

단위수량 변화에 따른 콘크리트의 공학적 특성에 관한 연구

A Study on the Engineering Properties of Concrete according to Water Content

이 병 상^{*} 김 기 정^{**} 양 경 석^{***} 심 영 태^{****} 정 용 희^{*****} 한 천 구^{*****}
Lee, Byung Sang Kim, Ki Jeong Yang, Kyung Suk Sim, Young Tae Jung, Yong Hee Han, Cheon Goo

ABSTRACT

This study is investigated the various properties and drying shrinkage of concrete according to water content under the condition proper fluidity is adjusted, in order to suggest the method for reduction of crack by drying shrinkage. According to the results, though water content varies, slump and air content are satisfied to the planed values, but shear slump and separation happen at water content of 120 and 140 kg/m³ due to the overuse of superplasticizer(SP). As water content is diminished, setting time is retarded by an increase of the using amount of SP, and compressive and tensile strength increase in the range of 160~180kg/m³ of water content, but decrease significantly at 120 and 140kg/m³. Length change by drying shrinkage decrease with a decrease of water content. Therefore, considering not only drying shrinkage but also fluidity, setting time and strength, it proves that the most appropriate water content of concrete is 160kg/m³ in the condition of this experiment.

1. 서 론

콘크리트는 내구·내화·내진성과 경제성 및 성형의 편리함 등 많은 장점을 가지고 있는 반면 균열이 쉽게 발생한다는 단점이 있다. 콘크리트에서 균열의 발생은 여러 가지 요인의 복합적 작용에 의하여 발생하고 있지만, 그 중에서도 건조수축 균열이 가장 중요시되고 있다.¹⁾

콘크리트의 건조수축은 시멘트 페이스트 조직 중 수분의 증발에 따른 체적감소에 기인한 불가피한 자연적인 현상으로, 건조수축이 발생하게 되면 콘크리트 구조체가 구속된 상태에서 콘크리트의 수축력과 구속력의 불균형에 의하여 콘크리트의 균열로 이어지게 되어, 콘크리트 내구성저하를 일으키는 중요한 요인으로 작용하고 있다. 따라서 이러한 건조수축 균열을 고려하여 우리나라 건축공사표준시방서에서는 보통 콘크리트의 경우 단위수량을 185kg/m³이하로, 고내구성 콘크리트의 경우 175kg/m³이하로 규정하고 있다.²⁾

한편, 최근들어 건축물이 대규모, 대형화됨에 따라서 콘크리트 구조체의 길이, 두께, 나비 등 부재의 크기가 증가하고 있고, 더욱이 실무에서는 작업의 편이성을 위하여 단위수량을 증가시키는 사례가 늘고 있어 그만큼 건조수축 균열의 발생확률도 더욱 커지고 있는 실정이다.

그러므로, 본 연구에서는 건조수축을 저감하기 위한 방안을 제안하기 위하여 유동성을 확보한 상태

* 정회원, (주)덕일엔지니어링 기술연구소 부장

** 정회원, 청주대학교 대학원 석사과정

*** 정회원, (주)중앙레미콘 차장

**** 정회원, (주)덕일엔지니어링 과장

***** 정회원, (주)덕일엔지니어링 대표이사

***** 정회원, 청주대학교 건축공학부 교수

에서 단위수량 변화에 따른 콘크리트의 제반 특성 및 건조수축을 검토하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1. 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 콘크리트 배합은 표 2와 같다.

먼저, 배합사항으로 W/C를 45, 55%의 2수준, 단위수량을 120~200kg/m³의 20kg/m³간격 5수준으로 변화시킨 총 10배치에 대하여, 각 배치마다 목표 슬럼프 15±2.5cm, 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하도록 배합설계 하였다.

실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량, 단위용적중량 및 응결시간을 측정하였고, 경화 콘크리트에서는 계획된 재령에서 압축강도, 인장강도 및 건조수축 길이변화율을 측정하였다.

