

간접인장시험을 이용한 아스팔트 혼합물의 실내 수분손상 특성 평가

Evaluation on Laboratory Moisture Damage Characteristics of the Asphalt Mixtures using Indirect Tensile Test

황성도* · 이석근**

Hwang, Sung Do · Rhee, Suk Keun

Abstract

Moisture damage of asphalt pavements can usually occur because of the loss of adhesion and cohesion between the asphalt binder and aggregate in the asphalt mixture due to presence of water. And this is one of the causes that is effect on the main distress of asphalt pavement. The objective of this study is to find out moisture damage characteristics of asphalt pavement. Effects of this study changes of the material properties and resistance characteristics of moisture damage on the asphalt mixtures under various temperatures and repeated immersion using indirect tensile test and modify Lottman test were evaluated during this study. The asphalt mixtures were produced using straight asphalt binder, SBS modified asphalt binder and aggregates. The material properties (resilient modulus, indirect tensile strength, failure energy and DCSE_p) of the asphalt mixtures were generally decreased with increasing to moisture damage caused by the number of repeated immersion. The decrease ratios of material properties by repeated immersion on SBS modified asphalt mixtures were lower than those of straight asphalt mixtures at all three test temperatures. As a conclusion, current criterion for evaluation moisture damage of asphalt mixtures is difficult for using distinction standard because of the limited evaluation criterion with one time immersion and single material property. Based on this research, to evaluate long term moisture damage on asphalt mixtures, material property tests of various kinds with repeated immersion test are considered.

Keywords : asphalt mixture, moisture damage, SBS modified asphalt, material property, indirect tensile test, modified Lottman test

요 지

아스팔트 포장에서 발생하는 수분손상은 우수 등에 의한 수분 침투로 아스팔트 혼합물 내의 접착력과 점착력이 손상되면서 발생하는 현상으로서, 아스팔트 포장의 주요 파손에 영향을 미치는 원인의 하나로 알려져 있다. 본 연구에서는 아스팔트 포장에서 발생하는 수분손상을 아스팔트 혼합물의 실내 물성 특성으로 규명하고자, 기존의 간접인장시험과 수정 라트만 시험 방법을 이용하여 국내의 일반 및 SBS 개질 아스팔트 혼합물에 대해 반복 수침 및 다양한 온도 영역에서 아스팔트 혼합물의 물성 변화와 수분 저항성 특성을 평가하였다. 이를 통해 아스팔트 혼합물의 물성(회복탄성계수, 간접인장강도, 파괴에너지, 크리프 변형에너지) 변화가 반복적인 수침에 따른 수분손상과는 높은 상관성을 나타내었으며, 수침 횟수별로 다른 감소 경향을 나타내는 결과를 도출하였다. 그리고 재료 종류별로는 반복 수침에 따른 시험 물성값의 손실률은 모든 온도 영역에서 SBS 개질 아스팔트 혼합물이 일반 아스팔트 혼합물에 비해 낮은 경향을 나타내는 것으로 분석되었다. 결론적으로, 현행 아스팔트 혼합물의 수분손상 특성을 평가하는 방법은 단기적인 수침 조건과 단일 시험 물성에 의해 평가됨으로서 변별력 있는 기준으로 사용하는데 한계가 있는 것으로 판단된다. 이에 아스팔트 혼합물의 장기적인 수분손상 특성 및 변별력 있는 재료 물성의 평가를 위해서는 반복적인 수침 조건과 함께 다양한 물성 기준의 적용이 고려되어야 할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 아스팔트 혼합물, 수분손상, SBS 개질 아스팔트, 재료 물성, 간접인장시험, 수정 라트만 시험

1. 서 론

세계적인 지구 온난화의 영향에 의해 최근 우리나라의 하절기 강수 특성은 지역적인 집중호우의 반복과 더불어 장기

적인 강수일수 증가라 할 수 있다. 이러한 강수 특성에 의한 도로 포장의 장기적인 수분 포화 상태는 아스팔트 포장의 수분손상을 발생시키는 원인이 되고 있다. 특히, 강수 등에 의해 우수가 집중되는 지역이나 배수 시설이 불량한 도

*정회원 · 한국건설기술연구원 도로시설연구실 선임연구원 · 공학박사 (E-mail : sdhwang@kict.re.kr)
**정회원 · 교신저자 · 경희대학교 토목건축대학 토목공학과 교수 · 공학박사 (E-mail : skrhee@khu.ac.kr)

로의 아스팔트 포장에서 이러한 포트홀 파손이 많이 관측되고 있다. 그러나 현행 국내의 아스팔트 혼합물에 대한 수분손상의 평가 기준은 단기적인 수침과 단일 재료 물성 등을 근거로 마련되어 최근의 기후 변화에 따른 혼합물의 수분손상 특성을 평가할 수 있는 개선된 품질 기준에 대한 연구가 필요한 실정이다.

