한국도로학회 논문집
第8券3號 2006年 9月
pp. 77 ~ 88

기존 콘크리트 포장의 성능 향상을 위한 다이아몬드 그라인딩 공법의 초기 공용성 평가

The Performance Analysis of Diamond Grinding for Existing Concrete Pavement

정 종 덕* 류 성 우** 한 승 환*** 조 윤 호****
Jung, Jong Duck Ryu, Sung Woo Han, Seung Hwan Cho, Yoon Ho

Abstract

The maintenance / repair of concrete pavements has become an issue as a result of increasing of concrete pavements' service year. Asphalt overlay is applied to the concrete pavements after partial repairs on all occasions. This thesis discusses the application standard, evenness, skid resistance, noise, economical efficiency, extension of life span, etc. of diamond grinding, a method of maintenance about concrete pavements. Based on this, it was applied to the field and measured the performance. It was measured the longitudinal evenness of before and after the construction through measurement equipment. and surveyed the skid resistance the each lane classified using the SN standard value. In case of noise, it is selected the kind of vehicle, velocity, then measured the noise between control and constructed site. In addition, it is evaluated the average texture depth. As a result of the analysis, longitudinal evenness is improved about 6~40% , skid resistance is improved 66% at first section, 37% at second section. Noise is reduced 3.4dB average, and average texture depth is 79% deeper than control section. Therefore, it can be concluded that diamond grinding is suitable as maintenance / repair method of concrete pavements.

Keywords : diamond grinding, tire/road noise, skid resistance, frequency analysis, IRI

요 지

현재 도로분야에서 콘크리트 포장의 양적증가와 공용연수 증가로 콘크리트 포장의 손상에 따른 유지보수문제가 크게 부각되기 시작했다. 국내에서 적용되고 있는 콘크리트 포장 유지보수는 통상 손상된 부위의 부분보수후 아스팔트 덧씌우기 공법을 일괄적으로 적용하고 있다. 본 연구에서는 콘크리트 포장의 예방적 유지관리공법인 다이아몬드 그라인딩 공법에 대한 적용기준, 평탄성, 미끄럼저항성, 소음, 경제성, 포장의 수명연장등 이론적인 연구를 수행하고, 이를 바탕으로 시험시공을 실시하여 초기공용성에 대한 측정을 실시하였다. 종단평탄성측정은 ARAN의 차륜부 좌우에 별도의 평탄성 측정센서를 부착 자동측정차량을 통해 시공전·후의 평탄성을 측정하였다. 미끄럼저항성은 SN기준값으로 분류하여 다이아몬드 그라인딩 시공전·후의 차로별 미끄럼 저항값을 측정하였다. 소음측정은 시공구간과 일반구간, 차종, 속도를 변수로 선정하여 소음발생정도를 측정하였고, 시공전·후의 평균조도깊이를 측정하여 다이아몬드 그라인딩 공법의 평가를 실시하였다. 분석결과 종단평탄성은 시공후 6%~40%가 향상되었으며, 미끄럼저항성은 1차로에서 66%, 2

* 정회원 · 동부엔지니어링 이사
** 정회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 박사과정
*** 정회원 · 한국도로공사 책임연구원 · 공학박사
**** 정회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 부교수

차로에서 37%의 증진효과가 있었다. 소음은 다이아몬드 그라인딩 구간에서 평균 3.4dB의 소음감소 효과가 나타났으며, 평균조도 깊이는 79%의 깊이 항상 효과를 보였다. 그러므로, 향후 기존 콘크리트 포장의 유지보수공법으로서 다이아몬드 그라인딩 공법의 국내적용이 적정하다고 판단된다.

핵심용어 : 다이아몬드 그라인딩, 타이어/포장 소음, 미끄럼 저항, 주파수 분석, IRI

1. 서 론

우리나라 대부분의 도로포장은 80년대 초까지 아스팔트 포장으로 시공되어 왔다. 하지만 아스팔트 포장 도로는 시간이 지날수록 건설 당시에는 볼 수 없었던 바퀴자국, 표면 밀림, 물결모양, 거북등 균열 등의 변형과 균열이 발생하였다. 이에 따라 상당한 비용이 추가되는 유지보수 작업을 수행하였지만 신설 당시의 공용성을 갖지 못하였다.

이러한 문제점에 대한 대책으로 콘크리트 포장이 부각되었고 1984년 88올림픽 고속도로 (고서~옥포 183Km 구간)를 시작으로 중부고속도로 등과 같이 고속도로 및 일반 국도의 상당 부분이 콘크리트 포장으로 건설되고 있다. 그 결과 2003년 말 공용 중인 24개 노선 2778Km 중 61%가 콘크리트 포장으로 구성되었다. 향후 고속도로는 계획된 동서 7축 및 남북 9축이 완료되는 2020년까지 약 6,000Km에 달하는 고속도로가 건설될 예정이며, 콘크리트 포장의 비율은 더욱더 증가할 것으로 예측된다.

콘크리트 포장은 중차량에 대한 하중지지 능력, 유지관리비 등의 경제성 측면에서 장점을 가지고 있지만 최근 공용 수명에 다다름에 따라 피로균열(fatigue crack), 스폴링(spalling), 단차(faulting) 등의 구조적 파손과, 표면박리(scaling) 등 기능적 파손이 발생하고 있다. 이는 안전성, 쾌적성 등 도로가 갖춰야할 주요 기능을 저하시켜 민원의 대상이 되고 있다. 현재 이와 같이 저하된 콘크리트 포장의 기능을 회복시켜주는 다양한 공법들을 개발하고 이를 하나의 시스템화 하여 포장을 관리하기 위한 노력을 하고 있다. 그 중 하나의 대안으로 개발되어 적용되고 있는 것이 다이아몬드 그라인딩 공법(diamond grinding)이다.

