

양생조건 변화에 따른 비소성 시멘트 콘크리트의 건조수축

Drying shrinkage of Non-Sintered Cement Concrete with various curing condition

문 경 주* 박 원 춘** 소 양 섭***
Mun Kyoung-Ju Park Won-Chun Soh Yang-Seob

ABSTRACT

This research investigates the drying shrinkage of non-sintering cement(NSC) matrix added phosphogypsum(PG) and waste lime(WL) to granulated blast furnace slag(GBFS) as sulfate and alkali activators with various curing condition. The experimental results are follow:

When the moisture is fully supplied at the early curing age, there is effect which carries out abundant generation of the ettringite which is an expansion nature mineral, and compensates for contraction with a chemical prestress concept.

1. 서론

건조수축은 시멘트를 이용한 콘크리트에서는 필연적으로 나타나는 현상으로서 이에 따른 수분의 이동은 콘크리트 내부의 공극 및 미세균열 등에서는 수분량 구배에 의한 확산 및 외부 환경과의 상대습도 차이를 통한 발산에 의해 액상 및 기체상의 이동이 발생하고 낮은 상대습도에서의 수분이동은 주로 수증기의 확산을 통해 발생하며 높은 상대습도에서는 모세관 응축수가 주요한 수분이동기구로 작용한다. 현재까지는 자기수축 및 건조수축에 의한 체적변화를 하나의 발생기구로 전체 습도영역에 걸쳐서 설명하는 것이 어려운 문제이다. 따라서 본 연구에서는 상대습도 구배에 의한 수분 확산으로 발생하는 수분 손실을 예측할 수 있는 데이터를 확보하기 위해 비소성 시멘트(Non-sintering cement, NSC)를 이용한 콘크리트의 온습도의 변화에 따른 수축거동을 정량적으로 평가하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1. 사용재료

비소성 시멘트(NSC)의 제조를 위해 고로슬래그 미분말(GBFS)과 수화반응 유도를 위한 황산염 자극제로는 N사의 인산제조시 폐기물로 배출되는 폐인산석고(PG)를, 알칼리 자극제로는 공업용 소석회(SL)와 그리고 D사에서 소다회(Na_2CO_3) 제조 공정중에 폐기물로 배출되는 폐석회(WL)를 사용하였다. PG는 0.5% 석회 수용액에 20°C에서 5분 동안 세척되었으며 이때 석회 수용액중 PG의 비율은 중량비로 14% 였다. 세척, 중화처리된 PG를 450°C에서 하소한 II형 무수석고(APG) 상태와 80°C에서 건조만 한 이수석고(DPG) 상태로 전이시켜 미분쇄하여 사용하였다. WL은 배출상태의 것을 90°C에서 1일 건조한 후 미분쇄하여 사용하였다. 사용재료의 물리·화학적 성질은 Table 1에 나타난 것과 같다. 콘크리트 물성시험에 사용된 골재는 굵은골재로 20mm 쇄석골재(비중:2.60, 조립율:6.68)를 잔골재로 세척사(비중:2.58, 조립율:2.34)를 사용하였다. 혼화

* 정희원, 전북대학교 공업기술연구소 연구원, 공학박사

** 정희원, 지오콘머테리얼(주) 상무이사

*** 정희원, 전북대학교 건축·도시공학부 교수, 공업기술연구소 연구원, 공학박사

제는 리그닌 설펜산염을 주성분으로 한 국내 J사의 AE감수제와 나프탈렌계 AE제를 사용하였다.

Table 1 Chemical composition and physical properties of raw materials.

Item Type	Oxide composition(%)											Blaine (g/cm ²)	Specific gravity
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	SO ₃	LOI		
GEFS	34.76	14.50	41.71	0.48	6.87	0.14	0.44	0.03	0.62	0.13	0.23	4,600	2.91
APG	1.34	0.12	40.97	0.04	-	0.06	-	0.64	0.05	54.93	0.81	4,300	2.88
DPG	1.08	0.07	32.28	0.21	0.05	-	-	0.58	0.04	43.29	22.37	4,100	2.36
SL		0.19	65.88	0.12	1.03	-	-	-	0.03	1.13	31.51	5,400	2.27
WL	4.88	1.62	42.12	1.35	6.89	0.11	1.89	0.02	0.02	3.12	33.17	4,100	2.22
OPC	20.88	5.39	64.73	2.38	1.51	0.27	0.22	-	1.33	1.65	2.04	3,300	3.15

2.2 실험방법

건조수축의 측정을 위한 공시체는 10×10×40cm의 각주시험체로 제작하였으며 수축의 측정은 KS F 2424의 다이얼계이지법에 준하여 측정하였다. 건조수축 측정용 시험체는 양생재령 및 방법을 변수로 하여 각 시점의 측정값을 기준으로 하여 건조수축량을 산출하였으며, 그 이후에는 20±1℃, RH 50±5%의 항온항습조건으로 양생하였다.

