

초기 재령에서 잔골재율의 변화에 따른 고강도 콘크리트의 수축특성

Shrinkage Properties of High Strength Concrete According to S/A in Early Age

박 신 일* 전 철 송** 임 병 호** 이 승 훈*** 손 상 현*** 김 화 중****
Park, Shin Il Jeon, Chel Song Lim, Byung Ho Lee, Sung Hun Son, Sang Hyun Kim, Wha Jung

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the shrinkage properties of high strength concrete according to the S/A ratio at early age. The main parameters are as follows : S/A ratio is 30, 35, 38, 41, 45%, W/B ratio 24.9%, SF/B ratio 8%. FA/B 15%. The size of specimen is 10×10×40cm and the shrinkage is measured by the embedded gage at each end of the specimens. From the test, it was found that the slump-flow of concrete was high, and also autogenous shrinkage increased and drying shrinkage decreased as S/A ratio increased.

1. 서 론

콘크리트의 초기변형에 있어서 수축은 대체적으로 과도한 수분이 포함되어 있는 높은 물시멘트비의 콘크리트에서 주로 많이 발생되며 물시멘트비가 낮아지면 수축이 줄어드는 건조수축에 대해 초점이 맞추어져 왔다. 기존의 보고¹⁾에서는 고강도콘크리트의 자기수축은 건조수축의 10%정도를 차지한다고 하여 어느정도 무시되어 왔다.

그러나 최근 콘크리트의 고성능화 및 고강도화에 따라 우수한 혼화재료의 사용으로 인해 물시멘트비가 작고, 단위시멘트량이 많은 콘크리트에서는 이제까지 건조수축에 비해 상당히 낮은값으로 인해 무시되어왔던 자기 수축의 영향이 증대되고, 경우에 따라서는 자기수축만에 의해서도 균열이 발생하는 것이 지적되고 있기 때문에 자기수축 기구의 해명 및 그 예측 방법의 확립이 중요한 과제로 대두되지만 현장 적용성에 있어서는 그 관심이 미미한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 현장 적용을 위한 고강도 콘크리트의 초기수축특성에 미칠 수 있다고 보고되는 인자 중에서 골재의 함유량에 따른 특성을 제시하기 위하여, 잔골재율을 변화시켜 초기재령에서의 수축특성을 주 대상으로 검토하여 고강도 콘크리트의 적용시 미칠 수 있는 수축 및 기타 제반특성을 검토하고자 한다.

- * 정희원, 경북대학교 건축공학과, 석사과정
- ** 정희원, 경북대학교 건축공학과, 박사과정
- *** 정희원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소, 선임연구원
- **** 정희원, 타워팰리스 3차 JV현장 기술지원팀, 팀장
- ***** 정희원, 경북대학교 건축공학과 교수

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험 계획

본 실험에서는 결합재량이 높은 고강도콘크리트의 작업성, 강도발현 및 초기 재령에서의 수축특성에 대한 고찰로서 배합사항에서는 시멘트 대체 혼화재로써 실리카흙 8%와 플라이애쉬 15%를 시멘트에 대해 일정 치환하고 잔골재율을 30, 35, 38, 41, 45%로 하여 그 특성을 검토하고자 하였다. 굳지 않은 상태에서 혼화제의 첨가량에 따른 수축의 영향을 배제하기 위해 동일한 양을 첨가하여 콘크리트 제작 시의 공기량, 슬럼프-플로우에 대한 특성을 검토하고, 경화상태에는 콘크리트 종결시간을 기점으로 하여 48시간까지 상온에서 자기수축과 건조수축을 동시에 측정하였으며, 각 재령별로 압축강도를 측정하고, 또한 재령 28일의 공시체를 대상으로 응력-변형도 관계 곡선에 따라 탄성계수를 측정하였다. 본 실험에서의 인자 및 측정항목을 표 1에, 배합계획을 표 2에 나타내었다. 또한 사용재료의 특성을 표 3에 각각 나타내었다.

표 1 실험인자 및 측정항목

	실험인자	실험수준	조 건	측정항목
시험	단위수량 단위결합재량 실리카흙치환율 플라이애쉬치환율 잔골재치환율	162(kgf/m ³) 650(kgf/m ³) 8(%) 15(%) 30, 35, 38, 41, 45(%)	굳지않은 상 태	슬럼프-플로우 공기량
			경화상태	압축강도 (3, 7, 14, 28일) 탄성계수 (28일)

표 2 배합계획

시험체명	조건		단위 재료량(kgf/m ³)						
	W/B (%)	S/a (%)	물	결합재			잔골재	굵은골재	혼화제 (%)
				시멘트	실리카흙	플라이 애쉬			
F15-30	24.9	30.0	162.0	501.0	52.1	97.6	453.5	1070.3	2.4
F15-35		35.0					529.0	993.8	
F15-38		38.0					574.4	947.9	
F15-41		41.0					627.3	894.4	
F15-45		45.0					680.2	840.9	

