

콘크리트포장의 저소음 표면처리 공법 소개



이 승 우 | 정회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 부교수

1. 머리말

과거의 도로포장은 구조적 안전성 및 내구성 확보 등 공급자 측면의 편의성에 중점을 두고 건설되는 측면이 있었다. 그러나 도로 이용자가 주행 중 느낄 수 있는 승차감, 소음 발생 정도 및 미끄럼저항 등 기능성 측면에 대한 서비스 요구 수준이 높아짐에 따라 도로에서 쾌적성 및 안전성은 필수적인 사항이 되었다. 소음으로 인한 피해의 경우 최근 발표된 ‘고속도로 교통소음 저감대책 수립에 관한 최종보고서’에 의하면 전국 고속도로변의 485지점 가운데 45%인 220개 지점이 기준소음 한도를 초과해 고속도로 변 주변 주민들이 소음에 시달리고 있다. 특히 밤낮을 가리지 않고 소음한도 기준치를 초과한 곳도 조사한 485개 지점 가운데 40개 지점으로 교통소음에 따른 소음 피해가 심각해지고 있는 것으로 나타났으며, 도로의 안전성 측면에서도 차량의 고속화로 인해서 인명사고가 증가하고 있는 추세이다(한국도로공사, 2006). 이에 따라 도로 이용자 및 도로변 주민들의 쾌적하고 안전한 삶을 보장하기 위한 저소음 콘크리트 포장의 도입이 시급히 요구되고 있다. 따라서 본 기사에서는 주행소음을 감소하고 장기간 미끄럼저항이 유지되어 주행의 안전성을 확보할 수 있

는 저소음 콘크리트 표면처리 공법을 알아보고, 국내 적용을 위하여 연구가 진행되고 있는 저소음 효과 및 적정 미끄럼저항성을 효율적으로 확보할 수 있는 소입경 골재노출 콘크리트포장에 대해 기술하고자 한다.

2. 저소음 포장을 위한 콘크리트 표면처리 공법

2.1 신설 콘크리트포장의 표면처리공법

2.1.1 종방향 타이닝 공법

콘크리트포장의 소음저감을 위한 방법으로 시도되고 있는 종방향 타이닝은 횡방향타이닝과 마찬가지로 굳지 않는 포장표면의 모르타르를 브러쉬, 버랩(burlap), 빗(combs)과 같은 도구를 사용하여 도로의 종방향으로 표면조직을 형성하는 것으로써 소음 측정 결과 약 72dB(A)~76dB(A) 정도로 소음이 측정되어 횡방향 타이닝에 비해 소음저감 효과가 있는 것으로 보고되고 있다. 특히 소음 발생 우려지역 또는 매우 건조하고 동결이 없는 기후 지역에서는 타이닝 간격을 20mm, 폭 3mm±0.5mm 그리고 각

타이닝 깊이는 3mm에서 6mm로 한다. 하지만 영국의 연구결과에 의하면 고속주행 시 미끄럼 저항성의 확보가 어려우며, 호주의 콘크리트포장 매뉴얼의 경우 고속에서 브레이크를 밟은 차량의 회전 안전성이 불만족스럽다고 한다(고석범, 2005).

2.1.2 랜덤 횡방향 타이닝 공법

횡방향 타이닝 공법의 경우 일반적으로 일정한 간격으로 표면조적을 형성하고 있다. 하지만 피치 소음의 경우 반복적인 충격으로 인하여 발생하는 것으로 트래드 패턴과 도로 표면과의 충격이 주기적으로 발생하게 되면 일정한 주기를 형성하면서 사람에게 불쾌감을 유발하는 순음(pure tone)을 발생시킨다. 따라서 타이닝을 불규칙하게 배열함으로써 특정 주파수의 소음이 크게 발생하는 것을 억제하는 공법으로 노스다코다, 위스콘신, 문한영 등의 연구에서는 일반 횡방향 타이닝 구간에 비해 소음 저감 효과를 보였다(조운호, 2005).

