

화학 혼화제의 감수 성능에 따른 2성분계 콘크리트의 품질특성 및 압축강도 추정식에 관한 기초적 연구

김경환¹, 오성록², 최병걸³, 최연왕^{4*}

The Fundamental Study on Quality Properties of Binary Blended Concrete according to Water Reducing Performance of Chemical Admixture and Estimation Equation of Compressive Strength

Kyung-Hwan Kim¹, Sung-Rok Oh², Byung-Keol Choi³, Yun-Wang Choi^{4*}

Abstract: In this study, binary blended concrete mix with fly ash and ground granulated blast furnace slag was prepared according to 3 level of water reduction performance of chemical admixture (0%, 8% and 16%) and 3 level of water-cement ratio (40%, 45% and 50%) for evaluation of quality properties of binary blended concrete according to performance of chemical admixture. concrete mix was carried out repetition test of three times in order to secure the reliability. As a result, compressive strength according to performance of chemical admixture was found that difference of strength was about 20% occurred, chemical admixture was showed that a great influence on qualities of concrete. In addition, reflected the effect of performance of chemical admixture, prediction model equations for concrete compressive strength was proposed, it was found that more than 85% of the high correlation.

Keywords: Cemical admixture, Water reducing performance, Binary blended, Concrete, Quality properties

1. 서 론

건설산업에서 콘크리트는 성형성 및 경제성이 우수한 구조 재료이기 때문에 현재까지 그 수요가 증가하고 있는 실정이며, 콘크리트를 대체할 수 있는 구조재료가 개발 되지 않는 이상 지속적인 수요급증이 예측된다.¹⁾

그러나 최근 콘크리트의 품질은 시멘트 및 골재 등 천연 재료의 과다 소모로 인하여 산업부산물 및 대체골재를 대체재로써 활용하고 있으며, 대체재 사용에 따른 품질저하를 저감할 수 있는 다수의 연구가 관련 단체 및 업계에서 수행되고 있다. 또한 대체재료의 활용뿐만 아니라 소비자의 소요 요구조건이 다양화되면서 콘크리트의 품질관리에 대한 기술력 또한 다양해지고 있는 실정이다.²⁾

이러한 콘크리트의 품질관리에 있어서는 콘크리트를 구성

하고 있는 구성요소 등 여러 가지 요소가 있지만 그중에서도 현재에는 대부분 화학 혼화제를 사용하여 콘크리트 품질을 제어하고 있다.³⁾ 콘크리트용 화학 혼화제는 종류 및 성능에 따라 다양하게 분류할 수 있으며, 대표적으로 공기 연행제 및 감수제가 있다. 특히, 감수제의 경우에는 매커니즘 및 성분 따라 시대별로 리그닌계, 나프탈렌계, 멜라민계가 있으며, 최근에는 4세대인 폴리카본산계가 고성능 감수제로써 활용되어지고 있다.

감수제는 일반적으로 콘크리트의 경화된 특성이 아닌 굳지 않은 품질에만 영향을 미치는 것으로 알려져 있기 때문에 감수제 관련 연구 동향 및 사례를 살펴보면 대부분 콘크리트의 경화 전의 작업성 및 성형성에 대한 영향에 국한되어 수행되어왔다. 그러나 콘크리트용 화학 혼화제의 사용에 따른 실제 배합은 현장여건을 고려하더라도 화학 혼화제의 성능에 따라 최소 약 10% 이상의 상당한 강도 차이가 발생되고 있기 때문에 단순히, 콘크리트의 경화 전 특성에 미치는 영향 외에도 역학 및 내구성과 같은 경화 후 품질에도 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다.⁴⁾ 즉, 동일한 물-시멘트비 및 동일한 재료를 사용하는 경우에도 콘크리트 제조시 어느 정도의 감수 성능을 가진 화학 혼화제를 적용 하였는지에 따라 압축강도의 차이가

¹정회원, ㈜에이치비티 대표이사

²정회원, 세명대학교 건설공학과 박사수료

³정회원, 세명대학교 건설공학과 박사수료

⁴정회원, 세명대학교 토목공학과 교수, 교신저자

*Corresponding author: crete77@semyung.ac.kr

•본 논문에 대한 토의를 2016년 2월 1일까지 학회로 보내주시면 2016년 3월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

나타나고 있기 때문에 실제로 과도한 배합설계가 이루어지고 있는 실정이다.

