

고강도 콘크리트의 자기수축 변형에 대한 실험적 연구

An Experimental study on Autogenous Shrinkage strain of High-Strength Concrete

박 신 일* 최 진 영* 전 철 송** 임 병 호*** 김 화 중****
Park, Shin Il Choi, Jin Young Tian, Zhe Song Lim, Byung Ho Kim, Wha Jung

ABSTRACT

The autogenous shrinkage is a important phenomenon of high performance concrete since it may decrease the concrete member's durability by induce crack at early age. So the autogenous shrinkage behavior of high strength concrete was studied according to different replacement ratio of silica fume and fly ash. A linear measurement technique which was introduced by the JCI autogenous commitee was used.

1. 서 론

콘크리트가 건축공사에 있어서 주요한 위치를 자리잡은 이후 이의 품질을 개선하기 위한 노력의 일환으로 높은 압축강도, 가벼운 중량 그리고 시공성을 고려한 밀실한 콘크리트의 연구에 집중적인 노력을 기울여 왔다. 최근의 구조물의 고층화, 대형화, 특수구조물등 사회적 요구에 힘입어 1990년대 이후부터 고강도 콘크리트에 대한 기술적 요구가 한층 더 높아졌으며 시공실적도 증가하는 추세이다.

콘크리트의 자기수축은 Autogenous Shrinkage로 오래 전부터 알고 있지만, 보통콘크리트에서는 건조수축에 비해 1/10정도 작기 때문에, 균열제어나 설계에 있어서도 크게 고려되지 않았다. 그러나, 고강도, 고유동 콘크리트와 같은 상대적으로 물결합재비가 낮고, 단위결합재량이 많은 콘크리트에서는 자기수축 비중이 커지는 것으로 보고되고 있고, 경우에 따라서는 자기수축만으로도 균열이 발생하는 것이 지적되고 있어, 일본토목학회 콘크리트 표준시방서에도, 균열발생원인으로써 자기수축을 고려할 필요가 있는 경우가 지적되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 자기수축에 관한 이전의 연구를 바탕으로, 압축강도가 600~800kgf/cm²인 고강도 콘크리트를 대상으로 혼화재(실리카흄, 플라이애쉬)의 치환율에 따른 자기수축 변형 특성을 검토 하고자 한다.

* 정회원, 경북대학교 건축공학과, 석사과정

** 정회원, 경북대학교 건축공학과, 박사과정

*** 정회원, (주)화성산업 PC구조팀

**** 정회원, 경북대학교 건축공학과 교수

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험 계획

본 실험은 혼화제로써 실리카흙과 플라이 애쉬의 치환에 따른 고강도콘크리트의 자기수축특성을 검토하였다. 측정항목으로는 굳지않은 상태에서 슬럼프-플로우에 대한 특성을 측정하고, 경화상태에는 콘크리트 종결시간을 기점으로 재령 28일 까지의 자기수축을 측정하였으며, 각 재령별 압축강도를 측정하였다. 본 연구의 실험인자 및 측정항목은 표 1과 같다.

표 1 실험인자 및 측정항목

	실험인자	실험인자	조 건	측정항목	
시험	단위수량 (kg/m ³)	162	굳지않은 상태	슬럼프-플로우	
	단위결합재령 (kg/m ³)	650			
	실리카흙 (%)	5, 8, 10, 12, 15			
	혼화재	플라이애쉬 (%)	5, 10, 15, 20, 25	경화상태	압축강도 (3, 14, 28일) 자기수축 변형(종결후-재령28일)
		혼합	13, 17, 18, 22,		
(실리카흙+플라이애쉬)		23, 27, 28, 32			

2.2 사용재료

시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며(분말도 3318cm³/g 비중 : 3.15) 잔골재는 경기도 안양산 모래이고(표건 비중 2.6, 흡수율 1.175, 조립율 2.8) 굵은 골재는 경기도 안양산 쇄석(표건 비중은 2.63, 흡수율 0.62%, 조립율 6.9)을 사용하였다. 그리고 혼화제로서 체코산 실리카흙(비중 2.21 비 표면적 192,600cm²/g)과 충남 보령산 플라이 애쉬(비중 2.22 분말도 3,850cm³/g)을 사용하였다. 혼화제로는 고성능 AE감수제 FLOWMIX 2000(나프탈렌계)를 사용하였다.

