

W/B 및 단위수량 변화에 따른 고성능 콘크리트의 수축특성에 관한 연구

A Study of the Properties of Shrinkage in High Performance Concrete according to W/B and Water Content

고 경 태* 文 學 龍** 신 동 안*** 박 정 준**** 김 성 욱***** 한 천 구*****
Koh, Kyoung Taek Wen, Xue Long Shin, Dong An Park, Jung Jun Kim, Sung Wook Han, Cheon Goo

ABSTRACT

This study discusses the properties of shrinkage of high performance concrete with W/B and water content. According to results, drying shrinkage decrease of water content due to the influence of autogenous shrinkage. And drying shrinkage is reduced with a decrease of water content. As W/B decreases, autogenous shrinkage increases because shrinkage by hydration is generated greatly due to an increase of binder content. Also, as water content decreases, it is reduced because of a decrease of cement paste by cement content.

1. 서 론

최근 고유동, 고강도를 발휘하면서 고내구성을 지닌 고성능 콘크리트는 차세대의 신기능 콘크리트로 각광을 받고있다.

그런데, 실무에서 활용될 수 있는 고성능 콘크리트에는 고강도의 범위에 따른 차이 및 단위수량과 고성능감수제간의 발란스에 의한 품질 및 경제성 문제 등 미묘한 관계가 존재한다. 특히 고성능 콘크리트의 경우는 많은 분체량 및 다량의 고성능감수제 사용에 따른 시멘트의 수화활성으로 자기수축 및 건조수축 등 수축균열이 발생하기 쉬운데, 이와같은 수축균열문제에 물결합재비 및 단위수량 변화 등 배합요인이 무관하지 않은 것이 현실이다.

그러므로 본 연구에서는 W/B 및 단위수량 변화에 따른 고성능 콘크리트의 기초적 물성 및 건조·자기수축 등 수축특성에 대하여 분석하므로써, 궁극적으로는 고성능 콘크리트의 균열저감에 한 참고자료로 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

- * 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 선임연구원
- ** 정회원, 청주대학교 대학원 석사과정
- *** 정회원, 청주대학교 대학원 박사과정
- **** 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 연구원
- ***** 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 수석연구원
- ***** 정회원, 청주대학교 건축공학부 교수

2.1. 실험계획

표 1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다. 즉, 배합사항은 플라이 애쉬(FA) 20%, 실리카 폼(SF) 10%, 팽창재 5%, 수축저감제(SR) 1%를 치환한 W/B 30%, 단위수량 175kg/m³인 고성능 콘크리트를 기준으로 하여 이에 대한 활용성 실험으로 단위수량은 175kg/m³로 고정하고 물결합재비를 20, 25, 30, 35%의 4수준, W/B는 30%로 고정하고 단위수량을 145, 155, 165, 175kg/m³의 4수준으로 변화시켜 실험하는 것으로 계획하였다. 이때, 모든 배합은 목표 슬럼프플로우 60±10cm, 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하도록 배합설계 하였다. 단, W/B 20%에서는 나프탈렌계 고성능 감수제로는 배합이 곤란하여 폴리칼본산계를 사용하였다. 굳지 않은 콘크리트와 경화 콘크리트의 실험사항은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다.

	실험요인	실험수준
배합사항	슬럼프플로우 (cm)	1 60±10
	공기량 (%)	1 4.5±1.5
	W/B* (%)	4 20, 25, 30, 35 (단위수량 175kg/m ³ 로 고정)
	단위수량 (kg/m ³)	4 145, 155, 165, 175 (W/B 30%로 고정)
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 (0.5, 1, 2, 3, 7...일)

* W/B에서 B는 [C:FA:SF=7:2:1], EA:SR=5:1, W/B 20%에서 SP제는 폴리칼본산계를 사용함.