또한 KS, JIS 및 ASTM 등의 화학 혼화제 관련 규격의 경우에도 화학 혼화제 자체의 물리·화학적 특성과 굳지않은 콘크리트에 대하여 평가하고 있으며, 유사시 수화가 완전히 이루어지기 전인 초기 강도에 대한 영향만을 고려하고 있기 때문에 화학 혼화제와 관련하여 경화 후 품질에 대한 연구 및 검토는 미흡한 실정이다.^{4,8)}

한편, 최근 콘크리트 배합은 천연소재의 고갈에 따른 원인의 예도 친환경성 등을 강조되는 정책 등이 시행됨에 따라 산업 부산물인 플라이애시나 고로슬래그 미분말과 같은 혼화제가 함께 사용된 콘크리트 배합이 많은 경우에서 적용되고 있으므로 혼화제가 콘크리트 품질에 미치는 영향과 함께 화학 혼화제 사용에 따른 영향을 검토할 필요가 있다. 그러나 종래의 연구결과를 살펴보면 대부분 혼화제 사용에 따른 영향에 대하여 품질변화의 검토만이 이루어지고 있기 때문에 이에 대한 영향을 D/B화하고 배합설계 단계에서 쉽게 고려할 수 있는 방안은 제시되어 있지 않으며, 대부분 경험에 따른 자체 품질관리가 수행되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 콘크리트 배합에서 화학 혼화제의 성능이 콘크리트 품질에 미치는 영향과 함께 혼화제 사용에 따른 품질변화를 검토하기 위하여 플라이애시 및 고로슬래그 미분말을 사용한 2성분계 콘크리트를 제조하여 화학 혼화제의 감수 성능 및 혼화제 사용에 따른 영향을 검토하였다.

또한, 화학 혼화제의 감수 성능과 혼화제 사용에 따른 영향을 종래의 압축강도 추정식에 반영할 수 있도록 Lyse가 제창한 종래의 압축강도 추정식을 고찰하였으며, 화학 혼화제의 감수 성능과 혼화제 사용에 따른 영향을 반영하기 위한 방법론을 제시하고자 한다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

2.1.1 결합제 및 골재

본 연구에서 사용된 결합제는 밀도 3.15 g/cm³의 국내A사 보통포틀랜드시멘트(이하, OPC로 약함), 밀도 2.30 g/cm³의 플라이애시(이하, FA로 약함) 및 밀도 2.80 g/cm³의 고로슬래그 미분말(이하, GGBFS.으로 약함)을 사용하였으며, 잔골재의 경우 밀도 2.56 g/cm³의 강사(이하 S로 약함)를 사용하였다. 굵은 골재는 최대치수 25 mm인 밀도 2.64 g/cm³의 부순골재를 사용하였다.

Table 1은 실험에 사용된 결합제의 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 기반 고성능 감수제(이하 SP로 약함)를 사용하였으며, 감수제의 성능에 따른 검토를 위하여 감수 성능을 달리한 두가지 수준(고형분 13% 및 20%, 이하, SP_1 및 SP_2로 약함)의 적합한 SP를 제조하였다. 또한 공기량 조절을 위하여 동일사에서 제조된 양질의 공기연행제(이하, AE제로 약함)를 사용하였다. Table 3은 사용된 화학 혼화제의 물리적 특성 및 고형

Table 3 Physical properties of chemical admixture

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

Table 1 Chemical and physical properties of Binder

Types	Items	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

Types	Items	Gmax(mm)	Density(g/cm ³)	Absorption(%)	F.M.	Organic Impurities	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

분량을 나타낸 것이다.

2.2 실험계획

2.2.1 실험변수 및 배합설계

본연구에서는 화학 혼화제의 성능이 콘크리트의 품질특성에 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, FA 20%, GGBFS 50%)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, 이에 따라 결정된 단위수량(이하 W로 약함)과 굵은 골재량에 각각의 W/B를 적용하여 배합을 결정하였다. 또한 W/B에 따른 배합은 물량 일정설과 공극

설을 근거로 단위수량과 굵은 골재량을 고정하였다.⁹⁾

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 않는 것이 타당한 것으로 판단되었기 때문에 감수제를 적용하지 않은 0% 콘크리트 배합의 경우 AE제만을 사용하였으며, 이를 기준으로 하여 각 8%, 16%의 감수할 수 있는 SP_1 및 SP_2를 적용한 콘크리트 배합을 제조하였다. Table 5는 실험에 사용된 콘크리트 배합표를 나타낸 것이다.

Table 4 Application method of chemical admixture

Types of mix	Water Reducing Ratio(WRR, %)		
	0	8	16
Application Method of chemical admixture	AE	AE+SP_1	AE+SP_2

Table 5 Mix design

Type (Water Reduction Ratio(%))	W/B (%)	S/a (%)	W	Unit mass(kg/m ³)					Chemical admixture(B × %)		
				OPC	FA	GGBFS	S	G	AE	SP_1	SP_2
OPC (0)	40	39.2		435			647	1,003			
	45	40.6	174	387			687	1,003	0.024	-	-
	50	41.7		348			718	1,003			
OPC (8)	40	41.5		400			712	1,003			
	45	42.7	160	356	-	-	748	1,003	0.020	0.7	-
	50	43.6		320			777	1,003			
OPC (16)	40	43.6		365			776	1,003			
	45	44.6	146	324			809	1,003	0.015	-	0.9
	50	45.4		292			835	1,003			
FA20 (0)	40	38.2		348	87		621	1,003			
	45	39.8	174	309	77		663	1,003	0.050	-	-
	50	41		278	70		697	1,003			
FA20 (8)	40	40.7		320	80		688	1,003			
	45	42	160	284	71	-	726	1,003	0.045	0.7	-
	50	43		256	64		757	1,003			
FA20 (16)	40	43.8		292	73		753	1,003			
	45	44.9	146	260	65		789	1,003	0.025	-	0.9
	50	45.7		234	58		817	1,003			
GGBFS50 (0)	40	37.8		218		218	609	1,003			
	45	39.4	174	193		193	651	1,003	0.021	-	-
	50	40.6		174		174	685	1,003			
GGBFS50 (8)	40	41		200		200	698	1,003			
	45	42.3	160	178	-	178	735	1,003	0.016	0.7	-
	50	43.3		160		160	766	1,003			
GGBFS50 (16)	40	44.1		183		183	744	1,003			
	45	45.1	146	162		162	780	1,003	0.010	-	0.9
	50	45.9		146		146	810	1,003			

