

1종 및 4종시멘트를 이용한 고성능 콘크리트의 자기수축 및 건조수축 특성

A Characteristic of Autogenous shrinkage and Dry shrinkage for High Performance Concrete Using Type I and Type IV Cement

이 웅 종* 유 재 상** 이 종 열***
Woong-Jong Lee Jae-Sang Ryu Jong-Ryul Lee

ABSTRACT

In this study, the properties of autogenous shrinkage and dry shrinkage for high performance concrete using Type I and Type IV cement were discussed.

According to experimental results, autogenous shrinkage of SN30(the high performance concrete using type I cement) shows values higher than SL30(the high performance concrete using type IV cement). But the dry shrinkage of SN30 is almost the same as SL30.

It is observed that the total shrinkage strain of SN30 is higher than that of SL30, because the ratio of autogenous shrinkage of the total shrinkage is relatively large. Therefore, SL30 is more effective to control or minimize the cracking of the high performance concrete, compared with SN30.

1. 서론

콘크리트는 타설 후부터 배합조건, 시공 및 환경조건에 의해 체적변화(수축 또는 팽창)를 일으킨다. 체적변화 중에서 콘크리트의 내구성에 중요한 영향을 미치는 인자는 콘크리트로부터 수분발산에 의한 건조수축(dry shrinkage)과 수분의 내·외부 이동 없이 시멘트의 수화 반응에 의한 거시적인 체적감소 현상인 자기수축(autogenous shrinkage) 등을 열거할 수 있다.

특히, 자기수축은 보통강도 콘크리트에서는 건조수축의 10%이하를 차지하고 있기 때문에 무시할 수 있지만, 고강도·고유동 콘크리트에서는 무시할 수 없을 만큼 큰 수축을 나타낸다고 알려져 있다¹⁾. 또한, 자기수축은 시멘트 수화반응의 결과로서 나타나는 현상이기 때문에 시멘트의 광물 조성도 자기수축에 영향을 미친다²⁾.

따라서, 본 연구는 수축현상 중에서 자기수축이 시멘트의 종류에 의해 영향을 받고 있는 것에 착안하여 1종 및 4종시멘트를 이용한 고강도·고유동 콘크리트의 자기수축 특성을 검토하고, 여기에 재령 7일 기점의 건조수축 특성도 검토하였고, 자기수축과 건조수축의 합인 전수축변형률도 검토하였다.

본 실험결과, 1종 및 4종 시멘트의 고성능(고강도·고유동) 콘크리트에 있어서 시멘트의 종류에 따라 자기수축특성이 뚜렷한 차이를 나타내고 있음을 실험실적으로 확인할 수가 있었다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

고성능 콘크리트의 자기수축 및 건조수축 특성을 평가하기 위해 사용한 시멘트는 국내 S사의 1종 시멘트와 4종 시멘트를 사용하였다. 시멘트의 화학적 조성은 다음 표 1과 같다. 또한 잔골재는 표건비

*정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 선임연구원, 공학박사

**정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 실장, 공학박사

***정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 소장

중이 2.60g/cm³, 조립률(FM)은 2.4, 흡수율은 1.44%인 일본산 육사를 사용하였고, 굵은골재는 표건비중이 2.64g/cm³, 조립률(FM)은 6.68, 흡수율은 0.82%, 실적율은 60.9%인 일본산 쇠석을 사용하였다.

표 1. 시멘트의 물리·화학적 성질

시료명	밀도 (g/cm ³)	비표면적 (cm ² /g)	화학조성(%)					
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
Type I	3.15	3,290	20.34	5.83	3.15	62.63	2.93	2.03
Type IV	3.20	3,450	25.31	3.14	3.51	63.09	1.80	1.93

2.2 콘크리트 배합

콘크리트 배합은 표 2에 나타난 바와 같이, 물-시멘트비 30%, 단위수량 175kg/m³ 그리고 굵은골재의 단위절대용적을 0.315m³/m³로 고정하고, 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 플로우는 60±5cm, 공기량 2%이내를 만족하는 콘크리트를 대상으로 자기수축 및 건조수축을 평가하였다. 여기서 SN30은 1종(보통 포틀랜드시멘트)을, SL30은 4종(저열 포틀랜드시멘트)을 이용한 콘크리트배합이다. 또한, 고유동성을 확보하기 위한 혼화제는 폴리카르본산계 고성능 감수제를 이용하여 슬럼프플로우의 목표치를 만족하도록 하였다.

