

마스터 커브 결정을 위한 새로운 주파수별 아스팔트 탄성계수 결정방법의 개발

Development of evaluation method to determine the frequency-Asphalt modulus curve

박형춘* · 노희관** · 배현정*** · 황혜진****

Park, Hyung Choon · Noh, Hee Kwan · Bae, Hyun Jung · Hwang, Hea Jin

1. 서 론

아스팔트 혼합물은 점탄성(Visco-Elastic) 특성을 보이는 재료로서 계절 변화에 따른 다양한 온도변화를 겪으며, 또한 차량의 종류 및 주행속도에 따라 다양한 크기 및 재하속도(주파수)를 가지는 하중을 받게 된다. 아스팔트와 같은 점탄성 재료는 이러한 온도변화 및 하중 재하율(하중재하 주파수)에 따라 물성치가 변화한다. 따라서 아스팔트 포장 설계 및 유지관리에 있어 이러한 온도 및 주파수 변화에 따른 아스팔트 탄성 계수값의 결정이 필요하다. 마스터 커브로 표현되는 온도 및 주파수 변화에 따른 탄성 계수값의 결정은 AASHTO TP62-03에 주어진 정형화된 시험법에 따라 결정이 가능하나 고가의 복잡한 장비, 비싼 시험비용, 긴 시험기간 등으로 인하여 그 사용이 제한적이다.

이러한 문제점을 해결하고자 최근에 탄성파를 이용한 비파괴 시험법을 사용하여 아스팔트 재료의 온도 및 주파수에 따른 아스팔트 탄성계수를 결정하고자 하는 연구가 시도되고 있다. 이러한 방법은 1~2개의 감지기(가속도계)와 하나의 가진원으로 구성되는 매우 간단한 시험장비를 사용하여 저비용의 신속한 실험이 가능하나, 하나의 온도에서 주파수를 바꾸어 가며 실험을 수행할 수 없으며, 오직 하나의 주파수에서 탄성 계수를 결정할 수 있다. 따라서 아스팔트 거동평가에 있어 중요한 요소인 온도에 따른 물성변화를 반영하는 전이함수를 결정할 수 없으며, 마스터 커브 결정시 전이함수를 가정하여 사용하여야 한다. 또한 마스터 커브 결정에 사용할 수 있는 데이터 개수가 적어 정밀한 마스터 커브 결정이 어렵다.

본 연구에서는 기존 방법들의 문제점과 한계점을 해결하고자 향상된 데이터 해석기법을 사용한 새로운 온도-주파수에 따른 아스팔트 탄성계수 결정방법을 개발하였다. 개발된 방법은 간단한 시험장비를 사용하여 저비용으로 신속한 실험이 가능하며 동시에 기존 비파괴 시험법과 달리 각각의 주어진 온도에서 하나의 주파수가 아닌 주파수 대역에서 탄성계수의 결정이 가능하다. 따라서 온도를 바꾸어 가며 실험을 수행하여 전이함수를 결정할 수 있으며, 마스터 커브 결정에 사용할 수 있는 데이터 개수가 많아 정밀한 마스터 커브의 결정이 가능하다.

2. 온도 및 주파수에 따른 아스팔트 탄성계수(또는 P파 속도) 결정

제안된 방법을 위한 시험 구성은 그림 1과 같다. 원통형 공시체 양 단면에 감지기를 설치하고 이 중 한 면에 대해 연직 방향 충격가진을 가한다. 아스팔트 공시체 표면에 가해진 가진에 의해 체적파 중 특히 P파가

