

시험시공을 통한 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 배합, 시공 및 품질관리 기준 제안

A Suggestion of Mix, Construction Method and Quality Control Criteria of Fine-size Exposed Aggregate PCC Pavement by Experimental Construction

이 승 우 Lee, Seung Woo
김 영 규 Kim Young Kyu
최 돈 화 Choi, Don Hwa
심 재 원 Shim Jae Won
유 태 석 Yoo Tae Seok

정회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 부교수 · 공학박사 (E-mail : swl@gwnu.ac.kr)
정회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 박사과정 (E-mail : kingdom1980@nate.com)
정회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 석사과정 (E-mail : ehshk6067@nate.com)
정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 · 공학박사 (E-mail : this2pass@ex.co.kr)
정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 · 공학박사 (E-mail : taeseok@ex.co.kr)

ABSTRACT

Surface of fine-size exposed aggregate portland cement concrete pavements(FS-EAPCC) is consist by exposed coarse aggregate to remove upper 2~3mm mortar of concrete slabs. Advantages of FS-EAPCC are maintaining low-noise and adequate skid-resistance level during the performance period. However, FS-EAPCC is required rational management criteria for field application, since it is early stage for application. Design construction and quality control criteria of FS-EAPCC was temporary laboratory tests which including optimum mix and exposing method, selection of adequate aggregate, resistance against, environmental loading and etc. However, these criteria need to be validated base on field application. In this study, experimental constructions were performed and construction procedure and quality control criteria were suggested based on the performance of the FS-EAPCC.

KEYWORDS

fine-size exposed aggregate PCC pavements, experimental construction, mix design, construction method, quality control

요지

소입경 골재노출콘크리트포장은 콘크리트 포장 시공 시 포장표면에 적정 응결지연제를 분사한 후 표면 모르타르를 제거하여 굵은 골재를 노출시킴으로서 표면조직을 형성하는 공법으로써 기존 콘크리트 포장의 소음문제를 해결할 수 있는 저소음 공법이다. 소입경 골재노출 콘크리트 포장은 강도를 크게 개선할 뿐만 아니라 소음저감 효과 및 우수한 미끄럼 저항성을 확보하여 도로이용자의 안정성을 확보할 수 있는 공법이다. 현재 국외 도로 선진국의 경우 골재노출 포장의 상용화가 이루어진 상태이지만 국내의 경우는 실용화 초기단계이기 때문에 현장적용을 위해서는 국내 여건에 맞는 합리적인 관리 기준이 필요하다. 이를 위하여 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 최적배합 및 노출기법 연구, 굵은 골재의 선정 및 입도 설계, 환경하중 저항성 평가 등 실내시험을 수행하였으며, 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 시공을 위한 시공 장비를 제작하였다. 따라서 본 연구에서는 시험시공을 통해 도출된 결과와 기존 실내시험에서 도출된 결과를 비교 분석하였으며, 시험시공 분석을 통하여 골재 탈리 방지, 강도 및 내구성 확보를 위한 표준배합을 제시하였다. 환경 및 시공조건이 상이한 3차레 시험시공 구간을 선정하여 시공현장여건에 유동성으로 대처할 수 있는 시공 기술 및 시공 기준을 제시하였다. 또한 장·단기 공용성 평가를 통하여 도로 포장의 기능성 측면에서 우수한 소음저감 및 미끄럼 저항성을 확보할 수 있는 노면조직의 품질관리 기준을 제시하였다.

핵심용어

소입경 골재노출 콘크리트 포장, 시험 시공, 배합 설계, 시공 방법, 품질 관리

1. 서론

도로연장은 2001년 91,396km에서 2008년 104,236km로 11.3% 증가하였으며, 도로건설에 지속적인 투자로 인해 더욱더 증가되고 있다. 고속도로 포장은 초기에는 대부분 아스팔트 포장으로 시공되었으나, 중차량에 대한 지지력이 우수하고 장기간의 공용성을 지닌 것으로 보고되는 콘크리트 포장은 우수한 내구성으로 인한 유지보수비의 절감을 통해서 콘크리트 포장의 연장이 지속적으로 증가하고 있다. 하지만 콘크리트 포장은 일반적으로 아스팔트 포장에 비해 4~6dB(A) 정도의 소음 발생량이 높으며, 주행성이 취약하다는 단점을 가지고 있다. 특히 최근 도로의 고속화 및 도로 이용자의 높은 서비스 수준의 요구로 인해 도로변 소음피해에 따른 분쟁이 증가하여 콘크리트 포장의 교통소음을 줄이기 위한 노력이 요구되어 왔다. 일부 구간에서는 소음을 저감하기 위하여 방음벽을 설치하고 있으나, 방음벽의 경우 고층빌딩에서는 소음의 저감효과가 감소될 뿐만 아니라 연도로 접근할 수 있는 일반도로에서는 적용이 한정된다는 문제점을 안고 있다. 이에 따라 일반도로를 불문하고 더욱 광범위하게 적용할 수 있는 대책으로 저소음 포장이 대안으로 평가되고 있다.

국내에서 적용되고 있는 저소음 포장공법에는 종방향 타이닝, 그루빙, 다이아몬드 그라인딩 등 여러가지 표면처리 공법이 적용되고 있다. 하지만 이와 같은 저소음 포장공법은 성능의 지속성 측면에서 장기간 소음저감 효과 및 미끄럼 저항성을 유지하기가 어렵다. 소입경 골재노출 콘크리트포장은 콘크리트 포장 시공 시 포장 표면에 적정 응결지연제를 분사한 후 표면 모르타르를 제거하여 굵은 골재를 노출시킴으로서 표면조직을 형성하는 공법으로써 기존 포장의 강도 개선과 함께 적정 미끄럼저항성을 확보하면서도 콘크리트 포장의 단점인 소음문제를 해결할 수 있는 최적의 저소음 표면처리 방안으로 판단되고 있다(이승우 외, 2006).

이승우 등(2009)의 연구에서는 실내실험을 통하여 소입경 골재노출 공법 배합, 시공 및 품질관리 기준 연구를 진행하여 기준을 제시하였다. 하지만 소입경 골재노출 공법의 현장적용을 위해서는 현장에서 발생하는 재료 및 시공장비, 환경여건 등의 현장 유동성을 고려해야 한다. 따라서 본 연구에서는 소입경 골재노출 공법의 성공적인 시공을 위하여 실내실험을 통한 연구결과를 검토하였으며, 3차에 걸친 시험시공을 통하여 도출된 현장배합, 시공방법 및 노면조직 특성 등의 결과를 이용하여 소입경 골재노출 공법의 적용을 위한 배합, 시공 및

품질관리 기준을 제안하였다.

2. 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 특성 및 연구동향

2.1. 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 특성

골재노출공법은 현재까지 콘크리트 포장의 주행소음을 줄이는데 가장 큰 장점을 지니고 있는 공법으로 평가되고 있다. 특히, 굵은 골재의 최대입경을 소입경으로 할수록 분진발생 억제, 미끄럼저항성 향상 및 저소음효과가 향상된다. 소입경 골재노출 콘크리트 포장은 콘크리트 표면처리공법 중에서 소음 저감효과가 뛰어나며 횡방향 타이닝 공법과 비교하여 5~7dB(A) 정도 저감효과를 나타낸다. 또한 굵은 골재 노출에 따른 임의의 형태로 표면조직을 형성하여 고주파대역의 소음발생을 원천적으로 배제할 수 있는 친환경적인 저소음 포장공법이다(이승우 외, 2006).

