

남극 세종기지 주변 동토의 횡파속도 특성

김기영¹⁾, 홍명호²⁾, 김준영¹⁾, 전보영¹⁾,

¹⁾강원대학교 지구물리학과, kykim@kangwon.ac.kr

²⁾ LG 상사, 석유사업부

Shear-wave velocity structures of the permafrost near King Sejong Station, Antarctica

Ki Young Kim¹⁾, Myung Ho Hong²⁾, Jun Yeong Kim¹⁾, Bo Young Jeon¹⁾

¹⁾Department of Geophysics, KNU

²⁾E&P Technology Team, LG International Corp.

서론

킹조지섬은 남극반도 북서쪽에 위치한 남쉐틀랜드 군도 중 가장 큰 섬으로(Fig. 1), 이곳 빙하 대부분은 압력용융점 상태에 놓여 있다(Bintanja 1995). 킹조지섬의 남서쪽에 위치하는 바톤반도는 구조토(이동영, 1992; 전용문 등, 2009)를 비롯한 주빙하(periglacial) 지형과(장순근, 1997), 융기된 해안에는 둥근 자갈로 구성된 고해빈(paleobeach)층이 분포한다(John and Sugden, 1971). 측선조사가 이루어진 세종기지 서쪽에는 폭 100 m 이상의 현생해빈 및 홀로세 융기해빈이 동서방향으로 1 km 이상 길게 분포한다(Fig. 1). 이 층적층 하부에는 고제 3 기 팔레오세 내지 예오세의 염기성-중성 화산암과 후기에 관입한 암석이 화산쇄설성 세종층 위에 놓여있다 (KORDI, 2002).

동토란 최소한 2년 이상 연속적으로 0°C보다 낮은 땅을 일컬으며(Davis, 2001), 이를 연구하기 위한 지구물리학적 조사방법은 동토의 물리적 특성상 지전기, 전자기, 탄성파, 레이더 등이 적용되고 있다(Hauck and Kneisel, 2008). 제한적으로만 수행된 바톤반도에서의 지구물리학적 조사결과, 주빙하지역인 세종기지 주변의 2 개 측선(Fig. 1)에서 종파속도 5000 m/s 정도의 영구동토층이 1-2 m 깊이에 분포하며, 500 ohm-m 이상의 비저항치를 갖는 10-50 m 깊이의 기반암과의 사이에 수십-수백 ohm-m 의 저비저항층의 존재하는 것으로 해석된 바 있다(Kim, et al., 1996).

이 연구에서는 남극 세종기지 주변에서 레일리파를 다중채널로 기록하고 역산을 통하여 횡파속도를 규명하고, 이를 초동주시 토모그래피 방식으로 분석한 종파속도와 비교함으로써 밝혀진 동토 말단부의 지하구조에 관한 예비결과를 기술코자 한다.

자료획득

2009년 12월초, 남극 세종기지 연구동에서 서쪽으로 120-220 m 떨어진 해빈에서 해변과 거의 평행한 100m 길이의 측선을 따라 레일리파를 기록하였다(Fig. 1). 측선상의 최대 고도차는 1 m 이내였다. 8 kg의 나무해머를 알루미늄 플레이트에 타격하여 소규모

인공지진파를 발생하였으며, 4.5 Hz 수직지오폰 24 개를 1 m 간격으로 배치한 스노우스트리머를 자체 제작하여 수신하였다. 근거리윙셋 2 m 를 유지하면서 끝점발파 방식으로 동쪽에서 서쪽으로 2 m 씩 이동하며, 각 타격점에서 3 회 수직중합하였고, 2 ms 의 샘플률로 4096 ms 기록하였다. 레일리파를 효과적으로 기록하기 위해서 낮은 주파수의 지오폰을 사용하였으므로, 굴절된 P 파의 신호/잡음비는 낮은 편이다.

자료처리

높은 공간 분해능을 갖는 횡파속도를 얻기 위하여, MASW(Multi-channel Analysis of Surface Waves) 분석방법(Park et al., 1999)을 변형한 CMPCC(Common Midpoint Cross-Correlation analysis) 방법(Hayashi and Suzuki, 2004)을 사용하였다. 자료처리 순서는 통상적 CMPCC 처리방법을 사용하였으며, 공중점 간격은 수신기간격과 동일한 2 m 로 하였다. 상호상관된 자료의 위상을 이동시키고 주파수 영역에서 중합하여, 위상속도-주파수 영역에서 분산곡선을 나타내었다. 각 공중점 위치에서의 두께 1 m 의 15 개 층을 사용하여 1D 횡파속도구조를 비선형 최소자승 역산법으로 재구성하였다. 2D 횡파속도단면은 2 m 간격으로 나열된 근접한 1 차원 모델들을 공간적으로 평균하여 획득한 후, 가중치 1, 2, 1 의 3 점 동평균으로 평활화하여 구하였다.

