HWAW방법을 이용한 고속철도 하부 노반 평가

Evaluation of the status of subgrade of high speed railway using HWAW method

박형춘[1], Hyung-Choon Park, 박준오[2], Jin-O Park, 진남희[3], Nam-hui Jin,
노희관[4], Hee-Kwan Noh, 배현정[5], Hyun-Jung Bae

[1] 충남대학교 토목공학과 조교수, Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, ChungNam Univ.
[2] 코레일테크 부장, General Manager, Korail Tech.
[3] 코레일테크 연구소장, Director of Research, Korail Tech.
[4],[5] 충남대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, ChungNam Univ.

SYNOPSIS : The high-speed railway consists of tracks, gravel ballast and subgrade, and the dynamic load is passed to subgrade through track and gravel ballast. The relaxation condition of the gravel ballast is able to be evaluate relatively and to be repaired through a continuous management, but it is difficult to evaluate the condition of subgrade, which is final part of supporting dynamic load and to repair it when made a problem.

The gravel ballast and subgrade are evaluated by determining shear wave velocity. To evaluate ballast and subgrade, a good method to determine shear wave velocity is a non-destructive experiment such as surface wave tests providing a prompt experiment because an experiment in railway has a lot of tests which are carried out following railway directions and needs to prevent damage of the system. In general, a railway has limitation of an experimental space by narrow width, sleeper and etc., and background noise by a reflector exists. The existing surface wave tests need a minimum space, and it is difficult to get a reliable test results on account of background noise effect. Therefore, it is difficult or impossible to apply to existing surface wave test of subgrade and ballast.

In this study, the HWAW method is applied to determine a shear wave velocity profile of the underground. The HWAW method is the experiment which is able to be carried out on a narrow space, and it determines share wave velocity of a site by measuring the wave from surface sources on the same spot. In addition, it removes effects of background noise accordingly to a signal processing using harmonic wavelet transforms, so it is useful to evaluate subgrade of a high-speed railway in the narrow space and the situation of background noise.

In order to check an application of the HWAW method, an experiment is carried out on a high-speed railway field and a test result is compared to boring results.

Keywords : subgrade, shear wave velocity, HWAW

1. 서 론

고속철도는 궤도, 도상 자갈, 하부노반으로 구성되어 있으며 기차 운행시 발생하는 동적 하중은 궤도, 도상자갈을 거쳐 하부 노반으로 전달되게 된다. 하부 노반은 동적하중을 최종적으로 지지하는 부분으로 도상자갈은 지속적인 관리를 통해 이완현상 발생 등의 평가 및 보수가 지속적으로 이루어지나 하부노반

은 상대적으로 상태 평가가 어렵고 문제 발생시 보수가 용이하지 않다.

고속철도 도상 자갈 및 하부 노반의 상태는 모두 전단파 속도 결정을 통해 평가할 수 있다. 고속철도 도상 및 노반 평가를 위한 전단파 속도 결정 방법은 철도 길이 방향을 따라 수행해야 하는 많은 실험양 및 대상 시스템에 대한 손상 방지를 위해 표면파 시험법과 같이 신속한 시험이 가능한 비파괴 시험법을 사용하는 것이 좋다. 일반적으로 철도는 궤도의 협소한 폭 및 침목 등에 의해 실험 공간의 제약이 심하며, 다양한 반사면에 의한 배경잡음이 존재한다. 기존 표면파 시험법들은 시험을 위해 최소 실험 공간이 필요하며, 배경잡음의 영향에 상대적으로 민감하여 신뢰성 있는 실험결과를 얻기 힘들다. 따라서 철도 도상 및 노상 평가에 기존의 일반적인 표면파 시험법들의 적용은 매우 어렵거나 불가능하다.

본 연구에서는 고속철도 하부 노반의 전단파 속도 주상도 결정을 위해 HWAW방법(박형춘;김동수;이병식, 2004, 박형춘;김동수, 2004)을 사용하였다. HWAW방법은 매우 협소한 장소에서 실험이 가능한 비파괴 시험법으로 표면 가진에 의해 발생한 파를 동일한 표면에서 계측하여 대상 지반의 전단파 속도 주상도를 결정한다. 또한 하모닉 웨이브릿 변환을 이용한 신호처리를 통해 배경잡음의 영향을 효과적으로 제거할 수 있어, 다양한 배경잡음과 협소한 실험 공간에서 실험을 수행해야하는 고속철도 하부 노반 평가에 효과적으로 사용될 수 있다.

