

도로포장용 상온 재생 아스팔트 혼합물 개발

A Development of Cold-Mixed Reclaimed Asphalt Pavement Materials

이종만* · 김낙석** · 김완상*** · 홍은철****

Lee, Jong Man · Kim, Nak Seok · Kim, Wan Sang · Hong, Eun Cheol

Abstract

In order to use recycled aggregate as pavement base or subbase materials, the US and many other European countries have started research since the early 1980s. Korea also had a recycle idea as a plan for the vast amount of construction wastes due to the downtown renovation in the 1990s, but was not put into practical use. After the resources saving and recycle expedition law in 1994, wastes from construction sites that have more than a certain amount of construction budget were recycled as pavement base and subbase materials, but now, researches are being conducted to use them as paving materials. The use of construction wastes is meaningful in many ways. It helps the natural conservation and aggregate consumption, and also improves pavement performance. This research presents a development of cold-mixed reclaimed asphalt pavement materials using recycled aggregates.

Key words : Recycled aggregates, Cold-mixed reclaimed materials, Asphalt pavement

요 지

순환골재를 도로의 기층재료나 보조기층용 골재로 활용하기 위하여 1980년대 초부터 미국과 유럽의 여러 나라에서 연구가 진행되었다. 우리나라에서도 1990년대 도심지 재개발 및 아파트 재건축의 증가로 건축폐기물이 다량으로 발생하여 이에 대한 대책을 마련하기 위한 방안으로 재활용 논의가 있었으나 실용화되지 못하였고 1994년 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률이 제정되어 일정 공사금액 이상의 건설사업자가 건설현장에서 배출되는 건설폐자재를 재활용화 하도록 규정한 이후에 구조물 채움재나 도로의 보조 기층재, 성토 및 복토용으로 활용되다가 최근에 포장재료로 활용하기 위한 연구가 수행되고 있다. 건설폐자재의 활용은 자원재활용과 함께 자연환경을 보호하고 부족한 골재난을 해소할 수 있으며 양질의 재료를 이용하여 포장의 공용성을 확보할 수 있어 여러 측면에서 효과적이다. 본 연구에서는 순환골재를 이용하여 자원을 재활용하고 에너지 소비를 절감할 수 있는 상온 재생 아스팔트 혼합물 개발을 위한 연구 수행결과를 정리 하였다.

핵심용어 : 순환골재, 상온 재생혼합물, 아스팔트 포장

1. 서 론

도시 발전과 산업화에 따라 발생하는 건설폐기물은 다양한 종류가 있으며, 그 중 시멘트 콘크리트나 아스팔트 콘크리트가 가장 큰 비중을 차지한다. 건설폐기물들은 과거에는 쓰레기매립장 또는 불법투기 등으로 매립 처리되어 왔으나 최근 매립장 부족이 심각한 사회 문제로 대두되고 있으며, 재활용이 가능한 폐자재의 매립을 줄여야 한다는 사회적 요구가 제기되고 있다.

최근 구조물이 고층화, 대형화 되고 있어 그에 따른 골재 수요는 증가하고 있으나, 섬진강 골재채취 영구금지(2004. 11) 및 EEZ(배타적 경제수역)·웅진군 등 골재채취 논란으로

골재의 공급 문제는 더욱 심화 되었고 골재공급원 개발을 위한 국토훼손 및 자연환경과피 등으로 환경복원을 위한 막대한 국가예산 소요는 불가피 하게 되었다(환경부, 2006).

또한, 1997년 12월 지구온난화 방지협약(일본 교토협약)의 발효로 국내외의 환경규제가 강화되어 국내 산업 전분야에서 CO₂의 감축노력이 진행되고 있다.

최근에 국내외적으로 가열에너지의 소비가 없고 온실가스를 배출하지 않는 상온형 포장공법이 주목받고 있다. 유럽 등지에서는 1980년대부터 활용하고 있으며, 미국도 1990년대 부터 새로운 공법을 적용하였다. 국내에도 1990년대에 도입 되어, 현재는 건설폐자재를 활용하여 도로포장재료로 사용하기 위한 많은 연구와 노력이 진행되고 있다.

*경기대학교 대학원 박사과정 (E-mail: jmlee283@hanmail.net)

**정회원 · 공학박사 경기대학교 토목공학과 교수 (교신저자)

***정회원 · 경기대학교 대학원 박사과정 현대건설 기술연구소 주임연구원

****경기대학교 대학원 석사과정

재활용 아스팔트 콘크리트는 일반 아스팔트 콘크리트에 비해 강도 등 품질 면에서 차이가 없으나 가격은 85% 수준으로 저렴하여 적극적으로 활용하면 사회적, 경제적 비용의 절감 효과를 가져 올 수 있다. 본 연구는 건축구조물 해체작업 중에 발생하는 폐시멘트 콘크리트와 도로의 성능개선을 위해 발생하는 페이스팔트 콘크리트를 분쇄하여 제조한 순환골재의 품질 특성을 분석하고, 건설폐자재 재활용 지침 등의 기준에 만족하는 순환골재로 구성된 혼합입도를 선정하여 높은 결합력을 갖도록 특별히 제작한 바인더와 초기 강도 증진과 채움재를 목적으로 첨가한 시멘트를 혼합하여 재활용 아스팔트 혼합물을 제작하고 실내물성실험을 통해 포장재료의 공용 성능을 평가하였으며, 그 결과를 분석하여 현장적용성 여부를 판단하였다.

