 추출하는 반복적인 과정을 거치며 오추출된 건물 상단 선이 제거되었기 때문이다. 이러한 세 가지 평가 지표에 대한 두 영상의 유사한 수치는 영상의 종류와 실험 지역의 특성과 무관하게 제안 기법을 적용할 수 있음을 보여준다.

두 영상에서 사용자 정확도를 떨어뜨리는 공통적인 원인은 도로 영역이 건물 영역으로 추출되었기 때문이다. 더불어, QuickBird-2

영상에서는 건물의 측면이 건물의 상단으로 추출된 경우가 발생하였다([그림 4-15]). 이는 영역확장 기법의 결과물이 실제 건물영역 외에도 건물의 주변 영역을 포함하고 있기 때문이다. 이로 인해, 건물 하단부의 선이 제거되지 않았으며 건물 상부의 선과 평행관계를 보이고 있어 건물의 측면이 건물의 상단으로 추출되었다.

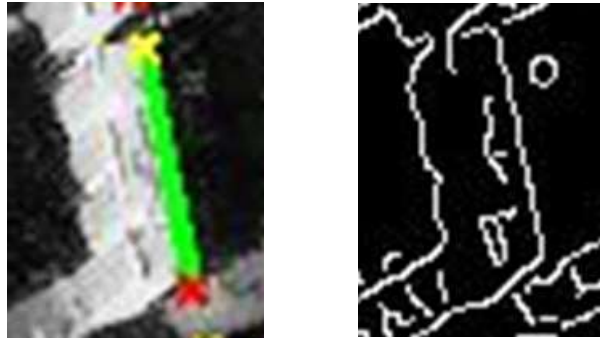


[그림 4-15] 건물의 측면이 상단으로 추출된 경우:

- (가) 건물 상단 선 추출 결과,
- (나) 영역확장 기법을 적용한 건물 영역

생산자 정확도를 떨어뜨리는 요인은 다음과 같다. 우선, 최적화된 건물 상단 선을 추출하는 과정에서 누락된 건물은 건물 상단 추출 과정에서 누락되었다. 이와 달리, 건물 상단 선이 추출되었음에도 불구하고 건물이 추출되지 않은 경우에 대해 분석하면 다음과 같다. IKONOS-2 영상의 경우, [그림 4-16]과 같이 건물 상단 선이 추출되었음에도 불구하고 평행관계에 놓인 또 다른 선을 찾지 못하였는데, 이는 3.3.2에서 제안한 평행 관계를 이용한 건물 상단 추출 방법이 에지정보를 사용하기 때문이다. [그림 4-16]의 (나)의 에지 영상에서 추출된 선과 평행한 관계를 형성할 수 있는 에지가 없음을 확인 할 수 있다. 이는 IKONOS-2 영상 내의 대다수의 건물은 측면과

상단의 밝기가 유사하여 건물 모서리임에도 불구하고 에지 화소가 추출되지 않기 때문이다.



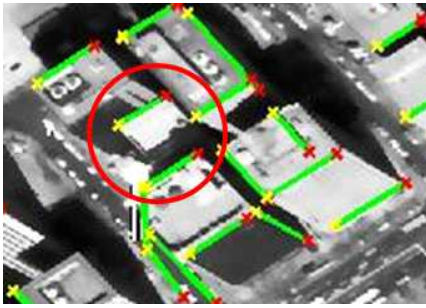
(가)

(나)

[그림 4-16] IKONOS-2 영상의 건물 상단 누락 영역:

(가) 건물 상단 선 추출 결과, (나) 에지 영상

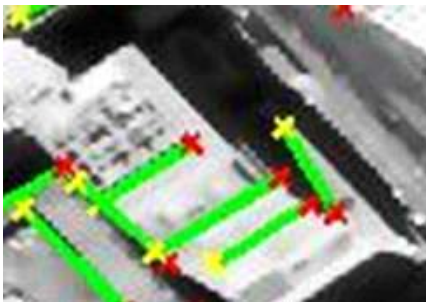
QuickBird-2 영상은 IKONOS-2 영상에 비해 건물 모서리가 강한 에지를 형성하고 있으므로 에지의 누락으로 인한 오차는 발생하지 않았다. 대신, [그림 4-17]의 (가)의 붉은 원으로 표시된 건물과 같이, 이웃 건물의 그림자로 인한 폐색으로 건물의 상단이 추출되지 않는 경우가 발생하였다. 이는 건물 상단 영역의 선을 추출할 때, 이웃 건물의 그림자로 인해 건물의 측면이 그림자 영역으로 추출되면서 건물 하단의 위치가 왜곡되는 결과를 초래하기 때문이다. [그림 4-17]의 (다)와 (라)의 경우, 건물이 계단식 측면을 가지고 있기 때문에 건물의 측면으로부터 다수의 선이 추출되었으며 건물의 구조적 특이성으로 인해 건물이 자체적으로 내부 영역에 그림자를 생성하고 있으므로 건물 상단으로 유효한 지역은 추출되지 않았다.



