



캠크리트 개질 아스팔트 혼합물의 실내 공용성 평가

Laboratory Performance Evaluation of Chemcrete Modified Asphalt Mixtures

박 경 일* · 이 현 중** · 이 광 호*** · 이 석 근****

Park, Kyung Il · Lee, Hyun Jong · Lee, Kwang Ho · Rhee, Suk Keun

Abstract

The stiffness of chemcrete modified asphalt mixtures increase rapidly with time in the presence of oxygen and high temperature. Sometimes the asphalt pavements that have chemcrete modified asphalt mixture applied on the surface course show premature cracking because of the excessive increase in the stiffness of the asphalt mixtures. To mitigate this premature cracking, the chemcrete modified mixtures have been used as a base course material. In this study, the performance of the chemcrete modified asphalt binder and mixtures are investigated through a course of various laboratory tests including dynamic shear rheometer and bending beam rheometer tests for binders and uniaxial tensile fatigue, wheel tracking, and moisture damage tests for the mixtures. And also the resilient modulus of the conventional and chemcrete modified mixtures are compared based on the test results conducted on the specimens obtained from various in-situ test sections. It can be concluded from the tests results that the chemcrete modified mixtures show better rutting resistance than conventional mixtures. The chemcrete modified mixtures may have low temperature cracking when it is applied in the cold region. The stiffness of chemcrete modified mixtures is approximately 50 percent higher than that of conventional mixtures more than two years after the chemcrete modified mixture was applied in the base course.

Keyword : chemcrete modified asphalt, aging, performance, fatigue, permanent deformation

요 지

캠크리트 개질 아스팔트 혼합물은 산소와 고온의 온도조건에서 급속하게 경화된다. 캠크리트 개질 혼합물을 아스팔트 포장의 표층에 적용할 경우 이러한 과도한 경화로 인하여 조기 균열이 발생되기도 한다. 이러한 조기 균열의 발생을 완화하기 위하여 캠크리트 개질 혼합물을 아스팔트 포장의 기층에 적용하고 있다. 본 연구에서는 캠크리트 개질 아스팔트와 혼합물의 공용성을 규명하기 위하여 아스팔트 바인더에 대해 동적유동시험 및 처짐보유동시험 등을 실시하였고 혼합물에 대한 일축인장 피로 및 휠트래킹, 수분손상 시험 등을 실시하였다. 또한 현장에서 채취한 시편에 대해 회복탄성계수시험을 실시하여 일반 및 캠크리트 개질 혼합물의 강성을 비교분석하였다. 이상의 시험결과로부터 캠크리트 개질 혼합물은 일반 혼합물에 비해 소성변형에 대한 저항성이 크다는 것을 알 수 있었다. 그러나 캠크리트 혼합물이 추운 지방에 사용될 경우 저온균열의 문제가 발생할 가능성이 있을 것으로 사료된다. 캠크리트 혼합물을 기층에 적용하여 2년 이상 경과한 경우 캠크리트 개질 혼합물은 일반 혼합물에 비해 강성이 약 50% 정도 증가됨을 알 수 있었다.

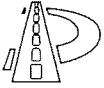
핵심용어 : 캠크리트 개질 아스팔트 혼합물, 노화, 공용성, 피로, 소성변형

* 학생회원 · 강릉대학교 토목공학과 석사과정

** 정회원 · 세종대학교 토목환경공학과 조교수(02-3408-3812, hlee@sejong.ac.kr)

*** 정회원 · 한국도로공사 도로연구소 전문연구원실장(연구위원)

**** 정회원 · 경희대학교 토목공학과 부교수



1. 서 론

1970년대 이후 급격한 교통량의 증가와 레디얼 타이어의 개발로 인한 타이어 접지압의 증가, 양질의 골재원 감소, 원유의 수입선 다변화로 인한 품질의 변동 등으로 인하여 아스팔트 포장의 내구성은 점차 감소하는 추세를 보이고 있다. 이러한 문제를 극복하기 위한 하나의 방편으로 아스팔트 시멘트의 물리화학적 성질을 개선할 수 있는 다양한 개질재가 개발되어 사용되고 있다.

캠크리트도 이러한 개질재 중의 하나로서 국내에서는 1990년 한국도로공사에서 최초로 시험시공을 실시한 이래 수년간에 걸친 현장의 시험시공을 통하여 캠크리트의 우수한 작업성과 내유동성의 증대로 인한 소성변형의 저항성 증가 등 그 실용성을 일부 인정받아 주로 아스팔트 포장의 표층용 혼합물의 개질재로서 사용량이 증가되어 왔다. 그러나, 캠크리트 개질 아스팔트 혼합물(캠크리트 혼합물로 약칭)의 장기 공용성에 대한 충분한 분석이 이루어지지 않은 상태에서 아스팔트 포장의 표층에 적용함으로써 공용후 시간의 경과에 따른 급격한 경화로 인하여 표층에 과도한 균열을 유발시키는 것으로 평가되어 최근에는 이를 주로 기층에 적용하도록 유도하고 있다.

캠크리트 혼합물의 경화를 위해서는 산소와 높은 온도가 필수적인 조건으로 알려져 있다. 아스팔트 포장의 기층은 표층에 비해 산소공급이 원활하지 않기 때문에 기층에 캠크리트 혼합물을 적용할 경우 경화가 진행되는 속도를 줄일 수 있어 균열의 발생을 완화하면서 캠크리트 혼합물 고유의 장점을 살릴 수 있는 효과를 기대한 것이다. 특히, 캠크리트 개질 아스팔트 혼합물의 강성이 일반 혼합물에 비해 높기 때문에 캠크리트를 적용하는 기층의 단면두께를 줄일 수 있을 것으로 기대하고 있다. 그러나, 공용성이 검증되지 않은 상태에서 단순히 강성의 증가만으로 기층의

두께를 줄이는 것은 포장의 조기파손을 유발할 수도 있어 신중을 기하여야 할 것으로 사료된다. 따라서, 기층에 적용하였을 경우 과연 얼마만큼 캠크리트 혼합물의 경화속도를 줄일 수 있는지 그리고 피로수명 및 기타 공용성에 미치는 영향 등에 대한 체계적인 연구가 선행되어야만 앞서 언급한 것과 같은 시행착오를 최소화 할 수 있을 것이다.

본 연구의 주목적은 캠크리트 혼합물을 아스팔트 포장의 기층에 적용할 경우 공용기간에 따른 혼합물의 경화특성을 분석하고, 이를 바탕으로 혼합물의 피로균열 및 저온균열, 소성변형, 수분손상에 대한 저항성을 파악하는데 있다.

2. 시편준비 및 시험방법

2.1 시편준비

본 연구에서는 침입도 규격이 각각 60-70(AP-5), 85-100(AP-3)인 두 종류의 아스팔트를 사용하고 개질 전후 및 노화 전후의 물성을 비교하였다. 골재는 강원도 강릉시에 소재한 S레미콘에서 생산한 골재를 사용하였다. 골재의 입도는 고속도로 전문시방서의 아스팔트 안정처리 기층용 입도 BB4 한 종류를 사용하였으며, 그림 1과 같이 최대 입경 25mm의 입도를 사용하였다.

