

승용차 전용 조립식 고가도로를 위한 교면포장 공법 연구

A study on the Bridge Deck Pavements for Passenger Car only Prefabricated Fly-Over Bridge

이현종* · 박희영** · 김광인*** · 김재환****

Lee, Hyun Jong · Park, Hee Young · Kim, Kwang In · Kim, Jae Hwan

1. 서 론

최근 차량의 지속적인 증가로 인하여 극심한 교통 혼잡이 유발되고 있으며, 이로 인하여 막대한 경제적 손실이 초래되고 있다. 2000년 통계청 조사 한국 주요 경제 지표에 따르면 한 해 전국 교통 혼잡비용이 20조에 이르고 있으며 매년 16%씩 상승하는 추세이다. 따라서 도로의 확충 방안으로 용지 보상비와 민원, 공사기간, 교통통제기간 등의 측면에서 고가도로의 건설이 효과적인 방법으로 대두되고 있다. 특히 고가도로의 차량을 국내 차량대수의 71%를 차지하는 승용차로 제한할 경우 사용하중의 경감으로 건설비가 절감되고 상부구조의 경량화로 조립식 공법의 적용이 용이하여 공기 및 교통 통제기간을 단축할 수 있으며, 상당한 교통 혼잡을 해소할 수 있을 것으로 사료된다.

승용차 전용 고가도로를 적용할 때, 최대 허용하중이 크게 제한되므로 기존의 일반적인 교면포장 공법을 적용할 경우 아스팔트 피니쉬와 다짐롤러 등과 같은 건설장비의 중량이 대부분 허용 하중을 초과하기 때문에 시공이 불가능할 것으로 예상된다. 또한 교면포장의 파손이 발생할 경우 유지보수 차량의 중량제한으로 인해 보수작업이 원활하게 수행되기 힘든 문제점이 예상된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 교면포장의 시공방안과 유지보수주기를 증대시킬 수 있는 교면포장 공법에 대한 연구를 수행하였다.

2. 기존 교면포장공법 조사 분석

2.1 교면포장의 구성

일반적인 교면포장의 형식은 그림 1과 같이 일반 또는 개질 아스팔트로 포장층을 구성하고 방수층이나 구스 아스팔트를 적용하여 불투수층을 만들어 침투수로부터 상판을 보호하도록 구성하고 있다.

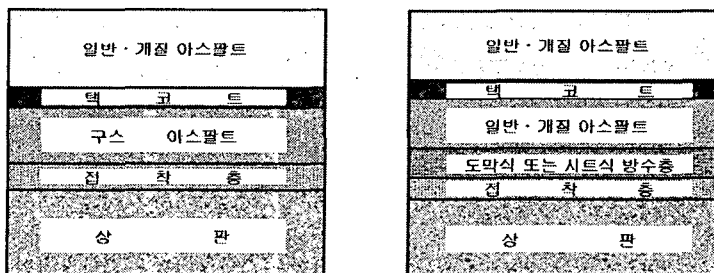


그림 1. 일반적인 교면포장 구성(좌 : 강상판, 우 : 콘크리트상판)

* 세종대학교 토목환경공학과 부교수 · 공학박사 02-3408-3812 (E-mail : hlee@sejong.ac.kr)
 ** 세종대학교 토목환경공학과 석사과정 02-2205-3812 (E-mail : heeyoung2000@hanmail.net)
 *** 세종대학교 토목환경공학과 석사과정 02-2205-3812 (E-mail : ini502@hanmail.net)
 **** 세종대학교 토목환경공학과 석사과정 02-2205-3812 (E-mail : h7012000@hanmail.net)



3. 대안 포장공법의 조사 분석

승용차 전용 고가도로에 기존 교면포장공법을 적용할 경우 예상되는 가장 큰 문제점은 교량의 허용하중이 7.5톤으로 제한된다는 점이다. 따라서 모든 시공 장비는 7.5톤 이내이어야 하고 교량의 한 경간 내에 작업하는 시공 장비의 총 중량 또한 7.5톤 이내이어야 한다. 현재 사용되는 포장재의 시공 장비는 가장 적은 무게의 장비를 조합하더라도 허용하중을 초과할 것으로 예상되며, 또한 가장 적은 무게의 장비 조합으로 시공하더라도 혼합물의 품질관리와 시공에 어려움이 예상된다. 그러므로 허용하중 내에서 시공이 가능한 교면포장의 대안 포장공법에 대하여 조사 분석을 실시하였다.