2.2. 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트(비중 : 3.15, 분말도 : 3,265)는 국내산 A사제 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 사용골재로서 잔골재(비중 : 2.58, 조립률 : 2.89)는 인천 중구 항동산 세척사, 굵은골재(비중 : 2.54, 조립률 : 6.73)는 경기도 광주산 25mm 부순 굵은골재를 사용하였다. 혼화제는 폴리칼본산계 고성능감수제, 빈골계 AE제 및 실리콘계 소포제를 사용하였다.

2.3. 실험방법

본 연구의 실험방법으로 먼저, 콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 사용하여 KS F 8009의 규정에 따라 실시하였다.

굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 슬럼프플로우는 슬럼프 측정이 끝난 후 최대 직경과 이에 직교하는 직경의 평균치로 하였고, 공기량 시험은 KS F 2421, 단위용적중량은 KS F 2409의 규정에 따라 실시하였으며, 응결시간은 KS F 2436의 프록터 관입저항 시험방법으로 실시하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 압축강도 및 인장강도는 KS F 2405 및 2423의 규정, 건조수축 길이변화율은 10×10×40cm 공시체를 사용하여 KS F 2424의 다이얼 게이지법으로 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1. 굳지않은 콘크리트의 특성

표 3은 W/C별 단위수량 변화에 따른 슬럼프, 슬럼프 플로우, 공기량 및 단위용적중량을 나타낸 것이다.

표 1 실험계획

실험요인		수준	
배합사항	W/C(%)	2	45, 55
	슬럼프(cm)	1	15±2.5
	공기량(%)	1	4.5±1.5
실험사항	단위수량(kg/m ³)	5	120, 140, 160, 180, 200
	굳지않은 콘크리트	5	슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량, 단위용적중량, 응결시간
	경화 콘크리트	3	· 압축강도(1, 3, 7, 28일) · 인장강도(28일) · 길이변화율(7, 14, 21, 28, 42, 56일)

표 2 콘크리트의 배합

W/C (%)	단위수량 (kg/m ³)	s/a (%)	SP/C (%)	소포제 (AE제) (%)	절대용적 배합 (ℓ/m ³)			중량배합 (kg/m ³)		
					C	S	G	C	S	G
45	120	41	1.00	0.001	85	307	443	267	821	1160
	140	43	0.53		99	308	408	311	822	1070
	160	45	0.28		113	307	375	357	820	983
	180	47	0.15		127	305	343	400	813	900
	200	49	0		(0.004)	141	301	313	444	803
55	120	46	1.80	0.001	69	352	414	218	909	1083
	140	46	0.75	0.001	81	338	396	255	871	1039
	160	47	0.33	0.0012	92	330	372	291	852	976
	180	49	0.15	0.001	104	329	342	327	848	897
	200	51	0	(0.004)	115	326	314	364	841	821

단위수량 변화에 따른 슬럼프 및 공기량은 모두 목표 슬럼프 $15 \pm 2.5\text{cm}$ 및 목표 공기량 $4.5 \pm 1.5\%$ 를 만족하는 것으로 나타났다. 단, 단위수량 120kg/m^3 및 140kg/m^3 의 경우는 목표 슬럼프를 만족하였으나, 고성능감수제의 과량사용에 의해 전단슬럼프와 재료분리가 발생하였다.

그림 1은 W/C별 단위수량 변화에 따른 응결시간을 나타낸 것이다.

응결시간은 W/C 45 및 55%에서 모두 단위수량이 적어질수록 지연되는 것으로 나타났는데, 특히 단위수량 140kg/m^3 이하에서는 응결시간이 현저히 지연되었다. 이는 단위수량 저감을 위한 고성능 감수제의 과량첨가에 따른 응결지연작용에 기인된 결과로 분석된다.

