

광물질 혼화재 다량 치환에 따른 콘크리트의 배합 조정 범위 선정

The Mixing Control Range Selection of Concrete according to High Volume Mineral Admixture Replacement

양 성 환^{1*}

윤 기 원²

허 갑 수³

Yang, Seong-Hwan^{1*}

Yoon, Gi-Won²

Hur, Kab-Soo³

Incheon National University, 12-1 Songdo-dong Yeonsu-gu, Incheon, Korea¹

AJU Corporation, Seo-Gu, Inchon, 404-812, Korea²

Research Institute, Kukdong Engineering & Construction Co., Ltd, 60-1, Chungmuro 3-Ga, Chung-Gu, Seoul 100-705, Korea³

Abstract

In this study, the adjustment range of mixture factor with replacement mineral admixture was reviewed to secure the mixture change data of high volume concrete compared to general concrete. When changing the concrete mix to high volume concrete within the universal concrete mixing, the adjustment range of mixture to ensure optimum quality is as follows. Unit-water content is 20~30kg/m³ downward. Fine aggregate ratio dropped by approximately 1% when W/B was reduced by 5%, and it is reduced by approximately 0.12% when there is a 5% increase in the total replacement rate. When the FA replacement rate was increased by 5%, the AE agent was approximately 20% to 30% higher compared with the conventional one. When the FA and BS replacement rate rose by 5%, W/B was reduced by about 1 to 4%.

Keywords : high volume, mineral admixture, mix design adjustment

1. 서 론

최근 국가적으로 CO₂의 발생량을 저감하는 방안에 대하여 큰 관심을 기울이고 있으며, 그에 따라 모든 업종에서도 CO₂ 발생량을 감소시키기 위한 다양한 방안을 강구하고 있다[1].

특히, 건설업종의 경우 전체 산업 CO₂ 발생량의 40%를 차지하는 것으로 추정되고 있으며, 건설구조재의 대부분을 차지하고 있는 콘크리트의 재료 중 시멘트는 전 세계 CO₂ 발생량

의 7~8% 정도를 차지하고 있는 것으로 알려져 있다[2].

따라서, 콘크리트의 CO₂ 발생량을 저감하기 위해 다량의 광물질 혼화재(플라이애시, 고로슬래그 미분말 등)를 치환하여 시멘트의 사용량을 감소하는 방안의 연구가 활발히 진행되고 있으며, 광물질 혼화재의 다량 사용에 따른 콘크리트의 조기강도 저하 등의 문제점을 해결하기 위해 화학적·물리적 방안으로 반응성을 향상시키기 위한 자극제 및 미립분 등을 첨가하는 방안이나 배합적 접근 방안으로 적정 단위 결합재량 등을 산정하는 방안들의 연구[3,4]가 진행되어 왔다.

하지만, 혼화재 다량 치환 콘크리트의 초기 물성 및 조기 강도 확보를 위해 자극제 등의 첨가는 경제성 및 생산 효율성 면에서 현장에서의 사용이 쉽지 않은 실정이고, 무엇보다 실무에서는 배합 조정을 경험적인 부분에 의존하거나 새로운 배합설계를 실시하는 경우가 있어 실무에서 보다 쉽게

Received : January 25, 2013

Revision received : March 25, 2013

Accepted : April 19, 2013

* Corresponding author : Yang, Seong-Hwan

[Tel: 82-32-760-8736, E-mail: shyang@incheon.ac.kr]

©2013 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

광물질 혼화제의 치환에 적절한 배합조정을 실시하기 위한 배합적 요인(W/B, S/a, 단위수량, 혼화제 사용율 등)에 대한 변동 범위의 데이터 확보가 미비한 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 현장에서 사용빈도가 높은 콘크리트 배합 규격을 대상으로 광물질 혼화제의 다량 치환에 따른 기본 물성 및 강도 변동 범위를 파악하여 배합 요인들의 조정범위에 대한 데이터를 확보하고 이를 통해 새로운 배합설계 없이 기존 일반배합에서 좀 더 용이하게 광물질 혼화제를 다량 치환한 콘크리트로의 배합적 접근을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 혼화제 치환 콘크리트의 배합설계 개념

일반 콘크리트의 탄소발생량을 저감하기 위해서는 시멘트의 사용량을 저감하는 대신에 탄소발생량이 매우 적은 산업 부산물인 혼화제의 치환량을 증가시켜야 하는데 혼화제 치환량이 증가할수록 강도저하라는 문제에 봉착하게 되고, 이를 극복하기 위하여 성능향상 혼합재료 등의 치환을 통한 화학적·물리적 방법의 접근 등 다양한 방법이 연구 [5,6,7,8,9]되고 있으나, 이는 실제 생산 효율성 및 경제성 부분에 대한 고려가 부족한 점이 있다. 기본적으로 콘크리트의 강도는 W/B와 절대적 관계가 있으므로 강도의 확보는 W/B를 하향 조정함으로써 보상받을 수 있다는 기본 원리를 이용하여 새로운 배합설계를 실시하는 것이 아니라 기존의 일반 콘크리트 배합에서 혼화재료의 추가 사용에 따른 기본 물성 및 강도의 변동 범위를 파악함으로써 배합 항목 변경 범위의 가이드라인을 설정하게 되면 보다 쉽게 혼화제 다량 치환 콘크리트를 실무에서의 사용이 용이해지게 된다.

