

원위치파쇄기충화 공법의 개발 및 적용

Development and Application of Rubblization Method

이승우* · 배재민** · 한승환*** · 고석범**** · 김지원*****

Lee, Seung Woo · Bae, Jae Min · Han, Seung Hwan · Ko, Seok Beom · Kim, Ji Won

1. 개요

노후화된 콘크리트포장의 수명을 연장하기 위한 방안으로 아스팔트 덧씌우기가 일반적이나 줄눈부에서 발생하는 노면반사균열을 억제하기 어렵다는 단점이 있다. 노후화된 콘크리트포장 슬래브를 원위치에서 파쇄하여 기층재료로 활용하고 그 위에 덧씌우기 포장을 건설하는 원위치파쇄기충화공법은 기존 덧씌우기 보강공법이 갖고 있는 반사균열 문제를 완벽하게 해결할 수 있는 장점을 가지고 있다. 파쇄 규격에 대한 국외(미국)적용기준은 파쇄된 콘크리트 기층의 평균입경을 25.4mm~76.2mm로 제한하고 있으며, 허용최대입경으로 127mm~203mm가 11개주, 228mm~381mm가 10개주로 분류되고 있다. 파쇄입도가 다른 만큼 상대강도계수 값이나 아스팔트 덧씌우기의 두께도 주별로 상이하다. 반면 국내 콘크리트포장은 미국에 비하여 포장두께가 두껍고, 린콘크리트 보조기층을 사용하는 특이점을 가지고 있어 국외와 같이 전체 두께를 파쇄 시킬 경우 시공성과 경제성의 확보가 불리하다. 따라서, 파쇄된 노후콘크리트 포장층이 도로기층으로써의 역할을 확보하기 위한 적정 파쇄 깊이를 파악하기 위해 휠트래킹과 피로마모시험기를 이용한 실내실험에서 적정 파쇄골재의 규격 및 깊이를 산정하였다. 실내실험에서 얻어진 결과를 만족하는 파쇄장비의 헤드 모양과 적정 타격에너지를 실제 시험도로 파쇄 실험을 실시하여 적정 파쇄방법을 개발 하였으며, 연구결과를 바탕으로 파쇄장비를 개발하여 실제 공용중인 서해안 고속도로 구간 일부에서 시험시공을 실시하였다.

2 파쇄장비 개발

파쇄장비 성능 및 파쇄방법에 대한 개발기준은 이승우 등(2004)의 연구에서 실내 반사균열 촉진 실험 및 파쇄방법별 파쇄골재 특성연구 등을 토대로 제시되었다. 파쇄장비에 대한 기본 성능은 다음과 같다.

-파쇄 헤드: 직경 10cm의 원형모양 헤드로 헤드의 무게는 680kg으로 한다[그림 2.1].

-헤드의 상승 및 하강 작용: 상승은 유압 실린더로서 1.8m 높이까지 제어가 가능해야하며 각각 두께 및 하부조건이 다른 포장에 적절한 수준의 파쇄를 하기 위해 헤드의 상승 높이가 조절이 가능해야 한다. 하강은 자유낙하 형식으로 이루어져야 하며 헤드의 정확한 타격을 위해 가이드프레임이 설치되어야 한다. 그리고 이 가이드프레임에서는 자유낙하시 헤드와의 마찰로 인한 에너지 손실이 최소화 되어야 한다.

-파쇄 조정(Control): 타격 모양은 각 헤드의 타격 위치가 인접해야 하며, 유효파쇄면적이 52.3%(파쇄면적/전체면적)이 되도록 하고 파쇄작업시 장비는 연속적으로 구동이 이루어져야 한다[그림 2.2].

