

Radarsat-1 SAR 영상과 산란계 실내 실험을 통해 관찰된 조간대 갯벌 건조시 레이더 후방산란계수의 M형 변화

채희삼¹ · 이훈열¹ · 조성준² · 박노옥²

¹강원대학교 지구물리학과, ²한국지질자원연구원

M-shaped Change of Radar Backscattering Coefficient on a Drying Tidal Mudflat Observed by Radarsat-1 SAR Images and a Laboratory Scatterometer Experiment

Heesam Chae¹, Hoonyol Lee¹, Seong-Jun Cho², and No-Wook Park²

¹Department of Geophysics, Kangwon National University

²Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

요약 : 이 연구에서는 Radarsat-1 SAR 영상과 조위자료, 증발자료 및 다편광 산란계를 이용한 개펄 건조 실내실험 등을 통하여 해수면 위로 노출된 자연갯벌이 증발과 구조적 변화를 일으킬 때 레이더 후방산란계수의 변화를 분석하였다. 개펄 건조 실내실험 결과, 후방산란계수가 증발시간에 따라 단순한 증가나 감소를 보이지 않았으며 갯벌의 구조와 배수, 증발, 건조 등에 의해 보다 복잡한 M자 형태(증가-감소-증가-감소)의 변화를 나타내었다. 이러한 M형의 변화는 증발시간에 따른 Radarsat-1 SAR 15개 영상의 후방산란계수 변화 양상에서도 나타나는 것으로 확인되었다.

1. 서론

우리나라의 갯벌은 총 28,000km²에 달하며 대부분 펄과 모래로 이루어졌다(고철환, 2001). 조간대 갯벌에서는 약 12시간 25분을 주기로 조석간만이 발생하며, 특히 썰물시 해수면위로 노출된 조간대에서는 배수, 증발, 건조, 생물체 교란 등이 일어나면서 갯벌의 구조적, 전기적 성질에 변화를 일으키게 된다. 이 연구에서는 조간대 갯벌이 건조될 때 유전율(dielectric constant)과 거칠기(roughness)의 변화로 인한 레이더 후방산란계수(σ°)의 변화를

살펴보기 위하여 Radarsat-1 SAR 영상 분석과 다편광 산란계(polarimetric scatterometer)를 이용한 실내실험을 수행하여 비교 분석하였다.

2. SAR 영상 분석

연구지역은 경기도 화성시 서신면 제부도 일대의 조간대 갯벌을 대상으로 하였다. 건조에 따른 조간대 갯벌의 후방산란을 분석하기 위해 Radarsat-1 SAR 영상, 조위자료, 증발자료를 이용하였다.

Radarsat-1 SAR 영상은 2001년 1개,

2003년~2004년 14개를 사용하였다(표 1). 이 영상들은 S5 ascending 모드로 대략 18시 30분에 획득되었다. 이 시각은 12.42시간의 조석간만주기에 따라 주로 낮 시간 동안 일어나는 갯벌표면의 건조를 관측할 수 있는 이상적인 시각이라 할 수 있다. 각각의 SAR 영상은 후방산란계수로 변환되었으며, 연구지역에서 노출시간이 최대가 되는 상부조간대 영역들을 설정하여 값을 추출하였다(그림 1).

후방산란계수와 갯벌의 수분함량의 관계를 분석하기 위해서는 영상 획득 당시 현장에서 계측된 수분함량 자료가 필요하지만, 이러한 자료는 전무하다. 따라서 이 논문에서는 갯벌의 '노출시간'과 일일 '증발량'이 토양 수분함량과 반비례한다고 가정하였다.

연구지역 갯벌의 '노출시간'을 계산하기 위해서는 조간대 고도 자료(DEM)가 필요하다. DEM은 15개 SAR 영상의 water-line을 추출하고 검조기록부 상의 조위를 통해 구축하였다. 제주도 일대의 경우 조위관측소가 없는 관계로 남동방향

표 1. Radarsat-1 SAR 영상자료, 평택조위관측소 조위자료, 인천 기상대 증발량자료.

