

IKONOS 정사영상을 이용한 건물의 자동추출

Automatic Extraction of the Building Using IKONOS Ortho-Image

이재기¹⁾ · 정성혁²⁾ · 임인섭³⁾
Lee, Jae Kee · Jung, Sung Hyuk · Lim, In Surp

Abstract

As recently, high-resolution satellite images of 1m spatial resolution are opened to the public and able to be used commercially, the studies that make ortho-images using them and apply to digital mapping and database of geo-spatial information system are having been progressed actively. Therefore, the purposes of this study are to establish the auto-extraction methods and to develop algorithms for automatically extracting buildings out of man-made structures, after making the IKONOS ortho-image. As the result of this study, we can extract buildings automatically at 72% out of the whole buildings. And we have analyzed the error trend by means of the comparison with ortho-image, digital map and drawing result, then we could know that obtain the good result for extraction of the building through the methods and algorithms of this study.

요 지

최근 1m 내외의 공간해상도를 가지는 고해상도 위성영상이 일반인에게 공개되고 상업적으로 이용이 가능해짐에 따라 고해상도 위성영상을 이용하여 정사영상을 제작하고 지도제작과 갱신 및 지형공간정보체계의 자료기반으로 활용하려는 연구가 활발히 이루어지고 있다. 따라서, 본 연구에서는 IKONOS 위성영상을 이용하여 정사영상을 제작하고, 인공지물중 도시지역에서 많은 분포를 나타내고 있는 건물을 자동 추출하는 처리기법을 정립하고, 관련된 알고리즘을 개발하는데 목적이 있다. 연구결과 전체 건물중 72%를 자동 추출할 수 있었으며, 대상영상과 중첩, 대상지역의 수치지도 및 수동으로 도화된 결과와 비교함으로써 오류발생의 경향을 분석하고, 본 연구에서 제시한 기법이 건물의 자동 추출에 비교적 양호한 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

핵심용어(Keywords) : IKONOS 위성영상, 지도제작, 건물추출

1. 서 론

현재 고해상도의 지구관측위성이 발사되고 그들로부터 취득된 영상의 이용이 가능해지면서 미국, 프랑스, 캐나다 등에서는 국가차원에서 고해상도 위성영상을 이용하는 응용기술을 개발하는데 많은 노력을 기울이고 있다.

국내에서도 1999년 공간해상도 6.6m의 다목적실용위성인 아리랑 1호가 발사되었고 2004년 고해상도 카메라(MSC ; Multi-Spectral Camera)를 탑재한 아리랑 2호가 성공적으로 발사될 경우, 앞으로 위성영상의 활용수요가 증가될 추세에 있다. 따라서, 본격적인 위성영상시대를 대비하여 정사영상제작, 수치지도 제작 및 갱신, 위성영상

지도제작 등과 같은 응용기술의 개발이 요구되고 있다 (Zhou 등, 2000 ; 이상국, 2000).

특히, 지도제작분야에서 고해상도 위성영상은 경제성 측면에서 기존의 항공사진을 이용한 지도제작방식을 대체할 수 있는 대안으로 급부상하고 있으며, 국가단위의 넓은 지역의 수치지도제작이나 지형공간정보를 신속히 제공할 수 있는 장점을 가지고 있다(박병욱 등, 2002).

따라서, 본 연구에서는 공간해상도 1m의 IKONOS 위성영상을 이용하여 정사영상을 제작하고, 도시지역에서 가장 많은 분포를 나타내고 있는 건물을 자동으로 추출하여 지형공간정보체계 구축을 위한 자료로서 제공하거나, 변화가 빈번한 도시지역의 수치지도 갱신 및 위성영상지도

1) 정회원 · 충북대학교 토목공학과 교수(E-mail:leejk@chungbuk.ac.kr)
2) 정회원 · 충북대학교 토목공학과 박사수료(E-mail:email@chungbuk.ac.kr)
3) 정회원 · 충북대학교 토목공학과 공학박사(E-mail:iso3295@chungbuk.ac.kr)

제작에 활용할 수 있는 가능성을 제시하고자 하였다.

