

질산칼슘 혼화재를 사용한 신속개방형 포장 콘크리트의 적정배합비 도출

Mix Proportions of Early-Strength Pavement Concrete Using Calcium Nitrate

원종필* · 이시원** · 이상우** · 박해균***

Won, Jong Pil · Lee, Si Won · Lee, Sang Woo · Park, Hae Geun

Abstract

This study proposed mix proportions of early strength pavement concrete for large size area using calcium nitrate. Therefore, we used type III cement with calcium nitrate. Laboratory tests conducted to air content, slump loss test, setting time test, compressive strength test and flexural strength test. Our early strength pavement concrete mixture proportion proposed in this study for large size area attained the required compressive strength of 21 MPa and a flexural strength of 3.8 MPa, which allowed it to be opened to traffic within 8 hours. Based on test results, we suggested optimum mix proportions of early strength pavement concrete for large size area using calcium nitrate.

Keywords : early strength concrete, large size area, high early strength cement

요 지

본 연구에서는 신속개방형 포장 콘크리트의 적정배합비를 도출하기 위한 실험을 실시하였다. 콘크리트 타설 후 8시간 후 교통개방을 하기 위해 조강제 및 조강시멘트를 사용하였으며 조강제의 적정 혼입량을 결정하기 위해 예비실험을 실시하였다. 이를 바탕으로 시멘트 및 잔골재율을 변수로 공기량, 슬럼프 경시변화, 응결시험, 압축강도, 휨강도 시험을 실시하였다. 실험 결과 8시간 목표 압축강도 21 MPa, 휨강도 3.8 MPa를 만족하는 신속개방형 교통개방 포장 콘크리트의 적정배합비를 도출하였다.

핵심용어 : 신속개방형 포장 콘크리트, 조강시멘트

1. 서 론

조기 교통개방을 위한 포장 콘크리트를 적용하여 급속시공을 시행할 때 조기에 높은 강도가 발현되어야 한다. 일반적으로 조기 교통개방 콘크리트의 경우 단 시간 내에 급격한 수화반응으로 인한 높은 수화열과 빠른 증발율로 인해 수축균열이 발생하기 때문에 균열제어 대책이 필요한데, 만일 포장 구조체에 균열이 발생되면 공용연수가 짧아지며, 보수비용이 증가되므로 각별한 주의를 요한다.

현재 국내에서 많이 사용되고 있는 초속경 시멘트에 라텍스를 혼합하여 사용한 초속경 라텍스 개질 콘크리트를 이용한 공용 중 교량바닥판콘크리트 보수 및 재포장 공법이 개발되어 사용되고 있다(홍창우 등, 2006). 긴급공사의 보수재료로 많이 사용되고 있는 초속경 시멘트 콘크리트는 교통개

방에 요구되어지는 소요강도를 빠른 시간(보통 3~4시간)에 얻을 수 있지만 보통 시멘트와 다른 초속경 시멘트의 수화 매커니즘에 의해서 빠른 응결과 시공 시에 치기, 다짐 및 표면 마무리 면 작업에 세심한 주의를 기울여야 한다. 그러나 급속시공에 의한 조기 교통개방이 필요할 경우 초속경 시멘트를 사용한 공법은 빠른 경화시간으로 인하여 대단면의 구간을 시공하기에는 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 대단면의 교면 및 포장구간에 적용할 8시간에 교통개방을 하기 위하여 목표압축강도를 21 MPa로 정하였으며 포장이라는 특성을 감안하여 미국의 많은 주의 교통국들에서 규정하고 있는 휨강도 3.8 MPa를 설계기준으로 하였다. 예비실험 및 본 실험을 통해서 목표강도를 발현할 수 있는 8시간 교통개방을 위한 신속개방형 포장 콘크리트의 적정배합비를 도출하려 한다.

