

3차원 도시모델을 위한 건물추출에 관한 연구

A Study on the Extraction of Building for three dimensional city model

차 영 수 *	김 용 일 **	여 양 담 ***	이 병 길 ****
Cha, Young-su	Kim, Yong-il	Eo, Yang-dam	Lee, Byung-kil

要 旨

3차원 도시 모델은 여러 가지 인공구조물, 자연 지물 요소로 구성되며, 이 중에서 대부분을 차지하고 있는 것은 건물이다. 따라서 건물을 얼마나 정확하고 신속하게 추출하여 기존의 데이터베이스를 갱신할 수 있는냐는 중요한 문제라 할 수 있다.

이러한 문제의 해결 방안으로 DTM으로부터 추출한 건물 정보로 DTM을 재구성한다면, 이를 하나의 3차원 도시 모델로 이용할 수 있다.

따라서 본 연구는 고해상도 DTM과 항공사진의 edge 정보에 수리형태학(mathematical morphology) 및 영상분할 기법 등을 적용하여 건물의 윤곽선 및 높이 정보를 추출하는 것을 목적으로 한다.

본 연구의 결과, 수리형태학의 opening 연산을 통해 건물의 추출이 가능하였으며, 항공사진에서 추출한 edge 정보를 이용하여 건물 추출의 정확도를 향상시킬 수 있었다.

ABSTRACT

Three dimensional city model is composed of man-made and natural features, among these, most of man-made features are buildings. Therefore, it is very important to extract the building informations accurately and promptly to update the existing database.

To achieve this, DTM can be reconstructed using building information which is extracted from DTM, then this can be used as three dimensional city model.

Thus, this paper aims to extract building boundaries and heights from high resolution DTM and edge informations of aerial photograph using mathematical morphology and image segmentation.

We found that it is possible to extract buildings using opening operation in mathematical morphology and to improve the accuracy of building extraction using edge informations from aerial photograph.

* 서울대학교 도시공학과 석사과정

** 서울대학교 도시공학과 조교수

*** 서울대학교 도시공학과 박사과정

**** 서울대학교 도시공학과 박사과정

1. 서 론

지금까지의 GIS 분석기법은 수평위치만을 나타내는 2차원 정보를 주로 사용하였고, 종종 DEM¹⁾*을 이용하여 3차원 분석을 수행하기도 했다. 그러나 도시계획, 무선통신, GPS 기지국, 건축, 미기후(microclimate) 조사 등의 도시지역에 대한 3차원 자료의 수요가 증가함에 따라, DEM과 인공 구조물의 정보가 추가된 3차원 도시 모델의 수립에 대한 필요성이 대두되기 시작하였다. 그런데 도시지역의 인공구조물의 대부분은 건물이 차지하고 있기 때문에 이에 대한 연구는 큰 의미를 지닌다고 할 수 있다.

건물의 윤곽선 및 높이 정보를 수치화하는 대표적인 방법은 해석도화기를 이용하여 도화사가 직접 정보를 추출하는 것이었다. 이는 높은 정밀도는 기대할 수 있지만, 숙련된 기술과 고가의 장비 및 많은 시간이 요구되는 단점을 갖고 있어 3차원 도시모델의 데이터 취득 방법으로는 적절하지 않았다.

그런데 최근 수치사진측량이나 laser profiler에 의한 고해상도 DTM²⁾*의 생성이 용이하게 됨으로써 DTM을 이용한 건물의 3차원 정보 추출의 가능성은 크다고 할 수 있다. 또한 DTM을 이용할 경우 추출된 건물 정보의 지상좌표로의 변환 과정을 필요로 하지 않는다는 장점을 지닌다. 그러나 이러한 DTM을 통한 연구에 있어서도, 단순히 높이 정보만을 이용할 경우에는 건물과 높이가 비슷한 집단수목과의 분리에 어려움을 나타내고 있다. 따라서 본 연구에서는 DTM의 높이 정보뿐만 아니라, 항공사진에서 추출한 영상의 edge 정보를 추가로 사용하여 이러한 문제점을 보완하고자 한다.

본 연구는, 첫째 고해상도 DTM을 이용하여 건물의 존재 가능성이 높은 지역을 선택한 후, 수치항공사진

의 edge 정보를 추가로 사용하여 건물의 2차원적 정보인 윤곽선을 추출하고, 둘째 위의 윤곽선 및 DTM을 이용하여 건물의 3차원 정보인 높이를 추출하는 것을 목적으로 한다.

본 연구에 대한 흐름도는 아래의 그림 1.1과 같다.

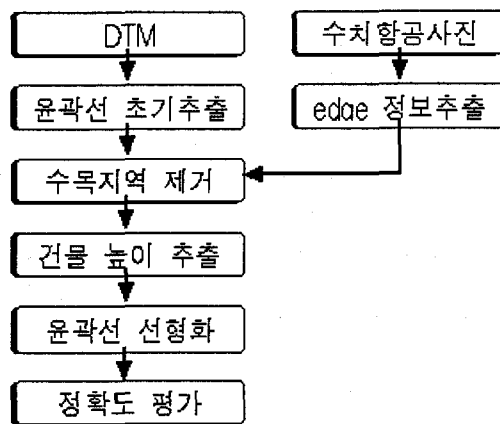


그림 1.1 연구의 흐름도

2. 고해상도 DTM 생성기법

고해상도 DTM을 제작할 수 있는 적절한 기법은 수치사진측량에 의한 방법과 laser profiler를 이용한 방법 등이 있다.

2.1 수치사진측량에 의한 방식

고해상도 DTM을 생성하고자 할 때, 수치사진측량에 의한 방식이 현재까지는 비용 면에서 최선의 방법이지만, 이 기법에 의해 생성된 DTM을 건물 추출의 목적으로 사용하고자 한다면, 영상 매칭의 한계점, 8bit로 표현된 방사력 표현의 한계, 내삽 과정에서 발생하는 DTM의 평활화와 같은 문제점의 해결이 필요하다¹⁾.

