

새로운 반강성포장의 공용물성 - III

Performance Properties of A New Semi-Rigid Pavement - III

허 정 도* · 김 태 형** 박 만 혁***

Huh, Jung Do · Kim, Tae Hyung · Park, Man Hee

1. 서 론

본 학회에서 허정도(2006)¹의 특허에 근거하여 기존의 반강성포장과는 전혀 다른 페아스콘을 활용한 새로운 반강성포장과 시공방법을 제안하였다. 역학강도 면에서는 기존 반강성포장과 유사하나 재료와 시공방법에 서는 훨씬 차이가 있다. 반강성포장은 국내 아스팔트포장의 가장 심각한 문제인 소성변형 문제를 해결하는 데 기여하여 유지보수로 인한 막대한 국가예산을 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

본 실험에 사용된 페 아스팔트 콘크리트는 상온 절삭에 의해 얻어진 것으로 이 재료를 체 가름하여 아래 표 1과 같은 입도분포를 가진 페아스콘을 준비했다. 공시체 1개 당

표 1. 상온절삭페아스콘의 입도분포

페아스콘 입도분포		
통과 중량 백분율(%)	26.5 mm	5 %
	19.0 mm	20 %
	13.2 mm	30 %
	4.75 mm 이하	45 %

1200그램이 되도록 페아스콘(표 1), 시멘트, 채움재 그리고 유제를 중량비로 적정량 계량하여 상온 혼합기에 함께 투입하고 잘 혼합한다. 이 혼합물을 공시체 몰드에 넣은 후 마살다짐기로 양면다짐 50회를 행하여 상온 반강성포장을 위한 공시체를 제작하였다.

2. 마살 시험

유제, 페아스콘, 그리고 시멘트에 채움재를 넣은 경

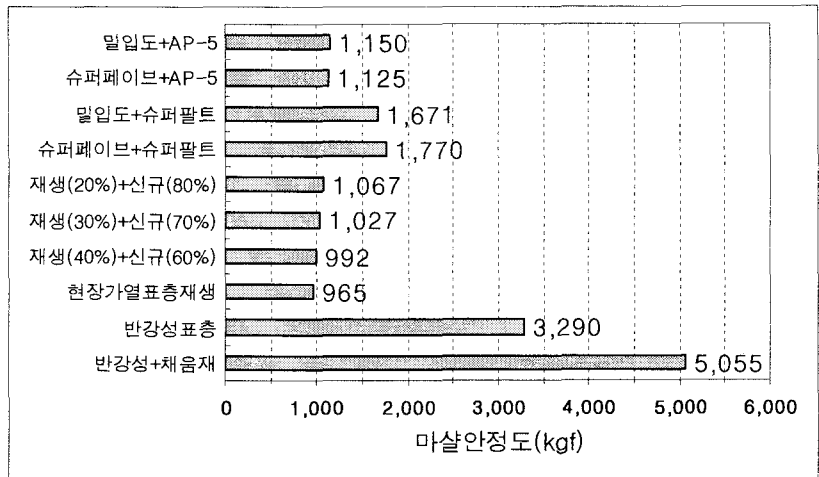


그림 1. 국내 아스콘 혼합물과 새 반강성혼합물과의 마살안정도값 비교

* 정회원 · (주)뉴페이브 대표이사 · 공학박사 · 032-573-6631 (Email : jung_huh@hotmail.com)

** 정회원 · (주)뉴페이브 연구원 · 공학석사 · 032-573-6631 (Email : kimth@nate.com)

*** 비회원 · 인천대학교 대학원 박사과정 수료 · 공학석사 · 032-453-7099(Email : mhpark@incheon.go.kr)

우 (공시체 1개)와 채움재를 넣지 않은 경우 (공시체 3개)의 혼합물을 상온에서 혼합하고, 다짐하여 표층과 기층용 마살공시체를 각각 3개씩 제작한 후, 약 5일간 상온에서 경화시켰다. KOLAS가 인정한 국가 공인 시험기관 중의 하나인 현대건설 기술연구소에 이 샘플들에 대한 일반 마살시험을 의뢰하여 그림 1에 표시된 결과를 얻었다.