2. 국내 건설폐기물 현황

2.1 건설폐기물 재활용 현황

표 1에 나타난 2005년 건설폐기물 종류에 따른 용도별 재활용 현황을 살펴보면, 폐시멘트 콘크리트의 경우 90.6%가 성토·복토용, 뒤메우기 및 뒷채움용으로 활용되었으며, 9.4%는 도로의 보조기층용 노상용, 노체용 등으로 재활용 되었다. 페이스팔트 콘크리트는 95.2% 정도가 성토² 복토용, 뒤메우기 및 뒷채움용으로 재활용 되었으며, 4.8%가 도로보조기층용, 노상용, 노체용 등으로 재활용 되었다.

표 1. 건설폐기물 종류에 따른 용도별 재활용 현황 (단위:톤/년)

	폐시멘트 콘크리트	페이스팔트 콘크리트
계	424,589.2	105,414.0
도로보조기층용	19,501.2	480.0
노상용	7,181.6	1,244.6
노체용	13,065.8	3,322.7
뒤메우기 및 뒷채움용	19,157.9	3,646.9
성토용/복토용	365,682.7	96,719.7

자료 : 재활용 통계 조사보고서(환경부, 한국자원공사, 2005)

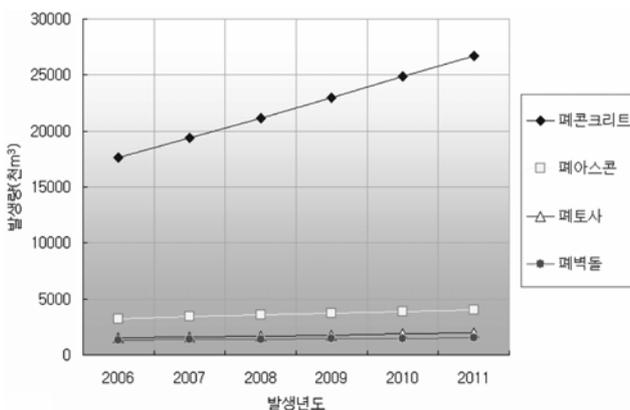


그림 1. 향후 건설폐기물 발생량 예측 결과(2006 전국 폐기물 발생 및 처리현황, 환경부, 2007)

2.2 국내 순환골재 생산량 예측결과

환경부에서 발간한 건설폐기물 재활용기본계획(2007년~2011년) 보고서에 따르면, 건설폐기물의 발생량 및 이를 이용한 순환골재의 생산량 예측을 경제성장률과 과거의 발생량을 기준으로 예측한 결과, 그림 1과 같이 2011년도까지 건설폐기물의 발생량은 지속적으로 증가하며, 특히 시계열분석을 통한 발생량 예측결과 2011년도 건설폐기물의 발생량은 2000년대비 3.5배 이상 증가될 것으로 추정하였다. 이러한 발생량 예측은 부무기성 건설폐기물 1톤에서 생산하는 순환골재(굵은골재, 잔골재 포함)의 양을 약 0.63톤으로 추정하고 국내에서 연간 발생하는 폐시멘트 콘크리트 및 기타 건설폐기물을 처리하여 생산가능한 순환골재 양을 산정한 결과이다.

3. 재료 및 공법의 특징

환경부에서 발간한 건설폐기물 재활용 기본계획(2006)을 살펴보면, 순환골재의 사용은 점차 증가되는 추세를 나타내고 있다. 특히 주목할 점은, 천연골재를 혼합하여 사용하던 기존 방식에서 벗어나 순환골재만 이용한 혼합물을 제조하여 특성을 파악하고 활용하기 위한 노력들이 진행되고 있다는 것이다. 시방기준을 만족하는 결과의 도출이 가능하다면 천연골재를 혼합하는 경우에 비해 시공원가의 절감이 가능하고 향후 도래가 예상되는 천연골재의 부족난을 해소할 수 있는 해결책이 될 수 있을 것이다.

건설폐기물을 재활용하는 경우에 경제성을 예측한 절감효과가 연평균 330억원 이상이고 환경파괴 및 복구 등의 유·무형의 가치를 포함한 경제적 이익은 연평균 4,472억원에 이르는 것으로 보고 되었다(환경부, 2006). 본 연구와 같이 순환골재만 이용하는 공법이 널리 보급되고 활용될 경우에 이러한 경제적인 효과는 가능성이 아니라 현실이 될 수 있을 것이다.

3.1 사용골재

본 연구에 사용된 골재는 폐시멘트 콘크리트 및 페이스팔트 콘크리트 골재를 파쇄하고 적정한 입형을 갖는 순환골재로 생산한 것으로, 기존의 순환골재를 활용한 포장용 골재가 폐재료에 신규골재를 일정부분 혼합하여 사용하는데 비해, 페이스팔트 콘크리트 골재와 폐시멘트 콘크리트 골재만 이용하여 부족한 자원을 보존하는 효과를 갖는다. 표 2와 3은 본 연구에서 사용된 골재의 입도이다.

