

도시성장 모니터링에 있어 다중시기 원격탐사자료의 활용 Urban Growth Monitoring using Multi-temporal Remotely Sensed Data

이광재* · 김윤수 · 전갑호 · 전정남

Kwang-Jae Lee*, Youn-Soo Kim, Gab-Ho Jeun, Jung-Nam Jeun

한국항공우주연구원 위성운영센터

우)305-333 대전광역시 유성구 어은동 45

Tel) +82-42-860-2227, Fax) +82-42-860-2605, E-mail) kjlee@kari.re.kr

요 약

오늘날 급속하게 팽창하는 도시외형과 더불어 도심의 집약적이고 다양한 토지이용 패턴 속에서 계획적인 도시개발을 유도하기 위해서는 도시변화 추세 및 그 상세 정보를 주기적으로 모니터링 할 수 있는 종합적인 도시성장관리시스템이 요구된다.

이에 앞서 본 연구에서는 토지이용변화를 바탕으로한 도시성장 모니터링에 있어서 다중시기 원격탐사자료의 활용성과 그 적용범위를 명확하게 규명함과 동시에 향후 도시성장관리시스템 개발에 필요한 기초 자료를 효과적으로 생성하기 위하여 3단계로 구분하여 연구를 수행하였다. 우선 다중시기 원격탐사자료를 이용한 도시의 외형적 성장을 파악하고, 기존의 토지이용도 및 영상자료를 이용하여 시기별 토지이용도를 생성하고 이를 바탕으로 도시성장과정을 체계적으로 분석하였다. 또한 적용 결과를 통하여 기존자료의 최신성을 확보하는 한편 막대한 예산을 투자하여 구축된 기존 토지이용자료를 원격탐사자료와 더불어 도시변화/성장 연구에 있어 보다 효과적으로 활용할 수 있는 방안을 제시하였다.

1. 서론

도시의 구성요소를 사람, 구조(물) 그리고 이를 둘러싼 제반 환경 등의 3요소로 구분할 경우 도시의 매력은 사람과 공간의 조화·균형을 바탕으로한 삶의 질적 향상에 있을 것이다. 그러나 도시를 구성하는 요소들 간의 상호작용 정도에 따라 도시의 건전한 발전이 오히려 단절될 수

도 있다. 근대 산업혁명 이후 도시화의 급속한 진전은 건축물 및 교통시설과 같은 물리적 시설의 수급 불균형, 녹지 감소 및 환경오염의 심화와 같은 열악한 도시환경 조건을 유발하여 결국에는 삶의 질을 떨어뜨리는 결과를 초래하게 되었다. 그러나 최근 원격탐사 및 지리정보시스템등과 같은 다양한 공간정보기술의 효율성이 입증되면서 토지이용변화를 체계적으로 모니

터링 함으로서 과거부터 오늘날까지의 도시성장과정을 효과적으로 규명하고 향후 적절한 도시공간구조 배치를 통한 도시의 점진적 지속성을 확보하기 위한 연구가 많이 시도 되고 있다(Masek *et al.*, 2000; Lavalle *et al.*, 2000; Darvishzadeh *et al.*, 2000).

특히 유럽연합은 CORINE(Coordination of Information on the Environment) 및 MOLAND(Monitoring Land Use/Cover Dynamics) 등의 대형 프로젝트들을 통하여 안정적이고 계획적인 토지이용을 통한 도시화를 위하여 과거와 오늘날의 변화(CHANGE)를 분석하고 그 변화의 패턴을 이해(UNDERSTAND) 함으로서 향후의 도시성장을 예측(FORECAST)하기 위한 많은 노력을 아끼지 않고 있다(Austrian Research Centers, 1999).

본 연구에서는 시범지역의 토지이용변화를 바탕으로 한 도시성장 모니터링에 있어서 다중시기 원격탐사자료의 활용성과 그 적용범위를 명확하게 규명함으로써 향후 도시성장관리시스템 개발에 있어 그 기초 자료로 활용하고자 한다.

