

공시체 크기 변화에 따른 고성능 콘크리트의 수축특성

Shrinkage Properties of High Performance Concrete with Specimen Size

한천구*	金虎林**	한민철***	강수태****	고경택*****
Han, Cheon Goo	Jin, Hu Lin	Han, Min Cheol	Kang, Soo Tae	Koh, Kyoung Taek

ABSTRACT

This paper investigated the drying and autogenous shrinkage of high performance concrete(HPC) with mixture adjustment under various specimen size. For fresh concrete properties, HPC with mixture adjustment need a higher dosage of SP agent due to fluidity reduction, and a larger dosage of AE agent due to the reduction of air content. HPC with mixture adjustment exhibited a smaller strength development than control HPC. For drying shrinkage, an increase in specimen size occurred with small expansion during water curing and at air curing, less drying shrinkage was observed. Autogenous shrinkage was not affected by specimen size. Autogenous shrinkage of HPC with mixture adjustment exhibited less than half of control HPC.

1. 서론

고유동, 고강도 및 고내구성을 갖는 고성능 콘크리트는 현대개념에 부응하는 양호한 품질을 가지는 반면에 많은 시멘트량을 사용함에 따른 비경제성과 아울러 건조수축, 수화열에 의한 온도응력 및 수화반응 활성화에 의한 자기수축 등 균열이 문제시 되고 있다.

본 연구팀에서는 이러한 고성능 콘크리트의 수축을 저감하기 위한 일련의 연구에서 혼화재와 팽창재 및 수축저감재를 사용한 최적배합비를 도출한바 있다.

그러므로, 본 연구에서는 이러한 저수축·저균열 고성능 콘크리트의 수축저감에 관한 연구의 일환으로서, 공시체의 단면크기 변화에 따른 고성능 콘크리트의 수축특성에 대하여 검토하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1. 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다. 즉, 플라이 애쉬(FA) 20%, 실리카 폼(SF) 10%를 치환한 물결합재비(W/B) 30%에 대하여, 팽창재(EA)와 수축저감제(SR)를 무첨가한 플레인과 팽창재 5%와 수축저감

* 정회원, 청주대학교 건축공학부 교수

** 정회원, 청주대학교 대학원 석사과정

*** 정회원, 청주대학교 산업과학연구소 전임연구원

**** 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 연구원

***** 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 전임연구원

제 1%를 동시에 치환한 최적배합의 2수준으로 하였고, 공시체의 크기는 75×75×400mm, 100×100×400mm, 150×150×400mm, 400×400×400mm의 4수준으로 변화시켜 실험계획하였다. 이때 각 배치는 목표 슬럼프플로우 600±100mm, 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하도록 배합설계 하였는데, 배합사항은 표 2와 같다.

2.2. 사용재료

본 연구의 사용재료로서, 시멘트는 국내산 보통포틀랜드 시멘트(밀도:3.15g/cm³, 분말도:3,162cm²/g)를 사용하였고, 골재로서 잔골재는 충남 연기군 강모래(밀도:2.67g/cm³, 조립률:2.58), 굵은골재는 충북 옥산산 25mm 부순 굵은골재(밀도:2.67g/cm³, 조립률:6.87)를 사용하였다. 혼화제로서, 플라이 애쉬(밀도:2.22g/cm³, 분말도:3,850cm²/g)는 국내산, 실리카 폼(밀도:2.1g/cm³, 분말도: 240,000cm²/g)은 체코산을 사용하였으며, 팽창재(밀도:2.9g/cm³, 분말도:3,117cm²/g)는 일본산 CSA계, 수축저감제(밀도:1.02 g/cm³, 분말상)는 독일산 글루콜계를 사용하였다. 고성능감수제는 국내산 나프탈렌계(밀도:1.185 g/cm³)를 사용하였다.