즉, 일반 콘크리트 배합에서 혼화제의 치환율 상승은 콘크리트의 강도 저하를 초래하는 원인으로 작용하게 되지만 콘크리트의 강도는 W/B와 관계되어 있으므로 적정수준까지의 W/B를 낮춤으로써 혼화제의 증가에 따른 강도 저하를 보상할 수 있다. 하지만, W/B의 하향 조정은 전체 단위결합재량(or 단위시멘트량)이 증가하게 되어 경제적인 측면에서 불리하게 된다. 이러한 단위결합재량(or 단위시멘트량)의 증가는 W/B를 동일하게 유지시킨 상태에서 단위수량을 저감함으로써 단위결합재량을 낮추는 방법으로 해결할 수 있게 된다. 이는 결국 단위결합재량을 고정하고 물량만을 저

감하여 경제성을 만족하면서 W/B를 감소시켜 강도를 확보할 수 있게 되는 원리이다.

그 다음으로 고려해야 할 것은 단위수량의 저감에 따른 유동성 및 반죽질기의 저하로, 경제성을 위한 단위수량의 저감은 콘크리트의 유동성 저하의 원인이 되고 그에 대한 대책으로 일반 콘크리트에 사용된 일반 감수제를 고성능 감수제로의 변경 사용 혹은 고성능 감수제의 사용량 증가 등을 통하여 유동성의 감소에 대한 대책을 강구할 수 있다. 여기서 고성능 혼화제의 사용은 일반 감수제의 사용 대비 원가 상승의 요인이 되는데 이러한 부분은 동일 결합재량에서 혼화제의 치환율 증가로 인해 단가 비율이 큰 단위시멘트량의 감소로 경제적 부분을 만족시킬 수 있을 것으로 판단되며, 모든 배합은 이러한 경제적인 제조원가 부분을 고려하여 기존배합의 원가를 유지하거나, 절감하는 배합설계를 하는 것이 바람직할 것이다. 이외에도 혼화제의 사용량 증가에 따른 배합 변경에 맞춰 적정 반죽질기를 위한 잔골재율 및 FA(또는 BS)의 치환율에 의한 AE제의 적정 사용량에 대해서 고려를 해야 한다[10].

3. 실험 계획 및 방법

3.1 실험개요

혼화제의 다량 치환에 따른 배합설계 변경 가이드라인 설정 데이터 구축을 위한 본 연구의 실험계획은 Table 1과 같다.

Table 1. Design of experiment

Factors		Levels		
Mixture	W/B(%)	25, 30, 35, 40, 45, 50, 55		
	Admixturer replacement(%) (FA-BS) ¹⁾	Kind	FA (%)	BS(%)
		Plain	0	0
		Conventional	15	20
		Replacement ratio	20	30, 40, 50
			30	20, 30, 40
	Target slump/flow (mm)	40	10, 20, 30	
		50	10, 20	
	Target air (%)	200±20 / 600±100 ²⁾		
	Target air (%)	4.5±1.5		
Experiment	Fresh concrete	Slump/flow Air content Simple insulation temperature test ³⁾		
	Hardened concrete	Compressive strength(3, 28days)		

1) Admixture replacement : 0-0 (FA-BS)

2) W/B 25, 30, 35 %

3) Only 25, 35, 45, 55 %

먼저, 배합사항으로 W/B 25~55 %까지의 7수준에 대하여 보통 포틀랜드 시멘트(이하, OPC)를 100 % 사용한 것을 플레인(0-0)으로 하고, 플라이애시(이하, FA) 15 % + 고로슬래그 미분말(이하, BS) 20 %를 사용한 것을 컨벤셔널(15-20)로 하는 2수준과 FA를 20~50 %에서 10 % 간격으로 치환한 것에 대하여 BS를 10~50 %까지 치환하여 혼화재의 총 치환율이 50~70 %가 되도록 총 11수준으로 변화시켜 총 91배치 실험계획 하였다. 여기서, 모든 배치의 배합은 목표 슬럼프/플로 및 목표 공기량을 만족하도록 배합을 결정하는 것으로 하였다.

실험사항으로는 굳지않은 콘크리트에서 간이단열온도 시험, 슬럼프 및 플로, 공기량을 측정하는 것으로 하고, 경화 콘크리트에서는 재령에 따른 압축강도를 측정하는 것으로 하였다.

3.2 사용재료

3.2.1 시멘트 및 혼화제

본 실험에서 사용하는 시멘트는 국내 D사 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, BS는 국내 V사, FA는 국내 I사의 혼화재를 사용하였으며, 각각의 물리적 성질은 Table 2~4와 같다.

Table 2. Physical properties of cement

Density (g/cm ³)	Finess (cm ² /g)	Stability (%)	Setting Time		Compressive Strength (MPa)		
			Initial set (min)	Final set (hour)	3day	7day	28day
3.15	3 483	0.08	230	6:49	34.5	41.6	51.1

Table 3. Physical properties of BS

Density (g/cm ³)	Finess (cm ² /g)	Loss ignition (%)	SiO ₂ (%)
2.9	4 570	1.19	37.6

Table 4. Physical properties of FA

Density (g/cm ³)	Finess (cm ² /g)	Loss ignition (%)	SiO ₂ (%)	Moisture (%)
2.21	3 434	4.8	52.6	0.1

3.2.2 골재

본 실험에 사용한 골재로, 잔골재는 국내산 부순 잔골재를 사용하였고, 굵은골재는 국내산 20 mm 부순 굵은골재를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 Table 5와 같다.

3.2.3 혼화제

본 실험에 사용한 혼화제로 고성능 감수제는 국내산 D사의 폴리카본산계를 사용하였고, AE제는 국내산 D사의 음이온계로 20배 희석하여 사용하였으며, 각각의 물리적 특성은 Table 6과 같다.

