



포장가속시험기를 이용한 장수명 아스팔트포장의 공용성 평가 연구

Performance Evaluation of Perpetual Asphalt Pavements Using an Accelerated Pavement Tester

송 서 규* 이 정 훈** 이 현 중*** 황 의 윤****
 Song, Seo Gyu Lee, Jung Hun Lee, Hyun Jong Hwang, Eui Yoon

Abstract

In this study, accelerated pavement tester(APT) was performed on long-life asphalt pavements that can save maintenance and user costs by increasing the design life twice longer than conventional asphalt pavements. Basic material testings are first conducted on a high modulus base(HMB) mixture developed in this study. Four different pavement sections including thin and thick conventional and thin and thick HMB courses are constructed to compare the load-carrying capacities and to investigate the fatigue and rutting performances using an accelerated pavement tester. Tensile strain values at the bottom of base courses under the various loading levels are measured. The tensile strain values of the HMB sections are lower than those of the conventional sections. It is observed from the APT performed on the thin pavement sections that no significant cracks are developed up to the 180,000 cycles of a wheel load. In terms of rutting, only 3mm of rutting is developed in the thick HMB section while 5.3mm of rutting is developed in the thick conventional section at the 90,000 cycles of the wheel load. The HMB material developed in this study can be successfully used in the long-life asphalt pavements because of its excellent fatigue and rutting performances. It is estimated from a series of structural analysis that the use of the HMB material instead of the conventional base materials may reduce the asphalt thickness at least 5cm because of its better load-carrying capacity.

Keywords : long-life asphalt pavement, high modulus mixtures, accelerated pavement test, rutting, fatigue cracking

요 지

본 연구에서는 일반 아스팔트 포장에 비해 설계수명을 2배 이상 증대시켜 보수주기를 증진하고 보수비용 및 사용자 비용을 절감할 수 있는 장수명 아스팔트 포장에 대한 포장가속시험(APT)을 수행하였다. 먼저 본 연구에서 개발된 장수명 포장용 고강성 기층 혼합물에 대한 기초적인 물성시험을 수행하였다. 포장의 지지력을 비교하고 피로 및 소성변형에 대한 저항성을 평가하기 위하여 일반 및 고강성 기층으로 구성된 총 4개의 시험단면을 건설하였다. 또한 일반 및 고강성 단면은 각각 얇은 단면과 두꺼운 단면으로 구성되었다. 다양한 교통하중에 대한 아스팔트 기층하단의 인장변형률을 측정하였으며 시험결과 고강성 단면의 인장 변형이 일반단면에 비해 적게 발생되는 것을 확인하였다. 기층 단면이 얇은 포장단면에 대한 APT 시험결과 윤하중이 180,000 회 재하될 때까지 균열은 발생하지 않았다. 기층단면이 두꺼운 포장에 대해 윤하중 90,000회 재하시 일반단면은 5.3mm, 고강성 단면은 3mm의 소성변형이 발생하였다. 본 연구에서 개발된 고강성 혼합물은 소성변형 및 피로균열에 대한 저항성이 우수하기 때문에 장수명 포장용 기층체로서 적합한 것으로 판단된다. 또한 다양한 구조해석 결과 일반 혼합물 대신 고강성 혼합물을 사용할 경우 포장의 하중지지력이 증가하기 때문에 아스팔트층의 단면두께를 최소 5cm 이상 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 장수명 아스팔트포장, 고강성 혼합물, 포장가속시험, 소성변형, 피로균열

* 정회원 · 세종대학교 대학원 토목환경공학과 석사
 ** 정회원 · 세종대학교 대학원 토목환경공학과 박사과정
 *** 정회원 · 세종대학교 공과대학 토목환경공학과 부교수
 **** 정회원 · SK(주) 대덕기술원 특수제품Lab 수석연구원



1. 서론

기존 국내 아스팔트포장은 대부분 설계수명을 20년으로 가정하여 시공되었다. 즉 20년 이후에는 재시공을 전제로 건설되었다. 그러나 급격한 산업화에 따른 도로시설 확충으로 인한 재원부족과 재시공으로 인한 교통처리의 어려움 등으로 인하여 대부분의 노후화된 포장은 재시공 대신 5cm 절삭 후 덧씌우기 방식에 의한 부분적인 보수만 시행되고 있다.

기존 노후화된 포장의 경우 대부분의 아스팔트 층은 균열이 발생되어 있으며 이러한 기존 포장의 균열로 인해 덧씌우기 층은 반사균열 등과 같은 조기 파손이 쉽게 발생하고 있다. 실제 국도의 신설 아스팔트포장의 경우 최초 덧씌우기 주기는 9년이지만 이후 2차 및 3차 덧씌우기 주기는 각각 5년과 3년으로 짧아져 덧씌우기를 시행할수록 덧씌우기의 주기가 짧아지고 있다(Nunn, 1997). 이는 기존 아스팔트 층의 노후화로 인해 지지력이 점점 감소하기 때문이며 이러한 문제점을 근본적으로 해결하기 위해 1990년대 중반 영국에서 장수명 아스팔트포장 개념이 제안되었다(Nunn, 1997). 이후 유럽과 미국 등에서 장수명 포장에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며 영국과 프랑스, 미국의 일부 주에서는 설계법 및 구체적 시방이 개발되어 현장에 적용되고 있다. 따라서 국내에서도 아스팔트포장의 조기파손을 억제하고 유지보수 주기를 증대시켜 궁극적으로 도로포장의 유지보수 및 사용자 비용을 절감할 수 있는 장수명 아스팔트포장에 대한 연구가 시급한 실정이다.

