

충격공진시험을 이용한 노상토의 동결·융해시 강성도 변화 측정 Stiffness change measurement for subgrade soils at freezing and thawing using impact resonance test

이재환¹⁾, Jaehoan Lee, 권기철²⁾, Gichul Kweon

¹⁾ 동의대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Dongeui University

²⁾ 동의대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Dongeui University

SYNOPSIS : Damage due to frost action in pavement structure system is creating either frost heave or stiffness-weakening of subgrade soil follow melting. The formation of ice lenses requires a frost-susceptible soil, freezing temperatures, and continuous water supply. Eliminating one of these conditions suffices to significantly reduce the intensity of frost action. It is important to know characteristics of subgrade soil in frost susceptibility or decide degree of freezing permission. Also, study on the stiffness variation of subgrade soil during freezing and thawing cycle is very important. In this study, Impact resonance test for subgrade soil at freezing and thawing confirms that is applied for.

Keywords : impact resonance test, stiffness, freezing-thawing, subgrade soil

1. 서론

우리나라는 겨울철 시베리아기단의 영향으로 한랭한 북서풍이 불기 때문에 지역별 기온차가 매우 크며, 봄철에는 그 영향이 약해져 기온이 상승한다. 동토지역의 지역적 기후 조건 특성으로 국내 도로분야에서는 동결·융해(freezing and thawing)로 인한 피해를 줄이기 위하여 도로포장구조를 설계할 때 노상이 동결하는 것을 방지하기 위하여 동상방지층을 노상 위에 별도로 설치하도록 하고 있다.

그러나, 도로는 다양한 재료와 단면으로 구성된 구조물이기 때문에 계절적 및 재료적 물성특성 뿐만 아니라 포장체 각 층의 구조적 적정성 또는 지지력 정도를 파악하는 것이 무엇보다 중요하다. 현재, 기존 동상방지층 설계법에 따르면, 동상방지층은 포장체의 구조적 적정성과는 무관하게 온도조건에 따른 동결깊이에 따라 일률적으로 결정되고 있다. 이러한 동결깊이를 포장구조설계에 적용하다 보니 포장설계의 부실 내지는 과다설계의 우려가 있다.

포장체에서 온도의 강하로 물이 공급되는 상황에서 동결이 발생하면 부피가 팽창하여 상부로 융기(frost heaving)가 발생하고, 각 층의 강도(strength)와 강성도(stiffness)는 급격하게 증가한다. 한편, 동결이 진행된 이후에 온도의 상승으로 해빙이 이루어지면 얼었던 물이 녹으면서 함수비가 급격하게 올라감과 동시에, 동결과정의 부피팽창으로 간극비가 증가되어 있기 때문에 강성도는 급격하게 감소하게 된다.

동결·융해(freezing and thawing)의 문제는 노상의 동결(freezing)에 의한 동상(frost heaving)과 융해(thawing)에 의한 노상의 역학적 특성치 저하로 나누어 생각할 수 있다. 동결 과정의 부피팽창은 부등의 융기를 수반하여 포장체의 부과적인 응력을 유발시켜 포장 파손을 유발하고, 융해 과정의 노상의 강성도 감소는 포장체의 전체적인 구조용량을 감소시켜 급속한 포장 손상을 유발하게 된다. 일반적으로 동상 자체에 의한 포장 손상의 정도는 융해 과정의 강도 감소에 의한 영향에 비하여 대단히 작다. 물론

동상량이 대단히 큰 온도조건을 갖는 지역(예를 들어 캐나다 등)에서는 동상에 의한 포장 손상을 심각히 고려하기도 한다. 그러나 대부분의 지역(우리나라 포함)에서는 동상보다는 융해 과정의 강도 감소에 의한 포장 손상이 매우 중요하다. 그럼에도 불구하고 동결이 일어나는 과정의 부피 팽창정도로 나타나는 동상(frost heaving)을 중요시하는 것은, 부피 팽창에 의한 직접적인 영향보다는 융해 과정에서 나타나는 강도 감소의 정도가 부피 팽창 특성(동상특성)과 밀접한 관련을 맺고 있기 때문이다.