2. 연구내용

IKONOS 위성영상으로부터 정사영상을 제작하기 위하여 한 매의 영상과 수치지도에서 수치표고모형을 추출하여 편위수정에 이용하였다.

제작된 정사영상에서 건물이 밀집되어있는 지역을 연구 대상지역으로 선정하였으며, 건물의 자동추출을 위해 영상전처리, 경계선추출, 직선 추출, 근방연산에 의한 잡음제거, 깊이 우선 탐색기법 등의 알고리즘을 정립하고, 건물추출에 효율적인 기법을 개발하였다.

대상영상에서 건물의 경계선추출은 기존의 다양한 경계선추출 알고리즘들을 비교·분석하여 canny 경계선 추출 연산자를 이용하였고, 경계선영상에서 직선성분을 추출하기 위하여 라돈변환(radon transformation)을 이용하였다. 추출된 직선성분에서 불필요한 정보를 제거하기 위하여 근방연산방법을 이용하여 일정한 크기 외의 직선성분은 잡음으로 간주하여 제거하였고, 직선성분을 연결·조합하여 건물에 대한 정보를 보다 정확하게 검출할 수 있는 건물추출기법을 개발하였다.

자동으로 추출된 건물을 정사영상, 수치지도, 수동 도화 결과와의 비교를 통하여 추출된 건물 형태의 정확성을 분석하였고, 대상영상에서 전체 건물에 대한 자동 추출율을

알아보았다.

본 연구의 주요 흐름은 그림 1과 같다.

3. 수치정사영상

3.1 IKONOS 위성영상

1999년 9월 24일 미국 Space Imaging사에서 세계 최초로 상업용의 1m급 고해상도 위성인 IKONOS 위성의 발사에 성공하였고, 현재, 전세계에 영상을 송신하고 있다. 특히 해상도의 한계로 대축척 지도제작이 불가능했던 위성영상 지도제작 분야에서 비약적인 발전과 그 응용이 확대되고 있다. IKONOS 위성은 2.9일의 공전주기로 고도

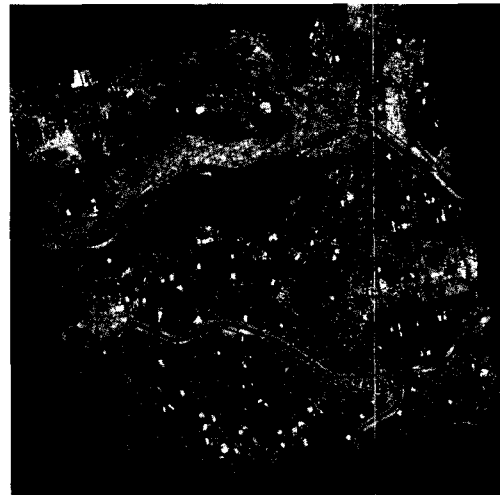


그림 2. IKONOS 위성영상(e-HD.com 제공)

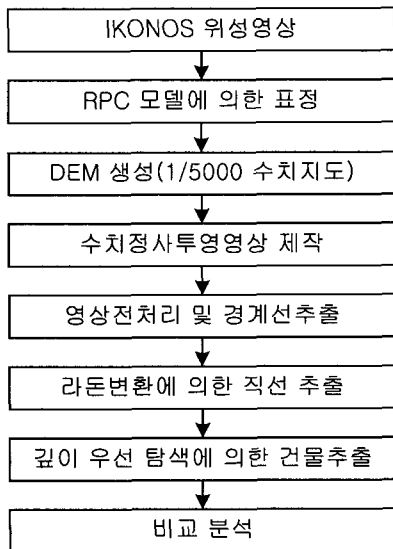


그림 1. 연구의 주요 흐름

표 1. IKONOS 위성영상의 제원

File Name	po_4611_pan_0010000000.tif
Producer	Space Imaging
Sensor	IKONOS-2
Aquisition Data	2001-11-19 02:19 GMT
Project Name	Deajeon_Stereo(Pan)
Band used	Panchromatic
Resolution	1m
File Format	GeoTIFF
Bits per pixel	11bit
Datum	WGS84
Projection	UTM
Image Size	9700×9616

681km 상공에서 7km/sec의 속도로 지구를 관측하고 있다 (Lillesand, 2000).