본 연구에서는 국내의 교통 및 환경조건에 적합한 장수명 아스팔트포장 공법을 개발하기 위한 기초적인 연구로서 본 연구에서 개발된 장수명 포장재의 공용성을 비교하고 일반 및 장수명 포장의 지지력 등을 평가하기 위하여 포장가속시험을 수행하였다. 포장가속시험기(이하 APT라 칭함)는 20여 년간의 차량하중을 수 개월내에 모사할 수 있는 장비로써 다른 방법들에 비해 시간과 비용에 대한 신뢰도 측면에서 효율적인 것으로 알려져 있다(Ather, 2003).

2. 장수명 아스팔트포장 설계 개념

기존의 아스팔트 포장은 반복되는 차량하중으로 인해 그림 1과 같이 아스팔트 층의 반복 휨에 의해 하단에서부터 피로균열이 발생하여 노면으로 진전되고 노상의 상부에 작용하는 압축응력에 의해 노상의

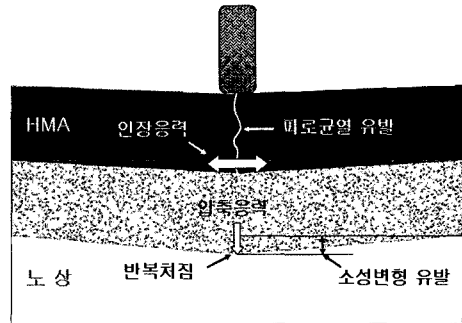
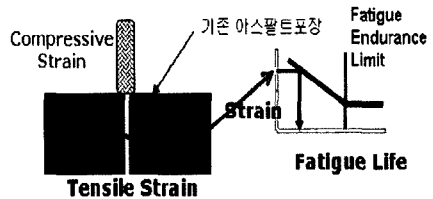
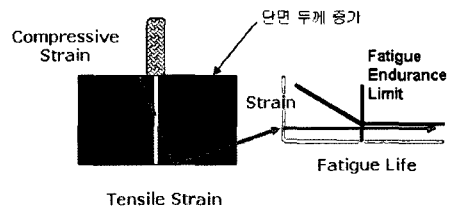


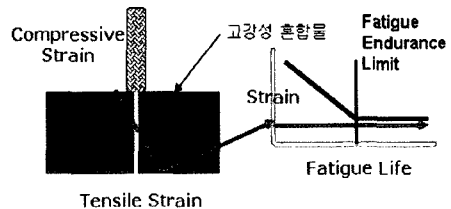
그림 1. 기존 아스팔트포장의 일반적인 파손 메커니즘



(a) 기존 아스팔트 포장



(b) 장수명 아스팔트 포장(두께 증가)



(c) 장수명 아스팔트 포장(강성 증가)

그림 2. 장수명 포장의 피로저항 개념



침하가 발생되어 파괴된다. 반면 장수명 아스팔트포장의 경우 기본적인 설계개념은 기존 아스팔트포장의 피로균열과 노상의 소성변형을 억제하여 포장의 설계수명을 증대시키는 것으로 설계연한 동안 주기적으로 표층만 재시공하고 재시공 없이 40년 이상을 견딜 수 있는 포장이다.

장수명 포장의 피로저항을 향상시키는 기본 개념은 그림 2(b)와 2(c)에서 보는 바와 같이 아스팔트 기층 두께를 증가시키거나 혼합물의 강성을 증가시켜 아스팔트 층의 하단에 발생하는 인장변형률을 감소시켜 피로파괴가 유발되지 않는 범위 이내로 제한하는 방식이다(Nunn 등, 1997).

3. 포장가속시험기(HY-APT) 개요

본 연구에서 사용한 APT는 한양대학교에서 개발한 장비로서 그림 3과 같다. 그림의 한양대학교 포장가속시험기(Han-Yang University Accelerated Pavement Test: HY-APT)는 한양대 안산캠퍼스에 건설되었으며 포장 단면에 실제하중과 유사한 교통하중 및 고온의 환경하중을 적용하여 단기간에 재료 및 설계법 등의 공용성을 평가하기 위한 목적으로 한국과학재단의 지원을 받아 국내 최초로 2000년 2003년까지 3년간 개발하여 현재 운영중에 있다(한국건설기술연구원, 2002).

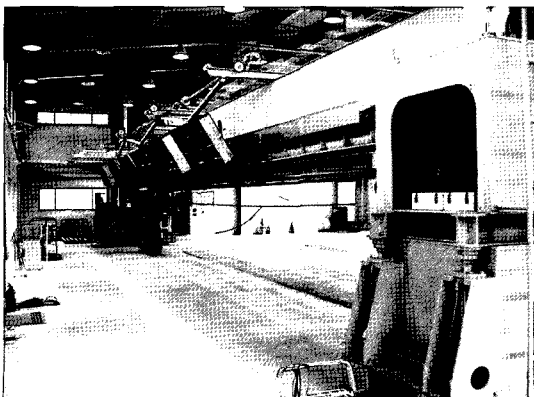


그림 3. HY-APT

표 1. HY-APT 제원

항 목	제 원
장비 크기	길이:20m, 폭:2m, 높이:3.4m
Wheel System	복륜 단축
운 하중	최대 11 ton
운행 속도	8~15km/h
횡방향 운동	최대 좌·우 10cm
타이어 크기	11.00R-20PR or 14.00R-24PR
타이어 압	690 KPa
주행 방향	일 방향 또는 양 방향
온도 조절	가열 장치

표 1에서처럼 HY-APT는 최대 속도 18km/h, 최대하중 11ton 복륜, 시험단면 가로 9m, 세로 12m, 깊이 3m이고 종 방향 12m를 직선 주행하도록 설계되었으며 왕복시간은 9초가 소요된다. 차량주행 경로의 다양성을 고려한 횡-방향 운동(lateral wandering)과 여름철 포장의 고온현상을 모사하기 위한 가열장비(heating system)를 갖추고 있다(배성호, 2003).

