

LANDSAT TM을 이용한 홍수지역의 변화탐지 : Change Vector Analysis 방법을 중심으로

Change Vector Analysis : Change detection of flood area using LANDSAT TM Data

윤근원* · 윤영보** · 박종현***

Yoon, Geun-Won · Yun, Young-Bo · Park Jong-Hyun

要 旨

변화탐지 기법은 지표상의 중요하거나 시간에 따른 작은 변화에 대하여 효율적으로 인지를 할 수 있는 방법으로 원격탐사 기술을 이용하는 중요한 응용 분야 중에 하나이다. 현장 조사 자료와 원격탐사 자료를 복합적으로 활용을 하면 주기적이며 장기적인 관측을 보다 효과적으로 수행을 할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 변화탐지 기법을 LANDSAT TM 위성영상을 이용하여 홍수지역의 침수에 따른 변화지역 인지에 적용하였다. 연구지역은 한반도 낙동강 하류 지역이며, 여러 가지 변화탐지 기법 중에 change vector analysis(CVA)를 중심으로 하여 주성분분석, 화상 대차법을 각각 적용하였으며, 이를 비교하였다. CVA는 영상의 여러 밴드를 이용하여 변화에 대한 크기와 방향의 정보를 제공한다는 장점이 있다. 각각의 변화탐지 기법을 정확도 평가를 통하여 비교한 결과, CVA에 의한 방법이 overall accuracy 97.27%, Kappa 계수 94.45%로 가장 높은 정확도를 나타냈다. 본 연구를 통하여 홍수지역의 변화탐지에 대하여 효율적인 변화탐지 기법을 제안할 수 있다고 기대한다.

Abstract

Change detection and analysis is a powerful application of remote sensing, in that the spectral resolution of multi-band sensors can be used to advantage in monitoring both significant and subtle land cover changes over time. In this study, the LANDSAT TM data was used to detect the change areas affected by flood from a heavy rainfall. The study area is the Nakdong River located in the Korea peninsula. Among the several change detection techniques, change vector analysis(CVA), principle component analysis(PCA) and image difference approach are utilized in this paper. CVA uses any number of spectral bands from multi-date satellite data to produce change image that yield information of the magnitude and direction of differences pixel values. And accuracy assessment was carried out with a change image produced from three techniques. In result, CVA was found to be the most accurate for detecting areas affected by flood. CVA with the overall accuracy and Kappa coefficient of 97.27 percent and 94.45 percent, respectively.

1. 서 론

원격탐사 위성영상은 넓은 지역에 대한 최근의 정보를 짧은 시간에 획득할 수 있으며, 이러한 정보에 대한 주기적인 데이터를 제공한다. 이와 같은 특징 때문에 원격탐사 기술은 국가 공간영상정보 기반 구축과 중요 정책 결정의 자료로 중요하게 사용되고 있으며, 지도제작, 임업, 환경, 농업, 해양, 기상, 지질자원, 수자원 등 많은 분야에서 널리 활용되고 있다. 특히, 원격탐사 위성영상을

이용한 지형변화의 관측은 원격탐사의 여러 응용분야 중 중요한 한 분야로써, 최근 들어 자연적이나 인공적으로 빠르게 많은 변화가 발생하므로 더욱 더 유용하다.

변화탐지 분석의 기본적인 가정은 지표가 다른 형태로 변화하면 두 시기의 화상에서 반사특성 또한 변화한다는 것이다[1]. 이러한 지표의 변화를 감지하기 위해서 원격탐사 위성영상을 이용한 변화탐지 방법은 크게 두 가지로 나눌 수 있다[2][3]. 첫째는 분류 후에 변화탐지를 하는 방법이며, 다른 하나는 분류를 하지 않고 얻어진 자

* 한국전자통신연구원 공간정보기술센터 (gwoon@etri.re.kr)

