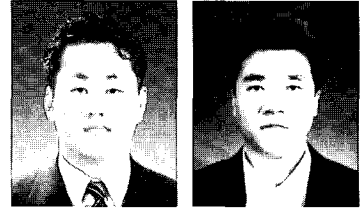


# 다이아몬드 그라인딩 공법을 활용한 노후 콘크리트 포장의 소음저감



홍 승 호 | 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 전임연구원  
한 승 환 | 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 수석연구원

## 1. 머리말

시멘트 콘크리트 포장은 건설 후 교통 하중의 반복적인 작용 및 기상 작용에 의해 표면 노후화가 진행될 수 있다. 노후된 콘크리트 포장에서는 줄눈부단차, 표면 타이닝 마모 현상이 발생될 수 있다. 다이아몬드 그라인딩 공법은 포장의 승차감을 향상시키기 위하여 콘크리트 포장 노면을 다이아몬드 톱날을 이용하여 그라인딩하는 공법이다. 이를 통해 도로 포장면의 평탄성을 개선하여 승차감을 회복시켜 포장의 질을 향상시킬 수 있으며, 새로운 조면 조적을 형성시켜 미끄럼 방지 효과를 향상시킬 수 있다. 다이아몬드 그라인딩 공법은 1960년대부터 포장보수 공법으로 이용되기 시작하여, 최근 들어 더욱 발전하였으며, 향후 많은 경험을 통한 연구가 필요한 분야로 대두되고 있다. 다이아몬드 그라인딩 공법의 가격 경쟁력은 새로운 고효율의 장비를 갖추어서 더욱 커질 수 있다.

다이아몬드 그라인딩 공법은 노면의 평탄성을 제 공함으로써 콘크리트 포장의 공용 기간을 연장시킬 수 있다. 다이아몬드 그라인딩 공법은 교통량과 기상 상태 하에서 수년동안 진전되어온 노면 손상을

제거하며, 이로 인하여 평탄해진 도로는 반복 교통 하중에 더욱 오래 견딜 수 있게 된다. 이러한 공법을 적용하는 가장 큰 이유는 동적 및 충격 하중을 감소시킬 수 있기 때문이다. 손상된 노면의 요철 위를 주행하는 트럭의 경우 차량의 현가장치에 수직적인 바운드가 작용하여 동적인 하중이 발생되게 된다(그림 1). 동적 하중은 자동차의 중량, 즉 정적하중보다 크다. 이와 같은 하중이 포장체 내의 골재에 응력을 증가시켜 결과적으로 포장수명을 단축시키게 된다. 다이아몬드 그라인딩 공법은 노면에 평탄성을 제공하여 줌으로서 차량에서 발생하는 동적 또는 충격하중을 감소시킬 수 있다.

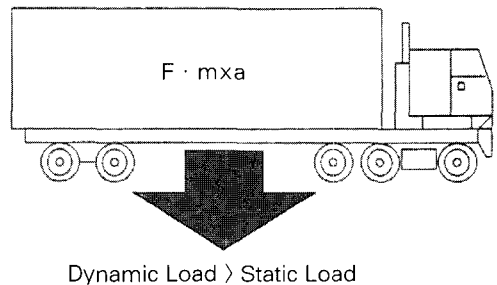


그림 1. 차량 동적하중 발생

## 2. 다이아몬드 그라인딩 장비 특징

다이아몬드 그라인딩 공법 장비는 여러 장의 다이아몬드 톱날을 사용하여 그라인딩 헤드에 한벌로 장착된다. 그라인딩 공법에서의 가장 중요한 제원은 기계의 중량, 마력, 그라인딩 공법 헤드로 구성된다. 다이아몬드 그라인딩 공법 장비는 목공작업에 비유할 수 있다. 전방의 바퀴가 단차 또는 돌출부를 지나게 되면 그 뒤를 이어 다이아몬드 칼날이 이를 제거하게 되고 후방의 바퀴는 그라인딩 헤드 왼편의 평탄한 노선을 따르게 된다. 그라인딩 헤드는 콘크리트를 그라인딩 한다. 그림 2, 3은 다이아몬드 그라인딩 장비 제원 및 시공 전경이다. 그라인딩 헤드는 기다란 회전축 위에 촘촘한 간격으로 수많은 다이아몬드 톱날이 장착되어 있다. 일반적으로 노면을 평탄하게 하거나 가느다란 골을 파는데 필요한 톱날 수는 각 축에 164-194/m 개다(그림 4). 톱날의 선택은 그라인딩 공법 시공시 중요한 부분이 된다. 톱날을 선택하는데 있어서 다이아몬드의 크기, 다이아