* 정희원 · 강릉대학교 토목공학과 조교수 · 공학박사 · 033-640-2419(E-mail:swl@kangnung.ac.kr)
** 정희원 · 강릉대학교 토목공학과 석사과정 · 공학사 · 033-640-2410(E-mail:boy2nice@kangnung.ac.kr)
*** 정희원 · 한국도로공사 도로교통기술원 수석연구원 · 공학박사 · 031-371-3365(E-mail: hansu@freewqy.co.kr)
**** 정희원 · 대림산업(주) 기술연구소 · 공학박사 · 02-2011-8263(E-mail:sb_ko@daelim.co.kr)
***** 정희원 · 토탈페이지시스템 대표이사 · 공학박사 · 02-2040-6196(E-mail:aircraft1@paran.com)

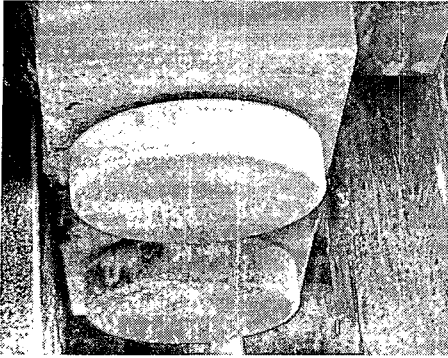


그림 2.1 파쇄헤드 모양

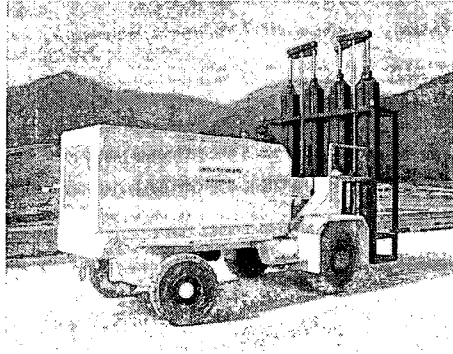


그림 2.2 개발된 파쇄장비(MHB-1)

제시된 성능으로 개발된 장비는 파쇄속도는 70m/hr, 주행속도는 약 290m/hr 으로 작업 및 이동이 가능하다, 장비의 제원은 다음과 같다. 전장 5,246mm, 헤드상승시 전고 4,300mm, 차체높이 2,900mm이며 장비의 폭은 총 2,600mm 중, 2,200mm가 유효 파쇄폭이다. 또한 해머 가이드는 전·후 두 위치로 구성되며 전방에 4개의 해머가 설치되고, 후방에도 4개의 해머가 설치된다. 각각의 해머는 전면에서 보았을 때 서로 엇갈리도록 교차하여 배치되어 있다. 해머 상승/하강 실린더는 해머를 파쇄높이까지 상승하여 자유낙하를 하기위해 설치된 유압 실린더로서 하나의 실린더가 두 개의 해머를 상승하여 파쇄하고자 하는 위치에 자유낙하한다. 또한, 자유낙하가 원활히 이루어지도록 실린더와 해머는 고강도 와이어(wire)를 사용하여 연결하였다, 하강시 실린더는 해머보다 빠른 속도로 하강하여 해머가 자유낙하 하는데 지장이 없도록 하였다.

3. 1차 실험시공(원위치파쇄장비 성능 평가 실험)

1차 실험시공은 구 호남고속도로 순천기점 서울 방향 113km 지점에서 실시하였다. 이 구간은 무근 콘크리트포장으로 내구수명에 도달하였을 뿐만 아니라 잦은 교통사고로 인하여 선형 계량이 완료된 구간이다. 따라서 시험구간은 차량통행이 전혀 없는 구간으로 장시간 시험시공이 가능한 위치에 선정되었으며, 장비의 성능시험 및 장비의 운영방법, 실제 시공 공정 분석 및 장비보완을 위해 3차레에 걸쳐 실시하였다.

