



노후콘크리트포장 원위치 파쇄기층(Rubblized-PCC)의 반사균열 억제를 위한 적정 파쇄 깊이 산정

Estimation for optimum crush depth to prevent reflection crack for Rubblized-PCC in PCC pavements

이 승 우* 전 상 민**
Lee, Seung Woo Chon, Sang Min

Abstract

Asphalt overlay method is a general method to extend the of life old concrete pavements. However, reflection cracks are the typical problem of the AC overlay on distressed concrete pavement. Joint sealing, stress absorbtion layer have been used to prevent reflection cracks however partial success of to delay the timing of reflection cracking was recognized. Reflection crack problem can be eliminated by using rubblization method, which crush concrete pavement slab into piece of aggregate size that can be used base material. Previous research on rubblization method indicated that the size of rubblized PCC ranged 40-70mm at upper layer, and more than 100mm at lower layer. In this study, the adequate depth of rubblized PCC that can prevent reflection cracking of AC overlay is estimated base on the simulation test of reflection cracking with 0, 10, 20cm rubblized PCC base.

Keywords : reflection crack, rubblization method, overlay in concrete pavements

요 지

노후콘크리트 포장 수명을 연장하기 위한 방안으로 아스팔트 덧씌우기가 일반적이거나 반사균열을 억제하기 어렵다는 단점이 있다. 반사균열을 억제하기 위하여 줄눈부 보수, 응력 완화층 설치가 적용되는 경우가 있으나 반사균열의 진전 속도를 늦추는 제한적인 성공을 보여 왔다. 콘크리트포장 슬래브를 원위치에서 파쇄하여 기층재료로 활용하고 그 위에 덧씌우기 포장을 건설하는 러블라이제이션 공법은 기존 덧씌우기 보강 공법을 갖고 있는 반사균열 문제를 완벽하게 해결할 수 있는 장점을 가지고 있다. 러블라이제이션 공법을 적용할 경우 파쇄된 노후 콘크리트 포장층 상부층은 40mm-70mm로 파쇄되나 하부층은 100mm이상 되는 경우가 일반적이다. 국내 고속도로와 같이 상대적으로 두꺼운 콘크리트 포장 슬래브를 사용하는 경우 전체 포장 두께를 파쇄하기에 어려움이 있다. 따라서 파쇄된 노후 콘크리트 포장층이 반사균열을 유발시키지 않는 도로기층으로써의 역할을 확보하기 위한

* 정회원 · 강릉대학교 토목공학과 조교수
** 정회원 · 강릉대학교 토목공학과 석사과정



적정 파쇄 깊이를 파악하기 위하여 본 연구에서는 미국 DOT에서 제안한 일반적인 파쇄규격(40mm-70mm)을 기준으로 파쇄 깊이를 0cm, 10cm, 20cm,로 변화시켜가며 반사균열 실내 모사 실험을 수행하여 반사균열 저항 특성을 분석하고 적정파쇄 깊이를 검토하였다.

핵심 용어 : 반사균열, 러벌라이제이션 공법, 콘크리트포장 덧씌우기

1. 서론

2002년 현재 국내의 노후콘크리트 포장은 약 1,500Km(2차선기준)에 달하고 이중 상당수가 80년대에 건설되어 내구수명기간에 도달하고 있다. 포장 수명을 연장하기 위한 방안으로 노후 콘크리트 포장면 위에 아스팔트 덧씌우기 등이 일반적이나, 노후 포장면 위에 덧씌우기층의 설치는 하부 콘크리트 포장면의 균열부로부터 덧씌우기층으로 전파되는 반사균열을 억제하기 어렵다는 문제점이 있다. 러벌라이제이션 공법은 노후화된 콘크리트포장 슬래브를 원위치에서 파쇄하여 기층재료로 활용하고 그 위에 덧씌우기 포장을 건설하는 공법으로 기존 덧씌우기 보강 공법을 갖고 있는 반사균열 문제를 해결할 수 있다. 이 공법의 적용시 파쇄골재의 규격 관리 등의 특화된 기술력의 보유를 요구하지만 미국에서 가장 활발히 이루어지는 공법이다. 미국 등에서는 이미 70년대부터 러벌라이제이션 공법에 대한 연구가 수행되어 80년대부터 실용화되고 있다.

