

시험시공을 통한 소입경 골재노출 콘크리트포장의 초기 공용성 평가

Initial Performance Evaluation of Fine-size Exposed Aggregate PCC Pavement by Experimental Construction

김 영 규 Kim, Young Kyu
 최 돈 화 Choi, Don Hwa
 이 승 우 Lee, Seung Woo
 김 형 배 Kim, Hyung Bae

정회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 박사과정 (E-mail : kingdom1980@nate.com)
 정회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 석사과정 (E-mail :mynamedona@naver.com)
 정회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 부교수 · 공학박사 (E-mail : swl@gwnu.ac.kr)
 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원 · 공학박사 (E-mail : kimhyun3@ex.co.kr)

ABSTRACT

Surface of fine-size exposed aggregate Portland cement concrete pavements is consists of exposed coarse aggregate by removing upper 2~3mm mortar of concrete slab. Fine-size exposed aggregate PCC pavements have advantages of maintaining low-noise and adequate skid-resistance level during the performance period. In order to provide the successful exposed concrete aggregate pavement, uniform distribution of the coarse aggregate on pavement surface through adequate the mix design and exposing method. In this study, evaluated initial performance of fine-size exposed aggregate PCC pavement by experimental construction. And it was known that fine-size exposed aggregate concrete pavement which can reduce the noise and maintain the adequate level of skid resistance and strength.

KEYWORDS

fine-size exposed aggregate PCC pavements, experimental construction, low-noise, skid-resistance, optimum mix design, exposing method

요지

소입경 골재노출 콘크리트포장은 콘크리트 타설 직후 포장표면에 응결지연체를 살포하여 표면으로부터 2~3mm 정도의 모르타르 경화를 늦추게 한 후 표면의 모르타르 제거를 통해 굵은 골재를 포장표면에 노출시키는 공법이다. 소입경 골재노출 콘크리트포장의 타이어-노면 소음은 일반 콘크리트포장보다 작으면서도 적절한 미끄럼저항을 장기간 유지한다는 장점을 가지고 있다. 성공적인 소입경 골재노출 콘크리트포장의 건설을 위해서는 굵은골재의 최대입경이 적정하여야 하며 적정량의 굵은골재를 포장표면에 균일하게 노출하도록 해야 하기 때문에 이를 위한 적절한 배합과 노출기법의 도출이 요구된다. 본 연구에서는 소입경 골재노출 콘크리트포장의 시험시공을 실시하여 초기 공용성을 평가하였으며, 이를 통하여 적정 강도, 저소음 및 적정 미끄럼저항을 확보함을 확인하였다.

핵심용어

소입경 골재노출 콘크리트포장, 시험시공, 저소음, 미끄럼저항, 최적배합, 노출기법

1. 서론

국내 고속도로 현황을 살펴보면 1967년 5월 경인고속도로 착공을 시작으로 1970년 7월 7일 경부고속도로가 개통된 이래 꾸준히 증가하여 2008년 12월말 현재 3,211km의 연장이 공용 중에 있다. 한국도로공사는 고속도로 총 연장을 2020년까지 6,160km로 건설할 계획을 발표하여 국내 고속도로는 계속 늘어날 전망이다(한국도로공사, 2009).

초기 고속도로는 대부분 아스팔트포장으로 시공되었으나, 콘크리트포장의 경우 중차량에 대한 지지력이 우수하고 장기간의 공용성을 지닌 것으로 보고되고 있으며 내구성이 우수하여 유지·관리가 용이하다는 장점이 있다. 이러한 이유로 국내 콘크리트포장의 연장은 지속적으로 증가하고 있는 추세이다. 그러나 콘크리트포장은 아스팔트포장에 비해 고속 주행 시 4~6dB(A) 정도의 소음 발생량이 높으며, 주행성이 취약

하다는 단점을 가지고 있어 도로 이용자의 저소음, 승차감 및 주행안전성 등에 대한 서비스 요구 수준이 높아진 지금 개선이 요구된다.

도로 교통소음은 주행 시 운전자에게 피로감을 주어 교통사고의 직·간접적인 영향을 주며, 도로 주변 거주자에게는 스트레스, 불쾌감 및 불면증의 원인이 되기도 한다. 이에 대한 대책방안으로 도로 주변 주거지역에 방음벽을 설치하고 있는 실정이나 소음원을 줄이는 근본적인 방법이 될 수 없으며, 방음벽의 설치비용, 자중 및 풍하중에 의한 구조물의 영향 및 미관 등의 문제를 야기시키므로 저소음 포장에 대한 연구가 대두되고 있다. 또한 도로 포장에서 타이어와 노면간의 미끄럼저항은 제동거리를 제어하는 기본적인 요소로서 주행 안전성에 중요한 역할을 한다. 즉, 도로의 표면처리는 운전자에게 안전을 제공할 수 있는 적정 미끄럼저항 수준을 확보해야 한다. 특히, 우천 시 습윤상태의 도로는 타이어와 포장 표면조직 사이의 수막현상이 발생되며 미끄럼저항이 감소되어 교통사고율이 높게 나타난다. 국내 콘크리트포장은 미끄럼저항 확보 및 우천 시 수막현상을 방지하기 위한 표면처리공법으로서 횡방향 타이닝을 주로 사용하고 있으나 미끄럼저항은 우수한 반면 타이어와 포장 표면조직 사이의 펌핑압으로 인한 소음이 크게 발생하여 문제가 되고 있다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위한 방안으로 유럽 및 일본 등 국외의 경우 주행 중 소음을 감소시키고, 주행 안전성 및 장기간 적정 미끄럼저항을 확보할 수 있는 골재노출콘크리트 포장에 대한 연구를 수행하였으며, 현재 많은 현장에 적용하고 있다.

골재노출공법이란 콘크리트포장 시공 시 포장 표면에 적정 응결지연제를 살포한 후 표면 모르타르를 제거하여 굵은 골재를 노출시킴으로서 표면조직을 형성하는 공법으로써 기존 포장의 강도 개선과 함께 적정 미끄럼저항성을 확보하면서도 콘크리트포장의 단점인 소음문제를 해결할 수 있는 최적의 저소음 표면처리 방안으로 판단되고 있다(이승우 외, 2006).

