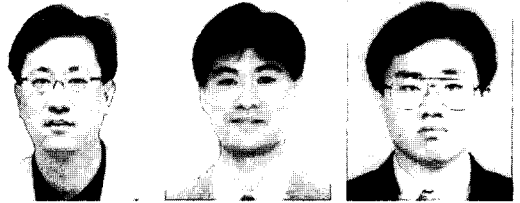


소음저감을 위한 골재노출 포장공법의 적용



이 승 우 | 정회원 · 강릉대학교 토목공학과 조교수
 유 태 석 | 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술연구원 전임연구원
 김 지 원 | 정회원 · (주)토탈페이브시스템 대표이사

1. 서론

국내의 콘크리트 포장은 대부분 고속도로에서 시공되고 있는 실정이며 그림 1에서와 같이 포장 연장은 증가하는 추세를 보이고 있다. 국내의 고속도로망은 2004년까지 3,500km, 2020년에는 6,000km의 방대한 노선망을 구축할 예정으로 향후 콘크리트 포장의 연장은 더욱 늘어날 것으로 예측된다. 현재까지 국내의 콘크리트 포장은 공급자 측면의 편의성에 중점을 두고 시공되는 측면이 있다. 이는 콘크리트 포장이 아스팔트 포장과 비교하여 유지관리비용이 적게 소요되는 장점을 가지기 때문이다. 그러나 주행 중 느낄 수 있는 승차감, 소음 발생 정도 등 최근 도로 사용자들의 서비스에 대한 요구 수준이 높아짐에 따라 콘크리트 포장은 향후 새로운 개선이 요구된다.

도로의 연장과 교통량 증가 및 차량의 대형화, 고속화로 인하여 도로 이용자 및 도로 주변의 주민들이 느끼는 교통 소음은 점차 악화되고 있다. 또한 소득수준 향상에 따라 국민들이 삶의 질을 추구하기 시작하면서 환경소음은 사회 문제로 대두되고 있다. 도로 교통소음은 운전자에게 지속적인 소음의 노출

로 인해 피로를 유발하여 사고 발생의 가능성을 높이며 도로 주변에 거주하는 주민들에게는 스트레스, 불쾌감 및 불면증 등의 원인이 되기도 한다. 전국 6개 주요도시의 주민들을 대상으로 수행한 소음인식도 여론조사 결과 그림 2와 같이 가장 시급히 개선해야 할 소음원 중 교통소음이 가장 높게 나타났다(통계청, 2001~2002).

또한, 타이어와 포장표면과의 미끄럼 저항은 제동 거리를 좌우하는 기본적인 요소로서 주행안전성을 확보하는데 중요한 역할을 한다. 즉, 도로포장의 표면은 교통안전을 좌우하는 주요한 요소로서 자동차의 타이어에 충분한 미끄럼 저항 수준을 제공해야 한다. 특히 우천 시에는 노면이 젖어있어 수막현상으로 인해 미끄럼 저항성이 저하되므로 교통 사고율이 높아진다. 총 교통사고의 25%가 우천 시 미끄럼 저항의 미확보로 인해 발생되며 그 중 13.5%는 치명적인 사고의 원인이 된다고 보고되고 있다(Cheliah 등, 2002).

국내 고속도로는 1980년대 이후 88고속도로의 개통을 시작으로 현재까지 약 60%의 연장에서 콘크리트 포장이 적용되었다. 콘크리트 포장의 소음과 미끄럼 저항에 큰 영향을 미치는 표면처리 기법은 포장의 표면에 적절한 표면조직(texture)을 만들어

소음은 최소화하고 차량의 미끄럼 저항성은 극대화하는 방향으로 기술이 개발되어 왔다. 근래에 들어 쾌적한 도로 주행성 확보 및 도로 주변 생활자에 대한 소음공해 방지 측면에서 저소음 포장의 중요성이 인식되어 왔고 국내외에서 다양한 콘크리트 포장 표면처리에 대한 연구가 보고되었다. 현재 주로 사용하고 있는 대표적인 표면처리 방법으로는 횡방향 타이닝과 종방향 타이닝이 있으며, 미국과 유럽에서는 타이닝 이외에도 이미 오래 전부터 골재노출, 다공성 콘크리트 등을 소음 저감 목적으로 사용하고 있다. 국내에서는 일정한 간격으로 횡방향의 결을 형성하는 횡방향 타이닝 공법이 대부분의 콘크리트 포장 구간에서 적용되고 있다. 횡방향 타이닝 공법은 미끄럼 저항성을 확보한다는 차원에서는 효과적이지만 소음이 크다는 단점이 있다. 본 기사에서는 기존의 횡방향 타이닝과 대등한 수준의 미끄럼 저항성을 확보하고 동시에 소음의 발생을 줄일 수 있는 저소음 표면처리 공법인 골재노출 공법에 대해 소개하고자 한다.

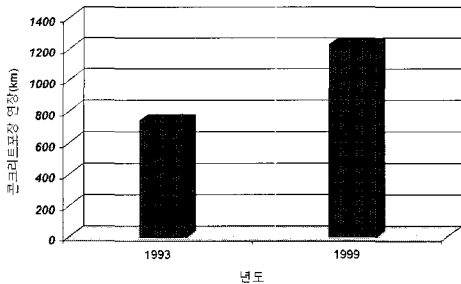


그림 1. 고속도로 콘크리트 포장 연장 증가 현황 (한국건설기술연구원, 2001)

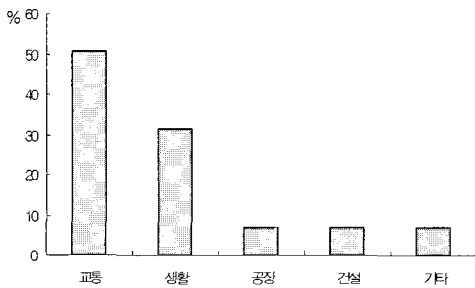


그림 2. 시급히 개선해야 할 소음 (통계청, 2001~2002)

2. 골재노출 공법의 특성

2.1 골재노출 공법의 표면특성

골재노출 공법은 콘크리트 포장 시공 시에 표면의 모르타르를 제거하여 굵은골재를 노출시킴으로서 포장표면에 별도의 표면조직을 형성하지 않고도 미끄럼 저항성을 확보하는 방안으로 소음 저감효과가 매우 우수한 공법으로 평가되고 있다. 그러나 콘크리트의 제조방법, 시공순서, 시공장비 사용 등 여러 가지 공사 시방을 철저히 따라야 하기 때문에 기술적으로 쉬운 공법은 아니다. 골재노출 공법을 적용하기 위한 콘크리트 재료 배합 시에는 균일하게 많은 굵은골재를 포장 표면에 노출하도록 굵은골재 용적률을 크게 해야 한다. 굵은골재의 최대 입경은 일반적으로 20mm 이하로 사용하지만, 해외에서는 굵은골재의 최대 입경을 15mm 이하로 하여 소입경 골재노출 공법으로서 소음저감 효과를 더욱 증대시켜 터널 내 포장에 적용하는 사례도 많다. 포장 표면에 골재를 노출시키기 위하여 포장 시공 이후에 지연제를 표면에 살포하여 표면 2~3mm 정도의 모르타르의 경화속도를 늦추고 골재 노출기(brush)를 사용하여 표면이 경화되기 이전에 2~3mm 정도의 모르타르를 긁어내어 표면의 결을 구성한다. 모르타르를 긁어내는 시기는 모르타르의 경도가 30~40(고무경도계) 정도에서 하는 것이 적당하다.

