

사회기반시설 건설현황 파악을 위한 위성영상의 활용 : 인천국제공항의 사례

이선일*, 김선화, 이규성
인하대학교 지리정보공학과
g2001319@inhavision.inha.ac.kr

Applications of satellite Imagery for Monitoring the construction of Social Infrastructure

Sun-Il Lee*, Sun-Hwa Kim and Kyu-Sung Lee

요약 : 오랜 기간동안 진행되는 사회간접자본 건설의 진행 상황을 관측하는 것은 대규모 공사의 종합적인 관리를 위해 필수불가결한 요소이다. 동북아 지역의 중추 공항 기능을 담당할 영종도 국제공항의 공사진행 과정을 관측하기 위하여 인공위성 영상 자료가 활용되었다. 바다위에 건설되는 공항의 특성으로 인하여 방조제 건설과 매립 공사가 수행되었다. 활주로, 유도로, 여객터미널과 복합교통센터 등이 건설되었으며, 공항의 건설로 산림이 훼손되고 양식장과 영전이 매립되는 것이 관측되었다.

이러한 공항공사의 진척상태를 분석하기 위해서 시계열 Landsat TM 영상을 사용하였으며, 타 위성영상에서는 공항의 공사현황이 어느정도 분석가능한지를 가능하기 위해서 KOMPSAT EOC, IRS-1C PAN, RADARSAT SAR 영상이 활용되었다. 시계열 Landsat TM 영상에서는 공항 부지의 매립 진척 현황과 산림의 벌채 등을 잘 분석할 수 있었다. KOMPSAT EOC와 IRS-1C PAN 영상은 높은 공간해상력으로 건설에 사용된 가건물과 같은 세부적인 시설물을 관측할 수 있었다. 15m PAN 영상을 제공하는 Landsat ETM은 IHS 합성 후 분석하였는데, 기존의 TM 영상에서 분류하지 못했던 방조제의 도로와 성토를 구분할 수 있었다. RADARSAT SAR 영상에서는 광학영상에서 볼수 없었던 독특한 정보를 얻을 수 있었다.

1 서론

최근 원격탐사 기술은 사회간접자본시설물의 계획, 설계, 시공, 관리 등의 분야에서 활용하기 위하여 많은 연구가 수행되고 있다. 특히, 위성영상을 이용하여 대규모 공사에 따른 자연환경의 변화를 분석하는 연구는 활발히 진행되어 왔으나 (Roslinah, 1997; Nagarjan, 2000), 공사

의 진행 상황을 관측하고 분석하는 연구 사례는 거의 없었다. 공사의 진척 정도를 분석하기 위해서는 고 해상도 영상자료가 요구되기 때문에 과거에는 항공사진을 활용하는 것이 주를 이루었다 (Mark 등, 1994). 우리 나라에서 위성영상자료를 이용하여 대규모 SOC 공사에 활용한 사례는 거의 없으며, 단지 송전 선로의 적지를 분석하기 위해 위성영상과 디지털 항공사진을 활용하여 지장물을 검토한 연구와 (하기갑 외, 1997), Landsat 영상을 이

용하여 대형댐 건설 전·후의 자연환경변화를 연구한 바 있다 (수자원연구소, 1997). 우리나라에서는 현재 SOC 건설현황 파악을 위해 대부분 항공사진을 활용하고 있는데, 항공사진은 촬영에 제한이 있으며, 모자이크를 해야되고, 촬영 비용이 많이 소모되는 단점을 가진다.

대규모 사회간접자본시설을 공사의 관측을 위해서는 최신의 현황을 면밀히 파악할 수 있는 자료가 요구되며, 이러한 측면에서 최신의 자료를 주기적으로 제공할 수 있는 위성영상자료의 활용이 기대된다. Weydahl 등(1999)은 노르웨이의 공항 공사 진행상황을 분석하기 위하여 시계열 ERS SAR와 RADARSAT SAR 자료를 이용하였는데, 공사진행상황이 SAR 영상에서 나타나는 특성을 분석하였다.

본 연구에서는 다중시기 Landsat TM 영상에서 인천국제공항의 공사 진행 상황을 어느정도 관측할 수 있는지에 대하여 분석하고, 더 나아가 바다위에 건설되는 공항 공사의 큰 비중을 차지하는 매립상황을 영상을 이용하여 추정해 보았다. 또한 IRS-1C, RADARSAT SAR, KOMPSAT EOC와 같은 영상에서 공항 공사진행 상황의 분석가능여부에 대한 특성도 밝히고자 하였다.