*정회원 · 교신저자 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 교수 (E-mail : jpwon@konkuk.ac.kr)

**정회원 · 건국대학교 대학원 사회환경시스템공학과 박사과정

***정회원 · 삼성물산(주) 건설부문 토목ENG팀 차장

표 1. 조강시멘트의 물리적 특성 및 화학적 조성

Physical properties	Fineness (cm ² /g)	Specific gravity	Setting time		Compressive strength (MPa)			
			Initial (min)	Final (min)	1d	3d	7d	28d
	4650	3.13	180	320	18	29	39	48
Chemical properties	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	SO ₃ (%)	Loss on ignition (%)
	19.7	5.9	3.0	62.1	0.10	0.75	4.2	1.1

표 2. 잔골재 및 굵은 골재의 물리적 특성

Aggregate	Specific gravity			Absorption (%)	F.M
	Bulk	Bulk (SSD)	Apparent		
Fine aggregate	2.53	2.53	2.58	0.76	3.07
Coarse aggregate	2.60	2.63	2.67	0.55	6.52

2. 사용재료

2.1 시멘트 및 골재

본 연구에 사용된 시멘트는 S사의 조강시멘트(3종)를 사용하였고 품질시험 결과는 표 1에 나타내었다. 굵은 골재는 최대치수 19 mm의 부순골재를 사용하였으며, 잔골재는 비중 2.53의 강모래를 사용하였다. 본 실험에 사용된 골재의 물리적 특성을 표 2에 나타내었다.

2.2 질산칼슘

시멘트의 수화반응을 촉진하는 물질은 칼슘이나 나트륨의 염화물, 탄산염, 황산염, 초산염 등의 무기염류 외에 트리에탄올아민(TEA)과 규산칼슘 등이 있다. 대표적인 조강제로 염화칼슘이 있는데 철근 부식을 촉진한다고 알려져 콘크리트 중의 염소이온량(염화물량)을 일정 수준 이하로 억제하도록 하는 규정이 제정되어 현재 사용할 수 없게 되었다. 그 외의 조강제는 효과가 떨어지고 비용도 커서 경제적이지 못한 단점이 있는데 본 연구에서 사용된 질산칼슘은 응결을 촉진시키는 작용이 염화칼슘만큼의 성능을 가지면서 경제적인 재료이다.

질산칼슘의 응결 촉진성능에 대한 연구에서 Justnes 등은 칼슘염(acetate, chloride, formate, nitrate, nitrite)들을 온도 조건(5, 13, 23)을 다르게 하여 비교하였다(Justnes 등, 2001). 비교결과 질산칼슘이 저온에서 가장 효과적인 응결 촉진 성능을 보인다고 하였다. 또한 4가지 다른 포틀랜드 시멘트를 사용하여 5에서 질산칼슘 혼입률을 시멘트 중량의 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1% 혼입하여 응결실험을 수행한 결과 혼입률이 높아질수록 높은 Ca²⁺ 이온으로 인하여 응결 시간이 빨라지고 NO₃⁻ 이온은 시멘트 종류에 따라 영향을 준다고 하였다. 그리고 강도 측정 결과 1일 이전에 영향을 주지만 경화 촉진 성능은 나타나지 않는다고 하였다. 따라서 질산칼슘은 1일 이전 빠른 응결로 인한 강도발현 성능은 높지만 1일 이후 강도 발현에 영향을 주지 않으므로 응결 촉진제로 분류할 수 있다. 또한 질산칼슘은 응결을 촉진시키는 성능으로 유동화제 사용 시 발생하는 지연효과를 방지할 수 있다. 질산칼슘의 응결 촉진 메커니즘은 다음의 두 가지로

볼 수 있다(Justnes 등, 1997).

1) 칼슘염 농축이 증가 유동체의 과포화를 빠르게 함으로써 수산화칼슘에 영향을 준다.

2) 더욱 낮은 황산염 농축은 에티렌사이트의 형성을 천천히/덜 하게 하여 알루미네이트, C₃A 수화의 시작을 짧게 한다.