** 한국전자통신연구원 공간정보기술센터 (yyb63484@etri.re.kr)

*** 한국전자통신연구원 공간정보기술센터 (jhp@etri.re.kr)

료 사이의 분광학적인 특성의 변화를 탐지하는 방법이다. 첫 번째 방법은 정량적으로 변화를 감지할 수 있는 가장 일반적인 방법으로 변화탐지 결과는 각각의 분류 결과에 의존적이기 때문에 정확한 분류가 선행되어야 한다는 전제 조건이 있다[4]. 따라서 이 방법을 이용하기 위해서는 가능한 정확한 분류기를 사용하여야 한다. 두 번째 방법으로는 화상의 차를 이용한 화상 대차법, 화상의 비를 이용하는 비 연산법, CVA(Change Vector Analysis)를 이용하는 방법, 주성분분석(Principal Component Analysis)를 이용하는 방법 등이 있다. CVA는 처음에서 변화가 생긴 시점까지의 방향과 크기를 설명하는 방법으로 Malila(1980)에 의하여 처음 개발되었으며[5], Virag and Colwell(1987)이 조금 더 개선된 방법을 제안하였다[6]. 이러한 CVA는 여러 변화탐지 알고리즘과 함께 홍수 지역에 대하여 적용을 한 결과, 가장 높은 정확도를 나타냈다[7]. 또한, LANDSAT TM 영상을 사용하여 해안지역에 적용한 연구[8], 허리케인의 피해를 분석한 연구[9], 토지 변화에 적용한 연구[2][4][10][11][12] 등이 있으며, 국내에서도 해안지역 지형변화 관측을 위해서 적용된 사례가 있다[13]. 한편, 주성분분석도 역시 변화탐지를 위하여 적용한 사례가 있다[14][15].

본 연구에서는 2002년 8월 말에 발생한 태풍 루사(Rusa)에 의하여 큰 피해를 입은 낙동강 하류 지역을 대상으로 CVA, 주성분분석, 화상 대차법을 각각 적용하여 홍수로 인한 변화탐지를 분석하였다. 또한, 각 방법들에 대한 정확도 평가를 통하여 이러한 홍수지역 변화탐지 방법의 비교·분석에 목적을 두었다. 이러한 연구를 통하여 해마다 여름철에 발생하는 태풍이나 홍수로 인한 피해 분석에 효율적인 변화탐지 방법을 제시하고자 한다.

2. 연구지역 및 자료, 방법

2.1 연구지역과 위성영상자료

본 연구지역은 경상남도 낙동강 하류지역으로서 행정구역으로는 의령군, 창녕군, 창원시, 밀양시에 포함된다. 지리적 좌표는 동경 128° 15' 44"에서 128° 49' 56", 북위 35° 16' 57"에서 35° 25' 5"에 해당되며, 면적은 약 15km × 50km 이다(그림 1). 2002년 태풍 루사(2002년 8월 23일~9월 1일)는 전국적으로 재산피해 5.1조, 인명피해 246명으로 재해 통계가 기록된 이후 최대치를 기록하였으며, 본 연구지역도 1,000억 원 이상의 피해를 입은 지역으로 매우 큰 피해 지역에 해당된다[16]. 낙동강 지역은 경사도가 매우 완만하여, 상류지역의 안동에서도 해발고도 100m에 달하지 못하고, 퇴적이 심한 하류지역에서는 천정천을 이루는데다가 연구지역의 우측

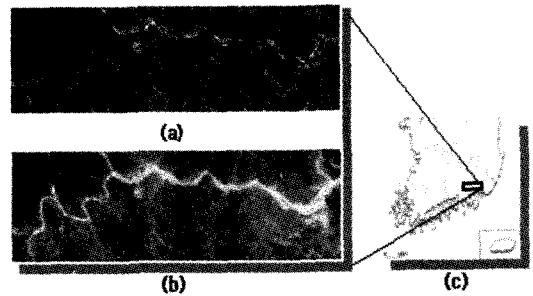


그림 1. 연구지역의 (a) 2001년 영상 (b) 2002년 영상 (c) 위치도

에 위치한 삼랑진 지역에서는 홍수 때의 강물의 소통이 잘 안 되는 협착부를 이루므로 범람이 댐이 건설되기 전까지는 심하였다[17].

