



감수제의 감수 효율에 따른 다성분계 결합재를 사용한 콘크리트의 물리적 특성에 관한 기초적 연구

김경환¹⁾ · 오성록²⁾ · 최병걸²⁾ · 최연왕^{2)*}

¹⁾(주)에이치비티 ²⁾세명대학교 토목공학과

A Study on the Physical Characteristics of Concrete using Multi-Component Blended Binder According to Water Reduction Efficiency of Water Reduction Agent

Kyung-Hwan Kim,¹⁾ Sung-Rok Oh,²⁾ Byung-Keol Choi,²⁾ and Yun-Wang Choi^{2)*}

¹⁾H.B.Technology co., Chungju, 27327, Korea

²⁾Dept. of Civil Engineering, Semyung University, Jecheon, 27136, Korea

ABSTRACT In this study, multi-component blended concrete mix with fly ash and ground granulated blast furnace slag according to 3 level of type of water reduction agent (type of 0%, 8% and 16%) and 3 level of water-binder ratio (40%, 45% and 50%) was prepared for evaluation of effect of physical characteristics of concrete using multi-component blended binder according to water reduction efficiency of water reduction agent. 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 type of water reduction agent was found that difference of strength was about 20% occurred, water reduction efficiency of water reduction agent was showed that a great influence on qualities of concrete. Therefore, reflected the effect of water reduction efficiency of water reduction agent, prediction model equations of compressive strength for multi-component blended concrete was proposed, it was found that more than 90% of the high correlation.

Keywords : water reduction agent, water reduction efficiency, multi-component, concrete, physical characteristics

1. 서 론

최근 건설산업은 천연 재료의 고갈뿐만 아니라 정부의 친환경 정책으로 인하여 건설산업의 주요 재료인 콘크리트 제조시 시멘트 및 골재에 대하여 산업 부산물의 활용 또는 인공 재료를 대체하거나 혼합 사용하고 있다.¹⁾ 산업 부산물 및 인공 재료 등과 같은 대체재료를 콘크리트에 활용할 경우에는 천연 재료를 사용할 경우와 비교하여 상대적으로 콘크리트 품질이 저하하게 되며, 그 활용량을 증가할 경우 콘크리트의 품질은 크게 변동하게 된다. 특히, 콘크리트가 경화하기 전의 굳지않은 상태에서 영향을 미치기 때문에 이에 대한 다양한 연구 및 기술개발이 이루어지고 있는 실정이다.¹⁻⁷⁾ 최근 콘크리트 배합기술은 어

떠한 재료를 활용하여 성능 및 요구조건을 만족하였는지가 중요한 부분을 차지하고 있지만 이 관점에 앞서 어떠한 재료를 쓰더라도 성능 및 요구조건을 만족할 수 있는 화학 혼화제의 적용 및 특수 목적을 위한 화학 혼화제의 제조 기술이 새롭게 대두되고 있다.³⁾ 화학 혼화제 중에서도 특히, 고성능 감수제는 최근 적용되고 있는 기술로서 많은 콘크리트 배합에 적용되고 있으며, 산업 부산물이나 인공 재료와 같은 다양한 대체재료 활용에 따른 기능성 고성능 감수제 역시 함께 개발되고 있는 실정이다.⁹⁾

최근까지 관련된 연구사례를 살펴보면 고성능 감수제 적용에 따른 콘크리트 제조 여부 및 성능에 관심을 맞추고 있으며, KS, JIS 및 ASTM 등의 고성능 감수제 관련 규격의 경우에도 화학 혼화제 자체의 물리·화학적 특성과 굳지않은 경화전 콘크리트에 대해서만 평가하고 있으나 특별한 경우 조기 강도에 대한 영향 등 콘크리트의 초기 특성에 대해서만 고려되고 있는 실정이다.⁸⁻¹⁴⁾ 그러나 감수제 사용에 따른 실제 배합들을 검토할 경우에는 현장여건을 고려하더라도 감수제의 성능에 따라 최소 약

*Corresponding author E-mail : crete77@semyung.ac.kr

Received March 24, 2015, Revised June 14, 2015,

Accepted August 5, 2015

©2015 by Korea Concrete Institute

10% 이상의 상당한 강도차이가 발생되고 있기 때문에 단순히, 콘크리트의 경화 전 특성뿐만 아니라 역학 및 내구성과 같은 경화 후 품질에도 영향을 크게 미치고 있다.⁹⁾ 예를 들면 콘크리트구조설계기준에 명시된 콘크리트 압축강도 추정식의 경우 Lyse가 제창한 시멘트-물비 설에 따라 압축강도를 예측하고 이를 콘크리트 배합설계시 반영되어 지고 있다.⁹⁾ 그러나 배합에 사용된 고성능 감수제의 감수 효율 및 사용량과 플라이애시 및 고로슬래그 미분말과 같은 산업 부산물을 사용하여 시멘트를 대체할 경우에는 동일한 물-결합재비를 적용한 경우라도 압축강도와 같은 물리적인 특성에 상당한 수준의 영향을 미치기 때문에 동일한 품질이라도 간주할 수 없으며, 이를 고려하지 않을 경우 설계기준에 비하여 과도한 배합설계가 이루어 질 수 있다.⁹⁾ 이에 따라 보다 경제적인 배합설계와 콘크리트 품질제어 및 신뢰도 높은 성능 예측을 위해서는 감수제의 감수 효율에 따른 영향을 배합설계에 반영할 필요가 있으며, 또한 산업 부산물을 적용에 따른 영향을 단순히 검토만 하는 것이 아니라 배합설계에 그에 대한 영향을 정량적으로 평가하여 반영할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 콘크리트 배합에서 감수제의 감수 효율 및 다성분계 결합재 활용이 콘크리트 품질에 미치는 영향을 각각 평가하고 이를 배합설계에 반영하기 위하여 플라이애시 및 고로슬래그 미분말을 사용한 3성분계 콘크리트를 제조하였으며, 감수제의 감수 효율에 따른 영향 및 다성분계 결합재 활용에 따른 영향을 검토하였다. 또한, 각각의 영향인자를 정량화하여 기존 배합설계시 활용되는 Lyse식에 감수제의 감수 효율 및 다성분계 결합재를 활용한 콘크리트 배합설계시 적용할 수 있는 방안과 이를 활용한 압축강도 예측 모델식을 도출하고자 하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