(가)



(나)



(다)



(라)

[그림 4-17] QuickBird-2 영상의 건물 상단 누락 영역:
 (가) 건물 상단 선 추출 결과 (붉은 원: 누락된 건물 상단),
 (나) 영역확장 기법을 적용한 건물 영역,
 (다) 건물 상단 선 추출 결과, (라) 원 영상

마지막으로 제안 기법이 저층 건물에 적용되었을 경우에 대해 [그림 4-17]의 (가)의 건물을 통해 예상할 수 있다. 저층건물은 옆면이 드러나지 않으므로 [그림 4-17]의 (가)의 붉은 원 안의 건물의 경우와 유사한데, 건물 상단의 선임에도 불구하고 건물 하단 영역의 선으로 정의되어 저층건물의 상단이 누락되는 결과를 초래할 수 있다. 이를 극복하기 위해, 기존의 저층건물을 대상으로 하는 기법을 우선적으로 영상에 적용하여 영상에 존재하는 저층건물을 높은 정확도로 추출한 뒤, 본 연구에서 제안한 기법을 적용하여 고층건물의 상단을 갱신하는 연속된 기법을 사용할 수 있으리라 사료된다.

추출과정에 있어 오추출과 누락이 있음에도 불구하고 제안 기법은 객체 기반 평가에서 두 영상 모두 88% 이상의 F 측정치를 나타냈다. 기존의 대다수의 연구와 달리, 제안 기법은 흑백의 비연직 영상에서 고층건물의 상단을 추출하고 있으므로 기존 기법의 우수성과 명확한 비교는 어렵다. 그러나 다중밴드의 정사영상을 이용하여 건물을 추출한 Ok(2013)의 연구는 평균 85.9%의 F 측정치를 나타내고 있으며, 건물 선을 추출하고 이를 연결하여 사각형태의 건물을 추출한 Wang *et al.*(2015)의 F 측정치는 89.4%로 나타난다. 이를 고려하였을 때, 88% 이상의 F 측정치는 제안 기법이 비연직 영상의 고층건물 상단을 효과적으로 추출할 수 있음을 나타낸다.

5. 결론

고해상도 영상을 이용하여 건물을 추출하는 대부분의 연구는 주로 연직영상을 사용하거나 저층건물의 추출에 초점이 맞추어져 있다. 이러한 기존의 연구를 비연직 방향으로 촬영된 영상에서 건물을 추출하거나 고층건물을 추출에 적용하는 것은 한계가 존재한다. 영역분할 기법의 경우, 고층건물의 측면과 상단을 구분하지 못하며, 모델 기반 기법은 부가데이터를 사용하거나 측면이 크게 드러나는 건물을 대상으로 연구가 수행되지 않았다. 본 연구에서는 이러한 기존 연구의 한계를 극복하고자 비연직 영상을 사용하여 고층건물의 상단을 자동으로 추출할 수 있는 방법을 제안하였다.

고층건물의 상단을 추출하기 위해 본 연구는 건물 밀도가 높은 도심지역에서 주로 적용되고 있는 영역분할 기법으로 건물 영역을 추출한 뒤, 건물영역 내의 선을 이용하는 모델 기반 기법을 적용하여 고층건물 상단을 추출하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법론을 평가하기 위해 주거지구와 업무지구의 IKONOS-2, QuickBird-2 영상을 사용하여 실험을 진행하였으며, 정확도 평가를 실시하여 제안 기법에 대한 우수성을 평가하였다.

본 연구에서는 영역확장 기법에 필요한 시드를 추출하기 위해 그림자 영역을 이용하였으며 그림자 영역은 Otsu 기법을 이용하여 추출되었다. 추출된 시드를 기반으로 영역확장 기법을 적용하여 건물 영역을 탐지하였다. 영상의 밝기를 이용하여 생성된 그림자와 건물 영역, 위성의 메타데이터로 제공되는 위성 및 태양방위각의 정보를 종합하여 건물 하단부의 선과 건물 측면의 선을 정의하고 제거할 수 있는 방법론을 제안하였다. 이를 통해, 건물 상단 영역의 선을 효과적으로 추출할 수 있었다. 추출된 건물 상단 영역의 선은 에지 정보를 바탕으로 건물의 모서리에 최적화되도록 갱신되었다. 갱신된 선들과 에지정보를 이용하여 수직관계와 평행관계를 바탕으로 건물 상단 영역을 최종적으로 추출하였다.

