

소입경 골재노출콘크리트포장의 최적 배합 및 노출기법에 관한 연구

A Study on the Optimum Mix and Exposing Method of
the Fine-Size Exposed Aggregate PCC Pavements

김 영 규* · 이 승 우** · 유태석***

Kim, Young Kyu · Lee, Seung Woo · Yoo, Tae Seok

1. 서 론

콘크리트포장은 중차량에 대한 지지력이 뛰어나고 장기간의 공용성을 지닌 것으로 보고되고 있으며 내구성이 우수하여 유지·관리가 용이하다는 장점이 있다. 또한, 야간에 빛을 반사시켜 가시성을 증가시키는 효과도 가지고 있다. 이러한 이유로 국내 콘크리트포장은 아스팔트포장에 비해 날로 증가하고 있는 추세이다. 하지만 콘크리트포장은 아스팔트포장에 비해 4~6dB(A) 정도 소음 발생량이 높으며 주행성 또한 취약하다는 단점을 가지고 있어 도로 이용자의 저소음 및 승차감 등에 대한 서비스 요구 수준이 높아진 지금 개선이 요구된다.

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 확보해야한다. 특히, 우천 시 도로가 젖어 타이어와 노면 사이 수막현상이 발생되면 미끄럼저항이 감소되어 교통사고율이 높게 나타난다. 국내 콘크리트포장은 미끄럼저항 확보 및 우천 시 수막현상을 방지하기 위한 표면처리공법으로서 횡방향타이닝을 주로 사용하고 있다. 하지만 횡방향타이닝의 경우 미끄럼저항은 우수하나 타이어와 노면조직 사이의 펄핑압으로 인한 소음이 크게 발생하여 문제가 되고 있다.

도로 교통소음은 주행 중에 있는 운전자에게 피로감을 주어 교통사고의 직·간접적인 영향을 주며 도로 주변 거주자에게는 스트레스, 불쾌감 및 불면증의 원인이 되기도 한다. 이에 대한 대책방안으로 도로 주변 주거 지역에 방음벽을 설치하고 있지만 이것은 소음원을 줄이는 근본적인 방법이 될 수 없으며 방음벽 설치 비용, 자중 및 풍하중에 의한 구조물의 영향 및 미관 등의 문제로 인해 저소음 포장에 대한 연구가 필요하다. 콘크리트포장의 표면처리방법 중 시공 시 포장표면에 적정 지연제를 살포한 후 표면 모르타르를 제거하여 굵은골재를 노출시킴으로서 표면조직을 형성하는 골재노출콘크리트포장은 적정 미끄럼저항성을 확보하면서도 포장의 강도를 개선하면서 콘크리트포장의 단점인 소음문제를 해결할 수 있는 방법으로 판단되고 있다.(이승우 외, 2006)

선진 외국의 경우 골재노출콘크리트포장을 주행소음을 감소하고 장기간 미끄럼저항이 유지되어 주행의 안전성을 확보하는 목적으로 사용하고 있다. 일반적으로 골재노출콘크리트포장은 굵은골재의 최대치수를 20mm 이하로 사용하지만 국외에서는 굵은골재의 최대치수를 10mm이하로 하여 소입경 골재노출로서 소음저감 및 적정 미끄럼저항의 효과를 더욱 증대시키는 포장으로 인정되어 적용하고 있으며 시공 경험이 축적되어 있지만 아직 국내에서는 본격적인 적용이 이루어지지 않고 있다.

본 연구에서는 골재노출콘크리트포장에 대하여 강도측면과 동시에 소음 저감 효과 및 적정 미끄럼저항성

* 정회원 · 강릉대학교 토목공학과 석사과정

** 정회원 · 강릉대학교 토목공학과 부교수 · 공학박사

*** 정회원 · 도로교통기술원 포장연구그룹 전임연구원 · 공학박사

을 동시에 만족시킬 수 있는 최적 배합 및 노출기법에 대해 제시하여 소입경 골재노출콘크리트포장의 국내 적용을 도모하기 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 소입경 골재노출공법의 특성

골재노출공법은 현재까지 콘크리트포장의 주행소음을 줄이는데 가장 큰 장점을 가지고 있는 공법으로 평가되고 있다. 특히, 굵은골재 최대입경을 10mm 이하로 한 경우 분진발생 억제, 미끄럼저항성 향상 및 저소음 효과가 나타나는데 이를 소입경 골재노출공법이라 한다. 소입경 골재노출공법은 콘크리트 표면처리공법 중에서 소음 저감효과가 뛰어나다. 특히, 횡방향타이닝공법과 비교 시 5~7dB(A) 정도 저감효과를 보이며 골재가 임의의 형태로 표면조직을 형성하여 고주파 소음(Whine) 현상을 원천적으로 배제하여 친환경적인 저소음 공법이다.(이승우 외, 2006) 그러나 소입경 골재노출공법은 소음과 미끄럼저항을 동시에 만족해야 하기 때문에 기술적으로 쉬운 공법이 아니다. 따라서 성공적인 소입경 골재노출콘크리트포장의 건설을 위해서는 합리적인 품질관리기술이 동반되어야 한다. 그림 1은 골재노출공법의 표면조직을 나타낸 것이다.

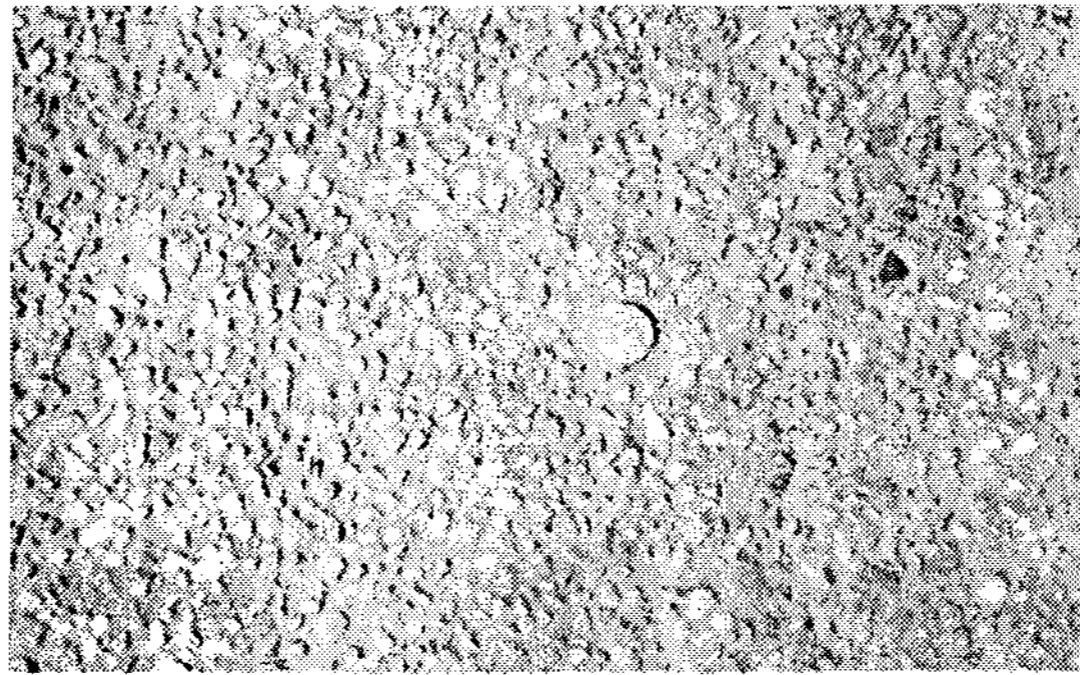


그림 1. 골재노출공법

소입경 골재노출공법은 콘크리트 타설 후 표면에 응결지연제를 살포하고 일정 시간 뒤에 아직 경화되지 않은 표면 모르타르를 2~3mm 정도 브러쉬로 긁어내어 골재를 노출시키는 것이다. 소입경 골재노출공법을 적용하기 위한 콘크리트 배합 시에는 표면에 균일하게 많은 골재를 노출되도록 잔골재율을 줄여 굵은골재 용적률을 크게 하여야 한다. 추가로 횡방향그루빙과 마찬가지로 견고하고 내마모성이 좋은 골재를 사용하여야 한다.

콘크리트 타설 후 지연제를 살포하고 골재를 노출시키는 노출시기가 중요한데 이는 지연제의 성능에 비해서 노출시기가 늦으면 노출도가 떨어지게 되고 반면 너무 빠르면 골재를 잡고 있는 시멘트가 굳기도 전에 골재가 떨어지는 탈리현상이 발생하기 때문이다. 노출시기는 보통 모르타르의 경도가 30~40(고무경도계) 정도에서 하는 것이 적당하다고 알려져 있다.(이용세 외, 2000)

2.1 소입경 골재노출공법의 소음 특성

오스트리아의 경우 1990년 완공된 소입경 골재노출콘크리트포장에 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 측정된 결과이다. 골재노출공법이 다른 공법에 비해 소음이 감소한 것으로 나타났으며, 특히 굵은골재가 소입경으로 갈수록 소음 저감 효과가 뛰어난 것을 알 수 있다.

