

# 배합수량 변동에 따른 콘크리트의 경화성상 및 내구성에 관한 연구

## A Study on Hardened Properties and Durability of Concrete according to Unit-Water Content

구 경 모\*      임 창 혁\*\*      이 의 배\*      김 영 선\*      김 영 덕\*\*\*      김 규 용\*\*\*\*

Koo, Kyung-Mo    Lim, Chang-Hyuck    Lee, Eui-Bae    Kim, Young-Sun    Kim, Young-Duck    Kim, Gyu-Yong

### Abstract

The performance of concrete mainly depend upon its water-cement ratio. If water percentage is excess in concrete, it may cause the degradation of performance. Because of these reasons, the change of water content is managed by using various evaluation method of unit water content. And criterion for the change of water content is regulated and used. However the criterion is set only considering production error and measurement error but criterion does not consider performance degradation of concrete.

Therefore this study tries to investigate degradation of performance while adding extra water by artificial manipulation or management error in concrete. The contents of extra water for tests are set as 0, 20, 40, 60kg/m<sup>3</sup>, to examine the performance degradation of concrete, strength, shrinkage, cracks, carbonation are tested.

This study conclude that, when extra water content is excess than 20kg/m<sup>3</sup> in concrete, then performance level of concrete declined rapidly. So it is very important to maintain quality of concrete for its better performance.

키워드 : 배합수량, 성능저하, 압축강도, 수축 및 균열, 중성화

Keywords : Unit water content, Performance degradation, Compressive strength, Shrinkage and crack, Carbonation

## 1. 서 론

콘크리트 제조시 배합수는 강도발현을 위한 수화반응 및 일정 수준의 유동성을 확보하기 위해 반드시 필요한 요소이다. 그러나 일반적으로 콘크리트 내의 수량이 과도하게 증가하게 되면 재료분리 현상이 발생하고, 건조수축 증대에 따른 수축균열이 발생하며, 자유수 증가에 따른 내부 공극률 증가로 염분, 물, 기체 등에 대한 침투저항성이 저하되는 등 콘크리트의 성능을 급격하게 저하시키게 된다.<sup>1)</sup>

현행 건축공사 표준시방서에서는 이러한 콘크리트의 성능저하를 방지하기 위해 일반적으로 사용되어지는 보통 콘크리트인 경우 185kg/m<sup>3</sup> 이하로 규정하고, 고내구성 콘크리트인 경우는 175kg/m<sup>3</sup> 이하로 규정하는 등 단위수량에 대한 규정을 강화하고 있다.

또한 일본의 경우 국토교통성 및 일본콘크리트공학협회 이하 여러기관에서 단위수량 변동에 대한 자체적용 관리지침

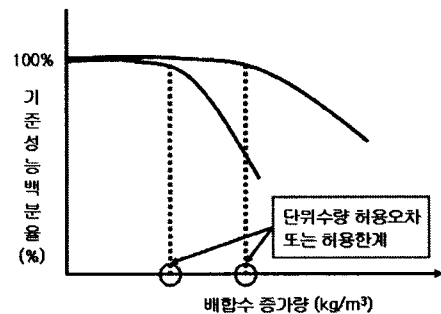


그림 1. 배합수량의 증가에 따른 성능저하 현상의 모식도

( $\pm 10 \sim 20 \text{kg/m}^3$ )을 규정하여 콘크리트 품질을 관리하고 있다. 그러나 이러한 규정들은 콘크리트의 성능을 고려하지 않은 상태에서 제조오차와 측정오차를 확률적으로 고려한 불확도 개념에서 그 기준값을 정하고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 일반적으로 건설생산현장에서 사용되는 일반강도 콘크리트 배합에 대하여 그림 1과 같이 배합수량이 변동함에 따라 발생하는 콘크리트의 특성 평가를 실시한 후, 이를 정량적으로 나타내어 향후 콘크리트 품질관리를 위한 기초적인 데이터를 제시하고자 한다.

\* 충남대학교 대학원 건축공학과, 박사과정

\*\* 충남대학교 대학원 건축공학과, 석사과정

\*\*\* 충남대학교 건축공학과, 공학박사

\*\*\*\* 충남대학교 건축공학과 조교수, 공학박사

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

표 1 및 2는 배합수량 변동에 따른 일반강도 콘크리트의 특성을 평가하기 위한 실험계획 및 콘크리트 배합이다. 물시멘트비 50%, 단위수량 175kg/m<sup>3</sup>에 배합수를 각각 0, 20, 40 및 60kg/m<sup>3</sup>씩 증가시킨 배합수량을 설정하고 시멘트 및 골재의 혼입량은 일정하게 하여 실험을 실시하였다.