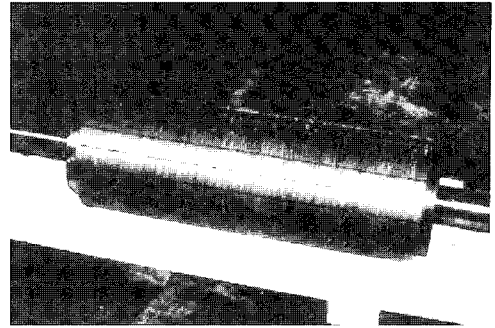


그림 4. 다이아몬드 헤드 드럼

몬드가 박혀 있는 밀집도, 그리고 부착강도이다. 각각의 요인들은 노면의 그라인딩량, 비용 및 품질에 영향을 줄 수 있다. 다이아몬드의 밀집도는 그라인딩 성능에 있어서 매우 중요한 요소이다. 이는 다이아몬드 부착강도나 크기가 미치는 영향보다도 훨씬 더 중요하다. 다이아몬드는 현존하는 최고 강도의 재료이므로 그 수가 많아질수록 그라인딩 공법 헤드는 강해지고 절삭 효율도 높아진다. 다이아몬드의 크기는 그라인딩 공법 헤드의 수명, 절단 속도와 비용에 영향을 끼친다. 다이아몬드 크기가 큰 것은 경량 골재에 좋고, 작은 다이아몬드는 강한 골재에 적용하는 것이 좋다. 이는 목재용 톱과 금속절단용 톱의 톱니 크기의 차이와 같은 맥락에서 이해될 수 있다(목재용 톱니는 금속절단용 톱니보다 매우 크다).

노면조직과 마찰력은 그라인딩 공법 헤드에 붙어 있는 톱날의 간격에 따라 다양하게 나타난다. 적절한 간격이 포장의 수명과 노면 마찰력을 증진시킨다. 톱날에 의한 포장의 패임자국의 수는 피트당 약 50~60줄이다. 예를 들어, 마모에 약하거나 경도가 낮은 골재인 경우에는 톱날의 간격을 넓게 펴서 골이 패인 노면조직의 미끄럼 저항성을 높일 수 있다. 반면 경도가 높은 골재의 경우에는 톱날을 촘촘하게 하여야 한다. 다음의 그림 5와 표 1은 골재 특성에 따른 절삭 규격을 보여주고 있다. 다이아몬드 그라인딩 공법을 밀링이나 깎아 내기와 혼동해서는 안 된다. 밀링은 포장노면을 절삭할 때 콘크리트에 충격이 가해진다. 따라서, 콘크리트 포장의 밀링은 줄눈부에서 스

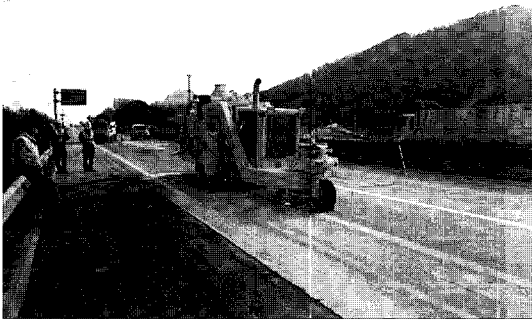


그림 2. 다이아몬드 그라인딩 시공 장비



그림 3. 다이아몬드 그라인딩 시공 후

플링을 유발하고, 노면이 거칠어져서 소음을 유발한다. 다이아몬드 그라인딩 공법은 충격이 덜하며 줄눈 손상이 없다. 밀링은 라벨링, 골재파손, 스펀링, 횡방향 또는 종방향 줄눈의 교란 등을 유발한다.

