

철근구속을 받는 고강도 콘크리트의 자기수축저감에 관한 실험연구

An experimental study on the reduction of autogenous shrinkage of high strength concrete with bar restricted specimen

최진영^{*} 전철송^{**} 임병호^{***} 김화중^{****}
Jin-Young Choi Zhe-Song Tian Byung-Ho Lim Wha-Jung Kim

ABSTRACT

In this paper, to seek a solution of reducing autogenous shrinkage three types of bar restricted concrete specimens which have similar compressive strength were tested. The three type of concrete were plain concrete-P25 type, 10% fly-ash replaced concrete-F10 type, and 1% expansion admixture replaced concrete-SP1 type, and with the test result an experimental study was conducted to gain the tensile stress of concrete.

From the result of P25, SP1, F10 tests, it was found that by the age of 14 the ratios of tensile stress to tensile strength of three specimens are 75%, 47%, 52% respectively. so we came to a conclusion that the SP1-type concrete has better capacity to reduce autogenous shrinkage than F10-type concrete at similar compressive strength condition.

1. 서론

고강도 콘크리트를 이용한 구조물에 있어서는, 초기재령에서 많은 수축을 일으키므로 균열이 발생할 가능성이 있으며, 기존의 보고²⁾에서는 초기재령에서의 균열은 특히 자기수축에 의해 많이 좌우된다고 하고 있다.

자기수축은 콘크리트 내부중앙의 물 침입 및 분산이 없는 상태에서, 모세관 공극 내의 물이 시멘트의 수화에 의하여 흡수되면서 내부가 건조화하는 즉, 자기건조되면서 일어나는 현상이며, 단위 시멘트량이 많을 경우, 고로슬래그분말과 실리카흄등의 혼화재를 많이 사용한 경우에 그 변형량이 크게 되는 것으로 알려져 있으며 반면에, 플라이애시를 사용하면 자기수축을 줄일수 있으며, 팽창재를 함유한 콘크리트에서도 자기수축이 발생하지만 최종수축량은 팽창재를 사용하지 않은 콘크리트에 비해 현저하게 감소하는 경향이 있다.

고강도 콘크리트에서는 시공과정에서 충분한 양생을 통해 수분증발을 방지하는 건조수축과는 달리, 자기수축은 시공적 측면에서 감소하기 어려우므로 재료적인 측면에서 접근하는 것이 바람직할 것 같다. 이를 위해 고강도 콘크리트의 자기수축을 감소하기 위한 연구의 일환으로 몰바인더비가 25%인 철근의 구속을 받는 고강도 콘크리트에 대한 연구를 진행하며 시험체는 총 7개 타입으로서, 자기수축에 영향을 미치는 인자중에서 자기수축감소에 기여할 수 있는 플라이애시와 팽창재를 사용하여 이를 치환한 배합과 플레인 배합으로 하였다. 그리고 이 시험체들은 D22 철근을 매입하여 구속력을 줌으로서

* 경북대학교 건축공학과 석사과정

** 경북대학교 건축공학과 박사과정

*** (주)화성산업 건축팀, 공학박사

**** 경북대학교 건축공학과 교수, 공학박사

자기수축에 의해 콘크리트가 받는 인장응력에 대해 측정하였다.

본 연구에서는, 물시멘트비를 25%고정하고 혼화재 치환율의 변화에 따른 고강도 콘크리트의 자기수축 응력을 고찰하기 위하여 재령 28일 압축강도를 기준으로 유사한 압축강도를 가지는 시험체를 대상으로 하였으며, 매입철근의 구축을 받는 서로 다른 혼화재를 가지는 시험체에서 자기수축에 의하여 발생하는 철근의 압축스트레인을 측정함으로써 간접적으로 콘크리트의 자기수축 응력에 대한 연구를 진행하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 실험에서는 우선 고강도 콘크리트의 자기수축 특성을 혼화재 별로 연구하기 위해 주요인자로서 물시멘트비 25%로 고정한 기준 시험체 P25와 플라이애시 10%, 20%, 30%로 치환한 F10, F20, F30 시험체와 팽창재 1%, 3%, 5%로 치환한 SP1, SP3, SP5 시험체로 자기수축변형을 측정 한 후, 압축강도가 비슷한 P25, F10, SP1 시험체에 대해서 철근과 콘크리트변형을 측정하였다.

