

# 건물 에지 버퍼를 이용한 Quickbird 영상의 도심지 그림자 추출 Shadow Extraction of Urban Area using Building Edge Buffer in Quickbird Image

염준호<sup>1)</sup> · 장안진<sup>2)</sup> · 김용일<sup>3)</sup>

Yeom, Jun Ho · Chang, An Jin · Kim, Yong Il

## Abstract

High resolution satellite images have been used for building and road system analysis, landscape analysis, and ecological assessment for several years. However, in high resolution satellite images, shadows are necessarily cast by man-made objects such as buildings and over-pass bridges. This paper develops the shadow extraction procedures in urban area including various land-use classes, and the extracted shadow areas are evaluated by a manually digitized shadow map. For the shadow extraction, the Canny edge operator and the dilation filter are applied to make building edge buffer area. Also, the object-based segmentation was performed using Gram-Schmitt fusion image, and spectral and spatial parameters are calculated from the segmentation results. Finally, we proposed appropriate parameters and extraction rules for the shadow extraction. The accuracy of the shadow extraction results from the various assessment indices is 80% to 90%.

Keywords : Shadow extraction, Building edge buffer, Quickbird, High resolution satellite image

## 초 록

고해상도 위성영상은 높은 공간해상도의 이점으로 도심지역의 건물 및 도로망 분석, 경관 분석, 생태 환경 평가 등 다양한 분야에 활용되고 있다. 그러나 도심지역의 건물, 교량, 기타 구조물 등 높이 변화를 갖는 개체들은 영상 전체에 걸쳐 그림자 문제를 필연적으로 야기한다. 본 연구에서는 다양한 토지 이용 요소를 포함하는 넓은 영역의 도심지에 그림자 추출 기법을 적용하고, 수동으로 추출된 참조 그림자 지도와 비교하여 정량적인 평가를 수행하였다. 이를 위해 Canny 연산자와 팽창 필터를 이용하여 건물 영역의 인접 정보에 대한 버퍼 영역을 생성하고, Gram-Schmitt 융합 영상에 객체분할기법을 적용하여 생성된 객체들의 분광, 공간 인자들을 계산하였다. 이후 계산된 분광 및 공간 인자 특성과 건물 버퍼 영역과의 중첩여부를 바탕으로 도심지역의 그림자 추출에 가장 적합한 인자와 임계 규칙을 생성하였으며 추출된 그림자 지역 중 이상 객체를 추가적으로 제거하였다. 다양한 정량적 평가 지수를 통해 제안된 그림자 추출 기법을 평가한 결과 80%~90%의 높은 정확도를 나타냈다.

핵심어 : 그림자 추출, 건물 에지 버퍼, Quickbird, 고해상도 위성영상

## 1. 서 론

IKONOS-2, QuickBird-2, KOMPSAT-2 등과 같은 초기 고해상도 상용위성을 시작으로 최근에 발사된 Worldview-2, Geocye에 이르기까지 고해상도 위성의 공간 해상력이 날로 증가하고 있다. 이에 힘입어 고해상도 위성영상을 이

용한 도심지역의 건물 및 도로망 분석, 경관 분석, 생태 환경 평가, 위치기반서비스, 공공 행정 부문을 위한 데이터 구축 등 다양한 연구와 활용이 활발하게 이루어지고 있다. 그러나 고해상도 위성영상과 상호보완 혹은 경쟁 관계를 갖는 항공사진은 비행계획을 통하여 그림자가 적게 생기도록 태양 남중시기에 촬영이 가능한 반면, 지구 주

1) 정회원 · 서울대학교 건설환경공학부 박사과정(E-mail: salt2525@snu.ac.kr)  
2) 교신저자 · 서울대학교 건설환경공학부 박사후연구원(E-mail: chvictor82@gmail.com)  
3) 정회원 · 서울대학교 건설환경공학부 교수(E-mail: yik@snu.ac.kr)

위를 공전하는 고해상도 위성은 원하는 시기에 원하는 지역의 영상을 확보하기 어렵다는 문제가 있다. 더욱이 고해상도 영상의 활용이 크게 요구되는 도심지역의 경우 건물, 교량, 기타 구조물 등 높이를 갖는 여러 공간 개체들과 높은 밀도로 인해 그림자 문제가 크게 발생한다.

영상에 존재하는 그림자는 영상 매칭, 고도 정보 추출, 토지 피복 분류, 건물이나 도로 등과 같은 특징 개체 추출을 어렵게 하는 주요 요인으로 작용하며 도심지 위성영상 분석을 위한 여러 영상 처리 알고리즘의 성능을 저하시킨다. 또한 식생지수와 같이 생·물리학적 변수를 추정할 필요가 있는 경우 그림자가 존재하는 토지피복의 훼손된 정보는 이용이 불가능하다(Leblon 등, 1996). 그림자 추출과 복원은 반드시 필요한 전처리 과정임에도 불구하고 IKONOS-2, Quickbird-2와 같은 고해상도 위성영상에서 그림자가 드리워진 토지 피복을 추출하고 분광정보를 복원하는 일은 매우 어려운 일이다(Dare, 2005).

