

정사투영영상의 지형공간정보 추출기법

The Extraction Methods of Geo-Spatial Information from Ortho Image

이재기/충북대학교 토목공학과 교수
최석근/대구미래대학 지적토목과 부교수
박경식/공간정보기술(주) 책임연구원

1. 서 론

최근들어 무허가 건물의 단속이나 도시현황 파악 등 수치지도제작외의 목적으로 촬영된 항공사진을 정사투영영상으로 데이터베이스화하여 활용하고자 하는 여러 가지 연구가 진행되고 있다.^{1,2)}

정사투영영상은 지도상에서 기호로 표현되는 각종 지리정보를 연속된 사진영상으로 표현할 뿐만 아니라 기하학적으로 일반지도와 동일하게 간주되기 때문에 항공사진과 지도의 장점을 모두 가지고 있으며, 일반지도에서처럼 영상으로부터 직접 측정을 수행할 수도 있다.^{3,4)}

그러므로, 정사투영영상을 기반으로 하여 수치영상처리에 의해 지형공간정보를 추출할 경우 정사투영영상의 평면위치 정확도를 그대로 유지할 수 있게 된다. 이러한 이유로, 일부 선진국의 지도학자들은 정사투영영상을 기반으로 영상처리에 의해 수치지도를 직접 제작하려는 연구를 진행 중에 있으나 지형이 복잡하고 대상물에 따라 고유 밝기값이 나타나지 않기 때문에 아직까지 그 성과는 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 정사투영영상을 기반으로 지형공간정보를 추출할 수 있는 수치영상처리기법을 제시하는 한편 추출된 정보를 벡터화하여 소요의 정도를 지닌 수치지도를 제작할 수 있다는 가능성을 제시하는데 목적을 두고 있다.

2. 지형공간정보 추출을 위한 수치영상처리 기법의 개선

정사투영영상은 중심투영에 의한 사진영상과는 달리 지도와 마찬가지로 영상전체가 일정한 축척에 의해 표현된다. 따라서 정사투영영상으로부터 직접 지형공간정보를 취득할 경우 지도와 유사한 정도를 유지할 수 있게 되며, 이를 위해서는 필요한 정보만을 분리하여 취득할 수 있는 수치영상처리(digital image processing)가 요구된다.

영상이란 각 영상소의 밝기값 $f(x, y)$ 을 연속적으로 표현하는 2차원 함수의 집합이다. $f(x, y)$ 값의 범위는 512, 256, 128, 64, 32단계 등 여러 가지가 있으나 일반적으로 항공사진을 수치영상으로 만들기 위한 스캐닝과정에는 256단계의 회색등급(gray level)을 사용한다. 밝기값의 범위는 $0 \leq f(x, y) \leq 255$ 이고, 본 연구의 영상은 모두 이 범위내에서 처리된다.

정사투영영상으로부터 수치영상처리에 의해 지형공간정보를 추출하기 위해서는 특정 대상물의 밝기값에 대한 분포특성을 해석하는 것이 우선 과제가 되며, 해석된 분포특성으로부터 정확한 경계의 인식은 필요에 따라 적절한 영상처리 연산자(operator)를 적용하여 수행하여야 한다.

2.1 조합 경계선 검출기법

영상에 있어서 경계선이란 영상소들의 밝기값이 급격하게 변하는 곳이 연속적으로 분포하는 경우를 말한다. 따라서 영상으로부터 특정 정보를 추출하기 위해서는 농도가 급격히 변하는 곳을 먼저 인식하여야 하며 1차 미분과 2차 미분을 사용하여 구할 수 있다. 1차 미분은 경계선의 방향에 따라 미분값이 달라지므로, 본 연구에서는 식(1)과 같이 방향에 영향을 받지 않는 2차 미분인 라플라시안 연산자(Laplacian operator)⁵⁾를 사용하였다.

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (1)$$

그러나, 라플라시안 연산은 영상소의 농도에 근거하여 처리하기 때문에 외곽이 선형인 정보를 선형으로 인식하지 못하고 단지 연속된 영상소로만 인식할 뿐이다. 때문에, 대부분이 직선형의 형태로 나타나는 인공 지형지물을 검출하기 위해서는 특수한 검출 기법이 부가적으로 필요하다.

영상으로부터 직선을 검출하기 위한 대표적인 방법은 허프(Hough)변환이다.^{6,7)} 허프변환은 기울기와 절편에 의해 직선을 구하는 방법과 (ρ, θ) 좌표를 이용하여 구하는 방법 두 가지로 나누어진다. 첫 번째 방법은 직선의 방정식 $y = ax + b$ 를 이용하여 매개변수 a 와 b 에 의해 영상에서 직선을 검출하는 방법이다. 이 방법은 직선이 수직으로 될 경우 기울기와 절편값이 무한대가 되는 문제점이 있다. 이러한 문제는 두 번째 방법인 $\rho - \theta$ 좌표계를 이용하면 해결될 수 있다. 이것은 영상좌표를 직선의 방정식이나 원의 방정식을 이용하여 거리와 각으로 변환한 다음 원하는 정보를 취득하고 다시 영상좌표로 변환하는 방법이다.