2.3. 실험방법

본 연구의 실험방법으로 먼저, 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하였다. 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 슬럼프플로우는 슬럼프 측정이 끝난 후 최대직경과 이에 직교하는 직경의 평균치로 하였고, 공기량 및 단위용적질량은 KS F 2421 및 KS F 2409의 규정에 의거 실시하였으며, U형 충전시험 및 굵은골재 씻기시험은 기존연구에서 알려진 실험방법에 의거 실시하였다. 경화 콘크리트의 압축강도는 KS F 2405, 건조수축 시험은 KS F 2424에 의거 실시하였고, 자기수축 시험은 일본 콘크리트공학협회의 다이얼 게이지에 의한 측정방법¹⁾과 매설형 게이지에 의한 측정방법에 의거 실시하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1. 굳지 않은 콘크리트의 특성

표 3은 플레인 및 최적배합에 따른 굳지않은 콘크리트의 특성을 나타낸 것이다. 전반적인 배합설계 결과는 목표 유동성 및 공기량을 만족하는 것으로 나타났는데, 최적배합의 경우 플레인에 비해 유동성이 저하하여 SP제 사용량이 증가하

표 1. 실험계획

	실험요인		실험수준	
	W/B (%)	1	30	
실험요인	결합재 구성	2	○ 플레인[C:FA:SF=7:2:1] ○ 최적배합[C:FA:SF=7:2:1, EA 5%, SR 1%]	
	슬럼프플로우 (mm)	1	600±100	
	공기량 (%)	1	4.5±1.5	
	시험체크기 (mm)	4	75×75×400 100×100×400 150×150×400 400×400×400	
실험사항	굳지않은 콘크리트	6	슬럼프, 슬럼프플로우 공기량, 단위용적중량 U형 충전, 굵은골재 씻기	
	경화 콘크리트	3	압축강도 (7, 28, 91일) 건조수축 (1, 3, 7...91일) 자기수축 ¹⁾ (0.5, 1, 2, 3, 7...일)	

1) 실험사항으로, 경화 콘크리트에서의 자기수축 길이변화율은 다이얼 게이지 측정과 매설형 게이지 사용 측정의 두가지 방법으로 실시하였다.

표 2. 배합사항

W/B (%)	구분	단위수량 (kg/m ³)	S/a (%)	SP (%)	AE (%)	EA (%)	SR (%)	질량배합 (ℓ/m ³)							
								C	S	G	FA	SF	EA	SR	
30	플레인	175	45	1.75	0.030	0.0	0.0	408	686	839	117	58	0.0	0.0	
	최적배합			2.20	0.018	5.0	1.0	373	681	832	117	58	29	6	

표 3. 굳지않은 콘크리트의 특성

구분	항목	슬럼프 (mm)	슬럼프플로우 (cm)	공기량 (%)	단위용적질량 (kg/m ³)	충전높이 (cm)	재료분리 저항율 (%)	응결시간 (h)	
								초결	종결
플레인	265	64.3	5.6	2,339	32	91	24.2	26.7	
	최적배합	250	62.8	4.6	2,327	31	90	15.5	18.0

였고, 공기량은 증가하여 AE제 사용량이 감소하였다. 재료분리 저항률은 90% 이상으로 비교적 양호한 것으로 나타났고, 응결시간은 CSA계 팽창재의 속경성에 의하여 최적배합 콘크리트의 경우는 플레인에 비하여 6시간정도 단축되는 것으로 나타났다.

3.2. 압축강도 특성

그림 1은 플레인 및 최적배합 콘크리트에 따른 압축 및 인장강도를 나타낸 것이다. 압축강도는 재령이 경과할수록 증가하였고, 재령 91일에서 70MPa 이상의 고강도로 나타났다. 또한 최적배합의 압축강도는 플레인 콘크리트와 비교하여 다소 크게 나타났는데, 이는 팽창재의 수화생성물에 의한 조직의 치밀성 증대에 기인된 것으로 사료된다. 인장강도는 압축강도와 유사한 경향으로 최적배합이 플레인 보다 다소 크게 나타났는데, 이때 인장강도는 압축강도의 1/12~1/13 정도임을 알 수 있다.

