

자기충전성 고성능 콘크리트의 배합에 관한 연구

A Study on the Mix Proportion of Self-Compacting High Performance Concrete

이 승 한* 한 형 섭** 이 원 기***
Lee, Seung-han Han, Hyung-Sub Lee, Won-Ki

ABSTRACT

In this study, to increase fluidity and resistance of segregation of materials, the effect of each of the materials, which have effects on high performance concrete from investigating the properties of strength and drying shrinkage of high performance concrete made by the basic mix proportion used fly-ash and ground granulated blast-furnace slag after hardening, has been checked.

According to the experimental results, fluidity on W/C = 34% was satisfied within slump-flow 65 ± 5 cm and U-type self-compactability difference 5cm.

On the properties of strength, high performance concrete produced compressive strength over 400kg/cm^2 in 28days when powder was replaced by 40% of fly-ash and 60% of ground granulated blast-furnace slag. And compressive strength was taken over 600kg/cm^2 equal to non-replacement in 91days. Also, the length change of concrete with the addition of fly-ash was smaller than that without it. Therefore, it may be effective on the decrease of drying shrinkage volume.

1. 서 론

자기충전성 고성능 콘크리트는 타설시 작업자의 숙련도와 구조물의 형상 및 배근상태에 영향을 받지 않고 유동성, 충전성 및 재료분리 저항성을 가져 다짐이 필요없는 콘크리트¹⁾를 말한다.

콘크리트의 자기충전성을 만족하기 위해서는 높은 유동성 및 적절한 재료분리저항성이 필요하며, 이를 만족시키기 위한 배합설계와 유동특성을 평가하는 방법이 많이 제안²⁾되고 있으며 최근 국내에서도 고성능 콘크리트를 개발하기 위한 연구^{3),4)}가 활발히 이루어져 현장적용예⁵⁾도 보고 되고 있다.

그러나 이들 연구 중 굵은골재의 분산정도를 요인으로 하는 모르타와 굵은골재 2상계 배합이론을 도입한 연구¹⁾는 굵은골재의 단위용적이 일반 콘크리트에 비해 작게 평가되어 수화열과 건조수축이 증가하는 문제점을 가지고 있으며, 유동성, 충전성, 재료분리저항성에 대한 평가방법과 평가기준이 명확히 제시되어 있지 않다.

이에 본 연구에서는 분체종류, 분체비에 따른 슬럼프플로우, V로드시험, U형 충전성시험을 행하여

* 정희원, 계명대 토목공학과 교 수

** 계명대 토목공학과 대학원 석 사

*** 계명대 토목공학과 대학원 석사과정

콘크리트의 유동특성과 충전특성 평가범위를 명확히 하고자 한다. 또한 콘크리트의 유동성, 재료분리 저항성을 페이스트상이 주로 부담하기 때문에 페이스트와 골재의 2상계로 취급하고 콘크리트의 유동특성과 충전특성 평가시험법을 적용하여 자기충진성 고성능 콘크리트의 배합설계법을 제안하는 것을 연구의 목적으로 한다. 더 나아가 고성능감수체의 변화에 따른 슬럼프플로우의 경시변화를 측정하여 고성능감수체의 종류에 따른 고성능 콘크리트의 유동특성을 평가하고자 한다.

2. 실험개요

2.1 사용재료 특성

2.1.1 사용분체

시멘트는 A사의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 치환분체로는 보령산 정제 플라이애쉬와 포항산 고로슬래그 미분말을 사용하였다. 이들의 물리·화학적 성질을 아래의 표1에 나타내었다.

표 1. 시멘트 및 혼화재의 물리·화학적 성질

구 분	분말도 (cm ² /g)	비중	강열감량 (Ig.loss)	화 학 성 분						
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	염기도
시멘트	3169	3.15	1.03	22.94	5.57	3.33	64.05	2.58	0.61	-
플라이애쉬	3024	2.67	4.36	58.5	23.4	-	-	-	-	-
고로슬래그	4500	2.9	0	35.08	14.92	0.38	42.26	6.41	0.11	1.81

2.1.2 골재

잔골재는 경북 고령 낙동강사를 사용하였으며 입도 조절을 위해 부순모래를 30% 혼합하여 사용하였다. 또한 굵은골재는 경북 고령산 쇄석으로 유동성 증진을 위해 임팩트 크랏샤로 입형을 개선하고 입도를 조절하여 사용하였다. 이들 골재의 물리적 성질을 표2에, 입도분포를 그림1에 나타내었다.