또한 배합수량에 따른 콘크리트의 성능을 평가하기 위한 측정항목으로서 경화성상은 압축강도 및 탄성계수, 수축 및 균열성상은 구속건조수축 및 판상-링형구속건조수축, 내구성상으로는 촉진중성화를 측정하였다.

표 1. 실험 계획

구분	$f_{ck}$ (MPa)	$f_{cr}$ <sup>2)</sup> (MPa)	기준 W/C (%)	보정 W/C (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )		C (kg/m <sup>3</sup> )
W175+0	24	29	50	50	175	+ 0	350
W175+20						+ 20	
W175+40						+ 40	
W175+60						+ 60	

\* $f_{ck}$  : 설계기준강도,  $f_{cr}$  : 배합강도 ( $=f_{ck} + T + 1.73\sigma$ )

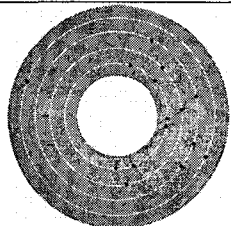
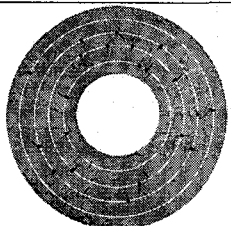
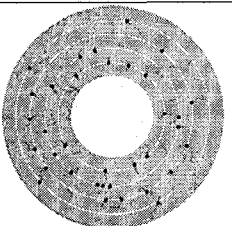
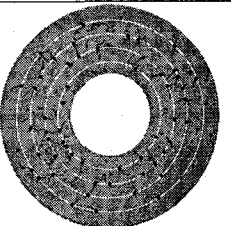
표 2. 콘크리트 배합

구분	W/C (%)	목표 슬럼프 (mm)	목표 공기량 (%)	S/a	단 위 중 량 (kg/m <sup>3</sup> )			
W175 +0	50	180 ±25	4.5 ±1.5	0.48	175	350	922	816
W175 +20					195			
W175 +40					215			
W175 +60					235			

표 3. 측정 항목

경화성상	내구성상
• 압축강도 (MPa) • 수축 및 균열 1) 구속건조수축( $\times 10^{-6}$ ) 2) 판상-링형 구속건조수축( $\times 10^{-6}$ )	• 촉진중성화 1) 침투깊이 (mm) 2) 속도계수 (mm/day <sup>0.5</sup> )

표 4. 판상링형 구속건조수축의 균열성상

구분	W75+0	W75+20	W75+40	W75+60
판상-링형 균열성상				
균열면적량	62.57 mm <sup>2</sup>	94.10 mm <sup>2</sup>	125.17 mm <sup>2</sup>	228.19 mm <sup>2</sup>
균열POINT	15 POINT	21 POINT	34 POINT	54 POINT

### 2.2 시험방법

콘크리트의 비빔은 잔골재와 시멘트를 투입하여 30초간 건비빔을 실시한 후 물을 투입하여 60초간 비빔을 실시하고, 굵은 골재를 넣어 비빔을 실시하면서 감수제로 유동성을 확보하여 이후 60초간 비빔을 실시하였다.

또한 각종 평가방법에 있어 압축강도는 KS F 2405 『콘크리트의 압축강도 시험방법』, 구속건조수축시험은 KS F 2595 『콘크리트의 건조 수축 균열 시험방법』, 콘크리트의 촉진중성화 침투깊이는 KS F 2584 『콘크리트의 촉진 탄산화 시험 방법』에 준하여 실험을 실시하였고, 판상-링형 몰드를 활용한 콘크리트의 수축균열특성평가에 관한 시험방법은 선행연구<sup>2)</sup>에서 제시된 방법을 이용하여 실험을 실시한 것이다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 경화콘크리트 성상

그림 2는 양생온도 20℃에서의 배합수량 변동에 따른 재령 3, 7, 14, 28일의 압축강도 성상을 나타낸 것이다. 재령 28일에 있어 W175+0, W175+20, W175+40 및 W175+60 각각 37.8, 31.0, 22.6 및 20.1 MPa로 나타났으며, 본 배합이 실제 현장에서 설계기준강도 24MPa 및 배합강도 29MPa로 설계되었다는 점을 고려할 때 물이 배합상의 배합수량보다 40kg/m<sup>3</sup>이상 첨가될 경우 모든 기준강도를 만족하지 못하였다.

