

## 고강도 콘크리트 시편의 치수 및 길이 효과에 관한 실험적 연구

# An Experimental Study on the Size and Length Effect of High Strength Concrete Specimens

Dongbaek Kim<sup>a,1\*</sup>, Myunggon Kim<sup>a,2</sup>, Jeangtae Lee<sup>a,3</sup>, Daegyem Song<sup>a,4</sup>

<sup>a</sup> Department of Civil, Safety&Environmental Engineering, Hnakeong National University, 327 Jungangro Anseong City, Republic of Korea

### ABSTRACT

Internal factors having effects on compressive strength test results of concrete include size, shape, height-diameter ratio(h/d), section processing method, dryness and wetness, etc. of the specimen. As it is difficult to ensure dimensions of core specimen due to rebar cutting from rebar spacing, wall thickness, effects on the structure, etc. when taking core of the concrete structure, correction of dimensions and h/d of the specimen become important for quality control of the concrete. Thus, in order to review effects of specimen size and height-diameter ratio for the concretes with compressive strength within 40~60MPa, this study has experimentally reviewed compressive strength test values by applying correction factors pursuant to KS F 2422 (Method of obtaining and testing drilled cores and sawed beams of concrete), when changing specimen diameter to  $\varnothing 5\sim 15\text{cm}$ , and h/d to 2.0~1.25.

### KEYWORDS

Compressive strength  
Size, h/d ratio  
Correction of size and h/d  
Correction factors  
KS F 2422

콘크리트의 압축강도에 영향을 미치는 요인에는 공시체의 치수, 형상, 길이비(h/d), 단면 처리방법 및 공시체의 건습 등을 들 수 있다. 콘크리트 구조물의 코어 채취 시, 배근 간격에 의한 절단, 벽두께, 구조물에 미치는 악영향 등을 고려할 때, 공시체 치수나 길이비를 2/1로 맞추기가 어려우므로 품질 관리 시 공시체 치수 및 길이비에 대한 강도의 보정이 필요하다. KS의 경우, 콘크리트에서 절취한 코어 나 보의 강도 시험 방법에서 길이비에 대한 보정 계수를 정하고 있으나, 최근 콘크리트의 고강도화가 진행됨에 따라 이를 일괄적으로 적용하기에는 다소 무리가 있다는 연구가 보고되고 있다. 본 연구에서는 압축강도 40~60MPa 범위의 콘크리트를 대상으로 공시체 크기와 길이비의 영향(이하 길이효과)과 길이비를 2/1로 유지하면서 치수의 변화에 따른 강도추이를 검토하기 위해 공시체 직경을  $\varnothing 5\sim 15\text{cm}$ , 길이비를 2.0~1.25로 변화시킨 경우의 압축강도 시험 값을 KS F 2422에 의한 보정 계수와 비교하고, 고강도 콘크리트에의 적용 가능성을 확인하는데 그 목적이 있다.

압축강도 크기  
길이비 크기  
길이비의 보정  
보정계수  
KS F 2422

© 2017 Society of Disaster Information All rights reserved

\* Corresponding author. Tel. 82-10-2355-5143. Fax. 82-31-678-4674. Email. dbkim@hknu.ac.kr

1 Tel. 82-10-2355-5143. Email. dbkim@hknu.ac.kr  
2 Tel. 82-10-5350-3054. Email. kmg3054@hanmail.net  
3 Tel. 82-10-9173-7400. Email. jtlee@hknu.ac.kr  
4 Tel. 82-10-8991-6617. Email. kvoiceman@hanmail.net

### ARTICLE HISTORY

Received Aug. 13, 2017  
Revised Aug. 14, 2017  
Accepted Sep. 18, 2017

## 1. 서론

콘크리트의 압축강도는 물-결합재(시멘트)비에 의해 지배되는데, 이는 물과 결합재가 반응하는 수화반응의 양과 속도에 따라 강도가 달라지기 때문이다. 일반적으로 콘크리트 구조물의 설계는 압축강도를 가정하여 설계를 수행하며 현장에서 사용된 콘크리트가 강도품질을 만족하는지는 28일 압축강도실험을 수행하여야만 그 값을 알 수 있다. 이는 콘크리트의 압축강도가 물-결합재비 이외에도 양생방법, 양생 시 온·습도 등의 다양한 요인에 의해 최종적인 값이 결정되기 때문이다.