2.3 실험방법

2.3.1 슬럼프 및 공기량

본 연구에서 제조된 모든 콘크리트 배합의 목표 슬럼프 및 공기량은 180 ± 25 mm 및 $4.5 \pm 1.5\%$ 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 $\varnothing 100 \times 200$ 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 혼화제의 각각의 특성에 대한 영향, 즉, 조기강도 저감 등 이에 대해서는 배제하고 재령 28일 압축강도를 기준으로 분석을 수행하였다.

2.3.3 탄산화 저항성

콘크리트의 내구성에 영향을 미치는 영향은 다양하지만 본 연구에서는 열화인자 중에서 대표적으로 탄산화 저항성에 대하여 평가를 수행하였다. 탄산화 저항성 시험은 KS F 2584에 준하여 콘크리트 시편의 탄산화를 촉진하여 탄산화 깊이를 측정하였다.

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 반복 실험을 실시하였다. 따라서 슬럼프 및 공기량이 압축강도 시험 결과에 영향을 미치지 않도록 하여 오차를 최소화하였다.

3.2 압축강도

3.2.1 W/B에 따른 압축강도

Fig. 1, Fig. 2 및 Fig. 3은 일반 콘크리트와 FA 및 GGBFS를 사용한 2성분계 콘크리트의 W/B에 따른 재령 28일 압축강도의 관계를 나타낸 것이다. Fig. 1의 결과 감수율이 적용되지 않은 WRR 0%에 대한 OPC만을 사용한 일반 콘크리트 및 FA를 사용한 2성분계 콘크리트의 W/B 40%, 45%, 50%의 압축강도는 38 MPa, 37 MPa, 34 MPa 및 33 MPa, 30 MPa, 28 MPa로

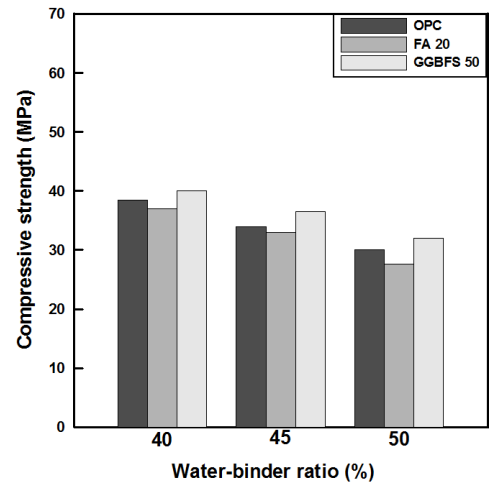


Fig. 1 Compressive strength according to W/B(Water Reducing ratio 0%, Non)

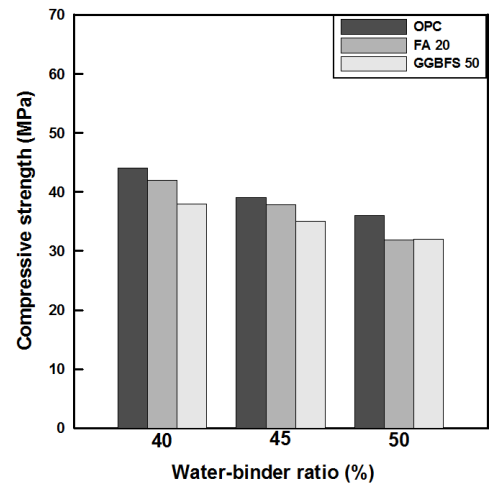


Fig. 2 Compressive strength according to W/B(Water Reducing ratio 8%, SP_1)

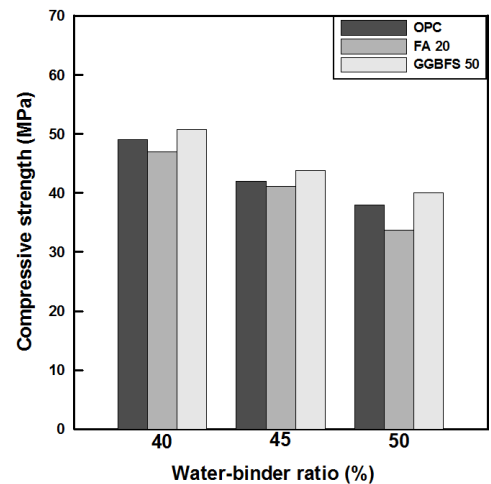


Fig. 3 Compressive strength according to W/B(Water Reducing ratio 16%, SP_2)

