

비파괴 충격파 시험을 통한 소석회 첨가 투수성 가열 아스팔트 혼합물의 수분민감성 평가

Evaluation of Moisture Susceptibility of Porous Hot Mixed Asphalt Mixtures with Hydrated Lime using Non-destructive Impact Test

김도완 Dowan Kim | 정회원 · (주)건화 도로공학부 사원 (E-mail : kimdw@kunhwaeng.co.kr)
문성호 Sungho Mun | 정회원 · 서울과학기술대학교 건설공학과 부교수 · 교신저자 (E-mail : smun@seoultech.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : It is theoretically well known all over the world, that porous hot mixed asphalt (HMA) with hydrated Lime improves moisture and rutting resistance, and reduces pothole occurrence frequency, as well as the life cycle cost (LCC).

METHODS : Additive in the two different formations of the liquid anti-stripping Agent and powder Hydrated-Lime was applied in this investigation in order to obtain relatively clear results according to their types and conditions. Firstly, the moisture conditions were set, and applied to the porous HMA mixtures with hydrated lime (anti-stripping agent). Next, it was followed by a non-destructive test with the application of three freeze-thaw cycles, which were individually carried out thrice to compare the results of the dynamic moduli. Lastly, the hydrated lime effect related to moisture sensibility to porous HMA has been verified through the analysis of the modulus results regarding the change rate of dynamic modulus per n-cycle.

RESULTS : It is clear from this investigation, that the dynamic modulus is inversely proportional to the change in temperature, as the graph representing the rigidity of the thermorheologically simple (TRS) material showed gradual decline of the dynamic modulus with the increase in temperature.

CONCLUSIONS : The porous HMA mixture with the anti-stripping agent (hydrated Lime) has been found to be more moisture resistant to freezing and thawing than the normal porous HMA mixture. It is clear that the hydrated lime helps the HMA mixture to improve its fatigue resistance.

Keywords

Freeze-thaw test, fatigue behavior, hydrated lime, porous hot mixed asphalt mixture

Corresponding Author : Sungho Mun, Associate Professor
The Road Pavement Research Division, No.43, Seoul National
University of Science and Technology, 232, Gongneng-ro, Nowon-gu,
Seoul, 01811, Korea
Tel : +82.2.970.9014
E-mail : smun@seoultech.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Jul. 14, 2015 Revised Jul. 29, 2015 Accepted Jul. 30, 2015

1. 서론

최근 포트홀이나 싱크홀과 같은 원인에 의해 발생하는 사회기반시설 안전에 대한 문제가 국제적인 이슈로 부각되고 있다. 사회기반시설 중 아스팔트 도로는 인간

의 삶과 밀접한 관계를 가지고 있기 때문에 경제적, 사회적 등의 문제에 직접적으로 영향을 받는다. 아스팔트 도로는 기후변화와 관련하여 포트홀, Segregation, 균열, 소성변형, 블리스터링 등을 발생시켜 포장의 공용성

을 저하시킨다.

전 세계적으로 이러한 문제를 해결하기 위해 다양한 연구가 진행되고 있다. 이와 관련하여 아스팔트 혼합물을 제작하는 과정에서 소석회를 함께 배합하는 경우, 아스팔트 포장 자체의 강성을 증가시킬 뿐만 아니라 수분민감특성, 박리현상, 포트홀 및 각종 균열에 대한 저항성을 증가시키는 것으로 알려져 있다. 이는 아스팔트 혼합물 내의 골재간의 결합력 및 맞물림 효과(Interlocking)를 높이기 때문이다. 이는 결국 포장의 잔존가치와도 관련된다. 소석회가 아스팔트 포장도로에 미치는 영향은 최근 급격한 기후변화에 대응할 수 있는 방안으로 제시될 수 있으며, LCC(Life Cycle Cost)를 저감시킴으로써 경제적인 이익을 취할 수 있다. 현재 아스팔트 포장 시공 시 벨기에, 네덜란드 및 스웨덴에서는 소석회를 함께 배합하는 것을 의무화하고 있다. 또한 국내 연구에서 일반적으로 저온에서 포장의 신도, Toughness 및 Tenacity의 특성을 증가시키고 고온에서 유동성을 향상시키는 개질 아스팔트 혼합에도 소석회를 사용함으로써 포장 자체의 설계수명을 연장시켰다. 기존의 국외 연구에서는 HMA에 소석회를 첨가함으로써 Anti-stripping Agent의 효과를 연구하고 포트홀 저감, LCC 저감, 수분저항성 증가 등의 효과를 확인함으로써 소석회의 효과를 보편적 결과로 도출하였다.

이와 관련하여 본 연구에서는 투수성 아스팔트 혼합물에 분말형 소석회 및 액상형 박리방지제를 첨가함으로써 수분민감성을 평가했다. 아스팔트 혼합물의 경우 수분저항성 및 기후변화(폭우 및 폭설 등)를 고려하여 실내배합법을 통한 투수성 아스팔트 혼합물을 제작하였다. 소석회 아스팔트 혼합물의 수분저항성을 평가하기 위해 3회 까지 동결·융해과정을 실시하였다. 수분민감성 효과를 확인하기 위해 비파괴 충격파 시험을 반복적으로 수행하였으며 이로 인해 도출된 고주파 영역 동탄성계수를 확인하였다.

2. 소석회 첨가 아스팔트 혼합물 성능 평가 연구 및 국내 포장 지침

아스팔트 배합 시 소석회를 첨가제로 사용하는 경우 포장의 성능을 개선시킬 수 있다는 것은 기정사실화된 것임에도 불구하고 국내에서 실제 포장 시 소석회를 사용하는 경우는 드물다. 최근 서울시에서는 서울시 내에서 빈번하게 발생하는 포트홀과 이와 관련된 민원에 대응하기 위해 '서울시 아스팔트 10계명'에 소석회 및 박리방지제 사용

을 확대하는 등의 해결책을 제시하였다. 서울시에서 제시한 이 해결방안은 소석회와 박리방지제의 효능을 인정하는 것이지만 서울시를 제외한 다른 지자체의 첨가제 활용 사례는 드물다. 또한 활용실적뿐만 아니라 연구사례 역시 국외에 비해 적은 것이 사실이다. 이와 관련하여 본 장에서는 국내뿐만 아니라 국외의 연구사례를 통해 본 연구의 기반을 설명하고, 이와 차별된 연구방안 및 국내 여건에 맞는 연구사항을 설명하고자 한다.