그림 1의 수치에서 보듯이, 표층의 마살안정도값은 일반 아스팔트포장의 표층이나 기층용 공시체에 비해 적어도 2배(특히 채움재의 경우 큰 값을 보임) 이상의 값을 보인다. 이러한 결과는 페아스콘을 재활용한 반강성포장이 신규 가열 아스팔트포장 보다 강도가 훨씬 뛰어난 포장임을 시사한다.

3. 간접인장 시험

간접인장시험은 KOLAS가 인정한 공식 지정시험 항목은 아니다. 다만 개발된 재활용 공시체의 간접인장력이 어느 정도인가를 파악하는 데 그 의미가 있다. 위의 마살시험과 동일한 시편들을 만든 후, 간접인장시험을 하도록 현대건설기술연구소에 의뢰하였다. 25°C에 해당하는 간접인장강도 데이터를 국내 타 아스콘제품과 비교하여 그림 2에서 나타내었다. 그림 2에 나타난 결과는 본 업체에서 개발한 반강성포장 재료의 간접인장력이 타 가열아스콘 재료보다 2배 이상 우수함을 보여준다.

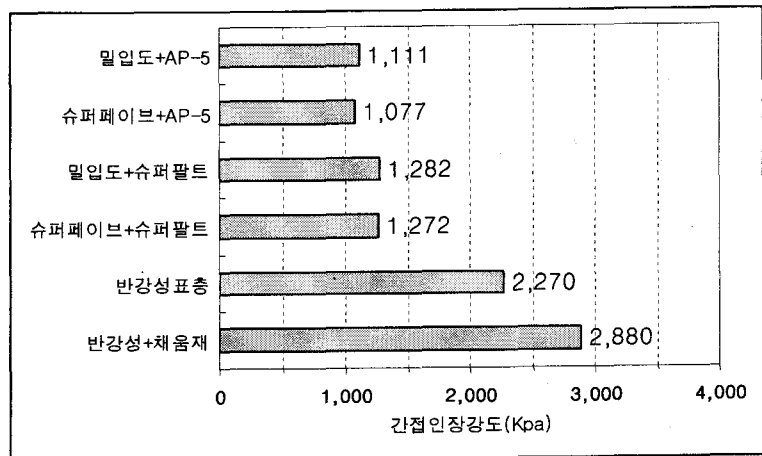


그림 2. 간접인장강도의 도식적 비교

4. 회복탄성계수 시험

회복탄성계수 시험도 KOLAS가 인정한 공식 지정시험 항목은 아니다. 다만 개발된 반강성포장 혼합물의 회복탄성력이 어느 정도인가를 파악하고자 한다. 이 시험에 사용된 공시체들은 위 마살시험이나 간접인장시험에 사용된 것들과 동일하다. 이들 시편에 대한 회복탄성계수를 측정하기 위해 현대건설기술연구소에 시험을 의뢰하였다. 회복탄성계수 시험에서 한 개의 시료를 측정할 때마다 초기 값을 측정위치를 기준으로 90° 회전하여 반복시험을 수행하여 평균값을 구하였다. 이렇게 측정된 값을 국내의 타 아스콘제품의 회복탄성계수값과 비교하고 그 결과를 표 2에 나타내었다.

표 2에 의하면 국내 신규 또는 개질 아스팔트혼합물에 비하여 본 신기술의 반강성포장 혼합물이 더 좋은 회복탄성계수를 가진 재료임을 입증하고 있다. 또한 국내 아스콘은 온도의 증가와 더불어 회복탄성계수가 급격히 감소하는 반면에, 본 제품은 감소하기는 하나 아스팔트제품만큼은 심각하지 않다.