2.3 배합계획

콘크리트의 배합계획은 표2와 같다.

표 2 배합계획

시험체명	조건		단위 재료량(kg/m ³)						
	W/B (%)	S/A (%)	W	결합재			잔골재	굵은골재	S.P (%)
				C	S.F	F.A			
Plain	25.0	44.4	162	648.0	0	0	706.8	895.3	3.2
S-5	25.0	44.0	162	615.6	32.4	0	695.4	895.2	2.6
S-8		43.8		596.2	51.8		689.2	894.5	
S-10		43.6		583.2	64.8		684.0	895.0	
S-12		43.4		570.2	77.8		678.9	895.6	
S-15		43.2		550.8	97.2		672.8	894.8	
F-5	25.0	44.0	162	615.6	0	32.4	695.5	895.4	1.8
F-10		43.6		583.2		64.8	684.3	895.4	
F-15		43.2		550.8		97.2	673.2	895.3	
F-20		42.8		518.4		129.6	662.2	895.2	
F-25		42.4		486.0		162.0	651.2	894.9	
S8F5	25.0	43.4	162	563.8	51.8	32.4	678.0	894.4	2.4
S8F10		42.9		531.4		64.8	665.4	895.9	
S8F15		42.5		499.0		97.2	654.4	895.6	
S8F20		42.1		466.6		129.6	643.6	895.3	
S12F5	25.0	43.0	162	537.8	77.8	32.4	667.8	895.4	2.6
S12F10		42.6		505.4		64.8	656.8	895.2	
S12F15		42.2		473.0		97.2	645.9	894.9	
S12F20		41.7		440.6		129.6	633.6	896.0	

2.4 실험체의 제작 및 실험방법

2.4.1 자기수축

고강도 콘크리트의 자기수축은 일본콘크리트학회 자기수축위원회에서 제안한 방법에 의하여 측정을 진행하였다. 자기수축의 측정은 종결시간을 시점으로 하여 0.01mm의 측정범위를 가진 변형 측정용 다 이얼 게이지로 연결하여 재령 28일까지 측정을 진행하였다. 그림 1은 실험체 제작순서이며, 그림 2는 자기수축 개요도이다.

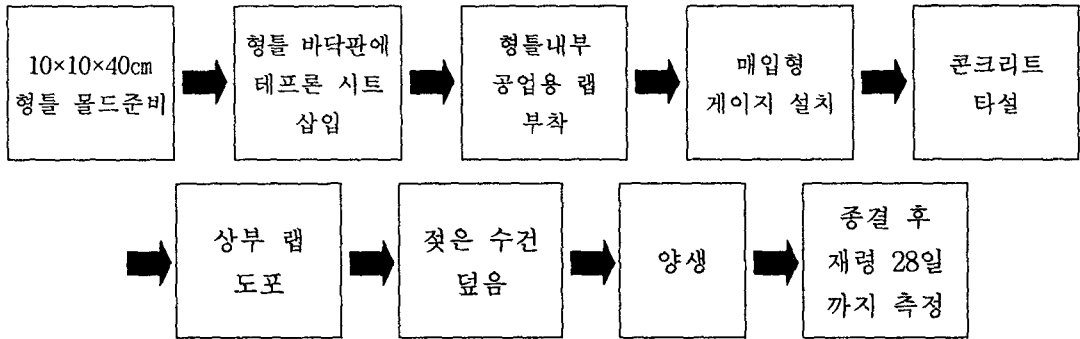


그림 1 실험체 제작 순서

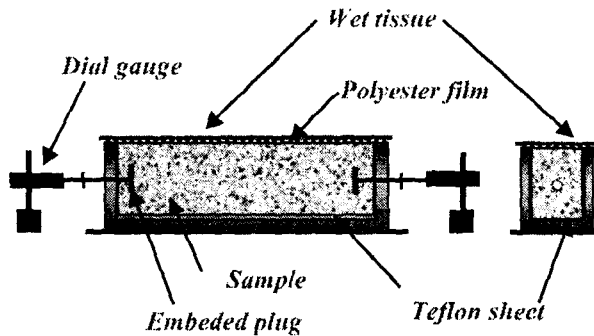


그림 2 자기수축장치 개요도

3. 실험 결과 및 분석

표3은 본 실험에서 측정된 결과를 나타내고 있다.