2.1.3 골재노출공법

골재노출공법은 콘크리트 타설 후 표면에 응결지연제를 살포하고 일정 시간 뒤에 경화되지 않은 표면 모르타르를 2~3mm 정도 브러쉬로 긁어내어 굵은 골재를 노출시키는 것으로 현재까지 콘크리트포장의 주행소음을 줄이는데 가장 큰 장점을 지니고 있는 공법으로 평가되고 있다. 특히, 굵은 골재 최대입경을 소입경으로 한 경우 미끄럼저항성 향상 및 저소음효과가 향상된다. 횡방향 타이닝공법과 비교 시 5~7dB(A) 정도 저감효과를 나타내며, 굵은 골재의 노출을 통한 임의의 형태로 표면조적을 형성하여 고주파 소음(Whine)현상을 원천적으로 배제할 수 있는 친환경적인 저소음 포장공법이다(이승우 외, 2006).

골재노출공법의 경우 콘크리트 타설 후 지연제를 살포하고 골재를 노출시키는 시기가 매우 중요하며, 이는 지연제의 성능에 비해서 노출시기가 늦으면 노출도가 떨어지게 되는 반면 너무 빠르면 골재를 잡

고 있는 시멘트 페이스트가 굳기도 전에 골재가 떨어지는 탈리 현상이 발생하기 때문이다.



그림 1. 타이닝 공법



그림 2. 골재노출공법

2.2 공용중인 콘크리트포장의 표면처리공법

2.2.1 다이아몬드 그라인딩 공법

다이아몬드 그라인딩 공법은 콘크리트 포장의 단차에 대한 유지보수 공법으로서 주로 중단평탄성을

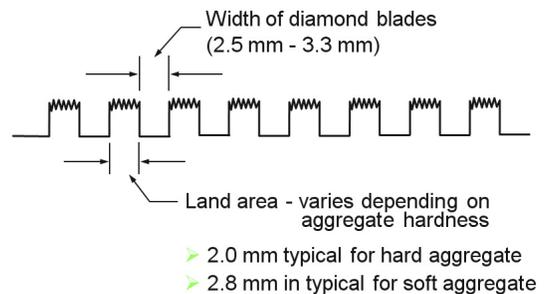


그림 3. 일반적인 다이아몬드 그라인딩의 표면구조

향상시키기 위해 적용된다. 또한 컬링(curling), 와핑(warping) 등에 따른 포장의 국부적인 휨 문제를 해결함으로써 승차감을 향상시키며, 포장의 본래의 기능을 회복하는 효과 외에 메크로 텍스처로 표면을 형성하여 소음을 줄일 수 있다.



그림 4. 다이아몬드 그라인딩(한국도로공사, 2004)

2.2.2 종방향 그루빙 공법

그루빙은 콘크리트포장의 적합한 미끄럼특성을 복구하기 위해 사용되는 방법이다. 타이닝 된 콘크리트포장은 마모에 의해 마이크로 조적이 손실되며, 그루빙으로 마이크로 조적을 복구할 수 있다. 대부

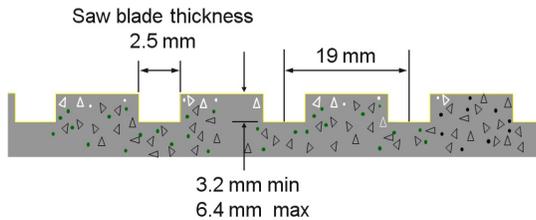


그림 5. 일반적인 종방향 그루빙의 표면 구조



그림 6. 종방향 그루빙(한국도로공사, 2007)

분의 그루빙은 종방향 그루빙이며 타이어와 포장에서 소음 발생이 문제가 되는 곳에서 횡방향 그루빙은 간격이 일정하지 않게 시공하면 효과가 있다.

