

보통 및 저열시멘트를 이용한 고강도 콘크리트의 자기수축응력 및 건조수축응력 특성

The Properties of Stress Induced by Autogenous Shrinkage and Dry Shrinkage for High Strength Concrete Using Type I and Type IV Cement

이 웅 종*	엄 태 선**	이 증 열***
Woong-Jong Lee	Tae-Sun Um	Jong-Ryul Lee

ABSTRACT

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

According to experimental results, autogenous shrinkage stress of SN30(the high strength concrete using type I cement) shows values higher than SL30(the high strength concrete using type IV cement). It is observed that the total shrinkage stress of SN30 is higher than that of SL30, because the ratio of autogenous shrinkage stress of the total shrinkage stress is relatively large. Therefore, SL30 is more effective to control or minimize the cracking of the high strength concrete, compared with SN30.

1. 서론

콘크리트는 수화발열 후의 온도강하, 시멘트 수화반응에 의한 거시적인 체적감소 현상인 자기수축 및 수분증발에 의한 건조수축 등에 의해, 하중 이외의 요인으로 균열이 발생할 가능성은 충분히 있다. 이러한 종류의 균열은 콘크리트의 장기 내구성 저하의 요인으로 된다.

한편, 고강도 콘크리트에 있어서 초기재령부터 큰 자기수축이 발생하고, RC부재 등에서는 철근의 구속에 의해 균열이 쉽게 발생할 수 있다고 지적되어 왔다¹⁾. 향후, 여러 가지 목적에 의해 고강도 콘크리트를 이용하는 사례는 증가될 것으로 예상되고, 이러한 종류의 콘크리트에 있어서 문제가 되는 자기수축의 제어는 중요한 연구과제이다.

자기수축현상은 시멘트 수화반응에 의한 결과로서 나타나는 현상이기 때문에, 시멘트 광물조성의 영향을 받는다. 1종 및 4종시멘트를 이용한 고성능 콘크리트에서의 자유 자기수축 변형률을 측정된 결과에 의하면, 4종시멘트를 이용한 고성능 콘크리트의 경우가 명확히 작게 발생하였음을 보고한 연구결과도 있다²⁾.

콘크리트의 수축현상에 의한 균열발생조건은 구속조건 하에서 발생하며, 균열평가를 위해서는 수축응력의 평가도 중요하다. 본 연구는 기초적인 연구로서, 보통 및 저열시멘트를 이용한 고강도 콘크리트를 대상으로 철근구속에 의한 자기수축응력이 시멘트 종류에 따라 달리 나타나는 현상을 실험적으로 확인하였으며, 또한 재령 7일에서 철근 구속시험체를 기건양생 상태로 하여 건조수축응력도 평가를 실시하였다. 본 연구결과에 의하면, 고강도 콘크리트는 초기 재령에서 자기수축에 의한 영향은 무시할 수 없으며, 특히, 보통시멘트를 이용한 고강도콘크리트의 경우는 균열과 직결될 수 있는 자기수축응력이 크게 발생하고 있음을 확인할 수 있었다.

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

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

***정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 소장

2. 실험개요

2.1 사용재료

고강도 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 표준비중이 2.60g/cm^3 , 조립률(FM)은 2.4, 흡수율은 1.44%인 일본산 육사를 사용하였고, 굵은골재는 표준비중이 2.64g/cm^3 , 조립률(FM)은 6.68, 흡수율은 0.82%, 실적율은 60.9%인 일본산 쇄석을 사용하였다.

표 1. 시멘트의 물리·화학적 성질

시료명	밀도 (g/cm^3)	비표면적 (cm^2/g)	화학적 조성 (%)					
			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/m^3 그리고 굵은골재의 단위절대용적을 $0.315\text{m}^3/\text{m}^3$ 로 고정하고, 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 플로우는 $60\pm 5\text{cm}$, 공기량 2%이내를 만족하는 콘크리트를 대상으로 자기수축응력 및 건조수축응력을 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				