콘크리트의 압축강도는 다양한 방법으로 측정되고 있다. 일반적으로 28일 표준양생 시킨 공시체의 압축강도 시험방법에 의해 콘크리트의 압축강도를 측정하고 있으나 현장에서는 28일 이전에 거푸집 존치기간 확보 및 동바리 해체 등을 이유로 슈미트 해머 등을 이용한 비파괴 시험방법에 의해 압축강도를 추정하기도 한다. 또한 구조물의 건전도 추정이나 정밀안전진단을 위해서는 일정 부분 콘크리트 코어를 채취하여 압축강도를 실측하기도 한다. 이러한 방법들은 실험실 조건에서의 실험을 수행한다거나, 비파괴 시험이 가지는 정확도에 대한 신뢰부족, 기존 구조체의 훼손을 가져온다는 각 방법마다의 단점이 있으므로 이를 콘크리트 강도측정의 필요성에 따라 신중히 고려하여 사용하여야 한다.

이 중 기존 콘크리트에 코어를 채취하는 시험법에서는 시편의 치수, 시편의 형상, 시편의 길이, 단면 처리방법 및 시험편의 건습 정도 등에 따라 압축강도의 일정부분 편차를 나타내고 있다. 특히, 콘크리트 구조물에서 시험편을 얻기 위한 코어 채취 시, 콘크리트 내부에 배근되어 있는 철근의 배근 간격에 따라 철근 절단, 벽두께, 구조물에 미치는 악영향 등을 고려하여 시편을 채취하므로, 공시체 치수  $\varnothing 15 \times 30\text{cm}$ 이나 길이비(h/d)를 2/1로 맞추기가 어려운 경우가 많다. 따라서 콘크리트의 코어채취에 의한 압축강도 추정 시 공시체의 직경 및 길이에 대한 강도의 보정이 필요하다. KS에서는 콘크리트 구조물에서 절취한 코어 강도 시험 방법에서는 길이비에 대한 보정 계수를 정하고 있으나, 이는 30년 전의 18MPa~24MPa 정도의 일반강도 콘크리트를 기준으로 정한 값이며 고강도에서는 그 보정값이 압축강도를 정확히 추정하지 못하는 경향이 있다. 따라서 최근 사용되는 콘크리트의 고강도화가 진행됨에 따라 기존 보정값을 일괄적으로 적용하기에는 다소 무리가 있다는 연구가 보고되고 있다. ( H.F. Gonnerman, 1995 ; Young-Gil Jin, 2002).

Table 1. Affecting factors of concrete strength

Classification	Contents	Affecting factors
Internal Factors	Mixing	Water Binder Ratio, Coarse aggregate ratio, Air contents
	Pouring method	Relationship of pouring and loading direction
	condition and Ages	Curing condition, Ages, humidity condition in testing
External Factors	Shape and size of specimen	Height-diameter ratio, Shape and size of specimen Flattening of loading point
	Loading methods	Loading velocity, Confine effects
	Strain measurement	Length of strain gage, Position of strain gage

기존의 연구는 압축강도 수준이 증가함에 따라 공시체의 길이비(h/d)의 영향이 감소한다는 내용을 중심으로 보고되고 있었으며, 보통 포틀랜드 시멘트를 사용한 공시체의 압축강도 보정 값은 40MPa 이상의 압축강도에서도 KS값에 근사하다는 주장도 보고된 바 있다. 고강도 콘크리트의 공시체의 치수효과(size effect)를 증명하기 위해  $\varnothing 10 \times 20\text{cm}$ 와  $\varnothing 15 \times 30\text{cm}$ 에 대한 코어 공시체 압축강도에 관한 연구가 이루어지고 있지만,  $\varnothing 5 \times 10$ ,  $\varnothing 7.5 \times 15$ ,  $\varnothing 12.5 \times 25\text{cm}$  등의 작은 시편에 대한 연구는 드문 편이다(Aldea, C. M., Ghandehari, M., Shah, S. P., and Karr, A., 1999). 또한 최근 100MPa급의 초고강도 콘크리트의 공시체 치수 및 길이비의 영향 연구는 일부 진행되고 있지만, 상대적으로 현장에서 많이 사용되고 있는 40~60MPa 압축강도에 대한 연구는 많지 않은 실정이다.

설계기준강도를 24, 40, 80MPa로 설정한 콘크리트의 길이효과에 따른 압축강도 특성은 길이비가 1.0 증가시마다 기준강도 24에서 2.9MPa, 40에서 3.7MPa, 80에서 9.8MPa 감소되어 콘크리트가 고강도화 될수록 길이비의 영향을 크게 받는다고 보고되었다(Seung-Han Lee, 2008). 또 설계기준강도를 40, 50, 60MPa로 설정하고, 각 강도 수준에 따라 길이비를 1.0, 1.5, 2.0의 3수준으로 압축강도 및 탄성계수의 변화를 연구한 결과, 고강도 콘크리트에 있어서도 공시체의 길이비가 감소함에 따라 길이

효과도 증가 하지만, 길이비의 변화 시 탄성계수는 동일한 증가율은 없으며, capping의 방법에 따라 보정이 필요하며. 콘크리트 압축강도에 있어서 공시체 크기에 따른 강도변화의 모델 식을 제시한 연구에서는, 공시체의 크기가 클수록 강도는 떨어지나, 직경 6inch 이하와 20inch 이상의 공시체에 대해서는 강도변화가 거의 없었으며, 6inch 이상 20inch 이하의 공시체에 대해서는 현저한 강도저하를 보였다고 보고한 바 있다(Young-Gil Jin, 2002).