본 연구에서는, 충격공진시험(Impact resonance test)를 이용하여 노상토의 동결·융해 과정에서 공진주파수, 즉 강성도(stiffness) 변화 측정을 수행하여 충격공진시험의 노상토의 동결·융해에 대한 적용 가능성을 확인하고자 하였다.

2. 충격공진시험

충격공진시험(Impact resonance test)이란 어떠한 물체에 타격을 하거나, 충격을 주어 그 물체가 받는 파를 가속도계가 받아들여서 그 물체의 공진주파수, 즉 탄성계수를 찾아내는 시험이다. 기존의 동탄성계수시험(Dynamic Modulus Test)은 일상적인 시험으로 적용하기에는 고가의 시험장비, 숙련된 시험기술자, 많은 시험시간 소요, 고가의 시험비용 등의 문제점을 안고 있다(Kweon 등, 2006). 반면, 충격공진시험의 장점으로서는 시험장치 구성이 매우 간단하고, 시험 수행에 숙련된 기술을 요하지 않을 뿐 아니라 시험수행과 결과해석의 전 과정이 불과 몇 분 내에 완료되는 매우 간편한 비파괴시험 방법이다.

충격공진시험 장치의 전체적인 구성은 그림 1과 같이 구속압을 가할수 있는 진공압 재하장치, 시편 거치 장치, 충격하중 재하 장치, 동적신호 획득 센서와 동적신호 측정장치(Dynamic logger), 그리고 신호처리 장치로 구성된다. 충격공진시험의 포괄적인 시험장치 구성에 대해서는 정립되어 있으나, 각각의 세부적인 시험장치의 조건에 대해서는 아직까지 보편적인 규정이 미흡한 실정이다.

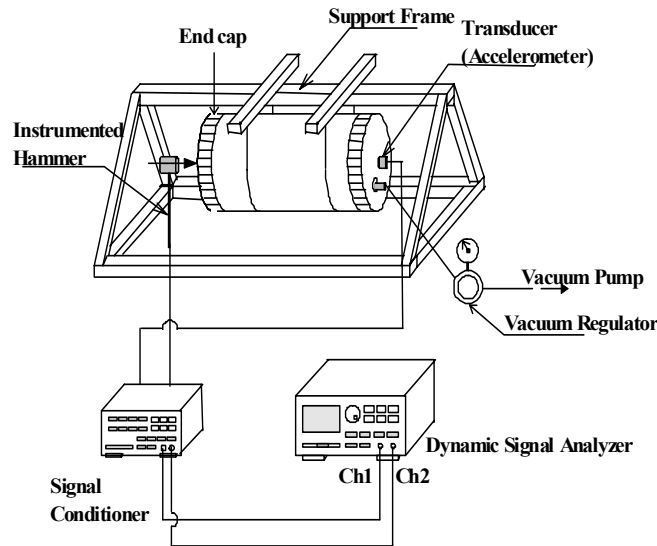
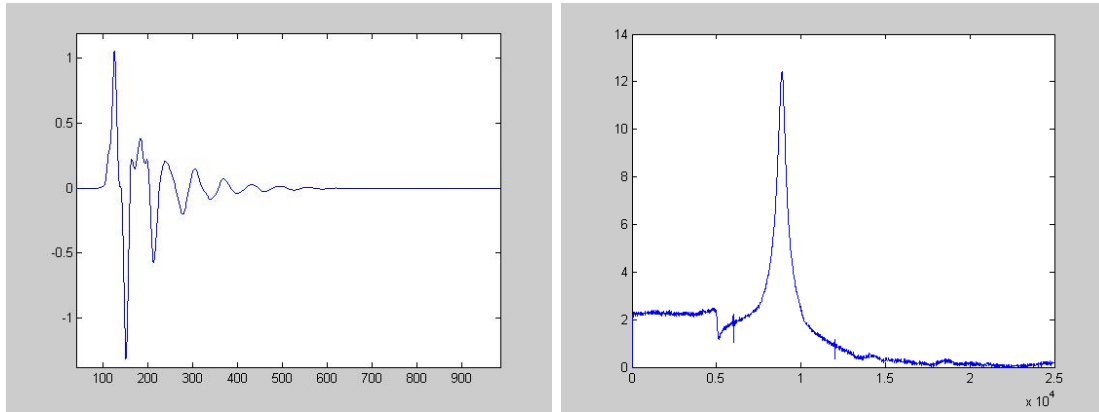