하지만 소입경 골재노출 콘크리트 포장은 소음과 미끄럼저항을 동시에 만족시켜야 하기 때문에 기술적으로 쉬운 공법이 아니다. 일반적인 콘크리트포장은 강도에 초점을 맞춘 배합설계를 실시하지만 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 경우 강도, 미끄럼저항 및 저소음 특성을 유지해야 한다. 또한 굵은 골재의 노출은 응결지연제 분사 및 적정 시간이 지난 후 표면 모르타르를 제거해야 한다. 하지만 다양한 시공 조건 및 환경 변화에 의해 노출시기의 결정이 어려우며 콘크리트의 명확한 물리적 특성을 필요로 한다(김영규, 2010).

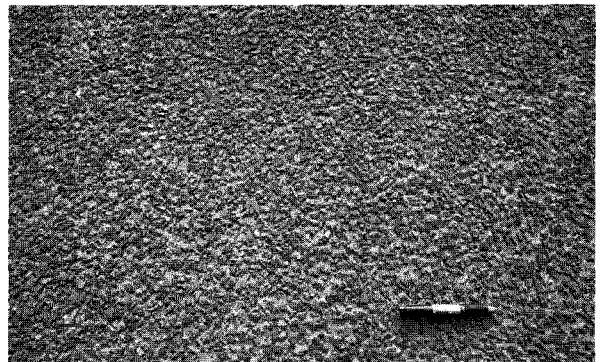


그림 1. 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 표면조직

2.2. 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 국내외 연구 동향

2.2.1. 국외의 배합설계 및 품질관리 기준

골재노출 콘크리트 포장의 시방배합에 대한 주요 특

징으로는 대부분의 국가에서 물/시멘트 비를 40% 이하로 낮추었으며, 단위 시멘트량을 400kg/m³ 이상으로 유지하고 잔골재율을 낮춘 것을 알 수 있다. 이는 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 적정 강도 발현과 함께 콘크리트 배합 후 포설 시 굽은 골재 가라앉음 현상을 배제하고 적정 슬럼프를 유지하기 위함이다.

표 1. 국가별 골재노출 콘크리트 포장의 시방배합

국가	구분	굽은골재 최대치수 (mm)	W/C (%)	s/a (%)	단위량					
					물 W	시멘트 C	잔골재 S	굽은골재 G	AE제	
오스트리아	상부	8	38.0	26.7	171	450	470	1,290	C×0.4%	
	하부	45	42.7	33.3	192	450	580	1,160	C×0.4%	
벨기에	상부	7	42.4	41.3	180	425	700	995	-	
영국	M13	상부	10	40	26.6	160	400	477	1,313	1.78
		하부	20	45	28	144	320	550	1,061	0.95
	A50	상부	10	37.7	22	145	385	398	1,412	1.32
		하부	20	48.5	32.3	165	340	624	917	-
일본	나고야현	상부	10	41	30	173	422	501	1,196	4.49
		하부	25	41	39.8	160	390	686	1,067	4.15
	도치키현	상부	13	48.4	35.6	138	285	655	1,254	4.28
		하부	25	45.4	40.1	138	304	730	1,158	3.04
	나가노현	상부	13	40	32.5	160	400	573	1,213	4.8
		하부	40	42.1	34.8	135	321	660	1,241	3.85

유럽 및 일본 등 소입경 골재노출 콘크리트 포장 공법을 사용하는 국가들은 소입경 골재노출 콘크리트의 관리 기준으로 평균노면조각깊이(MTD) 및 골재 노출도를 기준으로 목표치로 설정하고 있으며, 이는 저소음 및 미끄럼저항에 중요한 요소이기 때문이다. 국외의 골재노출 콘크리트 포장의 품질관리를 위한 기준은 다음 표 2와 같으며, 이와 같이 국가마다 시공 및 환경조건의 차이로 인하여 관리기준이 상이하며 국내 적용을 위해서는 국내 특성에 맞게 다양한 조건에서의 실험을 통하여 기준을 제시할 필요가 있다.

표 2. 국가별 골재노출 콘크리트 포장의 관리기준

	관리기준	목표치	시험법
오스트리아	평균조각깊이(MTD)	0.8~1.0mm	Sand Patch Method
	골재 노출도	60개/25cm ²	Peak법
영국	평균조각깊이(MTD)	1.5±0.25mm	Sand Patch Method
일본	평균조각깊이(MTD)	0.7~1.0mm	Sand Patch Method
	골재 노출도	55개/25cm ²	Peak법

2.2.2. 국내의 소입경 골재노출 콘크리트 포장 기준제시를 위한 연구

성공적인 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 시공을 위해서는 정량적인 시공기술 뿐만 아니라 합리적인 품질관리기술이 동반되어야 한다. 따라서 이승우 (2009)의 연구에서는 다양한 변수에 대한 신뢰성 있는 데이터를 측정·분석하여 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 최적 배합 및 노출방안을 연구했으며 강도, 저소음 및 적정 미끄럼저항을 확보하기 위하여 노면조직의 품질관리 기준(안)을 제시하였다.

1) 최적 배합비 산정 연구

일반적인 콘크리트 포장의 배합은 강도에 초점을 맞게 배합설계를 실시하지만 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 경우는 골재 탈리를 방지하기 위한 소요강도 확보뿐만 아니라 적정 미끄럼저항 및 소음저감 효과 등 기능성 측면을 고려해야 한다.

저소음 및 적정미끄럼저항 확보를 위한 주요 영향인자인 노출도 및 평균조각깊이는 굽은 골재의 최대치수, 입도 및 잔골재율에 영향을 받는다. 굽은 골재의 최대치수는 소입경일수록 소음저감 효과 및 적정 미끄럼저항의 기능성 측면이 우수하나 추가적인 골재 파쇄로 인해 경제성이 떨어지며 골재 확보에 어려움이 있다. 따라서 선행 연구에서는 강도, 소음, 미끄럼저항 등과 같은 도로의 기능성과 경제성을 고려하여 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 적정 굽은 골재 최대치수를 13mm로 선정하였다. 포장용 콘크리트의 굽은 골재 입도기준에 준하여 굽은 골재 13mm에 대한 입도 설계를 실시하였으며, 콘크리트 배합 시에는 표면에 균일하게 많은 골재를 노출되도록 잔골재율을 30%로 줄여 굽은 골재 용적률을 크게 하였다(이승우 외, 2009).

또한 교통개방 시 굽은 골재 탈리를 방지하기 위하여 단위 시멘트량을 333kg/m³에서 400kg/m³로 상향조정하여 강도를 확보하였으며 W/C비 변화에 따른 환경하중저항성 평가 및 혼화제 사용량을 조정하여 내구성 및 시공성을 향상시켰다.

소입경 골재노출 콘크리트 포장의 강도, 미끄럼저항 및 소음저감 효과를 고려하여 도출된 표준 배합비는 표 3과 같다.

표 3. 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 표준 배합비

G _{max} (mm)	슬럼프 범위 (mm)	공기량 범위 (%)	W/C (%)	S/a (%)	단위량(kg/m ³)				
					W	C	S	G	혼화제
13mm	40	5~7	40	30	160	400	536	1,262	AE감수제 C×0.5%

2) 최적 노출 방안 연구

소입경 골재노출 콘크리트 포장은 콘크리트 포설 후 지연제를 분사하고 굵은 골재를 노출시키는 과정이 중요하다. 이는 노출시기가 늦으면 노출도가 떨어지게 되고, 너무 이르면 콘크리트가 경화되기 전에 굵은 골재가 떨어져 나가는 탈리 현상이 발생하기 때문이다. 따라서 선행연구 시 지연제 종류, 살포농도, 살포량 및 노출 시기를 변화시켜 골재를 노출 시킨 후 노출도, 평균조직깊이 및 미끄럼저항 변화를 측정하여 실내 최적 노출시기를 산정하였으며, 그 결과를 표 4와 같이 제시하였다.