4. APT 시험단면 시공

4.1 포장 재료

앞서 2장에서 언급한 바와 같이 장수명 포장의 기본 설계 개념은 아스팔트 층의 두께 혹은 강성을 증가시켜 아스팔트 층 하단에 발생하는 인장변형률과 노상 상부에 가해지는 압축응력을 일정 범위 이내로 제한하는 것이다. 따라서 본 연구에서는 선행연구를 통하여 장수명 포장에 적합한 고강성 아스팔트 바인더를 개발하였고 이를 사용해 일반 바인더와의 역학적 특성을 비교하였다(건설교통부, 2004).

바인더 시험결과 일반 아스팔트에 비해 고온에서의 강성이 현저히 증가하였고 저온에서의 물성은 유사한 것으로 나타났다. 또한 혼합물에 대한 공용성 시험결과 일반 아스팔트 혼합물에 비해 피로 및 소성 변형, 수분손상 측면에서 우수한 것으로 나타났다.



상세한 시험결과는 선행연구결과(건설교통부, 2004)를 참고하기 바람, 본 연구에서는 APT 시험을 위한 시험단면 건설을 위하여 일반과 고강성 아스팔트 혼합물에 대한 현장 배합설계를 실시한 후 플랜트에서 혼합물을 생산하여 시공을 실시하였다.

아스팔트 바인더는 S사에서 개발한 기층용 고강성 바인더(PG 82-22)와 기존에 주로 적용되고 있는 일반 바인더(PG 64-22)를 사용하고 골재는 경기도 시흥시에 소재한 S사에서 생산한 쇄석골재를 사용하였다.

4.2 배합설계

당초 골재의 입도는 영국의 기층용 입도를 적용할 계획이었으나 현재 국내 실정으로는 플랜트에서 영국 기층용 입도를 생산하기가 힘들어 국내 기층용 입도를 적용하였다. 영국과 국내 기층용 입도를 비교하면 그림 4와 같이 영국의 입도가 국내 입도의 범위 내에 속하고 국내 기층용 입도인 최대입경 25mm인 BB-3의 제안입도가 영국의 입도를 크게 벗어나지 않아서 이 입도의 골재를 사용하기로 하였다. 이후 현장의 콜드빈(cold bin)에서 나온 골재 25mm, 19mm, 13mm, 8mm 이하의 네 가지 골재를 체 분석하였으며 합성입도는 목표입도와 어느 정도 차이가 있으나 현장 여건을 고려한다면 만족할만한 수준이었다. 또한, 콜드빈에서 합성된 입도 비율대로 핫빈(hot bin)에

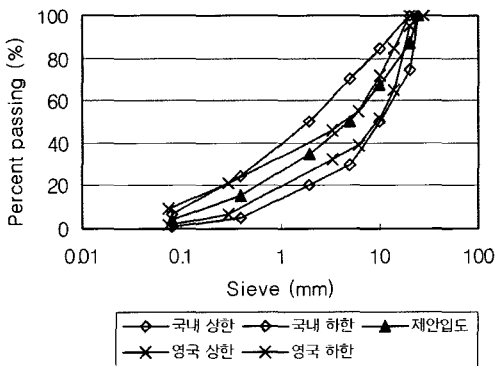


그림 4. 국내 및 영국의 입도 비교

투입하여 나온 골재를 체 분석하였는데 목표입도와 차이가 있기는 하지만 비교적 근접한 입도를 얻었다.

국내 기층용 아스팔트 혼합물의 마찰배합기준은 공극률 4~6%에서 최적 아스팔트 함량을 결정하도록 되어있다. 본 연구에서는 최적 아스팔트 함량을 공극률 5%에서 결정하였으며 3단계의 아스팔트 함량으로 일반과 고강성 혼합물 각각 3개의 마찰시험을 제작하여 공극률을 측정된 결과 최적 아스팔트 함량이 일반 혼합물은 4.5%, 고강성 혼합물은 4.7%로 결정되었다. 결정된 입도와 아스팔트 함량으로 혼합물을 생산하여 그림 5와 같이 추출입도 시험을 한 결과 일반 혼합물의 추출입도와 고강성 혼합물의 추출입도는 유사한 값을 보였으며 핫빈에서의 합성입도와는 19mm와 10mm의 골재에 대해 약 10~15% 정도 차이를 보였다. 그러나 국내 기층용 입도의 상한 및 하한 입도의 범위를 만족하므로 이 입도와 함량별로 APT 시험을 위한 혼합물을 생산하였다.