페이스팔트 콘크리트 골재의 흡수율 실험결과 25~5 mm 골재, 잔골재가 각 1.32%와 1.62%의 값을 나타냈고 비중은

표 2. 페이스팔트 콘크리트 골재 통과중량 백분율

체크기 (mm)	25	20	13	10	5	2.5	0.6	0.3	0.15	0.08
페이스콘 (25-1 mm)	83.6	68.1	37.4	32.6	23.3	17.9	10.5	7.4	5.0	3.5
페이스콘 (13-8 mm)	100	100	100	58.3	26.0	20.3	12.7	9.3	6.7	4.3
페이스콘 (8 mm 이하)	100	100	100	100	78.6	60.0	30.7	20.0	13.6	8.6

표 3. 페시멘트 콘크리트 골재 통과중량 백분율

체크기 (mm)	25	20	13	10	5	2.5	0.6	0.3	0.15	0.08
페콘크리트 (25-13 mm)	86.0	42.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

2.56 및 2.43을 나타냈다. 체씻기 실험 결과는 0.6%, 마모감량 실험결과는 21.9%이었다. 페시멘트 콘크리트 골재의 흡수율은 2.98% 비중은 2.60으로 나타났으며, 체씻기 실험은 0.56%, 마모감량 실험 34.2%로 나타났다.

3.2 결합재

도로포장에 사용되는 혼합물의 결합재로 지금까지 활용되고 있는 것은 아스팔트 바인더와 시멘트이다. 손쉽게 도로포장에 적용이 가능한 아스팔트 바인더는 원유 정제과정 중에 발생하는 것으로 역할에 따라 여러 용도로 활용되고 있으나 가열에 따른 에너지 소비와 온실가스의 배출은 고유가에 따른 비용 상승과 친환경 저해 요소로 인해 대체재 개발을 위한 노력을 활성화 시키고 있다. 시멘트를 이용한 콘크리트 포장의 경우는 강도 확보를 위한 양생시간이 필요하여 도심지나 교통이 빈번한 지역에서의 사용은 극히 제한적이며, 시멘트의 생산을 위해 많은 에너지를 소비하고 환경오염 문제를 내포하고 있어 이에 따른 대책이 필요하다. 따라서, 에너지 소비가 적고 공해 유발물질을 배출하지 않는 친환경적인 포장재료와 공법의 개발이 필요하다.

본 연구에 사용된 결합재는 아스팔트 바인더를 대체할 물질로 가열 필요 없이 상온에서 혼합하여 생산과 시공이 가능한 콘믹스와 음이온 유화 아스팔트이다. 콘믹스는 방수산화제로 폴리카본산의 수용성염과 석유나프타의 추출 폴리머로부터 합성한 제품이며, (주)한동R&C의 특허제품으로 페아스팔트 콘크리트 골재는 물론 페시멘트 콘크리트 골재와의 부착력이 뛰어나 혼합물 생산시에 우수한 성질의 결합력을 가지는 특징이 있다.

또한 혼합물의 강도증진과 채움재 역할을 위해 첨가되는 시멘트의 부착력을 확대하기 위해 사용되는 음이온 유화아스팔트는 선진각국에서 개발한 상온 아스팔트 혼합물에 사용되는 유화아스팔트와 유사한 것으로 결국, 결합재 모두 가열 에너지의 소비가 없고 온실가스를 배출하지 않는 친환경재료이다.

본 연구에서는 시공 후 교통개방까지 소요시간을 확인하기 위하여 101.6 mm의 원형시료를 제작하고 상온 25°C의 실내에서 각 30분, 1시간, 1시간 30분, 2시간, 24시간 양생한 후 마찰안정도 시험을 실시하였다. 실험결과 그림 2와 같이 시료 제작 후 30분~2시간까지 양생을 실시한 경우의 안정도 값은 크게 증가하였다. 참고로 30분 경과 후의 안정도 값이 GR F 4026-2002(상온 재생 아스팔트 혼합물) 규격의 혼합물의 기준치인 3430 N (350 kgf)를 상회하는 것으로 나타났다.

3.3 혼합물 생산과 시공단계

혼합물은 그림 3과 같이 순환골재와 결합재를 상온에서 혼

도로포장용 상온 재생 아스팔트 혼합물 개발

양생시간에 따른 안정도 추이

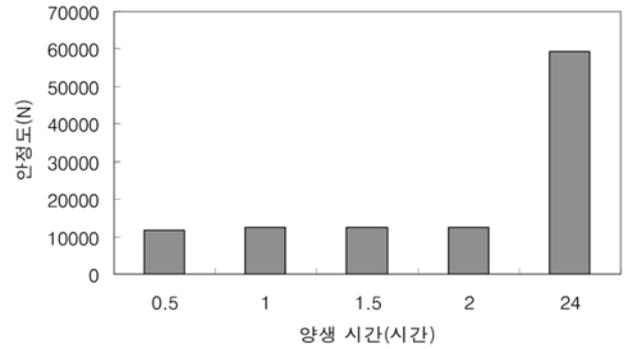


그림 2. 양생시간에 따른 마찰안정도 추이



그림 3. 혼합물의 제작

합하고 생산하며, 기존의 아스팔트 포설장비로 시공이 가능한 특징을 가지고 있다. 상온 유화아스팔트 혼합물의 경우에 특수하게 개발된 포설장비를 필요로 하나 본 공법은 페이퍼에서 포설하고 롤러를 이용한 다짐이 가능함으로써 폭넓게 활용이 가능하다. 생산된 혼합물은 반강성의 특징을 가지며, 강도와 내마모성이 뛰어나고 산화나 노화현상이 발생하지 않아 공용성능 저하가 발생하지 않는다.