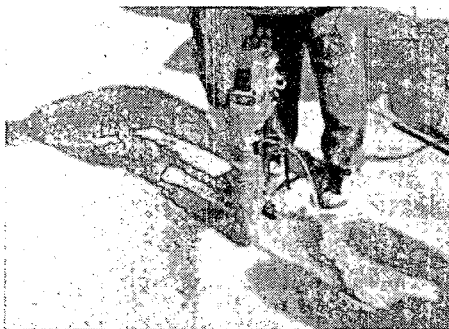


그림 3.1 코어채취

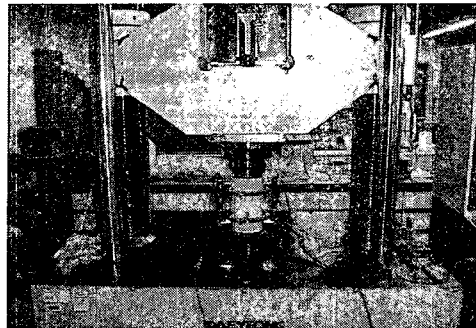


그림 3.2 코어 분석

시험구간의 단면은 선택층 15cm, 보조기층 20cm, 무근콘크리트 슬래브 30cm로 구성되어 있으며 파쇄시행 전 FWD 시험과 코어를 채취하여 만능 시험기를 통해 탄성계수 및 압축강도를 측정하였다. 그 결과 압축강도는 평균 327.4kgf/cm^2 으로 교통개방시 압축강도 210kgf/cm^2 이상의 값으로 나타났으며, 탄성계수는



216143.3kgf/cm²로 콘크리트포장의 범위인 210920kgf/cm²~421841.5kgf/cm²의 값을 보였다[그림 3.1]. [그림 3.2].

약 150m의 시험 구간을 파쇄한 결과 [그림 3.3], 장비의 실제 파쇄속도는 평균 70m/hr로 측정 되었다. 파쇄 작업시 발생하는 소음의 수준을 확인하기 위해 장비에서 5m/ 7.5m/ 10m/ 15m 이격된 거리에서 소음측정을 하였다. 주거지역 소음은 7.5m거리에서 70dB 이하가 제한이나 최대 81.5dB에서 최소 78.9dB 으로 소음이 크지만 10m거리에서 77.2~77.5dB로 일반적인 건설공사의 소음이 10m 거리에서 75~105dB과 비교하였을 때 소음은 낮은 수준이었다[그림 3.4].