표 3 굳지않은 콘크리트의 실험결과

W/C (%)	단위수량 (kg/m^3)	슬럼프 (cm)	슬럼프 플로우 (cm)	공기량 (%)	단위용적 중량(kg/m^3)
45	120	16.7	36.2	5.6	2,318
	140	16.6	35.5	4.0	2,385
	160	13.7	23.0	4.2	2,385
	180	13.5	23.4	3.5	2,375
	200	13.5	22.2	5.5	2,280
55	120	16.4	33.3	6.0	2,249
	140	16.1	33.0	4.8	2,325
	160	15.7	27.5	6.0	2,321
	180	14.1	23.0	3.7	2,338
	200	17.2	29.1	5.2	2,267

3.2. 경화 콘크리트의 특성

(1) 강도 특성

그림 2는 W/C 및 단위수량별 재령 결과에 따른 압축강도를 나타낸 것이다.

먼저, 압축강도는 당연한 결과이지만, W/C가 작을수록, 재령이 경과할수록 증가하는 것으로 나타났다. 단위수량변화에 따른 압축강도는 단위수량 160kg/m^3 이상에서는 단위수량이 작을수록 증가하는 것으로 나타났지만, 그 미만에서는 특히 W/C 45%에서 단위수량 120kg/m^3 , W/C 55%에서 단위수량 120, 140kg/m^3 인 경우 콘크리트 제조시 재료분리로 시멘트페이스트와 골재가 균질하게 결합되지 못함에 기인하여 강도발현이 매우 작게 나타났다.

그림 3은 W/C 및 단위수량별 재령 28일에서의 인장강도를 나타낸 것이다.

인장강도도 W/C가 작을수록 크게 나타났고, 단위수량 변화에 따라서는 단위수량 180kg/m^3 까지는 단위수량이 커질수록 증가하였으나, 단위수량 200kg/m^3 에서는 오히려 감소하였다. 특히 W/C 55%의 단위수량 120, 140kg/m^3 에서 인장강도의 감소가 현저하였는데, 이는 압축강도에서와 같이 작은 단위수량에서 고성능감수제의 다량 첨가에 의한 재료분리가 발생하였기 때문인 것으로 판단된다. 따라서, 단위수량 $160 \sim 180\text{kg/m}^3$ 에서 압축강도가 가장 크고, 인장강도도 높게 나타나 강도측면을 고려할 경우 단위수량 $160 \sim$

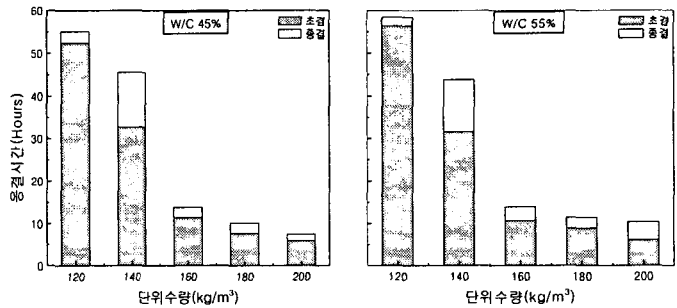


그림 1 단위수량변화에 따른 응결시간

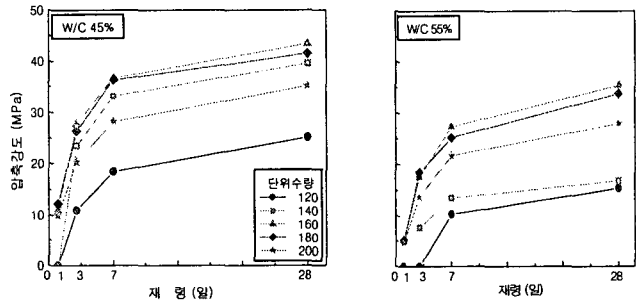


그림 2 단위수량별 재령결과에 따른 압축강도

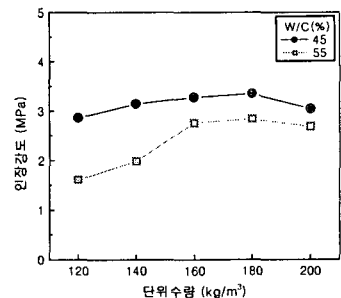


그림 3 단위수량에 따른 인장강도

180kg/m³가 적정 단위수량으로 사료 된다.