본 연구에 사용된 IKONOS 위성영상(po_4611_pan_0010000000.tif)은 2001년 11월 19일에 촬영된 대전지역의 영상으로 그림 2와 같으며, 그 제원은 표 1과 같다.

IKONOS 위성은 촬영당시 위성의 자세정보를 제공하지 않는 대신에 위성영상을 표정하기 위하여 RPC(Rational Polynomial Coefficient)파일을 영상과 함께 제공하고 있다. RPC 파일이란 정사영상을 제작하기 위하여 표정요소에 필요한 정보 즉, 위성영상촬영 당시의 경도, 위도, 높이의 3차원 요소를 위성영상에서의 관계식으로 해석한 것이다.

위성영상의 내부표정을 위해 Sensor Model, Coefficients 및 Camera Calibration Data 등에 대한 정보가 필요하다. 그러나, 고해상도 위성 카메라는 이러한 요소들이 기존 위성보다 훨씬 더 복잡하고 비싸기 때문에 구성되어 있고, 위성을 제작·운영하는 기업 측면에서 볼 때 중요한 기술적 정보를 담고 있기 때문에 공개하지 않고 있다. 그 대신에 고해상도 위성영상을 이용하여 정사영상을 제작하기 위해서 촬영 당시의 표정요소 등에 관한 정보를 RPC 파일의 형식으로 제공하고 있다. 외부표정은 IKONOS 위성에 장착되어 있는 GPS, Gyro, Star Trackers 정보를 이용해서 구한다.

3.2 수치표고모형

일반적으로 수치에 의하여 지형의 표고를 나타낸 자료를 통칭하여 수치표고모형(DEM ; Digital Elevation Model)이라고 한다. 수치표고모형은 지표면에 일정 간격으로 분포된 지점의 표고값을 수치로 기록한 것으로 지형공간정보 체계에서 정사영상, 수치지도와 함께 지형분석이나 각종



그림 3. 수치표고모형(Kriging)

모델링의 중요한 기초 자료로 활용되고 있다(Wolf, 2000).

본 연구에서는 축척 1/5,000의 수치지도를 이용하여 격자간격 5m의 수치표고모형을 생성하였으며, 보간법은 Kriging기법을 이용하였다.

3.3 수치정사영상제작

정사영상을 제작하기 위해서는 영상의 표정, 수치표고모형 생성, 기하보정 및 편위수정, 영상재배열 등의 과정을 거쳐 이루어진다.

본 연구에서는 IKONOS 위성영상에서 제공하고 있는 RPC파일을 이용하여 표정을 실시하였으며, 대상지역의 수치지도에서 생성한 수치표고모형을 이용하여 중심투영에서 발생한 기하학적 편위를 수정하였다.

영상 재배열을 위한 보간 방법으로 최근린보간법(nearest-neighbor interpolation), 쌍일차보간법(bilinear interpolation), 쌍이차보간법(bicubic interpolation) 등이 있다(Richards, 1994).

본 연구에서는 쌍이차보간법에 의해 영상을 재배열하였으며, 수치정사영상을 제작한 결과 그림 4와 같다.

4. 건물 자동 추출

영상해석은 영상내에서 특정 물체와 관련되는 패턴들을 발견하고, 정의 및 이해하는 과정으로 사람이 영상을 인식하고 인지하는 것처럼 영상을 정확히 인식하는 것을 목표

