

시계열 위성레이더 영상을 이용한 침수지 조사
Analysis of Flood Inundated Area Using Multitemporal Satellite Synthetic
Aperture Radar (SAR) Imagery

이 규 성* / 김 양 수** / 이 선 일***
Lee, Kyu-Sung / Kim, Yang-Su / Lee, Sun-II

Abstract

It is often crucial to obtain a map of flood inundated area with more accurate and rapid manner. This study attempts to evaluate the potential of satellite synthetic aperture radar (SAR) data for mapping of flood inundated area in Injin river basin. Multitemporal RADARSAT SAR data of three different dates were obtained at the time of flooding on August 4 and before and after the flooding. Once the data sets were geometrically corrected and preprocessed, the temporal characteristics of relative radar backscattering were analyzed. By comparing the radar backscattering of several surface features, it was clear that the flooded rice paddy showed the distinctive temporal pattern of radar response. Flooded rice paddy showed significantly lower radar signal while the normally growing rice paddy show high radar returns, which also could be easily interpreted from the color composite imagery. In addition to delineating the flooded rice fields, the multitemporal radar imagery also allow us to distinguish the afterward condition of once-flooded rice field.

keywords : Flood mapping, remote sensing, SAR, rice paddy, multitemporal data

요 지

침수지에 대한 신속하고 정확한 지도의 제작은 홍수제해 복구와 관리 및 예방을 위한 중요한 자료로 사용된다. 타 위성영상에 비하여 기상조건에 관계없이 영상자료의 획득이 용이한 레이더영상을 이용하여 침수지 조사와 홍수후의 농경지 복구 상태를 파악하고자 하였다. 1999년 여름 경기도 북부 지역에 발생한 홍수 사상을 사례지로 하여 C-band RADARSAT 위성영상을 이용하였고, 침수 시점인 8월4일 영상과 그 전후 영상을 포함하여 세 시기의 영상을 이용하였다. 영상의 기하보정 및 잔음제거 등 전처리 과정을 거친 후 세 시기의 영상에서 나타나는 여러 지표물의 레이더반사신호의 변화를 분석하였다. 수면, 논, 밭, 산림 등의 다양한 지표물의 시기별 반사신호를 분석한 결과, 침수되었던 논에서 뚜렷한 반사신호의 차이를 관찰할 수 있었다. 또한 홍수 이후의 영상인 8월14일 영상을 함께 분석함으로써 침수되었던 논의 복구 상태에 따른 차이를 구분할 수 있었고 이러한 결과는 세 시기의 칼라합성영상에서도 쉽게 판독되었다.

핵심용어 : 홍수, 원격탐사, 위성영상, 시계열 레이더영상자료, 침수농지

* 인하대학교 지리정보공학과 부교수
Associate Professor, Dept. of Geoinformatic Engineering, Inha University, Incheon, 402-751, Korea
ksung@inha.ac.kr

1 국립방재연구소 방재연구실장
Director of Disaster Prevention Research Division, National Institute for Disaster Prevention, Seoul, 121-719, Korea

· 인하대학교 지리정보공학과 석사과정
Graduate Student, Dept. of Geoinformatic Engineering, Inha University, Incheon, 402-751, Korea

1. 서 론

홍수 재해에 대한 예방대책의 수립과 신속한 피해복구사업을 위해서는 무엇보다 먼저 침수지역에 대한 신속하고 정확한 조사가 선행되어야 한다. 지난 30년 동안 인공위성 원격탐사 기술은 지구 표면과 관련된 다양한 정보의 수집에 활용되어 왔으며, 매년 새로운 형태의 영상센서를 탑재한 위성이 발사되고 있다. 위성 영상을 이용한 홍수사상의 공간적 분포와 피해 규모를 분석한 연구는 세계 각국에서 활발히 진행되어 왔으나 (Wiesnet과 Deutsch, 1987; Barret 등, 1990). 1990년대 이전까지 대부분 위성영상은 항공사진과 마찬가지로 태양을 에너지원으로 하는 광학영상이므로 구름에 가려있거나 야간일 경우 지표 상태를 촬영할 수 없기 때문에 실무에 직접 적용되는 사례는 드물었다. 일정한 궤도 주기를 가진 위성영상에서 비교적 단기간에 발생하는 홍수를 적시에 촬영하는 것은 어려운 일이며, 더 나아가 홍수 시점과 위성궤도가 일치한다 하여도 구름 때문에 양질의 영상자료를 획득하는데 많은 어려움이 있다.