표 2. 회복탄성계수 시험결과

시험 온도	밀입도 AP-5	슈퍼페이브 AP-5	밀입도+슈퍼팔트	슈퍼페이브+슈퍼팔트	새 반강성포장	
					표층	표층+채움재
20℃	3,757	4,168	3,769	4,090	---	---
25℃	---	---	---	---	3,925	4,848
40℃(비교,%)	622(100)	819(132)	822(132)	871(140)	2,929(471)	---

즉, 국내 신규 또는 개질 아스팔트 혼합물은 온도가 증가하면 탄성을 잃고 점성이 증가하나, 본 신기술의 반강성포장 혼합물은 탄성을 크게 잃지 않는다고 볼 수 있다. 이러한 결과는 듀라콘이 여름철 소성변형을 방지하는 데 기여할 수 있는 재료임을 재확인시켜준다. 이를 명확히 하기 위하여, 온도 40℃에서의 회복탄성계수를 그림 3에 비교하였으니 참조하기 바란다.

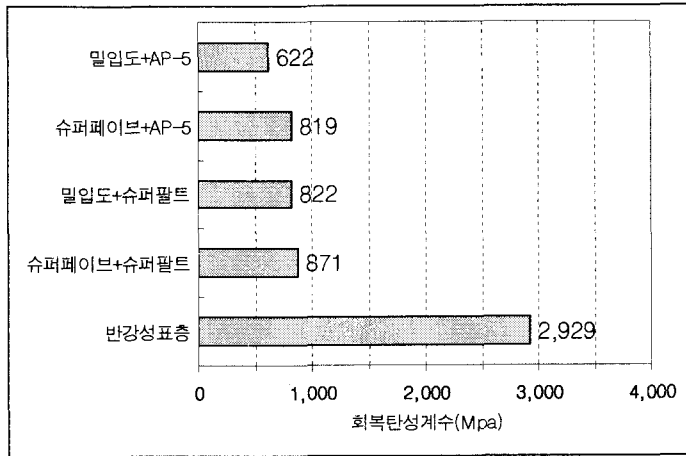


그림 3. 40℃에서의 회복탄성계수의 비교

5. 휠트랙킹 시험

휠트랙킹 시험도 KOLAS가 인정한 공식 지정시험은 아니다. 그러나 개발한 포장재료의 소성변형 저항능력을 알아보기 위하여 휠트랙킹 시험을 실시하였다. 한 개의 시편을 만들 수 있는 분쇄 페 아스콘, 유제 그리고 시멘트를 혼합하여 1200kg의 혼합물을 휠트랙킹 시편몰드에 넣고 타이어 롤러로 다짐을 실시하였다. 다져진 시편은 몰드와 함께 약 4일간 경화시켰다. 60℃로 안정화시킨 후 각각 60분 동안 휠트랙킹 시험을 실시하여 변형율과 안정도 값을 구하였다, 측정데이터는 표 3에 표시하였다.

표 3. 휠 트랙킹 시험 결과 (60℃)

구 분	밀입도 AP-5	슈퍼페이브 AP-5	밀입도+슈퍼팔트	슈퍼페이브+슈퍼팔트	새 반강성포장
변 형 율 (mm/분)	0.1824	0.038	0.024	0.0064	0.0009
동적안정도(회/mm)	230	1,155	1,772	6,850	52,500
증가율(%)	100	500	770	2,978	22,826

한국도로공사(KOLAS 인증기관) 시험성적서

표 3에서 보듯이, 새 반강성포장 혼합물에 대한 소성변형시험 결과로서 변형율이 0.0009mm/분 그리고 안



정도 값은 52,500회/mm이 얻어졌다. 이러한 값은 타 재료와 비교하여 변형율과 동적안정도 둘 다 월등히 우수하다. 재료만 본 업체에서 공급하고, 시편을 만드는 공정에서부터 완료하기까지 일련의 전 과정은 한국 도로공사 시험소에서 실시되었다. 여기서 동적안정도 값이 52,500 회/mm 이라고 하는 것은 소성변형을 일으킬 확률이 거의 제로에 가깝다고 할 수 있다.