설계기준강도를 18, 21, 24MPa로 설정하고, 공시체의 크기를  $\varnothing 10$ ,  $\varnothing 15$ 의 2수준, 높이/직경비 1.0, 1.5 2.0의 3수준으로 하여 콘크리트 공시체의 크기가 압축강도 및 탄성계수 값에 미치는 영향을 검토한 연구에서, 길이비가 같을 때 기준강도가 클수록 최대 강도의 증가율도 크게 나타났으며, 탄성계수의 값은 강도증가 비율에 거의 비슷하게 나타난다고 하였다. 설계기준강도를 20~120MPa로 하고, 공시체의 크기를  $\varnothing 10$ ,  $\varnothing 15$ 의 2수준, 형상을 원주, 입방, 각주의 3수준, 길이비를 1.0, 1.25, 1.5, 1.75, 2.0의 5수준으로 설정하여 압축강도 시험을 한 연구에서는 크기 효과는 고강도 콘크리트일수록 현저하게 나타나며, 고강도 콘크리트에서는 압축강도가 높을수록 길이효과가 작다고 하였다(Takafumi Noguchi and Yuzawa Shiki, 2012).

본 연구에서는 압축강도 40~60MPa 범위의 콘크리트를 대상으로 공시체 크기와 길이비(h/d)의 영향(이하 길이효과)과 길이비를 2/1로 유지하면서 크기가 변함에 따른 강도변화(이하 치수효과)를 검토하기 위해 공시체 직경을  $\varnothing 5\sim 15\text{cm}$ , 길이비를 2.0~1.25로 변화시킨 경우의 압축강도 시험 값을 분석하여 KS에 의한 보정 계수와 비교하고, 고강도 콘크리트에의 적용 가능성을 확인하는데 그 목적이 있다.

## 2. 콘크리트의 강도에 영향을 미치는 요소

### 2.1 시험체의 형상 및 길이

콘크리트 공시체에는 원주체 및 입방체가 있으며 각기 장점·단점을 가지고 있기 때문에 현재 세계적 통일은 이루어지고 있지 않고, 양자의 관계가 환산표로 주어진다. 이 두 공시체 사이에는 형상효과와 관계가 있으며 이는 시편 길이의 영향이 반영된 결과이다. 일반적으로 입방체 쪽이 원주체보다도 높은 압축강도 시험결과를 나타내지만, 콘크리트 강도가 커지면 그 차이는 작아지는 것으로 알려져 있다(Takafumi Noguchi and Yuzawa Shiki, 2012).

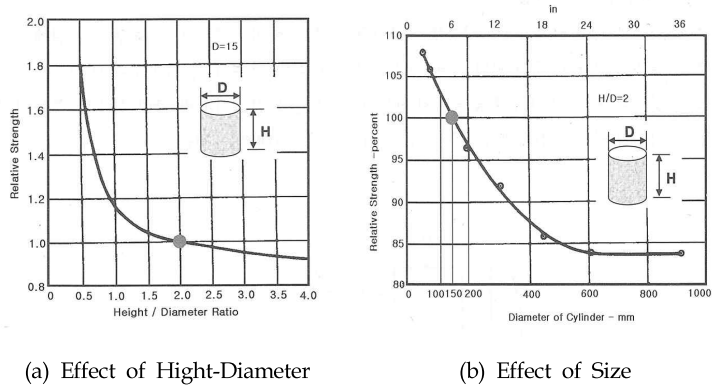


Fig. 1. Effect of Height-Diamter and Size

### 2.2 형상 및 길이효과와 치수효과

콘크리트의 강도는 형상, 길이, 치수, 단부 마찰 등에 따라서 응력-변형률 관계가 상이하다. 이론적으로 부재의 길이에 상관 없이 재하판과 콘크리트 공시체 사이의 마찰계수가 크게 되면, 파괴구역은 블리딩 층 하부쪽으로 이동하게 되고, 마찰이 적거나 없는 경우에는 블리딩 층 상부에 파괴구역이 있게 된다. 그러나 실험적인 결과를 보면 시험편과 가력기의 단부 마찰이 있는 경우는 전단파괴가 일어나고, 단부 마찰이 없는 경우에는 종방향의 쪼갬 균열(split tensile crack) 파괴가 발생하며 시편 길이의 영향도 있다고 예상 된다(Tsutomu Katano, 2014).