Rettvin 등은 질산칼슘 0.5% 사용 시 유동화제의 지연효과를 방지하는 효과가 있었다고 보고하였고 Justnes 등 역시 질산칼슘의 유동화제에 의한 지연 방지 효과에 대해 보고하였다(Rettvin(1995), Justnes 등(2001)). Justnes 등은 또한 질산칼슘이 8시간 강도 개선에 영향을 주고 1일 이후 강도에는 영향이 없다고 하였지만 28일 이상인 220일 강도를 측정하여 비교한 결과 혼입률에 따라 강도가 개선되는 효과가 있다고 보고하였다(Justnes 등, 2001). 또한 질산칼슘은 그 성능으로 인하여 한중 콘크리트 타설시 동결 저항 혼화제로 사용된다. 특히 다른 조강제와 비교하여 온도별로 연구를 수행한 결과 질산칼슘이 저온에서 우수한 응결 촉진효과가 발생한다고 나타났다. 질산칼슘의 성능 중 강도에 영향을 주는 성능 이외에 Justnes 등은 콘크리트 내부 철근의 부식 방지 성능에 대해 보고하였다(Rettvin 등, 1995). 질산칼슘을 사용하여 온도 38, 상대습도 90%인 환경에서 연구를 수행한 결과 질산칼슘을 혼입하지 않은 경우는 철근의 부식이 심각하게 발생하였고, 2% 질산칼슘을 혼입한 경우는 표면에 약간의 녹이 발생하였으며 4%를 혼입하였을 경우에는 전혀 부식이 발생하지 않았다고 보고하였다.

질산칼슘의 시멘트 응결 촉진제로서의 효과는 시멘트 종류에 의해 좌우된다. 응결 촉진제의 효과는 belite, C₂S함유량과 관련이 있지만 C₃A에 대한 효과는 관계가 없다.

본 연구에서는 혼화제로서 무염화 조강제인 D사의 분말형 질산칼슘(Ca(NO₃)₂)을 사용하였다.

3. 배합영향 인자를 찾기 위한 실험

3.1 배합설계

8시간에 목표강도가 나오는 최적배합을 도출하기 위하여 1차적으로 배합에 영향을 주는 인자(또는 범위)를 찾기 위한 배합설계는 미연방도로연구프로그램에서 조기 교통개방 포틀랜드 시멘트 콘크리트 포장에 대한 가이드라인에서 6~8시간 교통개방 콘크리트의 경우 1종과 3종 시멘트를 사용하고 시멘트량은 525 kg/m³ 이하, 물-시멘트 비는 0.40이하로 하도록 제시한 내용을 참고하였다(T.J. Van Dam *et al.*, 2005). 본 연구에서는 물-시멘트비 0.32, 단위 시멘트량 500 kg/m³, 잔골재율 45%, 질산칼슘 2%를 기준으로 하여 조강제 강도발현에 미치는 영향에 대해 평가하고, 물-시멘트비 0.32,

표 3. 배합설계

W/C	Cement(kg/m ³)	S/a(%)	Accelerator(%)*
0.32	475	45	2
0.34	500		3
0.36	525		4
	550		

*Accelerator : Calcium Nitrate

0.34, 0.36, 시멘트량 475, 500, 525, 550 kg/m³, 조강제 혼입량 2, 3, 4%의 범위로 콘크리트의 강도발현 및 작업성에 대한 영향을 평가하기 위해 압축강도와 슬럼프손실 측정 실험을 수행하였다. 본 연구에서 사용한 배합설계는 표 3과 같다.

4. 실험방법 및 결과

4.1 공기량 및 슬럼프 경시변화

급속 개방용 포장 콘크리트의 작업성을 알아보기 위해서 KS F 2402에 준하여 슬럼프 시험 및 슬럼프 경시변화 시험을 실시하였고 슬럼프 경시변화 시험 시 동일한 초기 슬럼프 조건을 주기위해 20±2 cm로 고정된 상태에서 1시간동안 시험을 실시하였다(KS F 2402). 공기량의 변화를 알아보기 위해 KS F 2421에 준하여 공기량 시험을 실시하였다. 목표 슬럼프치인 20±2 cm와 목표 공기량인 3~6%를 만족시킬 때까지 고성능 감수제와 AE제를 조절하여 시험을 실시하였다(KS F 2421). 슬럼프 시험 및 슬럼프 경시변화 시험을 실시한 결과는 그림 1과 같다. 초기 슬럼프 모두 배합기준인 20±2 cm를 만족하였고 1시간동안의 경시변화 시험 결과 슬럼프 유지 성능이 우수한 것을 볼 수 있다.