표 4. 기존 공법과의 비교

구분	가열 재생	상온재생	본 연구 기술
가열 및 시공온도	140~170 °C	가열 없음	가열 없음
골재	신규골재 혼합사용	신규골재 혼합사용	순환골재만 사용
결합재	아스팔트 바인더	유화아스팔트	특허 조성물질
첨가제	재생 첨가제 사용	-	-
포설	기존 포설장비	기존 포설장비	기존 포설장비
산화/노화	가열과정에서 산화/노화 진행	산화/노화 거의 없음	산화/노화 없음
에너지 소비	가열에너지 소비	소비 없음	소비 없음
공해 발생	온실가스 배출	공해 발생 없음	공해 발생 없음
기타	온도관리 필요	양생시간 필요	포설 30분 후 표층시공 가능

3.4 기존 공법과의 비교

순환골재를 활용하여 시공하는 다른 공법과 본 공법을 비교해보면 표 4와 같다. ① 순환골재만을 활용하고 ② 결합제로 유헤이스팔트나 일반 이스팔트 바인더가 첨가되는 것이 아닌 특히 조성물질을 사용하며 ③ 이에 따라 산화나 노화가 전혀 발생하지 않는다. ④ 시공시 가열 에너지의 소비가 없고 ⑤ 공해가 발생하지 않으며 ⑥ 품질관리가 용이하다. ⑦ 신규골재를 사용한 이스팔트 혼합물 보다 강도가 우수하며 ⑧ 포설 후 30분 안에 표층 시공이 가능한 공법이다.

4. 혼합물의 실내 실험 및 결과

4.1 골재입도 및 혼합물 시료 제작

순환골재를 이용한 기층재료의 물리적 특성을 평가하기 위하여 페시멘트 콘크리트 골재, 페이스팔트 콘크리트 골재, 시멘트, 음이온 유헤이스팔트 및 결합재를 이용하여 시료를 제작하고 상대 비교를 위하여 일반가열 이스팔트 혼합물을 제작하였다.

4.1.1 골재입도

골재 입도는 '건설교통부 건설폐자재 재활용 도로 포장 지침'의 플랜트 재생 상온 이스팔트 혼합물 표준배합과 지식경제부 기술표준원에서 인증하는 GR F 4026-2002 (상온 재생 이스팔트콘크리트 혼합물) 규정의 골재입도와도 동일하다. 골재입도의 선정은 GR F 4026-2002의 혼합물 마찰실험 기준치인 공극률에 적합한 시료를 제작하기 위해 반복해서 배합 실험을 실시하였다. 상온 재생 이스팔트 혼합물 제작에 사용된 골재는 경상북도 포항에 소재하는 한동제생공사의 순환골재를 입수한 것으로, 모든 골재는 실험실에서 체가름을 실시하여 실내 배합실험을 실시하였다. 표 5는 본 연구에서 제작한 시료의 골재 배합비를 나타내는 표이다.

비교 실험을 위하여 제작한 일반 가열 이스팔트 혼합물은 수도권 남부 지역에 시공을 위해 플랜트에서 생산한 기층 혼합물을 활용하였으며, 바인더 함량과 입도는 표 6과 같다.

4.1.2 마찰 시료 및 휠트랙킹 시료 제작

상온 재생 이스팔트 혼합물의 물성평가를 위하여 일반 가열 이스팔트 혼합물과 비교 실험을 실시하였다. 각 혼합물은 마찰 다짐기를 사용하여 직경 101.6 mm, 높이 약 63.5 mm

표 5. 골재 배합비

	페이스팔트 콘크리트 (25~13 mm)	페이스팔트 콘크리트 (13~8 mm)	페이스팔트 콘크리트 (8 mm 이하)	페시멘트 콘크리트 (25~13 mm)	시멘트
배합입도	35%	30%	21%	10%	4%

표 6. 일반 가열 이스팔트 혼합물 배합표

체크기 (mm)	40	20	10	5	2.5	0.6	0.08
배합비율 (%)	100.0	80.6	54.9	40.0	27.3	15.0	3.5
이스팔트 바인더 함량 (%)	4.0						

의 마찰 공시체를 제작하였으며, 다짐횟수는 중차량이 통행하는 포장체임을 감안하여 양면 75회로 하였다. 혼합물 제작 온도는 상온 재생 이스팔트 혼합물의 경우에 상온 25°C이며, 일반 가열 이스팔트 혼합물은 플랜트에서 생산한 혼합물을 채취해 160°C로 가열하여 혼합물을 제작하였다.

휠 트랙킹 실험용 시료는 300×300×50 mm의 크기로 제작하였다. 혼합물의 배합온도, 골재의 입도 및 혼합되는 음이온 유헤이스팔트와 콘믹스의 양 등은 마찰 혼합물 시료 제작시와 동일한 조건으로 하였으며, 비교 대상인 가열 이스팔트 혼합물도 동일한 조건으로 시료를 제작하였다.

4.2 실내 물성 실험 및 결과

4.2.1 골재의 물성 실험 및 결과

4.2.1.1 비중 및 흡수율 실험

골재의 밀도 및 흡수율 실험은 이스팔트 콘크리트의 배합 설계 시 상당히 중요한 부분을 차지하고 있는 실험이다. KS F 2503-2007(굵은 골재의 밀도 및 흡수율 시험 방법)과 KS F 2504-2007(잔골재의 밀도 및 흡수율 시험 방법)에 따라 실험을 실시하였다. 골재는 호칭 치수 5 mm의 체로 일정 분량이 될 때까지 체가름 하여 굵은 골재와 잔골재로 나누어 실시하였다. 실험결과는 표 7과 같이 흡수율 및 비중 모두 기준치에 적합한 결과를 보였다.

