ERS-1 InSAR를 이용한 빙하 이동 속도 관측

Estimation of Ice-Sheet Motion Using ERS-1 Interferometric SAR

손홍규* · 박홍기** · 이형기*** · 윤공현**** · 송용학*****

Sohn, Hong-Gyoo · Park, Hong-Gi · Lee, Hyung-Ki · Yun, Kong-Hyun · Song, Yong-Hak

*연세대학교 사회환경시스템공학부 조교수(e-mail:sohn1@yonsei.ac.kr)

**경원대학교 토목환경공학과 교수(e-mail: hgpark@mail.kyungwon.ac.kr)

***연세대학교 사회환경시스템공학부 토목전공 석사과정(e-mail:leehk@yonsei.ac.kr)

****연세대학교 사회환경시스템공학부 토목전공 박사과정(e-mail: ykh1207@yonsei.ac.kr)

*****연세대학교 산업기술연구소 연구원(e-mail: goroke92@hanmail.net)

要 旨

본 연구에서는 Greenland의 Sondrestrom 지역에 존재하는 빙하의 운동을 관측하기 위해 두 장의 ERS-1 SAR 영상을 이용한 SAR Interferometry(InSAR) 기법을 적용하였다. 본 연구에서 사용한 지역은 영상 좌편의 암석 지역과 영상 우편의 빙하 지역으로 구성되어 있기 때문에 복잡한 위상차를 보이며, 두 지역의 경계선 지역에서는 자료의 상관도(coherence)가 떨어지기 때문에 절대위상 복원(phase unwrapping) 수행시 시작점(seed point) 위치의 선정이 매우 중요한 사항이다. 또한 대상 지역에 대한 정확한 기준점의 확보가 어렵기 때문에 기선길이(baseline) 추정시 대상지역의 수치고도모형을 이용하여 많은 수의 기준점을 추출하여 기선길이를 추정하였다. 그 결과로 위성의 경사거리 방향에 대한 빙하의 속도 성분을 추출할 수 있었다.

1. 서 론

현재 담수의 85% 이상이 빙하로 존재하며, 육지의 약 10%는 빙하로 덮여 있는 상태다. 따라서 지구의 극지방에 존재하는 빙하는 지구 대기의 순환에 밀접한 영향을 끼치며 또한 거대한 양의 물 저장고로서의 역할도 하고 있다. 특히 현존하는 빙하가 모두 녹을 경우 지구 평균해수면에 커다란 영향을 미치게 된다. 따라서 현재의 빙하 상태를 면밀히 분석하는 것은 매우 중요한 사항이지만 빙하의 운동에 대한 현장 자료가 부족한 실정이다. 일반 광학 영상은 지형이 분명하고 빠른 운동을 하는 지역에 대해서만 적용이 가능한 반면, SAR Interferometry(InSAR)는 빙하처럼 지형의 기복이 적은 지역에 대해서도 조밀한 속도 정보를 제공해 준다.

따라서 본 연구에서는 InSAR 기법을 적용하여 빙하의 속도 정보를 추출하려 한다.

2. 처리 과정

2.1 InSAR의 원리

SAR는 항공기나 우주선에 탑재된 안테나에서 경사거리 방향으로 레이더 신호를 보내고 반사되어 다시 돌아오는 신호를 수신하는 시스템이다. 이 때 수신기는 돌아오는 신호의 진폭 뿐만 아니라 위상도 기록하게 되는데, 공간적으로 떨어져 있는 두 안테나가 동일한 지역을 대상으로 하거나 또는 하나의 안테나가 동일한 지역

을 대상으로 할 때, 두 장의 SAR 영상을 얻게 된다. 이 두 복소수 영상간의 위상차는 InSAR 기하, 지형의 표고와 지표면의 변위 등에 의한 영향을 복합적으로 내포하게 된다. 따라서 이로부터 지표면의 변위에 의한 위상차만을 추출하게 되면 이로부터 우리가 원하는 지표의 속도를 측정할 수 있게 된다.