이에 본 연구는 최근 우리나라의 하절기 강수 특성의 변화를 고려하여 아스팔트 포장에서 발생빈도가 증가하고 있는 수분손상의 평가를 위한 실내 시험 방법과 물성 분석 방안을 제시하고자, 간접인장시험 방법을 적용하여 반복적인 수침 조건하에서 아스팔트 혼합물의 재료 물성 및 수분손상의 변화 특성을 평가한다. 또한 아스팔트 바인더의 강성 특성의 변화에 따른 아스팔트 혼합물의 수분손상 영향을 실험적인 측면에서 고찰하고자, SBS 개질 아스팔트와 일반 아스팔트가 첨가된 혼합물의 반복적인 수침 조건하에서 다양한 간접인장시험의 물성들을 비교 분석한다.

2. 기존 아스팔트 혼합물의 수분손상 평가 방법

일반적으로 우수 등에 의해 아스팔트 혼합물 내에 수분이 침투하면 골재와 아스팔트 피막 사이의 점착력과 접착력이 약화되면 골재에서 아스팔트가 벗겨지는 박리(Stripping) 현상이 발생한다. 여기에 차량에 의한 반복적인 교통하중이 작용하면 아스팔트 포장에는 수분손상(Moisture Damage)에 의한 표면 결함 등의 파손 현상이 유발되는 것으로 알려져 있다. Kiggundu 등(1988)에 의하면 박리 현상은 물의 작용으로부터 아스팔트 바인더내의 점착력의 상실과 함께 골재 표면과 아스팔트 피막 사이의 부착력 상실에 의한 아스팔트 혼합물의 기능적 파손으로 정의하였다. 즉, 물의 영향에 의해 아스팔트 혼합물에서 발생하는 수분손상은 재료의 내구성 및 강성 손실을 유발하며, 주로 박리 현상 등을 발생시킨다. 이러한 수분에 의한 박리 현상은 아스팔트보다 수분에 더 친화력을 가진 친수성의 골재에 의해 주로 발생하며, 골재 표면에서 아스팔트 피막이 분리되면서 발생한다. 일부 재령이 오래된 건조 골재에서도 일부 박리가 발생하기도 하지만, 주로 물의 침투에 의해 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있다.

기존의 아스팔트 혼합물의 수분손상(수분민감성)을 평가하기 위한 시험방법들이 많은 연구자와 도로 관리 기관 등에 의해 개발되어 왔으며, 일반적으로 비다짐 시료를 이용한 육안 평가 방법과 다짐 시료를 이용한 실내 물성 시험 방법이 있다. 여기에서 비다짐 시료를 이용한 육안 평가 시험에는 표준 조골재에 아스팔트 바인더로 표면 부착력을 평가하는 시험과 수침 후 박리 특성을 평가하는 시험이 사용되고 있다. 그리고 다짐 시료를 사용한 실내 물성 시험에는 실내 다짐 또는 현장 코어 시료를 수분처리 전후로 구분하여 스티프니스 또는 강도 시험을 통해 결과 값의 비율로 평가하는 방법이 사용되고 있다.

기존의 아스팔트 혼합물에 대한 수분손상 평가 시험법들은 측정된 결과가 역학적인 물성을 바탕으로 한 정량적인 평가보다는 기준값에 대한 만족 여부를 판단하는 정성적인 평가만을 실시하고 있다. Stuart(1986)와 Paker 등(1986)에 의하

면 실내 시험에서 합격/불합격의 평가 기준에 따른 결과로만으로는 사용하는 아스팔트 혼합물의 수분민감성에 대한 정량적인 평가를 정확히 판단할 수 없다고 제안하였다. 즉 현재 도로 관리 기관 등에서 폭넓게 사용하고 있는 어떤 수분손상 시험법도 아스팔트 혼합물의 수분손상 특성을 명확하게 평가할 수 없는 것으로 알려져 있다.

국제적으로 다양한 시험 기준들이 아스팔트 혼합물의 수분민감성 또는 수분손상을 평가하는데 사용되고 있으며, 이 중에서 가장 폭넓게 사용되고 있는 평가 방법은 아래와 같은 AASHTO T 283의 수정 라트만 시험법이다.

수정 라트만 시험법은 Kandhal(1989)에 의해 제안되었으며, 라트만 시험법(NCHRP 246)과 Tunnicliff 및 Root의 방법(NCHRP 274)의 장점을 조합한 것이다. 여기에서 사용한 아스팔트 공시체의 수분처리는 우선 물로 진공 포화(55~80%) 상태로 만들고, 다음으로 Lottman에 의해 제안한 1회 동결과 1회 용해를 거치도록 한다. 그리고 평가 기준은 다음 식 (1)과 같이 간접인장강도 시험에서 측정된 값으로 산출된 간접인장강도비(Tensile Strength Ratio, TSR)를 사용하며 0.7을 최소값으로 규정하고 있다.

$$TSR = \frac{S_1}{S_0} \quad (1)$$

여기서, S_0 : 기준 공시체의 간접인장강도

S_1 : 수분처리 후 공시체의 간접인장강도

3. 실내 실험

3.1 실험 재료

본 실험에는 국내 아스팔트 혼합물에서 일반적으로 사용되고 있는 화강암질의 쇄석 골재와 일반 아스팔트(PG 64-16) 및 SBS 개질 아스팔트(PG 76-22)를 사용하였다. 또한 아스팔트 혼합물의 골재입도는 다음 그림 1과 같은 건설교통부의 20 mm 밀입도 규격을 적용하였다.