3. 소입경 골재노출 콘크리트포장의 국내 연구사례

국내의 경우 그림 7~8과 같이 실내에서 소음재현 장비를 활용하여 다양한 콘크리트포장 표면조직을 모사하여 이에 대한 소음특성을 분석하였다. 이를 통하여 표면처리별 소음특성을 파악하였으며, 골재노출 콘크리트포장의 경우 굵은 골재가 소입경일수록 소음이 감소하는 경향을 확인하였다. 또한 횡방향 타이닝과의 소음비교 시 13mm 골재노출의 경우 주행속도 40km/h에서 4.9dB(A)의 소음 차이가 발생함을 확인하였다(이승우 외, 2009).



그림 7. 타이어/노면소음측정장비를 사용한 소음측정

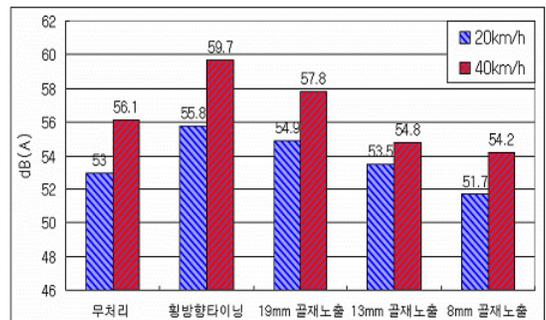


그림 8. 표면처리별 소음측정결과(이승우 외, 2009)

소입경 골재노출 콘크리트포장은 소음과 미끄럼저항을 동시에 만족해야 하기 때문에 기술적으로 쉬운 공법이 아니다. 따라서 성공적인 소입경 골재노출 콘크리트포장의 건설을 위해서는 정량적인 시공기술 뿐만 아니라 합리적인 품질관리기술이 동반되어야 한다.

일반적인 콘크리트포장은 강도에 초점을 맞춘 배합설계를 실시하지만 소입경 골재노출 콘크리트포장의 경우 강도, 미끄럼저항 및 소음의 특성을 유지해야 하며, 이를 위한 최적 배합에 대한 연구가 수행되어야 한다. 또한 굵은 골재의 노출은 응결지연제 살포 및 적정 시간이 지난 후 표면 모르타르를 제거해야 하지만 다양한 시공 조건 및 환경 변화에 의해 노출시기의 결정이 어려우며 콘크리트의 명확한 물리적 특성을 필요로 한다. 이에 소입경 골재노출 콘크리트포장의 최적 배합에 관한 연구를 수행하였으며, 다양한 변수에 대한 신뢰성 있는 데이터를 축적하고 분석하여 최적 노출시기에 대한 정량적 기준을 제시하였다.(이승우, 2009)

3.1 최적 노출방안 연구

소입경 골재노출 콘크리트포장에 사용하는 응결지연제는 모르타르의 경화를 표면으로부터 2~3mm 늦추게 하는 것으로 지연제의 살포시기, 살포농도

및 살포량의 정량화가 요구된다. 따라서 강릉원주대학교 연구결과에 따르면 국내 적용 시 다양한 조건을 만족하기 위한 소입경 골재노출 콘크리트포장의 최적 노출방안을 표 1과 같이 제시하였다(이승우, 2009).

3.2 최적 배합비 산정 연구

소입경 골재노출 콘크리트포장의 저소음 및 미끄럼저항에 중요한 영향인자인 노출도 및 평균조직 깊이는 다양한 변수에 의해 결정되며, 특히 배합 시 굵은 골재 최대치수의 지배적인 영향을 받는다. 이는 균일하게 많은 굵은 골재가 노출되도록 굵은 골재의 용적을 크게 하는데 굵은 골재의 최대치수가 커지면 표면에 노출되는 골재의 수가 적어지게 되고, 굵은 골재의 최대치수가 작아지면 노출 시 골재 탈리 현상이 발생될 가능성이 있기 때문이다.

또한 콘크리트의 재료 배합 및 타설 시 적정 강도 유지 및 굵은 골재의 가라앉음 현상을 배제하고 적정 슬럼프를 유지해야 한다. 균일하게 많은 굵은 골재를 포장 표면에 노출시키고, 노출장비를 이용한 골재 노출 및 양생 후 교통개방 시 굵은 골재의 탈리를 방지하기 위하여 강릉원주대학교에서는 실내실험을 토대로 표 2와 같이 소입경 골재노출 콘크리트포장의 최적 배합비를 제시하였다(이승우 외, 2009).