특히 DTM의 평활화는 건물과 지면의 뚜렷한 경계가 큰 의미를 갖는 건물 추출에 있어 정확도에 큰 영향을 미칠 수 있다.

2.2 Laser profiler에 의한 방식

1) Digital Elevation Model의 약자로, 본 연구에서는 건물이나 수목의 높이 정보가 포함되지 않는 표고 모형을 말한다.

2) Digital Terrain Model의 약자로, 본 연구에서는 DEM에서 제외되었던 건물 및 수목의 높이 정보가 모두 포함된 표고 모형을 일컫는다.

수치사진측량에 의한 DTM 생성기법의 한계점을 보완 혹은 대체할 수 있는 기법들이 제시되고 있는데, 다중 센서(multi-sensor)에 의한 접근방식과 laser profiler를 이용하는 것이 대표적이라 할 수 있다.

이 중에서 후자는 지형의 고밀도 3차원 좌표를 실시간으로 직접 구할 수 있고, 0.5m 보다 좋은 높이 정확도를 얻을 수 있는 장점이 있으며¹⁾, 식생 지역을 통과하여 지표에 대한 표고를 직접 측정할 수도 있기 때문에 DTM을 이용하여 건물을 추출하려 할 경우, 건물과 수목을 분리하는 수고를 덜어 줄 것으로 기대된다.

반면에 수평위치 정확도가 낮고, 보편화되지 않아 이 기법에 의해 생성된 DTM을 이용하기가 쉽지 않다는 단점도 있다. 하지만 이러한 문제점이 해결된다면, 항공사진에 비해 우월한 높이 정확도와, 지표면의 직접적인 표고 측정이 가능하다는 장점 때문에 고해상도 DTM을 이용한 건물 추출의 가능성이 높을 것이라 판단된다.

완 연구를 수행하고자 한다.

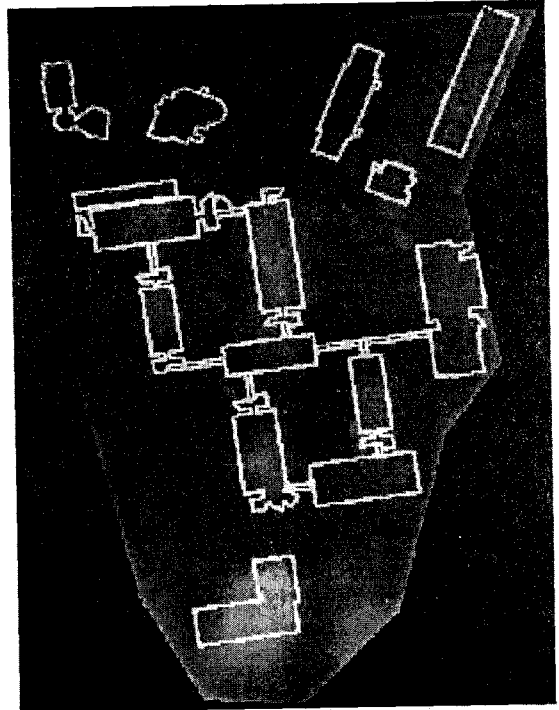


그림 3.1 수치사진측량에 의해 생성된 DTM 기준 자료의 중첩

3. 사용 데이터

고해상도 DTM을 생성기법 기법 중 첫번째인 수치사진측량 기법에 의해 1m 해상력의 DTM을 생성하였으나, 그림 3.1에 나타난 것처럼 건물에 대한 정보를 정확히 표현하지 못하였고 특히 구릉지에 존재하는 건물은 지표면과 DTM의 차이가 거의 없어 건물 추출에 적합하지 않았다.

둘째, laser profile 기법에 있어서는 장비의 이용이 불가능하여 대상지역의 DTM 자료의 획득할 수 없었다. 따라서 불가피하게 기존의 수치지도의 표고를 이용하여 이 기법과 거의 유사한 모의(simulation) DTM을 제작하여 연구를 수행하였다.

이때 사용한 자료는 본 연구에서 사용한 항공사진으로부터 생성한 1:1000 수치지도이고, 모의 DTM은 Arc/Info 소프트웨어를 통해 제작하였다.

앞으로 국내에서도 laser profiler에 의한 고해상도 DTM의 생성이 가능해 진다면, 실 DTM를 이용한 보

연구의 대상지역은 서울대학교 관악캠퍼스 공과대학 지역으로, 이 지역의 수치항공사진 및 DTM에 대한 각각의 크기, 해상력, 그리고 좌상단 및 우하단의 TM 좌표는 다음과 같다

표 3.1 대상지역 항공사진과 DTM의 자료의 개요

종류	해상력 (m)	TM 좌표		
			E	N
항공사진	0.5×0.5	좌상단	195420.915	439590.759
		우하단	195747.415	439138.259
DTM	1×1	좌상단	195435.061	439583.139
		우하단	195750.061	439138.139