FA를 사용한 2성분계 콘크리트와 비교하여 약 1~4% 감소, W/B 5% 증가에 따라 약 11% 감소하는 경향이 나타났으며, GGBFS의 경우 37 MPa, 30 MPa, 32 MPa로 GGBFS를 사용한 2성분계 콘크리트의 압축강도는 OPC만을 사용한 일반 콘크리트와 비교하여 약 4~11% 증가, W/B 5% 증가에 따라 약 10% 감소하는 경향이 나타났다. 또한, Fig. 2 및 Fig. 3의 결과의 경우에도 감수율 8% 및 감수율 16%가 적용된 배합의 압축강도는 Fig. 1의 결과와 동일한 수준으로 W/B 증가에 따라 압축강도가 감소하는 종래의 W/C이론에 부합되는 결과인 것으로 판단된다.¹⁰⁾

3.2.2 화학 혼화제 성능에 따른 압축강도

Fig. 4, Fig 5 및 Fig. 6은 OPC만을 사용한 일반 콘크리트와 FA 및 GGBFS를 사용한 2성분계 콘크리트의 화학 혼화제의

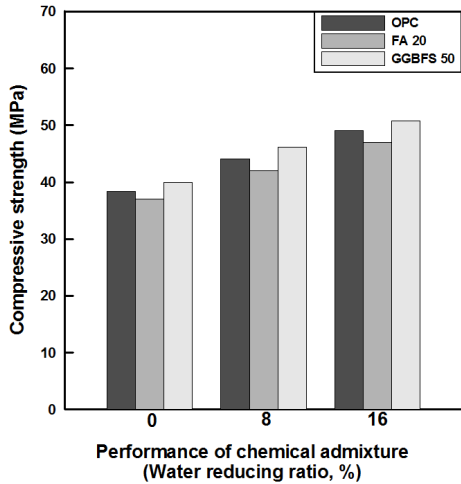


Fig. 4 Compressive strength according to chemical admixture(W/B 40%)

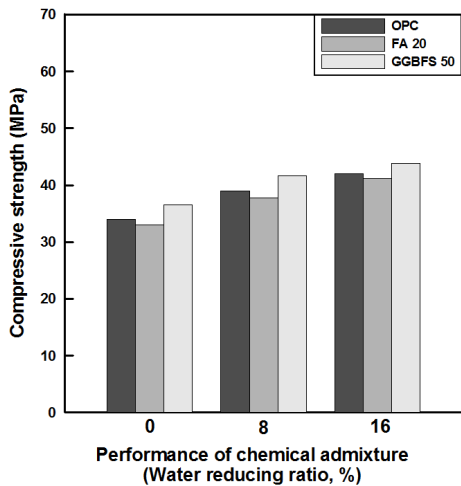


Fig. 5 Compressive strength according to chemical admixture(W/B 45%)

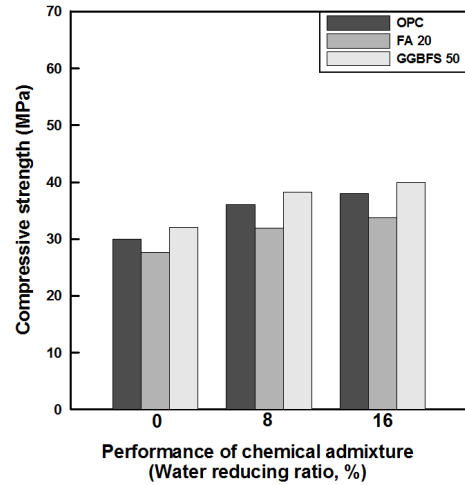


Fig. 6 Compressive strength according to chemical admixture(W/B 50%)

성능에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. Fig. 4의 결과 W/B 40%에 대하여 각각의 감수 성능이 다른 감수제가 적용된 OPC와 FA 및 GGBFS를 사용한 2성분계 콘크리트의 WRR 0% WRR 8% 및 WRR 16%의 압축강도는 38 MPa, 37 MPa, 44 MPa 과 42 MPa, 49 MPa, 47 MPa 및 46 MPa, 49 MPa, 51 MPa로 각각의 배합은 WRR 0%를 기준으로 WRR 8% 증가에 따라 약 10~15% 증가하는 경향이 나타났으며, Fig. 5 및 Fig. 6의 결과에서도 동일한 경향으로 나타났다. 본 연구 결과를 종합하면 WRR 0%의 배합의 WRR 16%를 적용할 경우 압축강도는 약 20% 이상 차이가 나타나며, 혼화제 사용에 따라 그 차이는 상이하게 된다. 이러한 결과는 일반 콘크리트와 동일한 결과로 동일한 W/B 및 재료를 사용한 배합인 경우라도 WRR의 정도에 따라 약 20% 이상의 압축강도 차이가 나타나게 되어 기존 W/C 이론과는 상충되며, 설계기준과는 과도한 배합 설계의 결과가 초래되므로 감수율에 대한 고려는 필요한 것으로 판단된다.⁴⁾

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 감수율에 따른 압축강도 측정결과를 분산분석을 수행하여 유의수준(P)을 검증하였다.