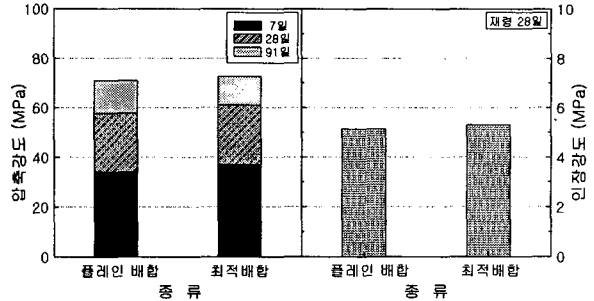


그림 1 플레인 및 최적배합 콘크리트에 따른 압축 및 인장강도

3.3. 건조수축 특성

그림 2는 배합 및 공시체 크기별 재령경과에 따른 건조수축 길이변화율을 나타낸 것이다. 건조수축 길이변화율은 전반적으로 수중양생 7일 동안 습윤팽창한 후 기중양생기간에 건조수축하는 경향이었는데, 공시체 단면치수가 클수록 수중양생기간에서의 습윤팽창이 적게 발생하였으며, 심지어 수축이 발생하는 현상도 발생하였는데, 이는 단면 치수가 클수록 조직이 치밀한 고성능 콘크리트의 공시체 표층부에서 침투되는

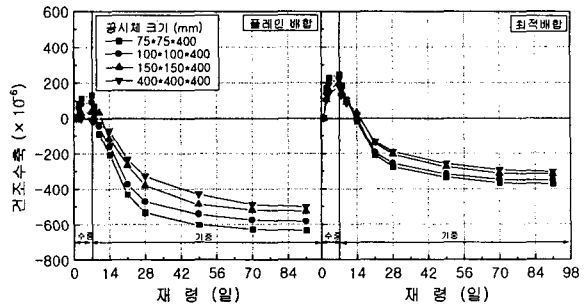


그림 2. 공시체 크기 및 배합별 재령경과에 따른 건조수축 길이변화율

물이 중심부로 침투하지 못하고, 내부에는 수화반응에 따른 자기 건조 상태가 발생함에 기인된 것으로 사료된다. 또한, 공시체 단면치수가 클수록 기중양생 기간에서는 공시체 체적에 대한 수분증발율이 적음에 따라 질량감소율이 작게 발생하고 건조수축 길이변화율도 적게 발생한 것으로 분석된다. 배합요인에 따라서는 최적배합 콘크리트의 건조수축 길이변화율은 공시체 크기에 따라 플레인과 유사한 경향이었는데, 초기 수중양생에서의 습윤팽창은 팽창재의 영향으로 플레인 보다 크게 발생하였고, 이후 기중양생에서는 팽창재의 초기 팽창증대와 수축저감제의 모세관 장력의 완화로 건조수축 길이변화율이 시험체별로 차이는 있지만 플레인보다 40%정도 저감하는 것으로 나타났다.

3.4. 자기수축 특성

그림 3은 공시체 크기, 배합 및 측정방법별 재령경과에 따른 자기수축 길이변화율을 나타낸 것이다.

플레인 콘크리트의 공시체 크기에 따른 자기수축은 초기재령에서 급격히 발생하고, 이후 완만한 경향이었는데, 공시체 크기에 따라서는 공시체 크기가 작을수록 자기수축이 다소 크게 발생하였으나 큰 차이는 아닌 것으로 사료된다. 최적배합 콘크리트의 자기수축은 플레인과 달리 초기재령에서 팽창재의 영향으로 팽창한 후 수축하였고, 플레인과 비교하여 자기수축량이 절반정도로 크게 감소한 것으로 나타났다. 공시체 크기에 따라서는 플레인과 마찬가지로 공시체 크기가 작을수록 자기수축이 다소 크게

나타났지만 큰 차이는 없는 것으로 사료된다. 또한, 공시체 크기에 따른 질량감소율은 자기수축과 유사한 경향으로 나타났는데, 재령 49일까지 일본콘크리트공학협회의 자기수축 측정방법의 한계치인 0.05%를 만족하는 것으로 나타났다. 단, 49일 이후는 그 규정값을 초과하는 것도 존재하였으므로 본 분석에서는 그 이후의 자기수축 결과분석은 생략하였다.