2.2 SLC 영상의 co-registration

Co-registration이란 지상의 어떤 점이 주영상과 부영상에서 각각 동일한 좌표값을 갖도록 영상을 재배열하는 과정으로, 정확한 interferogram을 생성하기 위해서는 0.1 영상소 이하 단위의 정밀한 co-registration을 필요로 하게 된다. 이 때 한 쌍의 영상은 수 백 영상소에 달하는 offset을 가질 수 있기 때문에 먼저 몇 영상소 이내로 대략적인 offset을 구할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 두 단계로 나누어 co-registration을 수행하였는데 먼저 육안으로 개략적인 offset의 범위를 구한 후 512×512 크기로 절취한 두 복소수 영상간의 interferogram을 생성하여 fringe가 가장 선명할 때를 영상소 단위의 offset으로 정하는 방법을 사용하였다. 그 다음 16×16 소창문의 부영상을 공액 복소수를 취하여 주영상에 곱하고 여기에 FFT(Fast Fourier Transform)를 수행하면 스펙트럼을 얻게 되는데, 그 최대값이 존재하는 곳이 바로 offset이 존재하는 곳이다. 이를 zero-pad 시킨 후 다시 역 FFT를 수행하여 0.1 영상소 단위의 격자 상에 offset을 배열시켰다. 이와 같은 과정을 영상 전체에 걸쳐 80 점에 대하여 수행한 후 각 점의 offset을 최소제곱법을 적용하여 영상 내 임의의 점에서의 경사거리 방향과 위성 진행 방향의 offset을 구할 수 있는 2차원 다항식 모형의 매개변수를 계산하였다.

그림 2.1의 interferogram은 이와 같이 co-registration을 수행한 후 위상 잡영을 줄이기 위한 필터링을 거친 것이다.

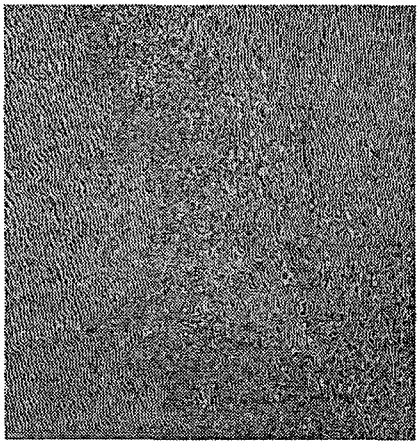

그림 2.1 생성된 interferogram

2.3 절대위상 복원

복소수 형태의 SAR 영상으로부터 획득된 위상차는 2π로 나눈 나머지 수의 형태로 존재하므로 우리가 원하는 지표의 이동이나 표고에 대한 정보를 얻기 위해 이를 실제의 위상차로 변환하는 과정을 절대위상 복원(phase unwrapping)이라 하며, 본 연구에서 적용한 알고리즘은 Goldstein 등(1988)이 제안한 branch-cut 알고리즘이다.

본 연구의 대상 지역은 빙하만으로 이루어진 것이 아니라 암석 지역이 공존하는 특징이 있다. 그림 2.2와 2.3은 대상 지역의 진폭 영상과 상관도 영상을 보여 준다.

암석과 빙하의 경계 지역에는 자료의 상관도가 떨어지므로 위상에 대한 정확한 정보를 얻을수 없기때문에, 정확한 절대위상 복원을 수행하기 위해서는 상관도 자료를 이용하여 branch-cut을 가로지르는 적분 경로를 선택하지 않도록 하는 시작점(seed point)의 선정이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 먼저 상관도자료를 기반으로 절대위상 복원불능점 지도(residue map)를 생성한 후, 다시 이를 이용하여 branch-cut을 생성하고 이를 관찰하여 시작점의 위치를

선정하였다.

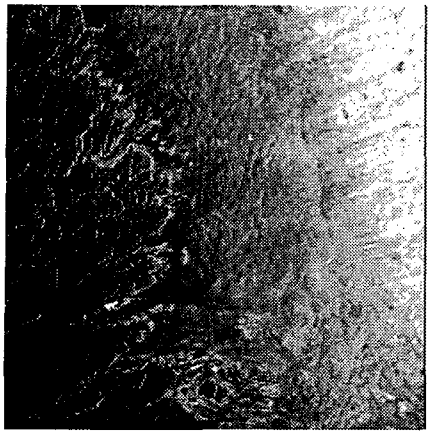

그림2.2 진폭영상

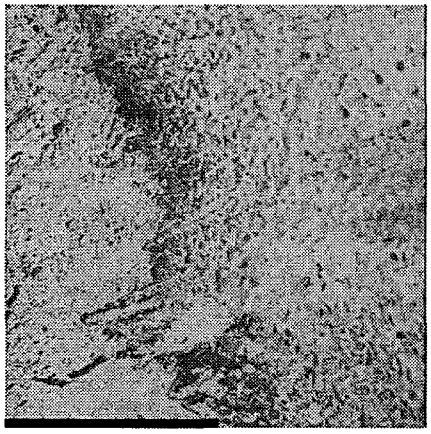

그림 2.3 진폭영상

그림 2.5는 생성된 branch-cut을 보여주며, 그림 2.6은 시작점 선정이 가능한 지역을 확대한 것이며 동그란 점은 선정된 시작점을 의미한다.

