

비소성시멘트를 사용한 고강도 콘크리트의 현장적용을 위한 모의부재에 관한 연구

Study on Mock-up test for field application of High Strength Concrete using Non-Sintered Cement

○ 김 한 식* 한 다 희** 김 광 기** 백 민 수*** 문 경 주**** 정 상 진*****
Kim, Han-Sik Han, Da-Hee Kim, Kwang-Ki Paik, Min-Su Mun, Kyoung-ju Jung, Sang-Jin

Abstract

This Study is based on manufacture non-sintering cement(NSC) by adding phosphogypsum and waste lime to GBFS as sulfate and alkali activators. This study also investigates the basic physical properties and quality of NSC, and evaluates its reusing possibility as construction materials. Therefore, we design 40MPa and 60MPa for compressive strength using OPC and NSC by binder. And There is a purpose to present fundamental data, applying in field and analyzing quality control of concrete using NSC according to rate of replace between OPC and NSC.

키워드 : 비소성 시멘트, 고강도 콘크리트, 콘크리트 압축강도

Keywords : non-sintering cement, High strength concrete, compressive strength of concrete

1. 서 론

최근 콘크리트 구조물의 대형화, 고층화, 고강도화 추세에 따라 수화열에 의한 균열을 예방하기 위한 각종 기술 및 공법에 많은 관심을 기울이고 있는 상황이다.¹⁾ 일반적으로 고강도 콘크리트는 보통강도 콘크리트에 비하여 제조후 시간경과에 따른 작업성 손실이 심하고 품질관리가 어렵다. 또한, 현장 적용을 위해서는 타설 및 운반에 따른 레미콘 운송시간을 고려하여야 하고, 콘크리트 시공시 유동성 확보와 함께 재료분리가 거의 없는 균일한 품질이 요구되고, 타설 후에는 양호한 강도 발현과 함께 초기수축으로 인한 균열등 품질결함이 발생하지 않도록 세심한 관리가 요구된다.²⁾

이에 따라 본 연구에서는 OPC 및 NSC 치환율에 따른 고강도 콘크리트의 현장 적용 가능성을 평가하고자 설계기준강도 40MPa, 60MPa 배합비로 OPC 및 NSC 치환율에 따른 고강도 콘크리트에 대해 슬럼프, 공기량, 등의 실험과 이에따른 레미콘 운송시간 및 운반거리 문제로 인한 작업성문제, 품질관리 문제를 고려하여 경시변화 실험을 실시하였다. 또한, 모의부재를 제작하여 부재 내부의 온도와 강도 발현 관계를 검토하며, 이러한 실험을 통하여 NSC 치환율에 따른 고강도 콘크리트의 유동성, 작업성, 강도특성등의 품질관리에 대한 검토를 함으로써

현장 시공의 적용에 있어 적합성 여부 및 기초적 자료를 제공하고자 한다.

2. 실험재료 및 계획

2.1 사용재료

본 실험에 사용된 재료는 우선, 결합재로 비소성 시멘트(Non-Sintered Cement, 이하 NSC)와 보통포틀랜드 시멘트(이하 OPC)를 사용하였으며, 사용시멘트의 물리적 성질은 <표 1>과 같다. 혼화제는 H사의 폴리카본산계 고성능 AE감수제 및 AE제를 사용하였다.

표 1. 비소성 및 보통포틀랜드 시멘트 물리적 특성

구 분	Blaine(g/cm ³)	Specific gravity
GBFS	4,600	2.91
SL	5,400	2.27
APG	5,600	2.22
OPC	3,300	3.15

2.2 실험계획

본 실험의 실험인자 및 수준을 <표 3>에 나타내었다.

* 정회원, 단국대학교 대학원 석사과정

** 정회원, 단국대학교 대학원 박사과정

*** 정회원, 단국대학교 대학원 공학박사

**** 정회원, 전북대학교 대학원 공학박사

***** 정회원, 단국대학교 건축대학 건축공학과 교수

표 2. 실험인자 및 수준

설계기준 강도	NSC치환율(%)	측정항목
40MPa	0	1. 경시변화특성 - 공기량 - 슬럼프
	70	
	100	
60MPa	0	2. 강도특성 - 관리용공시체 강도 - 코아 강도
	70	3. 수화열특성 - 콘크리트 수화열시험
	100	
실험수준	2	6

2.3 실험방법

2.3.1 경시변화

슬럼프 및 공기량에 대한 경시변화를 120분 동안 30분 간격으로 측정하였다. 슬럼프시험은 혼합직후의 것을 KS F 2402 (포틀랜드 시멘트 콘크리트의 슬럼프 시험방법) 규정에 의거하여 측정하였다. 공기량 시험은 KS F 2421(굳지않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기 함유량 시험 방법)에 의한 방법으로 측정하였다.