3.1 대안 교면포장 재료 조사 분석

승용차 전용 고가도로를 위한 교면포장에 사용할 교면포장 재료의 조사 분석을 실시한 결과 유동성이 있어 다짐이 필요없는 구스 아스팔트와 MMA(Methyl Metha Acrylate) 합성 바인더를 교면포장 재료로 결정하였다.

구스 아스팔트로 포장의 하부층을 시공할 경우 표층은 1cm 정도 두께의 슬러리실이나 칩핑(Chipping) 등과 같은 표면처리 공법을 적용하면 포장표면의 미끄럼 저항성 및 평탄성을 확보할 수 있을 것으로 판단되며, 유지보수가 필요한 경우에도 두께 1cm만 절삭하여 재포장을 실시하면 되므로 하부층의 구스 아스팔트 포장은 그대로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

MMA 합성 바인더의 경우 기존의 교면포장보다 뛰어난 경량성과 유연성, 그리고 내구성을 제공하며, 시공 후 빠른 양생으로 시간과 비용을 절감할 수 있으며, 인력으로 충분히 시공이 가능하다는 특징이 있다. 표 1은 구스 아스팔트 및 MMA 합성 바인더의 특징을 나타낸 것이다.

표 1. 구스 아스팔트 및 MMA 합성 바인더의 특징

구스 아스팔트	MMA 합성 바인더
시공 장비 개량 필요	시공 장비 불필요
블투수성	저온에서도 빠른 양생
내구성	시공의 간편성
내마모성	사계절 시공가능
내충격성, 요성	경제적이고 쉬운 유지관리
미끄럼저항성	경량의 재료
접착성	강한 부착성
다짐불필요	상관과의 합성작용
	High mechanical strength

3.2 대안 교면포장 형식 선정

결정된 교면포장 재료를 이용하여 시스템을 구성하여 그림 2와 같이 대안 교면포장 형식을 선정하였다.

- 대안 1 교면포장 : 표면처리 + 구스 아스팔트 + 강상판
- 대안 2 교면포장 : 표면처리 + 구스 아스팔트 + 에폭시 규사 방수층 + FRP
- 대안 3 교면포장 : MMA 합성 바인더 + 강상판
- 대안 4 교면포장 : MMA 합성 바인더 + FRP