Table 5. Physical properties of aggregate

Kind	Density (g/cm ³)	F.M	Absorptance (%)	Unit volume weight (kg/m ³)	0.08 mm Sieve(%)
Fine aggregate	2.60	2.86	1.2	1 589	1.2
Coarse aggregate	2.63	6.73	0.9	1 563	0.1

Table 6. Physical properties of chemical admixture

Kind	Component	Form	Color	Density (g/cm ³)
Water-reducing agent	polycarboxylate	liquid	light brown	1.19
AE agent	Anionic	liquid	colorless	1.04

3.3 실험 방법

3.3.1 굳지 않은 콘크리트

굳지 않은 콘크리트 실험은 슬럼프 시험의 경우 KS F 2402에 의거 실시하였고, 슬럼프 플로는 KS F 2594에 의거 실시하였으며, 공기량 시험은 KS F 2421에 의거 실시하였다.

간이단열온도 상승 시험은 직접 시험법으로 220×220×200 mm의 단열 박스에 각 배합조건에 따라 제조한 콘크리트에 열전대를 시험체 중앙에 매설한 후 온도이력계에 의해 온도변화를 1분 간격으로 5일간 측정하였으며, 간이 수화열 시험에서 작업개시 시간에 따른 타설온도가 다르기 때문에 각 W/B별 혼화재 치환범위에 따른 최고온도에서 타설 온도를 뺀 Δt로 수화열 특성을 검토하는 것으로 하였다.

3.3.2 경화 콘크리트

경화 콘크리트 시험으로 압축강도 시험은 계획된 재령에서 KS F 2405에 의거 실시하였다.

4. 실험결과 분석 및 고찰

4.1 물리적 특성 검토

4.1.1 슬럼프 및 공기량

슬럼프, 슬럼프 플로, 공기량은 모든 배합에서 배합설계를 실시하여 목표값을 만족하도록 하였다.

4.1.2 간이 수화열 시험

Figure 1은 혼화재 치환율에 따른 W/B별 Δt 를 나타낸 것이고, Figure 2는 W/B 변화에 따른 혼화재 치환율별 Δt 를 나타낸 것이다.

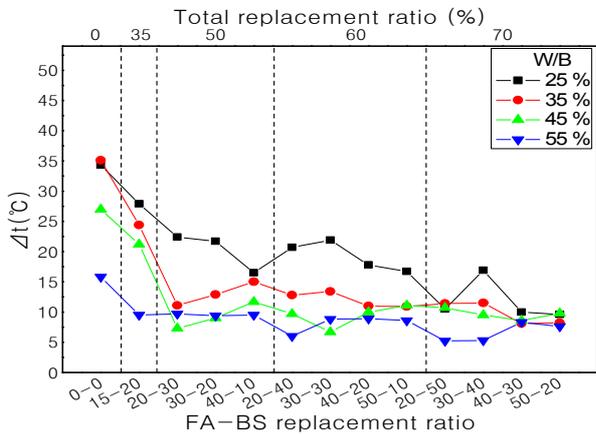


Figure 1. Δt by W/B according to admixture replacement

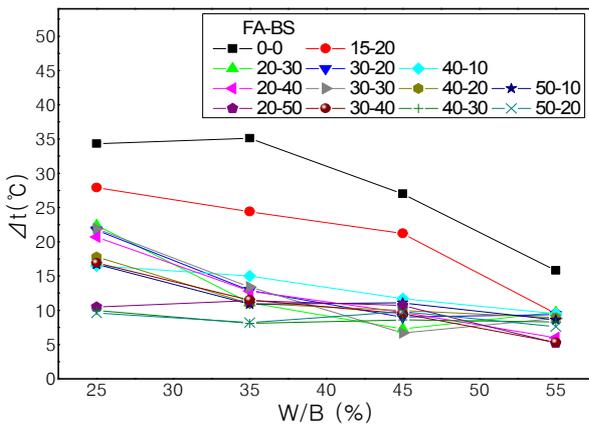


Figure 2. Δt by W/B according to admixture replacement

혼화재 총 치환율 별로는 W/B에 관계없이 혼화재의 총 치환율이 높아질수록 수화발열의 감소량이 커졌으며, W/B

가 낮아질수록 혼화재의 치환에 따른 수화발열의 저감 효과가 더 큰 것을 확인할 수 있었다. 이는 혼화재 치환율 증가에 따른 초기 수화발열에 영향을 미치는 단위 시멘트량의 감소에 의한 것으로 판단된다.

W/B가 증가함에 따라서는 W/B가 커질수록 Δt 는 낮아지는 경향을 보였으며, 플레인과 컨벤셔널의 경우 W/B 25%일 때 Δt 가 34.3°C와 27.9°C에서 W/B 55%일 때 15.8°C와 9.5°C로 약 18.0°C 정도 Δt 가 낮아지는 것을 알 수 있었다.

4.1.3 압축강도

Figure 3은 혼화재 치환범위에 따른 W/B별 재령에 따른 압축강도 특성을 나타낸 것이다.

