

고성능콘크리트의 배합설계

Mix Design of High Performance Concrete

정 용 욱* 이 승 한** 윤 용 호***

Jung, Yong-Wook Lee, Seung-Han Yun, Yong-Ho

Abstract

This study aims to suggest a simple and convenient design for a mix proportion method for high performance concrete by determining the optimum fine aggregate ratio and minimum binder content based on the maximum density theory.

The mix design method introduced in this study adopted the optimum fine aggregate ratio with a minimum void and binder content higher than the minimum binder content level. The research results reveal that the method helps to reduce trial and error in the mixing process and is a convenient way of producing high performance concrete with self filler ability. In an experiment based on the mix proportion method, when aggregate with the fine aggregation ratio of 41% was used, the minimum binder content of high performance concrete was 470kg/m^3 and maximum aggregate capacity was $0.657\text{m}^3/\text{m}^3$. In addition, in mixing high performance concrete, the optimal slump flow to meet filler ability was $65\pm 5\text{cm}$, V load flow speed ranged from 0.5 to 1.5.

1. 서 론

콘크리트의 배합설계(Design of mix proportion)란 물, 시멘트 또는 분체, 잔골재, 굵은골재 및 혼화 재료를 가장 경제적으로 이용해서 소요의 강도, 내구성, 수밀성 및 작업에 적합한 워커빌리티를 얻을 수 있도록 그 혼합비율을 선정하는 것이다. 현행 일반 콘크리트의 배합설계 이론은 최대밀도이론, 표면적이론, 물 시멘트비 이론 및 시멘트 공극 이론 등과 같이 강도에 중점을 두고 있으며, 현재 우리나라 표준시방서에서는 물 시멘트비 이론을 채택하고 있다.

반면, 고성능콘크리트의 배합설계는 일반콘크리트와는 달리 유동성 및 충전성 확보에 중점을 두고 있으며, 유동성 및 충전성 확보를 위해 사용되는 분체량의 증가에 의해 고강도는 자연스럽게 달성된다는 전제를 두고 배합설계에서 강도특성을 고려하지 않고 있다. 대신 강도특성을 증점제계, 분체계 및 병용계 등 제조방법을 달리하여 고려하고 있다. 즉, 분체계 및 병용계 고성능콘크리트는 적은 물분체비와 단위분체량의 증대 등으로 자연스럽게 고강도가 가능하다고 보고 있으며, 저강도의 고성능콘크리트 제조를 위해서는 증점제계를 채택하여 단위분체량을 감소시키고 점성저하에 따른 재료분리저항성 증진을 위해 증점제를 첨가함으로써 저강도의 고유동콘크리트를 제조하는 방법으로 강도를 조절하고 있다. 그러나 고성능콘크리트에서도 사용재료의 단위량은 일반콘크리트와 같이 시행착오법으로 결정하고 있다. 이러한 배합설계법은 사용재료의 변동과 배합조건, 배합설계자 등의 차이에 의해 변동요인이 많이 발생되므로 바람직한 배합설계법이 아니라고 사료된다.

따라서 본 연구에서는 최대밀도이론을 도입하여 사용골재의 공극이 최소가 되는 잔골재를 산정으로 배합설계시 시행착오를 줄이고자 하였으며, 최소단위분체량의 결정 등으로 강도와 유동성을 동시에 배합설계에 고려하여 합리적이며 간편한 고성능콘크리트의 배합설계법을 제안하고자 하였다.

* 정회원, 계명대학교 토목공학과 강사

** 정회원, 계명대학교 토목공학과 교수

*** 정회원, 계명대학교 토목공학과 박사과정

2 실험개요

2.1 사용분체

실험에 사용한 시멘트는 A사의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 플라이애쉬는 충남 보령산으로 정제한 것을 사용하였다.

2.2 골재

잔골재 및 굵은골재는 경북 왜관 낙동강사로 굵은골재 최대치수는 20mm하였다. 이들의 물리적 성질을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Physical properties of used aggregate

Type	Density	Absorption (%)	F.M.	Ratio of absolute volume (%)
Fine aggregate	2.56	1.22	2.54	-
Coarse aggregate	2.65	1.25	6.64	59.6

3 실험결과 및 고찰

3.1 최적 잔골재율(S/a) 산정

Fig. 1은 잔골재율(S/a)을 35~55%로 변화시켜 잔골재와 굵은골재 혼합시 잔골재율 변화에 따른 공극률을 측정 한 것이다. 콘크리트는 골재 입자간의 공극을 시멘트 페이스트로 채워서 만들어지므로, 공극률이 작은 즉 실적률이 큰 골재를 사용하는 것이 시멘트 페이스트의 소요량을 적게 할 수 있다. 골재의 입도가 적당하면 공극이 작아지므로 골재 입자를 둘러싼 시멘트 페이스트량이 적게 들어 단위시멘트량, 단위수량이 일정한 콘크리트에서는 위커빌리티가 좋아진다. Fig. 1에 나타낸 것과 같이 잔골재와 굵은골재를 혼합하여 잔골재율 변화에 따른 공극률 실험결과 공극률이 가장 작은 잔골재율은 41%로 나타났다. 이와 같이 사용골재가 선정되면 굵은골재와 잔골재를 혼합하여 잔골재율 변화에 따른 단위용적중량 실험을 통해 최소공극을 갖는 잔골재율을 결정하면 된다.