3.1 슬럼프·플로우

슬럼프-플로우는 S씨리즈의 경우 슬럼프는 24~26cm범위를 나타냈고, 플로우는 36.5~52.5cm의 범위를 나타냈으며, 치환율이 증가할수록 슬럼프-플로우는 대체로 감소하였다. F씨리즈의 경우 슬럼프는 21~27.5cm의 범위를 나타내었고, 플로우는 32.5~68cm의 범위를 나타내었으며, 치환율이 증가할수록 슬럼프-플로우는 대체로 증가하는 경향을 나타내었다.

SnFn의 경우 슬럼프는 20.5~26cm를 범위를 나타내었으며, 플로우는 33.5~52.5cm의 범위를 나타내었으며, 대체로 비슷한 범위를 나타내었으며, 일정한 경향이 나타나지는 않았다.

표 3 실험결과

시험체명	굳지않은 상태		경화상태									
			압축강도(kgf/cm ²)			자기수축 변화량(μm/m)						
	Slump (cm)	Flow (cm)	재령(Day)			재령(Day)						
			3일	7일	28일	1일	3일	7일	10일	14일	21일	28일
Plain	25	48	490	656	674	-228.6	-257.1	-285.7	-291.4	-294.3	-300	-305.7
S-5	26	52.5	574	668	711	-371.4	-408.6	-471.4	-505.7	-525.7	-554.3	-557.1
S-8	25	51.5	451	509	721	-194.3	-217.1	-385.7	-465.7	-508.6	-580.0	-620.0
S-10	25	45.5	530	683	731	-257.1	-328.6	-408.6	-488.6	-528.6	-597.1	-634.3
S-12	24	44.5	435	555	733	-148.6	-168.6	-180.0	-185.7	-211.4	-271.4	-285.7
S-15	24	36.5	528	693	723	-122.9	-151.4	-211.4	-243.3	-277.1	-308.6	-320.0
F-5	21	32.5	460	548	676	-245.7	-334.3	-382.9	-448.6	-454.3	-445.7	-454.3
F-10	25.5	54.5	432	521	604	-234.3	-391.4	-500.0	-588.6	-585.7	-600.0	-631.4
F-15	27	63.5	401	536	628	-220.0	-245.7	-268.6	-337.1	-325.7	-320.0	-345.7
F-20	23	36	460	548	676	-194.3	-225.7	-288.6	-385.7	-382.9	-400.0	-442.9
F-25	27.5	68	409	527	633	-191.4	-185.7	-208.6	-282.9	-300.0	-325.7	-322.9
S8F5	26	52.5	470	564	671	-171.4	-262.9	-314.3	-334.3	-397.1	-434.3	-480.0
S8F8	24	36.5	467	546	624	-237.1	-322.9	-380.0	-400.0	-448.6	-477.1	-511.4
S8F10	24.5	43	428	575	617	-220.0	-314.3	-377.1	-397.1	-428.6	-442.9	-494.3
S8F12	25	45.5	410	499	612	-200.0	-302.9	-382.9	-408.6	-491.4	-551.4	-605.7
S12F5	24.5	38.5	503	546	719	-185.7	-245.7	-340.0	-400.0	-468.6	-525.7	-557.1
S12F8	22	33.5	446	487	719	-300.0	-351.4	-434.3	-494.3	-571.4	-654.3	-691.4
S12F10	22.5	35	442	477	671	-208.6	-257.1	-340.0	-382.9	-454.3	-520.0	-562.9
S12F12	20.5	33.5	464	548	710	-385.7	-431.4	-528.6	-594.3	-654.3	-737.1	-782.9

S:실리카흙 F: 플라이애쉬 S*F:실리카흙+플라이애쉬

3.2 압축강도

S씨리즈의 압축강도는 재령 3일에서 435.4~573.8kgf/cm²범위를 나타냈고, 재령 28일의 압축강도는 710.9~732.8kgf/cm²의 값을 나타냈으며, 실리카흙 치환율이 증가할수록 압축강도는 증가하였다.

F씨리즈의 압축강도는 재령 3일에서는 401~459.8kgf/cm²의 범위를 나타냈고, 재령 28일의 압축강도는 603.6~675.5kgf/cm²의 범위의 값을 나타냈으며, 플라이 애쉬 치환율이 증가할수록 대체로 강도가 떨어지는 것으로 나타났다.