골재노출 공법은 다른 표면처리 공법보다 소음 저감효과가 우수하다. 특히 횡방향 타이닝과의 소음측정값 비교 시 5dB(A) 정도의 저감효과를 보이며 골

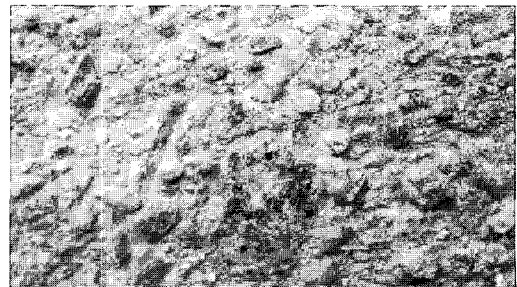


그림 3. 골재노출 공법

재의 사이즈가 소입경일수록 소음의 저감효과가 크고 미끄럼 저항은 커진다고 보고되고 있다. 또한 골재노출 공법으로 인한 포장표면은 횡방향 타이닝과 같은 일정한 간격이 아니라 골재가 임의의 형태로 노출되므로 고주파 소음(whine) 현상을 원천적으로 배제하여 조용한 도로포장을 사용자에게 제공할 수 있는 공법이다.

2.2 골재노출 공법의 시공과정

다음은 오스트리아의 골재노출 공법의 시공과정을

나타내었다. 일반 콘크리트 포장과 골재의 크기별 양은 차이가 있겠지만 초기 시공과정은 유사하다. 그림 4, 그림 5와 같이 일반 콘크리트 포장 처럼 패이바로 콘크리트를 타설한다.

모르타르를 제거하여 골재노출을 하기 위해, 그림 6과 같이 모르타르의 경화를 지연시키는 지연제를 살포하고 콘크리트의 건조와 지연제의 증발을 막기 위해 그림 7과 같이 비닐쉬트를 덮는다.

포설 후 24시간이 지나고 지연제에 의해 굳지 않은 표면의 모르타르를 그림 8과 같이 브러싱 장비로

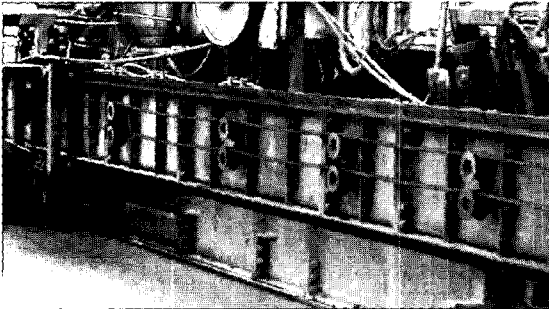


그림 4. 콘크리트 타설

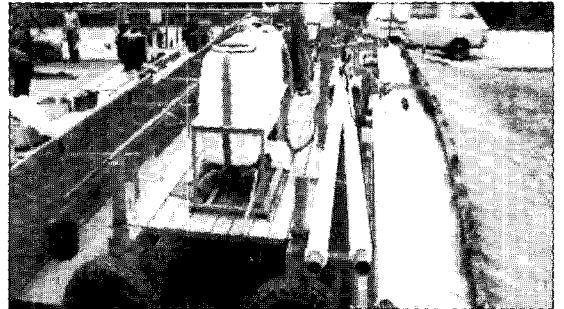


그림 7. 비닐쉬트로 양생

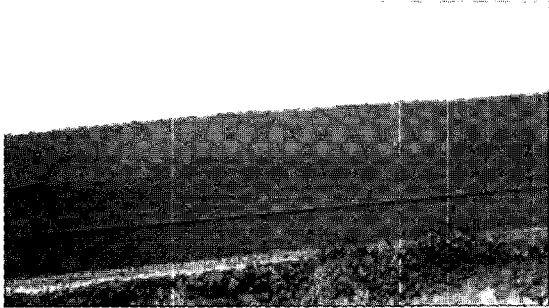


그림 5. 콘크리트 포장 표면마감



그림 8. 브러싱 장비로 골재를 노출시킴



그림 6. 지연제 살포

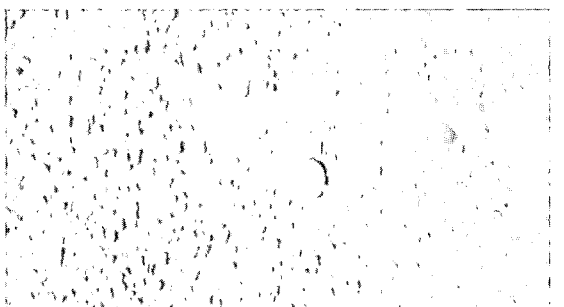


그림 9. 골재노출 포장 완성

벗겨내고 모르타르를 폐기 처리하면 그림 9와 같이 골재노출 포장이 완성된다.

2. 3 소음저감 효과

독일의 연구에 따르면 골재노출 포장 콘크리트 표면에서는 내부소음과 외부소음의 차이가 1dB(A) 이하였으며, 횡방향 타이닝 보다 최고 3dB(A)의 소음을 저감한다고 보고되었다. 여러 나라의 콘크리트 포장에서의 소음과 표면조직에 관계되는 연구의 주요 결론은 횡방향 타이닝이 가장 큰 소음을 유발하며, 골재노출 공법은 타이어와 포장 표면 사이에서의 소음을 줄이고 전체적인 소음수준도 낮춘다고 하였다.

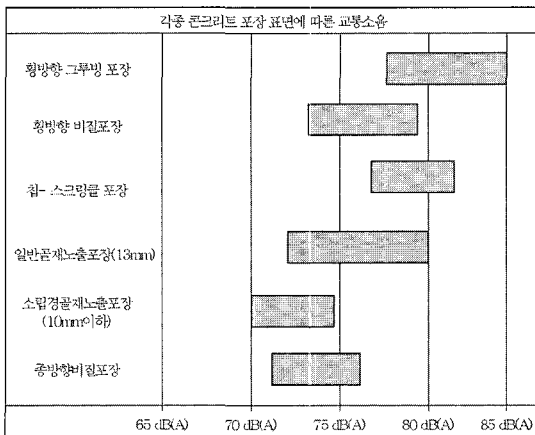


그림 10. 각종 표면처리 소음 측정 시험결과

그림 10은 다양한 포장표면 조직에서 차량 주행시 발생하는 소음을 측정하여 비교한 자료이다. 횡방향 타이닝의 경우 78dB(A)~85dB(A)로 가장 높은 소음이 측정되었으며, 소입경 골재노출 포장은 70dB(A) ~74dB(A)로 소음이 가장 낮게 발생하는 것으로 측정되었다. 한편, 종방향 비질로 표면조직을 처리한 포장은 72dB(A)~76dB(A)로 측정되어 소음이 낮게 발생하는 것으로 나타났으나 미끄럼 저항이 다른 표면조직 방법에 비하여 낮기 때문에 안전이 중요시되는 포장에서는 실제 적용을 재검토해

야 한다. 측정 결과를 분석하면 다음과 같은 사실을 알 수 있다. 동일한 방향의 같은 조직이라 하더라도 조직을 내는 방법에 따라 소음도가 달라지며 골재노출 공법의 경우 노출 골재의 크기에 따라 소음도에 차이가 발생한다는 것을 본 소음측정 결과로부터 알 수 있어서 조직을 발생시키는 방법에 대하여도 고려를 해야 한다.

그림 11은 벨기에에서 다양한 표면처리 공법에 따른 소음을 측정한 결과이다. 아스팔트 포장과 골재노출 공법이 다른 공법에 비해 소음이 현저하게 적음을 알 수 있다. 또한 윗부분의 작은 막대는 시간이 지남에 따라 소음의 증가와 감소 정도를 나타내는 그래프인데 시간이 지날수록 다른 공법들의 소음을 증가하는 반면 골재노출과 아스팔트 포장의 소음은 줄어드는 것을 볼 수 있다.