서로 다른 위성으로 촬영된 두 개의 영상에 제안한 알고리즘을 적용해본 결과, 주거지역과 업무지역 영상 모두 고층건물의 상단을 높은 정확도로 추출하였다. 제안 기법의 우수성을 평가하기 위해 시각적 판독과 함께 화소 및 객체 기반의 정확도가 평가되었다. 두 가지 평가 결과 모두 IKONOS-2 영상과 QuickBird-2 영상의 사용자 정확도, 생산자 정확도, 그리고 F 측정치가 높게 나타났다. 화소 기반 평가에서 두 영상은 평균 0.90의 사용자 정확도, 평균 0.79의 생산자 정확도, 그리고 평균 0.84의 F 측정치를 보였다. 객체 기반 평가에서는 평균 0.94의 사용자 정확도, 평균 0.84의 생산자 정확도, 그리고 평균 0.89의 F 측정치를 보였다. 이러한 수치는 제안한 알고리즘이 실험 지역의 속성과 위성의 종류에 무관하게 적용될 수 있음을 보여준다. 특히 평균 0.89의 객체 기반의 F 측정치는, 건물 추출 기법을 제안한 기존 연구의 F 측정치가 0.86(Ok, 2013)과 0.89(Wang *et al.*, 2015)임을 고려하였을 때, 제안 기법이 고층건물 상단을 효과적으로 추출함을 보여준다.

이처럼, 본 연구는 비연직 영상에서 고층건물의 상단을 추출하는 방법을 제안하고 실험을 통해 높은 정확도로 고층건물의 탐지가 가능함을 보였다. 제안하는 방법은 흑백의 단영상만을 사용하기 때문에 다중 분광이나 다수의 영상을 요구하는 기존 연구에서 비해 비용 효율적이라는 장점이 있다. 또한, 사용자의 개입을 최소화한 자동화된 기법으로 사용된 일부 변수는, 적용하고자 하는 지역의 건물 형태와 규모를 감안하여 사용자가 직관적으로 채택토록 설계하였다. 제안 기법은 기존의 영역분할 기법을 적용한 연구의 한계인 건물 상단과 측면 간의 모호성을 해결하였고, 건물 선의 주변 영역 속성을 모델 기반 기법에 이용함으로써 추가적인 높이 정보 없이도 고층건물 상단만을 추출할 수 있다. 더불어 고해상도 위성영상의 한계를 극복하고자 건물 선을 최적화 시키는 단계를 수행하여 건물 선의 약화로 인한 정확도 저하를 개선하고자 하였다. 제안 기법의 우수성을 바탕으로, 본 연구는 다양한 도시 지역의 고층건물 상단 추

출 연구에 적용 될 수 있을 뿐만 아니라 건물 상단 간의 매칭을 통한 3차원 건물 모델 생성 연구와 같은 분야에도 적용될 수 있을 것이다. 이는 향후의 건물 추출 분야가 더욱 활발해 질 수 있는 기반을 제공한다.

제안된 기법은 기존 모델 기반 기법들과 마찬가지로 사각형 형태의 건물 가정에 의해 제한된 건물 모양만을 추출할 수 있다는 한계를 가지고 있다. 따라서 다양한 형태의 건물을 추출하기 위해, 건물의 형태학적 가정을 확장하거나 영역 기반 건물 추출 기법의 응용한다면 향후 다양한 형태의 건물을 추출할 수 있을 기법으로 발전시킬 수 있을 것이다. 또한, 저층건물을 대상으로 개발된 기존 기법과 병행하여 제안된 기법을 사용하면 영상에서 다양한 높이를 가지는 건물을 추출할 수 있는 기법을 개발할 수 있을 것이라 사료된다.

6. 참고문헌

두산대백과사전, Accessed November 27, 2014.

<http://www.doopedia.co.kr/>

변영기, 김용일, 2010, 시드 기반 영역확장 기법을 이용한 고해상도 위성영상 분할 기법 개발, 한국측량학회지 28 (4), 421-430.

이승엽, 2000, 고해상도 영상에서의 건물추출 방법에 대한 연구, 서강대학교 공학석사 학위논문.

이철학, 김상운, 2006, Otsu의 방법을 개선한 멀티 스톱홀딩 방법, 전자공학회 논문지 43 (5), 29-37.