일반적으로 그림자 추출 연구는 초기 분광값이나 변환된 색상 모델 값에 대해 임계값을 적용하여 그림자를 추출하는 방법(Chen 등, 2007; Chung 등, 2009; Huang 등, 2004; Tsai, 2006), 원영상이나 임계화된 분광정보에 영상 분할기법이나 그림자 경계를 추출하기 위한 필터를 적용하는 방법(Madhavan 등, 2004; Sarabandi 등, 2004; Tsai, 2003), 그리고 태양과 위성의 고도 및 방위각 정보와 수치 표고모델 등의 부가 데이터를 이용하여 그림자를 추출하는 기법(손흥규, 2008) 등이 존재한다. 기존 연구들의 대부분은 임계화 그림자 추출 기법으로서, Dare (2005)와 Chen 등(2007)은 히스토그램의 형태적 분석을 통해 그림자 지역과 비그림자 지역의 분리를 위한 임계값을 도출하고 이를 통해 그림자를 추출하였다. 이후 추출된 개체의 분산이나 제안한 인덱스를 이용하여 그림자로 잘못 추출된 수계(water system)를 추가적으로 제거하였다. Huang 등(2004)은 IHS(intensity-hue-saturation) 모델 변환을 통해 그림자의 색조(hue)값이 비그림자에 비해 낮은 점을 이용해 그림자를 추출한 후 파란색, 녹색 밴드 영역의 임계값을 이용해 잘못 추출된 그림자를 제거하였다. 그림자 추출에는 원영상 혹은 변환된 컬러모델들이 다양하게 이용되는데 Tsai (2006)와 Chung 등(2009)은 그림자 추출에 이용되는 다양한 색상 불변 모델을 통해 그림자를 추출하고 그 정확성을 비교 평가하였다.

그러나 화소 기반의 단순 임계화 기법을 통해 그림자를 추출할 경우, 건물 개체와 일대일 대응되는 온전한 형태의 그림자의 추출이 어렵다는 문제가 있다. Sarabandi 등

(2004)은 색상 불변 인덱스를 이용하여 그림자를 추출한 후 분산 텍스처 필터를 통해 그림자의 경계정보를 강화하였다. 그러나 이 방법 역시 그림자 경계의 정확성과 완전성에 문제가 존재한다. 보다 완전한 그림자를 추출하기 위한 연구로 객체 기반 그림자 추출 기법들이 제안되었으며 Madhavan 등(2004)은 평균 이동 분할 기법과 평균 밝기 값을 이용하여, Tsai (2003)는 쿼드트리 히스토그램 임계화를 통해 그림자를 추출하고 영역 성장 분할 기법을 적용하여 그림자 경계를 추출하였다. 그림자 경계의 정확성과 완전성뿐만 아니라 화소 단위로 그림자를 추출하는지 객체 기반으로 그림자를 추출하는지에 따라 토지 피복 분류의 정확도에 영향을 미치게 된다. Zhou 등(2009)은 지식 기반의 계층적 토지 피복 분류를 수행한 결과, 객체 기반 그림자 추출 기법을 이용한 분류가 화소 기반 기법에 비해 정확도가 다소 높게 나타났다.

뿐만 아니라 위의 그림자 추출에 관한 연구들은 주로 도심지의 일부 건물들에 대해서만 그림자를 추출하였기 때문에 제안하는 알고리즘이 도심지의 다양한 토지 이용 요소를 포함하는 전체지역에 적용 가능한가에 대한 신뢰도에 문제가 있다. 다른 문제점으로는 대부분의 연구들이 추출된 그림자에 대한 정량적인 평가를 수행하지 않거나 시각적으로만 평가하고 있으며, 정량적인 평가가 존재한다 하더라도 다양한 지수가 아닌 오차행렬만을 이용하여 평가하였다는 점이다.

이에 본 연구에서는 화소 기반의 그림자 추출 기법에서 나아가 영상분할기법과 건물 에지 버퍼를 적용하여 온전한 개체의 그림자를 추출하고 잘못 추출된 그림자를 추가적으로 제거하였다. 또한 다양한 토지 이용 요소를 포함하는 넓은 영역의 도심지에 제안 기법을 적용하고 수동으로 추출된 참조 그림자 지도와 비교하여 다양한 평가 지수를 바탕으로 정량적인 평가를 수행하였다. 뿐만 아니라 자료 획득과 처리를 위한 경제적·시간적 비용이 적게 발생하도록 별도의 부가 데이터와 분석가의 수작업 없이 Quickbird-2 영상만을 이용하여 그림자를 추출하였다.

