

GPR을 이용한 리빙스톤섬 빙하층 탐사

이주한¹⁾²⁾, 진영근¹⁾, 홍종국¹⁾, 홍성민¹⁾

¹⁾ 한국해양연구원 부설 극지연구소, joohan@kopri.re.kr

²⁾ 과학기술연합대학원 대학

GPR investigation of glacier on Livingstone Island, Antarctica.

Joochan Lee¹⁾²⁾, Young Keun Jin¹⁾, Jong Kuk Hong¹⁾, Sungmin Hong¹⁾

¹⁾ Korea Polar Research Institute, KORDI

²⁾ University of Science and Technology

요약 : 전 지구적 환경 모니터링을 위한 빙하 시추의 예비 탐사로서 남극 리빙스톤섬에서 GPR (Ground Penetrating Radar) 탐사를 실시하였다. 탐사지역은 세종기지가 위치한 킹조지섬으로부터 남서쪽으로 80 km 위치한 곳으로 해발 340 m의 Mt. Charra 부근에 위치한다. 총 5개의 측선을 탐사했으며 3개의 반사법과 2개의 CMP (Common Midpoint) 방법을 실시하였다. 탐사결과 연구지역에서 빙하층은 전자기파의 속도와 반사 단면의 특징으로 3개로 나누었다. 빙하의 두께는 80 ~ 110 m에 이르는 것으로 추정되고 층에 따라 빙하 내부에 다량의 물과 화산재를 포함하고 있는 것으로 해석된다.

주요어 : GPR, 리빙스톤섬, 빙하

Abstract : With the aim of global environmental monitoring we carried out GPR (Ground Penetrating Radar) surveys at the Livingstion Island in Antarctica. Research area is near the Mt. Charra (340m) in Livingston Island which is located 80 km to the southwest of the King Sejong Station. We have collected 5 lines of GPR data. Two kinds of survey, CMP (Common Midpoint) surveys and common offset profiles, were performed. We classified the glacier into the three layers using electromagnetic velocity of the ice and reflection characteristic. The depth of glacier reached about 80 ~ 110 m. Some reflectors showed the evidence of the water filled englacial drainage and volcanic ash-layers.

Key words : GPR, Livingstone Island, Glacier

1. 서론

극지연구의 가장 큰 목표 중에 하나는 전 지구적 환경변화의 관측과 예측에 있다. 그 중 가장 대표적인 것이 빙하의 연구라 할 수 있다. 빙하는 오늘날 초미의 관심사인 미래의 지구 환경변화를 예측하는데 필요한, 과거 수십만 년간의 전 지구적 지구 환경변화에 대

한 기록을 그대로 간직하고 있다. 현재 우리나라도 극지지역을 비롯하여 히말라야 등에서 수집된 빙하에 대한 연구를 활발히 수행하고 있다. 하지만 자체적인 빙하 시추기술과 사전 조사기술이 아직 미비한 상태이다. 일반적으로 빙하 시추를 위한 예정지는 그 두께가 시추하기에 적절하여야 하며 시료의 연대 측정이 가능하도록 내부 결함이 없어야 한다고 알려져 있다. 따라서 시추 이전에 많은 선행 연구가 반드시 필요하다.

빙하 시추 예비 조사로 가장 많이 활용되는 물리탐사 방법은 지표투과레이더 (GPR) 탐사 방법이다. GPR의 경우 얼음내에서는 유전율의 변화가 매우 작기 때문에 빙하에서의 투과율이 육상에서 보다 월등하게 좋아, 깊이 투과하는 경우는 수 km 하부의 기반암까지 이르기도 한다 (Bogorodsky et al., 1985).

본 연구는 극지에서 탐사기술을 축적하고 시추 예정지에 대한 빙하학적 정보를 획득하기 위해 1997년~1998년 남극의 여름기간에 리빙스톤 섬에서 실시되었다.

2. 연구지역

리빙스톤 섬은 남극 세종기지가 있는 킹조지섬에서 남서쪽으로 80 km에 위치해 있다 (Fig. 1). 리빙스톤 섬은 남극의 가장자리에 위치해 있기 때문에 기후 변화에 매우 민감한 지역 중에 하나이다 (Mithchell et al., 1990). 그 예로 1953-1980년에 시행되었던 핵 실험의 흔적들이 이 지역 빙하층에서 발견된다 (Pourchet et al., 1997). 탐사 지역 빙하 내부에서는 홀로세 화산재가 0.5-2 cm 두께로 발견된다. 이 화산재의 근원은 근처 디셉션섬 (Deception Island)의 화산폭발에 의한 것으로 추정된다 (Casas et al., 1998). 탐사 기간 동안의 평균기온은 $-2 \sim 2$ °C 정도였으며 탐사 지점은 평탄한 곳이나 저지대인 관계로 낮에 빙하 상부의 눈이 녹아 조사에 다소 어려움이 있었다.