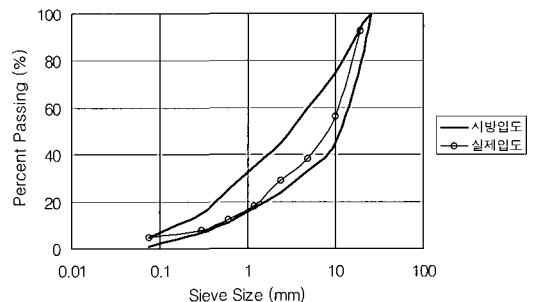
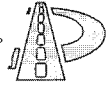


그림 1. 골재의 입도



앞서 언급한 2종의 아스팔트 바인더와 1종의 골재입도를 조합하여 다음과 같이 4종의 혼합물을 생산하여 물성 및 공용성을 평가하였다.

- 혼합물 A: 밀입도 + AP-5
- 혼합물 B: 밀입도 + AP-3
- 혼합물 C: 밀입도 + AP-5 + 캠크리트
- 혼합물 D: 밀입도 + AP-3 + 캠크리트

각 혼합물별 최적 아스팔트 함량은 미국 NAPA (National Asphalt Pavement Association)에서 제안한 방법(Roberts et al. 1991)으로 마샬배합설계를 실시하여 산정하였으며, 배합설계 결과를 요약하면 표 1과 같다. 표에서 AP-5(혼합물 A)와 AP-3(혼합물 B)를 사용한 일반 아스팔트 혼합물의 최적 아스팔트 함량은 공극률 5.0%에서 결정하였다. 캠크리트 혼합물의 아스팔트 함량은 일반 아스팔트와 동일하며, 캠크리트만 아스팔트 중량의 2%를 첨가하였다.

표 1. 아스팔트 혼합물의 마샬 배합설계 결과

혼합물	안정도 (kg)	흐름값 (.01cm)	공극률 (%)	10 (%)	VMA (%)	최적 아스팔트 함량(%)
25	Min 500	10 - 40	40	-	-	55
A	1170	70	5.0	66.0	10	4.25
B	25	35	5.0	40	14.54	4.30

실내시험에 사용될 시료는 모두 현장에서 혼합물의 생산 및 시공과정에서 발생하는 단기노화를 실내에서 모사하기 위하여 Superpave의 배합설계법 (Asphalt Institute 1995b)에서 제안한 방법으로 135°C의 건조로에서 4시간 동안 노화를 시킨 다음 다짐을 실시하였다. 일축인장 크리프 및 피로시험용 공시체는 Superpave 선회다짐기(gyratory compactor)를 사용하여 직경 100mm, 높이 150mm의 크기로 제작하였다. 혼합물의 다짐에는 Superpave(Asphalt Institute 1995a)에서 제안한 방식으로 다짐각은

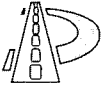
1.25°, 압축응력은 600kPa, 다짐속도는 분당 30회를 적용하였다. 시편제작과 관련한 상세한 사항은 참고문헌(이현중 2000)에 수록되어 있다.

2.2 시험방법

캠크리트 개질 아스팔트 혼합물의 공용특성을 분석하기 위하여 다양한 종류의 시험을 실시하였다. 먼저 아스팔트 바인더에 대해 DSR(dynamic shear rheometer) 시험기를 사용하여 여러 온도에서 복소전단계수와 위상각을 측정하여 피로공용특성을 분석하고 BBR(bending beam rheometer) 시험기를 사용하여 저온균열에 대한 저항성을 분석하였다. 아스팔트 혼합물의 공용성 비교를 위하여 일축인장 피로시험, 휠트래킹 시험 그리고 수분손상 평가 시험을 실시하였으며, 혼합물의 점탄성 물성을 측정하기 위하여 피로시험을 실시하기 전에 모든 시편에 대해 일축인장 크리프시험을 실시하였다.

아스팔트 바인더의 점탄성 물성시험으로 원시료 및 장기노화시료에 대해 고온 및 중간온도에서 DSR시험을 실시하였다. DSR시험은 1.6Hz (10rad/sec)의 하중주기에서 시편의 온도를 10°C 부터 70°C까지 15°C 간격으로 변화시키면서 아스팔트의 복소전단계수(G^*)와 위상각(δ)을 측정하였다. 시험은 응력제어(controlled-stress)의 방법으로 실시하였고, 각 온도에서의 하중진폭은 Stress Sweep Test를 통하여 선형 점탄성 거동을 나타내는 범위 내에서 결정하였다. DSR 시험에서 시편의 지름은 원시료 및 장기노화 시료가 각각 25mm 및 8mm이며, 시료의 두께는 원시료 및 장기노화 시료가 각각 1mm 및 2mm이다.

장기노화시료는 원시료를 RTFO(rolling thin film oven) 장비로 163°C에서 85분간 회전막막 가열하여 열과 공기에 의해 노화를 시킨 다음 이를 다시 PAV(pressure aging vessel) 장비로 2,070kPa 압력



과 100°C 고온에서 20시간 동안 노화시킨 시료로서 현장에서 장기간 공용된 아스팔트의 노화를 모사한다.

아스팔트 혼합물의 점탄성 물성은 피로공용성 예측모델의 입력변수로 사용되는 혼합물의 기본적인 물성으로서 일축인장하에서 피로시험을 실시하기전 크리프시험을 실시하여 측정하고, Dynamic Modulus는 Creep Compliance로부터 선형 점탄성 이론에 기초하여 역산정하였다. 크리프시험은 25°C에서 실시하였고, 시험을 실시하는 동안 정밀한 온도조절을 위하여 온도조절 챔버를 사용하였다. 하중은 시편에 손상을 가하지 않고 선형 점탄성 범위내의 거동을 측정하기 위하여 30kg의 비교적 작은 값을 선택하였으며, 900초간 하중을 재하한 다음 하중을 제거하였다.

Creep Compliance는 즉시하중(정하중) σ_0 에 대한 임의의 시간에서의 변형률 $\epsilon(t)$ 의 비율로 정의된다. 일반적으로 크리프시험에서는 무한히 짧은 시간에 원하는 크기의 하중을 재하하기가 불가능하기 때문에 Ramp 하중을 가하게 된다. 따라서, Creep Compliance의 원래 정의대로 계산을 하면 초기 하중재하시간 동안의 Creep Compliance의 값이 부정확하게 된다. 이러한 문제를 극복하기 위한 하나의 방편으로 Quasi-Elastic 방법을 적용하며, 이 방법에 의한 Creep Compliance의 정의는 다음과 같다.

$$D(t) = \frac{\epsilon(t)}{\sigma(t)} \quad (1)$$

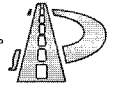
여기서, $D(t)$ 는 Creep Compliance이고 $\sigma(t)$ 는 임의의 시간에서 응력이다. 원래의 Creep Compliance 정의와 비교해볼 때 위식은 정하중 σ_0 대신 $\sigma(t)$ 를 사용함으로써 초기 짧은 하중재하 동안 발생하는 응력의 변화를 고려할 수 있다. 이러한 근사적 접근법은 상당히 실제 값과 잘 일치하는 것으로 시험을 통하여 평가되었다(Kim 등 1995). 따

라서, 본 연구에서는 모든 Creep Compliance의 값은 식 (1)을 사용하여 계산하였다.

일축인장시험에 사용된 장비는 서보유압 조절 방식(servo hydraulic closed-loop)의 시험기로서 일본의 Shimazu사 모델이다. 일축인장 재하시 시편에 작용하는 편심을 최소화하기 위하여 구형 조인트(ball joint)를 사용하였으며, 철제 플레이트와 시편을 예폭시 접촉제로 접촉할 때 시편을 고정시키고 하중 중심선을 따라 정확한 배열을 목적으로 시편접착 지지대를 사용하였다.