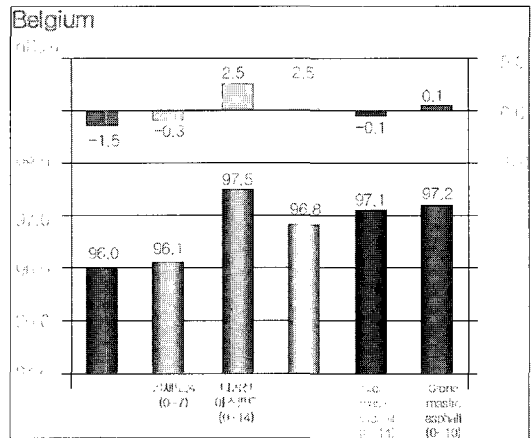


그림 11. 벨기에의 표면처리별 소음측정 결과

2.4 골재노출 공법의 미끄럼 저항 특성

1) 강릉대학교 연구결과

마모측진에 따른 미끄럼 저항을 알아보기 위해 타이닝 시편과 골재노출 공법 콘크리트 시편의 휠트랙킹 바퀴 이동수에 따른 미끄럼 저항값을 비교하였다. 습윤한 상태에서 횡방향 타이닝 시편의 미끄럼 저항값은 시멘트 페이스트가 마모되면서 마모속도가

빨랐으며, 골재노출 공법 콘크리트 시편은 노출된 골재가 직접 타이어나 접촉하므로 횡방향 타이닝 보다는 마모속도가 느렸다. 결국 초기에 큰 미끄럼 저항값을 나타내는 횡방향 타이닝 시편은 마모율에 따른 미끄럼 저항감소가 빠르게 나타나며, 골재노출 공법 콘크리트 시편은 미끄럼 저항값의 감소가 상대적으로 작은 것으로 나타났다.

그림 12는 중부고속도로의 교통량을 기준으로 하여 설계 수명 20년에서의 실제 횡방향 타이닝과 19mm 골재노출 콘크리트 포장의 미끄럼 저항값 변화를 알아본 결과이다. 아래 표 1에서와 같이 18년 동안 중부고속도로에서의 교통량을 예상하면 신설초기 횡방향 타이닝에서의 미끄럼 저항값이 골재노출 콘크리트 포장 보다 높지만 도로 개통 2년 정도가 지나면 골재노출 콘크리트 포장의 미끄럼 저항값의 감소가 느려 질 것으로 예상된다. 따라서 타이닝 콘크리트 보다는 골재노출 공법 콘크리트의 내구성이 우수한 것으로 판단된다.

표 1. 중부고속도로 설계 수명 내 누적 교통량 예상(일부구간)

년 도	누적 교통량(대)	년 도	누적 교통량(대)
1987	29,093,050	1996	273,537,660
1988	57,465,250	1997	301,539,730
1989	85,302,700	1998	330,436,580
1990	112,791,500	1999	363,162,030
1991	140,117,750	2000	397,399,830
1992	166,523,310	2001	433,336,080
1993	192,923,030	2002	471,156,880
1994	219,899,450	2003	511,048,330
1995	246,751,405	2004	553,196,530

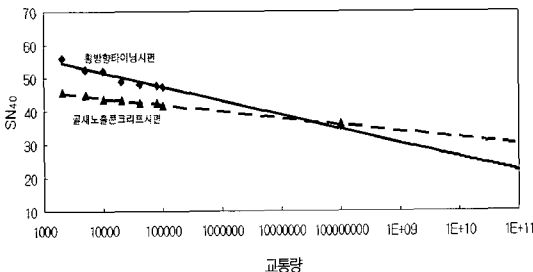


그림 12. 실제 도로에서의 미끄럼 저항값 변화예측

2) 외국의 연구결과

오스트리아의 연구에 따르면 골재노출 공법에 의한 콘크리트 포장의 미끄럼 저항 변화에 있어서 1990년과 1994년에 완공 시 측정된 값과 1997년 재 측정된 결과를 비교하였다. 초기 0.70, 0.80 이었던 미끄럼 저항값이 아래 그림과 같이 3~7년이 지나 측정된 결과 양쪽 모두 0.1 떨어진 0.6, 0.7이었다.

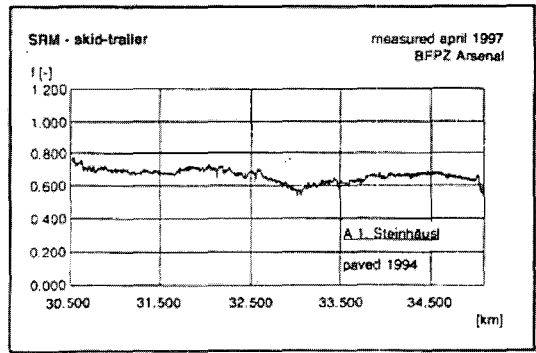


그림 13. 미끄럼 저항값 측정(1994 완공)

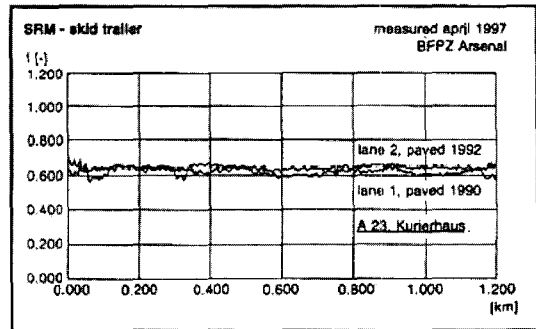


그림 14. 미끄럼 저항값 측정(1990년 완공)

3. 골재노출 공법 적용사례

골재노출 공법의 적용사례는 유럽과 일본에서 가장 많고 미국과 호주에서도 적용사례를 발견할 수 있다. 외국의 경험에 비추어 보면 골재노출 공법은 현재 소음 감소와 미끄럼 저항을 향상시키는 가장 적절한 공법으로 평가되고 있다.

오스트리아 시멘트협회 연구소는 입자가 작은 소

입경골재(8~10mm)를 표면에 사용할 경우 소음발생을 줄일 수 있다는 연구 결과를 제시했다. 이 사례는 유럽의 각국은 물론, 미국, 호주, 일본에서도 시험 시공을 실시하여 우수한 성과를 거두고 있는 것으로 보고되었다. 특히 벨기에에서는 콘크리트 포장의 95%를 골재노출 공법으로 시공하고 있는데 그림 15는 벨기에와 프랑스의 골재노출 공법의 시공실적을 나타낸 것으로 골재노출 포장이 매년 증가하고 있는 것을 알 수 있다.

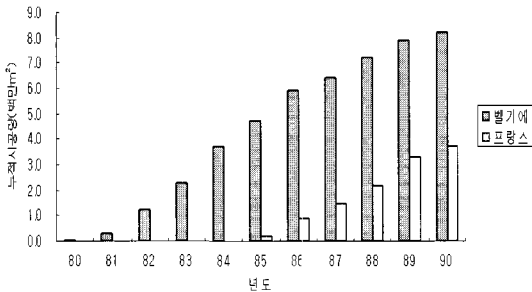


그림 15. 벨기에와 프랑스의 연도별 골재노출 공법 시공 실적

골재노출 공법을 적용한 나라별로 적용사례를 수집하여 적용 장소, 배합, 표면처리 방법과 공용성을 나타내는 소음 및 미끄럼 저항 측정결과를 조사하였으며 일본의 골재노출 공법 적용구간에 대한 현장조사를 실시하여 공용 후 5년이 지난 골재노출 포장의 상태를 조사하고 분석한 내용을 다음에서 설명하였다.