그림 1 충격공진시험장치 시스템 구성

그림 1과 같은 장치 구성에서 충격하중은 일반적으로 쇠구슬(steel ball)을 사용하여 발생시킨다. 이때 충격하중에 의한 시편의 반응은 수십~수만Hz 범위에 있어 신호를 획득은 가속도계 센서를 사용하는 것이 일반적이다. 충격하중을 시편의 한쪽에 재하하면 그림 2(a)와 같은 시간영역의 반응이 측정되며 FFT 신호처리 기법을 적용하여 그림 2(b)와 같은 주파수 영역신호(주파수반응곡선)를 얻게 된다. 주파수반응곡선으로부터 공진주파수와 감쇠비를 얻을 수 있다.



(a) 시간영역 신호

(b) 주파수영역 신호

그림 2 충격공진시험의 동적신호 일례

충격공진시험의 영향요소로는 크게 4가지가 있다.

첫 번째, 충격공진시험은 동적시험으로 시험결과가 시편의 거치 경계조건에 영향을 받는다.

두 번째, 충격공진시험에서 가장 이상적인 입력하중은 모든 주파수 성분에서 에너지 크기가 일정한 충격하중이므로 이상적인 조건에 가장 부합되는 하중원은 쇠구슬에 해당하며, 쇠구슬의 직경에 따라서 발생 가능한 주파수 범위가 다르다(김동수 등, 1997).

세 번째, 신호획득속도는 측정가능한 주파수 영역의 범위와 관련되어 있기 때문에 신호획득속도를 지나치게 느리게 할 경우 공진주파수를 포함하는 주파수 영역 범위의 신호를 측정할 수가 없다.

네 번째, 충격공진시험은 시편을 타격했을 때, 충격에 의해 일어나는 파를 가속도계가 잡아내서 그것을 해석하여 결과를 나타내는 시험이므로, 파가 일어날 때 시편에 그 파의 한 주기가 다 측정되어야 하기 때문에 충격공진시험에서는 시편의 길이비의 영향을 받는다.

그래서, Ascon, 흙 등의 모든 재료에 대하여 시험조건이 동일할 수는 없다. 그리하여 본 연구에서는 동결 용해에 대한 시험 조건을 정리하고, 시험 결과에 대한 적용성을 확인하고자 한다.

3. 동결·용해 과정에서의 충격공진시험

충격공진시험의 동결·용해시의 강성도 변화를 위한 본 연구에서는 서울-춘천간 고속도로 현장 00구간에 서 채취해온 노상토를 직경 70mm의 5층 동다짐을 적용하여 성형하였다. 본 연구의 목적은 시험조건에 상대적인 영향 정도 평가와 동결 직 후 용해시의 시험자체의 수행가능성만을 평가하는 것이어서, 시험 시편은 한 종에 국한하였으며 절대 값의 비교 대상이 되는 동탄성계수시험(Dynamic Modulus Test) 또한 별도로 수행하지 않았다. 본 연구의 목표가 동결 후의 용해시의 노상토에 대한 충격공진시험 수행 가능성만을 평가하고자 했기 때문에 온도 변화에 따른 엄밀한 물성변화 자체는 별도로 고려하지 않았다.