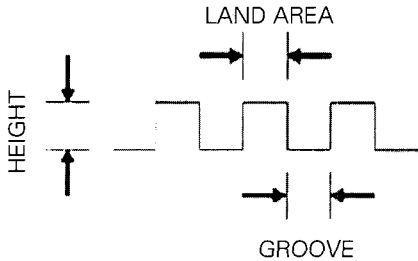


그림 5. 그라인딩공법 절삭면 규격

표 1. 다이아몬드 그라인딩공법 규격

구 분	값의 범위(mm)	강한 골재(mm)	약한 골재(mm)
톱날 폭	2.0-4.0	2.5-4.0	2.5-4.0
볼록 골 폭	1.5-3.5	2.0	2.5
골 높이	1.5	1.5	1.5
톱날 수/m	164-194	174-194	164-177

### 3. 국내 적용 사례

#### 3.1 중부고속도로 적용 사례

국내 고속도로에서는 2003년 11월에 제 1 중부고속도로 하행 (서울 방면) 330.5~330.8km 구간의 1, 2차로에 300m의 종방향 다이아몬드 그라인딩 공법이 최초로 적용되었다. 시험시공전 본 구간의 콘크리트 포장의 표면 타이닝이 심하게 마모된 상태였다. 시험시공이 완료된 후 포장 상태는 그림 6에서 보는 바와 같이 시험시공 구간과 시공되지 않은 구간이 색상으로 분명하게 구분되는 것을 볼 수 있다. 시험시공된 포장 표면은 그림 7과 그림 8에서 보는 바와 같이 새로운 표면조직이 만들어 진 것을 볼 수 있다. 그림 7에서 보는 바와 같이 시공되지 않은 우측의 표면은 횡방향 타이닝 마모 현상을 볼 수 있는데, 시험시

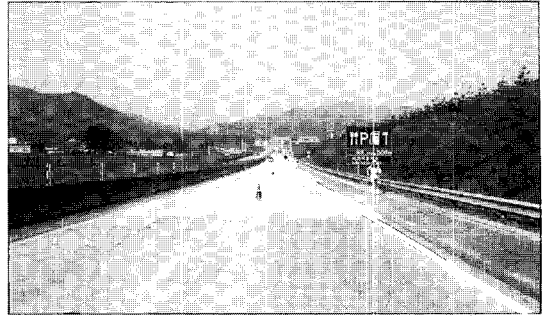


그림 6. 시험시공 구간 전경

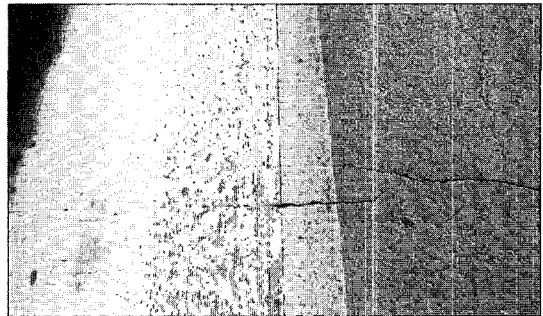


그림 7. 그라인딩 시공 전·후 비교

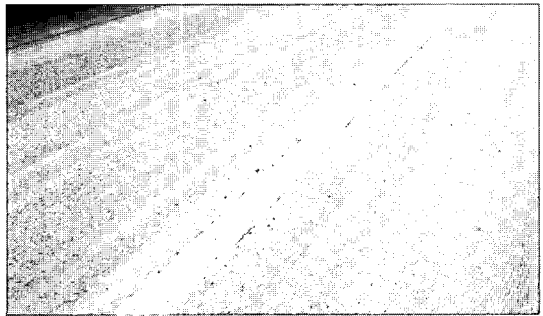


그림 8. 시험시공 완료 후 표면 상태

공 표면에서는 새로운 종방향 조직이 생성된 것을 볼 수 있다. 또한, 종방향 줄눈부의 경우 시험시공으로 인한 스펀링 발생이나 기존에 시공된 줄눈재의 탈리가 거의 발생하지 않은 것을 관찰할 수 있었다. 시험시공된 표면은 거친 마이크로 조직이 전면에 걸쳐 새로 생성되어 있기 때문에 타이닝 마모에 의해 우천시 발생할 수 있는 차량의 미끄럼 사고를 예방하는데 큰 효과를 발휘할 것으로 사료된다. 시험시공이 완료된 후 그림 9와 같이 한 차로로 차량을 소통시키면서 차선도색 작업을 수행할 수 있으며, 차선도색 작업이

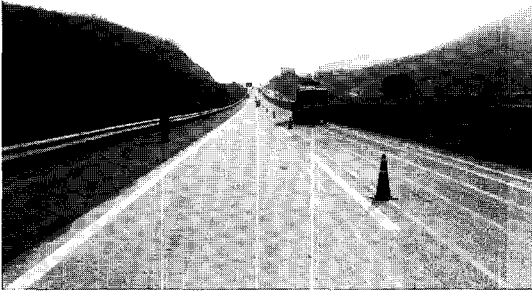


그림 9. 시험시공 완료 후 차량 소통

종료 후에 전 차로를 대상으로 교통을 소통시킬 수 있어 작업 공정이 신속한 시간 내에 완료될 수 있다.