4.2.1.2 체씻기 실험

골재에 포함된 0.08 mm체를 통과하는 잔 입자의 양을 측정하는 방법으로 KS F 2511-2007(골재에 포함된 잔입자-0.08 mm체를 통과하는 시험방법)의 규정에 따라 실시하였다. 체씻기 실험 결과 페이스팔트 콘크리트 골재 0.6%, 페시멘트 콘크리트 골재 0.56%로 기준치인 5% 이하를 만족 하였다.

4.2.1.3 마모감량 실험

골재의 내마모성을 실험하기 위해 KS F 2508-2007(로스엔젤레스 시험기에 의한 굵은 골재의 마모 시험 방법)에 따라 실험을 실시하였다. 골재의 마모 감량을 실시하기 위해 수평 원통에 일정량의 굵은 골재와 쇠구슬을 함께 넣어 규정 횟수 동안 회전 시킬 때 부서지거나 마모된 골재의 양과 초기 굵은 골재 무게의 비로 정의 된다.

KS F 2508에 규정 된 입도구분에 따라 쇠구슬 12개를 시료와 함께 마모감량실험기의 원통에 넣어 덮개를 부착하고 매분 30~33회의 회전수로 페시멘트 콘크리트 골재와 페이스팔트 콘크리트 골재 모두 500회 회전시켜 실험 하였다. 순환골

표 7. 비중 및 흡수율 실험 결과

실험 항목	기준	페콘크리트 (25~5 mm)	페이스콘 (25~5 mm)	페이스콘 잔 골재
흡수율(%)	3 이하	2.98	1.32	1.62
비중	2.20 이상	2.60	2.56	2.43

표 8. 마모 감량 실험 결과

실험 항목	기준	페콘크리트	페이스콘
마모감량	40% 이하	34.2%	21.9%

재의 마모 감량 기준은 40%이하 이다. 표 8과 같이 마모감량 실험결과 페시멘트 콘크리트 골재는 34.2%, 페아스팔트 콘크리트 골재는 21.9%로 나타나 규정에 적합한 결과를 보였다.

4.2.2 안정도 실험

마찰 실험법은 아스팔트 혼합물의 경험적인 물성을 측정하는 것으로, 본 연구에서는 KS F 2337-2002(마찰 실험기를 사용한 역청 혼합물의 소성 흐름에 대한 저항력실험 방법)의 기준에 따라 실험을 실시하였다. 마찰 실험의 목적은 표준 실험실 다짐도로 다져진 아스팔트 혼합물의 강도를 측정하기 위한 것으로써 아스팔트 혼합물의 최적 아스팔트 함량을 결정하기 위한 마찰 배합설계법의 일부 물성 항목으로 사용되고 아스팔트 혼합물의 생산과 시공 품질관리에도 적용한다.

실험결과 그림 4에서와 같이 상온 재생 아스팔트 혼합물이 일반 가열 아스팔트에 비해 2배 정도 안정도 값이 큰 것으로 나타났다.

4.2.3 간접인장강도 실험

간접인장강도(Indirect Tensile Strength Test) 실험은 1953년에 Akazawa에 의해 시멘트 콘크리트의 인장 강도를 측정하기 위한 실험법으로 처음 소개되었고, 1965년에 Hadley 등에 의하여 실험 방법이 정립되었다(Roberts 등, 1996). 간접인장강도 실험은 수직인 직경 면을 따라 평행하게 작용하는 정적 압축 하중을 원통형 공시체에 작용시킴으로서 수행된다 (Roberts 등, 1996; 황성도 등, 2008, 이학일 등, 2008).

본 연구에서는 각 온도변화(5°C, 25°C, 40°C)에 따른 간접인장강도실험을 수행하기 위하여 -30°C~100°C까지 온도조절이 가능하며 일정온도로 장시간 유지할 수 있는 특징을 가지고 있는 Mechanical Chamber를 사용하였다. 실험시료는 6시간 이상 일정 실험온도로 Pre-setting하였으며, 실험 전·후에 온도차가 발생하지 않게 하기 위하여 실험온도에 적합한 경우에만 실험을 수행하였다. ASTM D 4123에 규정된 절차에 따라 재하하중은 50.8 mm/min으로 제어하였다.

실험결과 그림 5와 같이, 5°C에서의 간접인장강도의 평균 값은 상온 재생 아스팔트 혼합물 시료가 일반 가열 아스팔트 혼합물 시료에 비해 114%정도 상회하는 값을 보였다. 상온인 25°C에서는 122%, 고온인 40°C에서는 327%에 이르는 값을 얻었다.