(2) 건조수축 특성

그림 4는 W/C 및 단위수량별 재령경과에 따른 건조수축 길이변화율을 나타낸 것이다.

건조수축은 재령초기에서 급격히 발생하였고, 재령이 경과할수록 완만히 진행되었다. 단위수량에 따라서는 단위수량이 감소할수록 건조수축 길이

이변화율도 비례하여 작아지는 것으로 나타났는데, 이는 콘크리트내의 물 중 수화에 관여하지 않는 자유수의 양이 감소하였기 때문인 것으로 분석된다. 특히 단위수량 120 및 140kg/m³의 경우는 초기의 재료분리로 인한 수분 손실이 건조수축 길이변화율을 더 작게 하는 요인으로 작용하였다.

따라서, 건조수축에 의한 균열을 저감하기 위해서는 단위수량을 가능한 줄이는 것이 매우 중요한 사안인긴 하지만, 과도한 단위수량의 감소는 감수제 사용의 증가에 따른 응결 지연 및 강도저하가 발생하기 때문에 건조수축뿐만 아니라 유동성, 응결시간 및 강도 등을 종합적으로 판단할 때, 본 실험조건에서 160kg/m³이 가장 적절한 단위수량으로 판단된다.

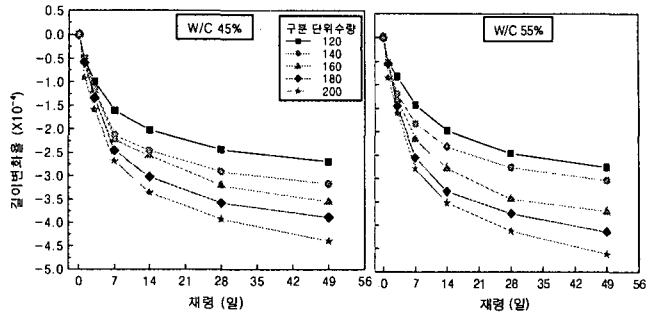


그림 4 W/C 및 단위수량별 재령경과에 따른 건조수축길이변화율

4. 결론

본 연구는 콘크리트 구조물에서 발생하는 건조수축균열을 저감하기 위한 방안을 제안하기 위하여 적절한 유동성을 확보한 상태에서 단위수량 변화에 따른 콘크리트의 제반 특성 및 건조수축 길이변화율을 검토하였는데, 그 결과를 종합하면 다음과 같다.

1) 굳지않은 콘크리트의 특성으로 단위수량 변화에 따른 슬럼프 및 공기량은 모두 목표치로 배합설계할 수 있었으나, 단, 단위수량 120kg/m³ 및 140kg/m³의 경우는 고성능감수제의 과량사용에 의한 전단슬럼프와 재료분리가 발생하였다. 또한 응결시간은 단위수량 감소에 따라 지연되었는데, 특히 단위수량 140kg/m³ 이하에서는 고성능감수제의 과량첨가에 의해 현저히 지연되었다.

2) 콘크리트의 압축 및 인장강도는 단위수량 160~180kg/m³을 기준으로 그 이상 및 이하에서는 감소하였는데, 특히, 단위수량 120, 140kg/m³에서는 혼화제 과량첨가에 따른 응결지연과 재료분리로 인하여 매우 작게 나타났다.

3) 건조수축 길이변화율은 단위수량이 감소할수록 자유수량의 감소에 기인하여 작아지는 것으로 나타났다.

종합적으로 건조수축을 줄이면서 유동성, 응결시간 및 강도 등 콘크리트의 제반특성에 문제가 없는 적정 단위수량은 본 실험조건에서 160kg/m³로 밝혀졌다.

참 고 문 헌

1. "콘크리트의 균열과 대책", 도서출판 건설도서, 1996.
2. 건설교통부제정, "건축공사표준시방서", 1999.
3. 한천구, 한민철, "콘크리트의 배합요인이 건조수축에 미치는 영향", 대한건축학회논문집, 19권 2호, 2003. 2, pp. 67~74.