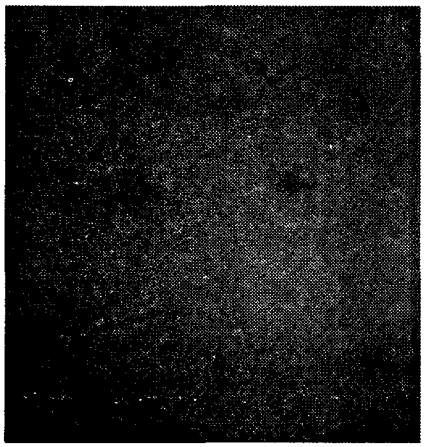

그림 2.4 절대위상 복원 불능점 지도

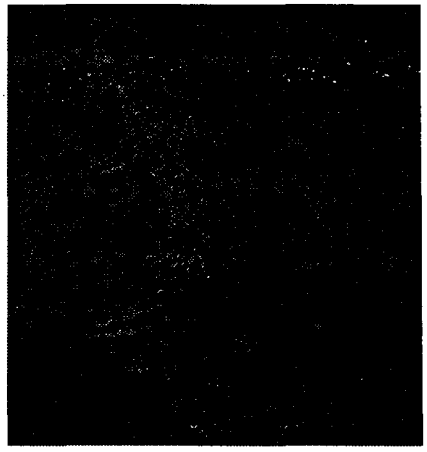

그림 2.5 생성된 branch-cut

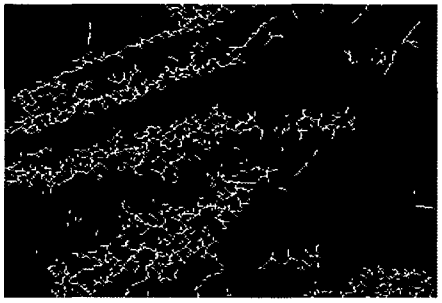

그림 2.6 시작점 선정 지역

그림 2.7은 이를 토대로 절대위상 복원을 수행한 위상도를 보여주고 있다.

2.4 기선길이 추정법

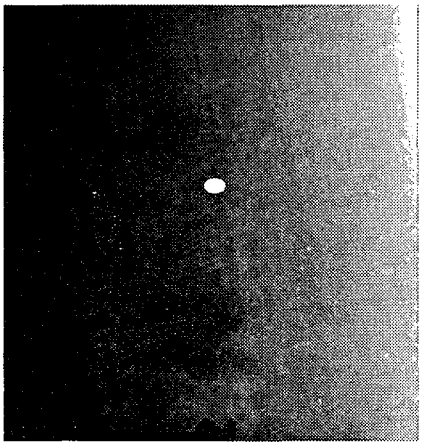

그림 2.7 복원된 절대위상

생성된 interferogram은 InSAR 기하에 의한 위상차를 포함하므로 이를 제거하는

작업을 거쳐야 하는데, 이를 위해서는 기선길이를 정확히 추정해야 한다. 보통 위성의 천체력 자료로부터 추정한 기선길이는 수 m의 오차를 가지기 때문에, 본 연구에서는 기준점을 이용하여 기선길이를 좀 더 정확히 추정하였다. 이를 위해 Joughin(1995)이 제안한 다음의 식 (2.1)을 이용하여 최소제곱법을 적용하였다. 이 식을 적용하기 위해서는 최소 네 점 이상의 기준점을 사용하면 되지만, 본 연구의 대상 지역에서는 정확한 기준점을 얻기 힘들기 때문에 수치고도모형을 이용하였다. 또한 수치고도모형의 오차를 최소화시키기 좀 더 많은 70점의 기준점을 추출하여 사용하였다.

$$\begin{aligned} &\Phi_{unwrap}+\Phi_{const}-\frac{kB^2}{r_0}+\frac{k\Delta^2}{r_0} \\ &=-2k\left(\left(B_n^c+\delta B_n\left(\frac{x-x_c}{L_x}\right)\right)\sin\theta_d\right. \\ &\quad\left.+\left(B_p^c+\delta B_p\left(\frac{x-x_c}{L_x}\right)\right)\cos\theta_d\right) \end{aligned} \quad \text{(식 2.1)}$$

위 식에서 미지수는 네 개로 다음과 같다.

B_n^c:영상 중앙에서의 기선길이의 수직성분

B_p^c:영상 중앙에서의 기선길이의 평행성분

δB_n:비행경로에 따른 B_n의 변화량

δB_p:비행경로에 따른 B_p의 변화량

나머지 항들은 기지값으로, Φ_{unwrap}은 복원된 절대위상을 의미하고, B는 궤도정보로부터 계산된 기선길이, Δ는 경사거리 차이, x는 위성 진행 방향으로의 위치, x_c는 영상 중앙의 위성 진행 방향으로의 위치, L_x는 영상의 위성 진행 방향으로의 길이, θ_d는 영상 중앙과 기준점(tie point)에 대한 관측각(look angle)의 차이를 의미한다.