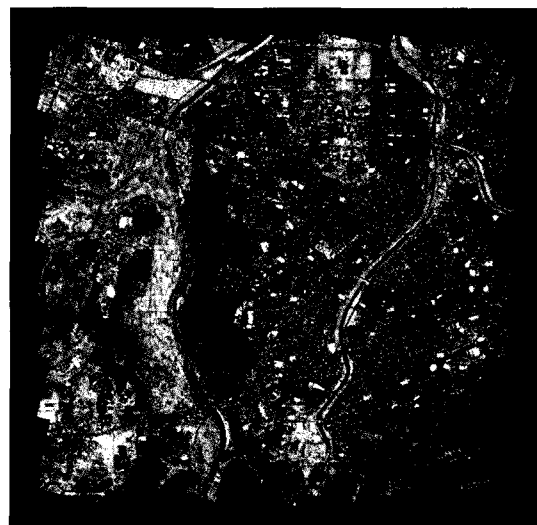


그림 4. 수치정사영상

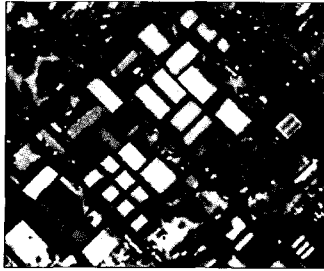


그림 5. 건물추출 대상지역

로 하고 있다. 이러한 영상해석의 자동 시스템은 수많은 각종의 정보로부터 관련정보만을 추출하는 능력, 예제들로부터 학습에 의해 지식을 일반화하여 이를 다른 환경에 적용시키는 능력, 불완전한 정보로부터 완전한 정보를 추론하는 능력을 필요로 한다.

본 연구에서는 먼저 영상 전처리 과정을 통해 영상을 개선하고, 경계선 추출, 직선 추출 및 깊이 우선 탐색에 의한 건물자동추출 과정 등으로 연구를 수행하였다. 건물을 자동 추출하기 위하여 다양한 형태의 건물들이 밀집되어있는 지역을 대상지역으로 선정하였으며, 대상영상은 건물과 주변부분과 뚜렷한 대비를 나타낼 수 있도록 전처리과정을 거쳐 그림 5와 같은 대상영상을 획득하였다.

4.1 경계선 추출

본 연구에서는 기존에 사용하고 있는 여러 경계선 추출 연산자를 대상영상에 적용하여 가장 양호한 결과를 나타내는 연산자를 이용하였으며, 실험결과 canny 연산자가 가장 양호한 결과를 나타내었다.

John Canny는 경계선 추출은 좋은 추출(good detection), 좋은 국부화(good localization), 하나의 경계선에 대응(response to a single edge)해야 하는 세 가지의 기준을

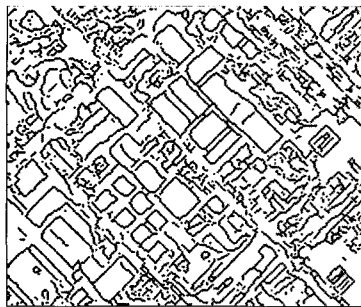


그림 6. canny 연산자에 의한 경계선 추출

만족해야만 한다고 제안하였고, 이 기준을 모두 만족하는 경계선 추출 연산자를 canny 연산자라고 한다(Jain 등, 1995). 대상영상에 canny 연산자를 적용한 결과 그림 6과 같이 경계선을 추출할 수 있었다.

추출된 경계선 영상은 매우 복잡한 형태이므로 이를 단순화하여 계산량을 줄이기 위하여 잡음을 제거하였다.

4.2 직선추출

경계선 추출 기법은 화소의 밝기값을 기초로 영상처리를 하기 때문에 직선으로 이루어진 외곽 정보를 정확한 직선으로 인식하지 못하고 불규칙하게 연속된 화소로 인식한다. 따라서, 대부분 직선의 조합으로 이루어져 있는 건물에 대한 정확한 외곽정보를 추출하기 위해서는 직선추출 기법을 이용하여야 한다.

최근 수년동안 허프변환(hough transformation)과 라돈변환(radon transformation)은 2차원 영상으로부터 직선을 검출하는 효율적인 방법으로 영상처리, 컴퓨터 비전 및 신호처리분야에서 주목받아 왔다. 라돈변환에 의한 직선추출은 고속푸리에변환(FFT ; Fast Fourier Transform)에 의해 처리속도가 빠르며, 영상내의 잡음에 비교적 영향을 많이 받지 않는 장점이 있다.

2차원 함수 $f(x, y)$ 의 투영이란 그림 7과 같이 특정 방향으로 선적분의 형태이다.