### 3.2 중앙 고속도로 적용 사례

중앙 고속도로 구간은 2004년 11월에 하행(춘천 방면) 111.2~113km 1, 2차로 800m에 종방향 다이아몬드 그라인딩 공법을 적용하였다. 본 구간의 포장 상태는 표면 스케일링이 일부 발생한 것으로 조사되었다. 시험시공은 그림 10과 같이 종방향으로 진행하면서 실시되었다. 시험시공 후 노면 상태는 그림 11, 12에서 보는 것과 같이 새로운 거친 조면 조직이 생성된 것을 볼 수 있다. 다이아몬드 그라인딩 공법의 특징은 그림 13에서 보는 바와 같이 기존에 시공된 부분 단면보수를 손상시키지 않고 시공된다. 다이아몬드 그라인딩 시공 후 부분 단면 보수부에도 새로운 조면 조직을 생성할 수 있어, 기존 포장면과 부분 단면 보수부의 단차를 줄여 보수부에 가해지는 충격 하중을 낮추어 수명 연장을 기대할 수 있다.

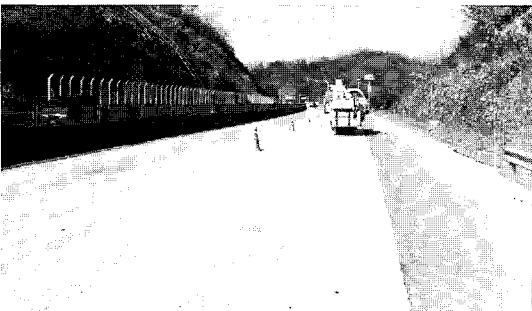


그림 10. 2차로 시험 시공 전경

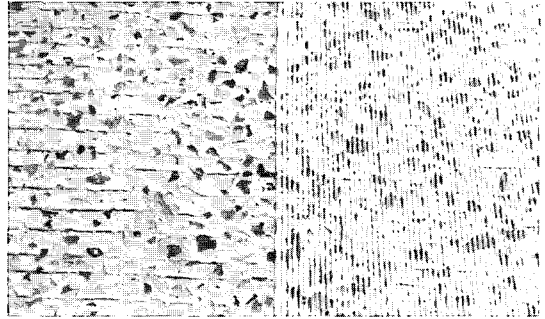


그림 11. 시공 전·후 포장 상태

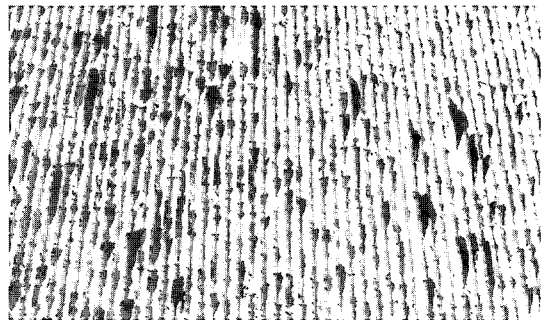


그림 12. 시험시공 후 표면 상태

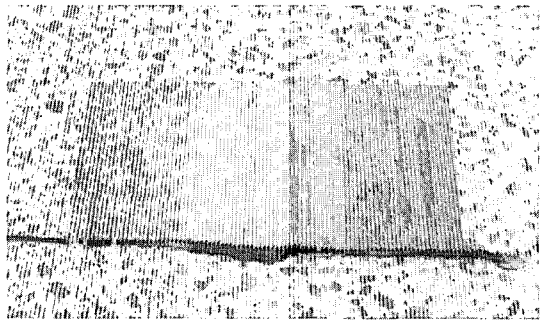


그림 13. 부분단면 보수부의 시공 상태

## 4. 공용성 분석

### 4.1 중부 고속도로 사례 공용성 분석 결과

#### (1) 미끄럼 방지 효과

다이아몬드 그라인딩 시험시공 완료 후 미끄럼 저항 측정장비를 이용하여 미끄럼 상태를 조사하였다. 미끄럼 측정은 시공 후 1주일 경과된 후 1차로와 2차로 구간에서 수행하였다. 1차로 1구간의 경우 표 2에서 보는 바와 같이 앞의 두 구간은 시험시공이