## 2. 연구방법

본 연구에서 제안한 Quickbird-2 영상의 자동 그림자 추출 기법은 크게 4단계의 처리 과정으로 구성된다. 우선, 전정색 영상과 다중분광영상 영상에 GS(Gram-Schmitt) 융합 기법을 적용하여 전정색 영상의 공간해상도를 지니면서 다중분광 영상의 분광정보를 갖도록 전처리한다. 이를 통

해 그림자 추출과 정확도 평가를 위한 그림자 판독의 정확성을 향상시킬 수 있다. 두 번째로 그림자가 존재할 수 있는 후보 지역인 건물 에지 버퍼 영역을 생성하기 위해 융합 영상의 평균값에 Canny 에지 연산자(Canny, 1986)를 적용하여 건물 에지를 추출하고 팽창 필터를 적용해 버퍼 영역을 생성한다. 세 번째, 영상 분할 기법을 통해 융합 영상을 여러 개의 세그먼트로 분할한 후 유사한 분광 정보를 갖는 세그먼트들을 병합한다. 최종적으로 분할 영상의 객체들에 대한 공간인자와 분광인자, 건물 에지 버퍼 영역과의 인접 정보를 통해 그림자를 추출하고 수계, 나지, 아스팔트 도로 등과 같이 그림자로 잘못 추출된 객체를 제거 한다. 본 연구의 전체적인 흐름도는 그림 1과 같다.

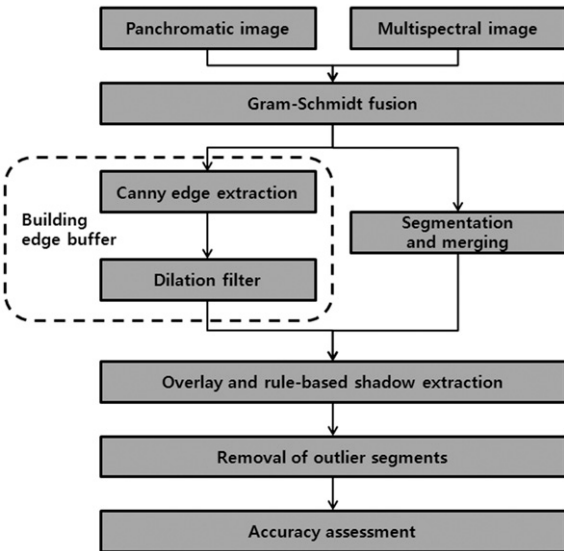


그림 1. 건물 에지 버퍼를 이용한 그림자 추출 기법

### 2.1 영상 융합 및 분할

고해상도 위성영상은 높은 공간 해상도의 전정색 영상과 다양한 파장대의 다중분광영상을 제공한다. 일반적으로 고해상도 전정색 영상은 개체 추출 및 영상 판독 등에 용이하며, 다중분광영상은 토지피복의 분류 및 개체의 분광특성 분석에 장점을 가지고 있다(최재완 등, 2010). 본 연구에서는 효과적으로 도심지의 그림자를 추출하고 정확도 분석 및 평가를 위한 참조 데이터를 구축하기 위해, ENVI 4.5 상용 소프트웨어가 제공하는 GS 융합방법을 적용하였다. GS 융합은 센서별 전정색 영상에 대한 분광 반응 함수(spectral response function)를 이용하므로 사막이나 수계와 같은 균질한 지역에 대해 주성분 분석 융합 기법

보다 정확한 융합이 가능하다는 장점이 있다(Laben 등, 2000). 그림자 지역 또한 균질한 특성을 나타내므로 GS 융합을 통해 그림자 추출의 정확도를 향상시킬 수 있다.

한편, 그림자 추출 시 화소 기반의 분광정보에 대한 임계값만을 적용할 경우 하나로 폐합된 그림자 개체가 온전하게 추출되는 것이 아니라 분광값에 따라 개개의 화소들이 추출되는 문제가 발생한다. 따라서 객체 기반 분할을 융합영상에 적용하여 각 객체를 추출 단위로 하는 분할 영상을 생성하였다. 영상 분할은 ENVI 4.5 상용 소프트웨어의 feature extraction 모듈을 이용했으며 융합 영상을 여러 개의 세그먼트로 조밀하게 분할한 후 유사한 다중분광 정보를 갖는 세그먼트들을 대부분 병합하였다. 이를 통해 수계, 나지, 그림자와 같이 균질한 클래스들은 영상에서 상대적으로 큰 크기를 갖게 된다.

### 2.2 건물 에지 버퍼를 이용한 그림자 후보 지역 생성

실험적으로 공간 및 분광 인자에 대한 임계값을 도출하여 그림자를 추출할 경우 강이나 하천, 아스팔트로 이루어진 도로와 같이 그림자와 분광 특성이 유사한 객체가 잘못 추출되는 문제가 발생한다. 따라서 그림자 추출의 정확도를 높이기 위해 영상에서 그림자 후보지역을 먼저 선정할 필요가 있으며 이를 위해 Canny 연산자를 이용하여 도심지에 그림자를 생기게 하는 주요 원인인 건물의 에지를 추출하였다.