자기수축변형 측정시에는 콘크리트 제작 시 굳지 않은 상태의 특성을 파악하기 위해 플로우 값을 측정하였고 경화상태에는 콘크리트 타설 24시간 후를 기점으로 하여 재령 28일까지 상온에서 자기수축변형을 측정하였으며, 28일 재령 압축강도 및 인장강도를 검토하였다. 철근과 콘크리트변형변형 측정시에는 자기수축변형실험과 동일한 항목을 측정함과 동시에 철근변형과 콘크리트변형, 내부온도를 부착된 게이지를 이용하여 28일까지 실측하였다. 본 실험에서의 인자 및 측정항목을 표 1에, 배합계획을 표 2에 나타내었다. 또한 사용재료의 특성과 실험에 사용된 철근의 기계적 성질을 표 3에 나타내었다.

표 1 실험인자 및 측정항목

실험종류	실험인자	실험수준	조 건	측정항목
자기수축 변형	물시멘트비	25%	굳지않은 상태	슬럼프
	플라이애시	10, 20, 30%	경화상태	자기수축변형(28일), 압축강도 및 인장강도(28일)
	팽창재	1, 3, 5%		
자기수축 응력변형	물시멘트비	25%	굳지않은 상태	슬럼프
	플라이애시	10%	경화상태	철근변형(28일), 콘크리트변형(28일), 내부온도, 압축강도 및 인장강도(28일)
	팽창재	1%		

표 2 배합계획

시험체명	조건		단위 재료량(kg/m ³)					
	W/B (%)	S/a (%)	물	시멘트	F.A	E.A	혼화재 (%)	air(%)
P25	25.0	44.4	162.0	648.0	-	-	2.4	4
SP1	25.0	43.9	162.0	641.5	-	6.5	2.5	4
SP3	25.0	43.8	162.0	628.6	-	19.4	2.5	4
SP5	25.0	43.8	162.0	615.6	-	32.4	2.5	4
F10	25.0	43.1	162.0	583.2	64.8	-	2.2	4
F20	25.0	42.2	162.0	518.4	129.6	-	2.4	4
F30	25.0	41.4	162.0	453.6	194.4	-	2.5	4

표 3 사용재료의 성질

재료	종류·산지	물성
시멘트	보통포틀랜드	비중: 3.15, 분말도: 3,318(cm ² /g)
잔골재	경기도 안양	표건비중: 2.6 흡수율:1.17%, 조립율: 2.80 단위용적중량: 1.622kgf/m ³
굵은골재	경기도 안양	표건비중 : 2.63 흡수율: 0.62%, 조립율: 6.90,
팽창재	CSA 팽창재(국내M사)	비중: 2.8 분말도 2,500(cm ² /g)
플라이애쉬	충남 보령산	비중: 2.22 분말도: 3,850(cm ² /g)
고성능 AE 감수제	FLOWMIX 2000H	나프탈렌계 고성능 AE감수제, 감수율: 23%
D22 철근	SD40	$\sigma_y = 4.563(t/cm^2)$, $\sigma_{max} = 6.257(t/cm^2)$, $elo = 21.6(\%)$

2.2 실험체의 제작 및 실험방법

2.2.1 비구속 자기수축 측정실험

자기수축변형 시험체는 400×100×100mm의 시험체를 사용하였으며 그 형상과 셋팅은 그림 1과 2에 나타내었다.

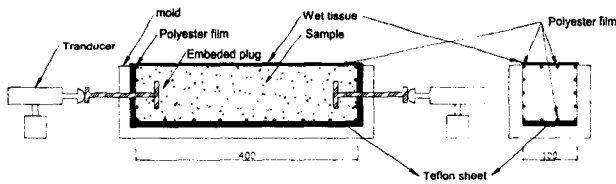


그림 1 자기수축변형 시험체 개요



그림 2 자기수축변형 측정장면

2.2.2 철근구속 자기수축 측정실험

철근구속 자기수축측정실험은 일본건축학회 자기수축위원회에서 제안한 철근구속시험방법에 의하여 측정하였다. 시험체 사이즈는 1500×100×100mm이고, 형틀조립시 결합부에 누수가 없도록 하고 공시체의 자유변형이 구속되는 것을 방지하기 위해서, 조립형틀 저면 내측에 테프론시트를 삽입하고, 형틀 내측의 측면, 단면 및 저면에 공업용 랩을 넣어 콘크리트와 형틀이 접촉되지 않도록 했다.