표 4. 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 최적 노출 잠정안 (이승우 외, 2009)

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

3) 실내실험을 통한 품질관리 기준 제시

소입경 골재노출 콘크리트 포장에 대한 품질관리기준은 평균조직깊이(MTD), 굵은 골재의 노출도 및 미끄럼저항값에 목표치로 두고 있다. 이는 평균조직깊이 및 노출도가 저소음 및 적정 미끄럼저항을 유지하는데 중요한 요소이기 때문이다. 그러나 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 굵은 골재 최대치수에 따라 평균조직깊이, 굵은 골재 노출도 및 미끄럼저항값이 변화하기 때문에 국내적용을 위해서는 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 적절한 품질관리 기준이 필요하다. 따라서 선행연구에

표 5. 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 품질관리 잠정 기준안

굵은골재 최대치수	관리기준	시험법	기준값
13mm	평균 조직깊이(MTD)	Sand Patching 방법	1.8±0.5mm
	골재 노출도	Peak법	30±5개/25cm ² 이상
	미끄럼저항값 (BPN)	BPT 사용	50 이상

서는 실내실험을 통하여 MTD, BPN 및 노출도가 우수한 입도설계 및 배합을 실시하여 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 품질관리에 대한 잠정 기준을 표 5와 같이 제시하였다(이승우, 2009).

2.2.3. 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 국내 적용을 위한 시공기술 연구

1) 지연제 분사 장비의 개발

응결지연제 분사장비의 경우 구동속도 및 균질한 분사량을 유지해야하며, 유지보수가 용이한 구조로 제작하였다. 그림 2는 제작된 지연제 분사장비를 나타낸 것으로 가로 4.3m, 노출높이 조절이 가능하며, 분사량 300g/m²를 균질하게 분사할 수 있다. 지연제 분사장비는 대전~당진간 고속도로 시험시공을 통하여 장비의 성능을 확인하였으며, 2차 시험시공인 전주~광양간 고속도로에서는 양생제 분사장비의 보완을 통하여 지연제 분사를 실시한 결과 양생제 분사장비를 통하여 지연제 분사가 가능함을 확인하였다. 또한 전주~광양 시험시공 구간은 지연제 분사에 따른 시공비 절감을 위하여 양생제 분사장비로 지연제를 분사하였으며, 그림 3과 같이 사전에 양생제 분사장비의 분사량을 확인한 후 지연제를 분사한 결과 기존의 지연제 분사장비의 대체가 가능한 것을 확인하였다.

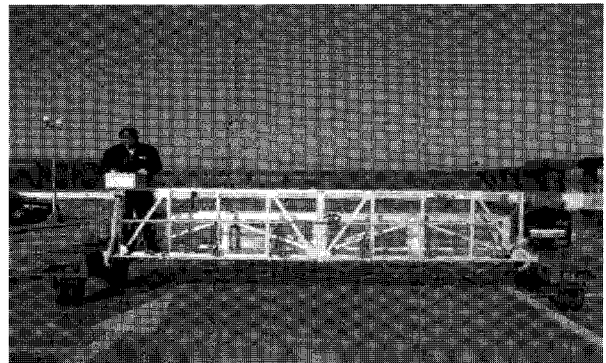


그림 2. 지연제 분사장비



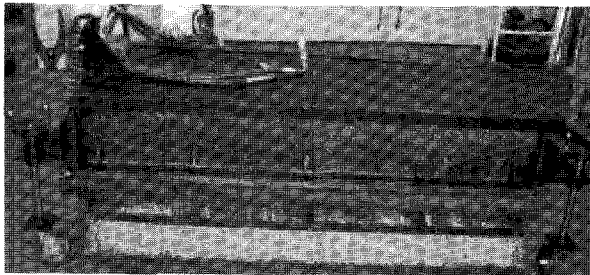
그림 3. 양생제 분사장비를 통한 지연제 분사

2) 골재노출장비의 개발

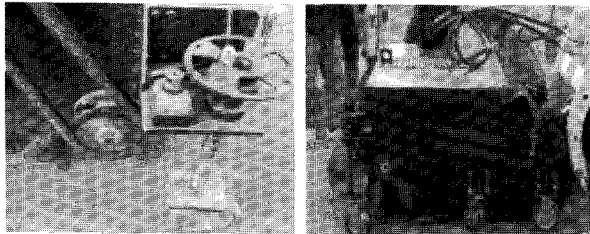
소입경 골재노출 포장의 적정 표면조직을 얻기 위해서는 대형골재노출장비의 회전속도 및 강선 굵기, 노출 브러쉬 길이의 산정이 필요하게 되었다. 따라서 골재노출장치와 유사한 브러쉬 형태의 간이 골재노출 시험 장비를 통하여 미끄럼저항 및 소음효과를 동시에 만족시킬 수 있는 평균노면조직깊이 형성이 가능한 브러쉬 길이 및 회전속도를 산정하였다. 산정 결과는 표 6과 같으며, 충분한 작업성을 가지면서 원활한 노출이 가능한 브러쉬 길이 및 노출횟수를 조정한 결과 브러쉬 노출길이 50mm, 공시체 이동속도가 0.36(km/h)에서 적절한 평균노면조직깊이 및 우수한 미끄럼 저항성을 확보할 수 있었다.

표 6. 간이 골재노출 시험장비 결과

브러쉬 길이(mm)	회전속도 (RPM)	공시체 이동속도 (km/h)	이동 방향	노출도 (개/25cm ²)	MTD (mm)	BPN
50	71.2	0.36	좌측(1회)	25.6	1.595	85.3
50	71.2	0.36	왕복	24.3	1.636	84.3
50	71.2	0.036	좌측(1회)	22.3	1.928	84.3
50	71.2	0.036	왕복	21	1.974	83.7
55	71.2	0.36	왕복	24	2.210	85

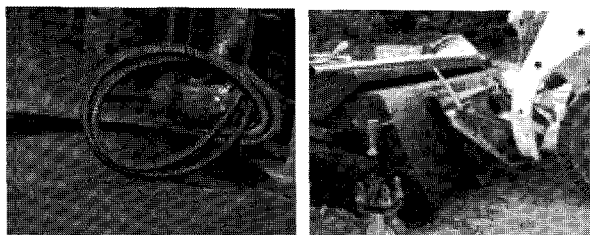


(a) 정면도



(b) 높이조절장치

(c) 완충장치



(d) 유압모터

(e) 결속장치

그림 4. 대형골재노출장치 및 구성장치

대형골재노출장비는 원활한 시공성을 위하여 폭은 1.8m로 제작되었으며, 장비의 양 측면은 높이조절이 가능하게 하여 포장노면의 구배변화에 의한 골재노출 포장의 노면조직 높이를 일정하게 유지시킬 수 있다. 또한 완충장치로 장비의 진동으로 인한 골재 부서짐 및 탈리를 최소화하며, 불규칙한 포장면에서 일정한 높이의 골재노출이 가능할 뿐만 아니라 노출시기가 지연됨에 따른 콘크리트 포장의 표면에 골재노출이 원활하게 이루어지도록 장비의 무게를 증·경감하도록 제작하였다.

