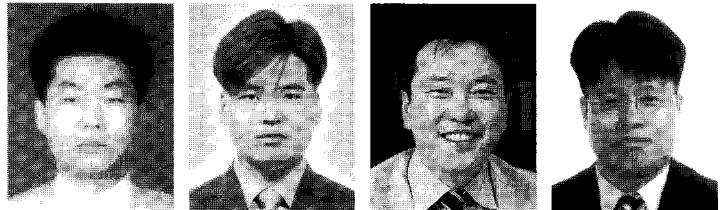


고내구성 교면포장 아스팔트 혼합물의 공용성 평가를 위한 포장가속시험



박희문 | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로시설연구실
 최지영 | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로시설연구실
 이현종 | 정회원 · 세종대학교 토목환경공학과 교수
 황의윤 | 정회원 · SK에너지 기술원

1. 서론

현재 국내 도로교의 건설은 국토의 70% 이상이 산악지역인 지형적 특성으로 인해 적용비율이 상대적으로 많아지고 있다. 특히 1990년대 이후 국가 사회간접자본의 확충으로 인한 도로건설의 증가로 교량의 수요 또한 증가하고 있는 추세이다. 보통 도로교에서는 주행차량의 양호한 평탄성을 제공하고 교량 상부 바닥판을 보호하는 목적으로 포장이 일반적으로 적용된다. 그러나 교면포장은 일반 토공부에 건설되는 포장에 비해서 구조물 진동 및 차량의 충격, 그리고 혹독한 기상조건에 노출이 되고 하중의 전달이 상판상에 집중되는 특성 등으로 파손 및 주기 기능 저하 요인이 된다. 또한 교면포장은 진동으로 인해 피로균열에 취약한 문제점이 있으며, 상판과 포장층의 접착약화로 인한 파손 그리고 특수 아스팔트 혼합물의 적용이 요구되는 등 교량의 유지관리 측면에서 큰 문제점으로 인식되어져 왔다. 아울러 교면포장의 기능은 차량 진행시 충분한 공용성을 제공하는 역할뿐만 아니라 상판을 보호하는 기능도 수행하고 있어 교량의

내구성 확보 측면에서 매우 중요하다. 그러나 현재 국내에서는 도로교량의 구조적인 수명 및 안전에 직접적인 영향을 미치는 내구성있는 교면포장의 성능을 확보할 수 있는 설계 및 유지관리에 관련한 기술 등이 취약한 바(현재 독일, 덴마크의 기술수준을 90% 정도로 볼 때 국내의 기술개발 수준은 30% 정도임), 도로교량의 수명증대와 차량의 주행안정성 확보를 위해서 국내 여건에 적합한 조건을 고려한 교면포장설계 및 성능유지를 위한 기술의 연구가 요구된다.

아스팔트 및 콘크리트 포장의 장기공용성을 계측하기 위해서 일반적으로 포장가속시험을 국내외로 가장 폭넓게 사용하고 있다. 본 시험은 현장과 유사한 교통하중의 재하가 가능하며, 또한 실물크기의 도로포장을 제작하여 현장에서 발생하는 파손들을 짧은 시간안에 모사할 수 있다. 이를 이용하여 실내 시험을 통하여 개발된 공용성 모델을 검증할 수 있으며 보정계수 결정에도 사용할 수 있다. 또한 아스팔트 재료의 성능평가에서 매우 신뢰도가 높은 시험으로도 평가된다. 이러한 시험법은 교면포장의 공용성 평가에 사용된 적이 국내외적으로 전무한 실정이

다. 교면포장의 경우 토공부 포장보다 조기파손 확률이 높으며 공용성 또한 상대적으로 낮다. 교면포장의 수명연장 및 도로이용자의 안전을 위해서는 고성능 교면포장 아스팔트 재료의 개발이 필요하다. 본 연구에서는 교면포장에서 발생할 수 있는 피로균열에 대한 저항성이 높은 재료의 개발을 수행하였으며 포장가속시험기를 이용하여 개발된 재료의 공용성을 평가하였다.