본 연구에 사용된 위성영상 자료는 표 1과 같이 LANDSAT 5 TM 영상을 사용하였으며, 일반적으로 홍수 피해 조사에 가장 적합한 영상은 홍수 발생 후 5일 이내에 관측된 자료라는 점에서 2002년 9월 4일 영상을 선정하였다.

또한, 홍수가 발생한 시기와 비교를 하기 위하여 피해 시기와 계절이 같고 연도의 차가 가능한 적은 자료로 2001년 9월 1일 영상을 선정하였다. 이는 광학 위성영상이 가지고 있는 자료 획득의 한계를 고려하면 최적의 자료라고 생각된다.

표 1. 연구자료

	Date	Sensor	Path	Row
Before	2001.09.01	TM	114	36
After	2002.09.04	TM	114	36

2.2 연구방법

본 연구는 다음과 같은 방법으로 수행되었으며, 전체적인 순서도는 그림 2에서 보여준다. 먼저 홍수지역의 변화탐지를 위하여 적합한 연구지역과 영상자료를 조사한 후에 선정하였다. 변화탐지 분석을 위한 영상은 전처리 작업으로 정확한 기하보정과 방사학적 정규화를 하여야 한다[2][7]. 따라서, 지상기준점 획득을 위하여 1:25,000 수치지도를 사용하여 RMSE가 1화소 미만이 되도록 영상을 기하보정을 하였다. 또한, empirical scene normalization 방법[18]으로 방사보정을 하였다. 보정이 완료된 영상은 세 가지 방법에 의하여 변화탐지 분석을 수행하였다. 첫째는 tasseled cap 변환을 하여 얻은 brightness, greenness, wetness 성분을 이용하여 CVA 방법을 적용

하였다. 둘째는 주성분분석 방법을 적용하였으며, 마지막으로는 화상 대차법을 적용하였다. 각각의 방법에 의하여 얻어진 결과는 정확도 평가를 통하여 적절한 임계치를 선정하였다. 또한, 각 방법에 의하여 탐지된 변화 결과를 서로 비교하고 분석을 하였다. 본 연구를 위하여 영상처리 소프트웨어는 ER-Mapper 6.2, ERDAS IMAGINE 8.5와 MATLAB 6.5를 사용하였다.

3. CVA 이론

토지에 변화가 생기게 되면 분광학적인 특성이 달라지게 되며, 처음에서 변화가 생긴 시점에서의 크기(magnitude)와 방향(direction)을 설명하는 벡터를 분석하는 방법이 CVA이다[5][8]. CVA에서 다차원 변화 크기를 정량화 할 수 있는 방법은 변화 공간 내에서 벡터 단점(endpoint) 사이의 euclidean distance를 계산하는 것이다. 이는 변화량으로 계산되어 임계치 이하의 값은 변화지 않은 지역으로 무시되고, 임계치 이상은 변화된 곳으로 감지된다(그림 3). 각 화소의 변화의 크기는 다음의 식 (1)과 같이 나타낼 수 있으며, $BV_{i,j,k(date2)}$ 와 $BV_{i,j,k(date1)}$ 는 각각 k밴드의 date2와 date1의 화소의 밝기 값이다[1].