영상촬영을 위한 기상 조건이 불량한 하절기에 집중적으로 발생하는 한반도 지역의 홍수 특성을 감안한다면, 우리 나라에서 광학위성영상을 이용하여 직접적인 침수피해를 조사 분석한 사례는 거의 없었고, 최근 홍수 직후의 Landsat TM 영상자료를 이용하여 유실된 농지 및 침수흔적을 분석한 연구가 있었다 (박병욱 등, 1997). 1990년대까지는 소수의 지구관측위성만이 이용되었으나, 지금은 우리 나라를 비롯하여 세계 여러 나라에서 발사되었거나 발사예정인 원격탐사 위성의 종류가 다양해졌기 때문에 필요한 시점의 영상을 촬영할 수 있는 기회는 증가하고 있다.

광학영상이 가진 자료획득의 단점을 보완한 새로운 형태의 센서로서 기상조건에 영향을 받지 않고 또한 야간에도 촬영이 가능한 영상레이더시스템을 꼽을 수 있다. 영상레이더(imaging radar)는 태양광에 의존하지 않고 위성에 부착된 안테나에서 직접 마이크로파를 지구에 발사하여 반사되어 오는 신호를 기록함으로써 영상을 촬영하는 능동적 센서로써, 구름, 안개, 비, 연무 등의 기상 조건에 영향을 받지 않을뿐더러 야간에도 영상을 촬영할 수 있다. 따라서 기존의 광학 위성영상이 가지고 있던 자료획득의 난점을 극복하여 원하는 시점의 영상자료를 촬영할 수 있기 때문에 홍수와 관련된 재해 모니터링에 있어서 활용 가능성이 높

아지고 있다. 특히 1991년부터 영상레이더 센서를 탑재한 인공위성들이 발사된 이후 레이더 영상을 이용한 홍수분석 연구는 활발히 진행되고 있다 (Leconte와 Pultz, 1991, Brakenridge, 1998; Takeuchi 등, 1999). 레이더 영상자료를 이용하여 단순히 침수된 지역을 구분하는 단계에서 더 나아가 계절적인 홍수 주기를 관측하거나 (Pope 등, 1997), 침수지의 식생 상태까지 분석한 사례가 있다 (Hess 등, 1995).

본 연구의 목적은 우리 나라에서도 자료획득이 가능한 인공위성 레이더 영상자료를 이용하여 홍수 시점의 정확한 침수지역을 구획하고 더 나아가 침수지에서 나타나는 레이더 반사신호의 시기별 특성을 분석하고자 하였다. 특히 지난 1999년 여름 경기 북부 지역의 홍수 기간에 촬영된 영상과 침수 전후의 영상을 함께 분석하여 침수지에 대한 조사와 함께 침수되었던 농경지의 피해 특성을 밝히고자 하였다.

2. 연구지역 및 레이더영상자료

위성레이더 영상을 이용한 침수피해 분석을 위하여 1999년 여름 경기도 북부지역에서 발생한 홍수사상을 선정하였다. 경기도 과주 연천 지역의 경우 7월 31일 오후부터 8월 4일까지 총 강우량이 약 800mm에 이르는 집중 호우로 인하여 근래에 드문 대홍수가 발생하였다. 하천의 유로가 비교적 짧고 바다에 인접한 지형적 특성에 따라 대부분의 침수지는 일단 강우가 멈추면 짧은 시간에 배수가 되기 때문에, 최대 침수시점을 보여줄 수 있는 위성영상을 얻기가 매우 어려웠다. 아래 그림 1은 홍수 기간 중 문산지역의 시간별 강우량 분포와 누적 강우량을 보여주고 있는 데, 최대 침수시점은 8월 2일로 판단된다. 홍수기간에 가장 근접하여 촬영된 영상은 8월 4일에 촬영된 것으로, 이미 집중적인 강우가 지나간 후 상당한 시간이 경과하여 부분적으로 배수가 시작되는 시점이라 할 수 있다. 그러나 이번 홍수는 총 강우량이 800mm에 달하는 대규모 홍수였기 때문에, 영상의 촬영시점인 8월 4일 오후 6시 22분에도 상당 부분의 농경지가 여전히 침수된 상태로 있었다.

홍수 전의 토지피복 상태를 파악하고자 홍수 이전인 7월 7일 영상이 사용되었고, 홍수 이후 침수되었던 농경지의 회복상태를 분석하기 위하여 8월 14일 영상을 함께 이용하였다. 즉 하천 및 저수지와 같은 상시 수면과 홍수로 인하여 발생한 침수지의 구분을 위하여 침수 시점 전의 영상이 사용되었으며, 또한 홍수 이후