이와 같은 투영은 어떤 각도 θ 로도 계산할 수 있으며, 함수 $f(x, y)$ 의 라돈변환은 식 (1)과 같다.

$$R_{\theta}(x') = \int_{-\infty}^{\infty} f(x' \cos \theta - y' \sin \theta, x' \sin \theta + y' \cos \theta) dy' \quad (1)$$

여기에서 x' , y' 및 x , y 의 관계는 식 (2)와 같다.

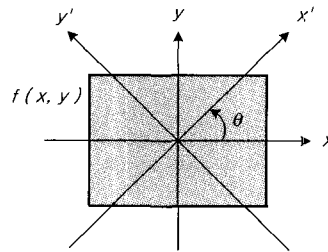


그림 7. 2차원 함수의 투영

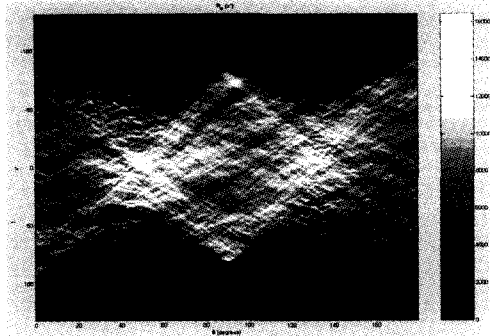


그림 8. 대상영상에서 라돈변환 결과

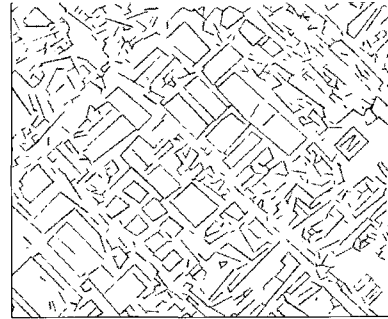


그림 9. 대상영상의 직선추출결과

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (2)$$

대상영상의 경계선영상에 라돈변환을 적용한 결과 그림 8과 같이 가로축 θ 와 세로축 x' 로 나타낼 수 있다. 라돈변환 결과 각각의 피크점에서 직선성분이 존재하고 있음을 알 수 있으며, θ 와 x' 의 관계를 이용하여 그림 9와 같이 경계선 영상에서 949개의 직선성분을 추출할 수 있었다.

4.3 건물 자동추출기법

그림 9과 같이 추출된 직선성분들은 매우 복잡한 형상으로 이루어져 있으며, 이들 직선성분들 가운데 건물에 해당하는 직선성분만을 결정하고, 건물을 재구성하기 위하여 깊이 우선 탐색방법을 이용한 건물추출기법을 개발하였다.

깊이 우선 탐색(Depth First Search)방법은 인공지능 분야 중 하나인 문제해결을 위한 탐색방법으로 탐색을 컴퓨터를 이용하여 프로그래밍하기 위해서는 주어진 문제에 대해 컴퓨터가 처리할 수 있도록 그 문제를 정의해야 하고, 현재의 상태를 표현할 수 있는 상태공간(state space)을 정의한 후 이 문제에 적절한 탐색 방법을 찾아 적용해야 한다 (Gonzalez 등, 2002).

주어진 문제를 가장 먼저 고려해야 할 사항은 주어진 문제를 명확하고 간결하게 정의해야 하는 일이다. 즉, 주어진 문제를 컴퓨터가 이해하도록 표현해 주어야 이에 맞는 탐색이 이루어 질 수 있다. 탐색은 다음과 같은 순서를 따른다.

우선 주어진 문제의 모든 가능한 상태를 표현할 수 있는 상태공간을 정의하고, 이를 이용하여 시작하려는 초기상태(initial state)와 목표로 하는 목표상태(goal state)

를 기술한다. 탐색을 하기 위해 현재 상태에서 다음 상태로 가기 위한 규칙(rule)을 정하고, 주어진 문제에 적절한 탐색 방법을 선택하여 목표상태를 찾을 때까지 탐색을 계속한다.