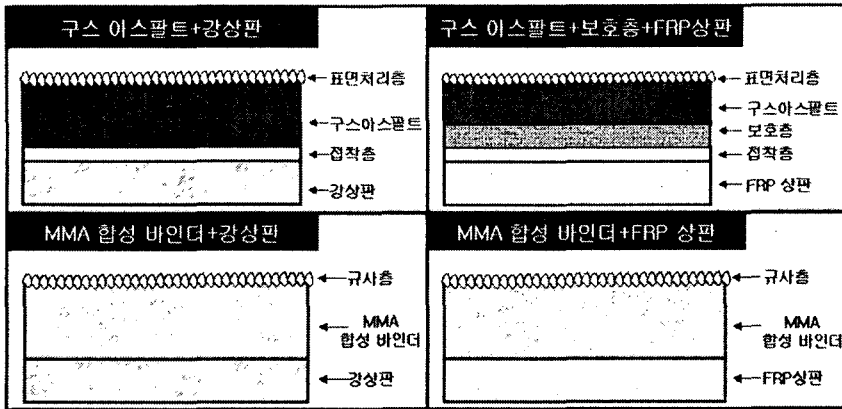


그림 2. 대안 교면포장 공법의 단면 구성

4. 실내 공용성 평가

4.1 휠트래킹 시험

휠트래킹 시험은 고온의 포장 조건하에서 차량하중이 통과함에 따라 발생하는 소성변형을 실내에서 재현하여 평가하는 속성시험으로, 반복주행으로 인한 바퀴패임 깊이의 변화를 측정함으로써 아스팔트 혼합물이 1mm 변형하는데 소요되는 차륜의 통과횟수를 나타내는 동적안정도를 결정한다. 휠트래킹 시험결과는 변형량-시간(재하횟수) 관계곡선에서 변형량이 일정하게 증가하게 되는 45분에서 60분까지의 15분간 주행의 변형량을 이용하여 변형률(RD, mm/min)로 나타내고, 이 변형률을 이용하여 동적안정도를 구할 수 있다.

$$RD(mm/min) = \frac{d_{60} - d_{45}}{15} \quad \text{식 4.1}$$

$$DS(blow/mm) = \frac{1}{RD} \times 42$$

- 여기서, RD = 시험시작으로부터 45분에서 60분 사이의 15분간에 있어 단위시간 당 변형량
- DS = 시험시작으로부터 45분에서 60분 사이의 15분간에 있어 단위 변형량 당 차륜통과횟수
- d₆₀ = 시험시작으로부터 60분에서의 변형량
- d₄₅ = 시험시작으로부터 45분에서의 변형량

본 시험에서는 승용차의 하중을 고려하여 접지압 100%, 50%, 20%의 비율로 시험을 수행하였으며, 구스 아스팔트의 경우 시험 데이터의 신뢰성을 높이기 위해서 동일업체에서 동일하게 생산한 서울 S대교 혼합물과 청계천 K교 혼합물을 사용하였으며, MMA 합성 바인더의 경우 영국 S사의 재료를 이용하여 시험을 수행하였다.

서울 S대교 혼합물과 청계천 K교 혼합물의 휠트래킹 시험 결과 두 혼합물의 동적안정도가 상당히 차이 나는 것을 알 수 있었다. 이것으로 보아 구스 아스팔트는 균일한 품질의 혼합물을 생산하기 어려운 것으로 사료되며, 상대적으로 높은 동적안정도를 보인 서울 S대교의 혼합물도 접지압을 20%까지 감소시켰음에도 불구하고 표층의 동적안정도 기준인 1500회/분을 만족하지 못하였다.

또한, 표면처리가 소성변형 저항성의 향상을 도모할 수 있는지 확인하기 위하여 청계천 K교 혼합물에 칩핑을 실시하여 시험을 수행한 결과 표면처리 시편과 표면처리를 실시하지 않은 일반 시편에서 별다른 차이가 없는 것을 알 수 있었다. 이것으로 보아 표면처리로 소성변형 저항성의 향상을 도모하기 어려울 것으로 사료된다.