일반적인 골재노출 콘크리트포장은 굵은 골재의 최대치수를 20mm 이하로 사용하고 있으며, 굵은 골재 최대치수를 10mm 내외로 하는 소입경 골재노출의 경우 소음저감 및 적정 미끄럼저항의 효과를 더욱 증대시킬 수 있다. 이러한 소입경 골재노출 콘크리트포장의 경우 국외에서는 다양한 현장 적용을 통한 충분한 시공경험이 축적되어 있다. 국내의 경우 강릉원주대학교의 다양한 실내실험을 통하여 국내 여건에 맞는 소입경 골재노출 콘크리트포장의 최적 배합 및 노출기법을 도출하였으며, 현장 적용을 위한 다양한 시공장비의 개발이 이루어진 반면 본격적인 현장 적용을 실시하지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 소입경 골재노출 콘크리트포장에 대한 기존 강릉원주대학교 연구를 토대로 하여 대단위 현장 시험시공을 실시하였으며, 강도, 소음, 미끄럼저항 및 평탄성 등 소입경 골재노출 콘크리트포장의 국내 적용을 도모하기 위한 초기 기능성 및 공용성 평가를 수행하였다.

2. 소입경 골재노출 콘크리트포장의 특성

골재노출공법은 현재까지 콘크리트포장의 주행소음을 줄이는데 가장 큰 장점을 지니고 있는 공법으로 평가되고 있다. 특히, 굵은 골재 최대입경을 소입경으로 한 경우 분진발생 억제, 미끄럼저항성 향상 및 저소음효과가 향상된다. 소입경 골재노출 콘크리트포장은 콘크리트 표면처리공법 중에서 소음 저감효과가 뛰어나며 횡방향 타이닝공법과 비교 시 5~7dB(A) 정도 저감효과를 나타낸다. 또한 굵은 골재의 노출을 통한 임의의 형태로 표면조직을 형성하여 고주파 소음(Whine)현상을 원천적으로 배제할 수 있는 친환경적인 저소음 포장공법이다(이승우 외, 2006). 그림 1은 소입경 골재노출 콘크리트포장의 표면조직을 나타낸 것이다.



그림 1. 소입경 골재노출 콘크리트포장의 표면조직

소입경 골재노출 콘크리트포장은 콘크리트 타설 후 표면에 응결지연제를 살포하고 일정 시간 뒤에 아직 경화되지 않은 표면 모르타르를 2~3mm 정도 브러쉬로 긁어내어 굵은 골재를 노출시키는 것이다. 소입경 골재노출공법을 적용하기 위한 콘크리트 배합 시에는 표면에 균일하게 많은 골재가 노출되도록 잔 골재율을 줄여 굵은 골재 용적률을 크게 하여야 한다. 또한 견고하고 내마모성이 우수한 굵은 골재를 사용하여 장·단기적인 적정 미끄럼저항을 유지해야 한다.

소입경 골재노출 콘크리트포장의 경우 콘크리트 타설 후 지연제를 살포하고 골재를 노출시키는 시기가 매우 중요하며, 이는 지연제의 성능에 비해서 노출시기가 늦으면 노출도가 떨어지게 되는 반면 너무 빠르면 골재를 잡고 있는 시멘트

페이스트가 굳기도 전에 골재가 떨어지는 탈리 현상이 발생하기 때문이다.

2.1. 소입경 골재노출공법의 소음 특성

오스트리아의 경우 1990년 완공된 소입경 골재노출 콘크리트포장에 대하여 소음을 측정하였으며 측정 결과 그림 2와 같이 공용중인 횡방향타이닝 콘크리트포장보다 소음이 6~7dB 정도 감소하며 burlap drag 포장보다 2~3dB 정도 감소한 것으로 나타났다.

그림 3은 콘크리트포장의 다양한 표면처리공법에 따른 소음을 측정한 결과이다. 골재노출공법이 다른 공법에 비해 소음이 감소한 것으로 나타났으며, 특히 굵은골재가 소입경으로 갈수록 소음 저감 효과가 뛰어난 것을 알 수 있다.

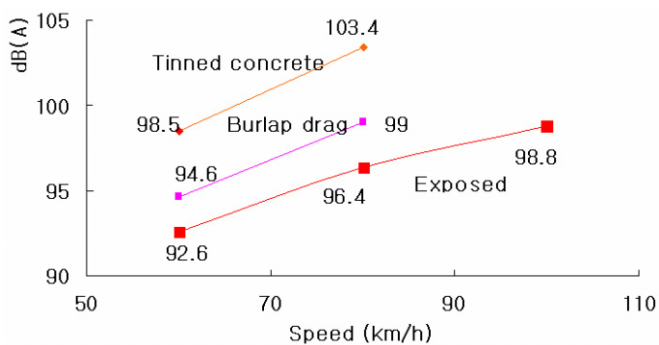


그림 2. 오스트리아에서 측정된 소음 정도 (Chevallier, Raymond., 1992)

함을 확인하였다(김영규, 2008, 이승우 외, 2009).



그림 4. 타이어/노면소음측정장비를 사용한 소음측정

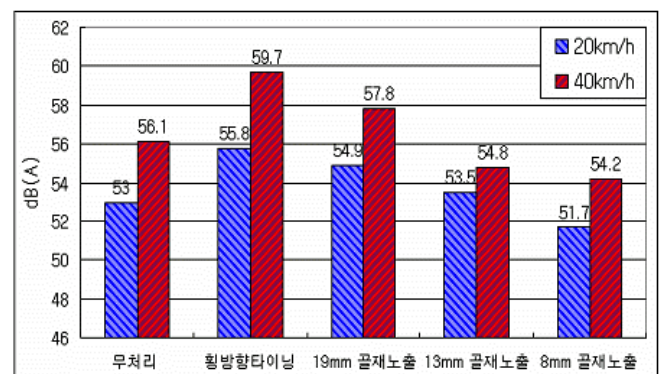


그림 5. 표면처리별 소음측정결과(김영규, 2008)