4. 윤곽선 추출

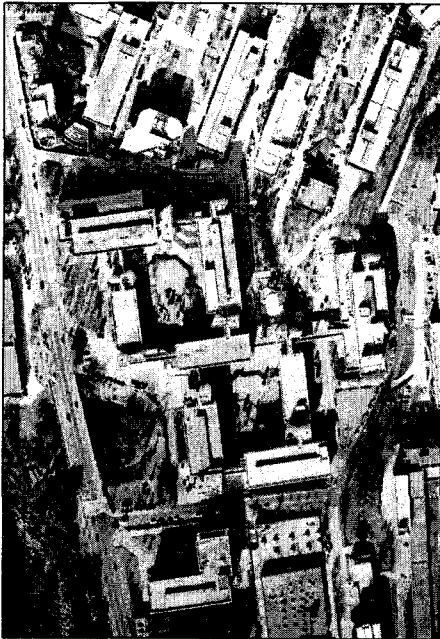


그림 3.2 대상지역 항공사진

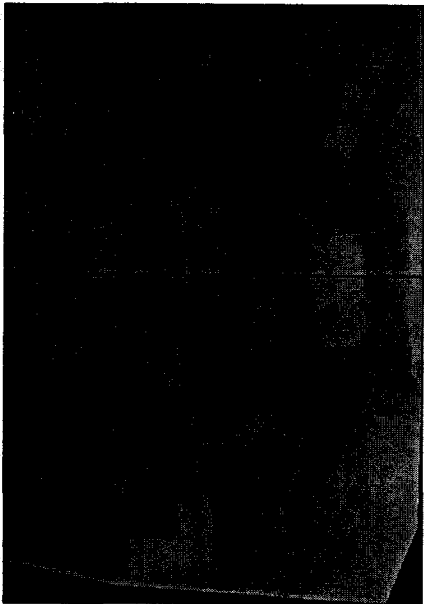


그림 3.3 시물레이션 DTM

고해상도 DTM으로부터 건물의 윤곽선을 추출하는 방법은 앞에서 설명했듯이 지면 및 건물과 수목의 정보까지 포함하는 DTM으로부터 지면에 근사하는

DTM, 즉 DEM을 grayscale 수리형태학(mathematical morphology)을 이용하여 생성한 후 두 데이터 모델의 차이를 계산하게 되면, 일차적으로 건물이 존재할 가능성이 높은 지역을 추출할 수 있다. 이후 건물의 위치, 최소 높이, 최소 면적 등의 조건을 이용하여 건물에 해당하는 적정 지역을 선택하게 된다.

이렇게 추출된 초기 윤곽선으로부터 항공사진에서 추출된 edge 정보를 이용하여 집단수목 지역을 제거한 후, 각 건물 지역에 대한 선형화를 실시함으로써 윤곽선 정보 추출을 완성하게 된다.

윤곽선 추출에 관한 흐름도는 다음 그림 4.1과 같다.

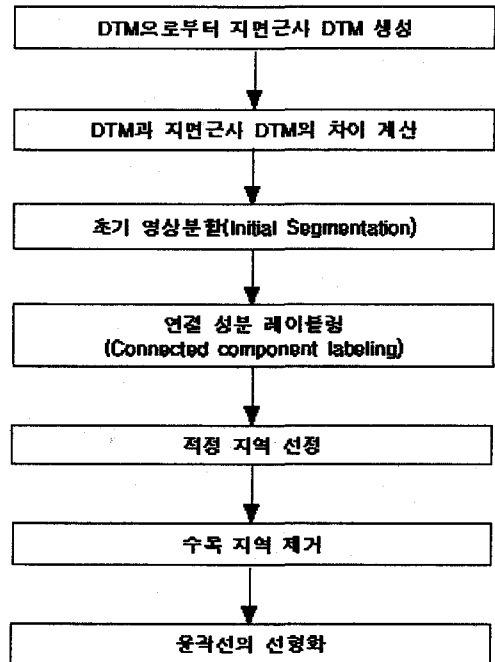


그림 4.1 건물의 윤곽선 추출 흐름도

4.1 지면근사 DTM 생성

4.1.1 opening 연산¹⁾

DTM으로부터 지면근사 DTM을 생성하기 위해 수리형태학의 opening 연산자를 이용하는데, 이는 수축(erosion) 연산과 확장(dilation) 연산의 조합으로 구성된다.

opening연산은 graylevel 영상에서 기본적인 수리형 태학의 필터로, opening 연산은 수축연산 후에 확장연산을 수행하기 때문에, 수축연산이 먼저 양의 절정점(絶頂點)을 제거시킴과 동시에, 계곡점(valley)을 강조시킨다. 따라서 수축연산 후의 영상의 graylevel은 감소되지만, 확장연산에 의해 원영상의 graylevel에 해당하는 정도로 graylevel을 증가시키기 때문에 opening 수행 후의 영상의 평균 밝기값은 원영상과 거의 비슷하다. opening은 일반적으로 영상의 어두운 지역을 두드리지게 하고, 반면 밝은 지역을 감소 또는 소거시키는 역할을 한다.

본 연구에서 절정점은 DTM에 있어서는 건물지역에 해당하고 어두운 지역은 지면에 대한 DTM이라고 생각할 수 있다. 그리고 opening 연산 후의 영상의 평균 밝기값의 변화가 거의 없으므로 지면에 대한 표고의 변화는 거의 없다고 할 수 있다.

erosion, dilation, 그리고 opening 연산의 정의는 다음 식과 같다.

1) erosion 연산

$$(r \ominus s)(x,y) = \min [r(u,v) - s(u-x,v-y) : u,v \in O^2; u-x,v-y \in S] \quad (4.1)$$

2) dilation 연산

$$(r \oplus s)(x,y) = \max [r(u,v) + s(u-x,v-y) : u,v \in O^2; u-x,v-y \in S] \quad (4.2)$$

3) opening 연산

$$r_s(x,y) = [(r \ominus s) \oplus s](x,y) \quad (4.3)$$

위의 식에서 O^2 는 물체 내의 화소를 정의하는 좌표집합, $s(x,y)$ 는 구조요소, $r(x,y)$ 는 graylevel 영상, 그리고 S 는 구조요소와 영상의 중첩이 이루어지는 화소들의 위치집합을 의미한다.

이러한 opening 연산은 그림 4.2에서 볼 수 있듯이 구조요소가 구형(球形)일 때, 연산 수행후의 결과는 구가 지표면의 아래쪽에서 회전시켰을 때의 구의 표

면이 지나가는 자취가 되는 기하학적 의미를 지니고 있기 때문에 건물의 폭보다 직경이 큰 구조요소로 DTM의 아래쪽 표면을 따라 회전시켰을 때, 건물을 제외한 지면근사 DTM을 생성할 수 있다.