XY 좌표계상의 직선은 거리와 각 (ρ, θ) 매개변수를 이용하여 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2} \sin(\theta + \alpha) \quad (2)$$

여기서, ρ 는 XY 좌표계의 원점 O에서 직선에 그은 수선의 길이이고 θ 는 이 수선이 X축과 이루는 각이다.

이때, XY 좌표계의 한 점을 지나는 직선은 무수히 많으며, 이 직선들은 각각 $\rho - \theta$ 좌표계에서는 하나의 점으로 대응되므로 직선이 많은 경우 이 점들이 모여서 그림 1과 같이 하나의 곡선을 이룬다.

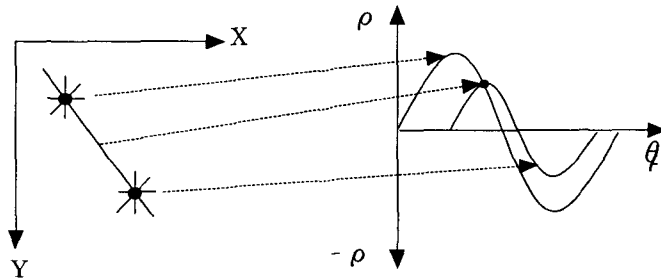


그림 1 Hough 변환

이때, 두 점을 동시에 지나는 직선은 단 하나만 존재하며 이 직선은 $\rho - \theta$ 좌표계에서 한 점으로 표현되며 두 곡선들의 교점이 된다. 즉, XY 좌표계에서의 직선상에 위치한 점들에 의해 만들어지는 $\rho - \theta$ 좌표계의 곡선들은 모두 하나의 교점에서 만나게 된다.

상기한 두 가지 기법은 각각의 특징에 의해 정확하게 지형공간정보의 경계선을 검출할 수 없었다. 따라서 본 연구에서는 상기한 두 가지 기법과 원래의 영상을 적절히 조합함으로써 보다 명확하게 특정 정보의 경계선을 검출하고자 하였다.

그림 2의 좌측은 정사투영영상 중 건물부분만을 확대한 것으로 건물의 형태와 영상소의 밝기값이 다소 복잡하게 분포되어 있으며, 우측 그림은 라플라시안 연산자에 의해 검출된 경계이다.

명암 대비가 뚜렷한 부분에 대해서는 양호하게 검출이 되었지만 옥상외부의 기와 부분이나 우측 부분은 건물의 경계가 흘러서 원하는 경계선을 형성하지 못하고 있다.

그러나, 영상을 2진화하고 허프변환을 적용하여 다각도에서 직선을 검출한 결과 그림 3의 좌측과 같이 건물의 우측부분에서는 직선으로 경계가 검출되어 라플라시안 연산자를 적용했을 때 인접건물로 흘러던

곳이 단절되었고, 하단 부분에서도 옥상 외곽의 기와 부분까지 직선으로 검출되었음을 알 수 있다.

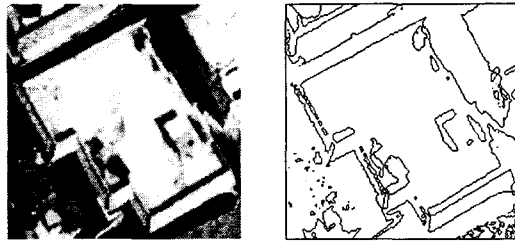


그림 2 건물영상 및 라플라시안 경계



그림 3 허프변환과 경계선의 중첩

보다 명확하게 경계선을 검출하기 위하여, 본 연구에서는 두 기법에 의해 검출된 경계선을 그림 3의 우측과 같이 서로 중첩하여 보았다. 중첩하는 과정에서 허프변환에 의해 검출된 경계는 밝기값 253을 할당하고 라플라시안에 의한 경계는 밝기값을 254로 할당함으로써 두 선형이 구분 되도록 하였다.

다소 복잡해 보이는 하지만 건물의 외곽이 비교적 양호하게 검출되었음을 알 수 있다.

그림 4는 상기한 두 가지 기법에 의해 검출된 경계선을 본래의 영상에 중첩한 것으로 경계가 뚜렷하게 강화된 것을 알 수 있다.