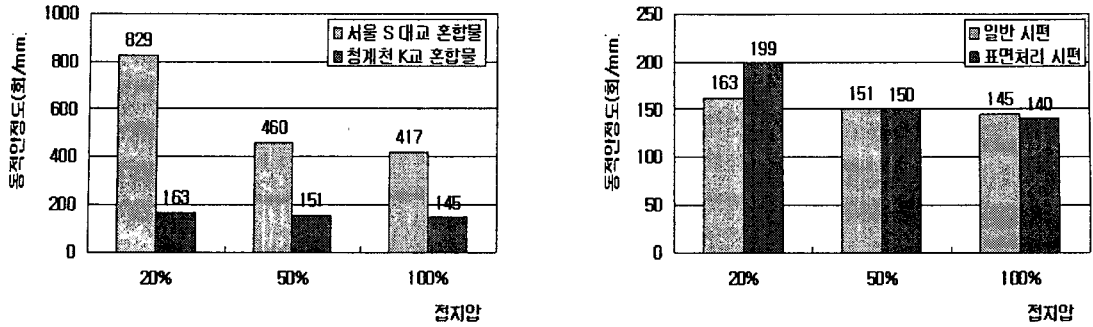


그림 3. 구스 아스팔트의 동적안정도 비교

MMA 합성 바인더의 휠트래킹 시험은 구스 아스팔트와는 달리 접지압 100%에서만 실시하였으며, 총 유효 통과 횟수는 20000회를 실시하였다. 그림 4와 같이 데이터의 수치가 바뀌는 것은 시험장비의 노이즈로 인한 오차이며, 그림 5과 같이 육안 관측에 의해서도 MMA 합성 바인더의 경우 전혀 소성변형(rutting)이 발생하지 않았다. 그러므로 MMA 합성 바인더의 소성변형 저항성이 상당히 우수한 것으로 나타났다.

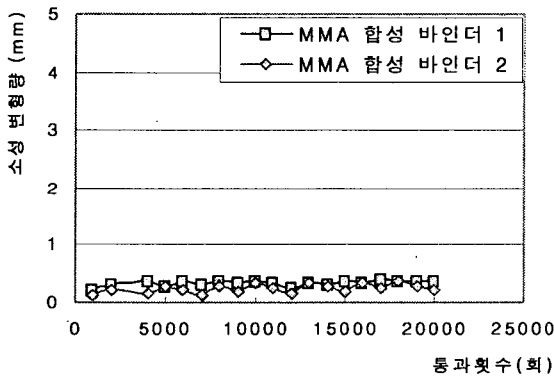


그림 4 MMA 합성 바인더의 동적안정도



그림 5. 휠트래킹 시험 후 시편의 비교

4.2 접착인장강도 시험

접착인장강도 시험을 통해서 교량상판과 아스팔트 혼합물 사이의 상대적인 부착에 대한 역학적 특성을 우리나라의 동절기 평균기온, 하절기 평균기온 그리고 년 평균기온인 -10°C , 20°C , 50°C 에서 평가하였다. 접착인장강도는 식 4.2를 사용하여 산출하였다.

$$\text{접착인장강도}(\text{kgf/cm}^2) = \frac{P}{A} \quad \text{식 4.2}$$

여기서, P = 접착력(kgf)
A = 접착면적(cm^2)

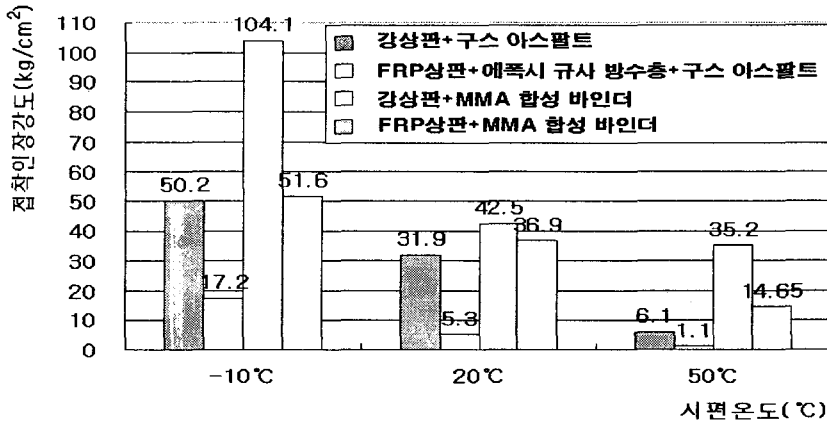


그림 6. 대안 교면포장 공법의 접착인장강도 비교

그림 6과 같이 FRP상판+에폭시 규사 방수층+구스 아스팔트 시편의 경우를 제외하고 모든 시편에서 20°C에서의 KS 기준인 6kgf/cm² 이상 만족하였으며, 특히 강상판+MMA 합성 바인더 시편의 접착인장성능이 매우 뛰어난 것으로 나타났다. 한편 기준을 만족하지 못한 FRP상판+에폭시 규사 방수층+구스 아스팔트 시편은 파괴시 에폭시 규사 방수층과 구스 아스팔트 사이에서 분리된 것으로 보아 에폭시 규사 방수층과 구스 아스팔트와의 접촉면적이 줄어들어 부착성능이 떨어지는 것으로 사료된다.

