

**잡음 상호상관 기법을 이용한  
한반도의 표면파 토모그래피에 대한 연구**  
**Surface wave Tomography of the Korean Peninsula  
by Noise Cross-correlation Method**

조광현\* · 강익범\*\*

Cho, Kwang Hyun · Kang, Ik Bum

**Abstract**

Cross correlation of seismic-background motions (Campillo and Paul, 2003; Shapiro et al., 2005) is applied to observations from the Korean Meteorological Administration seismic network to estimate the short-period Rayleigh and Love wave dispersion characteristics of the region. Standard processing procedures are applied to the cross correlation, except that signal whitening is used in place of one-bit sampling to equalize power in signals from different times. Multiple-filter analysis is used to extract the group velocities from the estimated Green's functions, which are then used to image the spatially varying dispersion at periods between 0.5 and 20 sec. The tomographic inversion technique used inverts all periods simultaneously to provide a smooth dispersion curve as a function of period in addition to the usual smooth spatial image for a given period. The Gyeongsang Basin in the southeastern part of the peninsula is clearly resolved with lower group velocities.

**Key words** : Cross correlation, Multiple-filter analysis, Green's function, Gyeongsang Basin

**국문요약**

한반도의 단주기 표면파의 특성을 연구하기 위하여 기상청 지진관측망에서 관측된 지진자료에 잡음의 상호상관기법(Campillo and Paul, 2003; Shapiro et al., 2005)을 적용하였다. 다른 시간에 관측된 지진자료의 에너지를 평균화시키기 위해 1 비트 샘플링 방법이 아닌 화이트닝 기법을 사용한 것을 제외하고 일반적인 상호상관기법이 그대로 적용되었다. 잡음상호상관기법으로 얻어진 그린함수에서 다중필터기법으로 군속도를 계산하였다. 군속도를 역산하여 0.5 - 20 초 주기에서 표면파 분산의 공간적인 변화를 이미지화하였다. 사용된 토모그래피 역산기법은 각 주기의 공간적인 이미지 뿐만 아니라 주기함수인 분산 곡선을 동시에 구하기 위하여 모든 주기의 군속도자료를 역산하였다. 역산결과, 한반도 남동부 지역인 경상분지에서 낮은 군속도를 확인할 수 있었다.

**주요어** : 상호상관기법, 다중필터기법, 그린함수, 경상분지

**1. 서 론**

표면파를 이용한 연구는 지구의 여러 지역에서 지각과 상부맨틀에 대한 중요한 정보를 제공했다. 표면파의 shear-wave에 대한 민감성은 실체파 연구에서 얻기 힘든 정보들을 제공한다. 그러나 지각의 최상부층은 10 초 주기 이하의 단주기 표면파로부터 얻을 수 있으므로, 관측소가 지진원으로부터 멀리 떨어져 있다면, 지진파의 진행거리에 따라 표면파의 해상도가 떨어지고 에너지의 감쇄(attenuation)와 지질의 복잡성, 흠어짐 현

\* 정희원·한국지질자원연구원 박사후연수생, E-mail : light123@snu.ac.kr

\*\* 정희원·한국지질자원연구원 책임연구원

상(scattering) 때문에 단주기 표면파의 정보가 손실될 수 있다. 단주기 표면파의 분산 정보는 지구의 대기와 해양의 움직임에 의해 생기는 지진자료의 잡음으로부터 잡음 상호상관 기법을 이용하여 얻을 수 있다. 한반도의 지진활동도(일년에 진도 5.0 이하의 지진이 약 50 여개 발생)가 상당히 낮기 때문에, 지진파로부터 지각 구조에 대한 많은 정보를 얻기는 불가능했다. 잡음 상호상관 기법을 이용한 한반도의 표면파 토모그래피에 대한 연구는 한반도의 상부 지각을 이해하는데 중요한 정보를 제공할 것이다.

## 2. 지진파형자료

본 연구에서 사용된 지진파 잡음 자료는 한반도 남한에 위치한 기상청의 75 개의 광대역 가속도 관측소에서 2005년 7월 19일부터 10월 7일까지 기록된 연속된 지진파형자료에서 얻어졌다. 이들 가속도 관측소에는 3 성분의 광대역 가속도계가 설치되어 있다. 3 성분의 가속도 자료를 회전 변환하여 잡음 상호 상관 기법으로 레일리파(Rayleigh wave)와 러브파(Love wave)의 그린함수(Green's function)를 계산할 수 있다.