II. 연구자료 및 방법

본 연구의 시범지역은 대전광역시를 중심 유성, 금남 및 신탄진 일부지역을 포함하는 306.19km² 지역으로 우선 이들 지역의 토지이용변화를 파악하기 위하여 다중시기 KOMPSAT EOC 영상과 SPOT 영상을 기본 자료로 활용함과 동시에 일부 도심의 조밀한 토지이용현황을 보다 명확하게 분류하기 위하여 고해상도 영상인 IKONOS 및 항공사진 등의 보조 자료와 기타 수치지형도(1:5,000, 1:25,000), 기존 토지이용도(1:25,000) 및 통계자료 등을 이용하였다.

우선 다중시기 원격탐사자료를 이용한 도시의 외형적 성장을 파악하기 위하여 본 연구에서는 SPOT(1995년), KOMPSAT EOC(2000년, 2001년, 2002년) 영상과 1:5,000 수치지형도에서 추출한 고도자료로부터 생성된 DEM을 이용하여 정사보정을 수행하였다. 또한 변화탐지에 이용되는 다중시기 원격탐사자료의 경우 촬영 일에 따라서 태양의 고도, 대기 및 토양습도상태 등이 서로 다르기 때문에 이들의 영향을 최소화하기 위한 과정이 요구된다(Eckhardt *et al.*, 1990; Hall *et al.*, 1991). 이를 위하여 본 연구에서는 각 연도별 영상에서 Radiometric Control Point(깊은 물, 도로, 건물의 지붕 및 나지)를 선정하

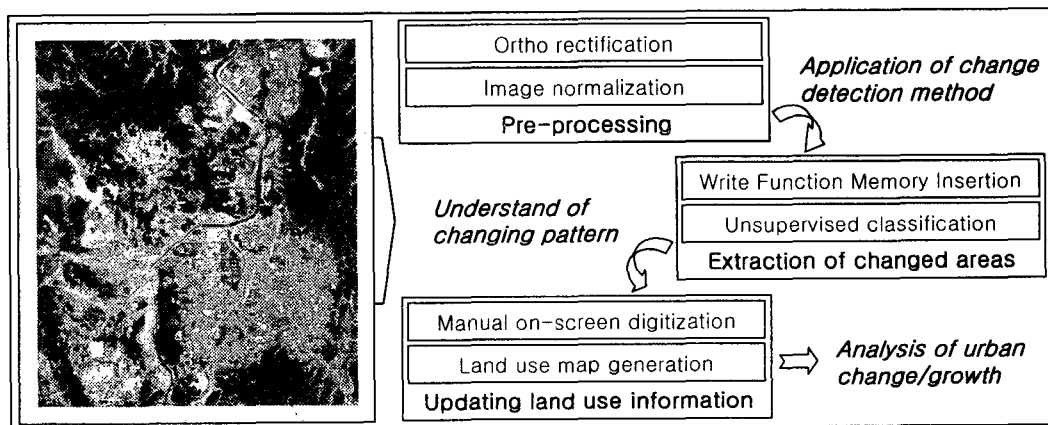


Figure 1. Flow chart of urban growth monitoring using remotely sensed data

고 추출한 Digital Number 값을 이용하여 경험적인 회귀분석(Empirical Radiometric Normalization)을 통하여 자료를 정규화시켰다(Schott et al., 1988). 또한 가시적인 변화탐지를 위하여 기존에 Price, K.P (1992)과 Jensen, J.R(2000) 등이 제시하였던 WFMI(Write Function Memory Insertion) 기법을 다중시기 KOMPSAT EOC 영상에 적용하였다.