4.3 저온 휨 시험

혼합물의 균열에 대한 저항성을 평가하기 위하여 -10°C, 0°C, 10°C에서 저온 휨 시험을 실시했다. 파괴시 변형률은 공시체 파괴시의 처짐량을 측정하여 식 4.3을 이용하여 구하고, 파괴시의 휨강도는 공시체 파괴시의 재하하중의 크기를 측정하여 식 4.4를 이용하여 산정하였다.

$$\epsilon = \frac{6hd}{l^2} \tag{식 4.3}$$

- 여기서, ϵ : 파괴시의 변형률
- h : 공시체의 두께(cm)
- d : 파괴시의 처짐량(cm)
- l : 스패길이(cm)

$$\sigma = \frac{3Pl}{2bh^2} \tag{식 4.4}$$

- 여기서, σ : 휨강도(kgf/cm²)
- P : 파괴시 하중(kgf)
- l : 스패길이(cm)
- b : 공시체의 폭(cm)
- h : 공시체의 두께(cm)

그림 7과 같이 MMA 합성 바인더+강상판, MMA 합성 바인더+FRP상판의 휨강도가 상당히 뛰어난 것을

알 수 있다. 반면에 구스 아스팔트와 강상판, 구스 아스팔트와 보호층이 설치된 FRP상판의 경우는 MMA 합성 바인더와 강상판, MMA 합성 바인더와 FRP상판에 비해 휨강도가 현저히 낮은 것을 알 수 있었다. 특히 MMA 합성 바인더+강상판의 경우 상판과 혼합물이 일체거동을 하면서 휨만 발생하고 파괴는 일어나지 않은 것으로 보아 MMA 합성 바인더의 휨 추종성이 매우 뛰어난 것을 알 수 있으며, 휨강도 또한 매우 우수하여 취성파괴의 위험이 적을 것으로 사료된다. 또한 MMA 합성 바인더+FRP상판의 경우 FRP상판이 먼저 파괴되고 이후에 상판의 진동 및 충격에 의해 상판과 혼합물이 분리되면서 혼합물의 파괴가 발생한 것으로 보아 혼합물의 특성보다는 FRP의 강도에 따라 휨강도와 변형률이 상이할 것으로 사료된다.

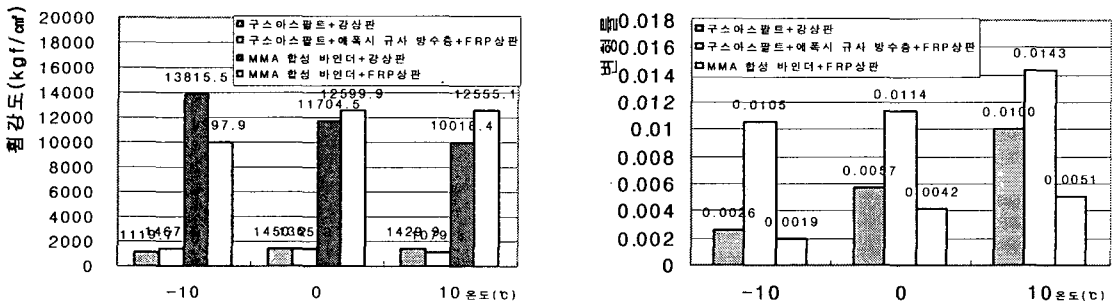


그림 7. 대안 교면포장 공법의 휨강도(좌)와 변형률(우)의 비교

혼합물과 상판의 휨 시험 결과는 혼합물의 재료적 특성에 의한 영향도 있지만 상판의 영향을 많이 받는 것으로 사료되어 혼합물의 재료적 특성을 알아보기 위해 구스 아스팔트와 MMA 합성 바인더만으로 시편을 제작하여 휨 시험을 실시하였다. 그 결과 그림 8과 같이 MMA 합성 바인더의 휨강도와 변형률이 구스 아스팔트보다 우수한 것으로 나타났다.

