



환경친화적 페아스팔트활용 공법의 평가

- 폼드아스팔트공법 -

Evaluation of Environmental Friendly Recycled Asphalt Method

- Foamed Asphalt -

박태순*, 김용주**, 백성현***, 김광우****

1. 서 론

폼드아스팔트(foamed asphalt)공법은 1950년대 중반 Iowa State University의 L. H. Csanyi교수에 의해 최초로 개발되었다.2) 최초의 개발목적은 거품을 발생시킨 바인더를 사용하여 골재가 부족한 지역에서 토질 안정화 작업을 위해서 개발되었으며 그후 도로포장에 적용하기 시작하였다. 폼드아스팔트공법은 혼합물의 저장성이 뛰어나고 여러 종류의 골재를 구분없이 사용할 수 있으며 상온유화아스팔트에 비하여 물을 적게 사용하고 유화제를 사용하지 않기 때문에 매우 경제적이다. 가열아스팔트처럼 이산화탄소의 방출이 없기 때문에 환경친화적인 공법이다. 또한 재활용아스팔트에서도 어떤 특별한 분류나 처리없이 폼드아스팔트공법으로 사용이 가능하다. 이러한 여러 장점 때문에 폼드아스팔트공법은 남아프리카, 미국, 일본, 유럽 등 세계각국에서 사용되고 있으며, 최근에는 페아스팔트를 환경친화적으로 사용하기 위하여 재생폼드아스팔트혼합물의 실용화연구가 계속되고 있다. 우리 나라에서도 1990년 초부터 페아스팔트의 재활용을 실시하기 위하여 페아스팔트를 재활용에 노력을 경주하고 있다.

본 연구에서는 아스팔트포장의 보수 및 복구로 인하여 지속적으로 증가하고 있는 페아스팔트를 경제적이고 효율적이며 특히, 환경친화적인 공법으로 재활용이 가능한 폼드아스팔트공법을 국내 실정에 맞게 개발하였으며 배합설계와 간접인장강도시험을 실시하여 재생폼드아스팔트혼합물의 특성을 분석하였다.

* 서울산업대학교 토목공학과 조교수(02-970-6506)

** 서울산업대학교 토목공학과 대학원

*** 강원대학교 농공학과 대학원

**** 강원대학교 농공학과 부교수



2. 폼드아스팔트혼합물의 배합설계절차

2.1 아스팔트바인더의 거품특성 결정(반감기-팽창비)

아스팔트바인더가 거품이 일어나도록 하기 위해서는 바인더의 체적을 증가시켜야 한다. 거품바인더는 적은 양의 물이 가열아스팔트바인더에 추가되어 높은 압력으로 동시에 뽑어져 나오면서 만들어진 것이다. 이렇게 만들어진 거품바인더는 점성이 감소하고 표면적이 증가되어 젖은 골재와 결합하게 된다. 폼드아스팔트의 거품특성은 팽창비(expansion ratio)와 반감기(half-life)로서 그 특성을 나타낸다.²⁾ 팽창비는 아스팔트바인더가 거품을 일으켜 거품이 최대에 도달했을 때의 부피와 발생한 거품이 완전히 소산하여 최저 부피가 되었을 때 거품의 부피비율로 정의할 수 있으며, 식. 1과 같이 나타낼 수 있다.(Vmax: 거품바인더의 최대부피, Vmin: 거품바인더의 최소부피) 반감기는 거품이 발생하여 최대부피에 도달한 시점부터 거품이 절반으로 반감될 때까지의 시간(초)차이로 정의한다. 따라서 팽창비와 반감기를 최적으로 결정하는 작업은 폼드아스팔트에 있어서 매우 중요한 절차이다.

$$Ex = \frac{V_{max}}{V_{min}} \dots\dots\dots (식 . 1)$$

2.2 폼드아스팔트혼합물 배합설계방법 및 설계기준

폼드아스팔트혼합물의 배합설계절차는 미국 및 유럽의 여러국가에서 사용하고 있는 시험방법과 시방을 중심으로 개발되었다. 본 연구에서는 국내의 시험방법이 마샬시험인 점을 고려하여 다짐방법은 마샬시험기를 사용하였으며, 설계기준은 남아프리카공화국의 간접인장강도기준을 사용하였다. 이 배합설계방법은 골재의 최적함수비를 결정하는 절차를 제외하고는 일반가열아스팔트의 절차와 동일하다. 폼드아스팔트혼합물은 마샬다짐방법으로 다져 공시체를 제작하고 60°C의 오븐에서 72시간 양생을 실시한다. 폼드아스팔트혼합물은 간접인장강도시험으로 최적아스팔트를 결정하게 된다. 오스트레일리아