피로시험은 25°C에서 실시하였고, 시험을 실시하는 동안 정밀한 온도조절을 위하여 온도조절 챔버를 사용하였다. 하중은 10Hz의 주기를 갖는 Haversine 하중을 변형률 제어(controlled-strain) 방법으로 시편이 피로에 의한 완전한 파괴가 발생할 때까지 하중을 가하였다. 3개의 다른 하중단계(load level)에서 피로시험을 실시하였고, 각 하중단계별 최소 2회 이상 시험을 실시하였으며, 시험에 적용된 하중의 크기는 표 4에 주어져 있다. 피로시험동안 휴지기(rest period)는 적용하지 않았다. 일축인장 피로시험은 크리프시험을 실시한 시편을 사용하여 실시하였으며, 크리프시험에서 발생된 변형이 완전히 회복될 수 있도록 충분한 시간동안(2시간 이상) 기다린 다음 시험을 실시하였다.

아스팔트 혼합물의 소성변형 특성을 측정하는 데는 여러 가지 시험이 사용되고 있으며, 본 연구에서는 국내에서 쉽게 활용 가능한 휠트래킹 시험기를 사용하여 아스팔트 혼합물의 소성변형에 대한 저항특성을 평가하였다. 본 연구에서는 일본에서 개발된 휠트래킹 시험기를 사용하여 60°C의 고온에서 크기가 30cm, 높이가 5cm인 정사각형 시편에 바퀴의 폭이 5cm인 반복 운하중을 가하여 발생하는 변형(바퀴자국 깊이)을 측정하여 평가하였다. 본 연구에서 사용한 휠트래킹 시험기는 1분당 21회 하중을 가하는 방식으로서 1시간 동안



윤하중을 재하하여 45분에서 60분 사이의 변형량을 측정하여 동적 안정도를 계산하였다.

아스팔트 혼합물의 수분민감성을 측정하는 데는 여러 종류의 시험이 있으나 현재 가장 많이 적용되고 있는 ASTM D4867-92의 규정에 따라 시험을 실시하였다. 이 시험법은 AASHTO T 283-89 시험법과 거의 유사하나 ASTM 규정에서는 동결처리가 선택사항인데 비해 AASHTO에서는 의무사항으로 되어있다. 우리나라에서 발생하는 수분에 의한 포장의 손상은 주로 여름철 우기에 집중되고 있기 때문에 본 연구에서는 동결처리를 하지 않고 시험을 실시하였다.

3. 실내 시험결과

3.1 아스팔트 바인더의 점탄성 물성

일반 아스팔트 및 캬크리트 개질 아스팔트의 점탄성 물성을 비교분석하기 위하여 AP-5와 AP-5에 캬크리트 개질재를 중량비로 2% 첨가한 개질 아스팔트에 대해 10~70°C의 온도대역에서 DSR 장비를 사용하여 G^* 와 δ 의 변화를 측정하였으며, 시험결과는 표 2와 같다.

그림 2는 Superpave에서 제안한 아스팔트 바인더의 공용성 규격에서 피로수명 인자 $G^* \sin \delta$ 의 온도에 따른 거동특성을 분석한 것이다. Superpave에 의하면 $G^* \sin \delta$ 의 값이 작을수록 피로균열에 대한 저항성이 높은 것으로 간주된다. 그림에서 보는 바와 같이 원시료의 경우(그림에서 ori로 표시) 일반 아스팔트[AP5(ori)]에 비해 개질 아스팔트[AP5+CHE(ori)]의 $G^* \sin \delta$ 의 값이 작게 나타났으나 장기노화시료(그림에서 LTA로 표시)의 경우에는 이와 상반되게 10°C 이상의 온도에서 큰 것으로 나타났다.

이는 캬크리트 개질 아스팔트는 노화가 진행될수록 피로균열이 발생할 확률이 증가하는 것을

표 2. DSR 시험결과

Original			
Asphalt Binder	Temperature(°C)	$\delta(^{\circ})$	G^*
AP5	10	60.6	10,141.0
	25	78.7	609.8
	40	82.3	35.8
	55	88.1	4.5
	70	89.9	0.6
AP5+CHE	10	61.2	8832.5
	25	79.1	463.4
	40	82.0	25.8
	55	87.9	3.7
	70	89.9	0.5
RTFO + PAV Residue			
AP5	10	29.4	25,732.1
	25	52.0	3,052.0
	40	72.9	241.7
	55	77.4	21.3
	70	87.6	3.1
AP5+CHE	10	25.7	26,855.2
	25	44.0	5,116.2
	40	63.8	548.3
	55	73.1	55.5
	70	82.3	8.3

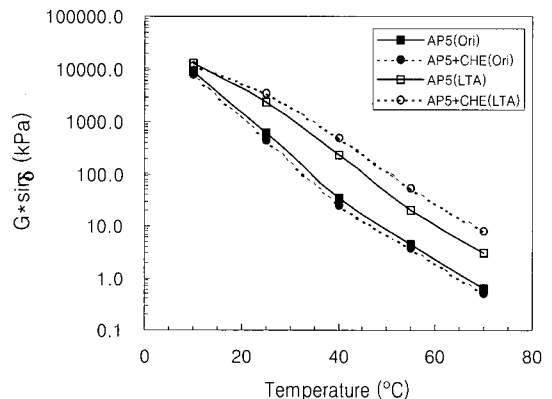


그림 2. 온도에 따른 아스팔트 바인더의 피로인자 $G^* \sin \delta$ 의 거동 의미하는 것으로서, 실제 현장에서의 공용 경험 (표층용 혼합물에 적용한 공용 경험)도 이러한 사실을 뒷받침하고 있다. 그러나, Superpave의 장

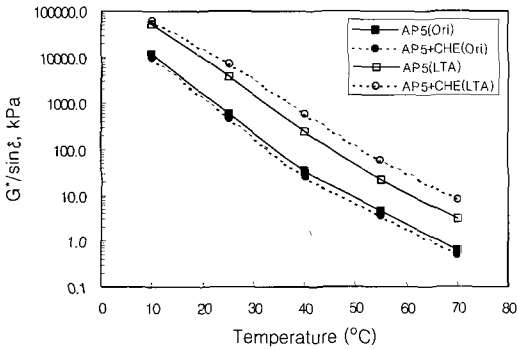
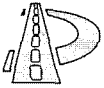


그림 3. 온도에 따른 아스팔트 바인더의 소성변형인자 $G^*/\sin \delta$ 의 거동

기노화 방법은 현장의 표층 혼합물의 노화를 모사하는데 보다 적합한 것으로 판단되며, 기층에 챔크리트 혼합물을 적용할 경우 노화가 천천히 발생될 것으로 예상되기 때문에 이상의 결과만을 가지고 단정적으로 어떤 결론에 도달하기에는 무리가 있는 것으로 판단된다. 특히, 장기노화시료의 경우 챔크리트 개질 아스팔트[AP5+CHE(LTA)]가 PG 64-22 등급의 시험온도 25°C에서 $G^* \sin \delta$ 의 값이 3,554kPa로서 시방규정(5,000kPa 이하)을 만족하고 있어 다른 시험결과를 종합하여 판단하여

야 할 것으로 사료된다.