2. 고내구성 교면포장용 아스팔트 개발

본 연구에서 사용한 개질아스팔트는 SBS 계열의 개질아스팔트로서 소성변형 저항성은 물론 균열저항성을 크게 개선시킨 아스팔트이다. 특징을 살펴보면, Base 아스팔트와 개질재인 SBS의 혼합성과 성능을 최적화시키기 위하여 Base 아스팔트가 적정한 방향족과 아스팔텐 성분을 유지할 수 있도록 선별된 원유를 통하여 생산된 아스팔트를 사용하였다. 균열저항성능을 제고하기 위해 적절한 분자구조를 갖도록 설계된 SBS Grade를 적용하였으며 도로포장용보다 높은 함량의 SBS를 혼합하였다. 또한 아스팔

트와 SBS만의 혼합에 의한 균열저항성능 개선효과는 한계가 있어 아스팔트와 SBS 개질재간 상용성과 탄성강화능력이 탁월한 Hydrocarbon을 SBS함량 및 Base 아스팔트의 방향족 성분과 연계하여 혼합함으로써 균열억제능력을 극대화시켰다. 일반 도로포장용 SBS 개질아스팔트와 비교하여 높은 SBS 함량에 의한 작업성 저하를 초래할 수 있으나 감온성이 우수한 Hydrocarbon의 효과로 인하여 오히려 작업성을 개선시킬 수 있다.

균열저항성을 대폭 개선시킨 SBS 개질아스팔트의 전반적인 제조공정은 그림 1과 같다.

3. 율하중시험

율하중시험은 포장가속시험기(APT)의 일종으로서 실물사이즈의 실험체에 하중을 재하하여 실제와 유사한 방법으로 포장체에 파손을 유발시킬 수 있다.

현재 한국건설기술연구원 구조연구부에서 개발하여 운영하고 있는 율하중시험기는 유압으로 100톤까지 하중을 재하할 수 있으며, 다양한 차륜(철륜, 타이어)을 장착하여, 3m까지 왕복주행이 가능하다. 본 연구에서는 구조연구부에서 연구중인 FRP 바닥판위에 아스팔트 포장을 시공하여 율하중시험을 실시하였다. 하중재하는 5톤의 하중을 복륜타이어로 하였고 접지압은 690kPa로 하였으며 실험온도는 상온에서 실시하였다.

3.1 율하중시험 시편

율하중시험에 사용될 바닥판은 구조연구부에서 개발한 3m×3m의 FRP바닥판을 사용하였으며, 단면 구성은 다음의 그림 2와 같이 하였다. 아스팔트 혼합물은 13mm 밀입도 골재와 두 가지 바인더를 사용하여 제작하였다.

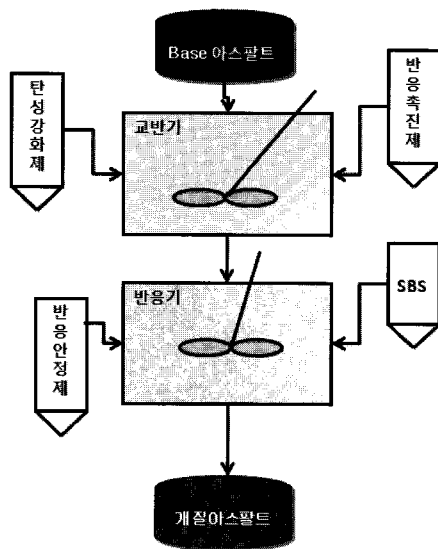


그림 1. 균열저항성 향상 고내구성 개질아스팔트 제조공정

- 밀입도 13mm + PG 64-22
- 밀입도 13mm + PG 70-34
(고내구성 교면포장용 아스팔트 혼합물)



그림 2. 윤하중 시험시편 단면구성

FRP 바닥판과 아스팔트 포장층 사이에는 방수이 외에 접착성, 전단저항성 등의 문제가 큰 만큼 방수층으로는 규사와 에폭시 수지를 이용한 접착공법을

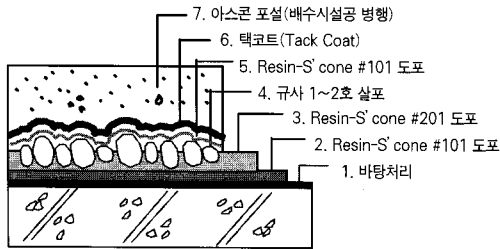


그림 3. 접착층 단면구성

표 1. 전단시험결과(한국도로공사, 2000)

