

양생 조건에 따른 콘크리트의 체적 변화

Volumetric Change of Concrete Subjected to Different Curing Condition

이 광 명* 이 회 근** 이 성 진*** 백 빈****
Lee, Kwang Myong Lee, Hoi Keun Lee, Sung Jin Baek, Biehn

ABSTRACT

High-performance concrete (HPC) may be expected to differ from usual concrete with respect to shrinkage behavior, and it shows high autogenous shrinkage due to the use of very low water-binder ratio (w/b) and various admixtures. Therefore, in order to minimize the shrinkage stress and to ensure the service life of concrete structure, volumetric change of HPC should be understood. In this study, small prisms made of HPC with w/b of 0.32 and blast-furnace slag content of 0%, 30%, and 50% were prepared to measure the volumetric changes such as autogenous shrinkage, drying shrinkage, and swelling under three different curing conditions. It was observed that the concrete cured sealed condition showed only autogenous shrinkage while the concrete let to dry condition at temperature of 20°C and relative humidity of 60% during the test period showed both autogenous and drying shrinkage. Moreover, the concrete exposed to dry condition after 2-day water curing swelled and then started to shrink with age. The total shrinkage (autogenous+drying) of this concrete was smaller than that of the concrete cured dry condition, especially at early-age. Therefore, the early-age moisture curing is very effective to control or minimize the volumetric change and its induced stress of HPC.

1. 서론

낮은 물-결합재 비와 다양한 혼화 재료의 사용으로 콘크리트의 강도를 비롯한 여러 가지 공학적인 성질들이 크게 향상되었다. 그러나 이러한 콘크리트는 배합 특성상 매우 낮은 공극률과 시멘트 풀 내에 불연속의 모세관 공극 구조를 갖기 때문에 타설 후 수일 이내에 콘크리트 내부가 빠르게 건조화 되는 자기 건조(self-desiccation)로 인해 자기 수축(autogenous shrinkage)이 발생하여 일반 콘크리트에 비해 초기 균열 발생 가능성 또한 높아진다. 콘크리트 수축으로 인한 균열 발생은 콘크리트 내로의 유해한 물질의 침투 경로가 되어 철근 부식의 주요 원인이 되기 때문에 철근 콘크리트 구조물의 사용 수명을 확보하기 위해서는 반드시 제어되어야만 한다¹⁾.

본 연구에서는 양생 조건이 콘크리트의 초기 체적 변화에 미치는 영향을 실험적으로 조사함으로써 현장에서 콘크리트 적용 시 자기 수축의 저감 방안을 모색하였다.

- * 정회원, 성균관대학교 토목환경공학과 교수
- ** 정회원, 성균관대학교 토목환경공학과 박사후연구원
- *** 정회원, 코오롱건설(주) 기술연구소 연구기획팀 팀장
- **** 정회원, 코오롱건설(주) 기술연구소 대리

2. 실험 연구

2.1 재료 및 배합비

콘크리트를 제조하기 위해 결합재로는 1종 시멘트(비중:3.14, 블레인:3,150 cm^2/g)와 고로 슬래그(비중:2.94, 블레인:4,266 cm^2/g)를 사용하였으며, 이들의 화학적 조성은 Table 1과 같다. 잔 골재로는 비중은 2.58이고 흡수율이 1.03인 강모래를, 굵은 골재로는 최대 치수가 25 mm이고 비중은 2.62이고 흡수율이 0.70인 쇄석을 사용하였으며, 잔 골재와 굵은 골재의 조립률은 각각 2.86, 6.90이었다.

Table 2는 본 연구에서 사용한 콘크리트 배합비를 나타낸다. 물-결합재 비(w/b)가 0.32이고 1종 시멘트만을 사용한 보통 콘크리트 배합(OPC)과 시멘트량의 30%와 50%를 고로 슬래그로 치환한 배합(BFS30, BFS50)을 각각 제조하였다. Table 2에서 보듯이, 단위 수량은 168 kg이었으며 소요의 슬럼프와 공기량을 조절하기 위해서 AE제와 나프탈렌 계열의 고성능 감수제(HRWR)를 사용하였다.

