

객체 기반의 IR-MAD 기법을 활용한 고해상도 위성영상의 무감독 변화탐지

Unsupervised Change Detection for Very High-spatial Resolution Satellite Imagery by Using Object-based IR-MAD Algorithm

최재완¹⁾

Choi, Jaewan

Abstract

The change detection algorithms, based on remotely sensed satellite imagery, can be applied to various applications, such as the hazard/disaster analysis and the land monitoring. However, unchanged areas sometimes detected as the changed areas due to various errors in relief displacements and noise pixels, included in the original multi-temporal dataset at the application of unsupervised change detection algorithm. In this research, the object-based changed detection for the high-spatial resolution satellite images is applied by using the IR-MAD (Iteratively Reweighted- Multivariate Alteration Detection), which is one of those representative change detection algorithms. In additionally, we tried to increase the accuracy of change detection results with using the additional information, based on the cross-sharpening method. In the experiment, we used the KOMPSAT-2 satellite sensor, and resulted in the object-based IR-MAD algorithm, representing higher changed detection accuracy than that by the pixel-based IR-MAD. Also, the object-based IR-MAD, focused on cross-sharpened images, increased in accuracy of changed detection, compared to the original object-based IR-MAD. Through these experiments, we could conclude that the land monitoring and the change detection with the high-spatial-resolution satellite imagery can be accomplished efficiency by using the object-based IR-MAD algorithm.

Keywords : High-spatial Resolution Satellite Imagery, Object-based Change Detection, Cross-sharpened Images, IR-MAD

초 록

원격탐사 자료를 활용한 변화탐지 기법은 재난/재해, 국토모니터링 등의 다양한 분야에서 활용가능하다. 그러나, 고해상도 위성영상을 활용하여 무감독 변화탐지를 수행할 경우에는, 기복변위 등에 의한 기하학적인 오차와 영상의 노이즈 정보에 의하여 미변화지역들이 변화지역으로 오탐지될 수 있는 문제점을 지닌다. 따라서 본 연구에서는 대표적인 변화탐지 기법인 IR-MAD 기법을 활용하여 고해상도 위성영상에 대한 객체 기반의 변화탐지를 수행하였다. 특히, 교차융합기법으로 부가적인 자료를 생성하여 객체 기반의 변화탐지 정확도를 향상시키고자 하였다. KOMPSAT-2 위성영상을 활용한 실험을 수행한 결과, 화소기반의 IR-MAD 기법과 비교하여 객체 기반의 IR-MAD 기법이 높은 변화탐지 정확도를 보이는 것을 확인하였다. 또한, 교차융합영상을 활용하였을 경우가 원 다시기 영상만을 사용하였을 때보다 높은 변화탐지 정확도를 보였다. 이를 통해, 객체 기반의 IR-MAD 기법이 고해상도 위성영상을 활용한 국토의 변화탐지를 효과적으로 수행할 수 있음을 실험적으로 증명하였다.

핵심어 : 고해상도 위성영상, 객체 기반의 변화탐지, 교차융합영상, IR-MAD

Received 2015. 07. 30, Revised 2015. 08. 05, Accepted 2015. 08. 22

1) Member, School of Civil Engineering, Chungbuk National University, Korea (E-mail: jaewanchoi@chungbuk.ac.kr)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

KOMPSAT-2, 3 및 Worldview-3 등 1m 이내의 매우 높은 공간해상도(VHR, Very High-spatial Resolution)를 가지는 고해상도 위성영상 및 무인항공기(UAV, Unmanned Aerial Vehicle)에 의한 디지털 항공영상의 취득 가능성이 증대됨에 따라서, 고해상도 영상의 다양한 활용분야에 대한 연구가 증대되고 있다. 특히, 도심지역을 포함한 국토의 변화양상의 모니터링을 비롯하여, 재난/재해가 발생한 지역을 효과적으로 검출하기 위한 변화탐지 기법은 원격탐사 및 사진측량을 포함한 영상처리 분야에서 핵심적인 활용기술이다. 일반적인 변화탐지 기법은 감독 변화탐지와 무감독 변화탐지 기법으로 구분할 수 있다. 감독 변화탐지 기법의 경우에는 대상지역의 변화지역 유무와 더불어 변화양상을 확인할 수 있는 장점을 가지고 있지만, 훈련자료(training data)가 필요하기 때문에 사용자의 개입이 필요한 단점을 지닌다. 무감독 변화탐지 기법은 변화지역의 변화유무만을 파악할 수 있지만, 훈련자료를 필요로 하지 않음에 따라 사용자의 개입이 불필요한 장점을 지닌다. 따라서, 효과적인 재난/재해 등의 모니터링 등의 목적을 위하여 빠른 시간내에 변화지역을 추출하기 위해서는 무감독 변화탐지 기법이 많은 활용가능성을 가지고 있으며, 이에 따른 다양한 연구들이 진행되고 있는 실정이다.