표 2. 골재의 물리적 성질

종 류	비중	흡수율 (%)	조립율	단위 용적	실적율 (%)	씻기시험	
						0.15mm	0.08mm
천연사	2.59	1.80	2.19	1527	59.1	2.07	0.92
부순모래	2.64	2.07	3.82	1752	66.5	4.94	2.64
천연사 : 부순모래 (7 : 3)	-	-	2.67	1695	65.1	-	-
쇄석	2.71	0.94	6.91	1640	60.6	-	-

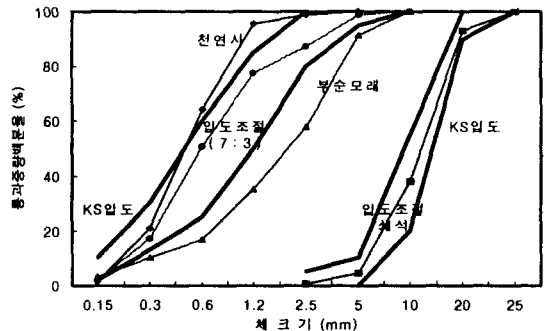


그림1. 골재의 입도분포 곡선

표2에서 천연사의 조립율은 2.19로 KS규정치보다 작아 조립율이 큰 부순모래와 7:3의 비율로 혼합하여 그림1과 같이 KS입도분포를 만족하도록 조립율을 조정하여 사용하였다.

2.1.3 혼화제

고성능감수제는 M사의 멜라민계와 J사의 폴리칼본산계(Naphthalene계+Poly Carbon산계 Co-Polymer)를 사용하였으며, 공기연행제는 K사, 증점제는 M사의 것을 사용하였다. 이들 혼화제의 특성을 표3에 나타내었다.

표 3. 혼화제의 특성

구 분	형 태	색 상	주 성분	pH	비 중
멜 라 민 계	액상	담갈색	토리아진환계 고축합물염	11.5±1.5	1.22±0.02
나프탈렌계+ 폴리칼본산계	액상	암갈색	나프탈렌계와 폴리칼본산계 Co-Polymer	8.5±1.5	1.25±0.05
공 기 연 행 제	액상	담갈색	레 진	-	1.025±0.005
증 점 제	분말	백색	셀레로이스 에테르계	7±0.1 (1%수용액)	1.06±0.02

2.2 실험방법

본 연구의 배합요인은 표4와 같이 물결합재비는 사용분체의 물구속비로 하였으며, 잔골재율은 최적 잔골재율인 41%로 하였다. 분체는 플라이애쉬 0~40%까지, 고로슬래그 0~60%까지 각각 치환하였으며, 혼합치환은 플라이애쉬 20%와 고로슬래그 15%를 병용치환하였으며, 표5에 측정항목을 나타내었다.

표 4. 배합요인

항 목	범 위
물결합재비	물구속비 (β_p)
플라이애쉬 치환율	0, 10, 20, 30, 40
고로슬래그 치환율	0, 15, 30, 45, 60
잔골재율	41

표 5. 측정항목

시 험 항 목	측 정 항 목
슬럼프플로우	슬럼프플로우
	50cm플로우면적 도달시간
V로드시험	상대로드속도비=10/V로드유하시간(sec)
U형충전성시험	충전고차

3. 결과 및 고찰

3.1 슬럼프 플로우와 충전특성

본 연구에서 얻은 슬럼프 플로우와 충전고차의 관계를 그림2에 나타내었다.