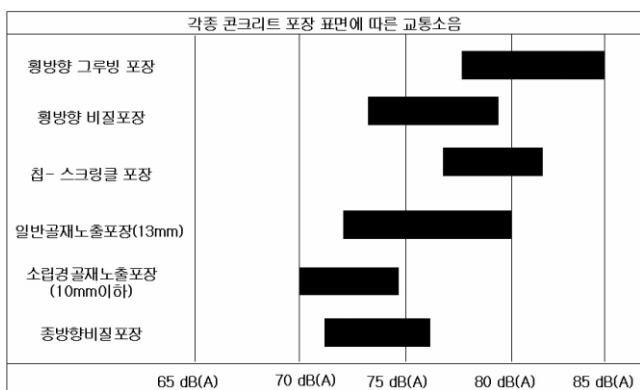


그림 3. 벨기에의 표면처리별 소음 측정 결과

국내의 경우 골재노출 콘크리트포장에 대한 현장 시공이 전무한 상황으로, 그림 4와 같이 실내에서 소음재현장비를 활용하여 다양한 콘크리트포장 표면조직을 모사하여 이에 대한 소음특성을 분석하였다. 이를 통하여 차량의 주행 시 속도의 증가에 따라 소음의 크기가 증가하며, 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 발생

2.2. 소입경 골재노출공법의 미끄럼저항 특성

오스트리아에서는 골재노출공법에 의한 콘크리트포장의 미끄럼저항 변화에 있어서 1990년과 1994년에 완공 시 측정값과 1997년 재 측정된 결과를 비교하였다. 초기 0.70, 0.80이었던 미끄럼저항이 아래 그림과 같이 4~8년이 지나 측정된 결과 양쪽 모두 0.1 떨어진 0.6, 0.7이었다(Hermann,

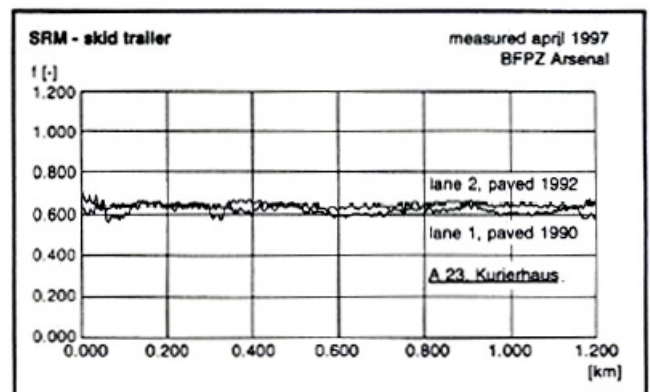


그림 6. 미끄럼저항값 측정(1990년 완공) (Hermann, 1998)

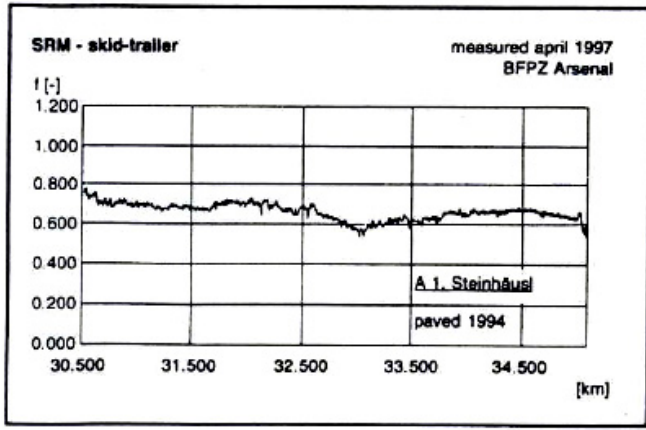


그림 7. 미끄럼저항값 측정(1994년 완공)
(Hermann, 1998)

1998). 이는 골재노출공법의 포장 표면조직이 내마모성을 가지는 굵은 골재로 이루어져 장기간의 적정 미끄럼저항 확보가 용이한 것으로 판단되었다.

강릉원주대학교는 골재노출 콘크리트포장의 미끄럼저항 특성을 확인하기 위하여 Wheel Load Simulator를 활용한 골재노출 콘크리트 시편과 횡방향 타이닝 시편에 대한 미끄럼저항 특성을 비교하였다. 시험 결과 그림 8과 같이 횡방향 타이닝 시편의 경우 마모율에 따른 미끄럼저항 감소가 빠르고 골재노출 콘크리트 시편의 경우 미끄럼저항의 감소가 상대적으로 느림을 확인하였다. 이를 통하여 골재노출 콘크리트포장은 표면 모르타르의 마모가 아닌 굵은골재의 노출에 따른 마모에 의해 내마모성을 지닌 적절한 굵은골재 사용 시 내구성이 우수한 것으로 판단되었다(이승우 외, 2004).

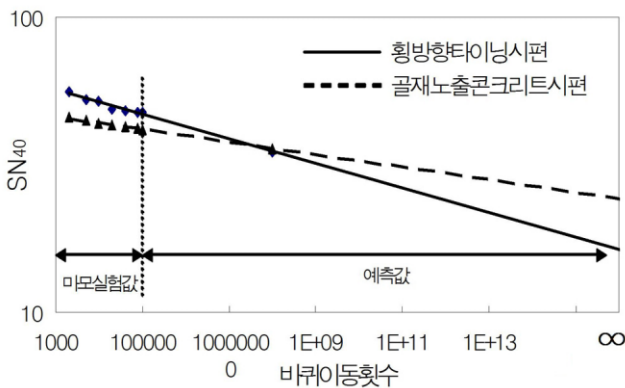


그림 8. 마모축진에 따른 미끄럼저항의 변화
(이승우 외, 2004)

3. 국내 소입경 골재노출 콘크리트포장의 연구 동향

소입경 골재노출 콘크리트포장은 소음과 미끄럼저항을 동시에 만족해야 하기 때문에 기술적으로 쉬운 공법이 아니다. 따라서 성공적인 소입경 골재노출 콘크리트포장의 건설을 위

해서는 정량적인 시공기술뿐만 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 굵은골재의 노출은 응결지연제 살포 및 적정 시간이 지난 후 표면 모르타르를 제거해야 하지만 다양한 시공 조건 및 환경 변화에 의해 노출 시기의 결정이 어려우며 콘크리트의 명확한 물리적 특성을 필요로 한다. 이에 강릉원주대학교에서는 소입경 골재노출 콘크리트포장의 최적 배합에 관한 연구를 수행하였으며, 다양한 변수에 대한 신뢰성 있는 데이터를 측정하고 분석하여 최적 노출시기에 대한 정량적 기준을 제시하였다.