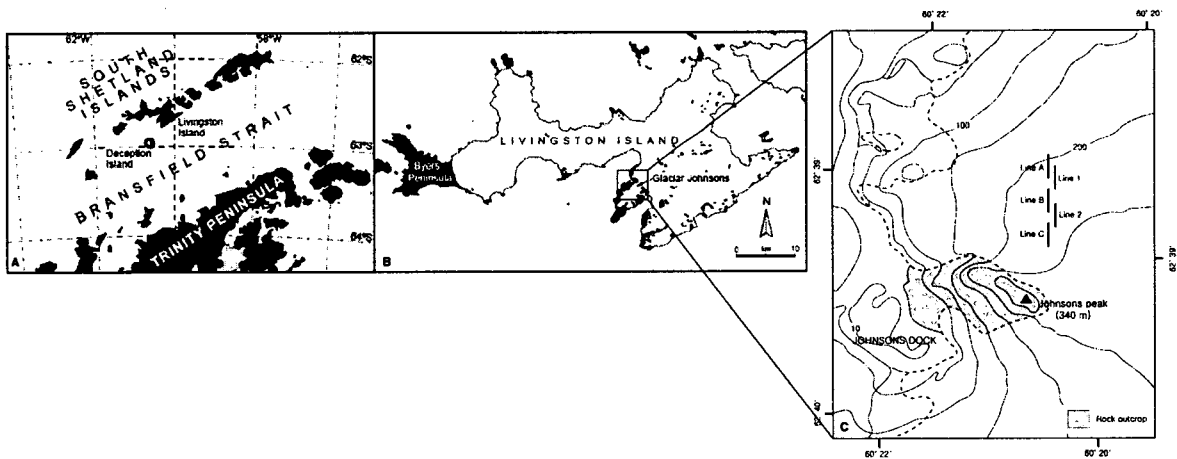


Fig 1. Regional setting of the study area. A: South Shetland Islands; B: Livingston Island; C: survey area. The common offset profiles are marked Line A, B, and C and CMP methods are marked Line 1 and 2.

3. 자료획득

연구지역에서 총 5개의 측선에 대해 탐사를 실시하였다 (Fig. 1). 탐사 방법은 지하 반사체에 대한 정보를 얻기 위해 3개의 반사법과 매질에 대한 전자파의 속도를 계산하기 위한 2개의 공통중간점 (CMP) 탐사를 수행했다. 사용된 탐사 장비는 pulse EKKO 100 model의 GPR 을 사용하였으며 송신안테나와 수신안테나의 간격은 50 MHz 안테나에서는 2~4 m 간격, 25 MHz에서는 4 m 간격으로 반사법 탐사를 시행하였다. 탐사에 관한

자세한 사항은 표1에 요약하였다.

Table 1. GPR survey factors.

Line	Frequency	Type	Antenna Separation	Step size	Sampling Interval	Number of Stacks
Line A	50 MHz	Reflection	2 m	0.5 m	1600	16
Line B	50 MHz	Reflection	2 m	0.5 m	1600	16
Line C	25 MHz	Reflection	4 m	1 m	3200	16
Line 1	50 MHz	CMP	2 m	0.5 m	1600	4
Line 2	50 MHz	CMP	2 m	0.5 m	1600	32

4. 빙하의 분류

빙하에서 전자파의 속도는 물질의 유전율의 함수로 표현할 수 있다.

$$V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}} \quad (1)$$

Kovacs 등(1995)은 만년설에서 유전율과 밀도와의 상관관계를 관계를 (2)식과 같이 밝혀냈다.

$$\epsilon = (1 + 0.845\rho)^2 \quad (2)$$

식 (1)과 (2)를 이용하여 식(3)과 같이 빙하의 밀도를 구할 수 있다.

$$\rho = \left(\frac{c}{V} - 1 \right) \frac{1}{0.845} \quad (3)$$

상기 관계식과 CMP탐사에서 얻은 속도를 이용하여 각 층들의 밀도를 계산하였다. 이를 GPR 반사법 탐사에서 나타나는 빙하의 각 층들의 특성과 비교하여 다음과 같이 크게 3개의 층으로 분류하였다.

1. 빙하 최상부에서 20 m에 이르는 탐사 단면은 강하고 수평의 반사 신호가 잘 나타난다 (Fig. 2). 이 층에서 전자파의 속도는 약 0.19 m/ns로 계산되었으며 식(3)을 이용하여 이 층의 밀도를 계산하면 약 0.69 g/cm³이 된다. 이 층의 계산된 밀도와 반사면의 특징을 고려하면 빙하의 내부에 공기나 물, 화산재를 포함하고 있는 얼음과 내부가 비교적 깨끗한 얼음층들이 교대로 존재하는 것으로 추정된다.
2. 반사 단면 상부 20 m에서 50 m에 이르는 층은 반사 신호가 거의 나타나지 않는다 (Fig. 2). Moorman에 의한 코어 시료 해석 결과에 의하면 이 층은 다량의 물과 공기를 포함하고 있다고 보고된다. 이 층의 밀도는 상부에 존재하는 층과 비슷하게 나타나기 때문에 상부층과 같이 firn에 포함되는 것으로 추정된다.
3. 상부 50 m에서 80 m에 이르는 층의 밀도는 0.95 g/cm³으로 해석된다. 이층의 상부는 firn층과 얼음층의 경계이다. 하부층은 빙하의 기반이 된다. 일반적으로 빙하의 밀도가 0.83 g/cm³이상이 되면 얼음으로 간주되기 때문에 이층은 고결된 얼음층이라 할 수 있다.