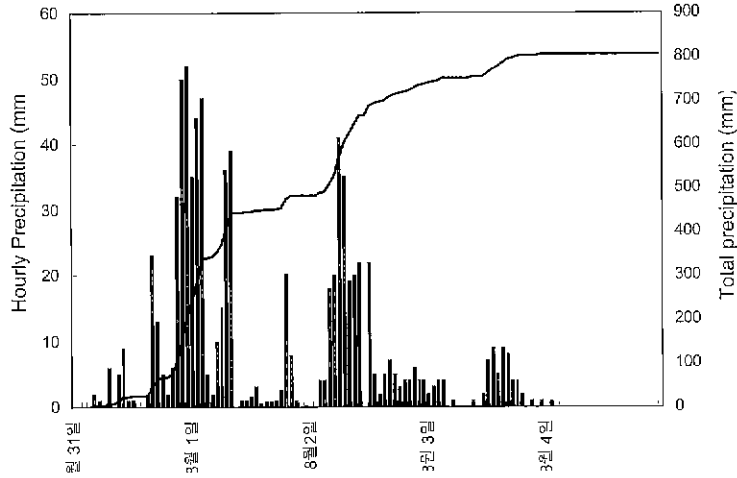


그림 1. 1999년 여름 경기 북부지역의 강우 분포(7월 31일부터 8월 4일까지 - 파주)

에 촬영된 8월 14일의 영상은 침수되었던 농경지에서 물이 빠진 후의 상태를 보여주기에 때문에 농경지의 피해 복구 및 작물의 생육여부를 분석할 수 있는 자료로 사용되었다.

연구에 사용된 위성레이더 영상자료는 1995년 말 캐나다에 의하여 발사된 RADARSAT 인공위성에서 촬영된 영상들이다. RADARSAT 1호 위성은 798km 고도에서 도는 극궤도 위성으로서 적도선상을 매일 오전, 오후 약 6시에 지나게 되며, 하루에 약 14회 지구를 돌며 영상을 촬영한다. 동일 지역을 반복하여 촬영할 수 있는 주기는 촬영폭(swath width)과 촬영각도(incidence angle)에 따라 하루에서 열흘까지 다양하게 설계되어 있다. 한반도와 같은 중위도 지역은 촬영 조건에 따라 최장 일주일 이내에 반복하여 촬영할 수 있는 주기를 가지고 있다. 특별한 요구나 용도가 없을 경우에는 위성의 정상적인 궤도 주기에 따라 영상을 촬영하고 있지만, 홍수관측 등과 같이 긴급을 요하는 경우에는 촬영 각도를 조절하여 가급적 원하는

시간에 촬영할 수 있는 주문체계를 가동하고 있다. 영상자료의 사용 목적, 상황의 긴급성, 시거적 정확성, 지역적 우선 순위 등을 고려하여 다양한 촬영 선택 사양에 따라 영상을 얻을 수 있다 (RADARSAT, 2000).

다음 표 1은 경기도 북부지역 침수지 분석에 사용된 RADARSAT 위성영상의 특징을 보여주고 있다. RADARSAT 영상레이더 시스템은 5.6cm 파장의 C-밴드 레이더에서 촬영되며, 7개의 빔모드(beam mode)에서 촬영폭, 해상도, 촬영각도를 달리 조정하여 25가지의 다양한 빔위치(beam position)의 영상자료를 제공한다. 연구에 사용된 레이더영상은 모두 표준(standard) 모드에서 촬영된 영상으로 약 20m의 공간해상도를 가지고 있으며, 한번에 촬영할 수 있는 지역은 약 $110 \times 120 \text{ km}^2$ 에 해당된다. 따라서 연구에 사용된 영상은 서울, 인천 등 수도권 일부 지역과 휴전선 이북의 북한지역까지 포함하고 있다.

표 1. 1999년 여름 경기도 북부 침수지 분석을 위하여 사용된 RADARSAT 영상의 특징

data acquisition	beam mode (beam position)	incidence angle	image size (행 x 열)	pixel 간격
July 7th, 18:39	standard (S6)	44.1°	9109 × 9774	12.5m
Aug 4th, 18:22	standard (S1)	23.0°	9499 × 10522	
Aug. 14th, 18:30	standard (S4)	36.5°	9315 × 10188	

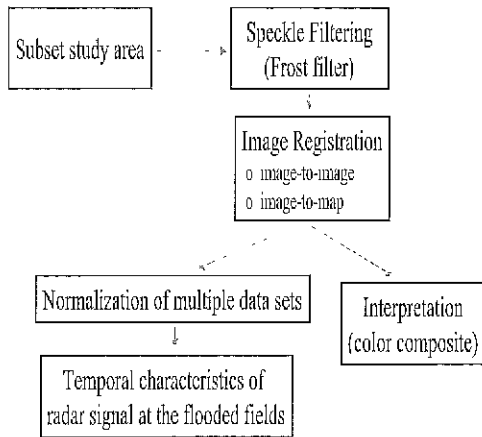


그림 2. 침수지 구분 및 침수농경지의 시기별 특성 분석을 위한 레이더영상 처리 과정

3. 레이더영상처리

세 시기의 레이더영상자료는 비교적 단순한 처리과정을 통하여 침수지를 구분하는 단계로 진행되었다. 먼저 전체 영상에서 연구를 위한 사레지역으로 문산 및 주변 지역에 해당하는 영상을 추출하였다. 추출된 지역은 약 $18 \times 20\text{km}^2$ 의 면적으로 비교적 대규모의 침수지를 포함하고 있으며, 휴전선 이북의 개풍군 일부 지역이 포함되어 있다. 추출된 영상에 대한 처리과정은 기하보정 및 필터링 등 침수지 판독과 침수농경지의 시기별 반사신호의 특성을 분석하기 위한 기본적인 처리만을 실시하였다 (그림 2)