3.1. 최적 노출방안 연구

골재노출 콘크리트포장에 사용하는 응결지연제는 모르타르의 경화를 표면으로부터 2~3mm 늦추게 하는 것으로 지연제의 살포시기, 살포농도 및 살포량의 정량화가 요구된다.

- 살포시기는 보통 콘크리트 타설 후 표면 수분에 의해 지연제의 성능이 달라질 수 있으므로 수분이 없어지는 경우 실시해야 한다.
- 지연제 살포 시 시간이 지난 후 포장 표면 모르타르를 2~3mm 정도만 늦출 수 있어야 하며 일정량 분사 시 표면에 골고루 뿌려져야 한다. 또한 시공성을 고려하여 분사력이 좋고 노면의 구배를 따라 지연제가 흘러내리지 않는 점성을 가져야 한다.
- 노출시기는 지연제 살포 후 경화되지 않은 모르타르를 긁어내기 위해 노출장비의 중량을 견딜 수 있는 시기여야 하며 적정 표면조직깊이(Mean Texture Depth: 이하 MTD)가 얻어져야 한다. 노출시기는 온도, 습도 및

표 1. 소입경 골재노출 콘크리트포장의 최적 노출방안

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

대기환경에 따라 경화의 진행이 크게 달라지기 때문에 물리적이고 안정적인 측정방법이 필요하다.

기존 강릉원주대학교 연구결과에 따르면 위와 같이 다양한 조건을 만족하기 위한 소입경 골재노출 콘크리트포장의 최적 노출방안을 표 1과 같이 제시하였다(김영규, 2008, 이승우 외, 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 굵은골재 최대치수의 지배적인 영향을 받는다. 이는 균일하게 많은 굵은골재가 노출되도록 굵은골재의 용적을 크게 하는데 굵은골재의 최대치수가 커지면 표면에 노출되는 골재의 수가 적어지게 되고, 굵은골재의 최대치수가 작아지면 노출 시 골재 탈리 현상이 발생될 가능성이 있기 때문이다.

또한 콘크리트의 재료 배합 및 타설 시 적정 강도 유지 및 굵은골재의 가라앉음 현상을 배제하고 적정 슬럼프를 유지해야 한다. 균일하게 많은 굵은골재를 포장 표면에 노출시키고, 노출장비를 이용한 골재 노출 및 양생 후 교통개방 시 굵은골재의 탈리를 방지하기 위하여 강릉원주대학교에서는 실내실험을 토대로 표 2와 같이 소입경 골재노출 콘크리트포장의 최적 배합비를 제시하였다(김영규, 2008, 이승우 외, 2009).

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%
G=1262kg/m³에 대한 입도별 함량							
굵은골재 입도	입도	2.36~4.75mm	4.75~9.5mm		9.5~13.2mm		
	함량	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), 굵은골재 노출도 및 미끄럼저항 값을 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 품질관리 기준을 마련해야 한다. 이에 강릉원주대학교에서는 국내 여건에 맞는 소입경 골재노출 콘크리트포장의 굵은골재

최대치수 13mm에 대하여 저소음 및 적정 미끄럼저항을 유지하기 위한 품질관리 기준을 표 3과 같이 제시하였다(김영규, 2008, 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 시험시공

4.1. 시험시공 개요

본 연구에서는 소음저감효과 및 적정 미끄럼저항성을 갖는 소입경 골재노출 콘크리트포장에 대하여 현장 적용을 통한 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 소음특성 분석에 적합하였다.



그림 9. 시험시공 구간 전경

소입경 골재노출 콘크리트포장의 시험시공은 기존 강릉원주대학교의 연구결과를 바탕으로 진행하였다. 표 4는 강릉원주대학교에서 제시한 13mm 소입경 골재노출 콘크리트포장의 시방배합으로, 시험시공 시 현장 특성 및 골재 물성을 고려하여 수정된 현장 배합비를 사용하였다.

표 4. 시방 배합비

굵은골재 최대치수(mm)	슬럼프 범위(mm)	공기량 범위 (%)	W/C (%)	S/a (%)	단위량(kg/m³)				
					W	C	S	G	AE제
13	40	4	40	30	160	400	532	1262	C×0.5%

소입경 골재노출 콘크리트포장의 최적 배합 및 노출기법의 검증을 위한 시험시공은 표 5와 같은 공정으로 이루어졌다. 콘크리트의 대량 생산을 위하여 3월 28일 현장 배합에 의한 콘크리트의 기초 물성 시험 및 시험포설을 실시하였으며, 이때 관입저항 시험을 실시하여 본 시험시공 시 골재노출 시기를 예측하였다. 3월 30일 본 시험시공에 대한 콘크리트를 타설하였으며 응결 지연제 분사 및 초기 양생 중 견식 줄눈 절삭을 실시하였다. 골재노출은 현장에서 관입 저항 시험을 실시하여 노출 시기를 결정하였으며, 고무경도계 및 골재노출용 예비시편을 별도로 제작하여 최적의 골재노출 시기를 결정하였다. 시험시공 시 평균온도 5.7℃, 평균습도 64.0% 정도를 유지하였다. 골재노출 후 충분한 양생을 실시하였으며, 교통개방 전인 5월 13일~14일 이틀에 걸쳐 초기 공용성을 평가하였다.