표 1. 소입경 골재노출 콘크리트포장의 최적 노출방안

	기 준	사 유
응결지연제 종류	탄수화물계 응결지연제 (탄수화물/녹말군의 결정성가루와 H ₂ O로 이루어진 조성물)	점성이 좋으며 시공성이 양호함
지연제 살포량	300g/m ²	평균조직깊이 1.8±2mm, 골재노출도 30±5개/25cm ² 이상 확보
지연제 농도	1 : 1 (지연제 : 물)	
지연제 살포시기	콘크리트 타설 후 표면 수분이 없어진 시기로 부터 콘크리트 타설 후 3시간 이내	
골재노출기	steel brush 사용	
양생	대기 양생	
골재노출시기	관입저항 응력이 1,000kgf/cm ² 이상 발생한 시점부터 콘크리트 타설 후 30시간이 경과하기 전까지의 시기	

표 2. 소입경 골재노출 콘크리트포장의 최적 배합비 산정

굵은골재 최대치수	물 · 시멘트비 W/C(%)	잔골재율 S/a(%)	단위량(kg/m³)				
			W	C	S	G	AE제
13mm	40	30	150	400	536	1262	C×0.1%
굵은골재 입도	G=1262kg/m³에 대한 입도별 합량						
	입도	2.36~4.75mm		4.75~9.5mm		9.5~13.2mm	
	합량	302.88kg/m³		504.8kg/m³		454.32kg/m³	

3.3 소입경 골재노출 콘크리트포장의 품질관리 기준

오스트리아, 벨기에 및 영국 등의 일부 유럽국가와 일본 등에서 시행하는 소입경 골재노출 콘크리트포장에 대한 관리기준은 평균조직 깊이(MTD), 굵은 골재노출도 및 미끄럼저항값을 목표치로 설정하고 있다. 이는 평균조직 깊이와 노출도가 저소음 및 적정 미끄럼저항을 유지하는 중요한 요소이기 때문이다. 그러나 국가마다 관리기준이 상이하므로 국내 특성에 맞는 다양한 조건(골재량, 응결지연제의 성능 및 노출시간)을 고려한 실험을 실시하여 노출특성에 대한 최적의 품질관리기준을 마련해야 한다. 이에 강릉원주대학교에서는 국내 여건에 맞는 소입경 골재노출 콘크리트포장의 굵은 골재 최대치수 13mm에 대하여 저소음 및 적정 미끄럼저항을 유지하기 위한 품질관리기준을 표 3과 같이 제시하였다(이승우 외, 2009).

표 3. 소입경 골재노출 콘크리트포장의 품질관리 기준

굵은골재 최대치수(mm)	관리기준	기준값	시험법
13	평균 조직깊이 (MTD)	1.8±0.2mm	Sand Patching 방법
	골재 노출도	30±5개/25cm² 이상	Peak법
	미끄럼저항값 (BPN)	65 이상	BPT 사용

4. 소입경 골재노출 콘크리트포장의 국내 적용

4.1 시험시공 개요

국내에서는 현재까지 소음저감효과 및 적정 미끄럼저항성을 갖는 소입경 골재노출 콘크리트포장에 대한 현장 적용이 이루어지지 못한 실정이며, 국내 연구사례를 바탕으로 품질 및 시공관리 특성을 분석하기 위하여 2009년 3월말 대전~당진간 고속도로 건설 현장을 대상으로 1차로 114m에 대한 시험시공을 실시하였다. 시험시공 시 소입경 골재노출 콘크리트포장의 소음 및 미끄럼저항 성능을 확인하기 위하여 2차로의 경우 30mm 횡방향 타이닝 콘크리트포장을 비교 구간으로 선정하였다. 시공구간의 특징으로는 고속도로 요금소를 통과하는 차량의 가속 구간으로써 미끄럼저항 및 소음특성분석에 적합하였다.