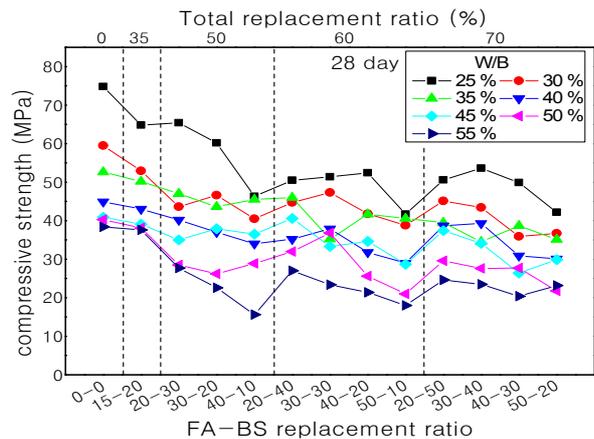
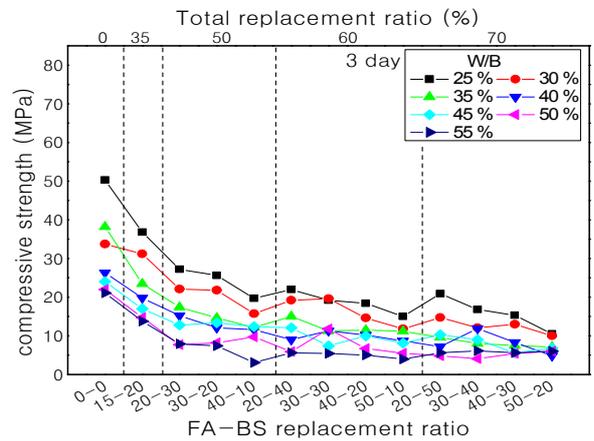


Figure 3. Compressive strength by W/B according to admixture replacement

먼저, W/B가 낮아질수록 혼화재의 치환범위와는 관계없이 전반적으로 압축강도가 커지는 것으로 나타나고 있으며,

혼화재 총 치환율 별로 50 %, 60 %, 70 %로 나누어 볼 때 재령 3일에서 각 W/B별 컨벤셔널 대비 치환범위에 따른 압축강도 발현율은 혼화재 총 치환율이 50 %일 때 압축강도 발현율은 60 %, 총 치환율 60 %일 때 50 %, 70 %일 때 40 %로 치환율이 10 %증가할 때 압축강도 발현율은 약 10 %정도 감소하는 것으로 나타났다. 재령 28일의 경우에서는 FA 및 BS의 장기강도발현 효과로 인하여 각 W/B별 컨벤셔널 대비 압축강도 발현율은 70~90 %로 증가하였지만 재령 3일과 동일 경향으로 혼화재의 치환율이 10 % 증가함에 따라서 압축강도 발현율은 2~8 %정도 감소하는 것으로 나타났다.

4.2 혼화재 다량 치환 콘크리트의 배합변경 범위

4.2.1 단위수량 조정

Figure 4는 혼화재 치환범위에 따른 W/B별 단위수량을 나타낸 것으로 혼화재 치환범위에 따른 W/B별 단위수량의 변화량은 플레인(0-0) 배합의 경우 W/B가 낮아질수록 단위결합재량의 증가로 인한 목표 유동성을 만족시키기 위해 SP제의 사용이 증가함에 따라 단위수량이 낮아졌으며, 그로 인해 혼화재 치환에 따른 적정 단위수량 범위도 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. W/B별로는 55 %와 50 %의 경우 플레인 배합과 컨벤셔널(15-20) 배합 대비 약 20 kg/m³정도 낮아졌으며 W/B 45~25 %의 경우는 약 30 kg/m³정도 낮출 수 있는 것으로 나타났다. 즉, 콘크리트의 유동 특성을 고려하여 볼 때 W/B 55~45 %의 경우는 기준배합 대비 20 kg/m³정도, 45~25 %의 경우에서는 기준배합 대비 30 kg/m³정도 낮춤으로서 요구된 유동성을 만족시키는 단위수량을 확인할 수 있었다.

혼화재의 총 치환율이 50 %에서 70 %까지 증가함에 따른 W/B별 단위수량의 변화는 -1.3~1.3 kg/m³정도로 변화폭이 크지 않았는데, SP제 사용량 분석의 경우에서도 총 치환율이 10 %씩 증가함에 의해 SP제 사용량은 약 0.01 % 정도 증가하는 것으로 나타나고 있어 기준배합과 대비하여 혼화재의 치환율을 증가시키기 위해 적정 단위수량까지 저감한 상태에서의 혼화재 치환율에 따른 단위수량 및 SP제 변동은 미비한 것으로 판단된다. 또한, FA 및 BS의 치환율이 10 %씩 증가함에 따라서는 단위수량의 변화는 -1.5~0.6 kg/m³정도로 각각의 혼화재 치환율이 10 %씩 증가함에 따른 변화폭이 크지 않다는 것을 확인할 수 있었다.

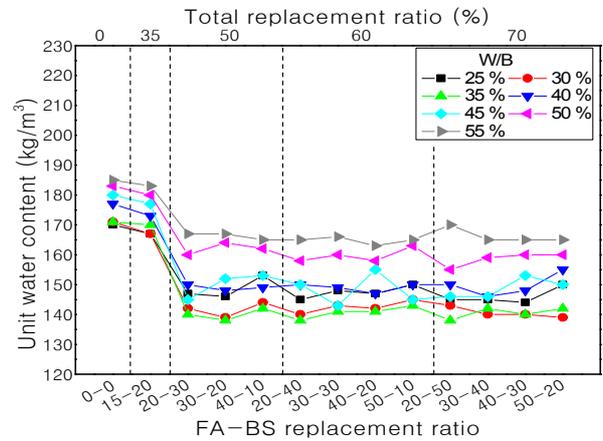


Figure 4. Unit water by W/B according to admixture replacement

4.2.2 잔골재율 조정

Figure 5는 혼화재 총 치환율에 따른 W/B별 잔골재율에 대한 상관성을 나타낸 것으로 먼저, 재료분리가 없는 범위에서 목표 슬럼프, 플로 및 점성을 확보하기 위한 잔골재율의 변화는 W/B별로 당연한 결과이지만 단위결합재량의 증가에 따른 미립분량의 증가로 W/B가 낮아질수록 목표 슬럼프 및 플로를 만족시키기 위한 잔골재율은 낮아지는 경향을 나타내었다.