2.2. 사용재료

본 연구의 사용재료로서, 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트(비중:3.14, 분말도:3,162cm²/g)를 사용하였고, 골재로서 잔골재는 충남 연기군 강모래(비중:2.53, 조립률:2.57), 굵은골재는 충북 옥산산 25mm 부순 굵은골재(비중:2.63, 조립률:6.87)를 사용하였다. 혼화제로서, 플라이 애쉬(비중:2.22, 분말도:3,850cm²/g)는 국내산, 실리카 폼(비중:2.2, 분말도:2,400,000cm²/g)은 체코산을 사용하였으며, 팽창재(비중:2.9, 분말도:3,117cm²/g)는 일본산 CSA계, 수축저감제(비중:3.16, 분말도)는 독일산 클리콜계를 사용하였다. 고성능감수제는 나프탈렌계(비중:1.185) 및 폴리칼본산계(비중:1.040)로 모두 국내산을 사용하였다.

표 2 배합사항

W/B (%)	단위수량 (kg/m ³)	SP (%)		S/a (%)	AE (%)	용적배합 (ℓ/m ³)							
		HN*	HP*			C	S	G	FA	SF	EA	SR	
20	175	-	0.85	43	0.006	178	200	266	79	40	15.1	2.8	
25		2.50	-	44	0.018	142	233	296	63	32	12.1	2.2	
30		2.00	-	45	0.018	119	257	314	53	27	10.1	1.8	
35		1.90	-	46	0.018	102	276	342	45	23	8.6	1.6	
30	145	2.50	-	45	0.025	98	286	350	44	22	8.3	1.5	
	155	2.40	-		0.023	105	277	338	48	24	8.9	1.6	
	165	2.30	-		0.020	112	267	326	50	25	9.5	1.7	
	175	2.00	-		0.018	119	257	314	53	27	10.1	1.8	

* HN : 나프탈렌계 HP : 폴리칼본산계

2.3. 실험방법

본 연구의 실험방법으로 먼저, 콘크리트의 혼합은 강제식 팬 믹서를 사용하였다. 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 슬럼프플로우는 슬럼프 측정이 끝난 후 최대직경과 이에 직교하는 직경의 평균치로 하였고, 공기량 및 단위용적중량은 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 시험방법에 의거 실시하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1. 굳지 않은 콘크리트의 특성

표 3은 W/B 및 단위수량 변화에 따른 굳지않은 콘크리트의 특성을 나타낸 것이다. 먼저, 유동성은 W/B 및 단위수량이 작을수록 저하하여 SP제의 사용량이 증가하였다. 단, W/B 20%에서는 나프탈렌계 고성능감수제의 과다첨가 문제를 고려하여 폴리칼본산계를 사용하는 것으로 하였다. 공기량의 경우는 W/B 변화에 따라 큰 차이가 없었고, 단위수량 감소에 따라서는 저하하는 경향으로 AE제 사용량이 증가하였다. U형 충전높이는 모두 양호한 충전성을 나타내었고, 재료분리 저항률은 88% 이상으로 비교적 양호하게 나타났다.

표 3 굳지않은 콘크리트의 특성

구분	항목	슬럼프 (cm)	슬럼프 플로우 (cm)	공기량 (%)	단위용적중량 (kg/m ³)	충전높이 (cm)	재료분리 저항율 (%)
W/B (%)	20	26.3	56.8	5.9	2295	32	90
	25	27.0	65.0	3.9	2326	32	94
	30	26.6	60.2	4.5	2313	33	89
	35	26.6	59.1	4.0	2321	32	95
단위수량 (kg/m ³)	145	26.0	59.5	4.5	2374	31	94
	155	25.3	57.1	5.3	2324	29	94
	165	26.4	59.9	4.4	2318	28	88
	175	26.6	60.2	4.5	2313	33	89

3.2. 압축강도 특성

그림 1은 W/B 및 단위수량 변화에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. 당연한 결과이겠지만, W/B가 작을수록 압축강도가 크게 나타났고, 단위수량 변화에 따라서는 유사한 경향이었으나, 단, 재령 7일 압축강도는 단위수량 감소에 따라 약간 저하하는 경향이었는데, 이는 단위수량의 감소로 인한 SP제의 사용량이 증가하여 응결이 지연됨에 따라 강도발현이 낮은 것으로 분석된다.