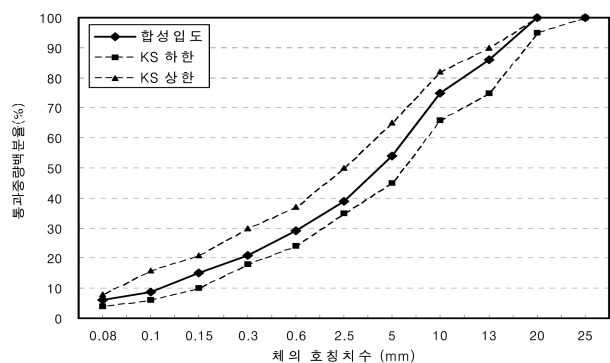


그림 1. 20 mm 밀입도의 골재 합성입도

3.2 시험 공시체 제작

본 연구에서는 마샬 배합설계 방법을 사용하여 아스팔트 혼합물의 골재 입도와 최적 아스팔트 함량을 결정하였다. 그리고 본 실험에서는 공용 중인 아스팔트 포장의 혼합물 상태를 모사하기 위해 단기 및 장기 노화를 거친 아스팔트 혼합물을 사용하였다. 시험 공시체의 공극률은 교통개방 후의

공용 중의 다짐밀도 등을 고려하여 4%를 정했으며, 동일한 다짐 에너지를 확보하기 위해 슈퍼페이브 선회다짐기 (Superpave Gyrotory Compactor, SGC)로 40회 선회다짐 횟수를 적용하여 동일하게 제작하였다. 다음의 표 1은 본 실험에 사용한 아스팔트 혼합물의 배합설계 결과를 정리한 것이다.

표 1. 마살 배합설계 결과 (20 mm 밀입도)

아스팔트 함량 (%)	공극률 (%)	밀도 (g/cm ³)	VMA (%)	VFA (%)	안정도 (kgf)	흐름값 (0.1 mm)
5.0	4	2.468	15.58	75.9	1,492	29

여기에서 공용 중인 아스팔트 포장의 노화 특성을 모사한 실험 공시체를 제작하기 위하여 AASHTO PP2-94에 규정된 방법에 따라 실내 단기 및 장기 노화 시험을 실시하였다. 먼저, 다져지지 않은 아스팔트 혼합물을 대상으로 생산 및 현장 다짐 과정까지 발생하는 노화 상태를 모사하는 단기 노화 시험을 실시하였다. 다음으로 단기 노화를 거친 아스팔트 혼합물을 이용하여 제작한 실험 공시체를 이용하여 공용 후 약 5년 정도까지의 노화 상태를 모사하는 장기 노화 시험을 실시하였다. 노화 시험에서는 온도 조절이 가능한 열풍 건조기를 사용하였으며, 단기 노화는 다져지지 않은 아스팔트 혼합물을 135°C에서 4시간 동안 거치시켜 실시하였다. 다음으로 장기 노화는 단기 노화를 거친 시료를 공시체로 제작하여 85°C에서 5일간 거치시켜 수행하였다.

3.3 수분손상 모사 시험

본 연구에서는 공용 중인 아스팔트 포장의 수분손상 특성을 모사하기 위해 AASHTO T 283의 수정 라트만 시험법에서 규정한 방법을 적용하였다. 이를 바탕으로 본 실험에서는 반복적인 수침에 의한 파괴시 까지의 수분손상을 모사하기 위해 수분 동결-융해 횟수를 1회, 3회, 5회, 7회, 10회까지 반복하였다. 실험 공시체는 각 수침 과정 중에 동일한 조건의 수분 포화도를 유지하였다.

본 실험에서는 적용한 수분 포화도는 반복 실험을 통해 4%의 공극률에서 최대값에 해당하는 60±5%를 적용하였다. 또한 시험 과정 중에 실험 공시체의 내부 수분 방출을 방지하기 위해 비닐 랩을 씌워 각 공시체를 60±1°C의 온도에서 24시간 방치하고, -(18±3)°C의 온도에서 15시간 동안 거치시키는 것을 1회 수침으로 설정하여 상기의 반복적인 수침을 실시하였다.

3.4 간접인장시험

본 연구에서는 수침 전·후의 실험 공시체에 대한 재료 물성을 측정하기 위해 간접인장시험(Indirect Tensile Test, 이하 IDT)을 실시하여 회복탄성계수, 간접인장강도, 파괴에너지 및 파괴시 소산된 크리프 변형에너지 등을 산출하였으며, 각 시험온도는 상온에 해당하는 10°C, 25°C, 40°C를 선정하였다.