또한 시기별 토지이용도를 생성하기 위하여 앞에서 추출된 도시의 외형적 성장 결과와 기존의 토지이용도 및 영상자료를 이용한 Manual on-screen digitization을 통하여 Arc/Info 및 ArcView에서 총 10개 항목을 line으로 분류하고 이를 폴리곤화시킨 후 IKONOS, 항공사진, 1:5,000 수치지형도 및 기존자료 등을 이용하여 속성을 부여하는 한편 이와 같은 결과들을 바탕으로 GIS 공간분석을 실시하여 도시 성장과정을 체계적으로 분석하였다.

III. 연구결과 및 고찰

1. 자료 정규화

각 연도별 KOMPSAT EOC 영상자료의 DN 분포 값을 살펴본 결과 2002년 영상의 평균 DN 값이 가장 낮으며 구름, 스모그 등의 영향이 거의 없는 것으로 나타나

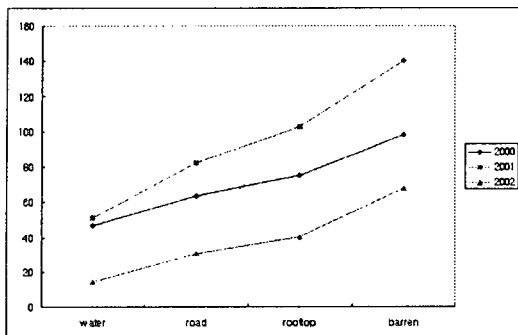


Figure 2. The mean values of RCP

히스토그램 조정을 실시한 후 이를 참조 영상으로 선정하였다.

Figure 2는 각 시기별 영상의 50지점(RCP: 깊은 물, 도로, 건물의 지붕 및 나지)에서 획득된 샘플자료의 평균 DN 값으로 각 연도별 RCP에 대한 분광특성이 명확하게 구분됨을 보여주고 있다.

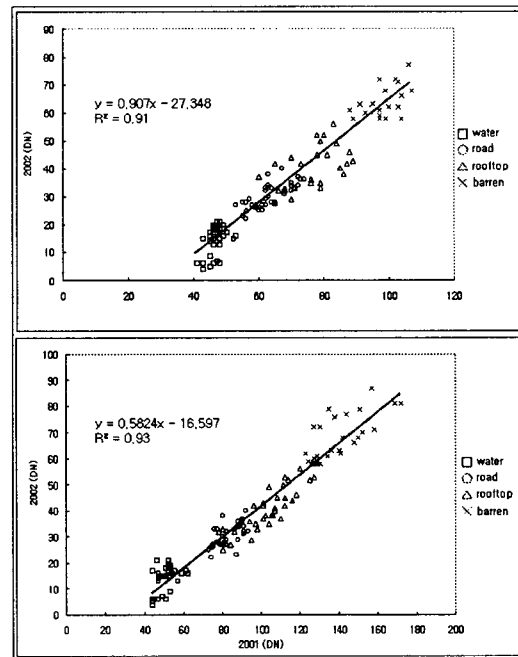


Figure 3. The results of empirical regression analysis for image normalization

히스토그램 조정을 통하여 선정된 2002년 EOC 영상을 기준영상으로 Figure 3에서와 같이 2000년과 2001년 영상의 RCP에서 추출된 DN 값을 기준으로 각각 상관 및 회귀분석을 실시하여 세시기 영상을 모두 정규화 시켰다.

2. WFMI를 이용한 도시변화/성장 탐지

본 연구에서는 정규화된 영상자료를 이용하여 각 시기별로 변화된 지역을 디지털 영상처리시스템에서 효과적으로 확인

하기 위하여 WFMI 방법을 시범지역에 적용해 보았다. 이는 각 시기별 영상자료를 서로 다른 색상밴드(red, green, and/or blue)에 삽입함으로써 육안으로 명확하게 그 변화를 확인할 수 있는데 Figure 4의 적용 결과에서 보면 2000-2001 사이의 토지이용 변화는 노랑색으로 나타나고 있으며 붉은색은 2001-2002 사이의 변화를 의미하고 있다. 한편 연두색과 연한 노랑색의 경우 세시기의 변화를 점진적으로 표현하고 있는 것으로 분석된다.