3.1 국외의 적용사례

1) 오스트리아 골재노출 공법 적용사례

① 적용구간

오스트리아의 경우 남부지방 St. Polten 및 St. Boheimkirchen과 Salzburg 지방의 Thalgau에 시험 포장을 실시하였다. 총연장 30km 중 5km 구간은 기존 노후 콘크리트 포장을 균열 및 안치 공법을 적용하여 5cm 아스팔트 층으로 고르기를 실시한 후 그 위에 소입경 골재노출 포장을 실시하였다. 시공은 1991년 겨울 완공했으며 타이어-노면 소음 측정은

1992년 봄에 실시하였다. 골재노출 공법을 사용한 시공단면은 그림 16과 같다.

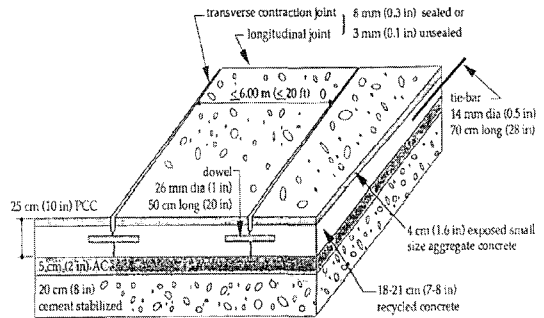


그림 16. 오스트리아 소입경 이중포설 골재노출 공법 시공 단면

② 배합 및 골재

오스트리아에서 노후 콘크리트 포장을 재활용하여 소입경 골재노출 공법으로 재시공하기 위해 적용한 배합은 표 2와 같다. 상층의 경우 잔골재는 0~1mm를 사용했고, 굵은 골재는 4~8mm를 사용했으며 하층의 경우 잔골재는 0~4mm를 사용하였다. 굵은 골재는 3~8mm의 범위를 260kg/m³, 8~22mm의 범위를 620kg/m³, 22~45mm의 범위를 280kg/m³ 사용하였다. 설계기준은 최소 공기량을 상층은 4.0%, 하층은 3.5%로 하였고 상층에 사용되는 골재는 LA 마모시험 19이하로 하였으며 AE제는 혼합물의 4%로 설계되었다.

표 2. 시방배합

구 분	굵은골재 최대치수 (mm)	물시멘트비 W/C (%)	잔골재율 S/a	단위량 (kg/m³)			
				물 W	시멘트 C	잔골재 S	굵은골재 G
상층	8	38.0	26.7	171	450	470	1,290
하층	45	42.5	33.3	192	450	580	1,160

③ 표면처리 방법

표면처리는 자연제를 살포한 후 브러싱을 통해 골재를 노출시키는 과정으로 양생지연제는 온도에 민감하지 않아야 하며 모든 기후 조건에서 동일한 성능을 발휘하여야 한다. 또한 브러싱을 위한 시간만

큼 충분한 지연효과를 발휘해야 한다. 표면처리를 위하여 콘크리트 포장 표면에 양생지연제를 살포한 후 비닐쉬트를 덮거나 증발을 막기 위하여 피막양생제를 살포하였다.

24~72시간 후 골재 노출기(철재 브러쉬)를 사용하여 골재를 노출시킨 후 양생제를 살포하였다. 관리기준은 샌드 패칭 방법으로 조직깊이를 측정할 때 0.8~1.0mm로 하였는데 이는 조직깊이가 필요 이상 깊어지면 타이어-노면 소음 저감에 더 나은 영향을 주지 않기 때문이다. 피크(peak)법으로 노출도를 측정할 경우 60개/25cm를 만족하도록 하였다.

④ 소음 및 미끄럼 저항

최대입경 7mm 골재를 포함하고 있는 골재노출 공법은 그림 17과 같이 노후 콘크리트 포장보다 소음이 6~7dB 정도 감소하는 것으로 나타났고 그림 18에 나타난 것처럼 투수 아스팔트 포장보다도 소음이 낮게 나타났다. SRM Skid-trailer를 사용해 미끄럼 저항을 측정하였고 1990년과 1994년에 완공 시 측

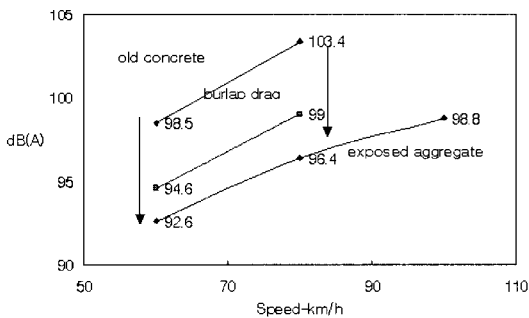


그림 17. 소음측정 결과(A)

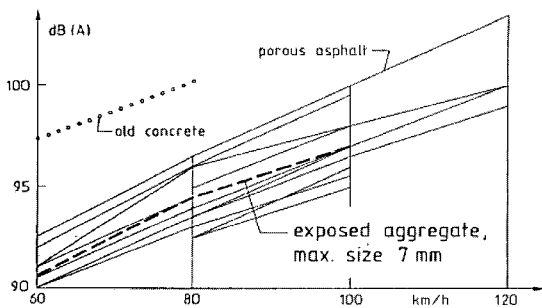


그림 18. 소음측정 결과(B)

정한 값과 1997년 재 측정된 결과를 비교하였다. 초기 0.70, 0.80 이었던 미끄럼 저항 값이 3~7년이 지나 측정된 결과 양쪽 모두 0.10씩 떨어진 0.60, 0.70으로 나타났다.

2) 벨기에 골재노출 공법 적용사례

① 적용 구간 및 방법

벨기에의 경우 1980년대에 E40 프로젝트에 골재노출 공법을 사용하기 시작하였다. 벨기에의 경우 양질의 골재를 모든 슬래브 단면에 사용하여 타설한다. 이 공법은 특허를 가지고 있으며 횡방향 타이닝에 비해서 약 4dB 낮은 소음 수준을 가지며 내구성이 우수한 표면조직을 형성한다.

1996년 4월 벨기에 Brussel 남서부 30km 지점에 위치해 있는 Herne와 Galmaarden 도시 사이의 N255 "Edingen-Ninove" 도로에 약 3km 구간에 걸쳐 시험시공을 하였다. 이 시험시공 구간은 총 6가지 단면으로 나누어진다. 모든 단면은 2단 구조로써 하부층은 18cm 두께의 연속철근 콘크리트 포장(CRCP:Continuously Reinforced Concrete Pavement)으로 동일하게 시공하며 4개 단면은 표층에 변화를 주었으며 나머지 2개 단면은 SMA 포장과 조립도 아스팔트 포장을 시공하였다. 이는 같은 포장 형식이라도 골재의 크기와 성질의 변화에 따른 소음 및 미끄럼 저항을 관찰하기 위함이다.

1. 배수성 아스팔트 포장(ZOAB), 834m
2. SMA 포장(SMA 0~14), 286m
3. 골재노출콘크리트 포장(FIJN BETON), 832m
4. 배수성 콘크리트 포장(ZOB), 537m
5. 조립도 아스팔트 포장(AB-2), 269m
6. SMA 포장(SMA 0~10), 407m

② 배합

벨기에의 소입경 골재노출 공법의 구조는 하부층이 두께 18cm CRCP로 되어있으며 상부층은 4cm 두께로 소입경 골재노출 포장으로 되어있다. 잔골재는 0

~5mm를 사용했으며, 굵은 골재는 4~7mm를 사용하였으며 공기량은 4.2~5%, 슬럼프는 25mm이다. 하부층 배합은 굵은골재 최대치수 32mm를 사용하였으며 시멘트 양은 375~425kg/m³이다. 공기연행제(AE제)는 공기량이 3.5~6%가 되도록 조절하여 첨가한다.