HWAW방법의 적용성을 알아보고자 고속철도 현장에서 실험을 수행하였으며 얻어진 결과와 시추 결과 비교를 통해 HWAW방법의 적용성을 확인할 수 있었다.

2. HWAW방법을 이용한 고속철도 노반상태 평가

2.1 HWAW방법을 이용한 대상 시스템의 전단파 속도 주상도 결정

HWAW방법은 매질을 따라 전파하는 일반적인 파의 위상·그룹속도를 결정하는 방법(Park;Kim, 2001)으로 2개의 감지기 사이를 전파하는 파의 분산곡선의 결정 및 역산을 통하여 감지기 사이 지반의 전단파 속도 주상도를 결정할 수 있다. HWAW방법은 각 감지기에서 얻어진 신호를 하모닉 웨이브릿 변환을 통해 각 주파수 성분으로 분해한 후, 에너지 시간-주파수 지도에서 에너지가 집중된 영역, 즉 국부 신호/잡음비가 최대가 되는 최대에너지선(피크선) 주변의 국부적인 에너지·위상정보만을 사용하여 분산곡선을 결정한다. HWAW방법은 에너지가 집중된 국부적인 영역의 정보만을 이용하기 때문에 기존의 표면파 기법들에 비하여 현장에 존재하는 배경잡음의 영향을 매우 효과적으로 제거할 수 있다. 이러한 특징은 sludge햄머 또는 쇠구슬과 같은 작은 에너지 소스를 사용한 깊은 깊이 탐사를 가능하게 하며, 기존 표면파시험과 달리 2개의 감지기를 사용한 고정된 단일한 실험구성에서 단일한 실험을 통해 대상 지반의 전체 깊이를 포함하는 분산곡선의 결정 및 유전자 알고리즘을 사용한 자동화된 역산과정을 통해 대상 시스템의 전단파 속도 주상도 결정을 가능하게 한다.

2.2 HWAW방법을 이용한 도상 및 노반 평가

노반위의 자갈 도상이나 교량위의 자갈 도상과 같은 경우 다양한 반사면에 의한 반사파가 존재하게 되며, 이러한 반사파는 실험에 있어 배경잡음(Noise)으로 작용하여 실험 결과의 신뢰성을 감소시킨다. 일반적인 표면파 시험에서는 이러한 배경잡음의 제거가 매우 어렵다. 이에 반하여 HWAW 방법은 이러한 배경잡음을 매우 효과적으로 제거 가능하기 때문에 철도 도상 및 하부 노반의 상태 평가에 매우 효과적으로 적용할 수 있다. HWAW방법은 앞에서 언급한 바와 같이 하나의 가진원과 2개의 감지기로 구성된다. HWAW방법을 위한 실험구성은 역산과정에서 고려되기 때문에 감지기 간격이나 가진원에서 감지기까지의 거리등에 제한이 없다. 철도 도상 및 하부 노반의 평가를 위해서는 도상위에서 실험을 수행하여야 한다. 기존의 표면파 시험에서는 실험 수행을 위해 기본적인 최소 실험 공간이 필요하나, 그림 1에서 보는 바와 같이 철도 도상의 협소한 폭 및 침목등에 의해 실험이 가능한 공간은 매우 제한적이다(그림 1의 area A). 따라서 철도 도상위에서는 현업에서 많이 사용되는 MASW방법이나 일반적인

SASW방법을 사용한 시험의 적용이 매우 어렵다. 그러나 2개의 감지기 사이의 관계를 사용하며 실험구성에 제한이 없는 HWAW방법은 이러한 제한된 공간에서 실험 수행이 가능하다. 철도 도상에서의 실험은 그림 2와 같이 침목사이에 감지기 간격 0.1~0.3m 의 감지기를 설치하고 0.6m 떨어진 위치에서 가진을 가한다. 이러한 짧은 감지기 간격의 사용은 철도와 같은 협소한 공간에서 실험이 가능하며, 대상 지반의 국부적인 전단파 속도 주상도를 결정할 수 있게 한다. 따라서 연속적인 실험을 통해 철도 길이방향으로 세밀한 도상 및 노반의 평가가 가능하다.