Fig. 7 및 Fig. 8은 분석에 사용된 OPC, FA 및 GGBFS를 사용한 일반 콘크리트와 2성분계 콘크리트의 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/B 및 감수율에 대한 재령 28일 압축강도의 2원 분산분석을 실시한 결과를 나타낸 것이다. Table 6의

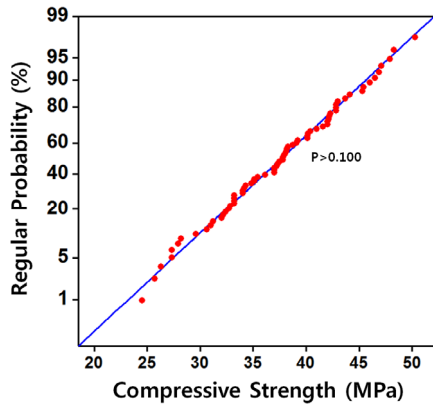


Fig. 7 Regular probability of test result(OPC, FA20)

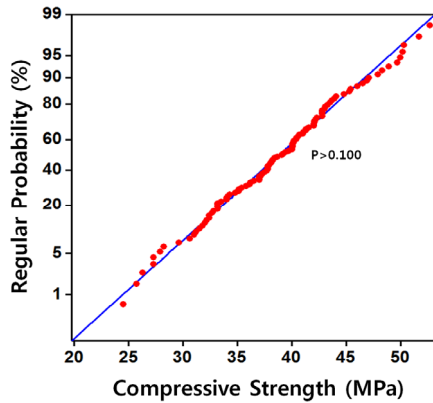


Fig. 8 Regular probability of test result(OPC, GGBFS50)

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/B (A)	2	730.40	365.200	321.37	.000
WRR* (B)	2	375.68	187.841	165.30	.000
FA					
A×B	4	15.96	3.991	3.51	.020
Error	27	30.68	1.136	-	-
Corrected Total	35	1152.73	-	-	-
GG					
W/B (A)	2	465.32	232.659	65.45	.000
WRR* (B)	2	450.78	225.388	63.41	.000
A×B	4	13.66	3.414	0.96	.445
Error	27	95.97	3.555	-	-
Corrected Total	35	1025.72	-	-	-

* WRR : Water Reducing Ratio

** df : Degree of freedom

결과 W/B(A)와 감수율(B)에 따른 재철 28일 압축강도의 유

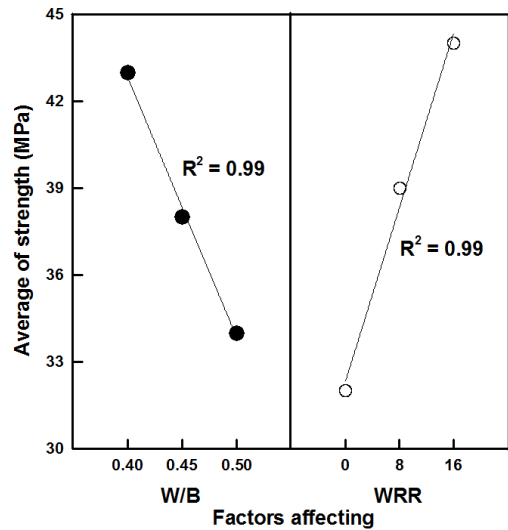


Fig. 9 Main effect curves of test results(Total)

의수준이 모두 0.000으로 $P < 0.05$ 수준에 매우 유의한 것으로 분석되어 W/B 및 화학 혼화제에 따른 감수율이 압축강도에 영향을 미치는 것은 분명한 것으로 나타났다.

Fig. 9는 W/B 및 감수율이 각각 압축강도에 미치는 영향에 대한 주효과도를 나타낸 것으로 화학 혼화제의 감수성능에 따른 영향의 경우에도 W/B에 의한 영향과 동등한 수준으로 크게 영향을 미치고 있는 것으로 나타나기 때문에 감수성능에 의한 압축강도 변화는 무시할 수 없는 것으로 판단되며, 배합설계시 이를 함께 고려하여 반영하는 것이 정확한 강도 예측, 품질관리 및 경제적인 배합설계를 위하여 필요할 것으로 판단된다.

