

새로운 반강성포장의 특성 - II

Characteristics of A New Semi-Rigid Pavement - II

허 정 도* · 김 태 형** 박 만 희***

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. 역학적 특성 면에서는 기존 반강성포장과 유사하나 재료와 시공방법에서 훨씬 차이가 있다. 새 반강성포장의 특성에 대해서 좀 더 자세하게 연구가 이루어져야 실제 현장에 적용이 가능할 것으로 사료되어 이에 대한 연구를 심도 있게 수행하였다.

2. 개발 유제와 기존 RSC-4 유화 아스팔트와의 비교

본 실험에 사용된 페 아스팔트 콘크리트는 상온 절삭에 의해 얻어진 것으로 이 재료를 채 가름 하여 아래 표 1과 같은 입도분포를 가진 페아스콘을 준비했다.

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 %

공시체 1개 당 1200그램이 되도록 페아스콘(표 1), 시멘트, 채움재 그리고 유제를 중량비로 적정량 계량하여 상온 혼합기에 함께 투입하고 잘 혼합한다. 이 혼합물을 공시체몰드에 넣은 후 마살다짐기로 양면다짐 50회를 행한다. 상온 반강성포장을 위한 공시체제작은 이로서 완료된다. 그러나 경화시간을 단축하기 위한 목적으로 다짐 실시 후 재가열과 재다짐을 할 경우는 다음 추가공정이 삽입된다. 130°C 오븐에 넣고 30분간 가열하여 건조시킨 후, 윗면만 25회 재다짐한다. 이렇게 공시체를 각각 제작하고 나서 18시간동안 경화시켜

* 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)

강도를 형성하게 만든다. 그 후, 공시체를 몰드에서 탈형하여 60°C 항온수조에 30분간 수침시키고 꺼내어, 마찰측정시험을 하여 마찰안정도 값을 구한다. 먼저 상온재생포장 실험결과를 알아보고, 그 후에 재가열과 재다짐의 영향에 대해 알아보기로 하자.

개발된 유제양은 전체 고흥분(페아스팔트+시멘트)의 5%로, 기존 RSC-4 유화아스팔트는 전체 고흥분(페아스팔트+시멘트)의 8%로 고정시킨 후, 페아스콘과 시멘트 함량비를 변경시켜 가며 마찰 시험을 만들어 안정도 값을 각각 측정하였다. 이 시험은, 첫째는 시멘트 함량이 공시체강도에 미치는 영향을, 둘째는 개발 유제와 기존 RSC-4 중 어느 재료가 강도 형성에 효율적인가를 알아보기 위해서다. 여기서 개발 유제함량은 5%로, RSC-4는 8%로 고정시킨 이유는 이들 함량에서 안정적인 공시체가 만들어 지기 때문이다. 그림 1은 이렇게 측정한 마찰안정도 데이터를 도표로 나타낸 것이다.

그림 1에서 보듯이 개발 유화제가 기존의 RSC-4 보다 마찰 안정도 값이 약 두 배 정도 큼을 알 수 있다. 그리고 개발 유화제의 경우, 시멘트 함량이 18 중량%가 되면, 본 실험에 사용한 마찰 시험기의 최대 측정치인 1800 kgf에 도달함으로 그 이상에서는 모두 1800 kgf로 나타나지만, 기존의 RSC-4 유화제는 아무리 시멘트 함량을 높여도 일정 값 이상을 기대하기란 어렵다.

상기 결과는 개발 유제가 역학강도 면에서 RSC-4 보다 훨씬 우수함을 시사하고 있다. 또한 전반적으로 시멘트 함량이 많아질수록 공시체의 마찰 안정도 값도 증가하는 결과를 보이지만, 시멘트 함량이 많아지는 것에 비례하여 재료비용도 비싸지므로, 재료를 배합할 때 도로사정에 알맞게 적정량으로 제한할 필요가 있다.

