



## 감수율에 따른 압축강도와 물-시멘트비 관계에 관한 연구

김경환<sup>1)\*</sup> · 오성록<sup>2)</sup> · 최 욱<sup>3)</sup> · 최연왕<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>(주)에이치비티 <sup>2)</sup>세명대학교 토목공학과 <sup>3)</sup>한국시설안전공단

### A Study on the Relationship between Compressive Strength and Water-Cement Ratio According to Water Reducing Ratio

Kyung-Hwan Kim,<sup>1)\*</sup> Sung-Rok Oh,<sup>2)</sup> Wook Choi,<sup>3)</sup> and Yun-Wang Choi<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>H.B.Technology co., Chungju, 380-250, Korea

<sup>2)</sup>Dept. of Civil Engineering, Semyung University, Jecheon, 390-711, Korea

<sup>3)</sup>Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation., Gyeonggido, 411-758, Korea

**ABSTRACT** In this study, the relationship between compressive strength and water-cement ratio according to water reducing ratio was evaluated, concrete mix was prepared according to 3 level of water reducing ratio (0%, 8% and 16%) and 3 level of water-cement ratio (40%, 45% and 50%). In addition, concrete mix was carried out repetition test of three times in order to secure the reliability. As a result, compressive strength according to water reducing ratio was shown that difference of strength was about 20% occurred, effect of compressive strength according to water reducing ratio was found more than the water-cement ratio. Therefore, reflected the effect of water reducing ratio, relationship equation between new compressive strength and water-cement ratio was proposed.

**Keywords** : water reducing ratio, compressive strength, water-cement ratio, concrete, relationship formula

#### 1. 서 론

건설산업은 60년대 이후 급속한 산업화 정책과 더불어 막대한 사회기반시설 확충 및 주택건설이 추진됨으로써 국가경제에서 차지하는 비중이 지속적으로 증가되어 왔다.<sup>1)</sup> 이러한 건설산업에서 콘크리트는 성형성 및 경제성이 우수한 구조재료이기 때문에 현재까지 그 수요가 증가하고 있는 실정이며, 콘크리트를 대체할 수 있는 구조재료가 개발되지 않는 이상 지속적인 수요급증이 예측된다.<sup>2)</sup>

이러한 콘크리트의 품질은 최근 시멘트 및 골재 등 콘크리트 구성재료의 소모로 인하여 산업부산물 및 대체골재 사용에 따른 품질저하에도 불구하고 콘크리트 기술의 경우 비약적으로 발전하고 있다. 즉, 콘크리트 제조기술 향상에 따라 품질확보가 가능하게 되었으며, 기본 바탕에는 콘크리트용 화학혼화제의 꾸준한 기술향상과 발전이 크게 영향을 미치게 되었다.

콘크리트용 화학혼화제는 종류 및 성능에 따라 다양하게 분류할 수 있으며, 그 시초는 1920년대 공기연행제의

발견으로부터 1970년대까지 리그닌계, 1980년대부터 1990년대 초반까지 나프탈렌 및 멜라민계, 1990년대부터 현재까지 폴리카복실계가 그 기술 발전의 정점에 있었다고 할 수 있다. 콘크리트용 화학혼화제의 사용은 콘크리트 배합의 경화 전 및 경화 후 품질 등 모든 부분에 큰 영향을 미치고 있지만 대부분 경화 전의 작업성, 성형성 및 경화 후의 내구성에 대한 영향에 관해서만 국한되어 왔다.<sup>3)</sup> 그러나 콘크리트용 화학혼화제 사용에 따른 실제 배합의 경우 감수율에 따라 약 10% 이상의 상당한 강도향상 효과가 있기 때문에 초기 물-시멘트비 결정에 영향을 미치게 되며, 이러한 경우 감수율에 따라 배합설계의 기본 이론인 물-시멘트비 이론과 상충하게 되는 문제가 발생하게 된다. 즉, 동일한 물-시멘트비 및 동일한 재료를 사용하였지만 콘크리트 제조시 어느 정도의 감수율을 적용 하였는지에 따라 압축강도의 차이가 나타나고 있는 실정이다. 또한 KS, JIS 및 ASTM 등의 규격의 경우에도 초기 강도에 대한 영향만을 고려하고 있으며, 이와 관련된 연구 또한 수행된 경우는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 콘크리트 배합에서 화학혼화제에 의한 감수율이 압축강도와 물-시멘트비 관계에 미치는 영향을 평가하기 위하여 감수율에 따른 압축강도를 평가하였으며, 이를 반영하여 배합설계에 적용할 수 있

\*Corresponding author E-mail : hskimwi@empas.com

Received April 2, 2014, Revised May 30, 2014,

Accepted June 12, 2014

©2014 by Korea Concrete Institute

**Table 1** Chemical and physical properties of OPC

Items Types	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	L.O.I	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Specific Surface Area (cm <sup>2</sup> /g)
OPC	21.6	6.0	3.1	61.4	3.4	2.5	1.04	3.15	3,329

**Table 2** Physical properties of aggregate

Items Types	Gmax (mm)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Absorption (%)	F.M.	Organic Impurities	Unit Mass (kg/m <sup>3</sup> )
S	-	2.56	1.50	2.85	O.K	1,581
G	25	2.64	0.88	6.46	-	1,586

는 압축강도와 시멘트-물비(이하 C/W로 약함) 관계식을 도출하고자 하였다.