3.3 탄산화 저항성

3.3.1 압축강도와 내구성과의 관계

콘크리트의 압축강도와 내구성은 환경적 특이 조건을 배제할 경우 선형 비례관계에 놓여있다. 압축강도가 클 경우에는 내부 공극이 치밀해지는 것이기 때문에 이에 따른 내구성도 향상되는 것이 일반적이다.¹¹⁾ 따라서 본 논문에서는 검토의 일환으로 다양한 조건에서의 열화인자 중 탄산화 저항성 평가를 수행하였다. Fig. 10은 OPC, FA 및 GGBFS를 사용한 2 성분계 콘크리트의 WRR과 탄산화 깊이의 관계를 나타낸 것이다. Fig. 10의 결과 W/B 45%에 대하여 각각의 화학 혼화제의 성능이 적용된 WRR 0%, WRR 8% 및 WRR 16%의 26주 경과 탄산화 깊이는 FA를 사용한 2 성분계 콘크리트의 경우 WRR 8% 증가에 따라 약 2.5% 감소하며, GGBFS를 사용한 2 성분계 콘크리트의 경우 약 5.7% 감소하는 것으로 나타났다.

이러한 결과는 앞절에서 언급한 바와 같이 일정한 슬럼프 및 공기량의 범위 내에서 동일한 W/B를 가지는 경우 WRR의

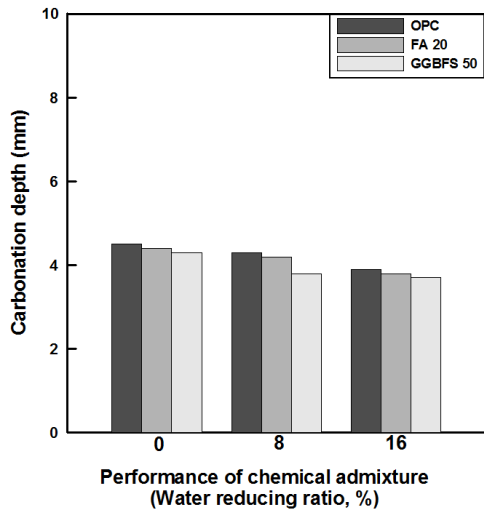


Fig. 10 Carbonation depth according to water reducing ratio of chemical admixture

수준에 따라 시멘트 효율 및 압축강도의 증가로 내부구조가 치밀해진 것에 기인한 것으로 판단되며, 각 혼화제에 특성에 따라 실험결과가 나타난 것으로 판단된다 따라서 최근 적용되는 대부분의 콘크리트 배합에는 화학 혼화제가 사용되기 때문에 특히, 감수제의 경우 동일한 W/B, 슬럼프 및 공기량을 확보하더라도 감수제의 고형분 또는 사용량에 따라 감수능력이 달라지게 되므로 이에 대하여 고려할 필요가 있는 것으로 판단된다.

3.4 압축강도 추정식

FA20 및 GGBFS50에 대한 콘크리트의 B/W와 재령 28일 압축강도 관계를 Lyse가 제창한 식 (1)을 이용하여 나타낸 것이 Fig. 11 및 Fig. 12이다. 상수 a 및 b값은 OPC를 사용한 일반 콘크리트를 Plain으로 하였으며, 최소제곱법을 활용하여 상수값 a 및 b를 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

Fig. 11 및 Fig. 12의 결과 Plain인 WRR 0%의 이론 값(회귀 곡선)을 기준으로 FA20의 WRR 0%, WRR 8% 및 WRR 16%의 결정계수는 0.88, 0.84 및 0.65로 나타났으며, WRR 0%의 경우에만 근사값을 나타내고 WRR 8% 및 WRR 16%에 대해서는 압축강도를 낮게 평가되는 것으로 나타났다. 또한

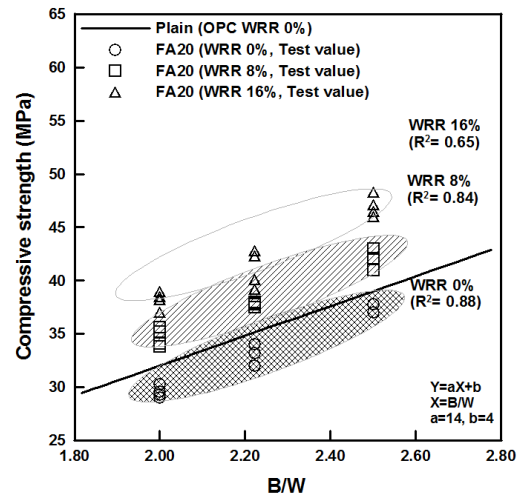


Fig. 11 Low data and estimates value of compressive strength by experience eq. (FA20, 28 days)

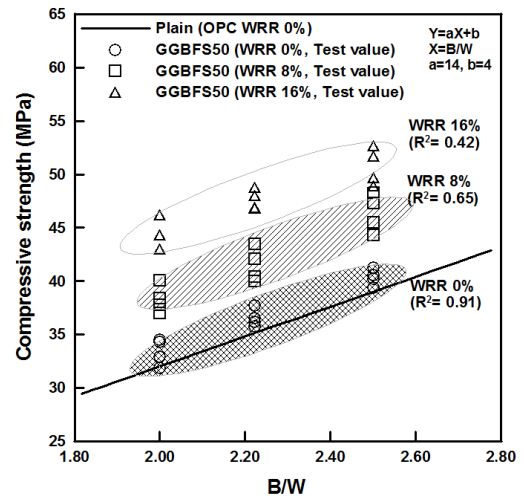


Fig. 12 Low data and estimates value of compressive strength by experience eq. (GGBFS50, 28 days)