2.1. 국내 연구 사례

국내 연구에서는 아스팔트 혼합물 배합설계 과정에서 다양한 방법으로 소석회를 첨가하였고, 이에 대한 동탄성계수 차이를 평가했다(Sangyum Lee et al, 2010). 이 연구에서는 소석회를 첨가한 아스팔트 혼합물은 저온 또는 고주파 영역대에서 피로에 대한 저항성을 증가시키는 등의 효능을 발휘한다고 밝혔다. 또 다른 연구(Sangyum Lee, 2008)에서는 동결융해법을 사용함으로써 피로균열과 소성변형에 따른 거동해석을 수행하였다. 이 연구 내에서는 SPT(Simple Performance Test)와 Visco Elastic Continuum Damage의 특정 유한요소해석기법을 활용하였다. 이에 기반되는 자료로 소석회 아스팔트 혼합물에 대한 동탄성계수시험, 삼축압축반복하중시험, 직접인장시험을 수행하였으며, 그 결과로 아스팔트 배합설계 단계에서 소석회 첨가방법에 따른 동탄성계수의 영향은 크지 않고 이 개질제 효과로부터 수분민감성 저하로 인해 피로와 러팅에 대한 저항성을 증가시킬 수 있다는 것을 제시했다. 또 다른 연구(Youngsoo Doh et al, 2008)에서는 HMA(Hot Mixed Asphalt)뿐만 아니라 CRM(Crumb Rubber Modifier) 아스팔트 혼합물에 소석회를 첨가하는 연구를 진행한 사례가 존재한다.

2.2. 국내 지침 및 기준

국토해양부의 기준인 '순환골재 품질기준(2012)'에서는 보조기층을 설계 및 시공하는 경우 소석회를 사용하면 경제적, 구조적 안정성을 높일 수 있다는 것을 언급하고 있다. 이와 관련된 국내 지침으로는 국토해양부에서 발행한 '아스팔트 혼합물 생산 및 시공 지침(2014)'가 있다. 이 지침에는 소석회의 사용 특성을 다음과 같이 명시하고 있다.

- (1) 수분 민감성 저하로 인한 박리 저감
- (2) 산화로 인한 노화현상 방지

- (3) 강성 증가로 인한 소성변형 저항성 증가
- (4) 미세균열 확산속도 저하로 피로저항성 증가

이에 따르면 소석회를 박리방지의 목적으로 채움재로 사용하는 경우 소석회 및 석회석분의 품질기준에 따라 사용되어야 한다는 것을 명시하고 있다. 소석회를 가열 아스팔트 혼합물 배합설계에 호(친)수성 골재를 함께 사용하거나 수분의 영향이 큰 곳에서 현장배합을 하는 경우 0.08mm체 통과량 중 50% 이상을 소석회로 치환하는 것을 권장하고 있다. 실내배합의 경우 소석회 사용 시 아스팔트 혼합 전 소석회와 골재의 혼합을 먼저 실시해야 하며, 플랜트배합의 경우 전용 사일로에 소석회를 저장한 뒤 이송 또는 계량을 수행한 후 플랜트 믹서에 첨가해야 하지만 전용 사일리가 없는 경우 1배치 중량으로 계량하여 고온 용해 백에 저장하여 믹서에 투입한다. 또한, 플랜트 믹서에 소석회를 투과한 후 건조혼합 시간을 5초 이상 확보하여야 박리방지 효과를 발현하는 것으로 알려져 있다.

2.3. 국외 연구 사례

국외의 다양한 연구결과를 확인한 결과, 소석회가 첨가제로 사용될 경우 가장 크게 향상되는 성능이 수분저항성임은 틀림없다. 또한 향상된 수분저항성으로 인해 러팅이나 내구성이 향상되어 결국 포장의 설계수명을 증가시킬수 있다는 것을 강조하고 있음을 확인할 수 있다. 기존 연구(TRB 2003 Annual Meeting, 2003)에서는 소석회의 영향을 파악하기 위해 회복탄성계수시험(ASTM D-4123), 인장강도시험(AASHTO T-283) 및 전단시험(AASHTO TP-7)을 수행하였으며, 이를 통해 HMA 공시체의 수분민감성과 변형성을 확인하였다. 그 결과, 전단시험으로부터 소석회의 사용은 러팅을 감소시키는 역할을 할 수 있으며, 회복탄성계수시험으로부터 수분민감성 정도를 파악하기 위한 일반 HMA 혼합물과 반복 동결융해를 거친 HMA 혼합물과의 회복탄성계수 차이는 적다는 것을 확인하였다.

또 다른 연구논문(Imran Hafeez et al, 2011)에서는 회복탄성계수시험과 일반적인 동탄성계수시험을 수행함으로써 소석회의 효과를 밝힘과 동시에 회복탄성계수와 동탄성계수 사이의 관계를 연구했다. 이 연구에서 밝히고자 한 중점사항은 소석회가 첨가제로 사용된 경우 HMA 포장의 수분민감성 효과를 증명하는 것이다. 또한 AASHTO 포장 설계법과 NHCRP(National Highway Cooperative Research Program)에서 회복탄성계수시험과 동탄성계수시험을 역학적-경험적 설

계 접근법으로 사용한다는 것을 강조하고 있으며, 이 두 시험이 첨가제 사용에 대한 수분민감성을 조사하는데 중요한 역할을 한다는 내용을 내포하고 있다. 연구 결과로, 회복탄성계수와 탄성계수의 관계는 저주파 영역대에서 오차가 적기 때문에 소성변형에 대한 영향력을 평가할 수 있으나, 두 시험의 오차가 큰 고주파 영역에서는 피로에 대한 영향을 한 시험으로 단정짓기 어렵다는 내용을 내포하고 있다. 동탄성계수를 통한 소석회의 영향을 평가하는 경우 중요한 것은 바인더의 PG등급, 온도 및 하중 주파수라는 것을 밝혔다.

국제석회협회보고서(National Lime Association Report, 2006)에서는 전 세계적으로 입증된 연구 및 용역 결과를 토대로 소석회를 첨가한 HMA 포장의 이점을 밝히고 있다. 전 세계적으로 수행된 HMA의 소석회 영향 평가 연구는 실내 및 현장 시험에서 확실히 수분민감도를 저하시킨다는 것을 결론으로 제시했다. 소석회의 활용으로 인해 수분저항성뿐만 아니라 산화로 인한 노화현상 저하, 공학적 성능 향상 및 소성변형과 피로파괴 저하의 효과를 발휘할 수 있으며 이로 인해 LCC 저감, 설계수명의 증가로 인해 경제성을 확보할 수 있다고 밝혔다.