표 2. 콘크리트의 배합

배합기호	G _{max}	W/C (%)	s/a	단위량(kg/m ³)				SP (C%mass)	Slump Flow(mm)	Air (%)
				W	C	S	G			
SN30	20mm	30	49.2	175	583	792	832	1.55	630×620	1.2
SL30			49.1			789				

2.3 실험방법

콘크리트의 강도 측정은 ϕ 100×200mm의 원주형 공시체를 탈형(재령 1일) 후, 알루미늄테이프로 밀봉하여 양생(온도 20℃)을 실시하고, 재령별(1, 3, 7, 28일) 압축강도 및 정탄성계수를 측정하였다.

자기수축 측정용 공시체의 크기는 100×100×400mm이고, 탈형전(재령 1일)까지는 공시체 양단에 설치한 변위계를 이용하여 측정하였고, 탈형 후 알루미늄테이프로 밀봉하여 양생(온도 20℃)을 하고 측정 재령별 접촉계이저를 이용하여 수축률을 측정하는 등 전반적인 시험방법은 일본 콘크리트공학협회(JCI) 자기수축위원회에서 제안한 시험방법에 근거하여 실시하였다³⁾. 콘크리트의 온도변화에 의한 변형률을 제거하기 위해, 콘크리트의 열팽창계수를 10×10⁻⁶/℃로 가정하여 길이변화를 보정하였다. 또한, 관입저항시험방법에 의한 초결시간을 측정하고, 이의 시점을 자기수축의 원점으로 정하였다. 콘크리트의 길이변화시험은 건조수축과 자기수축의 합인 전수축변형률로 측정되기 때문에 본 연구에서는 길이변화시험결과로부터 자기수축을 제거하여 건조수축변형률을 측정하였다. 즉, 중첩의 원리(전수축변형률=자기수축변형률+건조수축변형률)가 성립한다고 가정하였다. 그리고 재령 7일 이전의 길이변화 측정용 공시체는 자기수축 측정용 공시체와 동일한 양생조건을 갖도록 하였다.

3. 실험결과

3.1 콘크리트의 물성측정결과

콘크리트의 압축강도 및 정탄성계수 측정결과는 표 3에 나타내었다. 1종 및 4종 시멘트를 이용한 고성능 콘크리트배합에서 28일 압축강도는 SN30(1종) 대비 SL30(4종)가 86% 수준을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이것은 시멘트 수화광물의 고유특성을 나타내는 현상의 결과이다.

표 3. 콘크리트의 압축강도 측정결과

배합기호	압축강도 (MPa)				정탄성계수 (x 10 ⁻⁴ MPa)			
	1일	3일	7일	28일	1일	3일	7일	28일
SN30	26.1	56.9	71.9	85.2	2.4	3.0	3.5	3.7
SL30	11.5	30.9	45.2	73.5	1.7	2.8	3.1	3.5

3.2. 시멘트광물조성으로부터의 자기수축 예측

건조수축의 크기는 시멘트 종류의 영향을 크게 받지 않는다고 알려져 있지만, 자기수축은 시멘트 광물조성의 영향을 크게 받는다고 알려져 있다. 田澤 등²⁾은 포틀랜드 시멘트의 주요 광물조성으로부터 자기수축을 추정하는 중회귀식을 다음 식(1)과 같이 제안하였다.