2 연구지역 및 영상자료

위성영상을 활용하여 SOC 공사현황 파악을 위해 동북아의 중추공항이 될 인천국제공항을 연구지역으로 선정하였다 (그림 1). 서울에서 서쪽으로 52km 떨어진 인천국제공항은 영종도와 용유도 사이의 간석지를 매립하여 약 1,700만평에 해당하는 부지에 공항을 건설하였다. 1992년 11월에 공사가 시작된 국제공항의 건설지역은 원지반인 갯벌위에 평균 5m 두께로

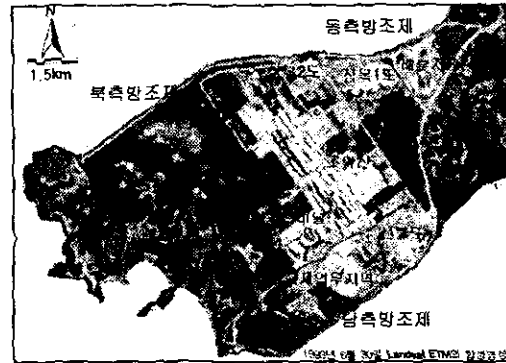


그림 1. 연구대상지의 시설물과 지명을 나타내는 영상지도

표 1. 인천국제공항 공사현황을 파악하기 위해 사용된 위성영상자료.

Platform	촬영일자	해상도(m)
Landsat TM	1993년 5월20일	30
Landsat TM	1994년 9월28일	30
SPOT XS	1995년 10월6일	20
Landsat TM	1997년 6월16일	30
IRS-1C	1998년 6월3일	5.8
Landsat TM	1998년 12월28일	30
Landsat ETM	1999년 6월30일	30, 15(Pan)
Radarsat SAR	1999년 8월14일	25
Kompsat EOC	2000년 11월14일	6.6

성토를 하여, 총 8,166만 m^2 의 매립토가 소요되었다. 바다위에 건설되는 공항의 특성으로 방조제 건설과 매립공사가 수행되었으며, 매립을 위해 산의 골재를 채취하였다. 대규모 공항공사에는 활주로, 유도로, 여객터미널, 복합교통센터와 급유시설과 같은 시설물이 지속적으로 들어서게 된다. 대규모 공항공사의 건설현황을 파악하기 위해서 시계열 Landsat TM 영상을 사용하였으며, 타 위성영상자료에서 공항공사의 진척상황이 어느 정도 분석가능한 한지에 대한 특성을 판단하기 위하여 KOMPSAT EOC, IRS-1C PAN, RADARSAT SAR 영상이 활용되었다 (표 1). 영상분석을 용이하게 하기 위해서 인천국제

공항의 평면도 자료를 함께 활용하였다.

사용된 영상자료가 동일한 위치에 있도록 하기 위해서 기하보정을 수행하였다. Landsat TM과 IRS-1C 영상을 지형도를 이용하여 기하보정한 후 다른 영상을 기준영상에 맞게 등록하였다. 1999년 6월 30일에 촬영된 ETM 영상의 경우 15m Pan 자료를 활용하기 위해서 일반적으로 많이 사용되고 있는 IHS 합성방법(Chavez 등, 1991)을 이용하였다. 레이더 영상에서 흔히 발생하는 스펙클 잡음(speckle noise) 현상을 저감시키고 판독을 용이하게 하기 위해 자기상관 필터를 적용하였다. 잡음 저감을 위해 필터링이 적용된 영상은 자칫 정보의 손실을 가져올 수 있기 때문에 영상분석에서는 원영상과 필터링이 적용된 영상을 모두 활용하였다.

3 결과 및 고찰

3.1 육안판독에 의한 공항공사의 진척상황 분석 : 시계열 TM 영상 활용

Landsat TM : 1993년 5월 20일 -> 1994년 9월 28일;

삼목2도, 조막산과 신불도의 일부 산림이 벌채되고, 골재가 채취되고 있음을 알 수 있다. 이 골재는 남·북측 방조제 건설에 사용되어, 영상에서는 남·북측 방조제가 배수갑문이 만들어질 지정까지 연결되어 있음을 알 수 있다. 매립을 하기 위한 기반작업이 수행되고 있음을 알 수 있다.

Landsat TM : 1994년 9월 28일 -> 1997년 6월 16일;

삼목 1도의 일부분과 조막산의 골재 채취가 수행되었고, 삼목도 주변의 양식장과 염전이 모두 매립된 것이 관측되었다. 남·북·동측의 방조제가 완성된 것을 관측할 수 있으며, 남측방조제와 영종도 남쪽

해변으로 연결되는 도로가 생성된 것을 알 수 있다. 공항 부지 대부분이 매립되었으며, 제 1활주로, 급유시설 및 국제업무지역이 매립되었음을 알 수 있다. 또한, 여객터미널과 관제탑을 연결하는 지하철의 토목공사가 진행되는 것이 관측되었으며, 여객터미널의 윤곽을 찾을 수 있다.