전미진, 이준재, 2012, 가우시안 혼합 모델 기반의 영상 히스토그램 평활화, 멀티미디어학회논문지 15 (6), 748-760.

조성재, 2013, Edge-driven weighted bilateral filtering for image detection, 성균관대학교 석사학위 논문.

한현호, 이강성, 이종용, 이상훈, 2012, 객체 분할을 위한 Active contour 기반의 영역 분할 기법 연구, 디지털정책연구 10 (3), 167-172.

McAndrew, A., 2007, (매트랩을 이용한) 디지털 영상처리의 기초 (김태효, 옮김), 서울: 도서출판 인터비전.

Adams, R., 1994, Seeded region growing, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 16 (6), 641–647.

Ahmadi, S., Zoej, M.J.V., Ebadi, H., Moghaddam, H.A., and Mohammadzadeh, A., 2010, Automatic urban building boundary extraction from high resolution aerial images using an innovative model of active contours. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 12 (3), 150–157.

Akcay, H.G., and Aksoy, S., 2010, Building detection using directional spatial constraints, *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 1932–1935.

Akinlar C., and Topal, C., 2011, EDLines: A real-time line segment detector with a false detection control, *Pattern Recognition Letters* 32 (13), 1633–1642.

Avbelj, J., Muller, R., and Bamler, R., 2015, A Metric for polygon comparison and building extraction Evaluation, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 12 (1), 170–174.

Chan, T.F., and Vese, L.A., 2001, Active contours without edges, *IEEE Transaction on Image Processing* 10 (2), 266–277.

Cord, M., Jordan, M., and Concquerez, J.-P., 2001, Accurate building structure recovery from high resolution aerial imagery, *Computer Vision and Image Understanding* 82 (2), 712–723.

Cote, M. and Saeedi, P., 2013, Automatic rooftop extraction in nadir aerial imagery of suburban regions using corners and variational level set evolution, *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing* 51 (1), 313–328.

Croitoru, A., and Doytsher, T., 2003, Monocular right-angle building hypothesis generation in regularized urban areas by pose clustering, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 69 (2), 151–169.

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* 32 (4), 722–732.

Gioi, R.G., Jakubowicz J., Morel, J.M., and Randall G., 2012, LSD: Line Segment Detector, *Image Processing On Line* 2, 35–55.

Gonzalez, R.C., Woods, R.E., and Eddins, S.L., 2004, Digital Image Processing using Matlab, Upper Saddle River, NJ: Pearson / Prentice Hall

Huang, X. and Zhang, L., 2012, Morphological building/shadow index for building extraction from high-resolution imagery over urban areas, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 50 (1), 161–172.

Huertas, A., and Nevetica, R., 1988, Detecting buildings in aerial images, *Computer Vision, Graphics and Image Processing* 41

(2), 131–152.

Izadi, M., and Saeedi, P., 2012, Three-dimensional polygonal building model estimation from single satellite images, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 20 (6), 2254–2272.

Jin, X., and Davis, C.H., 2005, Automated building extraction from high-resolution satellite imagery in urban areas using structural, contextual, and spectral information, *EURASIP Journal on Applied Signal Processing* 14, 2196–2206

Kass, M., Witkin, A., and Terzopoulos, D., 1988, *International Journal of Computer Vision* 1 (4), 321–331.

Katartzis, A., and Sahli, H., 2008, A stochastic framework for the identification of building rooftops using a single remote sensing image, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 46 (1), 259–271.

Kim, T., Lee, T., and Kim, K., 2006, Semiautomatic building line extraction from IKONOS images through monoscopic line analysis, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 72 (5), 541–549.

Kim, Z.W., and Nevatia, R., 2004, Automatic description of complex buildings from multiple images, *Computer Vision and Image Understanding* 96 (1), 60–95.

Koc-San, D., and Turker, M., 2012, A model-based approach for automatic building database updating from high-resolution space imagery, *International Journal of Remote Sensing* 33 (13), 4193-4218.

Li, Z., Liu, Z., and Shi, W., 2014, A fast level set algorithm for building roof recognition from high spatial resolution panchromatic images, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 11 (4), 743-747.

Liow, Y.T., and Pavlidis, T., 1990, Use of shadows for extracting buildings in aerial images, *Computer Vision, Graphics and Image Processing* 49 (2), 242-277.

Liu, Z, Cui, S., and Qin, Yan, 2008, Building extraction from high resolution satellite imagery based on multi-scale image segmentation and model matching, *International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications*.