Canny 에지 검출기는 가장 강력한 에지 검출기로 그 방법은 다음과 같이 요약된다(Gonzalez 등, 2003). 첫째, 영상 노이즈를 줄이기 위하여 규정된 표준편차의 가우시안 필터로 영상을 스무딩(smoothing)한다. 이 후 지역적 기울기와 에지의 방향이 식 1과, 2를 통해 각 점에서 계산되며 에지 점은 그 크기가 기울기 방향에서 지역 최댓값인 점으로 정의된다. 식 1과 2에서  $G_x$ 와  $G_y$ 는 x축과 y축의 기울기이며 Sobel, Prewitt, Roberts 등의 에지 검출기를 통해 계산된다. 결정된 에지 점들은 기울기 크기 영상에서 리지(ridge)가 되며 리지의 정상에 따라 가면서 출력에 가는 선을 만들기 위하여 리지 정상에 속하지 않는 모든 화소들은 영이 되도록 한다. 이 리지 화소들은 두 개의 임계값에 의하여 강한 에지와 약한 에지로 분류되며 강한 화소에 8개의 이웃방향으로 연결된 약한 화소를 편입시켜 에지를 최종적으로 추출한다. 실험을 통해 다양한 Quickbird-2 영상에 적용 가능한 가우시안 필터의 표준편차를 1, 강한 에지와 약한 에지의 임계값을 각각 0.2, 0.4로 정하였다.

$$g(x,y) = [G_x^2 + G_y^2]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$\alpha(x,y) = \tan^{-1}\left(\frac{G_y}{G_x}\right) \quad (2)$$

추출된 에지를 통해 버퍼 영역을 생성하기 위해 팽창(dilation) 필터를 적용하였다. 형태학적 영상 처리의 기본이 되는 팽창 필터는 이진 영상에서 객체를 성장시키거나 두껍게 하는 연산이다(그림 2). 키우기의 특정 방식과 정도는 구조 요소라고 부르는 윈도우에 의해 결정되는데, 본 연구에서는 영상의 건물 주 방향에 대한 사전 정보 없이 범용적인 적용이 가능하도록 가장 간단한 40×40 크기 정사각형 구조를 Canny 연산자를 통해 추출된 에지에 적용하였다. Quickbird-2 용합 영상의 해상도는 0.61 m로 40 화소는 약 25 m의 크기이다. 이는 실험적인 값이라기보다는 건물 에지에서 25 m 안에 그림자가 존재한다는 가정을 바탕으로 설정한 임계값이다. 건물 에지 버퍼 영역을 생성함으로써 추출된 그림자 객체와 건물 영역과의 인접성을 판단할 수 있으며 나아가서는 그림자로 잘못 추출된 수계, 나지, 도로 등을 제거할 수 있다.



그림 2. 팽창 필터의 예

### 2.3 규칙 기반 그림자 추출 및 이상 객체 제거

분할된 객체들의 다양한 분광 및 공간인자들을 계산하고 그림자의 특성을 잘 대표하는 인자를 선별하였다. 대표적인 분광인자로는 객체의 네 밴드에 대한 최댓값, 최솟값, 평균, 표준편차 값과 IHS(intensity hue saturation) 컬러 모델 변환 값을 계산하였으며 공간인자로는 객체의 크기, 경계 길이, 조밀도(compact), 볼록함(convexity), 장·단축 비율, 주축과 부축의 방향과 길이 등을 계산하였다. 이 인자들 중에서 객체의 크기, 강도, 건물 에지 버퍼와의 중첩 여부를 이용하여 그림자를 1차적으로 추출하고 그림자로 잘못 추출된 이상 객체(outlier segment)를 제거하였다. 그림자 추출은 다양한 시기에 수집된 Quickbird 영상에 범용적인 적용이 가능하도록 표준화 점수와 통계적으로 의미 있는

임계값을 이용하였다. 그리고 나지와 도로 등 잘못 추출된 객체의 특성을 바탕으로 이상 객체를 제거하기 위한 방법을 제안하고 그림자 추출의 정확도를 향상시켰다.

분할된 객체 중 건물 에지 버퍼와 교차하며 크기 및 강도(intensity)의 표준화 점수(Z-score)가 각각 1 이상 -1 이하인 객체를 추출하였다(표 1). 표준화 점수를 1이나 -1로 기준을 둬으로써 분할 객체의 크기와 강도가 각각 상위 또는 하위 약 16%의 객체를 추출할 수 있다. 이 때 건물 에지 버퍼와의 교차 여부를 판별하여 수계나 나지가 그림자로 잘못 추출되는 것을 방지할 수 있다. 그림자 추출에 크기와 강도 인자를 사용한 이유는 다중 분광 영상 대부분의 밴드에서 그림자의 밝기값은 상대적으로 다른 개체에 비해 낮게 나타나며, 그림자 내에 존재하는 다양한 개체의 고유한 반사 특성이 경감되어 영상 분할 시 그림자는 상대적으로 큰 크기를 갖도록 병합되기 때문이다.