2.1.1 결합재 및 골재

본 연구에서 사용된 결합재(이하, B로 약함)는 밀도

3.15 g/cm³의 국내 A사 보통포틀랜드시멘트(이하, OPC로 약함), 밀도 2.30 g/cm³의 플라이애시(이하, FA로 약함) 및 밀도 2.80 g/cm³의 고로슬래그 미분말(이하, GGBFS으로 약함)을 사용하였으며, 잔골재의 경우 밀도 2.56 g/cm³의 강사(이하 S로 약함)를 사용하였다. 굵은 골재는 최대 치수 25 mm인 밀도 2.64 g/cm³의 부순골재를 사용하였다.

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

2.1.2 화학 혼화제

본 연구에서 사용된 화학 혼화제는 국내 H사의 폴리카본산계 고성능 감수제(이하, SP로 약함)를 사용하였으며, 감수제의 감수 효율에 따른 영향 검토를 위하여 두가지 성능타입(감수 8%, 감수 16%, 이하, WR8 및 WR16로 약함)의 적합한 SP를 선정하였다. 또한 공기량 조절을 위하여 동일사에서 제조된 양질의 공기연행제(이하, AE제로 약함)를 사용하였다. Table 3은 사용된 화학 혼화제의 물리적 특성을 나타낸 것이다.

2.2 실험계획

2.2.1 실험변수 및 배합설계

본 연구에서는 화학 혼화제의 성능이 콘크리트의 품질 특성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 3수준의 물-결합비(이하, W/B로 약함, 40%, 45% 및 50%)에 대하여 SP의 성능 3수준(0%, 8% 및 16%)을 적용하였으며, 혼화제의 영향까지 함께 고려하기 위하여 혼화제 혼합률 3수준(Non(이하, OPC로 약함), OPC50 GGBFS30 FA20(이하, OPC50으로 약함), OPC30 GGBFS50 FA20(이하, OPC30)으로 약함))을 적용한 총 18수준의 콘크리트를 제조하였다. 또한, 모든 배합은 공기연행 콘크리트를 대상으로 평가를 수행하였다. 콘크리트 배합설계의 기본 조건 및 기준은 ASTM C 494의 배합조건을 근거로 하였으며,^{15,16)} 이에 따라 결정된 단위수량(이하 W로 약함)과 굵은 골재량에 각각의 W/B를 적용하여 배합을 결정하였다. 또한 W/B에 따른 배합은 물량 일정설과 공극설을 근거로 단위수량과 굵은

Table 1 Chemical and physical properties of binder

Items Types	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	Na ₂ O	K ₂ O	MgO (%)	SO ₃ (%)	L.O.I	Density (g/cm ³)	Specific Surface Area (m ² /kg)
OPC	21.6	6.0	3.1	61.4	-	-	3.4	2.5	1.04	3.15	333
FA	58.8	18.1	7.7	5.9	1.7	1.8	1.4	0.0	6.1	2.3	371
GGBFS	31.9	14.6	0.6	35.0	0.4	0.8	5.6	3.0	0.6	2.8	407

Table 2 Physical properties of aggregate

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

Table 3 Physical properties of chemical admixture

Types	Category	Density (g/cm ³)	Total Solids (%)
AE	AE	1.030±0.01	23
SP	WR8	1.045±0.01	13
	WR16	1.040±0.01	20

Table 4 Application method of chemical admixture

Types of mix	Water reducing ratio (%)		
	0	8	16
Application method of chemical admixture	AE	AE + WR8	AE + WR16

골재량을 고정하였다. Table 4는 화학 혼화제의 성능에 따른 적용방법을 나타낸 것으로 최종 사용 콘크리트 배합의 경우 일반적으로 공기연행 콘크리트이므로 공기연행제에 의한 감수율(이하, WRR로 약함)은 감안하지 않

Table 5 Mix design

Type (Water Reduction Raio (%))	W/B (%)	S/a (%)	W	Unit mass (kg/m ³)					Chemical admixture (B × %)		
				OPC	FA	GGBFS	S	G	AE	WR8	WR16
OPC (0)	40	39.2	174	435			647	1,003	0.024	-	-
	45	40.6		387			687	1,003			
	50	41.7		348			718	1,003			
OPC (8)	40	41.5	160	400	-	-	712	1,003	0.020	0.7	-
	45	42.7		356			748	1,003			
	50	43.6		320			777	1,003			
OPC (16)	40	43.6	146	365			776	1,003	0.015	-	0.9
	45	44.6		324			809	1,003			
	50	45.4		292			835	1,003			
OPC50 (0)	40	37.9	174	218	87	131	612	1,003	0.050	-	-
	45	39.5		193	77	116	655	1,003			
	50	40.7		174	70	104	690	1,003			
OPC50 (8)	40	40.4	160	200	80	120	679	1,003	0.045	0.7	-
	45	41.7		178	71	107	719	1,003			
	50	42.8		160	64	96	751	1,003			
OPC50 (16)	40	43.6	146	183	73	110	734	1,003	0.025	-	0.9
	45	44.7		162	65	97	772	1,003			
	50	45.5		146	58	88	802	1,003			
OPC30 (0)	40	37.7	174	131	87	218	606	1,003	0.021	-	-
	45	39.3		116	77	193	650	1,003			
	50	40.6		104	70	174	685	1,003			
OPC30 (8)	40	41.4	160	120	80	200	652	1,003	0.016	0.7	-
	45	42.7		107	71	178	695	1,003			
	50	43.6		96	64	160	729	1,003			
OPC30 (16)	40	43.7	146	110	73	183	721	1,003	0.010	-	0.9
	45	44.8		97	65	162	760	1,003			
	50	45.6		88	58	146	792	1,003			