### 3. 공시체 치수에 따른 고강도 콘크리트의 압축강도 실험

#### 3.1 실험개요

본 연구에서는 강도가 40MPa 이하인 콘크리트의 길이에 대한 보정계수와 치수효과에 대한 보정계수가 강도가 40 ~ 60MPa 정도인 고강도 콘크리트에 적용 가능한지의 여부를 검토하기 위해 다음과 같은 공시체를 제작했다. W/C를 각각 50%, 43%, 38%로 하고, Ø10×20cm를 기준으로 하여 길이비를 2.0, 1.75, 1.5, 1.25, 1.0의 5종류로 하고, 길이비를 표준(2.0)으로 하여 Ø 5×10cm, Ø7.5×15cm, Ø10×20cm, Ø12.5×25cm, Ø15×30cm의 5종으로 하여 총108개(5수준×3개×4배합+4수준×3개×4배합=108)의 공시체를 제작했다. 모든 공시체는 24시간 후 탈형하여 20℃ 수중양생을 실시하고 공시체의 양면을 시험 당일에 기계 연마 단면 처리한 후 KS F 2422의 시험방법에 따라 재령 28일 압축강도를 측정하였다.

Table 2. Material properties

Material	Type	Physical property
Cement	Ordinarily portland cement	Density : 3.15g/cm <sup>3</sup> , fineness : 3,413(g/cm <sup>3</sup> )
Sand	Sea sand	Density : 2.60g/cm <sup>3</sup> Absorption coefficient 1.26%, fineness 2.68
Coarse aggregate	Rubble	Density : 2.62g/cm <sup>3</sup> Absorption coefficient 1.03%, Fineness 7.05

Table 3. Mixing proportion

Name	W/C (%)	S/a (%)	Slump flow (mm)	Air ratio (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )			
					W	C	S	G
N50	50.0	42.1	180±25	4.5±1.5	178	356	727	1007
N43	42.9	40.8	180±25	4.5±1.5	182	424	677	990
N43H	42.9	46.0	(600±100)	4.5±1.5	170	396	826	974
N38	37.6	46.5	(600±100)	4.5±1.5	170	452	812	941

#### 3.2 실험계획

##### 1) 사용재료 및 배합

시멘트는 1종 보통 포틀랜드 시멘트, 잔골재는 조립률 2.68의 해사를 사용하였으며, 굵은 골재는 최대치수 20mm의 쇄석을 사용하였다. 혼화제로 AE감수제는 리그닌계, 고성능 AE감수제는 폴리카본산계의 NonAE타입을, AE제는 음이온 계면활성제를 사용했다(Table 2). W/C는 50, 43, 38%로 3수준으로 설정하되, W/C43%의 경우는 고유동화를 혼합한 경우를 추가하였으며, W/C38%의 경우는 고유동화제를 혼합한 경우만 설정하여 총 4종류의 콘크리트를 Table 2와 같이 배합하였다.

##### 2) 시험체 제작

공시체는 KS F 2403에 따랐으며, h/d비 2.0을 기준으로 하여 Ø5×10cm, Ø7.5×15cm, Ø10×20cm, Ø12.5×25cm, Ø15×30cm의 5종류, Ø10×20cm를 기준으로 하여 길이비를 1.25, 1.5, 1.75, 2.0로 하여 Table 4와 같이 4종류를 제작하였다. 또한 모든 공시체는 2층으로 나누어 타설했으며, 각 종류 당 3개의 공시체를 제작하였다(Fig. 2, Table 4)

Table 4. Variables of test

Condition	No.	Size (cm)	Height-diameter ratio(h/d)
Effective of size	5	∅5×10	2
		∅7.5×15	
		∅10×20	
		∅12.5×25	
		∅15×30	
Effective of height-diameter	4	∅10×20	2
			1.75
			1.5
			1.25

Table 5. Test results of fresh concrete

Name	Air(%)	Slump (mm)	Slunt flow (mm)
N50	4.4	185	-
N43	4.7	175	-
N43H	1.3	-	610
N38H	1.2	-	959