3.4.1 회복탄성계수 시험(Resilient Modulus Test, M_R)

본 연구에서는 AASHTO TP31-94의 방법에 따라 회복탄

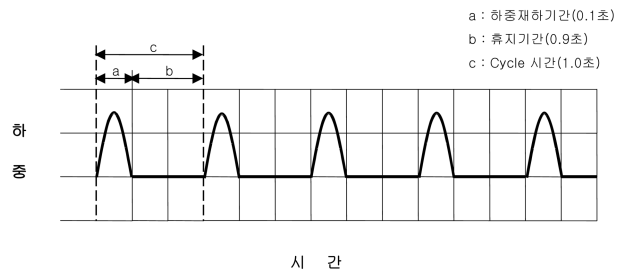


그림 2. 정현파 파형의 하중 재하 조건

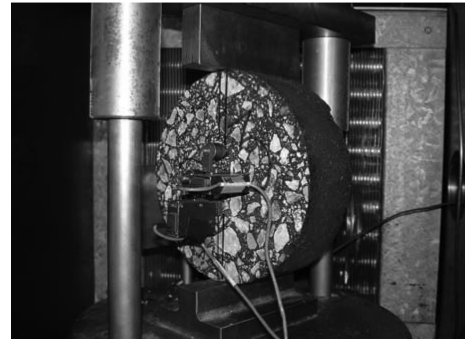


그림 3. 회복탄성계수 시험 모습

성계수 시험을 실시하였다. 본 시험은 그림 2와 같이 0.1초의 재하기간(Load Period)과 0.9초의 휴지기간(Rest Period)을 갖는 방식으로 공시체에 적용된 반복 정현파(Haversine) 형태의 하중 재하 조절을 통해 실시한다. 또한 시험에 적용하는 하중값은 점탄성 범위 안의 수평변형(150~350 micro strain)을 유지할 수 있도록 결정된다.

3.4.2 간접인장강도 시험(Indirect Tensile Strength Test)

본 연구에서는 상온에서 아스팔트 혼합물의 특성을 평가하기 위하여 ASTM D4123에 규정된 절차에 따라 대상 공시체의 간접인장강도 시험을 실시하였다. 간접인장강도(S_t)는 파괴 순간에서의 하중과 응력으로 계산할 수 있다. 또한 이를 통해 파괴에너지와 같은 파손 물성을 산출할 수 있다. 본 시험은 실험 공시체가 파괴될 때까지 50mm/min의 지속적인 변위를 적용하는 변위 조절 모드에 의해 실시된다.

3.4.3 아스팔트 혼합물의 파괴 역학 물성

Roque 등(2004)에 의하면 수분손상은 아스팔트 혼합물의 파손 저항력에 영향을 주며 이는 혼합물의 파괴 역학 모델의 기초적인 변수들에 의해 정확하게 평가될 수 있다고 제안하였다. 이것은 아스팔트 혼합물의 파괴 역학 물성이 혼합물에 미치는 수분손상의 영향을 정량화하는데 사용될 수 있다는 것을 의미한다. 이에 Roque 및 Buttler(1992)는 슈퍼페이브 간접인장시험 방법으로 산출된 결과값을 근거로 한 응력-변형률 곡선(그림 4)을 통해 결정될 수 있는 새로운 변수 기준을 제안하였다.

이에 본 연구에서는 간접인장강도 시험 및 회복탄성계수 시험의 결과값을 사용하여 파괴에너지 및 파괴시 공시체에 흡수된 크리프 변형에너지(DCSE_f, Dissipated Creep Strain Energy to failure)를 구하였다. 다음의 그림 4는 파괴에너지와 DCSE_f를 결정하는 방법을 나타내고, 다음 식 (2)에 의

해 계산된다.

$$M_R = \frac{S_f}{\epsilon_f - \epsilon_0} \Rightarrow \epsilon_0 = \frac{M_R \epsilon_f - S_f}{M_R} \quad (2)$$

$$\text{Elastic Energy (EE)} = \frac{1}{2} S_f (\epsilon_f - \epsilon_0) \quad (3)$$

$$\text{Fracture Energy (FE)} = \int_0^{\epsilon_f} S_f(\epsilon) d\epsilon \quad (4)$$

$$\text{Dissipated Creep Strain Energy to failure (DCSE}_f\text{)} = \text{FE} - \text{EE} \quad (5)$$

여기서, S_f = 인장강도
 ϵ_f = 파괴변형률

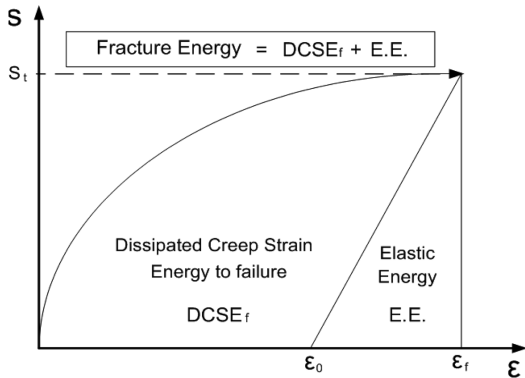


그림 4. 파괴에너지 및 DCSE_f 결정

4. 실험 결과 및 분석

본 연구에서는 일반 아스팔트 및 SBS 개질 아스팔트를 사용한 혼합물에 대해 10회까지의 수분 동결-융해 방법을 적용하여, 다음과 같이 각 물성별로 시험 온도에 따른 변화 특성을 분석하였다. 그림에서 보는 바와 같이, 각 물성값은 동일한 조건에서 제작된 3개의 공시체에서 측정된 시험결과를 평균한 값을 사용하였다.