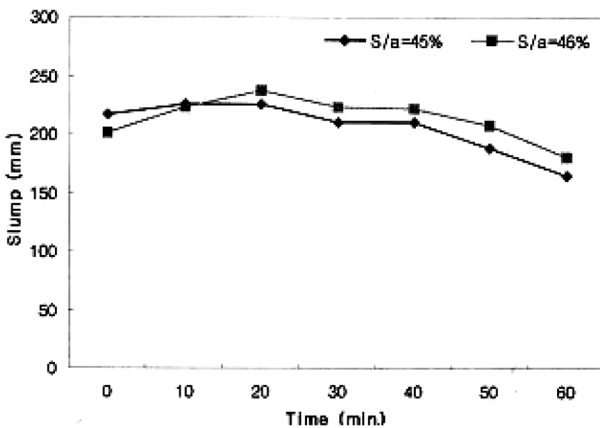


그림 1. 시간에 따른 슬럼프 경시변화

4.2 압축강도

압축강도 특성을 알아보기 위하여 KS F 2405에 준하여 시험을 실시하였다. Ø100×200 mm의 원주형 공시체를 12개를 제작하여 재령 8시간, 24시간, 7일, 28일에 각각 3개씩의 압축강도를 측정하였다(KS F 2405). 공시체는 23±2, 상대습도 50%의 양생실에서 1일 초기양생 후 23±2의 항온 조건으로 수중양생을 실시하였다.

조강제 혼입량과 시멘트량에 따른 시험결과는 그림 2 및 그림 3과 같다. 조강제의 혼입량을 결정하기 위해 물-시멘트비 0.36, 시멘트량을 500, 525 kg/m³으로 고정하고 조강제를 2, 3, 4%를 혼입하여 실험을 수행한 결과 그림 2와 같이 3%에서 가장 높은 강도가 발현되었다. 4%에서는 오히려 강도가 약간 감소하면서 슬럼프가 증가하는 경향이 나타났다. 시멘트량에 대해서는 물-시멘트비 0.34와 가장 높은 강도발현 성능을 보였던 조강제 3%로 고정을 하고 실험을 수행하였다. 그 결과 분체량이 증가함에 따라 슬럼프가 증가하였지만 8시간 압축강도의 경우는 시멘트량 500 kg/m³에서 가장 좋은 효과가 나타났다. 물-시멘트비 0.34, 시멘트량 500 kg/m³, 조강제 3%인 경우에 가장 높은 강도발현이 이루어졌다. 그러나 8시간 목표강도인 21 MPa에 미치지 않는 결과가 나타났다. 이는 고성능 감수제를 사용하지 않는 범위 내에서 콘크리트 혼합이 가능한 물-시멘트비의 한계가 0.34