GGBFS50의 결과에서도 결정계수가 0.42, 0.65 및 0.91으로 나타났으며, FA20의 결과와 동일하게 압축강도를 낮게 평가되는 것으로 나타나, 종래의 경험식만으로는 감수제 성능에 따른 영향 및 혼화제 사용에 따른 영향을 고려하거나 표현할 수 없는 것으로 나타났다. 따라서 화학 혼화제의 감수성능에 따른 압축강도 및 혼화제에 따른 영향을 반영할 수 있도록 Lyse가 제창한 압축강도와 C/W 관계식 (1)을 식 (2)로 수정하였다. 식 (2)는 WRR의 영향 및 혼화제의 영향을 고려할 수 있도록 수정한 관계식으로 식 (2)를 활용하기 위해서는 각각의 영향계수 α 및 β 가 반드시 필요하다. 본 연구의 경우 α 는 다중회귀분석을 통하여 0.56으로 계산되었다.

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

$$\text{여기서, } X' = B/W + \frac{\alpha \times WRR + \beta \times ARR}{a}$$

α = WRR에 따른 영향계수

β = 혼화제 사용에 따른 영향계수

※ 경계조건,

B/W = User Define(%)

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

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

그러나 β 값의 경우에는 본 연구에서 2성분계 콘크리트의 한 가지 수준(FA20 및 GGBFS50)에 대해서만 검토하였으므로 각각의 혼화제 영향에 대한 영향계수를 구해낼 수 없음을 따라 적용이 불가능하다. 따라서 이러한 경우에는 식 (2)를 식 (3)의 식으로 다시 정리할 수 있다. 식 (3)은 식 (2)에서 혼화제의 따른 영향계수와 혼합률의 곱으로 표현되는 항인 β 및 ARR에 대하여 혼합률에 관계없이 단일 변수로 보기 위하여 Δ 로 수정한 것이다. 상기 Δ 값은 α 값과 동일하게 다중회귀 분석을 통하여 계산하며, FA를 사용한 2성분계 콘크리트의 경우 -1.45, GGBFS를 사용한 2성분계 콘크리트의 경우 2.23 인 것으로 나타났다.

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

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

α = WRR에 따른 영향계수

Δ = 혼화제 사용에 따른 변화량

※ 경계조건,

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

WRR(Water Reducing Ratio) = 0 ~ 16%

이 상수 값을 적용하여 나타낸 것이 Fig. 13 및 Fig. 14이다. Fig. 13의 결과 혼화제의 영향을 반영한 수정 관계식의 이론 값(회귀곡선)을 기준으로 FA를 사용한 2성분계 콘크리트의 WRR 0%, WRR 8% 및 WRR 16%의 경우 결정계수가 0.95, 0.96 및 0.93으로 나타났으며, Fig. 14의 결과 수정 관계식의 이론 값(회귀곡선)을 기준으로 GGBFS를 사용한 2성분계 콘크리트의 WRR 0%, WRR 8% 및 WRR 16%의 경우 결정계수가 0.93, 0.93 및 0.93으로 나타남에 따라 높은 상관성을 가지며, 감수율에 따른 영향 및 혼화제 사용에 따른 영향을 모두 표현이 가능한 것으로 나타났다. 이에 따라 WRR 및 혼화제의 영향을 반영한 수정 관계식을 통하여 W/B, WRR 및 혼화제

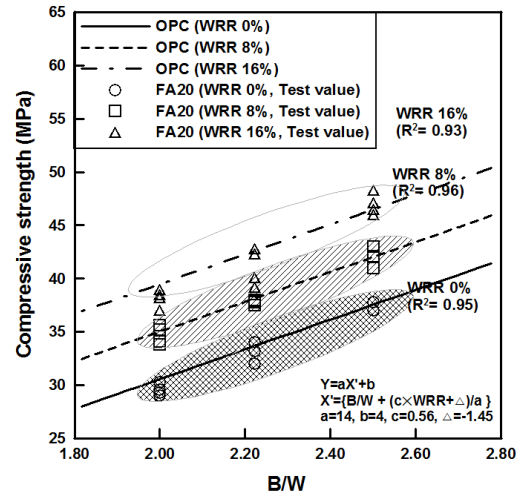


Fig. 13 Model Eq. of compressive strength with influence of mineral and chemical admixture(FA20, 28 days)

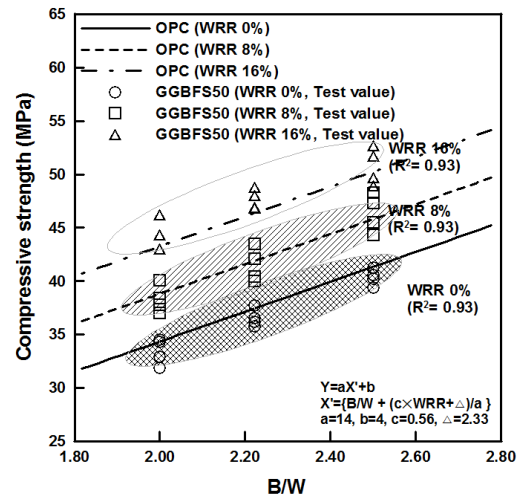


Fig. 14 Model Eq. of compressive strength with influence of mineral and chemical admixture(GGBFS50, 28 days)