$$CM_{ixel} = \sum_{k=1}^n [BV_{i,j,k(date2)} - BV_{i,j,k(date1)}]^2 \quad (1)$$

변화의 방향은 섹터에 의해 나타낼 수 있으며, 이는 변

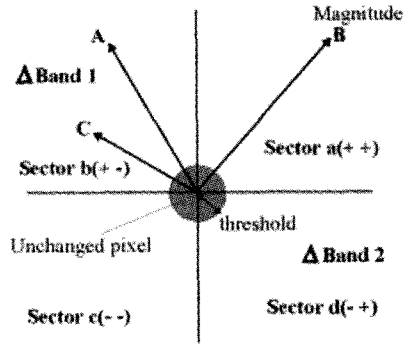


그림 3. CVA의 크기와 방향

---	--+	-+-
1	2	3
-++	↕	+--
4	↔	5
+-+	++-	+++
6	7	8

그림 4. 3개 밴드 사용 시에 가능한 변화섹터

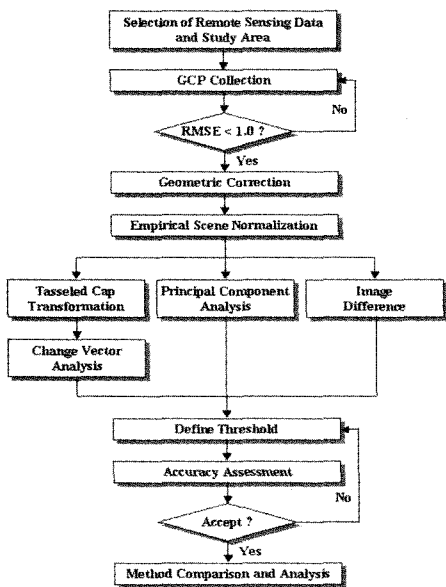


그림 2. 본 연구의 흐름도

화가 증가(positive), 또는 감소(negative)를 하였는지를 설명한다. 섹터의 가능한 형태(type)는 2^n 으로 표현할 수 있으며[6], 만약 3개의 밴드가 사용되었다면, 섹터는 8개로 분류가 가능하다. 8개의 섹터에 대한 방향에 관하여 그림 4에서 보여준다[1].

다른 변화탐지 방법들에 비하여 CVA가 가지는 장점은 여러 다분광 입력 자료를 동시에 처리하고 분석할 수 있다는 것과 다시기(multi-date) 분류에서 종종 발생하는 공간적·분광학적 오차를 피할 수 있다는 것이다. 또한, 토지피복 변화뿐만 아니라, 상태(condition)의 변화도 감지할 수 있다. 마지막으로, 다차원 변화에 대한 벡터의 계산과 변화 영상의 조합을 통하여 변화 해석과 라벨링을 용이하게 할 수 있다[2].

4. 적용 결과

4.1 전처리 과정

변화탐지 분석을 하기 위하여 2001년 9월 1일과 2002년 9월 4일의 LANDSAT TM 영상을 먼저 기하보정을

실시하였다. 지상기준점은 1:25,000 수치지도를 사용하며 추출하였으며, 바다를 제외한 육지부분이 전체 영상의 1/4인 점을 고려하여, 2001년 영상은 24개의 지상기준점을 사용하였고 2002년 영상은 31개를 사용하였다. UTM 투영법과 WGS84 타원체를 사용하였으며, RMSE는 1 화소 미만으로 수행하였다. 재배열은 분광학적인 특성을 유지하기 위하여 최소근린법(nearest neighborhood)을 사용하여 화소 간격을 30m로 재배열하였다.

다음으로 2001년 영상과 2002년 영상의 기상, 대기, phase angle에 인한 차이를 줄이기 위하여 empirical scene normalization으로 방사보정을 하였다[7][18]. 밝기 값의 변화가 적은 깊은 바다(deep water)를 중심으로 3개의 기준점을 추출하여 2002년 영상을 기준으로 2001년 영상을 보정을 하였다. 두 영상을 이용하여 상대적인 방사보정을 수행하였기 때문에, 두 영상의 밝기 값의 차이는 지표변화의 차이라고 생각할 수 있다. 보정을 위하여 각각의 밴드에 적용된 회귀식은 표 2와 같다.