또한 그림 3은 양생온도 20℃의 각 재령별 압축강도 발현을 범위를 나타낸 것이다. W175+0을 100%로 기준하였을 때, 각 시험체의 압축강도 발현율은 재령에 관계없이 유사한 경향을 나타내었다. 한편, 배합수량이 40kg/m<sup>3</sup>이상 증가된 경우 발현율이 60%이하로 급격하게 저하되었으며, 이러한 실제 측정값과 발현율을 고려할 때 콘크리트 품질관리를 위해 배합수량의 오차범위는 약 +20kg/m<sup>3</sup>으로 관리되어야 한다고 판단된다.

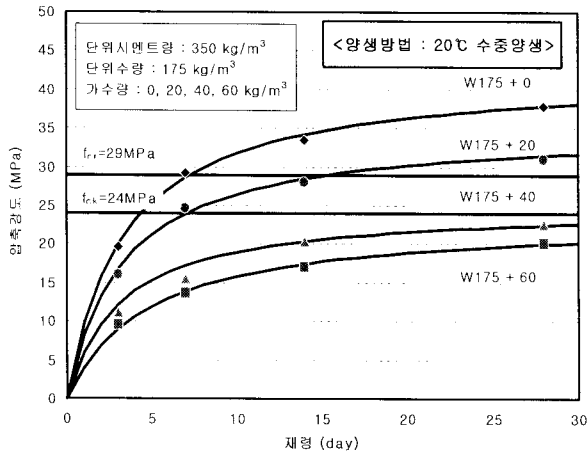


그림 2. 배합수량 변동에 따른 콘크리트의 압축강도 발현성상 (양생온도 20°C)

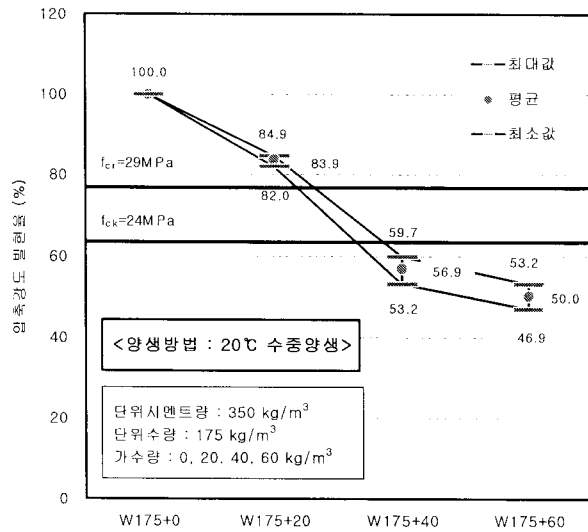


그림 3. 배합수량 변동에 따른 콘크리트의 압축강도 발현율 (양생온도 20°C)

### 3.2 콘크리트의 수축 및 균열 성상

그림 4는 콘크리트 구속건조수축량 및 구속수축응력을 나타낸 것으로, 대부분의 시험체가  $-100 \times 10^{-6}$ 의 수축량에서 균열이 발생하였다. 균열 발생시점은 배합수량이 각각 0, 20, 40 및  $60\text{kg/m}^3$  증가함에 따라 23일, 19일, 12일 및 9일로 점점 빠르게 균열이 발생하였으며, 특히  $40\text{kg/m}^3$  이상 증가된 경우 균열발생일이 상대적으로 빨라졌다.