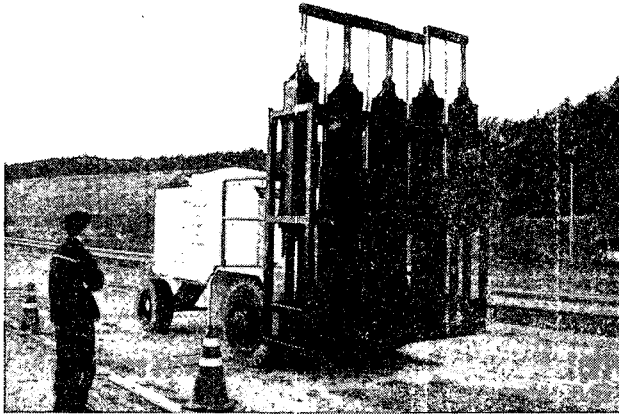


그림 3.3 포장면 파쇄작업

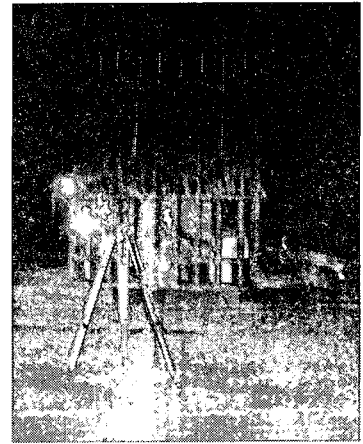


그림 3.4 소음 측정

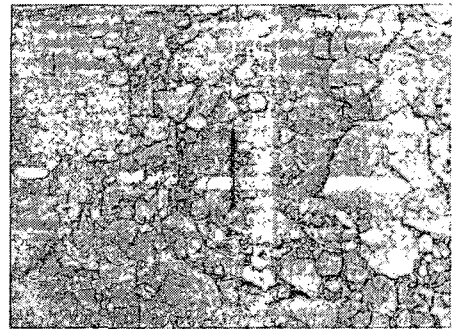


그림 3.5 파쇄면 모습

파쇄작업시 진동을 측정한 결과 1m 거리에서 0.26mm/ 2m 거리에서 0.066mm/ 3m 거리에서 0.060mm 의 아주 적은 변위로서 현행 건설현장의 충격성 소음·진동기준이 제정되어 있지 않으나 노동부 발파작업 표준 안전 지침인 철근콘크리트 빌딩 및 공장의 진동 기준 1.0~4.0cm/sec과 비교시 Multi-Head 방식으로 파쇄를 하였을 때 가장 문제가 될 것이라 예상되었던 진동에 대해서도 안전한 결과 값을 알 수 있다[그림 3.6] [그림 3.7].

파쇄장비를 이용하여 파쇄를 한 후 충격에너지로 인한 단면의 침하량 및 파쇄깊이를 측정한 결과 길어깨 부분 및 파쇄구간은 18mm, 22mm, 19mm, 21mm 등 평균 20mm의 침하량을 보였다. 파쇄된 깊이는 최대 12.9cm에서 최소 8.9cm의 분포를 보이며, 평균깊이 10.9cm으로 실내 반사균열 축진실험을 통해 도출한 적정 파쇄 깊이 10cm 와 거의 일치하였다. 파쇄된 골재층의 골재를 채취하여 입도분석을 한 결과 도로공사 시 쇄 석기층의 기준인 SB-2기준안에 90%이상 범위 안에 포함하였다[그림 3.8].