그림 3은 Superpave에서 제안한 아스팔트 바인더의 공용성 규격에서 소성변형 인자 $G^*/\sin \delta$ 의 온도에 따른 거동특성을 분석한 것이다. Superpave에 의하면 $G^*/\sin \delta$ 의 값이 클수록 소성변형에 대한 저항성이 큰 것으로 간주된다(Asphalt Institute 1995a). 원시료의 경우 일반 아스팔트[AP5(ori)]에 비해 개질 아스팔트[AP5+CHE(ori)]의 $G^*/\sin \delta$ 의 값이 약간 작게 나타났으나 장기노화 시료의 경우[LTA로 표기]에는 모든 온도에서 큰 것으로 나타났으며, 그 차이는 온도가 상승할수록 증가하였다. 이러한 결과로 볼 때 혼합물의 생산 및 시공단계에서 발생하는 단기노화 이후에는 개질 아스팔트의 $G^*/\sin \delta$ 값이 일반 아스팔트에 비해 높을 것으로 판단되며, 노화가 진행될수록 소성변형의 저항성은 일반 아스팔트에 비해 더욱 강화될 것으로 판단된다.

저온균열에 대한 공용성 비교를 위하여 -6°C(PG-16의 시험온도)와 -12°C(PG-22의 시험온도)에서 실시한 BBR 시험결과로부터 하중재하시간 6초 일때의 아스팔트 바인더의 강성(Stiffness)과 m-값을 그림 4(a)와 (b)에 각각 비교하였다. Superpave의 시방규격(Asphalt Institute 1995a)에서 강성 값은

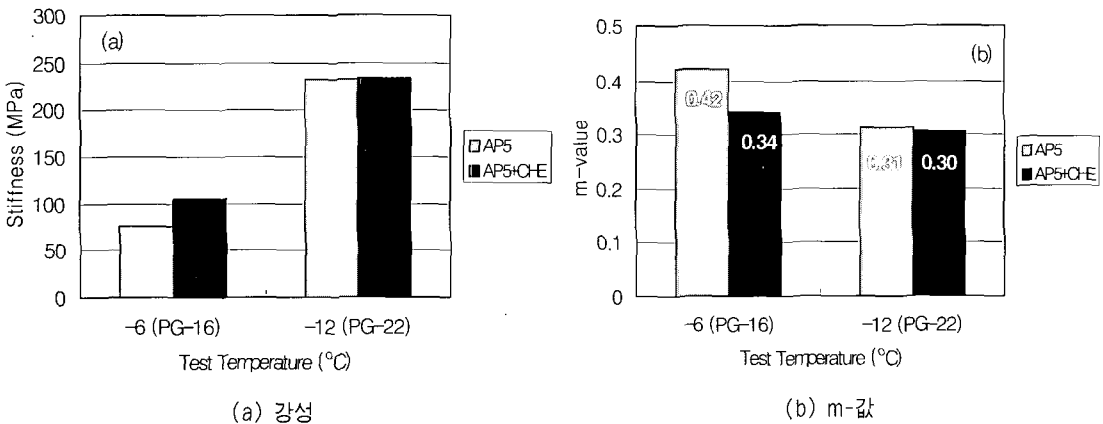
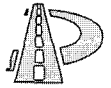


그림 4. 저온에서 아스팔트 바인더의 점탄성 거동



최대 300MPa 이고, m -값은 최소 0.3 이상으로서 두 아스팔트 바인더 모두 시방규정을 만족하고 있다.

그림 4(a)에서 보는 바와 같이 -6°C 에서 켐크리트 개질 아스팔트의 강성은 일반 아스팔트의 강성에 비해 약 38% 높으나 -12°C 에서는 거의 동일하였다. m -값의 경우에는 [그림 4(b)] 일반 아스팔트에 비해 켐크리트 개질 아스팔트가 -6°C 에서 약 19% 적은 것으로 나타났으나 -12°C 에서는 거의 동일하였다.

강성이 작을수록 그리고 m -값이 클수록 저온 균열에 유리하므로 -6°C 에서(현장의 포장온도 -16°C 에 해당)는 켐크리트 개질 아스팔트가 일반 아스팔트에 비해 저온균열이 발생할 확률이 높은 것으로 판단된다. 그러나, -12°C (현장의 포장온도 -22°C 에 해당)에서는 거의 차이가 없는 것으로 보여진다

이상의 피로균열 및 소성변형 그리고 저온균열에 대한 시험결과, 일반 아스팔트 및 켐크리트 개질 아스팔트 모두 Superpave PG 64-22 등급의 규정을 만족하는 것으로 나타났다. 피로 및 저온균열의 경우 일반 아스팔트에 비해 켐크리트 개질 아스팔트의 저항성이 떨어지는 것으로 판단되며, 소성변형에 대한 저항성은 우수한 것으로 판단된다

3.2 아스팔트 혼합물의 점탄성 물질

일반 및 개질 아스팔트 혼합물의 점탄성 거동 특성을 비교 분석하기 위하여 25°C 에서 일축인장 크리프시험을 실시하였다. 크리프시험은 피로시험에 사용될 시편에 대해 실시하였고, 피로시험은 한 혼합물 당 6개 이상의 시편을 사용하기 때문에 크리프시험도 6개의 시편에 대해 각각 시험을 실시하였다. 크리프시험에서 얻어진 응력과 변형률 값을 사용하여 식 (1)을 통해 Creep

Compliance, $D(t)$ 를 계산하였다. 이러한 크리프 데이터를 수학적으로 표현하는 데는 몇 가지 모델이 사용가능하며, 본 연구에서는 다음 식과 같은 Modified Power Law(MPL)를 사용하였다.

$$D(t) = D_0 + \frac{D_{\infty} - D_0}{\left(1 + \frac{t}{\tau_0}\right)^n} \quad (2)$$

여기서, D_0 = Creep compliance ($t=0$),

D = creep compliance ($t=\infty$),

τ_0 = 시간정수,

n = $D(t)-t$ 대수관계 곡선에서 직선구간의 기울기.

식 (2)의 계수를 구하는 방법은 먼저 회귀분석을 통하여 n 값을 구하고, $D(t)$ 데이터로부터 D_0 , D_{∞} 값을 개략적으로 추정한 다음 실험 데이터와 모델식의 에러를 최소화하는 방법으로 τ_0 를 산정하였다. τ_0 를 산정한 다음에는 측정된 $D(t)$ 데이터와 모델식으로 구한 값을 그림에서 비교하여 서로 일치하도록 D_0 와 D_{∞} 값을 조정하였다. 이와 동일한 방법으로 각 시편에 대한 모델계수를 구하고 이들의 평균값을 취하여 특정 혼합물의 $D(t)$ 를 표현할 수 있는 MPL 모델식의 계수 값들을 결정하였으며, 표 3과 같다. 그림 5는 식 (2)의 MPL을 사용하여 각 혼합물의 크리프

표 3. 각 혼합물의 Creep Compliance를 표현하는 MPL 모델의 계수 값

	D_0	D_{∞}	τ_0	n
AP-5	4.5×10^{-9}	0.017	1827	0.62
AP-5 + CHE	5.3×10^{-9}	0.01	32140	0.53
AP-3	5.0×10^{-9}	0.013	1570	0.62
AP-3 + CHE	5.0×10^{-9}	0.012	29030	0.53

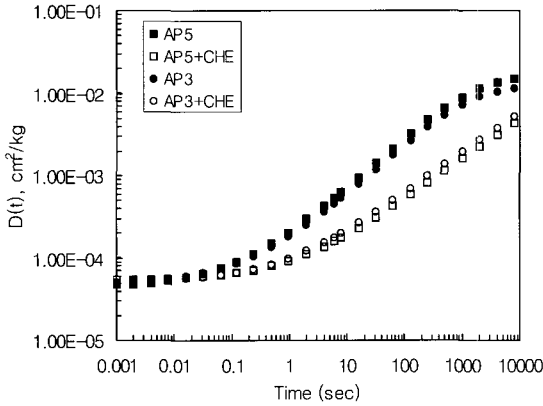
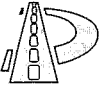


그림 5. 일반 및 켄크리트 혼합물의 시간에 따른 크립 거동

거동을 비교한 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 하중재하시간이 짧을 때는 $D(t)$ 의 변화가 적은 탄성 거동을 보이다가 시간이 경과할수록 $D(t)$ 가 증가하는 점탄성 거동을 보이고 있다.