또한 그림 5는 배합수량 변동에 따른 28일까지의 판상-링형 구속건조수축량 및 수축응력을 나타낸 것으로, 재령 28일의 수축변형에 있어 W175+0, W175+20, W175+40 및 W175+60 각각  $-139 \times 10^{-6}$ ,  $-152 \times 10^{-6}$ ,  $-182 \times 10^{-6}$  및  $-219 \times 10^{-6}$ 로 수축량이 증가하는 경향이 나타났다. W175+0 대비 수축증가율은 W175+20, W175+40 및 W175+60 각각

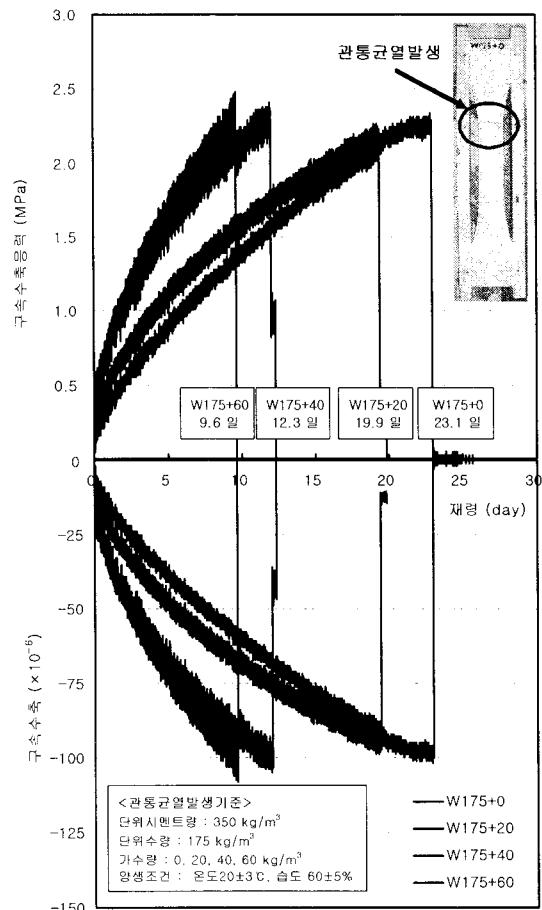


그림 4. 배합수량 변동에 따른 콘크리트의 구속건조수축량 및 응력값

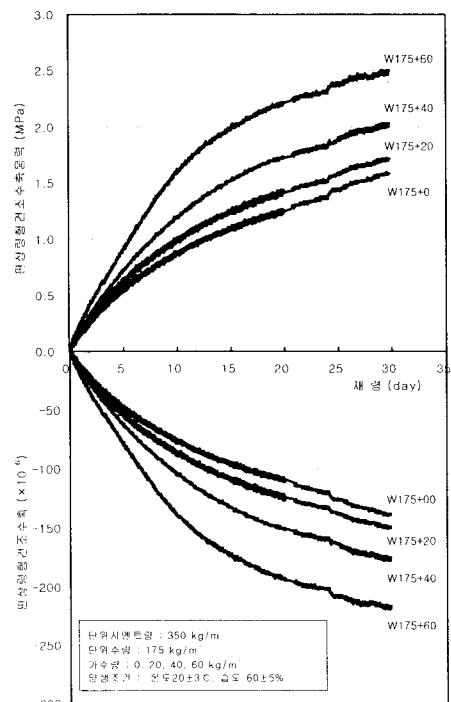


그림 5. 배합수량 변동에 따른 콘크리트의 판상-링형 구속건조수축량 및 응력값

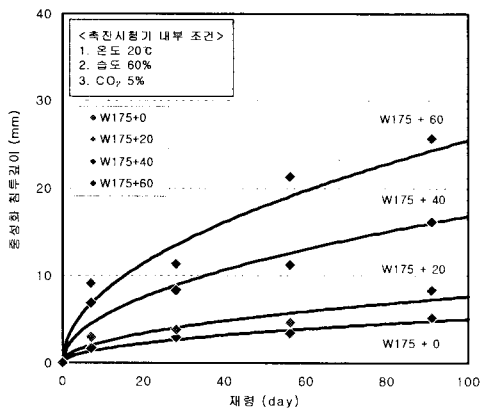


그림 6. 배합수량 변동 및 시간에 따른 콘크리트의 축진 중성화 깊이

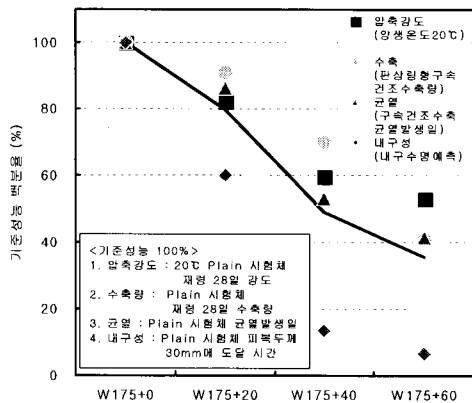


그림 7. 배합수량 변동에 따른 콘크리트의 성능저하의 경향

9, 28, 57%로 40kg/m<sup>3</sup> 이상 수량이 증가 되었을 때 그 비율이 급격하게 증가하였다. 또한 재령 28일의 수축응력값은 각각 1.59, 1.73, 2.07 및 2.50 MPa로 나타났다.