원격탐사 영상을 이용한 무감독 변화탐지에 대한 연구는 다중분광(multispectral) 영상, 초분광(hyperspectral) 영상 등을 활용하여 진행되고 있으며, 30m 급의 중해상도 위성영상과 1m 이내의 VHR 위성영상에 이르는 다양한 공간해상도를 지니는 위성영상에 대하여 수행되고 있다. 국내의 경우, Park *et al.*(2003)이 위성영상의 변화탐지를 위하여 변수 추정에 의한 임계치 추출 기법에 대한 연구를 수행하였으며, Kim and Kim(2008)은 누적 유사도 측정 기법을 활용하여 다중분광 및 초분광 영상에 대한 무감독 변화탐지를 수행하였다. 또한, Wang *et al.*(2013)은 고해상도 위성영상의 융합에 사용되어지는 융합평가 지수를 활용하여 변화탐지를 수행하고, 이에 따른 정확도를 평가하였다. 국외의 경우, Carvalho Junior *et al.*(2011)은 유클리디안(euclidean) 거리, 마할라노비스(Mahalanobis) 거리, SAM(Spectral Angle Mapper), SCM(Spectral Correlation Mapper) 등을 이용하여 CVA(Change Vector Analysis) 기법을 적용하고, 이에 따른 결과를 분석하였다. 또한, Erturk and Plaza(2015)는 분광혼합분석(spectral mixture analysis)을 이용하여 초분광 영상의 변화탐지를 수행하였다. 특히, Nielsen(2007)에 의하여 제안된 IR-MAD(Iteratively Reweighted-Multivariate Alteration

Detection)은 다중분광 및 초분광 영상에 모두 적용가능하며, 기존의 변화탐지 기법들과 비교하여 높은 변화탐지 정확도를 가지는 대표적인 알고리즘으로 알려져 있다. 또한, Marpu *et al.*(2011)은 최적의 초기변화지역 영상을 생성하고 이를 IR-MAD 기법에 적용하여 변화탐지 정확도를 향상시키고자 하였으며, Aleksandrowicz *et al.*(2014)는 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index), 텍스처(texture) 정보, MAD 자료 등을 활용하여 유럽연합(EU) 국의 토지피복의 변화를 추정하고자 하였다. 그러나, 기존의 연구들은 다른 시기에 취득된 다시기(multi-temporal) 위성영상들이 동일한 기하구조를 가지고 있다고 가정하고 실험을 진행하였거나, 개체에 대한 기복변위의 영향이 적은 30m급의 중해상도 위성영상을 이용하여 변화탐지를 수행하였다. 따라서, 건물 등과 같은 개체의 기복이 크게 발생할 수 있는 고해상도 위성영상의 경우에는 기복변위 및 영상간 기하학적 차이를 최소화할 수 있는 변화탐지 기법이 필요하다. 이를 위하여, Wu *et al.*(2013)는 기하보정오차를 최소화하기 위한 OSP(Orthogonal Subspace Projection) 기반의 변화척도를 제안하였으며, Marchesi *et al.*(2010)은 기하보정 오차의 영향을 최소화하는 고해상도 위성영상의 변화탐지 기법을 개발하고자 하였다. 또한, Wang *et al.*(2015a)는 영상융합 기법을 활용하여 기하보정 오차를 최소화할 수 있는 객체(object) 기반의 변화탐지 기법을 제안하기도 하였다. 본 연구에서는 Wang *et al.*(2015a, 2015b)에서 제안한 가상의 융합영상 기법에 의하여 생성된 융합영상을 IR-MAD에 적용하였다. 특히, 일반적으로 중해상도 위성영상에 적용했던 IR-MAD 기법을 객체 기반으로 확장하여, 고해상도 위성영상에 적합한 객체 단위의 지형분석을 수행하고자 하였으며, IR-MAD 기법을 객체 기반으로 적용하였을 경우에의 성능을 분석하였다. 또한, 우리나라의 KOMPSAT-2 위성영상에 해당 기법을 적용할 경우에의 변화탐지 수행결과를 분석하여, KOMPSAT-2 위성영상의 활용성을 검증하고자 하였다.

2. 연구 방법

본 연구의 목적은 고해상도 위성영상인 KOMPSAT-2 위성영상에 대하여 IR-MAD 알고리즘을 적용할 경우에 객체 및 화소기반의 변화 탐지 방법에 따라서, 발생하는 결과를 분석하고자 한다. 특히, 객체 기반의 변화탐지 기법을 적용함에 있어, 교차융합영상(cross-sharpened images)을 활용할 경우에 IR-MAD에 의한 변화탐지 정확도의 변화양상을 파악하고자 하였다. 교차융합 영상을 활용한 본 연구의 흐름도는 Fig. 1

와 같다. 첫 번째로 변화 전 영상(reference image)과 변화 후 영상(target image)에 대한 전처리를 수행한 후, 해당 영상들을 이용하여 교차융합영상을 생성한다. 생성된 영상을 이용하여 영상 분할을 수행한 후, 생성된 객체를 기반으로 하여 IR-MAD 알고리즘을 적용하여 최종적으로 변화지역을 추출하였다.