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

#### 2.1.1 시멘트 및 골재

본 연구에서 사용된 시멘트는 밀도 3.15 g/cm<sup>3</sup>의 국내 A사 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC로 약함)를 사용하였으며, 잔골재의 경우 밀도 2.56 g/cm<sup>3</sup>의 강사(이하 S로 약함)를 사용하였다. 굵은 골재는 최대치수 25 mm인 밀도 2.64 g/cm<sup>3</sup>의 부순골재를 사용하였다.

Table 1은 실험에 사용된 시멘트의 화학적 성분 및 물리적 특성을 나타낸 것이며, Table 2는 골재의 물리적 특성을 나타낸 것이다.

#### 2.1.2 화학혼화제

본 연구에서 사용된 화학혼화제는 국내 H사의 폴리카복실계 고성능 감수제(이하 SP로 약함)를 사용하였으며, 콘크리트 배합의 감수율을 조절하기 위하여 두가지 타입(이하 P500 및 P3000으로 약함)의 적합한 제품을 선정하였다. 또한 공기량 조절을 위하여 동일사에서 제조된 양질의 공기연행제(이하 AE제로 약함)를 사용하였다. Table 3은 사용된 화학혼화제의 물리적 특성을 나타낸 것이다.

### 2.2 실험계획

#### 2.2.1 실험변수 및 배합설계

본 연구에서는 감수율에 따른 압축강도와 물-시멘트비(이하 W/C로 약함) 관계를 평가하기 위하여 3수준의 W/C(40%, 45% 및 50%)에 대하여 3수준의 감수율(0%, 8% 및 16%, 이하 WRR로 약함)를 적용하여 총 9수준의 콘크리트를 제조하였으며, 또한 모든 배합은 공기연행 콘크리트를 대상으로 평가를 수행하였다. 콘크리트 배합설계의 기본 조건 및 기준은 ASTM C 494의 배합조건을 근거로 하였으며,<sup>4)</sup> 이에 따라 결정된 단위수량(이하 W로 약함)

**Table 3** Physical properties of chemical admixture

Types	Category	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Total Solids (%)
AE	AE	1.030±0.01	23.0
P500	SP	1.045±0.01	13.0
P3000	SP	1.040±0.01	20.5

**Table 4** Application method of chemical admixture

Types of mix	Water reducing ratio (%)		
	0	8	16
application Method of chemical admixture	AE	AE + P500	AE + P3000

과 굵은 골재량에 각각의 W/C를 적용하여 배합을 결정하였다. 또한 W/C에 따른 배합은 물량 일정설과 공극설을 근거로 단위수량과 굵은 골재량을 고정하였다. Table 4는 감수율에 따른 화학혼화제의 적용방법을 나타낸 것으로 최종 사용 콘크리트 배합의 경우 일반적으로 공기연행 콘크리트이므로 공기연행제에 의한 감수율은 감안하지 않는 것이 타당한 것으로 판단되었기 때문에 감수율 0%인 콘크리트 배합의 경우 AE제만을 사용하였으며, 이를 기준으로 하여 각 8%, 16%의 감수율을 적용한 콘크리트 배합을 제조하였다. Table 5는 실험에 사용된 콘크리트 배합표를 나타낸 것이다.

### 2.3 실험방법

#### 2.3.1 슬럼프 및 공기량

본 연구에서 제조된 모든 콘크리트 배합의 목표 슬럼프 및 공기량은 180±25 mm 및 4.5±1.5%를 대상으로 하였으며, KS F 2402 및 KS F 2421에 준하여 실시하였다.

#### 2.3.2 압축강도

감수율에 따른 압축강도를 평가하기 위하여 KS F 2405에 준하여 평가를 수행하였으며, 시험용 공시체는 Ø100×200 mm 원주형 몰드를 성형하여 24시간 경과 후 탈형한

**Table 5** Mix design

Type (WRR, %)	W/C (%)	S/a (%)	W	Unit mass (kg/m <sup>3</sup> )			Chemical admixture (OPC × %)		
				OPC	S	G	AE	P500	P3000
0	40	39.2	174	435	647	1,003	0.024	-	-
	45	40.6		387	687				
	50	41.7		348	718				
8	40	41.5	160	400	712		0.020	0.7	-
	45	42.7		356	748				
	50	43.6		320	777				
16	40	43.6	146	365	776		0.015	-	0.9
	45	44.6		324	809				
	50	45.4		292	835				