3. 소석회 첨가 투수성 가열 아스팔트 혼합물 제작

소석회는 생석회가 물과 수화반응을 일으켜 생성된 수산화칼슘을 말한다. 이러한 소석회가 포장용으로 사용되기 위해 석회수 또는 분말형 석회분으로 제조되어 한국건설기술연구원에 의해 연구되어지고 있다. 이와 관련하여 본 연구에서는 다양한 소석회를 첨가한 아스팔트 혼합물에 대한 수분민감저항성을 평가하기 위해 아래 Table 1과 같이 액상형 박리방지제와 소석회 분말을 HMA 혼합물 배합설계에 사용하였다.

Table 1. Details of Hydrated-Lime and Antistripping Agent

Hydrated-lime and antistripping agent type					
Type	1	2	3	4	5
	None	Liquid	Liquid	Powder	Powder
Ratio(%)	-	0.25	0.75	0.5	1

소석회를 투여하는 비율은 분말형의 경우 아스팔트 혼합물에 대한 비율로 첨가되어야 하기 때문에 이는 마샬 시험법에 의거해 최적아스팔트 함량을 도출하는 과정에

도 사용되었으나 액상형 박리방지제의 경우 고온 바인더에 녹여 아스팔트 혼합물에 첨가하였다. 또한 이 혼합물들의 수분영향을 보다 명확하게 평가하기 위해 밀입도로 개량하기보다 투수성 아스팔트 혼합물로 제조했다. 더욱이, 첨가제를 투여한 HMA의 수분민감도에 대한 특성을 파악하기 위해 동결융해시험(이하 F/T시험, Freezing-Thaw Test)을 수행하였다. F/T시험은 공시체를 3차까지 동결 및 융해시켰다. 아래 Table 2는 본 연구에서 제작한 아스팔트 공시체에 대한 제원을 나타낸다.

Table 2. Details of Mixtures

Type	1	2	3	4	5
Length (cm)	15.44	15.61	15.55	15.28	15.47
Diameter (cm)	9.954	9.980	9.954	9.947	9.968
Weight (kg)	2.484	2.491	2.497	2.497	2.503
Porosity (%)	16.05	13.62	13.62	13.00	14.25

혼합물을 제작하기 위한 배합설계에서 다짐은 수퍼패이브 선화다짐법을 수행하였으며, 소석회의 경우 국토해양부의 지침인 ‘아스팔트 혼합물 생산 및 시공 지침 (2014)’의 첨가제 기준에 맞는 것을 선택함으로써 보다 국내 조건에 맞는 혼합물을 제작하도록 하였다. 바인더는 일반적으로 현장이나 실내시험에서 사용되는 PG 64-22 등급을 사용했다. Table 3은 국토해양부지침인

Table 3. Guidelines for Quality Standard of Hydrated-Lime

Provision	Standards
CaO (%)	> 90
CO ₂ (%)	< 5
Non-Ca(OH) ₂ (%)	< 5
Moisture content (%)	< 1

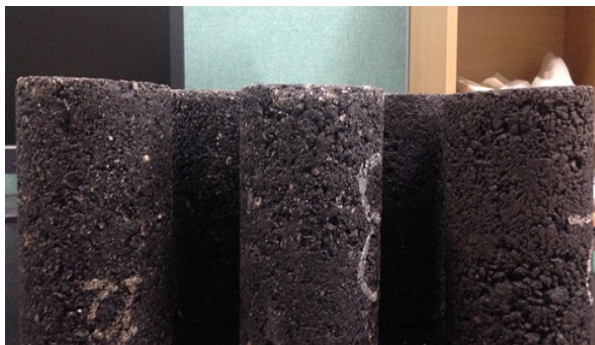


Fig. 1 Porous HMA Mixtures

포장용 소석회 품질시험에 관한 내용이며, Fig. 1은 본 연구에서 제작한 소석회를 첨가한 투수성 가열 아스팔트 혼합물을 나타낸다.

4. 비파괴 충격파를 이용한 혼합물 평가

만능재료시험기를 사용하여 아스팔트 혼합물의 동탄성계수를 파악하는 경우 시그모이달 함수에 의해 비교적 저주파 외력에 대한 저항특성만을 확인할 수 있다 (Dowan Kim et al, 2014). 그러나 본 연구의 목적은 F/T 시험에 의해 도출된 동탄성계수를 이용하여 소석회를 첨가한 아스팔트 혼합물의 피로에 대한 수분저항성을 평가하는 것에 있기 때문에 파괴시험을 통하여 이를 확인하기 보다 비파괴시험의 일종인 충격공진시험을 활용했다. 소석회를 첨가한 투수성 HMA의 수분민감성 평가를 위해 충격공진시험을 수행하는 경우, 특정 온도에서 측정된 동탄성계수를 보다 쉽게 파악할 수 있으며, 파괴시험에 비해 인력, 경제적 및 시간적인 면에서 이점을 취할 수 있다. 다음 Fig. 2는 본 연구에서 활용한 IHRT시험에 대한 사진이다.

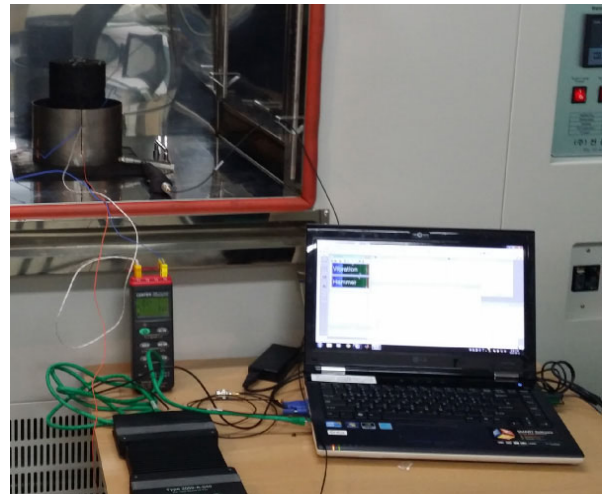


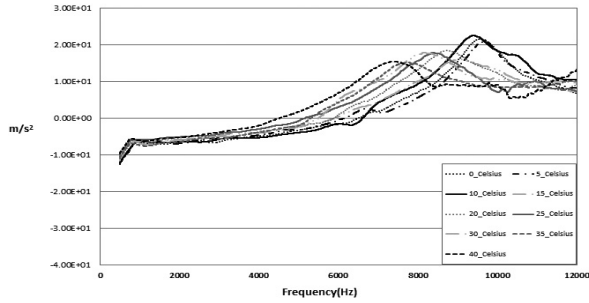
Fig. 2 Non-destructive Impact Test for IHRT

비파괴충격파 시험은 개별 혼합물이 가지고 있는 고유 특성인 공진 주파수를 탐색함으로써 기존의 연구에서 입증한 이론을 적용하여 혼합물의 동탄성계수를 파악하는 것이다(Oyadiji S.O. et al, 1985).