는 것이 타당한 것으로 판단되었기 때문에 감수제를 적용하지 않은 0% 콘크리트 배합의 경우 AE제 만을 사용하였으며, 이를 기준으로 하여 각 8% 및 16%의 감수할 수 있는 WR8 및 WR16을 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

화학 혼화제의 성능에 따른 압축강도를 평가하기 위하여 KS F 2405에 준하여 평가를 수행하였으며, 시험용 공시체는 Ø100×200 mm 원주형 몰드를 성형하여 24시간

경과 후 탈형한 다음 소정의 재령일까지 $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ 의 수조에 침지하여 양생을 실시하였다. 또한 실험의 신뢰성 확보를 위하여 동일 수준의 배합을 3회 반복 실시하였다. 그러나, 본 논문에서는 혼화재의 각각의 특성에 대한 영향, 즉, 조기강도 저감 등 이에 대해서는 배제하고 재령 28일 압축강도를 기준으로 분석을 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 슬럼프 및 공기량

콘크리트 배합의 슬럼프 및 공기량의 결과 모든 수준의 콘크리트 배합은 목표 슬럼프 및 공기량 범위에 만족하도록 제조하였으며, 콘크리트의 균일성 확보를 위하여 약 1개월의 차이를 두고 동일 수준의 배합에 대하여 3회 반복 실험을 실시하였다. 따라서 슬럼프 및 공기량이 압축강도시험 결과에 영향을 미치지 않도록 하여 오차를 최소화하였다.

3.2 압축강도

3.2.1 W/B에 따른 압축강도

Fig. 1, Fig. 2 및 Fig. 3은 OPC와 OPC50 및 OPC30을 사용한 3성분계 콘크리트의 W/B에 따른 재령 28일 압축강도의 관계를 나타낸 것이다. Fig. 1의 결과 감수율이 적용되지 않은 WRR 0%에 대한 OPC 및 OPC50의 W/B 40%, 45%, 50%의 압축강도는 38 MPa, 35 MPa, 34 MPa 및 31 MPa, 30 MPa, 28 MPa로 OPC50의 압축강도는 OPC와 비교하여 평균 약 8% 감소, W/B 증가에 따라 평균 약 11% 감소하는 것으로 나타났으며, OPC30의 압축강도의 경우 W/B 40%, 45%, 50%의 압축강도는 26 MPa, 30 MPa, 24 MPa로 OPC와 비교하여 평균 약 23% 감소, W/B 증가에 따라 약 11% 감소하는 경향이 나타났으며, Fig. 2 및 Fig. 3의 결과 WRR 8% 및 WRR 16%의 감수율을 적용한 경우에도 Fig. 1의 결과와 동일한 수준으로 나타났다. 이러한 결과는 감수율과 혼화재의 사용에 따른 영향을 배제하더라도 W/B 증가에 따라 압축강도가 감소하는 종래의 W/C 이론에 부합되는 결과인 것으로 판단된다.

3.2.2 감수제 성능변화에 따른 압축강도

Fig. 4, Fig. 5 및 Fig. 6은 OPC와 OPC50 및 OPC30을 사용한 3성분계 콘크리트의 감수제 성능변화에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. Fig. 4, Fig. 5 및 Fig. 6의 결과 OPC50의 압축강도는 OPC의 압축강도와 비교하여 전체적으로 평균 약 8% 감소하는 것으로 나타났으나 감수제 성능변화에 따른 감수율 측면에서는 WRR 8% 증가에 따라 평균 약 11% 증가하는 것으로 나타났다. 또한 OPC30의 압축강도의 경우는 OPC의 압축강도와 비교하여 평균 약 23% 감소하는 것으로 나타났으나 WRR 8% 증가에

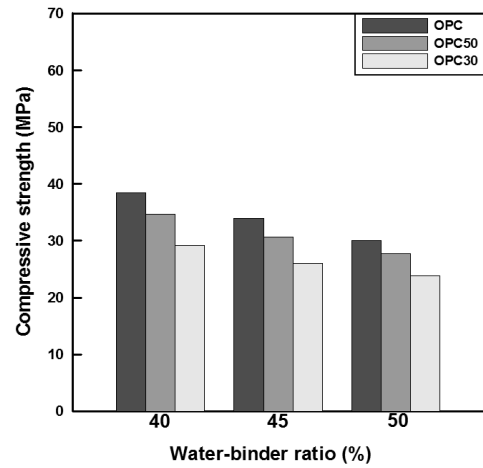


Fig. 1 Compressive strength according to W/B (Water reducing ratio 0%, WR0)

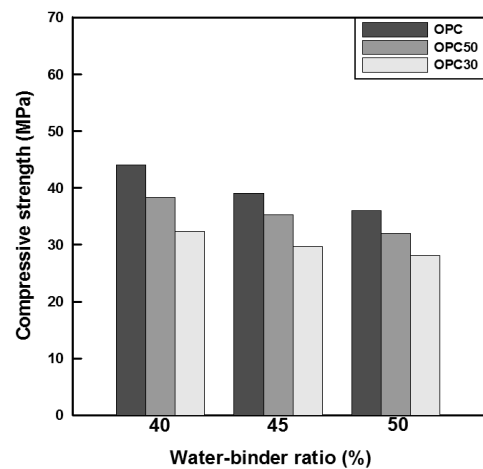


Fig. 2 Compressive strength according to W/B (Water reducing ratio 8%, WR8)