그림 9. 시험시공 구간 전경

4.2 시험시공 절차

소입경 골재노출 콘크리트포장의 시험시공은 총 연장 114m에 대하여 실시하였으며, 초기 콘크리트 타설 및 다짐은 기존 콘크리트포장 장비를 활용하였다. 콘크리트 타설 중 작업성 및 콘크리트 강도를 확인하기 위하여 시험시공 114m를 5개 구간으로 구

분하여 슬럼프, 공기량 측정 및 강도 시편을 제작하였다. 콘크리트 타설시 KS F 2402에 의거한 평균 슬럼프 25mm 및 KS F 2421에 의거한 평균 공기량은 5.8%가 측정되어 고속도로공사 전문시방서 포장용 시멘트 콘크리트의 배합기준을 만족하였다.

콘크리트타설 후 포장 표면의 수분이 없어진 시기에 그림 11과 같이 응결지연제 분사장비를 활용하여



그림 10. 콘크리트 포설



그림 11. 응결지연제 분사



그림 12. 건식 줄눈 절삭



그림 13. 초기 양생



그림 14. 골재노출장비를 활용한 골재노출



그림 15. 콘크리트포장 표면조직

300g/m²의 지연제를 살포하였다.

그림 14는 골재노출장비를 활용한 골재노출 과정을 나타낸 것이다. 현장에서 적정수준의 노면조직 깊이 및 노출도를 확보하고 공용성을 증대시키기 위하여 관입저항 시험을 실시하였으며, “ASTM C 403의 관입저항에 의한 콘크리트 응결시간 측정법”에 의거하여 관입저항 응력이 1000kgf/cm² 이상을 확보한 시기로부터 현장 여건을 고려하여 타설 후 26시간을 최적 노출시기로 결정하여 골재노출을 실시하였다. 그림 15는 완공된 소입경 골재노출 콘크리트포장의 표면조직을 나타내었다.

5. 시험시공에 따른 소음특성

소음측정은 ISO 11819-1 및 ISO/CD 11819-2에 의거하여 실시하였다. Pass-by 측정법의 경우 승



그림 16. 길어깨 소음 측정



그림 17. CPX Trailer를 이용한 근접소음 측정

용차, 승합차, 대형차의 3종류 차량에 대하여 40km/h, 60km/h, 80km/h 및 100km, CPX의 경우 CPX Trailer를 이용하여 40km/h, 60km/h 및 80km/h의 주행 속도로 측정하였다.

측정 결과는 그림 18~21과 같다. Pass-by 소음 측정에 의한 자동차의 소음은 차량의 종류에 따라 다소 상이함을 보이지만, 차량의 주행 시 타이어/노면 소음이 지배적인 영향을 미치는 80km/h 이상의 속

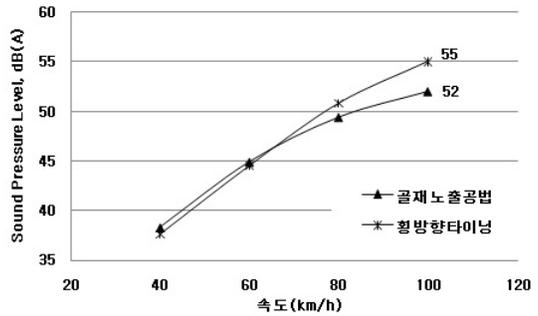


그림 18. Pass-by 소음측정 결과(승용차)

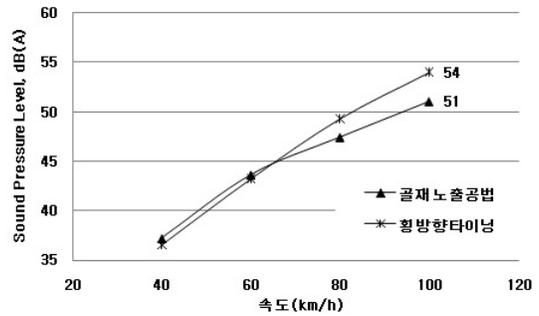


그림 19. Pass-by 소음측정 결과(승합차)