* 비회원 · 충남대학교 토목공학과 조교수 · 공학박사(E-mail : civilman@cnu.ac.kr) -발표자

** 비회원 · 충남대학교 토목공학과 석사과정(E-mail : dpfmsptmrxh@naver.com)

*** 비회원 · 충남대학교 토목공학과 석사과정(E-mail : sagasea@cnu.ac.kr)

**** 비회원 · 충남대학교 토목공학과 석사과정(E-mail : hwang.heajin@gmail.com)

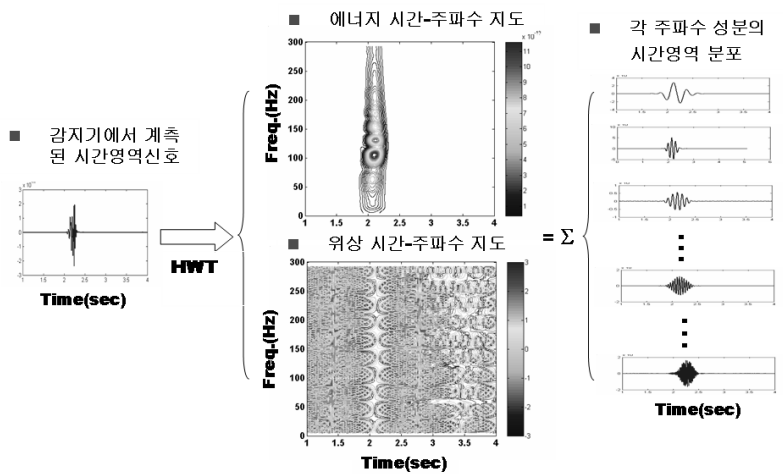
주로 발생하여 공시체 내부를 따라 전파된다. 탄성계수는 P파 속도로부터 다음 수식,

$$E = (\text{밀도})(P\text{파 속도})^2 \quad (1)$$

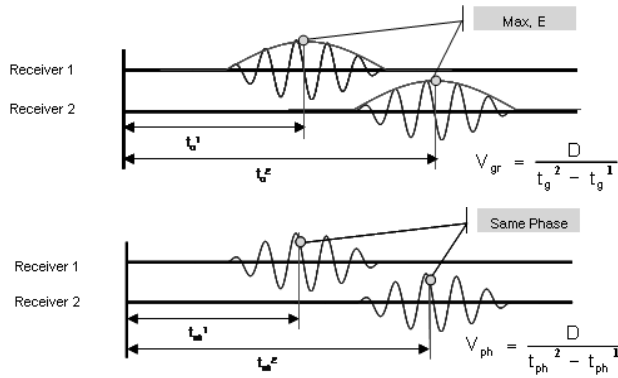
을 통해 결정될 수 있다. 따라서 주파수에 따른 P파 속도 결정을 통해 아스팔트 재료의 주파수에 따른 탄성계수 변화 곡선을 결정할 수 있다. 파의 전파속도는 두 지점사이 간격을 통과하는 파의 시간차이를 결정, 감지기 간격을 결정된 시간차이로 나누어 결정할 수 있다. 본 연구에서는 아스팔트 공시체 내부를 따라 전파하는 P파의 주파수별 속도 평가를 위해 HWAW(Harmonic Wavelet Analysis of Waves)방법을 사용하였다. HWAW방법은 매질을 따라 전파하는 일반적인 파의 위상·그룹속도를 결정하는 방법으로 지반의 2차원 전단파 속도 주상도의 결정, 말뚝의 비파괴 건진성 평가 등 다양한 비파괴 시험에 성공적으로 적용되었다. 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 파의 위상·그룹속도를 결정한다. 일단 온도에 따른 주파수-P파 속도(또는 탄성계수) 곡선이 결정되면 Arrhenius방법을 사용하여 전이함수를 결정할 수 있다.



그림 1. 시험구성



(a) 하모닉 웨이브릿 변환을 통한 시간영역신호의 분해



(b) 시간영역에서 분해된 각 주파수 성분의 위상·그룹속도의 결정

그림 2. HAWA방법의 기본 원리

제안된 방법의 적용성을 검토하기 위하여 실제 아스팔트 공시체에 대해 제안된 방법을 사용하여 예비 실험을 수행하였다. 실험은 온도 63.7, 57.5, 56, 53.5℃에서 연속적으로 수행되었으며, 각 온도에서 제안된 방법에 따라 결정된 주파수-P파 속도 곡선들을 그림 3에 나타내었다. 그림을 보면 각 분산곡선이 충분히 넓은 주파수 대역을 점유하고 있음을 볼 수 있으며, 분산곡선들 사이에 동일한 P파 속도(또는 탄성계수)를 가지는 대역이 존재한다. Arrhenius방법과 이러한 영역의 정보를 사용하여 주어진 방법에 따라 전이함수를 결정하였다. 일반적으로 기준온도는 21.1℃를 사용하나, 본 연구에서는 제안된 방법의 적용성을 보이기 위해 실험이 수행된 4개의 온도들 중 57.5℃를 기준온도로 삼아 데이터 해석을 수행하였다. 결정된 전이함수는 그림 4와 같다. 최종적으로 각각의 온도에서 결정된 주파수-속도 곡선들과 전이함수를 사용하여 그림 5와 같은 기준 온도 57.5℃에서 중첩된 주파수-속도 곡선을 결정할 수 있다. 중첩된 주파수-속도 곡선은 넓은 주파수 대역을 점유하며, 이러한 곡선은 아스팔트 마스터 커브 결정에 효과적으로 이용된다.