하중재하시간이 길 경우 일반 혼합물에 비해 켄크리트 혼합물의 $D(t)$ 가 작은 것을 알 수 있다. 또한, 표 3에서와 같이 크리프곡선의 기울기 n 도 일반 혼합물의 경우 0.62인데 비해 켄크리트 혼합물은 0.53으로 작다. 점탄성 이론에 의하면 재료가 탄성에 가까울수록 n 값은 0에 근접하고 점성에 가까울수록 n 은 1에 근접하게 된다. 따라서, 켄크리트 혼합물의 크리프곡선의 기울기 n 이 일반 혼합물에 비해 적은 것은 보다 탄성에 가깝게 거동한다고 할 수 있다. 이는 앞서 언급한 아스팔트 바인더의 점탄성 물성시험 결과와도 유사하다.

본 연구에서는 각 혼합물의 Creep Compliance를 사용하여 선형 점탄성 이론을 바탕으로 동탄성계수 ($|E^*|$)를 역산정하였다. 이러한 역산정 과정에 대한 자세한 사항은 참고문헌(Lee 1996)에 수록되어 있다. 그림 6은 $D(t)$ 로부터 역산정한 각 혼합물의 하중주기에 따른 동탄성계수를 보여 주고 있다. 그림에서 보듯이 하중주기가 느릴 경

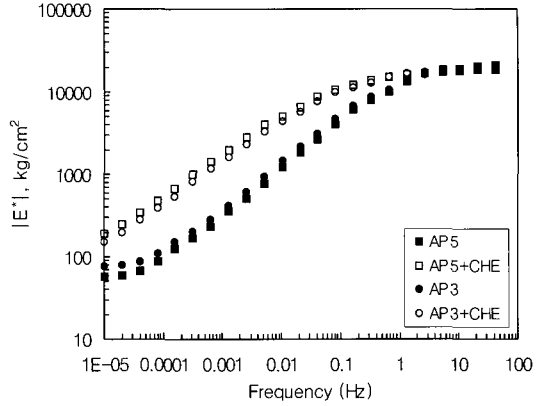


그림 6. 일반 및 켄크리트 혼합물의 시간에 따른 동탄성계수 거동

우 일반 아스팔트에 비하여 켄크리트 혼합물의 강성이 거의 2~3배 이상 크다는 것을 알 수 있다. 이러한 느린 하중주기에서의 일반 혼합물과 켄크리트 혼합물간의 강성의 차이는 하중주기가 증가할수록 감소하였으며, 하중주기가 10Hz 이상 일 때 각 혼합물의 강성은 거의 동일하였다. 또한, 10Hz 이상의 하중주기에서 모든 혼합물은 거의 탄성에 가까운 거동을 보이고 있다.

시간-온도 중첩원리(time-temperature superposition principle)에 의하면 느린 하중주기는 고온에 해당하고 빠른 하중주기는 저온에 해당하므로 고온에서는 켄크리트 개질 아스팔트 혼합물이 일반 아스팔트 혼합물에 비해 강성이 2~3배 이상 크다고 말할 수 있다. 아스팔트 포장의 소성변형은 차량의 주행속도가 느릴수록 더욱 많이 발생하기 때문에 이러한 시험결과로 볼 때 켄크리트 혼합물이 소성변형에 대한 저항성이 일반 혼합물에 비해 우수하다고 볼 수 있다

3.3 아스팔트 혼합물의 공용성

3.3.1 피로균열

일반 및 켄크리트 개질 아스팔트의 피로공용 특성을 비교 분석하기 위하여 AP-5 및 AP-3 아

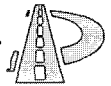


표 4. 일축인장 피로시험결과

Asphalt Binder	Average Air Void (%)	Strain Amplitude (mm/mm)	Average N_f
AP-5	5.02	0.00053	229,900
		0.00067	117,000
		0.00087	15,100
AP-5 + CHE	4.88	0.00087	99,700
		0.001	62,800
		0.00113	21,700
AP-3	5.05	0.00053	189,500
		0.00067	46,200
		0.00087	25,700
AP-3 + CHE	5.25	0.00053	840,900
		0.00087	167,200
		0.001	68,900

스팔트에 각각 중량비로 2%의 켈크리트를 첨가한 개질 아스팔트를 사용한 4종의 아스팔트 혼합물에 대해 실내에서 단기노화 처리를 실시한 다음 일축인장 피로시험을 실시하였으며, 결과를 표 4에 정리하였다. 각 혼합물의 피로시험 데이터를 사용하여 변형률 진폭과 피로수명에 대해 회귀분석을 실시하였으며, 이는 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있다.

$$N_f = a(\epsilon_0)^b \quad (3)$$

여기서, N_f 는 피로수명, ϵ_0 는 변형률 진폭 그리고 a 와 b 는 회귀분석에서 얻어지는 상수들로서 표 5와 같다. 식 (3)은 일반적으로 가장 흔히 사용되는 아스팔트 혼합물의 피로수명 예측모델로서 포장의 구조해석 결과와 더불어 아스팔트 포

표 5. 피로수명 예측모델의 계수

Asphalt Binder	a	b
AP-5	3×10^{-14}	-5.8133
AP-5 + CHE	1×10^{-14}	-7.2350
AP-3	7×10^{-15}	-4.1052
AP-3 + CHE	5×10^{-15}	-3.7554

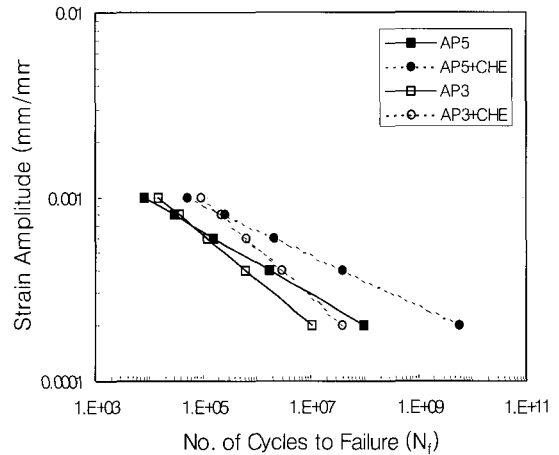


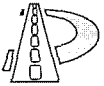
그림 7. 4종 아스팔트 혼합물의 피로공용성 비교

장의 피로수명 예측에 사용된다.

식 (3)과 표 5에 주어진 계수 값을 사용하여 여러 변형률 진폭에 대한 각 혼합물의 피로수명 값을 계산하여 결과를 그림 7에 비교하였다. 그림에서 보는 바와 같이 변형률 진폭이 0.0007mm/mm 보다 클 경우 AP-3 혼합물이 AP-5 혼합물에 비해 피로수명이 크지만 변형률 진폭이 0.0007mm/mm 보다 작을 때는 AP-5 혼합물의 피로수명이 AP-3 혼합물의 피로수명 보다 큰 것으로 나타났다. 일반적인 아스팔트 포장의 경우 아스팔트 층 하부에 발생하는 인장 변형률은 0.0007mm/mm 이하이기 때문에 본 연구에서 시험한 아스팔트의 경우에는 AP-5가 AP-3 혼합물에 비해 피로저항성이 우수하다고 볼 수 있다.