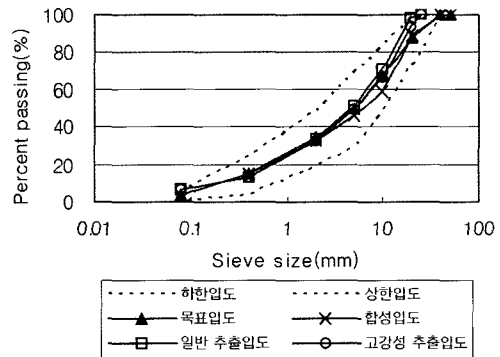


그림 5. 합성입도와 추출입도의 비교

4.3 시험단면 구성

시험단면의 시공에 사용된 아스팔트 기층용 혼합물은 일반적인 국내 기층용 입도를 적용하였고 현장 배합설계를 통해 혼합물을 생산하였다. 기층의 파손을 유발하는 시간을 줄이고 파손상황을 직접적으로 관찰하기 위해 표층은 시공하지 않았다.

시험단면의 구성은 그림 6과 같고 각 단면의 포장

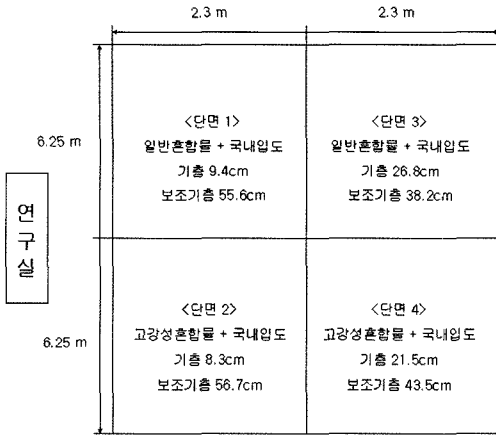


그림 6. 시험 단면 구성

층 구성은 그림 7과 같다. 그림 6에서처럼 첫 번째 레인은 아스팔트 바인더 종류에 따른 피로균열 저항성을 단기간에 파악하기 위하여 기층단면을 일반과 고강성 모두 7cm 두께로 계획하였으나 시공완료 후 코어링을 통해 확인한 결과 일반 9.4cm와 고강성 8.3cm의 단면 두께로 시공되었다. 두 번째 레인은 기층재의 종류에 따른 포장의 지지력 특성과 소성변형량을 상대 비교하기 위해 일반 30cm, 고강성 25cm로 계획하였으나 시공완료 확인한 결과 일반 26.8cm, 고강성 21.5cm의 단면 두께로 시공되었다.

<단면 1>	<단면 3>
기층 (9.4cm, 일반혼합물, 밀입도)	기층 (26.8cm, 일반혼합물, 밀입도)
보조 기층 (55.6cm, 40mm 혼합석)	보조 기층 (38.2cm, 40mm 혼합석)
노상 (100cm, clay-회강종화토)	노상 (100cm, clay-회강종화토)
노체 (100cm, clay-회강종화토)	노체 (100cm, clay-회강종화토)
자갈층 (50cm, 45mm 쇄석)	자갈층 (50cm, 45mm 쇄석)
<단면 2>	<단면 4>
기층 (8.3cm, 고강성혼합물, 밀입도)	기층 (21.5cm, 고강성혼합물, 밀입도)
보조 기층 (56.7cm, 40mm 혼합석)	보조 기층 (43.5cm, 40mm 혼합석)
노상 (100cm, clay-회강종화토)	노상 (100cm, clay-회강종화토)
노체 (100cm, clay-회강종화토)	노체 (100cm, clay-회강종화토)
자갈층 (50cm, 45mm 쇄석)	자갈층 (50cm, 45mm 쇄석)

그림 7. 포장 층 구성

4.4 보조기층 및 기층 시공

골재는 안산지역 채석장에서 선별하여 선정된 40mm 혼합석을 사용하였다. 20cm, 20cm로 나눠 2층 다짐을 하였고 중간에 다짐도를 향상시키기 위해서 살수를 하였다. 본 연구과제에서 필요로 하는 보조기층 두께를 얻기 위해 기존의 보조기층을 깎거나 덧씌워서 두께를 맞추었으며 탠덤과 타이어롤러를 이용해 다짐하였고 추가로 단부의 다짐을 실시하였다. 보조기층 시공 후 다짐상태를 평가하기 위해 동적콘관입시험(DCP)을 하였으며 관입지수(관입지수 = 관입심도/타격회수)를 구한 결과 대략 1의 균일한 다짐이 되었다. 또한 평탄성을 평가하기 위해 레벨을 측정하였으며 2~3mm의 편차로 양호한 두께로 시공되었다.

기층 시공에 앞서 보조기층과의 결합력을 높이기 위해 프라이밍코팅(prime coating)을 하였고 포설은 현장조건과 동일하게 아스팔트 피니셔를 사용하였으며 종방향 12.5m로 운행하였다. 일반 7cm 단면은 한층 포설하였고 일반 30cm 단면은 10cm 두께로 3층 포설하였으며 고강성 25cm 단면은 15cm, 10cm로 2층 포설하였다. 다짐은 2축 철륵 탠덤 롤러, 타이어 롤러, 3륵식 철륵 머캐덤 롤러 순으로 다짐을 실시하고 다짐시 결합력을 증진시키기 위해 택코팅(tack coating)을 실시하였다.