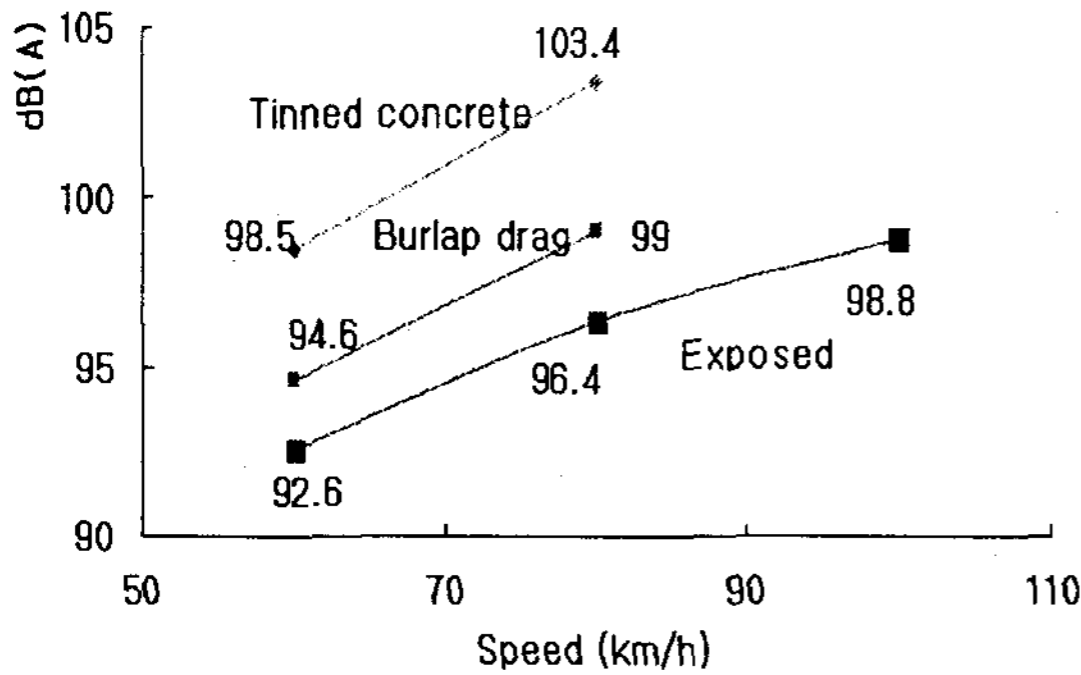


그림 2. 오스트리아에서 측정된 소음 정도 (이승우, 2006)

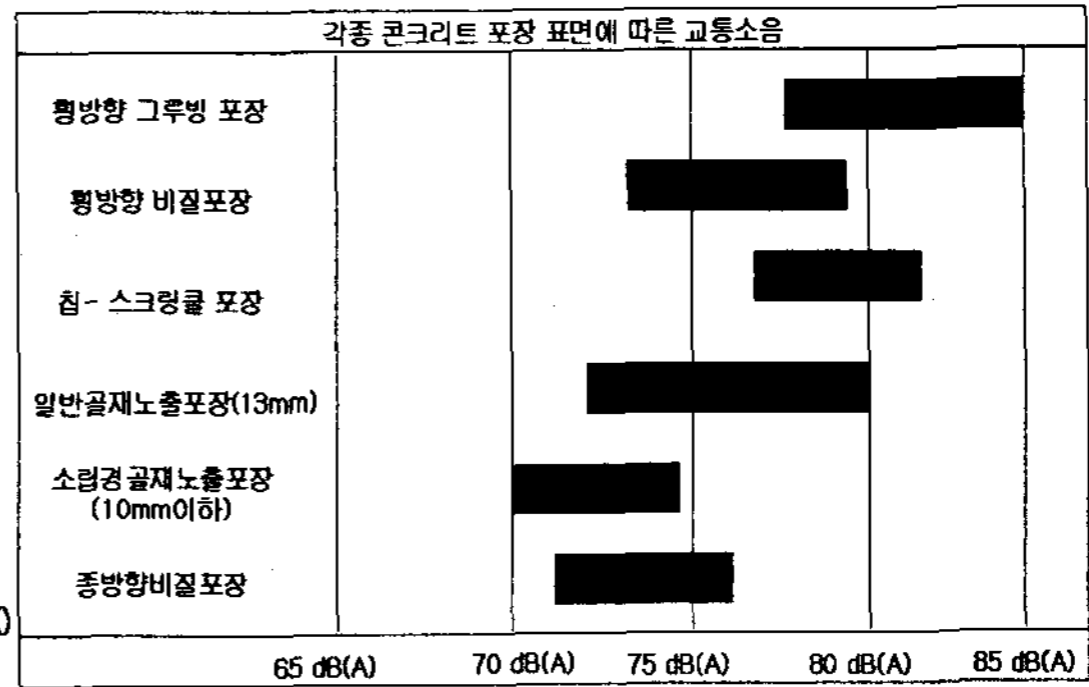


그림 3. 각종 표면처리 소음 측정 시험결과 (이승우, 2006)

2.2 소입경 골재노출공법의 미끄럼저항 특성

오스트리아에서는 골재노출공법에 의한 콘크리트포장의 미끄럼저항 변화에 있어서 1990년과 1994년에 완공 시 측정된 값과 1997년 재 측정된 결과를 비교하였다. 초기 0.70, 0.80 이었던 미끄럼저항이 아래 그림과 같이 3~7년이 지나 측정된 결과 양쪽 모두 0.1 떨어진 0.6, 0.7이었다(Hermann, 1998). 이는 골재노출공법의 포장 표면조직이 내마모성을 가지는 굵은골재로 이루어져 장기간의 적정 미끄럼저항 확보가 용이한 것으로 판단되었다.

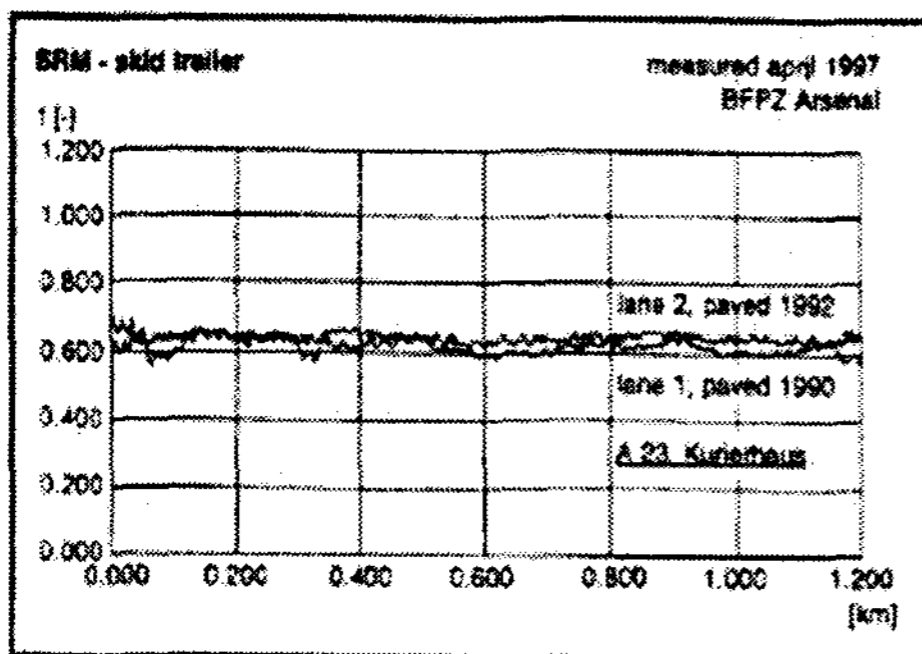


그림 4. 미끄럼저항값 측정 (1990년 완공) (Hermann, 1998)

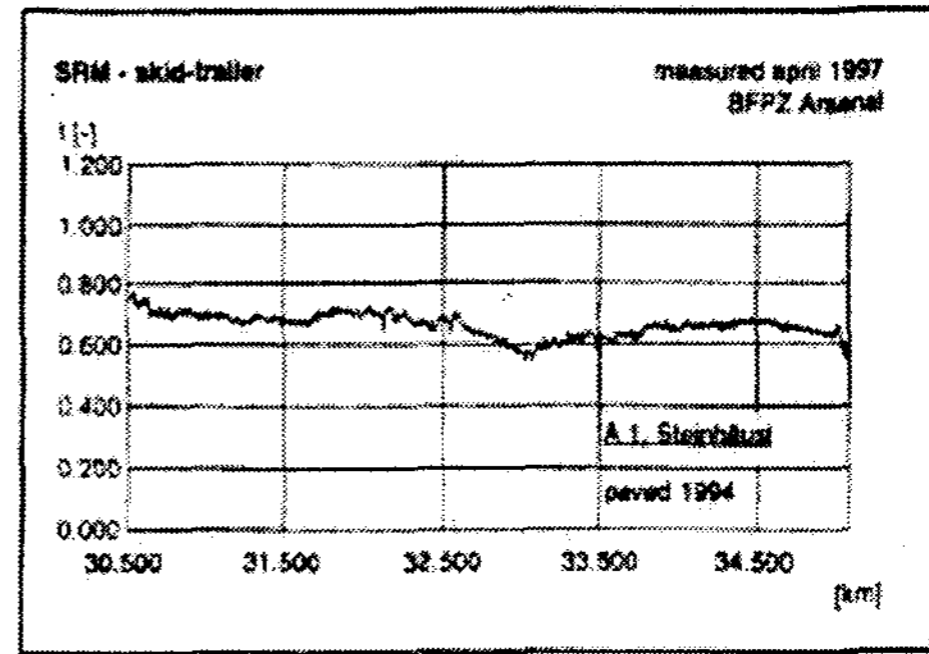


그림 5. 미끄럼저항값 측정 (1994 완공) (Hermann, 1998)

3. 소입경 골재노출콘크리트포장의 최적 배합 및 노출기법 도출을 위한 전략

3.1 최적 배합 및 노출기법을 위한 전략

일반적인 콘크리트포장의 배합은 강도에 초점을 맞춘 설계를 실시하지만 소입경 골재노출콘크리트포장의 경우는 강도, 적정 미끄럼저항 및 저소음을 유지해야 하며 이를 위한 최적배합의 신개념 수립이 요구된다.

소입경 골재노출콘크리트포장은 기존 콘크리트포장의 배합과 비교하여 물/시멘트비를 감소시키고 단위시멘트량을 증가시키며 잔골재율을 낮춰 포장체의 밀도가 커져 포장 슬래브의 내구성 및 강도가 향상된다. 또한, 기존의 타이닝 공법을 적용한 콘크리트포장에 비해 소음저감이 우수하고, 높은 미끄럼저항을 확보하는 장점



을 가지고 있다. 특히, 굵은골재의 최대치수를 소입경으로 사용할수록 이러한 장점이 우수해진다.

기존의 표면처리방법으로 타이닝과 그루빙이 있으며 공용초기 높은 미끄럼저항을 나타내지만 공용 중 모르타르의 마모로 인해 거시조직이 소멸하여 적정 미끄럼저항을 유지하는데 어려움이 있다. 하지만 소입경 골재노출콘크리트포장은 타이닝과 그루빙의 문제점을 해결하기 위한 방안으로 포장표면의 거시조직을 굵은골재로 형성하여 차량의 타이어와 직접적인 마찰을 유발하며 이는 모르타르로 형성된 표면조직보다 굵은골재의 내마모성이 우수하여 장기간의 미끄럼저항을 유지하는데 효과적이다. 포장표면에 굵은골재의 거시조직을 형성하기 위하여 지연제 살포 후 적정 시간이 지난 뒤 모르타르를 긁어내야 하며 일반적으로 모르타르의 경도가 30~40(고무경도계)정도에서 하는 것이 적당하다고 알려져 있다. 그러나 경도 측정 시 측정자 또는 측정 위치의 변화에 따라 모르타르의 경도가 다양하게 측정되기 때문에 적정 노출시기의 결정을 위하여 콘크리트의 명확한 물리적 특성을 필요로 한다.