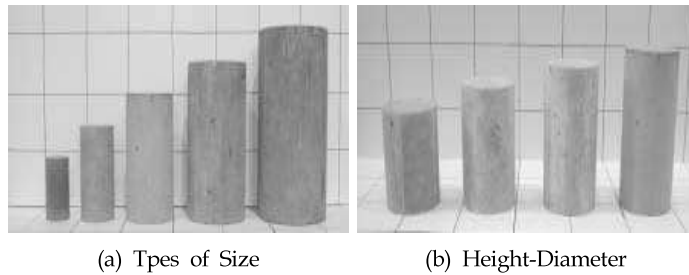


Fig. 146. Types of Specimens

### 4.3 실험방법

#### 1) 굳지 않은 콘크리트 시험

굳지 않은 콘크리트의 물성을 평가하기 위하여 공기량, 슬럼프 및 플로 시험을 각각 실시하였다. 목표 공기량은 물시멘트-비(W/C) 50%, 43% (N50, N43)의 경우 4.5±1.5%로, 물시멘트-비 W/C 43, 38% (N43H, N38H)의 경우 1.5±0.5%로 설정하고 혼화제를 사용하여 공기량을 제어하였으며, 공기량은 KS의 굳지 않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기 함유량 시험방법에 의하여 측정하였다. 목표 슬럼프 및 플로 값은 W/C가 50%, 43%의 경우는 180±25mm, 4.5±1.5%로, W/C 43, 38%의 경우는 600±100mm, 1.5±0.5%로 설정하여 배합에 따라 혼화제 투입량을 조절하였으며, 플로 시험 값은 내려앉은 콘크리트의 최대 지름과 직교하는 두 지점의 지름을 측정하여 그 두 값의 평균으로 구하였다.

#### 2) 경화 콘크리트의 압축강도 시험

압축강도는 KS F 2405의 콘크리트의 압축강도 시험방법에 따라 측정하였는데, 콘크리트 공시체 연마기를 이용하여 양면을 연마하였으며, 재하속도는 초당 0.6±0.4MPa로 하여 측정하였다. 공시체의 양생은 20±3℃의 수조에서 표준 수중양생을 실시하였으며 재령 28일에 각각 3개씩 측정하였다.

## 4. 시험결과 및 분석

### 4.1 굳지 않은 콘크리트 특성

굳지 않은 콘크리트의 물성시험을 수행한 결과, 목표 슬럼프 180±25mm, 공기량 4.5±1.5%인 N50, N43 배합 및 목표 플로 600±100mm, 공기량 1.5±0.5%인 N43H, N38H 배합 모두 각각의 목표 슬럼프 및 공기량을 대체로 만족하는 결과로 Table 5와 같이 측정되었다.

### 4.2 공시체 치수에 따른 압축강도 특성

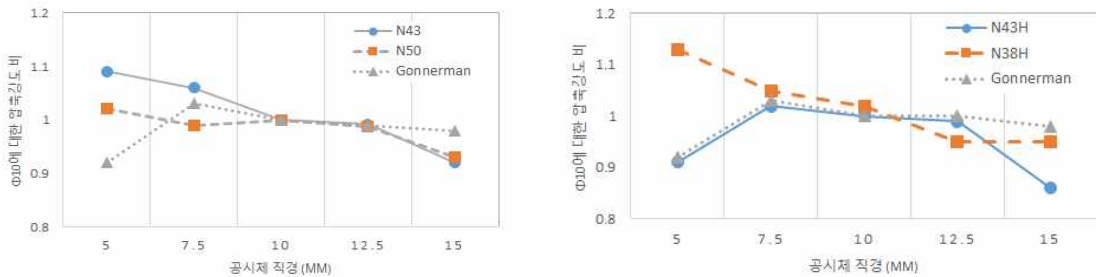
공시체 치수(크기)에 따른 압축강도 시험결과에서 N43 배합과 N43H 배합은 동일한 물-결합재비(W/C)지만,  $\varnothing 10 \times 20$ cm 공시체에서 압축강도가 약 10MPa의 차이를 보였는데, 이는 공기량에 약 3%의 차이가 있기 때문이다. 모든 배합, 모든 치수에서 압축강도의 변동계수는 5% 내로 측정되었으며, 특히,  $\varnothing 10 \times 20$ cm의 공시체의 치수 변화에 대한 압축강도는 Table 6과 같이 N50, N43, N43H, N38H의 배합에서 각각 평균하여 42, 47, 56, 63MPa 정도로 측정되었다.

Table 123. Compressive strength results of specimen size

Diameter (cm)	N50		N43		N43H		N38H	
	Strength	characteristic	Strength	characteristic	Strength	characteristic	Strength	characteristic
5	43.7	43.7 (2.1)	49.3	51.6 (1.7)	48.2	51.5 (2.6)	72.3	71.9 (1.4)
	46.2		53.3		51.7		70.0	
	41.0	4.86	52.2	[3.27]	54.6	[5.14]	73.4	[1.99]
7.5	42.8	42.5 (0.3)	51.9	49.8 (1.5)	60.2	58.1 (2.5)	67.5	66.5 (1.4)
	42.2		48.5		54.6		64.5	
	42.4	[0.62]	48.9	[3.09]	59.4	[4.29]	67.4	[2.10]
10	42.4	42.6 (0.3)	47.6	47.3 (0.3)	56.6	56.7 (0.2)	64.3	63.8 (0.4)
	42.3		47.0		56.7		63.4	
	43.0	[0.67]	47.2	[0.56]	57.0	[0.29]	63.8	[0.62]
12.5	42.6	41.9 (1.1)	46.7	46.9 (0.7)	56.4	56.5 (0.6)	62.1	60.3 (1.3)
	40.4		47.8		57.4		59.9	
	42.9	[2.63]	46.2	[1.49]	55.8	[1.11]	59.0	[2.16]
15	39.0	39.7 (0.6)	43.2	43.8 (0.8)	48.2	48.6 (0.3)	59.6	60.2 (1.1)
	39.8		45.0		48.6		59.2	
	40.4	[1.48]	43.3	[1.94]	49.0	[0.67]	61.7	[1.81]