$$\epsilon_{\infty}(t) = -0.012\alpha_{C_3S}(t) \cdot (\%C_3S) - 0.0700\alpha_{C_2S}(t) \cdot (\%C_2S) + 2.256\alpha_{C_3A}(t) \cdot (\%C_3A) + 0.859\alpha_{C_4AF}(t) \cdot (\%C_4AF) \quad (1)$$

여기서, $\epsilon_{\infty}(t)$ 는 물-시멘트비 30%의 시멘트페이스트의 재령 1일을 원점으로 한 자기수축 변형률 ($\times 10^{-6}$), t는 재령(일)이고, 예를 들어, $\alpha_{C_3S}(t)$ 는 C₃S의 반응률(%), (%C₃S)는 C₃S의 함유률(%)을 나타내며, 다른 광물조성(C₂S, C₃A 및 C₄AF)의 계수도 동일하다.

본 실험에 사용한 1종 및 4종 시멘트의 자기수축 추정을 위해, 상기 식(1)에 적용한 결과는 다음 표 4와 같다. 단, 수화광물의 반응률은 재령이 무한대인 100%로 가정하였고, 재령 1일까지의 반응률을 50%로 가정하여 총자기수축률로부터 재령 1일까지의 반응률 50%를 제외한 값으로 자기수축을 추정하였다.

표 4. 시멘트의 화학조성, 광물조성 및 자기수축 추정

종류	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO(%)	C ₃ S(%)	C ₂ S(%)	C ₃ A(%)	C ₄ AF(%)	자기수축 추정결과
1종	20.34	5.83	3.15	62.63	56.6	15.6	10.1	9.6	1463×10 ⁻⁶
4종	25.31	3.14	3.51	63.09	38.4	43.6	2.4	10.7	550×10 ⁻⁶

식 (1)로부터 알 수 있듯이 C₂S가 많고, C₃A 및 C₄AF의 간극상이 작은 시멘트일수록 자기수축이 작음을 알 수 있으며, 표 4의 결과도 4종시멘트는 1종시멘트에 비해 C₂S가 많고, C₃A가 적어서 자기수축의 추정결과도 작게 됨을 알 수 있다.

3.3 1종 및 4종시멘트를 이용한 고성능 콘크리트의 자기수축 및 건조수축 측정결과

1종 및 4종 시멘트를 이용한 고성능 콘크리트의 자기수축변형률을 측정된 결과는 다음 그림 1과 같다. 3.2절의 자기수축의 추정결과와 같이 SL30이 SN30에 비해 재령 63일에서 383μ 작으며, 이것은 시멘트의 수화광물조성의 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 그림 2는 재령 7일을 원점으로 한 전수축변형률(자기수축+건조수축, 길이변화시험)의 측정결과이며, SL30과 SN30이 유사한 결과를 얻었다. 그러나 전수축변형률로부터 자기수축을 제외한 건조수축변형률(중첩의 원리 가정)은 건조재령 56일에서 SL30이 SN30에 비해 66μ 정도로 크게 측정되었다. 그림 4는 동일 수분증발량이라면 SN30은 적은 수분증발량으로 큰 수축을 나타내고 있음을 의미한다. 그림 5는 전수축변형률의 측정결과로서, SL30보다 SN30이 자기수축이든 전수축 변형률이든 크게 발생하고 있음을 알 수 있고, 따라서, 균열발생 확률은 SN30이 높다고 볼 수 있다.