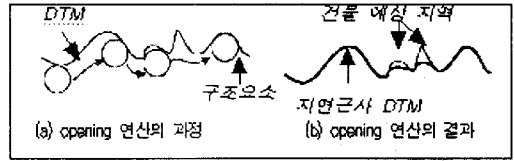


그림 4.2 opening 연산의 기하학적 표현

본 연구에서는 구조요소는 건물의 방향에 영향을 받지 않기 위해 원형 구조요소를 사용한다. 그리고 구조요소의 크기는 대상지역 내의 건물의 너비에 따라 결정되는데, 반드시 대상지역의 최대 건물 너비보다 커야 한다. 만약 건물의 폭이 구조요소보다 크게 되면, 이 건물은 지면의 연장선상에 존재하게 되므로 추출이 불가능하게 된다. 반면, 구조요소의 반경이 너무 크게 되면, 폭이 좁고 경사가 급한 구릉지가 건물로 추출될 수 있는 가능성이 크게 되므로 적절한 구조요소의 반경을 선택해야 한다.

구조요소의 반경 r 은 다음과 같은 식에 의해 결정된다¹⁾.

$$r = 0.5 \times \sqrt{\frac{k \times [\text{예상 최소 건물의 면적}]}{[\text{격자 DTM 간격}]^2}} \quad k=5, \dots, 10 \quad (4.4)$$

그런데 본 연구에서는 건물의 최소 면적을 400 m^2 로 예상했고, 격자 DTM 간격은 1이고, k 인자에 6을 적용했기 때문에, 이에 따라 구조요소의 반경은 식 (4.4)에 의해 계산된 25를 사용하였고, 그 결과는 그림 4.3과 같다.

4.2 DTM과 지면근사 DTM의 차이 계산

초기의 DTM과 opening 연산의 결과인 지면근사

DTM의 차를 계산하면, 지면에 대한 상대적인 높이 정보를 지닌 지형지물을 추출할 수 있다.

아래의 그림 45는 그림 33, 그림 43, 그리고 그림 44의 중앙 부분에 표시한 직선 부분의 단면도를 나타낸 것으로 가장 아래에 있는 그래프가 DTM과 지면근사 DTM의 차이를 보여주고 있다.

역을 이진영상으로 변환하는 과정이 필요하게 된다.

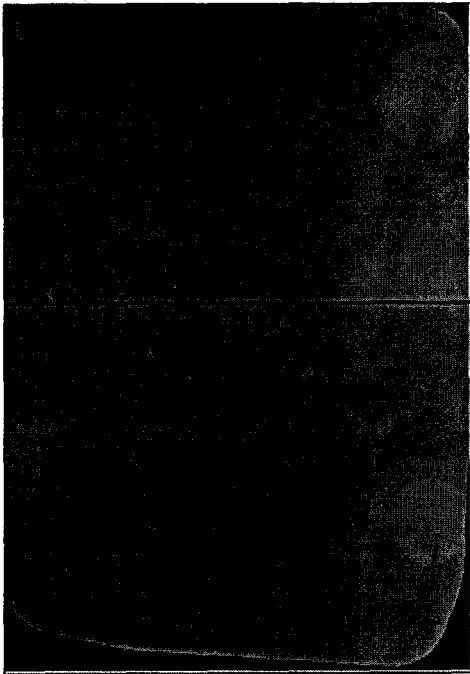


그림 43 지면근사 DTM

그래프에서 알 수 있듯이 그림 44의 차이 영상은 DTM에서 지면에 해당하는 지역이 모두 0의 높이를 갖게 되므로 건물의 높이 측정에 효율적으로 이용될 수 있다.

4.3 초기 영상 분할

DTM과 지면근사 DTM의 차이 영상은 graylevel을 가지기 때문에 건물의 위치나 면적의 계산이 곤란하고, 이 영상 내에는 건물뿐만 아니라, 지면과 높이 차이를 갖는 모든 지형지물이 포함되어 있으므로, 사람의 사전 지식을 이용하여 건물의 최소 높이를 설정하여 건물의 예상 지

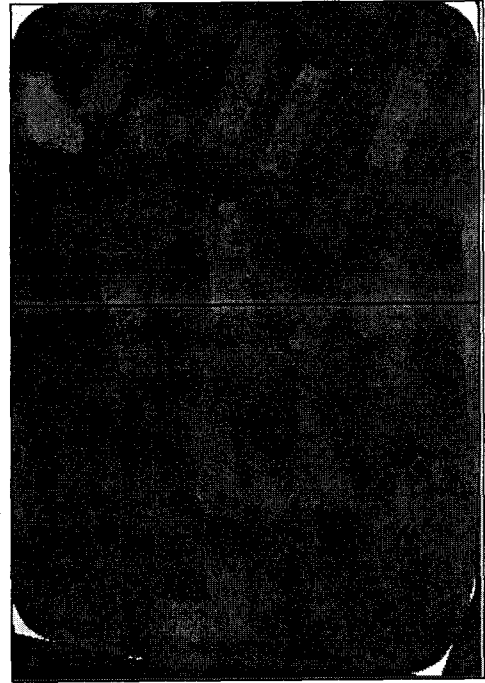


그림 44 DTM과 지면근사 DTM의 차이 영상

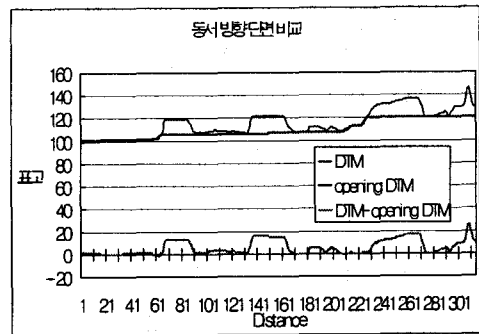


그림 45 DTM, 지면근사 DTM, 차이 영상의 단면도

본 연구에서는 대상 지역의 건물이 평균 3층 이상인 것을 감안해 최소 건물높이를 8m로 설정하였고, 이를 임계값으로 영상을 분할하였고, 그 결과는 그림 46과 같다. 아래 그림 46에서 밝게 나타난 지역이 지면에 비해 8m 이상의 높이를 갖는 건물 예상 지역이다.