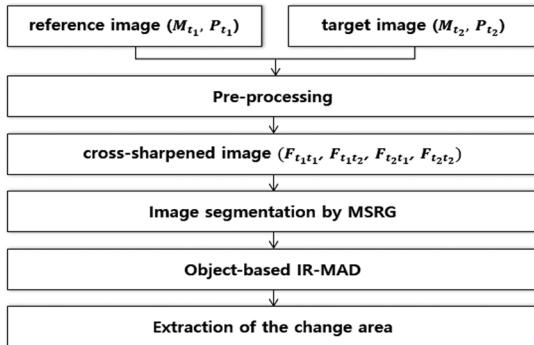


Fig. 1. Workflow

2.1 전처리

변화탐지를 위해서는 다시기 영상의 기하학적인 위치정보는 동일하게 구성되어야 한다. 이를 위하여, 본 연구에서는 두 영상의 동일지점에 대한 지상기준점(GCPs; Ground Control Points)을 수동으로 선정한 후에, 영상 간 기하보정을 수행하였다.

2.2 교차 융합 영상의 생성

30m 급의 공간해상도를 가지는 중해상도 위성영상과 비교하여 1m 내외의 공간해상도를 지니는 고해상도 위성영상은 촬영각에 따라서 다양한 기하학적 특징을 가질 수 있다. 특히, 변화탐지 기법은 다시기 위성영상의 동일한 위치에 존재하는 화소의 밝기값 차이를 통계학적으로 분석하여 변화지역을 구분하기 때문에, 상이한 촬영각에 의하여 취득된 다시기 고해상도 위성영상에 대하여 변화탐지 기법을 적용할 경우에는 촬영각에 의한 기하학적 오차 및 개체의 기복변위 등에 의하여 미변화지역을 변화지역으로 오탐지 할 수 있다. 이러한, 다시기 고해상도 위성영상의 기하학적 특성에 의한 변화탐지 오차를 최소화하기 위하여 Wang *et al.*(2015a, 2015b)는 교차융합기법(cross-sharpening)을 활용한 변화탐지 방법을 제안하였으며, 본 연구에서도 이를 활용하고자 하였다. 교차융합 기법은 동일한 혹은 시기가 다른 다중분광 영상과 고해상도 흑백영상을 통하여 동일한 기하학적 특성을 보이는 융합영상 쌍을 생성하기 위한 방법으로 정의된다. 본 연구에서는 고해

상도의 흑백영상과 저해상도의 다중분광 영상을 동시에 제공하는 위성센서를 이용하여 특정지역에 대한 다시기 영상을 취득하였다고 가정한다. 변화 전 t_1 의 시기에 취득된 고해상도 영상을 P_{t_1} , 다중분광 영상을 M_{t_1} , 변화 후 t_2 에 취득된 영상을 각각 P_{t_2} , M_{t_2} 라고 할 때, 영상융합 기법에 대한 함수 f 를 통하여 생성될 수 있는 각 시기의 고해상도 다중분광 영상 F 는 Eq.(1)과 같이 정의할 수 있다.

$$F_{t_1t_1} = f(P_{t_1}, M_{t_1}), F_{t_2t_2} = f(P_{t_2}, M_{t_2}) \quad (1)$$

P_{t_1} 와 P_{t_2} 의 촬영각이 다를 경우에는 동일 지역 내의 특정 높이값을 가지는 개체들의 공간적인 위치가 상이할 수 있다. 이는 융합영상 $F_{t_1t_1}$ 와 $F_{t_2t_2}$ 을 이용하여 변화탐지를 수행할 경우에는 위에서 언급한 공간적인 변위를 지니는 개체나 지역들이 변화지역으로 오탐지되는 문제가 발생할 수 있음을 의미한다. 교차융합 영상은 위에서 언급한 변화탐지에서 발생할 수 있는 공간적인 변위에 따른 오탐지를 최소화하기 위하여 제안되었으며, Eq.(2)와 같이 정의될 수 있다.

$$F_{t_1t_2} = f(P_{t_1}, M_{t_2}), F_{t_2t_1} = f(P_{t_2}, M_{t_1}) \quad (2)$$

Eq.(1), (2)를 이용하여 생성된 4종의 융합영상을 일반적인 고해상도 위성센서에 대한 교차융합영상이라고 정의할 수 있다. 교차융합영상은 해당 영상들이 가지는 공간적인 특성에 따라서 분류할 수 있다. 예를 들어, Eq.(1)에 의하여 생성된 $F_{t_1t_1}$ 와 $F_{t_2t_2}$ 는 원 고해상도 위성영상과 마찬가지로, 영상 내의 각 개체에 대한 공간적인 특성이 상이하다. 이는 융합영상의 공간해상도가 P_{t_1} 과 P_{t_2} 에 의하여 영향을 받기 때문이다. 그러나, $F_{t_1t_1}$ 와 $F_{t_1t_2}$ 는 P_{t_1} 에 의하여 융합이 이루어졌기 때문에 두 영상 모두 동일한 공간해상도를 가진다. 이러한 현상은 $F_{t_2t_1}$ 와 $F_{t_2t_2}$ 에서도 동일하게 발생하며, 해당 영상들의 조합을 변화탐지에 적용할 경우에는 $F_{t_1t_1}$ 와 $F_{t_2t_2}$ 에서 발생할 수 있는 기하학적 오차에 대한 영향을 줄일 수 있을 것이다. 한편, 효과적인 변화탐지를 위하여 생성된 모든 교차융합영상들은 히스토그램 조정과정을 거쳐 해당 영상 화소들의 밝기값이 유사한 통계적 특성을 가지고도록 조정하였다.