탐색 알고리즘을 위한 그래프(graph)는 방향성이 있는 경우인 방향성 그래프(directed graph)와 방향성이 없는 경우인 비방향성 그래프(undirected graph)로 나눌 수 있으며, 다음 정규식과 같이 유한개의 공집합이 아닌 노드(nodes)와 이 노드들을 잇는 호(edges, arcs)로 이루어진다.

$$G = (N, E) \quad (3)$$

여기서, N : 노드(nodes)

E : 호(edges, arcs)

깊이 우선 탐색방법은 현재의 노드로부터 다음 깊이의 노드를 탐색할 때 하나의 자식 노드만을 선택할 수 있다. 즉, 부모 노드가 여러 자식 노드가 있을 때 그 중 하나의 자식 노드만을 선택할 수 있다.

건물과 같은 인공구조물들은 대부분 폐합된 다각형의 형태로 구성되어 있다. 이와 같은 건물의 외곽성분들을 추출하기 위해 영상에서 추출된 직선성분들로부터 그래프 탐색으로 사이클을 검색하였다. 그래프에서 노드는 각각의 직선성분의 끝점들이며, 호는 끝점간을 연결함으로써 노드간의 기하학적 관계를 표현할 수 있다. 건물 탐색을 위한 그래프 정규식은 식 (4)와 같다.

$$G_n = (N_n, E_n) \quad (4)$$

$N_n = \{n_1, n_2, \dots, n_n\}$: 직선성분의 끝점

$E_n = [e_{ij}]$: 노드사이의 기하관계

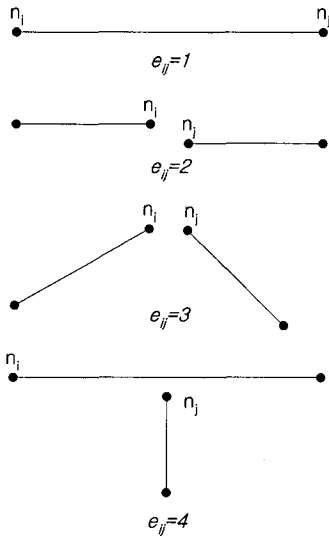


그림 10. 깊이 우선 탐색을 위한 규칙

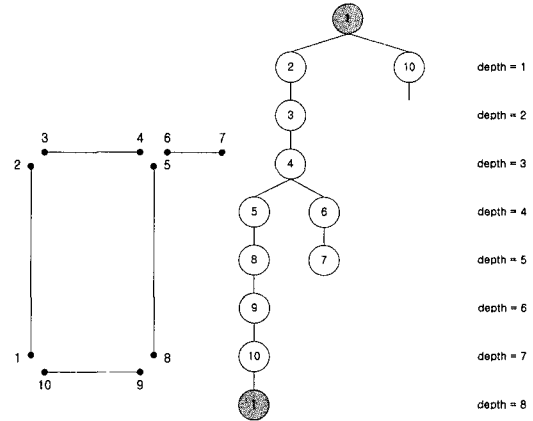


그림 11. 깊이 우선 탐색과 사이클

건물탐색을 위한 규칙은 다음과 같이 규정하여 탐색을 하였다.

- 규칙 1) n_i 와 n_j 는 아무런 기하학적 관계가 없으며, 탐색을 진행하지 않는다. ($e_{ij}=0$)
- 규칙 2) n_i 와 n_j 는 동일 직선의 끝점이며, 이와 연결할 다음 직선성분을 탐색한다. ($e_{ij}=1$)
- 규칙 3) n_i 와 n_j 의 교차각이 $180^\circ \pm 5^\circ$ 이내이고, n_i 와 n_j 의 거리가 3화소 이내 일 때 동일 직선으로 연결하고 다음 근접점을 탐색한다. ($e_{ij}=2$)
- 규칙 4) n_i 와 n_j 의 교차각이 $90^\circ \pm 15^\circ$ 의 범위에 있고, n_i 와 n_j 의 거리는 3화소 이내 위치한다면, 하나의 사이클로 하고, 다음 탐색을 진행한다. ($e_{ij}=3$)
- 규칙 5) n_i 와 n_j 가 T자 형식으로 직각에 가깝게 마주치는 두 직선의 끝점으로, n_i 와 n_j 의 교차각이 $90^\circ \pm 15^\circ$ 의 범위에 있고, 두 직선간의 거리는 3화소 이내 위치할 때, 하나의 사이클로 한다. ($e_{ij}=4$)