다이아몬드 그라인딩 공법은 19년 이상 공용된 캘리포니아의 I-10 도로에서 단차를 제거할 목적으로 처음 적용되었다. 이후, 이 공법은 미국뿐만 아니라 유럽, 일본 등에서 콘크리트 포장의 유지보수공법 중 가장 널리 쓰이는 방법이 되었으며, 미국의 일부 주에서는 신설 포장에 대해서도 승차감 향상을 목적으로 적용되고 있다(Wisconsin, 1999).

본 논문은 저소음 장수명 포장 노면 개발이라는 연구를 통해 다양한 장점을 갖는 다이아몬드 그라인딩 공법을 국내에 적용하기 위하여 수행한 연구 결과를 정리한 것이다. 국내 연구진은 자체적으로 다이아몬드 그라인딩 공법 및 장비를 최초로 도입하고 이를 현장에 적용하여 초기 공용성에 대한 평가를 수행하였으며 매우 양호한 결과를 도출하였다. 본 연구를 통해 콘크리트 포장의 통상적인 유지보수공법인 아스팔트 덧씌우기 공법을 탈피하여 공법의 다양화, 도로 이용자의 편리함 증대, 국내 포장 유지보수 기술 확보 등의 기대효과가 예상된다.

2. 국내외 연구 동향

도로 포장의 미끄럼 저항, 소음 저감 등의 기능성 향상을 위하여 적용하고 있는 다이아몬드 그라인딩 공법에 대한 기술적인 고찰과 국내외 연구 동향을 정리하였다.

2.1 다이아몬드 그라인딩 공법

다이아몬드 그라인딩 공법은 콘크리트 포장의 단

차에 대한 유지보수 공법으로서 주로 종단평탄성(roughness)을 향상시키기 위해 적용된다. 또한 컬링(curling), 와핑(warping) 등에 따른 포장의 국부적인 휨문제를 해결함으로써 승차감을 향상시키며 포장의 본래의 기능을 회복하는 효과 외에 매크로 텍스쳐(macrotexture)로 표면을 형성하여 소음을 줄일 수 있으며 안전성을 증가시킬 수 있다. 타이어와의 상호작용에서 배수효과를 증진시키며 우천시 사고 가능성을 감소시키는 효과도 있다.

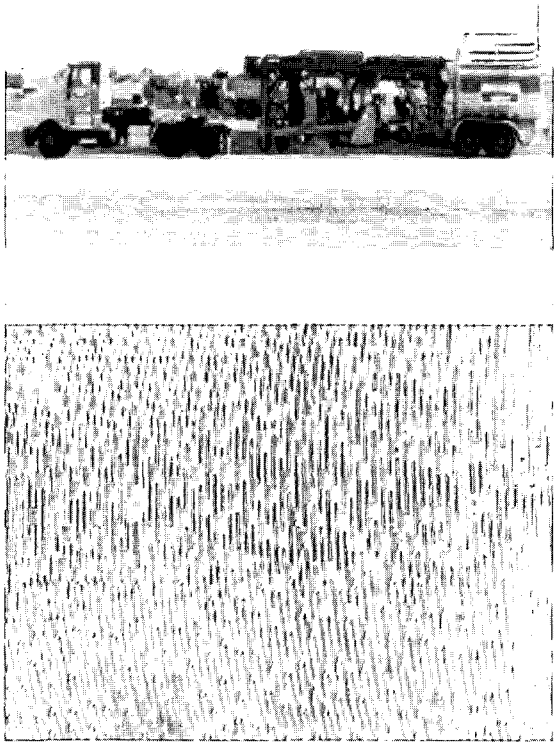


그림 1. 다이아몬드 그라인딩 시공 장면, 절삭날 (Scofield, 2003)

표 1. 다이아몬드 그라인딩 시공 조건 (Correa, 2001)

구분	각 조건의 길이(mm)	강한 골재(mm)	약한 골재(mm)
홈(groove)	2.0 ~ 4.0	2.5 ~ 4.0	2.5 ~ 4.0
표면(land Area)	1.5 ~ 3.5	2.0	2.5
높이	1.5	1.5	1.5
홈의 개수(1m)	164 ~ 194	174 ~ 194	164 ~ 177

공법을 적용한 포장의 표면 거칠기, 마찰력, 표면의 공용 수명은 그림 1과 같은 절삭날의 간격에 영향을 받는다. 그라인딩 작업 후 형성되는 표면에 대한 FHWA에서 제시하는 규격 조건은 표 1과 같다. 기본적인 홈의 폭과 깊이는 일정하지만 골재의 경도에 따라 홈의 수가 다르다. 국제 그라인딩 협회(IGGA)에서 제시하는 규격은 FHWA와 다소 차이가 있으며, 기본적인 홈의 깊이는 1.6mm, 홈의 폭은 2.3~3.3mm, 표면의 폭은 1.52~2.79mm로 규정하고 있다. 시공 장비들은 한 차로 안에서 작업이 가능하며 두 차로가 겹치는 부분은 최대 50mm 정도이다.

2.3 다이아몬드 그라인딩 공법의 사례 분석

2.3.1. 국외 사례

(1) 미국

캘리포니아와 몬타나 인근의 San Bernardino에서는 1965년도부터 도로 유지보수 공법으로 다이아몬드 그라이딩 공법을 사용해 왔다. 그 대표적인 경우가 1946년에 만들어진 JPCP(아스팔트 안정처리기층 76mm, 슬래브 두께 208mm, 줄눈 간격 4.6m)를 1965년도, 1984년도와 1997년도에 이 공법을 적용하여 지금도 차로당 연간 225만 ESALs의 교통량을 처리하고 있다. 1984년도에 다시 재시공한 후 1997년까지의 포장 조사 결과 이 구간에서 단차(faulting)은 약 0~5.3mm의 범위 내에서 발생되었고 줄눈부에서 많이 생기는 스폴링(spalling)과 횡방향 균열도 낮은 수준 발견되었다. 또한 평탄성 향상으로 인한 소음 감소 효과도 상당히 컸다(darter, 1999).