현재 미국에서 러벌라이제이션 공법을 사용하고 있는 주는 21개 주 정도이며, 이중 콘크리트포장의 노후화가 심한 펜실바니아주, 뉴욕주, 미시간 주에서는 다수의 러벌라이제이션 프로젝트가 수행된바 있다. 시공장비는 Resonant Frequency Breaker 와 Badger Breaker(MHB) + Vibratory Grid Roller 등이 있다. Resonant Frequency Breaker는 폭 15cm 무게 5400kg의 Hammer로 콘크리트 표면에 초당 45회의 13mm 증폭(135kg-2250kg)을 가하여 파쇄시키는 방법으로 별도의 안치장비는 필요하지 않고 시공속도도 시간당 3km-6km 정도로 신속하다. Badger Breaker(MHB) 및 Vibratory Grid

Roller를 조합하여 사용하는 경우 545kg-680kg의 Hammer를 약 1.5m 자유낙하시켜 콘크리트 슬래브층을 파쇄하고, 파쇄 후 Vibratory Grid Roll 안치장비로 사용된다. 이 경우는 시공속도가 시간당 150m-300m 정도이다. 러벌라이제이션 공법은 폐콘크리트를 원위치에서 별도의 가공없이 건설재료로 사용할 수 있어 폐기물 저감 측면에서 친환경적이며, 신속한 공사수행 및 차선별 공사로 공사중인 도로의 부분사용을 허용할 수 있다는 장점이 있다.

본 연구에서는 파쇄된 노후 콘크리트 포장층이 기층으로써 반사균열을 억제할 수 있는 적정 깊이를 파악하기 위하여 미국 DOT에서 일반적으로 사용하는 파쇄골재규격 40mm-70mm에 대하여 파쇄 깊이를 0cm, 10cm, 20cm,로 변화시켜가며 반사균열 실내 모사 실험을 통한 반사균열 저항 특성을 분석, 적정 파쇄 깊이를 검토하였다.

2. 반사균열의 발생 원리 및 기존 보강공법의 문제점

국내의 반사균열에 관한 연구를 살펴보면 노면 반사균열을 억제하기 위한 국내·외에서 적용하는 기존의 콘크리트 포장의 처리 및 줄눈부 보수 (sawing and sealing), 응력이나 변형률을 경감시킬 수 있는 완화층의 설치(Wire mesh, textile grid, cushion courses.등) 특수 재료를 이용한 덧씌우기(고무 아스팔트, 섬유보강아스팔트, 폴리머 아스팔트 등) 덧씌우기 두께의 증가, 균열 및 안치 공법 등이 있다. 줄눈부 보수 공법이 적용된 덧씌우기 포장의 경우 정도에 차이는 있지만 덧씌우기 1-2년 안에 반사균열



이 발생한다고 보고되고 있고 개질아스팔트 덧씌우기의 경우 반사균열의 진전속도를 늦춰주는 효과는 있지만 대부분 수년 안에 반사균열이 발생하고 있다.

Mode I의 반사균열은 온도와 습도의 변화에 따라 기존 콘크리트 슬래브의 수축과 팽창의 결과로 발생하는 슬래브의 수평적 이동에 의한 덧씌우기 층의 인장파괴에 기인하는데 이러한 반사균열은 덧씌우기가 시행된 첫 해에 기존 콘크리트 불연속면(균열, 줄눈)에서 많이 나타나며 교통하중의 반복된 재하로 가속화된다. 일반적으로 가는 실눈균열은 덧씌우기 시공 후 첫 동절기에 발생하고 수년 내에 균열에 의한 덧씌우기 층의 표면손상이 나타난다. Mode II의 반사균열은 교통하중에 의해서 발생하는데 이 원인은 기존 콘크리트 포장의 불연속면에 인접한 슬래브 단부의 서로 다른 수직 움직임이 불연속면위의 덧씌우기 층에서 전단파괴를 유발하기 때문이다.

