

페타이어활용 아스팔트 콘크리트의 실험적 공용특성 Experimental Performance Characteristics of Crumb Rubber-Modified(CRM) Asphalt Concrete

김 낙 석*
Kim, Nakseok

Abstract

Indirect tensile strength(IDT) test and resilient modulus(Mr) test were performed to evaluate experimental performance characteristics for the conventional and crumb rubber-modified(CRM) asphalt concrete using dry and wet processes asphalt. The IDT test was conducted under three temperatures(5, 10, 20°C). According to the test results, it was shown that indirect tensile strength of CRM asphalt concrete was lower than that of the conventional one. However, toughness and maximum vertical strain of the CRM asphalt concrete were higher than those of the conventional one. The results of Mr test were presented that Mr of CRM asphalt concrete was higher than that of the conventional one. In addition, it was revealed that the overall laboratory performance characteristics of the wet-processed CRM asphalt concrete was better than those of the dry-processed one.

Key words : CRM, asphalt concrete, dry and wet processes, toughness, indirect tensile strength, resilient modulus, performance characteristic

요 지

페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트의 기술개발과 기초 자료의 확립을 위해서 건식공법 및 습식공법으로 생산되어진 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트와 재래식 밀입도 아스팔트 콘크리트 공시체를 제작하여 아스팔트 혼합물의 내구성을 평가할 수 있는 간접인장강도시험과 회복 탄성계수시험을 수행하였다. 간접인장강도시험 결과 골재 입도의 영향으로 간접인장강도는 재래식 아스팔트 콘크리트가 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트보다 우수하게 나타났지만, 인성과 최대수직변형률의 경우 골재 입도의 영향에도 불구하고 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트가 우수하게 나타났다. 또한, 회복 탄성계수시험 결과에서도 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트가 재래식 아스팔트 콘크리트보다 우수한 성능을 보여줌으로써 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트의 공학적 특성이 우수하게 나타났다. 특히, 습식공법 활용 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트의 모든 공용특성은 건식공법활용 혼합물보다 우수한 것으로 평가되었다.

핵심용어 : 페타이어, 아스팔트 혼합물, 건식 및 습식공법, 인성, 간접인장강도, 회복탄성계수, 공용특성

* 정희원, 경기대학교 토목환경공학부 부교수

1. 서 론

1980년대 중반이후 국내의 자동차 보유대수가 급격하게 증가함에 따라 폐타이어 발생량 또한 급격한 증가세를 보이고 있으며, 이렇게 증가하는 폐타이어의 재활용률은 다른 산업 폐기물과 마찬가지로 아직도 미미한 수준에 머물고 있으며, 상당한 양이 불법 투기와 야적되고 있다. 그러나 이렇게 방치되는 폐타이어를 아스팔트 혼합물에 첨가하게 되면 아스팔트 혼합물의 소성변형과 균열저항능이 향상되는 것으로 알려져 있으며, 폐타이어의 재활용으로 앞에서 제기된 환경문제도 자연스럽게 해결될 것으로 생각된다.

이러한 폐타이어 활용 아스팔트 콘크리트는 재래식 아스팔트 콘크리트의 특성을 보완하기 위하여 개질재료 폐타이어 재활용재(crumb rubber modified, CRM)를 사용한 아스팔트 콘크리트를 말한다. 폐타이어 재활용 아스팔트 혼합물 생산 공법은 건식공법과 습식공법으로 나뉘어 질 수 있다. 본 연구에서는 건식공법 폐타이어 재활용 아스팔트 콘크리트와 최근 국내에 도입되어 사용이 증가하고 있는 습식공법 폐타이어 재활용 아스팔트 콘크리트의 물성을 파악하고, 비교 대상으로 최근 도로 포장 재료로 가장 흔하게 사용되고 있는 재래식 밀입도 아스팔트 콘크리트를 사용하기로 하였다(김낙석, 1998, 2000).

따라서 본 연구에서는 건식공법 및 습식공법으로 생산되어진 폐타이어 재활용 아스팔트 콘크리트와 재래식 밀입도 19mm 아스팔트 콘크리트의 실내 공용특성을 평가하여 현재 국내에서 활발히 사용되고 있는 폐타이어 재활용(CRM) 아스팔트 콘크리트의 공용성에 대한 신뢰도 확립과 향후 새로운 기술개발을 위한 기초 자료로 삼고자 한다.