되지 않은 지점이며, 세번째 구간의 일부 지점이 시험시공된 구간으로 미끄럼 저항 증진 효과가 있는 것을 확인할 수 있었다. 시험시공이 시행된 지점에서는 그림 14에서 보는 바와 같이 SN 52가 측정되었다. 시험시공 구간의 진입부에서 미끄럼 저항값은 SN 28~60 정도가 측정되는 것과 비교하여, 시험시공 구간에서는 SN 66~78 정도의 높은 미끄럼 저항 상태가 측정되는 것을 볼 수 있다.

표 2. 시험시공 후 1차로 미끄럼 상태(ASTM E 524)

측정 단면 차로	시공 전	시공 전	시공 전·후	시공 후	시공 후
	3-1	3-2	3-3	3-1	3-2
1차로	44	48	52	67	71

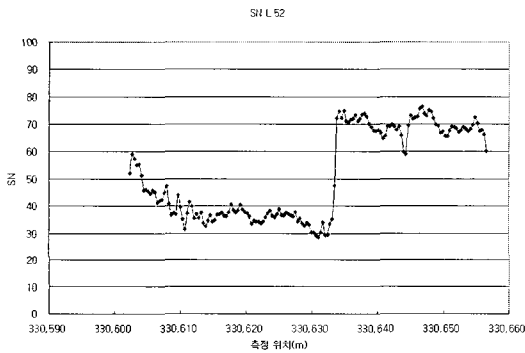


표 3. 시험시공 후 2차로 미끄럼 상태(ASTM E 524)

측정 단면 차로	시공 전·후	시공 후	시공 후
	3-1	3-2	3-3
1차로	43	69	62

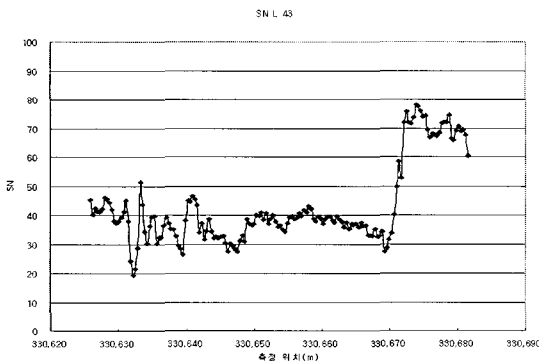


그림 15. 시험시공 후 2차로 미끄럼 상태 3-1

2차로 구간에서는 표 3에서 보는 바와 같이 시험시공 경계 지점에서 SN은 43이 측정되었으나, 시험시공된 지점에서는 SN 62~69가 측정되어 미끄럼 방지 효과가 증진된 것을 알 수 있다. 시험시공 경계면에서는 그림 15에서 보는 바와 같이 시험시공이 안된 지점에서는 미끄럼 상태가 낮았으나, 시험시공된 지점에서는 매우 높은 미끄럼 방지 효과가 있는 것을 알 수 있다.

(2) 평탄성 분석

본 시험시공 구간에 대하여 포장 상태 조사 장비의 레이저 SDP를 이용하여 평탄성을 측정하였다. 평탄성의 정도는 국제 평탄성 지수(IRI)로 나타냈으며 방향별, 차로별로 시험시공 전·후의 측정 자료를 비교하였다. 본 구간의 평탄성 조사 결과 그림 16에서 보는 바와 같이 시험시공 전 1차로 좌·우측 차륜부에서 평균 IRI는 2.25가 측정되었다. 시험시공 구간의 평탄성은 우측 차륜부에서 최대 8.77이 측정되었으며, 몇몇 구간에서는 높은 IRI가 측정되어 평탄성이 낮아진 것을 알 수 있었다. 본 구간의 시험시공 전 2차로의 평탄성은 좌·우측 차륜부에서 평균 IRI는 2.25가 측정되었다. 시험시공 구간의 평탄성은 우측 차륜부에서 최대 6.78이 측정되었으며, 몇몇 구간에서는 높은 IRI가 측정되어 평탄성이 낮아진 것을 알 수 있었다. 시험시공 후 평탄성은 그림 16에서 보는 바와 같이 1.69에서 1.92가 조사되어 평탄성이 향상된 것을 볼 수 있었다.