영향 등의 세 가지 요인을 고려하여 보다 정확한 강도예측 및 과도한 배합설계 저감이 가능할 것으로 판단되며, 콘크리트 품질관리를 위한 D/B 정리 및 확보에 활용 가능할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 콘크리트 배합에서 화학 혼화제의 성능이 콘크리트 품질에 미치는 영향과 함께 혼화제 사용에 따른 품질변화 및 종래의 압축강도 추정식을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 동일한 W/B 및 재료를 사용한 배합인 경우라도 화학 혼화제의 감수성능에 따라 약 20% 이상의 압축강도 차이가 발생하여, 과도한 배합설계의 결과가 초래되므로 화학 혼화제의 감수성능에 대한 영향을 함께 고려할 필요가 있는 것으로 판단된다.
- 2) 화학 혼화제의 감수성능과 혼화제의 영향을 반영할 수 있는 압축강도 추정식의 활용방안을 제안하였으며, 수정 식을 통하여 보다 정확한 강도 예측이 가능한 것으로 판단된다.
- 3) 화학 혼화제의 영향계수뿐만 아니라 사용되는 혼화제의 종류, 산지, 혼합률 등의 영향계수까지 고려하여 적용할 경우 콘크리트 품질관리 및 경제적인 배합설계를 달성하는데 효과적으로 활용 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2014학년도 세명대학교 교내학술연구비 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. 이에 감사드립니다.

References

1. American Society for Testing and Materials (2013), ASTM C 494 Standard Specification for Chemical Admixture for Concrete, American Society for Testing and Materials, 1-10. (in U.S.A)
2. Choi, J. J., and Moon, S. K. (2013), "Comparison of the Concrete Mix Design Reference Tables Proposed by the ACI and KCI", *Proceedings of Korea Concrete Institute*, 25(2), 157-158. (in Korea)
3. Im, N. J., and Jung, S. J. (1999), "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(6), 87-94. (in Korea)
4. Japanese Industrial Standards (2014), JIS A 5308 Ready Mixed Concrete, Japanese Industrial Standards, 1-1. (in Japan)
5. Jo, J. H. (2015), "A Study on the Quality Properties of Multi Component Blended High Fluidity Concrete with CO₂Reduction", Master's Thesis of Semyung University. (in Korea)
6. Kim, S. J. (2012), "Application Technology of Chemical Admixture for the Implementation of a Sustainable Society", *Proceedings of the Korea Institute of Building Construction*, Vol. 12(2), 5-5. (in Korea)
7. Kim, K. H., Oh, S. R., Choi, W., and Choi, Y. W. (2014), "A Study on the Relationship between Compressive Strength and Water-Cement Ratio According to Water Reducing Ratio", *Journal of Korea Concrete Institute*, 26(5), 591-598. (in Korea)
8. Korea Industrial Standards (2010), KS F 4009 Ready-Mixed Concrete, Korea Industrial Standards, 24-45. (in Korea)
9. Korea Concrete Institute (2009), Korea Concrete Standard Specification, Korea Concrete Institute, 3-50. (in Korea)
10. Korea Concrete Institute (2009), Concrete Structural Design Criteria and Commentary, Korea Concrete Institute, 20-43. (in Korea)
11. Na, S. H. (2010), "Effect of Superplasticizer on the Early Hydration Ordinary Potland cement", Master's Thesis of Kangwon National University. (in Korea)
12. Park, Y. S., Nam, S. W., and Park, J. M. (2005), "A Study on the Mix Design of Early Strength Concrete using Admixture", *Proceedings of Korea Concrete Institute*, 17(1-2), 69-73. (in Korea)

Received : 03/24/2015

Revised : 04/29/2015

Accepted : 12/21/2015

요 지 : 본 연구에서는 화학 혼화제 성능에 따른 2성분계 콘크리트의 품질특성을 평가하기 위하여 화학 혼화제의 감수 성능 3수준(0%, 8% 및 16%) 및 물-시멘트비 3수준(40%, 45% 및 50%)에 따른 플라이애시 및 고로슬래그 미분말을 사용한 2성분계 콘크리트 배합을 제조하였다. 신뢰성 확보를 위하여 콘크리트 배합은 3회 반복실험을 실시하였다. 실험결과, 화학 혼화제 성능에 따른 압축강도는 약 20% 이상의 압축강도 차이가 발생하였으며, 화학 혼화제의 성능이 콘크리트 품질에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 화학 혼화제의 성능의 영향을 반영한 압축강도 예측 모델식을 도출하였으며, 85% 이상의 높은 상관성이 있는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 화학 혼화제, 성능, 2성분계, 콘크리트, 품질특성