2. 사용 재료 및 시험개요

2.1 사용 재료

본 연구에서는 폐타이어 재활용(CRM) 아스팔트 콘크리트와 기존의 재래식 밀입도 19mm 콘크리트의 간접인장강도특성을 비교·분석하고자 (주)U사에서 수행한 배합설계(건설교통부, 1994; 유닉스라바, 1994, 1997)를 바탕으로 제작되어진 공시체를 사용하여 간접인장강도시험과 회복 탄성계수시험을 수행하였다. 간접인장강도시험과 회복 탄성계수

시험을 위해서 제작된 공시체를 상온에서 24시간 양생시켜 시료의 온도가 안정되면 간접인장강도시험을 사용하여 수행하였다. 특히, 간접인장강도시험에서는 온도 변화에 따른 간접인장강도의 변화를 살펴보기 위하여 각각 5℃, 10℃, 그리고 20℃로 시험온도를 변화시켜 실시하였다.

각 아스팔트 콘크리트 공시체를 제작하기 위하여 사용되어진 골재 입도는 습식공법의 경우 갭입도(gap-gradation)를 사용하였으며, 재래식 밀입도 아스팔트 콘크리트와 건식공법 폐타이어 재활용 콘크리트는 밀입도 19mm(dense-graded 19mm)의 골재를 사용하였다. 재래식 밀입도 아스팔트 콘크리트와 건식공법 폐타이어 재활용 아스팔트 콘크리트 제작을 위한 아스팔트 바인더는 AP-5 등급을 사용하며, 습식공법 폐타이어 재활용 아스팔트 콘크리트의 경우는 AP-5에 아스팔트 바인더 기준으로 폐타이어 재활용재를 17% 전후로 첨가되어진 고무개질 아스팔트 바인더를 사용하였다.

그리고 폐타이어 재활용 아스팔트 콘크리트의 비교 대상으로 재래식 아스팔트 콘크리트를 선정하였으나 폐타이어 재활용 아스팔트 콘크리트와 비슷한 특성을 보일 것으로 사료되는 섬유보강 아스팔트 콘크리트에 대한 기준에 이루어진 간접인장강도 결과(김낙석, 2002)도 참고적으로 비교대상에 넣고자 한다.

2.2 간접인장강도시험

아스팔트 혼합물의 간접인장강도시험은 아스팔트 혼합물이 균질하고, 등방성이며 탄성적이라는 가정 아래서 아스팔트 혼합물의 물성을 평가하는데 사용되고 있다(김남호, 1998; Kim, N, 1995). 이러한 가정에 근거한 물성 평가는 현재 국내외에서 표준으로 사용되고 있으며, 아스팔트 혼합물의 상대적 특성을 평가하는데 유용하게 사용되고 있다.

본 연구에서는 간접인장강도시험을 위한 아스팔트 혼합물로 재래식 밀입도 아스팔트 혼합물과 건식 및 습식공법을 활용한 폐타이어 재활용 아스팔트 혼합물을 사용하였다. 그리고 각 혼합물에 대하여 시험 조건당 3개씩의 시료를 사용하여 각각 5℃, 10℃와 20℃에서 수행하였다. 간접인장강도 시험은 MTS 장비를 사용하였으며, MTS 시험장비는 MTS사에서 개발된 장비로 미국 표준 시험법인 ASTM D 4123(ASTM, 1995)에 따라 개발되어진

장비로써, 거치되어진 아스팔트 혼합물에 수직 하중을 재하하여 간접인장강도를 측정할 수 있도록 한 장비이다. 이때 최대 하중에서의 간접인장강도 (S_t)는 식 (1)과 같다.