1차적으로 그림자로 추출된 객체에는 수계와 나지, 도로 등이 잘못 포함되어 있다. 상대적으로 균질한 수계와 나지는 분할 과정에서 병합되어 객체의 크기가 그림자와 같이 크게 나타나며, 도로는 분광적으로 그림자와 유사하여 그림자로 잘못 추출되게 된다. 이상 객체를 제거하기 위해 수계와 나지는 건물 에지 버퍼 영역과의 상대적인 크기 비교를 통해, 도로는 분할 객체의 장·단축 비율(elongation)과 분할 객체의 평균 표준편차를 이용하였다(표 1). 분할 객체의 크기가 교차하는 건물 에지 버퍼 영역의 크기보다 3.5배 이상 큰 경우 이상 객체로 판단하여 제거하였는데, 이는 제방과 도로 구조물 등에서 건물 에지 버퍼 영역이 생성된 경우 인접한 수계나 나지가 그림자로 잘못 추출되기 때문이다. 또한 장축과 단축의 비가 4.5배 이상인 객체는 선형성이 강한 도로로 파악하여 제거하였으며 도로의 경우 도로 내 차량이나 도로분리대, 횡단보도와 정지선 같이 페인팅으로 구획된 지시선 등에 의해 그림자보다 객체의 표준편차가 크게 나타나므로 4밴드 평균 표준편차의 표준화 점수가 1보다 큰 경우 도로로 파악하여 제거하였다.

표 1. 규칙 기반 그림자 추출과 이상 객체 제거

Type	Rule
Shadow extraction	Segment ∩ Buffer Z(size) > 1 Z(intensity) < -1
	Size > 3.5 × Buffer Elongation > 4.5 Z(std) > 1

### 3. 실험 및 평가

#### 3.1 실험 대상지역 및 데이터

연구 대상지역은 대전시로서 다세대 아파트 주거지역, 상업 및 업무지역, 대학 캠퍼스와 연구단지, 근린공원, 하천, 산 등 도심지의 다양한 토지 이용 요소를 포함하고 있다(그림 3). 그림 3에서 확인 할 수 있듯이 영상 전체에 걸쳐 그림자가 분포하는 것을 알 수 있다. 기존의 연구들의 경우, 대부분 도심지역의 일부 고층 건물에 대해서만 그림자를 추출하였다는 문제가 있으며 그림자로 자주 오분류되는 하천이나 강과 같은 수계를 포함하고 있지 않다는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 수계에 영향을 받지 않고 도심지에 존재하는 다양한 건물들에 대해 적용 가능한 그림자 추출 기법을 제안하고자 하였다. 2006년 10월에 수집된 Quickbird-2 고해상도 위성영상을 이용하여 실험을 수행하였으며 전정색 영상은 0.61 m, 다중분광 영상은 2.44 m의 공간해상도를 갖는다. 영상은 3206×2823 화소로 2.0 km × 1.7 km의 크기이다.



그림 3. 대전시 Quickbird-2 GS 융합 영상

#### 3.2 영상 분할 및 건물 에지 버퍼 생성

하나로 폐합된 온전한 그림자 개체를 추출하기 위해 객체 기반 영상 분할을 융합 영상에 적용하였다. ENVI 4.5 상용 소프트웨어의 feature extraction 모듈을 이용하였으며 분할 과정은 크게 2 단계로 이루어진다. 첫 번째 단계는 융합 영상을 여러 개의 세그먼트로 분할하는 단계이며 이때 스케일 파라미터가 필요하다. 그리고 두 번째 단계는 분할을 통해 생성된 세그먼트들이 인접하는 세그먼트와 유

사한 분광 정보를 갖는지 비교하여 세그먼트들을 병합하는 단계이다. 이 때 병합 파라미터를 기준으로 병합 과정이 수행된다. 분할과 병합 파라미터는 0에서 100의 값을 지니며 분할 파라미터가 낮을수록 영상을 조밀하게 분할하며 융합 파라미터가 높을수록 많은 세그먼트를 병합하게 된다. 본 연구에서는 낮은 공간 스케일로 융합 영상을 여러 개의 세그먼트로 잘게 분할한 후 높은 병합 수준을 두어 유사한 다중분광 정보를 갖는 세그먼트들을 대부분 병합하고자 하였다. 이용한 분할과 병합 파라미터는 각각 20과 90이며 이를 통해 수계, 나지, 그림자와 같이 상대적으로 균질한 클래스들이 영상에서 정확한 경계를 갖게 된다(그림 4).



그림 4. 영상 분할 결과와 융합 영상

그림자 추출의 정확도를 높이기 위해 융합 영상으로부터 그림자 후보지역인 건물 에지 버퍼를 생성하였다. Canny 에지 검출 연산자를 융합 영상의 평균값에 적용하여 도심지에 그림자가 생기는 주요 원인인 건물의 에지를 추출한 후, 40×40 화소의 팽창 필터를 적용하였으며 그 결과가 그림 5와 같다. Canny 에지 추출에 이용되는 가우시안 필터의 표준편차, 약한 에지와 강한 에지의 임계값은 여러 Quickbird-2 영상에 실험적으로 적용해 본 후 결정되었다. 생성된 건물 에지 버퍼 영역은 영상에 존재하는 건물을 대부분 포함하여 그림자와 교차하게 되며 상대적으로 균질한 산, 하천, 나지, 도로 등에는 에지 버퍼 영역이 생성되지 않는다. 따라서 건물 에지 버퍼 영역은 그림자와의 인접 정보로써 효과적으로 활용될 수 있다.