Landsat TM : 1997년 6월 16일 -> 1998년 12월 28일;

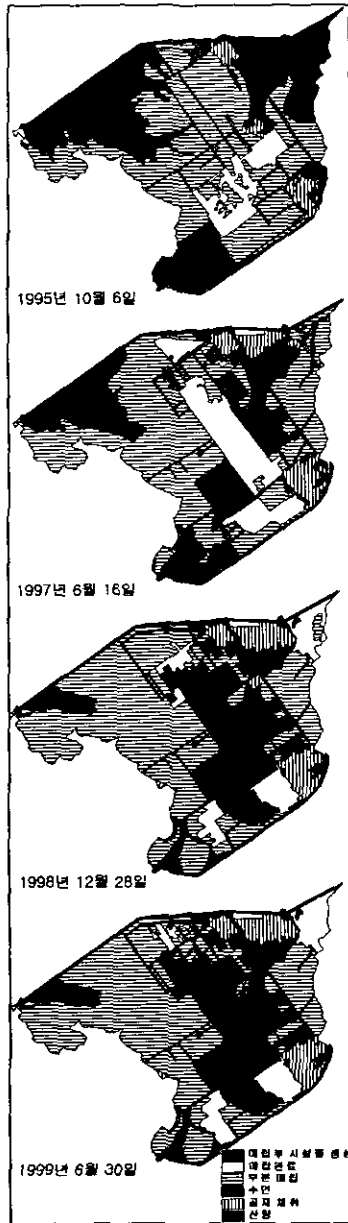
삼목도와 신불도 대부분의 산림이 벌채된 것으로 판단되나 12월 28일에 촬영된 영상이기 때문에 일부 벌채되지 않은 산림이 나지와 유사하게 나타남을 알 수 있다. 배후지원단지와 제 2활주로 부분이 매립되었다. 급유시설물이 생성된 것을 찾을 수 있으며, 여객터미널과 연결되는 지하철공사의 지하 공사가 마무리되고 지상공사가 수행되고 있음을 알 수 있다.

Landsat TM : 1998년 12월 28일 -> 1999년 6월 30일(IHS 합성영상);

골재채취와 매립의 진척에는 큰 차이가 없는 것으로 판단되나, 제 1활주로, 유도도로와 아스팔트가 포장된 것을 찾을 수 있다. 국제 업무지역내에 두 개의 빌딩이 들어선 것을 알 수 있고, 다른 공사지역에도 시설물들이 들어서고 있음을 알 수 있다. 전반적으로 매립이 수행된 후, 시멘트와 아스팔트 포장을 비롯하여 각종 시설물들이 생성되고 있음을 알 수 있다.

3.2 시계열 위성영상을 활용한 공항공사의 매립 정도 분석.

갯벌 위에 매립을 하여 공항을 건설한 인천국제공항 건설은 매립의 진척정도를 분석하는 것이 종합적인 공사관리를 위해 중요한 의미를 지닌다. 매립진행상황을 관측하기 위해 매립 정도를 영상에서 판독 가능한 6가지로 분류하였다.



(그림 2) 시계열 위성영상을 이용한 매립 상황 분석(a:1995년 10월6일 SPOT XS, b:1997년 6월 16일 Landsat TM, c:1998년 12월 28일 Landsat TM, d:1999년 6월 30일 ETM)

첫 번째 등급은 매립이 완료된 후 시설물 공사가 진행되거나, 아스팔트와 시멘트

포장이 수행된 것으로 설정하였다.

다음으로 매립이 완료된 상태와 부분적으로 매립이 수행된 것으로 나누었는데, 부분적으로 매립된 것은 성토를 쌓은 후에 식물이 자라거나 수분이 포함되어 있기 때문에 영상에서 쉽게 판독할 수 있었다. 끝으로 매립이 전혀 이뤄지지 않은 수면, 매립을 하기 위해 산림의 골재를 채취한 곳과 산림으로 분류하였다. 육안 판독을 통하여 영상에서 스크린 디지털링을 한 후 (그림 2)와 같은 매립 정도를 나타내는 지도를 생성하였으며, 등급의 면적은 (표 2)와 같다. 부분적으로 매립된 곳, 수면, 산림과 골재가 채취된 곳은 영상에서 쉽게 판독가능 하였으나, 매립이 완료된 후 포장이 되거나 시설물이 형성된 등급은 공간해상도가 낮은 영상자료를 활용하였기에 분류상 어려움이 있었다.