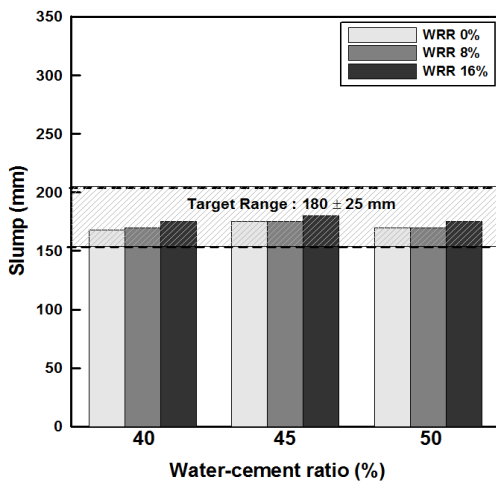
다음 소정의 재령일까지 20±3°C의 수조에 침지하여 양생을 실시하였다.

또한 신뢰성 확보를 위하여 동일수준의 배합을 3회 반복 실시하였으며, 감수율에 따른 압축강도와 W/C의 관계를 분석하여 감수율을 고려할 수 있는 압축강도와 C/W 관계식을 도출하였다.

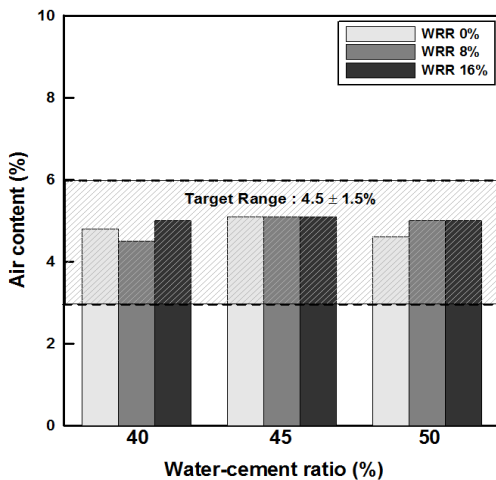
### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 슬럼프 및 공기량

Fig. 1 및 Fig. 2는 콘크리트 배합의 슬럼프 및 공기량 측정결과를 나타낸 것이다. Fig. 1 및 Fig. 2의 결과 모든 수준의 콘크리트 배합은 목표 슬럼프 및 공기량 범위에 만족하도록 제조하였으며, 콘크리트의 균일성 확보를 위하여 약 1개월의 차이를 두고 동일 수준의 배합에 대하여 반복 실험을 실시하였다. 따라서 슬럼프 및 공기량이 압축강도시험 결과에 영향을 미치지 않도록 하여 오차를 최소화하였다.



**Fig. 1** Measured slump of concrete mix

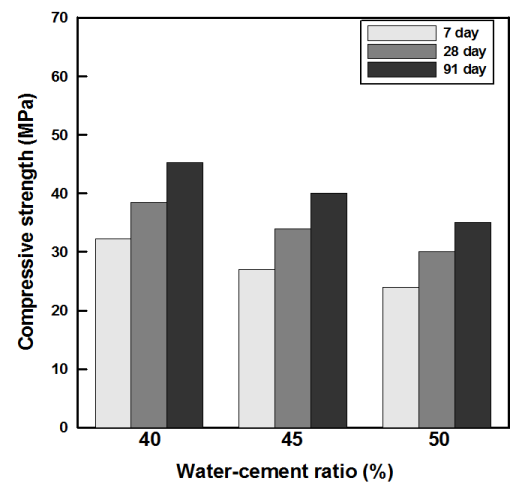


**Fig. 2** Measured air content of concrete mix

#### 3.2 압축강도

##### 3.2.1 W/C에 따른 압축강도

Fig. 3, Fig. 4 및 Fig. 5는 W/C에 따른 압축강도 측정결과를 나타낸 것이다. Fig. 3의 결과 감수율 0%인 경우 W/C 40%, 45% 및 50%의 재령 28일 압축강도는 38 MPa,



**Fig. 3** Compressive strength according to W/C (water reducing ratio 0%)

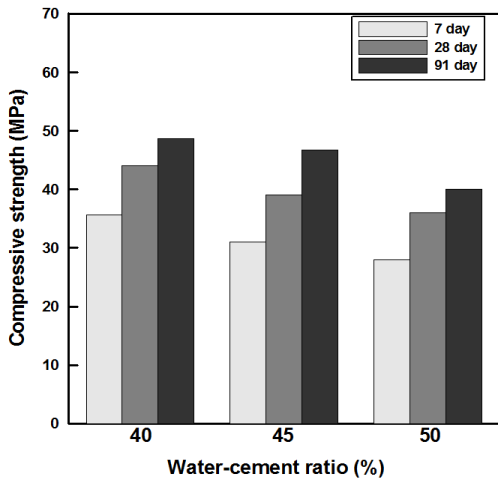


Fig. 4 Compressive strength according to W/C (water reducing ratio 8%)