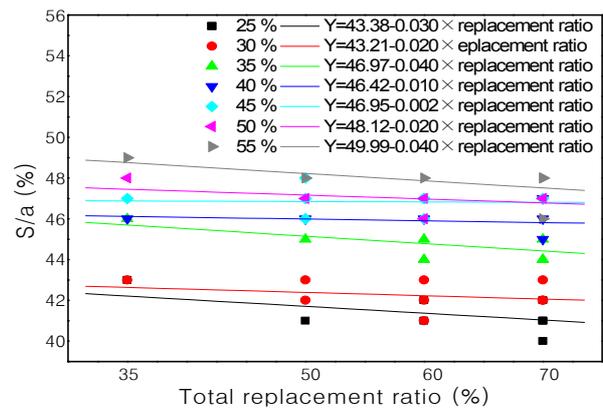


Figure 5. S/a by W/B according to total replacement ratio

각 W/B 55 %의 경우 플레인과 컨벤셔널은 잔골재율 49 %에서 목표 슬럼프를 만족하는 것을 확인할 수 있었는데 혼화재의 치환에 따라서는 치환율에 관계없이 잔골재율 1 % 낮춤으로써 목표 슬럼프를 만족할 수 있었으며, 또한 W/B 50 %는 잔골재율을 2~3 %, W/B 45 %는 잔골재율 0~1 %, W/B 40 %는 잔골재율 0~1 %, W/B 35 %는 잔골재율

1~2 %, W/B 30 %는 0~2 %, W/B 25 %는 1~3 %로 낮춤으로써 목표 슬럼프 및 플로를 확보할 수 있었다. 또한, W/B의 감소에 따라서는 슬럼프 배합인 55~40 %까지는 W/B 5 % 낮아짐에 따라서 잔골재율은 기준배합 대비 1 % 정도 낮아졌으며, 플로 배합인 35~25 %배합에서는 W/B 5 % 낮아짐에 따라 1~3 %정도 낮춤으로써 목표 슬럼프 및 플로를 확보할 수 있었다.

혼화재 총 치환율과 잔골재율의 관계로는 혼화재의 총 치환율이 5 % 증가함에 따라서 잔골재율을 약 0.12 % 낮춤으로서 적정 유동성의 확보가 가능할 것으로 판단된다.

4.2.3 감수제의 조정

목표 슬럼프 및 플로를 확보하기 위한 SP제 사용량은 W/B별로는 W/B가 낮아질수록 목표 슬럼프 및 플로를 맞추기 위한 SP제의 사용량은 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 각 W/B별로는 컨벤셔널의 경우 플레인 대비 모든 배합에서 SP제 사용량이 다소 감소하는 경향을 나타내었는데 이는 컨벤셔널의 배합이 플레인 대비 단위수량의 저감량이 약 2~5 kg/m³로 저감량이 적고 FA의 미세한 구형 입자의 증가로 시멘트 페이스트와 골재 사이의 마찰저항을 줄여주는 볼베어링 작용에 의한 유동성 영향으로 판단된다. 다만, 혼화재 치환범위에 따라서는 각 배합별로 단위수량을 약 20~30 kg/m³정도 낮춤에 따른 유동성의 저하로 인해 SP제의 사용량은 증가하였는데, 슬럼프 배합인 W/B 55~40 %의 경우는 플레인과 컨벤셔널 대비 약 0.2~0.5 %로 증가하였고, 플로 배합인 W/B 35~25 %의 경우는 약 0.1~0.3 % 정도 SP제 사용량이 증가하는 수준에서 목표 슬럼프 및 플로를 만족하는 것을 확인할 수 있었다.

Figure 6은 FA 및 BS 치환율 변화에 따른 W/B별 SP제 사용량을 나타낸 것으로 전체적으로 FA, BS의 치환범위에서 W/B가 5 %씩 낮아짐에 따라 SP제의 사용량은 약 0.2 % 증가하는 것으로 나타났으며, 혼화재의 치환범위별로는 BS 치환율이 10~40 %의 범위에서 FA의 치환율이 10 % 증가할 때 SP제의 사용량은 약 -0.04~0.11 % 증감하는 경향이 있으며, FA 치환율 20~50 %의 범위에서 BS의 치환율이 10 % 증가할 때 SP제 사용량은 약 -0.05~0.07 % 증감하는 것으로 나타나고 있어 FA 및 BS의 치환율에 의한 SP제의 변동량은 크지 않은 것으로 판단되며, W/B와 단위수량의 저감에 따른 영향요인이 큰 것으로 사료된다.