<표. 1> 폼드아스팔트의 설계기준¹⁾

구 분	기 준	
	건 조 상 태	습 윤 상 태
간접인장시험	2.0kg/cm ² 이상 (200KPa이상)	1.0kg/cm ² 이상 (100KPa이상)
M _R 시험	60000kg/cm ² 이상 (6000MPa이상)	15000kg/cm ² 이상 (1500MPa이상)
크리프시험	200kg/cm ² 이상 (20MPa이상)	
피로시험	-	-
휠 트래킹시험	-	-



의 Lancaster(1994)는 폼드아스팔트혼합물의 최적바인더는 반드시 회복탄성계수가 가장 큰 수치로 선정되어야 한다고 추천하였고, Lewis(1998)는 간접인장강도시험을 실시하여 최적아스팔트비를 선정하도록 제안하였다.¹⁾ <표.1>은 남아프리카공화국에서 사용하는 설계기준이다

3. 재생폼드아스팔트혼합물 시험 및 결과

본 연구에서는 재생폼드아스팔트혼합물을 국내 교통량 분류기준인 B, C교통량에 적용을 목표로 정하고 세 종류의 시료를 제작하여 시험을 실시하였다. 세 종류의 시료는 ①보강재가 첨가되지 않은 일반 재생폼드아스팔트혼합물, ②시멘트를 전체 혼합물에 2%를 첨가한 시멘트재생폼드아스팔트, ③2% 시멘트재생폼드아스팔트에 폴리프로플렌(화이버)보강재를 첨가한 재생폼드아스팔트혼합물이다.

3.1 사용재료의 특성

3.1.1 아스팔트 및 골재의 물리적특성

서울시내에서 채취한 페아스팔트의 물리적특성은 절대점도(ASTM D 2171), 침입도(KS M 2252), 회수시험(KS F 2354) 및 입도시험(KS F 2502)을 실시하여 페아스팔트혼합물의 특성을 시험 분석하였다. 그 결과는 <표.2>와 같고, 시료의 채취장소는 신내동과 여러 지역에서 채취하여 혼합한 혼합재료이다.

<표. 2> 페아스팔트의 물리적특성

채취장소	년령	점도(poise)	침입도(1/10mm)	회수아스팔트비(%)
신 내 동	4년	5372	39	4.2
혼 합 주 ¹⁾	미상	4398	41	5.8

3.1.2 신재의 물리적특성

신재의 물리적 특성을 <표.3>에 정리하였다. 시험에 사용한 잔골재의 비중은 2.71, 굵은골재의 비중은 2.64, 아스팔트로는 AP-3를 사용하였다.

<표. 3> 신재의 물리적특성

구 분		
골 재	잔골재 비중	2.71
	굵은골재 비중	2.64
아스팔트	침입도등급 / 성능등급	AP-3 / PG64-22

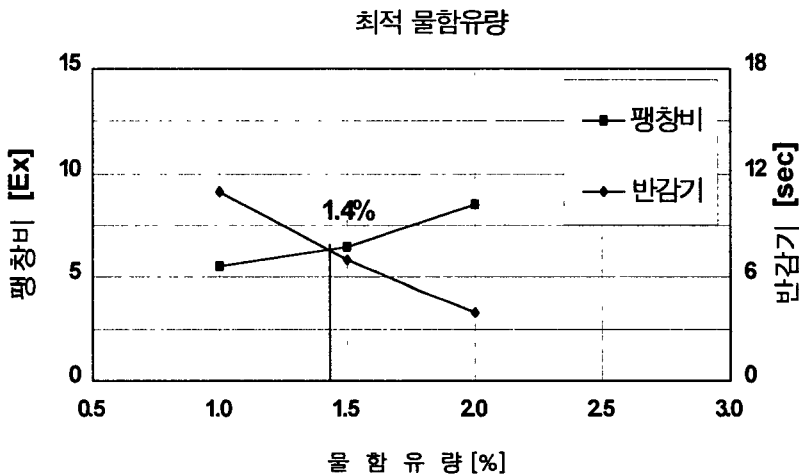


3.1.3 섬유보강재(화이버)

섬유보강재는 아스팔트혼합물의 인장강도와 접착력을 보강하여 내구성이 우수한 폼드아스팔트를 제조할 수 있는 것으로 알려져 있다. 본 연구에 사용한 섬유보강재는 미국의 폴리프로필렌(Polypropylene)계열의 제품으로 높은 강도와 강성계수를 가지고 있기 때문에 상온용으로 주로 사용되는 화이버이다. 화이버는 아스팔트량의 0.15%를 사용하였으며, 혼합 중에 믹서에 투입하였다.

3.2 아스팔트의 거품특성결정

원아스팔트를 사용하여 온도 180°C, 압력 6~8bar의 조건하에서 함수비를 변화시켜 팽창비와 반감기가 최적인 상태의 최적함수비를 결정한 결과, 그 값은 1.4%로 결정되었다. [그림. 1 참조]



[그림. 1] 원아스팔트의 최적함수비

3.3 골재와 페아스팔트의 함수비-밀도관계 결정

3.3.1 골재의 입도

배합설계에서는 입도시험결과를 참고하여 폐재를 가장 많이 활용할 수 있는 입도로 정하였다. 합성 입도는 국내규정인 BB-2를 사용하였으며, 합성입도의 신·구재비율은 신내동시료를 13%:87%로 혼합 시료는 19 %:81%로 결정하였다. 이 외에도 신·구재비율이 30%:70%과 50%:50%인 경우에 대한 시험도 실시하여 폐재사용량에 따른 혼합물의 특성을 비교 검토하였다.