2.2 객체 기반의 변화탐지를 위한 영상 분할 (image segmentation)

지형 내에 존재하는 건물, 나지 등과 같은 특정 물체와 지역들에 대한 변화정보를 효과적으로 분석하기 위하여 기존의 화소 단위의 분석 보다 객체 단위로 분석하는 것이 효과적

일 수 있다. 각 객체들을 하나의 정보로 파악하기 때문에, 기존의 화소 기반의 변화탐지 기법에서 발생할 수 있는 고립된 화소의 오탐지나 노이즈에 대한 오차를 최소화 할 수 있다. 또한, GIS 등 각종 원격탐사 활용분야에서도 객체 기반의 분석 결과가 더욱 효과적으로 적용될 수 있다. 객체 기반의 변화탐지 기법은 크게 영상-객체 기반의 변화탐지, 클래스-객체 기반의 변화탐지, 다시기 객체 기반의 변화탐지로 구분된다(Chen et al., 2012). 영상-객체 기반의 변화탐지는 변화 전/후의 영상을 각각 객체로 분할한 후, 동일지역에 위치하는 객체를 비교하는 방법이며, 영상의 기하학적 변위에 매우 민감한 특성을 지닌다. 클래스-객체 기반의 변화탐지는 각 영상의 객체기반 분류 결과를 비교하는 방법으로, 사용자의 개입이 필요하다는 단점이 있다. 따라서, 객체 기반의 변화탐지 분야에서는 다시기 영상을 하나의 그룹으로 가정하여, 객체의 분할을 통합하여 수행한 후에, 이를 기반으로 변화탐지를 수행하는 다시기 객체 기반의 변화탐지에 대한 활용이 가장 빈번히 이루어지고 있으며, 본 연구에서도 다시기-객체기반의 변화탐지 기법을 활용하고자 하였다. 이를 위하여 F_{t,t_1} 와 F_{t,t_2} 를 하나의 영상으로 각 밴드를 통합한 후, 영상분할 기법을 적용하여 각 객체별 경계를 추정하였다. 한편, 영상분할을 위하여 본 연구에서는 MSRG(Modified Seed-Region Growing) 기법을 적용하였다(Byun et al., 2013). MSRG 기법은 기존의 상용소프트웨어와 비교하여 더욱 명확한 객체를 추출할 수 있다고 알려져 있으며, 다중분광영상에 대해서도 적용할 수 있는 특징을 지닌다(Byun et al., 2013). 한편, MSRG 기법은 최종적인 각 객체간의 병합을 위하여 임계치를 요구하는데, 본 연구에서는 단위 객체별 변화탐지를 수행하는 것이 주목적이기 때문에, 100의 임계치를 적용하여 각 객체들이 과분할되는 것을 최소화하고자 하였다.

2.3 IR-MAD 기법의 적용

IR-MAD 기법은 LANDSAT, Hyperion과 같은 30m 급의 다중분광 및 초분광 영상에 적용하여 우수한 성능을 보인 대표적인 무감독 변화탐지 기법이다(Nielsen, 2007). 본 연구에서는 고해상도 위성영상의 객체 기반 변화탐지에 있어서 IR-MAD 기법의 적용성을 분석하였다. IR-MAD 기법은 다변량 변수 집합에 대하여 가장 높은 상관관계를 가지는 결합벡터를 찾는 정준상관분석(CCA, Canonical Correlation Analysis)의 원리를 기본으로 하며, 이를 활용하여 다시기 영상간의 편차를 최대화하는 분광 변환 계수를 추정하고, 변화지역에 대한 정보를 추정할 수 있다. 개념적인 측면에서 정준상관분석은 주성분분석(PCA, Principal Component

Analysis)과 유사한 특성을 보이지만, 다시기 영상간의 편차를 최대화하는 새로운 분광 변환 영상을 생성한다는 특징을 지닌다. N 개 밴드를 가지는 다시기 영상을 H, G 라고 하면, 정준변수 U, V 는 Eq.(3), (4)을 이용하여 정의된다.

$$U = a^T H = a_1 H_1 + a_2 H_2 + \dots + a_N H_N \quad (3)$$

$$V = b^T G = b_1 G_1 + b_2 G_2 + \dots + b_N G_N \quad (4)$$

where, a and b : the coefficient matrix of CCA.

정준변수는 스케일에 불변하며, Eq.(5), (6)을 이용하여 정준변수 간의 상관도를 최대화 하는 정준계수를 추출한다.

$$\text{Corr}(U, V) = \rho = \text{Cov}(U, V) / \sqrt{\text{Var}(U) \text{Var}(V)} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{Var}(U) &= a^T a, \quad \text{Var}(V) = b^T b, \\ \text{Cov}(U, V) &= a^T b \end{aligned} \quad (6)$$

추출된 계수를 이용하여 정준변수를 결정하며, Eq.(7)과 같이 정준변수의 차이에 대한 영상을 MAD로 정의한다. 정준변수 간의 상관도가 최대가 되도록 영상의 분광변환이 이루어졌기 때문에, 미변화지역에 대한 MAD값에 비하여 변화지역 내의 MAD 값이 상대적으로 큰 값을 나타내게 된다.

$$MAD_i = U_i - V_i \quad (7)$$

최종적인 변화지역에 대한 영상 Z 는 Eq.(8)과 같이 계산할 수 있으며, 일반적으로 영상 Z 의 화소값들은 카이제곱분포(chi-square distribution)을 나타내는 것으로 가정한다.

$$Z = \sum_{n=1}^N \left(\frac{MAD_n}{\sigma_{M_n}} \right)^2 \quad (8)$$

where, σ_{M_n} : the standard deviation of the all observations in MAD.