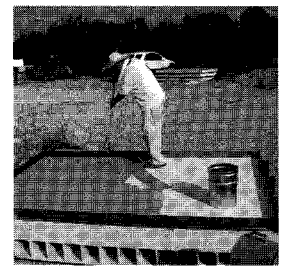
구 분	시험온도 (°C)	전단응력 (kg/cm ²)			
		0	1.6	3.2	6.4
강상판 +도막방수재 +아스팔트혼합물	-10	14.78	16.07	20.09	21.11
	20	4.94	6.34	6.94	8.73
	40	1.88	3.27	3.76	5.85
강상판 +시트방수재 +아스팔트혼합물	-10	17.91	16.14	14.76	19.12
	20	5.41	6.49	6.16	7.48
	40	1.75	2.23	2.83	3.64
강상판 +규사&에폭시방수재 +아스팔트혼합물	-10	22.2이상	22.2이상	22.2이상	22.2이상
	20	12.5	11.9	13.1	15.4
	40	2.88	3.72	5.07	8.55
콘크리트바닥판 +도막방수재 +아스팔트혼합물	-10	18.33	17.53	16.75	21.56
	20	5.47	5.78	8.82	10.33
	40	1.55	2.26	4.08	6.42
콘크리트바닥판 +시트방수재 +아스팔트혼합물	-10	14.69	17.23	16.69	23.74
	20	6.14	6.29	6.87	8.38
	40	1.49	2.31	2.90	3.53

사용하였다. 그림 3은 접착층의 단면구성으로서 바닥판위에 프라이머층을 시공 후 규사층을 두고 그 위에 다시 접착층을 두어 아스팔트 혼합물층과의 접착성이 매우 우수하게 하였다. 표 1에서 보는 바와 같이 전단응력이 강상판과 콘크리트 바닥판위에 도막방수재나 시트방수재를 시공하였을 때보다 우수한 것으로 나타났다.

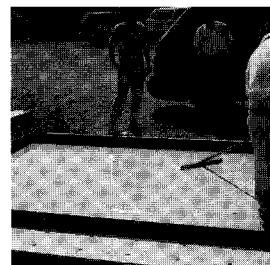
그림 4는 FRP 바닥판에 접착층을 시공하는 모습을 나타내고 있다. FRP 바닥판을 그라인더로 표면 처리한 후 프라이머층을 도포한다. 프라이머층이 마른 후에 규사접착층을 도포하고 바로 규사를 골고루 살포한다. 이후 규사층이 경화가 되면 마지막에 에폭시 수지로 마감도포를 실시하였다.



① FRP 바닥판 표면처리



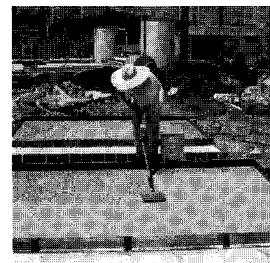
② 프라이머층 도포



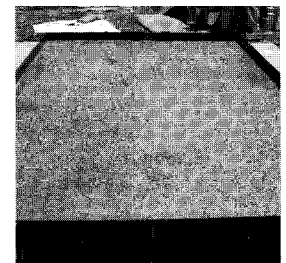
③ 규사접착층 도포



④ 규사 살포



⑤ 마감도포



⑥ 접착층 작업완료

그림 4. 접착층 시공장면

포장층은 아스팔트 혼합물이 많이 필요하므로 아스팔트 플랜트 주변에서 직접 포설 및 다짐작업을 실시하였다. 그림 5에서 보는 바와 같이 다짐작업을 위하여 터파기를 한 후 FRP 바닥판을 설치하였다. 그 위에 프라이م 코트를 살포하고 아스팔트 혼합물 포설 및 다짐을 실시하였다.