형틀의 양 단판은 중앙부에 직경 25mm의 구멍을 설치한 후, 철근 양단의 정착길이를 60cm로 한 길이 160cm의 D22를 사용하여 중간부분의 리브와 마디는 같아서 매끄럽게 한 후 그 위에 폴리에틸렌 비닐과 테프론시트로 도포하여 방수와 콘크리트와의 마찰을 제거하는 역할을 하였다. 시험체의 철근 중간부분에 철근스트레인게이지를 부착하고 인근의 콘크리트속에 콘크리트용 스트레인게이지와 온도 게이지를 매입하고 형틀의 양단판은 유점토로 구멍을 처리하였다.

타설종료와 동시에, 표면고르기를 행하고, 콘크리트의 수분분산을 방지하기 위해, 공업용 랩으로 표면을 덮고 그 위에 젖은 걸레를 덮었다. 타설 후 재령 24시간에서 공시체를 탈형하고, 바로 공시체 전면을 알루미늄박으로 된 접촉테이프프로 감쌌다. 공시체 보존은 가로로 두는 것을 원칙으로 하였고, 공시체 저면과 바닥면과의 마찰이 생기지 않도록 물리 등을 이용해서 공시체 양단에서부터 약 40cm위치 2개소에 지지하였다. 자기수축응력 시험체의 형상과 셋팅은 그림 3과 4에 나타내었다.

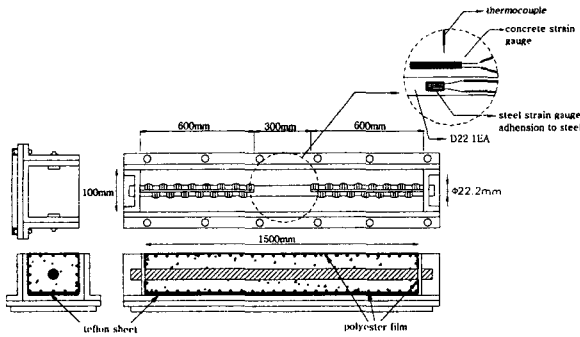


그림 3 자기수축응력 시험체 개요



그림 4 자기수축응력 측정장면

2.2.3 온도 측정

열전대를 이용하여 콘크리트 내부온도와 표면온도를 측정하여 비교하였다. 중심부와 표면부의 온도차는 1℃정도였으며, 단면내부의 온도구배는 작았다. 본 연구에 사용된 시험체는 단면크기가 작아서 수화열에 의한 팽창이 적으므로 결과분석에서 온도에 따른 영향이 없다고 가정하고 실험을 수행하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 비구속 시험체에서의 자기수축변형

굳지 않은 상태에서의 플로우값과 재령28일 압축강도, 인장강도 그리고 측정시간에서의 자기수축변형 값을 표 4에 나타내었다.

표 4 실험결과

시험체명	굳지않은 상태 Flow (cm)	경화 상태						
		압축강도(kgf/cm ²) 재령(Day)	인장강도(kgf/cm ²) 재령(Day)	자기수축변형 시간(Day)				
				1	3	7	14	28
P25	23	793.2	45.1	-153	-329	-368	-380	-391
SP1	22	782.3	44.8	-30	-58	-94	-147	-201
SP3	22	757.9	44.0	-35	-63	-95	-135	-183
SP5	20	701.6	42.4	-21	-41	-77	-108	-128
F10	24	765.2	44.3	-90	-139	-181	-202	-224
F20	22	702.9	42.4	-57	-100	-145	-177	-198
F30	23	641.9	40.5	-36	-64	-94	-126	-152

그림 5, 6은 실험에서 얻어진 자기수축변형 실측값을 플로팅한 것이다. 팽창제 및 플라이애시를 치환한 경우 모든 재령에서 플레인 시험체인 P25의 자기수축변형보다 낮게 나타났으며, 팽창제 및 플라이애시 치환율이 증가할수록 자기수축변형이 감소하는 것으로 나타났으며 팽창제 1%와 3%를 치환한 SP1시험체와 SP3시험체는 유사한 값을 나타내었다. 팽창제 및 플라이애시를 치환한 경우 재령 28일에는 P25시험체보다 자기수축이 43~67%정도 저감되는 것으로 나타났다.