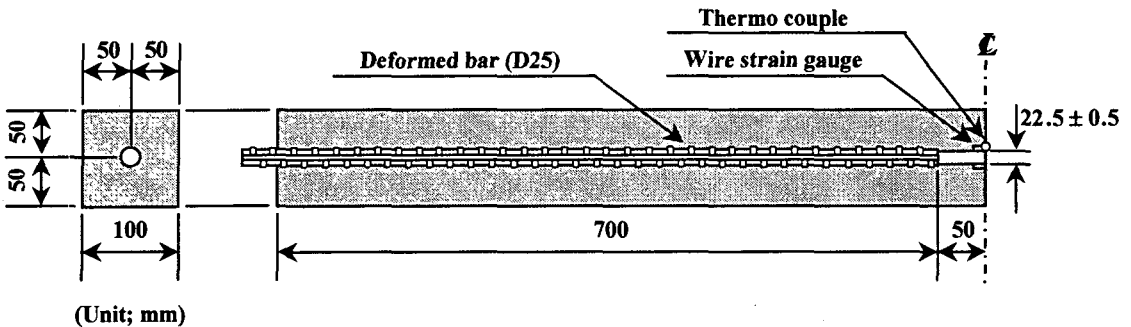


그림 1. 공시체의 형상과 치수

2.3 실험방법

콘크리트의 강도 측정은 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ 의 원주형 공시체를 탈형(재령 1일) 후, 알루미늄 박막테이프 로 밀봉하여 양생(온도 20°C)을 실시하고, 재령별(1, 3, 7, 28일) 압축강도 및 정탄성계수를 측정하였다. 콘크리트의 수축이 철근 구속에 의해 생기는 구속응력을 측정하는 공시체(구속공시체)는 그림 1에 나타난 바와 같이, 치수가 $100 \times 100 \times 1500\text{mm}$ 로서 각각의 배합에 대해 2개씩 제작하였다. 1개의 시험체는

시험 종료 시까지 밀봉양생을 실시하였고, 나머지 1개는 재령 7일부터 건조양생(RH 60±5%)을 실시하였다. 콘크리트의 응결시험은 관입저항침에 의해 시험을 실시하였고, 초결을 자기수축응력의 원점으로 실시하였다. 건조양생을 실시한 철근 구속시험체는 건조수축에 의한 응력과 자기수축에 의한 응력이 동시에 측정되는 관계로, 본 연구에서는 중첩의 원리(전수축응력=자기수축응력+건조수축응력)가 성립한다는 가정하여 건조양생 구속시험체의 건조수축응력은 전수축응력으로부터 자기수축응력을 제거한 것으로 하였다. 건조양생 구속시험체의 재령 7일 이전의 양생조건은 밀봉양생 시험체와 동일하게 하였다. 한편, 구속 공시체에 매설한 이형철근(호칭명 D25)의 중앙부 100mm구간은 리브와 마디를 제거해서 $\phi 22.5 \pm 0.5 \text{mm}$ 의 원형단면으로 하고, 이 부분에 있어서 구속철근비는 약 4%이다. 타설 후 공시체의 탈형 전까지 콘크리트의 자유로운 변형이 구속되는 것을 방지하기 위해서 거푸집 바닥판 위에 테프론 슈트(두께 1mm)넣어 두는 등의 일본 콘크리트공학협회 [콘크리트의 자기수축응력 시험방법(안)³⁾]에 준용하여 실시하였다.

철근구속 시험체에 있어서의 철근변형률은 철근 중앙부의 상하면에 자기온도보상형의 변형률 게이지를 이용하여 측정하였다.

한편, 콘크리트의 수축응력산정은 철근의 변형률을 이용하고, 다음 식에 의해 계산하였다.

$$\sigma_c = \left(\frac{E_s \times \epsilon_s \times A_s}{A_c} \right) \text{ 여기서, } \sigma_c: \text{ 콘크리트의 자기수축응력(MPa), } E_s: \text{ 철근의 탄성계수(GPa), } \epsilon_s: \text{ 강재의 변형률, } A_s: \text{ 철근 중앙부의 단면적(mm}^2\text{), } A_c: \text{ 콘크리트의 순단면적(mm}^2\text{)}$$

3. 실험결과

3.1 콘크리트의 물성측정결과

콘크리트의 압축강도 및 정탄성계수 측정결과는 표 3에 나타내었다. 보통 및 저열 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 ($\times 10^{-4}$ 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

3.3 고강도 콘크리트의 자기수축응력 및 건조수축응력 측정결과

보통 및 저열 시멘트를 이용한 고강도 콘크리트의 자기수축에 의한 응력을 측정한 결과는 다음 그림 2와 같다. SN30(보통)대비 SL30(저열)의 자기수축응력이 현저히 작게 발생하였으며, SL30기준으로 5.38배 크게 발생하였다. 건조개시(재령 7일 기점) 이후의 전수축응력(일반적으로 건조수축응력으로 칭함)은 SL30과 SN30이 거의 유사하게 나타났으나, 중첩의 원리를 이용한 건조개시이후의 건조수축응력은 SL30이 크게 발생하였다. 이는 저열시멘트가 보통시멘트에 비해 동일한 유동성을 얻기 위해서는 단위수량이 적게 소요됨을 의미하는 것으로 판단된다. 응결초결부터 측정된 전수축응력의 측정결과는 자기수축응력의 영향으로 SN30의 수축응력이 크게 발생하였다(그림 5참조). 이의 원인은 전수축응력에 포함된 자기수축응력의 영향을 크게 받기 때문인 것으로 판단된다(그림 6참조). 균열의 제어 측면에서 고강도 콘크리트 배합선정 시 시멘트의 선정도 중요한 요소임을 본 실험을 통하여 확인할 수가 있었다.