한편, IR-MAD에서는 Z 가 카이제곱분포를 보인다고 가정하였기 때문에 비변화지역의 기준을 신뢰도 95%인 지역들로 가정하고, 해당 화소들을 추출하여 가중치를 부여한다. 가중치가 부여된 화소들을 이용하여 Eq.(3)~(8)의 과정을 반복한다. 해당 과정은 비변화지역과 각 계수들에 대한 변동이 없을 때까지 반복함으로써, 미변화지역만을 기준으로 하여 다시기 영상 사이의 상관도를 최대로 하는 정준변수를 추출하고, 이를 통하여 최종적인 변화지역 영상을 계산한다. 한편, 본 연구

에서는 4장의 교차융합영상이 존재하며, 다시기 영상의 공간적인 특성에 따라서, 앞서 언급한 바와 같이 $F_{t_1t_1}$ 와 $F_{t_1t_2}$, $F_{t_2t_1}$ 와 $F_{t_2t_2}$, $F_{t_1t_1}$ 와 $F_{t_2t_2}$ 의 3쌍의 조합으로 실험자료를 구성할 수 있다. 따라서, 3쌍의 교차융합영상에 대한 Z 영상을 모두 생성한 후에, 해당 결과를 선형적으로 조합하여 최종적인 변화탐지 결과 영상을 생성하였다(Wang *et al.*, 2015b).

3. 실험 결과 및 분석

3.1 사용 데이터 및 대상지역

본 논문에서는 국내의 고해상도 위성센서인 KOMPSAT-2, 3호를 이용하여 취득된 영상을 이용하여 취득된 다시기의 고해상도 위성영상을 활용하여 실험을 수행하였다(Wang *et al.*, 2015a). 자료의 특성은 Table 1과 같으며, 실험에 사용한 대상지역의 변화 전, 후에 대한 영상은 Fig. 2(a), 2(b)와 같다.

Table 1. Specifications of the EO-1 satellite

Sensor	KOMPSAT-2 (reference image)	KOMPSAT-2 (target image)
Location	Cheongju (Korea)	
Date	2008/08/11	2012/12/05
Nadir angle (°)	34.9	29.9
Spatial resolution (m)	0.7(panchromatic), 2.8(multispectral)	
Spectral resolution (nm)	panchromatic : 500-900 Blue : 490-520 Green : 520-600 Red : 630-690 NIR : 760-900	
Image size (pixels)	2400×2400	

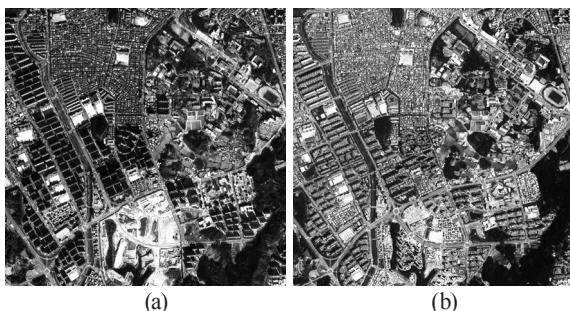


Fig. 2. Study area: (a) reference image, (b) target image

3.2 실험결과

객체 기반의 변화탐지를 위하여 두 영상간의 영상 대 영상 기하보정을 수행하였다. 영상 대 영상 기하보정은 변화 전

지역에 대한 영상(Fig. 2(a))을 기준으로 하여 변화 후 지역에 대한 영상(Fig. 3(b))의 좌표를 보정하였다. 영상에서 총 28개의 지상기준점을 선정하였으며, 2차 다항식을 이용하여 기하보정을 수행하였다. 기하보정에 따른 두 영상의 기하학적 오차는 RMSE(Root Mean Square Error)를 기준으로 하여 약 0.965(화소)로 나타났다(Wang *et al.*, 2015a). 기하보정된 다시기 영상에 대한 교차융합영상의 생성을 위하여 적용한 영상융합기법은 KOMPSAT-2 위성영상에 대하여 효과적으로 융합을 수행할 수 있는 것으로 알려진 NDVI 기반의 위성영상융합기법을 사용하였다(Choi and Byun, 2012). 영상융합기법을 통하여 생성된 4장의 교차융합영상은 Fig. 3에서 확인할 수 있다. Fig. 3의 아파트 단지 지역 부근에서 확인할 수 있는 것과 같이, $F_{t_1t_1}$ 와 $F_{t_1t_2}$, $F_{t_2t_1}$ 와 $F_{t_2t_2}$ 는 유사한 공간적 특성을 지니는 것을 확인할 수 있다.