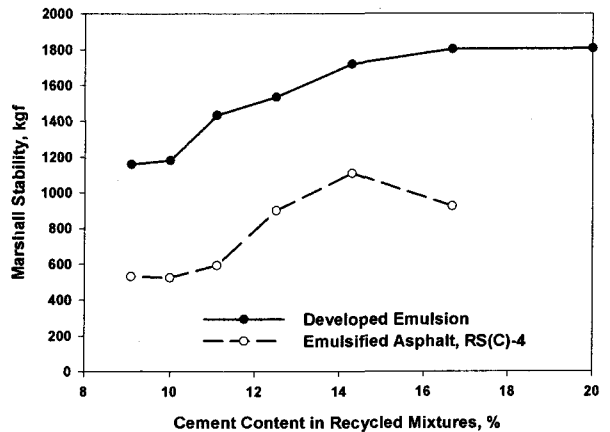


그림 1. 에멀전 종류와 마찰안정도

3. 유화제 함량의 영향

개발 유제 함량이 재료강도에 미치는 영향을 조사하기 위하여 페아스콘과 시멘트의 비율을 일정하게 고정시키고, 유제 함량을 전체 고흥분의 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6, 7 중량%로 변화해 가며 각각 해당하는 공시체를 만들어 마찰 안정도 시험을 수행하였다. 시험결과는 그림 2에 나타나 있다.

그림 2에서 보듯이 유제양이 적을 때는 혼합물 속의 고흥분이완전하게 피복되지 않아 안정도 값이 감소하는 경향을 보이지만, 유제 양이 많을 때는 수분증발을 위한 경화시간이 필요할

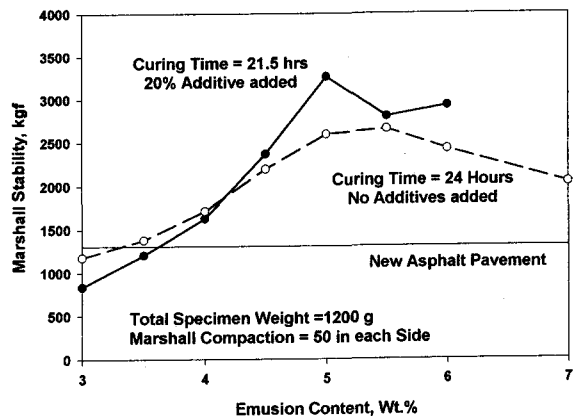


그림 2. 마찰안정도와 최적 에멀전함량



뿐만 아니라 혼합물 내에 유기물질이 상대적으로 증가함으로 그 결과 안정도 값은 감소한다고 볼 수 있다. 따라서 주어진 페아스콘과 시멘트 함량에 최적인 유제 양이 존재하며 이 조건에서 마찰안정도 값이 최대치를 나타내게 된다.

이러한 원리가 최적 유제함량을 결정하는 데 적용된다. 그림 2에서 보듯이 경화시간이 24시간일 때에 5.5 중량%의 유제 함량을 사용하면 마찰 안정도 값이 최대치가 됨을 볼 수 있다. 그러나 실제로 이 함량은 경화시간이 24시간 일 때의 조건이며 경화시간이 달라지면 마찰 안정도 값의 최대치도 약간 변할 수 있음을 유의하기 바란다.

또 다른 하나의 예로서, 20%의 채움재를 혼합물에 넣었을 때의 최대 안정도 값은 그림 2에서 볼 수 있듯이 유화제 함량이 5중량% (21.5시간 경화한 경우)에서 발생한다. 따라서 실제로 현장에서 페아스콘재생포장을 위한 유제함량은 보통 5-6 중량%를 사용하는 것이 바람직하다고 사료된다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 일반 신규아스팔트포장의 경우 마찰안정도 값이 1200 kgf 전후인 점을 감안할 때, 새로운 반강성포장의 마찰안정도 값은 2500kgf을 상회하며 이 수치는 새로운 반강성포장의 우수한 역학적 강도를 대변하고 있다.