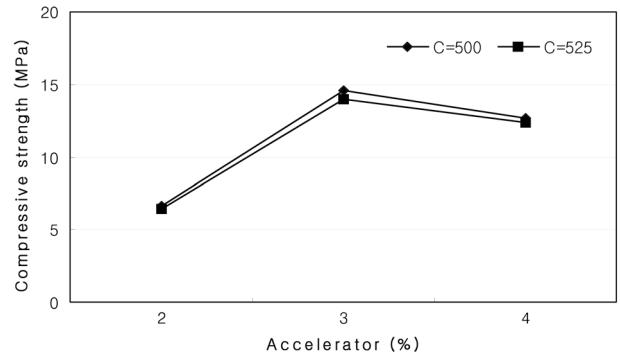


그림 2. 조강제량에 따른 압축강도

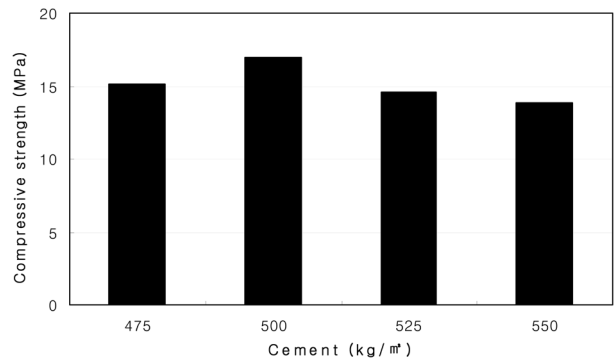


그림 3. 시멘트량에 따른 압축강도

표 4. 압축강도 시험결과

Mixture			Compressive strength			Mean	
W/C	C	Accelerator*	S/a	1	2		3
0.32	500	3	45	23.88	23.62	24.30	23.77
			46	25.09	25.42	25.07	25.19

*Accelerator : Calcium Nitrate

이였기 때문에 다소 높은 물-시멘트비를 사용한 원인으로 판단되어 물-시멘트비를 0.32로 낮추고 고성능 감수제를 혼입하여 실험을 수행하였다. 또한 낮은 잔골재율로 인한 응집성이 부족하여 잔골재율 46%에 대한 실험도 수행하였다. 시험 결과는 표 4와 같다. 물-시멘트비를 0.32로 낮춘 경우 목표 압축강도인 21 MPa 이상을 획득하였고 잔골재율을 1% 올린 46%에서 보다 높은 강도가 발현되었다.

5. 적정배합비 도출을 위한 실험

5.1 배합설계

본 연구에서는 8시간에 목표강도를 발현할 수 있는 적정 배합비를 도출하기 위하여 조기 교통개방 콘크리트에 사용되는 국내·외의 여러 문헌 및 예비실험 결과 등을 참고하여 물-시멘트비를 0.30, 0.32, 단위 시멘트량을 480, 500 kg/m³, 잔골재율을 46%, 48%로 변수로 하여 실험을 실시하였다. 슬럼프는 20±2 cm, 공기량은 3~6%로 고정하였다. 표 5는 배합비를 나타낸 것이며 사전 실험에서 실시된 결과에서 가장 우수하게 나타난 시멘트 량(무게) 대비 질산칼슘 3%를 사용하였다.

5.2 시험결과

5.2.1 공기량 및 슬럼프 경시변화

신속개방형 포장 콘크리트 배합의 공기량 및 슬럼프 시험결과와 슬럼프 경시변화 시험결과는 그림 4 및 그림 5와 같다. 공기량 및 슬럼프 시험결과 모든 배합에서 배합기준인

표 5. 배합설계

Mixture No	w/c	Cement (kg/m ³)	S/a(%)	Accelerator (%)*
1	0.30	480	46	3
2			48	
3		500	46	
4			48	
5	0.32	480	46	
6			48	
7		500	46	
8			48	