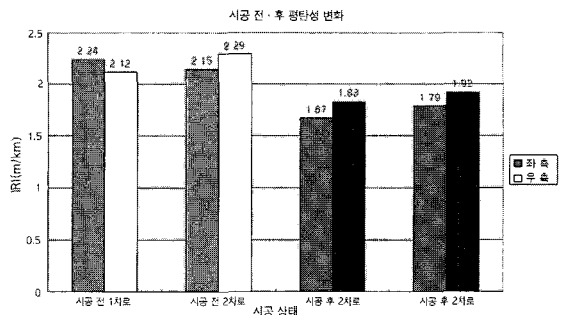


그림 16. 시험시공 전·후 종단 평탄성 결과

### 4.2 중앙 고속도로 사례 공공성 분석 결과

#### (1) 소음 특성 분석

본 구간에 대한 소음 특성 분석은 그림 17과 같이 시간대별로 측정 지점으로부터 7.5m와 15m 이격 지점에 소음 측정기를 설치하여 시간대별로 5분 간격으로 조사하였다. 그림 18 및 표 4에서 보는 바와 같이 시험 시공 후에 소음이 7.5m 이격 지점

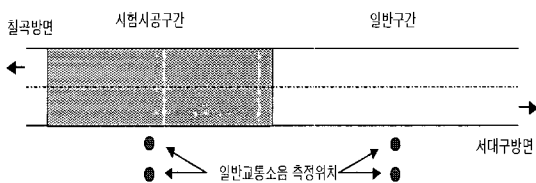


그림 17. Pass-by 소음 측정

[측정방법:ISO 11819-1, Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise, Statistical Pass-By method, Leq(5분 동안의 등가음압레벨) 산정]

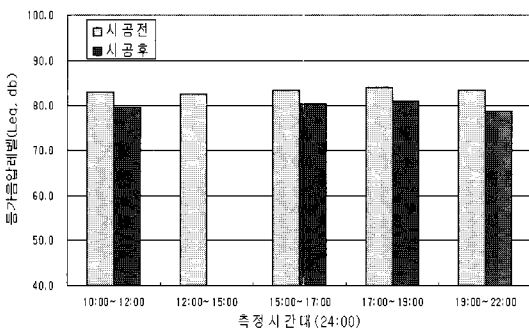


그림 18. 시간대별 시공 전·후 일반교통소음 측정 결과(7.5m 이격)

표 4. 시간대별 시공전·후 일반교통소음(5분 Leq) 측정 결과

측정 시간	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	

에서 2.8~4.5dB 낮아졌고, 15m 이격 지점에서 0.8~4.7dB 낮아진 것을 볼 수 있다. 단일 차량을 이용한 주행속도별 소음 측정에서 그림 19에서 보는 바와 같이 시공 후에 소음이 낮아지는 것으로 조사되었다.

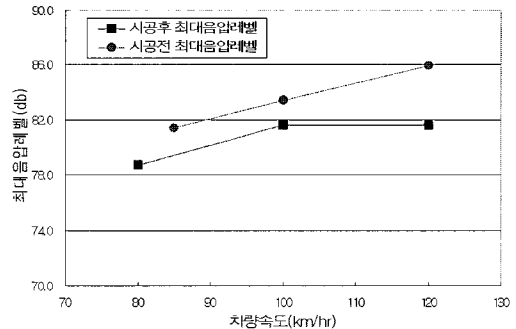


그림 19. 시공 전·후 단일차량의 속도별 최대 음압 레벨

#### (2) 표면 조도 분석

시험시공 포장면의 조도 특성을 분석하기 위하여 시공 전·후의 평균 조도 깊이(MTD)를 측정하였다. 표 5 및 그림 20에서 보는 바와 같이 평균적으로 79%의 MTD 향상 효과가 있는 것으로 나타났으며, 소음 저감을 위한 골재노출 공법의 신설 구간 관리 기준인  $1.5 \pm 0.2\text{mm}$ 를 상회하는 것으로 조사되었다.