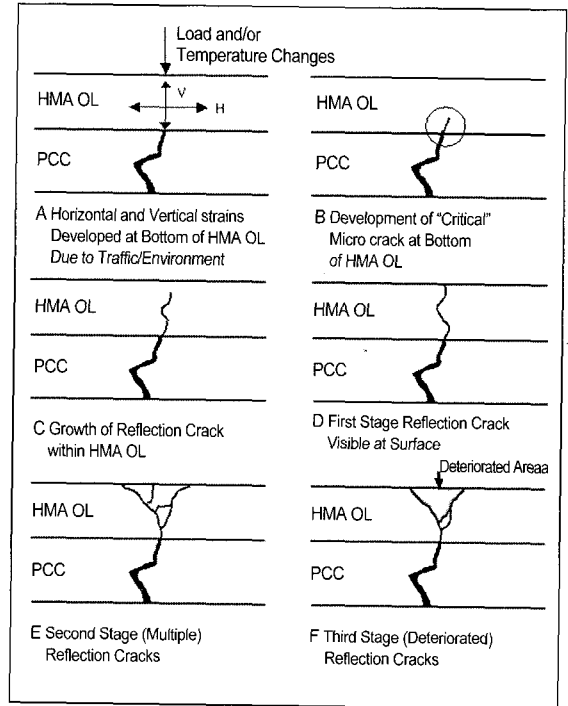


그림 1. 반사균열의 진전

3. 반사 균열 모사 시험을 통한 파쇄 입계 깊이 분석

반사균열을 억제하기 위하여 어떠한 파쇄 규격이 요구되는지를 결정하는 것이 필요하다. 외국의 경우 반사균열을 모사할 수 있는 실험 기법들이 개발되었고 국내에서도 반복하중으로 휨이나 전단을 야기하는 실험을 수행하였다. 하지만 이들 연구에서는 아스팔트에 주안점을 두어 수행되었다. 파쇄골재 규격에 따른 반사균열억제 효과에 대한 검토는 수행된바 없다.

3.1 파쇄규격

파쇄 규격에 대한 국외(미국)적용기준은 다음과 같다. 표 1 파쇄입도는 대부분의 주들이 파쇄된 콘크리트 기층의 평균 입경을 25.4mm-76.2mm로 제한하고 있으며 허용 최대 입경 127mm-203mm인 주가 11개주, 228mm-381mm인 주가 10개주로 분류되고 있다. 파쇄 입도가 다른 만큼 그에 대한 상대 강도계수 값이나 아스팔트 덧씌우기층의 두께도 상이함을 알 수 있다. 본 연구에서 사용한 파쇄골재의 입경은 40mm-70mm로 국외 적용기준을 만족하였다.

표 1. 설계적용 기준

Layer coefficient	Number of States	Thickness of asphalt overlay	Number of States	Maximum particle size	Number of States
0.1-0.15	6	76.2-152.4mm	10	127-203.2mm	11
0.16-0.2	5				
0.21-0.25	6	177.8-254mm	14	228.6-381mm	10
0.26-0.30	5				
No Response	1	279.4-792	6		



3. 2 파쇄깊이

그림 2는 러벨라이제이션 공법을 적용한 도로를 굴착한 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 파쇄된 PCC 슬래브는 Rubblized PCC(RC)와 Fractured Concret(FC)로 구분될 수 있다. RC는 최대입경 40-70mm이하로 구성되어 있고 FC는 부분 파쇄된 골재의 맞물림으로 구조적 일체성을 어느 정도 유지하고 있다. RC층이 두꺼울수록 반사균열 억제 효과가 좋을 것으로 판단된다. 국내콘크리트 포장의 경우 미국에 비하여 포장 두께가 두껍고, 린 콘크리트 보조기층을 사용하는 특이점을 갖고 있기 때문에 파쇄된 노후콘크리트 포장층이 적절한 기층재료의 조건을 갖추기 위한 파쇄 깊이가 기존의 국외에서와 같이 전체 두께를 파쇄시킬 경우 시공성과 경제성의 확보가 어려울 것으로 판단된다.