따라서 본 연구에서는 소입경 골재노출콘크리트포장의 최적 배합 및 노출기법을 도출하기 위하여 강도, 미끄럼저항 및 저소음 확보를 위한 전략을 제시하였으며 향후 소입경 골재노출콘크리트포장의 실용화 및 품질관리기준을 마련하기 위하여 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 소입경 골재노출콘크리트포장의 최적 배합에 관한 연구를 진행함에 있어서 다양한 변수에 대한 신뢰성 있는 데이터를 측정하고 분석하기 위한 선행연구로서 최적 노출시기의 정량화가 요구되었다. 따라서 최적 노출기법에 관한 연구를 선행하였으며 이를 통하여 얻어진 연구결과인 최적 노출시기를 최적 배합에 관한 연구에 적용하여 실시하였다.

3.2 최적 노출 방안 연구

3.2.1 응결지연제 성능 평가

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

(1) 살포시기

살포시기는 보통 콘크리트 타설 후 표면 수분에 의해 지연제의 성능이 달라질 수 있어 수분이 없어지는 경우 실시하지만 타설 후 바로 행하는 경우도 있다. 터널 입·출구 부근에서는 콘크리트 표면 건조가 빠르기 때문에 살포시기에 주의할 필요가 있다.

(2) 살포농도 및 살포량

지연제 살포 시 시간이 지난 후 표면 모르타르를 2~3mm 정도만 경화를 늦출 수 있어야 하며 일정량 분사 시 표면에 골고루 뿌려져야 한다. 또한, 시공성을 고려하여 분사력이 좋고 노면의 구배에 따라 지연제가 흘러내리지 않는 점성을 가져야 한다.

3.2.2 노출시기

지연제 살포 후 경화되지 않은 표면 모르타르를 긁어내기 위해 노출장비의 중량을 견딜 수 있는 시기여야 하며 적정량의 평균조직깊이(MTD)가 얻어져야 한다. 노출시기가 너무 빠르면 골재가 떨어져 나가는 탈리현상이 발생하여 조직깊이가 크게 나오고 너무 느리면 모르타르가 긁히지 않아 평균조직깊이가 나오지 않게 된다. 노출시기는 온도, 습도 및 대기환경에 따라 경화의 진행이 크게 달라지기 때문에 충분히 주의할 필요가 있다. 그러므로 적정 노출시기를 결정하기 위하여 물리적이고 안정적인 측정방법이 필요하다.

3.3 최적 배합 방안 연구

3.3.1 굵은골재의 최대치수 선정 및 입도 설계

소입경 골재노출콘크리트포장의 저소음 및 미끄럼저항에 중요한 영향인자인 노출도 및 평균조직깊이는 여러 가지 변수에 의해 결정되며 배합 시 굵은골재 최대·최소치수의 양에 지배적인 영향을 받는다. 골재노출콘크리트포장은 균일하게 많은 골재가 노출되도록 굵은골재 용적을 크게 하는데 굵은골재의 최대치수가 커



지면 표면에 노출되는 골재의 수가 적어지게 되며 굵은골재의 최대치수가 작아지면 노출 시 골재탈리 현상이 발생할 가능성이 있어 굵은골재 최대치수는 배합 시 충분히 고려되어야 한다.

3.3.2 최적 배합비 산정 및 강도 평가

표 1은 각 나라별 골재노출콘크리트포장의 상층부 시방배합을 정리한 것이다(이승우,2006). 대부분의 나라에서 물/시멘트비를 40%이하로 낮추었으며 단위시멘트량을 400kg/m³ 이상으로 유지하고 잔골재율을 낮춘 것을 알 수 있다. 이는 소입경 골재노출콘크리트포장의 경우 콘크리트 재료 배합 및 타설 시 적정 강도 유지와 굵은골재 가라앉음 현상을 배제하며 적정 슬럼프를 유지해야하기 때문이다. 또한, 이를 통하여 균일하게 많은 굵은골재를 포장 표면에 노출하고, 노출장비를 이용한 골재 노출 및 양생 후 교통 개방을 실시 할 경우 굵은골재 탈리를 방지한다.

따라서 각 나라별 시방배합을 참고하여 최적 배합비를 산정하기 위한 소입경 골재노출콘크리트포장의 시방배합을 보정할 필요가 있다.

표 1. 각 나라별 골재노출콘크리트포장의 시방배합

국가	구분	굵은골재 최대치수 (mm)	물/시멘트 비 W/C(%)	잔골재율 S/a	단위량 (kg/m ³)					
					물 W	시멘트 C	잔골재 S	굵은골재 G	AE제	
오스트리아	상층	8	38.0	26.7	171	450	470	1,290	C×0.4%	
	하층	45	42.5	33.3	192	450	580	1,160	C×0.4%	
벨기에	상층	7	42.4	41.3	180	425	700	995		
영국	M18 브러쉬 & 타이닝	20	38.6	21.2	139	360	398	1,110 373 (10mm)	1.65	
	M18 골재 노출	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 골재 노출	상층	10	37.7	22	145	385	398	1,412	1.32
		하층	20	48.5	32.3	165	340	624	917 393 (10mm)	
	일본	나고야현	상층	10	41	30	173	422	501	1,196
하층			25	41	39.8	160	390	686	1,067	4.15
도치키현		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
나가노현		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

3.4 소입경 골재노출공법의 관리기준

유럽 및 일본 등 소입경 골재노출공법을 사용하는 국가들의 관리기준은 평균조직깊이(MTD)와 골재 노출도를 목표치로 두는데 이는 저소음 및 미끄럼저항에 중요한 요소이다. 여러 국가들의 관리기준은 표 2와 같다.

표 2. 소입경 골재노출공법의 관리기준

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



이와 같이 국가마다 관리기준이 상이하며 국내 적용을 위해서는 국내 특성에 맞게 다양한 조건(골재량, 응결지연제의 성능 및 노출시간)에서 실험하여 나온 노출특성(노출도 및 평균조직깊이)에 대해 최적의 조건을 산정하고 이에 준한 최적 배합 및 노출기법을 마련해야 한다.

4. 소입경 골재노출콘크리트포장의 최적 노출 방안 연구

골재노출공법은 표층 2~3mm의 미경화된 모르타르를 제거하여 골재를 노출시키는 방법으로 일정깊이의 경화를 지연시킬 수 있는 응결지연제의 성능과 노출시기가 중요시 된다.

굵은골재 최대치수 8mm를 사용한 콘크리트시편을 제작하여 지연제 종류, 살포농도, 살포량 및 노출시기를 변화하여 골재를 노출 시킨 후 노출도, 평균조직깊이에 따른 미끄럼저항을 측정하여 표 2와 같이 적정량의 골재가 고루분포하며 일정깊이를 가져 적정 미끄럼저항값을 가지는 시편으로 최적 노출을 선정하였다.

4.1 응결지연제 성능 평가 실험 및 분석

4.1.1 사용재료

- (1) 시멘트 : 비중 3.15인 S사의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였다.
- (2) 골재 : 굵은골재 최대치수 8mm, 비중 2.60인 쇄석골재를 사용하였으며 잔골재는 0~1mm 크기를 가지며 비중이 2.57인 모래를 사용하였다.
- (3) 응결지연제 : 콘크리트 표면의 응결을 지연시켜 소요 조직깊이를 얻기 위하여 주성분이 인산염이고 비중이 1.10인 A형과 주성분이 탄수화물/녹말군의 결정성가루와 수분으로 이루어지며 비중이 1.08인 B형을 사용하였다.

4.1.2 사용배합

본 실험에서는 한국도로공사 시방서 기준에 의거하여 골재노출콘크리트에 적합할 것으로 예상되는 배합을 표 3과 같이 선정하였다. 배합 시 온도 24℃, 습도 60%이다. 배합결과 공기량 4%, 슬럼프값 1cm로 한국도로공사 포장용 시멘트 콘크리트의 배합기준에 만족하였다.

표 3. 사용 배합

물/시멘트비 W/C (%)	잔골재율 S/a (%)	단위량 (kg/m ³)				
		W	C	S	G	AE제
45	30	150	333.3	536	1262	C×0.1%

4.1.3 실험방법

평판형 몰드(30cm×30cm×10cm)를 사용하여 144개의 시편을 제작하였으며 표면의 수분이 사라질 시기(타설 후 3시간)에 표 4와 같이 지연제 종류, 살포농도 및 살포량을 변화시켜 표면에 고루 살포하여 정해진 노출시기에 맞춰 철제 브러쉬를 이용하여 콘크리트 표면의 모르타르를 제거하였다. 또한, 양생방법은 지연제 살포 후 무처리를 통한 대기 노출과 지연제의 증발을 막기 위하여 비닐시트로 덮는 두 가지 방식으로 실시하였다.

표 4. 실험방법

	1	2	3	4
지연제종류	A형	B형		
살포농도	2:1	1:1	1:2	
살포량	200g/m ²	300g/m ²	400g/m ²	
양생방법	대기	비닐시트		
노출시기	타설 후 8시간	타설 후 12시간	타설 후 18시간	타설 후 24시간



4.1.4 실험결과 및 분석

본 실험결과 노출시기에 있어 지연제 종류에 대하여 특정 농도를 제외하고는 8시간과 12시간에서 대부분 굵은골재 탈리현상이 발생하여 제외하였다. 골재 탈리현상은 지연제 효과에 의하여 골재와 시멘트 바인더간의 부착력이 발생되지 않아 노출장비에 의해 골재가 떨어져 나가는 현상으로 골재를 노출시켜 미끄럼저항 및 소음저감을 지향하는 골재노출공법에 적용하지 못한다.

살포농도 및 살포량을 정하기 위하여 비닐양생 상태에서 노출시간을 18시간으로 하여 지연제 농도, 살포량에 대하여 변화를 준 시편의 평균조직깊이(MTD) 및 노출도를 측정·비교하였다.