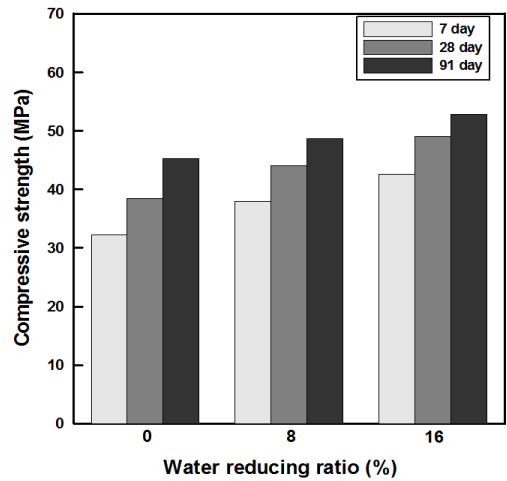


Fig. 6 Compressive strength according to water reducing ratio (W/C 40%)

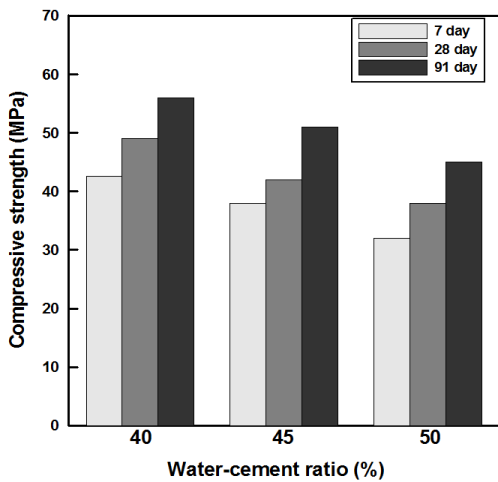


Fig. 5 Compressive strength according to W/C (water reducing ratio 16%)

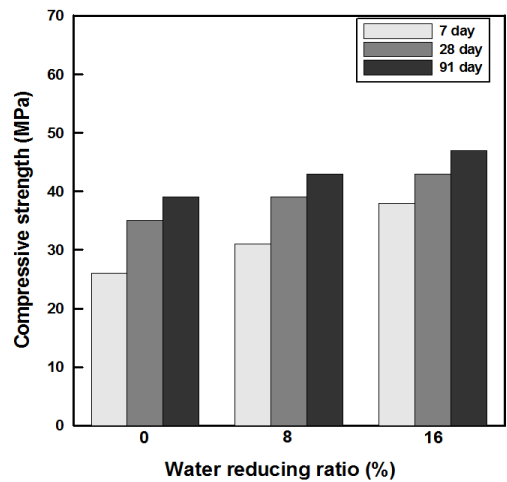


Fig. 7 Compressive strength according to water reducing ratio (W/C 45%)

34 MPa 및 29 MPa로 나타났으며, W/C 5% 증가에 따라 재령 28일 압축강도는 약 12% 감소하는 결과가 나타났다. 또한 Fig. 4 및 Fig. 5의 감수율 8% 및 16%의 경우에도 Fig. 3의 결과와 동등한 경향을 갖는 결과가 나타남에 따라 기존 W/C 이론에 부합되는 결과인 것으로 판단된다.

### 3.2.2 감수율에 따른 압축강도

Fig. 6, Fig. 7 및 Fig. 8은 동일한 W/C인 경우 감수율에 따른 압축강도 측정결과를 나타낸 것이다. Fig. 6의 결과 W/C 40%의 경우 감수율 0%, 8% 및 16%의 재령 28일 강도는 38 MPa, 44 MPa 및 49 MPa로 감수율 8% 증가에 따라 약 11~14% 증가하는 경향이 있는 것으로 나타났다. 본 연구결과를 적용하면 동일한 W/C 일 경우 감수율에 따라 단위수량이 변화하게 되므로 압축강도의 차이가 발생하게 되며, 감수율 0%의 콘크리트 배합에 16% 배합을 적용할 경우에는 재령 28일 기준 28% 증가하는 결과가 나타난다.

Fig. 7의 결과와 같이 W/C 45%의 경우에도 감수율 0%,

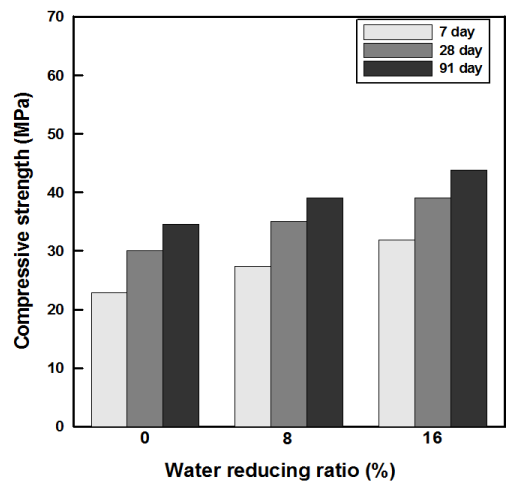


Fig. 8 Compressive strength according to water reducing ratio (W/C 50%)