표 5. 대전~당진간 고속도로 건설에 따른 작업내용

일 자	작업 내용
2009년 3월 28일	· 시험시공 현장 확인 · 콘크리트 물성시험(슬럼프, 공기량, 관입저항 시험) 및 시험포설
2009년 3월 30일	· 09:00 : 대전방향 114m구간 콘크리트 타설, 기초 물성 시험 및 시편제작 · 11:00 : 지연제 분사(물/지연제-1:1비율, 분사량300g/m ²) · 초기 양생 실시
2009년 3월 31일	· 02:00 : 견식 줄눈 절삭(Saw-Cut) · 11:00 : 골재노출(관입저항 시험에 의한 최적 노출시기 결정) · 16:30 : 표면청소 후 대기양생
2009년 5월 13일	· 초기 공용성 평가

4.2. 시험시공 장비

현장 시험시공의 경우 실내실험과 달리 대규모 포장 공정이 이루어져야 한다. 소입경 골재노출 콘크리트포장의 경우 콘크리트 타설 시 기존 타설 장비를 활용하여 시공이 가능하나, 골재노출을 위한 추가적인 공정 및 장비의 운용이 불가피하다. 소입경 골재노출 콘크리트포장의 경우 응결지연제를 일정하게 분사할 수 있는 장비 및 포장 표면 모르타르를 제거할 수 있는 장비가 요구된다. 따라서 현장 적용을 위한 일정량의 응결지연제를 분사하는 장비 및 골재노출장비를 자체 개발하여 효율적인 시공이 이루어지게 하였다.

4.2.1. 응결지연제 분사장비

소입경 골재노출 콘크리트포장의 경우 현장 적용 시 일정량의 응결지연제를 포장 표면에 분사해야한다. 그림 10 및 그림 11은 자체 개발한 응결지연제 분사장비의 모습을 나타낸 것이다. 응결지연제 분사장비는 1차로 시공을 위하여 폭 4.3m로 제작되었으며, 2차로 이상의 시공 시 장비 폭의 변경

이 가능하도록 설계되었다. 총 14개의 분사식 노즐로 구성되어 분사 높이 및 분사량 조절이 가능하며 이에 대한 제원을 표 6에 나타내었다.



그림 10. 응결지연제 분사장비 정면



그림 11. 응결지연제 분사장비 측면

표 6. 응결지연제 분사장비의 제원

	내 용
구 성	· 가로(폭) : 4.3m · 노즐높이 조절 가능 · 압력조정 가능 · 분사압력 측정계를 통한 분사량 조절
노즐	· 노즐 수 : 14개(분사식)
분사량	· 300g/m ² (조절 가능)
진행속도	· 0.16m/sec(=9.6m/min)

4.2.2. 골재노출 장비

그림 12 및 그림 13은 소입경 골재노출 콘크리트포장의 현장 시공 시 대단위 구간의 골재노출이 가능하도록 자체 개발된 골재노출장비를 나타내었다. 골재노출장비의 경우 그림 12와 같이 스키드로우터에 장착이 가능하도록 설계되었으며, 폭 1.8m로 브러쉬 높이의 조절이 가능하며 와이어 브러쉬의 회전을 통한 골재노출이 가능하다. 표 7은 골재노출 장비의 제원을 나타낸 것이다.



그림 12. 골재노출장비 정면



그림 13. 골재노출장비 측면

표 7. 골재노출장비의 제원

내 용	
구 성	· 가로(폭) : 1.8m · 높이조절 기능 · 장비중량 추가 300kg(탈부착가능)
브러쉬	· 와이어 브러쉬 · 직경 : 0.5mm · 브러쉬 길이 50mm · 회전속도 : 71.2rpm
진행속도	· 현장적용

4.3. 시험시공 절차

소입경 골재노출 콘크리트포장의 시험시공은 총 연장 114m에 대하여 실시하였으며, 초기 콘크리트 타설 및 다짐은 기존 콘크리트 포장 장비를 활용하였다. 콘크리트 타설 중 작업성 및 콘크리트 강도를 확인하기 위하여 시험시공 114m를 5개 구간으로 구분하여 슬럼프, 공기량 측정 및 강도 시험편을 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 15와 같이 응결지연제 분사장비를 활용하여 300g/m²의 지연제를 살포하였다.



그림 14. 콘크리트 포설



그림 15. 응결지연제 분사

초기양생은 대기양생을 실시하였으며, 골재노출 시기와 중복을 피하기 위하여 건식 줄눈 절삭을 실시하였다.



그림 16. 건식 줄눈 절삭



그림 17. 초기 양생

그림 18은 골재노출장비를 활용한 골재노출 과정을 나타낸 것이다. 현장에서 적정수준의 노면조직 깊이 및 노출도를 확보하고 공용성을 증대시키기 위하여 통하여 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 19는 완공된 소입경 골재노출 콘크리트포장의 표면조직을 나타내었다.



그림 18. 골재노출장비를 활용한 골재노출



그림 19. 콘크리트포장 표면조직

5. 초기 공용성 평가

소입경 골재노출 콘크리트포장의 초기 공용성 평가는 타설 후 충분한 양생기간이 지난 2009년 5월 13일에 실시하였다. 초기 공용성 평가 항목은 소입경 골재노출의 표면조직 특성을 평가하기 위한 노출도 및 노면조직깊이와 공용성 평가 항목인 소음, 미끄럼저항 및 평탄성을 측정하였다. 또한 초기 공용성 평가와 함께 시험시공 시 제작한 강도 시편을 통하여 압축 및 휨강도를 측정하였으며, 7.6m Profiler를 활용한 평탄성(PrI) 및 Locked Wheel Trailer를 활용한 미끄럼저항(SN₄₀)을 측정하였다. 초기 공용성 평가를 위한 시험 항목은 표 8과 같다.

표 8. 공용성 평가를 위한 실험 항목 및 기준

항 목	실험방법	단 위	기 준	비 고	
압축강도	KS F 2405	MPa	-	도로공사 전문시방서	
휨강도	KS F 2408	MPa	4.5 이상		
평탄성(PrI)	KS F 2373	cm/km	16 이하		
미끄럼 저항	Locked Wheel Trailer	ASTM E 274	SN ₄₀	35	고속도로 미끄럼저항 관리기준
	British Pendulum Tester	ASTM E 303-93	BPN	65이상	소입경 골재노 출 콘크리트포 장의 품질관리 기준(강릉원주 대, 2008)
골재 노출도	Peak 법	개/25cm ²	30±5		
노면조직깊이(MTD)	ASTM E 965	mm	1.8±0.2mm		
소음	Statistical Pass-by	ISO11819-1	dB(A)	-	-
	Close Proximity Method	ISO/CD 11819-2	dB(A)	-	-

5.1. 표면조직 특성

그림 20 및 그림 21은 소입경 골재노출 콘크리트포장의 표면조직 특성을 측정하는 과정을 나타낸 것으로 적정수준의 MTD 및 노출도를 확보해야 한다. 측정 결과 표 9에서 나타낸 것과 같이 강릉원주대에서 제시한 품질관리기준에는 만족



그림 20. MTD 측정



그림 21. 골재노출도 측정

표 9. 표면조직 특성 측정 결과

시험항목	측정값	시험법
MTD	평균 1.6mm	Sand Patching Method
골재 노출도	평균 28개/25cm ²	Peak Method
평탄성(PrI)	6.3cm/km	7.6m Profile meter

하나 다소 적은 수준을 확보하였다. 또한 7.6m Profile meter를 이용한 평탄성 측정 결과 PrI값이 6.3cm/km를 나타내어 도로공사 전문시방서의 기준을 만족하는 우수한 평탄성을 확보하였다.