SF씨리즈의 압축강도는 재령 28일에서는 612.7~719.7kgf/cm²의 범위를 나타내었다.

3.3 수축특성

그림 3~6은 각각 콘크리트의 종결직후 측정된 자기수축값을 나타내고 있다. S씨리즈는 재령 28일의 자기수축은 285.7~634.3×10⁻⁶의 값을 나타냈다. 실리카흙을 10%이하로 치환한 경우 자기수축값이 Plain에 비해 대체로 크게 되는 것으로 나타났으며, 10% 이상 치환하는 경우는 시멘트량이 Plain의 경우보다 작아 수축값이 오히려 줄어드는 경향이 나타났다.

F씨리즈는 재령 28일의 자기수축은 322.9~631.4×10⁻⁶의 값을 나타냈다. 플라이애쉬를 치환한 경우도 Plain의 자기수축값 보다 증가하여, 플라이애쉬 치환량이 25%일 때 Plain가 비슷한 값이 나타났다. 본 실험에서 사용한 플라이애쉬의 분말도는 3850cm²/g로서 시멘트(3318cm²/g) 보다 분말도가 높다. 이런 가는 입자의 플라이애쉬의 사용은 그 포졸란 반응에 의하여 자기수축을 증가시키는 것으로 사료된다.

SnFn씨리즈는 재령 21의 자기수축은 $480.0 \sim 782.9 \times 10^{-6}$ 의 값을 나타냈다. 혼합치환의 경우는 치환한 혼화재의 함량이 최소 시멘트 중량의 13%이상이어서 자기수축은 Plain 배합에 비하여 82%정도 증가하였다.