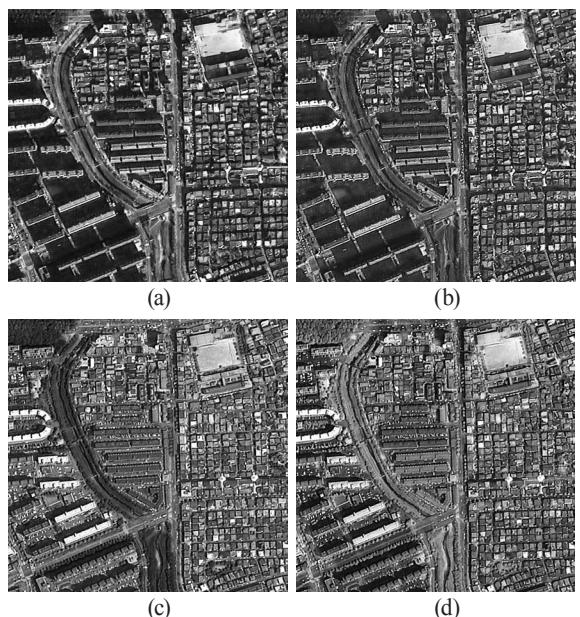


Fig. 3. Cross-sharpening results : (a) $F_{t_1t_1}$, (b) $F_{t_1t_2}$,
(c) $F_{t_2t_2}$, (d) $F_{t_2t_1}$

다시기-객체 기반의 변화탐지를 위하여 생성된 $F_{t_1t_1}$ 와 $F_{t_2t_2}$ 을 통합하였으며, MSRG 영상 분할 기법을 이용하여 총 5487의 객체를 생성하였다. 최종적으로, 분할된 객체들을 기반으로 교차융합영상에 대한 IR-MAD 기법을 적용하였다. 해당 결과를 정량적으로 평가하기 위하여, 원 다시기 영상을 이용한 화소기반의 IR-MAD 기법 결과와 객체기반의 IR-MAD 기법 결과와의 비교평가를 수행하였다. 한편, 실험 결과의 정확도 평가를 위하여 참조영상(ground truth data)을 생성하였

다. 참조영상(Fig. 4(a))은 실제 변화지역과 비변화지역을 구분한 자료로써, Fig. 2(a), 2(b)의 영상을 판독하여 변화지역을 직접 결정하였으며, 해당 지역들은 본 연구에서 수행한 영상 분할 단위의 객체로 디지타이징하여 벡터 기반의 알고리즘과의 비교를 명확하게 하자 하였다. 변화탐지를 위한 참조영상과 이에 대한 변화탐지 결과는 Fig. 4(b)~(d)와 같다.

Fig. 4에서 확인할 수 있는 것과 같이, 화소기반의 변화탐지 결과는 많은 노이즈 자료를 포함하고 있으며, 이에 대한 영향으로 미변화지역들을 변화지역으로 오탐지하는 경우가 크게 발생할 수 있다. 그러나, 객체기반으로 IR-MAD를 적용한 결과(Fig. 4(c), (d))에서는 화소기반의 변화탐지 결과에서 발생

하는 전역적인 노이즈 오차가 크게 제거된 것을 확인할 수 있다. 위에서 언급한 경향은 변화탐지 결과를 확대한 영상(Fig. 5)에서 더욱 명확하게 확인할 수 있었다. 제안된 기법을 이용한 결과(Fig. 5(f))는 화소 기반의 변화탐지와 비교하여 노이즈 오차가 크게 감소되었으며, 객체 기반의 IR-MAD 기법의 결과(Fig. 5(e))와 비교하여 건물지역에 대한 일부 지역들의 오차가 감소되었다.

시각적으로 분석한 결과를 정량적으로 평가하기 위하여 ROC(Receiver Operating Characteristic)곡선과 AUC(Area Under Curve)값을 활용하였다. ROC 곡선은 원격탐사 자료의 변화탐지 및 표적탐지 결과를 평가하기 위하여 사용되는

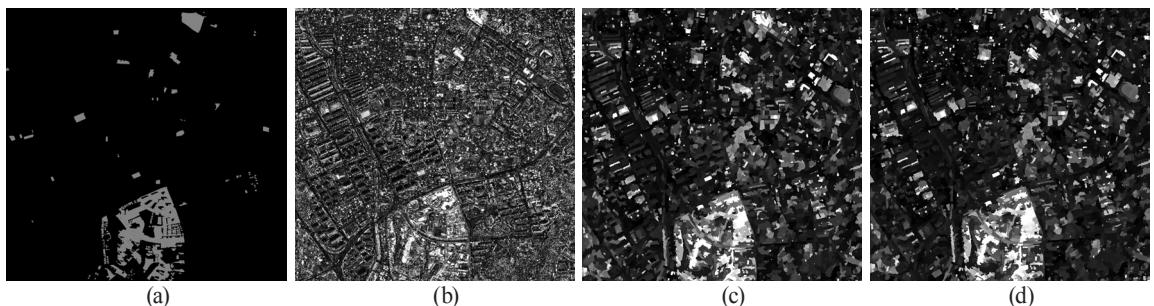


Fig. 4. Change detection results by IR-MAD based algorithms : (a) ground truth data, (b) pixel-based IR-MAD, (c) object-based IR-MAD, (d) object-based IR-MAD using cross-sharpened images