$$S_t = \frac{2P_{\max}}{\pi td} \quad (1)$$

여기서, P_{\max} : 최대 하중
 t : 공시체 두께
 d : 공시체 반경

2.3 회복탄성계수시험

윤하중이 포장체의 어느 한 점으로 이동하게 되면 포장체 내부의 그 점에서는 응력이 최대가 되고, 그 점에서 멀어지면서 응력은 감소한다. 또한 포장체의 어느 한 점에 윤하중을 작용한 뒤 응력 변화가 없는 상태에서 다음의 윤하중이 작용하면서 응력 변화가 주기적으로 반복하게 된다는 것이 아스팔트 포장체의 회복탄성이론이다(ASTM, 1995). 이때 공시체로부터 측정할 수 있는 회복탄성계수는 식 (2)를 사용하여 산정할 수 있다. 일반적으로 아스팔트 혼합물에 대하여 포아송비를 0.35를 가정하여 사용하고 있으나 본 연구에서는 표 1과 같이 Nair(1972) 등이 연구한 포아송비를 사용하였는데, 본 연구에서 회복탄성계수시험을 20℃에서 수행하였으므로 포아송비 0.39를 사용하였다. 포아송비를 0.39로 가정하면 식 (2)의 회복탄성계수식을 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

표 1. 온도와 포아송비의 관계

온도(℃)	재래식
5	0.25
10	0.32
20	0.39
30	0.45

$$M_r = \frac{P}{\Delta Ht} (0.2734 + \mu) \quad (2)$$

$$M_r = \frac{0.6634P}{\Delta Ht} \quad (3)$$

여기서, M_r : 회복탄성계수
 P : 작용하중
 t : 공시체 두께
 ΔH : 회복수평변형
 μ : 포아송 비

3. 시험 결과 및 분석

3.1 간접인장강도

그림 1은 5℃, 20℃에서 수행된 간접인장강도시험으로부터 얻어진 각 혼합물에 대한 하중-변형곡선을 나타낸 것이다.

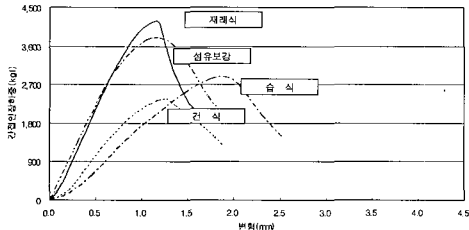
표 2와 그림 2는 온도별 각 아스팔트 혼합물의 간접인장강도를 나타낸 것이다. 각 온도별 간접인장강도시험 결과에 대한 혼합물의 특성을 살펴보면, 시험온도 5℃에서는 재래식 아스팔트 혼합물의 평균 간접인장강도 40.0kg/cm²에 대하여 건식공법 및 습식공법 페타이어 아스팔트 혼합물의 간접인장강도 평균값은 각각 21.8kg/cm², 26.2kg/cm²을 나타내고 있다. 이는 건식 및 습식 아스팔트 혼합물의 간접인장강도는 재래식 아스팔트 혼합물에 대하여 각각 57%, 66%에 해당한다. 그리고 10℃에 대하여는 각각 76%, 83%, 그리고 20℃에 대해서는 각각 90%, 91%의 값을 나타내었다.

페타이어 재활용 아스팔트 혼합물의 생산방법에 대한 간접인장강도의 경우를 살펴보면, 습식공법으로 생산되어진 페타이어 재활용 아스팔트 혼합물은 건식공법으로 생산되어진 페타이어 재활용 아스팔트 혼합물에 대하여 시험온도 5℃에서 115%를 보여주고 있으며, 10℃, 20℃에 대해서 각각 108%, 102%의 값을 보여 습식공법의 간접인장강도가 건식공법보다 온도에 상관없이 우수한 결과를 보여주고 있다.

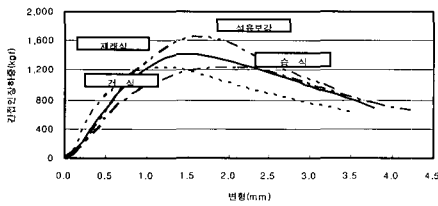
또한 섬유보강 아스팔트 콘크리트와 비교결과 재래식 아스팔트 콘크리트에서와 마찬가지로 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트의 간접인장강도가 모두 작게 나왔다. 5℃에서는 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트가 섬유보강 아스팔트 콘크리트에 대해서 59%~68%의 강도를 보여주었으며, 20℃에서는 70%~71%의 강도를 보여주었다.