3.1 전처리

레이더영상에서 흔히 나타나는 스펙클 잡음(speckle noise) 현상을 저감시켜, 영상판독을 보다 용이하게 하고 더 나아가 침수지의 레이더반사신호의 변화를 보다 정확하게 분석하기 위한 필터링을 실시하였다. 본 연구에서는 Frost 등 (1982)에 의하여 발표된 자기상관 (autocorrelation) 필터를 사용하였다. Frost 필터는 목표물에서 반사된 순수한 신호값은 주변의 회소들과 독립적 관계가 아닌 공간적으로 연속성의 관계를 가지고 있다는 자기상관 개념이 이용된다. 따라서, 영상에서 하나의 단위공간(window) 중심에 위치한 회소는 주변 회소값들의 기중평균치에 의하여 대체되는데, 주변의 회소에 대한 기중평균치는 단위공간 내의 회소값

의 변이에 따라 좌우될 뿐만 아니라 가운데 회소로부터의 거리에 따라 결정된다. 3×3 크기의 단위공간(window)을 이용한 Frost 필터링을 통하여 스펙클 잡음을 최소화하여, 수면 및 논 등 비교적 농질의 지표물에서 회소값의 변이가 최소화 되도록 하였다 (이규성, 1996)

침수 전후의 세 시기 영상을 동일한 지도좌표에 등록함으로써 침수지 구분은 물론 침수 전후의 레이더 반사신호를 비교하기 위하여 세 영상에 대한 기하보정을 실시하였다. 연구에 사용된 영상자료는 수신소에서 촬영시점의 위성궤도자료만을 이용한 기초적인 기하보정을 마친 상태로 제공되었으나, 세 영상을 그대로 중첩하였을 경우 정확하게 일치되지 않았다. 세 시기의 영상이 정확하게 동일한 지도좌표에 일치시키기 위하여 먼저 하나의 영상을 기준으로 다른 두 영상을 일치시키는 영상등록(image-to-image registration)을 실시하였고, 일치된 세 영상을 다시 지도좌표에 맞추었다. 기하보정은 위성영상처리 과정에서 가장 기본적으로 처리되는 과정이므로 세부적인 설명은 생략하였다 (Jensen, 1996).

영상의 기하보정 및 좌표등록은 영상 및 지도에서 확인할 수 있는 지상기준점(ground control points)을 선정하여 실시하였다. 약 20개 기준점의 영상좌표와 지도좌표를 이용하여 아래와 같은 형태의 좌표변환식을 산출하였다

$$\begin{aligned} x' &= a_0 + a_1x + a_2y \\ y' &= b_0 + b_1x + b_2y \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 x, y 는 지도좌표이며, x', y' 는 그에 상응하는 레이더영상에서의 좌표이다. 이러한 좌표변환식은 기준점에서 얻어진 지도좌표와 영상좌표 자료를 적용하여 최소승법으로 변환계수 a, b 들을 구함으로써 산출되었다. 물론 처음 선정된 기준점들의 오차정도를 점검하여 좌표변환식의 평균제곱근오차를 1.0 이내로 되게 하였다. 최종적으로 구해진 좌표변환식을 이용하여 지도좌표에 영상을 재매달(resampling)하는 과정에서 12.5m의 회소간격을 원 영상의 공간해상도에 근접한 20m로 조정하였다

3.2 각종 지표물의 레이더 반사신호 분석

연구지역에서 나타나는 여러 지표물의 레이더반사신호를 비교하기에 앞서, 전체 영상의 통계치를 비교하였다. 각각의 영상에서 계산된 회소값의 기본 통계치를

비교한 결과, 비록 동일 지역에서 촬영되었지만 통계치가 매우 다르게 나타나고 있었다. 동일 지역의 영상에서 통계치가 서로 다르게 나타나는 이유는 다음의 일 반식으로 설명될 수 있는데,

$$DN_i = \alpha_i \cdot \sigma^{\circ} + \beta_i \quad (2)$$

여기서 DN_i 는 i 시기의 영상에 기록된 화소값(digital number value - DN)이며, σ° 는 후방산란계수(backscattering coefficient)로서 지표물에서 반사되는 순수한 레이더신호를 나타내며, α_i 와 β_i 는 이 신호 값을 디지털수치로 변환하기 위한 계수이다. α_i 와 β_i 는 파장, 안테나 변수, 입사각, 위성에서 지표물까지 거리 등 여러 가지 시스템변수에 의하여 결정되는 데, 이러한 촬영시점의 시스템변수가 다를 경우 동일한 지표물이라 할지라도 DN값이 다르게 나타나게 된다.