표 2. 방사보정을 위한 회귀식

TM Bands	Regression equation	R^2
Band 1	$Y = 0.9660X + 14.626$	0.9909
Band 2	$Y = 1.2857X + 14.714$	0.9643
Band 3	$Y = 0.8684X - 9.7281$	0.9997
Band 4	$Y = 1.0254X - 5.8465$	0.9998
Band 5	$Y = 1.0666X - 4.7547$	0.9986
Band 7	$Y = 1.1364X - 4.3182$	0.9952

4.2 Tasseled cap 변환

전처리 작업이 완료된 영상에 대하여 CVA를 적용하기 위하여 tasseled cap 변환을 실시하였다[9]. 모든 밴드에 대한 변화 벡터를 전부 사용할 경우 각 밴드간의 변화 관계를 이해하는데 매우 복잡하고 해석에 어려움이 따르게 된다. 따라서, 벡터의 수를 줄이면서 개념적으로

입증된 결과를 얻기 위해서 변환을 먼저 실시하는 것이 일반적이다[13]. TM 영상의 7개의 밴드 중 열적외선 밴드인 밴드 6을 제외한 6개의 밴드를 tasseled cap 변환을 실시하여 6개의 성분을 얻었다[19]. 2001년 영상과 2002년 영상에 대하여 각각 tasseled cap 변환을 수행한 6개의 성분 중에 갖고 있는 정보가 매우 적어 일반적으로 특별히 활용하지 않는 3개의 성분을 제외한 brightness, greenness, wetness 성분에 대하여 CVA를 적용하였다.

4.3 결과

홍수 지역의 침수에 의한 변화를 탐지하기 위하여 CVA, 주성분분석, 화상 대차법을 각각 적용하였으며, 적절한 임계치의 선정은 화소 값들의 평균과 표준편차를 이용하여 수행하였다[20][21]. 각각의 방법들에 대하여 2002년 영상에서 변화한 지역과 변화하지 않은 지역의 구분이 명확한 586점을 선정하여 정확도 검증을 하였다(표 3). CVA를 적용한 결과와 주성분분석의 두 번째 성분, 밴드 1의 화상 대차법을 적용한 결과와 비교하였다.

CVA를 적용한 결과가 주성분분석이나 화상 대차법을 적용한 결과보다 overall accuracy와 Kappa 계수를 비교하였을 때, 각각 97.27%와 94.45%로 가장 높은 정확도를 보였다. 그리고, 두 영상 사이에 화소의 단순한 차를 적용한 방법은 가장 낮은 정확도를 보인다. 이는 홍수지역에서 침수에 의한 변화탐지에 CVA가 아주 효과적이라는 것을 보여준다. 그림 5는 CVA의 성분 중에 크기(magnitude)를 2002년 영상과 색 조합을 하여 나타낸 영상이다. 침수에 의한 변화가 주로 강을 따라 발생했다는 것을 알 수 있다. 각각의 변화탐지 방법에 따른 결과에 대한 영상의 일부는 그림 6에서 보여준다. 그림 6 (a)와 (b)는 홍수 이전(2001년)과 이후(2002년)의 LANDSAT TM의 밴드 1 영상이며, 홍수에 의한 침수의 흔적을 잘 보여주고 있다. 이러한 변화에 대하여 그림 6 (c), (d), (e)는 CVA, 주성분분석, 화상 대차법을 각각 적용하였을 때의 결과이며, 육안으로도 CVA가 가장 뛰어난 것을 알 수가 있다.