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,
실리카흙	체코	비중: 2.2
플라이애쉬	충남 보령산	비중: 2.22 분말도: 3,850(cm ² /g)
고성능 AE 감수제	FLOWMIX 2000H	나프탈렌계 고성능 AE감수제, 감수율: 23%

2.2 실험체의 제작 및 실험방법

2.2.1 자기수축

고강도 콘크리트의 자기수축은 일본건축학회 자기수축위원회에서 제안한 방법에 의하여 측정을 진행하였다. 시험체 사이즈는 10cm×10cm×40cm이고, 콘크리트의 타설전에 강제 형틀 바닥면 내측에는 테프론시트를 삽입하고, 강제 형틀 양단부 내측에는 공업용 랩을 부착하여 콘크리트의 자유 변형이 구속되지 않도록 했다. 그리고 나서 자기수축을 측정하기 위해 강제 형틀 양단에 매입형 게이지를 설치하고, 콘크리트를 타설후 공업용 랩으로 그 위를 덮어 초기의 수분증발을 방지하였으며, 젖은 수건을 덮어 수분의 침투와 증발을 방지하였다.

그리고 나서 종결시간을 기점으로 하여 게이지를 변형 측정용 트랜듀서에 연결하여 자기수축을 측정하였다. 그림 1은 자기수축 측정장치 개요도이며, 그림 2는 자기수축 측정장면이다.

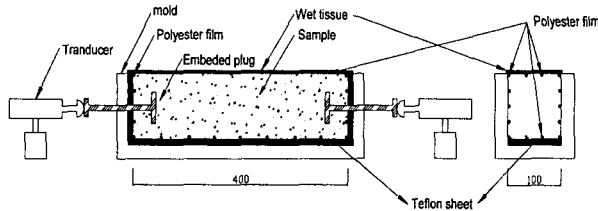


그림 1 자기수축 측정장치 개요도



그림 2 자기수축 측정장면

2.2.2 건조수축

고강도 콘크리트의 건조수축은 KS규준의 해당 규정을 참고로 하여 본 연구를 위해 제작된 장치로 측정을 행하였다. 시험체 사이즈는 10cm×10cm×40cm이고, 측정 시작은 종결이 진행된 후로 하였으며, 수축량의 측정은 변형 측정용 다이얼게이지로 행하였다. 그림 3 및 4는 건조수축 측정장치의 개요도 및 측정장면을 나타내고 있다.

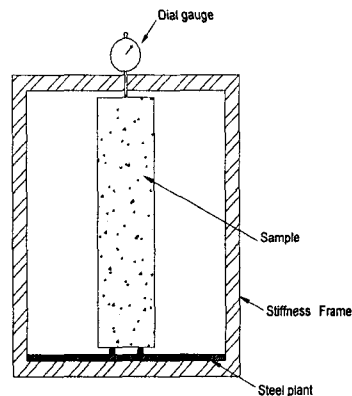


그림 3 건조수축 측정장치 개요도

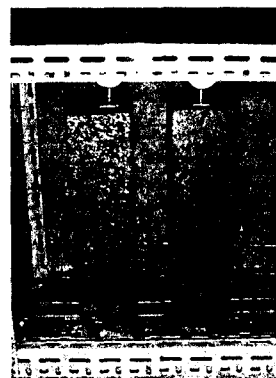


그림 4 건조수축 측정장면

3. 실험 결과 및 분석

표 5는 본 실험에서 측정된 결과를 나타내고 있다.

표 5 실험결과

시험체명	굳지않은 상태			경화 상태															
				압축강도(kgff/cm ²)				자기수축 변화량(μm/m)				건조수축 변화량(μm/m)							
	Slump (cm)	Flow (cm)	Air (%)	재령(Day)				시간(Hour)				시간(Hour)							
				3	7	14	28	0.5	2	4	8	16	48	0.5	2	4	8	16	48
F15-30	22	38/39	2.5	471	567	651	703	-1.5	-2.5	15	87.5	98	143.8	178.8	567.5	710	770	825	950
F15-35	23	40/40	1.6	491	548	629	696	-9.5	-5	2.5	47.5	65	150	202.5	613.8	718.8	781.3	832.5	905
F15-38	23.5	41/45	1.3	425	514	636	705	24.4	53.8	55	58.8	142.5	150	383.8	618.8	676.3	712.5	748.8	842
F15-41	24	44/45	2.0	434	575	665	-	9.4	60	120	168.8	196.3	231.3	241.3	562.5	642.5	682.5	703.8	740
F15-45	25.5	50/51	2.8	425	477	646	-	7.5	31.3	111.3	173.8	208.8	240	102.5	427.5	506.3	547.5	576.3	650

3.1 슬럼프·플로우 및 공기량

그림 5 및 6은 콘크리트의 제조직후 슬럼프-플로우 및 공기량을 나타내고 있다. 동일한 혼화제를 첨가하고 잔골재율을 변화시킨 조건에서의 슬럼프값은 22~25.5cm의 범위를 나타내었고, 플로우값은 38.5~50.5cm의 범위로 나타났다. 대체적으로 잔골재율이 높을수록 슬럼프-플로우의 값은 증가하였다.