시편의 크기는 직경 70mm, 높이 150mm의 시편을 성형하여 수행하였다. 충격하중원은 쇠구슬을, 이때의 반응은 PCB 353B15 가속도계 와 PCB 480E09 신호안정기를 사용하였으며, 신호 획득은 GRAPHTEC WR1000, 신호영역 신호를 주파수영역으로의 전환과 공진주파수 및 감쇠비의 결정은 Mat .Lab 으로 제작한 프로그램을 이용하였다.

본 연구에서 검토한 충격공진시험의 시험조건 변수로는 동결전과 동결 직 후 부터의 시편의 강도변화를 측정하고자 한 것이므로 다짐 직 후의 시편의 공진주파수를 측정하기위한 충격공진시험을 실시하였다.

측정시의 충격하중원은 쇠구슬 직경 15.8mm인 쇠구슬을 충격하중원으로 사용하였다. 이 쇠구슬의 크기는 다른 시험재료의 시험시의 쇠구슬 직정보단 조금 큰 쇠구슬이다. 이것을 사용하는 이유는 앞에서 언급한바와 같이 시편의 특성상 파의 감쇠가 너무 크게 나타나서 가속도계가 파의 신호를 받아들이지 못하여, 충격에너지가 큰 쇠구슬을 사용하게 되었다.

시험시의 시편거치조건은 그림 3에서와 같이 공기중에 매달아 놓은 가장 이상적인 조건을 나타내기 위하여 노력하였다. 이 시편의 경우는 다짐 후의 강도가 크게 나타나 줄에 매달아도 시편의 손상이 나타나지 않았다. 하지만 공기 중에 매달아 시편의 손상이 우려되는 경우에는 바닥에 놓고 타격하거나 다른 방법으로도 시험을 수행할 수 있다.

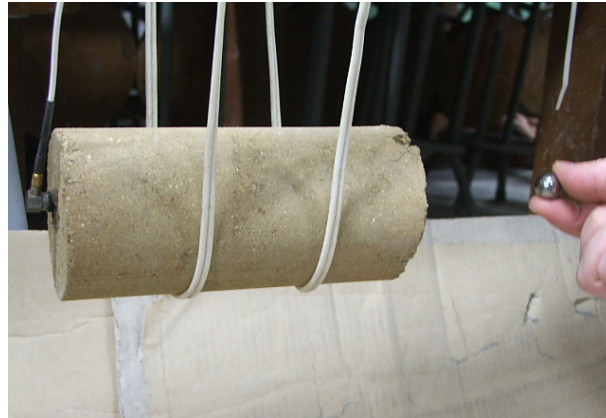


그림 3 충격공진 시험과정

시험 준비가 모두 끝나면 쇠구슬을 이용해 타격을 10회 정도 실시하였다. 시험 수행시간은 시험 준비가 끝난 후 1분 내외로 아주 빠른 속도로 시험을 끝낼 수 있었다. 그렇기 때문에 동결 후 용해 시험시 시험 중에 용해에 따른 강성도의 변화는 아주 작다고 생각되지만 향후에는 항온챔버 내에서 시험이 수행할 수 있도록 시험을 계획하고 있다..

이 과정을 마친 후 시편이 손상되지 않도록 그림 4과 같은 항온챔버 안으로 옮겨 그림 5과 같이 항온챔버안에 놓은 후에 항온챔버 내부 온도를 -20°C 로 설정한 후 약 15시간 이상 동결 시킨다. 동결이 완전히 되었다고 판단될 때, 시편을 항온챔버에서 꺼내어 앞에서 시험한 방법과 동일하게 시험을 준비하여 10회 정도 타격을 실시한다. 시험시의 시간은 최대한 빨리하는 것이 시험의 오차를 줄이는데 상당히 중요하다고 생각된다. 동결 직 후 시험을 끝낸 후 15분 간격으로 1시간동안 시험을 실시한 후, 1시간 후 부터는 30분 간격으로 시험을 실시하여, 2시간 만에 시험을 종료할 수 있었다.