깊이 우선 탐색을 통하여 그래프에서 사이클을 찾음으로써 후보 건물들을 탐색할 수 있다. 기본적인 개념은 뿌리 노드에서 출발하여 직선성분들을 따라 다음 노드로 탐색을 진행하고, 출발 노드인 뿌리 노드에서 폐합시킨다. 더 이상 탐색이 이루어 질 수 없게 되면 전에 탐색한 적이 없는 노드가 발견되기 전까지 다시 탐색 경로를 역으로 올라가게 되며, 이와 같은 역추적이 뿌리 노드까지 계속된다

면 탐색은 중지되고 그 노드에서 시작한 사이클 탐색은 실패하게 된다. 탐색은 현재 경로에서 같은 직선성분을 두 번 이상 포함하지 못하는 제약이 있다.

그림 11의 좌측그림과 같은 직선성분에서 각각의 끝점을 노드로 정의하고 1번 노드를 뿌리 노드로 하여 이를 트리 구조로 표현하면 그림 9의 우측그림과 같다. 트리구조에서 뿌리 노드 1번에서 시작하여 깊이 8에서 다시 뿌리 노드로 폐합될 때 하나의 사이클이 형성되며, 사이클은 {1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10}이다.

탐색시 경로가 서로 겹쳐서는 안되며, 직선성분의 목록들을 작성하여 하나의 사이클이 탐색될 때마다 목록에서 그 사이클을 형성하는 직선성분을 삭제하여 같은 사이클이 여러 번 반복하여 탐색되는 것을 방지하였다. 대상영상

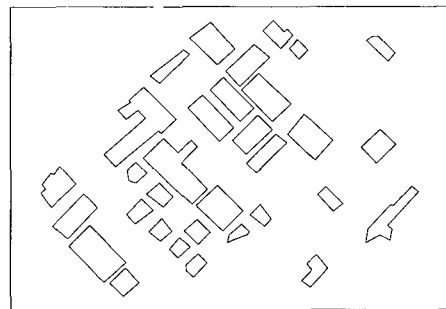


그림 12. 건물자동추출 결과

에서 추출된 직선성분들 중 건물의 외곽선으로 평가되는 직선성분을 깊이 우선 탐색 방법으로 탐색하여 건물을 자동추출한 결과 그림 12와 같다.

4.4 건물추출결과의 평가

본 연구에서 제시한 기법으로 건물을 추출한 결과를 평가하기 위하여 그림 13과 같이 대상영상과 추출결과 및 수치지도와 중첩하여 육안검사를 통해 자동추출시 발생한 오류를 분석하고, 본 기법에 의한 건물 자동추출율을 평가하였다.

대상영상과 추출결과와 중첩하여 비교한 결과, 건물 자동추출시 오류의 발생은 영상에 존재하는 건물이 추출되지 않은 경우 5건, 건물의 일부만 부분적으로 추출된 경우 2건, 인접한 두 건물이 하나의 건물로 인식되어 추출된 경우 2건, 주차장과 같은 건물 외의 대상이 건물로 인식되어 추출된 경우가 2건 발생하였으나, 대상영상의 전체 건물 36개 중 약 72%에 해당하는 26개의 건물들이 추출되었음을 알 수 있었다.

대상지역의 1/5,000 축척의 수치지도와 비교한 결과 수치지도 제작시기와 위성영상의 제작시기가 상이하여 정확한 평가는 어려웠으나, 수치지도와 위성영상간에 공존하는 건물들의 추출결과는 양호하게 나타났다.

연구결과의 보다 정확한 평가를 위하여 대상영상을 수작업으로 도화하였으며, 그림 14와 같이 자동추출결과와 비교함으로써 형태적으로 정확하게 추출되었음을 입증할 수 있었다.