6. 피로균열시험

본 시험은 피로균열에 대한 저항성을 알아보기 위하여 국내 일반 밀입도혼합물과 신기술의 재생아스콘 혼합물에 대한 마찰공시체를 각각 제작하여 피로파괴시험 (미국표준시험법인 ASTM D 4123)을 수행하였다. MTS (Material Testing System)사의 시험장치를 이용하여 800kgf의 하중

표 4. 밀입도와 새 반강성 혼합물시편의 피로균열시험

시험항목		적용하중	파괴회수	평균값
20℃	밀입도 -1	800kgf	532	711
	밀입도 -2		548	
	밀입도 -3		1,053	
	표층+채움재		파괴 안 됨	파괴 안 됨

을 Haversine 모-드하에 0.1초 작용하고 한 주기마다 휴지시간을 0.5초 두는 파형을 반복적으로 수행하여 피로특성을 측정하였다. 하중은 공시체에 수직으로 작용시켰으며, 잔류하중은 5kgf를 주었다. 온도챔버안에서 시험을 수행하였으며, 온도는 20oC로 고정시켰다. 반복적으로 하중을 가하다 시편이 파괴될 때, 파괴회수를 기록하고 시험을 종료한다. 이렇게 시험한 결과를 아래 표 4에 나타내었다.

표 4에서 세계의 신규 일반 밀입도시편이 피로파괴를 보일 때의 평균파괴회수는 711인 반면에, 채움재를 넣은 신기술 재생시편은 10,265회의 반복피로시험에도 불구하고 0.13mm 정도의 수평변위를 보이는 관계로 파괴 수평변위인 2.0mm에 훨씬 미치지 못하여 시험을 중지하였다. 이러한 시험결과는 본 신기술의 재생아스콘재료가 피로균열에도 우수함을 입증한다.

7. 라벨링 시험

라벨링 시험도 KOLAS가 인정한 공식 지정시험 항목은 아니다. 그러나 차량의 계속되는 주행에 의해 발생하는 포장의 마모를 실험적으로 알아보는 데 가장 효과적인 방법으로 알려져 있다. 따라서 개발한 포장재료의 마모 저항능력을 알아보기 위하여 라벨링 시험을 실시하였다. 위의 휠트래킹 시험과 똑 같은 조건으로 두 개의 시편을 만들고 이들에 대한 라벨링 시험을 실시하였다. 실험결과 얻은 두 값을 표 5에 표시하였으며 평균값으로 마모량 0.182 cm²를 얻었다. 이 시험도 한국 도로공사 시험소에 의뢰하여 그 곳 연구원들이 얻은 결과이다. 최대입자 19mm 밀입도 가열 아스팔트 혼합물의 마모량이 보통 0.3cm²이상 이 되고 0.2cm²만 되어도 아주 우수한 내 마모재료로 평가되는 점을 고려하면, 0.182cm²라고 하는 수치는 반강성포장재료의 내마모성이 아주 우수하다는 결론에 도달한다.

표 5. 본 신기술시편에 대한 라벨링시험 결과

시험항목	단위	시험결과	비고
라벨링시험의 마모량	cm ²	0.182	두 시편의 평균값

한국도로공사(KOLAS 인증기관) 시험성적서



8. 새 반강성포장의 핵심재료로서 상온절삭 페아스콘의 사용가능성

새로운 반강성포장에 있어서 유제와 시멘트가 페아스콘입자를 결합하는 바인더 역할을 담당하고, 페아스콘에 포함된 아스팔트는 배합설계의 핵심요소가 아니다. 그러나 페아스콘입자의 크기와 분포도는 배합설계에 영향을 미치는 인자이다. 서울특별시에서 의뢰하여 인천대학교의 남 영국 교수팀(2000)²이 연구한 보고서 "페아스팔트 콘크리트 재활용 실용화 방안 연구"를 참조하면, 서울시 5개의 다른 지역으로부터 수거된 각기 다른 상온절삭 페아스팔트 콘크리트의 골재입도는 국내 표층의 해당 규정을 대부분 만족하는 것으로 보고하고 있다. 따라서 모든 절삭된 페아스콘은 수거된 장소에 관계없이, 일일이 골재크기와 분포도를 계량하여 동일한 골재크기가 되도록 수정하지 않고 그대로 사용하더라도, 입도분포에 관한한 별반 문제가 없는 것으로 사료된다.