*Calcuim nitrate

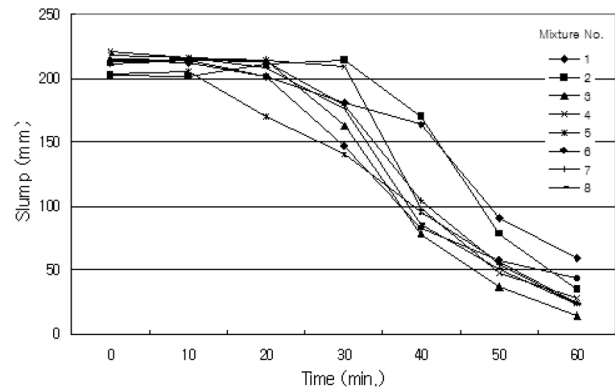


그림 5. 슬럼프 경시변화

슬럼프 20±2 cm, 공기량 3~6%를 만족하였다. 배합변수별로 보면 단위 시멘트량이 많은 배합에서 슬럼프가 증가하였으며 잔골재율이 클수록 시멘트 량의 증가로 인하여 보다 높은 겉보기 점도가 나타나는 경향을 보였지만 그 차이는 크지 않았다. 슬럼프 경시변화 시험결과를 살펴보면 물-시멘트비 및 단위 시멘트량이 증가할수록 잔골재율이 높을수록 초기 유동성이 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 본 연구에서는 온도가 25°C 이상인 환경조건에서 실험을 수행하여 응결시간이 빨라지고 높은 온도로 인한 질산칼슘의 급격한 반응으로 인해 30~40분 사이에 급격한 슬럼프 손실이 발생하는 결과를 보여주었다. 이는 조강시멘트량이 증가함과 동시에 질산칼슘 조강제가 응결촉진효과를 증대시킨 것으로 판단된다.

5.2.2 응결시간

신속개방형 포장 콘크리트 배합의 응결시간 시험결과는 표 6과 같다. 관입저항침에 의한 응결시험 결과를 배합변수별로 살펴보면 시멘트량이나 잔골재율에 대해서는 응결시간에 대한 영향이 크지 않지만 물-시멘트비에 대해서는 물-시멘트비가 클수록 응결시간이 지연되는 것으로 나타났다.

5.2.3 압축강도

신속개방형 포장 콘크리트의 재령에 따른 압축강도 결과는 그림 6과 같다. 모든 배합이 8시간 목표 기준강도인 21 MPa를 만족하였다. 시험결과를 살펴보면 재령이 증가함에 따라 모든 배합에서 강도가 증가하였다. 특히 조강시멘트에 조강제를 혼입함으로써 7일에 거의 모든 강도가 발현됨을 알 수 있다. 배합변수 별로 살펴보면 물-시멘트비가 높아질

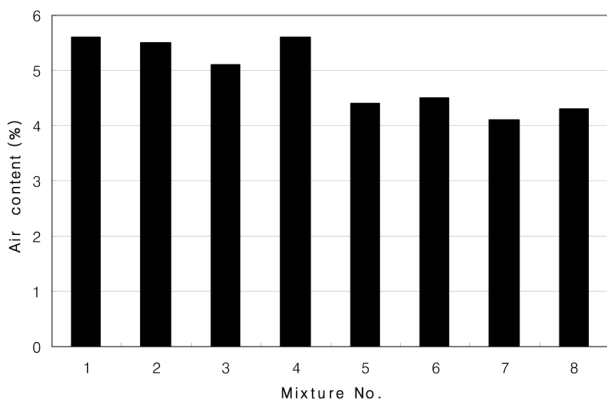


그림 4. 공기량 측정결과

표 6. 응결시간 시험결과

Mixture No.	Setting Time (min.)	
	Initial	Final
1	53	111
2	54	110
3	51	114
4	56	113
5	72	128
6	79	131
7	75	131
8	74	132