Table 3 Mix proportions of concrete using various NSCs.

Type	Mix proportions of NSC(wt%)						G _{max} (mm)	W/C (%)	S/a (%)	W (kg/m ³)	Mixing proportion(kg/m ³)			AE water reducing reducing nt
	OPC	GBFS	AG	DG	SL	WL					C	S	G	
OPC	100	-	-	-	-	-								
BSC	50	50	-	-	-	-								
NSC1	-	87	12	-	1	-	20	45	41	179	397	736	1060	C× 0.5%
NSC2	-	87	6	6	1	-								
NSC3	-	82	-	17	1	-								
NSC4	-	85	11	-	-	4								
NSC5	-	81	11	-	-	8								

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 시멘트 종류에 따른 콘크리트의 건조양생 재령에 따른 건조수축을 나타낸다. BSC의 경우 OPC에 비하여 초기 재령에서 비교적 큰 건조수축을 보이고 있으며 재령이 경과함에 따라 수축량은 서서히 감소하여 재령 1년에서는 OPC에 비하여 미소한 차이로 높은 결과를 보이는 기존의 연구결과와 유사한 경향을 보이고 있다. NSC1의 경우 초기 재령에서의 건조수축량은 전반적으로 OPC에 비하여 큰 수축을 보이나 BSC에 비하여는 적게 나타나고 있다. 3일 재령에서 OPC와 유사한 수축결과를 보이고 7일 재령에서는 OPC에 비해 약 150% 정도의 높은 수축량을 보이나 28일 재령에서는 110%로 감소하는 경향을 보인다. 56일 이후의 수축량은 더욱 감소하며 건조일수 360일에서는 OPC 및 BSC에 비하여 가장 낮은 값을 보인다. 일반적으로 GBFS의 혼입률이 높아질수록 초기 수축량은 증가하는 것으로 보고되고 있으며 GBFS를 다량 사용한 AAS(alkali activated slag)를 이용한 콘크리트의 경우에도 초기 재령에서의 수축이 크다는 점이 문제점으로 지적되고 있다. NSC의 경우 비교적 OPC 및 BSC에 비하여 그리 큰 수축량을 보이지 않는 것은 초기 재령에서 팽창성 광물인 ettringite를 생성하여 화학적 프리스트레스 개념으로 수축을 보상하는 효과가 있는 것으로 판단된다. 그러나 OPC에 비하여 NSC를 이용한 콘크리트의 수축값은 초기 재령에서 높은 값을 보이므로

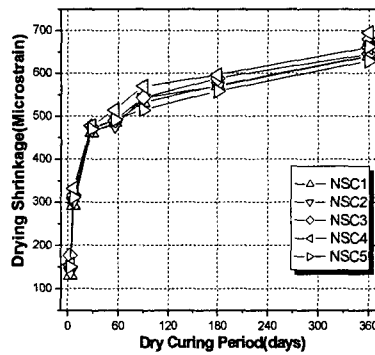
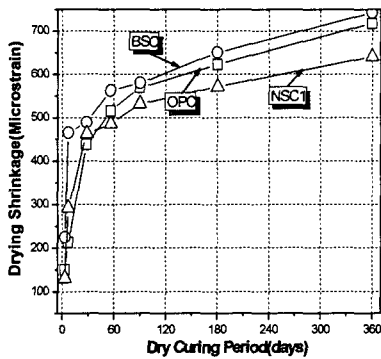


Fig. 1 Drying shrinkage during dry curing period of concretes

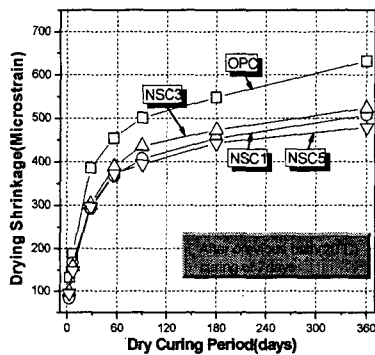
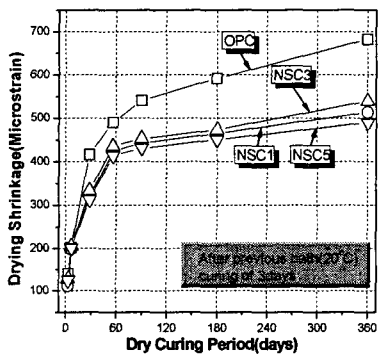