2.3.2 강도특성

부재 내부의 수화온도에 따른 강도 발현성상을 파악하기 위해 각 위치별로 $\phi 10$ 의 코아채취기를 사용하여 코아공시체를 채취하였다. 채취된 코아는 압축강도 시험을 위해 $\phi 10 \times 20$ cm의 공시체로 절단하였다. 모의부재의 코아공시체와 비교·분석을 위한 관리용공시체는 $\phi 10$ cm \times 20cm의 원형몰드를 사용하였으며 시험체의 제작은 KS F 2403에 따른 방법에 의해 제작하였다. 압축강도는 콘크리트 공시체 연마기를 사용하여 연마한 후 200ton 용량의 U.T.M을 사용하여 KS F 2405에 의거하여 실시하였다.

2.3.3 수화열특성

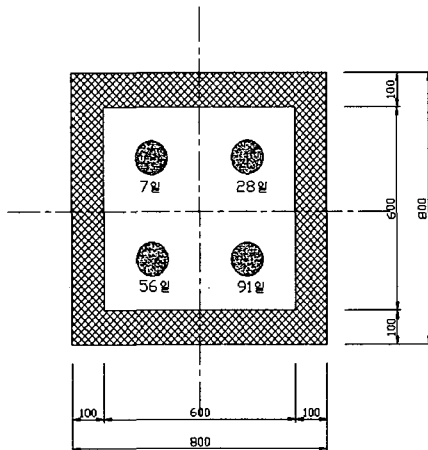


그림 1. 모의부재 제작도

설계기준강도 40MPa, 60MPa의 NSC 치환율에 따른 콘크리트의 수화반응에 의한 수화반응열을 측정하기 위해 [그림 1]과 같이 단열재로 전면단열을 실시한 용량 216 l (60cm \times 60cm \times 60cm)의 거푸집을 제작하여 비빔직후에 콘크리트를 타설한 후, 열전자쌍인 열전대(Thermocouple)를 모의부재의 중심부와 표면에서 5cm 떨어진 표면부에 온도센서를 설치하여 자동온도기록장치(YOKOGAWA)로써 콘크리트 내부의 온도변화를 측정하였다.

2.4 배합

본 실험에 사용된 배합은 <표 4>에 나타내었다.

표 4. 모의부재의 콘크리트 배합

설계기준 강도	시험체 명	W/C (%)	S/a (%)	단위중량 배합(kg/m ³)					SP (%)	AE(%)
				W	C	S	G	SP		
400kg f/cm ²	F40-0	35	46	160	opc	810.26	983.97	1.2	0.002	
					457.14					
	nsc				0					
	0									
	F40-70				opc					137.14
					nsc					
F40-100	opc	0								
	nsc		457.3							
600kg f/cm ²	F60-0	31		41	168	opc	684.82	1019.45	1.5	0.001
			541.94							
	nsc		0							
	0									
	F60-70		opc			162.58				
			nsc						379.36	
F60-100	opc	0								
	nsc		541.94							
								1	0.002	

SP: 고성능 AE 감수제, AE: AE제

3. 실험결과 및 고찰

3.1 경시변화특성 평가

경시변화에 따른 슬럼프 실험결과 설계기준강도 40MPa F40-0 배합에서는 경시변화에 따라 슬럼프 값이 감소하여 2시간 경과후에는 초기 슬럼프값보다 6cm 낮게 나타나 1시간까지는 18cm 이상이 되어 유동성을 확보할 수 있었고, F40-70, F40-100의 배합에서는 2시간 경과후에도 슬럼프 값의 변화가 거의 없이 각각 초기 측정값보다 3cm, 2cm 감소한 것으로 나타났다. 설계기준강도 60MPa에서는 F60-0 배합에서 시간경과에 따라 40MPa와 동일하게 슬럼프 값이 감소하였고 2시간 경과후에는 초기 측정 슬럼프값보다 7cm 낮게 나타났다. F60-70, F60-100의 배합에서는 슬럼프 감소가 거의 없었고 2시간 경과후에도 초기 슬럼프값보다 각각 3cm, 2cm 감소한 것으로 나타났다. NSC의 치환율이 높아질수록 콘크리트의 슬럼프 변화는 OPC에 비하여 적게 나타났다. 이는 NSC에 포함되어 있는

GBFS의 잠재수경성에 의해 초기수화반응에 관여하지 않는 잉여수로 인한 응결지연 때문으로 판단된다.