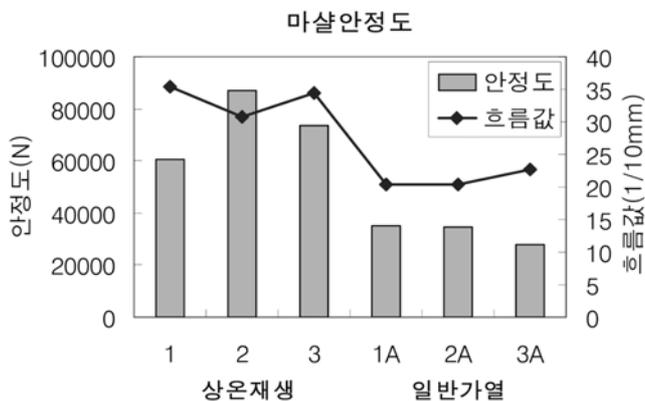


그림 4. 마찰안정도 및 흐름값

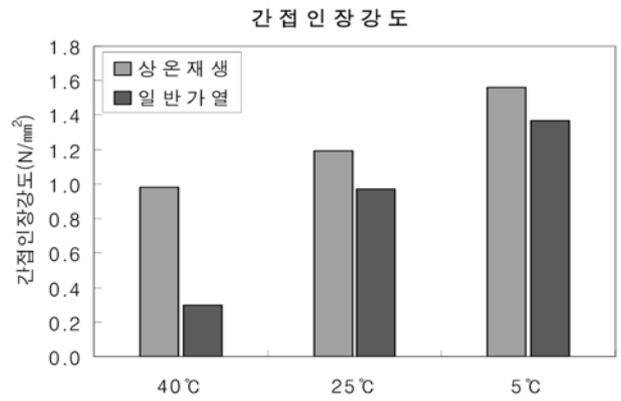


그림 5. 온도별 간접인장강도 변화

4.2.4 회복탄성계수 실험

교통하중에 의한 반복적인 하중 조건 하에서 아스팔트 도로포장체의 탄성 거동 특성을 파악하기 위해 회복탄성계수 (Resilient Modulus)를 측정한다. 이는 온도별로 다양하게 변화하는 아스팔트 혼합물의 거동 특성을 판단하는데 적용할 수 있다. 즉 아스팔트 혼합물이 고온에서 회복탄성계수가 상대적으로 크거나 높은 증가율을 보였다면, 이 혼합물은 포장의 소성 변형에 대한 저항성이 크다는 것을 의미한다. 또한 저온에서 상온에 이르는 온도 변화에 따른 회복탄성계수의 변동 폭이(온도변화에 따른 회복탄성계수 값의 변화) 상대적으로 작다면, 이런 혼합물은 온도 균열의 발생 원인중 하나인 감온성(Temperature Susceptibility)의 영향을 작게 받는다는 것을 의미한다(Roberts 등, 1996).

실험은 간접인장강도의 5~20% 범위의 하중을 100회 반복하여 재하하며, 실험에 사용된 하중 형태는 0.1초의 재하시간과 0.9초의 휴지시간을 1사이클로 하는 haversine 형태의 하중이고, 실험의 결과는 마지막 5회의 값을 평균하여 얻어지는 값으로 컴퓨터에 자동 입력 및 분석된 것이다.

본 실험에서는 각 샘플별, 온도별로 측정된 간접인장강도의 15%에 해당하는 값으로 반복 재하 하였다. 또한 저온 및 상온 고온에서의 아스팔트 혼합물의 특성을 측정하기 위하여 5°C, 25°C, 40°C의 온도영역에서 회복탄성계수를 측정하였다.

실험결과 그림 6과 같이 5°C에서의 회복탄성계수는 기층용 상온 재생 아스팔트 혼합물의 경우 기층용 일반가열 아스팔

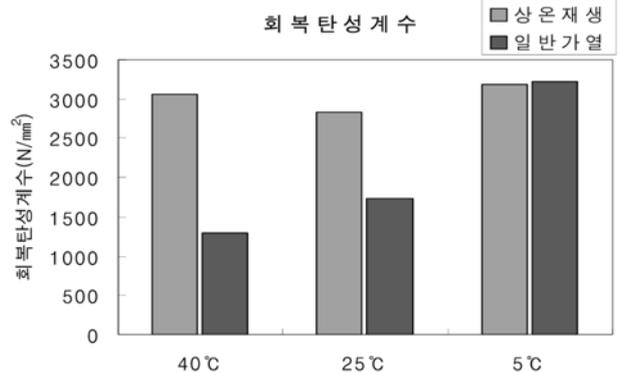


그림 6. 각 온도별 회복탄성계수 실험 결과

트 혼합물 시료 보다 평균 약 1.2% 적은 값을 보였으나 상온인 25°C에서는 112%~213%에 이르는 값을 보였고, 고온인 40°C에서도 상대적으로 큰 값을(176%~283%) 보이고 있다. 저온에서의 회복탄성계수는 기층용 일반가열 아스팔트 혼합물 시료와 큰 차이가 없지만 온도가 상승 할수록 더 큰 값을 나타내고 있다.

4.2.5 수분민감성 실험

수분에 의한 박리현상으로 아스팔트 혼합물의 파손사태가 발생하고 있어 이를 평가하기 위해 수분 민감성을 실험을 실시하였다. 박리현상은 골재와 아스팔트의 점착력이 약해 발생하는 것으로 주로 수분의 작용에 의해 골재에서 아스팔트가 분리된 곳과 혼합물의 점착력이 상실된 곳 등에서 급격하게 발생한다.