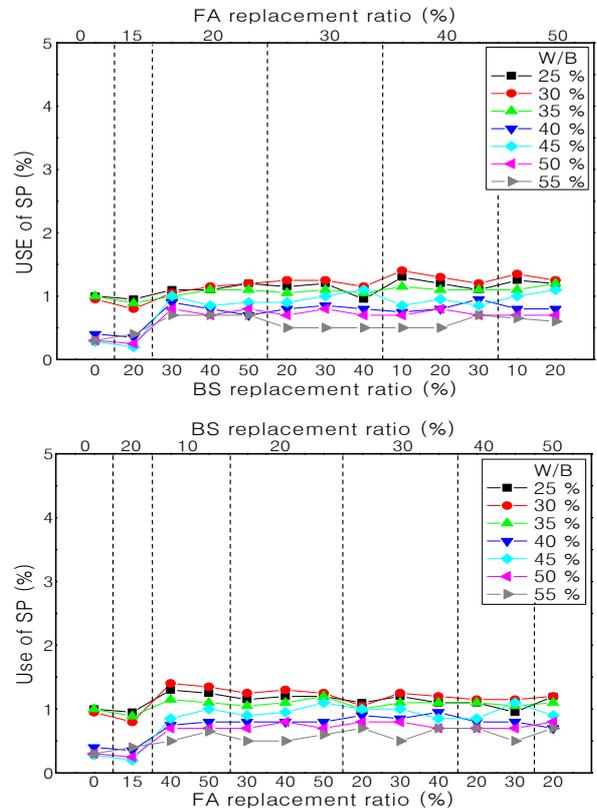


Figure 6. Use of SP by W/B according to FA, BS replacement ratio

4.2.4 AE제의 조정

Figure 7은 FA 및 BS 치환율 변화에 따른 W/B별 AE제 사용량을 나타낸 것으로 목표 공기량을 확보하기 위하여 W/B별로는 W/B가 낮아질수록 단위결합재량의 증가로 인하여 미세공극이 밀실하게 충전되는 효과로 목표 공기량을 맞추기 위한 AE제의 사용량은 증가하는 경향을 보이고 있으며, W/B가 5 %정도 낮아짐에 따라서 혼화재의 치환범위에 관계없이 AE제 사용량이 약 20~30 %정도 증가하였다.

혼화재 총 치환율 별로 50 %, 60 %, 70 %로 크게 나누어 검토하였을 때는 치환범위에 따른 차이는 크게 나타나지 않았으나 동일 치환범위 내에서의 FA의 치환율에 의한 AE제 사용량이 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 FA의 미연소 탄분에 의한 흡착작용의 영향으로 AE제의 사용량에 대한 FA 치환율의 영향이 큰 것을 확인할 수 있었다.

FA 치환율 증가에 따른 AE제의 사용량을 알아보기 위해 BS의 치환율을 고정시키고 각 혼화재의 치환율 증가에 따른 AE제 사용량 검토하였는데, FA의 경우 BS의 치환율에 관계없이 FA 치환율이 증가할수록 AE제의 사용량은 증가하

였고, FA 치환율 20 %에서 FA 치환율 50 %까지 치환율이 10 % 증가할 때마다 AE제 사용량이 컨벤셔널 대비 약 10 ~40 %정도 증가하는 것으로 나타났다.

또한, 전체 FA 치환율에 대해서 W/B별로 검토하였을 때 W/B 25~30 %, 35~40 %, 45~55의 범위에서 AE제 사용량의 변동 경향이 유사하게 나타났는데 W/B 25~30 %의 범위에서는 FA 치환율이 5 % 증가 할 때 컨벤셔널 대비 20 %정도의 AE제 사용량이 증가시켜야 할 것으로 판단되며, W/B 35~40 %범위에서는 31 %정도, W/B 45~55 % 범위에서는 32 %정도의 AE제 사용량을 증가시켜야 할 것으로 사료된다.

BS의 경우 동일한 FA 치환율 범위내에서 BS 치환율에 따른 AE제의 사용량 변동은 크게 나타나지 않았으며, FA와 BS의 복합 치환 시 BS의 치환율 영향보다 FA의 치환율 영향에 의한 AE제 사용량의 변동으로 인해 BS 치환율이 10 % 증가할 때마다 AE제 사용량이 약 0.89~25 %정도 증감하는 경향을 나타냈다.

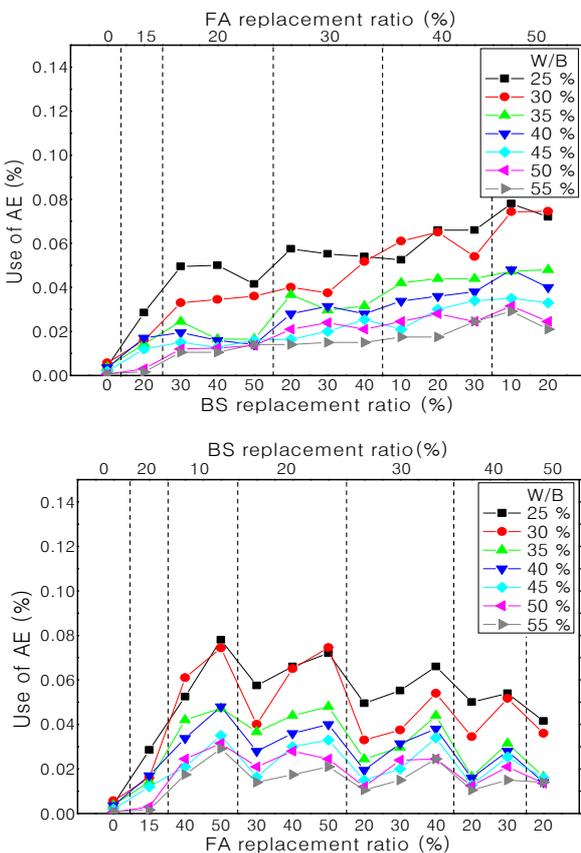


Figure 7. Use of AE by W/B according to FA, BS replacement ratio

4.2.5 W/B 조정

혼화재 치환율에 따른 압축강도 결과와 W/B 관계를 직선 회귀식을 도출하기 위하여 W/B의 역수인 B/W와 28일 재령에서의 압축강도와의 관계를 구하였는데, 각 회귀선의 상관계수는 0.81~0.98로 상당히 높은 상관관계를 나타내었다.