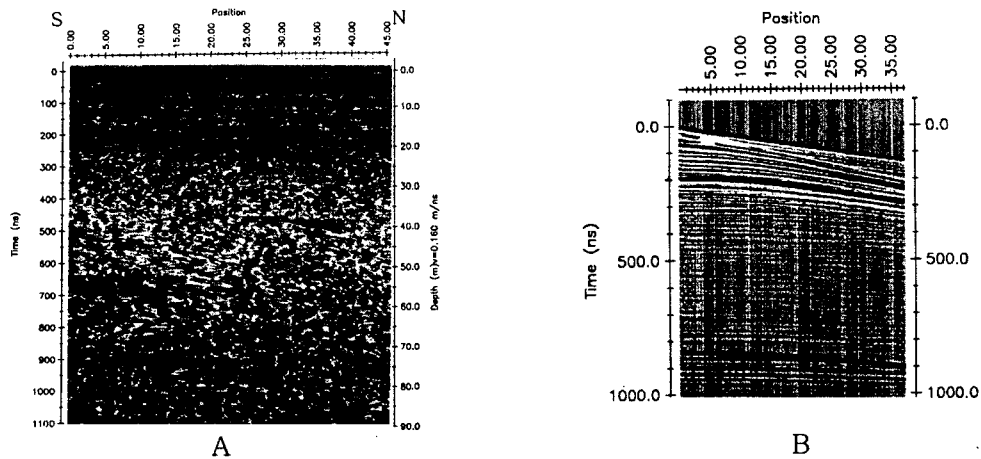


Fig 2. A shows the GPR profile of Line A. B shows the CMP section of Line1.

5. 결론

리빙스톤섬에 부근에서 총 6개의 조사 축선을 따라 획득한 GPR 반사법 탐사 자료와 CMP탐사를 통해 얻은 속도 단면을 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

탐사 지역의 빙하는 크게 3개의 층으로 이루어져 있었으며 그 두께는 80 ~ 110 m 정도로 추정된다. 빙하 내부는 일부 화산재 층과 상당량의 물이 존재하는 것으로 추정된다. 얼음의 전자기파 속도는 층에 따라 다소 차이가 있지만 0.16 ~ 0.17 m/ns이며 firn에서의 속도는 0.19 m/ns로 계산되었다.

연구가 이루어진 빙하는 경사면, 즉 남쪽에서 북쪽으로 빙하의 흐름이 발생하는 것으로 해석되며 지속적인 모니터링이 이루어진다면 빙하의 유동의 메커니즘을 연구할 수 있는 좋은 자료로 해석된다.

이번 연구를 통해서 향후 탐사 방법과 이동수단, 안테나 배열 방법 등의 탐사 효율을 높이는 방법들을 모색해야 할 필요성이 요구된다.

6. 참고문헌

- Bororodsky, V., Bentley, C. and Cudmandsen, P. 1985. Radioglaciology, D. Reidel, Dordrecht.
- Casas, J.M., Sabat, F., Vilaplana, J.M. Pares, J.M., Pomeroy, D.M., 1998. A new portable ice-core drilling machine: application to tephra studies, *Journal of Glaciology*, 44 (146), 179-181.
- Kovacs, A., A.J. Gow, and R.M. Morey, 1995. The in-situ dielectric constant of polar firn revisited *Cold Regions Science and Technology*, vol. 23, PP. 245-256.
- Mitchell, J.F.B., Manabe, S., Tokioka, T., Meleshko, V., 1990. Equilibrium climate change: The IPCC Scientific Assessment, Cambridge. Cambridge University Press, 131-172.
- Moorman, B. J., 1998. The Development and Preservation of Tabular Massive Ground Ice in Permafrost Regions. Ph.D. Thesis, Carleton University, Ottawa, 308 p.
- Pourchet, M., Bartarya, S.K., Maignan, M., Jouzel, J., Pinglot, J.F., Aristarain, A.J., Furdada, G., Kotlyakov, V.M., Mosley-Thompson, E., Preiss, N., Youg, N.W., 1997. Distribution and fall-out of 137 Cs and other radionuclides over Antarctica. *Journal of Glaciology*, 43(145), 435-445.