4. 경화시간에 따른 마찰 안정도값의 변화

경화시간이 마찰 안정도 값에 어떤 영향을 주는가하는 것은 포장시공 후의조기 교통개방과 관련하여 아주 중요하다. 경화시간은 공시체 재료를 구성하는 유제나 시멘트의 함량에 따라 변화한다고 관측되지만 여기서는 페아스콘, 시멘트, 유제를 혼합하여 재생혼합물을 만들었다. 공시체 제작 시 양면을 50회 다짐한 후, 경화시간을 아래와 같이 달리해가며 경화시킨 후 몰드에서 탈형하였다. 그 후 60°C에서 30분간 수침시키고 나서, 마찰 시험을 실시하여 안정도 값을 구하였다. 실험에 적용한 경화시간은 3, 6, 10, 16, 24, 30, 38, 48, 62, 72, 96, 114 시간이다.

상기 경화시간에 대한 실험데이터는 그림 3에 나타나 있다. 그림 3은 마찰 안정도가 경화시간의 함수임을 잘 보여준다. 즉, 본 반강성포장의 큰 특징 중의 하나는 경화시간에 따라 포장강도가 크게 증가한다는 것이다. 이 그림에 의하면, 경화시간이 36시간 이내에 급격히 상승하여 경화가 대부분 완성되는 것을 알 수 있다. 만약 마찰 안정도 값이 1200kgf 이상이 되면 교통을 개방해도 무난하다고 가정한다면, 그림 3에서 만나질 (약 10 시간)이 필요하다는 결론에 이르며 이는 일반 신규가열 아스팔트포장의 경우에도 교통을 개방하기 위하여 고온에서 40°C 이하로 온도를 냉각하는 데 이 정도의 시간이 걸림을 상기한다면 그렇게 오래 걸리는 경화시간은 아니다. 또한 상기 경화시간은 기존의 반강성포장이 경화하기 위해 하루정도 걸리는 것에 비하면, 어느 정도의 경화시간이 단축된다 할 수 있다. 또한 신규가열아스팔트포장의 마찰안정도값이 1000-1200 kgf 인 점에 비하여, 경화 후의 새로운 반강성포장의 값은 3500 kgf에 달하므로 상당한 강도향상을 가져온다 하겠다.

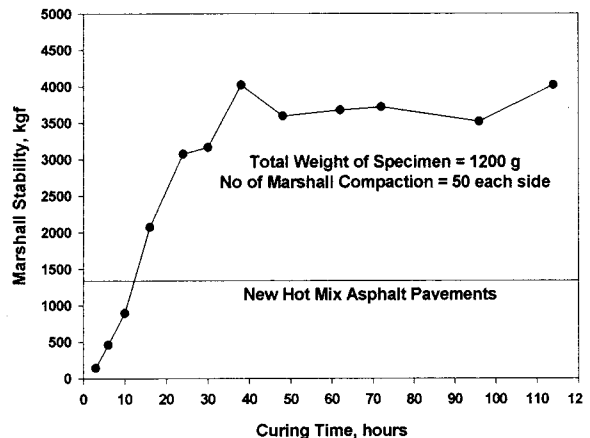


그림 3. 경화시간과 마찰안정도

5. 다짐의 영향

새로운 반강성포장 혼합물의 다짐영향을 알아보기 위하여, 혼합물 1200 그램을 마샬몰드에 넣고 마샬다짐 햄머로 1, 2, 4, 6, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80, 100 회씩 한면에 다짐을 실시하고 다짐 후에 각 다짐에 해당하는 시편높이를 측정하였다. 3회 반복하여 동일한 시험을 실시하고, 얻어진 데이터를 그림 4에 나타내었다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 80회에 이를 때까지 급격한 다짐이 이루어지고, 그 후 완만하지만 여전히 다짐의 영향이 지속되고 있다.

이러한 다짐영향이 마샬안정도에 미치는 효과를 알아보기 위하여, 혼합시료 1200 그램을 준비하여 각기 마샬 몰드에 넣고 20, 30, 40, 50, 60, 75, 100회 양면 다짐을 실시하였다. 24시간 상온에서 경화시킨 후, 탈형하여 60°C에서 30분간 수침한 후에 꺼내어 마샬시험을 수행하였다. 그 결과는 그림 5에 전시하였다.