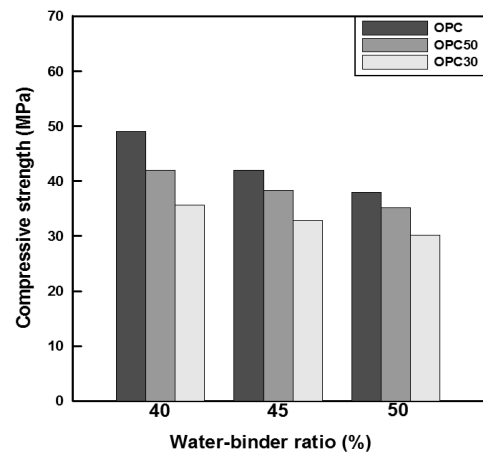


Fig. 3 Compressive strength according to W/B (Water reducing ratio 16%, WR16)

따라 OPC50의 압축강도 증가량과 동일하게 평균 약 11% 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 본 연구 결과에 따르면 WRR 0%의 배합에 대하여 WRR 16%를 적용하는 경우 감수제의 성능변화에 따른 감수율에 대한

압축강도의 증가는 평균 약 23%인 것으로 나타나 결국 종래의 이론인 W/C 이론과는 상충되며, 설계기준보다 과도한 배합설계의 결과가 초래하게 된다. 그러나 결과가

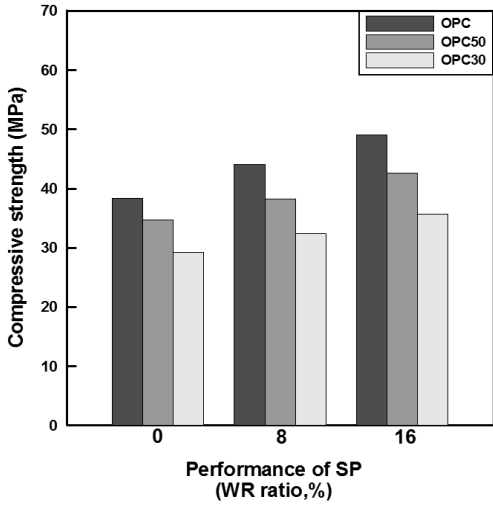


Fig. 4 Compressive strength according to SP (W/B 40%)

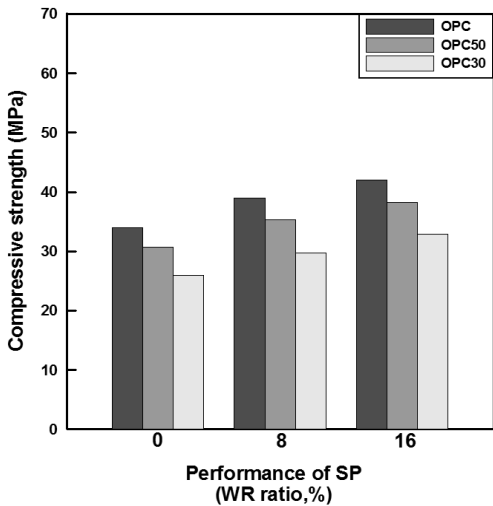


Fig. 5 Compressive strength according to SP (W/B 45%)

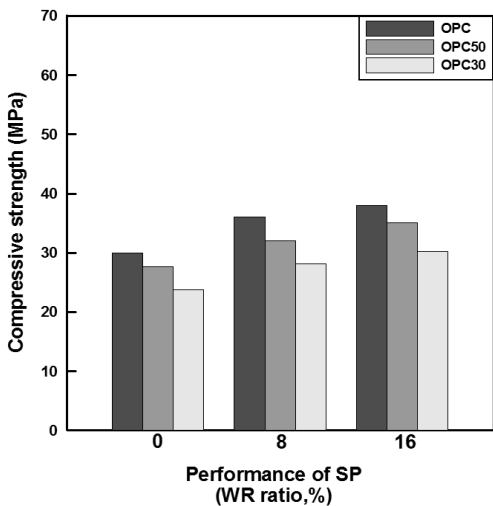


Fig. 6 Compressive strength according to SP (W/B 50%)

아닌 설계 측면에서 검토한다면 감수제의 성능변화에 따라 감수율의 영향을 최대한 활용할 경우 압축강도를 최대한 높일 수 있는 것으로 평가할 수 있다. 즉, 혼화제 사용시 감수성능 변화에 따른 감수율에 대하여 압축강도 증가량을 상쇄 또는 증폭시킬 수 있다는 판단하에 두 가지 이상의 혼화제를 복합적으로 사용하는 3성분계 이상의 다성분계 콘크리트의 경우 강도 예측이 더욱 어려우므로 감수제의 성능변화에 따른 감수율의 영향과 단위수량 감소, 이에 따른 압축강도 증가 및 사용된 혼화제의 종류와 혼합률 및 혼화제의 특성에 따른 복합적인 영향에 대하여 검토할 수 있다면 종래 콘크리트 배합과 비교하여 품질, 효율, 성능 및 경제성을 상대적으로 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

3.2.3 실험 데이터의 신뢰성 검증

본 연구결과의 신뢰성 확보를 위한 연구결과의 신뢰성 확보를 위하여 동일 수준의 배합을 반복 실시한 결과에 대하여 통계분석을 실시하였으며, W/B 및 WRR에 따른

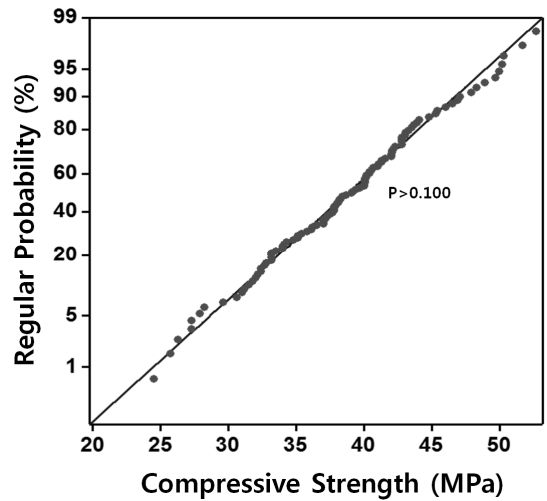


Fig. 7 Regular probability of test result (OPC, OPC50)