번호	영상획득일	조위(cm)	증발량(mm)
1	20010703	443	1.2
2	20030506	702.5	1.0
3	20030530	629	4.9
4	20030623	310	1.5
5	20030717	781.5	1.1
6	20030810	451	1.1
7	20030927	908	2.8
8	20031021	301.5	0.9
9	20040218	595.5	2.3
10	20040711	287.5	0.9
11	20040804	828	6.5
12	20040828	507	3.0
13	20040921	583	2.5
14	20041015	875	2.8
15	20041108	310	0.9

으로 25km 떨어진 평택조위관측소의 검조기록부를 바탕으로 하여 보정하여 사용하였다. 각 영상이 획득될 당시 water-line 조위와 연구지역 고도의 차이를 이용하여 조위 곡선에 따라 갯벌의 노출시간을 계산하였다.

연구지역의 '증발량'은 인천 기상대에서 매일 측정된 증발량을 사용하였다. 2001년에서 2005년까지 증발량의 최대치인 8.5mm를 기준으로 영상획득일의 증발량을 정규화 하여 [0,1]로 나타내었다. 이 값에 노출시간에 곱하여 '증발시간'을 다음과 같이 정의하였다.

$$\text{증발시간} = \text{노출시간} \times \text{정규증발량} \quad (1)$$

즉, 증발시간은 갯벌의 노출시간과 증발량을 함께 고려한 것으로서, 영상획득 당시의 갯벌 수분함량의 지표로 사용되었다.

그림 2는 증발시간에 따른 후방산란계수를 그래프로 도시한 결과이다. 일반적으로 토양수분함량이 작아지면 유전율의 감소로 인하여 마이크로파의 후방산란이 작아지는 것으로 알려져 왔다(Ulaby *et al.*, 1981). 그러나 분석 결과, 증발시간에 따른 후방산란계수의 변화가 단조로운 감소 형태를 보이지 않고 있음을 알 수 있다.

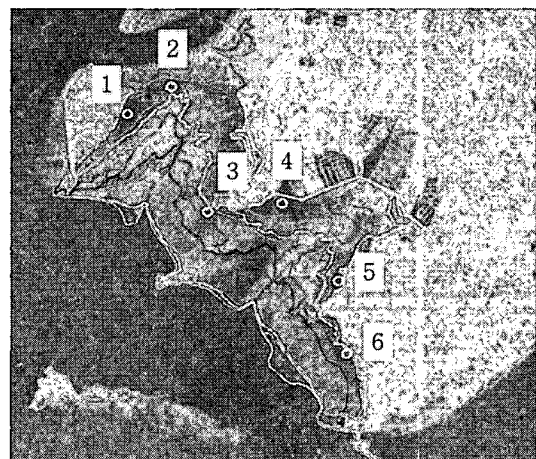


그림 1. Water line 방법에 의한 DEM 및 후방산란계수 추출 지역(1-6).

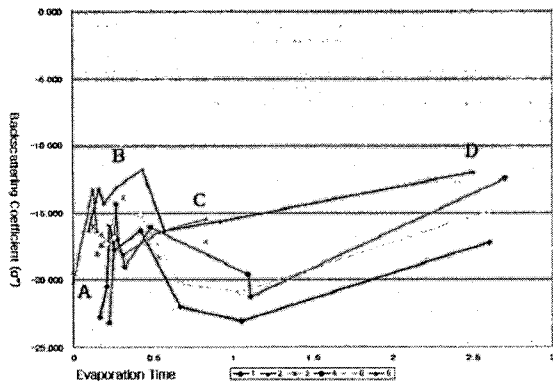


그림 2. Radarsat-1 SAR 조건대 영상에서 증발시간에 따른 후방산란계수.