그림 4 허프 및 라플라시안에 의한 경계

이상과 같이 정사투영영상으로부터 지형공간정보를 취득하기 위하여 허프변환과 라플라시안 연산자의 조합에 의해 경계선을 검출하고 다시 원래의 영상에 중첩함으로써, 각각의 연산자를 독립적으로 적용할 때 보다 뚜렷한 경계를 얻을 수 있었다.

그림 5는 이상의 과정을 흐름도로 표현한 것이다.

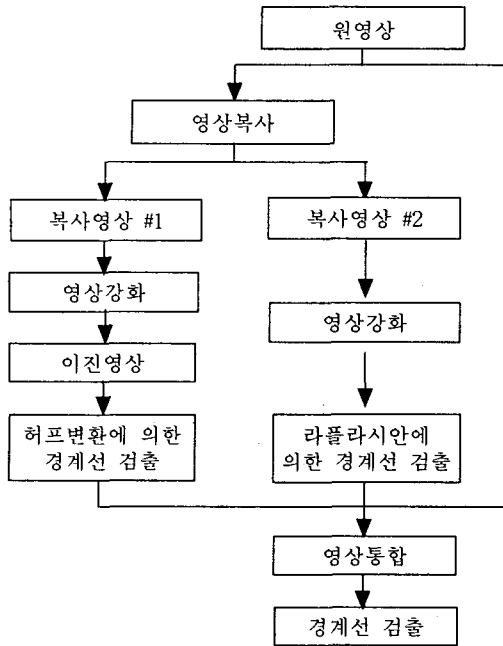


그림 5 조합 경계선 검출기법의 흐름도

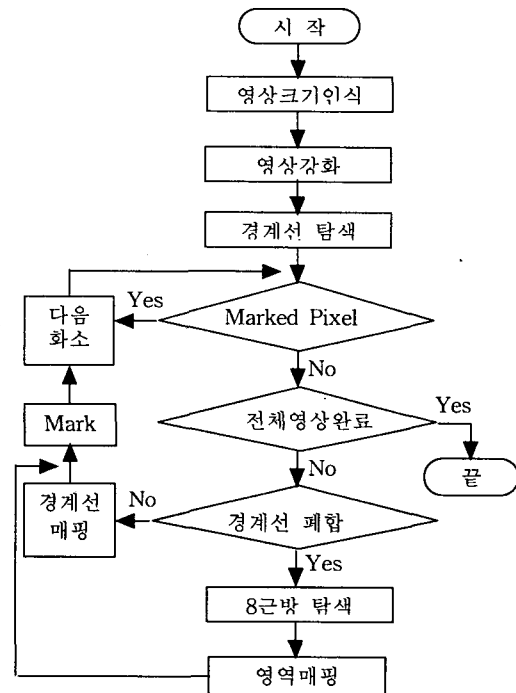


그림 6 8근방 영역탐색 및 재매핑 기법 흐름도

2.2 8근방 영역탐색 및 재매핑

전체영상으로부터 특정 정보에 포함되어 있는 임의의 한 영상소를 인식하여 특정정보 전체를 인식하기 위해서는 근방연산이 필요하다.^{8,9)}

임의의 영상소 (i, j) 에 대하여, 영상소의 집합 $(i + p, j + q)$ 은 그 영상소에 대하여 근방이 된다. 여기서 p 와 q 는 적당한 정수이며, 본 연구에서는 1이다. 따라서, 근방연산은 특정 대상물에 포함된 임의의 영상소 밝기값을 기억하고 연속적으로 4 또는 8근방의 영상소 밝기값을 참조하여 영역전체를 인식할 수 있게 된다.

본 연구에서는 이상의 원리를 이용하여 경계선검출기법에 의해 검출된 경계선을 대상으로 특정 지형공간정보만을 분리할 수 있도록 8근방 영역탐색 및 재매핑 기법을 개발하였다.

먼저, 보다 원활하게 영역 탐색 및 재매핑을 수행하기 위하여 명암대조비를 증가시켜 영상을 강화시켰다. 이때 라플라시안 연산자와 허프변환에 의해 검출된 경계들의 밝기값이 영상강화로 인하여 영향을 받지 않도록 원래의 영상만을 강화 시켰다. 이것은 허프변환에 의해 검출된 경계를 1차 기준으로 탐색하고, 라플라시안 연산자에 의한 경계선을 2차 기준으로 탐색하여 8근방 영역탐색 및 재매핑이 이루어지도록 하기 위함이다.

그림 6은 영상내 특정정보의 폐함된 영역을 인식하기 위한 8근방 영역탐색 및 재매핑 기법의 흐름도이다.