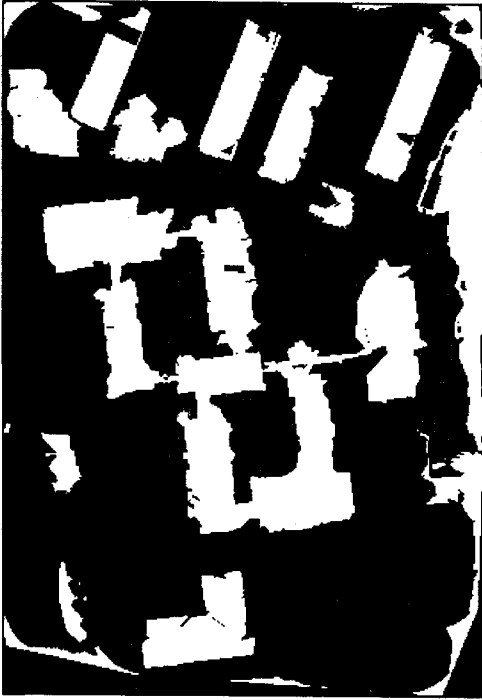


그림 46 초기 분할 영상

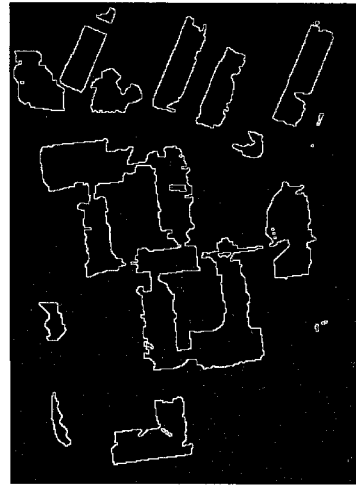


그림 47 위치에 의한 적정지역

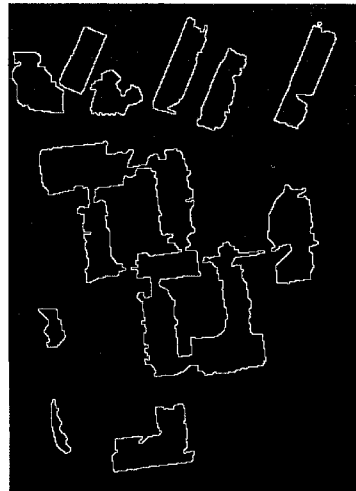


그림 48 면적에 의한 적정지역

4.4 적정지역 선택

초기 분할 영상에 존재하는 지형지물 중에는 노이즈, 건물과 높이가 비슷한 수목, 그리고 경계에서 분할되는 건물 등이 포함되어 있다.

이러한 비적정지역은 먼저 각각의 연결 성분에 대해 식별자를 부여하는 연결성분 레이블링(connected component labeling)¹⁾의 과정을 거쳐, 연결성분의 경계선 및 면적에 관한 정보를 추출하고, 만약 최소면적 이하의 면적을 갖거나, 연결성분이 대상 지역의 경계에 걸쳐 있다면, 그 연결 성분은 영상에서 제거된다.

본 연구에서는 위치, 면적 조건의 순으로 연결성분에 대한 적정성을 검사하였고, 그 결과는 그림 47, 그림 48과 같다.

4.5 집단 수목지역 제거

위치와 면적의 조건을 만족한 적정지역 중에는 건물과 면적 및 높이가 비슷한 집단 수목지역이 존재할

수 있다. 대표적인 예로 공원의 수목지역을 들 수 있다. 이러한 지역을 DTM의 높이 정보만으로 분리하는 데는 한계가 있다. 따라서 콘크리트와 수목의 반사 특성을 이용하여 항공사진에서 수목 지역에 대한 edge 정보를 추출한 후, 적정지역 성분의 면적과 edge 정보의 중복도가 95% 이상인 지역을 집단 수목지역으로 간주하여 제거하였다.

그렇지만 이러한 기법을 적용했을 때, 집단수목 지역 내에 건물이 수목과 매우 인접해 있을 경우에는

건물과 수목의 분리가 불가능할 수도 있다.

edge 정보의 추출은 Otsu의 adaptive thresholding에 의해 수목지역과 비수목지역을 구분할 수 있는 최적 임계치를 설정한 후, 임계치 이하의 화소값을 갖는 지역을 선택함으로써 이루어진다.

4.5.1 Otsu's adaptive thresholding¹⁾

Otsu는 영상 분할을 화소 클래스로의 분류의 문제로 간주하는 방법을 제안했다.

첫 번째 클래스는 임계값 T 이하의 graylevel을 갖는 화소의 집합이고, 두 번째 클래스는 T 보다 큰 graylevel을 갖는 화소의 집합으로 정의된다. 이 때, 각 클래스는 그들간의 분리도를 최대로 하면서, 각 클래스의 면적은 최소로 하는 최적 임계치 T 에 의해 분류된다.