그림 5. 원 영상과 중첩된 건물 에지 버퍼

### 3.3 규칙 기반 그림자 추출 및 이상 객체 제거

영상 분할을 통해 생성된 객체가 그림자 후보지역인 건물 에지 버퍼 영역과 교차하는지의 여부와 분할 객체의 크기 및 강도를 이용하여 1차적으로 그림자로 추출하였다(그림 6). 객체의 크기 및 강도는 표준화 점수를 이용하여 통계적 의미를 부여하였으며 건물 에지 버퍼 영역과 교차하며 크기의 표준화 점수가 1 초과이고 강도의 표준화 점수가 -1 미만인 객체를 추출하였다. 1차적으로 추출된 그림자에는 하천, 도로, 나지 등이 잘못 포함되어 있다. 이는 수계나 나지 주위에 인접한 제방과 도로 구조물 등에서 에지가 건물로 잘못 추출된 경우, 그림자와 같이 크



그림 6. 1차 그림자 추출 결과

기가 크고 강도가 낮은 수계나 도로가 그림자로 추출되기 때문이다.



그림 7. 최종 그림자 추출 결과

따라서 잘못 추출된 수계, 나지, 도로 등을 제거할 필요가 있으며 건물 에지 버퍼 영역과의 상대적 크기 비교와 분할 객체의 장·단축 비율, 분할 객체의 평균 표준편차를 이용하여 잘못 추출된 이상 객체 제거되었다(그림 7). 그림자 추출과 이상 객체 제거에 이용된 규칙은 앞에서 설명한 표 1과 같다. 객체의 균질성 때문에 큰 크기로 병합되는 수계와 나지의 경우, 대부분이 교차하는 건물 에지 버퍼 영역의 크기보다 3.5배 이상 크므로 이러한 특성을 이용하여 제거하였다. 제방과 도로 구조물 등에서 건물 에지 버퍼 영역이 생성된다 하더라도 인접한 수계나 나지에 비해 그 크기가 작기 때문이다. 또한 도로의 경우 선형성이 강하기 때문에 장축과 단축의 비가 4.5배 이상인 객체가 많으며 도로 내 차량이나 도로분리대, 횡단보도와 정지선 같이 페인팅으로 구현된 지시선 등에 의해 그림자보다 객체의 표준편차가 크게 나타나므로 4밴드 평균 표준편차의 표준화 점수가 1보다 큰 경우 제거하였다. 최종 그림자 추출 결과를 살펴보면, 1차 그림자 추출 결과에서 잘못 포함된 수계와 나지 그리고 도로들이 대부분 제거된 것을 알 수 있다.

### 3.4 정확도 평가

최종 추출된 그림자의 정확도를 평가하기 위해 참조 자료를 구성하였다(그림 8). Quickbird-2 전정색 영상은 0.61 m의 해상도로 개체들의 경계를 구분하기는 쉬우나 다중



분광 정보가 없어 그림자의 정확한 판독이 힘들며, 다중 분광 영상은 개체의 색깔은 구분이 가능하나 정확한 경계를 디지털화(digitizing)하기가 어렵다. 따라서 GS 융합 영상의 판독과 디지털화 작업을 통해 참조 그림자 지도를 구성하였다.



그림 8. 참조 그림자 지도

최종 그림자 추출 결과와 참조 그림자 지도를 함께 나타낸 결과는 그림 9와 같다. 수계나 도로와 같이 그림자로 자주 오분류되는 개체들이 포함되지 않았으며 효과적으로 그림자가 잘 추출된 것을 알 수 있다. 특히 그림자의 대부분을 차지하는 다세대 아파트 주거지역의 경우, 추출된 그림자가 수작업을 통해 구성된 그림자와 대부분 일치하였다.



그림 9. 참조 그림자 지도와 일치하는 그림자 추출 결과(녹색, 누락오차(파란색), 포함오차(붉은색))