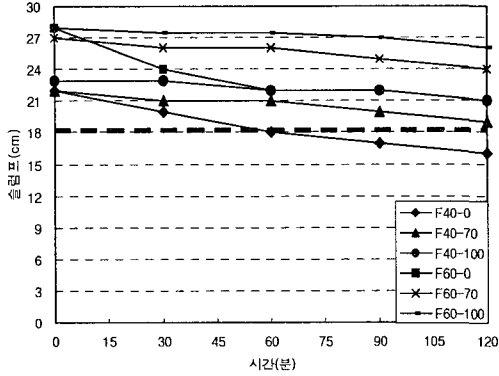


그림 1. 슬럼프 경시변화

공기량의 경시변화 측정결과 설계기준강도 40MPa에서 F40-0 배합의 경우, 비빔직후 배합목표값인 2%를 나타냈고 30분 경과후 0.7%의 공기량 증가를 나타냈으나 점차 감소하기 시작하여 1.5%를 나타냈다. F40-70, F40-100의 배합에서는 비빔직후 각각 1.8%, 1.6%를 나타냈고 60분 까지 서서히 증가하다가 점차 감소하여 120분 경과후에는 각각 1.6%, 1.8%를 나타냈다. 설계기준강도 60MPa에서도 40MPa와 동일한 경향을 나타내었다. F60-0 배합의 경우, 비빔직후 2.2%의 공기량을 나타내었고 60분까지 공기량 증가를 나타냈으나 점차 감소하여 120분 경과후에는 1.8%의 공기량을 나타냈다. F60-70, F60-100의 배합에서는 비빔직후 각각 1.6%, 1.7%의 공기량을 나타냈고 60분까지 공기량 증가를 나타냈으며 90분 이후부터 감소하여 120분 경과후에는 각각 1.8%, 1.9%의 공기량을 나타내었다.

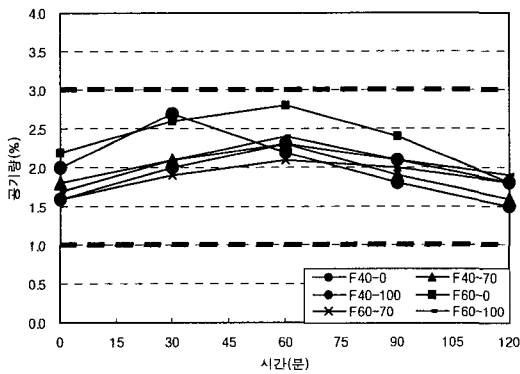


그림 2. 공기량 경시변화

3.2 강도특성 평가

관리용 공시체의 압축강도 실험결과를 살펴보면 설계기준강도 40MPa, 60MPa의 모든 배합에서 NSC의 치환율이 높아질수록 초기 1일 재령에서는 OPC를 사용한 콘크리트에 비해 강도가 급격한 차이를 보이거나 재령 3일부터는 그 차이를 줄여가며 재령 7일 부터는 강도가 역전되기 시작하여 재령이 지남에 따라 점차 차이를 크게 나타내며 강도가 지속적으로 증가하고 있음을 확인할 수 있다. 특히, 28일 이후 재령에서 OPC를 사용