Otsu는 클래스의 대한 분리도 측정기법으로 클래스 사이의 분산을 이용했는데, 이는 다음과 같이 정리된다.

$$\sigma^2 = \frac{[m_1(T) \cdot P2(T) - m_2(T) \cdot P1(T)]^2}{P1(T)P2(T)} \quad (4.5)$$

여기서,

$$m_1(T) = \sum_{i=0}^T i \cdot h(G_i) \quad : \text{클래스 1의 평균 graylevel}$$

$$m_2(T) = \sum_{i=T+1}^{G_{\max}} i \cdot h(G_i) \quad : \text{클래스 2의 평균 graylevel}$$

$$P1(T) = \sum_{i=0}^T h(G_i) \quad : \text{클래스 1의 확률}$$

$$P2(T) = \sum_{i=T+1}^{G_{\max}} h(G_i) \quad : \text{클래스 2의 확률}$$

$h(G_i)$: 상대 히스토그램

식 (4.5)를 이용해 두 클래스 사이의 분산은 초기 임계치를 1에서 시작하여 '최대 graylevel-1'까지 반복 계산하게 된다. 이때 최대의 분산을 갖는 graylevel이 최적 임계치가 된다. Otsu의 임계법이 갖는 가장 큰 장점은 영상에 존재하는 대상 물체 및 배경, 그리고 그와 관련하여 발생할 수 있는 노이즈에 대한 히스토그램의 모델링이 필요 없다는 것이다.

이는, 항공사진으로부터 수목과 비수목지역을 분류할 때, 각 항공사진마다 반사특성이 상이하기 때문에 이에 대한 모델링이 불가능한 상황에서 효율적으로 이용될 수 있다. 아래 그림 4.9와 같은 상대 히스토그램을 갖는 대상지역의 수치항공사진의 Otsu's 클래스간 분산은 그림 4.10과 같고, 이때의 최적 임계치는 최대 분산이 발생하는 graylevel 145이다. 이러한 임계치에 의한 분할 영상인 그림 4.11을 이용하여 집단 수목지역을 제거한 결과는 그림 4.12와 같다.

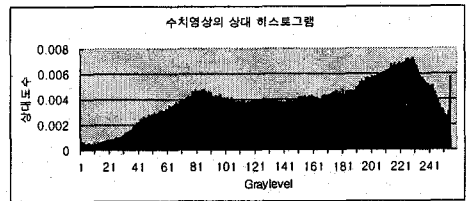


그림 4.9 대상지역 수치항공사진의 상대 히스토그램

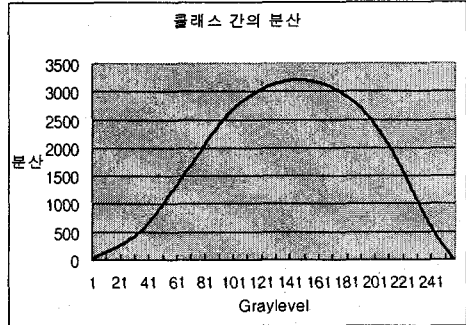


그림 4.10 클래스간의 분산 그래프

항공사진의 edge 정보를 사용한 결과 그림 4.8의 좌측 하단의 건물 예상 지역은 edge 정보와 98.5%의 중복도를 가짐으로써 건물 지역에서 제거되었다.

4.6 윤곽선의 선형화

윤곽선 추출 과정의 최종 단계로 실제 건물의 경계가 선형이라는 가정 하에, 집단 수목지역을 제거한 윤곽선의 선형화를 수행하게 된다.

이때 적용된 기법은 선형화 된 윤곽선과 원래의



그림 4.11 수치지공사진의 edge 정보

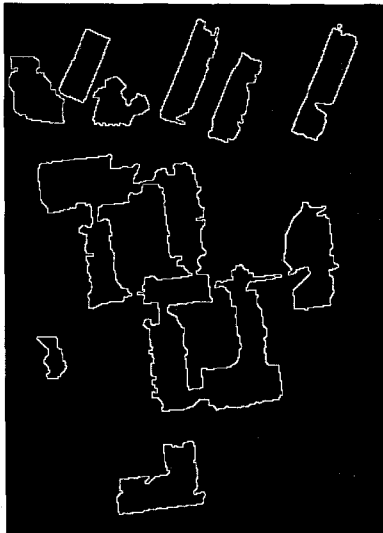


그림 4.12 집단 수목지역 제거 결과

윤곽선과의 최대 거리의 최대 허용 편차 이차가 되도록 윤곽선의 좌표를 선택하는 edge 분할 방법이다³⁾.

그림 4.13은 최대 허용편차를 2m로 설정했을 때의 윤곽선 선형화 결과와 추출 건물의 번호를 보여주고 있다

5. 높이 추출

앞에서 추출된 윤곽선과 DTM과 지면근사 DTM의 차이 영상을 이용하여 건물의 높이를 추출하게 된다.

초기의 DTM을 이용하여 건물의 높이를 추출하지 않는 이유는 경사지의 경우, 건물 양쪽의 지표면의

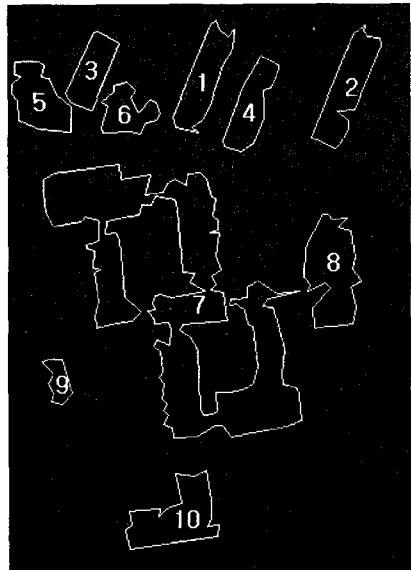


그림 4.13 윤곽선의 선형화 및 레이블링

표고가 서로 상이하기 때문에 건물의 높이의 결정에 적합하지 않다. 특히 여러 개의 건물이 하나의 건물을 형성하는 복합 건물이 구릉지에 존재하는 경우에 있어서는 건물의 높이가 과대 추정되어 계산되기 때문에 건물이 같은 높이에서 존재하는 것과 같은 특성을 갖는 DTM과 지면근사 DTM의 차이 영상을 이용하는 것이 바람직하다.