5.2. 강도특성

강도 특성을 평가하기 위하여 압축강도는 KS F 2405기준에 따라 $\phi 100\text{mm} \times 200\text{mm}$ 의 실린더형 공시체를 휨강도는 KS F2408에 따라 $100 \times 100 \times 400\text{mm}$ 의 공시체를 제작하였다. 표 10은 재령 7일 및 28일 강도 및 탄성계수 측정값을 나타낸 것으로 재령 28일 압축강도 및 휨강도는 평균 43.5MPa와 7.7MPa가 측정되어 도로공사 전문시방서를 만족하였다. 일반 콘크리트포장과 비교하여 우수한 강도 특성을 나타내며, 소입경 골재노출 콘크리트포장의 특성상 굵은 골재의 탈리현상을 방지하기 위한 적정 강도로 판단되었다.

표 10. 소입경 골재노출포장의 강도 특성

구 분	7일 압축강도(MPa) (탄성계수)	7일 휨강도 (MPa)	28일 압축강도(MPa) (탄성계수)	28일 휨강도 (MPa)
시편 1	35.8 (34.7GPa)	6.5	39.7 (36.7GPa)	7.9
시편 2	34.4 (34.0GPa)	5.7	46.3 (36.4GPa)	7.6
시편 3	36.9 (38.4GPa)	6.2	45.2 (36.7GPa)	7.5
평균	35.7 (35.7GPa)	6.1	43.5 (36.6GPa)	7.7

5.3. 미끄럼 저항 측정

미끄럼 저항은 차량의 제동 시 포장 표면과 타이어의 접지면이 서로 지지하려는 힘으로 젖은 상태에서 차량의 타이어와 노면의 마찰력을 측정한다. 가장 일반적으로 사용되는 표준방법은 ASTM E-303 “Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Test”에 규정된 BPT를 이용하는 방법과, ASTM E 274 “Standard Test method for Skid Resistance of Paved Surfaces Using a Full-Scale Tire”에 규정된 Locked Wheel Trailer를 이용하는 방법이 있다.

BPN 측정결과 평균 53을 나타내어 소입경 골재노출 콘크리트포장의 품질관리 기준에는 만족하지 못하였으나, Locked Wheel Trailer를 이용한 SN₄₀ 측정 골재노출의 경우 평균 51, 횡방향타이닝의 경우 평균 53을 나타내어 고속도로 미끄럼저항 관리기준에 만족하였다. 또한 기존 강릉원주대의 연구결과 골재노출의 경우 횡방향 타이닝 공법에 비해 공용에 따른 미끄럼저항값 감소폭이 낮아 장기적인 내구성이 우수할 것으로 판단된다.



그림 22. BPT



그림 23. Locked Wheel Trailer

5.4. 소음 측정

소음측정은 ISO 11819-1, "Acoustics-Measurement of the Influence of Road Surfaces on Traffic Noise-Part 1. The Statistical Pass-by Method"에 의거한 길어깨 소음측정법(Pass-by 측정법) 및 ISO/CD 11819-2, "Acoustics - Measurement of the Influence of Road Surfaces on Traffic Noise - Part 2. The Close Proximity Method"에 의거한 근접 소음측정법(Close Proximity Method) 2가지에 대하여 실시하였다.

Statistical Pass-by Method의 경우 주행차로의 중앙을 기준으로 25ft(7.5m) 떨어진 지점에 노면을 기준으로 4ft(1.2m) 높이에 마이크론을 설치하여 주행차량의 소음을 측정하는 방법으로 180대의 주행차량(승용차 100대, dual-axle·multi-axle 트럭 80대)의 속도와 소음특성을 조사하여 SPBI(Statistical Pass-by Index)를 산정하는 방식이나, 현장 특성상 공용전의 고속도로인 점을 감안하여 Controlled Pass-by를 병행하여 실시하였다. Controlled Pass-by의 경우 소음 측정 시 차량은 마이크론의 전후 10m 위치에서 시동을 끄고 기어를 중립으로 유지하여 기계소음의 발생을 최대한 억제하고 있으나, 주행 안전을 고려하여 기어 중립상태에서 소음을 측정하였다. 시험시공 장소의 경우 반경 50m 이내에 측정에 장애가 되는 요소가 없으므로 실험 기준에 만족하였다.

Close Proximity Method는 트레일러 내에 마이크론을 설치하여 차량에서 발생하는 엔진, 배기 등의 소음을 최소화하여 타이어/노면의 소음을 측정하는 방법이다. 마이크론은 총 4개를 설치하였으나, 소음 분석 시 전방을 기준으로 135° 위치에 설치된 마이크론을 사용하였다.

Pass-by 측정법의 경우 승용차, 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.