3. 소입경 골재노출 콘크리트 포장 배합, 시공 및 품질관리 기준 제시를 위한 연구 전략

소입경 골재노출 콘크리트 포장의 성공적인 국내 도입을 위해서는 합리적인 배합, 시공 및 품질관리 기준의 제시가 필요하다. 본 연구에서는 기존 선행연구인 “소입경 골재노출 콘크리트 포장의 최적 배합 및 노출기법에 관한 연구(이승우 외, 2009)”에서 도출된 시공방법 및 관리기준을 토대로 시험시공 현장에 적용하여 현장 여건에 유동성으로 대처할 수 있는 시공 기술 및 시공 기준을 제시하고자 한다.

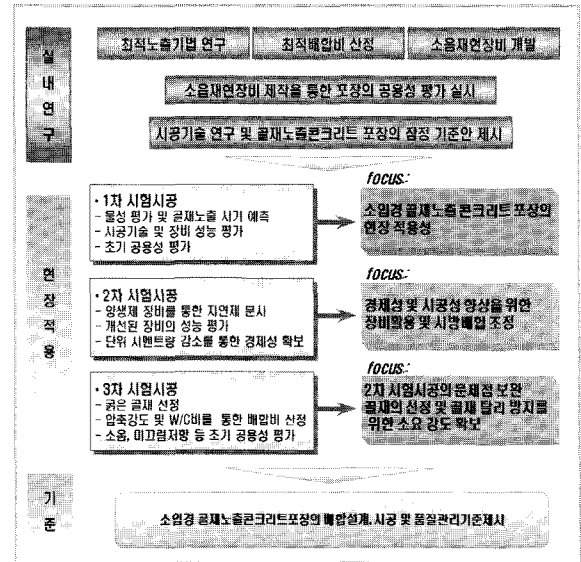


그림 5. 배합, 시공 및 품질관리 기준 제안을 위한 흐름도

4. 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 시험시공

4.1 시험시공 개요 및 절차

4.1.1 시험시공의 개요

본 연구에서는 소음저감효과 및 적정 미끄럼저항성을 갖는 소입경 골재노출 콘크리트 포장에 대하여 현장 적

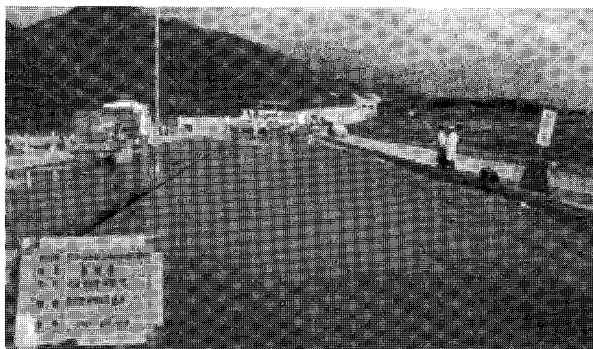
용성, 품질 및 시공관리 특성을 분석하기 위하여 3차례에 걸친 시험시공을 실시하였다. 1차 시험시공은 2009년 4월 말에 대전~당진 고속도로에, 2차 및 3차 시험시공은 2010년 4월 초 및 8월 중순에 전주~광양 고속도로에서 실시하였으며, 현재 1차(1차로 약 110m) 및 3차(2차로 약 70m) 시험시공 구간이 공용 중에 있다.



(a) 1차 시험시공



(b) 2차 시험시공



(c) 3차 시험시공

그림 6. 시험시공 구간 전경

표 7. 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 시험 시공별 시방 배합비

구분	G _{max} (mm)	슬럼프 범위 (mm)	공기량 범위 (%)	W/C (%)	S/a (%)	단위량(kg/m ³)					혼화제
						W	C	S	G		
1차	13	40	4	40	30	160	400	532	1,287		AE감수제 C×0.5%
2차	13	40	4	40	30	145	362	530	1,266		AE감수제 C×0.5%
3차	13	40	4	38	30	155	410	513	1,181		AE감수제 C×0.5%

4.1.2. 시험시공의 절차

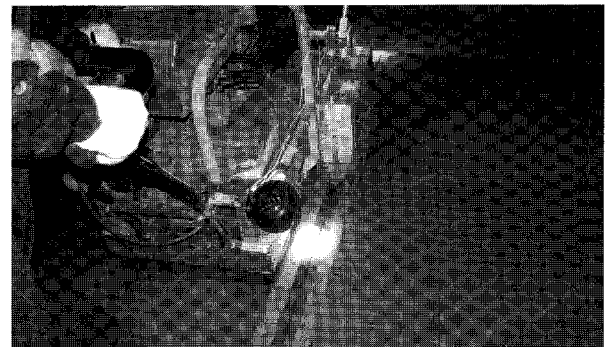
소입경 골재노출공법의 시공공정은 일반적인 콘크리트 포장공법과 다르게 추가적으로 지연제 분사 및 골재노출공정이 포함되어 있으며 다음 그림 7과 같은 시공 절차로 진행된다.



(a) 시험시공 포설 및 다짐



(b) 지연제 분사



(c) 건식 줄눈절삭



(d) 장비 골재노출

그림 7. 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 시공 절차

- 1) 콘크리트 포설은 Slip-form Paver를 이용하여 포설을 실시하였다.
- 2) 지연제의 분사는 보통 콘크리트 타설 후 표면 수분에 의해 지연제의 성능이 달라질 수 있어 수분이 없을 때 실시하였으며, 지연제 분사농도 및 분사량은 실내에서 도출된 최적노출방안 연구결과인 물과 지연제 비율을 1:1농도와 분사량 300g/m²로 하여 포장표면에 면적당 균질하게 분사하였다.
- 3) Saw-cut은 1차 시험시공에서는 습식 Saw-cut시 물의 과다한 사용으로 인해 포장면의 파손 방지 및 골재노출과 습식 Saw-cut 타이밍이 겹치는 것을 방지하기 위하여 건식 Saw-cut으로 하였다. 하지만 건식 Saw-cut결과 미 경화된 콘크리트에서 커팅장비의 무게로 인해 줄눈부에 바퀴 눌림 현상이 발생하였으며, 이에 따라 2차 및 3차 골재노출 시험시공 시에는 습식 Saw-cut을 실시하였다.
- 4) 골재노출은 관입저항 시험을 통하여 콘크리트 포설 후 24시간 경과 시 1000kgf/cm²이상 측정되었으며, 이후에 제작된 골재노출시편을 통해 정확한 골재노출시기를 예측하여 콘크리트 포장 면에 직접 확인하여 골재노출을 실시하였다.

4.2. 시험시공 내용

소입경 골재노출 콘크리트 포장의 1차 시험시공은 현장 적용성을 확인하기 위하여 현장시공여건에 따른 소입경 골재노출 콘크리트의 배합설계 물성평가와 함께 적절한 지연제 분사 및 골재노출을 실시함으로써 저소음 및 우수한 미끄럼 저항성을 향상시키는 골재노출도, MTD를 확보하고자 하였다. 이를 위하여 시험시공 시 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 슬럼프 및 공기량 측정을 통해서 시공성을 확인하였으며 시험시공절차와 지연제 분사 및 골재노출의 적합한 시기를 도출하였다. 또한 시공 후 초기 공용성 평가를 통하여 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 소음저감효과 및 우수한 미끄럼 저항의 확보 여부를 검증하였다.