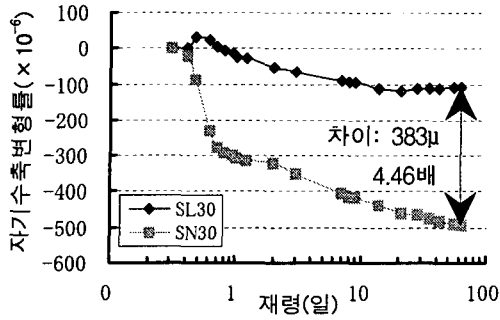


그림 1. 자기수축 측정결과

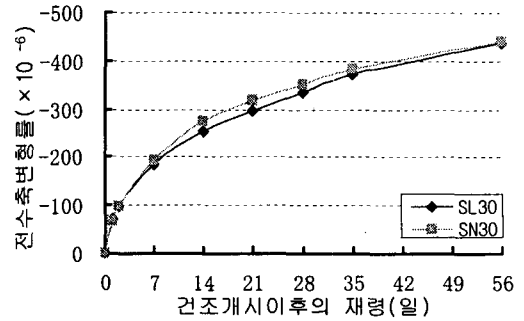


그림 2. 건조개시 7일기점 이후의 전수축변형률

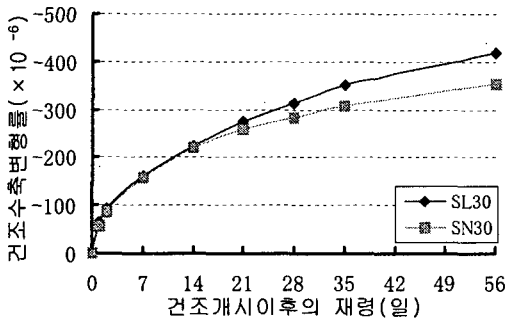


그림 3. 건조개시 7일 기점 이후의 건조수축 측정결과

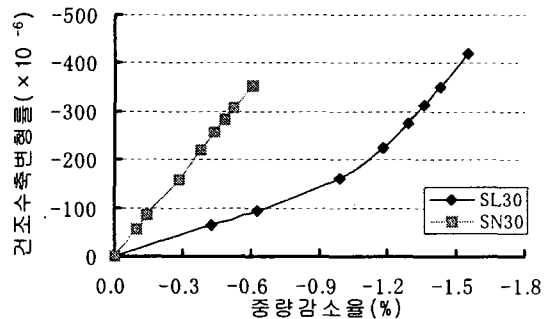


그림 4. 건조수축변형률과 중량감소율의 관계

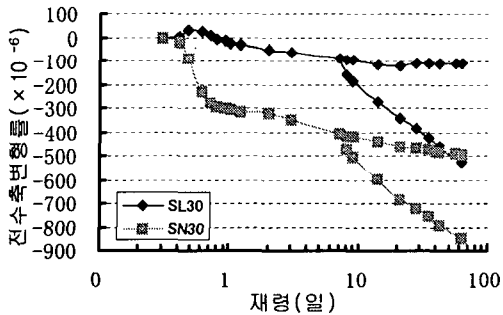


그림 5. 전수축변형률 측정결과

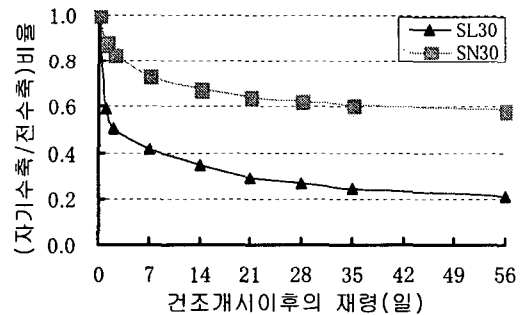


그림 6. 전수축변형률에 자기수축이 차지하는 비율

5. 결론

- 1종 및 4종시멘트를 이용한 고성능 콘크리트에서의 전수축변형률은 SL30(4종)이 SN30(1종)보다 현격히 작았고, 이것은 자기수축이 SN30에서 크게 발생했기 때문으로 판단된다.
- 2) 고성능 콘크리트에 있어서 자기수축의 영향은 무시할 수 없으며, 시멘트의 선정도 중요한 요소로 판단된다.

참고문헌

1. 日本土木學會, “콘크리트의 크리프および乾燥收縮Ⅱ”, 콘크리트技術シリーズ39, 2000.
2. 田澤榮一、宮澤伸吾、佐藤剛, “自己收縮に及ぼすセメントの化學組成の影響”, セメント・コン크리트論文集, 47, 528~533, 1993.
3. 日本コン크리트工學協會, “自己收縮研究委員會報告書”, 2002