그림자가 추출되지 않고 누락된 사례(그림 10 (a), (b))와 그림자로 잘못 포함된 사례(그림 10 (c), (d))를 분석해보면 다음과 같다. 그림 10(a)는 연구 지역 내 건물의 지붕 색깔이 어두워 건물 에지 버퍼가 생성되지 않아 그림자가 추출되지 않은 경우이며, 그림 10(b)는 건물 에지 버퍼가 생성됐으나 상대적으로 그림자 객체의 크기가 매우 작아 그림자로 추출되지 않았다. 그림 10(c)의 경우 그림자와 크기와 강도가 유사한 주차장이 그림자로 잘못 추출되었으며 그림 10(d)에서는 나지가 그림자로 잘못 추출되었다. 이는 건물 에지 버퍼와의 크기 비교를 통해 수계와 나지 같은 대부분의 큰 크기를 갖는 균질한 객체가 제거되었으나 몇몇 객체는 제거되지 않았기 때문이다. 또한 크기와 강도의 표준화 점수를 이용하여 그림자를 추출할 때, 영상에 최적화된 임계값이 아니라 통계적으로 유의미한 임계값을 이용하였기 때문에 몇몇 객체가 그림자로 잘못 추출되었다. 그 외에 같은 그림자라 하더라도 수작업을 통해 디지털화한 경계와 제안 기법을 통해 추출된 그림자 객체의 경계가 서로 달라 경계 부분에서 1~2화소의 차이가 발생한다. 이는 제안기법과 달리 분석가가 참조 그림자 자료를 구축할 때 주관성이 개입되기 때문이다.

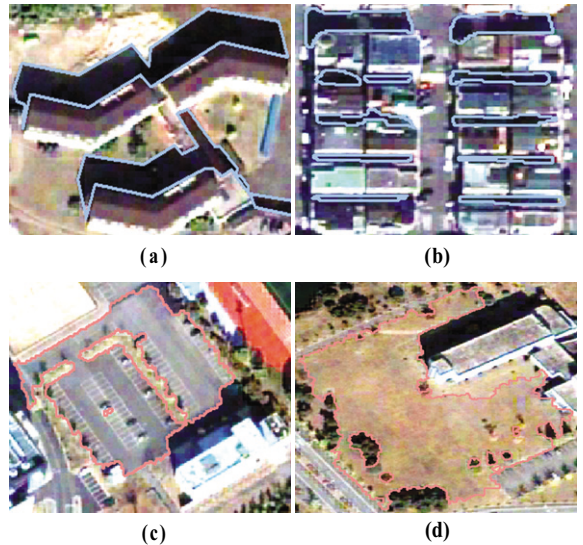


그림 10. 그림자 추출 결과의 누락오차(파란색)와 포함오차(붉은색)

시각적인 평가 외에 수작업으로 추출된 그림자 지도를 바탕으로 면적에 대한 정량적 평가를 수행하였으며 정량적인 평가는 오차행렬과 다양한 정확도 평가 지수를 바탕으로 이루어졌다. 표 2의 2×2 오차행렬 요소들을 각각 (a),

(b), (c), (d)라고 할 때 정확률(precision), 재현율(recall), F 측정치, Jaccard 계수(JC), Yule 계수(YC)는 각각 식 3~7과 같고 지수가 1에 가까울수록 높은 정확도를 의미한다(Sneath 등, 1973).

표 2. 2X2 오차행렬 요소

Unit(m <sup>2</sup> )		Reference data	
		Shadow	Non-shadow
Shadow extraction result	Shadow	True positive (a)	False positive (b)
	Non-shadow	False negative (c)	True negative (d)

정확률은 그림자로 추출된 화소들 중에 실제로 그림자인 화소의 비율을 말하고, 재현율은 실제로 그림자인 화소들 중에 그림자로 추출된 화소의 비율을 말한다. F 측정치는 데이터마이닝 분야에서 많이 사용되는 평가 지수로서 정확률과 재현율을 함께 고려하여 탐지 성능을 평가한다. Jaccard 계수는 그림자 추출 결과에서 누락 및 포함오차를 모두 고려한 평가 지수이며 Yule 계수는 그림자와 비그림자의 정확률을 모두 고려한 평가 지수이다.

$$Precision(p) = \frac{a}{a+b} \tag{3}$$

$$Recall(r) = \frac{a}{a+c} \tag{4}$$

$$F-measure(F) = \frac{2rp}{r+p} \tag{5}$$

$$JC = \frac{a}{a+b+c} \tag{6}$$

$$YC = \frac{a}{a+b} + \frac{d}{c+d} - 1 \tag{7}$$

추출된 그림자에 대한 면적 기반의 오차 행렬과 평가 지수는 표 3과 같다. 실제로 그림자 지역이나 추출 결과에 포함되지 않은 누락오차와 실제로는 비그림자 지역이나 그림자로 잘못 추출된 포함오차가 서로 비슷하게 나타났다. 정확률과 재현율은 약 87%~90%로 높게 나타났으며 기타 F 측정치, Jaccard 계수, Yule 계수 또한 80%~90% 사이로 나타났다.

표 3. 그림자 추출 결과의 면적 기반 오차행렬

Unit(m <sup>2</sup> )		Reference data	
		Shadow	Non-shadow
Shadow extraction result	Shadow	503351	56197
	Non-shadow	72318	2735839

p=0.8996, r=0.8744, F=0.8868, JC=0.7966, YC=0.8738

### 4. 결 론

기존 도심지 그림자 추출에 관한 대부분의 연구는 화소 기반의 단순 임계화 기법을 통해 그림자를 추출하여 완전한 그림자 개체를 추출하지 않았다는 문제가 있으며 도심지의 일부 건물들에 대해서만 그림자를 추출하여 신뢰도에 문제가 존재한다. 본 연구에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 영상분할기법과 건물 에지 버퍼를 이용하여 온전한 개체의 그림자를 추출하였다. 또한 제안 기법을 도심지의 다양한 토지 이용 요소를 포함하는 넓은 영역에 적용하고 다양한 지수를 통해 정량적인 평가를 수행하였다.