한 콘크리트의 경우 강도 증진이 둔화되는 경향을 보이거나 NSC를 사용한 콘크리트의 경우 재령이 지남에 따라 꾸준히 강도가 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는, NSC의 성분인 고로슬래그 미분말의 포졸란반응으로 잠재수경성에 의하여 발생한 경향으로 사료되며, NSC를 결합재로 이용한 콘크리트가 7일 재령에서 강도값이 증가하는 이유는 7일재령에서 침상결정물인 ettringite의 생성량이 최대이기 때문이며 이들이 미세 단섬유 역할을 하여 콘크리트 경화체 내에서 네트워크 구조를 형성하기 때문이다. 모의부재 코아공시체의 압축강도를 살펴보면 설계기준강도 40MPa, 60MPa의 모든 배합의 7일 재령에서 코아공시체의 압축강도를 살펴보면 관리용 공시체보다 높은 압축강도를 발현하고 있는데, 이는 초기의 높은 수화열로 양생온도가 높아졌기 때문으로 판단된다. 재령 28일 이후의 경우에는 코아공시체의 압축강도 증진이 거의 없고 관리용 공시체가 코아공시체보다 높은 압축강도를 보이고 있다. 이는 관리용 공시체의 경우 20±3℃의 수조에서 표준수중양생을 하여 외기온의 영향없이 시멘트의 수화에 필요한 수분의 연속적인 공급으로 인하여 강도발현이 지속적으로 이루어졌기 때문으로 판단된다. 40, 60MPa 시험체 모두 각각의 설계기준강도를 상회하는 값을 나타내어 NSC 및 OPC를 사용한 콘크리트 모두 고강도 콘크리트의 활용성이 높은 것으로 판단된다.

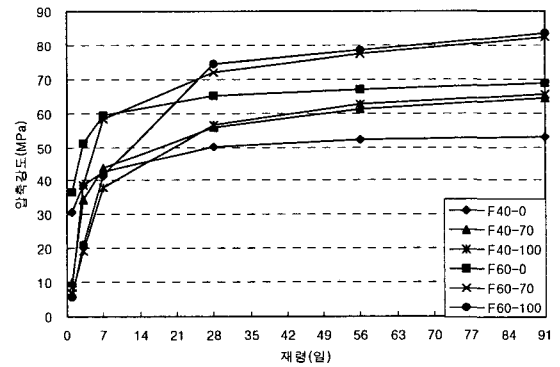


그림 3. 관리용공시체 압축강도

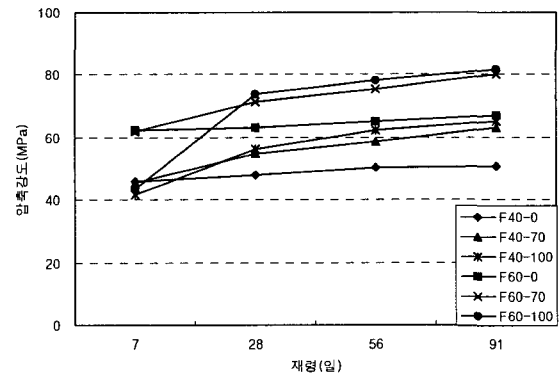


그림 4. 코아공시체 압축강도

3.3 수화열특성 평가

수화 온도이력을 살펴 본 결과 NSC의 치환율이 높아질수록

최고온도는 감소하는 경향을 나타내었고 최고온도 도달시간은 길어지는 것으로 나타났다.

그림에 따르면 설계기준강도 40MPa에서 F40-0 배합의 경우, 7시간 이후 급격하게 수화온도이력이 증가하는 경향을 나타냈으며 수화온도 측정 시작이후 15시간을 전후로 중심부에서 최고온도 74.1°C, 표면부는 72.9°C를 나타내었고 중심부에서 OPC를 사용한 콘크리트의 수화열이 가장 큰 것을 확인하였다. F40-70 배합의 경우, 7시간 30분 이후부터 수화반응이 시작되면서 수화온도 측정이후 약 23시간 전후로 최고온도 중심부 57.0°C, 표면부 56.9°C를 나타내었다. F40-100 배합의 경우, 8시간 이후부터 수화하기 시작되면서 타설후 약 27시간 전후로 최고온도 중심부 35.7°C, 표면부 35.5°C를 나타내었다. 40MPa의 F40-0, F40-70, F40-100 배합에서 중심부와 표면부의 온도차는 각각 1.2°C, 0.1°C, 0.2°C로 미세한 온도차를 나타냈다.

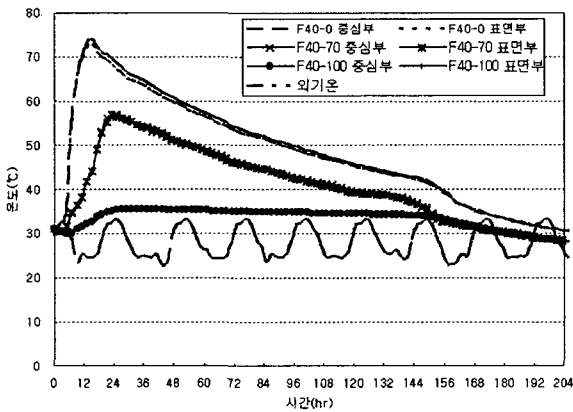


그림. 수화열 측정결과(40Mpa)