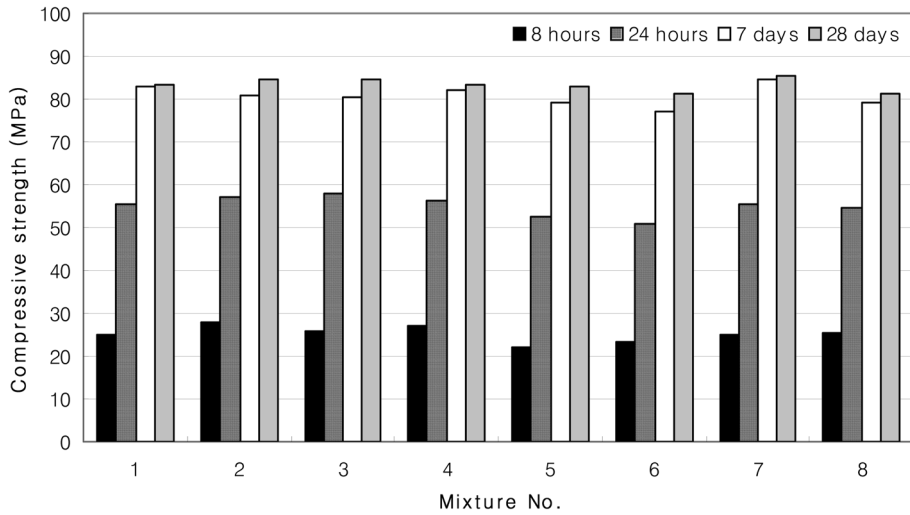


그림 6. 압축강도 시험결과

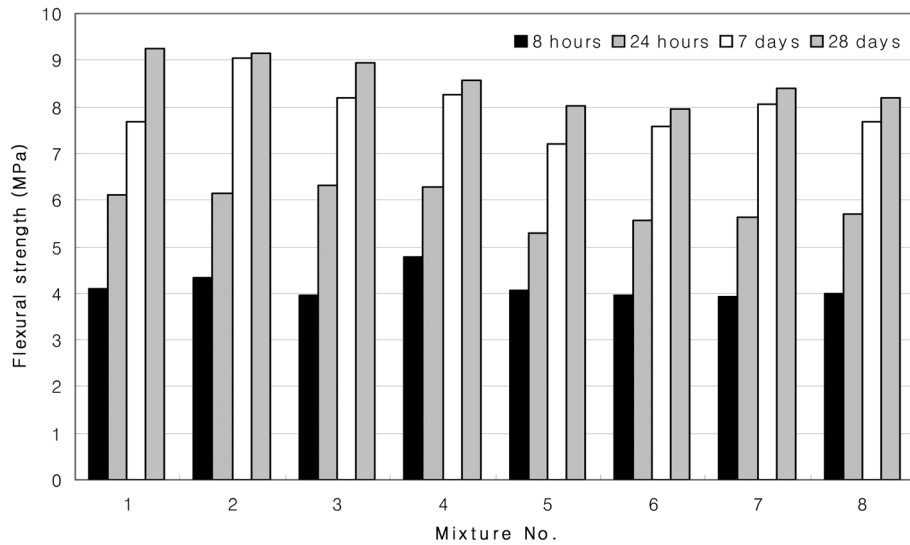


그림 7. 휨강도 시험결과

수축 압축강도가 감소하였다. 한편 단위 시멘트량이 증가할수록 잔골재율이 높을수록 압축강도가 증가하였다. 특히 초기 8시간 압축강도에서 잔골재율 48%를 사용한 배합이 46%를 사용한 배합보다 높은 강도발현을 보였다.

5.2.4 휨강도

신속개방형 포장 콘크리트의 재령에 따른 휨강도는 그림 7과 같다. 모든 배합이 본 연구에서 기준강도로 선정한 8시간 휨강도 3.8 MPa를 만족하였다. 시험결과를 살펴보면 물-시멘트비가 0.32인 배합들의 경우 0.30인 배합보다 휨강도가 다소 낮게 나타났다. 또한 단위 시멘트량이 500 kg/m³인 경우 높은 강도발현 경향이 있으나 큰 차이는 나타나지 않았다. 휨강도 역시 압축강도와 유사하게 재령 7일까지 급격한 강도발현이 발생하였고 재령 28일에서는 큰 강도발현을 보이지 않았다. 이는 앞서 기술한 조강시멘트와 조강제의 반응으로 인하여 24시간 이전에 응결을 촉진시킴으로 조기강도 발현이 빨라지는 현상과 조강시멘트의 특성상 재령 7일에 대부분의 강도발현을 일으키는 특성 때문이라고 분석된다. 잔골재율은 압축강도와는 달리 휨강도에 있어서 큰 영향은 주지 않는 것으로 나타났다.