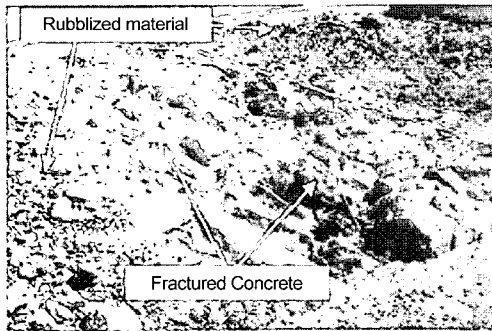


그림 2. rubblized PCC slab

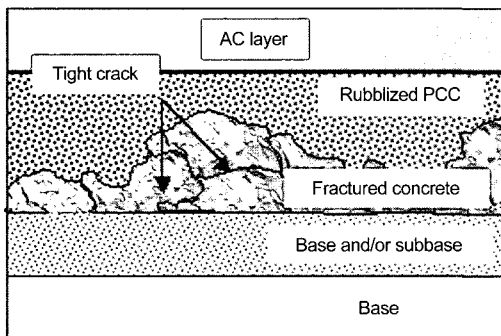


그림 3. rubblized PCC의 단면

3.3 반사균열 모사실험

본 실험은 휨응력과 전단응력에 대한 반사균열 모사실험으로 파쇄골재가 존재할 경우 반사균열 억제 효과를 검토하기 위하여 AC층 하부에 파쇄골재가 10cm, 20cm있는 경우와 AC층 하부에 콘크리트 균열이 직접 부착되어 있는 경우에 대하여 Mode I(휨모드), Mode II(전단모드) 반사균열 촉진 실험을 통하여 파쇄골재 깊이별 반사균열의 발생 및 전진을 반복하중 횟수에 따라서 측정하여 반사균열을 억제할 수 있는 적절한 파쇄 깊이를 검토하였다.

3. 3. 1 실험 재료

본 연구에서 사용된 아스팔트 혼합물의 종류는 밀입도 아스팔트 콘크리트 19mm로 선정하였다. 사용된 바인더는 국내 S사에서 생산되는 AP-5 바인더를 사용하였고, 골재는 굵은골재 최대치수 19mm골재로 중부층주시에 있는 D사 쇄석골재를 사용하였다. 이 골재는 중부내륙 고속도로상의 시험도로에 사용된 비교적 품질이 좋은 골재이다. 각 혼합물 별로 마찰배합 설계를 수행하여 최적의 아스팔트 함량을 4.5%로 결정하고 혼합물의 마찰 안정도, 공극률, 흐름치와 간접인장강도는 표준시험방법에 의해 측정하였다. Rubblized 콘크리트를 모사하기 위하여 기존의 콘크리트 포장을 파쇄한 재생골재를 사용하였고, 골재는 최대치수 70mm와 40mm이하를 15%대 85% 비율로 섞어 사용하였다.

3. 3. 2 Mode I(휨모드) 반사균열 모사실험

휨 모드의 모사 실험을 위하여 휠 트랙킹(Wheel tracking)장비를 이용하여 300mm×20mm×50mm 아스팔트 공시체를 만들었다. 콘크리트 포장에서 균열선단 위에 아스팔트 상태를 모사하기 위하여 100mm×200mm×300mm의 콘크리트 블록에 상면으로부터 2/3 깊이까지 10mm 틈을 만들고 아스팔트 공시체를 덧씌우기 형태로 부착하였다. 또한 콘크리트 블록과 아스팔트공시체에 파쇄골재를 설치하기



위하여 300mm×200mm×500mm의 지그를 제작하였다. 콘크리트 블록 위에 70mm골재 15% 40mm이하 골재 85%를 20cm깔고 휠 트랙킹 (Wheel tracking) 장비를 이용하여 800Kg으로 왕복 20회 로드짐을 했다. 다짐 후 다져진 파쇄골재 면에 아스팔트를 택코트 형태로 부착하였다. 콘크리트 바닥의 탄성지지를 모사하기 위하여 3cm의 고무패드를 콘크리트 바닥에 깔았다.