표 3. 시방배합(상부층)

굵은골재 최대치수 (mm)	몰시멘트 비 W/C (%)	잔골재율 S/a	단위량 (kg/m ³)			
			물 W	시멘트 C	잔골재 S	굵은골재 G
7	42.4	41.3	180	425	700	995

③ 소음측정 및 미끄럼 저항

1996년 6개 구간에 대하여 소음측정을 실시한 결과 그림 19와 같이 아스팔트 포장보다 낮은 소음도를 나타내었다. 1998년 재측정 결과 그림 20과 같이 공용 이후에도 낮은 소음도를 나타냈다. 또한 중차량에 대해서도 다른 표면처리 공법보다 낮은 소음도를 나타냈다. 미끄럼 저항값은 표 4와 같다.

2003년 E40 고속도로에 시공된 지 1년 된 골재노출 연속철근 콘크리트 포장 현장을 한국도로학회 콘크리트 포장분과에서 직접 답사하였고 참관자 모두 주행소음에 대한 저감 효과를 높게 평가하였다. 그리고 벨기에의 경우 초기에 2층 포설공법으로 소입경 골재노출 공법을 시공하였지만 2층 포설공법으로 시공할 경우 소입경 골재노출 포장의 재료비는 절감하지만 배합이 다른 두 가지 종류의 콘크리트를

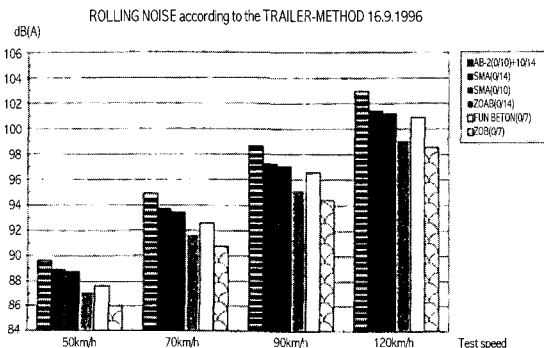


그림 19. 속도별 소음측정값

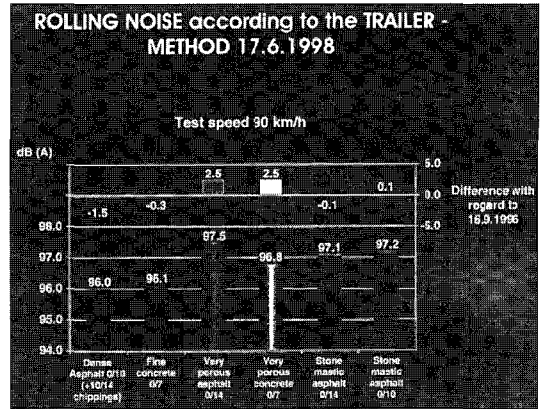


그림 20. 사용 후 90km/h 소음측정값

표 4. 미끄러 저항값

SCRIAM 50km/h	
배수성 아스팔트 포장	0.76
SMA 포장(SMA 0~14)	0.72
골재노출 콘크리트 포장	0.70
배수성 콘크리트 포장	0.66
조립도 아스팔트 포장	0.78
SMA 포장(SMA 0~10)	0.75

공급하는데 시공관리상의 어려움으로 인해 현재는 1층 포설을 주로 적용하는 것으로 알려져 있다.

3) 영국의 골재노출 공법 적용사례

① 적용구간

영국의 경우 1993년 겨울에 South Yorkshire M18에 2.3km에 걸쳐 시공하였고 1995년 봄에 Derbyshire A50에 3.65km에 걸쳐 시공을 한 바가 있다. M18의 경우 재료와 표면처리에 따른 소음 및 미끄럼 저항을 측정하기 위하여 아스팔트 포장, 브러쉬, 타이닝, 골재노출을 시험시공 하였고 A50은 아스팔트 포장과 골재노출만 시공하였다.

② 배합

영국의 골재노출 공법은 2단 구조로 되어있다. 하층은 CRCP로 되어 있으며 상층은 소입경 골재노출

콘크리트 포장을 하였다. 시방배합은 표 5와 같이 이루어져 있으며, M18의 경우 역청질 보조기층위에 CRCP를 시공하였으며 A50은 린콘크리트 보조기층위에 CRCP를 시공하였다. 브러쉬나 타이닝의 경우 10mm와 20mm의 굵은 골재를 사용하였으며 골재노출의 경우는 6~10mm를 사용했다. 이때 굵은골재 최대 크기 10mm는 골재량의 3%가 넘지 않아야 하며 6mm 골재는 10%가 넘지 않도록 하였다. 모래는 브러쉬, 타이닝의 경우 보통 크기를 사용하였고 골재노출의 경우는 아주 작은 입경의 모래를 사용하였다.

표 5. 시방배합

구 분	굵은골재 최대치수 (mm)	물시멘트비 W/C (%)	잔골재율 S/a	단위량 (kg/m³)				
				물 W	시멘트 C	잔골재 S	굵은골재 G	AE 제
M18 브러쉬&타이닝	20	38.6	21.2	139	360	398	1,110 373 (10mm)	1.65
M18 골재노출	상층 10	40	26.6	160	400	477	1,313	1.78
	하층 20	45	28	144	320	550	1,061 354 (10mm)	0.95
A50 골재노출	상층 10	37.7	22	145	385	398	1,412	1.32
	하층 20	48.5	32.3	165	340	624	917 393 (10mm)	

③ 소음측정 및 미끄럼 저항

소음측정 결과 표 6과 같이 골재노출 공법을 적용한 포장표면의 소음은 비질이나 타이닝 공법을 적용한 표면 보다 낮은 값을 나타냈다. 표 7과 같이 공용 후에도 약간의 증가를 나타내었지만 다른 공법들과

표 6. 구간별 90km/h 소음측정값

표 면 마무리	평균 최대소음 수준 dB(A) [7.5m에서 90km/hr로 정규화]	
	경차량	중차량
아스팔트	81.8	88.0
골재노출	79.6(-2.2)	86.9(-1.1)
타이닝	80.5(-1.3)	88.0(0.0)
비질	82.5(+0.7)	89.7(+1.7)

표 7. 사용 후 90km/h 소음측정값

차량형태 및 표면마무리	평균 최대소음 수준 dB(A) [7.5m에서 90km/hr] 및 표면 재령(개월)			
	개통시	8	20	32
경차량				
아스팔트	81.7	81.6(-0.1)	81.7(0.0)	82.0(+0.3)
골재노출	79.5	80.1(+0.6)	79.4(-0.1)	79.8(+0.3)
타이닝	80.1	79.9(-0.2)	80.7(+0.6)	81.1(+1.0)
빗 질	82.1	82.3(+0.2)	82.2(+0.1)	83.4(+1.3)
중차량				
아스팔트	87.7	88.4(+0.7)	87.7(0.0)	87.7(0.0)
골재노출	86.8	87.6(+0.8)	87.1(+0.3)	86.9(+0.1)
타이닝	87.3	88.4(+1.1)	88.1(+0.8)	88.0(+0.7)
빗 질	88.4	89.7(+1.3)	90.7(+2.3)	89.9(+1.5)

표 8. 미끄럼 저항값

표 면 형 식	M18			A50			
	교통소통전	MSSC 1994	MSSC 1995	MSSC 1996	July 1995	Nov 1995	MSSC 1996
아스팔트	0.63	0.52	0.48	0.44	0.55	0.51	0.55
골재노출	0.62	0.51	0.47	0.44	0.50	0.45	0.47
빗질	0.70	0.48	0.47	0.41			
타이닝	0.64	0.46	0.49	0.44			

비교해 낮게 나타났으며 중차량의 경우에도 비슷한 경향을 볼 수 있었다. 미끄럼 저항값은 표 8과 같이 나타났다. 골재노출 공법의 초기 미끄럼 저항값은 높은 값을 나타내지 않지만 공용 후 큰 폭으로 감소하지 않는 것으로 나타나 내구성이 높은 것으로 보여 진다.