8% 및 16%의 재령 28일 압축강도가 35 MPa, 39 MPa 및 43 MPa로 나타남에 따라 감수율 0%의 콘크리트 배합에 16% 배합을 적용할 경우에는 재령 28일 기준 약 23% 이

상 증가하는 결과가 나타났으며, Fig. 8의 W/C 50%의 경우에도 감수율 0%, 8% 및 16%의 재령 28일 강도가 31 MPa, 35 MPa 및 39 MPa로 나타남에 따라 감수율 0%의 콘크리트 배합에 16% 배합을 적용할 경우에는 재령 28일 기준 약 26% 증가하는 경향이 나타났다. 이러한 결과를 통하여 기존의 W/C 이론을 가지고 배합설계를 할 경우에는 동일한 W/C 배합일 경우라 하더라도 감수율에 따라 약 20%이상 강도차이가 발생하기 때문에 이를 고려하는 것이 기존과 대비하여 보다 경제적인 배합 뿐만 아니라 품질 예측의 정확성 향상 및 관리가 용이한 콘크리트 제조가 가능할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 감수율을 고려한 W/C 및 압축강도의 관계에 대한 새로운 관계식을 도출하기 위하여 감수율이 압축강도에 미치는 영향을 다음 절에서 분석하였다.

### 3.2.3 실험 데이터의 신뢰성 검증

본 연구결과의 신뢰성 확보를 위하여 동일 수준의 배합을 반복 실시한 결과에 대하여 통계분석을 실시하였으며, W/C 및 감수율에 따른 압축강도 측정결과를 분산분석을 수행하여 유의수준(P)을 검증하였다.

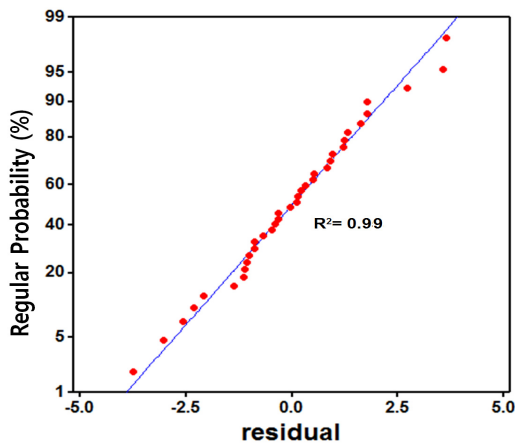


Fig. 9 Regular probability of test results (Total)

Table 6 Analysis of variance on 28 days compressive strength (Two way, ANOVA)

Source	df**	Sum of Squares	Mean of Squares	F Value	P
W/C (A)	2	518.59	259.293	70.63	.000
WRR* (B)	2	805.15	402.577	109.66	.000
A×B	4	107.28	26.821	7.31	.000
Error	27	99.13	3.671	-	-
Corrected Total	35	1530.15	-	-	-

\* WRR : Water Reducing Ratio

\*\* df : Degree of freedom

Fig. 9는 분석에 사용된 재령 28일 압축강도의 정규 확률도를 나타낸 것으로 분석 데이터가 정규분포를 이루는 것을 확인 할 수 있으며, 결정계수 0.99 이상으로 나타났다. Table 6은 각각의 인자들이 압축강도에 미치는 영향을 분석한 것으로 W/C 및 감수율에 대한 재령 28일 압축강도의 2원 분산분석을 실시한 결과를 나타낸 것이다. Table 6의 결과 W/C(A)와 감수율(B)에 따른 재령 28일 압축강도의 유의수준이 모두 0.000으로  $P < 0.05$  수준에 매우 유의한 것으로 분석되어 W/C 및 감수율이 압축강도에 영향을 미치는 것은 분명한 것으로 나타났으며, 각각의 교호작용에 의한 유의수준도 0.000으로 매우 유의한 것으로 나타났다.

Fig. 10은 W/C 및 감수율이 각각 압축강도에 미치는 영향에 대한 주요과도를 나타낸 것으로 감수율에 따른 영향도 W/C에 의한 영향 이상으로 크게 영향을 미치고 있는 것으로 나타나기 때문에 감수율에 의한 압축강도 변화는 무시할 수 없는 것으로 판단되며, 배합설계시 이를 함께 고려하여 반영하는 것이 정확한 강도예측, 품질 관리 및 경제적인 배합설계를 위하여 필요할 것으로 판단된다.