표 2.1은 수치고도모형으로부터 암석 지역에 대해 70점의 기준점을 추출하여 기선길이를 측정한 결과와 ESA (European Space Agency)에서 제공하는 자료를 비교한 것이다.

표 2.1 기선길이 비교 (단위:m)

	B_n	δB_n	B_p	δB_p
기준점 사용결과	33.481	3.198	-0.788	0.571
ESA 자료	33.032	1.99	4.252	0.673

3. 대상 지역과 결과

본 연구에서 사용한 자료는 Single Look Complex(SLC) 영상으로 1991년 11월 25일과 28일, 3일 주기로 얻어진 ERS-1 SAR 영상으로 북위 67도, 동경 309도에 위치한 Greenland 서안의 Sondrestrom 지역을 대상으로 한 것이다.

우리가 원하는 지표의 이동 속도를 측정하기 위해서는 지형의 표고로 인한 위상차와 InSAR 기하로 인한 위상차를 제거해 주어야 하는데, 지형의 표고로 인한 위상차를 제거해 주기 위해 본 연구에서는 Greenland 전역을 포함하는 KMS(Kort-og Matrikelstyrelsen) DEM을 사용하였다. 그림 3.1은 수치고도모형과 추정한 기선길이를 이용하여 빙하의 운동으로 인한 위상차만을 얻은 결과를 보여 주고 있고 그림 3.2는 이를 절대위상 복원한 결과이다.

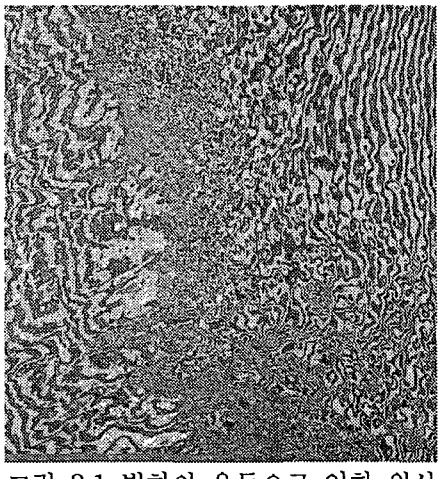

그림 3.1 빙하의 운동으로 인한 위상

그림 3.2 복원된 절대위상

본 연구에서는 빙하의 이동 속도를 측정하기 위해 두 SAR 영상 취득 사이의 기간 T동안 이동 속도가 일정하다고 가정하였고, 따라서 경사거리 방향의 이동 속도는 다음 식으로 얻어진다.

$$V=\frac{\Phi_{motion}}{2kT\sin\psi} \qquad \text{(식 3.1)}$$

여기서, ψ는 incidence angle을 의미한다.

그림 3.3은 측정한 빙하의 이동 속도를 보여 주고 있다.

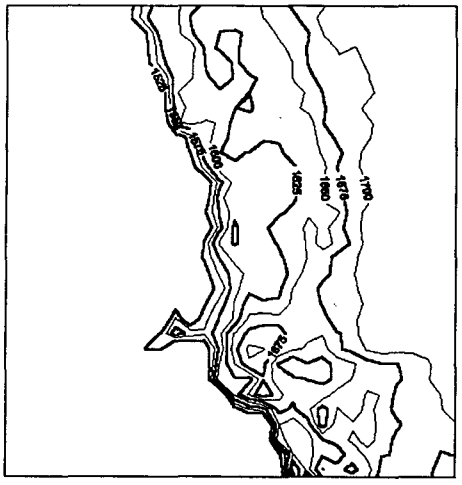

그림 3.3 Sondrestrom 지역의 빙하 속도 (단위:m/yr)

4. 결론

위 결과와 같이, InSAR 기법은 넓은 지역을 대상으로 지표의 변위를 정확하게 측정할 수 있음을 알 수 있었고, 이는 빙하의 변동으로 인한 지구 평균해수면의 관측 등에 응용될 수 있을 것이다.

InSAR 기법을 이용하여 얻은 속도는 레이더 관측방향의 속도성분만을 제공해 주기 때문에 앞으로 위성진행 방향으로의 속도성분을 관측하기 위한 기법에 대한 연구가 계속되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Joughin, I. (1995) *Estimation of Ice-Sheet Topography and Motion Using Interferometric Synthetic Aperture Radar,* Ph.D. dissertation, University of Washington, Seattle, Washington, U.S.A.

2. Goldstein, R.M., Zebker, H.A. and Werner, C.L. (1988) Satellite radar interferometry: two-dimensional phase unwrapping, *Radio Science,* Vol.23, No.4, pp. 713-720.

3. Kwok, R. and Fahnestock M.A. (1996) Ice Sheet Motion and Topography from Radar Interferometry, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,* Vol.34, No.1, pp.189-200.