2차 시험시공에서는 지연제 분사에 따른 시공비 절감을 위하여 콘크리트 시공구간의 양생제 분사장비로 지연제를 분사하였으며, 골재노출장비의 시공성 향상을 위하여 골재노출장비를 보완하였다. 또한 1차 시험시공 단위 시멘트량 400kg/m³의 배합설계가 과다하다고 판단하고 설계 기준 강도(압축강도) 30MPa의 단위 시멘트량 362kg/m³로 조정하였다.

3차 시험시공은 일교차가 극심한 지역특성으로 인해

동해로 추정되는 손상을 입었던 2차 시험시공에서의 경험을 통하여 표준 배합비에 대한 압축강도 및 W/C비 관계에서 안전 측인 35MPa를 기준으로 하여 시험시공을 실시하였다. 또한 장기간의 내마모성 확보를 위해서 굵은 골재의 내마모성 기준을 제시하였다.

4.2.1. 현장 적용성을 위한 연구

1) 콘크리트 물성 평가

본 연구에서는 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 시험시공을 통하여 대량생산(B/P)시 슬럼프 및 공기량시험을 실시하였다. 실험결과 워커빌리티를 만족하기 위한 슬럼프를 확보하였으며, 적정 수준의 공기량을 확보하여 동결융해에 의한 저항성을 유지할 것으로 판단된다.

표 8. 소입경 골재노출 콘크리트 물성평가

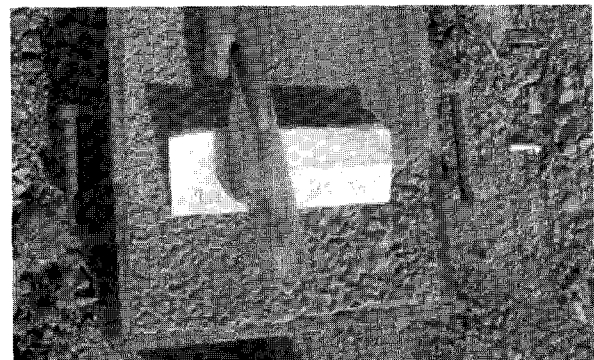
구분	1차 시험시공	2차 시험시공	3차 시험시공
슬럼프	38mm	20mm	25mm
공기량	5.6%	6.5%	5.6%

2) 골재노출시기 예측

콘크리트 포설에 앞서 플랜트에서 생산되는 콘크리트의 골재노출시기를 산정하기 위하여 콘크리트 응결시간

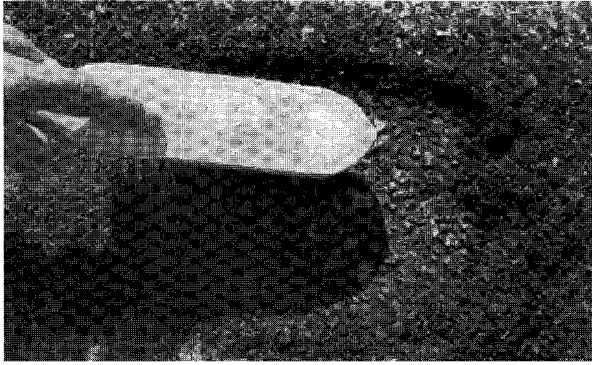


(a) 관입저항시험



(b) 시편제작을 통한 골재노출

(그림 계속)



(c) 콘크리트포장에 적용

그림 8. 골재노출 적정시기 선정 절차

시험방법(KS F 2436) 규정에 따라 관입저항시편 및 골재노출시편을 제작하였다. 그림 8과 같은 절차를 통하여 골재노출 시기를 예측하였다.

3) 골재노출 장비의 성능 평가

소입경 골재노출 콘크리트 포장의 시험시공을 통하여 골재노출장비 시공성 및 기능성을 평가하였다. 지연제는 콘크리트 타설 후 2시간 경과 후 지연제 살포장비를 사용하여 분사하였다. 분사결과 포장표면에 일정량의 지연제가 분사되었으며, 지연제 분사압으로 인한 콘크리트 표면의 손상이 없었다. 또한 골재노출장비 테스트 결과 장비의 무게 및 진동에 의한 골재의 탈리는 발생되지 않았다.

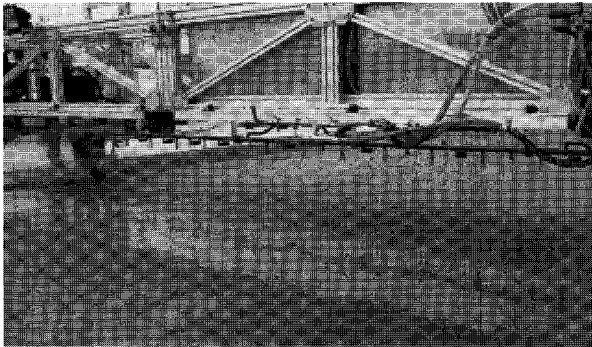


그림 9. 지연제 분사 장비

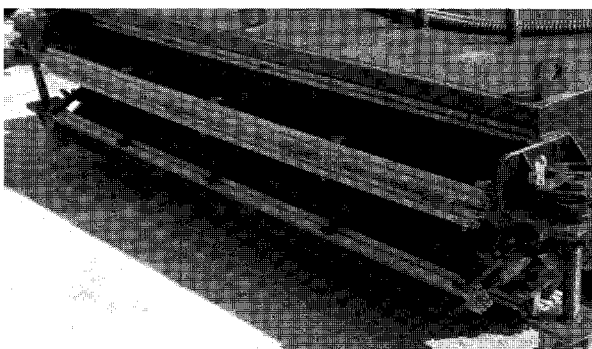


그림 10. 골재노출장비

4.2.2. 경제성 개선을 위한 연구

1) 양생제 분사장비를 통한 지연제 분사

전주~광양 시험시공 구간은 지연제 분사에 따른 시공비 절감을 위하여 양생제 분사장비로 지연제를 분사하였으며, 그림 11과 같이 사전에 양생제 분사장비의 분사량을 확인한 후 지연제를 분사한 결과 기존의 지연제 분사장비의 대체가 가능한 것으로 판단되었다.

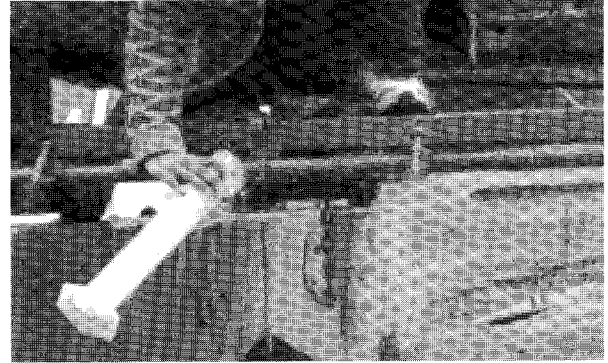


그림 11. 지연제 분사량 검사 테스트

2) 단위 시멘트량 저감

최적배합을 통해 골재노출 콘크리트 포장의 경제성을 향상시키기 위해 1차 시험시공에 사용된 단위 시멘트량보다 낮은 단위 시멘트량 $362\text{kg}/\text{m}^3$ 를 배합에 사용하였고 30MPa 의 압축 강도를 목표로 하였다. 그러나 예기치 못한 기상 악화로 콘크리트에 동해로 추정되는 손상이 발생하여 그림 12와 같은 파손이 발생하였으며 공용전에 재시공되었다.