그림 5는 60회 양면다짐 때까지는 계속적으로 마샬안정도값이 증가함을 보여주고 있다. 이 60회에 해당하는 값은 일반 신규아스팔트혼합물의 50회 양면에 비하여 상대적으로 전단응력이 크다는 의미이며, 따라서 최대이론밀도의 95%에 해당하는 높은 밀도를 보장받기 위해서는 이 혼합물의 다짐 시에 비교적 중량이 큰 다짐롤러를 사용할 필요가 있음을 시사하고 있다.

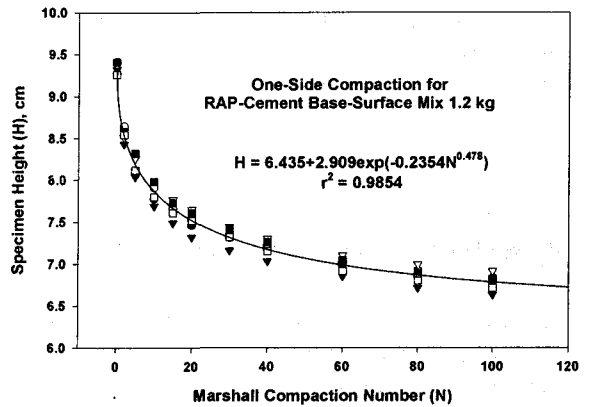


그림 4. 다짐회수와 시편높이

6. 반강성포장 시공 후의 표면 온도상승과 차량하중에 의한 다짐영향

시공 후 반강성포장은 여름철 기온상승으로 포장온도가 높아지고, 또한 차량의 빈번한 주행으로 인하여 일부 다짐도 계속된다. 이러한 효과를 알아보기 위하여 다음 실험을 수행하였다.

페 아스팔트와 시멘트 함량비율이 다른 세 혼합물을 준비하고, 이들 혼합물에 개발유제와 RSC-4를 각각 4 중량% 씩 주입, 혼합하여 반강성포장 혼합물을 제조하였다. 이 혼합물 1200 그램을 마샬몰드에 넣고 각각 해당 공시체를 만들고 다음 실험을 행하였다.

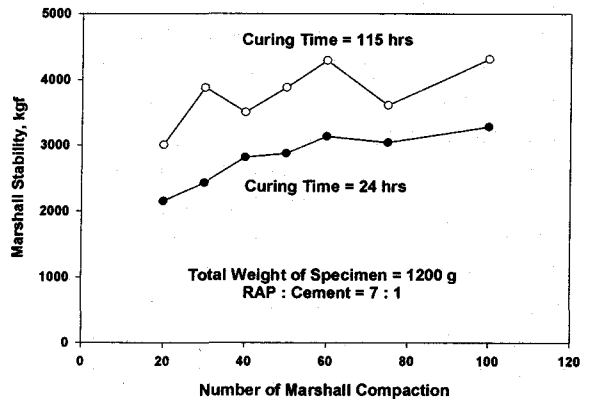


그림 5. 마샬다짐회수와 마샬안정도

(i) 가열과 재다짐 둘 다 실시

양면 50회씩 다짐한 후, 오븐(130°C)에 넣고 30분간 가열한 후 윗면만 25회 다짐함.

(ii) 가열만 하고 재다짐 안 함

양면 50회씩 다짐 후, 오븐(130°C)에 넣고 30분간 가열하고 재다짐은 생략.



(iii) 가열과 재다짐 둘 다 안 함

양면 50회씩 다짐한 후, 가열과 재다짐은 생략함.