4.1 수분손상에 따른 각 재료 물성값의 시험 온도별 변화 특성

본 연구에서는 10°C~40°C의 온도 영역에서 일반 아스팔트

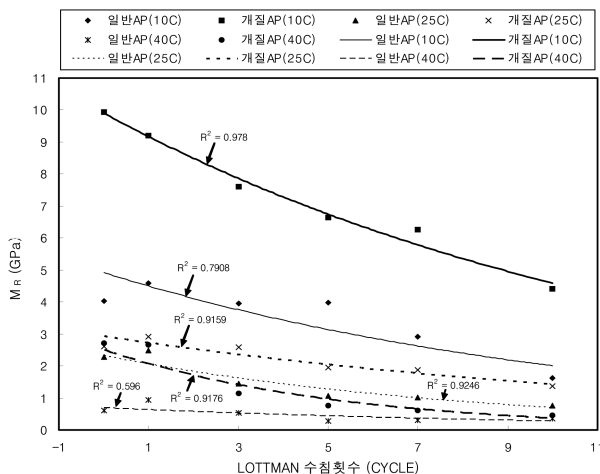


그림 5. 수분 동결-융해 횟수에 따른 온도별 회복탄성계수(M_R)

트 및 SBS 개질 아스팔트 혼합물의 재료 물성이 수분에 의해 받는 변화 특성을 파악하기 위해 수침 횟수에 따른 각 물성값의 변화 경향을 분석하였다.

다음의 그림 5에서 그림 8은 간접인장시험에 의해 산출된 2종의 아스팔트 혼합물의 회복탄성계수(M_R), 간접인장강도(S_t), 파괴에너지(FE), 크리프 변형에너지(DCSE_f) 등이 수분 동결-융해 횟수가 증가함에 따른 각 물성값의 변화를 도식한 그래프이다.

여기에서 수분 동결-융해 횟수는 각 아스팔트 혼합물이 받는 수분손상으로 정의할 수 있다. 즉, 0 cycle은 수분 동결-융해를 거치지 않은 수분손상이 없는 상태이며, cycle의 증가는 반복적인 수분 동결-융해에 의해 수분손상이 진행되는 상태를 나타낸다. 본 연구에서는 각 아스팔트 혼합물의 물성별로 수분 동결-융해 횟수에 따른 변화 특성을 파악하기 위해 회귀분석에 의한 추세선을 이용하였으며, 수분 동결-융해 횟수의 변화에 따른 각 아스팔트 혼합물의 물성 변화를 시험온도와 아스팔트 종류별로 구별하여 그래프로 도식화하였다. 그림과 같이, 아스팔트 혼합물의 4가지 물성은 감소 정도의 차이는 있으나, 모든 온도 영역에서 아스팔트의 종류에 상관없이 수분손상이 진행됨에 따라 전체적으로 지수함수 형태의 감소 경향을 나타내었다. 단 일부 아스팔트 혼합물의 물성에서 온도별로 감소 기울기가 상대적으로 낮게 나타나

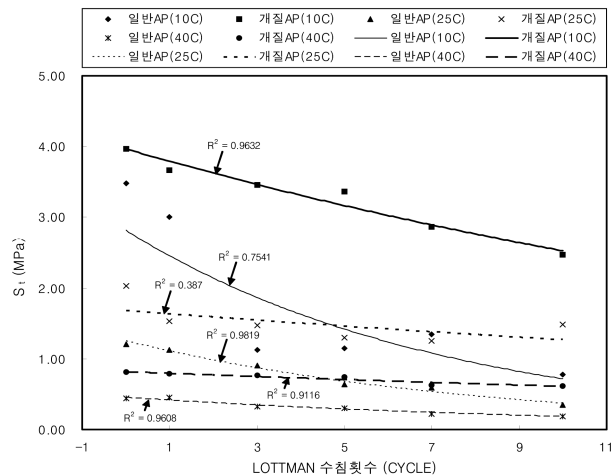


그림 6. 수분 동결-융해 횟수에 따른 온도별 간접인장강도(S_t)