4.5 계측기 매설

아스팔트 층의 두께 및 강성변화에 따른 인장 변형률을 측정하기 위해서 기층 시공과정 중에 아스팔트 용 변형률계(KM-100HAS)를 매설하였다. 시공시 변형률계의 선을 보호하기 위해 주름관(flexible tube)을 사용하였으며 변형률계를 보호하기 위해 사각 철제관으로 덮어주었다. 동적 데이터 로거(dynamic data logger)와 LabView 프로그램을 이용하여 계측 값을 초당 500회씩 60초간 수집하였다. 대기 및 포장 층 온도분포를 확인하고 여름철 포장



온도를 모사하기 위한 가열 작업시 목표온도 설정을 위해서 단면을 코어링하여 T-type의 온도계측기 (thermocouple)를 매설하였다. 전반적인 계측장비의 설치 및 시험 위치에 대한 상세도를 그림 8에 나타내었다.

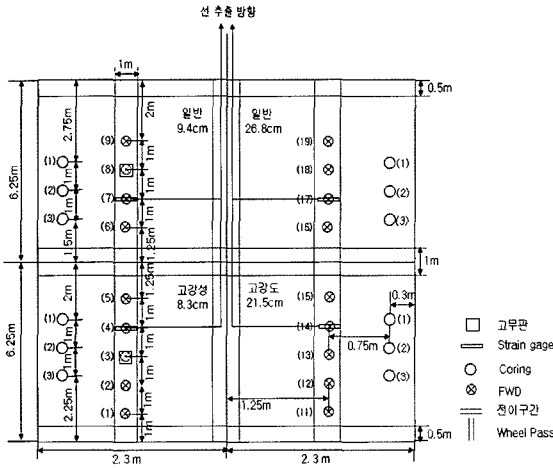


그림 8. 계측기 매설 및 시험 위치

5. APT 시험결과

5.1 인장변형률 계측결과

일반 및 고강성 혼합물 적용 단면의 구조적 지지력을 평가하기 위하여 다양한 하중하에서 아스팔트 층의 하단에 발생하는 인장 변형률을 계측하였다. 얇은 단면 및 두꺼운 포장 단면에 대한 계측결과는 각각 표 2와 표 3과 같고 이를 그림으로 나타내면 각각 그림 9와 10과 같다. 두 그림을 보면 고강성 혼합물이 일반 혼합물에 비해 단면두께는 얇지만 동일 하중에 대해 기층하부에 발생하는 인장변형률이 작다는 것을 알 수 있다. 따라서 일반 및 고강성 혼합물의 단면 두께가 동일할 경우 고강성 혼합물의 피로수명이 훨씬 증대될 것으로 예상된다. 반면 포장의 수명을 동일하게 할 경우 고강성 혼합물을 적용하게 되면 기존 일반 혼합물에 비해 단면두께를 줄일 수 있을 것으로

표 2. 윤하중별 변형률(얇은 단면)

일반 9.4cm(기층 하부:22.5℃)				
횟수	하중	4.2 ton	6.2 ton	7.8 ton
표준편차		0.01372	0.01323	0.01326
Strain(μ s)		161.00	195.00	201.25
고강성 8.3cm(기층 하부:22.7℃)				
횟수	하중	4.2 ton	6.2 ton	7.8 ton
표준편차		0.00606	0.00513	0.00327
Strain(μ s)		170.75	185.20	195.75

표 3. 윤하중별 변형률(두꺼운 단면)

일반 26.8cm(기층 하부:22.9℃)				
횟수	하중	5.6 ton	6.8 ton	8.1 ton
표준편차		0.00248	0.00183	0.00266
Strain(μ s)		57.00	64.20	70.60
고강성 21.5cm(기층 하부:22.9℃)				
횟수	하중	5.6 ton	6.8 ton	8.1 ton
표준편차		0.00186	0.00528	0.00213
Strain(μ s)		44.20	52.40	57.50

일반 9.4cm, 고강성 8.3cm 단면의 윤하중별 변형률

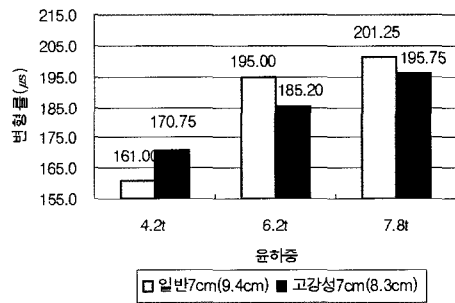


그림 9. 윤하중별 변형률(얇은 단면)

일반 26.8cm, 고강성 21.5cm 단면의 윤하중별 변형률

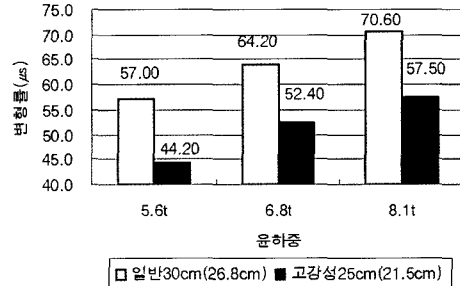


그림 10. 윤하중별 변형률(두꺼운 단면)



사료된다.

장수명 아스팔트포장의 경우 아스팔트 층 하단의 허용 인장 변형률이 $70\mu s$ 이며 (Samuel H. Carpenter 등, 2003) 그림 10에서와 같이 모든 하중에 대해 기준을 만족하고 있다. 최저 시험하중인 운하중 5.6ton은 11.2ton의 축 하중에 해당되며 실제 도로상의 법정허용 단축하중이 10ton임을 감안할 때 큰 교통하중에 해당된다. 따라서 일반 및 고강성 혼합물을 사용해 장수명포장 단면을 설계할 경우 최소 기층의 두께는 일반이 25cm, 고강성이 20cm 정도가 적절한 것으로 판단된다.