Table 1 Chemical compositions of binder

Materials	Chemical compositions (%)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	LOI
Cement	20.3	6.0	3.1	62.8	2.9	2.0	2.04
BFS	31.6	14.6	0.4	42.9	2.1	3.0	0.02

Table 2 Mix proportions of concrete

Mix type	W/B (%)	Unit weight (kg/m^3)					Admixture (B×wt %)	
		W	C	BFS	S	G	HRWR	AE
OPC	32	168	525	-	672	981	1.00	0.018
BFS30			368	157	668	976	0.85	0.018
BFS50			263	262	665	972	0.75	0.017

2.2 시편 제작 및 실험 방법

Table 2의 세 종류 콘크리트에 대해 100×100×400 mm의 각주형 시편을 각각 제작한 후, Fig. 1에 나타낸 양생 조건에 따라 콘크리트의 체적 변화를 측정하였다. Fig. 1에서 보듯이, 양생 조건 I은 콘크리트의 자기 수축만을 측정하기 위한 것으로, 측정 방법 및 세부 사항은 기존 연구²⁾에서와 동일하다. 양생 조건 II는 몰드 제거 전까지는 양생 조건 I과 동일하나, 몰드 제거 직후 시편을 봉하지 않고 20℃의 수조에서 2일간 수중 양생하여 외부로부터의 수분 흡수를 허용하였다. 재령 3일에서 수조에서 꺼내 콘크리트 표면의 물기를 수건으로 닦은 후 온도가 20℃이고 상대 습도가 60%인 조건에 노출시켰다. 양생 조건 III은 콘크리트를 몰드에 채운 후 콘크리트의 상부를 비닐로 덮지 않았으며, 몰드 제거 직후 후에는 양생 조건 II에서와 같이 시편을 밀봉하지 않고 곧바로 온도가 20℃이고 상대 습도가 60%인 조건에 노출시켰다. 이러한 경우, 자기 수축과 건조 수축을 동시에 측정할 수 있다.

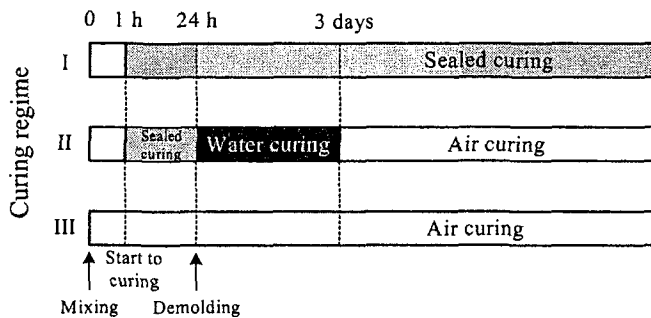


Fig. 1 Tested curing regime

본 연구에서 최초의 측정은 모두 배합 후 1시간부터 이루어졌으며, 몰드 제거 전까지는 두개의 LVDT와 매입 게이지를, 타설 후 24시간에서 몰드를 제거한 후부터는 매입 게이지만을 이용하여 콘크리트의 변형률을 모니터링하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 슬럼프, 공기량 및 압축 강도

Table 3에서 보듯이, 슬럼프는 18~20 cm, 공기량은 2.8~3.5%이었다. OPC 콘크리트의 재령 28일 압축 강도는 약 57.8 MPa이었으며, 고로 슬래그를 함유한 콘크리트(BFS30, BFS50)의 경우, 재령 초기에서의 강도 발현은 느리지만 재령이 경과함에 따라 강도가 크게 증가하여 재령 28일에서는 OPC 콘크리트와 비슷한 강도를 나타내었다.