상기 주장을 뒷받침하기 위하여, 서울시 3곳 (서부, 남부, 강서도로 사업소), 인천 1곳 (인천시 종합건설본부), 그리고 수원시 3곳 (장안, 권선, 팔달구청)에서 무작위로 절삭 페아스콘을 수집하여, 유제와 시멘트, 그리고 채움재를 넣고 마샬공시체를 만들었다. 아래 그림 4는 골재크기와 아스팔트 함량을 전혀 고려하지 않고, 공시체무게와 시멘트와 유제 배합비만을 일정하게 하여 만든 시편을 충분히 경화시킨 후에 마샬시험을 실시한 결과이다. 그림 4에서 볼 수 있듯이, 7곳 모두 마샬안정도 값이 2200-3100 kgf 사이에 나타나 표층이나 기층의 강도를 확보하는 데 큰 어려움이 없고, 상온절삭 페아스콘 시료를 채취한 장소에 상관없이 비교적 균일 값을 보여주고 있다. 이러한 결과는 앞서의 주장을 설득력 있게 만든다.

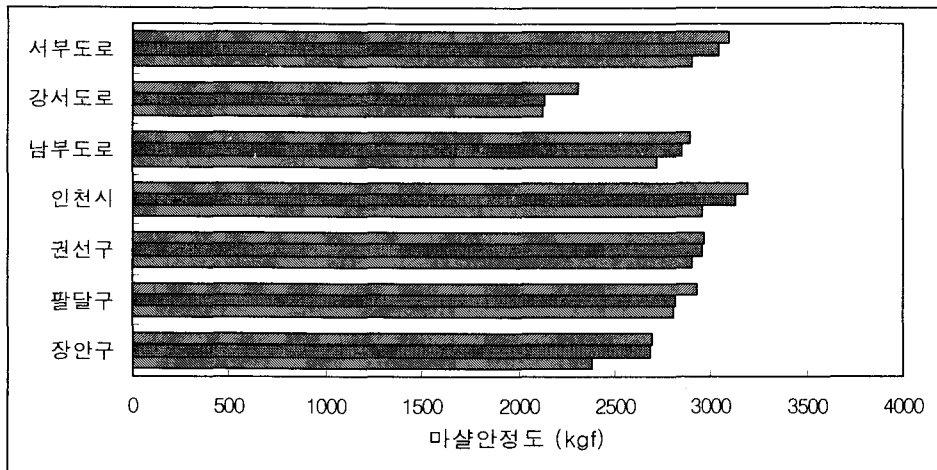


그림 4. 지역별 상온절삭 페아스콘의 마샬안정도 값(골재크기 차이)