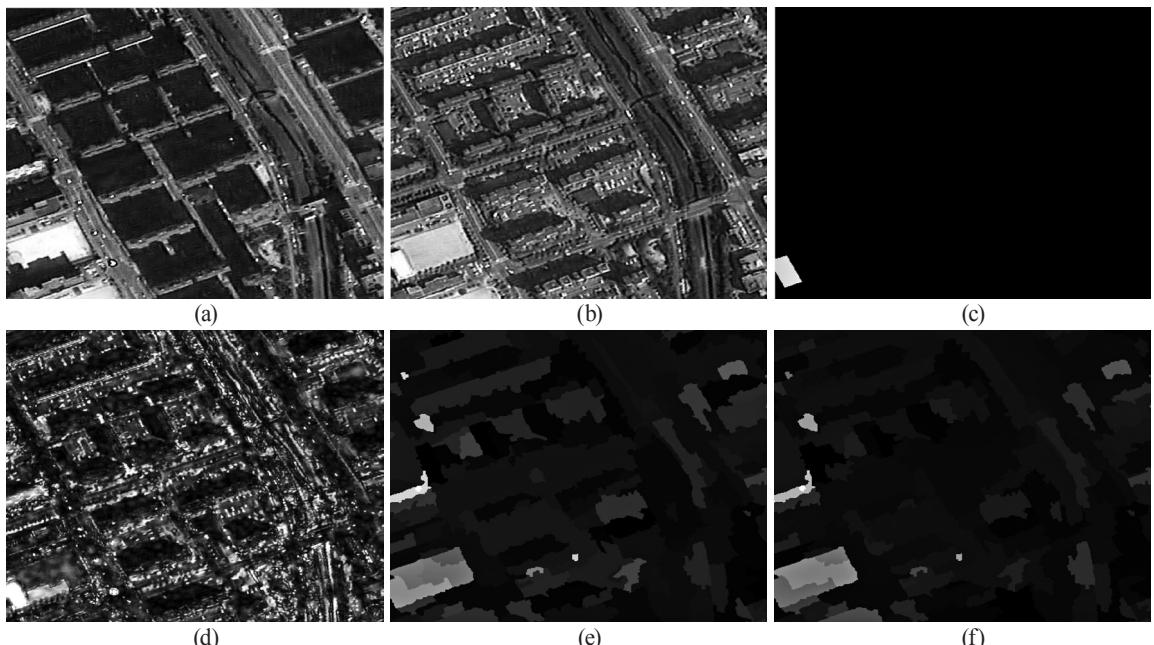


Fig. 5. Details of change detection results by IR-MAD based algorithms : (a) reference data, (b) target date, (c) ground truth data, (d) pixel-based IR-MAD, (e) object-based IR-MAD, (f) object-based IR-MAD using cross-sharpened images

대표적인 평가지수로서, 변화탐지 결과를 이진영상으로 변화하는 경우에 발생하는 탐지비율(detection rate)과 오탐지비율(false alarm rate)를 이진영상을 생성하기 위한 변화탐지 영상의 임계치를 조정하여, 탐지비율과 오탐지비율에 대한 그래프를 생성하는 방법이다. 따라서, ROC 곡선이 y축에 근접할수록, 기법의 성능이 우수함을 의미한다. AUC값은 ROC 곡선의 면적을 계산하여 수치화한 것으로써, 해당 면적이 클수록 기법의 성능이 우수함을 나타낸다. Fig. 6은 해당 변화탐지 기법들에 대한 ROC곡선 결과를 나타내며, Table 2는 이에 따른 AUC값을 의미한다.

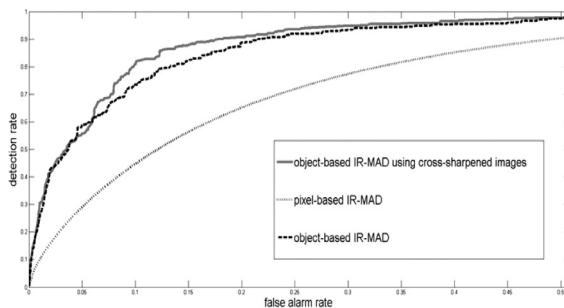


Fig. 6. Results of ROC curve according to change detection algorithms

Table 2. AUC values according to change detection algorithms

algorithm	AUC value
pixel-based IR-MAD	0.8080
object-based IR-MAD	0.9118
object-based IR-MAD using cross-sharpened images	0.9243