그림 3.6 진동 측정

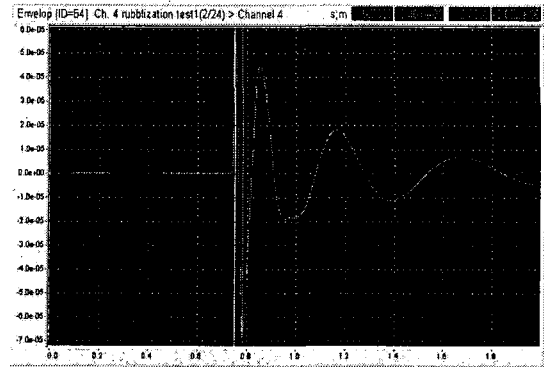


그림 3.7 진동 측정 분석 결과

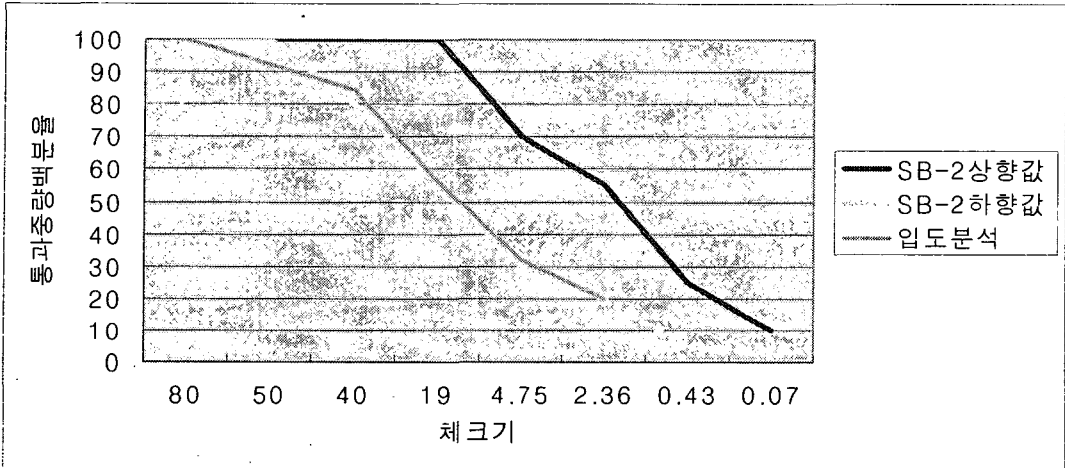


그림 3.8 파쇄골재 입도 분석

파쇄 후 13.5톤의 철제드럼 진동롤러를 사용하여 High-Load로서 다짐을 실시하였으며, FWD, 평판재하시험, DCP를 이용한 지지력 평가를 실시하였다. 지지력 평가는 적절한 다짐 방법 및 횡수를 찾기 위해 다짐 작업 왕복 때 1회마다 실시하였다. 철제진동 드럼롤러가 1회 왕복 후의 평판재하시험 결과 도로공사 시방기준인 $K_{30}=30\text{kgf/cm}^3$ 을 초과한 $K_{30}=32.4\text{kgf/cm}^3$ 의 결과를 나타내었으나, 각 도로마다 단면의 설계 구성 및 두께가 다르므로 공법 적용시 다짐 횡수는 2회로 결정하였다.

4. 사용중인 도로에서의 시험시공

서해안 고속도로 시험시공은 서해대교 북쪽 서평택 IC 부근, 상행선 서울 방향 283.54km~283.78km의 150m 구간에서 편도 3차로 중 노견측 1차로에 대해 실시하였다. 시험시공은 원위치파쇄장비의 현장 적용성 검증, 시험시공을 통한 공법의 문제점 파악 및 시험시공을 통한 시공단가 기준 확보를 위해 기존 노면 파쇄 후 덧씌우기 시공을 하였다. 공용중인 고속도로임을 감안하여 도로의 혼잡을 피하기 위해 평일 야간시간에 실시하였으며, 시공공정은 [표 4.1]과 같이 9시간이내에 마무리하여 원활한 교통소통이 되도록 대비하였다. 서해안 고속도로 시험시공 구간의 아스팔트 덧씌우기를 위한 두께는 AREA법을 이용하여 동적지지력을 산정하고, 4년 동안에 조사된 교통량을 기준으로 각 경우의 수를 조합하여 하부층 SN을 산정하여 이 범위를



NAPA(National Asphalt Pavement Association)에서 제시한 덧씌우기 가이드를 이용하여 덧씌우기 두께를 산정한 결과 덧씌우기 두께는 BB층 4cm, 표층 4cm로써 결정하였다.

표 4.1 시험시공 공정

공정	1hr	2hr	3hr	4hr	5hr	6hr	7hr	8hr	9hr	사용 장비
교통 통제	■									싸인보드카
절단		■								줄눈 커팅기
노면 절삭			■							노면절삭기
노면 파쇄				■						원위치 파쇄 장비
파쇄면 다짐					■					진동롤러
코팅제 살포						■				살포 트럭
아스콘 포설							■			피니셔 1대 (SMA)
아스콘 다짐								■		마카담/탠덤 롤러
차선 도색									■	도색 차량
청소 및 정리										-
교통 개방									■	싸인보드카

기존 노면은 [그림 4.1]과 같이 알칼리 골재반응이 발생한 지역으로 콘크리트 슬래브에 발생한 망상균열 및 부피팽창이 심하여 현재 일반 밀입도 아스팔트 혼합물로 덧씌우기가 완료된 구간이다. 10cm SMA 아스팔트 덧씌우기 이후의 노면 높이 변화를 최소화하기 위하여 시험시공 구간 전체를 깊이 8cm, 폭 4.5m를 절삭한 후 본 공법을 적용하였다. 10cm 덧씌우기 할 장소를 8cm만 절삭한 이유는 노면 파쇄에 따른 침하(약 2cm내외)를 미리 예상했기 때문이다.