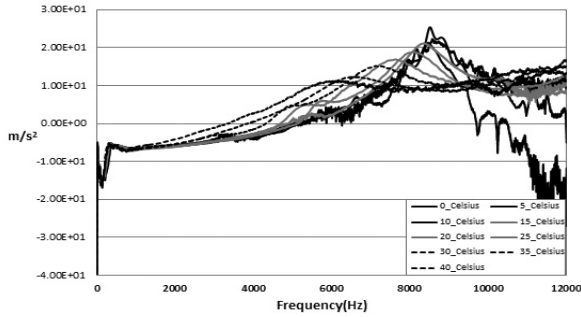
기존 비파괴충격파 시험은 가진에 대한 시험의 일관성을 유지하거나 정확성을 파악하기 어렵다는 점 때문에 실험에 대한 공신력을 확보하기 어렵다는 단점이 있다. 그러나 본 연구에서 수행한 충격공진시험은 반복타격에 대한 보정함수를 도입함과 동시에 일관성분석을

통해 수신되는 디지털신호에 대한 보정을 실시할 수 있으며, 신호처리에 대한 일관성을 파악할 수 있다.

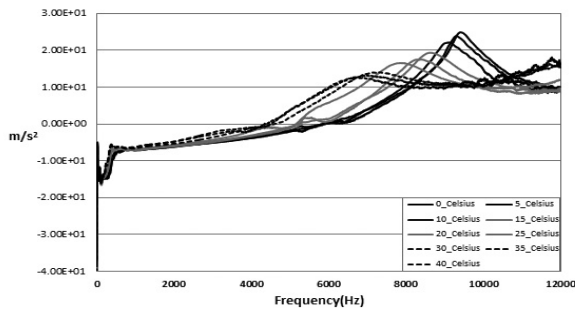
그러나 이 시험을 이용하여 저주파 외력과 관련된 소성변형에 대한 동적저항특성을 파악하는 것은 어렵다. 아래 Fig. 3은 본 연구에서 실시한 조건 별 주파수 반응 함수를 나타내며, Fig. 4는 주파수 반응 함수에 대한 일관성분석을 실시한 결과이다. 일관성분석의 경우, 3회 가진에 대한 일관성분석을 수행한 결과이다.



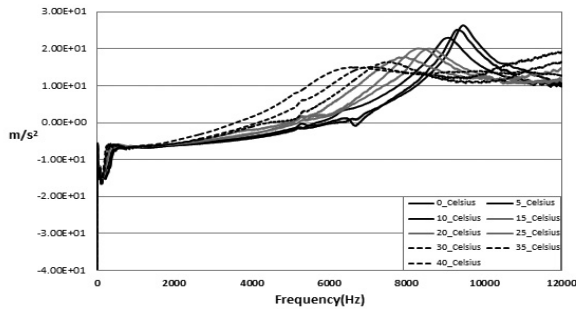
(a) Type 1 (1 Cycle F/T Test)



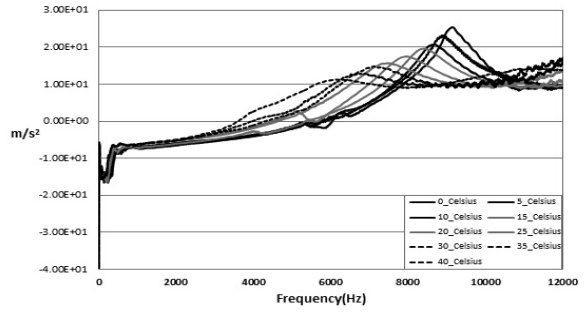
(b) Type 2 (1 Cycle F/T Test)



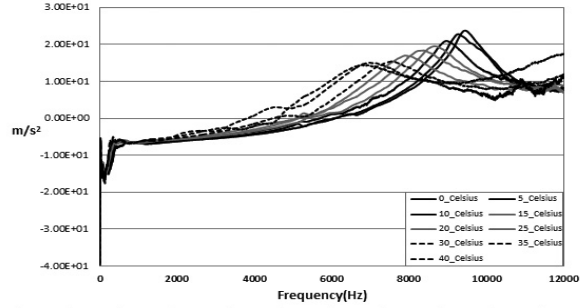
(c) Type 3 (1 Cycle F/T Test)



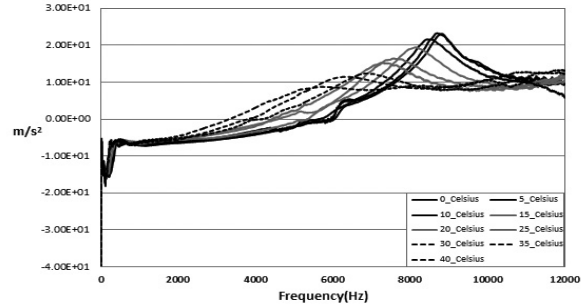
(d) Type 4 (1 Cycle F/T Test)



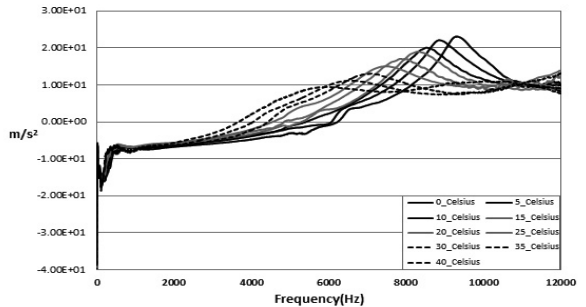
(e) Type 5 (1 Cycle F/T Test)