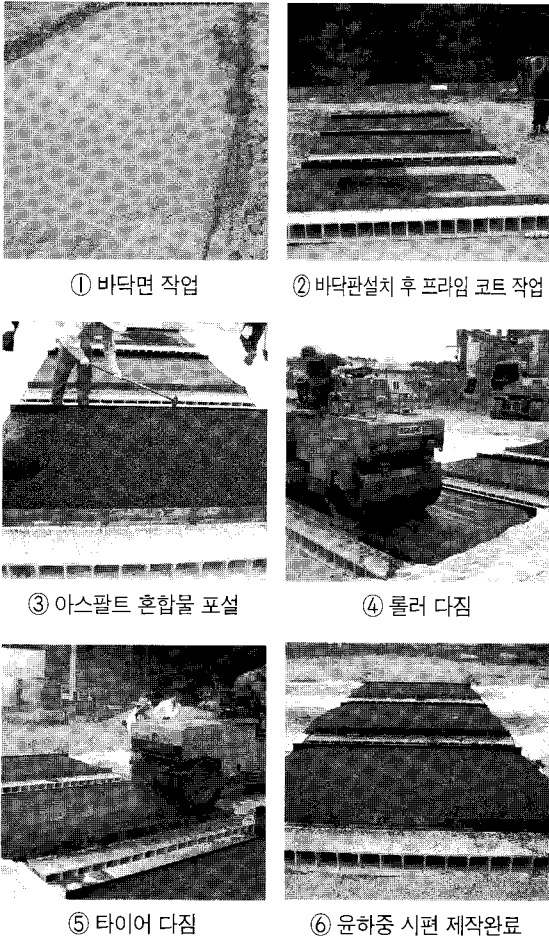


그림 5. 포장층 시공장면

밀입도 13mm+PG 70-34 아스팔트 혼합물은 아스팔트 플랜트에서 생산이 불가능하여, 실험실에서 따로 제작하였다. 혼합물의 양을 줄이기 위하여 PG 64-22 아스팔트 혼합물 제작 시 프라이م코트 도포 전에 윤하중이 재하되는 부위에 고무판을 설치, 시험

제작 후 커팅을 하여 PG 70-34 혼합물을 위한 공간을 확보하였다. 이후 실험실에서 PG 70-34 아스팔트 혼합물을 혼합한 후 그림 6과 같이 시공하였다.

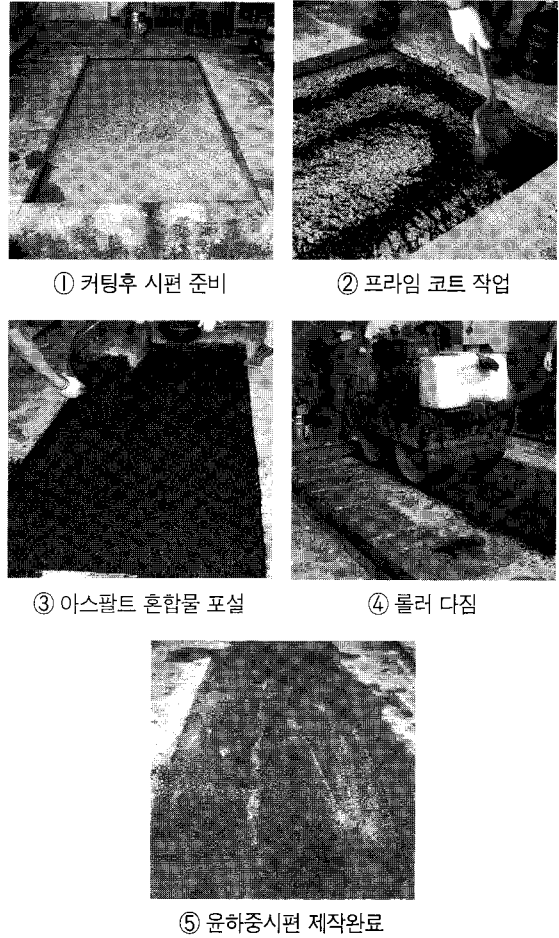


그림 6. 밀입도 13mm + PG 70-34 아스팔트 혼합물 시공장면

3.2 윤하중시험장비

본 연구에서 사용한 윤하중시험장비는 구조연구부에서 개발하여 운영하고 있는 포장가속시험기로서, 표 2와 같은 제원을 가지고 있다. 그림 7은 윤하중 시험장비의 상세도이다.