그림 7의 좌측은 라플라시안 연산자와 허프변환에 의해 검출된 경계선을 기준으로 8근방 영역탐색 및 재매핑 한 결과이다. 경계선의 외곽부분을 기준으로 경계선과 그 내부 전체가 회색등급의 밝기값 255로 재매핑 되어 있음을 볼 수 있다.

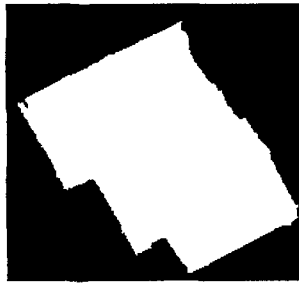
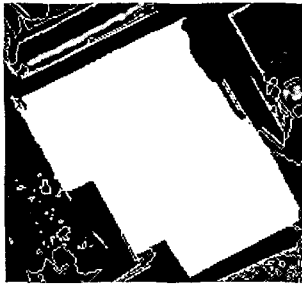


그림 7 8근방 영역탐색 및 재매핑 결과



그림 8 실험대상지의 정사투영영상

특정 대상물을 인식하여 원활한 벡터화를 수행하기 위해서는 대상물과 다른 정보와의 극한 대비가 필요하다.

현재 벡터화는 흑백으로 구성된 이진영상에서만 가능하기 때문에 인식된 정보 역시 이진영상으로 변환 해주어야 한다. 이를 위해서 인식된 특정 대상물은 흰색, 나머지 정보는 모두 검정색으로 이진화 시켜야 하며 이것은 문턱 밝기값(threshold value) 처리에 의해 가능하다.

그림 7의 우측은 8근방 영역탐색 및 재매핑 기법에 의해 인식된 부분에 대하여 문턱 밝기값을 255로 적용하여 배경을 배제하고 특정정보의 영역만 검출한 것이다.

3. 조합경계선 검출/ 8근방 영역탐색 및 재매핑에 의한 지형공간정보의 추출

본 연구에서는 최근 국가지리정보체계 시범구역으로 설정되어 항공사진과 지상기준점 뿐만 아니라 1/1,000수치지도까지 최신의 각종 자료가 구비되어 있는 경기도 과천 일대를 실험 대상지로 선정하였다. 이 지역은 산지와 도로, 도심지역이 골고루 분포하고 있어 여러 가지 실험을 행할 수 있는 장점이 있다.

정사투영영상은 과천시 2차 GIS사업의 일환으로 촬영된 제15번 스트립의 9, 10, 11번 영상을 이용하여 그림 8과 같이 제작하였고, 사용된 항공영상의 촬영고도는 760m, 축척은 1/5,000 그리고 중중복 60%, 횡중복은 30% 이며, 스캐닝 해상도는 1600dpi 이다. 정사투영영상 제작시 내부표정의 잔차는 최대 11.6 μ m이고, 상호표정에서는 평균8 μ m의 표준편차가, 절대표정에서는 평면위치 및 고도값에서 0.1m 이내에 교차가 분포함으로써 법적 허용범위를 모두 만족하였다.

수치영상처리에 의한 지형공간정보의 추출은 도로와 건물 등 주요지형지물과 기타 부분으로 구분하여 수행하였으며, 등고선의 경우 정사투영영상만으로는 직접 생성이 불가능하여 기 제작된 수치지도의 등고선을 편집하여 삽입하였다.

3.1 도로의 추출

그림 9의 좌측은 정사투영영상내에 있는 지방도의 일부분으로서 명암대비가 양호하기는 하지만 차선을 검출하기에는 부족하다.

원래의 영상에 대한 히스토그램이 고대비를 이루도록 하고, 라플라시안 연산자와 허프변환을 통하여 각각 경계선을 검출한 다음 우측 그림과 같이 서로 중첩하였다. 실제로는 검출된 선형이 백색이고 배경이 흑색이지만 편의상 반전하여 나타내었다.

검출된 경계선을 원래의 영상에 그림 10의 좌측과 같이 중첩하고, 8근방 영역탐색 및 재매핑 기법을 적용한 결과 그림 10의 우측과 같이 차선영역을 명확하게 인식할 수 있었다.

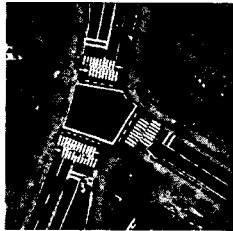
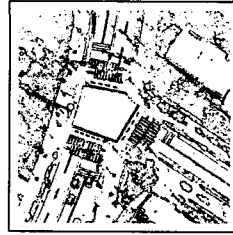
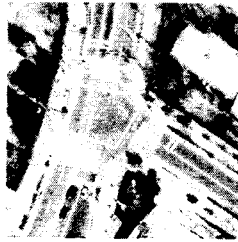