간접인장강도 측면에서는 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트의 강도가 온도에 상관없이 가장 작은 값을 보여주고 있다. 그러나 간접인장강도 단독

으로는 아스팔트 혼합물의 공용성에 관한 결론을 내리기 어려우며, 피로파괴나 소성변형과 관련된 공용성 논의를 위하여 추가적으로 최대수직변형률과 관련된 인성(toughness)에 관한 논의가 본문에서 추가적으로 수행되었다.



(a) 5°C



(b) 20°C

그림 1. 하중-변형곡선

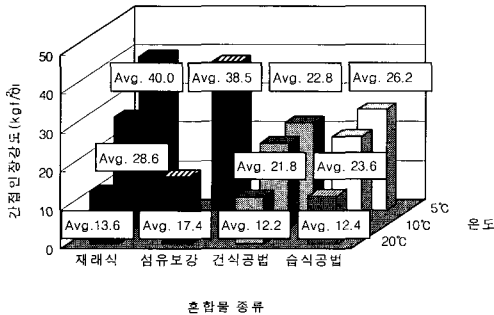


그림 2. 온도별 간접인장강도

3.2 최대수직변형률

아스팔트 혼합물의 인장파괴 변형률은 공시체가 파괴되는 순간에서의 변형으로써 간접인장강도시험시 측정될 수 있다. 이러한 인장파괴변형률을 측정함으로써 아스팔트 혼합물의 파괴거동을 파악할 수 있다(김남호, 1998). 그러나 본 연구에서는 시험 특성상 갑작스런 시료의 파괴로 인한 수평변위 측정 장치의 손상을 우려하여 수평(인장)변형률을 측정하지 못하였다. 따라서 인장변형률의 측정대신 인장파괴 변형률에 대응하며 시료의 파괴시 측정이 가능한 최대수직변형률을 측정하였다. 최대수직변형률은 간접인장시험시 초기 하중이 재하되면서 증가되는 수직변형을 측정하여 공시체가 파괴될 당시 측정되어진 최대수직변형을 공시체의 지름 101.6mm에 대한 변형률로 구하여 사용하였다.

표 3과 그림 3은 5°C, 10°C, 20°C에 대한 간접인장강도시험 결과로부터 각 온도별 최대수직변형률을 나타낸 것이다. 그림 3에서 알 수 있듯이 아스팔트 혼합물의 최대수직변형률은 아스팔트의 종류에 상관없이 고온으로 갈수록 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 아스팔트가 저온으로 갈수록 취성(brittle)적인 성질을 강하게 나타내기 때문인 것으로 판단된다.

표 3과 그림 3을 살펴보면 각 온도에 대한 최대수직변형률은 습식공법 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트가 가장 크며, 건식공법 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트와 재래식 아스팔트 콘크리트 순서를 나타내고 있다. 5°C의 경우 재래식 아스팔트 콘크리트의 최대수직변형률에 대하여 건식공법 및 습식공법 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트는 각각 125%, 146%를 나타내었다. 그리고 10°C에 대하여는 각각 105%, 112%, 그리고 20°C에서는 111%, 114%의 값을 나타내었다.

또한 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트의 생산방법의 퍼보면, 습식공법으로 생산되어진 페타이어

표 2. 온도별 간접인장강도

온도	재래식 (kgf/cm ²)	섬유보강 (kgf/cm ²)	섬유보강/재래식(%)	건식공법 (kgf/cm ²)	건식/재래식(%)	습식공법 (kgf/cm ²)	습식/재래식(%)
5°C	40.0	38.5	96	22.8	57	26.2	66
10°C	28.6	-	-	21.8	76	23.6	83
20°C	13.6	17.4	127	12.2	90	12.4	91

이 재활용 아스팔트 콘크리트의 최대수직변형률은 건식공법 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트에 대하여 114%의 값을 보여주고 있으며, 10℃, 20℃에 대해서 각각 107%, 103%의 값을 보여주고 있다.