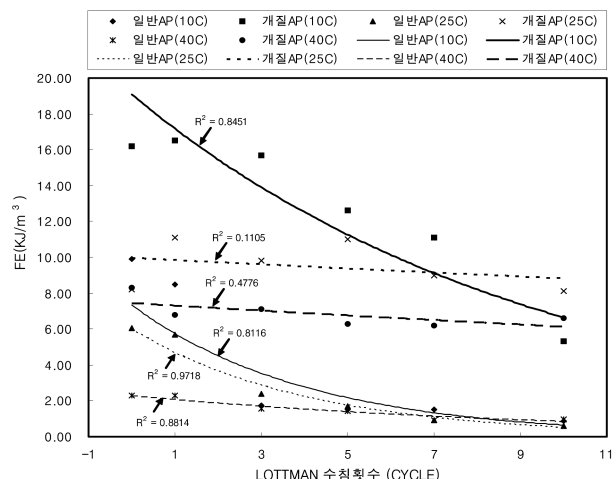


그림 7. 수분 동결-융해 횟수에 따른 온도별 파괴에너지(FE)

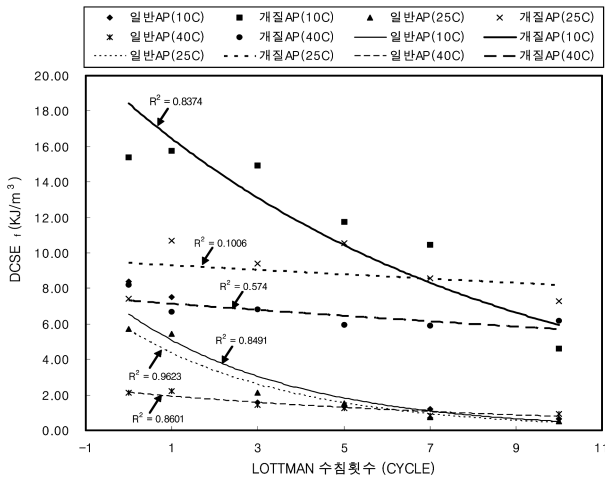


그림 8. 수분 동결-융해 횟수에 따른 온도별 크리프 변형에너지 (DCSE_t)

변별력 있는 수분손상의 정도를 파악하는데 한계가 있는 것으로 판단된다. 또한 40°C의 온도 영역에서는 수분손상의 진행과는 관계없이 거의 완만한 기울기의 변화를 보여 수분손상의 정도를 판단하는 변별력 있는 시험기준으로 사용하는데 한계가 있는 것으로 평가되었다. 그 외의 상온 영역에 속하는 10°C 및 25°C에서는 뚜렷한 변화 경향을 나타내어 수분손상에 대한 파괴저항성을 평가하는데 효과적인 것으로 판단된다. 전반적으로 상온 영역에서 물성값의 변화 경향은 초기 수분손상에 해당하는 수분 동결-융해 횟수 0 cycle에서 5 cycle까지는 급격한 감소 추세를 보이다가 5 cycle 이상에서는 완만한 기울기를 나타내어 감소 추세가 낮아지는 것으로 나타났다. 이는 각 물성별로 약간의 차이는 있으나, 전반적으로 5 cycle까지는 0 cycle의 재료 물성값의 약 50% 이상이 감소하는 파손 상태의 물성을 나타내어 수분손상에 매우 민감한 영향을 받는 것으로 나타났다. 따라서 아스팔트 포장의 공용성 측면에서 장래 포장 파손을 저감하기 위해서는 초기 수분손상에 의한 파손에 주의하여 포장 유지관리를 실시해야 할 것으로 사료된다.

또한 아스팔트 종류별로 수분손상에 대한 저항 특성을 살펴보면, SBS 개질 아스팔트 혼합물이 일반 아스팔트 혼합물에 비해 모든 온도 영역에서 수분손상에 대해 높은 저항 특성을 나타내었으며, 수분 동결-융해 횟수의 증가에 따른 물성값의 추세선 기울기가 상대적으로 낮게 나타나 수분손상에 덜 민감한 것으로 분석되었다. 특히 아스팔트 혼합물의 파괴 특성을 나타내는 물성인 파괴에너지와 크리프 변형에너지의 경우, 10 cycle에서 온도별로 최대 7배에서 최소 5배까지 측정값의 차이를 나타내어 수분손상에 대한 저항성이 상대적으로 우수한 것으로 평가되었다. 그 외의 나머지 물성에서도 이와 유사한 수분손상에 대한 저항성 특성을 나타내어 실내 실험 결과만으로는 SBS 개질 아스팔트 혼합물의 강성 특성이 수분손상에 대한 저항성을 증진시키는데 영향을 미친 것으로 판단된다.