타이어와 포장 표면의 접촉을 모사하기 위하여 하중판과 아스팔트보 공시체 사이에 얇은 고무패드를 데었다. 주기적인 하중을 유압식 피로실험기 (SHIMADZU MODEL 48000)을 이용하여 10Hz

속도로 직경 100mm 원형 하중판을 통하여 재하 하였다. 최대하중은 100psi의 타이어 압력을 야기하기 위해 550Kg을 적용하였다. Mode I에 의한 아스팔트 보 공시체의 수평변위는 Crack Gage를 이용하여 측정하였다. 반사균열의 진전을 육안으로 관찰하기 위하여 백색 수성페인트로 칠하였다. 실험은 수직균열이 아스팔트 보 공시체의 전체 높이에 도달할 때까지 수행하였다. 파쇄 골재 중간층을 설치한 경우 이탈을 방지하기 위해 지그를 이용하였고, 동일한 하중 조건으로 실험 하였다. 파쇄골재 10cm 경우도 동일하게 실험하였다.

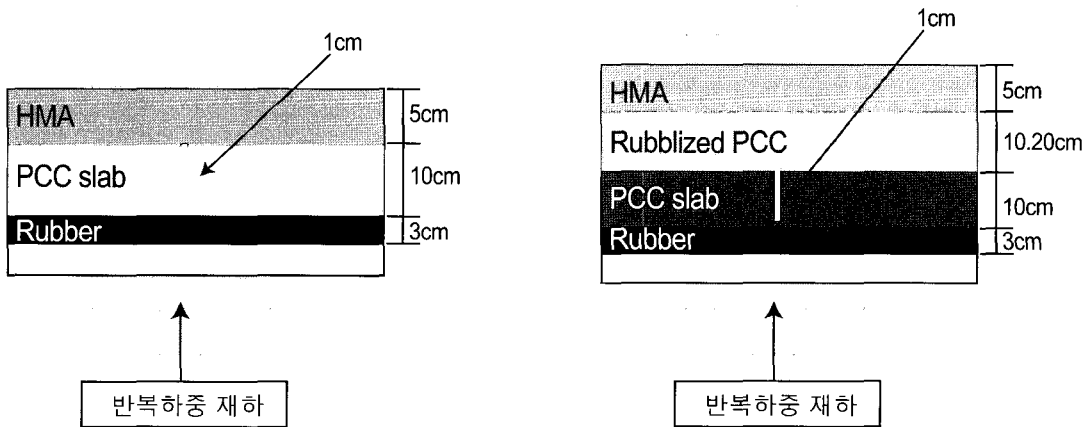


그림 4. Mode I 실험 모식도

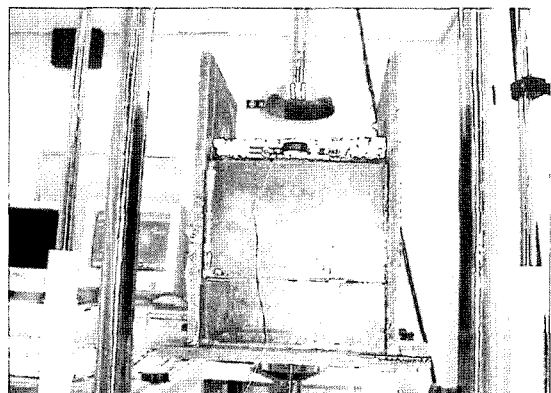
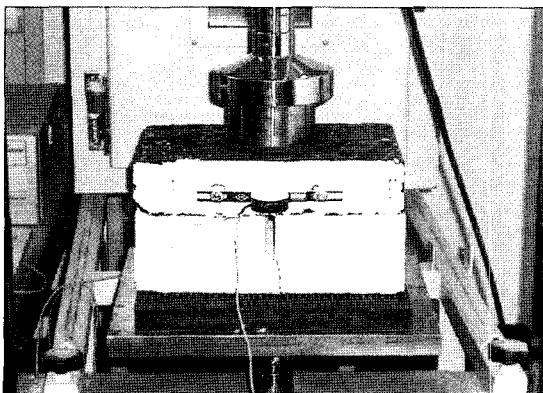


그림 5. 반사균열 모사실험(Mode I)



3. 3. 3 Mode II(전단모드)반사균열 모사실험

전단모드로 인한 반사균열 모사실험을 위하여 600mm×300mm×50mm의 아스팔트 보공시체를 만들고 2개의 600mm×150mm×100mm의 콘크리트시편을 10mm 틈을 두고 덧씌우기 형태로 부착하였다. 또한 보조기층의 탄성지지를 모사하기 위하여 바닥에 30mm의 고무패드를 깔았다. 주기적인 하중은 휠 트랙킹(Wheel tracking)장비를 이용하여 100psi의 하중으로 왕복 실험을 하였다. 파쇄골재를 중간층으로 사용하여 반사균열 모사 실험시 지그를 이용하였다. 콘크리트 블록과 아스팔트 보 공시체 사이에 파쇄골재를 이용하여 70mm 15%, 40mm 이하 85% 비

율로 20cm를 깔았다.

실험은 균열이 아스팔트 보 공시체 전체 높이에 도달할 때까지 수행하였으며 반사균열의 진전을 육안으로 확인하기 위하여 백색페인트를 한쪽 면에 칠하였고 하중재하 후 500회마다 측정하였다. 파쇄골재 10cm 경우도 동일하게 실험하였다.