켈크리트를 첨가한 경우에 있어서도 앞서 언급한 것과 유사한 피로거동을 보여주고 있다. 즉, 변형률 진폭이 0.0008mm/mm보다 클 때에는 AP-3 켈크리트 혼합물이 그리고 작을 때는 AP-5 켈크리트 혼합물의 피로저항성이 우수하였다.

일반 혼합물과 켈크리트 혼합물의 경우에는 아스팔트의 종류에 관계없이 켈크리트 혼합물의 피로수명이 일반 혼합물의 피로수명에 비해 약 10배 이상 우수하였다. 이는 3.1절의 아스팔트 바인



더의 점탄성 물성 시험결과(원 시료의 경우 캬크리트 개질 아스팔트의 $G^* \sin \delta$ 값이 일반 아스팔트에 비해 적어 피로수명이 우수함)와도 어느 정도 일치하는 것으로서 시공직후에는 캬크리트 혼합물의 피로수명이 일반 혼합물에 비해 큰 것으로 보인다. 그러나, 노화가 진행될수록 캬크리트 혼합물의 빠른 경화특성으로 인해 피로저항성이 약화되며, 이러한 현장의 노화 및 경화과정은 실내에서 정확히 모사하기가 거의 불가능하기 때문에 장기노화 이후의 피로 공용성 비교는 현장에서 노화된 시편을 사용하여 비교하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

3.3.2 소성변형

소성변형에 대한 공용성 분석을 위하여 피로시험과 동일하게 4종의 혼합물에 대해 단기노화를 시킨 다음 휠트래킹 시험을 실시하였으며, 결과를 표 6에 정리하였다. 표에서 보는 바와 같이 AP-5의 점도가 AP-3에 비해 높기 때문에 AP-5 혼합물의 동적 안정도가 AP-3 혼합물에 비해 약 31% 높은 것으로 나타났다. AP-3 혼합물의 경우에 있어서는 캬크리트 개질 혼합물의 동적 안정도가 일반 혼합물에 비해 31% 높게 나타났고, AP-5의 경우에도 캬크리트 혼합물이 48% 높게 나타났다.

이상의 휠트래킹 시험결과로 볼 때 캬크리트

표 6. 휠트래킹 시험결과

시편 종류	공극률 (%)	변형률 (mm/분)	동적 안정도 (회/mm)	평균 동적 안정도 (회/mm)
AP-5	1	5.22	0.0067	6300
	2	5.09	0.0053	7875
AP-5 + CHE	1	4.50	0.0040	10500
	2	4.87	0.0040	10500
AP-3	1	4.68	0.0093	4500
	2	4.89	0.0067	6300
AP-3 + CHE	1	4.68	0.0067	6300
	2	4.56	0.0053	7875

혼합물의 소성변형 저항성은 시공직후부터 일반 혼합물에 비해 우수하며, 공용될수록 캬크리트 혼합물의 빠른 경화특성으로 인해 소성변형 저항성은 일반 혼합물에 비해 더욱 빠르게 증가할 것으로 예상된다.

3.3.3 수분손상

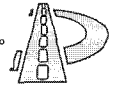
수분손상에 대한 저항성 평가는 건조 및 고온에서 물로 포화된 시료의 간접인장강도를 비교하여 분석하였으며, 역시 4종의 혼합물에 대해 단기노화 처리한 시료를 시험에 사용하였다. 시험결과를 요약하면 표 7과 같다.

표 7. 수분손상 평가를 위한 간접인장강도 시험결과

Asphalt Binder	Dry		Wet		TSR (%)
	Air Void (%)	Strength (kg/cm ²)	Air Void (%)	Strength (kg/cm ²)	
AP-5	8.23	6.66	8.22	5.28	79.3
AP-5 + CHE	7.99	9.53	7.93	8.85	92.8
AP-3	8.67	6.29	8.61	5.48	87.0
AP-3 + CHE	8.52	8.00	8.51	7.82	98.0

아스팔트 혼합물의 수분손상에 대한 저항성은 간접인장강도비(tensile strength ratio, TSR)이 높을수록 유리한 것으로 알려져 있으며, 미국의 경우 대부분의 주에서는 TSR이 75~80% 이상이 되도록 배합설계에 규정하고 있다(NCAT).

표 7에서 보는 바와 같이 AP-3 아스팔트 바인더가 AP-5 아스팔트 바인더에 비해 수분손상에 대한 저항성이 높게 나타났고, AP-5 아스팔트의 경우 TSR이 79%로서 미국의 규정 80%에 약간 미치지 못하고 있다. 그러나, 캬크리트를 첨가한 혼합물의 경우 AP-5와 AP-3 아스팔트에서 캬크리트 혼합물의 TSR 값이 일반 혼합물에 비해 수분손상에 대한 저항성이 평균 14% 정도 우수한 것으로 나타났다.



이러한 결과는 캬크리트와 아스팔트의 화학적 결합에 의해 생성된 케톤의 역할로 여겨지며, 케톤결합은 골재와 강하게 결합할 수 있는 극성을 가지고 있고 물에 대한 저항성을 가지고 있어 아스팔트와 골재의 박리에 대한 저항성을 증대시키는 것으로 판단된다.

연구가 필요하다. 이러한 연구에 있어 가장 큰 문제점은 현장에서 발생하는 캬크리트 혼합물의 노화 및 경화현상을 실내에서 정확히 재현하기가 현재로서는 거의 불가능하다는 데 있다. 따라서, 본 연구에서는 실제 현장에서 공용된 시편을 채취하여 회복탄성계수시험을 수행하여 분석하였다.

4. 현장시편의 시험결과

캬크리트는 폴리머 계통의 개질재와 달리 아스팔트 시멘트와 직접적인 화학적 결합을 하여 아스팔트의 분자구조를 바꾸는 개질재이다. 캬크리트 개질재중 금속이온은 온도가 일정수준이상 유지되고 산소가 공급되면 아스팔트의 수소원자를 매우 빠르게 산화시켜 안정한 케톤결합으로 전환시키는 촉매작용을 한다. 이러한 작용에 의해 캬크리트 혼합물은 일반 혼합물보다 훨씬 큰 강성을 나타낸다(Chemcrete 1986). 외국의 연구결과에 의하면, 현장에서 캬크리트 혼합물의 경화는 대부분 2년 이내에 발생되고 마찰안정도는 일반 혼합물에 비해 6~7배 증가되는 것으로 알려져 있다(Chemcrete 1986).