Figure 8은 혼화재의 치환범위에 따른 B/W와의 압축강도의 관계를 나타낸 것이고, 실험 결과에서 얻어진 회귀식을 이용하여 W/B 2 % 간격으로 W/B 67 %에서 W/B 25 %까지의 추정 압축강도를 계산하였다. 혼화재의 치환율에 변화에 따른 W/B별 강도증진은 치환율 50 %에서 W/B가 2 %씩 낮아짐에 따라 0.7~4.2 MPa 증진하였고, 치환율 60 %에서는 0.5~3.2 MPa, 치환율 70 %에서는 0.5~3.3 MPa로 나타났으며, W/B가 낮아짐에 따라 강도 증진의 차이는 더욱 커지는 것을 알 수 있었다.

또한, 회귀식에 의해 구해진 압축강도와 혼화재 치환율과의 관계를 통해 혼화재 치환율에 따른 압축강도의 변동폭을 검토하였는데, FA의 치환율이 5 %씩 증가함에 따라서 BS의 치환율 범위별로는 BS 5 %에서 -2.2~-2.0 MPa, BS 10 %일 때 -4.1~-0.1 MPa, BS 15 %일 때 -3.5~-0.8 MPa, BS 20 %일 때 -2.5~0.3 MPa로 BS의 치환율 범위에 따라서 FA의 치환율이 5 %씩 증가 할 때 평균 -1.5~-2.4 MPa 정도 압축강도가 저하하는 것으로 나타났다. 또한, BS의 치환율이 5 %씩 증가함에 따라서 FA의 치환율 범위 별로는 FA 10 %에서 -2.5~0.7 MPa의 강도 증감을 보였으며, FA 15 %에서 -2.7~0.9 MPa, FA 20 %에서는 -0.6~0.1 MPa, FA 50 %에서 -1.4~1.2 MPa로 FA 치환율별 BS의 치환율이 5 % 증가 할 때 평균 -1.3~0.6 MPa 정도 압축강도의 저하 폭이 상대적으로 작은 것으로 나타나, 압축강도 증진 측면에서는 FA보다 BS의 효과가 양호한 것으로 판단된다.

즉, 혼화재 다량 치환시 구조물에 계획하는 압축강도를 발현하기 위한 적정 W/B를 찾기 위해서 위의 결과들을 종합하여 보면 FA의 치환율이 5 % 증가할 때 압축강도는 -1.5~-2.4 MPa 저하하고, BS의 치환율이 5 % 증가할 때 압축강도는 -1.3~0.6 MPa 증감하고 있으며, W/B별로는 W/B가 2 % 낮아짐에 따라 W/B 45 % 이상의 범위에서는 0.7~1.5 MPa (평균 1 MPa) 압축강도가 증진하는 것으로 나타났고, W/B 45~25 %범위에서는 1.6~4.2 MPa (평균 3 MPa)의 압축강도가 증진되는 것으로 분석 되었다.

따라서 일반적으로 쓰는 저강도 영역에서 FA를 5 %씩 치환율을 증가시키기에 따라 W/B를 약 4 % 낮춤으로써 목표강도에 대한 강도 보상이 가능할 것으로 판단되며, BS의 치환율을 5 %씩 증가함에 따라서는 W/B를 약 1 % 낮춤으로써 강도 보상이 가능할 것으로 판단된다.

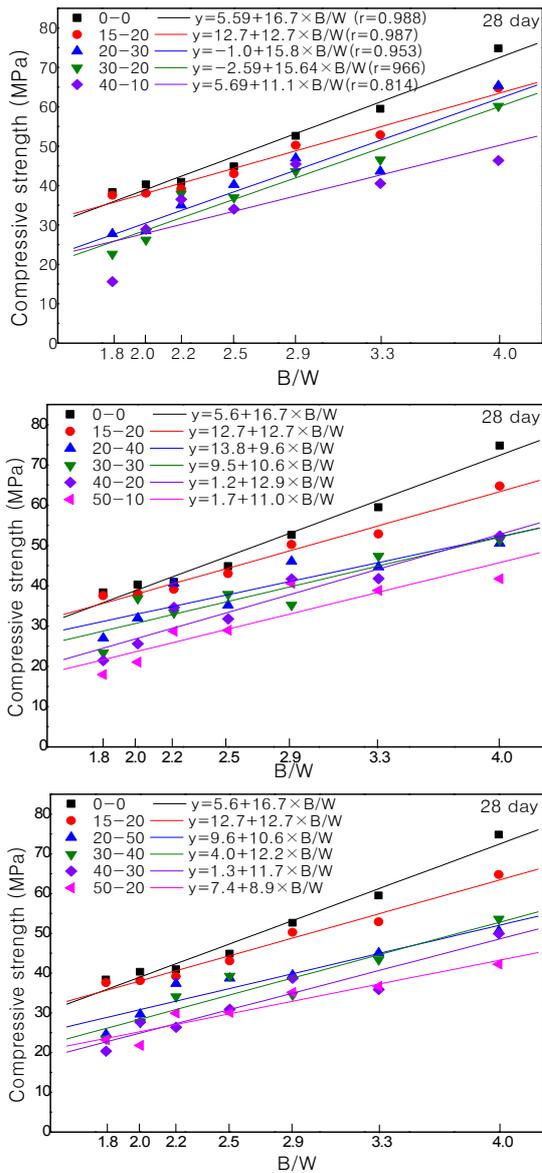


Figure 8 Relationship between compressive strength and B/W

하지만, 이러한 결과는 본 연구 범위 내에서 구해진 것으로 실무 적용에서는 각 원재료의 특성 및 환경적 요인 등이 변수를 고려하여 본 결과의 W/B 도출 경향을 참고로 하여 반드시 사전에 예비배합시험을 통하여 압축강도의 확인을

할 필요가 있을 것으로 생각된다.