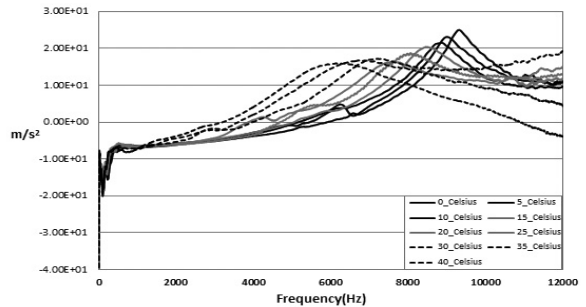
(f) Type 1 (2 Cycle F/T Test)



(g) Type 2 (2 Cycle F/T Test)

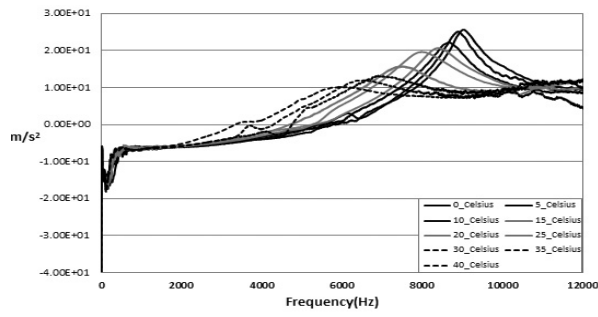


(h) Type 3 (2 Cycle F/T Test)

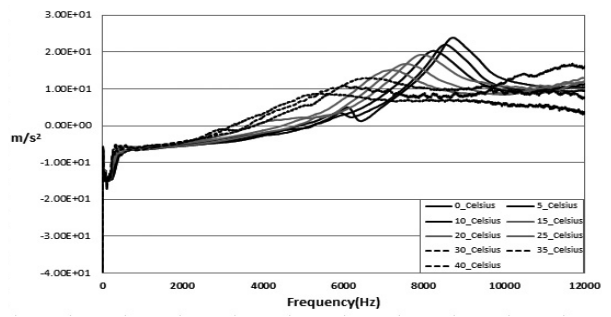


(i) Type 4 (2 Cycle F/T Test)

(Figs. Continued)

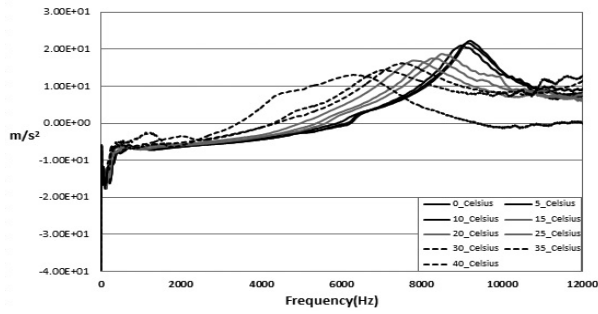


(j) Type 5 (2 Cycle F/T Test)

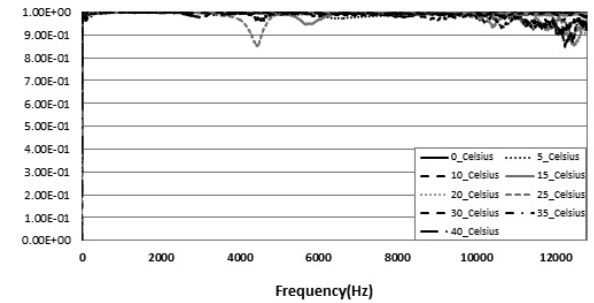


(o) Type 5 (3 Cycle F/T Test)

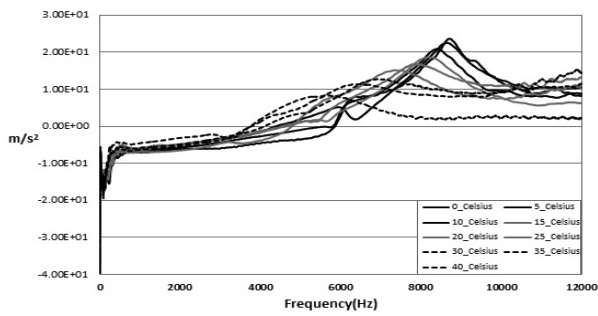
Fig. 3 FRF form IHRT



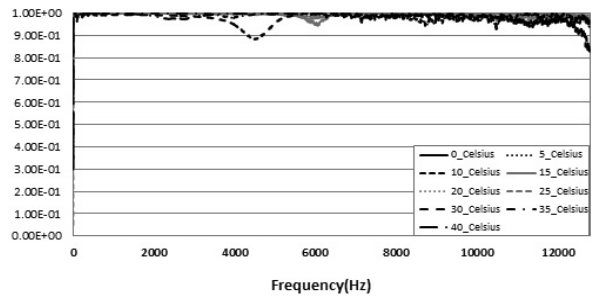
(k) Type 1 (3 Cycle F/T Test)



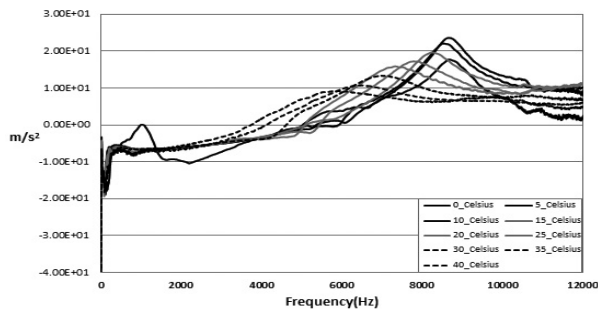
(a) Type 1 (1 Cycle F/T Test)



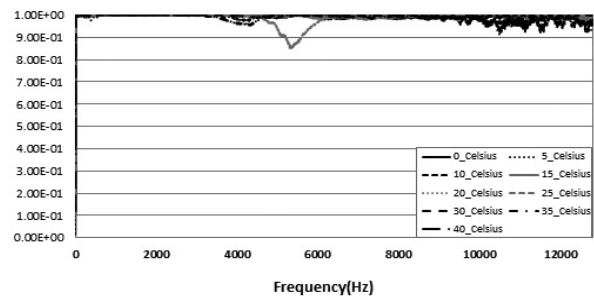
(l) Type 2 (3 Cycle F/T Test)