## 3. 잡음분석

잡음 상호 상관기법에 대한 이론적인 원리는 Wapenaar (2004)에 의해 representation theorem으로부터 얻어졌다. 잡음 상호 상관기법의 지배 방정식은 두 관측소에서 관측된 입자속도의 상호상관은 두 관측소 사이의 그린함수와 잡음의 에너지원의 자기상관과의 컨볼루션으로 나타낼 수 있다고 설명한다. 최근의 잡음 상호 상관 분석에 대한 논문들은 두 관측소 사이의 상당히 긴 잡음 신호들을 상호상관 함으로써 그린함수를 계산하였다. 두 관측소의 잡음 신호의 상호상관으로부터 얻어진 그린함수는 한 관측소를 지진원으로 하고 다른 관측소에서 관측된 표면파와 매우 유사하다. 이 사실은 잡음 상호상관은 두 관측소 사이를 진행하는 표면파의 그린함수와 같다는 것을 증명한다. 결국, 표면파의 단주기 분산곡선은 얻어진 그린함수로부터 다중 필터 기법(Herrmann, 1973)으로 계산될 수 있다. 한반도의 상세한 표면파 토모그래피 연구를 위하여 광대역 가속도 관측소는 그 수가 충분하고 한반도 전체에 고루 분포하고 있다. 우리는 가속도 관측소의 지진자료를 이용하여 한반도의 상세한 표면파 토모그래피 얻을 수 있다. 기상청의 74 개의 광대역 가속도 관측소에서 2005년 200일부터 280일까지 약 80일 동안 기록된 연속적인 가속도 자료를 수집하였다. 지진자료를 1 비트로 전환(Campillo and Paul, 2003)하는 대신 연속적인 가속도자료를 한 시간 간격으로 자르고, 파형의 에너지 성분을 갈게 하고 위상 성분을 유지하기 위하여 자른 부분을 화이트닝(whitening) 하였다. 이 작업을 통하여 큰 에너지를 갖는 지진파에 대한 영향을 제거할 수 있다. 결국 우리는 표면파 토모그래피를 위하여 1928 개 경로의 양질의 분산곡선을 얻을 수 있었다.

## 4. 역산결과 및 토의

한반도의 표면파 토모그래피 연구를 위해 기상청의 광대역 가속도 관측소 사이의 표면파의 그린함수로부터 얻은 군속도 분산곡선을 역산하였다. 표면파 토모그래피 연구를 위하여 충분한 수의 분산 곡선을 역산에 이용하였다. 그림 1-2는 잡음 상호상관 분석으로 얻어진 표면파 군속도 분산곡선의 역산으로 계산된 표면파 토모그래피의 지도를 보여준다. 모든 주기에서 한반도 내의 수평적인 군속도의 변화가 존재함을 알 수 있다. 그림 1은 주기 1 - 15초의 레일리파(Rayleigh wave)의 토모그래피 지도를 보여준다. 10 초 이하의 주기의 레일리파(Rayleigh wave)는 지각의 상부 구조에 매우 민감하다. 한반도의 남동 지역(경상분지)에서 넓은 퇴적층의 영향으로 비교적 낮은 군속도를 나타냄을 볼 수 있다(그림1). 이 결과로부터 경상분지의 퇴적층의 깊이를 추정할 수 있다. 경상분지를 제외한 대부분의 한반도 내륙지역에서는 화강암 지괴와 연관된 비교적 높은 군속도를 보인다. 또한, 서해와 남해 지역에서는 주기 1 - 10초에서 해양 퇴적층과 연관된 낮은 군속도를 나타낸다. 러브파(Love wave)의 토모그래피 결과 또한, 레일리파(Rayleigh wave)와 매우 유사하다(그림 2).