1989년도에 미시간 교통국(MDOT)에서 다이아몬드 그라인딩을 적용한 콘크리트 포장에서 최대 500Hz 주파수 소음을 약 5dB(A) 정도 감소시킨다는 연구 결과가 있다. 특히 기존의 횡방향 타이닝을 적용한 도로 포장에 일정한 그라인딩을 접목시키면 더 많은 소음을 줄일 수 있다(FHWA, 2001).

미네소타 주에서는 PCC 포장에 대해서 소음 측정을 수행하였으며 다이아몬드 그라인딩 공법을 적용한 후, 약 2~3dB(A)의 소음저감 효과가 있었다.

콜롬비아강 옆에 있는 포틀란드 국제 공항(Portland International Airport)에서는 공항 소음으로 인한 인근 주민들의 민원을 해결하기 위해서 공항 포장에 다이아몬드 그라인딩 공법을 적용하여 그로 인한 소음 감소 효과를 연구하였다. 오리곤 환경국(Oregon Department of Environmental Quality)에서 적용하는 소음 제한 기준을 사용하여 소음 발생 조사를 실시한 결과 B737-300기, F28 기종에 대해서 약 A-가중치 소음을 신뢰도 95% 수준에서 일정량을 감소시키는 효과를 보였다. 그림 2는 그라운드 공법을 적용하여 나타난 소음 감소 효과를 보여 주고 있다 (Barrett, 2003).

FHWA는 뉴욕주의 나이아가라 부근에 있는 Thruway(I-190)에서 표면 처리공법에 관한 연구를

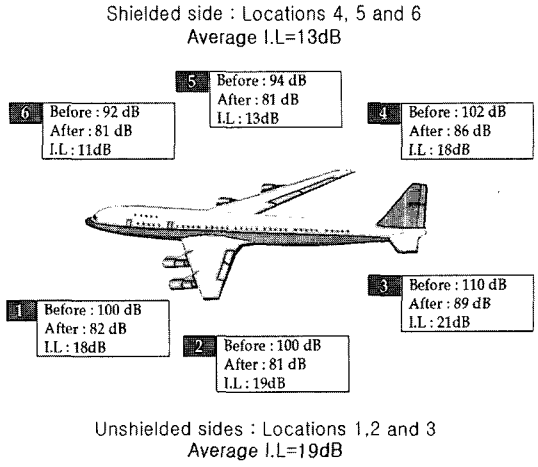


그림 2. 다이아몬드 그라인딩 공법 적용 전/후 소음 변화 (Barrett, 2003)

실시하였다. 적용된 공법은 횡방향 타이닝과 종방향 다이아몬드 그라인딩 공법이었으며, 소음 측정은 주행 차량들에 의한 소음 측정 시 간섭효과를 피하기

표 2. 미국의 주별 다이아몬드 그라인딩 공법 시방 규정(IGGA)

	시공 기준	시공 조건	평가 방법	특이사항
캘리포니아	-	같은 노면 깊이로 시공되며 두께 1.9mm의 쐐기가 설치된 범위 이하	PrI 〈 1.9cm/km	-
위스콘신	-	900mm×30m 면적의 95% 이상 시공	평탄성 시험기 (profilograph)	-
콜로라도	-	그루브 길이 = 3/32~1/8in 도출된 길이 = 1/16~1/8in 그루브 높이 = 1/16in	-	포장 끝단 3ft정도는 시공하지 않음
플로리다	100mm 단위로 구간별로 면적의 30%가 넘는 부분이 침하 등의 문제가 있거나 해당 기술자의 요구가 있을 때	그루브 한 개의 높이는 약 1/32 이상, 1m에 200개 정도의 그루브 시공	10ft 자, 10ft롤링 직선자, 캘리포니아 프로파일 측정기 (California Type Profilograph)	평탄성에 따라 등급 결정
아이오와	PI 〉 110 PI 〉 140	줄눈이나 균열이 없는 경우 15mm 이하 있는 경우 20mm로 실시	30m당 95% 이상이 그라인딩 시공되어야 함	포장 단면 길이 3.6m당 6mm의 구배 만족
켄터키	예비실험을 통한 검증	그루브 폭 = 0.09~0.13 그루브 간격 = 0.08~0.125 그루브 높이 = 0.031~0.063	-	절삭 후 횡단 구배 12ft당 0.25in 유지
미시간	단차 높이가 2mm 이상일 때	표면 그루브 폭 〈 2~3mm 표면 그루브 간격 〈 2~3mm 표면 그루브 높이 = 2mm	3m 직선자	잔여물 강조

위해서 통행량이 적은 밤 11시부터 아침 6시까지 그곳을 지나가는 각각의 차량을 대상으로 수행하였다. 측정 위치는 인접 지역의 둑으로 인해 FHWA의 소음 모델 측정 시 기준인 거리 15m에서 측정을 하지 못하고 약 7.5m 거리에서 실시하여 보정하는 방법을 택하였다. 그 결과 신설 포장에 타이닝을 한 경우보다 다이아몬드 그라인딩 공법을 적용한 경우에 소음저감 효과가 2~5dB(A)정도 더 큼을 증명하였다.

이와 같이 소음 저감 및 성능 개선 효과가 높은 다이아몬드 그라인딩 공법에 대해 국제그라인딩협회(IGGA)에서는 미국의 각주별로 시방 규정을 표 2와 같이 제시하고 있다.

(2) 스웨덴

스웨덴의 Swedish National Road and Transport Research Institute(VIT)와 Technical University of Gdansk(TUG)는 합동 연구를 실시하여 소음에 관한 국제 수준의 측정 기준인 근접 소음 측정법(Close-Proximity Method : CPX)을 만들었다. 이 방법은 실험 대상 타이어를 특수 장비에 장착하여 타이어와 포장에 의해 발생된 A-weighted sound pressure를 측정할 수 있도록 고안된 것이다.