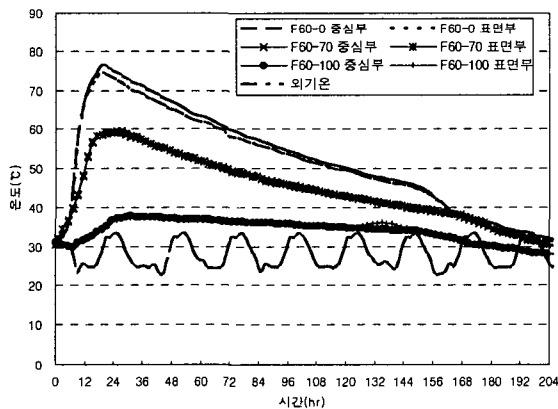


그림. 수화열 측정결과(60Mpa)

설계기준강도 60MPa의 경우도 40MPa와 마찬가지로, F60-0 배합의 경우, 6시간을 이후로 최고 수화온도에 이르는 19시간 전후까지 급격하게 증가하는 경향을 나타냈으며, 중심부의 경우 최고온도 76.5, 표면부는 최고온도 74.5°C를 나타내었다. F60-70 배합의 경우, 6시간 30분 이후부터 수화하기 시작하여 27시간에 최고온도 중심부 59.4°C, 표면부 59.3°C를 나타내었다. F60-100 배합에서는 7시간 30분 이후부터 수화하기 시작되면서 타설후 약 31시간 전후로 최고온도 중심부 37.9°C, 표면부

37.5°C를 나타내었다. 60MPa의 F40-0, F40-70, F40-100 배합에서도 40MPa와 마찬가지로 중심부와 표면부의 미세한 온도차를 나타내었으며, 온도차는 각각 2.0°C, 0.1°C, 0.2°C를 나타냈다. OPC와 비교해 수화온도 이력이 40, 60MPa 모두에서 최고온도 도달까지 완만한 형태로 증가하는 경향을 나타냈고 최고온도 또한 OPC와 비교해 현저히 낮은 온도이력을 나타내었다. 이는 NSC의 주재료인 고로슬래그 미분말의 잠재수경성이 1일 이내에 발휘되지 않기 때문으로 사료되며 수화온도이력만을 기준으로 평가했을 경우 OPC보다 수화온도이력면에서 높은 안정성을 나타내어 현장타설 부재에 대한 중심부에서의 열응력에 대한 저항성이 높을 것으로 사료된다.

4. 결 론

OPC 및 NSC 치환율에 따른 고강도 콘크리트의 현장 적용성 검토를 위해 경시변화, 수화열, 모의부재 코아 강도, 관리용 공시체의 압축강도 실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다

- 1) 콘크리트 타설 직후부터 경시변화를 측정된 결과 NSC의 치환율이 높아질수록 콘크리트의 슬럼프변화는 OPC에 비하여 적게나타났고, 공기량은 모든 배합에서 점차 감소하는 경향을 나타냈지만 120분까지는 목표값을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 따라서, 현장 적용성을 고려 할 경우 레미콘 차량의 운반 및 타설에 대한 문제는 OPC에 비하여 적을 것으로 판단된다.
- 2) 40, 60MPa 시험체 모두 각각의 설계기준강도를 상회하는 값을 나타내어 NSC 및 OPC를 사용한 콘크리트 모두 고강도 콘크리트의 활용성이 높은 것으로 판단된다.
- 3) OPC와 비교해 NSC의 수화온도 이력이 40, 60MPa 모두에서 최고온도 도달까지 완만한 형태로 증가하는 경향을 나타냈고 최고온도 또한 OPC와 비교해 현저히 낮은 온도이력을 나타내었다. 수화온도이력만을 기준으로 평가했을 경우 OPC보다 수화온도이력면에서 높은 안정성을 나타내어 현장타설 부재에 대한 중심부에서의 열응력에 대한 저항성이 높을 것으로 판단되며, 수화발열량이 적기 때문에 덤 및 대형건축물의 기초등에 사용하면 적합 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 김무한 외, "고강도 콘크리트의 수화열 저감에 미치는 혼화재 종류 및 대체율의 영향에 관한 연구", 한국건축시공학회 논문집, 제 2권 2호, 2002.
2. 정상진 외 10인, "건축재료학", 보성사, 1999