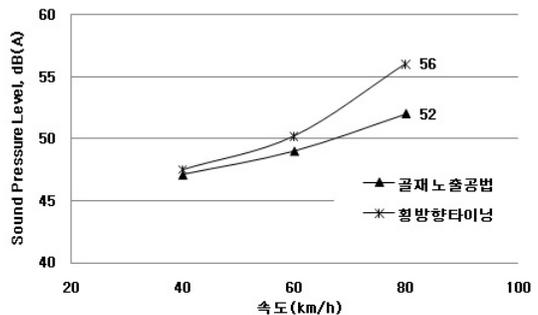


그림 20. Pass-by 소음측정 결과(대형차)

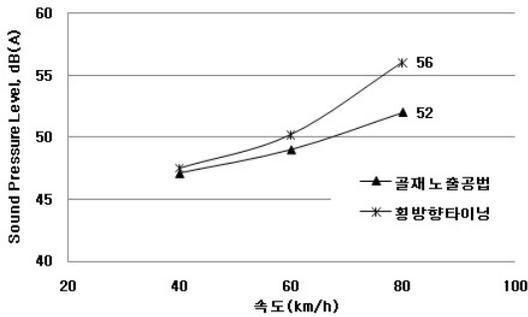


그림 21. CPX 소음 측정 결과

도에서 소입경 골재노출 콘크리트포장의 소음이 횡방향 타이닝 콘크리트포장에 비해 2~4dB(A) 감소하는 수치를 보였다. 또한 CPX 소음 측정 결과에서도 80km/h의 속도에서 3dB(A) 감소하였다.

6. 맺음말

교통소음이 사회적 문제로 이슈화 된 시점에서 소음을 저감하기 위한 콘크리트 표면처리 공법에 대한 연구는 지속적으로 수행되고 있는 실정이다. 하지만 콘크리트 표면처리 공법은 소음저감 및 미끄럼 저항성을 동시에 확보하기가 매우 어렵다. 소입경 골재노출 콘크리트포장은 다른 공법과 비교하여 굵은 골재를 노출시킴으로써 도로 이용자 및 도로 주변의 생활자의 쾌적한 도로환경 조성을 위한 소음저감효과와 수막현상 방지를 통한 도로의 안전성을 동시에 만족시키는 공법이다. 또한 내마모성이 우수한 굵은 골재를 사용할 경우 노면조직을 장기간 동안 유지함으로 인해 지속적인 보수보강을 저감시킬 수 있다.

따라서 소입경 골재노출 콘크리트포장의 성공적인 국내 적용을 통하여 도로 이용자에 대한 요구수준을 개선하여 현대 사회의 교통분야 발전과 쾌적한 도로환경을 조성하는 친환경 도로건설이 가능할 것으로 사료된다.

참고 문헌

- 고석범, (2005), "터널 내 주행소음 저감을 위한 포장 표면처리공법 조사연구", 대림기술정보, pp.42~61
- 김영규, (2008), "소입경 골재노출 콘크리트포장 최적배합 및 노출기법에 관한 연구", 강릉대학교 석사학위논문
- 김영규 외 3인, (2010), "시험시공을 통한 소입경 골재노출 콘크리트포장의 초기 공용성 평가", 한국도로학회 논문집, pp.87~98
- 이승우외 2인, (2006), "소음저감을 위한 골재노출 포장공법의 적용", 한국도로학회 도로학회지 pp.16~29
- 조윤호 외, (2005), "콘크리트 포장의 소음 저감을 위한 임의 간격 타이닝 설계 및 적용", 한국도로학회 논문집, pp.125~140
- 한국도로공사, (2006), "고속도로 교통소음 저감대책 수립에 관한 최종보고서", 한국도로공사
- 홍승호, 한승환, (2006), "다이아몬드 그라인딩 공법을 활용한 노후 콘크리트 포장의 소음저감", 한국도로학회 학회지, pp.30~36
- Sandberg. and Jerzy, A. Ejsmont. (1998), "Texturing of cement concrete pavements to reduce traffic noise", Institute of Noise Control Engineering, pp.231~243,