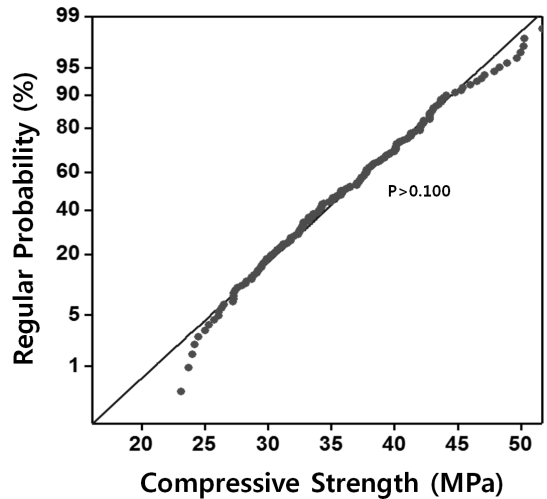


Fig. 8 Regular probability of test result (OPC, OPC30)

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

Source	df**	Sum of Squares	Mean of Squares	F Value	P	
O P C 5 0	W/B (A)	2	290.077	145.039	121.99	.000
	WRR* (B)	2	346.221	173.110	145.60	.000
	A×B	4	1.683	0.421	0.35	.000
	Error	27	32.103	1.189	-	-
	Corrected Total	35	670.083	-	-	-
O P C 3 0	W/B (A)	2	157.340	78.670	68.13	.000
	WRR* (B)	2	265.287	132.643	114.87	.000
	A×B	4	2.263	0.566	0.49	.743
	Error	27	31.178	1.155	-	-
	Corrected Total	35	456.068	-	-	-

*WRR: Water Reducing Ratio, **df: Degree of freedom
 ※Rang of P-value : Very low value close to 0.

압축강도 측정결과를 분산분석을 수행하여 유의수준(P)을 검증하였다. Fig. 7 및 Fig. 8은 본 연구를 통하여 얻은 압축강도의 OPC, OPC50 및 OPC30을 사용한 3성분계 콘크리트의 재령 28일 압축강도의 정규 확률도를 나타낸 것으로 모든 분석 데이터가 정규분포를 이루는 것을 확인할 수 있으며, 결정계수 0.99 이상으로 나타났다. Table 6은 각각의 인자들이 압축강도에 미치는 영향을 분석한 것으로 W/B 및 감수율에 대한 재령 28일 압축강도의 2원 분산분석을 실시한 결과를 나타낸 것이다. Table 6의 결과 W/B(A)와 감수율(B)에 따른 재령 28일 압축강도는 P값이 모두 0.05% 미만으로 매우 유의한 것으로 분석됨에 따라 W/B 및 화학 혼화제에 따른 감수 효율이 압축강도에 영향을 미치는 것은 분명한 것으로 나타났다.

3.3 감수제의 성능변화 및 혼화제 사용을 고려한 압축강도 예측 모델식 제안

OPC50 및 OPC30에 대한 콘크리트의 B/W와 재령 28일 압축강도 관계를 Lyse가 제창한 식 (1)을 이용하여 나타낸 것이 Fig. 9 및 Fig. 10이다. 상수 a 및 b값은 OPC를 사용한 일반 콘크리트를 Plain으로 하였으며, 최소제곱법을 활용하여 상수값 a, b를 적용하였다. Table 7은 상수 a 및 b의 값을 계산하기 위한 최소제곱법에 적용된 변수를 나타낸 것이다.

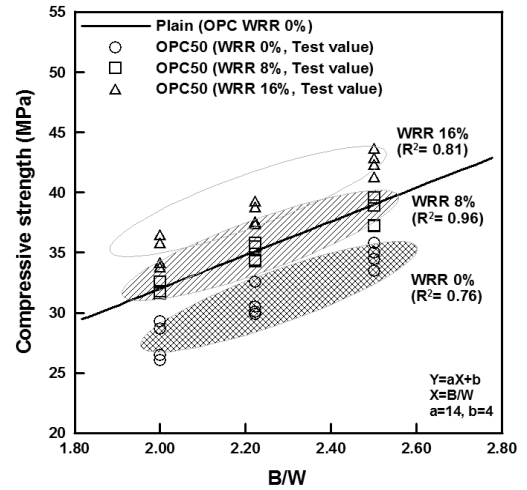


Fig. 9 Test value and theoretical value by relationship equation (OPC50, Eq. (1))

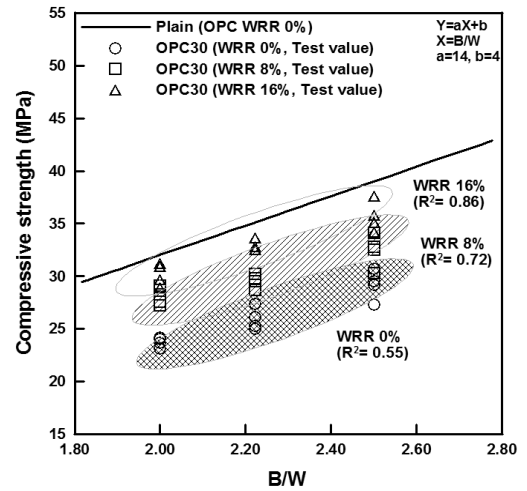


Fig. 10 Test value and theoretical value by relationship equation (OPC30, Eq. (1))

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

Type	Plain (WRR 0%)
W/C 50% (C/W 2.0*Y50 _{avg.})	31.4(62.8)
W/C 45% (C/W 2.222*Y45 _{avg.})	35.1 (78.0)
W/C 40% (C/W 2.5*Y40 _{avg.})	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