6. 요약 및 결론

본 연구에서는 8시간만에 교통개방을 하기 위한 신속개방형 포장 콘크리트의 적정배합비를 도출하기 위해서 물리·역학적 평가를 실시하였다. 실내실험에 의한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 질산칼슘 조강제의 적정혼입량을 정하기 위한 예비시험 결과 시멘트량 대비 3%의 경우가 다른 배합에 비해 강도가 우수한 결과를 보여주었다. 따라서 조강제 혼입량을 3%로 결정하였다.
2. 잔골재율이 높을수록 압축성능에서는 우수한 성능을 보였고 휨성능에서는 잔골재율이 크게 영향을 미치지 않았다. 하지만 휨성능에서도 잔골재율이 높은 배합이 미소하게 강도가 높게 나타났으므로 잔골재율이 높을수록 강도가 높게 나타난다고 분석된다.
3. 따라서 시험결과를 바탕으로 설계기준인 슬럼프 20±2 cm, 공기량 3~6% 및 8시간 압축강도 21 MPa와 휨강도 3.8 MPa를 만족하기 위한 물-시멘트비 0.32, 단위 시멘트량 480 kg/cm³, 잔골재율 48%를 적정 배합비로 결정하였다.

참고문헌

- 박성기(2004) LMC(Latex Modified Concrete) 교면포장에서의 소성수축 균열발생 특성, **한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집**, 한국콘크리트학회, Vol. 16, No. 2, pp. 265-268.
- 원종필, 서정민, 이창수, 박해균, 이명섭(2005) 실리카 폼을 혼합한 교면 포장용 고성능 콘크리트의 단기 및 장기 성능 평가, **한국콘크리트학회 논문집**, 한국콘크리트학회, Vol. 17, No. 5, pp. 743-750.
- 한국도로공사(2005) **고속도로 공사용 건설재료 품질 및 시험기준**. 한국콘크리트학회(2005) **최신콘크리트공학**, 기문당.
- 홍창우, 정원경, 김경진, 윤경구(2006) 플라이애쉬를 이용한 라텍스개질 콘크리트의 기초물성 연구, **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제26권 제1A호, pp. 205-211.
- Justnes, H. (2005) Chloride-free accelerators for concrete setting and hardening, ACI Special Publication Vol. 229, pp. 3-16.
- Justnes, H. and Petersen, B.G. (2001) Counteracting retardation of cement setting by other admixtures with calcium nitrate, Proc. 5th CANMET/ACI Int. Symp. Advances in Concrete Technology, Singapore, ACI SP 200-3, pp. 39-49.
- Rettvin, Å. and Masdal, T. (1995) Use of calcium nitrate solution as set-accelerating admixture in slip forming of high strength concrete, Proc. ERMCO'95, Istanbul, Turkey.
- Justnes, H. (2003) Explanation of long-term compressive strength of concrete cause by the set accelerator calcium nitrate, Proceedings of the 11th International Congress on the Chemistry of Cement (ICCC), Durban, South Africa, pp. 475-484.
- Justnes, H. (2005) Corrosion inhibitors for concrete, proceedings of the international symposium on durability of concrete I Memory of Prof. Dr. Raymundo, Rivera, Monterrey, N.L. México, pp. 179-199.
- Justnes H., Calcium Nitrate as a Multifunctional Concrete Admixture, SINTEF Technology and Society, Concrete, Trondheim, Norway.
- KS F 2402, 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 시험방법.
- KS F 2421, 굳지 않은 콘크리트의 공기량 측정 시험방법.
- KS F 2436, 관입저항침에 의한 콘크리트 응결 시험방법.
- KS F 2405, 콘크리트의 압축강도 시험방법.
- KS F 2408, 콘크리트의 휨강도 시험방법.
- Justnes, H. and Nygaard, E.C. (1997) Setting accelerator calcium nitrate-fundamentals, performance and applications, Proceedings Third CANMET/ACI International Conference, Auckland, New Zealand, pp. 325-338.
- Van, T.J. Dam et al., "Guidelines for Early-Opening-ti-Traffic Portland Cement Concrete for Pavement Rehabilitation", NCHRP REPORT 540, National Cooperative Highway Research Program, 2005.

(접수일: 2008.10.21/심사일: 2008.11.13/심사완료일: 2008.11.13)