건물의 윤곽선과 위의 DTM 차이 영상의 중첩을 통해 추출된 높이 데이터는 동일한 값을 갖지 않는다. 따라서 건물의 높이를 대표하는 값을 선택하는 과정이 필요하게 된다. 본 연구에서는 다음의 두 방법에 의해 건물의 높이를 추출하여 기준자료와 비교 평가

하고자 한다.

1) 최대 상대도수에 의한 높이 추정

건물의 윤곽선 내에 존재하는 모든 건물 높이 데이터 중에서 상대도수가 가장 높은 높이를 건물의 높이로 채택하는 방법이다. 이 방법은 노이즈에 의한 영향을 줄일 수 있는 방법이지만, 한 건물이 높이가 서로 다른 건물의 조합으로 구성되어 있을 경우에는 차지하는 면적이 가장 큰 부분이 전체 건물의 높이로 추정되는 단점을 갖는다.

2) 평균에 의한 높이 추정

높이 데이터의 평균값이 건물의 높이를 대표하는 방법으로, 이는 동일 높이의 건물일 경우에는 최대 상대도수에 의한 방법과 비슷한 결과를 나타내지만, 건물의 높이가 변화하는 경우에 있어서는 부분이 차지하는 면적을 가중치로 하는 가중평균 높이를 갖게 된다.

5.1 높이 추출의 결과

그림 4.12의 집단 수목지역이 제거된 건물 윤곽선과 DTM과 지면근사 DTM의 차이 영상인 그림 4.4의 중첩을 통해 각 건물 성분의 높이를 최대 상대도수법과 평균법에 의해 추출한 결과는 아래 표 5.1과 같다.

표 5.1에서 평균법의 표준편차는 각 건물 성분의 높이 데이터의 평균 높이에 대한 표준편차를 말한다.

표 5.1 건물 높이 추출 결과

추출 건물 번호	최대 상대도수법		평균법	
	높이	상대도수	높이	표준편차
1	13	0.778	12.69	0.987
2	13	0.571	13.66	1.740
3	15	0.253	14.04	1.840
4	14	0.362	14.92	2.922
5	25	0.504	22.95	3.983
6	12	0.310	12.27	1.486
7	13	0.206	13.49	2.142
8	17	0.259	14.22	2.526
9	9	0.469	8.81	0.704
10	16	0.569	15.42	1.795

6. 정확도 평가

6.1 윤곽선 추출의 정확도

연구지역의 건물은 단독건물 8개와 복합건물 1개로 구성된다. 이중 복합건물은 8개의 단독건물로 구성되어 있기 때문에 총 건물의 수는 16개이다. 이러한 기준자료를 이용하여 건물 추출 정도를 비교하였고, 추출된 윤곽선의 정확도는 다각형의 정확도 평가 기법이 정립되어 있지 않기 때문에 시각적으로 평가하였다.

6.1.1 건물추출 정확도

기준자료를 단독건물과 복합건물로 분류한 후, 이들의 추출 여부를 정리하였다.

본 연구에서 사용된 기준자료는 동일 축척의 항공 사진을 해석도화해서 생성한 수치자료를 사용하였다.

아래 그림 6.1의 기준자료 7번 건물을 제외한 모든 건물의 추출이 가능하였다. 그런데 추출된 건물의 종류에 있어 복합건물의 8-5번은 단독건물로 분리되어 추출되었고, 그림 4.13의 9번 지역과 같이 기준자료에 존재하지 않았던 교량이 건물로 추출될 수 있음을 알 수 있었다.

6.1.2 윤곽선의 정확도

그림 6.2에서 장방형의 단독건물인 경우, 수치지도와 거의 일치하는 반면, 복합건물 또는 불규칙한 윤곽선을 갖는 건물은 낮은 정확도를 갖는다는 것을 알 수 있다.

6.2 건물 높이의 정확도

대상지역은 경사지역으로서 건물의 동서또는 남북 방향의 높이가 서로 상이한 특징을 갖는다. 따라서 본 연구에서는 건물 높이에 대한 기준자료로 실측한 건물의 최소 높이를 사용하였는데, 그 이유는 opening 연산에 의한 지면근사 DTM은 항상 건물에 대한 지면 근사를 높은 쪽에서 수행하기 때문이다. 따라서 경사

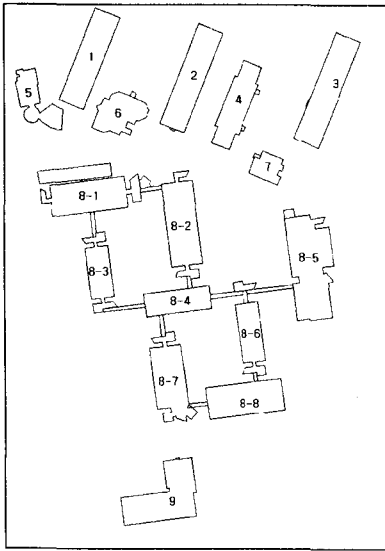
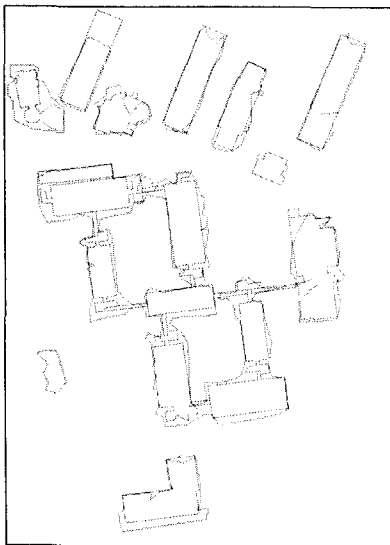