이러한 시스템변수의 차이에 따라서 세 영상에 기록된 화소값만으로는 서로 다른 지표물의 레이더반사신호를 직접 비교하는 것은 불가능하다. 다른 시기의 영상에서 지표물의 반사신호를 직접적으로 비교하기 위해서는 화소값(DN)을 적절한 방사보정(radiometric calibration) 과정을 거쳐 순수 레이더반사신호값인 σ° 으로 변환하여 분석하는 방법과 동일한 지표물여거의 유사한 화소값을 갖도록 정규화(normalization)하여 비교하는 방법으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 후자의 방법을 적용하였는데, 먼저 세 촬영시점에서 시표 상태의 변화가 없으리라 판단되는 기준 물체를 선정하여 세 영상간의 화소값 관계를 보여주는 회귀식을 도출하였다. 기준 물체로 포장도로 및 운동장과 같이 넓고 지형적 굴곡이 없는 평지를 이용하였다. 기준 물체에서 추출된 세 시기 화소값의 관계에서 도출된 회귀식을 이용하여 세 시기의 영상이 대략 동일한 범위의 화소값 분포를 갖도록 정규화 처리를 한 후, 연구 지역에 분포하는 다양한 종류의 지표물(수면, 나지, 논, 밭, 산림)을 선정하여 상대적 레이더반사신호를 비교하였다.

3.3 침수지 판독 및 구분

세 시기의 영상을 중첩하여 RGB 칼라합성영상으로 출력하였을 경우, 각 시기의 상대적 화소값의 차이에 따라 독특한 색을 띠게 된다. 문산 지역의 세 시기 영상을 다양한 RGB 조합으로 합성하여 판독의 효율성을

을 점검한 후, 7월7일 영상을 적색광으로, 8월4일 영상을 녹색광으로, 8월14일 영상을 청색광에 할당하여 칼라 합성하였다. 칼라합성 영상에서 서로 다른 색으로 나타나는 지점들에 대한 상대적 레이더반사신호의 시기적 차이를 분석하기 위하여 앞에서 분석한 여러 지표물의 반사특성을 고려하였다. 침수피해가 가장 많이 발생한 논외의 경우 침수여부와 함께 홍수 이후의 논외의 복구 상태에 따라 레이더반사신호의 시기별 차이가 뚜렷하게 구별됨으로서 칼라합성영상에서 다른 색으로 나타내게 된다. 영상이 촬영된 시점의 지표상태에 따라 시기별 레이더 반사신호의 유형이 합성된 영상에서 구별되는 데, 이를 식별 판독하여 구획하였다. 물론 자동적인 영상분류 기법을 적용하는 방안도 있으나, 이를 위해서는 산악지형에서 나타나는 사면의 경사 및 방위각에 따라 매우 불규칙적으로 나타나는 레이더반사신호를 보정해야 하는 절차가 필요하기 때문에 본 연구에서는 칼라 합성영상을 직접 육안으로 판독하여 침수지를 직접 구획해 나가는 방법을 이용하여 침수지의 유형을 구분하고 침수 면적을 추정하였다.

4. 결과 및 고찰

레이더영상에서 나타나는 반사신호의 상약은 명암에 의하여 구별되며, 그러한 반사신호의 차이는 표면의 거칠기에 의하여 크게 좌우된다. 그림 3은 정규화 처리를 한 영상에서 추출된 여러 지표물의 상대적 레이더 반사신호를 보여주고 있다. 영상에서 검게 보이는 불표면의 경우 기울반사(specular reflection) 특성에 따라 매우 낮은 값을 갖지만, 촬영시점의 풍속에 따라 상당히 큰 폭의 변이를 가질 수 있다. 주차장이나 도

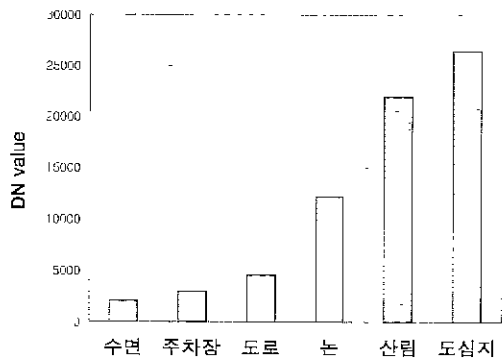


그림 3. 문산 지역 RADARSAT 영상에서 측정된 여러 지표물의 반사 신호값 비교

로 등은 물과 마찬가지로 비교적 매끄러운 표면상태이므로, 낮은 값으로 나타나지만 논이나 산림 등은 식물의 높이가 1m 이상 되기 때문에 레이더파와 잎과 가지와 접촉으로 인하여 반사신호값이 증가하게 된다. 도심지의 경우 건물의 측면과 입사되는 레이더파의 기하학적 관계에 따라 모서리 반사가 나타나기 때문에 매우 높은 신호값을 보이고 영상에서도 가장 밝게 나타난다.