제안된 기법은 건물 영역의 인접 정보에 대한 버퍼 영역을 생성하고 객체 기반 영상 분할을 수행함으로써 정확한 경계의 건물 그림자를 효과적으로 추출할 수 있다. 또한 부가적인 데이터가 없어도 Quickbird 영상만을 이용하여 그림자를 추출하는 것이 가능하다. 그림자의 특성을 반영하는 인자와 해당 규칙을 통해 그림자를 추출하였으며, 1차적으로 추출된 그림자에 잘못 포함된 수계, 나지, 도로 등을 제거함으로써 정확도를 향상시켰다. 수동으로 추출된 참조 그림자 지도와 다양한 평가 지수를 바탕으로 정확도를 평가한 결과 80%~90% 사이의 높은 정확도를 나타냈다. 향후, 다양한 위성영상에 제안 기법을 적용하고 효용성을 분석할 것이며 위성센서에 상관없이 적용이 가능하도록 적응적인(adaptive) 그림자 추출 규칙과 이상 객체 제거 규칙을 개발할 계획이다.

### 감사의 글

본 연구는 국방광역감시 특화연구센터 프로그램의 일환으로 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다.



## 참고문헌

- 최재완, 김용일 (2010), 영상의 분광 및 공간 특성을 이용한 고해상도 위성영상 융합 알고리즘, 한국지형공간정보학회지, 한국지형공간정보학회, 제 18권, 제 2호, pp. 79-86.
- Canny, J. (1986), A computational approach to edge detection, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, IEEE, Vol. 8, No. 6, pp. 679-698.
- Chen, Y., Wen, D., Jing, L. and Shi, P. (2007), Shadow information recovery in urban areas from very high resolution satellite imagery, *International Journal of Remote Sensing*, RSPSoc, Vol. 28, No. 15, pp. 3249-3254.
- Chung, K., Lin, Y. and Huang, Y. (2009), Efficient shadow detection of color aerial images based on successive thresholding scheme, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, IEEE, Vol. 47, No. 2, pp. 671-682.
- Dare, P. M. (2005), Shadow analysis in high-resolution satellite imagery of urban areas, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, ASPRS, Vol. 71, No. 2, pp. 169-177.
- Gonzalez, R. C., Woods, R. E. and Eddins, S. L. (2004), Digital image processing using MATLAB, *Prentice-Hall*
- Huang, J., Xie, J. and Tang, L. (2004), Detection of and compensation for shadows in colored urban aerial images, *Proceedings of the 5th World Congress on Intelligent Control and Automation*, pp. 3098-3100.
- Laben, C. A. and Brower, B. V. (2000), Process for Enhancing the Spatial Resolution of Multispectral Imagery Using Pan-Sharpning, *US Patent 6,011,875*.
- Leblon, B., Gallant, L. and Granberg, H. (1996), Effects of shadowing types on ground-measured visible and near-infrared shadow reflectances, *Remote Sensing of Environment*, RSE, Vol. 58, No. 3, pp. 322-328.
- Madhavan, B., Tachibana, K., Sasagawa, T., Okada, H. and Shimosuma, Y. (2004), Automatic extraction of shadow regions in high-resolution ADS40 images - by robust approach of feature spaces analysis, *2004 International Society for photogrammetry and remote sensing*, ISPRS, pp. 379-381.
- Sarabandi, P., Yamazaki, F., Matsuoka, M. and Kiremidjian, A. (2004), Shadow detection and radiometric restoration in satellite high resolution images, *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2004. IGARSS '04. Proceedings. 2004 IEEE International*, IEEE, Vol. 6, pp. 3744-3747.
- Sneath, P. and Sokal, R. (1973), Numerical Taxonomy. The Principles and Practice of Numerical Classification, *W. H. Freeman*
- Sohn, H. and Yun, K. (2008), Shadow-effect correction in aerial color imagery, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, ASPRS, Vol. 74, No. 5, pp. 611-618.
- Tsai, V. J. D. (2003), Automatic shadow detection and radiometric restoration on digital aerial images, *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003. IGARSS '03. Proceedings. 2003 IEEE International*, IEEE, Vol. 2, pp. 732-733.
- Tsai, V. J. D. (2006), A comparative study on shadow compensation of color aerial images in invariant color models, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, IEEE, Vol. 44, No. 6, pp. 1661-1671.
- Zhou, W., Huang, G., Troy, A. and Cadenasso, M. L. (2009), Object-based land cover classification of shaded areas in high spatial resolution imagery of urban areas: A comparison study, *Remote Sensing of Environment*, RSE, Vol. 113, No. 8, pp. 1769-1777.