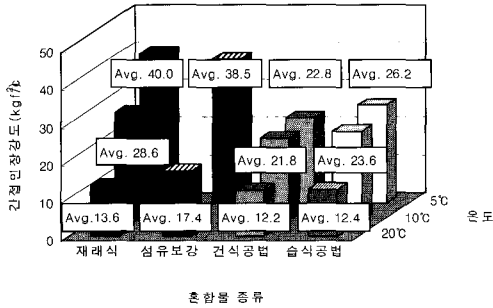


그림 3. 온도별 간접인장강도

그리고 섬유보강 아스팔트 콘크리트와 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트를 비교해 보면 5℃에서는 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트의 최대수직 변형률이 110%~120% 정도 섬유보강 아스팔트 콘크리트보다 큰 값을 나타내었으며, 20℃에서는 127%~130% 정도 큰 최대수직변형률을 나타내었다.

각 혼합물의 간접인장시험의 최대수직변형률을 살펴보면 온도에 상관없이 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트가 재래식 아스팔트 콘크리트와 섬유보강 아스팔트 콘크리트보다 큰 값을 나타내고 있으며, 이는 습식공법 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트가 파괴균열에 대해 보다 우수한 성능을 나타낼 것을 예시하고 있다.

3.3 인성

그림 4는 간접인장강도 시험으로부터 얻을 수 있는 하중-변형곡선 아래 넓이로부터 인성을 구하는 곡선을 나타낸 것이다. 그림 4를 살펴보면 재료

A의 경우와 같이 파괴시 강도가 높아도 변형률이 적으면 낮은 인성 값을 나타내며, 이러한 재료를 취성재료(brittle material)라고 한다. 이러한 특성을 지닌 재료는 피로파괴가 급격히 발생하며, 건설재료 중 대표적인 취성재료로는 시멘트 콘크리트나 유리를 들 수 있다. 그렇지만, 재료 B와 같이 강도는 높지 않아도 변형률이 큰 재료를 연성재료(ductile material)라고 하며, 피로파괴에 대한 높은 저항성을 갖는다.

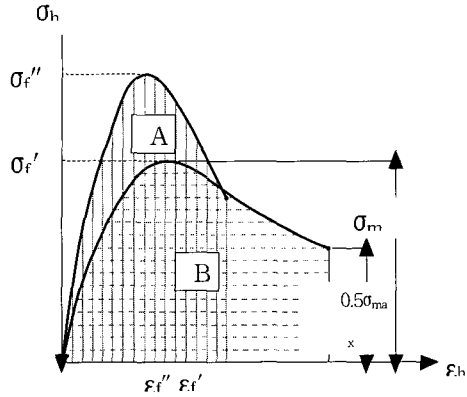


그림 4. 인성곡선의 특성

이와 같은 간접인장강도시험의 하중·변형곡선으로부터 인성을 구하는 방정식을 식 (4)에 나타내었다. 인성의 계산은 식 (4)와 같이 응력과 수평변형곡선으로부터 얻은 회귀분석식으로부터 적분을 하여 면적을 계산하여야 하지만, 시험 특성상 갑작스런 시료의 파괴로 인한 수평변위 측정기의 피해를 우려하여 수평(인장)변형량을 측정하지 못하였다. 따라서 본 연구에서는 수평변형을 측정하는 대신 작용하중과 수직 변형에 대한 인성을 산정하였다.

표 3. 최대수직변형률(cm/cm, 10⁻²)

온도	재래식	섬유보강	섬유보강/ 재래식(%)	건식공법	건 식/ 재래식(%)	습식공법	습 식/ 재래식(%)
5℃	1.645	1.865	113	2.051	125	2.344	146
10℃	2.706	-	-	2.847	105	3.038	112
20℃	3.701	3.234	87	4.105	111	4.211	114

$$\text{Toughness} = \int_0^{\epsilon_f} \sigma d\epsilon$$

여기서 σ : 응력

ϵ_f : 파괴시 변형률

그림 1에 인성을 구하기 위하여 5℃, 그리고 20℃에서 수행되어진 간접인장강도시험 결과 그래프인 하중-변형곡선을 나타내었다. 본 연구에서는 인성을 결정하기 위하여 그림 1의 하중-변형곡선의 시작점으로부터 최대하중을 지나 최대하중의 50%에 해당하는 하중과 변형량의 면적을 인성으로 산정하기로 하였다. 인성을 구하기 위하여 윈도우즈 프로그램인 Microsoft사의 MS Office 2000군의 Excel 프로그램을 사용하여 그려진 하중·변형 곡선 그래프를 AUTO CAD사의 AUTO CAD 2000 프로그램을 사용하여 CAD 도면화하여 면적을 산정하여 구하였다.