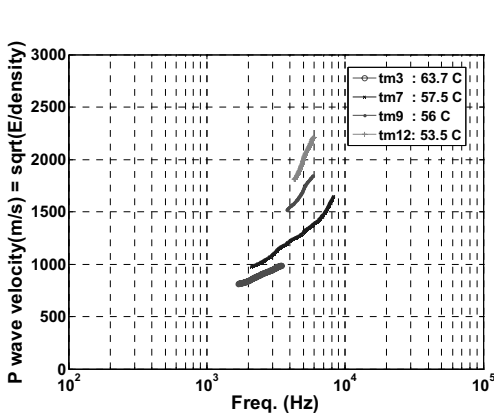


그림 3. 예비 실험을 통해 얻어진 아스팔트의 온도별 주파수-속도 곡선

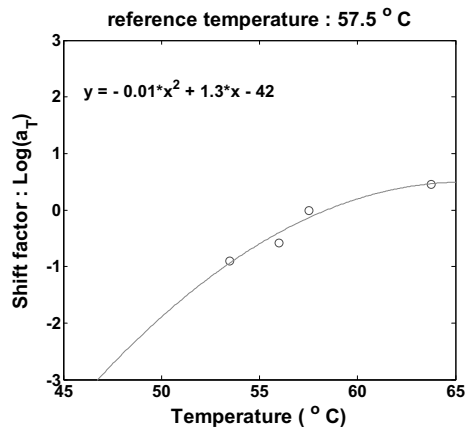


그림 4. 57.5℃를 기준온도로 하여 얻어진 전이함수

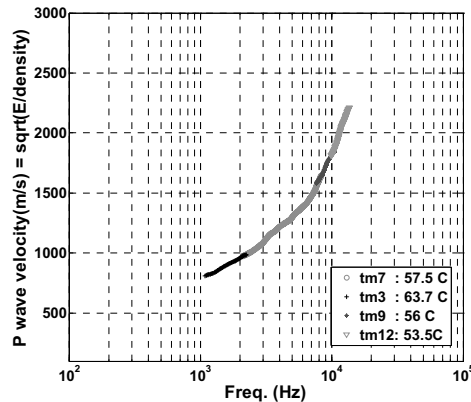


그림 5. 온도별 분산곡선과 전이함수를 사용하여 얻은 기준 온도 57.5°C에서의 중첩된 주파수별 P파속도(탄성계수) 곡선

3. 결론

본 연구에서는 아스팔트 재료의 온도 및 주파수에 따른 탄성계수 변화를 결정할 수 있는 새로운 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 기존의 방법과 달리 간단한 장비를 사용한 저비용의 신속한 실험 수행이 가능하며, 신뢰성 있는 주파수-속도(또는 탄성계수) 곡선의 결정이 가능하며, 동시에 전이함수 결정이 가능하다. 제안된 방법을 검증하기 위해 아스팔트 공시체를 사용한 실험을 수행하였으며, 이를 통해 제안된 방법의 실제 적용 가능성을 확인할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2009~2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2009-1376).

참고 문헌

1. ASSHOTO Design Guide, 2002
2. Hyung-Choon Park and Dong-Soo Kim, "Evaluation of the Dispersive Phase and Group Velocities using Harmonic Wavelet Transform," NDT&E International, Vol. 34, No. 7, pp.457-467. 2001. 10.
3. Park, Hyung-Choon; Kim, Dong-Soo, "Non-Destructive Pile Integrity Test using HAWW Method," Key Engineering Materials, Vol. 321-323, pp. 363-366. 2006. 8
4. Gichul Kweon, Y. Richard Kim, "Determination of Asphalt Concrete Complex Modulus with Impact Resonance Test", Transportation Research Record, Vol 1970, 2006
5. 박형춘, 김동수, "HAWW 방법을 이용한 새로운 탄성과 지반조사기법의 개발(I) : 분산곡선의 결정," 대한 토목학회 논문집, Vol. 24, No. 2C, pp. 105-115. 2004. 3.