### 3.3 감수율에 따른 압축강도와 물-시멘트비

#### 3.3.1 감수율에 따른 재령 28일 압축강도

Fig. 11은 재령 28일 압축강도와 C/W에 대한 감수율별 관계를 나타낸 것이다. Fig. 11의 결과 기존 W/C 이론에 따라 감수율 0%의 경우 C/W가 증가할수록 비례적으로 증가하는 것으로 나타났으며, 감수율 8% 및 16%의 경우에도 동일한 결과가 나타났다. 그러나 감수율에 따른 압축강도는 3.2.3절의 결과와 같이 동일한 W/C인 경우에도 각각의 관계식을 갖는 것으로 나타났다. Fig. 12는 재령 28일 압축강도와 감수율에 대한 W/C에 따른 관계를 나타낸 것이다. Fig. 12의 결과 동일한 W/C에 대한 재령 28일 강도는 각 감수율에 따라 Fig. 11과 동일한 선형 비례 관계를 갖는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 통하여 감

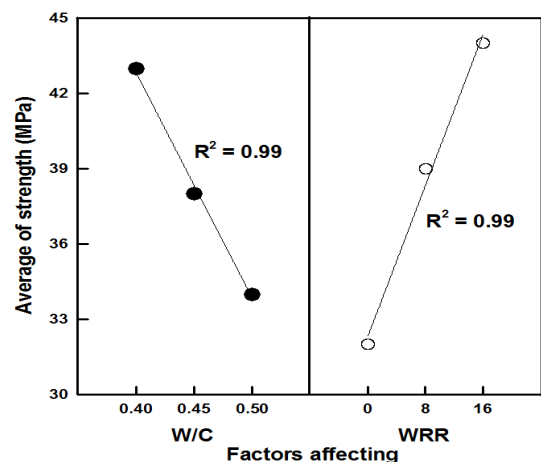


Fig. 10 Main effect curves of test results (Total)

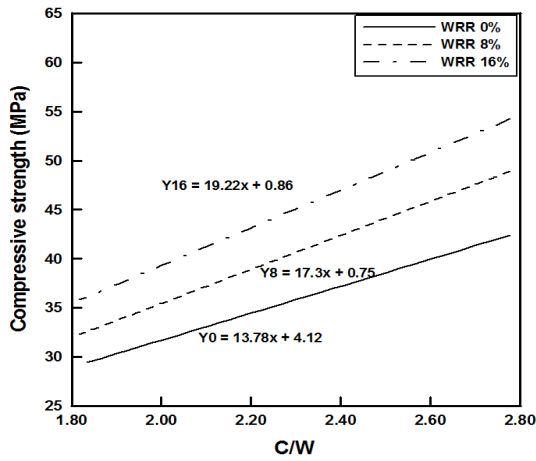


Fig. 11 Relationship between compressive strength and C/W according to WRR

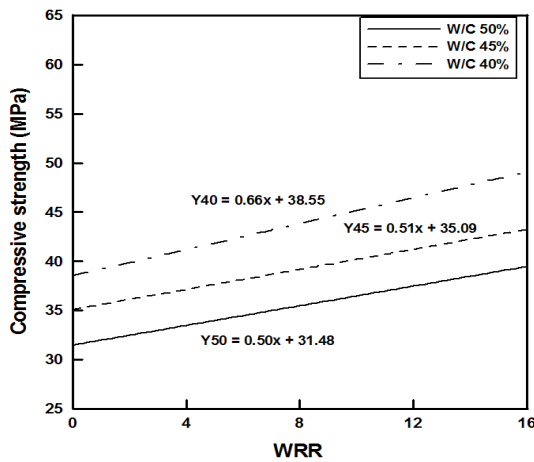


Fig. 12 Relationship between compressive strength and WRR according to W/C

수율이 압축강도에 미치는 영향은 W/C가 압축강도에 미치는 영향과 유사한 선형관계를 갖는다는 것을 확인할 수 있었으며, 각 감수율에 따라 각각의 관계식을 가지는 것을 의미하므로 배합설계시 감수율에 따른 영향에 대한 고려가 필요한 것으로 판단된다.

### 3.3.2 감수율에 따른 압축강도와 시멘트-물비 관계식

감수율에 따른 압축강도와 W/C 관계를 고려하기 위하여 일반적으로 사용되는 Lyse가 제창한 압축강도와 C/W 관계식(식 (1))에<sup>5)</sup> 본 연구결과를 적용하였다.

$$f_c = aX + b \quad (1)$$

여기서,

$f_c$  = 재령 c일에서의 압축강도

$X$  = 시멘트-물비 (C/W)

$a, b$  = 시멘트 물성과 콘크리트 시험방법에 따른 값

$$a = [nXY - X'Y] / [nXX - (X')^2] \quad (2)$$

Table 7 Variables used in the method of least squares (28 days)

Type	Plain (WRR 0%)
W/C 50% (C/W 2.0*Y50 <sub>avg.</sub> )	31.4 (62.8)
W/C 45% (C/W 2.222*Y45 <sub>avg.</sub> )	35.1 (78.0)
W/C 40% (C/W 2.5*Y40 <sub>avg.</sub> )	38.4 (96.0)
$X' = \Sigma((C/W)_n)$	$Y = \Sigma(Y_n)$
6.722	104.90
$XX = \Sigma((C/W^2)_n)$	$Y = \Sigma(C/W_n \times Y_n)$
15.188	236.79