공기량의 경우 1.3~2.8%의 범위로서 잔골재율에 따라서는 경향이 일정하지 않게 나타났다.

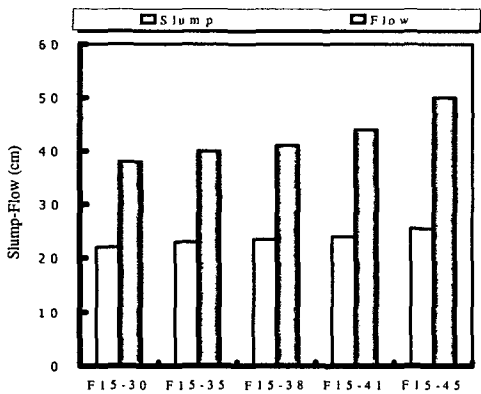


그림 5 슬럼프·플로우 값

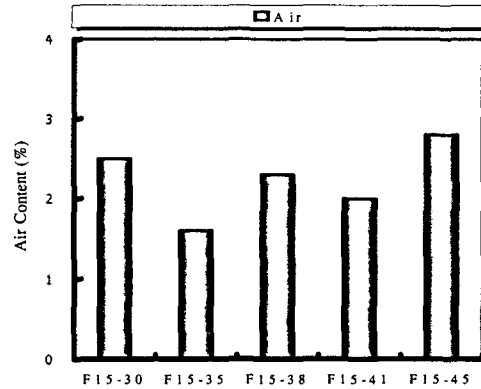


그림 6 공기량

3.2 압축강도 - 탄성계수

그림 7 및 8은 각각 콘크리트의 재령에 따른 압축강도와 응력-변형도 관계 곡선을 나타내고 있다. 압축강도의 경우 재령 3일에서는 425~491kgff/cm²로 나타났으며, 재령 28일 경우의 압축강도는 696~705kgff/cm²의 값을 나타내었다. 잔골재율의 변화에 따라서는 약간씩의 차이는 있지만 전반적으로 비슷

한 압축강도의 범위를 나타내었다.

응력-변형도 관계에서는 최대강도까지의 응력-변형도 관계 곡선은 거의 직선적으로 나타났으며, 탄성계수는 $3.4 \times 10^5 \sim 3.9 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 의 값을 나타내며, 잔골재율이 높아질수록 탄성계수는 약간씩 낮아지는 경향은 있지만 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