4) 그 외 유럽의 골재노출 공법 적용사례

프랑스의 경우 A71 CRCP 프로젝트에 골재노출 공법을 사용하였다. A71 프로젝트는 하부에 CRCP를 상부 5cm에는 1~1.4cm의 골재를 사용하여 골재노출 공법을 적용하였다. 이 외에 A6 CRCP 덧씌우기 프로젝트에 골재노출 공법을 적용하였다.

네덜란드의 경우 Uden의 N266 고속도로와 Helmond의 N279 고속도로의 우회도로에 골재노출

출 공법을 실시하였다. 소음측정 결과 소형차에 대해서 골재노출 표면은 밀입도 아스팔트 포장 표면과 같은 수준의 소음측정 결과를 나타내었다. 트럭 교통량이 20%를 차지하는 경우 골재노출 포장의 소음 수준은 밀입도 아스팔트 포장에 비해서 2.5dB(A) 크게 나타났다.

5) 미국과 호주의 골재노출 공법 적용사례

미국의 경우 골재노출 포장의 사례는 미시건주 디트로이트에 1993년에 시공된 실적과 퀘벡주에서 2건의 실적이 조사되었다. 미국의 경우는 1992년의 유럽포장에 대한 답사를 토대로 골재노출 포장의 유효성을 검토하기 위해서 적용된 것으로 10inch 두께의 포장을 JCP로 2층 포설하였는데 상부 2.5inch는 마모저항성 골재로 하부 7.5inch는 일반 골재를 사용하였다. 또한 비교를 목적으로 인근에 1inch 타이닝을 실시한 일반 JCP를 타설하였고 두 포장에 대해서 미끄럼과 타이어-포장 표면 소음을 측정하였다. 미끄럼 저항의 경우 1년 후와 5년 후의 결과가 큰 차이가 없었으나 소음의 경우 유럽에서 4~5dBA의 소음감소가 있었던 반면 해당 포장에서는 큰 효과를 나타내지 않았다. 이러한 이유는 골재노출 표면에서 거대조각(macrotecture)이 너무 많았기 때문으로 분석되었고 1mm가 넘는 잔골재는 제외하도록 권고하고 있다.

호주의 경우 1993~1994년에 습식 빗질을 이용한 골재노출을 실시한 것으로 조사되었다. 14mm의 골재단층이 이용되었고 샌드 패치법으로 1.46mm의 평균조각 깊이가 조사되었으며 표면마찰은 개립도 아스팔트 포장보다 우수하고 소음도 양호하게 나타난 것으로 조사되었다.

6) 일본의 골재노출 공법 적용사례 및 시공 현장조사

(1) 일본의 골재노출 공법 적용사례

① 적용구간

일본은 고속도로의 경우 1984년에 시험시공을 실

시한 바가 있고 1991까지 700,000㎡에 이르는 시공실적을 확보하고 있다. 일한국도의 경우 1995년 2월에 나고야현 일한국도 41호 노면복구 공사에 총면적 14,000㎡에 걸쳐 골재노출 공법을 적용하였고 1999년에 도치키현 후기 우회도로에 2차선 130m에 걸쳐 골재노출 공법을 실시하였으며 2001년 11월에 나가노현 장지터널 공사에 2차선 200m 연장에 걸쳐 골재노출 공법을 적용한 사례가 있다.

② 배합

일한국도에 도입된 골재노출 공법은 소입경 골재노출 공법으로서 2층 포설을 사용하여 상층과 하층의 배합설계를 달리하였다. 이때 상층부에 사용되는 굵은골재 최대치수는 10mm~13mm를 사용하였다. 3개소 모두 상층의 두께는 철망설치위치, 하층 콘크리트 혼입문제, 층간 박리 등을 고려하여 10cm로 하

표 9. 나고야현 노면복구 공사 골재노출 시방배합

구분	굵은골재 최대치수 (mm)	물시멘트비 W/C (%)	잔골재율 S/a	단위량 (kg/m³)				
				물 W	시멘트 C	잔골재 S	굵은골재 G	AE 제
상층	10	41	30	173	422	501	1,196	4.49
하층	25	41	39.8	160	390	686	1,067	4.15

표 10. 도치키현 후기 우회도로 골재노출 시방배합

구분	굵은골재 최대치수 (mm)	물시멘트비 W/C (%)	잔골재율 S/a	단위량 (kg/m³)				
				물 W	시멘트 C	잔골재 S	굵은골재 G	AE 제
상층	13	48.5	35.6	138	285	655	1,254	4.28
하층	25	45.5	40.1	138	304	730	1,158	3.04

표 11. 나가노현 장지터널 골재노출 시방배합

구분	굵은골재 최대치수 (mm)	물시멘트비 W/C (%)	잔골재율 S/a	단위량 (kg/m³)				
				물 W	시멘트 C	잔골재 S	굵은골재 G	AE 제
상층	13	40	32.5	160	400	573	1,213	4.8
하층	40	42.1	34.8	135	321	660	1,241	3.85

였으며 시공에 사용한 각 개소의 콘크리트 시방배합은 표 9, 표 10, 표 11과 같다.

③ 양생지연제

표면으로부터 깊이 2~3mm 정도의 모르타르까지 경화도를 늦추게 하는 것으로 노면에 살포했을 때 노면의 구배에 따라 흘러내리지 않을 정도의 점성이 있어야 한다. 살포는 기계식 스프레이로 하며 분사력이 좋은 양생지연제를 사용해야한다. 양생지연제 살포 후 급속한 건조를 방지하기위해 비닐시트로 양생을 한다. 또한 주위 환경의 영향으로 양생지연제를 살포하기 어려울 경우는 응결지연 시트를 사용하는 방법도 있다.

④ 노출

골재노출기(회전식 브러쉬)를 사용하여 적정 평균조직 깊이를 노출시키기 위해 표면경화전 모르타르를 2~3mm 긁어내는데 노출 시기는 쇼야경도계

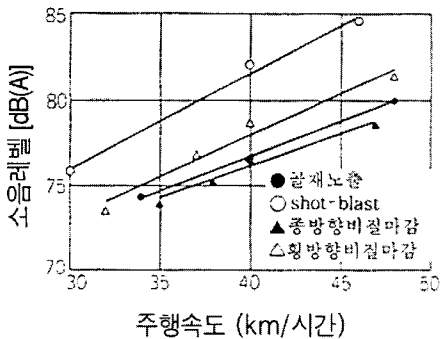


그림 21. 주행속도와 소음레벨

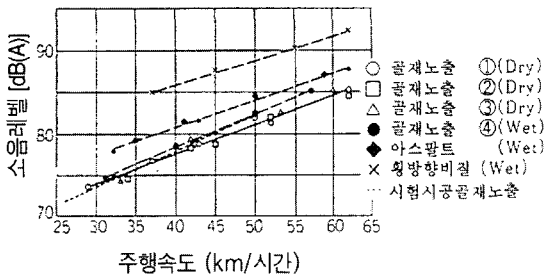


그림 22. 주행속도와 소음레벨

(JIS K 6301, C형)를 사용하여 표면 모르타르 경도 30~40(고무경도계) 정도(응결지연제 살포 후 약 24 시간)에서 수행한다. 콘크리트 경화는 온도, 습도, 바람조건에 따라 진행이 달라지기 때문에 노출 시기는 주의할 필요가 있다. 진공양생의 유무, 양생시간, 결 깊이, 입자수를 고려하여 노출방법 및 시간을 정하였다.