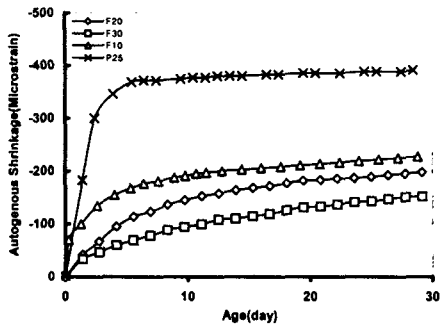


그림 5 플라이애시혼입에 따른 자기수축변형 특성

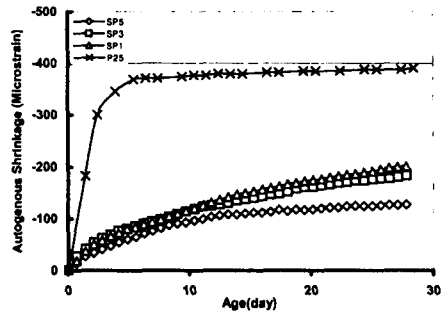


그림 6 팽창재혼입에 따른 자기수축변형 특성

3.2 구속시험체에서의 철근과 콘크리트변형

P25와 비교하였을때 재령 28일 압축강도가 가장 유사한 SP1시험체와 F10시험체를 대상으로 철근과 콘크리트 변형을 실측하였다. 표 5는 실험결과를 나타낸 것이며 그림 7~9는 실험에서 얻어진 각 변형 계이저에서 얻어진 실측값을 플로팅한 것이다.

표 5 실험결과

시험체명	경화 상태																	
	압축강도(kgf/cm ²)					인장강도(kgf/cm ²)					철근변형($\times 10^{-6}$)				콘크리트변형($\times 10^{-6}$)			
	재령(Day)					재령(Day)					시간(Day)				시간(Day)			
	1	3	7	14	28	1	3	7	14	28	1	3	7	14	1	3	7	14
P25	509.3	534.8	592	674.8	793.2	36.1	37.0	38.9	41.6	45.1	-69	-103	-130	-144	-35	-55	-68	-80
SP1	445.6	527.1	565.3	649.4	782.3	33.8	36.7	38.0	40.8	44.8	-18	-38	-55	-75	-11	-31	-48	-56
F10	458.4	529.7	553.6	632.3	765.2	34.3	36.8	37.6	40.2	44.3	-29	-47	-42	-50	-14	-43	-47	-56

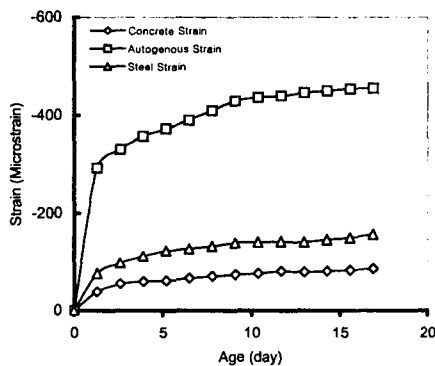


그림 7 P25시험체의 변형곡선

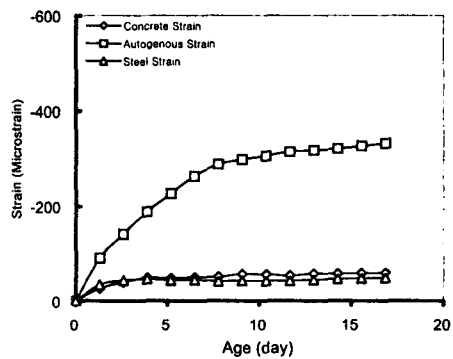


그림 8 F10시험체의 변형곡선

측정은 콘크리트 재령1일부터 시작하였으며, P25의 철근구속시험체에서의 재령 14일의 철근과 콘크리트 변형율은 144×10^{-6} , 80×10^{-6} 의 수축변형율을 나타내었으며, SP1시험체와 F10시험체의 철근과 콘크리트 변형율은 각각 75×10^{-6} , 56×10^{-6} 그리고 50×10^{-6} , 56×10^{-6} 으로 나타났다.