표 5. 지연제 농도 및 살포량에 따른 실험결과

A형 지연제				B형 지연제			
농도 (물:지연제)	살포량	MTD(mm)	노출도 (개/25cm ²)	농도 (물:지연제)	살포량	MTD(mm)	노출도 (개/25cm ²)
2:1	200g/m ²	1.9	45	2:1	200g/m ²	2.3	44
2:1	300g/m ²	2.4	43	2:1	300g/m ²	3.0	44
2:1	400g/m ²	2.2	49	2:1	400g/m ²	2.7	38
1:1	200g/m ²	2.0	44	1:1	200g/m ²	1.9	45
1:1	300g/m ²	2.5	44	1:1	300g/m ²	1.8	45
1:1	400g/m ²	2.7	45	1:1	400g/m ²	2.3	40
1:2	200g/m ²	2.2	45	1:2	200g/m ²	2.0	44
1:2	300g/m ²	2.2	35	1:2	300g/m ²	1.9	36
1:2	400g/m ²	1.9	35	1:2	400g/m ²	1.9	45

국의 소입경 골재노출공법의 경우 평균조직깊이에 대해 0.7~1.8mm 까지 목표치를 두고 있지만 본 실험에서는 대부분 그 이상을 나타냈다. 또한, 노출도의 경우에도 국외는 55~60개/25cm²를 가지지만 실험결과 45개를 넘는 것이 거의 없었다. 따라서 본 연구에서는 평균조직깊이가 국외 목표치와 근접하며 노출도가 많이 나온 시편을 적용하여 지연제 농도 및 살포량을 정하였다. A형 지연제의 경우 2:1 농도와 200g/m²의 살포량을 정하였고 B형 지연제는 1:1 농도와 300g/m²의 살포량으로 정하였다.

지연제 및 노출시기 결정을 위해 표 6과 같이 위 두 가지 방법으로 18시간 및 24시간 후에 노출을 실시한 시편의 평균조직깊이, 노출도를 측정·비교하였다.

표 6. 노출시기에 따른 실험결과

노출시기	A형 지연제		B형 지연제	
	MTD(mm)	노출도 (개/25cm ²)	MTD(mm)	노출도 (개/25cm ²)
18시간	1.9	45	1.8	45
24시간	2.2	48	1.9	45

실험결과 지연제 종류에는 B형 지연제를 시간의 변화에도 평균조직깊이 변화량이 적었으며 노출도도 유사한 값을 나타내어 최종적으로 선정하였다. 또한, B형 지연제의 점성으로 인해 도로 구매에도 잘 흐르지 않아 지연제의 효과가 고루 작용할 수 있으며 경제성 비교에도 우위를 보였다. 또한 양생방법은 위의 방법으로 대기양생 및 비닐양생을 비교하였다.

표 7. 양생방법에 따른 실험결과

양생방법	MTD(mm)	노출도 (개/25cm ²)	SN ₄₀ (WET)
대기	1.9	45	61
비닐	1.9	45	64



양생방법에 따른 평균조직깊이 및 노출도의 차이가 거의 없었다. 미끄럼저항의 경우 두 방법 모두 타이닝 콘크리트포장의 신설 초기 미끄럼저항(SN₄₀=61)과 유사한 값을 나타내었다. 따라서 본 실험에서는 지연제 살포 후 비닐을 덮는 작업 및 노출을 시키기 위해 비닐을 제거하는 작업을 줄여 시공의 용이성 및 경제적 우위를 점할 수 있는 대기양생을 선정하였다.

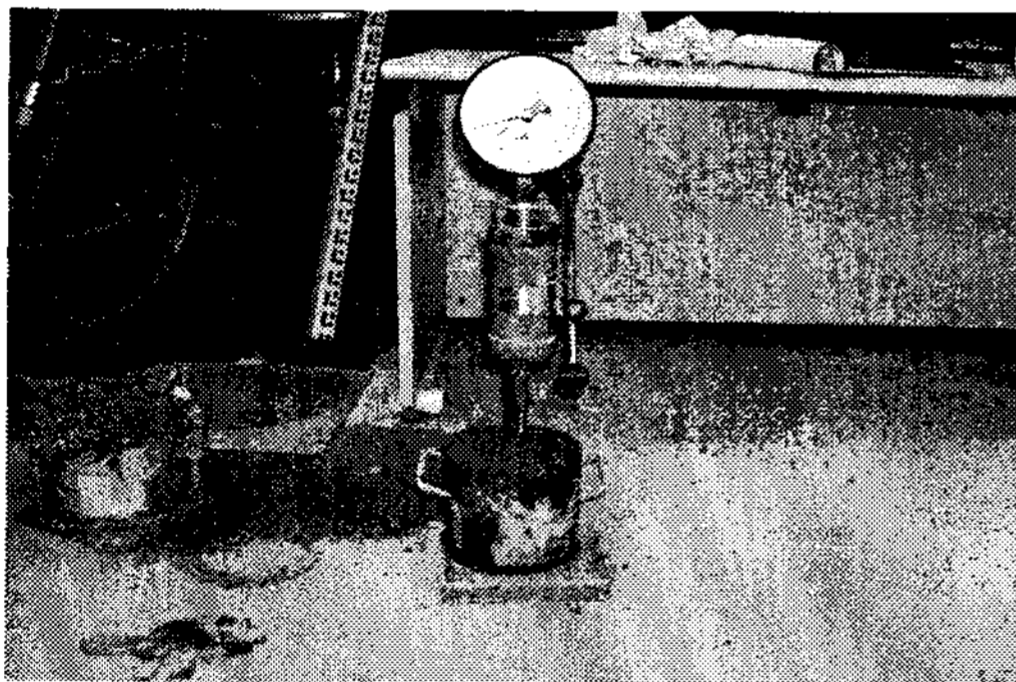
4.2 관입저항침에 의한 최적노출시기 결정

콘크리트의 경우 온도, 습도 및 대기환경에 의해 경화의 진행이 크게 달라진다. 따라서 골재노출공법의 최적 노출방안에서 제시한 시간 변화에 의한 골재 노출 시기가 아닌 현장에서 판단하여 노출을 실시할 수 있도록 관입저항침에 의한 콘크리트 응결시간 시험방법(KS F 2436)을 실시하였다. 본 실험에서는 관입저항하중에 의한 콘크리트의 초기 응력을 알아보고 시간변화에 따른 노출을 실시하였으며 최적 노출 시기 결정시 관입저항응력을 제시하였다.

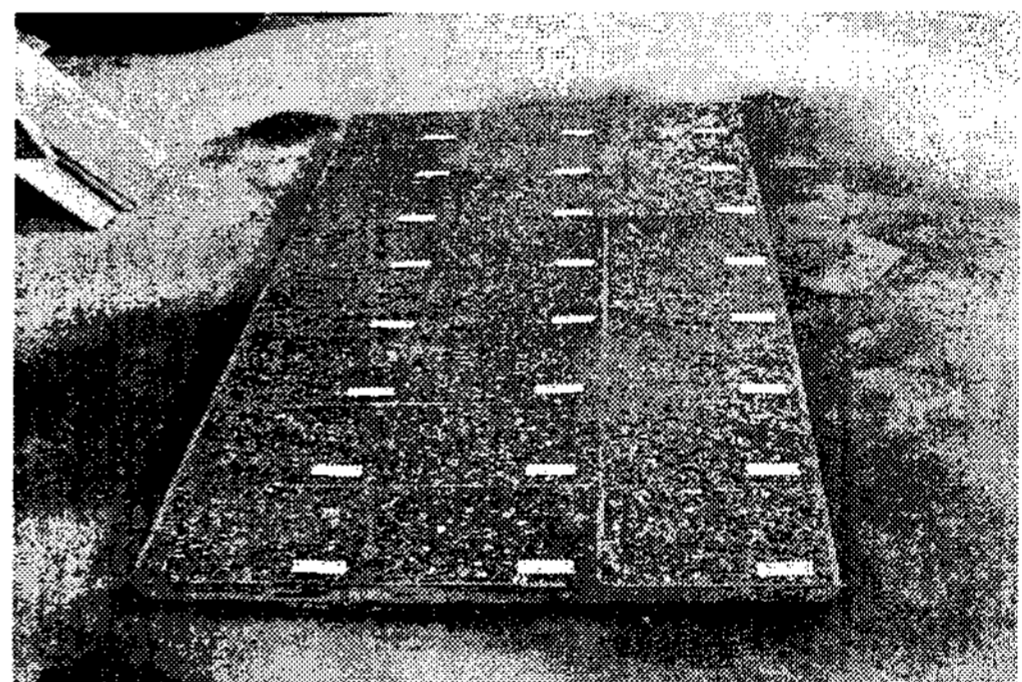
4.2.1 실험방법

본 실험에서 사용배합은 표 3과 동일하며 사용재료는 굵은골재의 최대치수를 13mm로 변경하였다. 골재노출 공법의 최적 노출방안에서 제시한 것과 같이 지연제의 종류, 살포농도, 살포량, 살포시기 및 양생방법을 동일하게 실시했으며 골재 노출 시기를 변화하였다. 실험 시 평균온도 11.5℃, 평균습도 57.7%이다.

시편의 제작은 12, 15, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30시간을 기준으로 각 시간대별 3개씩의 시편을 제작하였으며 최적 노출시기를 결정하기 위하여 관입저항하중을 측정 후 골재 노출을 실시하였다. 관입저항침의 크기는 20시간까지 16mm를 사용하였으며 22시간대는 12.5mm로 변경하였다.