Fig. 2 Drying shrinkage during dry curing period of concretes after previous bath curing

구조물에 적용할 경우 앞에서 언급한 것처럼 건조수축은 초기 재령에서 큰 문제가 되므로 건조수축의 증가를 고려한 적절한 콘크리트 배합 및 현장양생 관리방안이 강구되어야 할 것으로 판단된다. 배합을 달리한 NSC를 이용한 콘크리트의 건조수축 실험결과 장기 재령에서는 큰 차이를 보이지 않으나 초기 재령에서 약간의 차이를 보인다. APG와 SL을 사용한 NSC1의 경우가 가장 낮은 건조수축값을 보였는데 이는 NSC의 초기 수화반응은 GBFS의 자극작용으로 개시되기 때문에 초기에 자극제의 큰 영향을 받기 때문이다. APG 및 SL을 사용한 경우 DPG 및 WL을 사용한 경우보다 GBFS의 산성피막을 빠른 속도로 파괴하고 내부 이온의 용출시켜 초기에 ettringite의 생성속도를 빠르게 할 수 있기 때문에 초기에 수축량을 줄일 수 있다. APG와 WL을 이용한 NSC5의 경우 PG 및 SL을 이용한 NSC3에 비하여 전반적으로 낮은 수축량을 보였는데 이는 경화체 내부에 존재하는 DPG에 비하여 WL의 흡수력이 크기 때문에 수분의 증발을 억제하고 WL 성분중의 탄산칼슘이 모세관 공극을 충전하여 수분증발을 억제하기 때문에 나타나는 현상으로 사료된다.

Fig. 2는 OPC, NSC1, NSC3 및 NSC5 사전 수중양생기간을 각각 3일 및 7일 실시한 콘크리트의 건조양생 재령에 따른 건조수축율을 나타낸다. 시멘트의 종류에 관계없이 수중양생기간이 짧을수록 수축율은 증가하는 경향을 나타낸다. 전반적으로 수중양생을 3일 실시한 경우 NSC 콘크리트의 초기 재령에서 수축량은 OPC와 거의 비슷하게 나타나나 7일 실시한 경우에는 OPC에 비하여 수축량이 감소하는 경향을 나타낸다.

Fig. 3은 사전 수중양생 재령을 달리한 콘크리트의 건조양생 재령에 따른 건조수축을 시멘트 종류별로 나타난 그래프이다. 수중양생을 전혀 실시하지 않은 콘크리트의 건조수축량을 기준으로 수중양생을 3일 및 7일 동안 실시한 콘크리트의 건조수축량은 3일에서는 약 10% 감소하고 7일에서는 약 30% 감소하였다. 이는 수중양생기간이 짧을수록 경화체 내부의 대부분 GBFS 및 PG는 미수화 상태로 존재하므로 응집력이 없어 모세공극이 증가될 뿐만 아니라 이에 따른 세공직경이 큰 모세공극의 형성된 상대적으로 증가된 상태에서 건조될 경우 수분증발을 가속화하기 때문에 나타나는 현상으로 사료된다.

초기 재령에서의 수분증발에 의한 건조수축 저하경향은 OPC를 사용한 경우보다 NSC를 이용한 콘크리트의 경우 더욱 커지는 것을 알 수 있다. 따라서 늦은 봄이나 초가을 등 대기온도가 높고 습도가 낮은 시

구조물에 적용할 경우 앞에서 언급한 것처럼 건조수축은 초기 재령에서 큰 문제가 되므로 건조수축의 증가를 고려한 적절한 콘크리트 배합 및 현장양생 관리방안이 강구되어야 할 것으로 판단된다. 배합을 달리한 NSC를 이용한 콘크리트의 건조수축 실험결과 장기 재령에서는 큰 차이를 보이지 않으나 초기 재령에서 약간의 차이를 보인다. APG와 SL을 사용한 NSC1의 경우가 가장 낮은 건조수축값을 보였는데 이는 NSC의 초기 수화반응은 GBFS의 자극작용으로 개시되기 때문에 초기에 자극제의 큰 영향을 받기 때문이다. APG 및 SL을 사용한 경우 DPG 및 WL을 사용한 경우보다 GBFS의 산성피막을 빠른 속도로 파괴하고 내부 이온의 용출시켜 초기에 ettringite의 생성속도를 빠르게 할 수 있기 때문에 초기에 수축량을 줄일 수 있다. APG와 WL을 이용한 NSC5의 경우 PG 및 SL을 이용한 NSC3에 비하여 전반적으로 낮은 수축량을 보였는데 이는 경화체 내부에 존재하는 DPG에 비하여 WL의 흡수력이 크기 때문에 수분의 증발을 억제하고 WL 성분중의 탄산칼슘이 모세관 공극을 충전하여 수분증발을 억제하기 때문에 나타나는 현상으로 사료된다.