#### 1) 공시체 치수의 영향

콘크리트의 압축강도시험 결과에서 공시체 직경이 증가할수록 압축강도 시험 값은 감소하는 경향(size effect)을 보이며, 이것은 보통콘크리트의 보정계수 유형은 유사(H.F. Gonnerman, 1995) 하지만 보정계수의 변동 폭은 차이를 보인다. 특히, N50, N43 배합의 경우에 비해, Fig. 3과 같이 N43H, N38H 배합의 경우가 변동 폭이 크게 나타났다. 치수가  $\varnothing 10 \times 20$ cm의 공시체를 기준으로 각 공시체의 압축강도 비를 살펴보면,  $\varnothing 15 \times 30$ cm인 공시체의 시험 값은 93~94% 수준으로 압축강도가 감소하고,  $\varnothing 7.5 \times 15$ cm인 공시체의 시험 값은 100~105% 수준으로 압축강도가 증가하며,  $\varnothing 12.5 \times 25$ cm인 공시체의 시험 값은 95~100% 수준으로 압축강도가 감소하는 결과를 나타내었다.



(a) N50, N43

(b) N43H, N38H

Fig. 3. Relationship of compressive strength for  $\varnothing 10 \times 20$

2) 압축강도 수준에 따른 영향

강도수준에 대한 공시체의 치수효과를 검토하면, Fig.4와 같이 각 치수의 압축강도 수준이 증가함에 따라 공시체 치수의 영향이 증가하는데,  $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 의 압축강도 시험 값을 기준으로 할 때  $\phi 5 \times 10$ ,  $\phi 7.5 \times 15\text{cm}$ 는 증가하고,  $\phi 12.5 \times 25$ ,  $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 는 감소하였다. 이들을 강도 수준에 따라  $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 인 공시체의 압축강도에 대한 비율로 표시하면 그 변화량은  $\phi 5 \times 10$ ,  $\phi 7.5 \times 15$ ,  $\phi 12.5 \times 25\text{cm}$ 는 3~4%로 측정되었으며,  $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 는 2%로 측정되었다.

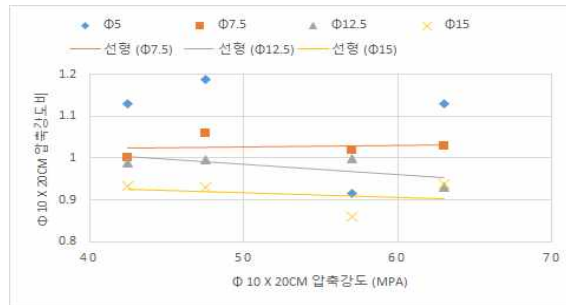


Fig. 4. Relationship of strength ratio( $\phi 10 \times 20$ )

4.3 길이비에 따른 압축강도 특성

각 배합마다 길이비(h/d)를 2.0~1.25의 범위로 하여 시험한 결과를 선형회귀분석(linear interpolation)에 의해 계산하면, N50, N43, N43H, N38H의 배합에서 각각 41.8, 47.2, 56.5, 62.9MPa로 나타났는데(Fig. 5), 이 결과는 현재의 보정계수와 큰 차이가 없으나 N38H 배합의 경우는 차이가 크므로 고강도의 배합에서는 새로운 보정계수가 필요할 것으로 사료된다.