이와 같이 WFMI의 장점은 서로 다른 시기의 원격탐사자료를 합성함으로써 각 시기별 변화를 영상에서 직접적으로 확인할 수 있다는 점이다. 그러나 이 경우 면적의 변화량 등과 같은 양적정보와 항목 간 변화(from-to)를 규명하기에는 어려움이 있다.

본 연구에서는 우선 영상에서 확인된 변

화지역에 대한 양적정보를 추출하기 위하여 RGB 합성영상을 대상으로 100개의 클래스로 무감독분류(ISODATA)를 수행하고 그 결과를 Grid data로 변환하였다. 변환된 Grid 자료를 5×5 window를 이용하여 자료 일반화 및 군집화를 통하여 3개의 항목으로 재분류하였다. 이렇게 분류된 Grid 자료를 GIS 자료인 Vector Coverage로 변환함으로써 변화된 영역에 대한 양적정보를 추출할 수 있게 되었다. Figure 4의 적용결과에서 보듯이 추출된 각 시기별 면적 변화량은 붉은색 영역이(2001-2002) 2.6km², 노랑색 영역이 (2000-2001) 1.1km², 연두색 영역이 (2000-2001-2002) 1.6km² 정도인 것으로 확인되었다.

이상과 같은 결과에서 보듯이 WFMI는 몇 가지 단점에도 불구하고 디지털 영상 처리시스템 상에서의 간단한 적용방법 및 효과적인 가시화 등으로 인하여 신속한

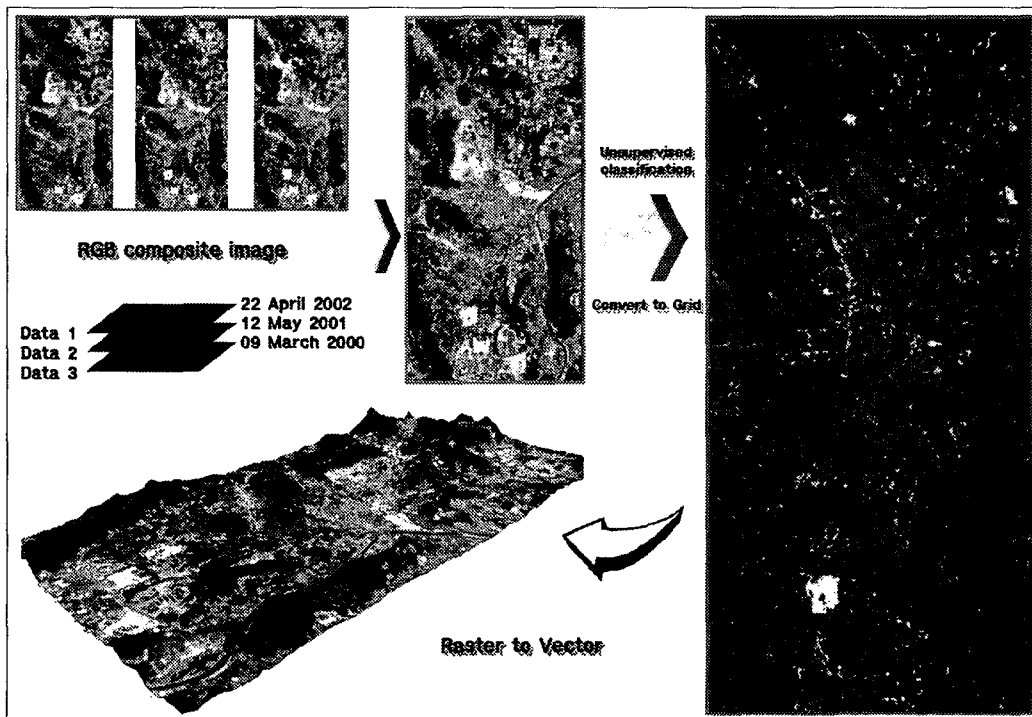


Figure 4. Extraction of changed areas by classification

정보 추출 및 보다 정밀한 분석을 위한 사전 연구 등에 매우 유용한 기법인 것으로 확인되었다.