캬크리트는 국내에 도입된 이후 수년간 주로 아스팔트 표층 혼합물에 적용하였으며, 4~5년 공용된 후에는 조기에 균열이 발생되어 캬크리트 개질재의 문제점으로 지적되고 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 최근에는 캬크리트 혼합물을 주로 기층에 적용하고 있다. 아스팔트 포장의 기층은 표층에 비해 산소공급이 원활하지 않기 때문에 기층에 캬크리트 혼합물을 적용할 경우 경화가 진행되는 속도를 줄일 수 있어 균열의 발생을 완화하면서 캬크리트 혼합물의 고유 장점은 살릴 수 있는 효과를 기대한 것이다. 그러나, 기층에 적용하였을 경우 과연 얼마만큼 캬크리트 혼합물의 경화속도를 줄일 수 있는지 그리고 균열발생에 어떤 영향을 미치는가에 대한 체계적인

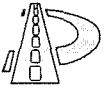
4.1 현장시편 채취

캬크리트 혼합물이 시공된 구간에 대해 현장의 시편을 채취하여 실내시험을 수행하기 위해 먼저 대상구간의 선정작업을 실시하였다. 현장의 위치 선정에는 여러 가지 제약사항이 있었다. 먼저, 시간에 따른 캬크리트 혼합물의 경화진행을 분석하기 위해서 가장 바람직한 것은 시공직후부터 수년간 주기적으로 시편을 채취하여 탄성계수의 변화를 조사하는 것이지만 연구기간이 6개월로 한정되어 있어 시간제약으로 인해 이러한 접근법은 불가능하였다. 여러 가지 사항들을 고려하여 최종적으로 2개소의 현장을 선정하였다.

4.1.1 서해안 고속도로 서창 J/C

첫번째 구간은 서해안 고속도로상의 서창 J/C 구간으로서 인천시가지 도로 인접부에 위치하고 있으며, 1993년 9월 서해안고속도로 신설 당시 연장 300m 구간에 시험시공을 실시하였다. 서창구간은 캬크리트 혼합물의 기층에 대한 적용성 평가를 목적으로 한 최초의 시험시공 구간으로서 2000년 현재 약 7년 공용된 상태이다.

본 시험시공구간의 일반 혼합물 구간은 선택층 75cm, 보조기층 30cm, 일반 아스팔트 안정처리 기층 25cm, 일반 아스팔트 표층 10cm로 구성되어 있다. 캬크리트 구간은 기층의 두께를 25cm에서 20cm로 줄여 캬크리트 혼합물을 적용하고 단차조정 등의 이유로 보조기층을 35cm로 증가시켜 시공하였다.



2000년 2월 현재 켈크리트 시공구간의 포장상태는 횡방향 균열이 크게 3~4개 지점에서 발생하였고, 기타 국부적인 종방향 균열이 일부 발생하였으며, 일반 구간에서는 횡방향 균열은 거의 없으나 역시 종방향 균열이 일부 발생한 상태이다. 소성변형이나 기타 다른 형태의 손상은 특별히 심각하게 우려할 만큼 발생되지 않았다. 횡방향 균열은 포장체 하부에 배수를 위하여 설치한 콘크리트 구조물이 위치하고 있는 지점에 집중적으로 발생하였고, 이 지역의 지반이 바다와 인접한 갯벌 지역이어서 연약지반의 침하로 인해 구조물과 토공부의 부등침하에 기인하는 균열로 판단되었다.

시편은 직경 100mm의 코어 채취기를 사용하여 일반 및 켈크리트 구간에서 균열이 없는 차량의 바퀴가 지나가는 지점에서 각각 1개씩 코어를 채취하였으며, 채취된 아스팔트 콘크리트 코어의 길이는 일반 및 켈크리트 구간이 모두 30cm로 동일하였다. 채취된 코어를 관찰한 결과 시공 당시의 계획과는 달리 일반 및 켈크리트 구간 모두 동일하게 20cm 두께의 기층을 시공한 것으로 나타났다.

균열이 발생한 시편은 켈크리트 구간에 발생한 횡방향 균열이 표층의 상부에서 발생한 것인지 또는 하부의 균열이 상부로 진전된 것인지를 판단하기 위하여 채취하였다. 시편의 균열은 표면에서 기층 하부까지 완전히 연결된 상태로서 표층 상부의 균열은 미세하나 하부로 갈수록 균열의 폭이 넓은 것으로 보아 하부에서 발생되어 상부로 진전된 것으로 보여진다. 또한, 하부에서는 골재와 아스팔트의 박리가 일부 발생되어 있었고, 이는 균열 틈새로 물이 침투하여 발생한 것으로 판단된다.

현장에서 채취한 시편은 실험실에 운반하여 시편절단기로 기층 20cm 길이의 시편을 각각 6cm 내외의 길이로 상부, 중간, 하부의 3개 시편으로 절단하여 회복탄성계수시험용 시편으로 사용하였다.

4.1.2 지방도 312호(고색-의왕)

본 시험시공구간은 1998년에 일반 및 켈크리트 구간이 동시에 시공되어 현재 약 2년간 공용된 도로로서 비교적 양호한 포장상태를 유지하고 있다. 당초 시공계획시 단면두께는 일반구간은 표층 10cm, 기층 20cm 그리고 켈크리트 구간은 표층 5cm에 기층을 20cm와, 25cm를 적용한 2개의 시험시공 구간으로 계획되었다. 그러나, 각 구간에 대한 시료채취 결과 일반은 기층의 두께가 18cm로 2cm 부족하였고, 기층은 23cm, 25cm로 20cm 구간에서 오히려 3cm 초과되어 시공되었다.

현장에서 채취한 시편은 시편절단기로 기층에 해당되는 부분에서 각각 6cm 내외의 길이로 상부, 중간, 하부의 3개 시편으로 절단하여 회복탄성계수시험용 시편으로 사용하였다. 그러나, 때로는 기층을 시공할 때 여러 층으로 다짐을 실시하여 다짐의 경계면이 존재하는 경우 3개의 시편을 확보할 수 없어 표 8에서와 같이 서창 켈크리트 구간과 고색 일반 및 켈크리트 2 구간은 각각 2개의 시편만 확보 가능하였다.

4.2 시험결과 및 고찰

현장의 공용기간에 따른 일반 및 켈크리트 혼합물의 노화 및 경화 정도를 분석하기 위하여 현장시편을 사용하여 회복탄성계수 시험을 실시하였다. 시험은 AASHTO TP31의 시험절차에 따라 시험을 실시하였고, 시험온도는 5°C와 25°C에서만 시험을 실시하였다. 40°C에서의 시험을 실시하지 않은 이유는 고온에서의 점탄성 물성은 소성변형과 관련이 있으며 켈크리트 혼합물의 소성변형에 대한 저항성이 일반 혼합물에 비해 우수하다는 사실은 이미 여러 실내 및 현장의 시험(도로연구소 1996)을 통하여 어느 정도 검증된 사안이라 피로균열이 많이 발생되는 저온 및 중간온도에서 시험을 실시하였다.

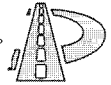


표 8. 회복탄성계수 시험결과

구 간	온도 (°C)	회복탄성계수 (MPa)				평균증가율
		Top	Middle	Bottom	평균	
서창 일반	5	13,082	14870	11,167	13,040	49 %
	25	7,668	7,312	7,127	7,369	
서창 캠크리트	5	13,908	-	35,726	24,817	
	25	4,937	-	10,986	7,961	
고색 일반	5	9,936	-	10,336	10,151	58 %
	25	2,079	-	3,663	2,871	
고색 캠크리트 1	5	16,807	14,095	17,397	16,100	
	25	4,135	5,629	5,997	5,254	
고색 캠크리트 2	5	13,301	-	9,690	11,500	
	25	5,328	-	4,750	5,039	

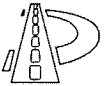
표 8은 회복탄성계수 시험결과를 정리한 것으로 각 시편에 대해 한 온도에서 3회 측정하여 그 값을 평균한 것이다. 표층에 가까울수록 산화가 많이 발생하여 탄성계수가 클 것이라는 당초의 예상과는 달리 표에서 보는 바와 같이 상부의 탄성계수가 하부의 탄성계수보다 높은 경우가 있고 그 반대의 경우도 있어 반드시 어디에서 많은 산화가 발생한다고 단정짓기는 어려운 점이 있다. 또한, 저온 및 중간온도에서 일반 및 캠크리트 구간의 탄성계수 비율에 있어서도 현장시편의 개수가 충분하지 않아 어떤 경향을 파악하기는 어렵다. 따라서, 전체 평균을 구하여 비교한 결과 일반 혼합물 대비 캠크리트 혼합물의 탄성계수가 서창 J/C 구간은 평균 49%, 고색-의왕 구간은 58% 높게 측정되었다.