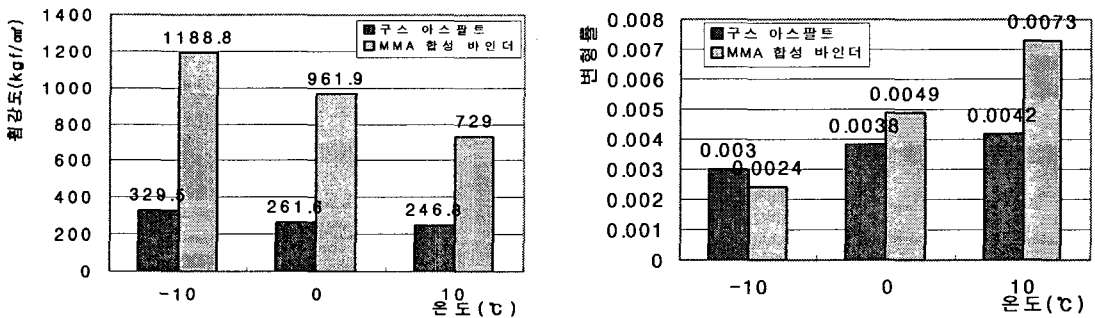


그림 8. 구스 아스팔트와 MMA 합성 바인더의 휨강도(좌)와 변형률(우)의 비교

일반적으로 터프니스가 높은 재료일수록 피로저항성이 크다. 대안 교면포장 재료에 대한 피로저항성을 확인하기 위하여 두 혼합물의 터프니스를 비교한 결과 그림 9와 같이 MMA 합성 바인더의 터프니스가 구스 아스팔트보다 크게 높은 것을 알 수 있었다. 그러므로 MMA 합성 바인더가 구스 아스팔트보다 피로저항성이 매우 우수한 것으로 판단된다.

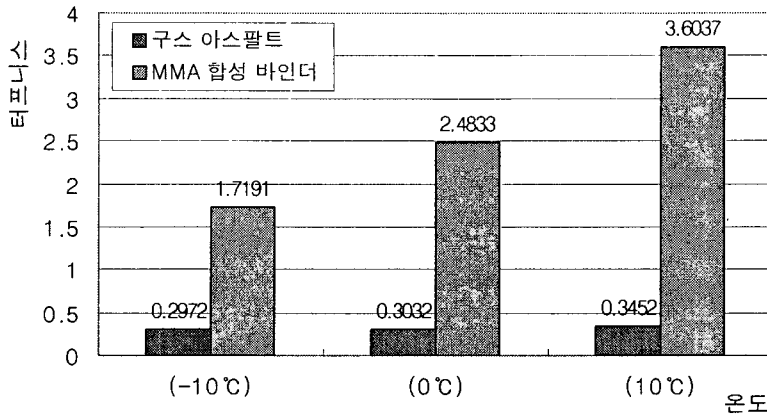


그림 9. 구스 아스팔트와 MMA 합성 바인더의 터프니스 비교

5. 결론

본 연구에서는 승용차 전용 고가도로의 교면포장 형식 선정에 제시하기 위하여 기존 교면포장의 공법을 조사 분석하였으며 가장 적합하다고 판단되는 대안 교면포장 공법인 구스 아스팔트포장 공법과 MMA 합성 바인더 공법을 선정하였다. 따라서 실내 공용성 시험을 통해서 대안 교면포장의 공용성을 비교 분석하였다. 연구내용을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 기존 교면포장 공법과 대안 교면포장 공법의 적용성을 조사 분석하였으며 분석결과 기존 교면포장 공법과 같이 다짐을 요하는 포장형식은 승용차 전용 고가도로의 허용하중을 초과하는 시공장비가 요구되고, 시공장비를 개조하여 시공하더라도 시공과 품질관리에 많은 어려움이 예상되어 현실적으로 적용이 불가능할 것으로 판단된다. 따라서 대형 시공장비 없이도 시공이 가능한 구스 아스팔트와 합성바인더를 포장재로 선정하였으며, 강상판과 FRP상판을 적용하여 대안 교면포장 형식을 선정하였다.
- (2) 대안 교면포장 시스템의 공용성을 평가하기 위하여 휠트래킹 시험, 접착인장강도 시험, 저온 휨 시험을 실시한 결과, 강상판과 FRP상판 모두에서 MMA 합성 바인더가 가장 이상적인 포장재임을 알 수 있었다. 실험결과를 요약정리하면 다음과 같다.