3. 원격탐사자료를 이용한 토지이용 분류

다중시기 KOMPSAT EOC 및 SPOT 영상과 앞에서 추출된 도시의 외형적 성장 결과 및 기존의 토지이용도, IKONOS 영상, 항공사진, 수치지형도 등의 보조 자료들을 이용한 Manual on-screen digitization을 통하여 Figure 5와 같이 시기별 토지이용도를 생성하였다. 한편 토지이용항목은 Figure 5에서 보듯이 도시 및 비도시 지역으로 대분류한 후 이를 세분화하여 총 10개 항목으로 분류하였다. 도시지역에서 미분류 지역은 해당 영상에서 공사 또는 기타 다양한 이유로 인하여 명확하게 판독이 곤란한 지역을 의미하는 것으로 2002년 토지이용도에서 보듯이 대부분

택지개발중인 지역들이나 현재 개발중인 지역들이 여기에 속해져 있다.

한편 시기별 토지이용 변화량을 살펴보면 2000년부터 2002년까지 도시지역에서의 항목간 변화는 크게 없었던 것으로 확인된다. 그러나 1995년과 2000년 이후를 비교해 보면 그 변화는 뚜렷하다. 우선 아파트 단지와 같은 고층주택지들의 증가와 상업 및 공업지역의 점진적인 증가, 교통시설의 확충과 연구단지 및 군사시설과 같은 공공시설의 증가가 두드러진다. 그러나 일반주택지의 경우 고층주택지와는 달리 이들 기간동안 증가하지 않은 것으로 확인되는데 이는 해당 시기의 미분류 지역과 연계하여 생각해 볼 수도 있다. Figure 5에서 나타나듯이 현재 대전광역시 추진하고 있는 서남부 생활권 개발계획으로 인하여 노은, 학하지구 등에서는 대규모 개발이 진행 중에 있다. 이들 지역