표 2. 연도별 판독 등급의 면적(ha)

연도	1995년	1997년	1998년	1999년
등급	10월6일	6월16일	12월28일	6월30일
매립후시	317.45	934.57	1553.02	1640.81
시설생성				
매립완료	365.39	722.72	437.76	456.59
부분매립	2206.42	2466.68	2700.88	2597.21
수면	2023.16	788.08	244.23	244.23
골재채취	140.12	281.26	369.09	371.09
산림	450.91	310.14	198.47	198.47

3.3 Landsat이외의 영상자료 분석결과

Landsat TM 영상외에 다른 영상에서 공항공사가 어떠한 특성으로 나타나는지 고찰하기 위해서 IRS-1C, Landsat ETM 합성영상, RADARSAT SAR, KOMPSAT EOC 영상을 분석하였다. 우선 1998년 6월 3일에 2.04°의 입사각으로 촬영된 IRS-1C 영상에서는 양식장과 영전은 뚜

릿한 패턴을 띄고, 물이 차 있기 때문에 구분이 잘됨을 알 수 있었다. 매립된 지역과 그렇지 못한 곳 역시 수분 함유량의 큰 차이로 밝기값의 차이를 이용하여 쉽게 분류할 수 있다. 또한, 산림이 벌채되고 골재가 채취된 지역은 나지와 같이 밝은 화소값으로 나타나며, 산림은 어둡게 나타나기 때문에 쉽게 찾을 수 있다. IRS-1C 영상의 장점인 높은 공간해상도로 인하여 여객터미널과 연결된 지하철 공사의 뚜렷한 선형과 건설을 위해 만들어진 가건물과 같이 세부적인 지형물이 관측 가능하였다. 하지만 영상내의 모든 화소가 64가지 색으로 표현되기 때문에 화소값과 질감 정보에 의하여 세부적인 판독을 하기에 어려움이 있었다.

1999년 6월 30일에 촬영된 Landsat ETM 영상자료를 분석 하였는데, 분석에 앞서 ETM 영상에서 제공하는 15m 공간 해상도의 Pan 자료와 30m 해상도의 분광 자료를 IHS 기법으로 합성하였다. 합성된 영상은 기존의 Landsat TM 영상에서 판독이 불가능했던, 남측 방조제의 도로와 성토의 구분을 가능하게 하였다. 급유정 비시설, 국제업무지역의 빌딩과 도로 등의 시설물 윤곽이 기존의 TM 영상에 비해 훨씬 뚜렷하게 나타남을 알 수 있으며, 향상된 공간해상력은 분석을 용이하게 하였다.

다음으로 1999년 8월 14일에 촬영된 RADARSAT SAR 영상을 분석한 결과 양식장·염전은 뚜렷한 패턴으로 분석이 용이함을 알 수 있다. 산림이 벌채되고 골재가 채취된 지역의 경우 다른 산림에 비하여 화소값이 낮고, 산악지역의 형태를 띄지 않으나, 실질적으로 그것을 구분하는 것은 난해하다. 매립된 곳은 표면이 평평하기 때문에 수면과 같이 어둡게 나타나는 지역이 많아 레이더 영상을 활용하여 매립정도를 분석하는데는 어려움이 수반

됨을 알 수 있다. 활주로와 도로는 표면의 특성에 의하여 낮은 신호값으로 나타나므로 그것의 선형체를 쉽게 구분할 수 있었다. 여객터미널과 그것 주위로 형성된 당장의 경우 마이크로파와 구조물이 이루는 기하학적 관계에 의하여 밝은 화소값으로 나타남을 알 수 있었다. 유도로 좌측에 일정한 간격으로 밝은 화소값으로 표현되는 것이 있는데, 공항공사를 위해 사용된 대규모 장비로 추정된다.