⑤ 표면상태, 소음 및 미끄럼 저항

나고야 국도에 적용된 소입경 골재노출 공법을 포장도로와 소음을 측정하여 비교하였다. 소음측정 방법은 시험시공 구간의 총 길이가 짧고, 암소음도 높기 때문에 일반적인 소음측정보다는 타이어에 접근해서 측정하였는데 측정길이는 차 중심에서 1.7m, 측정높이는 0.38m이었다. 측정결과는 그림 21과 같이 골재노출 공법과 종방향 비질마감이 소음이 낮게 측정되었다. 또한, 그림 22에서 나타난 것과 같이 골재노출 공법이 아스팔트 포장(습윤 상태)과 비교하면 2dB의 소음저하를 나타냈다. 미끄럼 저항에 대하여 BPN값 측정시 골재노출 공법(69)이 종방향 비질마감(65) 보다 4정도의 높은 값을 보였다.

나가노현 장지터널의 경우 표면상태, 소음 및 평탄성 측정결과는 기준치를 만족시킨 것으로 나타났고 다음의 표 12 및 표 13과 같이 정리되었다.

표 12. 나가노현 장지터널 표면상태 측정결과

구 분	측정값	규정값
골재 노출 개수	37.5	35이상
평균 노출 깊이(mm)	1.78	1.5 .3
미끄럼 저항 값	72.5	60이상

표 13. 나가노현 장지터널 소음 및 평탄성 측정결과

구분	소음dB(A)			평탄성(mm)	
	측정값	평균값	기준값	측정값	기준값
상행	90.7	90.6 (91)	93	1.676	2.4
하행	90.4			1.416	

(2) 일본 시공 현장조사

골재노출 공법의 공용상태를 조사하기 위해서 현장조사가 실시되었다. 현장조사는 일본의 골재노출 공법 시공구간을 대상으로 하였고 육안조사가 가능한 국도에 시공된 2곳을 선정하였다. 현장조사는 도치키현 후기시 우회도로 현장과 나가노현 장지터널에 대해 실시되었다.

① 도치키현 후기시 우회도로 현장조사

도치키현 후기시 우회도로 현장은 서두에 언급한 바와 같이 130m 연장으로 2차선에 걸쳐 실시되었다. 골재노출 구간은 그림 23과 같으며 그림 24와 같이 불균일한 노출면이 관찰되었다.

이러한 특징은 본 구간에서 전체적으로 관찰되는 것으로, 그림 25와 같이 골재가 노출되지 않은 부분과 그림 26과 같이 골재가 탈리되는 구간이 분리되어 표면처리 과정과 관련된 것으로 판단되었고 장비의 운용 및 지연제 분포와 관련이 있을 것으로 판단되었다.

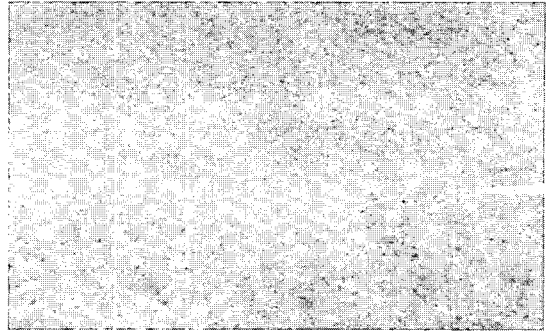


그림 25. 골재가 노출되지 않은 모습

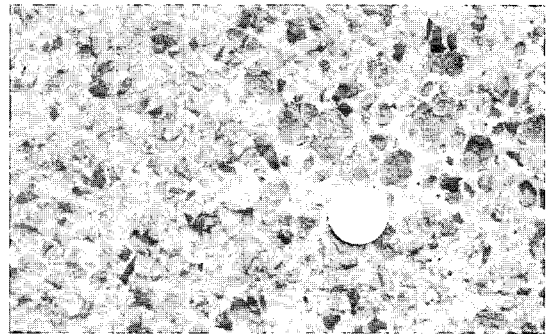


그림 26. 골재가 탈리된 모습

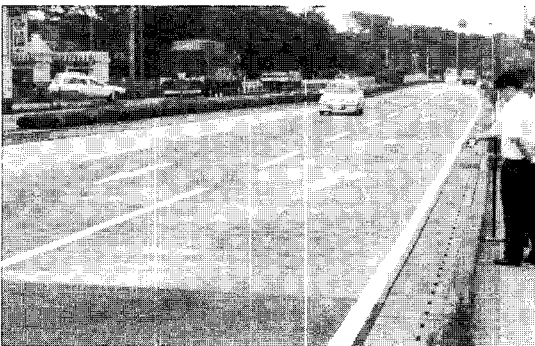


그림 23. 골재노출 구간

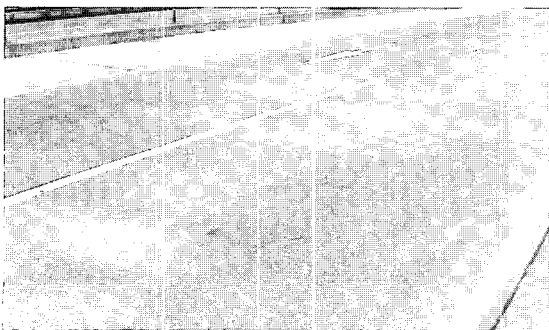


그림 24. 골재의 불균일 노출 광경

② 나가노현 장지터널 현장

나가노현 장지터널은 공용된지 약 5년이 되는 현장으로 동절기에 시공되었고 터널 양쪽에 100m씩 200m의 길이로 2차선에 걸쳐 시공되었다. 장지터널의 현장 전경은 그림 27과 같으며 시공구간의 양쪽은 아스팔트 포장과 연결되어 있다.

본 구간의 골재노출 표면은 그림 28와 같이 비교적 고른 분포특징을 가지고 있는 것으로 판단되었고, 골재의 상태도 비교적 양호하게 나타났다. 본 구

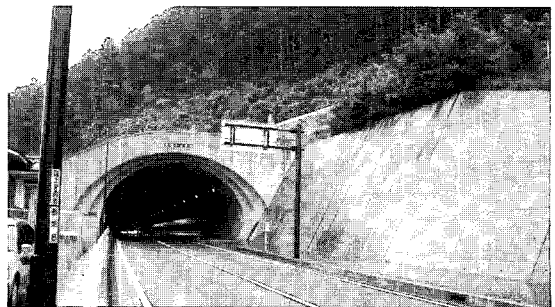


그림 27. 장지터널 현장 전경

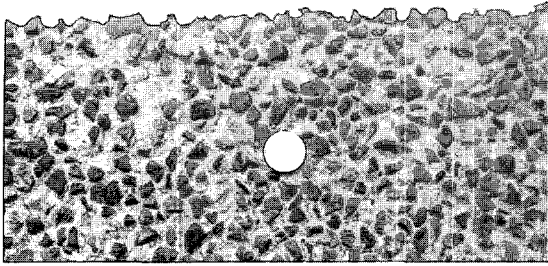


그림 28. 골재노출 표면

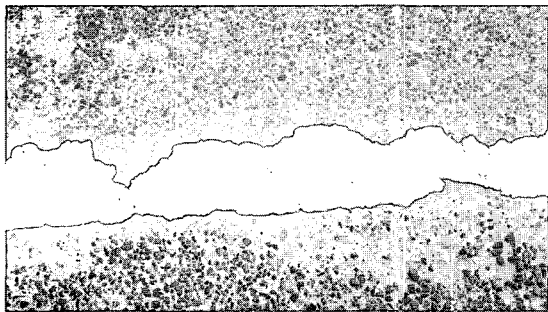


그림 29. 골재가 일부 탈리된 광경

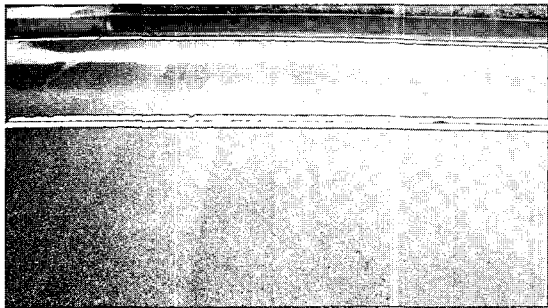


그림 30. 골재노출 흔적

간은 200m 길이 가운데 50m는 성능규정 구간으로, 150m는 성능규정 준용구간으로 관리하였는데 많은 부분의 골재노출 상태가 양호한 것으로 판단하였다. 그러나 성능규정 준용구간에서는 그림 29 및 그림 30과 같이 골재가 불규칙하게 노출되거나 골재 노출 흔적이 관찰되었다.