타이어 종류 및 다양한 포장 표면에 대한 소음 측정값을 비교 · 분석하였으며, 콘크리트 포장의 경우 다이아몬드 그라인딩 공법이 골재 노출 공법을 적용한 포장과 비교하였을 때, 상당한 소음 저감 효과가 있음을 알 수 있었다(Sandberg, 1998).

(3) 벨기에

벨기에의 고속도로 상에서 다이아몬드 그라인딩 공법을 적용하여 도로 포장의 소음이 약 5dB(A) 정도를 감소 효과를 보았으며 사람들에게 듣기 거북한 고주파 수를 분산시켜 고속도로 이용자들의 편익을 증진시켰다.

2.3.2. 국내 사례

우리나라의 경우, 1999년 오산비행장에 미국 공병단에 의해 다이아몬드 그라인딩 공법을 처음 적용하였으며 ACPA 보고서에 의하면 1950년대에 시공된 오산비행장 활주로는 수많은 보수를 통하여 평탄성이 악화되었고, 조종사들은 이·착륙시 비행기 진동에 대하여 끊임없이 문제를 제기하였다. 특히 정찰기의 경우는 민감한 전자장치의 튐현상으로 어려움을 겪었다. 그러나 다이아몬드 그라인딩 공법의 적용으로 평탄성이 70% 이상 향상되었으며, 조종사들은 이·착륙시 비행기 조종이 편리하여 대단히 만족하였다. 작업전 평탄성은 22.2~146㎝/Km이었으나 다이아몬드 그라인딩 작업후 평탄성은 11.1㎝/Km로 크게 향상되었다.

3. 국내 시험시공

국내·외의 기존 문헌조사를 바탕으로 현장 시험시공을 계획, 다이아몬드 그라인딩 공법을 적용하여 2004년 11월 현장 시험시공을 실시하였다. 또한 시험시공구간에 대한 종단평탄성, 미끄럼 저항성, 소음, 표면거칠기 등을 측정하였으며, 이때 평탄성 측정장비, 소음 측정장비, 미끄럼 저항 측정기 등을 이용하여 실험을 수행하였다.

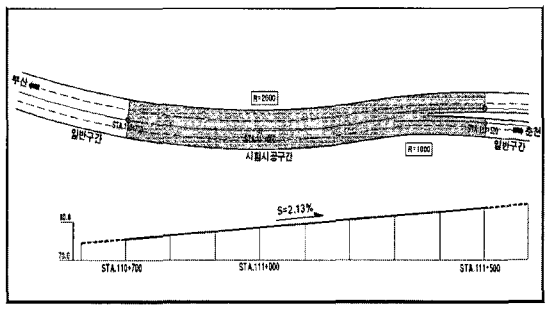


그림 3. 시험시공구간 평면 및 종단선형

3.1 시험시공구간 현황

● 중앙고속도로 : 부산기점 110.700Km~111.500

Km구간 (L=800m)

- 개통년도 : 1994년 12월 (왕복 4차로)
- 포장형식 : 무근콘크리트 포장 (표층 T=25㎝)
- 교 통 량 : AADT 42,923대/일 (도로교통량 통계연보 2004, 건교부)
- 평면 및 종단선형 : 그림 3

3.2 현장 시험시공

3.2.1. 시험시공 대상 지역의 포장 상태

중앙고속도로 내의 시험시공 구간은 무근 콘크리트 포장 구간으로 횡방향 수축균열이 약 1m 정도의 간격으로 발생했으며, 종방향 피로균열이 일부 구간에서 조사되었다. 일반적인 무근 콘크리트 포장의 균열과 같이 균열의 폭의 확대가 점진적으로 진전된 형태는 아니지만, 균열상부가 상당히 확장된 형태를 보이고 있다. 그림 4에서 보는 바와 같이 1, 2차로 차륜부 횡방향 타이닝의 마모상태와 포장 표면의 균열이 심한 것을 볼 수 있다.

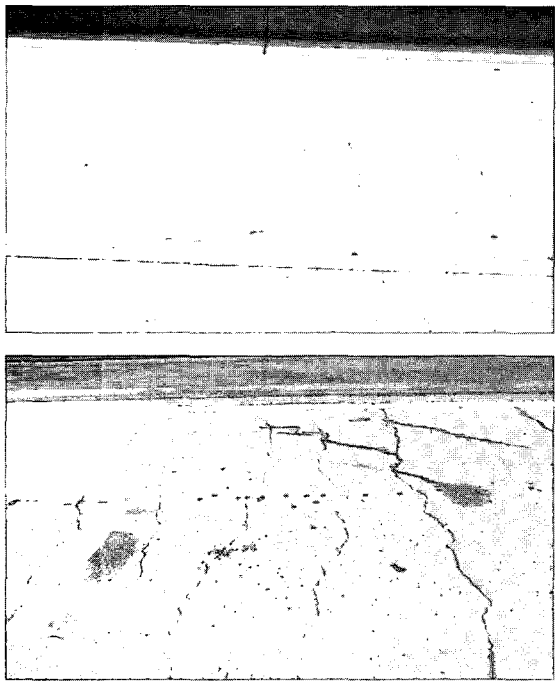


그림 4. 횡방향 타이닝의 마모상태 및 포장 표면의 균열

3.2.2. 시험시공

시험시공 후의 표면조직은 그림 5와 같이 형성하기 위한 절삭날을 사용하였다. 본 시공에 쓰이는 장비는 그림 6의 상단 그림과 같다. 포장을 절삭하는 날이 장착된 부분과 가열된 다이아몬드 톱날을 냉각시키기 위한 부분으로 구성되며, 전면의 슬러리 수거 차량과 후면의 물공급 차량이 한 조를 이루어 작업을 수행하였다. 시험시공된 포장 표면은 그림 6의 하단 우측 그림에서 보는 바와 같이 새로운 표면 조직이 형성된 것을 알 수 있다.