그림 9 도로영상 및 검출된 도로 경계선

그림 10 8근방 영역탐색 및 재매핑에 의한 도로 경계선 인식 결과

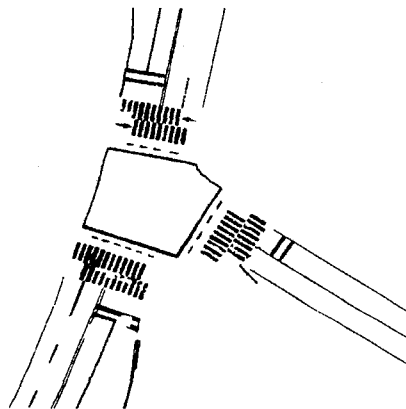


그림 11 추출된 도로정보

그림 11은 그림 10의 결과물에 대하여 문턱 밝기값 255로 이진화 처리한 것으로서 흰색으로 밝게 빛나는 차선만 정확하게 검출되었음을 알 수 있다. 선형이 고르지 못한 부분은 경계선 처리에 의해서만 검출된 것이고 직선으로 고르게 표현된 것은 허프변환에 의해 직선으로 검출된 부분이다.

3.2 건물의 추출

건물의 경우, 강영욱 등은 항공사진으로부터 건물의 선형정보를 묘사하는 작업이 아직까지는 완벽하게 되지 않는다는 결론을 내렸으며²⁾, 유환희 등 역시 건물에 대하여 반자동에 의한 방법을 모색한 바 있다.¹⁰⁾ 이것은 건물이 밀집되어 그늘이나 사각지대가 발생하고 지붕의 채색 등으로 매우 복잡한 밝기 값 분포를 나타내기 때문이다.

본 연구에서 역시 건물경계의 자동검출은 매우 어려운 문제였으며, 이러한 부분에 대해서는 결국 반자동 또는 개별작업으로 처리하였다.

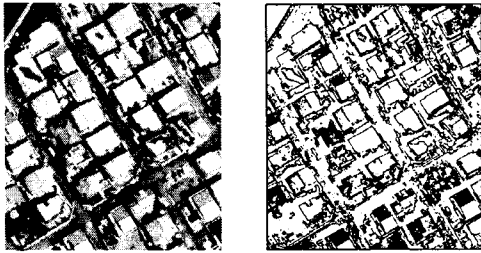


그림 12 건물영상 및 검출된 경계선

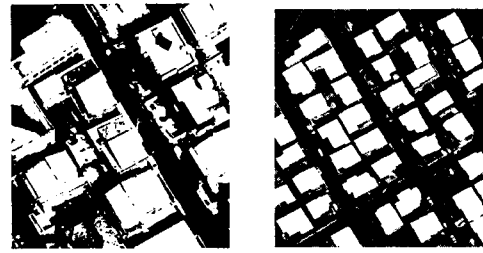


그림 13 좌: 영상과 히프변환 결과의 중첩
우: 8근방 영역탐색 및 재매핑 적용결과

그림 12는 원래의 영상에 대하여 명암대비를 강하게 하고 라플라시안 연산자에 의해 경계선을 검출한 것이고, 그림 13의 좌측은 원래의 영상을 2진 영상으로 처리하여 일부 각도에 대해서만 히프변환한 결과로서 검출된 직선들은 8근방 영역탐색 및 재매핑 단계에서 영역 추출을 위한 1차 경계선으로 활용된다.

이상과 같이 라플라시안 연산자에 의해 검출된 경계선과 히프변환에 의해 추출된 경계선을 원래의 영상에 중첩하고 원래의 영상만 영상강화처리를 할 경우 보다 뚜렷한 경계를 얻을 수 있다.

이때 건물은 앞 단계에서 검출된 두 경계선에 의해 폐합된 영역으로 바뀌게 된다. 폐합된 경계선을 기준으로 하여 본 연구에서 개발한 8근방 영역 탐색 및 재매핑 기법을 적용함으로써 그림 13의 우측과 같이 추출된 건물영역 전체를 밝기값 255로 재매핑 하였다.

재매핑된 건물 영역은 수치영상처리의 마지막 단계인 문턱 밝기값에 의해 그림 14와 같이 배경없이 추출할 수 있었다.

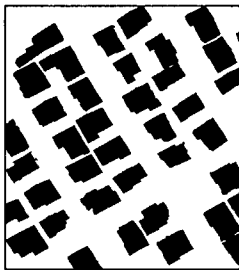


그림 14 추출된 건물정보

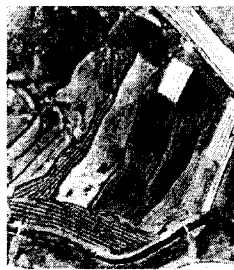


그림 15 농경지 영상 및 흑색 경계선 검출 결과

3.3 기타 지형공간정보의 추출

논이나 수로와 같은 지형공간정보는 그 형상이 상당히 불규칙적이고 밝기값의 대비가 뚜렷하지 않아 정보의 추출을 어렵게 하고 있다. 본 연구에서는 경계선 검출에 흑색을 검출하는 방법과 백색을 검출하는 방법을 병행하여 최종적으로 통합하는 기법을 사용하였다.