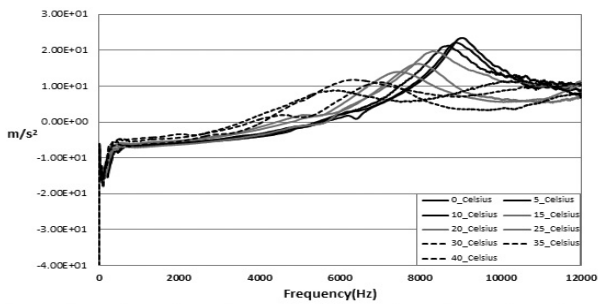
(b) Type 2 (1 Cycle F/T Test)



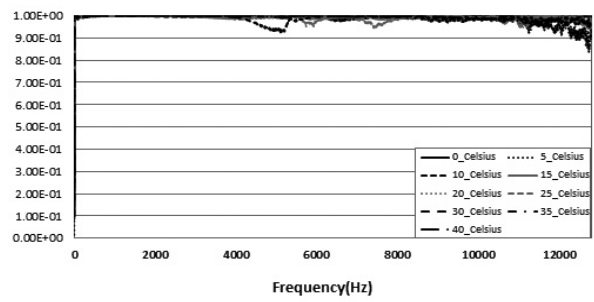
(m) Type 3 (3 Cycle F/T Test)



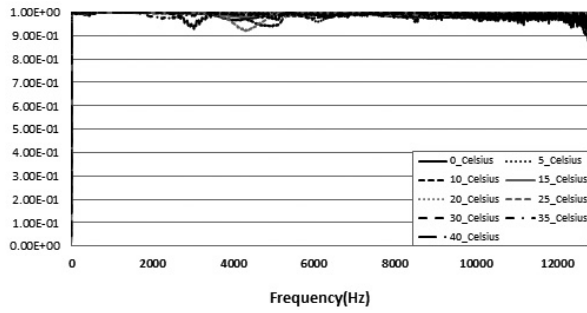
(c) Type 3 (1 Cycle F/T Test)



(n) Type 4 (3 Cycle F/T Test)



(d) Type 4 (1 Cycle F/T Test)



(o) Type 5 (3 Cycle F/T Test)

Fig. 4 Coherence Analysis of FRF

아스팔트 혼합물의 경우 거동특성이 열유변학적 단순 재료이기 때문에 시험체의 복소수에 손실변형계수를 곱한 값에 탄성계수를 더함으로써 도출할 수 있는 복소탄성계수는 파괴시험에서 TTSP(Time-Temperature Superposition Principle)를 통해 마스터커브로 표현된다. 그러나 충격공진시험에 의해 도출되는 동탄성계수는 공시체의 공진주파수와 자유도 등에 의해 결정된다. 다음 Eq. (1)은 점탄성 재료 강성 이론에 대한 복소탄성계수와 가진에 의한 동탄성계수의 관계를 나타낸다.

$$E^* = E' + iE'' = \frac{16\rho f^2 l^2}{(2N-1)^2} \quad (1)$$

여기서, E^* , E' , E'' 는 복소탄성계수, 탄성계수 및 손실변형계수를 의미하며, ρ , l 는 각각 공시체 제원과 관련된 밀도 및 길이를 의미한다. N 과 f 는 FRF로 인한 공시체의 자유도 및 고유진동수를 나타낸다.

위 식을 이용하여 아래 Table 4와 같이 각 조건에 대한 동탄성계수를 도출했다.

Table 4. Results of Dynamic Moduli

Type	Temp.	1 Cycle	2 Cycle	3 Cycle
Type 1. mixture	0 °C	7581.69	7678.87	7281.20
	5 °C	7481.92	7395.57	7205.46
	10 °C	7152.04	6906.43	6934.19
	15 °C	6768.44	6451.89	6209.94
	20 °C	6265.59	6027.20	5852.86
	25 °C	5633.66	5377.78	5221.20
	30 °C	5383.22	4941.03	4821.85
	35 °C	5080.15	4173.17	4250.18
Type 2. mixture	0 °C	6321.49	6631.85	6496.65
	5 °C	6242.13	6532.56	6451.89
	10 °C	6174.93	6125.49	6067.58

	15 °C	6027.20	5683.88	5742.74	
	20 °C	5653.16	4922.80	5399.56	
	25 °C	4998.54	4555.25	4681.26	
	30 °C	4381.74	4108.74	4134.93	
	35 °C	3680.75	3511.75	3459.20	
	40 °C	3306.08	2835.82	2739.88	
	Type 3. mixture	0 °C	7626.96	7459.49	6496.65
		5 °C	7433.88	6765.39	6478.72
10 °C		7158.32	6259.72	6277.34	
15 °C		6380.60	5935.43	5847.19	
20 °C		6090.71	5293.80	5229.25	
25 °C		5296.50	4834.73	4620.56	
30 °C		4607.97	4359.67	4194.76	
35 °C		4325.46	3669.51	3644.84	
Type 4. mixture	0 °C	7691.87	7478.71	7036.47	
	5 °C	7475.51	6958.92	6786.76	
	10 °C	7076.97	6771.49	6487.68	
	15 °C	6333.29	6157.45	5926.86	
	20 °C	5895.50	5597.54	5448.72	
	25 °C	5465.15	4990.68	4747.46	
	30 °C	4967.13	4416.17	4185.16	
	35 °C	4291.38	3890.65	3398.40	
Type 5. mixture	0 °C	7199.16	6996.09	6565.57	
	5 °C	6780.65	6802.04	6268.53	
	10 °C	6499.63	6454.87	5855.70	
	15 °C	6102.29	6047.37	5462.41	
	20 °C	5448.72	5503.60	4938.42	
	25 °C	4834.73	4837.31	4413.71	
	30 °C	4359.67	4096.86	3662.77	
	35 °C	3876.78	3674.00	3139.78	
	40 °C	3215.03	3044.92	2556.70	