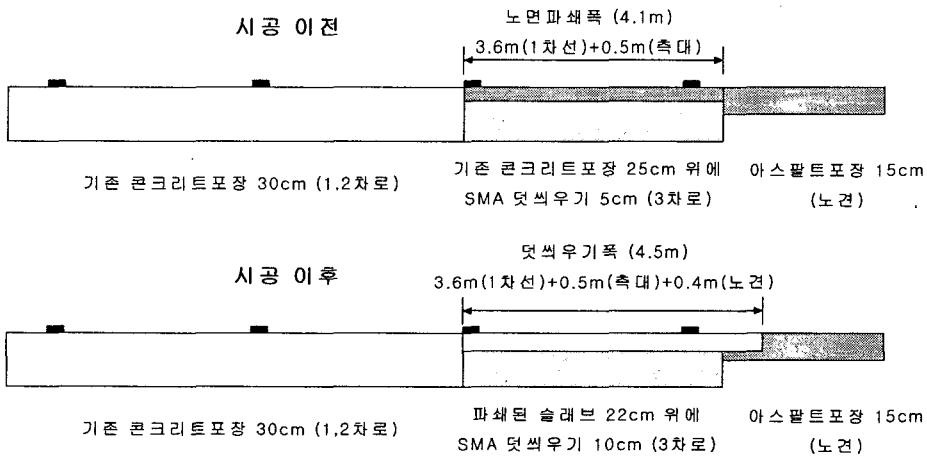
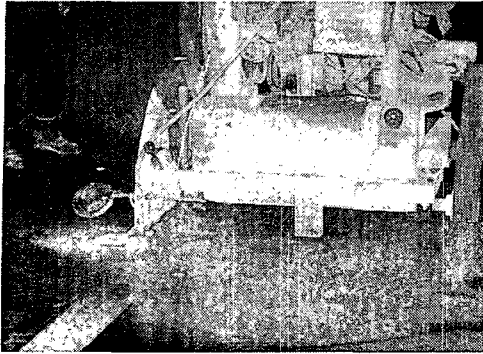
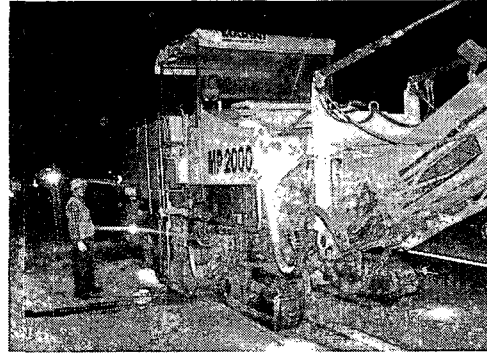


그림 4.1 공사 단면도

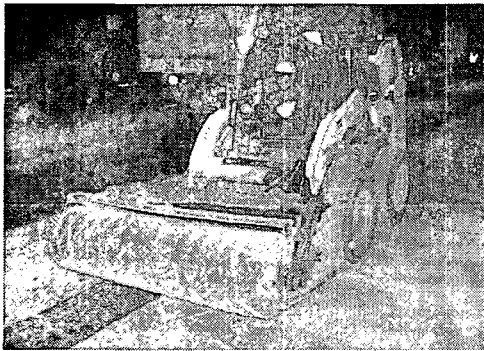
시공은 1일차에 슬래브 종방향 컷팅, 2일차에 본시공으로 나누어 2일간에 걸쳐 실시하였다[그림 4.2].