그림 15의 좌측은 논과 수로 그리고 도로의 일부가 복합적으로 포함된 영상이고, 우측은 흑색에 대해서 먼저 조합경계선 검출기법을 적용한 결과이다. 그림에서 검은 색을 경계로 하고 있는 것은 논둑과 농수로가 있으며, 흰색은 차선과 비닐하우스가 있다. 먼저 흑색에 대하여 명암대비를 강화하고 경계선 검출을 한 결과 그림 15의 우측과 같이 나타났다. 수로와 도로의 일부까지도 검출되어 있으나 영상소 밝기값이 지형에 따라 복잡하게 분포되어 있는 관계로 매끈하게 검출되지는 않았다.

또한, 원래의 영상에서는 논 내부에 비닐하우스가 존재하고, 도로의 차선도 일부 존재하고 있었으나 흑색에 대해서만 처리를 하였으므로 검출되지 않았다. 따라서, 모든 정보를 추출하기 위해 흰색에 대해서도 동일한 방법으로 경계선 검출이 수행되었으며, 그 결과는 그림 16의 좌측과 같다.

그림 16의 우측은 원래의 영상에 검출된 흑색과 백색 경계선을 중첩한 것이며, 중첩된 영상으로부

터 앞 절과 동일한 방법에 의해 논, 비닐하우스, 수로를 추출하였다. 이때 논, 비닐하우스의 경우 경계가 끊어지는 지점들이 있어 일부 수작업으로 연결하여 주교 8근방 탐색에 의해 영역 추출을 수행하였고, 문턱 밝기값으로 이진화하여 필요한 정보만을 추출한 결과는 그림 17과 같다.

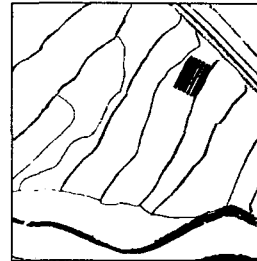
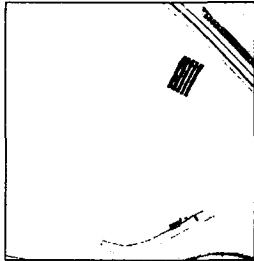


그림 16 백색 경계선 검출 결과 및 중첩

그림 17 추출된 논, 농수로 및 도로

4. 추출된 지형공간정보의 벡터화 및 위치오차 분석

4.1 추출된 지형공간정보의 벡터화

수치영상처리에 의해 추출된 각종 정보들을 지형공간정보체계 또는 수치지도 등 컴퓨터를 이용하여 활용할 수 있는 수치정보로 변환하기 위해서는 벡터화 과정을 수행하게 된다.

본 연구에서는 추출된 정보들을 수치정보로 변환하기 위하여 선형 벡터화와 영역 벡터화 두 가지 모듈로 분류하여 수행하였다. 선형 벡터화는 경계선 내부 전체가 영역으로 추출된 도로 또는 하천, 용수로 및 지류계 등과 같은 단순경계선을 대상으로 하며, 영상소의 중심을 연속적으로 추적하는 선추적 방식으로 수행하였다.

그림 18의 좌측은 실험대상지의 정사투영영상으로부터 모든 도로를 벡터화한 결과로서 도로의 차선뿐만 아니라 도로외곽의 경계선까지 모두 수행된 것이다.

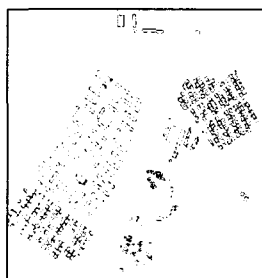
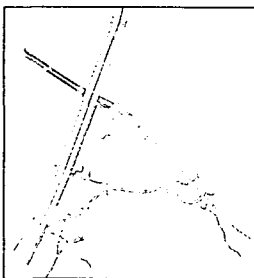


그림 18 도로 및 건물의 벡터화

도로의 경우는 추출된 대상물의 영상을 하나의 선형으로 처리하였으나 건물의 경우 외곽을 선형으로 표현하여야 하므로 특별한 방법으로 벡터화를 수행해야 된다.

건물의 각 변에 대하여 선추적 벡터화를 수행할 경우 수작업이 될 수밖에 없고 이것은 상당히 많은 시간을 요구한다. 따라서 본 연구에서는 추출된 건물 영역의 외곽선을 영역 벡터화 기법에 의해 자동으로 벡터화하고 선형화하였다. 그림 18의 우측은 영역 벡터화된 건물에 대하여 벡터 선형화를 수행한 결과이다.