대신, 증발시간 초기에는 후방산란이 증가하였다가(AB) 감소하고(BC), 다시 증가하는(CD) 다소 복잡한 양상을 보이고 있다.

3. 산란계 실내 갯벌 건조실험

위에서 살펴본 Radarsat-1 SAR 영상의 증발시간에 따른 후방산란 관계를 해석하기 위해 네트워크 분석기와 마이크로파 안테나를 이용한 다편광 산란계를 구성하여 실내 갯벌 건조실험을 하였다(그림 3). 중심주파수가 Radarsat-1과 같은 5.3GHz인 Dual-Polarization Square Horn 안테나를 사용하였으며, 대역은 600MHz로서 거리해상도는 25cm이고, 빔폭은 15°이다. 벡터 네트워크 분석기는 Agilent사의 8753ES를 사용하였다. 연구 지역에서 채취한 개펄 샘플을 2m×2m×0.2m 크기의 스티로폼 틀에 넣었다. 안테나의 look angle은 45°로 하였으며, 안테나와 개펄까지의 마이크로파 왕복시간은 샘플의 전면부가 15ns, 중앙부는 19ns, 후면부는 25ns이다. 개펄건조 시 실내 온도는 약 20°C, 습도는 약 30%를 유지하면서 6주 동안 10분 간격으로 HH, HV, VH, VV의 진폭과 위상, 그리고 1시간 간격으로 사진 촬영이 자동으로 이

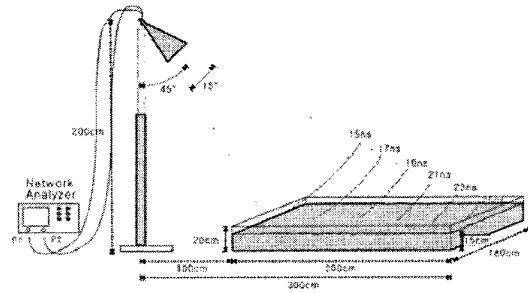


그림 3. 산란계를 이용한 실내 갯벌 건조실험 모식도.

루어졌다.

이 중 Radarsat-1과 같은 HH 편광 자료를 살펴보면, 갯벌이 건조해짐에 따라 후방산란계수는 단순한 증가나 감소를 보이지 않고 유전율과 표면 거칠기의 변화에 따라 그림 4와 같이 다소 복잡한 형태를 보이고 있다. 개펄 중앙부인 19ns의 후방 산란 변화 양상을 살펴보면, 실험 초기에는 개펄이 물로 가득차 있어 전반사를 일으켜 후방산란계수가 아주 낮았다(그림 4A, 그림 5a). 그 후 물이 빠지자 표면 거칠기가 증가하여 후방산란이 증가하였다(그림 4A-B, 그림 5a-b). 표면에 고여 있던 물기가 완전히 사라진 후 건조가 시작되면서는 개펄의 유전율 감소로 후방산란 또한 감소하였다(그림 4B-C, 그림 5b-c). 시간이 지나 갯벌 샘플이 충분히 건조되면서 건열이 발생하기 시작하였다(그림 4C, 그림 5c). 건열로 인한 표면 거칠기가 계속 증가하면서 후방산란도 증가하였다(그림 4C-D, 그림 5c-d). 건열이 충분히 발달하고 구조적으로 안정된 후(그림 4D, 그림 5d)에는 건조가 계속해서 일어남으로써 유전율이 감소하여 후방산란도 감소하였다(그림 4D-E, 그림 5d-e).

실험 후반부에 건조를 증대시키고자 온풍기와 선풍기를 가동하여 실내 온도 28°C, 습도 20%로 유지시키자 후방산란계수의 감소 양상이 두드러지게 나타났다

(그림 4E 이후).

결과적으로, 썰물시 갯벌의 후방산란계수는 초기 배수에 따라 증가(AB), 증발에 따른 감소(BC), 건열발생에 따른 증가(CD), 그리고 지속적 증발에 따른 감소(DE)의 M형 변화를 보인다고 할 수 있다.