그림 1의 하중-변형 곡선으로부터 구해진 온도별 각 아스팔트 혼합물의 인성을 표 4에 나타내었고, 표 4를 바탕으로 그림 5에 온도별 인성 변화를 나타내었다. 표 4과 그림 5를 살펴보면, 시험온도 5℃의 인성의 경우 재래식 아스팔트 혼합물에 대하여 건식공법 및 습식공법 페타이어 재활용 아스팔트 혼합물은 각각 57%, 111%를 나타내었다. 그리고 10℃의 경우는 각각 87%, 108%를 나타내었으며, 20℃에 대해서는 각각 78%와 102%를 나타내고 있다.

생산방법에 따른 페타이어 재활용 아스팔트 혼합물의 경우를 살펴보면 건식공법 페타이어 재활용 아스팔트 혼합물에 대하여 습식공법 페타이어 재활용 아스팔트 혼합물의 인성은 시험온도 5℃에 대하여 176%를 나타내었다. 그리고 10℃와 20℃에서는 각각 124%, 131%로써, 온도에 상관없이 습식공법

페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트의 인성이 건식공법 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트 보다 크게 나타났다.

각 온도별 인성은 습식공법으로 생산되어진 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트가 가장 크게 나타났으며, 재래식 아스팔트 콘크리트, 건식공법 아스팔트 콘크리트의 순서로 나타났다. 그리고 이러한 결과는 간접인장강도시험의 최대수직변형률 결과와 마찬가지로 습식공법 페타이어 재활용 아스팔트 혼합물이 건식공법 페타이어 재활용 혼합물과 건식공법 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트 보다 우수한 성능을 보여주고 있다.

또한, 섬유보강 아스팔트 콘크리트와 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트를 비교한 결과 건식공법 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트의 경우는 온도에 상관없이 57%~87%의 인성을 보여주었다. 그리고 습식공법 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트의 경우는 100~96%의 값을 나타내어 비슷한 크기의 인성을 나타내었다.

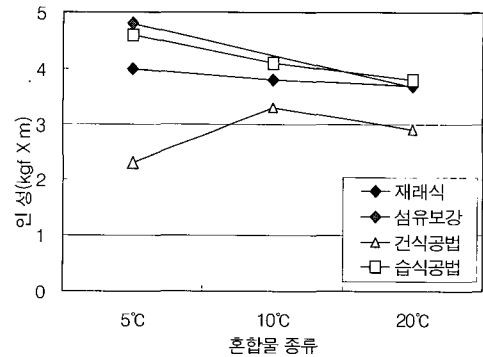


그림 5. 온도변화에 따른 인성

이상으로 살펴본 인성은 간접인장강도결과와는 다른 양상을 보여주고 있는데, 습식공법 페타이어

표 4. 온도별 인성(kgf·m)

온도	재래식	섬유보강	섬유보강/ 재래식(%)	건식공법	건식/ 재래식(%)	습식공법	습식/ 재래식(%)
5℃	4.0	4.8	120	2.3	57	4.6	111
10℃	3.8	-	-	3.3	87	4.1	108
20℃	3.7	3.8	102	2.9	78	3.8	102

재활용 아스팔트 혼합물의 인성이 온도에 상관없이 재래식 아스팔트 혼합물보다 크게 나타났다. 간접인장강도시험의 결과는 본 연구에서 사용되어진 골재 입도가 재래식 아스팔트 혼합물은 밀입도 19mm의 입도를 사용하였고, 습식공법 페타이어 재활용 아스팔트의 경우는 갭인도를 사용하였기 때문에 입도 차이에 의한 것으로 파악된다.