- 휠트래킹 시험

구스 아스팔트는 접지압 20%를 적용한 경우에도, 표면처리를 실시한 경우에도 표층의 동적안정도 기준인 1500회/분을 만족하지 못하였으나, MMA 합성 바인더는 접지압 100%를 적용하여 윤하중 통과회수는 2000회를 실시한 후에도 소성변형(rutting)이 전혀 발생하지 않은 것으로 보아 MMA 합성 바인더의 소성변형 저항성이 상당히 뛰어난 것을 알 수 있었다.

- 접착인장강도 시험

온도대별로 비교해보면 합성바인더+강상판의 접착인장성능이 가장 우수한 것을 확인하였으며, 구스 아스팔트의 경우, 저온에서는 MMA 합성 바인더와 거의 유사한 값을 보이고 있지만 고온에서 크게 감소되는 것으로 나타난 것으로 보아 구스 아스팔트는 MMA 합성 바인더보다 고온에서의 불리한 것으로 판단된다.



- 저온 휨 시험

MMA 합성 바인더+강상판 또는 FRP상판에서 모두 휨강도는 상당히 우수했으나, 구스 아스팔트+강상판 또는 에폭시 규사 방수층이 설치된 FRP상판에서 모두 휨강도가 현저히 낮은 것을 알 수 있었다.

혼합물과 상판의 휨 시험 결과, 혼합물의 재료적 특성보다는 상판의 영향을 많이 받는 것으로 사료되어 혼합물의 재료적 특성을 알아보기 위해 대안 교면포장 재료인 구스 아스팔트와 MMA 합성 바인더로 만 시편을 제작하여 휨 시험을 실시하였다. 그 결과 MMA 합성 바인더의 균열에 대한 저항성이 구스 아스팔트보다 매우 우수한 것을 알 수 있었다.

또한 피로에 대한 저항성을 평가하기 위하여 두 재료에 대한 터프니스를 비교한 결과, MMA 합성 바인더의 터프니스가 구스 아스팔트보다 크게 높은 것을 알 수 있었다. 그러므로 MMA 합성 바인더가 구스 아스팔트보다 피로저항성이 우수한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 지원으로 이루어진 “승용차 전용 조립식 고가도로 건설기술 개발”의 일환으로 본 연구를 가능케 한 분들께 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

1. 남광현, 교면포장의 설계와 시공, 2002.
2. 박태순, 류명찬, 이석홍, 국내 교면포장 시공사례, 한국도로포장공학회지 기술기사
3. 세종대학교, 교면포장 공용성 예측 및 교량상판과 교면의 상호작용 해석 연구, 2002.11
4. 이경하, 구스 아스팔트포장의 배합설계 및 시공, 한국도로포장공학회지 기술기사, 1999.12
5. 이경하, 이광호, 구스 아스팔트 혼합물의 배합설계 방법 및 설계기준고찰, 한국도로포장공학회 학술발표회, 2000.10
6. 이석홍, 교면포장용 개질 아스팔트/특수포장공법 및 현장품질관리 방안, 한국도로포장공학회지 기술기사, 2004.4
7. 이현종 등, SBS PMA(슈퍼팔트)의 공용성 및 경제성 평가연구, 최종보고서, 강릉대학교 공학연구소, 2000.