자동 추출된 26개 건물의 각 모서리 점에 대한 수동도화결과와의 비교하여 그 편위량을 측정한 결과, 건물별로 X방향으로 최대 1.834m, Y방향으로 최대 1.461m가 발생하

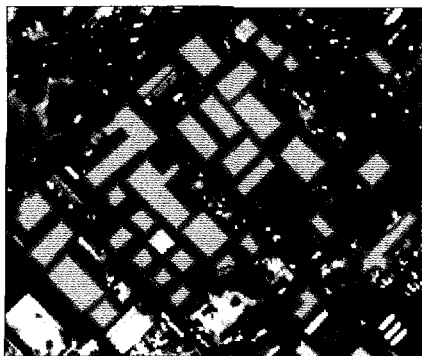


그림 13. 대상영상과 중첩

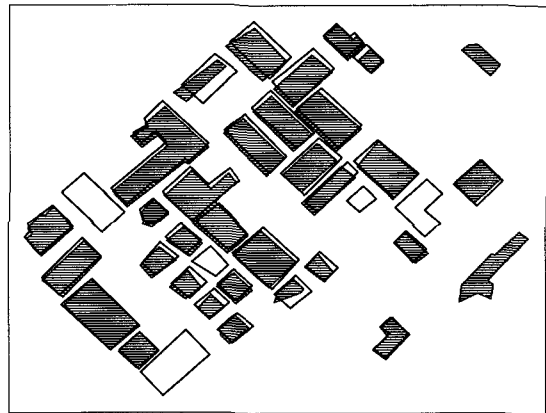


그림 14. 수동도화결과와 비교

였으며, 전체 건물에 대하여 평균 X방향으로 0.850m, Y방향으로 0.626m로 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 고해상도 위성영상을 이용하여, 빈번한 신축·개축 등으로 지형정보의 신속한 갱신이 요구되는 도시의 건물을 자동 추출하기 위한 영상처리 및 영상해석의 처리기법을 정립하고자 하였으며, 연구결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 깊이 우선 탐색방법을 이용하여 추출된 복잡한 직선성분에서 건물에 해당하는 직선성분만을 탐색하고, 건물을 재구성하는 기법을 제시하였다.
2. 연구 결과 대상영상의 총 36개의 건물중 추출시 오류가 발생한 건물을 제외한 26개의 건물이 정상적으로 추출되었으며, 약 72%의 건물 자동추출율을 나타내었다.
3. 대상 영상, 수치지도 및 수동도화결과와 비교한 결과 추출된 건물은 형태적으로 양호하게 추출되었음을 알 수 있었으며, 수동도화결과와 건물의 각 모서리 점에 대한 편위량을 측정한 결과 평균 X방향으로 0.850m, Y방향으로 0.626m로 한 화소 이내의 오차를 나타내고 있다.

감사의 글

본 연구를 위하여 IKONOS 영상을 지원해 준 e-HD.com 사 관계자에게 감사드립니다.

참고문헌

- 박병욱 (2002), 고해상도 위성영상을 이용한 지도제작 가능성 평가, 대한토목학회논문집, 제22권, 제6-D호, 대한토목학회, pp. 1305-1315.
- 이상국 (2000), 공간영상정보 제작, 정보통신부, pp. 1-4.
- Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. (2002), *Digital Image Processing*, Prentice Hall, pp. 591-595.
- Jain, R., Kasturi, R. and Schunck, B. G. (1995), *Machine Vision*, McGraw-Hill, pp. 169-173.
- Lillesand, T. M. (2000), *Remote Sensing and Image Interpretation*, John Wiley & Sons, pp. 435-439.
- Rechar, J. A. (1994), *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Springer-Verlag, pp. 56-66.
- Wolf, P.R. (2000), *Elements of Photogrammetry*, McGraw-Hill, pp. 11-12.
- Zhou, G. and Li, R. (2000), Accuracy Evaluation of Ground Points from IKONOS High-Resolution Satellite Imagery, *PE&RS, ASPRS*, Vol. 66, No. 9, pp. 1103-1112.

(2003년 2월 10일 원고접수)