성이 약 2배 정도 우수함을 알 수 있었다.

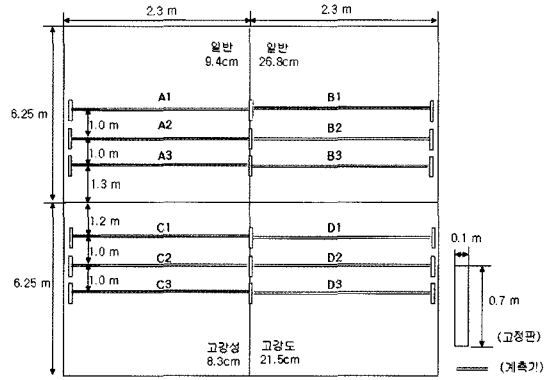


그림 11. 소성변형 계측 위치

5.2 소성변형 계측결과

일반 26.8cm와 고강성 21.5cm 단면에서의 골재종류와 입도는 동일하며 운하중 8.1ton에서의 아스팔트 바인더 특성과 단면두께에 따른 소성변형 발생량을 상대 비교하였다. 여름철 최고 포장온도 조건을 모사하기 위해 기층 표면아래 5cm를 목표지점으로 50℃까지 가열하였다. 그림 11은 각 단면의 소성변형 계측 위치를 나타낸다. 계측은 레이저 프로파일미터 (laser profilometer)를 사용하였으며 계측거리는 1.5m, 계측 간격은 5mm, 조사 횟수는 한 구간 1회의 조건으로 각 단면마다 3구간을 측정하였고 계측 구간에서 좌·우 0.3m의 전이구간을 제외하고 계산하였다. 각 단면마다 3구간의 계측 값을 평균하였고 그 값을 구간 5의 이동평균 한 추세선에서 최고점과 최저점의 차를 변형량으로 설정하였으며 듀얼타이어로 인한 두 지점의 변형량을 평균하여 최종 변형량으로 하였다.

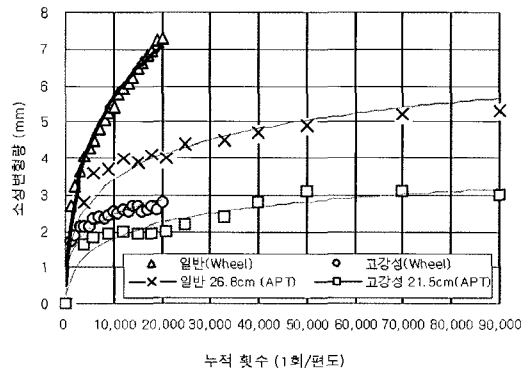


그림 12. 휠트래킹과 APT의 누적횟수에 대한 소성변형량 비교 (일반 26.8cm, 고강성 21.5cm)

5.3 피로균열 계측결과

본 연구과제에서는 기층 혼합물의 종류에 따른 피로특성을 평가하기 위하여 두께 10cm 이하의 얇은 아스팔트 기층을 시공하여 APT 시험을 수행하였다. 또한 피로균열을 촉진하기 위하여 1m x 1m 크기의 얇은 고무판을 아스팔트 층 하단에 매설하였다. 그러나 일반 9.4cm와 고강성 8.3cm 단면에서 9.4ton의 운하중으로 180,000회 운행하였으나 고무판 매설 지점에서조차 균열은 발생하지 않았다.

그림 12는 실내시험인 휠트래킹의 20,000회 운영에 따른 소성변형 결과와 일반 26.8cm와 고강성 21.5cm 단면의 APT 90,000회 운영결과를 비교한 것이다. APT 운행횟수 90,000회일 경우 일반 단면이 대략 5.3mm, 고강성 단면이 3mm 정도의 변형량이 발생하였다. 휠트래킹과 APT 시험결과를 통해 고강성 혼합물이 일반 혼합물에 비해 소성변형 저항

APT 시험을 통해 피로균열이 발생하는 시점의 운하중 횟수로 포장체의 피로수명을 비교하려 하였으

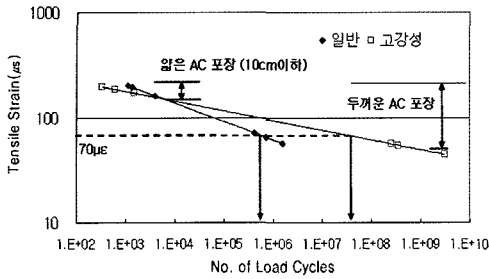


그림 13. 포장가속시험의 피로수명 예측

나 균열이 발생하지 않아 기층 하부에서의 인장변형률을 사용해 피로수명을 예측하였다. 기층하부에서 발생하는 인장변형은 포장의 피로균열을 발생시키는 주원인으로서 식 (1)의 예측 식을 적용하여 피로수명을 산정하였으며 그림 13에서와 같이 비교하였다. 피로모형의 계수 a 와 b 는 실내피로시험을 통해 산정한 값을 적용하였다(건설교통부, 2004).

$$N_f = a(\epsilon_0)^b \quad (1)$$

여기서, N_f : 아스팔트 혼합물의 피로수명

ϵ_0 : 초기 인장변형률

a : 8×10^{-13} (일반), 3×10^{-38} (고강성)

b : -4.1622 (일반), -10.823 (고강성)

그 결과 포장층 두께가 얇은 단면의 경우 일반 아스팔트 혼합물의 피로수명이 고강성 아스팔트 혼합물의 피로수명보다 상대적으로 우수하게 나타났으며 이는 포장의 두께가 얇은 경우 강성이 큰 아스팔트 혼합물은 일반 아스팔트 혼합물에 비해서 취성이 크게 작용하게 됨으로 상대적으로 짧은 피로수명을 갖는 것으로 판단된다. 두꺼운 단면에서의 피로수명은 고강성 아스팔트 혼합물의 피로수명이 반영구적으로 우수하게 나타났으며 고강성 혼합물을 사용할 경우 단면두께를 20cm 이상 적용하게 되면 피로저항성이 우수한 장수명 포장이 될 수 있을 것으로 판단된다.