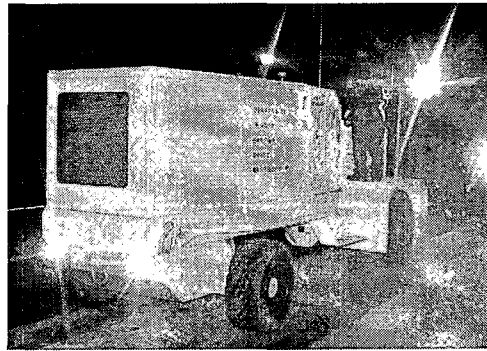
1. 중방향 컷팅



2. 노면 절삭



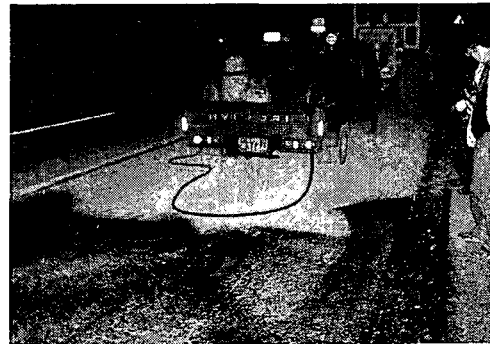
3. 노면청소(스키드로더)



4. 노면파쇄(MHB-1)



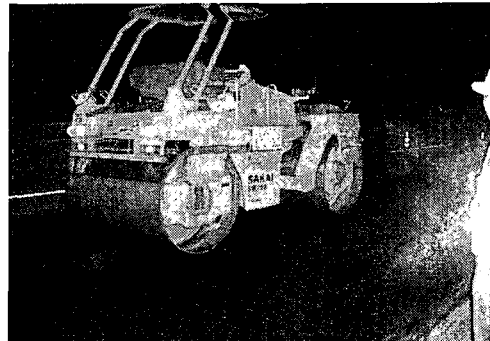
5. 파쇄면 다짐



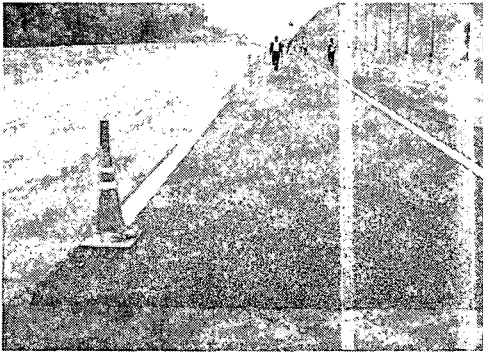
6. 택코팅



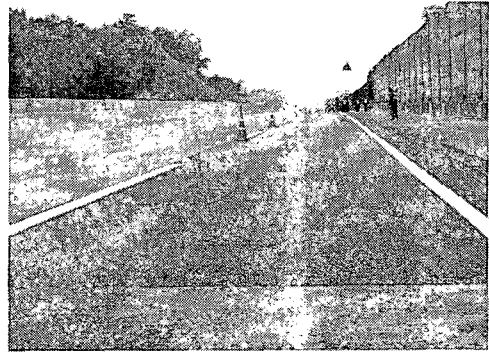
7. SMA 덧씌우기



8. SMA 다짐



9. 포장상태 확인



10. 교통개방

그림 4.2 원위치파쇄기층화 공법 시공과정

노면을 컷팅하는 목적은 본 시험시공 구간이 편도 3차로인 구간으로 2차로+1차로로 분할 포설된 구간이다. 분할 포설된 구간의 경우 시공줄눈에서 콘크리트 슬래브는 타이바로 이어져 있고, 경우에 따라서는 양생과정에서 시공줄눈을 따라 완전 부착이 이루어진 곳도 있어, 노면 파쇄시 인접 차선의 콘크리트 슬래브에 발생할 파손을 최소화하기 위함이었다. 또한 슬래브 하부의 린콘크리트층은 3차선 폭원이 연속으로 포설되어 있기 때문에, 인접 차선 하부의 린콘크리트층의 파손을 최소화할 목적도 동시에 가지고 있다. 종방향 컷팅의 깊이는 35cm로 슬래브 두께 30cm와 린콘크리트층 상부 5cm를 절단했다.