※ Method of least squares

$n$  = Number of test

$C/W_n = 1/40, 1/45, 1/50,$

$Y_n = WWR 0\%(Y_0), 8\%(Y_8) \text{ and } 16\%(Y_{16})$

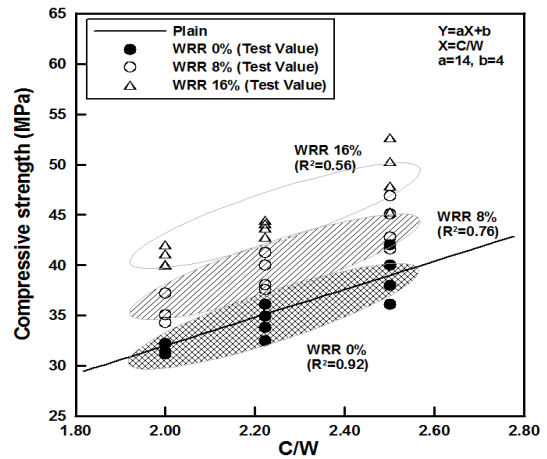


Fig. 13 Test value and theoretical value by conventional relationship equation (Eq. 4)

$$b = [Y - aX'] / n \quad (3)$$

상수 a 및 b의 값은 실험값의 오차를 최소화하기 위하여 가우스의 최소 제곱법을 활용하였다. 식 (1)의 경우 C/W에 대한 관계만을 표현하고 있기 때문에 감수율 0%를 Plain으로 하였으며, 이에 대한 상수 a 및 b의 값을 계산하였다. 식 (2), 식 (3) 및 Table 7은 상수 a 및 b의 값을 계산하기 위한 최소제곱법의 계산식 및 각 변수들을 나타낸 것이다.

식 (4)는 최소제곱법을 통하여 계산된 상수 a 및 b를 적용한 Plain (감수율 0%)의 관계식을 나타낸 것이며, Fig. 13은 식 (4)를 통한 이론값과 실험값을 나타낸 것이다.

$$Y_{28} = 14X + 4 \quad (4)$$

여기서,

$Y_{28}$  = 재령 28일에서의 압축강도

$X = C/W$

※ 경제조건,  $C/W = 2.0 \sim 2.5$  ( $W/C : 40 \sim 50\%$ )

Fig. 13의 결과 Plain인 감수율 0%의 경우 이론값과 실험값은 결정계수 0.92 이상의 높은 상관관계가 있는 관계식을 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 감수율 8% 및 감수율 16%의 경우에는 0.76 및 0.56으로 나타남에 따라 감수율이 증가할수록 오차율 증가 및 압축강도를 낮게 평가하는 것으로 나타나 Lyse 관계식만을 가지고는 감수율에 따른 영향을 반영시킬 수 없는 것으로 나타나 감수율을 함께 고려할 수 있는 관계식을 도출하고자 하였다.

식 (5)는 감수율에 따른 영향을 함께 고려할 수 있는 압축강도와  $C/W$  관계식을 나타낸 것으로 식 (4)의 관계식에 감수율에 따른 영향계수  $c$  값과 감수율을  $C/W$ 와 함께 다시 정리한 것이다. 식 (5)의 새로운 상수값인  $c$ 를 계산하기 위하여 본 연구의 경우 식 (4)의 결과값과 감수율에 대한 압축강도 측정값을 다중회귀분석을 실시하여 감

수율의 영향계수를 계산하였다. Table 8은 상수  $c$  값을 계산하기 위한 데이터를 나타낸 것이며, 다중회귀분석을 통한 감수율에 따른 영향계수  $c$ 는 0.56으로 계산되었다.

$$Y_{28} = aX' + b \quad (5)$$

여기서,

$Y_{28}$  = 재령 28일에서의 압축강도

$$X' = C/W + \frac{c \times WRR}{a}$$

$a, b$  = 시멘트 물성과 콘크리트 시험방법에 따른 값

$c$  = 감수율에 따른 영향계수

※ 경제조건,

$C/W = 2.0 \sim 2.5$  ( $W/C : 40 \sim 50\%$ )