4.2 수분손상에 따른 각 재료 물성별 손실률의 변화 특성

본 절에서는 간접인장시험의 4가지 물성을 기준 물성값 대비 수분 동결-융해 횟수별로 손실되는 변화 정도에 대한 분

석을 통해, 강성 특성이 다른 아스팔트가 혼합물의 수분손상 저항성에 미치는 영향을 파악하였다. 이를 위해 아래의 식 (6)과 같이 수분손상을 받지 않은 각 물성값을 기준으로 각 수침 횟수별로 측정된 물성값의 변화 정도를 손실률(R)이라 정의하였으며, 해당 수분 동결-융해 횟수별로 R값을 산출하였다. 또한 본 분석에서 사용한 물성은 상기의 연구 결과와 기존 문헌 등을 참조하여 수분손상의 진행에 따른 변화 경향이 뚜렷한 것으로 판단되는 시험온도와 측정 물성을 선정하였다. 이에 따라 본 연구에서는 기존의 수분민감성의 일반적인 평가 기준으로 사용하고 있는 25°C의 회복탄성계수와 간접인장강도 그리고 아스팔트 혼합물의 균열 저항성 특성의 평가 기준으로 사용하고 있는 10°C의 파괴에너지와 크리프 변형에너지를 선정하여 분석하였다.

$$R(\%) = \frac{MP_t}{MP_0} \times 100 \quad (6)$$

여기서, MP_0 = 수침을 받지 않은 혼합물의 물성값
 MP_t = 수침 횟수 t에서 혼합물의 물성값

다음의 그림 9에서 그림 12는 4가지 물성별로 수분 동결-융해 횟수에 따른 손실률(R)을 도식화한 그래프이다.

그림과 같이, 모든 물성의 손실률에서 일반 아스팔트 혼합물은 SBS 개질 아스팔트 혼합물에 비해 급격하게 감소되는 경향을 나타내었다. 즉, 간접인장강도의 손실률을 제외하면 수분 동결-융해 횟수가 3 cycle에서 일반 아스팔트 혼합물은 파괴 상태의 물성 손실률에 해당하는 50% 이하로 급격하게 감소하였으며, 특히 10°C의 파괴에너지와 크리프 변형에너지

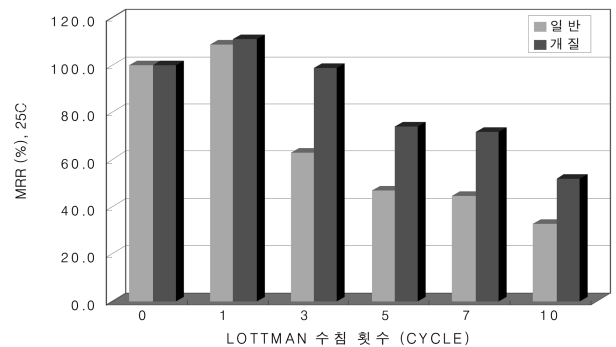


그림 9. 수분 동결-융해 횟수에 따른 25°C 회복탄성계수의 손실률 (MRR)

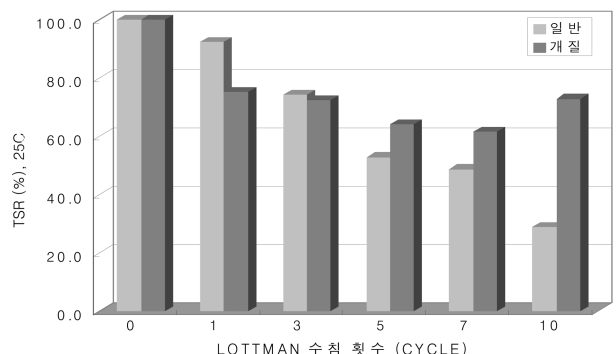


그림 10. 수분 동결-융해 횟수에 따른 25°C 간접인장강도의 손실률 (TSR)

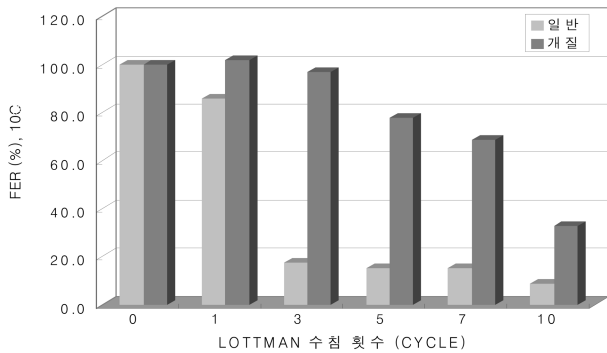


그림 11. 수분 동결-융해 횟수에 따른 10°C 파괴에너지의 손실률 (FER)

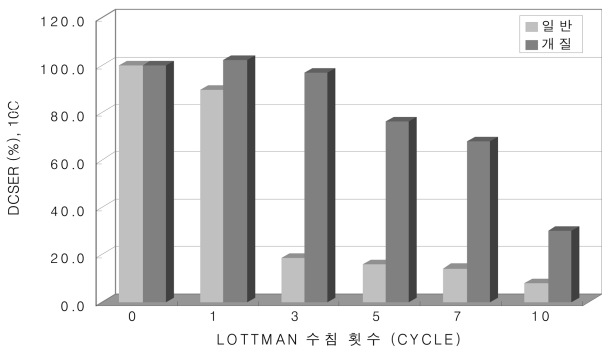


그림 12. 수분 동결-융해 횟수에 따른 10°C 크리프 변형에너지의 손실률 (DCSEER)