표 5. 시공전·후 포장면의 평균 조도깊이 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%)

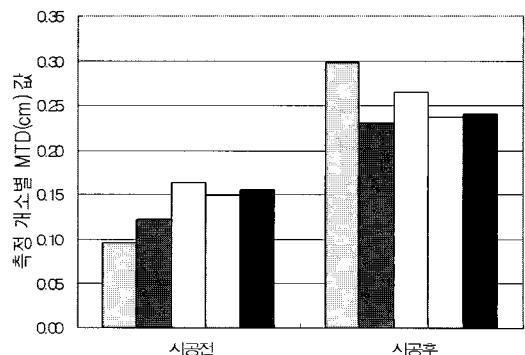


그림 20. 시공전후의 노면조도 MTD 측정결과

(3) 평탄성 분석

본 시험시공 구간에 대하여 포장 상태 조사 장비의 레이저 SDP를 이용하여 종단평탄성을 측정하였다. 평탄성의 정도는 국제 평탄성 지수(IRI)로 나타냈으며 방향별, 차로별로 시험 시공 전·후의 측정 자료를 비교하였다. 측정 결과 표 6에서 보는 바와 같이 모든 시험 구간에서 6~40% 평탄성 개선 효과가 나타났으며, 특히 대구방면 1차로의 경우 최대 40% 평탄성이 향상된 것으로 조사되었다.

표 6. 차로별 시공전·후 평탄성 변화 측정결과

방향	대구				칠곡			
	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
감소치	0.91		0.70		0.18		0.13	
감소율	40%		28%		8%		6%	

5. 맺음말

시멘트 콘크리트 포장의 기능성을 향상시키기 위하여 많은 공법들이 소개되어 있다. 본고에서 설명한 다이아몬드 그라인딩 공법은 콘크리트 포장의 기능성을 향상시키는데 매우 효과적인 공법이다. 노후된 시멘트 콘크리트 포장에 다이아몬드 그라인딩 공법을 적용하는 경우 평탄성, 미끄럼 방지 및 소음 저감 효과를 동시에 얻을 수 있는 장점이 있다.

국내 적용 사례 분석에서는 중부 고속도로에서 미끄럼 방지 효과와 평탄성 증진 효과를 조사하였다. 중부 고속도로의 시험시공 구간의 1차로 진입부에서 미끄럼 저항값은 SN S 28~60 정도가 측정되는 것과 비교하여, 시험시공 구간에서는 SN S 66~78 정도의 높은 미끄럼 저항 상태가 측정되는 것을 볼 수 있다. 2차로 구간 시험시공된 지점에서는 SN 62~69가 측정되어 미끄럼 방지 효과가 증진된 것을 알 수 있다. 중부 고속도로 구간의 시험시공 전 2차

로의 평탄성은 좌·우측 차륜부에서 평균 IRI는 2.25가 측정되었다. 시험시공 구간의 평탄성은 우측 차륜부에서 최대 6.78이 측정되었으며, 몇몇 구간에서는 높은 IRI가 측정되어 평탄성이 낮아진 것을 알 수 있었다. 시험시공 후 평탄성은 1.69에서 1.92가 조사되어 평탄성이 향상된 것을 볼 수 있었다.

중앙 고속도로 시험시공 구간에서는 소음특성, 표면 조도 분석 및 평탄성 분석이 수행되었다. 소음특성 분석에서는 7.5m 이격 지점에서 2.8~4.5dB 낮아졌고, 15m 이격 지점에서 0.8~4.7dB 낮아진 것으로 조사되었다. 표면 조도 분석에서는 평균적으로 79%의 MTD 향상 효과가 있는 것으로 나타났으며, 소음 저감을 위한 골재노출 공법의 신설 구간의 관리 기준인  $1.5 \pm 0.2\text{mm}$ 를 상회하는 것으로 조사되었다. 평탄성 분석에서는 모든 시험 구간에서 6~40% 평탄성 개선 효과가 나타났으며, 특히 대구방면 1차로의 경우 최대 40% 평탄성이 향상된 것으로 조사되었다.

앞에서 설명한 바와 같이 다이아몬드 그라인딩 공법이 국내 적용 사례 분석에서 표면이 노후된 콘크리트 포장에서는 소음저감, 평탄성 및 미끄럼 방지를 동시에 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다. 노후된 콘크리트 포장의 수명 연장을 위하여 본 공법이 많이 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 홍승호, 한승환, 콘크리트포장의 기능성 회복을 위한 보수공법 적용 기준 연구, 한국도로공사 도로교통기술원, PA-05-15, 2005.
2. 한승환, 홍승호, 유태석, 노후 콘크리트 포장의 구조 성능 회복 공법 연구, 한국도로공사 도로교통기술원, PA-05-17, 2005.
3. ACPA (1990), 'Diamond Grinding and CPR 2000'. Technical Bulletin TB002:20P.