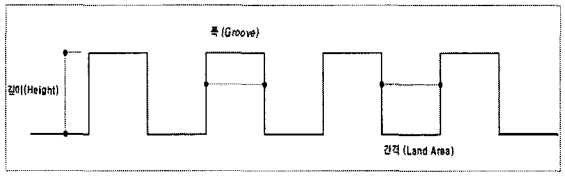


그림 5. 다이아몬드 그라인딩 단면(폭 3mm×깊이3mm×간격3mm)

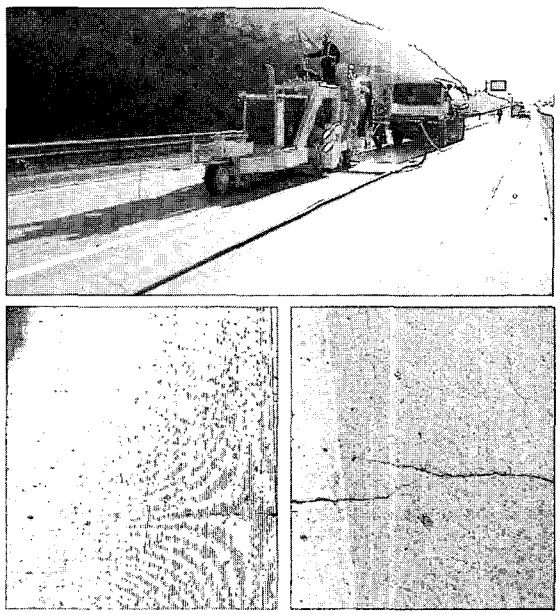


그림 6. 시험시공 전경 및 그라인딩 시공 전(우)과 후(좌)

시험시공 시, 기존의 균열 주입 보수 부위나 스폴링 보수를 시행한 패칭 부위가 교란되거나 탈리되지 않고 그대로 원형을 유지하였다. 앞서 기술한 바와 같이 본 공법이 기존 포장체의 손상을 최소화하는 공법이라는 것을 확인할 수 있었다.

4. 현장 공용성 측정

4.1 종단평탄성(IRI) 측정

본 구간의 종단평탄성 조사는 좌우의 차륜부에 별도의 평탄성 측정 센서를 부착한 종단평탄성 자동측정차량(ARAN)을 통해 수행되었다. 평탄성 측정은 평탄성 지수인 IRI (International Roughness Index)를 통해 수치화하였다. 본 조사대상 구간의 평탄성은 표 3에서 보는 바와 같이 시험 시공 전에는 2.12 에서 2.29로 조사 되었다. 고속국도의 종단평탄성은 3.5 이상에서 보수하는 것으로 관리하고 있으며, 본 조사 대상구간은 매우 좋은 상태의 평탄성으로 유지되고 있는 것으로 조사되었다. 시험시공 후 종단평탄성은 1.69에서 1.92가 조사되어 평탄성이 향상 된 것을 확인할 수 있었다.

표 3. 차로별 시공전·후 평탄성 변화 측정결과

방 향	부 산 방 향				춘 천 방 향			
차 로	1		2		1		2	
시공구분	전	후	전	후	전	후	전	후
IRI(m/Km)	2.29	1.38	2.54	1.84	2.38	2.20	2.08	1.95

4.2 미끄럼 저항성 측정

시험 구간에 대한 미끄럼 특성 변화 조사는 시험시공 전 · 후에 부산방향 2차로 111.0Km 지점(1구간)과 111.5Km 지점(2구간)에 대해 미끄럼 저항 측정 차량으로 수행하였다. 본 시험시공 구간에서는 ASTM E501, ASTM E524 미끄럼 측정용 타이어로 측정하였다. 표 4에서와 같이 시험시공 이전 각 구간의 2차로에서 3회씩 측정한 미끄럼 저항값을 나타내고 있다. 1구간에서의 미끄럼 상태는 SN 37에서부터 SN 39, 2구간에서는 SN 34에서부터 SN 38이 측정되었다.

시험시공 완료 후 미끄럼 저항 측정장비를 이용하여 미끄럼 상태를 조사하였다. 시험에 사용된 타이어는 ASTM E524의 홈이 없는 타이어를 사용하였으며, 미끄럼 측정은 시공 후 1주일 경과된 후 1구간과 2구간에서 각각 2회와 6회씩 수행하였다. 그 결과 표 4에서 보인 바와 같이 1구간에서는 SN 62, SN 63이 측정되었고, 2구간에서는 SN 46~50 정도의 양호한 상태의 값이 측정되어 시험시공 후에 미끄럼 저항값이 향상된 것을 확인할 수 있었다.

표 4. 시험시공 전·후의 미끄럼 저항 상태 비교

구간 \ 측정회수		1	2	3	4	5	6	평균
1구간	시공 전	37	39	37	-	-	-	37.7
	시공 후	62	63	-	-	-	-	62.5
2구간	시공 전	34	35	38	-	-	-	35.7
	시공 후	50	50	50	46	48	49	48.8

※ 1구간 : 부산방향 2차로 111.0Km 지점
※ 2구간 : 부산방향 2차로 111.5Km 지점

4.3 소음 측정

4.3.1. 구간 소음 측정

그림 7에서는 그라인딩 구간과 일반 구간에서의 소음기 배치 위치를 나타내고 있으며, 장비는 JISC 1505-1988를 이용하였다. 이 두 구간에서 시간대별 등가 소음 레벨을 측정하였고, 통과차량이 적은 심야 시간대에서의 트럭과 승용차에 대한 속도별 소음도를 측정하였다. 표 5는 본 실험에 적용된 측정 조건을 나타내고 있다.