굴절파 초동주시 역산은 포맷변환, 파원-수신기 위치정보 입력, 초동결정, 속도토모그래프 산출 등의 순서로 이루어졌다. 당초 자료획득이 표면파 기록에 초점이 맞추어져 있었으므로, 초동의 신뢰도가 높지 않다. 따라서 레일리파 분산곡선 역산으로 구한 횡파속도에 1.73 을 곱한 값을 P 파 속도의 초기모델로 사용하였다. 역산에는 수신기 간격과 동일한 폭을 갖는 1 m 의 상속도 셀로 구성된 10 개 층에 사용하였으며, 셀의 높이는 약 0.5 m 에서 1.5 m 까지 깊이에 따라 증가한다. 10 회 반복계산 후, 평균제곱근 오차는 0.5 ms 이하이다.

해석

상기 처리과정을 거쳐 구한 횡파속도단면은 매우 복잡한 지하지질구조를 보여준다 (Fig. 2). 최상부에 횡파속도가 1200 m/s 이내로 느린 활동층이 조사당시에 동부에는 0.5 m 이내로 얇고 서부에는 두껍게 존재하였음을 보여준다. 이러한 최상부의 활동층 구조는 주시토모그래피 결과에서 더욱 잘 나타나는데, 종파속도 1800 m/s 이하의 층이 측선거리 52 m 지점을 동쪽은 1.1 m 깊이로 얇게 분포하나 서쪽에서는 평균 4.4 m 깊이로 깊게 나타난다 (Fig. 3).

그 하부에는 불연속적인 동토층(discontinuous permafrost)이 존재하는데, 측선의 동쪽에는 7-10 m 간격으로 끊어져 있는 동토층의 두께가 4-5 m 에서 2 m 정도까지 감소한다. 이 동토층은 측선의 서부에서는 더욱 얇아져서 0-1 m 정도의 두께를 갖는 것으로 해석된다. 또한 측선 동부에서 깊이 6-10 m 부근에 낮은 속도를 갖는 구조가 불연속적으로 측선 서쪽까지 연장되어 나타나는데, 이는 지하수와 연관이 있을 것으로 여겨진다. 기반암은 측선 동쪽에서 깊이 8 m, 서쪽에서 18 m 정도로 깊어지는 것으로 해석된다.

참고문헌

- 이동영, 1992, 남극 바톤반도 주변지역의 융기지형 특성, 한국극지연구, 3, 71-84.
장순근, 1997, 남극세종기지 부근의 지면의 특성, 한국지구과학회지, 18, 443-449.

- 전용문, 김승범, 최문영, 손영관, 2009, 남극 킹조지섬 바톤반도에 나타나는 구조토의 특징과 성인, 지질학회지, 45, 29-46.
- Bintanja, R., 1995, Local surface energy balance of the Ecology Glacier, King George Island, Antarctica: measurements and modeling, *Antarct. Sci.*, 7, 315-325.
- Hauck, C. and Kneisel, C., 2008, *Applied Geophysics in Periglacial Environments*, Cambridge University Press, 240p.
- Hayashi, K. and Suzuki, H., 2004, CMP cross-correlation analysis of multi-channel surface-wave data, *Exploration Geophysics*, 35, 7-13.
- John, B.S. and Sugden, D.E., 1971, Raised marine features and phases of glaciation in the South Shetland Islands, *British Antarctic Survey Bulletin*, 24, 45-111.
- Kim, H.-S., Nam, S.H., and Kim, Y., 1996, Near-surface geophysical surveys using seismic and electric method in Barton Peninsula of King George Island, Antarctica, *Jour. Geol. Soc. Korea*, 32, 131-145.
- KORDI, 2002, Explanatory text of the geologic map of Barton and Weaver Peninsulas, King George Island, Antarctica, Polar Science Laboratory, Korea Ocean Research and Development Institute, 30p.
- López-Martínez, J., Serrano, E., and Lee, J.I., 2002, Geomorphological map of Barton and Weaver Peninsulas, King George Island, Antarctica (1:10,000), Polar Science Laboratory, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan, Korea.
- Park, C.B., Miller, R.D., and Xia, J., 1999, Multichannel analysis of surface waves, *Geophysics*, 64, 800-808.