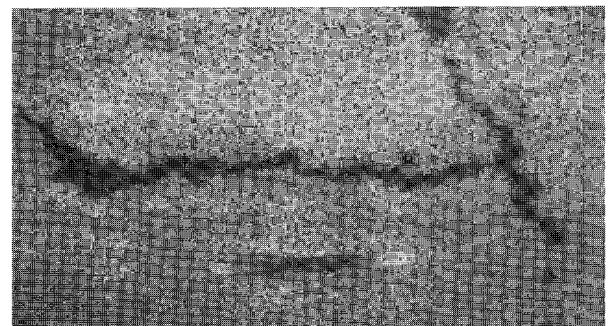
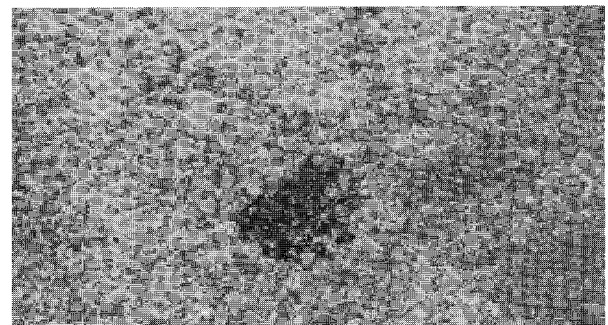


그림 12. 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 파손

4.2.2. 골재탈리 및 공용성 확보를 위한 연구

1) 압축강도 및 W/C비를 통한 배합비 산정

3차 소입경 골재노출 콘크리트 시험포장의 경우 2차 시험시공의 실패사례를 통하여 압축강도가 매우 중요한 인자임을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 물/시멘트 비에 따른 압축강도를 측정하였으며, 표준배합비에 대한 압축강도와 W/C비 관계는 그림 13과 같다. 이를 통하여 3차 시험시공은 배합압축강도 35MPa인 W/C비 38%로 시험시공을 실시하였다.

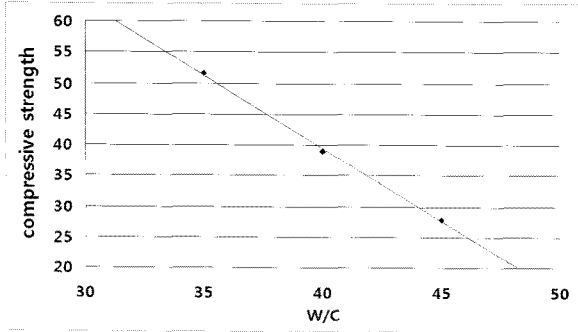


그림 13. 실내배합을 통한 압축강도와 W/C 관계

4.3. 시험시공 결과

4.3.1. 강도

재령 28일 압축강도 측정결과 표 9와 같이 1차 시험시공 42.22MPa, 2차 시험시공 30.8MPa, 3차 시험시공 38.4MPa로 측정되었으며, 휨 강도는 고속도로 시방기준인 4.5MPa를 상회하는 결과를 도출하였다.

표 9. 시험시공별 강도 측정결과

구분	압축강도(MPa)			휨 강도(MPa)			탄성계수 (GPa)
	1차	2차	3차	1차	2차	3차	
1	37.9	33.4	36.8	7.89	6.07	6.89	37
2	46.4	31.9	40.6	7.61	6.04	6.94	36
3	45.2	27.4	39.2	7.54	5.81	7.21	36
평균	42.2	30.8	38.4	7.68	5.97	7.01	36

4.3.2. 노면조직

3차례 시험시공에 따른 노출도, MTD를 측정된 결과 표 10과 같이 1차 시험시공에서는 노출도 30개와 MTD 1.5±0.2mm, 2차 시험시공은 노출도 34개와 MTD 1.2±0.2mm, 3차 시험시공은 노출도 28개와 MTD 1.2±0.2mm로 측정되었으며 7.6m Profiler를 활용한 평탄성 (Pri)측정은 기준치 이하인 6.3cm/km으로 측정되었다.

표 10. 시험시공별 노면조직 측정결과

구간	노면조직깊이			골재노출도			평탄성 (1차 시험시공)
	1차	2차	3차	1차	2차	3차	
1	31	36	26	1.31	1.09	1.22	6.3cm/km
2	30	35	29	1.51	1.13	1.31	
3	31	32	30	1.45	1.22	1.31	
4	28	33	29	1.51	1.31	1.09	
5	30	34	29	1.67	1.31	1.09	
평균	30개	34개	28개	1.5±0.2mm	1.2±0.2mm	1.2±0.3mm	

4.3.3. 미끄럼 저항

British Pendulum Tester를 이용한 BPN 측정 결과 표 11과 같이 1차 시험시공은 53, 2차 시험시공은 64, 3차 시험시공은 54로 측정되었으며, Locked Wheel Trailer를 이용한 SN₄₀ 측정결과 1차 시험시공 구간에서 51로 측정되어 기준치 35이상을 만족하는 수치를 보였다.

표 11. 시험시공별 미끄럼 저항 측정결과

구간	BPN			SN ₄₀ (1차 시험시공)
	1차 시험시공	2차 시험시공	3차 시험시공	
1	53	65	55	51
2	53	64	54	
3	53	64	54	
4	54	63	54	
평균	53	64	54	

4.3.4. 소음

소음측정결과 표 12와 같이 차량의 주행소음이 지배적인 영향을 미치는 80km/h 이상의 속도에서 횡방향

표 12. Pass-by에 의한 소음 측정 결과(김영규 외, 2010)

1차 시험시공(대전~당진간 고속도로 구간)							비고
속도 (km/h)	소입경 골재노출 구간			횡방향 타이닝 구간			
	승용차	승합차	화물차	승용차	승합차	화물차	횡방향 타이닝에 비해 2~4dB(A) 감소
40	38	37	47	37	37	48	
60	45	44	49	44	43	50	
80	49	47	52	51	49	56	
100	52	51	-	55	54	-	
3차 시험시공(전주~광양간 고속도로 구간)							비고
속도 (km/h)	소입경 골재노출 구간			종방향 타이닝 구간			
	승용차	승합차	화물차	승용차	승합차	화물차	종방향 타이닝에 비해 1~2dB(A) 감소
40	35.5	37.5	53	39	37	52	
60	41.5	41	57	43.5	41.5	60	
80	45	46	61	46.5	45.5	64	
100	48	49	-	49.5	49.5	-	

타이닝 포장에 비해 Pass-by에 의한 소음측정결과 2~4dB(A) 소음이 감소하였으며 CPX 소음 측정 결과에서도 80km/h 속도에서 3dB(A) 감소하였다. 또한 Pass-by에 의한 소음측정결과 종방향 타이닝 포장에 비해 1~2dB(A) 소음이 감소하여 우수한 소음저감 효과를 확보하였다. 따라서 본 연구에서는 소음감소에 따른 노면조직의 특성을 비교·분석하였다.