그러나 이러한 입도 차이에도 불구하고 습식공법으로 생산되어진 페타이어 재활용 아스팔트 혼합물의 인성이 우수한 성능을 보여주고 있으며, 피로 파괴와 소성변형에 대하여 재래식 아스팔트 혼합물이나 건식공법 페타이어 활용 아스팔트 콘크리트보다 습식공법 페타이어 활용 아스팔트 혼합물의 저항성이 우수할 것으로 예상되어 진다.

3.4 회복탄성계수

본 연구에서는 간접인장시험을 수행 할 수 있는 MTS 장치를 이용하여 회복탄성계수를 산정하였으며, 표 5와 그림 6에 나타내었다. 이때, 시험 중 공시체의 이동을 방지하기 위하여 잔류 하중은 5kgf를 작용시켰으며, 재래식 아스팔트 혼합물과 건식 및 습식공법 페타이어 재활용 아스팔트 혼합물에 대하여 회복탄성계수 산정을 위한 재하 하중은 간접인장강도의 5~20%가 적당하나 피로파괴시험과의 연계성을 고려하여 400kgf에서 수행되어 졌다.

본 연구에서 사용된 400kgf의 하중은 간접인장강도의 약 20%에 해당되며, 시료에 심각한 손상을 주지 않은 상태에서 나온 결과로 재래식 아스팔트와 건식공법 및 습식공법 페타이어 재활용 아스팔트 혼합물의 회복탄성계수를 충분히 비교할 수 있을 것으로 사료된다.

회복탄성계수시험에 사용되어진 반복하중의 주기는 0.1초의 하중 작용시간과 0.5초의 휴지기간을 두어 시험에서 하중재하 1회 수행시간(1 cycle)은 총 0.6초가 소요되었다. 이때의 시험 온도는 20°C이

고, Haversine 파형의 하중을 작용하여서 200번째에서 수직 변형률과 수평변형률의 값을 얻었다. 그리고 회복탄성계수를 결정하기 위한 포아송비(Poisson's ratio, ν)는 표 1에서 20°C에 해당하는 0.39로 가정하였다.

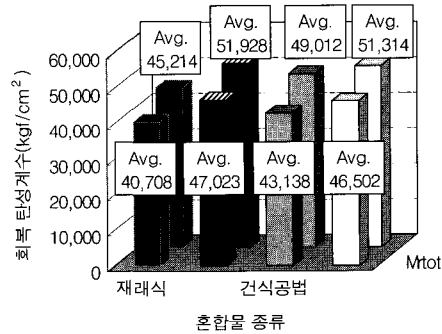


그림 6. 회복탄성계수

회복탄성계수는 총회복탄성계수(Mrtot)와 순간회복탄성계수(Mrint)가 있으며, 두 계수간의 상관성은 매우 높은 것으로 알려져 있다(김낙석 외, 1996). 총회복탄성계수의 경우 총회복변형률을 사용하며, 순간회복탄성계수는 순간회복변형률을 사용하여 2 장에서 설명한 식 (3)으로부터 각각의 회복탄성계수를 산정하였다.

표 5와 그림 6을 살펴보면 총 회복 탄성계수와 순간 회복 탄성계수에서 재래식 아스팔트 콘크리트가 가장 적은 값을 나타냈으며, 건식공법 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트가 중간 값을 그리고 습식공법 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트가 가장 큰 값을 나타내었다. 총 회복 탄성계수의 경우 재래식 아스팔트 혼합물 콘크리트에 대하여 건식공법 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트는 106%, 습식공법 페타이어 아스팔트 콘크리트는 114%의 값을 나타내었다. 그리고 순간 회복 탄성계수의 경우는 재래식 아스팔트 콘크리트에 대하여 건식공법 페타

표 5. 회복탄성계수(Mr, kgf/cm²)

회복탄 성계수	재래식	섬유보강	섬유보강/ 재래식(%)	건식공법	건 식/ 재래식(%)	습식공법	습 식/ 재래식(%)
총 회복 탄성계수	40,708	47,023	116	43,138	106	46,502	114
순간 회복 탄성계수	45,214	51,928	115	49,012	106	51,314	111

이어 재활용 아스팔트 콘크리트는 106%, 습식공법 페타이어 아스팔트 콘크리트는 111%를 나타내었다.