또한, 측정방법에 따라서는 매설형게이법에 의한 자기수축은 다이얼게이지법에 의하여 측정된 값과 유사한 경향을 나타내었으며, 공시체 크기별에 따라서도 큰 영향이 없는 것으로 분석된다.

그림 4는 배합별 다이얼게이지법과 매설형게이지법과의 관계를 나타낸 것인데, 각각 상관계수 0.96, 0.95정도로 매우 양호하게 나타나, 실용상 큰 차이는 없는 것으로 분석된다.

4. 결론

본 연구는 플레인 및 최적배합의 고성능 콘크리트에 있어서 콘크리트의 기초물성과 공시체 단면크기별에 따른 자기 및 건조수축 등 수축특성에 대하여 검토한 것으로서, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 굳지않은 콘크리트의 특성으로, 팽창재와 수축저감제를 사용한 최적배합의 경우 플레인에 비해 유동성이 저하하여 SP제 사용량은 증가하였고, 공기량이 증가하여 AE제 사용량은 감소하였다. 재료분리 저항률은 모두 90% 이상으로 비교적 양호한 것으로 나타났고, 응결시간은 CSA계 팽창재의 속경성에 의하여 최적배합 콘크리트의 경우 플레인에 비하여 6시간정도 단축되는 것으로 나타났다.
- 2) 압축강도 특성으로, 최적배합 콘크리트의 압축강도는 플레인과 비교하여 다소 크게 나타났고, 인장강도는 압축강도와 유사한 경향으로 플레인 보다 다소 크게 나타났는데, 이때 인장강도는 압축강도의 1/12~1/13정도임을 알수 있었다.
- 3) 건조수축 길이변화율은 전반적으로 수중양생 7일동안 팽창한 후 기중양생기간에 건조수축하는 경향이었는데, 공시체 단면치수가 클수록 수중양생기간에서의 습윤팽창이 적게 발생하였으며, 기중양생 기간에서는 건조수축 길이변화율이 적게 발생하였다. 배합요인에 따라서는 최적배합 콘크리트의 건조수축 길이변화율은 공시체 크기에 따라 플레인과 유사한 경향이었는데, 초기 수중양생에서의 습윤팽창이 플레인 보다 크게 발생하였고, 기중양생기간에서도 건조수축이 적게 발생하였다.
- 4) 플레인 및 최적배합 콘크리트의 공시체 크기에 따른 자기수축은 크게 영향이 없는 경향이었고, 측정방법으로 매설형게이법에 의한 자기수축은 다이얼게이지법과 유사한 경향을 나타내었다. 단, 최적배합의 자기수축은 플레인보다 절반정도로 크게 저하하였다.

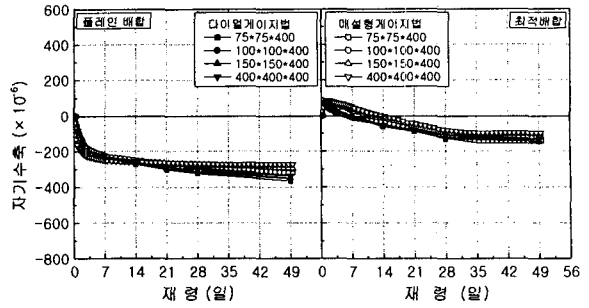


그림 3. 배합, 공시체 크기 및 측정방법별 재령경과에 따른 자기수축 길이변화율

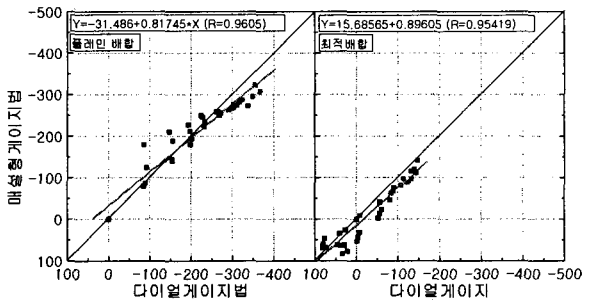


그림 4. 배합별 다이얼게이지법과 매설형게이지법과의 관계

참고문헌

1. 日本コンクリート工學協會：自己收縮研究委員會報告書, 1996