$WRR = 0 \sim 16\%$

Fig. 14는 제안된 관계식의 이론값 및 실제 측정값을 나타낸 것으로 Fig. 14의 결과 감수율의 영향을 반영한 압축강도와  $C/W$  관계식은 감수율 0%, 8% 및 16%의 모든 경우 압축강도 및 상관성 평가가 가능한 것으로 나타났으며, 이를 통한 압축강도 이론값과 실험값과의 상관관계는 감수율 0%의 경우 결정계수 0.92, 감수율 8%의 경우 결정계수 0.90, 감수율 16%의 경우 결정계수 0.81로 높은 상관성이 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 통하여 제안된 관계식은 감수율의 영향을 반영하여 압축강도를 고려할 수 있는 것으로 판단되며,  $W/C$  및 감수율의 두가지 요인을 통하여 보다 정확한 강도예측이 가능한 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 콘크리트 배합에서 감수율이 압축강도와 물-시멘트비 관계에 미치는 영향을 평가하기 위하여 감수율에 따른 압축강도를 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 감수율이 압축강도에 미치는 영향은 시멘트-물비설과 유사한 선형 비례관계를 가진다는 것을 확인할 수 있었으며, 물-시멘트비가 미치는 영향과 같은 경향이 나타남에 따라 콘크리트 배합설계시 감수율에 따른 영향을 함께 고려하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.
- 2) Lyse가 제창한 모델식을 활용하여 감수율을 함께 고려할 수 있는 압축강도와 시멘트-물비 관계식을 새롭게 제안하였으며, 이를 활용한 결과 높은 상관관계를 갖는 것으로 나타나 보다 정확한 강도 예측이 가능한 것으로 나타났다.
- 3) 제안된 관계식을 통하여 배합설계를 하는 경우 감수성능까지 함께 고려하게 되므로 보다 정확한 성능 예측에 따른 품질 향상 및 경제성 향상에 기여

Table 8 Factors for multiple regression analysis

Type of W/C (%)	Value of Eq. 4	Type of WRR (%)	Strength (MPa)
40	39.0	0	38.4
	39.0	8	44.1
	39.0	16	49.1
45	34.8	0	35.1
	34.8	8	39.3
	34.8	16	43.2
50	32.0	0	31.5
	32.0	8	35.4
	32.0	16	39.5

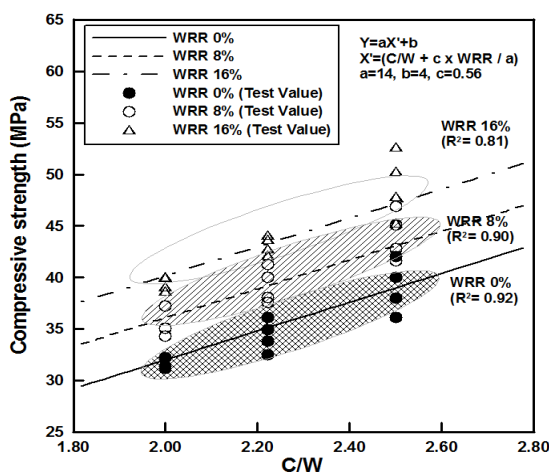


Fig. 14 Test value and theoretical value by new relationship equation (Eq. 5)

할 것으로 판단되지만 감수를 위하여 사용되는 화학혼화제의 경우 종류, 매커니즘 및 성분에 따라 성능이 달라지며, 또한 혼화재를 활용할 경우 다른 결과가 나타나기 때문에 이에 대한 지속적인 관련연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(20111010100030). 이에 감사드립니다.

## References

1. Im, N. J. and Jung, S. J., "An Experimental Study on the Properties of Concrete Using the Blast-Furnance Slag as the Aggregate," *Journal of the Architectural Institute of Korea*,

Vol. 15, No. 6, 1999, pp. 87-94.  
2. Choi, Y. W., Oh, S. R., Choi, B. K., Lee, H. H., and Choi, W., "A Study on Physical Properties of FINEX Slag to Utilize Fine Aggregate for Concrete," *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, Vol. 7, No. 4, 2012, pp. 79-87.  
3. Kim, S. J., Application Technology of Chemical Admixture for the Implementation of a Sustainable Society, Proceedings of the Korea Institute of Building Construction, Vol. 12, No. 2, 2012, pp. 5-5.  
4. American Society for Testing and Materials, ASTM C 494 Standard Specification for Chemical Admixture for Concrete, 2013.  
5. I. Lyse, Tests on Consistency and Strength of Concrete Having Constant Water Content, Proceeding of American Society for Testing and Materials, 1932, pp. 629-641.

---

**요 약** 본 연구에서는 감수율에 따른 압축강도와 물-시멘트비의 관계를 평가하였으며, 감수율 3수준(0%, 8% 및 16%) 및 물-시멘트비 3수준(40%, 45% 및 50%)에 따른 콘크리트 배합을 제조하였다. 또한, 신뢰성 확보를 위하여 콘크리트 배합은 3회 반복 실험을 실시하였다. 실험결과, 감수율에 따른 압축강도는 약 20% 이상의 강도차이가 발생하였으며, 감수율이 압축강도에 물-시멘트비 이상의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 감수율의 영향을 반영한 새로운 압축강도와 물-시멘트비 관계식을 도출하였으며, 80% 이상의 높은 상관성이 있는 것으로 나타났다.

**핵심용어** : 감수율, 압축 강도, 물-시멘트비, 콘크리트, 관계식