그림 19는 도로, 건물 및 기타지형지물에 대하여 벡터화 한 것을 통합하고 1/1,000 수치지도의 등고선을 1/5,000 기준으로 일반화하여 삽입한 것이다.

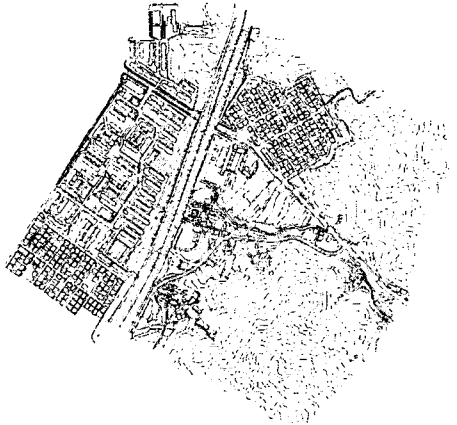


그림 19 완성된 수치지도

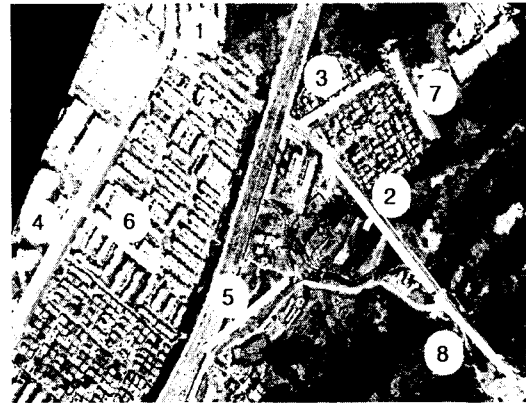


그림 20 위치오차 분석을 위한 실측대상 구간

4.2 위치오차 분석

수치화된 정보의 위치오차를 분석하기 위해 본 연구에서는 실험 대상지에서 임의로 8곳을 선정하여 두 점간의 거리를 실측하고 연구를 통하여 제작된 수치지도로부터 거리를 계산하여 비교하였다. 그림 20에서 흰색으로 표시된 직선들이 실측대상 구간이다.

표 1은 실험대상지에서 직접 관측한 결과와 본 연구를 통해 제작된 수치지도에서 동일지점의 양 끝 좌표를 이용하여 계산된 거리를 나타낸 것이다.

표 1 실측 및 제작된 수치지도의 위치오차(m)

No.		제작된 수치지도		거리	실측값 거리	오차
		X	Y			
1	시작	199894.379	436483.068	72.864	72.783	0.081
	끝	199896.397	436485.938			
2	시작	200195.685	436303.243	333.935	333.830	0.105
	끝	200422.816	436058.449			
3	시작	200143.348	436366.693	182.763	182.649	0.114
	끝	200303.163	436455.358			
4	시작	199723.213	436352.910	423.101	423.202	0.101
	끝	199494.349	435997.051			
5	시작	200098.819	436068.924	220.442	220.463	0.021
	끝	199918.784	435941.716			
6	시작	199638.920	436209.213	190.647	190.579	0.068
	끝	199794.010	436098.337			
7	시작	200423.372	436348.695	168.248	168.111	0.137
	끝	200337.129	436493.158			
8	시작	200604.138	435889.710	228.896	228.789	0.107
	끝	200435.858	436044.872			

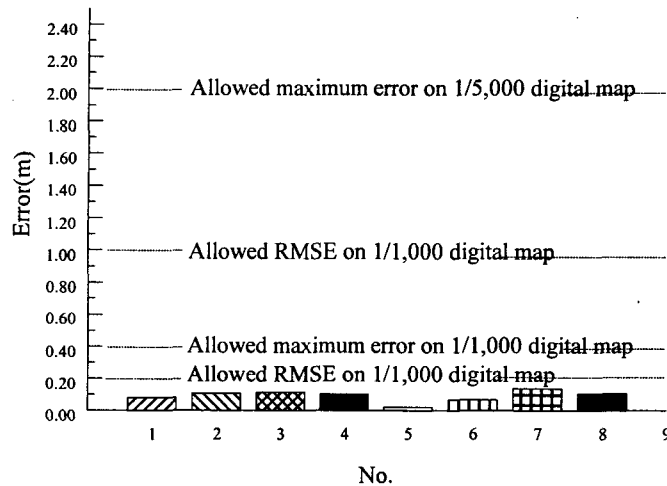


그림 21 제작된 수치지도의 평면위치오차

거리오차를 비교해 본 결과 평균 0.092m의 오차가 발생하였으며, 2번 지점에서 최대오차 0.137m가 발생하였다. 이것은 “수치지도작성작업 내규”에서 정하고 있는 1/5,000 수치지도의 최대 도화오차 2m를 만족하고 있을 뿐만 아니라 1/1,000 기준인 0.4m 역시 만족하고 있다. 이때, 표준편차는 0.104m로서, 1/5,000의 1m와 1/1,000의 0.2m 기준을 만족하고 있음을 알 수 있다. 그림 21은 상기 결과를 도표화한 것이다.