5. 결 론

혼화재의 다량 치환에 따른 배합 변경에 대한 범위를 검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 혼화재로 상향에 따른 배합변경 범위를 검토한 결과 단위수량의 경우 W/B의 조정범위를 감안해 컨벤셔널 대비 20~30 kg/m³ 정도의 하향 조정이 가능하며, 잔골재율은 W/B 5 % 하향조정 시 약 1 %, 총 치환율 5 % 증가 시 약 0.12 %로 중복 하향 조정이 필요한 것으로 나타났다.
- 2) 혼화재의 경우 AE제는 FA 치환율 5 % 증가 시 컨벤셔널 대비 약 20~30 % 정도 상향 조정함으로써 컨벤셔널과 동등 수준의 공기량을 확보할 수 있을 것으로 판단되며, BS 치환에 따른 AE제의 변동량은 크지 않았다. SP제는 슬럼프 배합에서 단위수량 저하에 의해 약 0.3 % 증가가 필요한 것으로 나타났다.
- 3) 혼화재 치환율 상향에 따른 강도보상을 위해서는 FA 및 BS의 치환율이 5 % 상향 시 W/B를 약 1~4 % 정도 하향 조정함으로써 혼화재 치환율 상향에 따른 강도 보상이 가능할 것으로 판단된다.

요 약

본 연구는 혼화재의 다량 치환 시 배합 요인의 조정 범위를 검토하기 위한 목적으로 일반 콘크리트에서 혼화재 다량 치환 콘크리트로의 배합변경 데이터를 확보하고자 하였다.

실험결과를 요약하면, 일반 범용적 배합내에서 혼화재 다량 치환 콘크리트 배합을 변경 시 적정 품질을 확보하기 위한 단위수량의 경우 20~30kg/m³ 하향 조정, 잔골재율은 W/B 5 % 하향조정 시 약 1 %, 총 치환율 5 % 증가 시 약 0.12 %로 중복 하향 조정, AE제는 FA 치환율 5 % 증가 시 컨벤셔널 대비 약 20~30 % 정도 상향 조정, W/B는 FA 및 BS의 치환율이 5 % 상향 시 W/B를 약 1~4 % 정도 하향 조정함으로써 콘크리트의 기본 물성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

키워드 : 다량 치환, 광물질 혼화재, 배합 조정

Acknowledgement

This work was supported by the Incheon National University Research Grant in 2012.

References

1. The Korea Concrete Institute. Concrete & Environment. 1st ed. Seoul (Korea): The Korea Concrete Institute; 2010. 298 p.
2. Cho YJ. Concrete Technology at an the Era of Green Growth. Journal of the Korea Concrete Institute. 2009 Sep;21(5): 22-7.
3. Park CJ, Song RF, Ryu GS, Koh KT, Han MC, Han CG. Strength Development of High Volume Fly-Ash Concrete Using High Early Strength Type Admixture, Proceedings of fall Conference of Korea Concrete Institute; 2009 Nov 7; Dankook University. Seou l(Korea): Proceedings of the Korea Concrete Institute; 2009. p. 273-4.
4. Kim KH, Hwang IS, Kwon OB, Kim KM, Park HC. A Study on the Improvement of Early Strength of Low Carbon Concrete. Proceedings of spring Conference of Korea Concrete Institute; 2011 May 11-13; R Renaissance hotel(Jeju). Seoul (Korea): Proceedings of the Korea Concrete Institute; 2011. p. 687-8.
5. Park SW, Cho HD, Janug JD. The Experimental Study on the Compressive Strength of the High Strength Concrete with the Fly Ash and Blast Furnace Slag. Proceedings of fall Conference of Korea Concrete Institute; 2010 Nov 5-6; Chun-cheon. Seoul (Korea): Proceedings of the Korea Concrete Institute; 2010. p. 175-6.
6. Paik MS, Lee YD, Jung SJ. A Study on Hydration Heat Properties and Strength Properties of High Volume Fly-Ash Concrete. Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2003 Sep;3(3):135-42.
7. Lee BK, Kim GY, Lee SB, Lee BC, Shin KS, Kim HS. Evaluation of Compressive Strength of Mortar Replaced to High Volume Blast Furnace Slag. Proceedings of the Korea Institute of Building Construction; 2012 Nov 16; Hanyang University. Seoul (Korea): The Korea Institute of Building Construction; 2012. p. 103-5.
8. Park CK, Lee SH, Kim HJ. The Characteristic of Strength Development of High Volume Fly-Ash Concrete. Proceedings of the Korea Institute of Building Construction; 2007 Nov; Hannam University. Seoul(Korea): The Korea Institute of Building Construction; 2007. p. 67-70.
9. Kim YR, Kim OJ, Kim DS, Khil BS, Kim SS, Choi SJ. Investigation on the Fundamental Properties of Low Heat Concrete using High Volume Mineral Admixture, Proceedings of the Korea Institute of Building Construction; 2010 Nov 12; Chung-nam University. Seoul (Korea): The Korea Institute of Building Construction; 2010. p. 65-8.
10. Han CG. Character and Mix design of Concrete Chapter 4, Mix design of Concrete. Seoul (Korea): Kimoondang; 2011. p. 101-66.