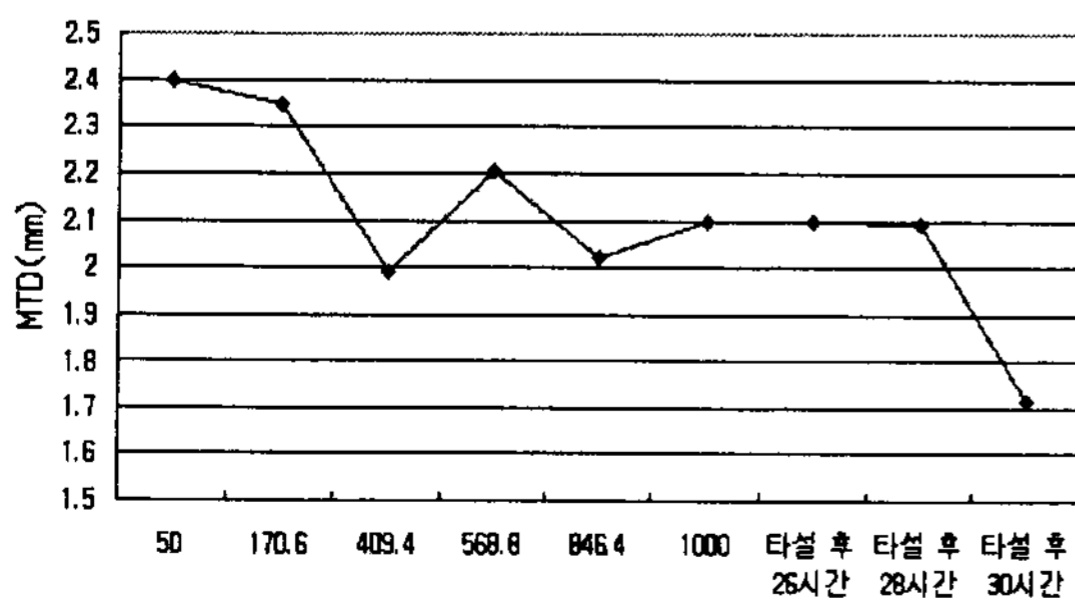
a. 관입저항침 시험기



b. 시편제작

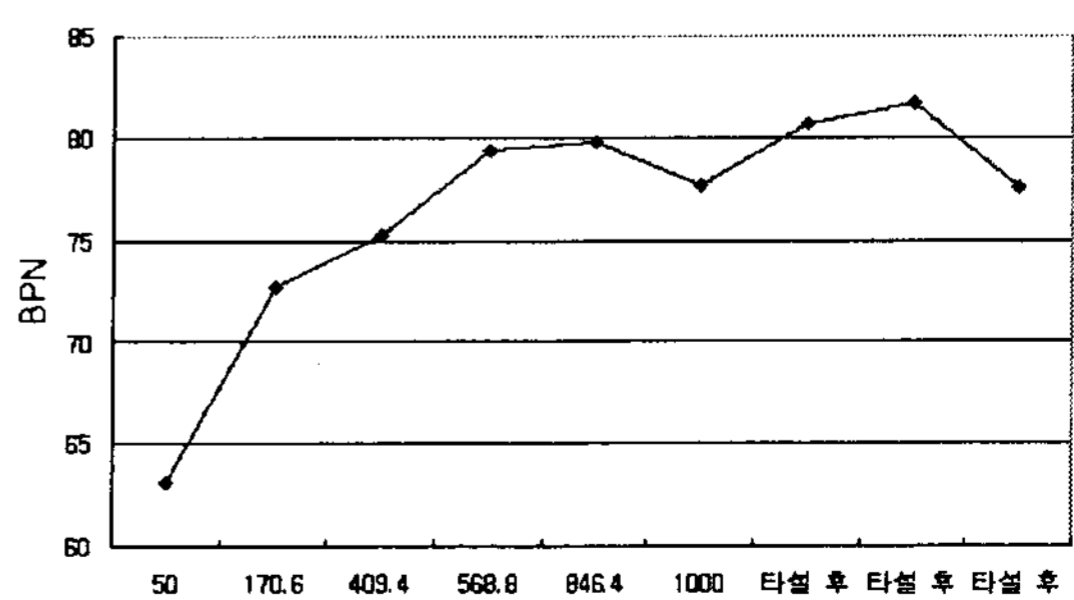
그림 6. 관입저항침에 의한 콘크리트 응결시간 시험

4.2.2 실험결과 및 분석



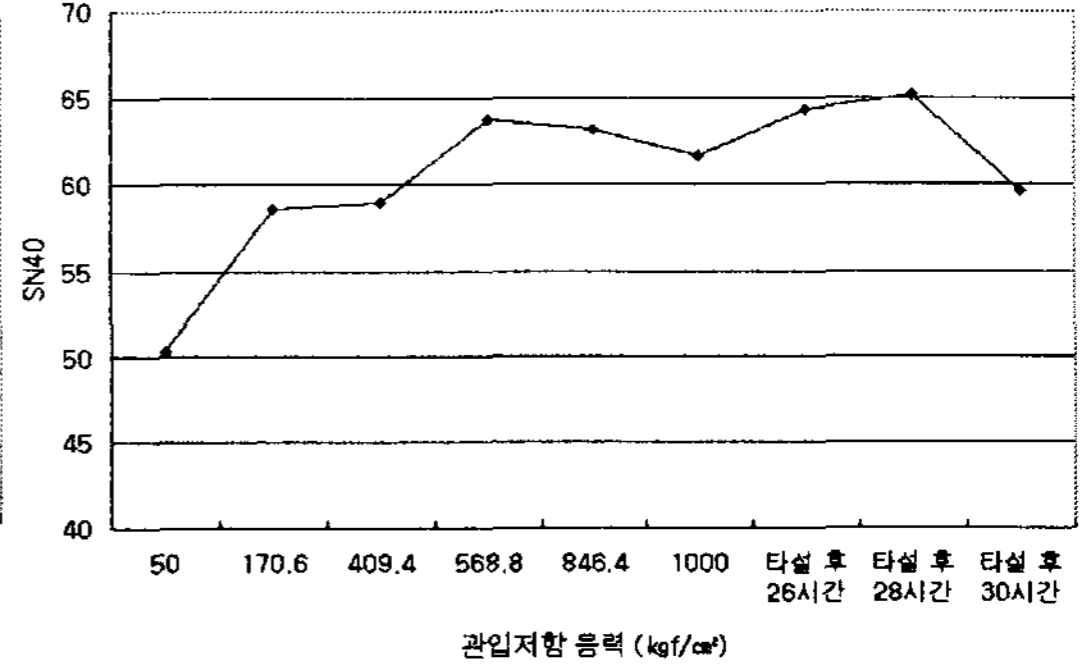
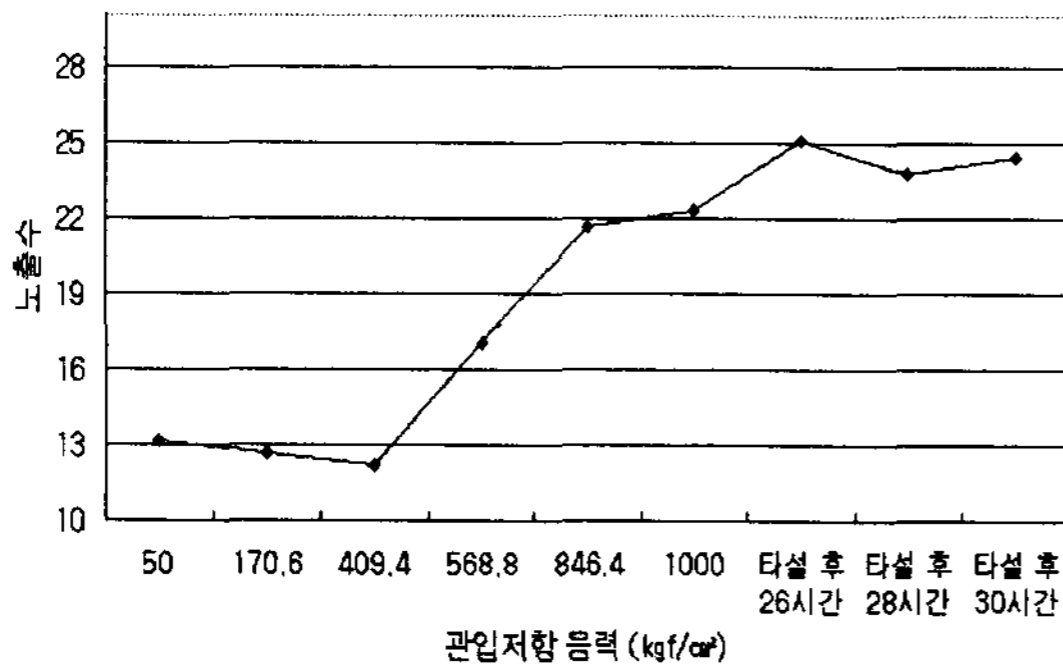
관입저항 응력 (kgf/cm²)

a. MTD 변화



관입저항 응력 (kgf/cm²)

b. BPN 변화



c. 노출도 변화

d. SN₄₀ 변화

그림 7. 관입저항 변화에 따른 측정 결과

관입저항 측정 시 관입저항침의 크기는 16mm²를 사용하였으며 22시간 측정 시 데이터 범위를 초과하여 12.5mm²으로 변경하였다. 관입저항 하중은 22시간 경과 시 100kgf 이상이 측정 되었으며 이에 따른 관입저항응력은 24시간이 경과 시 1000kgf/cm²이상이 추정된다.

MTD 변화를 살펴보면 관입저항 응력이 1000kgf/cm² 이상 발생 시 2.0~2.1mm 사이의 균일한 값을 나타내며 30시간 이상 경과되면 급격히 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. BPN 변화 관입저항 응력이 846kgf/cm² 이상 발생 시 78~82 사이의 값을 나타내며 30시간 이상 경과되면 떨어지는 것을 확인하였다. 이로 인해 SN₄₀의 경우 64~65사이의 값을 나타내며 30시간 이상 경과되면 오히려 값이 감소하는 경향을 확인하였다.

또한 노출도의 경우 관입저항 응력이 1000kgf/cm²이상 발생하였을 경우 22~25 사이의 값을 갖게 되며 시간 변화에 따른 데이터의 폭이 크게 차이가 나지 않음을 확인하였다.

따라서 관입저항침에 의한 최적노출시기 결정은 관입저항 응력이 1000kgf/cm² 이상이 발생한 시점부터 콘크리트 타설 후 30시간이 경과하기 전까지가 적절하다.

위와 같은 실험을 통하여 골재노출공법의 최적 노출방안을 표 8과 같이 제시한다.

표 8. 최적 노출방안

	기준
응결지연제 종류	Chemisol-CD (탄수화물/녹말군의 결정성가루와 H ₂ O로 이루어진 조성물)
지연제 살포량	300g/m ²
지연제 농도	(지연제 : 물) 1 : 1
지연제 살포시기	콘크리트 타설 후 3시간
골재노출기	steel brush 사용
양생	대기 양생
골재노출시기	관입저항 응력이 1,000kgf/cm ² 이상 발생한 시점부터 콘크리트 타설 후 30시간이 경과하기 전까지의 시기

5. 소입경 골재노출콘크리트포장의 최적 배합 방안 연구

5.1 굵은골재 최대치수 선정을 위한 연구

5.1.1 실험방법

저소음 및 미끄럼저항에 중요한 영향인자인 노출도 및 평균조직깊이는 여러 가지 변수에 의해 결정되며 특히, 배합 시 굵은골재 최대·최소치수에 지배적인 영향을 받는다. 또한, 골재노출콘크리트포장은 균일하게



많은 굵은골재가 노출되도록 굵은골재 용적을 크게 하는데 굵은골재 최대치수가 커지면 표면에 노출되는 골재의 수가 적어지게 되며 굵은골재의 최대치수가 작아지면 노출 작업 시 골재탈리현상이 발생할 가능성이 있어 굵은골재 최대치수는 배합 시 고려되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 골재노출콘크리트포장에 적용될 굵은골재 최대치수를 선정하기 위하여 8mm, 13mm, 19mm의 굵은골재 최대치수를 사용하여 골재노출콘크리트시편(30×30×10cm)을 각각 3개씩 제작하였으며 이에 대한 MTD, 노출도, 미끄럼저항(BPN)을 측정하였다. 또한, 횡방향타이닝 및 무타이닝 콘크리트시편을 제작하여 비교·분석 하였다.