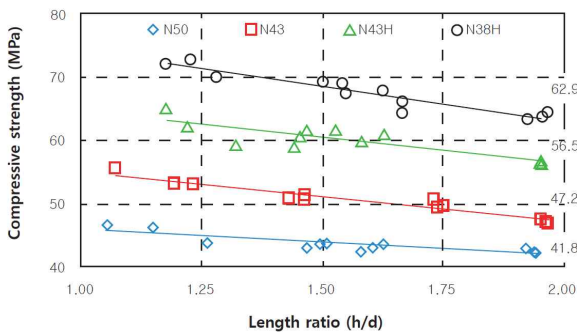


Fig. 5. Relationship of h/d and compressive strength

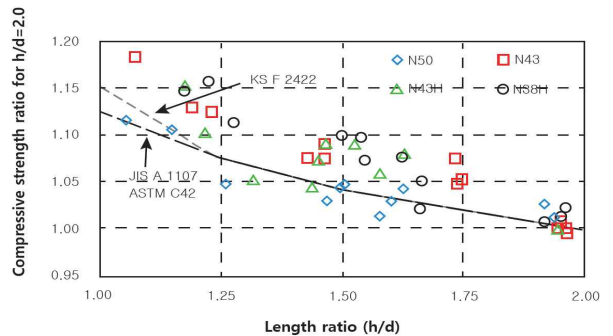


Fig. 6. Compressive strength ratio for h/d=2.0

1) 길이비의 영향

길이비(h/d) 2.0을 기준으로 하여 각 길이 비 (h/d)에 대한 압축강도에 대한 비를 각 배합에 대하여 나타내어 보면, 모든 배합의 공시체에서 길이비가 1.0에 가까워지면서 압축강도 시험 값이 증가하는 경향을 나타내었으며, N50을 제외한 모든 배합은 KS값을 상회하는 결과를 나타내었다(Fig. 6).

2) 압축강도 수준에 따른 영향

압축강도별 길이비(h/d) 2.0에 대한 압축강도비의 관계를 Fig. 7에서 살펴보면, 압축강도 수준이 증가함에 따라 길이 비의

영향이 증가하는 경향을 나타내었다. N50과 N43배합의 경우보다 N43H와 N38H배합의 경우가 그 경향이 감소하는 것으로 나타났으며, 압축강도 수준의 증가하면 따른 길이비에 대한 압축강도비도 감소하고 있으므로 길이에 대한 영향이 있음을 의미한다.

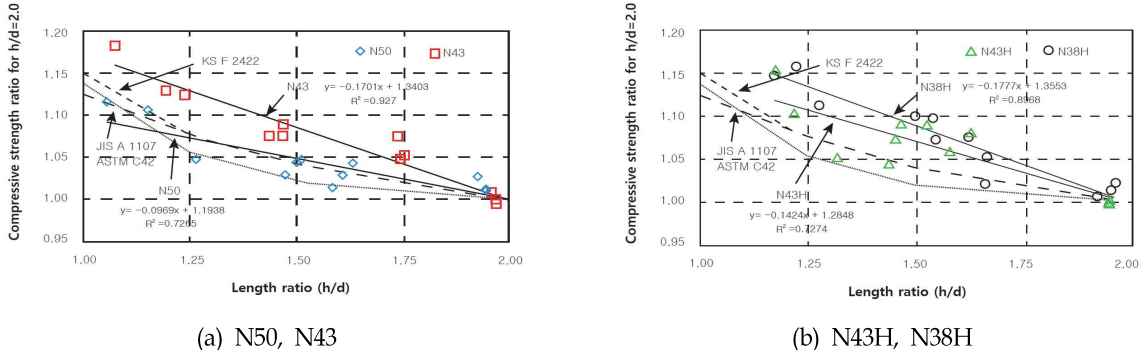


Fig. 7. Compressive strength Relationship of length Ratio

3) KS값과 비교

길이비가 2.0인 경우의 압축강도 시험치와 KS 값으로 보정한 후의 압축강도의 관계를 살펴보면, Fig. 8 및 Fig. 9과 같이 N50배합은 KS 값으로 보정 후의 압축강도가 길이비 2.0의 압축강도 시험 값보다 작으며, 압축강도 수준이 증가함에 따라 KS의 보정 값보다 커지는 경향을 보이고 있다. 또한 모든 강도 수준에서 길이비가 1에 가까울수록 KS 값으로 보정한 후의 압축강도와 길이비 2.0의 압축강도 시험치와의 차이가 증가하는 경향을 나타내고 있다.

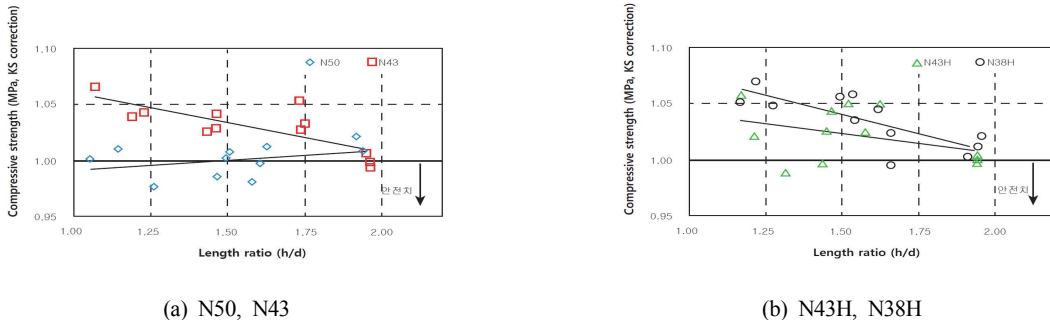


Fig. 8. Compressive strength ratio Relationship for experimental results and KS correction to h/d