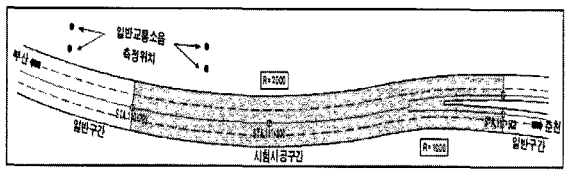


그림 7. 구간별 소음기 설치 모습
(좌:그라인딩 구간, 우:일반 구간)

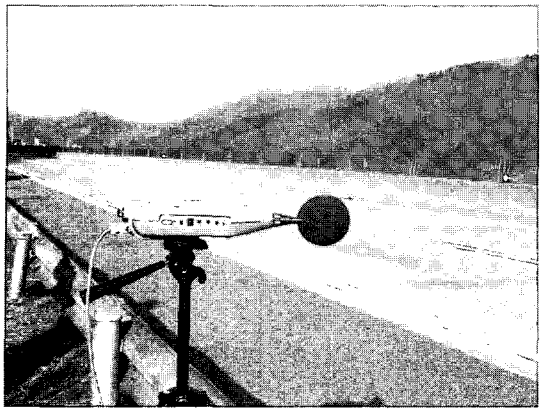


그림 8. 다이아몬드 그라인딩 공법 시험시공 구간의 소음 측정

표 5. 다이아몬드 그라인딩 구간에서 실시된 소음 측정 실험 내용

실험 종류	실험 세부 내용
시간대별 등가 소음 측정	1. 각 시간대별 등가 소음 레벨(Leq)을 3시간 간격으로 측정하였다. 2. 각 시간대에 따른 소음 측정은 5분 등가 소음 레벨을 5분 간격으로 3회씩 측정하였다. 3. 예를 들어 11시 대의 소음 측정은 11시 40분, 11시 50분, 12시 순으로 측정이 이루어졌다. 4. 측정은 다이아몬드 그라인딩 구간과 일반 구간에 각각 소음기를 갓길(근접 거리)과 도로변에 위치한 언덕(원거리) 등각각 2개씩 소음기를 설치하여 교통 소음을 측정하였다. 5. 측정 시작 시각은 오전 11시 40분이었고 종료 시각은 밤 9시였다.
트럭 및 승용차에 대한 pass-by 측정	1. 그라인딩 시험 시공 구간은 현재 공용 중인 고속국도이기 때문에 차량 한대에 대한 소음 측정이 쉽지 않다. 2. 따라서 차량 통행량이 적은 밤 12시 이후에 소음 측정 실험이 실시되었다. 3. 트럭과 승용차에 대한 pass-by 소음 측정이 이루어졌다. 4. 트럭의 경우 80Km/h와 100Km/h에 대해서 각 3회씩 실시되었고 승용차의 경우 80Km/h, 100Km/h, 120Km/h에 대해서 각 2회씩 실시되었다.

4.3.2. 등가 소음도 측정

실제 교통 상황에서는 소음도가 일정하게 나타나지 않기 때문에 시간과 측정 간격을 설정하고 이에 대한 데이터들을 위와 같은 식으로 연산하여 등가 소음도를 산출하게 되어 있다. 소음·진동공정 시험방법의 도로소음 측정방법에 따르면 디지털 소음자동분석계를 사용할 경우 샘플측정 주기를 1초 이내에서 결정하고 5분 이상 측정하는 것으로 제시하고 있다.

그라인딩 구간과 일반 구간의 갓길과 거리가 약 10m 정도 떨어진 도로변 언덕에 소음기를 각각 설치하고 같은 시간과 간격으로 교통 소음을 측정하였다. 측정 시작 시각은 오전 11시 40분부터 5분 간격으로 5분 Leq를 측정하였고 시간대 간격은 3시간이었다. 시공 전과 후의 동일지점에서의 시간대별 교통소음을 목적으로 교통량 차이에 대한 오차를 배제하기 위해 일반구간과 동시에 측정하였다.

시간대별로 다이아몬드 그라인딩 구간과 일반 구간에 대한 소음 측정(5분 Leq) 결과는 표 6에 제시되어 있다. 시간대별 일반 교통 소음도를 비교해본 결과 다이아몬드 그라인딩 구간에서 평균 3.4dB(A)의 소음 감소 효과를 나타냈다. 일반적으로 3dB(A)은 이격거리가 2배일 때 나타나는 소음 차이로 알려져 있기 때문에 그라인딩 구간은 이와 같은 효과를 나타낸다고 볼 수 있다.

또한 심야 시간대(00:00~04:00)에 측정된 단일 차량에 대한 주행 소음을 평가한 결과, 80Km/h, 100Km/h, 120Km/h의 속도일 경우를 각각 측정한 결과 주행 속도가 증가할수록 다이아몬드 그라인딩 구간에서 소음 저감 효과가 큰 것을 볼 수 있었다.

표 6. 시간대별 시공전 · 후 일반교통소음(5분 Leq) 측정 결과

측정시간	시공전		시공후		측정 횟수	비고
	7.5m이격	15m이격	7.5m이격	15m이격		
10:00~12:00	83.0	66.0	79.6 (△3.4)	63.0 (△3.0)	7×2	시공후 12:00 ~ 15:00 시간대 자료손실
12:00~15:00	82.5	65.0	-	-	3×2	
15:00~17:00	83.3	66.8	80.5 (△2.9)	64.1 (△2.7)	5×2	
17:00~19:00	84.0	65.9	81.2 (△2.8)	65.1 (△0.8)	5×2	
19:00~22:00	83.3	66.8	78.6 (△4.5)	62.1 (△4.7)	5×2	

4.4 조도 측정

기존 포장의 마모된 표면 조직에 대한 개선 효과를 조사하기 위해 평균조도깊이(MTD : Mean Texture Depth of Pavement Macrotexture)를 측정하였다. MTD 를 측정하는 방법으로 ASTM E 965에서 규정하는 샌드 패칭 시험(sand patching test)을 활용하였다. 사용된 재료로는 주문진 표준사 200ml이며 투입된 체적과 측정반경을 이용하여 깊이를 산정하였다. 시공전 · 후 각 5개소에 대한 평균 조도 깊이를 측정하였으며 그 결과는 표 7과 같다.