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

$Y_n = WWR 0\%(Y0), 8\%(Y8) \text{ and } 16\%(Y16)$

Table 8 Factors of multiple regression analysis for α value

Type of W/C (%)	Value of Eq. 1	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

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

여기서,

f_c = 재령 c일에서의 압축강도

X = 시멘트-물비 (C/W)

a, b = 시멘트 물성과 콘크리트 시험방법에 따른 값

Fig. 9 및 Fig. 10의 결과 Plain인 WRR 0%의 이론 값 (회귀곡선)을 기준으로 OPC50의 WRR 0%, WRR 8% 및 WRR 16%의 결정계수는 0.76, 0.96 및 0.81로 나타내고 있으며, WRR 8%의 경우에만 근사값을 나타내고 이외의 WRR에 대해서는 압축강도를 낮거나 높게 평가되는 것으로 나타났다. OPC30의 결과 결정계수가 0.55, 0.72 및 0.86으로 나타났으며, OPC50과 동일한 결과로 오차율은 낮고 압축강도가 높게 평가되는 것으로 나타났다. 따라서, 혼화재의 영향을 배제하고 감수제의 성능변화에 따른 감수율을 고려한 식으로 다시 식을 수정하면 식 (2)와 같다. 이때, α 값은 다중회귀분석을 통하여 계산할 수 있다. Table 8은 α 값을 계산하기 위한 다중회귀분석에 사용된 변수를 나타낸 것이다.

$$Y_{28} = aX' + b \quad (2)$$

여기서,

Y_{28} = 재령 28일에서의 압축강도

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

c = 감수율에 따른 영향계수

※ 경계조건,

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

$WRR = 0 \sim 16\%$

Fig. 11 및 Fig. 12는 식 (2)의 이론값에 OPC50 및 OPC30의 결과를 나타낸 것이다. Fig. 11 및 Fig. 12의 결과 감수제의 감수성능에 따른 강도 향상 효과는 나타낼 수 있었

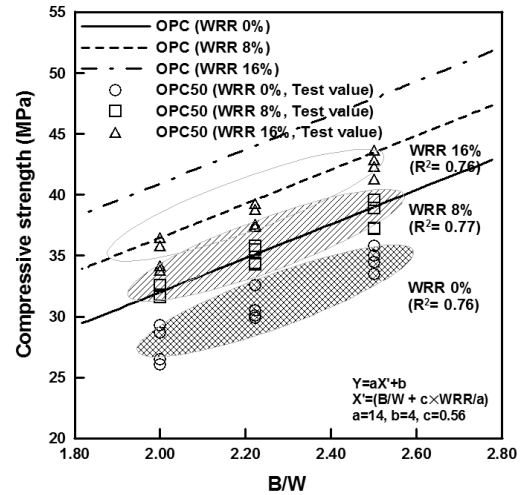


Fig. 11 Test value and theoretical value by relationship equation (OPC50, Eq. (2))

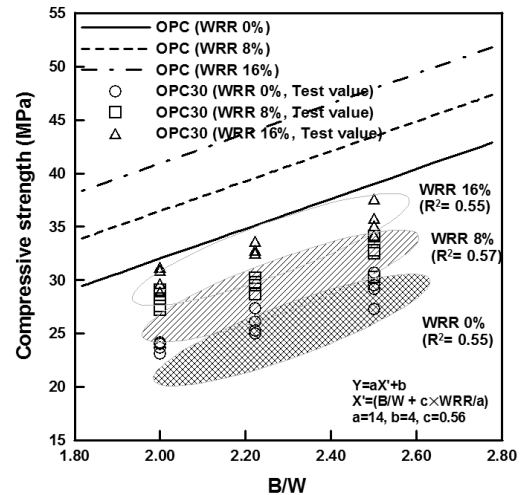


Fig. 12 Test value and theoretical value by relationship equation (OPC30, Eq. (2))

으나 혼화재 사용에 따른 영향이 반영되지 않아 식 (1)의 결과와 마찬가지로 상관성이 없는 것으로 나타났다.

따라서 감수제의 성능변화에 따른 영향과 함께 혼화재의 사용에 따른 영향을 동시에 고려가능 하도록 식 (2)를 수정한 것이 식 (3)이다.

식 (3)은 감수제의 성능변화의 영향과 함께 혼화재의 영향까지 함께 고려할 수 있는 관계식을 나타낸 것으로 식 (3)을 활용하기 위해서는 각 혼화재의 혼합률에 따른 영향계수 β_1, β_2 가 반드시 필요하다. 그러나 본 연구의 경우에는 FA 및 GGBFS를 혼합한 3성분계 배합의 한 가지 수준(OPC50+GGBFS30+FA20 및 OPC30+GGBFS50 +FA20)에 대해서만 검토하였으므로 혼화재 영향에 대한 계수를 계산할 수 없음에 따라 적용이 불가능하다. 따라서 이러한 경우에는 식 (3)을 활용하여 각 혼화재의 혼합률에 따른 영향계수를 하나의 단일 변수로 가정하여 혼화재 사용에 따른 변화량 Δ 로 변환한 식 (4)로 수정할 수 있다. Δ 는 상기 α 값을 계산한 방법과 동일한 방법으로 계산

할 수 있다. OPC50의 영향계수의 경우 -4.82, OPC30의 영향계수의 경우 -9.72인 것으로 계산되었으며, 이 상수 값을 적용하여 식 (4)에 적용한 결과를 나타낸 것이 Fig. 13 및 Fig. 14이다.

$$Y_{28} = aX' + b \quad (3)$$

여기서,

Y_{28} = 재령 28일 압축강도

X' =

$$B/W + \frac{\alpha \times WRR + \beta_1 \times ARR_1 + \beta_2 \times ARR_2}{a}$$

α = WRR에 따른 영향계수

β_1, β_2 = 각 혼화재 사용에 따른 영향계수

※ 경계조건,

B/W = User Define (%)

WRR (Water Reducing Ratio) = User Define (%)

ARR (Admixture Replacement Ratio) = User Define (%)