표 2. 윤하중 시험장비 제원

항 목		사 양		
형상 및 재원	시험장치 치수	프레임	높이 7m × 길이 10m	
		플라이휠	직경 5.5m	
	공시체 치수	폭 12m × 길이 6.0m × 두께 0.5m		
		주형을 포함한 바닥판 실험도 가능		
차륜의 종류	철륜 1개	폭 0.5m		
	철륜 1쌍	폭 0.5m, 간격 1.8m		
성능	구동	주행범위	고무타이어 9.00-R20-14PR 상당(항공기타이어)	
	최대 회전속도	±1.0 1.25 1.5 1.75 2.0 2.25 2.5m		
		최대	59.8 42.3 37.8 34.7 31.0 28.0 25.0 22.0rpm	
	재하하중	주행시	50 tonf	
		최대	정지시	100 tonf
	재하스트로크	300 mm		

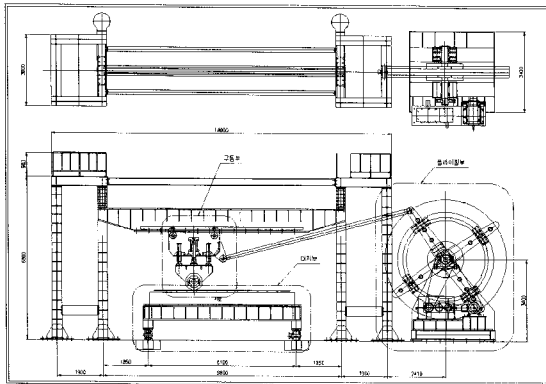


그림 7. 윤하중시험장비 정면도

4. 윤하중시험 결과 및 분석

윤하중시험은 시편전체의 온도를 제어하기에는 실험체와 장비가 큰 관계로 상온에서 실시하였다. 시험온도는 20~25℃ 사이이며, 매일 8시간씩 2회를 반복하여 시험을 실시하였다. 그림 8은 윤하중시험기의 시험장면이다.

매 20,000회 하중재하마다 시험기를 멈추고 프로파일러로 소성변형 측정 후, 육안으로 피로균열을 측정하여 흰색으로 색을 칠하여 기록하였다. 그림 9

는 소성변형 측정에 사용된 프로파일러로서, 횡방향 3cm마다 모눈종이 한 눈금으로 표현되게 세팅이 되어 있다. 그림 10은 피로균열을 육안으로 측정하는 모습이다.