150m의 시험시공 구간 중 컷팅기의 파손으로 인하여 114m를 컷팅하여 이 중 108m를 파쇄하여 덧씌우기를 실시하였으며, 나머지 42m 구간은 비교구간으로서 선정하였다. 시공구간의 코어채취를 하여 분석한 결과 압축강도는 평균 461.1kgf/cm² 이고 탄성계수는 241379.4kgf/cm² 의 값을 나타내었으며, 파쇄한 골재의 사이즈는 90%이상 SB-2 허용범위 안에 포함되었다. 파쇄한 후 12톤의 철제진동 드럼 롤러로 2회 다짐을 하였으며 평판재하 시험 결과 지지력은 $K_{30}=32.4\text{kg/cm}^2$ 로 기준인 $K_{30}=30\text{kg/cm}^2$ 을 상회하였다. 소음 역시 10m 거리에서 평균 79.41dB로서 진동롤러 58.85dB, 페이퍼 56.2dB 장비 보다는 높았으나 일반적인 건설소음인 75~105dB보다는 낮은 값을 보였다. FWD를 이용하여 덧씌우기 후 원위치파쇄기층화 공법 적용 구간의 콘크리트층은 평균 1000MPa, 비교구간의 콘크리트층은 평균 800MPa 로서 국의 측정값보다 높은 값을 나타내었다.

5. 결론 및 향후 연구

원위치파쇄기층화 공법의 시험시공결과 현장 적용시 문제점으로 제시된 시공 시간의 부족, 소음 및 진동 발생에 대해 기준에 안전한 값을 나타내었으며 국내 적용에 대해 충분한 가능성을 알 수 있었다.

파쇄된 노면에 대한 지지력 평가, 탄성계수 분석, 파쇄골재 분석 결과로도 건설교통부 기준을 상회하는 안정된 값을 얻음으로써 본 공법을 적용할 수 있는 토대를 마련하였다고 할 수 있다. 향후 본 공법이 적용된 구간에 대해 장·단기 추적조사를 실시하여 반사균열 발생 여부를 판단하여 반사균열 억제효과에 대한 분석을 수행할 예정이다. 또한 시험시공을 토대로 파악한 파쇄장비의 단점을 보완하여 앞으로 많은 지역에서 발생할 콘크리트포장의 보수보강에 이용할 수 있도록 할 예정이다.



감사의 글

본 연구는 건설교통부 핵심사업의 일환인 “노후 콘크리트 포장의 원위치 파쇄 기층화 공법 개발” 과제의 성과물중 일부입니다. 본 시험시공을 위하여 장소를 제공해 주신 한국도로공사 중부지역본부 및 당진지사의 임직원 여러분과 본 시험시공에 소요된 경비 및 기술지원을 지원해 주신 대림산업주식회사의 관계자 여러분들에게 감사의 마음을 전합니다.

참고 문헌

1. 김연복 등(2002.10) 한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안연구
KPRPH-02, 韓國建設技術硏究員
2. 이승우 등(2004) 노후콘크리트포장 원위치 파쇄기층(Rubblized-PCC)의 반사균열 억제를 위한 적정 파쇄 깊이 산정, 한국도로학회 논문집 제6권 4호
3. Huffman, J. E. (1978). Reflection cracking and control methods. Proc. CTAA, Vol 23
4. Khaled Ksaibati, Miley, Willian,(1998), Rubblization of concrete pavement. 77th Annual meeting of transportation research board. Civil Engineering University Wyoming.
Florida Department of transportation
5. Khaled A, Brian J., John E., Thmas D.(1998), Structural adepuacy of rubblized PCC pavement.
Research. MSCE, Indiana Department of Transportation.
6. NAPA Information Series 117(1984), Guidelines For Use of HMA Overlays to Rehabilitate PCC Pavement
7. Ynag H. Huang, Pavement Analysis and Design, 2004 by Pearson Education, Inc.