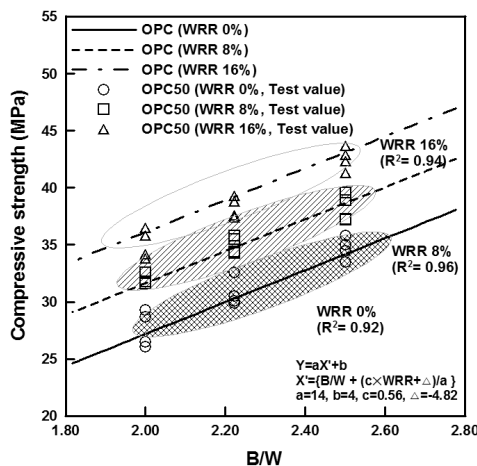


Fig. 13 Test value and theoretical value by relationship equation (OPC50, Eq. (4))

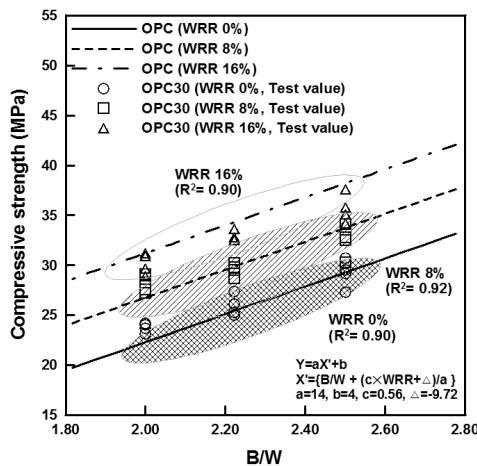


Fig. 14 Test value and theoretical value by relationship equation (OPC30, Eq. (4))

$$Y_{28} = aX' + b \quad (4)$$

여기서,

$$X' = B/W + \frac{\alpha \times WRR + \Delta}{a}$$

α = WRR에 따른 영향계수, Δ = 혼화재 사용에 따른 변화량

※ 경계조건,

B/W = 2.0 ~ 2.5 (W/B : 40~50%)

WRR(Water Reducing Ratio) = 0 ~ 16 %

Fig. 13 및 Fig. 14의 결과 식 (4)의 이론값에 OPC50의 압축강도 실험결과를 적용할 경우 WRR 0%, WRR 8% 및 WRR 16%의 결정계수는 0.92, 0.96 및 0.94로 나타났으며, OPC30의 압축강도 실험결과를 적용할 경우 0.90, 0.92 및 0.90으로 나타남에 따라 이론 값에 대하여 높은 상관성이 있는 것으로 나타났다. 이를 통하여 감수제의 성능변화에 따른 감수율 및 혼화재의 영향을 반영한 모델식을 통하여 W/B뿐만 아니라 감수율 및 두 가지 이상 혼합된 혼화재의 영향 등의 세 가지 요인을 고려함으로써 보다 정확한 강도 예측이 가능할 것으로 판단된다.

그러나 OPC를 기준으로 하지 않고, 혼화재의 혼합률에 따른 영향을 함께 고려하지 않을 경우에는 식 (2)를 활용하여 유추할 수 있다. OPC50 또는 OPC30을 각각의 단일 변수라고 가정하고 식 (2)를 적용하면 식 (3) 또는 식 (4)와 동등 수준의 결과를 얻을 수 있다. Table 9는 최소제곱법에 의하여 OPC, OPC50 및 OPC30의 각각의 상수 a, b를 계산한 결과를 나타낸 것이다. 식 (2)의 WRR 값을 감수율 만의 영향이 아닌 감수율의 영향과 혼화재의 영향을 하나의 인자로 간주하여 적용할 경우 Fig. 15 및 Fig. 16의 결과를 얻을 수 있다. Fig. 15 및 Fig. 16은 식 (2)의 이론값에 OPC50 및 OPC30을 나타낸 것이다. Fig. 15 및 Fig. 16의 결과 Fig. 13 및 Fig. 14의 결과와 유사한 수준의 결정계수 값을 얻을 수 있었다. 그러나 이 방법은 각 혼화재의 종류와 혼합률까지 함께 고려하는 것은 불가능하기 때문에 혼화재의 종류가 변경되거나 혼합률이 변하는 경우에는 OPC만을 사용한 일반 콘크리트를 기준으로 WRR의 영향과 각 혼화재의 각각의 영향계수를 구하여 적용하는 식 (3)의 방법이 더 효율적인 것으로 판단된다.

Table 9 The calculated constants a, b for Eq. (2)

Type		OPC	OPC50	OPC30
Constant	a	14.0	14	11
	b	4.0	-1	2
	α	0.56	0.56	0.56

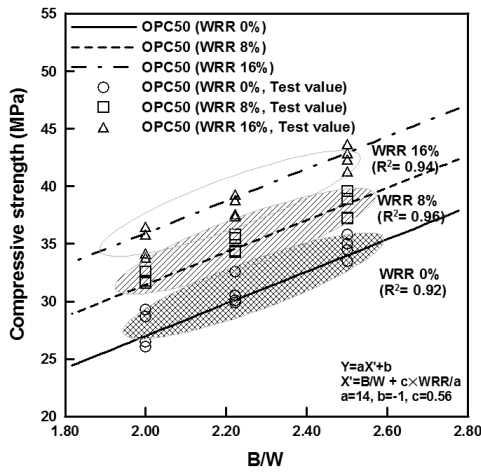


Fig. 15 Test value and theoretical value by relationship equation (OPC50, Eq. (2))