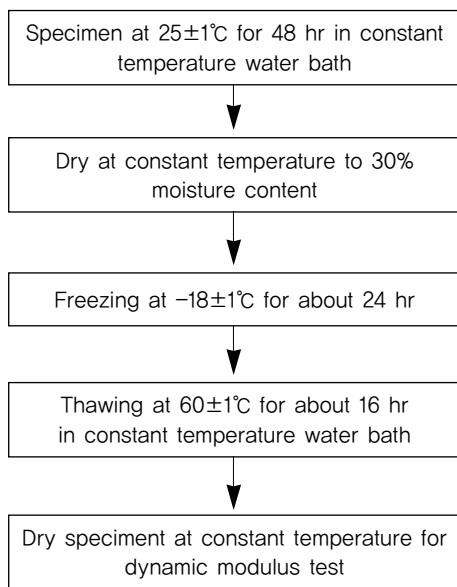
5. 수분민감성 평가

본 연구의 목적은 투수성 가열 아스팔트 혼합물에 소석회를 첨가하는 경우 다양한 조건에서 수분 저항성을 평가하는 것이다. 이와 관련하여 아스팔트 혼합물의 F/T시험을 실시했다. 수분민감도를 평가하기 위한 시험은 목적에 따라 BW(Boiling Water), F/T, QB(Quick Bottle), RB(Rolling Bottle) 시험과정 등으로 나뉘어진다. 또한 이 시험과정을 통해 혼합물의 상태를 변화시킨 뒤, 간접인장시험, 마찰시험, Immersion-Compression Test, 회복탄성계수 등의 시험결과를 통해 혼합물의 수분저항을 평가할 수 있다. 본 연구에서 수행한 수분민감성 평가는 소석회를 첨가한 투수성 HMA의 수분저항성을 평가하기 위해 F/T시

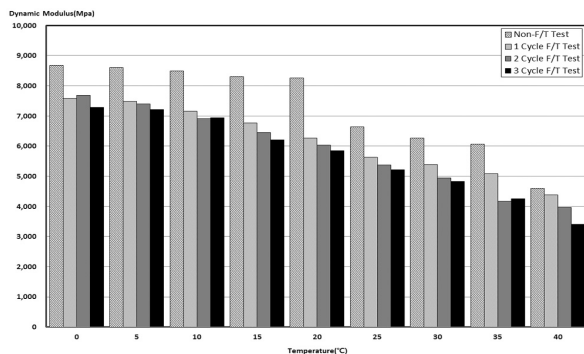
험에 의한 비파괴시험을 실시하였으며, 동결융해시험은 ASTM D 6857 기준에 의거했다.

이 기준에 따르면 실온에서 아스팔트 혼합물을 완전 포화시키기 위해 48시간 수침을 실시한 뒤, 항온수조에서 다시 건조를 실시한다. 혼합물의 포화도가 30%까지 건조를 실시한 후 이 상태에서 수분이 증발하지 않도록 피복한 뒤 24시간 동안 동결을 실시한다. 동결을 실시한 후 융해 상태로 만들기 위해 다시 항온수조에 16시간 동안 60도로 유지시킨 뒤 건조를 시키는 것이 한 주기의 동결융해 상태를 유지하게 되는 것이다. 동결융해과정을 거친 혼합물은 동탄성계수 시험을 실시하기 위해 다시 완전 건조된다. 아래 Table 5는 동결융해시험 순서에 대한 흐름도이다.

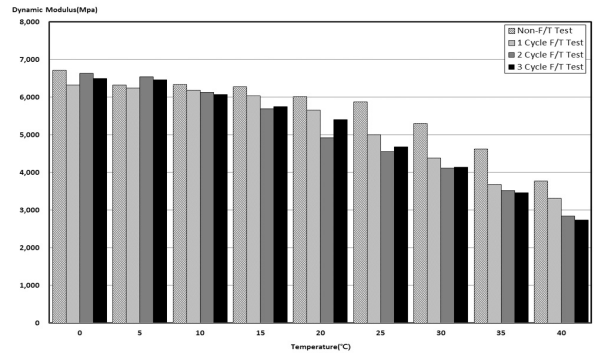
Table 5. Flow Chart of F/T Test



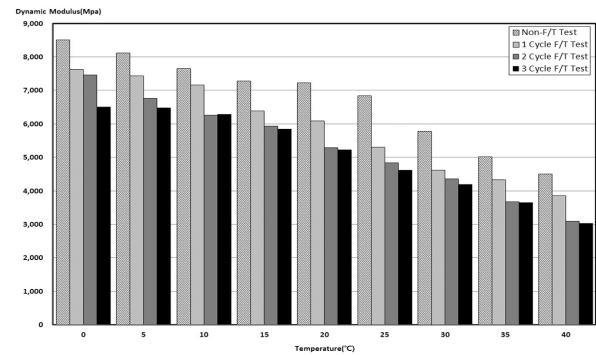
아스팔트 혼합물은 온도와 외력주기에 민감하기 때문에 수분민감도 평가를 본 연구에서는 5도 단위로 0에서 40도까지 수행하였다. Fig. 5는 온도에 따른 소석회 첨가 투수성 가열 아스팔트 혼합물에 대한 동탄성계수 값을 나타낸다.



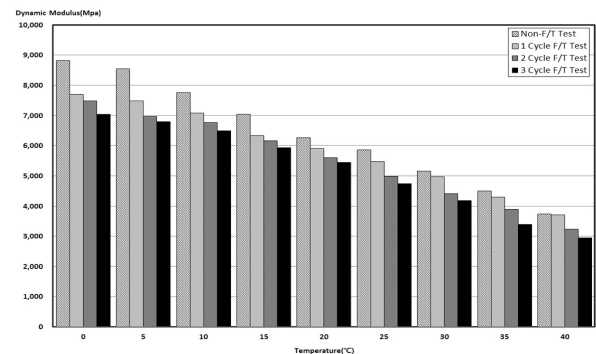
(a) Type 1. Mixture



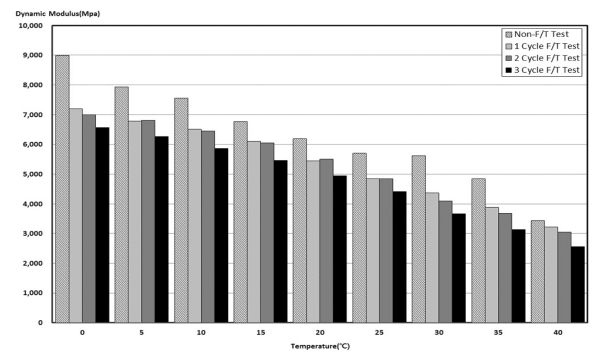
(b) Type 2. Mixture



(c) Type 3. Mixture



(d) Type 4. Mixture



(e) Type 5. Mixture

Fig. 5 Comparison of Dynamic Moduli regarding Cycle Number

수분민감도를 평가하는 것에 있어서 동결융해에 대한 동탄성계수의 변화를 파악하는 것은 매우 중요하다. 따

라서 이 변화정도를 파악하기 위해 순간변화율과 평균변화율을 도입하여 아래 Table 6과 같은 결과를 얻었다.