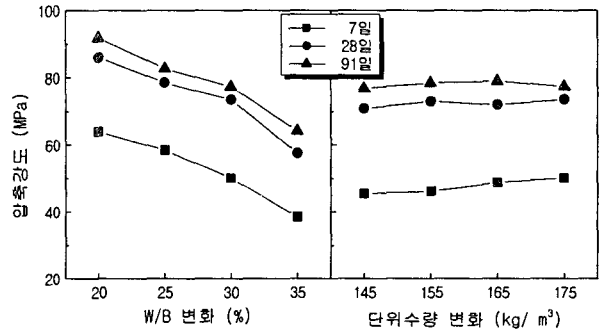


그림 1 W/B 및 단위수량 변화에 따른 압축강도

3.3. 건조수축 특성

그림 2는 7일간 수중양생 후 그 이후는 건조시키는 조건에서 W/B 및 단위수량별 재령 경과에 따른 건조수축 길이변화율을 나타낸 것이다. 먼저, W/B 변화에 따른 건조수축은 W/B가 작을수록 크게 증가하였는데, 이는 W/B가 작을수록 수분 증발에 의한 건조수축은 작지만, 단위결합재량이 많아져 자기수축이 차지하는 비율이 크게 되어 건조수축이 증가한 것으로 분석된다. 또한, 수중양생 7일동안 W/B 20 및 25%에서는 수축하는 경향이었는데, 이는 시멘트 수화반응에 의한 자기수축이 팽창제 및 수축저감제의 복합작용에 의한 팽창 및 수축완화의 합보다 크기 때문이라고 분석된다. 단, 단위수량 감소에 따른 건조수축은 기존의 이론과 같이 저하하였다.

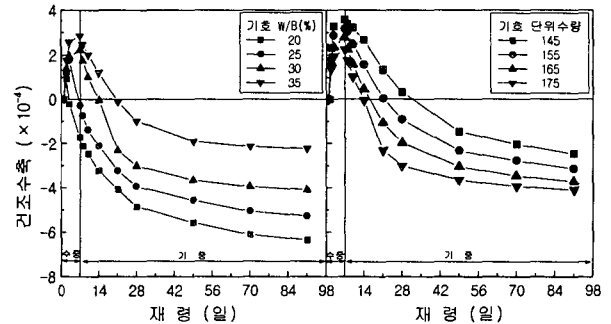


그림 2 W/B 및 단위수량 변화에 따른 건조수축 길이변화율

3.4. 자기수축 특성

그림 3은 W/B 및 단위수량 변화에 따른 자기수축 길이변화율을 나타낸 것이다. 먼저, W/B 변화에 따른 자기수축은 W/B가 작을수록 크게 발생하였는데, 이는 W/B가 작아짐에 따라 단위결합재량이 많아져서 수화에 의한 수축이 많이 발생한 것으로 분석된다. 또한, 단위수량 변화에 따른 자기수축은 건조수축과 마찬가지로 단위수량이 작을수록 약간 작게 나타났는데, 이는 단위시멘트량에 의한 페이스트량이 적어진 것에 기인한 것으로 분석된다. 단, W/B 35% 및 단위수량 145kg/m³인 경우는 자기수축 길이변화

율이 재령 49일 이내의 범위에서 팽창하였는데, 이는 팽창재와 수축저감제의 증첩효과로 분석된다.