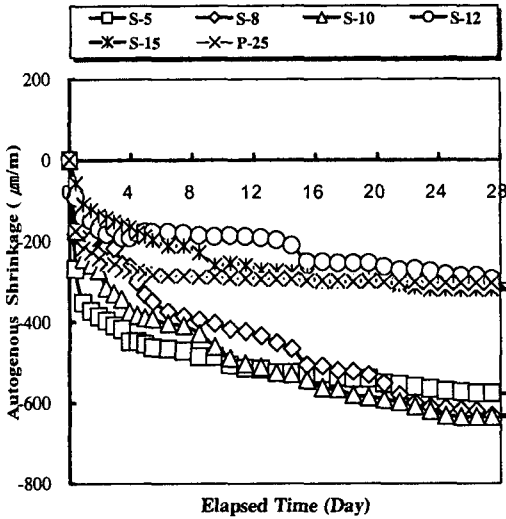


그림 3 실리카흄 변화에 따른 자기수축 특성

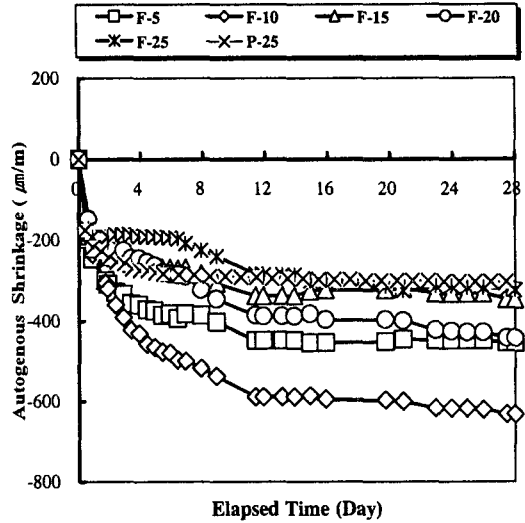


그림 4 플라이애쉬 변화에 따른 자기수축 특성

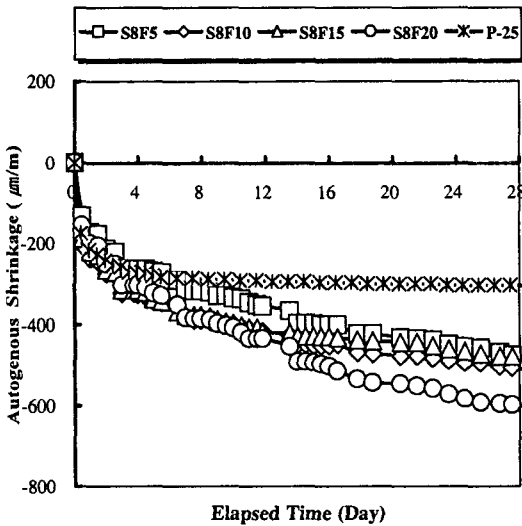


그림 5 혼합 치환율 따른 자기수축 특성

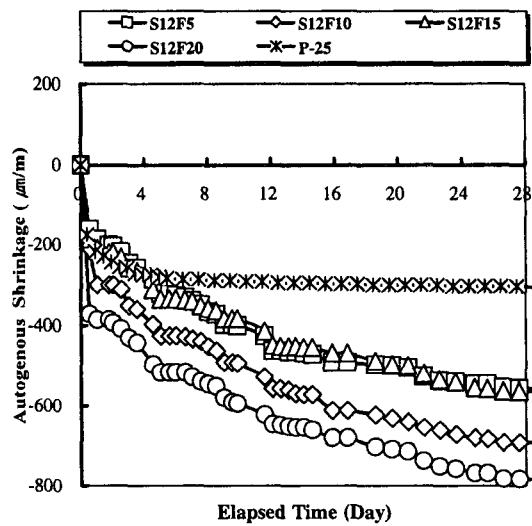


그림 6 혼합 치환율 따른 자기수축 특성

4. 결 론

본 연구에서는 고강도 콘크리트의 수축 특성을 혼화재 종류와 치환율을 변수로 하여 수행한 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 슬럼프-플로우 값은 S씨리즈의 경우 슬럼프는 24~24cm, 플로우는 36.5~52.5cm로 실리카흙 치환량이 증가할수록 감소하였고, F씨리즈의 슬럼프는 21~27.5cm, 플로우는 32.5~68cm로 플라이애쉬 치환량이 증가할수록 증가하였다. SnFn씨리즈 경우는 약간의 차이는 있지만 대체로 유사한 범위를 나타냈으며, 전반적으로 목표값을 만족하는 것으로 나타났다.
- (2) 압축강도의 경우 S씨리즈는, 재령 3일의 강도발현율은 28일 강도의 70%로 높게 나타났고, 이후 완만한 강도 증가를 나타냈다.
F씨리즈 역시 재령 3일의 강도발현율은 28일 강도의 65%로 높게 나타났고, 이후 완만한 강도 증가를 나타냈다. 이는 두가지 경우 모두 높은 결합재량으로 인해 초기재령에서 많은 수화반응이 생겼기 때문으로 사료되고, 두가지 모두 목표 강도인 600~800kgf/cm²를 만족하는 것으로 나타났다.
- (3) S씨리즈는 실리카흙이 10%이내의 범위에서 치환된 경우 Plain의 자기수축량 보다 80~200% 증가했으며, 10%이상 치환한 경우는 Plain가 비슷한 범위를 나타내었다.
F씨리즈는 플라이애쉬가 10%이내의 범위에서 치환된 경우 Plain의 자기수축량 보다 49~206% 증가했으며, 25% 치환한 경우는 Plain가 비슷한 범위를 나타내었다.
SnFn씨리즈의 경우도 역시 혼합 치환율이 증가할수록 Plain의 자기수축량 보다 커지는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. A.M Nevile "Properties of concrete" Wiley Fourth Edition.
2. 田澤床一 外 1人: 세멘트系 材料의 自己收縮에 及ぼす세멘트化學組成의 影響, 콘크리트工學年次 論文集 Vol 18, No.1, 1996, pp699~704
3. 佐藤食一 外 2人, 高強度콘크리트의 自己收縮의 豫測, 콘크리트工學年次 論文集 Vol 19, No.1, 1997, pp757~762
4. 久保証則 外 3人: 高爐세멘트を用いた콘크리트의 自己收縮에 關する 實驗的 研究, Vol.19, No.1, 1997, pp763~756
5. 橋田佳寬 外 3人: 高強度콘크리트의 自己收縮特性에 關する 研究, 콘크리트工學年次 論文集, Vol. 22 No2, 1998
6. 日本콘크리트工學協會: 自己收縮研究委員報告書, 218pp. 1996
7. 大下英吉 外 3人: 自己收縮에 及ぼ스크리프에 關する 實驗的 研究, 콘크리트工學年次論文集, Vol 21, No 2, 1999, pp 739~744
8. 大沼博志 外 2人: 세멘트系材料의 自己收縮에 關する 實驗的 研究, 콘크리트工學年次論文集, Vol.22, No.2, 2000, pp595~600