4. 실험결과 및 고찰

Mode I(휨파괴)에서의 콘크리트 공시체의 균열 선단에 바로 아스팔트 시편을 부착하였을 경우 반사

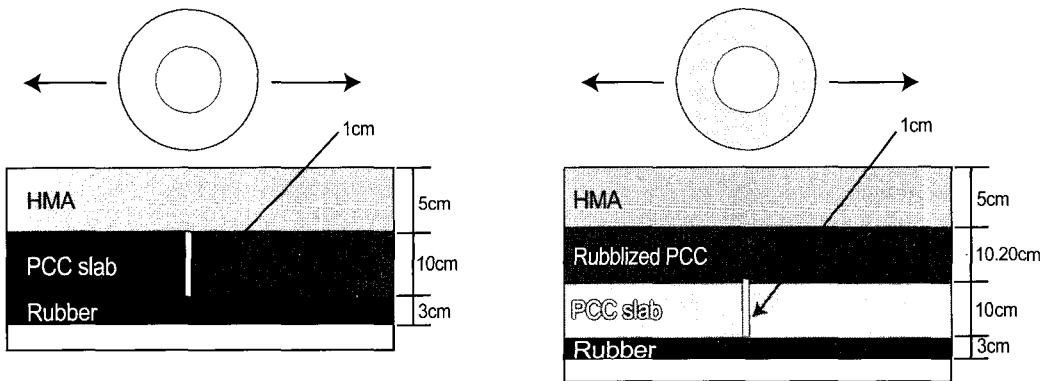


그림 6. Mode II 실험 모식도

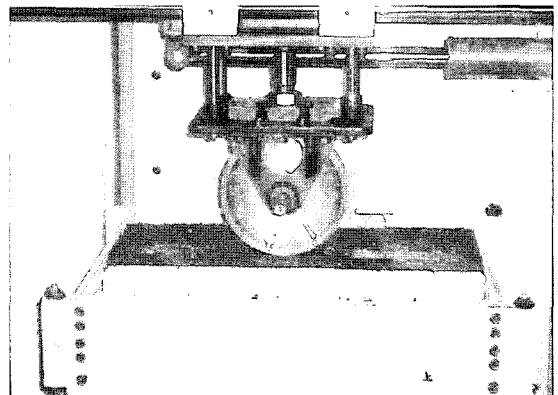
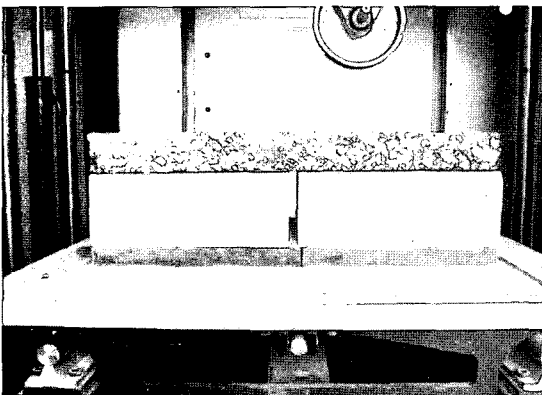


그림 7. 휠 트랙킹(Wheel tracking)장비를 이용한 반사균열모사실험(Mode II)

균열 모사실험에서 피로수명은 16,000회에서 균열이 생기기 시작하여 300,000회에 아스팔트 보 공시체 전체 높이에 도달하였다. 하지만 균열이 여러 곳에서 발생하여 일반적인 피로수명과는 약간의 차이점을 보이고 있다. 반면 파쇄골재를 중간층으로 사용한 아스팔트공시체의 반사균열 모사실험은 10cm, 20cm의 파쇄골재 중간층을 두었을 경우 300,000회에 이를 때까지 반사균열은 일어나지 않았다.

Mode II(전단 파괴) 반사균열 모사실험에서 피로수명은 2,000회에서 균열이 생기기 시작하여 12,000회에 아스팔트 보 공시체 전체 높이에 도달하였다. 반면 파쇄골재를 중간층으로 사용한 반사균열 모사실험은 20,000회에 이를 때까지 반사균열은 일어나지 않았다. 이것은 반사균열을 억제할 수 있는 최소 파쇄 골재층의 깊이는 10cm 정도임을 알 수 있다. 따라서 Rubblization공법 적용시 최소 파쇄깊이

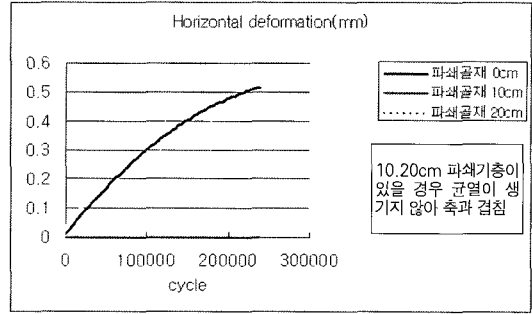


그림 8. Mode I horizontal deformation

는 10cm 이상임을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 러블라이제이션 공법의 파쇄된 노