5.4 다층 탄성 해석을 통한 탄성계수 추정

각 하중 크기에 따른 인장 변형률에 해당하는 탄성계수를 결정하기 위해 기본 물성, 각층의 두께, 하중 조건 등은 APT 시험에서의 조건과 동일하게 하였다. 하부구조는 일반포장과 고강성포장이 동일하여 수치해석에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단되어 일반적으로 적용되어지는 탄성계수를 가정하여 적용하였다. 각각의 하중 단계별로 3개의 탄성계수를 가정하여 다층탄성 해석프로그램인 Kenlayer를 사용해 아스팔트 기층 하단에 발생하는 인장 변형률을 산정하였다. 그림 14, 15는 각각 일반 및 고강성 기층 단면에서 윤하중 6.8톤에 대한 해석결과를 나타내고 있다. 탄성계수 추정은 그림 14에서처럼 APT 시험 단면에서 6.8ton 하중 재하시 계측된 인장 변형률 값(여기서는 $64.8\mu\epsilon$)에 해당하는 탄성계수 값(여기서는 6.5GPa)을 추정하게 된다. 동일한 방법으로 각각의 하중단계별로 대응하는 탄성계수를 추정할 수 있다.

APT 시험결과와 구조해석을 통해 추정한 탄성계수와 실내시험을 통해 산정한 동탄성계수를 비교하

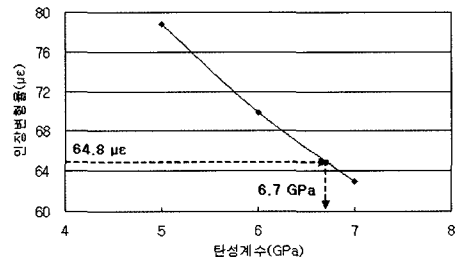


그림 14. 일반 기층재의 탄성계수 추정(6.8ton)

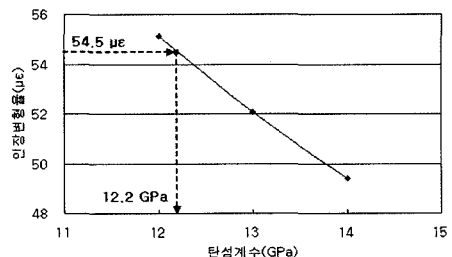


그림 15. 고강성 기층재의 탄성계수 추정(6.8ton)



표 5. 실내시험과 포장가속시험의 탄성계수 비교

	하중 (ton)	일반 아스팔트		고강성 아스팔트	
		APT	실내시험	APT	실내시험
E (GPa)	5	5.8	4.4	11.2	6.6
	5.6	6.2	4.3	12.5	6.5
	6.8	6.7	4.2	12.2	6.4
	8.1	7.4	4.1	14.7	6.3
	평균	6.5	4.25	12.7	6.45

면 표 5와 같다. 먼저 APT 시험 및 구조해석을 통해 추정된 탄성계수를 살펴보면 하중이 증가함에 따라 탄성계수가 증가함을 알 수 있다. 이는 하중재하속도의 변화에 기인하는 것으로 볼 수 있다. 즉 APT 시험에서 하중크기는 달라지지만 하중주파수는 일정하다. 따라서 하중크기가 증가할수록 하중이 재하되는 속도는 빨라지게 되며 아스팔트 혼합물의 점탄성 특성에 의해 탄성계수는 증가하게 된다. 따라서 본 연구에서는 각 하중크기에서 산정한 탄성계수를 평균하여 비교하였다.

표 5와 같이 일반 기층재의 평균 탄성계수는 6.5GPa, 고강성 기층재의 평균 탄성계수는 12.7GPa으로 고강성 기층재의 탄성계수가 약 2배 크지만 이 수치는 실내시험으로 산정한 동탄성계수 시험결과와 상이한 결과를 나타낸다. 이는 포장면에 가해지는 운하중이 장비의 오작동 및 중량계 오차에 의해 설정하중보다 낮았기 때문인 것으로 판단된다.

5.5 교통량에 따른 단면두께 제안

앞서 산정된 탄성계수와 다양한 기층 두께를 구조해석에 적용하여 일반 아스팔트 혼합물의 피로저항 한계인 70 μ s에 해당하는 두께를 결정하였으며 고강성 혼합물의 피로저항 한계는 70 μ s 보다 다소 클 것으로 예상된다. 구조해석은 Kenlayer를 이용하여 수행하였으며 기층의 두께는 일반 아스팔트 기층재의 경우는 25~35cm, 고강성 아스팔트 기층재의 경우는 20~30cm로 가정하여 수행하였다. 표층의 두께

는 고려하지 않고 구조해석을 수행하였는데 이는 표층의 두께를 포장의 안전을 고려하여 여유두께로 설정한 때문이다.