4.4. 시험시공 결과 분석

4.4.1. 골재탈리를 방지하기 위한 연구

1) 골재노출 시기 예측

콘크리트 포설에 앞서 플랜트에서 생산되는 콘크리트의 골재노출시기를 산정하기 위하여 콘크리트 응결시간 시험방법(KS F 2436) 규정에 따라 관입저항시험 및 골재노출시험을 제작하였다. 시험시공을 통한 관입저항응력에 따른 골재탈리 발생의 정도는 다음 표 13과 같이 봄철에는 24시간 경과 후 골재노출 시 골재탈리가 적게 나타났으며, 여름철의 경우 7시간 경과 후 골재탈리 발생이 적었다. 따라서 시공환경에 따라 노출시간은 차이가 발생되지만 관입저항시험에 의한 관입저항응력이 1000kgf/cm² 이상 도달하였을 때 골재노출이 가능할 것으로 분석된다. 또한 골재노출장비에 의한 골재노출은 브러쉬에 비해서 골재탈리가 심해질 우려가 있으므로 포장면에 직접적으로 확인하는 작업을 통하여 골재탈리가 없을 때 실시해야 한다.

표 13. 계절별 관입저항 응력에 따른 골재탈리 발생 강도

1차 시험시공(봄철)			3차 시험시공(여름철)		
경과시간 (hr)	응력 (kgf/cm ²)	탈리 정도	경과시간 (hr)	응력 (kgf/cm ²)	탈리 정도
18:00	90	높음	5:00	125	높음
20:00	330	높음	5:30	505	높음
22:00	840	높음	6:00	780	높음
23:00	1,000	중간	6:30	1000	중간
24:00	1,000 이상	낮음	7:00	1,000 이상	낮음

2) 설계기준강도 도출

소입경 골재노출 콘크리트 포장 배합설계는 일반적인 콘크리트 포장과 다르게 도로포장 기준에 만족하는 휨강도의 확보와 함께 골재 탈리를 방지하기 위하여 소요 압축강도의 확보가 매우 중요한 사안이다. 따라서 세 차례 시험시공을 통한 배합 시 압축강도 수치를 분석하였다. 또한 콘크리트 배합 시 압축강도는 설계압축강도보다 작지 않도록 하기 위하여 콘크리트 표준시방서

(2009)의 현장 콘크리트 품질변동계수를 고려하여 시험시공의 설계기준강도를 산정한 결과 표 14와 같다. 골재탈리가 발생되지 않은 1차 시험시공 구간은 35.5MPa, 3차 시험시공 구간은 35.3MPa로 나타났으며, 골재탈리가 발생하여 재시공을 실시한 2차 시험시공 구간의 경우 30MPa로 나타났다. 따라서 골재탈리가 발생되지 않은 1차와 3차 시험시공의 결과를 바탕으로 설계기준강도 35MPa로 제안한다.

표 14. 시험시공을 통한 배합설계 압축강도 및 설계기준강도 수치

구분	평균값	표준편차	설계기준강도	포장상태
1차 시험시공	42.2MPa	4.99	35.5MPa	양호
2차 시험시공	30.8MPa	-	30.0MPa	골재 탈리 발생
3차 시험시공	38.4MPa	2.33	35.3MPa	양호

4.4.2. 공용성 확보를 위한 노면조직 분석

본 연구에서는 표 15와 같이 3차례 시험시공에 따른 노출도, MTD를 측정하여 소음감소 및 미끄럼저항(BPN)분석하였다. 분석결과 1차 시험시공에서는 노출도 29개와 MTD 1.5±0.2mm에서 횡방향 타이닝과 비교시 4dB 소음저감효과가 나타났으며, 3차 시험시공에서는 노출도 28개와 MTD 1.2±0.3mm에서 종방향 타이닝과 비교시 2dB 소음저감효과가 나타났으며, 소음 측정을 실시하지 못한 2차 시험시공에서는 골재의 노출도가 많아 우수한 미끄럼 저항성을 확보하였다. 특히 국외의 골재노출공법과 종방향 타이닝 공법의 소음저감 수치와 비교할 경우 더 우수한 효과가 나타나는 것으로 분석되었다.

표 15. 시험시공에 따른 노면조직, 소음 및 미끄럼저항 측정결과

시험시공	노출도	MTD	소음 저감효과	미끄럼 저항 (BPN)
1차 시험시공	29	1.5×0.2mm	횡방향 타이닝과 비교시 4dB 저감	53
2차 시험시공	34	1.2×0.2mm	-	64
3차 시험시공	28	1.2×0.3mm	종방향 타이닝과 비교시 2dB 저감	54
Alison P Hewitt and Phil G Abbott, 1997, UK			종방향 타이닝과 비교시 1.1dB 저감	-

4.4.3. 장기간 미끄럼 저항성 확보를 위한 연구

시험시공에 따른 골재의 내마모성 시험결과는 표 16과 같고 이를 통해 고속도로 시방기준안을 만족하는 35% 이하에서 적용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 APM 시험 결과 1차 시험시공 굵은골재는 30.8, 3차 시

험시공 굽은골재는 30.3으로 측정되어 현장의 굽은 골재 허용기준을 28~32로 적용하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

표 16. 굽은 골재의 마모저항 시험

마모저항시험	실험방법	단위	굽은 골재 종류에 따른 시험결과	
			1차	3차
LA마모시험	KS F 2508	%	18	22
APM 시험	ASTM D 3319-90	BPN	30.3	30.1

5. 골재노출 콘크리트 포장의 배합설계, 시공 및 품질관리 기준제시

5.1. 배합설계

5.1.1. 장기간 공용성 확보를 위한 굽은 골재 관리 기준

장기간 미끄럼 저항성 확보를 위한 굽은골재의 내마모성 실험은 다음 표 17과 같다. 굽은 골재의 LA마모시험은(35% 이하) 도로공사 표준시방서 기준에 따라 실시하며, 굽은골재 표면조직의 장기적인 마모저항성을 확보하기 위한 APM시험은 ASTM D 3319-90기준과 동일하게 BPN값을 30 ± 2 로 제한한다.

표 17. 굽은 골재의 내마모성 시험

마모저항시험	실험방법	단위	기준
LA마모시험	KS F 2508	%	35이하
APM 시험	ASTM D 3319-90	BPN	28~32

5.1.2 압축강도 및 W/C비를 통한 배합설계

소입경 골재노출 콘크리트 포장의 배합기준은 표 18과 같이 도출되었다. W/C는 압축강도의 상관관계 분석을 통하여 42% 이하로 정하였으며, 설계기준강도는 콘크리트 표준시방서(2009)의 현장 콘크리트 품질변동계수를 고려한 결과 35MPa로 도출되었다. 그 밖의 배합기준은 고속도로 전문시방서(2009)를 따르도록 제한한다.

표 18. 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 배합기준

항 목	시험방법	단위	기준	
설계기준 강도	압축강도	KS F 2405	MPa	35이상
	휨강도	KS F 2408	MPa	4.5이상
W/C	-	%	42이하	
굽은 골재의 최대치수	-	mm	130이하	
슬럼프값	KS F 2402	mm	400이하	
AE콘크리트의 공기량	KS F 2421	%	5~7	
잔골재율	-	%	30이하	

5.2. 시공기준

5.2.1. 응결 지연제 분사

1차 시험시공 시에는 콘크리트 표면에 수분이 없을 경우 실시해도 무방하였지만 3차 시험시공에서는 고온으로 인하여 표장표면이 급속히 경화하였다. 따라서 지연제를 분사해도 지연효과가 감소하여 골재노출에 따른 평균노면조직깊이가 노면조직의 품질 기준보다 낮아지는 문제가 발생되었다. 따라서 지연제 분사 시기는 콘크리트 표면의 수분이 마르기 전에 실시하도록 조정하였으며, 지연제 분사는 콘크리트 포장 포설 중에 분사하므로 포설장비의 작업속도에 따라 분할하여 분사하도록 하였다. 응결 지연제 분사의 주요내용에 대한 제안사항은 다음과 같다.