그림 24. 길어깨 소음 측정



그림 25. CPX Trailer를 이용한 근접소음 측정

측정 결과를 그림 26~29에 나타내었다. 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 속도에서 소입경 골재노출 콘크리트포장의 소음이 횡방향 타이닝콘크리트포장에 비해 2~4dB(A) 감소하는 수치를 보였다. 또한 CPX 소음 측정 결과에서도 80km/h의 속도에서 3dB(A) 감소하였다. 횡방향 타이닝에 비해 소입경 골재노출의 경우 소음 감소 현상이 뚜렷하게 나타났으나, 당초 예상한 5dB(A)이상의 소음저감

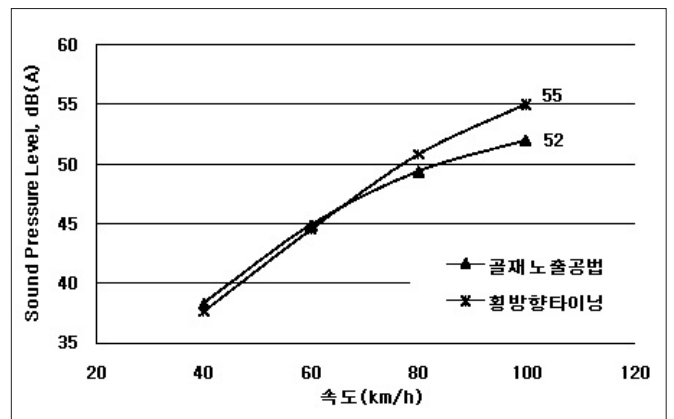


그림 26. Pass-by 소음측정 결과(승용차)

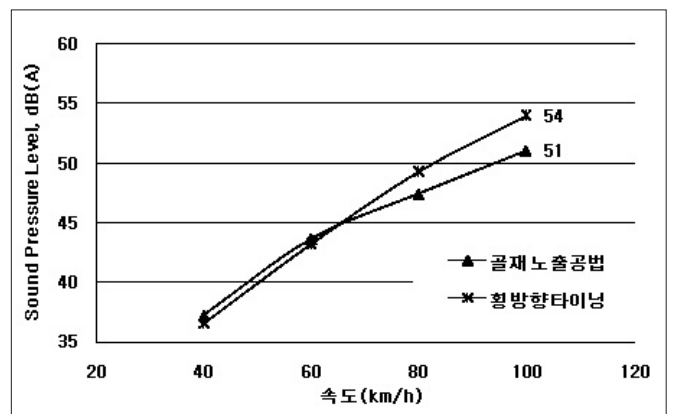


그림 27. Pass-by 소음측정 결과(승합차)

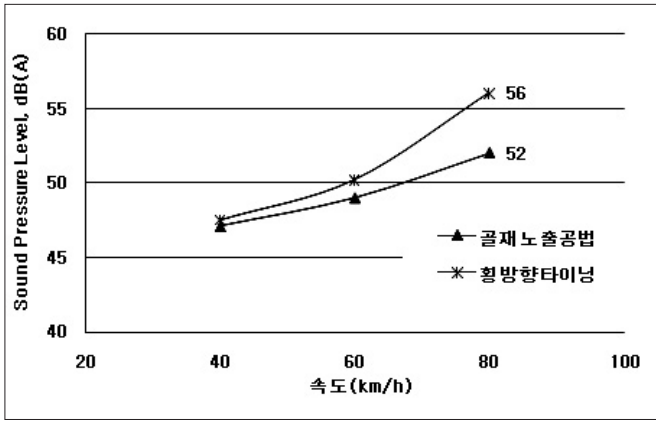


그림 28. Pass-by 소음측정 결과(대형차)

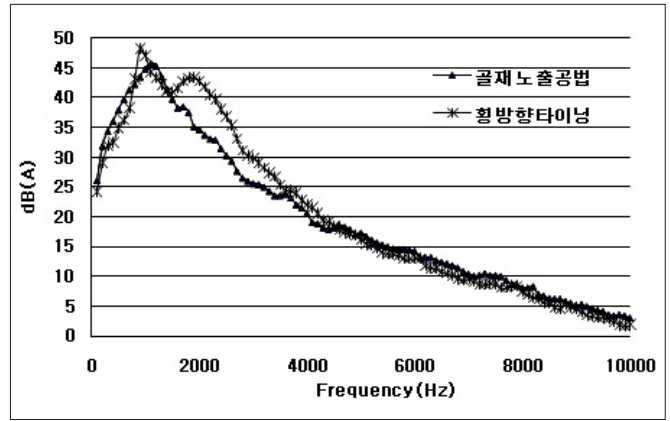


그림 30. Frequency 분석(승용차)

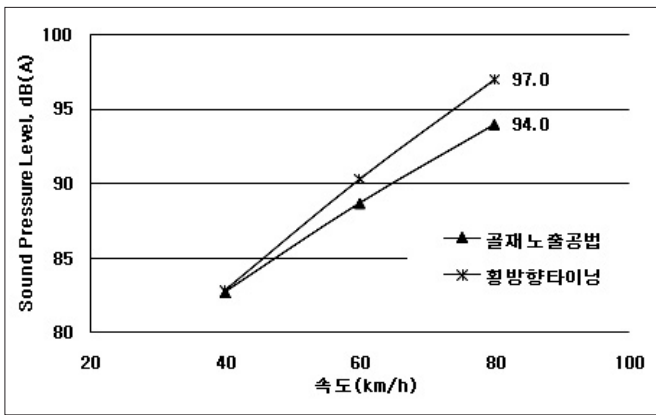


그림 29. CPX 소음 측정 결과

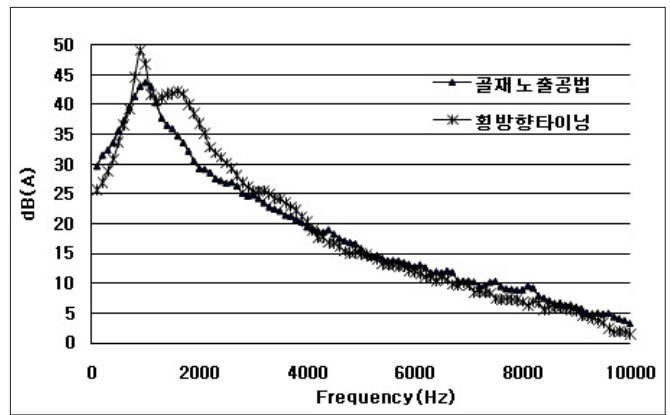


그림 31. Frequency 분석(승합차)

효과를 나타내지는 못했다. 이는 골재 노출 시 골재 탈리 현상을 우려하여 골재노출 시기를 조금 지연시켰으며, 이로 인하여 다소 적은 노면조직 깊이를 확보한 것이 원인으로 파악된다.