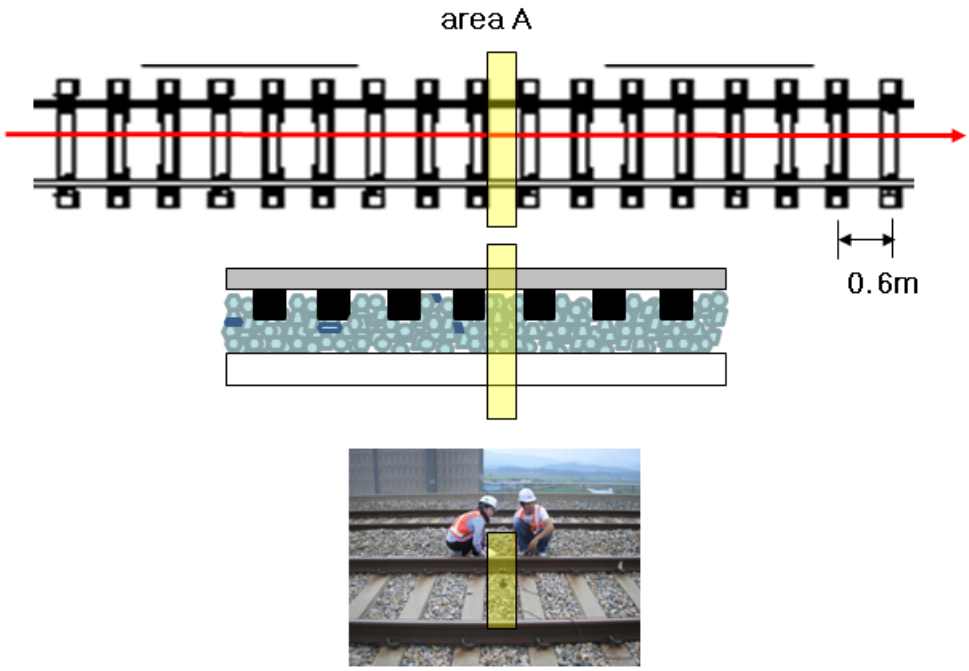

그림 1. 고속철도상에서의 실험공간

그림 2. 고속철도상에서의 HWAW시험

3. 현장 적용

HWAW방법을 이용한 철도 노반 평가의 적용성 검토를 위해 고속철도 구간에 HWAW방법을 적용하였다. 또한 비교를 위해 실험이 수행된 위치에서 시추조사가 수행되었다. 그림 3은 HWAW시험에서 얻어진 도상 및 노반의 깊이별 전단파 속도 주상도이다. 그림을 보면 대략 61cm 두께의 도상 자갈층을 확인할 수 있다. 도상자갈층은 일반적인 도상 실험결과와 유사하게 콘크리트 침목의 하면보다 상부인 깊

이 약 11cm까지 100m/s 보다 작은 속도값을 가지나, 이보다 더 깊은 도상층에서는 200m/s 전후의 양호한 값을 가짐을 볼 수 있다(박형춘 등, 2009). 그림 3을 보면 도상층 바로 하면에 20cm 두께의 속도 503m/s를 가지는 단단한 노반층이 보이는데 이는 도상 하부의 강화노반층이다. 강화노반층 하부에서부터 깊이가 증가함에 따라 348m/s에서 500m/s로 노반의 강도가 순차적으로 증가함을 볼 수 있다. 대략 깊이 4.2m 주변에서 노반의 강도가 848m/s 로 갑자기 증가하는데, 이를 통해 깊이 4.2m주변에서 풍화암층이 시작됨을 알 수 있다. 동일한 위치에서 실시한 시추조사 결과 풍화암이 대략 깊이 4.5m에서부터 존재하기 시작하며 이러한 결과는 HWAW시험결과와 잘 일치하는 것으로 생각된다. 그림 4는 시추조사에서 얻어진 N치 결과로서 그림 3과 비교하여 깊이에 따른 경향이 잘 일치함을 볼 수 있다. 이러한 결과로부터 HWAW방법의 고속철도 노반 평가에 대한 적용성을 확인할 수 있다.