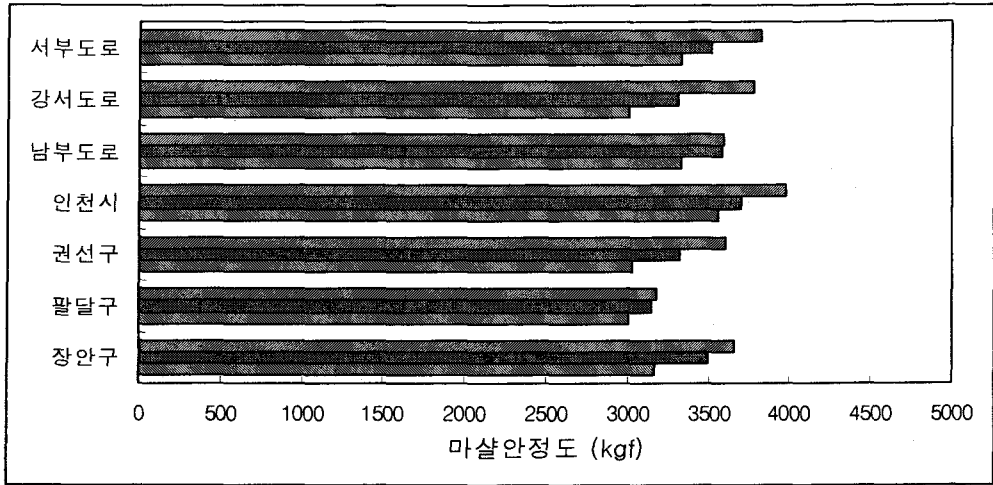


그림 5. 상온절삭 페아스콘의 마찰안정도 값 (골재크기 동일)

여기서 주의할 점은 마살공시체 하나를 만드는 데 들어가는 페아스콘 골재(1200그램)는 계량하지 않을 경우 재료의 불균일 때문에 때때로 상당한 편차를 보일 수 있으나, 많은 양의 페아스콘을 사용하여 도로에 포설할 경우에는 부분적으로는 불균일하나 전체적으로 골재크기의 차이가 심하지 않다. 그러나 시공 시에 가능하면 골재분리가 일어나지 않도록 주의해야 할 것이다.

상기 실험과는 달리, 골재크기를 표 1과 같이 모두 동일하게 하고 7지역의 마살공시체를 각기 3개씩 만들어 현대건설기술연구소에 마살시험을 의뢰하였다. 그 측정결과는 그림 5에 나타나있다. 그림 5는 각 지역에서 수집된 상온절삭 페아스콘의 골재크기와 분포도를 거의 동일하게 두었을 때 마살안정도 값이 지역에 관계없이 모두 3100~3800kgf 사이를 나타내며, 서로 간의 차이는 미미하다. 이는 페아스콘입자의 크기와 분포도가 물성에 다소 영향을 미치는 것은 사실이지만, 그 영향력이 포장공용성의 기준 내에 있음을 말하고 있다. 따라서 상온절삭 페아스콘을 체가름하지 않고 그대로 사용하면 지역에 따라 페아스콘 입자크기와 분포도에 다소 차이가 있음으로 하여 물성변화는 불가피하지만, 포장 공용성 측면을 고려한 공학적인 설계에 있어서는 크게 문제가 되지 않는다. 즉, 수거한 지역에 관계없이 상온절삭 페아스콘을 그대로 반강성포장 재료로 사용해도 무방하다 할 수 있다. 이러한 결론은 시공공정을 단순화하여 인건비와 시공비용을 절감하는 획기적인 요인이 된다. 본 연구의 최종결론은 새로운 반강성포장의 배합설계에 있어서 신규골재나 아스팔트가 불필요하며, 상온절삭 페아스콘을 수거하는 대로 포장혼합물 생산에 즉시 사용할 수 있다는 것이다.

9. 수침 마살시험

물에 의한 포장파손을 시험하기 위하여 본 반강성포장의 배합설계에 의해, 모두 5개의 시편을 만들어 3개는 일반 마살시험 (시험 전 60°C의 항온수조에서 30분간 수침)을 하였고, 나머지 2개는 수침 마살시험 (시험 전 60°C의 항온수조에서 48시간 수침)에 사용하여 그 측정 데이터를 그림 6에 표시하였다.



이 그림에는 일정량의 채움재를 섞은 공시체에 대한 실험데이터도 포함되어 있다.

그림 6에서 보듯이, 두 마찰시험을 비교한 결과 안정도 값에 거의 아무런 차이점도 발견되지 않는다. 즉, 새로 개발된 반강성포장 혼합물은 물에 오랫동안 노출되어도 전혀 강도에 손상이 오지 않는 것으로 보아, 일단 경화가 완료되면 물의 영향을 거의 받지 않음을 시사한다.