레이더 반사신호가 표면의 상태에 따라 크게 좌우되는 특성에 따라, 침수된 지점의 레이더반사는 침수 정도에 따라 수면과 같거나 유사하게 나타나게 된다. 따라서 침수 당시의 영상과 침수 이전의 영상에서 나타나는 지표물의 상대적 반사신호를 시기별로 관찰해 보면, 침수 여부를 쉽게 판단할 수 있었다. 침수가 되지 않은 지점의 반사신호는 세 시기의 영상에서 크게 다르지 않게 나타나게 된다. 물론 논이나 산림은 시기별로 식물의 생육 정도에 따른 반사신호에 다소의 차이가 있을 수 있지만, 그 차이가 매우 미약하다 따라서 본 연구에 사용된 세 영상의 촬영 시점별로 레이더 반사신호를 관찰한 결과 침수가 발생한 논에서 뚜렷한 차이점이 발생하고 있음을 관찰할 수 있었다. 그림 4는 연구 지역의 침수되었던 논에서 추출한 레이더반사신호의 시기별 차이를 보여주고 있다. 홍수 이전인 7월 7일 영상에서 정상적인 생육을 보이고 있던 논 반사신호값이 완전히 침수되었던 8월 4일 영상에서는 물에 가까운 낮은 신호값을 보여주고 있다. 물론 침수가 되지 않고 정상적으로 벼가 성장하고 있는 논이라면 침수 이전인 7월 7일의 영상과 거의 같거나 다소 높은 반사값을 보여주게 된다.

8월 14일 영상은 침수되었던 지역이 모두 배수된 이후에 촬영된 영상이므로 침수되었던 논이 회복 상태를 관찰할 수 있었다. 8월 14일 영상의 촬영시점에 근접하여 연구지역을 답사한 결과 침수되었던 대부분의 논은 물이 빠진 후 벼가 정상적인 상태로 회복되어 자라고 있었으나, 부분적으로 장기간 침수로 인하여 벼가 복구되지 못하고 고사된 채로 방치된 논을 발견할 수 있었다. 문산을 주변 농경지의 경우 8월 4일에는 완전히 침수되었으나, 물이 빠진 8월 14일에는 정상적으로 벼가 자라고 있었다. 반면에 파평면과 임진각 주변의 일부 논은 비교적 장기간의 침수로 인하여 벼가 이미 죽었거나 복구를 포기하여 벼가 누운 채로 방치되어 있었다. 홍수 후 복구가 되지 않은 논은 경우 너무 오랜 기간 벼가 물에 잠겨있었거나 복구할 시간이 부족하여 그냥 방치되었기 때문에 현재 벼가 고사

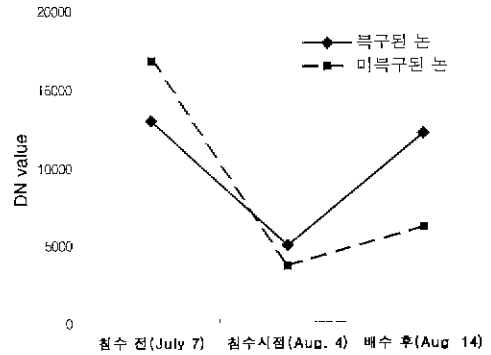


그림 4. 문산지역에서 침수되었던 논의 시기별 레이더반사특성

하여 누워있는 상태이므로, 8월14일 영상에서는 정상적으로 벼가 생육하는 논에 비하여 낮은 값을 보여주고 있다 (그림 4).

RGB 칼라합성은 적색, 녹색, 청색의 빛의 삼원색 합성에 따라 다양한 색이 조화되는 데, 그림 3에서 본 여러 물체의 상대적 레이더 반사신호가 세 촬영시점에서 어떻게 바뀌는가에 따라 색이 결정된다 (그림 5). 먼저 세 시기의 영상에서 커다란 차이가 없이 유사한 값을 갖게 되면 흰색, 회색, 검은색 등 명암만을 나타내게 된다. 일반적으로 강, 저수지, 도로와 같이 세 시기의 영상에서 모두 낮은 값을 가지고 있는 지표물은 칼라합성영상에서도 검게 보이고 도심지의 경우 세 영상에서 모두 높은 값을 가지게 되므로 칼라영상에서도 하얗게 보이고 있다. 침수농경지의 경우 그림 4에 관찰되었듯이 홍수시점인 8월 4일의 영상에서 낮은 값을 갖고, 홍수 전후의 시점에서는 비교적 높은 값을 갖게 되므로 칼라합성영상에서 적색광과 청색광의 혼합색인 보라색 개통으로 나타나게 된다.