그림 6.1 기준자료 건물 번호



범례

- 수치지도
- - - - 추출윤곽선

그림 6.2 기준자료와 추출 윤곽선 중첩

지역에 존재하는 건물의 높이는 최소 건물 높이로 추출되는 한계가 있다

그리고 복합건물의 경우에 있어서는 각각의 건물

표 6.1 최대 상대도수법의 정확도

추출건물번호	추출 높이(m)	실측 높이(m)	차이(m)
1	13	12.35	0.65
2	13	13.45	-0.45
3	15	16.54	-1.54
4	14	13.21	0.79
5	25	23.10	1.90
6	12	12.84	-0.84
7	13	15.16	-2.16
8	17	16.52	0.48
9	9	8.63	0.37
10	16	17.04	-1.04
RMSE			1.25
절대값의 평균			1.02

표 6.2 평균법의 정확도

추출건물번호	추출 높이(m)	실측 높이(m)	차이(m)
1	12.69	12.35	0.34
2	13.66	13.45	0.21
3	14.04	16.54	-2.50
4	14.92	13.21	1.71
5	22.95	23.10	-0.15
6	12.27	12.84	-0.57
7	13.49	15.16	-1.67
8	14.22	16.52	-2.30
9	8.81	8.63	0.18
10	15.42	17.04	-1.62
RMSE			1.51
절대값의 평균			1.13

들의 높이의 평균을 대표값으로 사용하였다.

정확도 평가 결과 추출된 10개 건물 높이의 평균제곱근오차와 오차 절대값의 평균, 모두에 있어서 최대 상대도수법이 평균법에 비해 더 높은 정확도를 갖고 있음을 알 수 있었다.

최대 상대도수법에 의한 높이 추출의 결과는 평균 제공근 오차가 1/1000 수치지도의 표고점 최대 허용오차인 0.3m보다는 크지만, 1/5000 수치지도의 있어서는 시뮬레이션의 오차를 고려할 때, 허용오차 1.0m를 만족할 만한 수준이다.¹⁾

6. 결 론

본 연구는 고해상도 DTM과 수치항공사진의 edge 정보를 이용하여 건물의 윤곽선과 높이정보를 추출하는 것을 목적으로 한다. 본 연구는 DTM의 정확도에 전적으로 의존한다는 단점을 지니고 있기는 하지만, laser profiler 에 의해 고정밀 고해상도 DTM의 구축이 가능해진다면, 고가의 장비 및 숙련된 기술을 요하지 않고 PC 수준에서도 빠른 시간 내에 저비용으로 건물의 3차원 정보를 추출할 수 있는데 의의가 있다.

본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

첫째, 수평위치의 정확도는 비교적 낮으나, 대부분의 건물의 추출 가능하였다. 따라서 건물의 신축이나 철거 등의 변화 탐지에는 충분히 이용될 수 있고, 수평위치 정확도를 향상시킨다면, 기존의 수치지도의 갱신도 가능하다고 판단된다.

둘째, 단독건물의 경우, 복합건물에 비해 상대적으로 높은 수평위치 정확도를 갖는다는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과의 원인이 DTM 시물레이션 과정에서 생긴 오차에 기인한 것인지, 아니면 본 연구의 방법론의 한계인지에 대해서는 laser profiler에 의해 생성된 DTM을 이용한 추출을 수행한 후 평가해야 할 사항이라고 판단된다.

셋째, 건물 외에도 교량과 같은 인공구조물의 추출이 가능하다는 것을 확인 할 수 있었다. 따라서 교량과 건물을 구분할 수 있는 알고리즘의 개발이 필요성이 대두된다.

넷째, 건물의 높이에 있어, 아직까지 정확도를 평가할 만한 방법이 존재하지 않으므로, 수치지도의 등고선 평가 기준을 참고로 하여 정확도를 평가하였는데, 1/5000 수치지도의 표고점 허용오차를 만족할 만한 수준이었다. 그러나 대상 지역의 건물 수가 적어, 통계적으로 유의하지 않다. 따라서 기존 수치지도의 갱신 가능성은 광역지역에 대한 실험 후에 평가되어야 할 것이다.

다섯째, 항공사진의 edge 정보를 이용하여 집단수목 지역의 제거가 가능하여 건물추출의 정확도를 향상시킬

수 있었다.

본 연구에서는 건물의 최소 높이, 면적의 사전지식을 필요로 하기 때문에 자동화된 건물추출이라는 측면에서는 한계점을 갖는다. 따라서 향후에는 이들 정보를 DTM 내에서 추출하는 알고리즘이 연구되어야 한다.

참 고 문 헌

1. F. Ackermann, 1996, "Some Considerations about Feature Matching for the Automatic Generation of Digital Elevation Models", Proceedings of the OEEPE Workshop on Application of Digital Photogrammetric Workstations, part 3: Automatic Derivation of a DTM.
2. Uwe Weidner, Wolfgang Förstner, 1995, "Towards Automatic Building Reconstruction from High Resolution Digital Elevation Models", ISPRS Journal, 50(4), pp. 38-49.
3. Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, 1992, Digital Image Processing, pp. 443-449, Addison-Wesley, Reading, Mass..
4. Ansgar Brunn, Uwe Weidner, 1997, "Extracting Buildings from Digital Surface Models", IAPRS, Vol. 32, Part 3-4W2, 3D Reconstruction and Modeling of Topographic Objects, Stuttgart, September 17-19.
5. Linda G. Shapiro, 1996, "Connected Component Labeling and Adjacency Graph Construction", Machine Intelligence and Pattern Recognition, Vol. 19, pp. 1-26, Elsevier, Amsterdam.
6. Arthur R. Weeks, Jr., 1996, Fundamentals of Electronic Image Processing, pp. 367-386, SPIE Press, Bellingham, WA.
7. 정재준, 1998, "사용자 측면을 고려한 수치지도의 등급분류에 관한 연구", 서울대학교 대학원, 석사학위 논문