앞서 1996년 서창 J/C 구간의 현장 시편에 대한 마샬안정도 시험에서는 캠크리트 혼합물의 안정도가 일반에 비해 약 40% 증가하였으며, 1998년도에 실시한 FWD 시험(도로연구소 1999)에서는 일반 혼합물에 비해 캠크리트 혼합물의 탄성계수 비가 약 36% 높게 추정되었다. 따라서, 본 연구의 회복탄성계수 시험에서 얻어진 49%의 탄성계수 증가는 이전의 시험결과와 유사하며, 3년 공용된 이후(1996년 이후)부터는 캠크리트 혼합물의 탄성계수가 큰 변화는 없는 것으로 보인다.

고색-의왕 구간은 2년 공용된 구간이며, 서창은 약 7년 공용된 구간이라 서창구간의 탄성계수 비가 높을 것이라는 예상과는 달리 오히려 약간 적게 나타났다. 이는 앞서 4.1절에서도 언급하였지만 현장에서의 캠크리트에 의한 아스팔트 혼합물의 경화는 2년 정도 지나면 거의 최고점에 도달하기 때문에 이러한 결과가 얻어진 것이라고 볼 수 있다.

이상 현장시편을 사용한 마샬안정도 및 회복탄성계수 시험과 현장의 FWD 시험 결과를 종합해 보면 비록 시험데이터가 제한되어 있으나 캠크리트 혼합물을 포장의 기층에 적용하였을 경우 2년에서 7년 정도 공용된 후의 탄성계수는 일반 혼합물에 비해 약 30~60% 정도 증가한다고 볼 수 있다. 이러한 시험결과는 Nunn 등(1986)의 시험 결과와도 유사하며, 20개월 공용 후 캠크리트 혼합물의 탄성계수가 일반혼합물에 비해 15°C에서는 50%, 25°C에서는 100% 그리고 40°C에서는 400% 큰 것으로 보고하였다. 또한 36개월 공용후의 탄성계수 증가도 20개월 공용시점과 비슷한 수준을 유지하는 것으로 평가하였다.

본 연구에서는 표층 혼합물에 대한 시험은 실시하지 않아 직접적인 비교는 어려우나 외국에서 실시한 시험(Chemcrete 1986)에서는 마샬 안정도가 최고 7배 정도 증가한 경우도 있어 기층의 산



화에 의한 켄크리트 혼합물의 경화는 표층에 비해 적은 것으로 생각된다.

5. 결론 및 제언

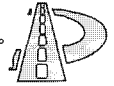
본 연구에서는 켄크리트 혼합물을 기층에 적용할 경우 일반 혼합물 대비 공용성 및 경제성 평가를 목적으로 실내 공용성 시험을 실시하였으며, 현장의 시편을 채취하여 실내시험을 수행하였다. 본 연구에서 얻어진 중요한 결론은 다음과 같다.

- 아스팔트 바인더에 대한 DSR 시험과 휠트래킹 시험을 통하여 켄크리트 혼합물이 일반 혼합물에 비해 소성변형에 대한 저항성이 양호한 것으로 나타났다.
- 간접인장강도 시험결과 켄크리트 혼합물이 일반 혼합물에 비해 수분손상에 대한 저항성이 약 14% 정도 우수한 것으로 나타났다.
- 아스팔트 바인더에 대한 BBR 시험결과 -6°C 에서 켄크리트 개질 아스팔트의 강성은 일반 아스팔트에 비해 높게, m-값은 적은 것으로 나타나 저온균열에 대한 저항성이 불리하였으나 -12°C 에서는 거의 동일하였다.
- 피로균열에 대한 저항성은 켄크리트 혼합물이 일반 혼합물에 비해 단기노화(실내) 이후에는 우수한 것으로 나타났으나 장기노화후의 피로 공용성에 대한 판단은 현장의 노화된 시편에 대한 피로시험을 실시하여 판단하여야 할 것으로 사료된다.
- 건설기술연구원(김남호 등 1996)의 연구에 의하면 켄크리트는 아스팔트의 종류에 따라 물리적 거동 특성이 변화하는 것으로 나타나 본 연구에서의 결과가 항상 모든 아스팔트에 적용될 수는 없을 것으로 판단된다.
- 본 연구에 있어 가장 큰 문제점은 켄크리트 혼

합물의 장기 공용에 따른 노화 및 경화현상을 실내에서 재현하기가 어려웠다는데 있으며, 실제 켄크리트 혼합물을 기층에 적용한 공용기간도 짧아 완벽한 공용성 분석에 이르지 못하는 못하였다. 따라서, 앞으로 체계적이고 지속적인 추적조사를 통하여 켄크리트 포장의 장기 공용성에 대한 자료가 축적되어 보다 신뢰성 있는 공용성 분석이 이루어지길 기대한다.

6. 참고문헌

1. 김남호 등 (1996). "비용절감을 위한 도로재료 연구사업: 1-1-A 단계: 아스팔트의 물성연구." 연구보고서, 한국건설기술연구원.
2. 도로연구소 (1996). "소성변형 최소화를 위한 아스팔트 혼합물 관리 지침." 한국도로공사.
3. 도로연구소 (1999). "FWD 시험결과." 도연판 19303-674, 한국도로공사.
4. 이현종 등 (2000). "아스팔트 포장 기층용 혼합물로서 켄크리트의 공용성 평가." 최종보고서, 공학연구소, 강릉대학교.
5. 표준켄크리트 (1998). "켄크리트 소개." 주식회사 표준켄크리트.
6. Asphalt Institute (1995a). "Superpave: Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing" *Superpave Series No. 1 (SP-1)*, Asphalt Institute, Lexington, Kentucky.
7. Asphalt Institute (1995b). "Superpave level 1 mix design." *Superpave Series No. 2 (SP-2)*, Asphalt Institute, Lexington, Kentucky.
8. Chemcrete Co. (1986). "The Chemcrete Technology." Brussels, Belgium.
9. Kim, Y.R., Y. Lee, and H.J. Lee (1995). "Correspondence Principle for Characterization of Asphalt Concrete." *Jr. of Materials in Civil Eng., ASCE*, 7(1), pp. 59~68.
10. Lee, Hyun-Jong (1996). "Uniaxial constitutive modeling of asphalt concrete using viscoelasticity and continuum damage theory." *Ph.D. Dissertation, Dept. of Civil Engineering, North Carolina State*



-
- University*, Raleigh, North Carolina.
11. Nunn, M.E., W.D. Powell and D.M. Colwill (1986).
"Theoretical Assessment of the contribution of
Chemcrete Binder to the Performance of Road
Pavements." *Materials Memorandum No. 131*.
Pavement Design and Maintenance Division,
Transport and Road Research Laboratory, Berkshire.
12. Roberts, F.L. et al. (1991). "*Hot Mix Asphalt
Materials, Mixture Design, and Construction.*"
NAPA Education Foundation, Lanham, Maryland.
(접수: 2001. 4. 28)