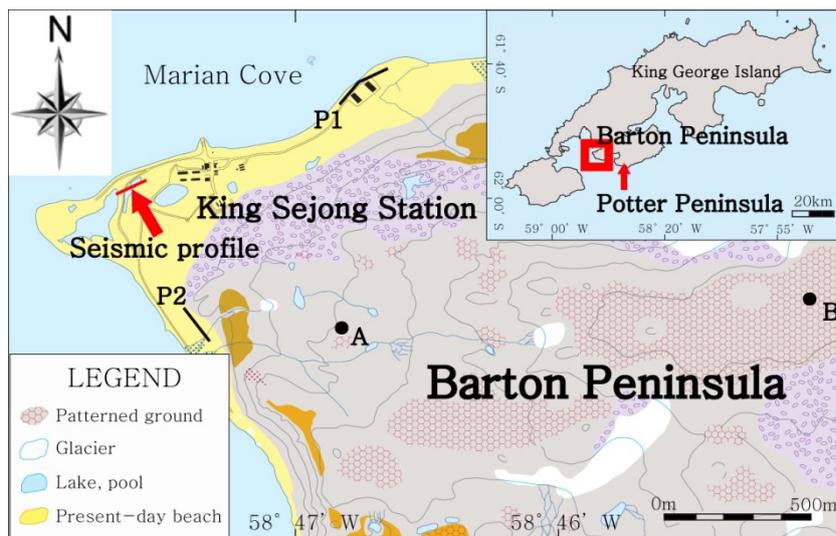


Figure 1. Location map showing the 100-m seismic profile (red) to the west of King Sejong Station and two previous geophysical survey lines (black) P1 and P2 superimposed on a geomorphological map (López-Martínez et al., 2002).

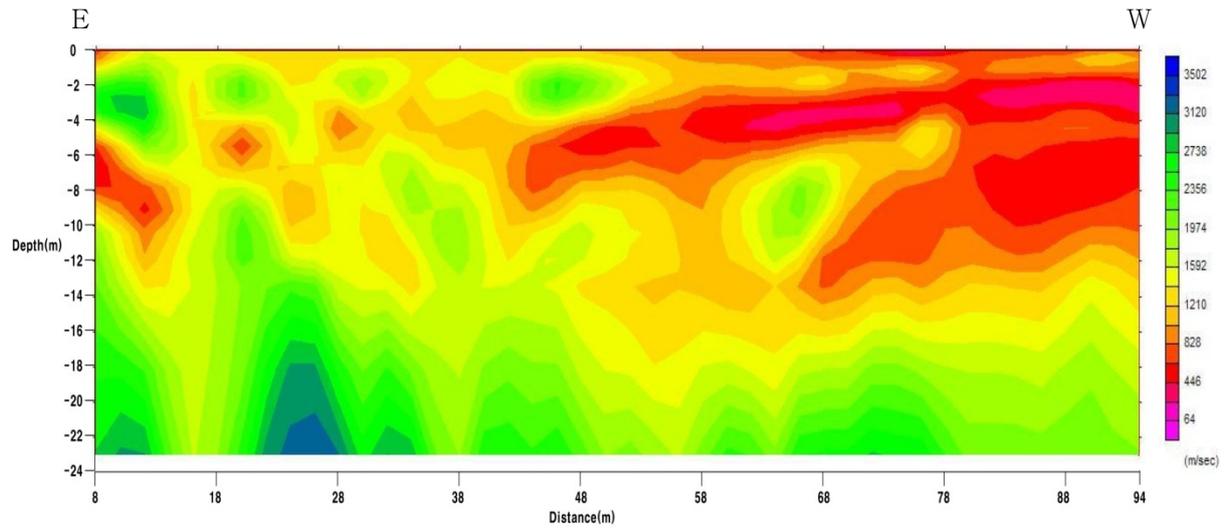


Figure 2. Shear-wave velocity section indicating complicated subsurface structures at termination of permafrost near a shoreline.

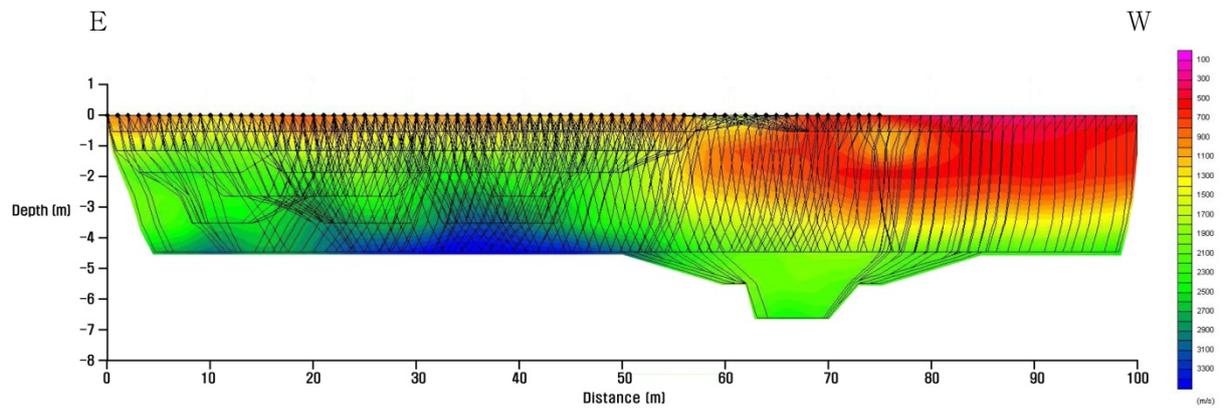


Figure 3. Velocity tomogram reconstructed using the first-arrival traveltimes along the 100-m seismic profile.