해석 결과 그림 16, 17과 같이 기층의 두께는 일반 아스팔트 기층재의 경우 약 30cm, 고강성 아스팔트 기층재의 경우 약 25cm로 고강성 기층재를 사용하는 경우가 약 5cm의 절감효과가 있는 것으로 확인되었다. 여기에 여유두께로 설정한 5cm의 표층을 더하면 일반 아스팔트 기층재를 적용한 장수명 포장의 총 두께는 35cm, 고강성 아스팔트 기층재를 적용한 장수명 포장의 총 두께는 30cm가 된다.

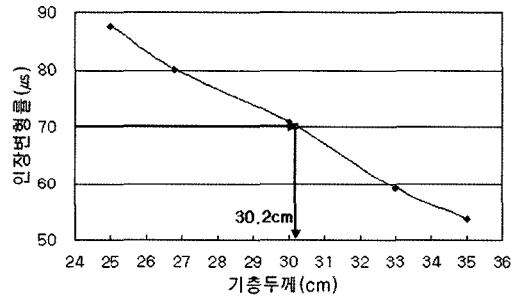


그림 16. 일반 아스팔트 기층재의 두께 결정

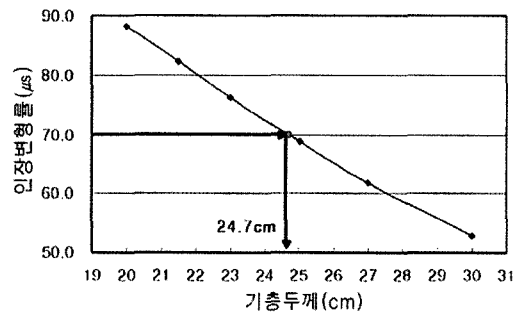


그림 17. 고강성 아스팔트 기층재의 두께 결정

6. 결론

본 연구에서는 장수명 아스팔트 포장용 기층 혼합물을 개발하였으며 현장 적용성을 평가하기 위하여 포장가속시험을 수행하였다. 일반 및 고강성 기층으



로 구성된 총 4개 시험단면(얇은 단면 2개소 및 두꺼운 단면 2개소)에 대해 온도조건을 일정하게 유지하면서 한양대학교에서 개발한 APT를 이용하여 실내 포장가속시험을 실시하였다. 본 연구에서 얻어진 결과를 간략히 요약하면 다음과 같다.

- 두꺼운 단면과 얇은 단면에서 하중크기를 달리하여 기층 하부에 발생하는 인장 변형률을 측정된 결과 고강성 혼합물이 일반 혼합물보다 10~12 μ s 정도 낮아 고강성 혼합물의 강성이 일반에 비해 높다는 것을 확인하였다. 또한 포장의 지지력 측면에서 유리한 것으로 나타났다.
- 일반 및 고강성 혼합물의 피로특성을 비교하기 위하여 얇은 시험단면에 대해 상온에서 하중을 180,000회까지 운행하였지만 피로균열은 발생하지 않았다.
- APT 시험을 통해 계측된 인장 변형률 값과 실내 시험을 통해 개발한 피로모형을 사용해 피로수명을 예측한 결과 두꺼운 단면에서의 고강성 혼합물의 피로수명이 반영구적인 것으로 나타났다.
- 장기 공용성 시험결과 두꺼운 단면에서의 소성변형 발생량은 일반 단면이 고강성 단면에 비해 약 2배 정도 많이 발생해 고강성 혼합물의 소성변형 저항성이 우수한 것으로 나타났다.
- 장수명 포장의 허용 인장 변형률인 70 μ s 이하가 되는 범위의 두께로 시공한다면 일반 혼합물 단면에 비해 약 5cm의 두께를 줄일 수 있을 것으로 판단된다.
- 따라서 본 연구에서 개발한 고강성 혼합물은 공용성이 뛰어난 장수명 포장의 기층재로서 적합하다고 판단되며 공항 및 항만 등의 중, 대형 교통지역

의 포장에 적합하고 유지보수 비용 및 사용자 비용의 절감에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2002년 건설핵심기술연구개발사업인 장수명 아스팔트포장 공법개발연구(02산학연B01-02)의 일환으로 수행되었으며 연구를 추진함에 있어 도움을 주신 한양대학교 서영찬 교수님과 연구원 분들께 감사드립니다.

참고문헌

1. 건설교통부(2004), 장수명 아스팔트포장공법 개발. 2차년도 최종보고서.
2. 박희문 등(2003) 특수아스팔트 포장의 장기공용성 평가 및 개선연구. 연구보고서, 한국건설기술연구원.
3. 배성호(2003) 포장의 장기 공용성 평가를 위한 포장 가속시험기 도입연구. 석사학위논문, 한양대학교.
4. Ather Saeed, Jim W. Hall, JR.(2003) *Accelerated Pavement Testing* NCHRP Report 512.
5. Nunn, M. E., A. Brown, D. Weston, and J. C. Nicholls.(1997) *Design of long-life flexible pavements for heavy traffic*. TRL Report 250, Transport Research Laboratory, Crowthorne, U.K.
6. Samuel H. Carpenter, Khalid. Ghuzlan, and Shihui Shen.(2003) *Fatigue Endurance Limite for Highway and Airport Pavements*. Transprot Research Board.

〈접수 : 2005.3.7〉