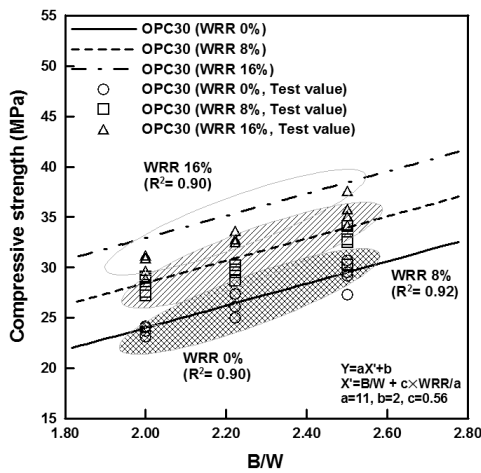


Fig. 16 Test value and theoretical value by relationship equation (OPC30, Eq. (2))

4. 결 론

본 논문에서는 콘크리트 배합에서 감수제의 감수 효율과 혼화제의 적용이 콘크리트 품질에 미치는 영향을 정량화하고 배합설계에 이를 반영하기 위한 방안을 제시하기 위하여 감수제의 감수 효율과 혼화제가 콘크리트의 물리적 특성에 미치는 영향을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 감수제의 감수 효율이 압축강도에 미치는 영향은 시멘트-물비율과 유사한 선형 비례관계를 가진다는 것을 확인할 수 있었으며, 물-시멘트비가 미치는 영향과 같은 경향이 나타남에 따라 콘크리트 배합설계시 감수제의 감수 효율에 따른 영향을 함께 고려하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.
- 2) 또한 2성분계 및 3성분계와 같은 다성분계 콘크리트 배합의 경우 각 혼화제의 사용에 따른 영향도 무시할 수 있는 수준이 아니므로 감수제의 감수 효율의 영향

과 함께 혼화제의 특성도 고려하여 배합설계를 실시한다면 최적의 배합설계를 도출하거나 과도한 배합설계의 저감, 이에 따른 경제성 확보에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

- 3) Lyse가 제창한 모델식을 활용하여 감수율 및 혼화제의 영향을 함께 고려할 수 있는 압축강도와 시멘트-물비 관계식을 수정 제안하였으며, 이를 활용한 결과 높은 상관관계를 갖는 것으로 나타나 보다 정확한 강도 예측이 가능한 것으로 나타났으나, 감수제의 경우 종류, 메커니즘 및 성분, 또한 혼화제를 달리할 경우 추가적인 검토가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설기술연구사업 방호·방폭 연구단(과제번호 : 13건설연구S02)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Min, C. S., Song, Y. W., Park, J. H., Jung, Y., Choi, H. K., and Park, M. Y., Evaluation on Mechanical Properties of concrete with Replacement of Blast-Furnace Slag and Fly-Ash, *Proceedings of Korea Concrete Institute*, Vol.26, No.1, 2014, pp.243-245.
2. Kim, J. K., Moon, Y. H., Uh, S. H., and Choi, E. K., The Effect of Different Curing Time and Temperature on Compressive Strength of Concrete, *Journal of Korea Concrete Institute*, Vol.10, No.3, 1998, pp.143-153.
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, p.5.
4. Park, Y. S., Nam, S. W., and Park, J. M., A Study on the Mix Design of Early Strength Concrete using Admixture, *Proceedings of Korea Concrete Institute*, Vol.17, No.1-2, 2005, pp.69-73.
5. Oh, B. H., and Um, J. H., Optimum Mix Design for the Production of High Quality Concrete, *Proceedings of Korea Concrete Institute*, Vol.3, No.4, 1991, pp.3-15.
6. Yoon, K. W., An Experimental Study on the Determination of Optimum Water Contents and the Ratio of Sand to Aggregate in Mix Design of Concrete, *Journal of Architectural Science Association*, Vol.3, No.1, 2001, pp.113-120.
7. Yoon, S. D., and Bae, S. h., Mix Design for Quality Improvement of In-Situ Concrete, *Journal of Korea Concrete Institute*, Vol.7, No.2, 1995, pp.23-37.
8. Choi, B. K., Polycarbonate-based acrylic polymer for concrete admixture, *News & Information for Chemical Engineers*, Vol.21, No.1, 2003, pp.74-77.
9. Kim, K. H., Oh, S. R., Choi, W., and Choi, Y. W., A Study

- on the Relationship between Compressive Strength and Water-Cement Ratio According to Water Reducing Ratio, *Journal of Korea Concrete Institute*, Vol.26, No.8, 2014, pp.591-598.
10. KS F 4009, (ready-mixed concrete), 2011.
 11. KCI, Concrete structural design criteria and commentary, 2009.
 12. JIS A 5308, 레ディー믹스트콘크리트, 2014.
 13. American Society for Testing and Materials, ASTM C 1610, Standard Test Method for Static Segregation of Self-Consolidating Concrete Using Column Technique, 2006.
 14. American Society for Testing and Materials, ASTM C 494 Standard Specification for Chemical Admixture for Concrete, 2013.
 15. Choi, J. J., and Moon, S. K., Comparison of the Concrete Mix Design Reference Tables Proposed by the ACI and KCI, *Proceedings of Korea Concrete Institute*, Vol.25, No.2, 2013, pp.157-158.

요 약 본 연구에서는 감수제의 감수 효율에 따른 다성분계 결합재를 사용한 콘크리트의 물리적 특성에 대한 영향을 평가하기 위하여 고성능 감수제의 종류 3수준(0%, 8% 및 16%) 및 물-결합재비 3수준(40%, 45% 및 50%)에 따른 플라이애시 및 고로슬래그 미분말을 사용한 다성분계 콘크리트 배합을 제조하였다. 또한, 신뢰성 확보를 위하여 콘크리트 배합은 3회 반복실험을 실시하였다. 실험결과, 감수제 종류에 따른 압축강도는 약 20% 이상의 압축강도 차이가 발생하였으며, 감수제의 감수 효율이 콘크리트의 품질에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 감수제의 감수 효율을 반영한 다성분계 콘크리트의 압축강도 예측 모델식을 도출하였으며, 90% 이상의 높은 상관성이 있는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 감수제, 감수 효율, 다성분계, 콘크리트, 물리적 특성