한편, 그림 4의 A-B 중간에 후방산란계수가 잠시 감소하였다. 이것은 갯벌 샘플 전면부의 바닥과 스티로폼에 있던 수분이 증발한 영향으로서, 자연 상태에서는 볼 수 없는 실내실험의 경계효과이다. 이는 샘플의 전반부인 17ns에서 후방산란이 특히 급격하게 감소하는 것으로 확인할 수 있다. 또한, 건열이 샘플 후면부에서 먼저 발달하기 시작하였는데, 이는 21ns에서 후방산란 증가가 19ns 보다 먼저 일어나는 것으로 확인할 수 있다(그림 4C', 그림 5c').

4. 결론

조간대 갯벌에서 증발시간에 따른 마이크로파 후방산란계수의 변화를 관찰하기 위하여 15개 Radarsat-1 SAR 영상을 이용한 분석과 산란계 실내 갯벌 건조실험을 수행한 결과, 후방산란계수가 증발시간에 따라 단순한 감소를 보이지 않았으며, 갯벌의 배수, 증발, 건열, 건조에 따르는

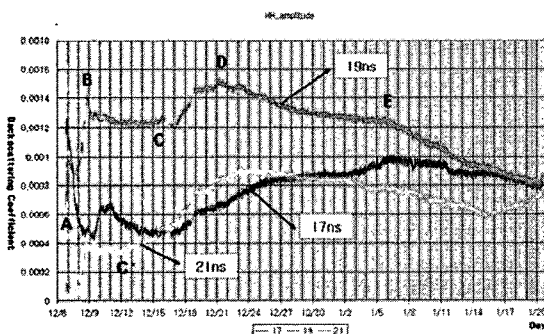


그림 4. 산란계를 이용한 개펄실내 건조실험에서 시간에 따른 개펄 후방산란계수 변화.

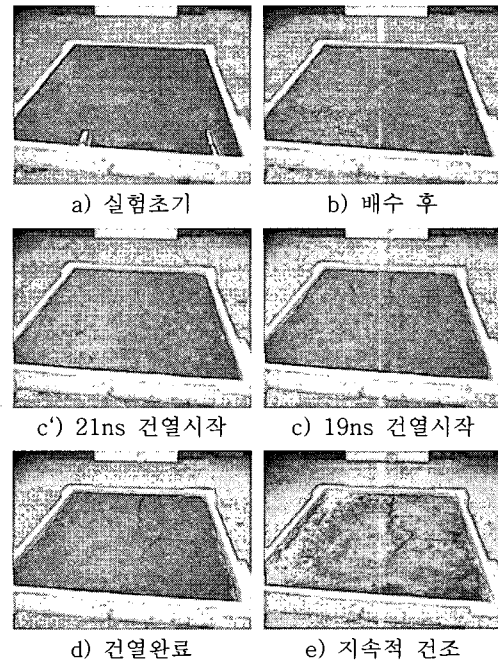


그림 5. 갯벌 건조실험 과정

M자 형태(증가-감소-증가-감소)의 변화를 나타내었다. 단, SAR 영상 분석 결과에서는 자료 부족으로 초기의 증가-감소-증가 형태만이 관측되었으며, 이는 앞으로 보다 많은 자료의 축적을 통해 온전한 M형 변화를 확인할 수 있을 것으로 기대된다.

사사

이 연구는 한국지질자원연구원의 2005년도 '지반침하조사를 위한 복합 물리탐사 시스템 구축연구' 사업의 지원을 받았다.

참고문헌

- 고철환, 2001. 한국의 갯벌, 서울대학교 출판부, pp. 3-21.
 Ulaby, F. T., R. K. Moore and A. K. Fung, 1981. *Microwave Remote Sensing*, vol 2, pp. 827-833.