그림 8. 윤하중 시험장면

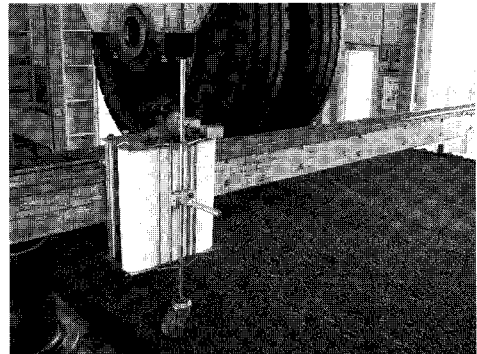


그림 9. 소성변형량 측정



그림 10. 피로균열 측정

그림 11과 그림 12는 프로파일러로 측정한 소성 변형량을 나타낸 것이다. 하중재하 전의 초기상태를

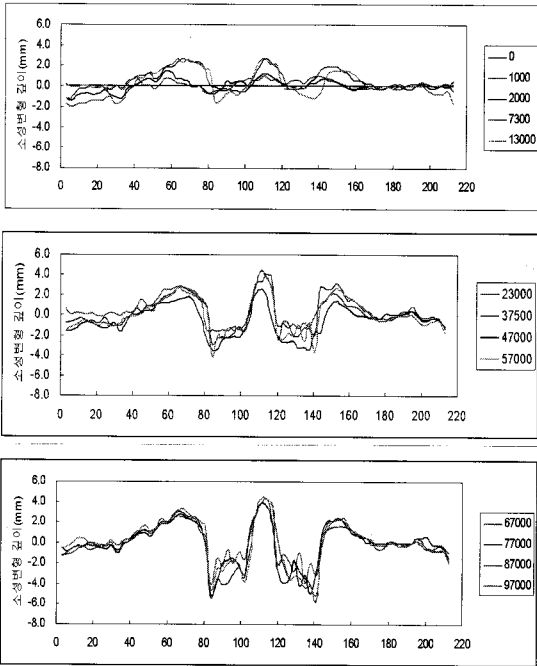


그림 11. 밀입도 13mm+PG 64-22 혼합물의 하중재하별 소성변형량

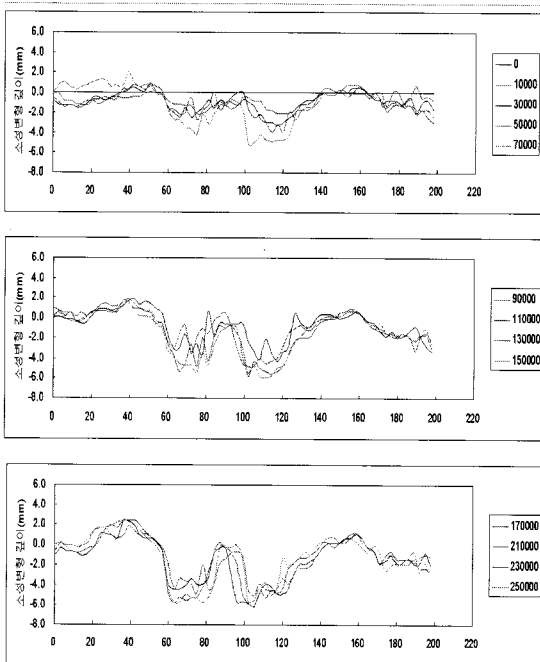


그림 12. 밀입도 13mm+PG 70-34 혼합물의 하중재하별 소성변형량

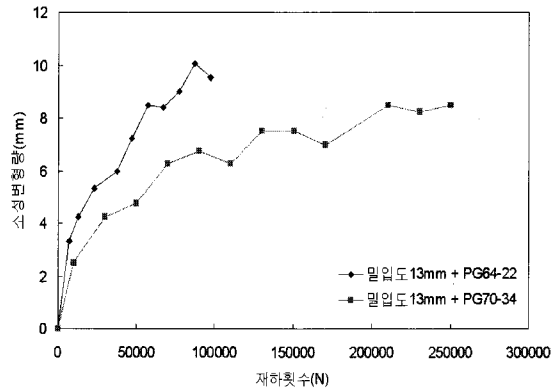


그림 13. 하중재하횟수에 따른 최대 소성변형 깊이

엔 값으로, 하중재하횟수가 증가함에 따라 소성깊이가 깊어짐을 알 수 있다.

PG 64-22 혼합물은 하중재하 초기부터 소성흐름이 발생하여 운하중 좌우에 하중재하 전보다 높게 올라가기 시작하지만, PG 70-34 혼합물은 압밀에 의한 소성변형만 발생하여 운하중 재하면 좌우의 솟음이 적다. 또한, 그림 13에서와 같이 PG 70-34 혼합물이 소성변형이 증가하는 기울기가 더 작게 나타났다. 이는 PG 70-34 혼합물이 소성변형 저항성이 우수하다는 것을 나타낸다.

그림 14와 그림 15는 하중재하횟수가 증가함에 따라 피로균열이 증가하는 모습을 보여주는 것으로 PG 64-22 혼합물은 100,000회에 이르러 피로균열이 운하중 재하 전면에 퍼져있는 것을 알 수 있다.

밀입도 13mm+PG 64-22 혼합물의 경우 50,000회를 넘어가면서 균열이 급격히 증가하여 100,000회에서는 운하중 재하면의 대부분에 균열이 발생하였다. 밀입도 13mm+PG 70-34 혼합물은 70,000회를 재하하여도 균열길이가 매우 작았으며, 250,000회 이상까지 그 기울기 또한 완만하게 나타났다. 또한 균열길이 230cm를 기준으로 봤을 때 PG 70-34 바인더를 사용한 혼합물이 PG 64-22를 사용한 혼합물에 비하여 피로균열 저항성이 약 3.5배 우수한 것으로 나타났다(그림 16).