수분 민감성에 대한 실험 방법은 국내, 외에 여러 가지가 있으나 현재까지 현장조건과 실험실에서 실시한 결과와의 상관관계가 규명되어 있지 않아 실험 결과에 대한 신뢰성을 확신할 수 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 마찰 실험을 통한 잔류안정도와 Superpave 배합설계에서도 채택하고 있는 AASHTO T 283에 의한 로트만 실험 등을 실시하여, 다양한 방법의 실험을 통해 얻어진 결과로 수분에 의한 박리 저항성을 평가 하였다.

4.2.5.1 로트만 실험

수분민감성을 측정하기 위한 방법인 AASHTO T 283-2002(Standard Method of Test for Resistance of Compacted Moisture Induced Damage)의 로트만 실험을 실시하였다. 로트만 실험은 Kandhal에 의해서 개발되었고 1985년에 AASHTO에 의해서 표준실험법으로 채택되었다. 이 실험방법의 특징은 Lottman 실험(NCHRP 246)과 Tunnicliff 와 Root 실험(NCHRP 274)의 장점을 모은 것이다(Roberts 외, 1996).

실험결과, 상온 재생 아스팔트 혼합물과 일반가열 아스팔트 혼합물 모두 0.7의 기준치를 만족하는 것으로 나타났다. 동결융해를 거친 시료와 상온에서 실시한 기준시료의 실험 결과를 각각 비교해 보면, 동결융해 과정 후 실시한 실험에서 그림 7과 같이 일반 가열 아스팔트 혼합물 시료에 비해 2.2배에 이르는 높은 값을 나타냈으며, 동결융해 후에 간접인장강도 값이 증가한 것으로 나타났다

로트만시험결과

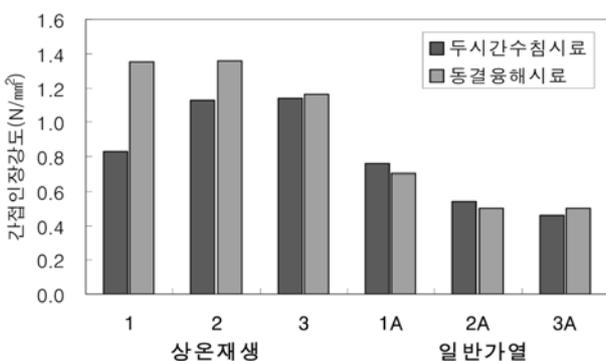


그림 7. 로트만 실험 결과

4.2.5.2 잔류안정도 실험

일반적인 마찰안정도 실험과 함께 잔류안정도를 측정하는데, 이 잔류안정도는 아스팔트 혼합물의 박리특성을 실험하기 위한 것으로 물속에 일정시간 수침하여 아스팔트 혼합물이 수분의 영향을 충분히 받게 한 후, 실시하는 실험이다. 60°C의 항온수조에 48시간 동안 수침 후 안정도를 측정하고 습윤처리전 안정도 값과 비교하여 잔류안정도를 구하게 되며 이때 얻어진 결과 값으로 아스팔트 혼합물의 수분민감성을 예측한다.

그림 8과 같이 상온 재생 아스팔트 혼합물과 일반 가열 아스팔트 혼합물 시료 모두 75% 이상의 값을 나타내 기준에 만족한 실험결과를 얻었다. 상온 재생 아스팔트 혼합물의 경우 잔류안정도는 118%로, 오히려 증가하는 경향이 나타났으며, 경험적인 실험으로써 수중에서의 시멘트의 양생으로 인해 저항성이 증가되었기 때문이라고 보여 진다.

4.5.2.3 휠 트랙킹 실험

아스팔트 포장 표면 위를 통행하는 차량으로 재하되는 포장체 내의 응력 상태는 매우 복잡하므로, 이를 아스팔트 혼합물의 시편에 대해 실내 실험으로 정확히 재현시키기는 거의 불가능하여 외국의 경우에는 주로 다른 재료에 대한 거동의 상대적 비교를 위해 포장가속실험(Accelerated Pavement Tester)를 통한 모사 실험을 수행하고 있다.