또한 섬유보강 아스팔트 콘크리트의 총 회복 탄성계수에 대해서는 건식공법의 경우는 92%, 습식공법은 99%를 보였으며, 순간 회복 탄성계수에서는 건식공법과 습식공법은 각각 94%와 99%를 보여줌에 섬유보강 아스팔트 콘크리트가 가장 우수한 성능을 보여주었다.

4. 결 론

본 연구는 페타이어의 재활용 기술을 응용한 아스팔트 콘크리트의 실내 공용 특성을 평가하고자 수행되었다. 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트는 갱입도를 사용하여 습식방법으로 제작된 공시체를 사용하였으며, 비교대상으로는 재래식 밀입도 19mm 아스팔트 콘크리트를 선택하였다. 본 연구에서 수행되었던 결과를 요약하면 다음과 같다

1. 시험온도 5°C에서는 페타이어 재활용 아스팔트 혼합물의 간접인장강도는 재래식 아스팔트 혼합물에 대하여 각각 57%, 66%에 해당한다. 그리고 10°C에 대하여는 각각 76%, 83%, 그리고 20°C에 대해서는 각각 90%, 91%의 값을 나타내었다.
2. 각 온도에 대한 최대수직변형률은 5°C의 경우 재래식 아스팔트 콘크리트의 최대수직변형률에 대하여 건식공법 및 습식공법 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트는 각각 125%, 146%를 나타내었다. 그리고 10°C에 대하여는 각각 105%, 112%, 그리고 20°C에서는 111%, 114%의 값을 나타내었다.
3. 인성(toughness)의 경우 시험온도 5°C에서 재래식 아스팔트 혼합물에 대하여 건식공법 및 습식공법 페타이어 재활용 아스팔트 혼합물은 각각 57%, 111%를 나타내었다. 그리고 10°C의 경우는 각각 87%, 108%를 나타내었으며, 20°C에 대해서는 각각 78%, 102%를 나타내었다.
4. 총 회복 탄성계수의 경우 재래식 아스팔트 혼합물 콘크리트에 대하여 건식공법 및 습식공법 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트는 각각 115%, 126%를 나타내었고, 순간 회복 탄

성계수의 경우는 각각 120%, 128%를 나타내었다.

간접인장강도의 경우 습식공법 활용 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트에는 갱입도를 그리고 재래식 아스팔트 콘크리트에는 밀입도 19mm 입도의 사용이 간접인장강도에 큰 영향을 준 것으로 사료된다. 그러나 인성과 최대수직변형률의 경우 이러한 입도 차이에도 불구하고 습식공법 활용 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트의 공학적 특성이 재래식 밀입도 콘크리트보다 우수한 것으로 나타났다. 따라서 특히 습식공법 활용 페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트의 도로용 재료로의 활용은 향후 페타이어 처리라는 환경문제 해결과 도로 공용성 증진이라는 일석이조의 효과가 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2002학년도 경기대학교 학술연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 김남호, 황성도, 박용철(1998), 비용절감을 위한 도로 재료 연구사업, 연구보고서, 한국건설기술연구원.
2. 김낙석, "섬유활용 아스팔트 콘크리트의 실험적 공용특성 평가", 한국도시방재학회논문집, 제2권 2호, 2002.
3. 김낙석, 이우열(1998), "페타이어 재활용 아스팔트 콘크리트의 역학적 특성", 자원리싸이클링 학회 논문집, 제7권 2호.
4. 김낙석, 조기주(2000), "페타이어 재활용 아스팔트 혼합물의 기계적 성질에 대한 습윤과 동결 용해의 영향", 자원리싸이클링 학회 논문집, 제9권 3호.
5. 건설교통부(1994), 도로포장기술지침, 건설교통부.
6. 유닉스라바(1997), 고무아스팔트 기술 세미나, 유닉스라바.
7. 유닉스라바(2001), CRM 아스팔트 포장 기술 자료, 유닉스라바.

8. ASTM D4123-82(1995), Test Method for Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures, Annual Book of ASTM Standards, Section 4 Construction.
9. Kim, N.(1994), Development of Performance Prediction Models for Asphalt Concrete Layers, Ph.D. Dissertation, North Carolina State University.