무타이닝 및 횡방향 타이닝의 경우 표 4.3의 시방배합에서 일반콘크리트의 배합을 실시하였으며 8mm, 13mm 및 19mm 골재노출콘크리트시편은 골재노출의 시방배합으로 제작하였다.

무타이닝 콘크리트시편은 표면처리 없이 비닐양생을 실시하였으며 횡방향타이닝 콘크리트시편은 국내에서 일반적으로 사용하는 간격 25mm, 홈 깊이 3mm로 하였다.

5.1.2 실험 결과 및 분석

표 9는 골재노출콘크리트포장의 굵은골재 최대치수 선정을 위한 실험 결과를 정리하였다.

표 9. 측정데이터

표면처리	측정결과		
	MTD(mm)	BPN(wet)	노출도(개/25cm ²)
무타이닝	0.85	71	-
횡방향타이닝	2.5±0.2	83	-
19mm 골재노출	2.8±0.2	75	12
13mm 골재노출	2.0±0.2	83	28
8mm 골재노출	1.8±0.3	85	38

평균조직깊이(MTD)는 가장 간단하고 일반적인 샌드패칭(Sand Patching)법을 사용하였다. 무타이닝의 경우를 제외한 대부분의 표면처리방법에 따른 MTD의 변화가 나타났으며 특히, 13mm와 8mm 골재노출의 경우 근소한 값의 차이를 보였다.

미끄럼저항의 경우 BPT를 이용하였으며 이 장비는 현장의 도로나 실내의 시편에 손쉽게 적용하여 표면의 상대적인 미끄럼저항을 측정할 수 있다. 측정결과 골재노출콘크리트시편의 경우 소입경일수록 BPN이 증가하는 것을 알 수 있으며 13mm골재노출의 경우 횡방향타이닝 이상의 미끄럼저항을 나타내었다.

노출도의 경우 25cm² 면적에 노출되어 있는 굵은골재의 개수를 측정하였으며 골재노출의 경우 소입경일수록 노출도가 증가하는 것을 알 수 있다.

굵은골재의 최대치수 변화에 따른 골재노출콘크리트시편의 MTD, BPN 및 노출도 측정결과를 살펴보면 굵은골재가 소입경일수록 좋은 결과를 나타내었다. 그러나 13mm 골재노출의 미끄럼저항 측정결과를 살펴보면 횡방향타이닝과 대등한 수준을 나타내며 8mm골재노출과 근소한 차이를 보였다.

굵은골재 최대치수 8mm에 대한 골재노출콘크리트포장의 외국문헌을 살펴보면 대부분 2단포설을 실시하고 있으며 2단포설이 어려운 국내 여건상 문제점이 발생한다. 그리고 국내 고속도로 콘크리트포장용 전문시방서에 의하면 굵은골재 최대치수를 13mm까지 적용하고 있으며 굵은골재 최대치수 8mm를 적용할 경우 추가적인 골재 파쇄로 인한 경제성이 떨어진다.

따라서 위와 같은 결과를 통해 소입경 골재노출콘크리트포장의 굵은골재 최대치수를 13mm로 선정하였다.

5.2 굵은골재의 입도설계

골재노출콘크리트포장을 적용하고 있는 국외의 경험을 비추어 보면 저소음 및 적정 미끄럼저항을 유지하기 위하여 굵은골재 최대 치수를 소입경(7~13mm)으로 실시하고 있으며 굵은골재 최대치수 선정을 위한 연구를 통하여 소입경 골재노출콘크리트포장의 적정 굵은골재 최대치수를 13mm로 선정하였다.



국내의 경우 도로공사 전문시방서에 의해 콘크리트포장이 시행되고 있으며 포장용 콘크리트의 굵은골재 입도 기준은 다음 표 10과 같다.

표 10. 포장용 콘크리트의 굵은골재 입도 기준 (고속도로공사 전문시방서)

골재의 크기(mm)	체호칭(mm)								
	53	37.5	31.5	26.5	19	13.2	9.5	4.75	2.36
37.5~4.75	100	95~100	-	-	35~70	-	10~30	0~5	-
31.5~4.75	-	100	95~100	-	40~75	-	10~30	0~10	0~5
26.5~4.75	-	100	-	95~100	-	25~60	-	0~10	0~5
19.0~4.75	-	-	-	100	90~100	-	20~55	0~10	0~5
13.2~4.75	-	-	-	-	100	90~100	40~70	0~15	0

5.2.1 실험방법

포장용 콘크리트의 굵은골재 입도 기준에 의거하여 굵은골재 13mm에 대한 입도설계를 하였다. 저소음 및 적정 미끄럼저항을 유지하기 위한 소입경 골재노출콘크리트포장의 입도가 포장용 굵은골재 입도기준의 범위에 대부분 포함되지 않았다.

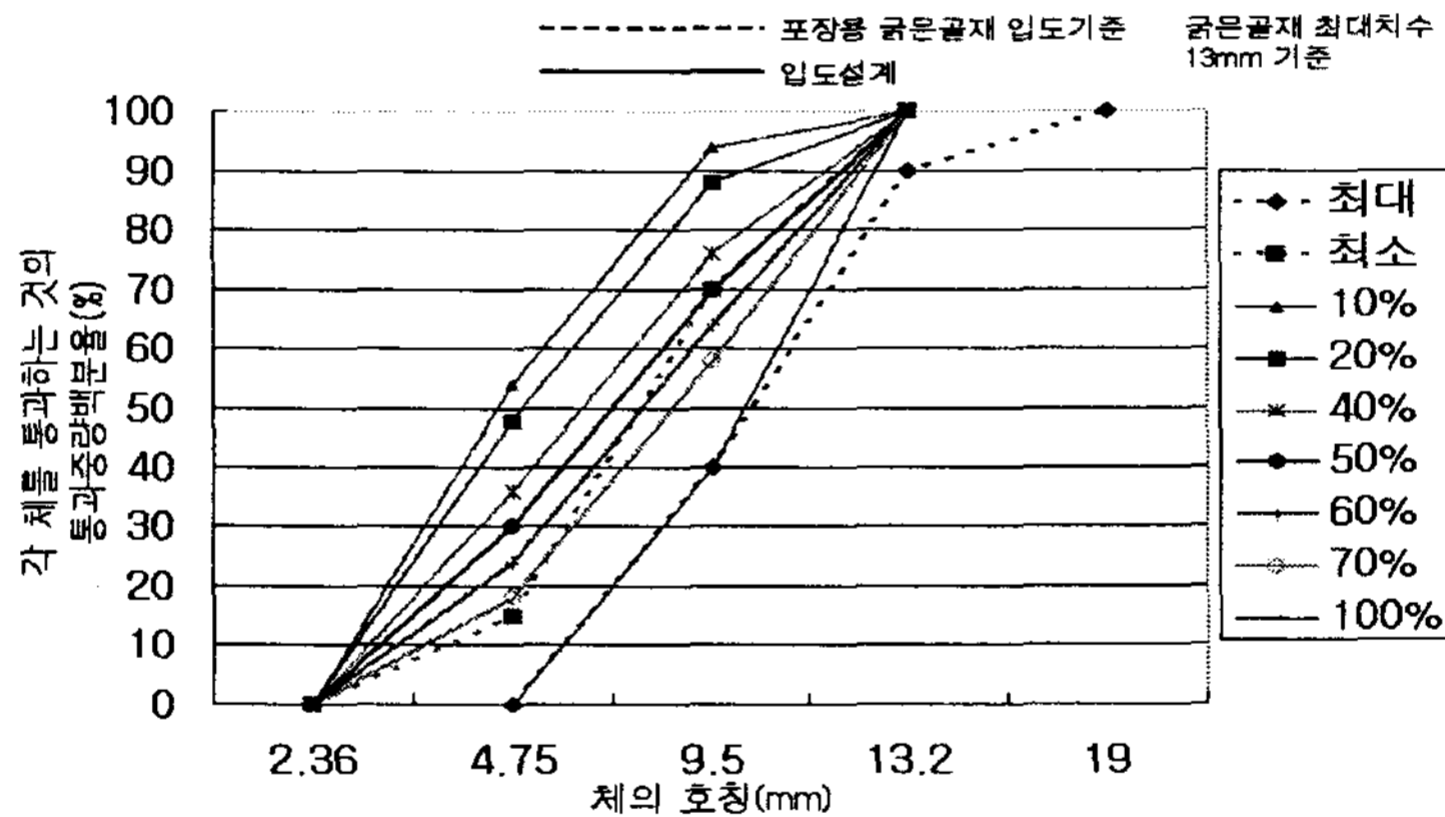


그림 8. 13mm 골재노출콘크리트포장의 입도 설계

사용재료 및 사용배합은 최적 노출기법연구에서 수행한 것과 동일하며 실험 시 평균온도 12.5℃, 습도 62.4%이다. 배합 시 공기량 4%, 슬럼프값 1cm로 한국도로공사 포장용 시멘트 콘크리트의 배합기준을 만족하였다.

실험방법은 굵은골재의 입도를 3가지로 분류하였으며 4.75~9.5mm 입도의 골재량을 일정하게 유지한 후 2.36~4.75mm와 9.5~13.2mm 입도의 골재량을 변화시켜 MTD, BPN 및 노출도를 측정하였으며 시편의 제작은 9.5~13.2mm 입도의 골재량과 2.36~4.75mm 입도의 골재량과의 함량비를 10, 20, 40, 50, 60, 70 및 100%로 변화 시키며 각 변수에 대해 3개씩의 시편을 제작하였다. 표 11은 시방배합에 따른 굵은골재의 함량을 1,264kg/m³으로 할 경우 각각의 변수에 대한 입도를 나타낸 것이다.