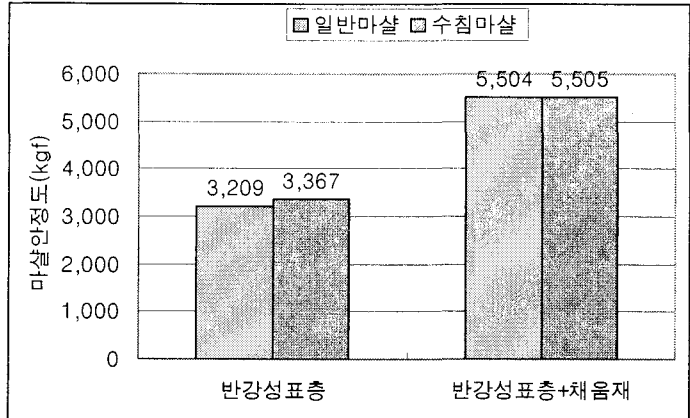


그림 6. 새 반강성포장의 일반마찰과 수침마찰시험의 비교

10. 동결융해시험

포장의 표층은 동절기 표면으로부터 수분이 침투되어 동결융해로 반복 체적변화가 일어난다. 이러한 체적변화로 인해 포장의 손상이 가속화되어 포장이 쉽게 파괴되곤 한다. 새 반강성포장 재료가 동결융해작용에 얼마나 안전한 지 알아보기 위하여 앞의 마찰시험과 같은 공시체를 두개 만들어 충분히 양생시킨 다음에 동결융해 시험을 수행하였다. 이 시험은 먼저 수중에 24시간 담구었다가 꺼내어 비닐로 포장하여 완전히 밀폐한 후에 동결융해시험기에 넣어 10 Cycle을 반복하였다. 1 Cycle은 24시간으로 동결 12시간(-17°C)과 융해 12시간(20°C) 이었다. 반복 동결융해 처리가 끝난 후, 이 공시체에 대해 통상의 마찰시험을 수행하였고, 그 결과를 일반 마찰시험 데이터와 비교하기 위해 아래 표 6에 나타내었다.

표 6. 본 신기술 아스콘의 동결·융해 잔류안정도 값 (10 Cycle 후)

반강성 표층 마찰 안정도				동결·융해 마찰 안정도 (10회 반복)				잔류안정도 (%)
시험개수	단 위	결과 값	평균값	시험개수	단위	결과 값	평균값	
표층-1	kgf(kN)	3,134(30.7)	3,209 (31.4)	표층-1	kgf (kN)	2,472 (24.2)	2,403 (23.5)	75
표층-2		3,193(31.3)		표층-2		2,334 (22.9)		
표층-3		3,301(32.3)						

표 6에 나타난 바와 같이, 10 Cycle 후에 본래의 마찰안정도 값과 비교하면 다소 그 값이 감소하였지만, 여전히 주행차량의 하중을 견딜만한 우수한 마찰안정도 값을 보유하고 있음을 알 수 있다. 따라서 동결융해 영향도 반강성포장의 공용성에 큰 손상을 주지 않는다고 결론내릴 수 있다.



11. 결 론

이상의 포장공용성 시험결과를 종합해보면, 본 회사가 개발한 새로운 반강성포장은 소성변형에 월등하게 강하고, 내 마모성도 우수하고, 피로균열에도 문제가 적고, 수분의 영향도 전혀 안 받고, 환경 친화적이고, 내구성이 있고, 그리고 경제적인 새로운 포장개발에 성공했다고 믿어지며, 제품으로서의 전망 또한 밝은 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 허정도, "페아스콘을 활용한 반강성포장용 조성물과 포장시공방법," 특허 제 10-0599492호, 한국특허청, 2006.
2. 남영국 외, "페아스팔트 콘크리트 재활용 실용화 방안 연구", 서울특별시 연구보고서, 2000.