MTD 측정 결과 평균적으로 약 79%의 깊이 향상 효과가 있는 것으로 나타났으며, 소음저감을 위한 골재노출공법 신설 구간의 관리기준인 1.5±2mm를 상회하는 것으로 조사되었다. 기존 노면의 마모로 인해 상당히 거친 표면이었음에도 MTD 가 상당히 증가한 것을 알 수 있다.

표 7. 시공전·후 포장면의 평균조도깊이 측정 결과

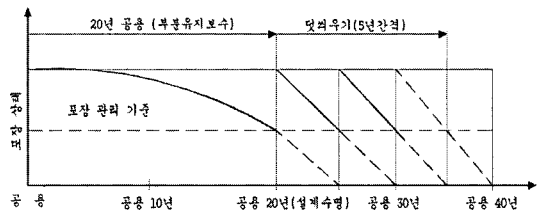
구 분	측정점-1	측정점-2	측정점-3	측정점-4	측정점-5	평 균
시공전	1.0	1.2	1.6	1.5	1.6	1.4
시공후	3.0	2.3	2.6	2.4	2.4	2.5 (+79%)

5. 경제성 분석

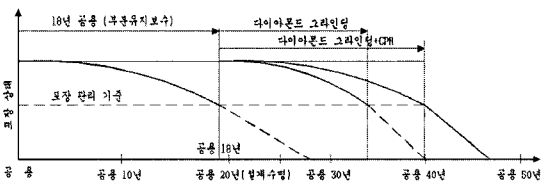
현재 일괄적으로 적용하고 있는 아스팔트 덧씌우기 공법과 다이아몬드 그라인딩 공법에 대한 경제성 분석을 통하여 본 공법에 대한 효과를 살펴보고자 한다.

5.1 경제성 분석기간 및 공법 적용 주기

콘크리트 포장에 대한 유지보수에 대한 방법으로 20년 공용인 콘크리트 포장을 대상으로 각각 아스팔트 덧씌우기 공법과 다이아몬드 그라인딩 공법과의 비교를 실시하였다. 아스팔트 덧씌우기의 경우, 20년 공용 이후 5년마다 덧씌우기를 하는 것으로 가정하였다. 다이아몬드 그라인딩 공법은 역시 20년 공용 년수 경과 이전에 다이아몬드 그라인딩을 실시하여 포장 기능을 회복하는 것으로 가정하였다. 그림 9는 각각의 보수 공법에 대한 개념을 나타내고 있다.



(a) 아스팔트 덧씌우기 공법



(b) 다이아몬드 그라인딩 공법

그림 9. 경제성 분석을 위한 분석기간 및 공법적용 주기

5.2 경제성 분석기준

다이아몬드 그라인딩 공법과 기존 공법인 아스팔트 덧씌우기 공법의 경제성 분석을 위한 비용 및 평가항목은 개량화가 가능한 유지보수비용을 기준으로 산정하였다. 콘크리트 포장의 공용기간은 외국사례에서 분석된 자료를 바탕으로, 다음과 같은 가정을 세웠다.

a) 다이아몬드 그라인딩 공법 적용 시 수명연장 10년과 공용기간 20년을 더한 30년을 기준으로 산출.

b) 아스팔트 덧씌우기 공법 적용 시에는 20년 공용 및 2회(각 5년)의 덧씌우기 비용을 산출.

c) 비교 대상구간은 호남고속도로 회덕분기점~광주구간의 콘크리트포장인, 광주방향 2차로, 연장은 약 170km 구간을 분석대상으로 함.

비용 산정 내역은 다음과 같다.

- 아스팔트 덧씌우기 비용 산정 (단가 산정 기준 : 2005년 건설 표준 품셈)
  893,900㎡×3,000원(AP 덧씌우기 비용)≒116억
  116억×2회≒232억

- 다이아몬드 그라인딩 비용 산정 (단가 산정 기준 : (주) 에이브이티 입찰 단가)
  893,900㎡×2,700원 (다이아몬드 그라인딩 비용)≒113억

표 8. 아스팔트 덧씌우기 공법과 다이아몬드 그라인딩 공법 경제성 비교

구 분	다이아몬드 그라인딩 공법	아스팔트 덧씌우기 공법	비 고
포장수명	10년 연장	3~7년	
경 제 성	100%	205%	30년 기준
장·단점	· 콘크리트 포장수명 증가 · 비용이 저렴하고 시공성 양호 · 공용후 2차시공 및 타공법 적용가능	· 반사균열 및 2차 파손에 취약 · 5년마다 재절삭 덧씌우기로 교통 통제 및 비용 고가	

6. 결 론

본 연구를 통해 공용중인 콘크리트 포장의 유지관리공법인 다이아몬드 그라인딩 공법을 국내 최적의 유지관리공법으로 적용하기 위한 타당성을 검증하였다.

도로 포장의 평탄성 유지시 단차나 종평단성을 향상시켜 포장의 수명을 증가시키고, 미끄럼저항성이 증대되며, 소음 감소효과에 우수한 결과를 보인다는 연구 결과를 참고로, 국내 일부구간에 다이아몬드 그라인딩 공법을 시험시공하고 그 결과를 분석하였다.

본 연구의 수행 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

(1) 종단평탄성 IRI(m/Km) 측정결과 전체적으로 시공후 약 6%~40%의 평탄성이 향상된 것으로 나타났다. 이는 고속도로 관리기준인 3.5를 90% 상회하는 수치이다.

(2) 미끄럼 저항성 측정결과 시공 후 미끄럼 저항 증가는 1차로에서 66%, 2차로에서 37%의 증진 효과가 나타났다. 평균 52.25%로서 유지관리기준인 35%를 49%정도 상회하는 미끄럼 저항 증진 효과를 보였다.

(3) 소음측정결과 시간대별 일반교통소음의 경우 다이아몬드 그라인딩 구간에서 평균 3.4dB의 소음감소 효과가 나타났다. 이는 이격거리가 2배일 때 나타나는 소음차이로써 방음벽 높이 2m를 줄일 수 있는 소음감소 효과를 보였다. 심야시간대(0~04시)에 측정한 단일차량 주행소음은, 시속 80Km/hr, 100Km/hr, 120Km/hr의 소음측정결과 주행속도가 증가할수록 다이아몬드 그라인딩 구간에서 소음저감 효과가 크게 나타났다.