에서는 약 20% 이하의 손실률을 나타내어 균열 파괴에 대한 저항성이 거의 없어지는 것으로 분석되었다. 이에 반해 SBS 개질 아스팔트 혼합물의 경우 모든 물성의 손실률에서 수분 동결-융해 횟수의 증가와 관계없이 완만한 감소 추세를 나타내어 일반 아스팔트 혼합물에 비해 수분손상에 대한 저항성이 증진된 것으로 판단된다. 특히 10°C의 파괴에너지와 크리프 변형에너지의 손실률은 7 cycle까지 약 70%를 유지하여 일반 아스팔트 혼합물에 비해 수분손상에 대한 저항성이 우수한 것으로 나타났다. 단, 10 cycle에서는 10°C의 파괴에너지와 크리프 변형에너지의 손실률이 약 30% 이하로 급격하게 감소되어 균열에 대한 저항성은 일반 아스팔트 혼합물과 유사하게 매우 약화되는 것으로 나타났다. 다만 간접인장강도의 경우, 수분 동결-융해 횟수에 따른 손실률이 10 cycle까지 60% 이상을 유지하여 다른 물성의 손실률 감소 경향을 고려한다면, 개질 아스팔트와 같이 폴리머 재료를 사용한 혼합물은 간접인장강도만으로 수분손상 특성을 평가하는데 한계가 있는 결과로 판단된다. 따라서 현행 수분손상 시험 기준을 개선하여 강성 특성이 다른 아스팔트를 사용한 혼합물의 수분손상 특성을 평가하기 위해서는 반복적인 수침 조건의 시험과 2가지 이상의 물성 기준을 사용한 종합적인 평가 방안의 마련이 필요한 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 연구에서는 수분손상이 아스팔트 혼합물의 재료 물성 변화에 미치는 영향을 파악하기 위해, 간접인장시험을 이용하여 수분 동결-융해 횟수에 따른 각 재료 물성 변화 및 수분 손상 저항성 특성을 평가하였다. 이를 통해 다음과 같은 주요 연구 결과를 도출하였다. 아스팔트 혼합물의 종류별로 정도의 차이는 있으나, 전반적으로 상온 영역에서 간접인장 시험의 재료 물성의 변화 및 물성별 손실률은 초기 및 중기 수분손상에 해당하는 수분 동결-융해 횟수가 1cycle에서 5cycle 까지는 급격하게 감소하여 수분손상에 매우 민감한 영향을 받는 것으로 분석되었다. 그리고 아스팔트 혼합물별로 수분손상에 대한 저항성은 SBS 개질 아스팔트 혼합물이 일반 아스팔트 혼합물에 비해 실험 온도 영역과 재료 물성에서 상대적으로 높은 저항 특성을 보이는 것으로 나타났다. 이에 아스팔트 포장의 공용성 측면에서 수분에 의한 포장 파손을 저감하기 위해서는 초기 수분손상 현상의 발생에 주 의하면서 적절한 포장의 유지관리 방안이 강구되어야 한다. 또한, 현행 아스팔트 혼합물의 수분손상 시험 기준의 개선을 위해서는 반복적인 수침 시험 방법과 함께 간접인장시험의 다양한 물성 기준 도입 등과 같은 새로운 평가 방안의 마련이 필요한 것으로 사료된다. 향후 본 연구 결과의 보완 및 검증을 위해서는 국내의 다양한 골재재료를 사용한 아스팔트 혼합물의 추가적인 수분손상 특성 실험과 함께 현장의 아스팔트 포장 구간에 대한 사후 추적 조사를 이루어져야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- Birgisson, B., Roque, R., and Page, G.C. (2004) *The Use of a Performance-Based Fracture Criterion for the Evaluation of Moisture Susceptibility in Hot Mix Asphalt*, Transportation Research Board Record No. 04-3431.
- Kandhal, P.S. (1989) *Moisture Sensitivity of HMA Mixes-Identification of Problems and Recommended Solutions*, QIP No. 119, National Center for Asphalt Technology.
- Kiggundu, B.M. and Roberts, F.L. (1988) *The Success/Failure of Methods Used to Predict the Stripping Potential in the Performance of Bituminous Pavement Mixtures*, Submitted to TRB.
- Kim, B.I. (2003) *Evaluation of the Effect of SBS Polymer Modifier on Cracking Resistance of Superpave Mixtures*, University of Florida.
- Parker, F. and Wilson, M. (1986) Evaluation of boiling and stress pedestal tests for assessing stripping potential of alabama asphalt concrete mixtures, *Transportation Research Record 1096*, TRB.
- Roque, R. and Buttlar, W.G. (1992) The development of a measurement and analysis system to accurately determine asphalt concrete properties using the indirect tensile mode, *Proceeding AAPT*, Vol. 61.
- Stuart, K.D. (1986) *Evaluation of Procedures Used to Predict Moisture Damage in Asphalt Mixtures*, FHWA/RD-86/091, Draft Report.

(접수일: 2007.11.19/심사일: 2007.12.26/심사완료일: 2008.2.27)