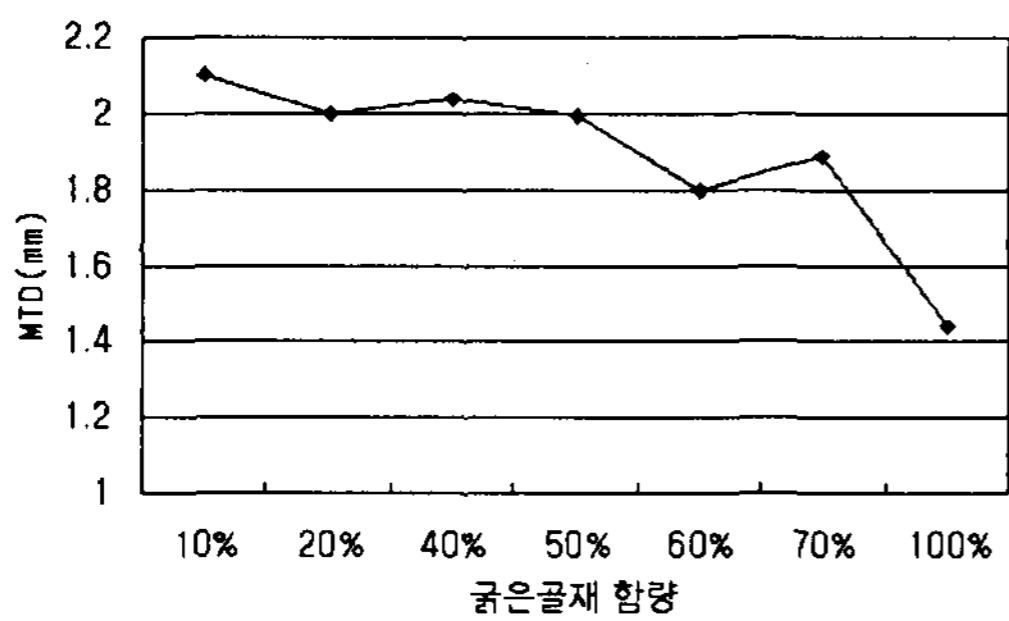
노출은 관입저항침에 의한 콘크리트 응결시간 시험방법을 이용하여 최적노출시기인 관입저항응력이 1,000 kgf/cm² 이상 발생하였을 때 실시하였다.



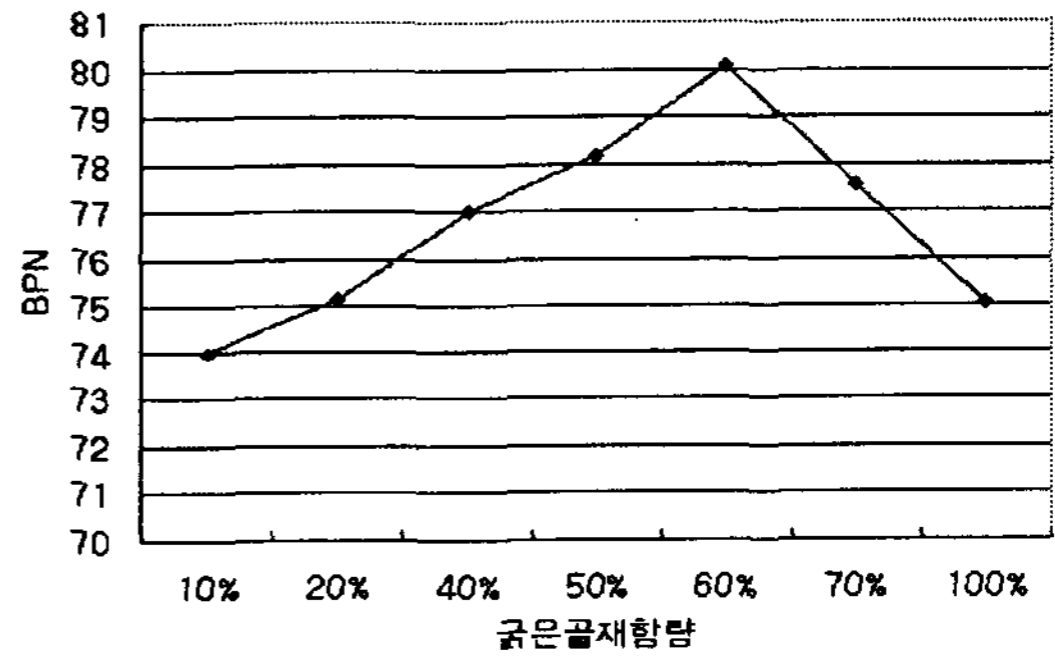
표 11. 굵은골재 입도 조정

입도 (mm)		굵은골재 함량 (kg)						
		10%	20%	40%	50%	60%	70%	100%
2.36~4.75	조정	681.48	605.76	454.32	378.60	302.88	227.16	0
4.75~9.5	40% 고정	504.80	504.80	504.80	504.80	504.80	504.80	504.80
9.5~13.2	조정	75.720	151.44	302.88	378.60	454.32	530.04	757.20

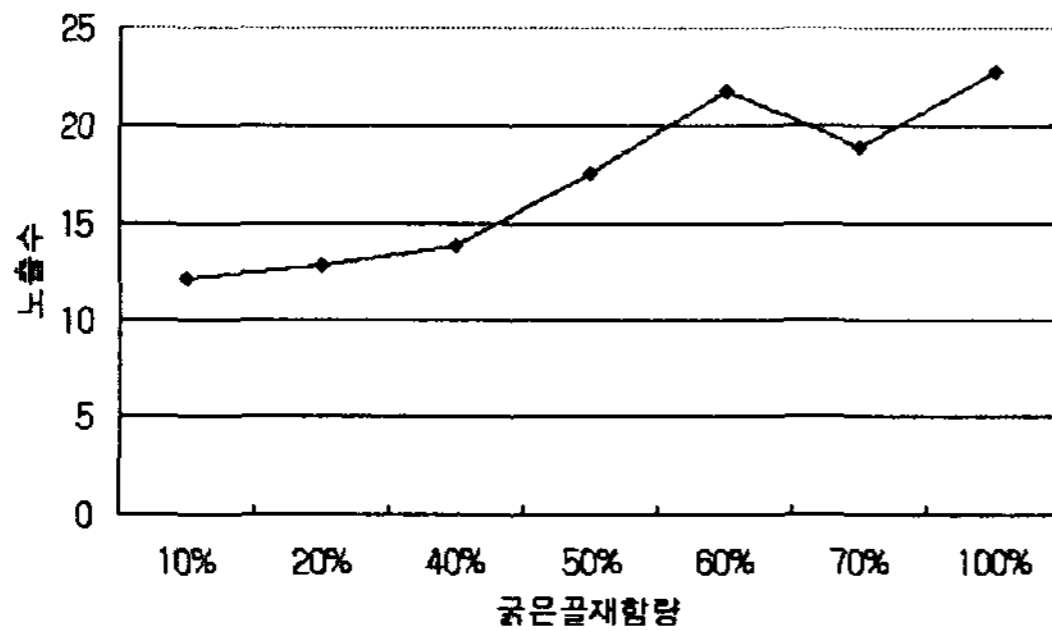
5.2.2 실험 결과 및 분석



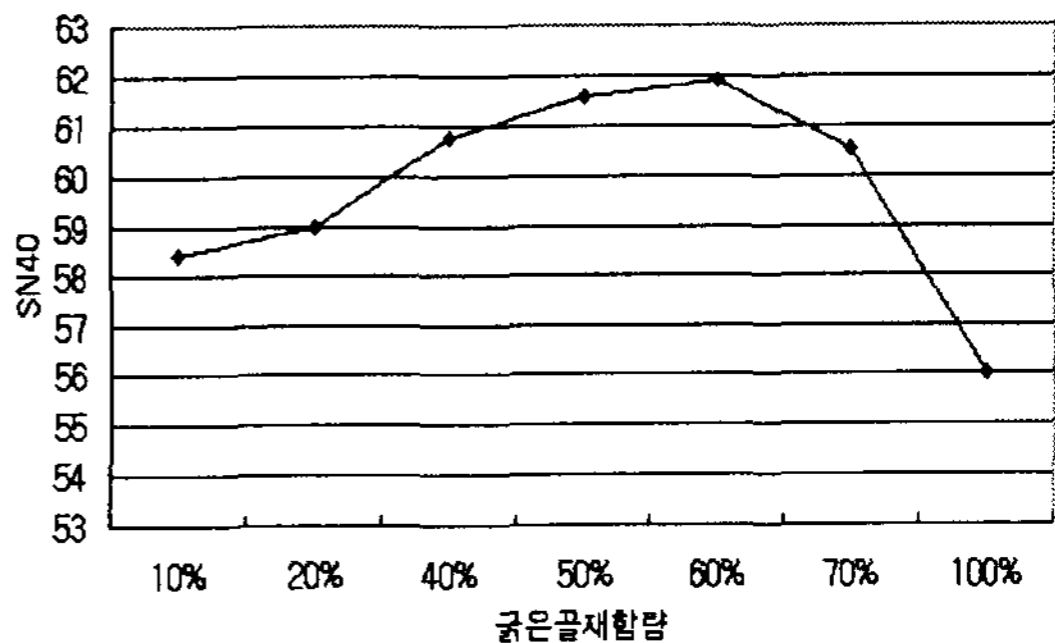
a. 굵은골재 함량에 따른 MTD 변화



b. 굵은골재 함량에 따른 BPN 변화



c. 굵은골재 함량에 따른 노출도 변화



d. 굵은골재 함량에 따른 SN₄₀ 변화

그림 9. 굵은골재 함량에 따른 측정 결과

굵은골재 함량에 의한 MTD의 변화를 보면 60% 이상일 경우 2mm이하의 값을 가지며 100%일 경우 MTD가 현저히 감소함을 알 수 있다.

BPN의 변화를 보면 60%일 경우 80이상의 높은 값을 나타내며 이로인해 SN₄₀ 변화가 60%일 경우 가장 높은 값을 가지며 100%일 경우 큰 폭으로 감소하는 경향을 알 수 있다. 또한 노출수의 변화를 살펴보면 굵은골재 함량이 증가할수록 노출수가 증가하나 60%이상으로 증가할수록 측정값의 변화가 미비함을 알 수 있다.

따라서 굵은골재 함량에 의한 최적 입도 설계는 60%임을 확인하였다.