보라색으로 표시되는 대부분의 침수지역은 비교적 저지대에 위치한 논으로 판명되었다. 칼라합성영상에서 임진강을 경계로 강 주변지역이나 영상의 좌측 넓은 침수지역은 휴진선에 인접하고 있기 때문에 현지 확인이 불가능하였으나, 문산 주변의 침수된 논과 동일한 특징을 보이고 있다. 대부분의 침수된 논이 보라색으로 나타나고 있지만, 문산 북쪽의 임진강 주변과 영상의 우측 상단부의 일부 지점은 적색으로 구분되어 나타나고 있는데, 이 지역의 논은 그림 4에서 언급된 복구되지 못하고 방치된 논에 해당되는 지역이다. 즉 8월4일에 침수되었던 논이 홍수 이후인 8월14일까지



그림 5. 문산지역의 시기별 레이더영상자료를 중첩한 칼라합성영상으로 보리색계통으로 보이는 지역이 침수지에 해당(R: 7월7일, G: 8월4일, B:8월 14일)

복구가 되지 못하고 고사된 벼가 누워있는 상태에서 홍수 후 제대로 자라고 있는 논에 비하여 8월 14일 영상에서 낮은 반사값을 갖게 되므로 칼라합성시 비교적 높은 값을 갖는 7월7일 영상의 적색만이 강조되기 때문이다.

이와 같이 침수 시점 및 그 전후의 세 시기 영상을 사용함으로써 침수되었던 논을 구분하였을 뿐 아니라, 홍수 이후 침수되었던 논의 복구 상태를 파악할 수 있는 가능성을 보여주고 있다. 최근 위성 레이더 영상자료의 공급과 더불어 벼의 생장에 따라 레이더반사신호가 증가하는 특성을 분석한 연구결과가 발표되고 있는데, 벼의 생장에 따른 레이더반사신호의 시기적 변화를 좀 더 세분하여 분석한다면 침수 후 복구된 논의 수확량 감소를 추정할 수 있는 가능성이 있다고 판단된다 (Lee와 Hong, 1999)

그림 5의 칼라영상은 이미 전처리 과정에서 기하학적 보정을 마치고 지도좌표에 등록된 영상이기 때문에 화면에서 침수지역을 직접 디지털이징한 경계선은 곧바로 수치지도자료로서 활용될 수 있게 된다. 영상판독 결과를 구획하여 얻어진 침수지도로부터 산출된 침수지의 면적은 파주 지역의 경우 1,122ha였으며, 이중

142ha가 홍수 후에 복구되지 못한 논 면적으로 나타났다 또한 영상에서 휴신선 이북에 해당하는 개풍군 지역의 침수농경지 면적은 608ha로 나타났다. 이러한 판독 결과를 객관적으로 검증하지 못하는 현실적인 한계가 있다 그러나 레이더영상에서 나타나는 반사신호의 시기별 특성에 대한 이해만으로도 침수된 지점을 큰 어려움 없이 판독해 낼 수 있기 때문에, 실제적인 침수지도 제작이 가능하리라 판단된다 침수지도의 제작은 영상에서 구획된 침수지의 경계를 직접 지형도 위에 표시할 수도 있으며, 이미 제작된 국가수치지도를 기본도와 함께 사용하는 방안도 가능하다.

5. 결 론

1999년 여름 경기도 파주 지역의 홍수 사태를 선정하여 침수피해가 발생한 시점과 그 전후의 RADARSAT 영상을 이용하여 위성레이더 영상의 특성과 활용 가능성을 분석한 결과, 각 시점의 지표 상태에 따라 침수지와 침수되지 않은 농경지에서의 시기별 레이더 반사신호에 뚜렷한 차이가 나타났다. 비교적 토지피복상태가 단순하고 넓은 면적으로 분포하는 농경지의 침수상태는 침수 전후의 시계열 레이더영상

자료를 칼라합성한 영상에서 쉽게 판독될 수 있었다. 그러나 소규모의 면적으로 발생하는 도심지의 침수상태나 구조를 붕괴 등과 같은 홍수 피해는 레이더 영상의 공간해상도 때문에 직접적인 판독이 어려우라 판단된다.

비의 생육에 비교적 민감한 반응을 나타내는 짧은 파장대의 RADARSAT의 C-band 영상자료가 농경지의 침수피해 분석에 있어서 보다 효과적인 것으로 판단된다. 단순히 침수지만을 구획하기 위해서는 침수 시점과 그 이전의 영상이 필요하겠지만, 홍수 이후 침수되었던 농경지의 복구상태를 파악하기 위해서는 홍수 후의 영상이 반드시 필요하다. 본 연구에서도 나타났듯이 침수되었던 논에서 물이 완전히 빠진 8월 14일에 촬영된 영상을 사용함으로써 8월 4일에 침수되었던 논이 복구되어 정상적으로 생육하고 있는 상태와 복구되지 못한 채로 방치된 상태의 두 가지 피해 유형을 구분할 수 있었다. 이는 농경지 침수상태와 아울러 홍수이후의 피해상황을 파악하기 위한 시계열 레이더 영상의 시기적 적합성과 관련된 중요한 문제라 할 수 있다.