그림 4 항온챔버



그림 5 항온챔버에서 열리는 시편

흙의 동결·융해시의 강성도 변화 결과는 시간과 공진주파수에 대한 그래프로 나타내면 그림 6와 같은 경향을 나타내는데, 결과를 살펴보면 일반적으로 동결 후 융해가 완전히 되어갈 때 강도가 원래 상태의 강도보다 낮게 떨어지는 것으로 알고 있다. 하지만 본 시험에서는 강도가 동결 전의 원래 상태로 돌아오는 것으로 나타났다. 이것은 동상 실내시험에 있어서 개방형과 폐쇄형의 두 가지 종류의 시험법이 있다. 개방형은 동결을 시킴과 동시에 수분을 공급하는 조건이고 폐쇄형은 수분을 공급하지 않고, 그 자체를 얼려버리는 방법이다. 본 시험에서서는 수분을 공급하지 않는 폐쇄형 방법을 사용하여, 융해가 끝나갈 때 강도가 원 상태보다 떨어지지 않은 것으로 생각되어진다.

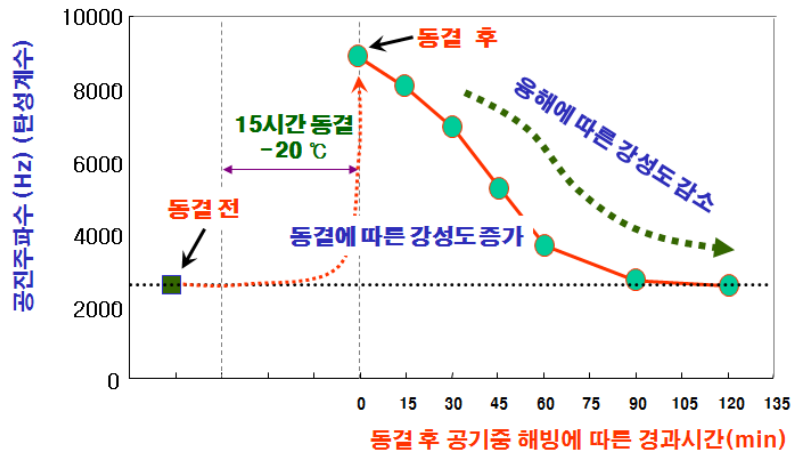


그림 6 동결·융해시의 강성도 변화 시험결과 그래프

4. 결론

본 연구에서는, 충격공진시험의 동상시험에서의 적용 가능성을 평가를 시도해보았다. 시험결과는 예상과 비슷한 경향을 나타내어 소기의 목적은 달성하였다고 볼 수 있다. 하지만 동결조건, 시편거치조건, 신호측정 및 처리방법에 대한 연구가 미흡한 실정이라 다음 연구에서는 조금 많은 시료와 더 다양한 시험방법을 생각하여, 동결시편에 대한 충격공진시험에 대한 어느 정도의 기준을 만들어 보고자하는 생각이 된다.

감사의글

본 연구는 건설기술혁신사업과제인 “도로 동상방지층의 효용성 검증 및 설치기준 연구”의 연구결과와 일부로, 국토해양부의 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 건설교통부 (2006), “한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구”, KPRP-G-06.
2. 권기철, 김동수 (2000), “현장공진주시험을 이용한 보조기층 재료의 대체 M_R 시험법”, 한국도로포장 공학회논문집, 제2권, 제2호, pp. 149-161.
3. 김동수, 박형춘, 이광명 (1997) “충격반향기법을 이용한 콘크리트 부재의 비파괴 검사”, 한국콘크리트

학회논문집, 9권, 2호, pp. 109-119.

4. Kim D. S., Kweon G. C. and Lee K. H. (1997), "Alternative Method of Determining Resilient Modulus of Compacted Subgrade Soils Using Free-Free Resonant Column Test", Transportation Research Board 1557, pp.62-69.
5. Kweon G. C. and Kim Y. R. (2006) "Determination of Asphalt Concrete Complex Modulus with Impact Resonance Test," Transportation Research Record 1970, pp. 151-160.