Table 6. Change Rates of Dynamic Moduli

Type	Temp	Instantaneous rate of change (Mpa/Cycle)			Average rate of change (Mpa/°C)
1	0	1088.3	-97.2	397.7	1127.0 (Non → 1) 312.1 (1 → 2) 193.0 (2 → 3)
	5	1115.7	86.4	190.1	
	10	1337.1	245.6	-27.8	
	15	1537.2	316.6	241.9	
	20	1997.1	238.4	174.3	
	25	995.6	255.9	156.6	
	30	873.5	442.2	119.2	
	35	980.0	907.0	-77.0	
	40	218.8	414.3	562.3	
2	0	391.3	-310.4	135.2	488.7 (Non → 1) 208.7 (1 → 2) -29.5 (2 → 3)
	5	70.7	-290.4	80.7	
	10	156.7	49.4	57.9	
	15	242.0	343.3	-58.9	
	20	357.1	730.4	-476.8	
	25	866.3	443.3	-126.0	
	30	919.0	273.0	-26.2	
	35	935.9	169.0	52.5	
	40	459.0	470.3	95.9	
3	0	880.8	167.5	962.8	902.4 (Non → 1) 566.4 (1 → 2) 206.0 (2 → 3)
	5	675.7	668.5	286.7	
	10	494.9	898.6	-17.6	
	15	900.1	445.2	88.2	
	20	1133.5	796.9	64.6	
	25	1545.2	461.8	214.2	
	30	1162.8	248.3	164.9	
	35	685.2	655.9	24.7	
	40	643.7	759.0	65.6	
4	0	1120.4	213.2	442.2	528.01 (Non → 1) 377.82 (1 → 2) 282.1 (2 → 3)
	5	1061.6	516.6	172.2	
	10	672.1	305.5	283.8	
	15	708.9	175.8	230.6	
	20	371.6	298.0	148.8	
	25	391.9	474.5	243.2	
	30	194.2	551.0	231.0	
	35	209.6	400.7	492.2	
	40	21.8	465.2	294.8	
5	0	1781.9	203.1	430.5	965.87 (Non → 1) 95.5 (1 → 2) 510.4 (2 → 3)
	5	1152.0	-21.4	533.5	
	10	1049.4	44.8	599.2	
	15	655.7	54.9	585.0	
	20	746.5	-54.9	565.2	
	25	863.3	-2.6	423.6	
	30	1256.4	262.8	434.1	
	35	964.7	202.8	534.2	
	40	223.0	170.1	488.2	

6. 결론

본 연구에서는 소석회를 첨가한 투수성 아스팔트 혼합물의 수분민감도를 평가하기 위해 3 Cycle에 거친 동결융해시험을 실시하였으며, 이 동결융해시험을 거친 혼합물에 대하여 비파괴충격과 시험을 실시함으로써 혼합물의 수분민감도를 평가했다. 동탄성계수를 이용하여 수분민감도를 평가한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

1. 소석회가 첨가된 아스팔트 혼합물은 일반 아스팔트 혼합물에 비해 동결융해와 관련된 수분저항성이 크게 증가되는 효과를 보였다.
2. 분말형 소석회의 경우 입도를 조정하지 못해 바인더에 완전히 교반되지 않은 현상을 보였으며, 이로 인해 동결융해 차수가 늘어날수록 수분저항성이 크게 저하되는 현상을 보였다.
3. 반면, 액상형 박리방지제의 경우 동결융해의 차수가 늘어날수록 수분저항성이 향상되었다.
4. 동결융해 후 온도에 따른 수분민감도의 차이는 일정하지 않은 현상을 보였으며, 동탄성계수 결과로 보아 소석회는 수분에 대한 저항성을 증가시킬 수 있는 것으로 판단했다.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIP) [No. 2011-0030040].

REFERENCE

- Dallas N. Little and Jon A. Epps (2006). "The Benefits of Hydrated Lime In Hot Mix Asphalt". Report of National Lime Association.
- European Lime Association (2010). "Hydrated-Lime : A Proven Addictive for Durable Asphalt Pavement", Report for European Lime Association.
- Imran Hafeez, Mumtaz Ahmad Kamal, Mohammad Reza Ahadi and Mahir J. N. Msawil (2011). "Effects of Hydrated Lime on Fatigue and Rutting Behavior of HMA Mixtures in Dynamic Modulus Testing", Transportation Research Journal, 1(1), pp. 23-34.
- Jang, Byungkwan, Kim, Dowan and Mun, Sungho, Yang, Sunglin and Jang, Yeongsun (2013). "Study on Dynamic Modulus Change Measurement of Permeable Asphalt Mixtures with Various Porosity using Non-Destructive Impact Wave", Journal of Korean Society of Road Engineers, 15(3), pp. 65-74.
- Kim, Dowan, Jang, Byungkwan and Mun, Sungho (2014).

- “Evaluation of the Dynamic Modulus by using the Impact Resonance Testing Method”, *Journal of Korean Society of Road Engineers*, 16(3), pp. 35-41.
- Kim, Dowan, Kim, Dongho and Mun, Sungho (2014). “Development of the Predicted Model for the HMA Dynamic Modulus by using the Impact Resonance Testing and Universal Testing Machine”, *Journal of Korean Society of Road Engineers*, 16(3), pp. 35-41.
- Lee, Sangyum (2008). “Investigation of the Effects of Lime on the Performance of HMA using Advanced Testing and Modeling Techniques”, North Carolina State Univ. Paper of Doctor of Philosophy.
- Lee, Sangyum, Seo, Youngguk and Kim, Y. Richard (2010). “Effect of Hydrated-Lime on Dynamic Modulus of Asphalt-Aggregate Mixtures in the State of North Carolina”, *Conference of Korean Society of Civil Engineering*.
- Mun, Sungho, Kim, Dowan, Jun, Eunbe, Lee, Sangyum and Yoon, Taesup (2014). “Performance Evaluation of Porous Asphalt Mixtures Using Hydrated-Lime”, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 14(6), pp. 73-82.
- Oyadiji S. O. and Tomlinson G. R (1985). “Determination Of The Complex Moduli Of Viscoelastic Structural Elements By Resonance And Non-Resonance Methods”, *Journal of Sound and Vibration*, 101(3), pp. 277-298.