Matas, J., Galambos, C., and Kittler, J., 2000, Robust detection of lines using the progressive probabilistic Hough transform, *Computer Vision and Image Understanding* 78 (1), 119-137.

Ok, A.O., 2013, Automated detection of building from single VHR multispectral images using shadow information and graph cuts, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 86, pp. 21-40.

Otsu, N., 1975, A threshold selection method from graylevel histograms, *IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics* 9 (1), 62 - 66.

Ozay. M., and Yarman-Vural, 2012, A new fuzzy stacked generalization technique for deep learning and analysis of its performance, *CoRR*, abs/1204.0171.

Rutzinger, M., Rottensteiner, F., and Pfeifer, N., 2009, A comparison of evaluation techniques for building extraction from airborne laser scanning, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 2 (1), 11-20.

Sellauoti, A. Hamouda, A. Deruyver, A., and Wemmert, C., 2014, Template-based hierarchical building extraction, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 11 (3), 706-710.

Senaras, C., Ozay, M., and Vural, F.T.Y., 2013, Building detection with decision fusion, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 6 (3), 1295-1304.

Sirmacek, B., and Unsalan, C., 2009, Urban-area and building detection using SIFT keypoints and graph theory, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 47 (4), 1156-1167.

Teo, T.A., and Huang, S.H., 2013, Automatic co-registration of optical satellite images and airborne Lidar data using relative and absolute orientations, *IEEE Journal of Selected Topics in*

Applied Earth Observations and Remote Sensing 6 (5), 2229–2237.

Tomasi, C., and Manduchi, L., 1998, Bilateral filtering for gray and color images, *Proceeding of the 1998 IEEE International Conference on Computer Vision*, 839–846.

Unsalan, C., and Boyer, K.L., 2005, A system to detect houses and residential street networks in multispectral satellite images, *Computer Vision and Image Understanding* 98 (3), 423–461.

Wang, J., Yang, X., Qin, X., Ye, X., and Qin, Q., 2015, An efficient approach for automatic rectangular building extraction from very high resolution optical satellite imagery, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, in press.

Abstract

Automatic Extraction of Tall Buildings from Off-Nadir High Resolution Satellite Images using Model-Based Approach

Minyoung Jung

Civil and Environmental Engineering

The Graduate School

Seoul National University

Recently, high spatial-resolution images are widely used in a variety of studies since diverse high-resolution Earth observation satellites, such as WorldView-3, QuickBird-2, and IKONOS-2, were launched and the commercial distribution of high resolution satellite images became available. In particular, the satellite images with spatial-resolution less than 1m can provide the information about various objects on the ground, such as buildings, roads, and vehicles. Among them, extraction of buildings are considered important as building information can be used in urban monitoring, emergency management, etc. However, there are many factors affecting the accuracy of building extraction using satellite images. Therefore, much of the previous research focused on usage of nadir satellite images or extraction of low buildings. The limitation can be occurred when these

previous studies are applied to off-nadir satellite images or tall buildings. To solve this limitation, this study proposes a new method focused on automatic extraction for the roof tops of the tall buildings using off-nadir satellite images.

The proposed method is divided into two steps: automatic extraction of tall buildings' areas and extraction of the roof tops of the tall buildings. First, the building areas are detected by region growing technique. The initial seed points used for the region growing are randomly selected according to the shadows of the buildings extracted by the Otsu's method. Secondly, the building areas and shadow areas, which were extracted from the previous step, are used for the model-based approach for extracting and optimizing the lines in roof top areas with edge information and metadata of the images. These lines are used for detecting the roof top areas of tall buildings.

IKONOS-2 image of the residential area and QuickBird-2 image of the business area were used for validation of the proposed method. Both of the images showed that the user's accuracy, producer's accuracy, and F-measure were more than 0.87, 0.79, and 0.83, respectively, in pixel-based and object-based approaches. This indicates that the proposed method is efficient regardless of sensors and characteristics of the study sites. The mean F-measure of object-based approaches, 0.89, is above the F-measure values from the previous studies.

The proposed method is cost-effective because it uses only single panchromatic image and does not need any additional data such as DEM. Furthermore, the proposed method resolves the

limitation of the previous methods which is the ambiguity between side and roof top of the tall buildings in off-nadir images. According to the high correctness and completeness of the proposed method, it can be applied to not only extraction of the roof tops for the tall buildings but also various studies such as 3D building modeling and change detection of the buildings.

keywords : **model-based building extraction, off-nadir satellite images, tall buildings, region growing, LSD(Line Segment Detector)**

Student Number : 2013-20937