그림 5. 2002년 영상의 밴드 3과 CVA의 크기의 칼라합성영상

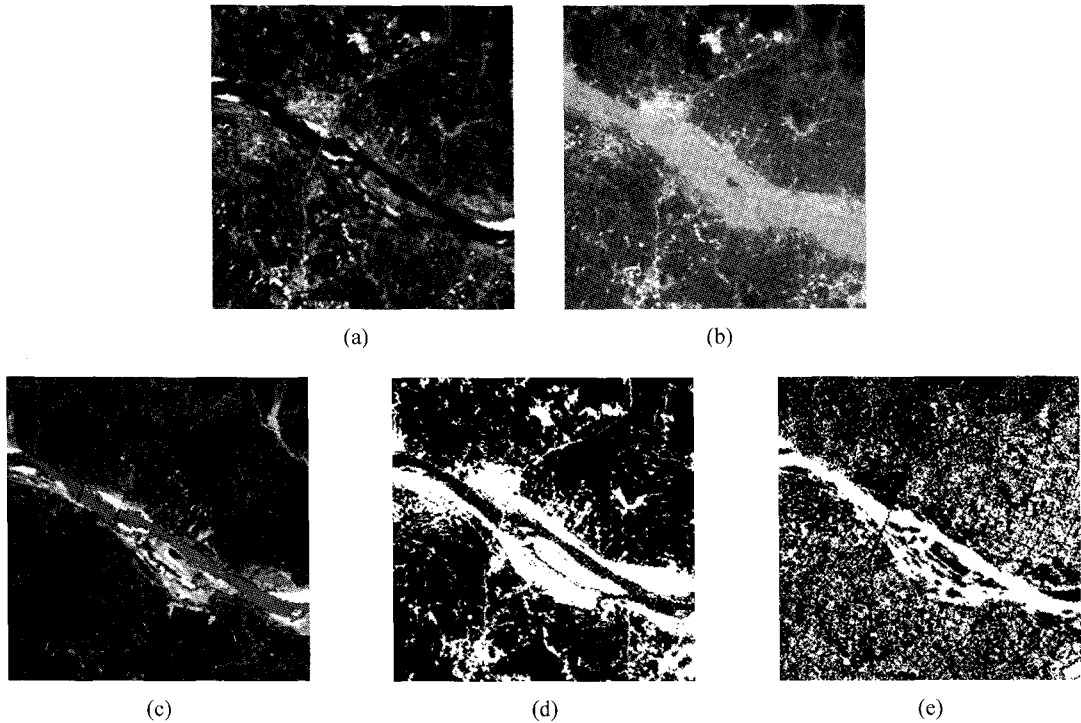


그림 6. (a) 2001년 영상의 밴드 1 (b) 2002년 영상의 밴드 1 (c) CVA를 적용한 결과 (d) 주성분분석을 적용한 결과 (e) 화상 대차법을 적용한 결과

표 3. 변화탐지 방법에 따른 정확도 비교

Change detection method	Overall accuracy (%)	Kappa coefficient (%)
Change vector analysis	97.27	94.45
Principal component analysis (2 nd component)	81.23	59.65
Image difference (band 1)	70.82	36.85

5. 토의 및 결론

본 연구에서는 홍수지역 침수에 의한 변화탐지를 위하여 LANDSAT TM 위성영상 자료를 사용하였다. 전처리 과정으로 기하보정과 empirical scene normalization을 수행하였다. 변화탐지 방법은 CVA, 주성분분석, 화상 대차법을 각각 적용하였으며, CVA를 적용하기 위하여 tasseled cap 변환을 적용하였다. 정확도 검증결과, CVA 방법이 overall accuracy와 Kappa 계수를 비교하였을 때, 각각 97.27%와 94.45%로 가장 좋은 정확도를 나타내므로 가장 효과적인 방법이라고 판단되며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 광학위성을 사용하여 기존의 전통적인 방법보다는 tasseled cap 변환을 이용한 CVA 방법이 침수지역 변화탐지에 적절하다고 생각된다. 향후, 향상된 CVA 방법을 사용한다면 더욱 더 정확한 결과를 얻으리라 기대한다.
2. 분광학적인 특성을 이용하는 CVA와 같은 변화 탐지 방법에서는 전처리 과정인 기하보정과 방사보정이 정밀하게 수행되어야 한다.
3. 본 연구에서는 정확도 검증을 위하여 현장 조사 자료를 얻지 못했다. 태풍이나 홍수 등의 재해는 현장 조사의 어려움이 존재하므로, 향후 기상 조건을 비교적 받지 않은 SAR 영상이나 다른 자료를 이용한 연구가 함께 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. Jensen, R. J., Introductory digital image processing: A remote sensing perspective, Prentice-Hall, NJ, USA, 1996.
2. Johnson, R. D. and E. S. Kasischke, "Change vector analysis: a technique for the multispectral monitoring of