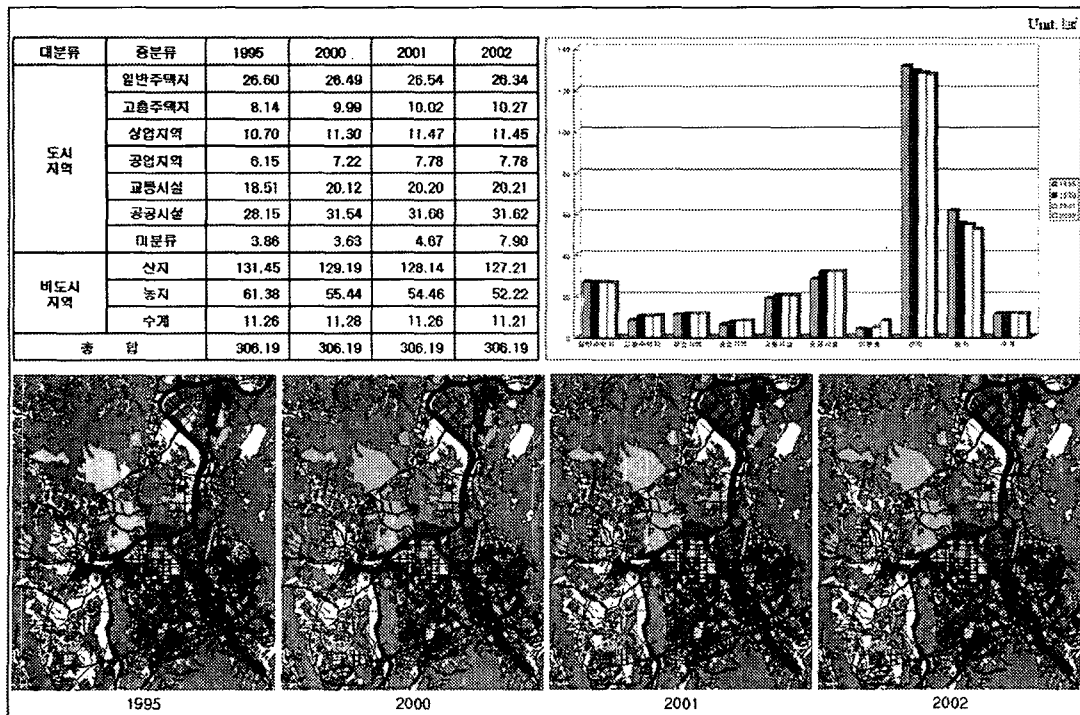


Figure 5. Land use maps generation using Manual on-screen digitization

은 도시계획상 대부분 주거중심지역으로 개발되고 있기 때문에 이들 지역의 개발이 완료되는 시점에서는 주거지역(일반, 고층)의 대폭적인 증가가 예상되어 진다.

4. 도시성장 분석

도시 및 비도시지역의 증감패턴을 분석한 결과 1995년 102.10km²이던 도시지역 전체면적이 2002년에는 13.46km²가 증가한 115.56km²으로 확인되었으며 이와는 반대로 산지, 농지 및 수계로 이루어진 비도시지역의 경우 매년 그 면적이 감소하고 있는 것으로 나타났다(Figure 6). 이와 같은 도시지역 증가 추세를 고려한다면 향후 적절한 도시공간구조 배치를 통한 도시의 점진적 지속성을 확보하기 위한 보다 체계적인 연구가 뒤따라야 될 것으로 판단된다.

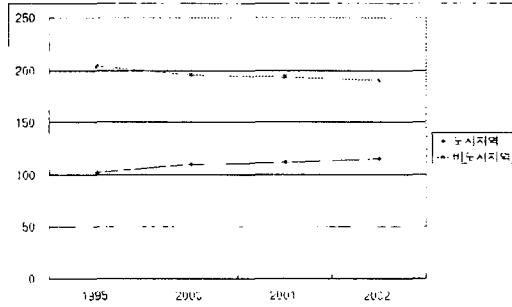


Figure 6. Changed areas between Urban and non-urban

한편 시기별 토지이용도를 이용하여 1995년부터 2002년까지 증가한 도시지역 토지이용항목 중 미분류 지역을 제외한 6가지 항목의 변화를 분석한 결과 Figure 7 같이 나타났다. 이 기간 동안 가장 많이 증가한 항목 중 하나인 교통시설 주변에는 항상 고층주택지가 함께 건설된 것을 확인할 수 있는데 대부분 택지개발 또는 재개발로 이루어진 지역들이다.

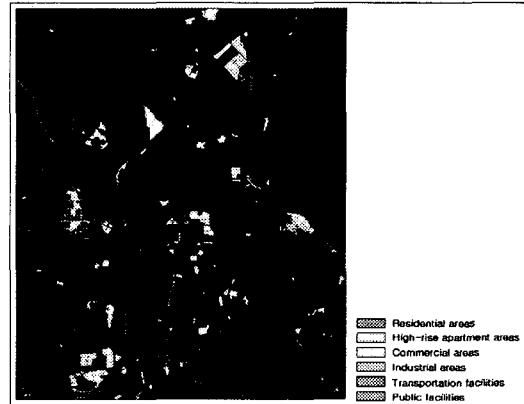


Figure 7. Increased area from 1995 to 2002

특히 도심의 경우 재개발로 인한 고층주택지 건설이 많이 이루어졌으며 기타 항목간의 변화가 가장 많이 발생한 지역인 것으로 확인되었다. 또한 신탄진의 대규모 공업단지가 이들 기간 동안 점진적으로 조성되었다는 사실을 확인할 수 있었다. 또한 공공시설은 주로 연구소 및 학교의 신설과 기존시설의 확장으로 인하여 증가한 것으로 파악된다.