마지막으로 1단계 공항 공사가 마무리 되는 시점인 2000년 11월 14일 연적으로 촬영된 KOMPSAT EOC 영상을 분석하였다. 공항공사가 마무리단계로 접어들었기 때문에 여객터미널, 국제업무를 담당하는 건물과 공항공사를 위해 만들어진 가건물을 포함하는 대부분의 시설물을 관측할 수 있다. 높은 공간해상도의 EOC 영상에서는 남측방조제에 만들어진 성토와 도로를 비롯하여 내측에 형성된 공원의 윤곽이 판독 가능하였다. 산림의 벌채와 골재가 채취된 신불도의 일부 지역에 조림 사업의 흔적을 찾을 수 있을 뿐 아니라 영상의 화소값이 256가지 색으로 표현되기 때문에 삼목 1도에서 골재 채취된 후의 산의 모습과 건물의 윤곽을 좀 더 명확하고 세부적으로 분류할 수 있음을 알 수 있다. KOMPSAT EOC 영상은 IRS-1C 영상에 비하여 공항공사와 관련된 여러 시설물을 비롯하여 주변의 환경을 분석하는데, 더 나은 명암·질감 정보를 제공하였다.

4 결론

1992년부터 십여년의 기간 동안 진행된 인천국제공항 공사의 현황을 파악하기 위하여 시계열 위성영상 자료를 활용하였다. 시계열 Landsat TM 위성영상에서 원지반

인 갯벌위에 매립이 진행되는 것과 매립을 위해 산림을 벌채하고, 골재를 채취하는 일련의 과정이 관측되었다. 뿐만 아니라 활주로나 포장되고 도로가 건설되며, 대규모 시설물이 생성되는 것을 판독할 수 있었으나, 공간해상도가 30m이기 때문에 가건물을 비롯하여 세부적인 공사현황을 관측하는 데는 한계가 있음을 알 수 있었다.

Landsat TM 영상에 비하여 공간해상도가 높은 IRS-1C 영상과 KOMPSAT EOC 영상은 공항 공사의 진행상황을 파악하는데 보다 효과적인 것으로 판단된다. 대규모 SOC 공사의 기반이 되는 시설물의 관측을 비롯하여, 매립 상태와 벌채된 산림을 판독하는 데 매우 유용하였다. 특히, 64가지 화소값으로 표현되는 IRS-1C 영상에 비하여 256가지의 명암으로 나타나는 KOMPSAT EOC 영상은 동일한 대상체에 대해 세부적인 정보를 제공하여, SOC 공사현황을 파악하는 데 매우 효과적임을 알 수 있었다. RADSARSAT SAR 영상은 유도로, 활주로와 같이 매끈한 표면의 선형체를 잘 인식하며, 광학영상에서 발견할 수 없었던 독특한 정보를 얻을 수 있으나, 벌채와 매립과 같은 공사는 인식하기에 어려움이 있었다.

SOC 공사현황 파악을 위한 시계열 영상자료의 활용에 있어 공간해상력은 매우 중요한 요소이다. 본 연구에 적용된 인천국제공항 공사는 우리나라의 SOC 공사 중 비교적 대규모 공사이기에 Landsat TM 영상에서 공사의 진행 상황이 어느 정도 파악되었으나, 소규모로 진행되는 공사에서는 고해상도 영상자료의 활용이 필수적이다. 아울러 SOC 공사의 종합적인 관리를 위해 최신의 정보를 면밀하게 제공할 수 있는 영상자료의 적극적인 활용이 기대된다.

5. 참고문헌

- 인천국제공항공사, 2000, 인천국제공항 부지조성공사.
- 하기갑, 박병원, 이석규, 박재호, 1997, 송전선로 설계측량 신기술 동향 -송전선로 설계 지원 시스템-, 전력기술지, Vol(8), Number(1), pp. 120-129.
- 수자원연구소, 1997, 댐건설 전후의 자연환경변화에 관한 연구(대청댐 유역).
- R. Nagarajan, 2000, "Environmental impact analysis of Dudhganga Dam in India a multi-temporal remote sensing approach", Int. J. Remote Sens., VOL.21, NO.3, pp 483-497.
- Roslinah Samad and Norizan Abdul Patah, 1997, "Soil Erosion and Hydrological Study of the BAKUN Dam Catchment Area, SARAWAK Using Remote Sensing and Geographic Information System(GIS)", Proceedings of the 18th Asian Conference on Remote Sensing.
- Mark A. Jadcowski, Patrick Convery, Ronald J.Birk, and Shihjong Kuo, 1994, "Aerial Image Databases for Pipeline Rights-of-Way Management ", PE&RS, Vol.60., NO. 3.,pp.347-353.
- Weydahl, D.J. and Myhre, M. 1999, "Airport construction work development seen with multitemporal satellite SAR images", Proceeding of the IEEE 1999 IGARSS, pp 2702-2704.
- Chavez, Pat S., Jr., S. C. Sides, and J. A. Anderson. 1991, "Comparison of Three Different Methods to Merge Multiresolution and Multispectral Data : Landsat TM and SPOT Panchromatic", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 57., NO. 3., pp.295-303.