또한, 본 실험에서는 자기수축을 건조수축과 구분하기 위하여 자기수축 시험에서 시험체의 수분증발에 의한 질량감소율도 동시에 측정하였는데, 재령 49일까지 자기수축 시험체의 질량감소율은 0.041~0.046%의 범위로서 일본 콘크리트공학협회의 자기수축 측정방법에서 제안한 범위인 0.05% 이하의 규정치를 모두 만족하는 값을 나타내었다. 단, 49일 이후는 그 규정값을 초과하는 것도 존재하였으므로 본 분석에서는 49일 이후의 자기수축 결과분석은 생략하였다.

그림 4는 재령 49일에서의 W/B 및 단위수량 변화에 따른 자기수축 및 건조수축을 비교하여 나타낸 것이다. W/B가 작을수록, 또한 단위수량이 많을수록 자기 및 건조수축은 증가하였고, 자기수축의 비율도 커지는 것으로 나타났다.

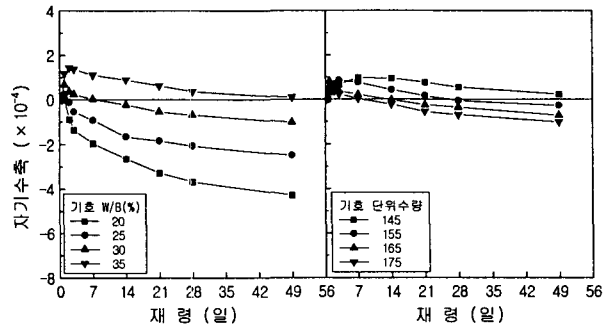


그림 3 W/B 및 단위수량 변화에 따른 자기수축 길이변화율

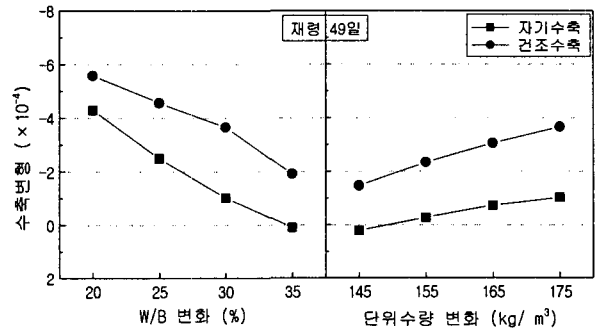


그림 4 W/B 및 단위수량 변화에 따른 자기 및 건조수축 비교

4. 결 론

본 연구에서는 W/B 및 단위수량 변화에 따른 고성능 콘크리트의 기초적 물성 및 자기·건조수축 등 수축특성에 대하여 검토한 것으로서, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 유동성은 W/B 및 단위수량이 작을수록 크게 감소하여 SP제량이 증가하였고, 공기량은 W/B 변화에 따라서는 큰 차이가 없는 반면, 단위수량 증가에 따라서는 증가하여 AE제 사용량이 감소하였다.
- 2) 압축강도 특성으로 W/B가 작을수록 압축강도는 크게 나타났고, 단위수량이 작을수록 초기재령에서는 저하하였으나, 재령 28일 이후에는 유사하였다.
- 3) 건조수축은 W/B가 작을수록 증가하였는데, 이는 W/B가 작을수록 수분 증발에 의한 건조수축은 작게 나타났지만, 자기수축이 크게 되어 건조수축이 증가한 것으로 분석된다. 단위수량 변화에 따라서는 단위수량이 작을수록 건조수축이 작게 나타났다.
- 4) 자기수축은 W/B가 작을수록 크게 발생하였는데, 이는 단위결합재량이 많아져 수화에 의한 수축이 많이 발생한 것으로 분석된다. 또한, 단위수량 변화에 따른 자기수축은 단위수량이 작을수록 작게 나타났는데, 이는 단위시멘트량에 의한 페이스트량 감소에 기인한 것으로 분석된다.

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.
2. 飛坂基夫他：低水セメント比コンクリートの乾燥收縮性狀, 昭和59年度日本大學理工學部學術講演會論文集, pp. 152-153, 1984.