이상과 같이 본 연구를 통하여 제작된 수치지도의 위치오차를 분석해 본 결과 높이에 대해서는 검증이 불가능하였다.

그러나, 평면정확도의 경우 1/5,000 뿐만 아니라 1/1,000 수치지도의 정확도 범위내에 분포하고 있으므로, 1/5,000 축척의 항공사진을 이용하여 허용범위내에서 정밀하게 제작된 정사투영영상이라면 1/1,000 수준의 수치지도를 수치영상처리에 의해 제작 가능할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 정사투영영상을 기반으로 하여 조합 경계선검출 기법과 8근방 영역탐색 및 재매핑 기법 등 여러 가지 수치영상처리 기법에 의해 지형공간정보를 추출하고, 벡터화하여 수치지도를 제작해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 정사투영영상을 기반으로 영상처리에 의해 지형공간정보를 추출하고 수치지도를 제작한 결과 소요의 정도를 지닌 수치지도를 제작할 수 있었다. 따라서 수치지도 제작을 위한 본 연구의 기법과 과정이 타당함을 알 수 있었다.

둘째, 제작된 수치지도의 위치오차를 현장 측량하여 검수한 결과 0.2m 이내의 오차를 나타내고 있었다. 이는 대축척 수치지도에서 요구하는 수준의 정확도를 만족하므로 본 연구를 통해 제작된 수치지도가 소요의 정확도를 지녔다고 판단된다.

셋째, 경계선 검출을 위하여 라플라시안 연산자와 허프변환의 조합기법을 적용한 결과 매우 양호한 결과를 얻을 수 있었으며, 건물이나 도로의 차선 등과 같이 경계선으로 폐합된 대상물의 경우 8근방영역탐색 및 재매핑기법을 개발하여 적용함으로써 보다 정확하게 대상물을 추출할 수 있었다.

넷째, 최근 항공촬영된 영상을 정사투영영상화하여 데이터베이스화하고 있음을 감안할 때, 본 연구의 기법을 이용할 경우 정사투영영상만으로도 수치지도를 제작할 수 있어 신속한 갱신은 물론 소규모 특정지역에 대해서도 개인용 컴퓨터를 이용하여 수치지도를 제작할 수 있으므로 경제성을 확보할 수 있을 것이다.

이상과 같은 결론을 통하여 정사투영영상으로부터 수치지도를 제작함에 있어 본 연구의 기법이 타당함을 입증할 수 있었다. 다만, 논과 밭의 지류나, 건물이 밀집된 지역에서 건물 및 도로의 추출은 복잡한 지형과 영상소 밝기값의 불특정분포로 인하여 반자동으로 처리되었으며, 앞으로 이 부분에 대해서는 지속적으로 심도 깊은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 박병욱(1999) 수치정사사진 구축에 관한 연구, 행정자치부, pp. 1~15.
2. 강영욱, 안재영, 김은모(1998) 서울시 수치정사사진 제작 및 활용방안 연구, 서울시정개발연구원, pp. 157~181, pp. 150~153.
3. Moffitt, H. F., and Mikhail. E. M. (1980), *Photogrammetry*, Harper & Row Publishers, pp. 460~483.
4. Wolf, P. R. (1983) *Elements of Photogrammetry*, McGraw-Hill International Book Company, pp. 324~350.
5. Hildreth, E. C.(1985) *Edge Detection*, Artificial Intelligence Laboratory of the Massachusetts Institute of Technology, pp. 3~19.
6. Hough, P. C.(1962) *Methods and Means for Recognizing Complex Patterns*, US Patent
7. Adamos, C., and Faig, W.(1992) Hough Transform in Digital Photogrammetry, *ISPRS*, Vol. 29, Part B3, Commission III, pp. 250~254.
8. Jensen, J. R.(1996) *Introductory Digital Image Processing*, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, p. 96, pp. 188~190.
9. Sid-Ahmed, M. A.(1995) *Image Processing* McGraw-Hill Book Co., pp. 87~91.
10. 유환희, 손덕재, 김성우(1999) 건물 DEM 생성을 위한 경계검출법 개발, *한국측량학회지*, 제 17권 제 4호, pp. 421~429.