이 그림에서 충전고차 5cm를 만족하는 슬럼프 플로우의 분포는 슬럼프 플로우 60~70cm의 범위에 집중되어 있다. 슬럼프 플로우가 60cm이하에서는 콘크리트의 유동성 부족으로 충전고차 5cm 이내를 만족할 수가 없었으며, 70cm를 넘어서는 경우 재료분리현상이 일어나 폐쇄현상발생으

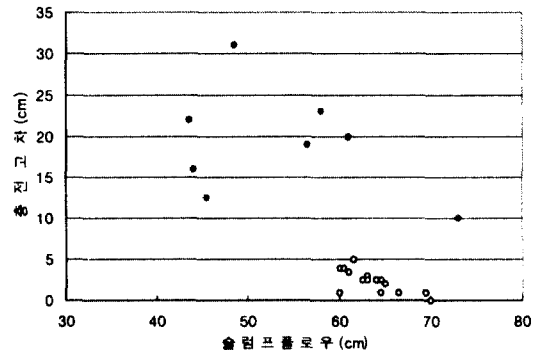


그림 2. 슬럼프 플로우와 충전고차의 관계

로 충전고차가 크게 측정되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 자기충전성 고성능 콘크리트의 충전성을 만족시키기 위한 슬럼프플로우의 범위를 $65 \pm 5\text{cm}$ 로 제안한다.

3.2 50cm플로우 면적 도달속도와 충전특성

그림3에 50cm플로우 면적 도달속도와 충전고차의 관계를 나타내었다.

그림3에 나타난 것과 같이 충전고차 5cm이내의 범위를 만족하는 50cm플로우면적 도달속도는 $130 \sim 530\text{cm}^2/\text{sec}$ 의 범위에 분포하고 있다. 50cm플로우면적 도달속도가 $130\text{cm}^2/\text{sec}$ 이하에서는 콘크리트의 유동성 부족으로 인한 폐쇄에 의해 충전고차가 크게 나타났다.

따라서 자기충전성 고성능 콘크리트의 충전성을 만족하는 50cm플로우면적 도달속도는 $130 \sim 530\text{cm}^2/\text{sec}$ 의 범위가 적정 수준인 것으로 사료된다.

3.3 상대로드속도비와 충전특성

그림4에 V로드시험에서 구한 상대로드속도비와 충전고차의 관계를 나타내었다.

모르타와 골재의 2상계 배합에서 충전성을 만족하는 상대로드속도비가 $0.5 \sim 1.0$ 범위¹⁾로 규정하고 있는데 비하여 본 실험값은 이보다 넓은 범위인 상대로드속도비 $0.4 \sim 1.2$ 의 범위에서 충전고차 5cm이내를 만족하고 있으며, 상대로드속도비 5이상에서는 콘크리트의 유동성부족과 점성증가로 인해 충전성이 나빠지게 되는 것을 알 수 있다. 따라서, 자기충전성 고성능 콘크리트의 충전성을 만족하기 위한 상대로드속도비는 $0.4 \sim 1.2$ 의 수준이 적당할 것으로 사료된다.

3.4 고성능 콘크리트의 흐름값 경시변화

고성능 콘크리트의 슬럼프 플로우의 경시변화를 알아 보고자 벨라민계와 폴리카본산계 고성능감수제를 사용하여 경시변화를 측정하였다. 실험에서 사용한 분체는 시멘트에 대해 플라이에쉬 20%와 고로슬래그 15%를 치환하여