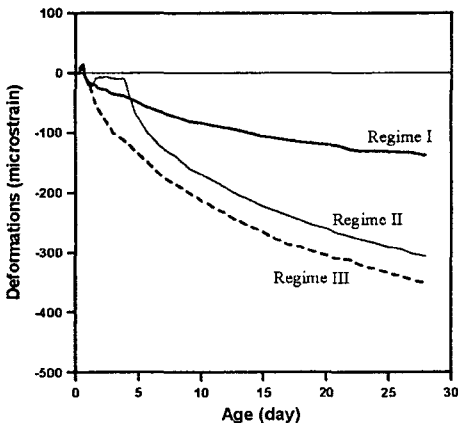
3.2 양생 조건이 콘크리트의 체적 변화에 미치는 영향

Fig. 2는 양생 조건에 따른 콘크리트의 체적 변화를 나타낸 것으로, 양생 조건에 따라서 콘크리트의 체적 변화가 다르게 나타남을 알 수 있다. OPC 콘크리트의 결과를 나타내는 Fig. 2(a)를 보면, 양생 조건 I의 경우에는 자기 수축만을 나타내어 수축 곡선의 기울기가 완만하였으며, 재령 28일에서 137×10^{-6} 정도의 자기 수축량을 보였다. 반면에, 양생 조건 III에서는 자기 수축과 건조 수축이 함께 포함되어 재령 초기에서부터 많이 수축하여 재령 28일에서 350×10^{-6} 정도의 수축량을 보였다. 한편, 양생 조건 II의 경우에는 수중 양생 기간 동안 콘크리트가 약간 팽창하였으며 이러한 효과로 양생 조건 III에 비해 재령 28일에서 약 12.5% 정도의 전체 수축이 감소하였다. 고로 슬래그를 30% 함유한 콘크리트의 양생 조건별 수축 거동을 나타내는 Fig. 2(b)를 보면, OPC 콘크리트에서와 유사한 경향을 나타냄을 알 수 있다. 재령 28일에서의 자기 수축(양생 조건 I)은 약 200×10^{-6} 이었으며, 건조 수축을 포함한 수축(양생 조건 III)은 386×10^{-6} 이었다. 또한, 초기 수중 양생(양생 조건 II)의 영향으로 재령 28일에서 14.5% 정도 전체 수축이 줄어들었다. 물드 제거 전인 재령 1일까지의 조건이 동일한 양생 조건 I과 II에서의 콘크리트 체적 변화가 거의 유사한 경향을 나타내었으며, 최대 팽창량은 타설 후 17시간에서 약 27×10^{-6} 이었다. BFS50 콘크리트의 체적 변화를 나타내는 Fig. 2(c)를 보면, 전체적인 경향은 OPC 콘크리트나 BFS30 콘크리트와 유사하며 재령 초기에 수중 양생으로 인한 최대 팽창량은 54×10^{-6} 정도로 이로 인한 수축 감소 효과가 상당히 큼을 알 수 있다. 이러한 결과로부터, 재령 초기에서의 수축을 줄이기 위한 방법으로 습윤 양생이 효과적임을 알 수 있다³⁾.

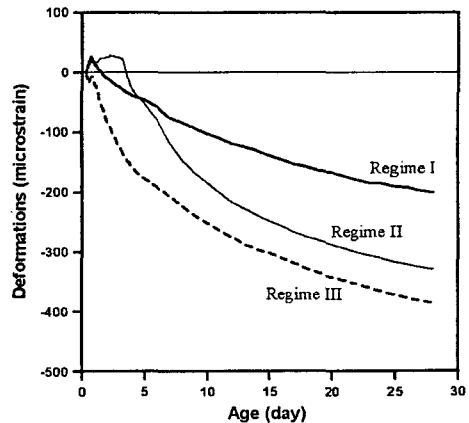
Fig. 3은 콘크리트 타설 후 발생한 순수한 건조 수축 변형률만을 나타낸 것으로, 자기 수축과 건조 수축을 포함한 전체 수축량(양생 조건 III)은 콘크리트 배합과 무관하게 거의 비슷하나 고로 슬래그 대체율이 증가함에 따라 전체 수축 중에서 건조 수축이 차지하는 비율은 감소하는 경향을 보였다.