3.3 자기수축응력의 계산

콘크리트의 양단의 철근 정착부에서의 철근이 받는 압축력과 콘크리트가 받는 인장력이 평형하다는 원리를 이용하여 아래식으로 콘크리트의 인장응력을 산출하여 그 경향을 그림 10에 나타내었다. 이 식에서 철근 중앙부에서 측정된 스트레인값이 철근 전체에 동일하게 발생한다고 가정하였다. 시험체별 인장강도와 콘크리트 자기수축에 의한 콘크리트에 발생하는 인장응력을 표6에서 비교하였다.

$$\sigma_c = E_c \times \epsilon_c$$

여기서, σ_c : 콘크리트의 자기수축 응력(kgf/cm²)

E_c : 콘크리트의 탄성계수(kgf/cm²)

ϵ_c : 실측된 콘크리트의 스트레인

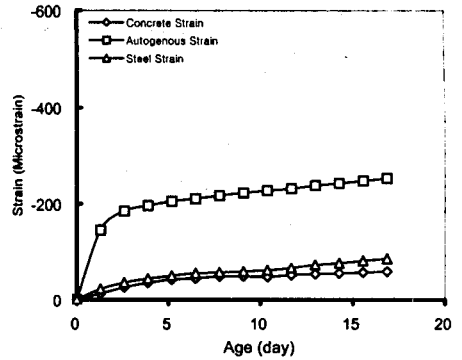


그림 9 SP1시험체의 변형곡선

표 6 시험체별 인장강도와 콘크리트 수축응력비교

시험체명	콘크리트 수축응력(kgf/cm ²)			
	시간(Day)			
	1	3	7	14
P25	-14	-21	-27	-31
SP1	-4	-10	-16	-19
F10	-5	-16	-18	-21

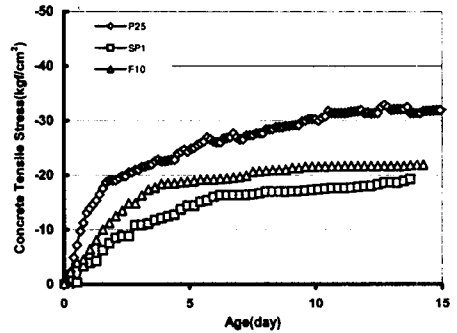


그림 10 시험체별 콘크리트 수축응력특성

4. 결론

철근구속을 받는 고강도 콘크리트의 자기수축응력 평가실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 팽창재를 치환한 SP계열 시험체와 플라이애시를 치환한 F계열 시험체의 비구속 자기수축변형값은 최소 128×10^{-6} , 152×10^{-6} 으로서 P25에 비해 각각 43~67% 정도 자기수축감소효과가 있는 것으로 나타났다. 팽창재와 플라이애시의 치환율이 증가할수록 자기수축도 감소하는 것으로 나타났다.
- 2) P25시험체와 비교해서 압축강도가 저하하지 않는 범위를 고려할 경우 SP1시험체와 F10시험체가 적당하다고 사료된다.
- 3) 비슷한 압축강도를 가진 P25, SP1, F10시험체로 철근구속실험을 통하여 계산한 콘크리트 자기수축응력과 재령 14일에서의 인장강도비는 각각 75%, 47%, 52%로 SP1시험체의 수축응력이 가장 작은 것으로 나타났으므로 자기수축감소효과가 가장 좋은 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. 최진영 외 4인 : 철근구속을 받는 고강도콘크리트의 자기수축응력에 관한 실험연구, 한국콘크리트학회 춘계발표논문집, 2002.
2. E.Tazawa, Y.Matsuoka, S.Miyazawa, S.Okamoto : Effect of Autogenous Shrinkage on Self Stress in Hardening Concrete, int. RILEM sym, Thermal Cracking in Concrete at Early Ages, pp.221~228, 1994.
3. Report, Autogenous Shrinkage Research Committee of Japan Concrete Institute, pp.81~90, 1996.
4. Ohno, Y., Nakagawa, T. and Yamamoto, S. : Investigation of test method of self stress due to autogenous shrinkage in concrete, Proceeding of Cement Concrete, No.51, pp.630~635.
5. A.M Neville "Properties of concrete" Wiley Fourth Edition.