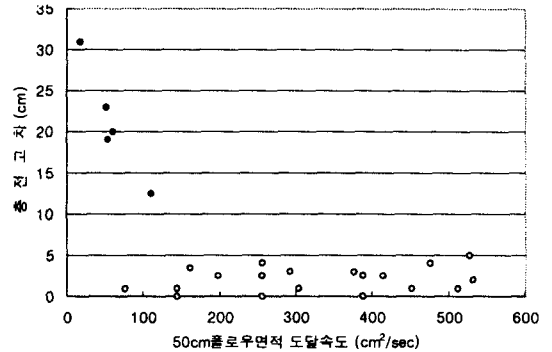


그림 3. 50cm플로우 면적 도달속도와 충전고차의 관계

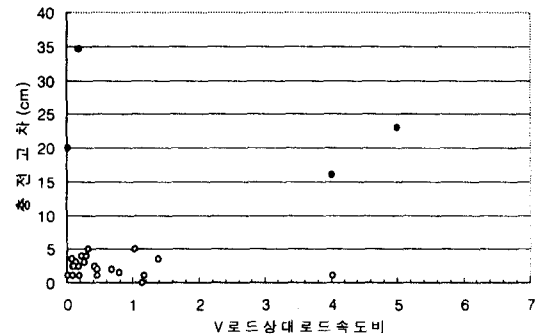


그림 4. 상대로드속도비와 충전고차

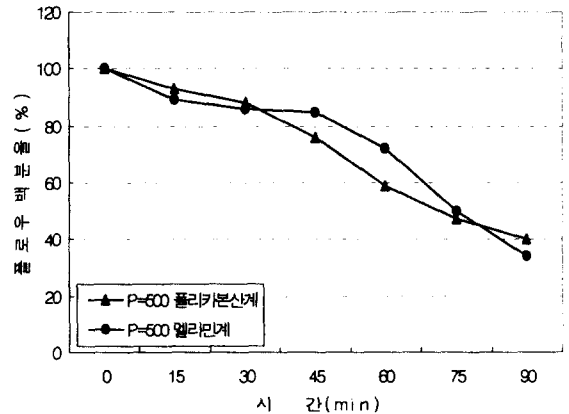


그림 5. 고성능감수제 종류에 따른 경시변화

사용하였으며, 멜라민계는 시멘트 사용량에 대해 3.0% 치환하고, 폴리칼본산계는 2.4%를 치환하였다.

경시변화는 비빔직후부터 15분간격으로 90분까지 측정하였으며 일반 레미콘 트럭과 같은 2rpm의 속도로 회전하는 중력식 믹서에서 측정시까지 비빔을 하였다.

그림5는 초기 슬럼프 플로우 값을 100으로 하여 고성능감수제의 종류에 따른 슬럼프 플로우의 경시변화를 나타낸 것이다.

이 그림에서 나프탈렌계의 중축합물인 폴리칼본산계와 멜라민계 고성능감수제는 거의 동일한 슬럼프 플로우 유지성능을 나타내고 있다. 또한 경과시간 45분까지는 서서히 경시변화가 진행되어 플로우 백분율 80%를 나타내고 있는 반면, 이후 급격히 진행되어 측정 종료시점인 90분에는 40%의 플로우 백분율을 나타내고 있다. 이것은 기존의 실험 논문⁷⁾에 나타난 폴리칼본산계의 고성능감수제의 슬럼프 플로우 유지성능에 비해 효과가 작게 나타난 것으로 본 실험에서 사용한 폴리칼본산계가 나프탈렌계와의 중축합물인 것에 기인된 것이 원인으로 사료된다.

4. 배합설계의 제안

본 연구는 플라이애쉬와 고로슬래그 미분말을 사용하여 낮은 물구속비에서 유동성과 점성을 증가시키고 충전성을 만족하는 최소 공극률과 최적 잔골재율을 적용시켜 고성능 콘크리트를 제조하고자 하였다.

또한 이들 콘크리트의 충전성 평가실험 방법과 만족범위를 제시하고 고성능 콘크리트의 배합설계에 적용하여 그림6과 같은 배합설계의 흐름도를 제안하였다.

그림6에 나타낸 배합설계의 흐름을 설명하면 다음과 같다.

- 1) 콘크리트의 배합설계를 하기 위한 재료를 선정한다.
- 2) 선정된 재료의 물구속수비를 측정하고, 강도를 기준으로 W/P를 결정한다.
- 3) 콘크리트의 유동폐쇄가 발생하지 않는 최소 단위분체량 이상이 되도록 분체량을 정한다.
- 4) 굵은골재와 잔골재를 혼합하여 공극률이 최소가 되는 잔골재율을 산정한다.
- 5) 슬럼프 플로우 값이 $65 \pm 5\text{cm}$ 의 범위에 들도록 시행착오법에 의해 고성능감수제의 사용량을 결정한다.
- 6) V로드 상대로드속도비 0.4~1.2를 만