Table 3 Slump, air content and compressive strength

Mix type	Slump (cm)	Air content (%)	Compressive Strength (MPa)			
			1 day	3 days	7 days	28 days
OPC	18.0	2.8	24.1	41.9	53.1	57.8
BFS30	20.0	3.5	13.2	37.8	51.2	59.0
BFS50	19.5	3.2	4.4	31.5	48.0	58.2

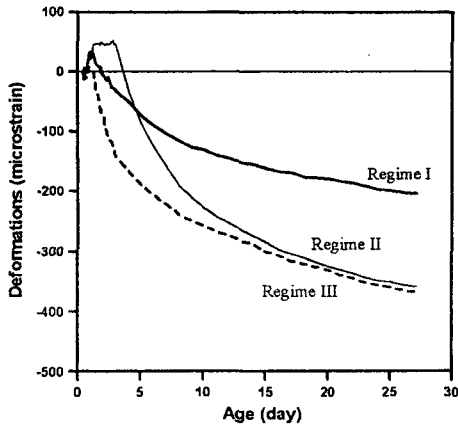


(a) OPC concrete



(b) BFS30 concrete

Fig. 2 Volumetric variations of concrete subjected to different curing conditions



(c) BFS50 concrete

Fig. 2 Volumetric variations of concrete subjected to different curing conditions (continued)

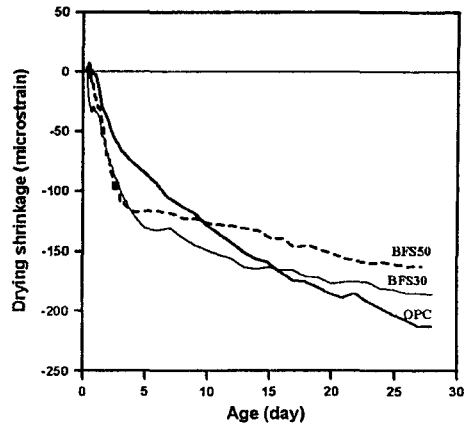


Fig. 3 Drying shrinkage of tested concretes

4. 결론

본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 외부로부터의 수분 이동을 차단한 경우(양생 조건 I)에는 자기 건조 현상이 빠르게 진행되어 자기 수축이 크게 발생하였다. 한편, 양생 조건 II에서의 콘크리트는 수중 양생 기간 동안에 팽창하였다가 기건 양생이 시작되면서 급격하게 수축하였으며, 재령 초기의 수중 양생으로 인한 팽창 효과로 전체 수축량은 줄어들었다. 양생 조건 III에는 자기 수축과 더불어 건조 수축이 빠르게 진행되었으며 전체 수축량은 배합 종류에 따라 큰 차이를 보이지 않았다.
- (2) 고강도 콘크리트의 현장 적용 시 재령 초기에서의 수축으로 인한 균열 발생 가능성을 줄이고 콘크리트의 잠재적인 성능을 최대한 발휘하기 위해서는 가능한 한 오래 습윤 양생을 실시하는 것이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 코오롱건설(주) 기술 연구소의 지원 하에 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분들에게 감사드립니다.

참고 문헌

1. Aitcin, P. -C., Neville, A., and Acker, P., "Integrated View of Shrinkage Deformations," *Concrete International*, Vol. 19, No. 9, 1997, pp. 35-41.
2. Lee, H. K., Lee, K. M., and Kim, B. G., "Autogenous Shrinkage of High-Performance Concrete Containing Fly Ash," *Magazine of Concrete Research*, Vol. 55, No. 6, 2003, pp. 507-515.
3. Saric-Coric M. and Aitcin, P. -C., "Influence of Curing Conditions on Shrinkage of Blended Cements Containing Various Amounts of Slag," *ACI Materials Journal*, Vol. 100, No. 6, 2003, pp. 477-484.