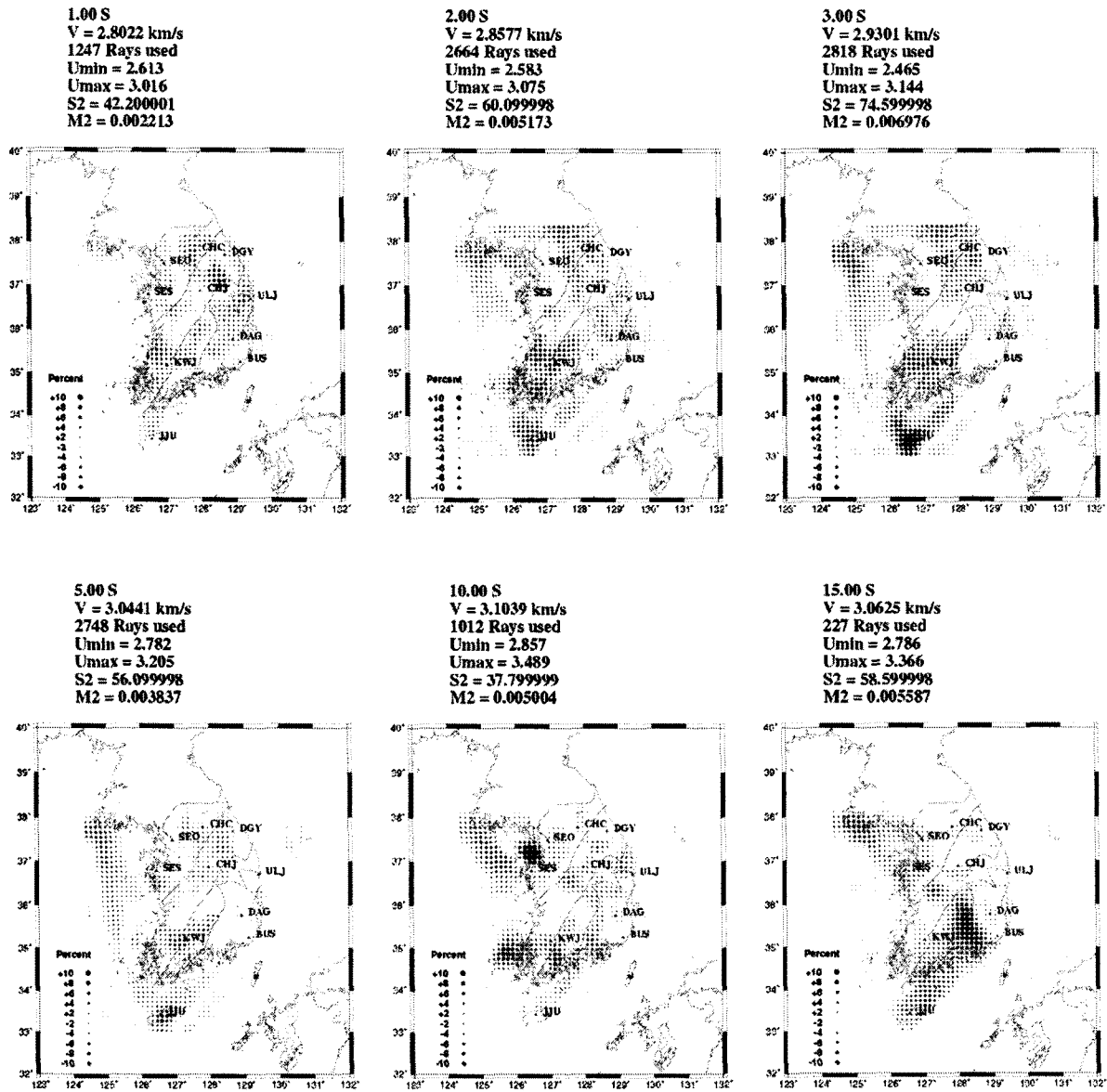


그림 1. 주기 1 - 15초의 레일리파(Rayleigh wave)의 토모그래피 지도

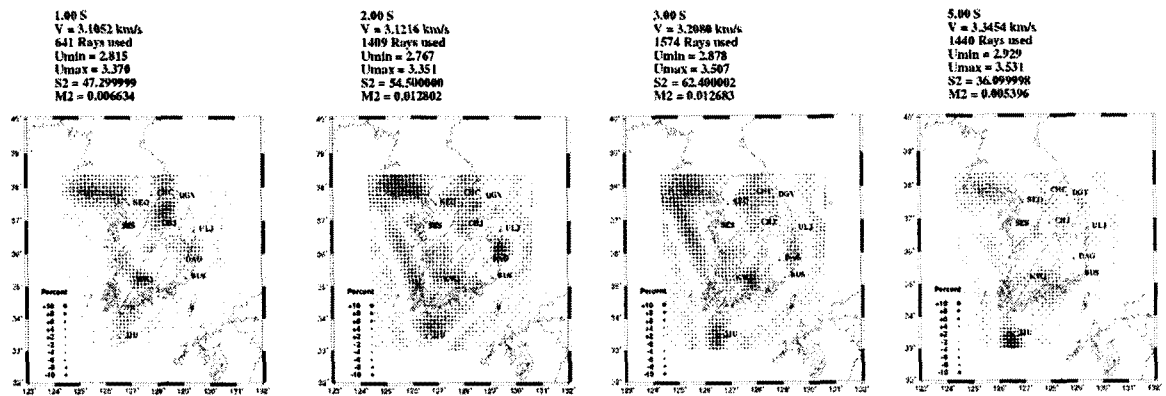


그림 2. 주기 1 - 5초의 러브파(Love wave)의 토모그래피 지도

### 참고문헌

- Campillo, M. and A. Paul, 2003, Long range correlations in the diffuse seismic Coda, *Science* 299, 547-549.
- Herrmann, R. B., 1973, Some aspects of band-pass filtering of surface waves, *Bull. Seism. Soc. Am.* 63, 663-671.
- Shapiro, N. M., M. Campillo, L. Stehly, and M. Ritzwoller, 2005, High resolution surface-wave tomography from ambient seismic noise, *Science* 307, no. 5715, 1615 - 1618.
- Wapenaar, C. P. A., 2004, Retrieving the elastodynamic Green's function of an arbitrary inhomogeneous medium by cross correlation, *Phys. Rev. Letters*, Vol. 95, 254301.