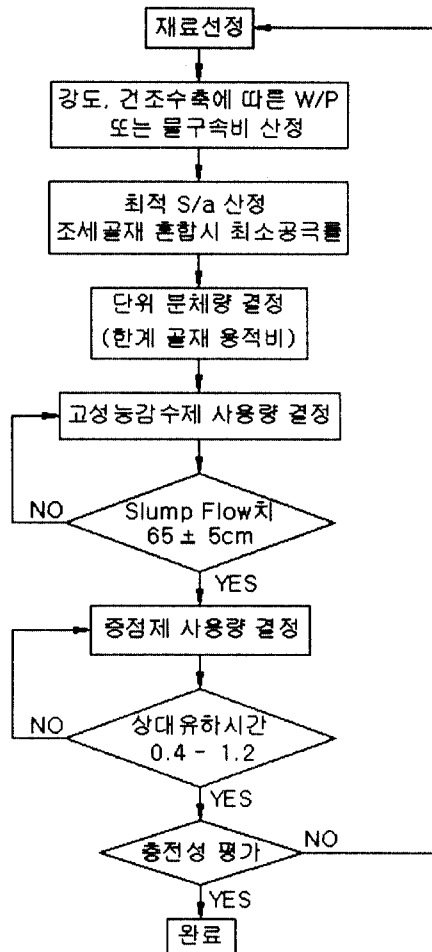


그림 6. 배합설계의 흐름도

족하도록 증점제의 사용량을 결정한다.

- 7) 제조된 콘크리트는 U형 충전성 시험기를 사용하여 충전성 평가를 실시하여 충전성을 검토하고, 만족할 수 없다면 재료의 선정을 다시 실시한다.

5. 결 론

콘크리트를 페이스트와 골재의 2상계로 취급한 고성능 콘크리트에 플라이애쉬와 고로슬래그를 치환 사용한 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 콘크리트를 페이스트와 골재의 2상계로 취급한 본 배합설계는 최소단위분체량 이상의 분체량과 최적 잔골재율을 사용하므로써 자기 충전성을 가진 고성능 콘크리트를 제조할 수 있는 합리적인 배합설계법이라 사료된다.
2. 자기충전성 고성능 콘크리트의 충전성을 만족하기 위한 슬럼프 플로우는 65 ± 5 cm, 50cm플로우 면적 도달속도는 $130 \sim 530 \text{cm}^2/\text{sec}$, V로드의 상대로드속도비는 0.4~1.2의 범위인 것으로 판단된다.
3. 나프탈렌계와 중축합물인 폴리카본산계의 고성능감수제는 멜라민계의 고성능감수제와 거의 동일한 슬럼프 플로우 유지성능을 나타내고 있으며, 슬럼프 플로어가 초기 슬럼프 플로우에 비해 45분에 80%을 나타내고 이후 급격히 떨어져 90분에 40%로 떨어진다.

참고문헌

1. 岡村甫, 前川宏一, 小澤一雅 : 하이パフォーマンス콘크리트, 技報堂出版, 1993.
2. 대한건축학회 : 고강도-고성능 콘크리트 제조·시공 및 설계, 철근콘크리트분과위원회 기술보고서 ATR 96-1, 1996.
3. 김진근, 한상훈, 박연동, 노재호, "초유동콘크리트의 재료특성에 관한 실험적 연구", 콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 제7권, 2호, 1995. 11, pp. 56~62.
4. 정재동, 노재호, "고성능 콘크리트의 개발과 전망", 레미콘, 통권 제39호, 1994. 4, pp. 64~74.
5. 박철립, 권영호, 이상수, 원 철, "부순모래를 사용한 초유동 콘크리트의 현장적용", 콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 제10권, 1호, 1998. 5, pp. 9~14.
6. 한형섭 : 자기충전성 고성능 콘크리트의 배합설계와 특성에 관한 연구, 계명대학교 석사학위논문, 1998. 6.
7. 노재성 : 고성능콘크리트 제조를 위한 국내의 혼화제 제조현황, 특성 및 반응기구, 레미콘, 통권 제39호, 1994. 4, pp. 55