실내 실험인 휠 트랙킹 실험은 동적 반복 크리프 실험의 일종으로, 영국의 도로교통운수연구소(Transport and Road

잔류안정도실험

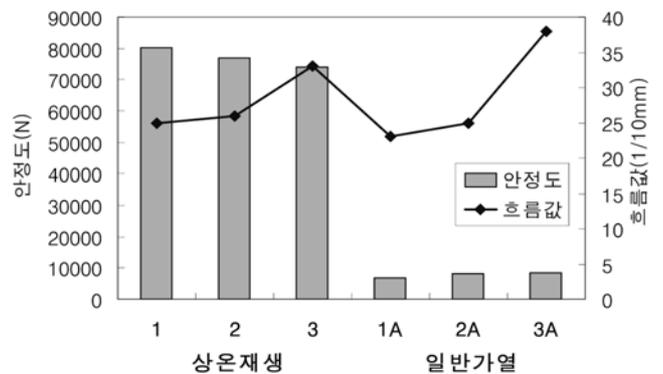


그림 8. 잔류안정도 실험 결과

동적안정도실험

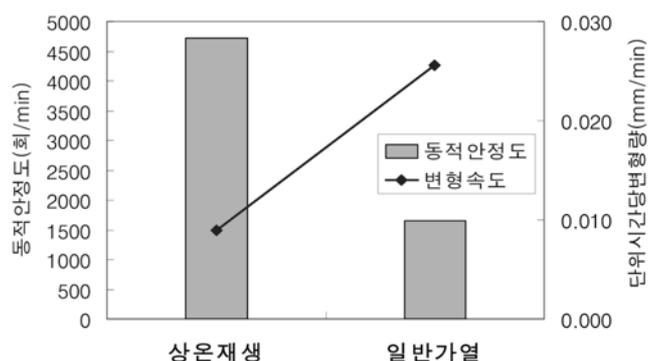


그림 9. 동적안정도 실험 결과

Research Laboratory, TRRL)에서 개발하였으며 실제 도로가 고온 환경 조건일 때, 중차량의 주행으로 인한 소성변형이나 니딩작용(Kneading)을 시뮬레이션 시킴으로써, 아스팔트 혼합물의 내유동성을 평가하는데 사용된다. 아스팔트 혼합물에 대해서는 마찰안정도를 이용하여 유동 저항성을 어느 정도 평가할 수 있으며, 휠 트랙킹 실험은 차륜을 주행시키는 보다 직접적인 평가 방법으로 간주되고 있다.

그림 9와 같이 일반 가열 아스팔트 혼합물에 비해 상온 재생 아스팔트 혼합물이 2.8배로 월등히 높은 것으로 나타났다. 분당 변형량을 측정된 결과는 상온 재생 아스팔트 혼합물 시료가 일반 가열 아스팔트 혼합물 시료에 비해 2.8배 작게 나왔으며, 이는 소성변형에 대해 기층용 상온 재생 아스팔트 혼합물의 저항성이 더 큰 것으로 판단 할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 페시멘트 콘크리트와 페아스팔트 골재를 이용하여 개발한 상온 재생 아스팔트 혼합물을 개발하였다. 본 재료의 적합성을 평가하기 위하여 GR 규정 및 건교부 지침에 기초한 물성실험과 골재 입도 선정 및 공용성 평가를 실시하여 일반 가열 아스팔트 혼합물과 비교, 평가하였다. 본 연구의 결과 및 내용을 요약정리하면 다음과 같다.

- 1) 본 연구의 공법은 기존의 상온 재생 아스팔트의 공법인 천연골재와 순환골재를 섞어 시공하는 방식을 개선하여 건설폐기물중 가장 많이 발생하는 페시멘트 콘크리트와 페아스팔트 콘크리트를 이용, 결합재로서 시멘트와 신재료인 콘믹스를 첨가해 기존의 가열 아스팔트 기층재료보다 우수한 공용성을 발휘 할 수 있는 재료를 개발하는 공법이다. 기존의 포장재료와 비교 할 때 천연골재를 사용하지 않아 원가절감 효과와 가열아스팔트에 의한 온실가스 발생 등을 막을 수 있어 미래지향적인 공법으로 판단된다.
- 2) 본 연구에서 개발된 상온 재생 아스팔트 혼합물의 마찰안정도, 간접인장강도, 회복탄성계수 및 휠 트랙킹 실험 등 실내 물성 실험결과, 개발된 상온 재생 아스팔트 혼

합물이 일반 가열 아스팔트 혼합물에 비하여 동등이상의 공용성능을 나타낼 수 있을 것으로 예상된다.

- 3) 순환골재의 밀도, 비중, 채 씻기 및 마모감소량 실험을 실시한 결과, 모두 기준에 적합한 결과를 얻었다. 수분민감성을 측정하기 위한 실내 실험 에서도 상온 재생 아스팔트 혼합물은 일반 가열 아스팔트 혼합물 시료에 비해 우수한 성능을 나타냈다.

본 연구는 기존 재활용 공법의 천연골재와 순환골재를 섞어 시공하는 방식이 아닌 건설폐기물중 가장 많이 발생하는 페시멘트 콘크리트와 페아스팔트 콘크리트 골재를 100% 이용하여 실질적 건설폐기물의 재활용을 실현하기 위해 수행하였다. 이는 건설폐기물의 불필요한 매립이나 처리 비용을 절감하고 천연골재의 채취 등으로 인한 환경과피해를 막으면서도 순환골재를 이용한 고품질의 기층 재료를 생산하는 미래지향적인 기술이라 판단된다.

참고문헌

- 건설교통부 (2004) 한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구-아스팔트 포장 설계법 개발 (1단계 3차년도 최종보고서). 연구보고서, KPRP-G-04, 한국도로학회.
- 채포기 (2004) 페아스팔트콘크리트 재활용(재생) 사업의 타당성에 관한 연구. 석사학위 논문, 서강대학교.
- 한국도로공사 (2004) 페아스콘의 용도별 재활용 및 현장 적용성 연구. 한국도로공사 도로교통기술원.
- 환경부 (2005) 재활용 통계 조사보고서. 한국자원공사.
- 환경부 (2006) 건설폐기물 재활용기본계획. 환경부.
- Gregory A.S., Galr C.P., James A.M., Patrik B.U., Howard L.M. (2002) Preliminary Investigation of a Test Method to Evaluate Bond Strength of Bituminous Tack Coats. Research Report, Florida DOT, FL/DOT/SMO/02 -459.
- Roberts, F.L., Kandhal, P.S., Brown, E. R., Lee, D.Y., and Kennedy T. W. (1996) Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction. NAPA Education Foundation, pp. 284-300.

- ◎ 논문접수일 : 09년 03월 24일
- ◎ 심사의뢰일 : 09년 03월 24일
- ◎ 심사완료일 : 09년 04월 07일