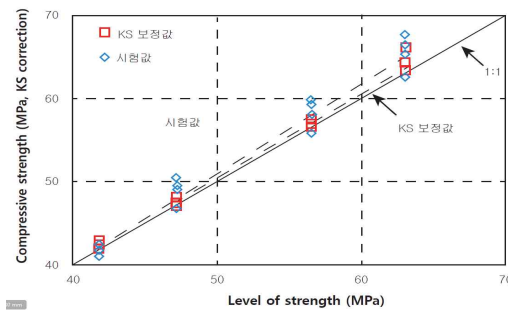


Fig. 9. Test results and KS correction (h/d=2.0)



고강도 콘크리트의 치수의 영향 및 길이비 의 영향의 실험에 대한 결과를 종합적으로 정리하면 Table 7 및 Table 8과 같다.

Table 124. Numerical analysis for specimen size

Size (Diameter×Height, mm)	N50 (42.6MPa)	N43 (47.6MPa)	N43H (56.7MPa)	N38 (63.8MPa)	Average	KS correction
50×100	1.026	1.091	1.107	1.127	1.088	1.058
75×150	1.017	1.032	1.043	1.141	1.058	1.029
100×200	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
125×250	0.983	0.971	0.966	0.945	0.966	0.987
150×300	0.932	0.926	0.928	0.943	0.932	0.971

Table 125. Numerical analysis for h/d ratio of specimens

Size (Diameter×Height, mm)	N50 (42.6MPa)	N43 (47.6MPa)	N43H (56.7MPa)	N38 (63.8MPa)	Average	KS correction
2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.75	1.03	1.04	1.03	1.03	1.03	1.02
1.50	1.03	1.04	1.06	1.07	1.05	1.04
1.25	1.05	1.08	1.09	1.10	1.08	1.06
1.00	1.18	1.15	1.20	1.19	1.18	1.18

## 5. 결론

공시체 치수에 따른 고강도 콘크리트의 압축강도 특성에 관한 실험적 연구를 수행하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 강도 수준에 따른 각 치수변화에 따른 압축강도비의 편차는 5% 정도이다. 또한, 압축강도가 증가함에 따라 공시체 치수에 의한 영향(size effect)이 증가하고, 그 정도는 보통 콘크리트에 대한 KS의 보정계수를 상회한다.
- 2) 길이비가 작아지면 압축강도 시험 값이 증가하고, 압축강도 수준이 증가함에 따라 시편 길이의 영향이 증가하며, 그 값은 KS의 보통 콘크리트에 대한 보정계수보다 커진다.
- 3) 실험결과를 종합하면 고강도 콘크리트의 치수 및 길이효과에 대한 보정은 현재의 KS의 보정계수를 그대로 사용하면 그 오차율에 오류가 있음을 나타내고 있으므로 보정이 필요하며, 각 변수별 오차율을 DB로 정리해야 한다. 또한 이를 위해서는 실험변수를 다양화 하여 보다 많은 데이터를 확보할 필요가 있다고 판단된다.
- 4) 향후, 압축강도의 범위를 80MPa까지 확장하고 시편의 크기 및 길이를 다양하게 하여 추가적인 연구를 수행한다면 보다 정확한 결과를 예측할 수 있으리라 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 한경대학교 2015년도 학술연구조성비의 지원을 받아 수행된 연구 결과이며 이에 감사드립니다.

## References

- H.F. Gonnerman(1995), Effect of Size and Shape of Test Specimen on Compressive Strength of Concrete, Proc. Of ASTM
- Young-Gil Jin(2002), An Experimental Study on the Relationship between the Compressive Strength of High Strength Concrete and High Strength Concrete, Journal of Architectural Institute of Korea, Vol.2 No.2 , pp. 129~134
- Seung-Han Lee (2008), Compressive Strength Characteristics of Non-standardized Modular Testing Considering Strength Levels, Journal of Kores Concrete Institute, Spring Academic Conference, Vol. 20, No. 1, pp.781~784
- Takafumi Noguchi and Yuzawa Shiki(2012), Effect of test specimen size on compressive strength test of high strength concrete, Architectural Institute of Japan, Vol. 5, No.473, pp.19~28
- Tsutomu Katano(2014), Effect of High-Strength Concrete Strength Ratio on Compressive Strength of High Strength Concrete, Journal of Nihon Architectural Academic Commemorative Academic Lecture Course, pp. 479~480
- Aldea, C. M., Ghandehari, M., Shah, S. P., and Karr, A.(1999), "Estimation of Water Flow Through Cracked Concrete Under Load," ACI Materials Journal, Vol. 97, No. 5, pp. 567-575