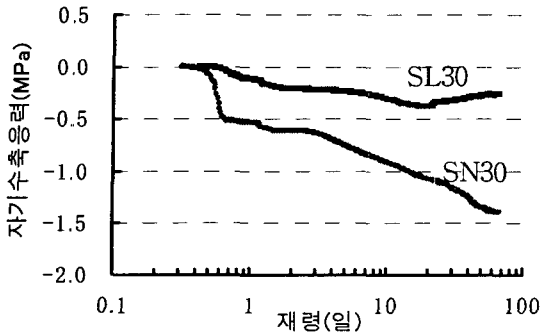


그림 2. 자기수축응력 측정결과

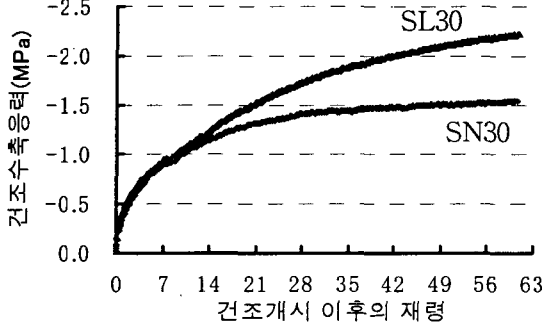


그림 4. 건조개시(7일) 이후의 건조수축 측정결과

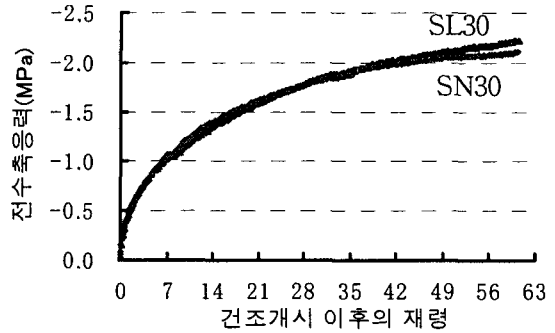


그림 3. 건조개시(7일) 이후의 전수축 변형률

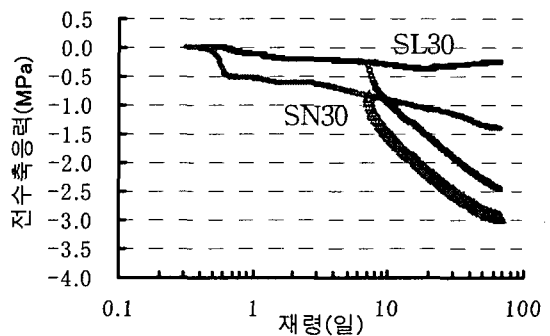


그림 5. 전수축변형률 측정결과

5. 결론

- 1) 보통 및 저열시멘트를 이용한 고강도 콘크리트에 있어서, 자기수축에 의해 발생한 콘크리트의 수축응력은 보통시멘트를 이용한 고강도 콘크리트에서 크게 발생하였고, 특히 재령 초기(약 10일 이전)에 크게 발생하였다.
- 2) 전수축 응력도 보통시멘트를 이용한 고강도 콘크리트가 크게 발생하고 있고, 자기수축에 의한 영향이 크기 때문이다.
- 3) 고강도 콘크리트에 있어서 자기수축의 영향은 무시할 수 없으며, 시멘트의 선정도 중요한 요소로 판단된다.

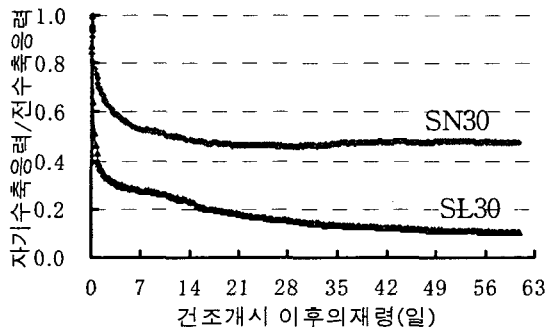


그림 6. 전수축변형률에 자기수축이 차지하는 비율

참고문헌

1. 宮澤伸吾ほか, “鐵筋拘束による超高強度コンクリートの自己収縮応力”, 콘크리트工學年次論文集 Vol. 15, No.1, pp.57~62, 1993
2. 이웅중, 유재상, 이종열, “1종 및 4종시멘트를 이용한 고성능콘크리트의 자기수축 및 건조수축 특성”, 한국 콘크리트학회 2004년도 가을학술발표회 논문집, pp.561~564
3. 日本コンクリート工學協會, “自己収縮研究委員會報告書”, 2002