위 실험을 거친 후, 각 공시체 마다 18시간의 경화시간을 부여하고, 60°C에서 30분간 수침시킨 다음, 마찰 시험을 실시하여 각 해당 안정도 값을 구하였다. 이들 데이터는 그림 6에 나타내었다. 그림 6에서 보듯이, 가열과 재다짐 실시, 가열만 실시, 그리고 가열도 다짐도 안 한 순서대로 각 공시체의 안정도 값이 작아진다. 이러한 결과는 포장경화가 완전히 이루어지지 않은 상태에서는 가열에 의해 경화가 더욱 진행될 수 있으며, 차량주행에 의한 다짐도 경화에 도움을 줄 수 있음을 시사하고 있다. 후자는 시공 후 바로 차량을 통과시켜도 경화가 계속 진행될 수 있음을 보여준다 하겠다. 그러나 시공 후 바로 차량개방을 하면 포장전면에 균일다짐이 이루어지지 않고 차량통행부분만 다짐이 되어 불 균일 다짐으로 인한 균열발생의 소지가 있음으로 충분한 경화가 이루어지기 전에는 차량통행을 피하는 것이 바람직하다. 가열은 골재표면의 아스팔트를 녹여서 포장물질 구성요소 간에 접착력을 향상시키는 역할도 할 수 있을 것으로 예측된다. 또한 그림 6은 개발 유제가 RSC-4 보다 높은 안정도 값을 나타내고 있음을 다시 확인시켜 준다.

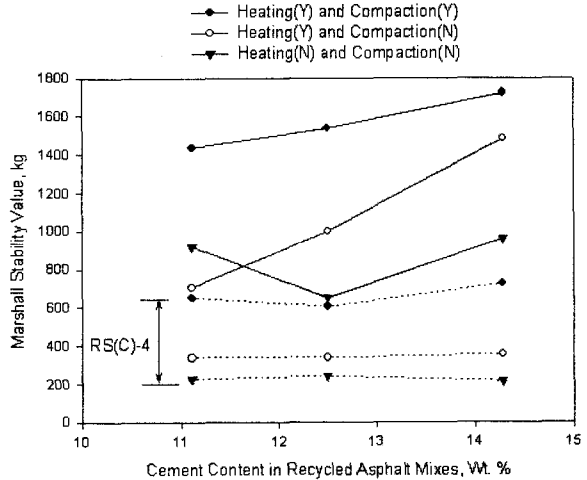


그림 6. 가열과 재다짐의 영향

향상시키는 역할도 할 수 있을 것으로 예측된다. 또한 그림 6은 개발 유제가 RSC-4 보다 높은 안정도 값을 나타내고 있음을 다시 확인시켜 준다.

7. 가열과 재다짐에 의한 경화시간의 영향

가열과 재다짐을 실시할 경우에 경화시간에 따른 마찰안정도의 변화를 알아보기 위한 실험을 수행하였다. 위의 예에서처럼 새로운 반강성포장 혼합물을 제작하고 양면 50회 다짐한 후, 130°C 오븐에서 30분간 가열 건조하였다. 오븐에서 꺼낸 후 한 면에만 25회 다짐을 한 후, 경화시간을 아래와 같이 달리해가며 경화시킨 후 몰드에서 탈형하였다. 그 후 60°C에서 30분간 수침시키고 나서, 마찰 시험을 실시하여 안정도 값을 구하였다. 실험에 적용한 경화시간은 1, 3, 6, 8, 16, 24, 30, 39, 48, 55, 78, 96 시간이다.

경화시간에 대한 실험은 세 다른 조건에서 수행하였다 첫째, 130°C 오븐에서 30분간 가열 건조하고 꺼내어 한 면에 25회 재다짐을 한 경우, 둘째, 130°C 오븐에서 30분간 가열 건조만 한 경우, 셋째, 가열건조는 물론 재다짐도 하지 않은 경우이다. 이들 세 경우에 대한 경화시간데이터는 그림 11에 나타내었다.

그림 7은 마찰 안정도가 경화시간의 함수임을 잘 보여준다. 이 그림에 의하면, 세 경우 모두 경화시간이 하루이내에 급격히 상승함을 알 수 있다. 만약 마찰 안정도 값이 1400 그램 이상이 되면 교통개방을 해도 무난하다고 가정한다면, 그림 7을 참조하여 가열과 재다짐을 행한 경우는 18 시간, 가열만 행한 경우는 36 시간, 그리고 가열과 재다짐 둘 다 안 한 경우는 48 시간이 필요하다는 결론에 이른다.