IV. 결론

오늘날 급속하게 팽창하는 도시외형과 더불어 도심의 집약적이고 다양한 토지이용 패턴 속에서 계획적인 도시개발을 유도하기 위해서는 도시변화 추세 및 그 상세 정보를 주기적으로 모니터링 할 수 있는 체계적인 연구가 요구된다. 이러한 관점에서 본 연구는 다양한 도시환경분야 중에서 토지이용변화를 바탕으로한 도시성장 모니터링에 있어서 다중시기 원격탐사자료를 활용함과 동시에 그 적용방법 및 범위 등을 제시하였으며 향후 진행될 도시성장관리시스템 개발에 필요한 기초자료를 효과적으로 생성할 수 있었다.

우선 시기별 KOMPSAT EOC 흑백영상

만을 이용한 변화탐지에 있어 WFMI 기법을 적용함으로써 간단한 적용방법으로 변화지역에 대한 효과적인 가시화를 수행하였으며 GIS 분석기법과의 접목을 통하여 단점을 효율적으로 보완할 수 있었다. 또한 이 기법의 경우 광범위한 지역에 대한 변화탐지 또는 변화지역에 대한 개략적인 정보추출에 매우 효과적임을 확인하였다.

한편 다중시기 원격탐사자료 및 기타 보조 자료와 기존에 막대한 예산을 투자하여 구축한 토지이용자료를 연계/활용함으로써 과거의 토지이용정보뿐만 아니라 오늘날의 토지이용현황 등을 효과적으로 파악함으로써 기존자료의 최신성을 확보함과 동시에 도시성장과정을 체계적으로 분석할 수 있었다.

향후 영상분류 및 육안판독 등에 의한 토지이용분류와 GIS의 다양한 분석 기능 등을 효율적으로 지원할 수 있는 인터페이스가 마련된다면 보다 체계적으로 도시성장 모니터링을 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- Eckhardt, D. W., J. P. Verdin, and G.R Lyford, 1990, Automated update of an irrigated lands GIS using SPOT HRV imagery, PE&RS, 56(11):1515-1522.
- Ha, S. R., B. W. Ahn, and A. Y. Park, 2002, change detection of land-cover from multi-temporal KOMPSAT-1 EOC imageries, Korean Journal of Remote Sensing, 18(1):13-23.
- Hall, F. G., D. E. Strebel, J. E. Nicke son, and S. J. Goetz, 1991, Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multirate, multisensor images, Remote Sensing of Environment, 35:11-27.
- Jensen, J. R., 2000, Introductory digital image processing, Prentice Hall.
- Kressler, F., and K. Steinnocher, 1996, Change Detection Urban Areas using Satellite Images and Spectral Mixture Analysis, IAPRS, Vol. XXX, Part B7: 379-383.
- Lavalle, Carlo., L. Demicheli, M. Turchini, P.C. Carrasco, and M. Niederhuber, 2001, Monitoring megacities: the MURBANDY/MOLAND approach, Development in Practice, 11(2):350-357.
- Lunetta, R. S., and C. D. Elvidge, 1998, Remote sensing change detection, Ann Arbor Press.
- Masek, J. G., F. E. Lindsay, and S. N. Goward, 2000, Dynamic of urban growth in the Washington DC metro politan area, 1973-1996, from Landsat observations, Int. J. Remote Sensing, 21(18):3473-3486.
- Price, K. P., D. A. Pyke, and L. Mendes, 1992, Shrub dieback in a semiarid ecosystem: The integration of remote sensing and GIS for detecting vegetation change, PE&RS, 58(4):455-463.
- Schott, J. R., C. Salvaggio, and W. J. Wolchok, 1988, Radiometric scene normalization using pseudo-invariant features, Remote Sensing of Environment, 26:1-16.
- Steinnocher, Klaus., M. Kostl, J. Jansa, and C. Ries, 1999, MURBANDY-Change -Wien Final report, Austrian Research Centers.