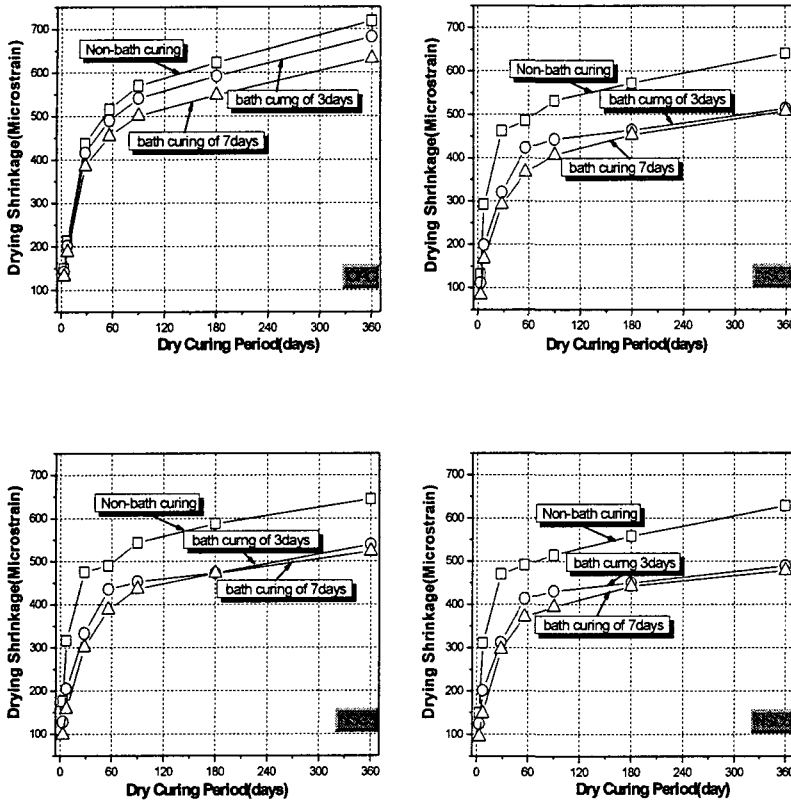


Fig. 3 Drying shrinkage during dry curing period of concretes with different previous bath curing days.

비하여 작은 건조수축 특성 보인다.

- 2) 대기온도가 높고 습도가 낮은 시기에 NSC를 혼입한 콘크리트를 사용할 경우에는 적절한 배합의 결정과 함께 거푸집 탈형시기를 가능한 늦추고 수분의 증발을 막기 위한 밀봉양생을 하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 또한 거푸집 제거 후에도 일정기간이 경과할 때까지 콘크리트 표면이 충분히 습윤한 상태를 유지할 수 있도록 물을 뿌려주는 등의 조치를 강구한다면 OPC에 비하여 수축저감이 가능한 콘크리트 구체의 형성이 가능하다.

감사의 글

본 연구는 환경부 “차세대핵심환경기술개발사업” 연구비 지원에 의해 수행된 결과이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) 문경주, “산업폐기물을 이용한 비소성 시멘트 및 콘크리트의 특성”, 전북대 박사학위논문, 2004. 2
- 2) 문경주, 소양섭, “산업부산물을 이용한 무클링커 시멘트의 기초적 특성”, 한국콘크리트학회, 제14권, 제2호, 2002.
- 3) Emin Erdem and Halis Olmez, The Mechanical Properties of Supersulphated Cement Containing Phosphogypsum, Cement and Concrete Research 1993, 23, 115-121.
- 4) 문경주 “산업폐기물을 자극제로 이용한 비소성 시멘트 콘크리트의 역학적 특성”, 한국폐기물학회 학술발표대회, 2004. 5

기에 NSC를 혼입한 콘크리트를 사용할 경우에는 적절한 배합의 결정과 함께 거푸집 탈형시기를 가능한 늦추고 수분의 증발을 막기 위한 밀봉양생을 하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 또한 거푸집 제거 후에도 일정기간이 경과할 때까지 콘크리트 표면이 충분히 습윤한 상태를 유지할 수 있도록 물을 뿌려주는 등의 조치를 강구한다면 OPC에 비하여 수축저감이 가능한 콘크리트 구체의 형성이 가능할 것으로 판단된다.

4. 결론

- 1) NSC의 경우 초기 재령에서 수분의 공급을 충분히 해준다면 팽창성 광물인 ettringite를 생성하여 화학적 프리스트레스 개념으로 수축을 보상하는 효과가 있어 OPC 및 BSC에