- 1) 시공 전에 지연제 분사장비의 분사량을 메스실린더 및 실험 용기를 사용하여 $300\text{g}/\text{m}^2$ 분사되는지 확인한다. 이 때 물과 지연제의 혼합비율은 지연제의 성능(A형지연제기준- 1:2, B형지연제 기준- 1:1)에 따라 조정하며, 분사장비는 일정한 분사압력 및 작업속도를 유지할 수 있어야 한다. 또한 지연제가 포장면에 단위면적당 일정하게 분사되었는지 확인하여야 한다.
- 2) 지연제 분사 시기는 콘크리트 수분이 마르기 전에 실시하며, 지연제 분사는 콘크리트 포설장비의 작업수준에 따라 분할해서 분사하도록 하여 콘크리트 표면의 경화가 발생되기 이전에 지연제를 분사하도록 하였다. 따라서 여름철 고온(25도 이상)에서는 콘크리트의 경화가 빠르게 발생하므로 콘크리트 포설 직후에도 분사가 가능하도록 한다.

5.2.2. 골재노출

골재노출의 시기는 지연제 분사 후 경화되지 않은 표면 모르타르를 긁어내기 위해 노출 장비의 중량을 견딜 수 있는 시기여야 하며 소정의 평균조직깊이가 얻어져야 한다. 또한, 골재노출의 시기는 현장시공의 여건을 고려하여야 한다. 1, 2차 시험시공에서는 봄철 환경조건에서 소입경 골재노출 콘크리트 포장을 실시하였지만 3차 시험시공에서는 여름철 시공에 따라 현장시공 여건이 매우 감소하였다. 따라서 효과적인 골재노출을 수행하기 위해서는 현장시공여건을 고려한 시공 기준이 필요하게 되었다. 따라서 본 연구에서는 3차례 시험시공을 토대로 하여 그림 19와 같은 순서를 토대로 현장에서의 골재노출시기예측 및 주요내용을 다음과 같이 제안한다.

- 1) 콘크리트 압축강도 추정을 위한 관입저항 시험방법 (KS F 2733)을 통하여 콘크리트의 관입저항응력이 1000kgf/cm² 이상 발생한 시점부터 골재노출작업을 실시한다.
- 2) 골재 노출 시기는 온도, 습도, 바람조건에 따라 경화의 진행이 크게 달라지므로 별도로 골재노출 시편을 제작(30cm×30cm)하여 골재의 최적 노출 시기를 확인한다.
- 3) 콘크리트 포장 면에 스틸 브러쉬를 이용하여 직접 노출을 실시함으로써 골재 탈리 및 골재노출 상태를 확인한다. 골재노출장비의 작업이 가능한 시기를 주기적으로 확인한다.
- 4) 시공 시 매 70m 구간마다 골재의 관입저항응력 및 골재노출 시편을 제작하여 골재노출을 수행한다.
- 5) 골재노출 시 분진 발생을 최소화하기 위하여 표면에 수분을 살포한 뒤 골재노출을 실시하며 골재노출 완료 후 콘크리트 표면에 제거된 모르타르가 굳지 않도록 물청소를 실시한다.

5.3. 노면 품질관리

노면조직에 따른 저소음 효과 및 미끄럼 저항성 측정값을 토대로 노면조직의 품질관리기준을 다음 표 19와 같이 제안한다. 또한 골재노출의 시기에 따라 노면조직의 특성이 차이가 생기므로 70m마다 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 품질을 측정하도록 한다.

표 19. 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 노면조직 품질관리 기준

굵은 골재 최대치수	관리기준	시험법	기준값
13mm	평균 조직깊이 (MTD)	Sand Patching 방법	1.8±0.5mm
	골재 노출도	Peak법	30±5개/25cm ² 이상
	미끄럼저항값 (BPN)	BPT 사용	50 이상

6. 결론

본 연구는 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 시험시공을 통하여 도출된 결과를 활용하여 배합설계, 시공 및 품질관리 기준을 제안하는 것으로서 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 배합설계 기준을 도출하기 위하여 시험시공 시 현장 강도별 노면의 탈리상태를 분석하였다. 분석결과 설

계압축강도는 35MPa로 도출되었으며, 이를 통하여 W/C비는 42% 이하로 판단되었다. 따라서 골재 탈리를 방지하기 위한 소입경 골재노출 콘크리트포장의 소요강도를 확보할 것으로 판단된다.

2. 시험시공 결과 지연제 분사는 콘크리트 표면의 수분이 마르기 전에 실시하며 분사량은 300g/m², 물과 지연제의 혼합비율은 중량비 1:1로 할 경우 표면 지연효과가 우수하게 나타났다. 따라서 목표로 하는 골재 노출도 및 MTD가 측정되었으며 소음저감효과 및 적정 미끄럼 저항성을 확보할 수 있었다.
3. 시험시공을 통해서 기준에 만족하는 골재 노출도 및 MTD를 확보하여 소음저감효과 및 우수한 미끄럼 저항성을 확보할 수 있었다. 따라서 골재노출은 콘크리트의 관입저항응력이 1000kgf/cm² 이상 발생한 시점부터 실시가 가능하며 최종적으로 포설된 포장면에 확인하는 절차를 통하여 골재노출을 실시한다. 또한 시공 중 포설위치에 따라 골재노출시기가 달라지기 때문에 골재노출 시공이 150m 이상일 경우 매 70m 구간마다 골재노출의 관입저항응력 및 골재노출 시편을 제작하여 골재노출을 수행하는 것이 적합한 것으로 판단된다.
4. 본 연구에서는 3차례 시험시공의 공용성 평가를 통하여 저소음 및 적정 미끄럼저항을 유지하는데 효과적인 MTD, 노출도, 미끄럼 저항(BPN)값을 확인하였다. 이를 통해 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 배합설계, 시공 및 품질관리 기준을 제시하였다.

감사의 글

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

참고 문헌

- 김남철(2005) "골재노출 콘크리트포장 노면특성에 관한 연구" 강릉대학교, 석사학위논문
- 김영규(2008) "소입경 골재노출콘크리트포장의 최적 배합 및 노출기법에 관한 연구" 강릉대학교, 석사학위논문.
- 김영규, 최돈화, 이승우, 김형배 (2010) "시험시공을 통한 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 초기 공용성 평가", 한국도로학회 논문집, 제 12권 제 1호, pp. 87-98
- 이승우 (2006), "소음저감을 위한 골재노출 포장공법의 적용", 한국도로학회지 특집기사, pp.16-29
- 이승우, 김영규, 유태석, 김형배(2009) "소입경 골재노출콘크

리트포장의 최적 배합 및 노출기법에 관한 연구”, 한국도로학회 논문집, 제 11권 2호, pp. 1-9

채성욱(2009) “소입경 골재노출 콘크리트포장의 환경하중 저항성에 대한 연구” 강릉대학교 석사학위논문

한승훈(2007) “소입경 골재노출콘크리트포장 노면특성에 관한 연구” 강릉대학교 석사학위논문

국토해양부(2009) 콘크리트 표준시방서

한국도로공사(2009) 고속도로공사 전문시방서

Hall, K. et al. (2007) “*Long-Life Concrete Pavements in Europe and Canada*”, Federal Highway Administration, FHWA-PL-07-027, Washington, D.C.

접 수 일 : 2011. 5. 19

심 사 일 : 2011. 5. 19

심사완료일 : 2011. 7. 26