Fig. 6에서 확인할 수 있는 것과 같이, 객체 기반의 변화탐지 결과가 화소기반의 변화탐지 결과와 비교하여 높은 성능을 보이는 것을 볼 수 있다. 또한, 교차융합영상을 사용한 변화탐지 결과가 기존의 IR-MAD 알고리즘을 객체기반으로 적용하였을 때와 비교하여 변화탐지 정확도가 일부 개선된 것을 확인할 수 있었으며, Table 2의 AUC 값을 통해서도 이러한 경향을 확인할 수 있다. 따라서, 고해상도 위성영상의 경우에는 IR-MAD를 적용하는 데에 있어서 영상분할을 통하여 얻어진 객체를 활용하는 것이 더욱 효과적이라는 사실을 확인하였으며, 교차융합영상을 부가적으로 활용하여 적용하는 것이 원영상만을 사용하는 것과 비교하여 변화지역을 탐지하는 데에 유용할 것이라고 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 KOMPSAT-2 위성영상을 활용하여 변화지역에 대한 객체기반의 무감독 변화탐지 기법에 대한 실험을 수행하였다. 일반적인 화소기반의 변화탐지 기법이 가지는 기하학적 오차 및 노이즈 정보에 의한 정확도 저하 문제를 해결하기 위하여, 객체 기반의 변화탐지 기법을 적용하였다. 대표적인 무감독 변화탐지 기법인 IR-MAD 기법을 객체 기반의 기법으로 적용하여, 이에 대한 활용성을 분석하고자 하였으며, KOMPSAT-2 위성영상에 객체 기반의 IR-MAD 기법을 적용함에 있어서 교차융합영상을 활용하여 변화탐지 정확도를 향상시키고자 하였다. KOMPSAT-2 위성영상을 활용하여, 국내 지역에 해당 기법들을 적용한 결과, 화소기반의 IR-MAD 기법과 비교하여, 객체 기반의 IR-MAD 기법이 높은 변화탐지 정확도를 보이는 것을 확인하였다. 또한, 교차융합영상을 활용하여 IR-MAD 기법을 적용하였을 때, 기존 기법과 비교하여 AUC값이 약 0.01~0.12 정도 증대되는 것을 확인하였다. 향후, 실제적인 재난/재해지역 탐지 및 국토모니터링 등에 해당 기법을 활용하기 위하여, 다양한 센서 및 지역에 대한 영상을 통한 제안방법의 검증이 필요하다고 판단되며, 추가적인 공간/분광 정보를 활용하여 객체 기반의 IR-MAD 기법의 성능을 더욱 향상시키기 위한 기술개발에 대한 연구가 이루어져야 할 것이라고 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2013학년도 충북대학교 학술연구지원사업에 의하여 연구되었음

References

- Aleksandrowicz S., Turlej K., Lewiński S., and Bochenek Z. (2014), Change detection algorithm for the production of land cover change maps over the European Union Countries, *Remote Sensing*, Vol. 6, No. 7, pp. 5976-5994.
 Byun, Y., Han, Y., and Chae, T. (2013), A multispectral image segmentation approach for object-based image classification of high resolution satellite imagery, *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 17, No 2, pp. 486-497.
 Choi, J. and Byun, Y. (2012), Effects analysis of the image fusion result by a relief displacement and changed area, *in Proc. KSGPC*, 2012, pp. 303–304.

- Carvalho Junior, O. A., Guimaraes, R. F., Gillespie, A. R., Silva, N. C., and Gomes, R. A. T. (2011), New approach to change vector analysis using distance and similarity measures, *Remote Sensing*, Vol. 3, No. 11, pp. 2473-2493.
- Chen, G., Hay, G. J., Carvalho, L. M. T., and Wulder, M. A. (2012), Object-based change detection, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 33, No. 14, pp. 4434-4457.
- Erturk, A. and Plaza, A. (2015), Informative change detection by unmixing for hyperspectral images, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 12, No. 6, pp. 1252-1256.
- Kim, D. and Kim, H. (2008), Automatic thresholding method using cumulative similarity measurement for unsupervised change detection of multispectral and hyperspectral images, *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 24, No. 4, pp. 341-349. (in Korean with English abstract)
- Marchesi, S., Bovolo, F., and Bruzzone, L. (2010), Context-sensitive technique robust to registration noise for change detection in VHR multispectral images, *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 19, No. 7, pp. 1877-1889.
- Marpu, P. R., Gamba, P., and Canty, M. J. (2011), Improving change detection results of IR-MAD by eliminating strong changes, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 8, No. 4, pp. 799-803.
- Nielsen, A. A. (2007), The regularized iteratively reweighted MAD method for change detection in multi- and hyperspectral data, *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 16, No. 2, pp. 463-478.
- Park, N., Chi, K., Lee K., and Kwon, B. (2003), Automatic estimation of threshold values for change detection of multi-temporal remote sensing images, *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 19, No. 6, pp. 465-478. (in Korean with English abstract)
- Wang, B., Choi, S., Choi, J., and Yang, S. (2013), Comparison of change detection accuracy based on VHR images corresponding to the fusion estimation indexes, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 21, No. 2, pp. 63-69. (in Korean with English abstract)
- Wang, B., Choi, S., Byun, Y., Lee, S., and Choi, J. (2015a), Object-based change detection of very high resolution satellite imagery using the cross-sharpening of multitemporal data, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 12, No. 5, pp. 1151-1155.
- Wang, B., Choi, S., Han, Y., Lee, S., and Choi, J. (2015b), Application of IR-MAD using synthetically fused images for change detection in hyperspectral data, *Remote Sensing Letters*, Vol. 6, No. 8, pp. 578-586.
- Wu, C., Du, B., and Zhang, L. (2013), A subspace-based change detection method for hyperspectral images, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, Vol. 6, No. 2, pp. 815-830.