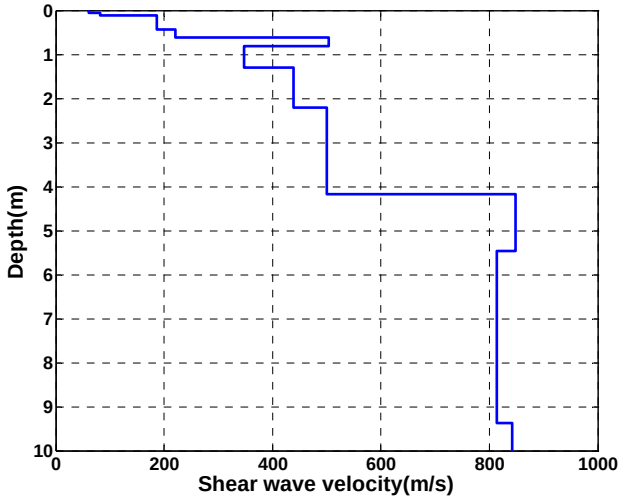

그림 3. HWAW시험에서 얻어진 도상 및 노반의 깊이별 전단파 속도분포

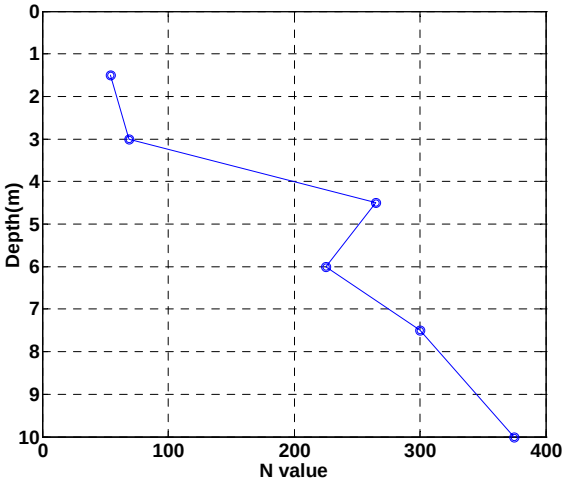

그림 4. 깊이에 따른 N치 분포

4. 결 론

본 연구에서는 고속철도 하부 노반평가에 HWAW방법을 적용하였다. 고속철도의 도상 및 하부 노반은 고속철도 운행시 발생하는 하중을 지지하는 역할을 수행한다. 도상자갈은 지속적인 관리를 통해 상태 평가 및 보수가 지속적으로 이루어지나 하부노반은 상대적으로 상태 평가가 어려우며 문제 발생시 보수가 용이하지 않다. 이러한 노반의 상태 평가에는 신속하며 대상 시스템에 손상을 주지 않는 비파괴 탄성파 시험에 의한 평가가 좋은 방법이나 시험공간의 협소와 시험시 다양한 배경잡음의 존재등에 의해 기존의 시험법의 적용에는 한계가 있다. 이에 반하여 본 연구에서 사용된 HWAW방법은 기존 방법에 비해 시험 공간상의 제약이 없으며, 동시에 다양한 배경잡음의 영향을 효과적으로 제거 할 수 있기 때문에 고속철도 노반 평가에 효과적으로 적용할 수 있다. HWAW방법의 고속철도 노반 평가에의 적용성을 알아보기 위해 현장 시험을 수행하였으며, 시험결과와 시추 결과의 비교를 통해 HWAW방법의 적용성 및 타당성을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. 박형춘, 김동수, 이병식(2004), “HWAW(Harmonic Wavelet Analysis of Waves) 방법을 이용한 새로운 탄성파 지반조사기법의 현장 적용”, 한국지반공학회 논문집, 제 20권, 제 6호, pp.51～59.
2. 박형춘, 김동수(2004), “HWAW 방법을 이용한 새로운 탄성파 지반조사기법의 개발(Ⅱ) : 실험 구성 및 역산과정”, 대한토목학회 논문집, 제 24권, 제 2C호, pp.117～124.
3. 박형춘, 김동수(2004), “HWAW 방법을 이용한 새로운 탄성파 지반조사기법의 개발(Ⅰ) : 분산곡선의 결정”, 대한토목학회 논문집, 제 24권, 제 2C호, pp.105～115.
4. 박형춘, 박준오, 진남희, 노희관, 배현정(2009), “HWAW방법을 이용한 고속철도 교량 상판 신축 이음부 도상 자갈의 이완상태 및 이완범위 평가”, 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, pp.997～1002
5. Hyung-Choon Park and Dong-Soo Kim(2001), "Evaluation of Dispersive Phase and Group Velocities using Harmonic Wavelet Transform", NDT&E International, Vol. 34, No. 7, pp. 457～467