침수피해 분석을 위한 레이더영상의 성공적인 활용이부는 최대 침수시점의 영상자료를 촬영할 수 있으나에 달려있다고 해도 과언이 아니다. 본 연구에 적용된 홍수 사상은 우리 나라에서 발생하였던 홍수 중 비교적 대규모인 1999년 경기 북부지역의 홍수를 대상으로 하였기 때문에 호우가 끝날 무렵인 8월 4일 영상에서도 매수가 되지 않은 침수지가 있었기 때문에 침수지 구획이 가능하였으나, 하루 이내에 물이 빠지는 대부분의 소규모의 홍수제해의 경우 영상자료의 획득이 보다 적시에 이루어져야 할 것이다. 홍수피해 분석을 위한 영상자료 획득의 시기적 적합성 문제를 해결하기 위하여 인공위성 영상과 함께 항공기를 이용한 레이더영상의 획득 방안 또한 고려할 필요가 있을 것이나 침수 시점의 영상자료가 적기에 공급될 수 있다면, 기하보정 및 영상판독 등 비교적 간단한 처리과정을 통하여 보다 정확하고 신속한 방법으로 침수지도 제작을 할 수 있다. 이렇게 구축된 홍수지도들 기존에 구축되어 있는 지형, 토지이용, 식생, 지질 등 다른 공간자료와의 중첩을 통하여 보다 세부적인 홍수특성과 피해상태에 대한 분석이 가능할 것이다.

참 고 문 헌

박병욱, 김철, 조효섭, 김계호 (1997). "Landsat

TM 자료를 이용한 홍수흔적 분석." *한국 GIS 학회 추계 학술대회논문집*, 한국 GIS학회, 7pp.

이규성. (1996) "레이더 영상자료의 Speckle 필터링 효과." *대한원격탐사학회지*, 대한원격탐사학회, 제12권, 제2호, pp 155~168.

이규성. (1999). "홍수 제해관리를 위한 영상자료의 현황과 전망" *한국수자원학회지*, 한국수자원학회, 제32권, 제3호 pp. 20~29.

Barrett, E.C., Beaumont, M.J., and Herschy, R.W (1990). "Satellite remote sensing for operational hydrology: Present needs and future opportunities." *Remote Sensing Reviews*, Vol. 4, No 2, pp. 451~466.

Brakenridge, G.R, Tracv, B.T., and Knox, J.C., (1998) "Orbital SAR remote sensing of a river flood wave" *Int. Jour. Remote Sens.*, Vol. 19, No. 7, pp. 1439~1445

Frost, V.S., Stiles, J.A, Shamugan, K.S., Holtzman, J.C (1982). "A model for radar Images and its application to adaptive digital filtering of multiplicative noise", *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 4, No. 2, pp. 157~166

Jensen, J.R. (1996). *Introductory digital image processing - A remote sensing perspective* Prentice Hall Inc, pp. 107~192.

Hess, L.L., Melack, J.M., Filoso, S., and Wang, Y. (1995) "Delineation of inundated area and vegetation along the Amazon floodplain with the SIR-C synthetic aperture radar." *IEEE Trans Geosci. Remote Sens.*, Vol. 33, No 4, pp 896~903.

Leconte R., and Pultz. T.J. (1991). "Evaluation of the potential of Radarsat for flood mapping using simulated satellite SAR imagery." *Canadian Jour. Remote Sensing*, Vol. 17, No. 3, 241~249

Lee, K.S., and Hong, C.H. (1999) "L-band SAR monitoring of rice crop growth." *Proceedings of Int. Symp. on Remote Sensing - EMSEA '99*, pp 479~484.

RADATSAT Inc, (2000) "RADARSAT-1 : materials." <http://www.rsi.ca/classroom>

Pope, K.O., Rejmankova, E, Paris, J.F. and Woodruff, R. (1997) "Detecting seasonal flooding cycles in marshes of the yucatan peninsula with SIR-C polarimetric radar imagery" *Remote Sensing of Environment*, Vol. 59, pp. 157~166.

Takeuchi, S., Konishi, T Suga, Y and Kishi, S. (1999). "Comparative study for flood detection using JERS-1 SAR and Landsat

TM data." *Proc. of 1999 IGARSS*, Vol. 2, pp. 873~875.

Wiesnet, D.R. and Deutsch, M. (1987). "Flood monitoring in South America from the Landsat, NOAA and NIMBUS satellites." *Advances in Space Research*, Vol. 7, No. 3, pp 77~84

(논문번호:00-009/접수:2000.02.14/심사완료:2000.05.24).