(4) 시공전·후 평균조도 깊이는 시공전 1.0~1.6mm, 시공후 2.4~3.0mm로 측정되었으며 평균적으로 79%의 깊이 향상 효과를 보였다. 이는 소음저감을 위한 골재 노출 공법 관리기준인 1.5±0.2mm를 1.8배 상회하는 것이다.

(5) 기존의 아스팔트 덧씌우기 공법과의 경제성 분석 비교 결과, 유지관리비가 약 50% 절감 효과를 확인하였으며, 1개 차로 통제만으로 시공이 가능하므로 시공성 또한 우수한 것으로 판단되었다.

향후, 본 공법을 노후화된 국내 콘크리트 포장에서 소음 저감 효과와 함께 미끄럼 저항성을 증가시키기 위한 유지보수공법으로 자리매김하기 위해서 추가 시험시공을 수행하고 그 공용성을 평가하도록 할 것이다.

참고문헌

1. Douglas I. Hanson, Robert S. James, *"Colorado DOT tire/pavement noise study"*, CDOT

Research, 2004. 4
2. *"Acoustics-Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise-Part 1 : Statistical Pass-By Method"*, ISO 11819-1, 1997. 9
3. *"Highway Traffic Noise, US Department of Transportation*, Federal Highway Administration, 2003
4. *"Noise and Texture on PCC Pavements"*, Wisconsin Department of Transportation, June, 2000.
5. *"Acoustics-Measurement of Noise Emitted by Accelerating Road Vehicles- Engineering Method"*, ISO 362-1998, 1998
6. "Acoustics Acceptance Testing of Portland International Airport Ground Run-up Enclosure", *The Transportation Research Board*, 2003
7. Areg Gharabegian, Emery Tuttle, *"Diamond Grinding for Roadway Noise Control"*, Sound and Vibration, 2002
8. Angel L. Correa, Bing Wong, *"Concete Pavement Rehabilitation Guide for Diamond Grinding"*, FHWA, 2001. 6
9. *"Concrete Pavement Surface Texture"*, ACPA Special Report
10. "ISO/TC43/SC1/WG42", *ISO 362 Working Draft*, 2001. 2
11. Jill Schlaefer, Robert LaForce, *"Noise and Skid Measurements on US285 in the Turkey Creek Canyon Area Project NH 2854-068"*, Colorado DOT, 2001. 9
12. John Roberts, Gerald F. Voigt, Michael Ayers, "Research Shows Concrete is Safe, Durable and Quiet", *ACPA, 2004*
13. Larry Scofield, *"SR202 PCCP Whisper Grinding Test Sections"*, Arizona DOT, 2003. 10
14. Shreenath Rao, H. Thomas Yu, Lev Khazanovich, Michael I. Darter, "Longevity of Diamond Ground Concrete Pavement", *The Transportation Research Board*, 1999. 1
15. Steven M. Karamihas and James K. Cable, *"Developing Smooth, Quiet, Safe Portland Cement Concrete Pavements"*, IOWA State University, 2004. 3
16. Michael T. McNerney, B. J. Landsberger, Tracy Turen and Albert Pandelides, *"Comparative Field Measurements of Tire Pavement Noise of Selected Texas Pavements"*, University of Austin
17. NCHRP Synthesis 268, *"Relationship Between Pavement Surface Texture and Highway Traffic Noise"*
18. Paul L. Burge, Kieth Travis, P.E, Dr. Zoltan Rado, "A Comparison of Transverse Tined and Longitudinal Diamond Ground Pavement Texturing for Newly Constructed Concrete Pavement", *Transportation Research Board*, 2001. 11
19. Practice of PCC Pavement Texturing", *Transportation Research Record 2003 Annual Meeting*, 2002.11
20. "Stop the Whine! Narrow Band Level Measurements of Three Highway Pavements", *Transportation Research Board*, 1997. 1
21. "The Concrete Pavement Restoration Guide-Procedures for Preserving Concrete Pavements", *ACPA*, 1997
22. "Texturing of Cement Concrete Pavements to Reduce Traffic Noise Emission", *The Transportation Research Board*, 1998. 1
23. *"The International Roughness Index"*, FHWA R&D Concrete Pavement Research & Technology, 2002. 8
24. *"CPR Specifications"*, www.igga.net
25. 강대준, "도로교통소음과 대책", 국립환경연구원, 2000

26. 김인수, 김주영, 장태순, 옥창권, "교통 소음 특성과 그루빙을 통한 감소 사례 연구", 도로교통 제 95호, 2004
27. 박태순, "건식그루빙을 사용한 공항 활주로의 마찰 및 수막현상 특성평가", 한국도로포장공학회지, 2001. 9
28. 권수안, 김남호, 서영찬, "콘크리트 포장상태 평가지수의 개발에 관한 연구", 한국도로포장공학회지, 2000. 9
29. "소음 · 진동공정시험방법", 환경부, 2000
30. 김병삼, 홍동표, "타이어와 소음", 한국소음진동공학회지 제4권 제4호, pp.404 ~412, 1994
31. "교통소음 · 진동의 한도", 소음 · 진동 규제법, 시행규칙 별표10, 1999
32. 환경부 "소음진동규제법", 1999
33. 환경부, "소음/진동 환경개선 중장기 계획", 2001
34. "소음 · 진동 편람", 한국소음진동공학회, 1995
35. "유지보수작업메뉴얼", 한국도로공사, 2000
36. "도로포장 유지보수 실무편람", 건설교통부, 1999
37. "건설표준 품셈", 건설교통부, 2005

접 수 일 : 2006. 5. 23
심 사 일 : 2006. 6. 14
심사완료일 : 2006. 8. 28