- land cover and condition", *INT. J. REMOTE SENSING*, Vol.19, No.3, 1998, pp. 411-426.
3. Lunetta, R. S., and C. D. Elvidge, *Remote Sensing Change Detection: Environmental Monitoring Methods and Applications*, Taylor & Francis Ltd., UK, 1999.
 4. Lambin, E. F. and A. H. Strahler, "Change-Vector Analysis in Multitemporal Space: A Tool To Detect and Categorize Land-Cover Change Processes Using High Temporal-Resolution Satellite Data", *REMOTE SENS. ENVIRON*, Vol. 48, 1994, pp. 231-244.
 5. Malila, W. A., "Change Vector Analysis: An approach for detecting forest changes with Landsat", *Proc. of Machine Processing of Remotely Sensed Data Symposium*, West Lafayette, IN. 1980, pp. 326-336.
 6. Virag, L. A. and J. E. Colwell, "An improved procedure for analysis of change in Thematic mapper image-pairs", *Proc. of Twenty-First International Symposium on Remote Sensing of Environment*, Ann Arbor, Michigan, Oct. 26-30. 1987, pp. 1101-1110.
 7. Dhakal, A. S., T. Amada, M. Aniya, and R. R. Sharma, "Detection of Areas Associated with Flood and Erosion caused by a Heavy Rainfall Using Multispectral Landsat TM Data", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 68, No. 3, 2002, pp. 233-239.
 8. Michalek, J. L., J. J. Luczkovich, and R. W. Stoffle, "Multispectral Change Vector Analysis for Monitoring Coastal Marine Environments", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 59, No. 3, 1993, pp. 381-384
 9. Johnson, R. D., "Change Vector Analysis for Disaster Assessment: A Case study of Hurricane Andrew", *Geocarto International* No. 1, 1994, pp. 41-45.
 10. Zhan, X., C. Huang, J. Townshend, R. DeFries, and M. Hansen, "Land Cover Change Detection with Change Vector in the Red and Near-Infrared Reflectance Space", *Proc. of IGARSS*, Seattle, USA, Jul. 6-10. 1998, pp. 859-861.
 11. Sayler, K. L., An assessment of change vector analysis using Landsat data over Sioux Falls, South Dakota, Master Thesis, South Dakota State University, USA, 1998.
 12. Chen, J., P. Gong, C. He, R. Pu, and P. Shi, "Land-Use/and-Cover Change Detection Using Improved Change-vector Analysis", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 69, No. 4, 2003, pp. 369-379.
 13. 원중선, 유홍룡, "원격탐사 자료를 이용한 지형변화 관측을 위한 변화벡터법 연구", *자원환경지질학회지*, Vol. 28, No. 4, 1995, pp. 405-414.
 14. Yamagata, Y. and T. Akiyama, "Flood damage analysis multitemporal Landsat Thematic Mapper data", *INT. J. REMOTE SENSING*, Vol. 9, No. 3, 1988, p. 503-514.
 15. Fung, T. and E. LeDrew, "Application of Principal Components Analysis to Change Detection", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 53, No. 12, 1987, pp. 1649-1658.
 16. 한국수자원학회, 2002. 2002년도 홍수 피해현황 및 대책에 관한 심포지엄 보고서.
 17. <http://www.nd.me.go.kr/>
 18. Eckhardt, D. W. and J. P. Verdin, "Automated Update of an Irrigated Lands GIS Using SPOT HRV Imagery", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 56, No. 11, 1990, pp. 1515-1522.
 19. Crist, E. P. and R. C. Cicone, "A physically-based transformation of Thematic Mapper data: the TM tasseled cap", *IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING*, Vol. 22, No. 3, 1984, pp. 256-263.
 20. Fung, T. and E. LeDrew, "The Determination of Optimal Threshold Levels for Change Detection Using Various Accuracy Indices", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 54, No. 10, 1988, pp. 1449-1454.
 21. Fung, T., "An Assessment of TM Imagery For Land-Cover Change Detection", *IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING*, Vol. 28, No. 4, 1990, pp. 681-684.

(접수일 2003. 5. 13, 심사 완료일 2003. 6. 9)