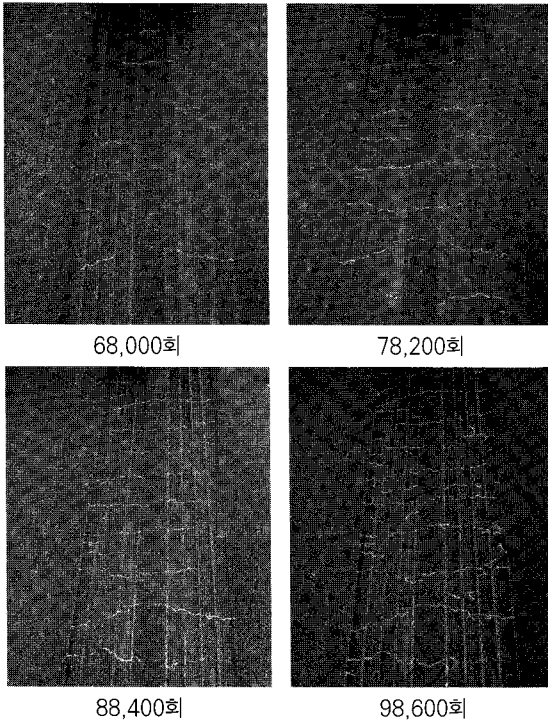


그림 14. 밀입도 13mm+PG 64-22 혼합물의 피로균열

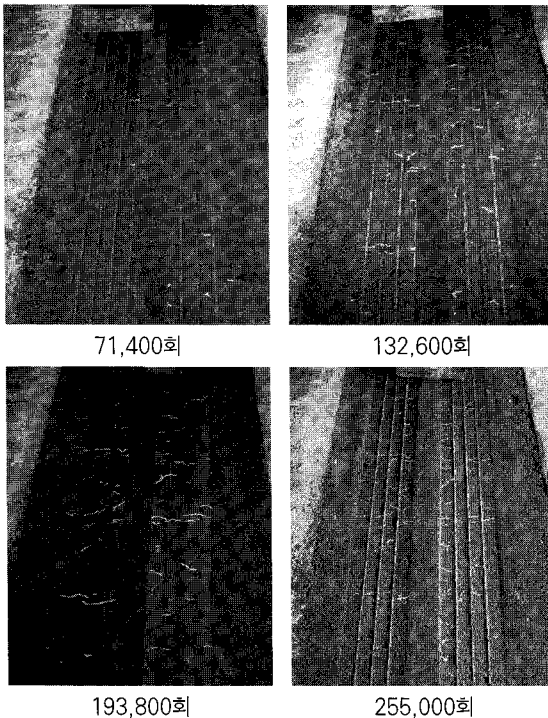


그림 15. 밀입도 13mm+PG 70-34 혼합물의 피로균열

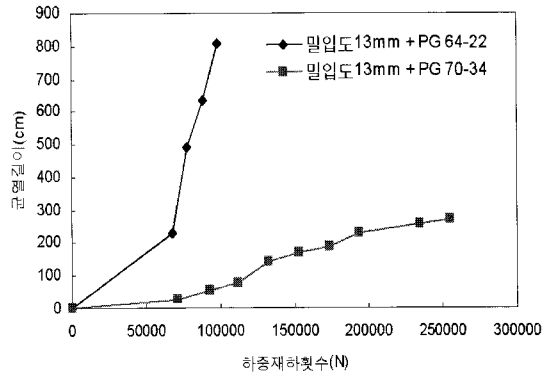


그림 16. 하중재하에 따른 균열길이의 변화

5. 결론

본 연구에서는 교면포장의 적용을 위하여 기존의 바인더에 비하여 피로 및 저온균열성이 우수하고, 생산성 및 작업성도 우수한 바인더를 개발하였다. 본 연구에서 개발된 아스팔트 재료를 교면포장에 적용하여 운하중시험 절차를 소개하고 이를 통하여 포장의 장기공용성을 평가하였다. 운하중시험 결과는 실내시험 결과와 전반적으로 유사한 경향을 보였으며 운하중시험을 통한 피로균열 저항성은 PG 64-22 혼합물은 50,000회를 넘어가면서 급격히 피로균열이 증가하였으나, 고내구성 교면포장 아스팔트 혼합물은 250,000회까지 완만한 피로균열 증가율을 보여 피로균열 저항성이 매우 우수한 것으로 나타났다.