5.3 최적 배합비 산정

5.3.1 실험방법

표 1에서 나타낸 바와 같이 각 나라별 골재노출콘크리트포장의 상층부 시방배합을 살펴보면 대부분의 나



라에서 물/시멘트비를 40% 이하로 낮추었으며 단위시멘트량을 400kg/m³ 이상으로 유지하고 있다. 현재 실험 중인 시방배합이 콘크리트의 재료 배합 및 타설 시 적정 강도 유지, 굽은골재의 가라앉음 현상을 배제하고 적정 슬럼프를 유지하는데 이상은 없지만 균일하게 많은 굽은골재를 포장표면에 노출하고, 노출장비를 이용한 골재 노출 및 양생 후 교통 개방을 실시할 경우 굽은골재의 탈리를 방지하기 위하여 물/시멘트비 및 단위시멘트량의 보정을 필요로 한다.

굽은골재 입도설계에서 확인된 굽은골재 최적 함량인 60%의 실험결과와 비교하기 위하여 굽은골재, 잔골재 및 혼화제의 단위량은 고정하였고 표 12와 같이 물/시멘트비와 단위시멘트량을 변화하였다. 물/시멘트비를 45%에서 40%로 낮추고 단위시멘트량을 333.3kg/m³에서 400kg/m³으로 증가시켜 5개의 시편을 제작하였으며 MTD, BPN 및 노출도 측정을 통하여 실험의 유효성을 판단하였다.

표 12. 최적 배합비 산정을 위한 시방배합

굽은골재 최대치수	물·시멘트비 W/C(%)	잔골재율 S/a(%)	단위량(kg/m ³)				
			W	C	S	G	AE제
13mm	40	30	150	400	536	1262	C×0.1%
굽은골재 입도	G=1262kg/m ³ 에 대한 입도별 함량						
	입도	2.36~4.75mm		4.75~9.5mm		9.5~13.2mm	
	함량	302.88kg/m ³		504.8kg/m ³		454.32kg/m ³	

5.3.2 실험 결과 및 분석

사용배합의 물/시멘트비 및 단위시멘트량의 변경 후 측정된 실험 결과를 표 13에 나타내었다. 평균조직깊이의 경우 0.15mm 증가한 반면 BPN의 경우 4의 감소를 나타내었다. 따라서 SN₄₀은 3.2의 감소를 나타냈으며 이는 BPN 측정 시 오차로 사료된다. 하지만 저소음 및 미끄럼저항에 중요한 요소인 평균조직깊이의 증가를 보였으며 노출도의 경우 25cm²의 면적에서 7의 증가를 보여 물/시멘트비의 감소와 단위시멘트량의 증가가 적합한 실험이었으며 골재노출공법의 성능을 향상시키는 것을 확인하였다.

표 13. 물/시멘트비 및 단위시멘트량의 변경 후 측정값

	물/시멘트비 45%	물/시멘트비 40%
MTD	1.73	1.88
BPN	80	76
노출도	22	29
SN ₄₀	62	59

5.4 압축강도 평가

사용배합의 변경으로 인한 콘크리트의 압축강도를 측정하기 위하여 표 12에서 제시한 골재노출콘크리트 시방배합을 하였다. 8mm 골재노출, 19mm 골재노출 및 13mm 골재노출 중 입도설계 시 50%, 60%, 70%에 대한 압축강도 공시체를 각각 6개씩 제작하여 7일강도 및 28일 강도를 비교하였다.

실험결과 배합기준에 따른 압축강도 및 탄성계수 측정결과를 표 14에 나타내었다. 골재노출콘크리트시편의 경우 설계기준강도와 비교하여 높은 압축강도를 나타내었으며 골재노출의 경우 굽은골재가 소입경일수록 약간의 강도증진을 보였으며 굽은골재 함량이 60%인 경우가 가장 우수한 강도를 나타내었다.



표 14. 배합기준에 따른 압축강도 및 탄성계수 측정 결과

		배합 기준					설계기준 강도
		9mm	13mm (50%)	13mm (60%)	13mm (70%)	19mm	
7일	압축강도 (MPa)	30.7	30.1	29.8	29.0	25.9	20.0
	탄성계수 (MPa)	2.9×10^4	2.6×10^4	2.5×10^4	2.7×10^4	2.3×10^4	
28일	압축강도 (MPa)	32.6	32.4	35.0	30.6	32.0	29.0
	탄성계수 (MPa)	2.7×10^4	2.9×10^4	2.6×10^4	2.6×10^4	2.6×10^4	

6. 품질관리 기준

오스트리아, 벨기에 및 영국 등의 유럽 국가와 일본에서 시행하는 소입경 골재노출콘크리트포장에 대한 관리기준은 평균조직깊이(MTD), 굵은골재 노출도 및 미끄럼저항값을 목표치로 두고 있다. 이는 평균조직깊이 및 노출도가 저소음 및 적정 미끄럼저항을 유지하는데 중요한 요소이기 때문이다.

그러나 국가마다 관리기준이 상이한 이유는 골재노출콘크리트포장의 굵은골재 최대치수가 다양하기 때문이다. 따라서 본 연구의 결과물인 소입경 골재노출콘크리트포장의 굵은골재 최대치수 13mm에 대하여 저소음 및 적정 미끄럼저항을 유지하기 위한 품질관리 기준을 표 14와 같이 제시한다.

제시된 노출도 및 평균조직깊이는 굵은골재 최대치수 13mm 중 입도설계를 실시하여 MTD, BPN 및 노출도가 우수한 60%의 굵은골재 입도설계 배합의 측정값을 기준으로 한다.

표 15. 소입경 골재노출콘크리트포장의 품질관리 기준

	굵은골재 최대치수(mm)	관리기준	기준값	시험법
소입경 골재노출 콘크리트포장	13	평균 조직깊이	$1.8 \pm 2\text{mm}$	Sand Patching 방법
		골재 노출도	$30 \pm 5\text{개}/25\text{cm}^2$ 이상	Peak법
		미끄럼저항값(BPN)	65 이상	BPT 사용

7. 결론

본 연구에서는 강도, 저소음 및 적정 미끄럼저항을 확보하기 위한 소입경 골재노출콘크리트포장의 최적 배합 및 노출기법의 방안으로서 저소음 및 적정 미끄럼저항을 확보할 수 있는 최적방안을 다음과 같이 제시하였다.

(1) 골재노출콘크리트포장의 최적 노출 방안 연구를 통하여 응결지연제 성능 평가 실험 및 분석을 실시하였다. 지연제는 주성분이 탄수화물/녹말군의 결정성가루와 수분으로 이루어지며 비중이 1.08인 B형으로 결정되었으며 살포농도는 지연제와 물의 비율을 1:1로 하여 $300\text{g}/\text{m}^3$ 을 살포하는 것이 적정한 것으로 나타났다. 또한 살포시기는 콘크리트 타설 후 3시간이 적정하며 양생방법은 대기양생을 실시한다. (2) 관입저항침에 의한 콘크리트 응결시간 시험방법을 통해 시간 변화에 따른 콘크리트 관입저항 응력을 측정하였으며 이를 통하여 골재노출콘크리트포장의 최적 노출시기를 결정하였다. 실험결과 관입저항 응력이 $1000\text{kgf}/\text{cm}^2$ 이상이 발생한 시



- 점부터 콘크리트 타설 후 30시간이 경과하기 전까지가 골재노출콘크리트포장의 최적 노출시기로 나타났다.
- (3) 골재노출콘크리트포장의 최적 배합 방안 연구를 통하여 굵은골재의 최적 입도 설계를 실시하였다. 4.75~9.5mm 입도의 골재함량을 40%로 고정하였으며 9.5~13.2mm의 입도의 골재와 2.36~4.75mm 입도의 골재함량비 60%에 대하여 13mm 골재노출콘크리트포장에 적용하였을 경우 성능이 우수한 것으로 나타났다.
- (4) 골재노출콘크리트포장의 굵은골재 탈리현상 방지 및 성능향상을 위하여 물/시멘트비 및 단위시멘트량을 변화시켰다. 실험결과 물/시멘트비를 40%로 낮추고 단위시멘트량을 400kg으로 증가시켰을 경우 굵은골재의 탈리 발생이 적었으며 균일하게 많은 노출수를 나타내었다.

감사의 글

본 논문은 건설교통부의 건설핵심기술연구개발사업인 '장수명·친환경 도로포장 재료 및 설계시공기술 개발'의 연구수행 결과입니다.

참고문헌

1. 강릉대학교, (2003), "저소음 콘크리트포장연구 개발 과제 최종보고서", 포스코 건설
2. 김남철, (2005), "골재노출 콘크리트포장 노면특성에 관한 연구", 강릉대학교 석사 학위논문
3. 문준범, (2002), "콘크리트 표면처리 방법에 따른 소음 감소방안 연구", 중앙대학교 석사학위논문
4. 이승우, (2004), "콘크리트포장 노면의 마모에 따른 미끄럼저항 변화예측", 대한토목학회 논문집, pp.737~742
5. 이승우, (2006), "소음저감을 위한 골재노출 포장공법의 적용", 한국도로학회지 특집기사, pp.16~29
6. 한국도로학회, (2004), "유럽의 콘크리트 포장 및 기능성 포장", 한국도로학회 콘크리트 분과 위원회
7. 한승훈, (2007), "소입경 골재노출콘크리트포장의 노면특성에 관한 연구", 강릉대학교 석사 학위논문
8. BR h.c Prof. Dipl.-Ing. Dr. Hermann Sommer, "LONGTIME EXPERIENCE WITH EXPOSED AGGREGATE SURFACES IN AUSTRIA", Wien, Austria
9. FHWA-IF-02-020, (2002), "Pavement Texturing and Tire-Pavement Noise"
10. H. Sommer, "Exposed Aggregate Concrete In Austria", 1992. 10
11. Hermann, Sommer., (2003), "Upgrading the Roads of Austria for the Needs of the Growing European Union", Bripave Seminar, pp.117~121
12. Hibbs, B.O. and Larson, R.M., (1996), "Tire Pavement Noise and Safety Performance", FHWA, Final Report, FHWA A-SA-96-068
13. Kuemmel, David A., Sontag, Ronald C., Crovetti, James A., Becker, Yosef. and Jeackel, John R., "Noise and texture on PCC pavements", Marquette University, (2000)
14. Sandberg. and Jerzy, A. Ejsmont., "Texturing of cement concrete pavements to reduce traffic noise", Institute of Noise Control Engineering, pp.231~243, (1998)