3.3.2 합성골재의 최적함수비 결정

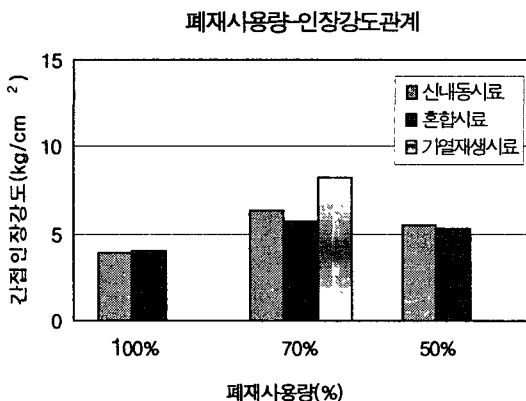
페아스팔트와 신골재가 폼드아스팔트와 결합할 때 가장 적합한 수분을 취하여 최적의 다짐을 얻어 내도록 토질에서 사용하는 흙의 다짐시험(KS F 2312)을 이용하여 최적함수비를 구하였다.1) 시험결과 신내동시료와 혼합시료의 최적함수비는 각각 6.9%와 5.9%로 결정되었다.

3.4 혼합물제작

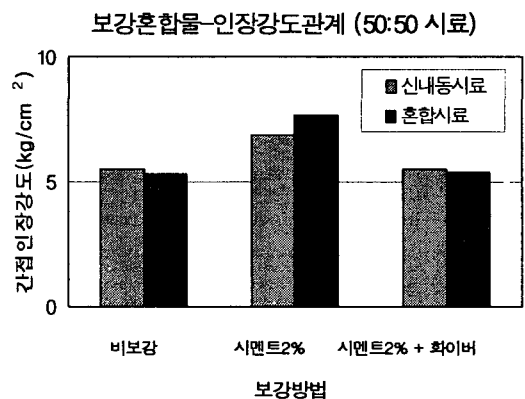
5Kg골재를 사용하여 거품바인더함유량을 1%씩 증가시켜 가면서 5개의 배치를 제작하였다. 마살다 집기를 사용하여 양면 75회 다짐하여 직경 100mm공시체를 제작하였다. 제작된 공시체는 60°C의 오븐에서 72시간 양생을 실시하였다.1)

4. 간접인장강도시험결과 및 분석

폼드재생아스팔트혼합물의 간접인장강도시험은 건조 및 습윤상태의 2가지 조건으로 나누어 실시하였다. [그림.2]은 폐재사용량에 따른 간접인장강도를 비교한 결과이다. 폼드재생아스팔트의 간접인장강도를 비교하기 위해서 폐재사용량이 70%일 때 가열재생아스팔트의 간접인장강도를 비교하였다. 폐재사용량이 감소함에 따라 간접인장강도는 약 1~2kg/cm²상승하였으며, 폐재사용량과 간접인장강도는 크게 상관관계를 나타내지 않았다. [그림.3]는 신·구재비율로 50:50시료의 폼드아스팔트보강을 실시한 것으로 시멘트 2%보강폼드아스팔트혼합물의 간접인장강도가 가장 높게 나타났으며 화이버보강은 간접인장강도 향상에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.



[그림. 2] 폐재사용량에 따른 간접인장강도결과



[그림. 3] 보강혼합물의 간접인장강도비교



6. 결 론

폼드아스팔트공법을 이용하여 폐재사용량을 변화시켜 재생폼드아스팔트혼합물을 제작하여 간접인장 시험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- ① 폐재사용량에 따른 간접인장강도시험결과 폐재사용량이 50%에 비하여 70%일 때 간접인장강도가 크게 나타났으며, 그 수치의 차이는 크지 않았다.
- ② 신·구재료 50:50혼합물의 경우 시멘트를 2%보강함으로써 간접인장강도를 상승시킬 수 있었으며, 가열재생아스팔트의 간접인장강도와 비슷한 수준을 나타냈다.
- ③ 화이버의 첨가는 간접인장강도 증가에 영향이 없었으며, 화이버의 사용으로 인한 장점은 발견되지 않았다.

참고문헌

1. Muthen, K. M. (1998) "Foamed Asphalt Mixes Mix Design procedure (1998) CR-98/Draft, CSIR TRANSPORTTEK, South Africa
2. M. Brennen, M. Tie, A. Altschaeffl, and L. E. Wood(1983) "Laboratory Investigation of the use of Foamed Asphalt for Recycled Bituminous Pavements" TRB No. 911, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C. pp.80~103