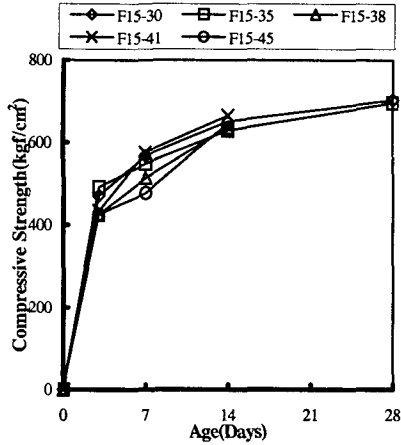


그림 7 잔골재율의 변화에 따른 압축강도 특성

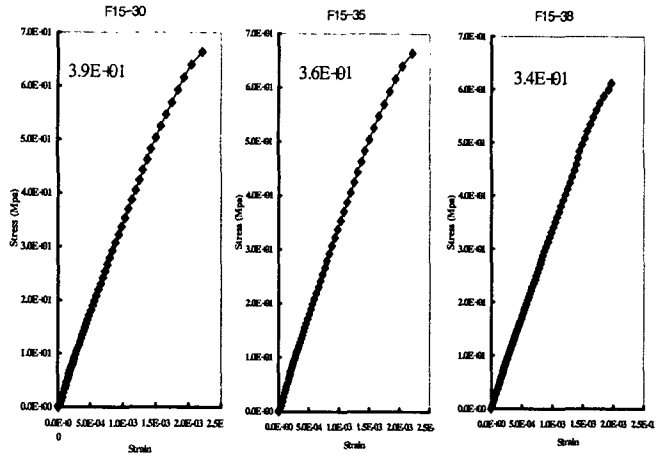


그림 8 잔골재율에 따른 응력-변형도

3.3 수축특성

그림 9 및 10은 각각 콘크리트의 종결직후 측정된 자기수축 및 건조수축의 값을 나타내고 있다. 측정완료후의 자기수축은 $144 \sim 240 \times 10^{-6}$ 의 값으로 나타났으며, 건조수축은 $650 \sim 950 \times 10^{-6}$ 의 값으로 나타났다. 잔골재율이 증가함에 따라 자기수축은 상대적으로 증가하는 경향을 나타내고 있다. 자기수축 값은 측정 개시후 측정시간 24시간까지는 비교적 큰 폭으로 증가하였고, 그 후 부터는 증가폭이 완만해지면서 어느정도 수렴하는 양상을 나타내었다. 또한 건조수축의 경우, 잔골재율이 증가함에 따라서

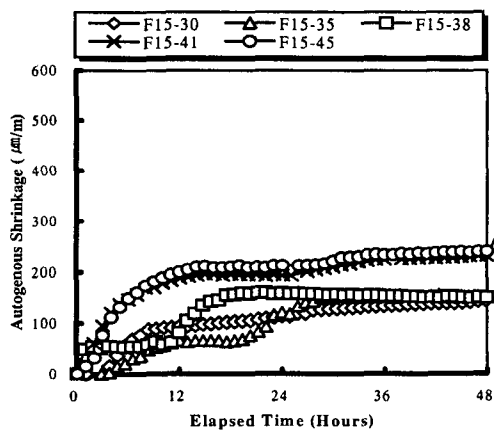


그림 9 잔골재율의 변화에 따른 자기수축 특성

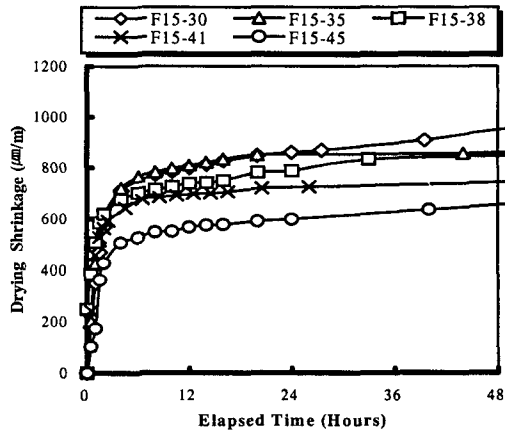


그림 10 잔골재율의 변화에 따른 건조수축 특성

감소하는 경향을 보여 주고 있다.

자기수축과 건조수축의 관계를 비교하면 측정후 2시간에서의 자기수축은 건조수축의 7~11%으로 나타났으며, 48시간에서는 15~37%으로 나타나, 고강도 콘크리트의 경우 전체수축에 있어서 자기수축의 비율이 상당히 높으며, 잔골재의 함유량이 수축에 미치는 영향에 대한 지속적인 연구가 필요한 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 고강도 콘크리트의 초기 재령에서의 수축 특성을 잔골재율을 변수로 하여 수행한 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 잔골재율이 높아질수록 슬럼프-플로우값은 증가하였으며, 공기량에는 있어서는 잔골재율에 따른 경향이 나타나지 않았다.
- (2) 압축강도의 경우 잔골재율이 증가할수록 초기 압축강도는 낮았지만, 28일의 압축강도에서는 700kgf/cm² 안팎의 비슷한 값을 나타내며, 탄성계수는 $3.4 \times 10^5 \sim 3.9 \times 10^5$ kgf/cm²의 값을 나타내었다.
- (3) 초기재령에서 잔골재율이 증가할수록 자기수축은 증가하고, 건조수축은 감소하였으며, 건조수축에 대한 자기수축의 비는 최종적으로 7~37%의 범위로서 잔골재율이 증가할수록 그 비는 증가하였다.
- (4) 잔골재율의 증감에 따른 자기수축과 건조수축의 증감이 상반되는 것으로 나타나 이에 대한 지속적인 연구를 통한 데이터의 구축 및 정확한 매카니즘의 규명 및 예측이 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본연구는 삼성물산(주) 건설부문의 지원연구비에 의하여 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. A.M Nevile "Properties of concrete" Wiley Fourth Edition.
2. 田澤床一 外 1人 : セメント系 材料の 自己收縮に 及ぼすセメント化學組成の 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. 久保征則 外 3人: 高爐セメントを用いた콘크리트의 自己收縮に關する實驗的 研究, Vol.19, No.1, 1997, pp763~756
5. 樺田佳寛 外 3人 : 高強度콘크리트의 自己收縮特性に關する研究, 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