표 4는 배합수량 변동에 따른 판상-리형 부재의 표면 균열 성상을 나타낸 것으로 균열면적은 각각 62.57, 94.10, 125.17 및 228.19mm<sup>2</sup>로서 배합수량이 증가함에 따라 균열이 증가하며, W175+0에 대비 균열증가율은 W175+20, W175+40 및 W175+60 각각 50, 100, 260%의 값을 나타냈다. 또한 균열 포인트는 15, 21, 34 및 54 POINT로 균열 면적과 균열 포인트를 고려하여도 40kg/m<sup>3</sup> 이상 수량이 증가하는 경우 급격하게 콘크리트의 성능이 저하됨을 확인할 수 있었다.

### 3.3 콘크리트의 내구성상

그림 6은 축진 중성화실험에 의한 중성화 침투 깊이를 나타낸 것이다. W175+0에 대하여 수량이 20, 40, 60kg/m<sup>3</sup> 증가함에 따라 40%, 220% 310% 중성화 침투 깊이는 증가하였다. 특히 수량이 40kg/m<sup>3</sup> 이상 증가하는 경우 내구성의 저하가 급격하게 발생하였다.

### 3.4 배합수량 변동에 따른 콘크리트의 성능 지표

그림 7은 Plain을 100%인 기준 성능으로 설정하였을 때 나타나는 성능백분율로서, W175+20, W175+40, W175+60 각각 수량이 증가됨에 따라 80%, 50%, 36%로 저하되었다. 모든 성능에 있어서 배합수량보다 20kg/m<sup>3</sup>를 초과하여 수량이 증가되었을 경우, 콘크리트의 성능저하가 큰 것으로 나타났다. 특히 내구성의 경우, 강도, 수축 및 균열에 비해 성능저하가 큰 것으로 나타났다.

## 4. 결 언

배합수량 변동에 따른 콘크리트의 특성을 실증적으로 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 압축강도에 있어 40kg/m<sup>3</sup> 이상 가수한 경우 설계기준 강도를 만족하지 못하였으며, 발현율에 있어 배합수량이 20kg/m<sup>3</sup> 증가한 경우는 80~82%, 40kg/m<sup>3</sup> 증가한 경우는 55~60%, 60kg/m<sup>3</sup> 증가한 경우는 46~53% 까지 압축강도가 저하되는 것으로 나타나 20kg/m<sup>3</sup>를 초과하여 배합수량이 증가되었을 경우에는 급격한 성능저하가 발생하는 것으로 나타났다.
- (2) 수축변형을 평가한 결과 배합수량이 40kg/m<sup>3</sup> 이상 증가하는 경우 수축 및 변형의 발생증가율이 급격하게 증가하는 경향을 나타내었으며, 균열의 평가에 있어서도 40kg/m<sup>3</sup> 이상 증가하는 경우가 Plain에 비교하여 2배 이상의 균열면적을 나타내는 등 급격한 성능저하를 나타내었다.
- (3) 강도, 수축, 균열 및 중성화의 성능평가 결과, 일반강도 범위 내에서 배합수량보다 20kg/m<sup>3</sup>를 초과하여 수량이 증가되었을 경우 콘크리트의 성능이 Plain 대비 80%이하의 값으로 저하가 크기 때문에 설계된 콘크리트의 성능을 적정수준 이상 유지하기 위해서는 배합 설계된 배합수량에 대한 품질관리에 유의할 필요가 있다고 사료된다.

### 감사의 글

본 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 2단계 BK21사업의 지원을 받았으며, 이에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

1. 日本コンクリート工學協會,フレッシュコンクリートの單位水量迅速測定及び管理システム調査研究委員會報告書, 2004. 6
2. KS F 2595. "콘크리트의 건조 수축 균열 시험방법", 2004