골재노출 포장에서 관찰되는 이러한 골재탈리 모습은 지연제의 적용과 골재노출 장비의 운용과 관련된 것으로 판단되며, 향후 현장 적용에서 적절한 시공 상태를 이루기 위해서 고려해야 할 부분으로 판단되었다.

4. 국내 연구 현황

골재노출 콘크리트의 배합기준 및 노출기법 개발을 위하여 시편의 노출도 및 평균 조직깊이(MTD)를 측정하여 최적 배합기준 및 노출 방안을 제시하였다.

콘크리트 타설 후 지연제를 살포하고 골재를 노출 시키기까지는 노출시기가 적정해야 한다. 지연제의 성능에 비해서 노출시기가 늦으면 노출도가 떨어지게 되고 반면에 너무 빠르면 시멘트 모르타르가 굳기도 전에 굵은골재가 떨어지는 상황이 발생하기 때문이다. 그러므로 지연제 성능에 따른 노출시기는 매우 중요한 사항인 것이다. 콘크리트 포장의 골재노출은 표면에 광물질의 구조(굵은골재)를 노출시키기 위하여 콘크리트의 표면 모르타르를 제거하는 방법이다. 이 공법은 소입경 골재 콘크리트 배합을 상층에 사용하고, 특별히 개량한 슬립 폼 페이퍼로 상하층을 시공한 다음 특수한 표면 지연제·양생제를 살포하는 방식으로, 일정시간이 지난 후 brushing 하여 굵은골재를 노출시켜 균일한 노면형상을 얻는 방법으로 오스트리아에서 처음 개발되었다.

골재노출은 포장시공 후 24시간 이내에 실시하는데, 72시간까지 노출작업을 연기할 수도 있다. 48시간 이전에 노출작업을 실시할 경우 표면은 노출작업 후 양생제를 살포하여 표면을 반드시 보호하여야 한다. 현장 시공 시 대규모 노출작업을 위해서는 노출장비가 슬래브 위에서 작업해야 하므로 이를 고려하여 노출 작업 시 표층 상부 2~3mm는 응결이 지연되고 하부는 노출장비 증량을 견디기 위해 굳은 상태가 되도록 한다.

본 공법의 순서는 새로 포설된 콘크리트 표면에 지연제를 골고루 살포하고 살포즉시, 지연제와 콘크리트 표면을 방수 슈트로 덮어서 보호한다. 경화가 지연된 모르타르를 철재 와이어 브러쉬를 사용하여 제거한다. 브러쉬로 골재를 노출시킨 후, 콘크리트 표면에 양생제를 살포하여 보호한다.

아래의 표 14는 강릉대학교에서 골재노출의 방법에 대해 실험한 결과 값이다. 골재노출 공법에 있어

서 최적 노출 방법은 적정 지연제의 살포와 노출시기, 골재노출 시 최적의 중간조직과 낮은 거대조직이 표면상에 형성하는 것이다. 최적 노출 방법을 결정하기 위하여 평균 조직깊이(MTD)를 사용하는데 이는 모래의 용적을 측정하는 방법으로 조직의 특성을 나타낼 수 있다. 보통 샌드패치 시험이라고 언급되며 권장되는 표면조직의 깊이는 ASTM E 965 샌드패치 시험을 사용하여 측정했을 경우 0.9mm이다. 이때 0.9mm 보다 깊이가 낮아질 경우 소음이 크게 발생하게 된다. 노출도의 경우 만일 2,500mm² 당 60 이상의 골재가 노출되면, 소음이 낮아지게 된다.

표 14. 최적 노출방법(강릉대학교)

최적 노출 방법	기 준	사 유
응결지연제 종류	Pozzolith	시공성이 양호
지연제 살포량	400g/m ²	평균조직 깊이 0.9mm이상 골재 노출도 2,500mm ² 에서 60개 이상 확보
지연제 농도	(지연제 : 물) 1 : 2	
골재노출시기	콘크리트 타설 후 24시간	
지연제 살포시기	콘크리트 타설 후 즉시	
골재노출기	steel brush 사용	
양생	비닐 양생	

5. 맺음말

국내 고속도로의 경우 88고속도로를 시작으로 대부분 콘크리트 포장으로 건설되고 있으며 향후 콘크리트 포장의 연장은 더욱 늘어날 것으로 예측된다. 콘크리트 포장기술이 많이 발전해 오고 있지만 아직 선진국에 비해 미흡한 점들이 많다. 그 중 골재노출 공법은 소음을 경감시킴으로써 삶의 질적 향상을 추구하는 현대인들에게 보다 쾌적한 환경을, 도로의 미끄럼 저항을 증대시킴으로써 운전자에게 안전을 주는 공법이다. 선진국에서는 많은 발전을 거듭하여 골재노출 공법에 대한 충분한 경험이 축적되어 있지만 아직 우리에게겐 까다로운 시공방법으로 인한 연구

의 미흡으로 실시공은 이루어지지 못하고 있다. 선진국의 연구를 바탕으로 하는 체계적인 연구를 거듭하여 우리나라 도로실정에 적합한 시공방법과 시공장비를 마련해야겠다.

참고문헌

1. 강릉대학교, (2003), "저소음 콘크리트 포장 연구 개발 과제 최종보고서", 포스코 건설
2. 김남철, (2005), "골재노출 콘크리트포장 노면특성에 관한 연구", 강릉대학교 석사 학위논문
3. 김병삼, 홍동표, (1994), "타이어와 소음", 한국소음진동공학회지 제 4권 4호, pp.404~412
4. 문준범, (2002), "콘크리트 표면처리 방법에 따른 소음 감소방안 연구", 중앙대학교 석사학위논문
5. 이승우, (2003), "콘크리트 표면조직의 노후화 및 개선", 한국도로학회지 특집기사, pp.10~21
6. 이승우, (2004), "콘크리트포장 노면의 마모에 따른 미끄럼저항 변화예측", 대한토목학회 논문집, pp.737~742
7. 이용세, (2000), "콘크리트 포장 표면처리 공법 조사 보고서", 연구보고서, (주)서영기술단 부설기술연구소
8. 한국건설기술연구원, (2001), "한국형 포장 설계법 개발 및 포장성능 개선방안 수립을 위한 기본계획"
9. 한국도로학회, (2004), "유럽의 콘크리트 포장 및 기능성 포장", 한국도로학회 콘크리트 분과 위원회
10. 홍승호, (2003), "포장 기능성 평가기준 및 미끄럼 관리기준 설정 연구", 연구보고서, 한국도로공사 도로교통기술원
11. BR h.c Prof. Dipl.-Ing. Dr. Hermann Sommer, "LONGTIME EXPERIENCE WITH EXPOSED AGGREGATE SURFACES IN AUSTRIA", Wien, Austria
12. Hermann, Sommer., (2003), "Upgrading the Roads of Austria for the Needs of the Growing European Union", Bri-pave Seminar, pp.117~121
13. Hibbs, B.O. and Larson, R.M., (1996), "Tire Pavement Noise and Safety Performance", FHWA, Final Report, FHWA A-SA-96-068
14. H. Sommer, "Exposed Aggregate Concrete In Austria", 1992. 10
15. FHWA-IF-02-020, (2002), "Pavement Texturing and Tire-Pavement Noise"