그림 30~32는 Frequency(Hz)에 대한 Sound Pressure Level, dB(A)을 분석한 결과이다. 부가적인 소음 특성 중 특정 고주파수대(1,000Hz내외)에서 Noise Peak가 일어나는 경우가 있으며, 이를 Whine 현상이라 한다. Whine 현상이 발생하면 운전자는 단절된 형식의 소음으로 인한 심리적 불안감과 불쾌감을 느끼므로 저소음 콘크리트포장 표면처리공법은 이러한 Whine 현상의 발생을 최소화해야 한다.

소음의 주파수 분석 결과, 승용차 및 승합차의 경우 소입경 골재노출 콘크리트포장에서 1,000Hz 대역의 소음이 감소한 것으로 나타났으며, 이로 인하여 소입경 골재노출 콘크리트포장의 경우 Whine 현상이 감소한 것으로 판단된다. 대형차량의 경우 주파수분석 결과 Whine 현상의 감소를 확인하지 못하였으나, 이는 대형차량의 원천적 기계 소음 및 대형타이어의 트레드 형상이 원인인 것으로 판단되었다.

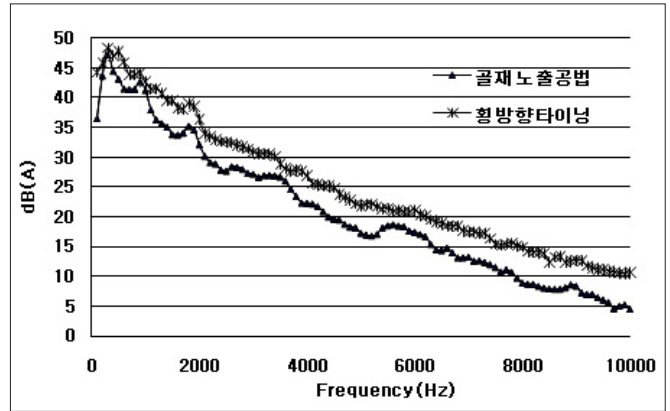


그림 32. Frequency 분석(대형차)

6. 결론

본 연구에서는 적정 강도, 저소음 및 적정 미끄럼저항을 확보할 수 있는 소입경 골재노출 콘크리트포장에 대한 기존 강릉원주대학교의 연구를 토대로 하여 현장 시험시공을 실시하였으며, 소입경 골재노출 콘크리트포장의 초기 기능성 및 공용성 평가를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- 1) 소입경 골재노출 콘크리트포장은 일반적인 콘크리트포장 공법과 동일하게 시공이 가능하며, 시방배합에 의한 현장 공기량 및 슬럼프 측정결과 공기량은 5.8%, 슬럼프는 25mm로 나타났다. 이를 통하여 동결융해에 의한 포장 파손의 발생이 적을 것으로 판단되며, 포장 장비의 작업성을 확보한 것으로 나타났다.
- 2) 소입경 골재노출 콘크리트포장의 경우 상이한 배합비로 인하여 일반 콘크리트포장과의 압축강도 및 휨강도 비교 시 우수한 강도특성을 나타내었다. 또한 굵은 골재의 탈리현상을 방지하기 위한 적정 강도를 확보한 것으로 판단되었다.
- 3) 포장 표면조직 특성을 측정한 결과 소입경 골재노출 콘크리트포장이 적정수준의 MTD, 노출도 및 우수한 평탄성을 확보하여 각각의 기준에 만족하는 결과를 얻었다.
- 4) 소입경 골재노출 콘크리트포장의 초기 미끄럼저항은 횡방향 타이닝과 유사하게 나타났으며, 기존 강릉원주대의 연구결과 골재노출의 공용에 따른 미끄럼저항 감소가 상대적으로 느린 것으로 나타나 내구성이 우수할 것으로 판단된다.
- 5) 소음측정 결과 80km/h 이상의 고속주행 시 소입경 골재노출 콘크리트포장의 경우 횡방향 타이닝콘크리트포장과 비교 시 약 2~4dB(A)의 소음 저감효과를 확인하였다. 또한, 소음에 대한 주파수 분석 결과 1,000Hz 대역의 소음이 감소하였으며, 이를 통하여 소입경 골재노출 콘크리트포장의 Whine 현상이 감소한 것으로 나타났다.
- 6) 현장 시험시공에 따른 연구결과에 의하여 국내 적용을 위한 소입경 골재노출 콘크리트포장의 최적 배합 및 노출기법을 검증하였으며, 현장 적용을 위하여 개발된 응결지연제 분사장비 및 골재노출장비의 시공 효율성을 확인하였다.

감사의 글

본 논문은 국토해양부의 건설핵심기술연구개발사업인 '장수명·친환경 도로포장 재료 및 설계시공기술 개발'의 연구 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- 김영규, (2008), "소입경 골재노출 콘크리트포장의 최적 배합 및 노출기법에 관한 연구", 강릉대학교 석사학위논문
- 이승우 외, (2004), "콘크리트포장 노면의 마모에 따른 미끄럼저항 변화에 측", 대한토목학회 논문집, pp.737~742
- 이승우, (2006), "소음저감을 위한 골재노출 포장공법의 적용", 한국도로학회지 특집기사, pp.16~29
- 이승우, 김영규, 유태석, 김형배, (2009), "소입경 골재노출 콘크리트포장의 최적 배합 및 노출기법에 관한 연구", 한국도로학회 논문집, 제 11권 2호, pp. 1~9
- BR h.c Prof. Dipl.-Ing. Dr. Hermann Sommer, (1998), "Longtime Experience with Exposed Aggregate Surface in Austria", Wien, Austria
- Chevallier, Raymond., (1992), "Report on the 1992 US Tour of European Concrete Highways", University of California
- H. Sommer, (1992) "Exposed Aggregate Concrete In Austria"
- ISO 11819-1, "Acoustics - Measurement of the Influence of Road Surfaces on Traffic Noise - Part 1. The Statistical Pass-by Method", ISO, 1997
- ISO/CD 11819-2, "Acoustics - Measurement of the Influence of Road Surfaces on Traffic Noise - Part 2. The Close Proximity Method", ISO, 2000

접 수 일 : 2009. 12. 24
 심 사 일 : 2009. 12. 27
 심사완료일 : 2010. 3. 9