중요한 점은 가열과 재다짐을 했던, 안 했던 상관없이 약 48 시간이 경과하면, 모든 공시체가 충분한 강도를 지닌 재료가 된다는 점이다.

결론적으로 말하면, 가열과 재다짐은 경화시간을 상당히 단축시키는 효과가 있다. 그러나 가열과 재다짐을 하지 않아도, 시간이 다소 걸리긴 하지만 강도를 확보하는 데는 아무런 문제가 없다고 결론지을 수 있다. 따라서 급속한 경화가 필요하지 않는 경우에는 가열과 재다짐을 하지 않아도 무방하다.

8. 결론

페아스콘을 활용한 새로운 반강성포장을 개발하고 이를 기존의 반강성포장과 비교하여 소개하였다. 전자는 후자에 비하여 포장비용이 저렴하고, 시공이 간편하고, 시공기간이 단축되며, 환경친화적인 공법으로 판단된다. 새로운 반강성포장의 물성실험을 통하여 그 역학적 특성을 알아보았다.

1. 새 반강성포장의 역학강도 증진에 개발 유제가 RSC-4 유화아스팔트 보다 훨씬 효과적이다.
2. 새로운 반강성포장의 혼합물 배합설계에도 최적 유제함량이 존재하며, 이 값에서 최대 마찰안정도 값이 얻어진다. 본 실험을 통하여 이 값을 어떻게 구하는 지를 살펴보았다.
3. 페아스콘, 시멘트, 유제 이외에도 적정 첨가제를 추가함으로써 역학강도를 더욱 향상시킬 수 있었다.
4. 새로운 반강성포장은 시공 후 경화시간의 경과에 따라 역학강도가 서서히 증가하는 데, 이는 시멘트의 경화와 관련이 있다. 일반 포틀랜드 시멘트의 경우 완전경화시간이 약 3일이 걸리지만, 시공 후 10-14시간이 지나서 교통을 개방해도 이미 형성된 역학강도가 차량하중을 충분히 견딜 수 있고 교통개방 후에도 계속 경화가 진행됨으로 최종 물성형성에 아무런 지장을 초래하지 않는다.
5. 새로운 반강성포장 혼합물을 마샬몰드에 넣고 한 면만 100회에 걸쳐 마샬다짐을 해도 다짐이 계속됨을 알 수 있다. 이는 중량이 큰 다짐롤러를 사용해야 함을 의미한다. 비록 100회에 완전한 다짐이 이루어지지 않아도, 약 60회가 되면 (약 6.5cm의 경우) 다짐에 의한 역학강도상승은 거의 최대점에 도달한다.
6. 시공 후 경화의 진행 상태에서 가열이나 재다짐은 경화를 더욱 촉진시킨다. 이는 일정한 역학강도의 형성 후 포장을 교통에 개방시켜도 공용 중에 계속 경화가 진행되므로 문제가 되지 않음을 시사한다.

참고문헌

1. 허정도, "페아스콘을 활용한 반강성포장용 조성물과 포장시공방법," 특허 제 10-0599492호, 한국특허청, 2006.

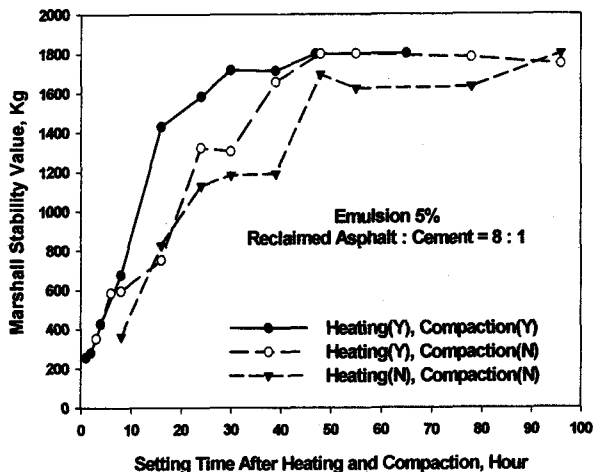


그림 7. 가열과 재다짐의 영향