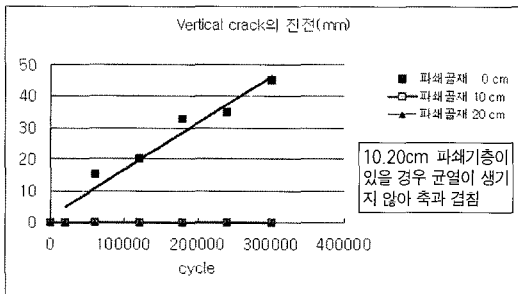


그림 9. Mode I Vertical Crack

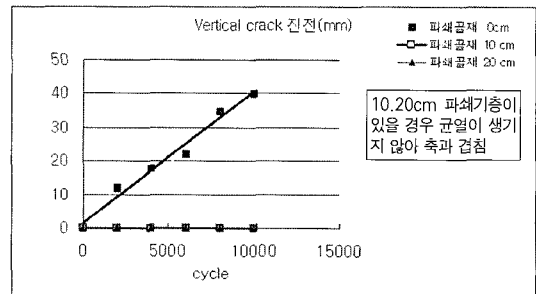


그림 11. Mode II Vertical Crack

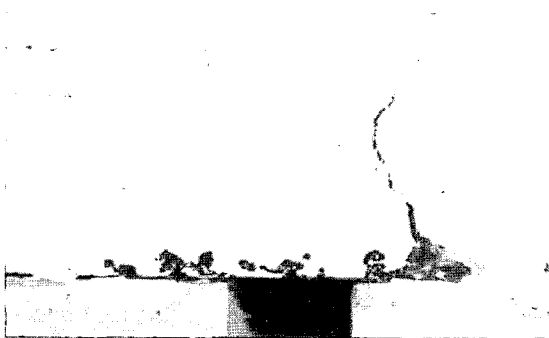


그림 10. Mode I 반사균열

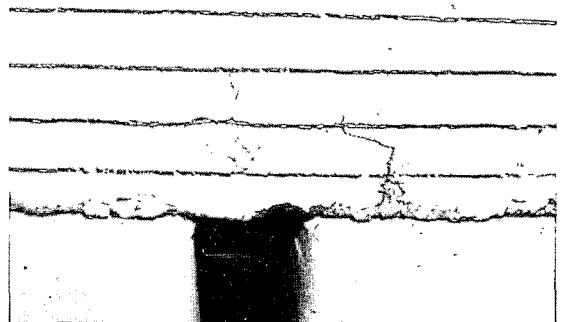


그림 12. Mode II 반사균열



후 콘크리트 포장층이 기층으로써의 반사균열 방지를 확보하기 위한 적정파쇄 깊이를 파악하기 위하여 미국 DOT에서 제안한 파쇄규격을 기준으로 40mm-70mm를 파쇄 골재를 중간층으로 사용하여 파쇄골재층이 0cm, 10cm, 20cm가 있을 경우 Mode I(휨파괴), Mode II(전단파괴)에 대하여 실내 반사균열 모사 실험을 실시하였다. 그 결과 파쇄골재층이 없을 경우 반사균열은 Mode I 은 16,000회, Mode II는 2,000회에서 균열이 생기기 시작하였다. 단면 파쇄골재층이 존재할 경우 10cm, 20cm 두 가지 경우 모두 반사균열은 일어나지 않음을 볼 수 있었다.

따라서 리벌라이제이션 공법을 적용할 때 있어서 국내 콘크리트 포장의 특성을 고려하였을 때 적정 파쇄 깊이는 10cm 이상임을 알았다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 건설기술핵심사업의 일환인 노후 콘크리트 포장의 원위치 파쇄 기층화공법 개발 과제에 일부 성과물입니다.

참고문헌

1. 엄주용, 양성철, 김시한, 이석근, 김광우, 이광명, 박태순, 2000 "포장균열 및 노면 반사균열 억제방안 연구" 한국 도로공사 연구소 도로연 00-21
2. Caltabiano, M. A. and Brunton, J.M M., 1991 "Reflection Cracking in Asphalt overlayers", *Proceedings AAPT, Vol. 60*
3. De Bont .A.(1999) : *Anti-reflective Cracking Design of (Reinforced) Asphaltic Overlayer*", Ph. D. Thesis, Delft University of Technology
4. Huffman, J. E., 1978 "Reflection Cracking and control methods," *Proc. CTAA, Vol 23*
5. Khaled Ksaibati, Miley, William, 1998 "Rubblization of Concret Pavement," *77th Annual Meeting, Transportation Research Board.*
6. Khaled A, Brian J., John E., Thmas D.1998, "Structural Adequacy of Rubblized PCC Pavement"

〈집수 : 2004. 7. 30〉