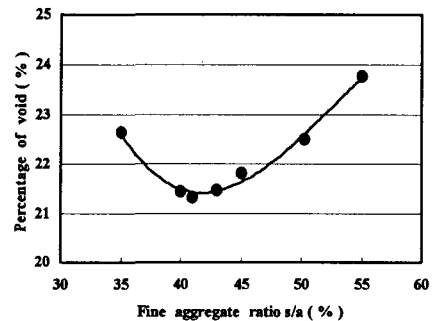


Fig. 1 잔골재율(S/a) 변화에 따른 공극률

3.2 최소 단위분체량의 결정

본 연구에서는 고성능콘크리트의 충전성을 만족하는 최소단위분체량을 결정하기 위하여 잔골재율 41%에서 슬럼프 플로로 65±5 cm로 고정하고, 단위분체량을 450, 470, 500, 550, 650kg/m³으로 증가시켜 충전성을 만족하는 최소단위분체량을 산정 하였다. Fig. 2에 단위분체량에 따른 U형 충전고차를 나타내었다.

Fig. 2에서 단위분체량 470kg/m³이상에서는 3 cm이내의 우수한 충전성을 보이고 있으나, 단위분체량 450kg/m³에서는 충전고차가 18 cm로 급격히 증가하고 있다. 이것은 단위분체량 감소로 인한 페이스트와 골재

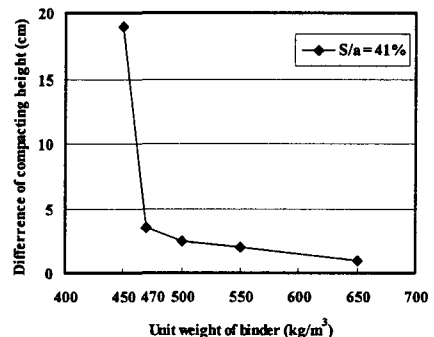


Fig. 2 단위분체량에 따른 충전고차

간의 상대량 감소에 따른 폐쇄현상에 의한 것으로 판단된다. 따라서 잔골재를 41%에서 자기충전성을 갖는 고성능콘크리트의 배합설계에서는 단위분체량을 $470\text{kg}/\text{m}^3$ 이상 사용하는 것이 바람직하다고 제안할 수 있다. 단위분체량 $470\text{kg}/\text{m}^3$ 에서의 골재용적이 충전성을 만족하는 최대 골재용적이므로 한계 골재 용적은 $0.657\text{m}^3/\text{m}^3$ 이라 할 수 있다. 이와 같이 자기충전성을 갖는 고성능콘크리트의 제조를 위한 단위분체량 산정은 충전성을 만족하는 최소단위분체량 이상을 사용하면 된다.

3.3 유동성 및 충전성 평가

고성능콘크리트의 유동성 평가는 일반적으로 슬럼프플로로 시험을 통해 결정하고 있으며 슬럼프플로 60 cm 이상을 기준으로 하고 있다. 또한 충전성 평가는 L로드 시험, O형 로드 시험, U형 충전 시험 등 기타 여러 방법들이 사용되고 있지만, 재료분리저항성과 철근사이의 간극통과성 측정이 동시에 가능한 U형 충전성 시험 장치가 일반화되어 있으며, 충전고차의 기준 값은 5 cm 이내로 보고 있다. Fig. 3은 고성능콘크리트의 제조시 각 재료량의 변동에 따른 슬럼프플로와 충전고차의 상관관계를 나타낸 것이다. Fig. 3에서 충전고차 5 cm를 만족하는 슬럼프플로의 분포는 60~70 cm의 범위에 집중되어 있다. 슬럼프플로가 60 cm 이하에서는 콘크리트의 유동성 부족으로 충전고차 5 cm이내를 만족시킬 수 없었으며, 70 cm를 초과하는 경우에도 재료분리현상이 일어나 폐쇄현상 발생으로 충전고차가 높게 나타났다. 따라서, 본 연구에서는 자기충전성 고성능콘크리트의 충전성을 만족시키기 위한 슬럼프플로의 범위를 $65\pm 5\text{ cm}$ 로 제안한다.

Fig. 4는 V로드 유하시험에서 구한 상대유하속도와 충전고차의 상관관계를 나타낸 것이다. 일반적으로 상대유하속도가 낮으면 점성부족으로 유하시간이 길어지고, 너무 높으면 콘크리트의 유동성 부족과 점성이 증가하여 유하속도가 길어지게 된다. Fig. 4에서 상대유하속도 0.5~1.5의 범위에서 충전고차 5 cm이내를 만족하고 있으며, 상대유하속도 1.5이상에서는 콘크리트의 유동성 부족과 점성증가로 인해 충전성이 나빠지게 되는 것을 알 수 있다. 따라서, 고성능콘크리트의 충전성을 만족하기 위한 상대유하속도는 0.5~1.5의 수준이 적당할 것으로 사료된다. 그러나 슬럼프플로 $65\pm 5\text{ cm}$ 의 범위에서 U형 충전고차가 5 cm 이내의 범위를 만족한다면 V로드 시험에 의한 상대유하속도를 만족시킬 수 있다. 따라서 V로드 유하시험은 U형 충전고차 시험과 중복성이 있는 것으로 배합설계의 간단화를 위해 슬럼프플로 시험에 의한 유동성 평가와 U형 충전고차 시험에 의한 충전성 평가로도 자기충전성 고성능콘크리트의 제조가 가능하다.

3.4 고성능콘크리트의 배합설계

본 연구에서는 유동성과 강도특성을 고려하고, 각 제조방법에 관계없이 고성능콘크리트를 제조할 수 있는 배합설계법을 제안하고자 하였으며, 제안된 배합설계 흐름도는 Fig. 5와 같다. Fig. 5에서 제조방

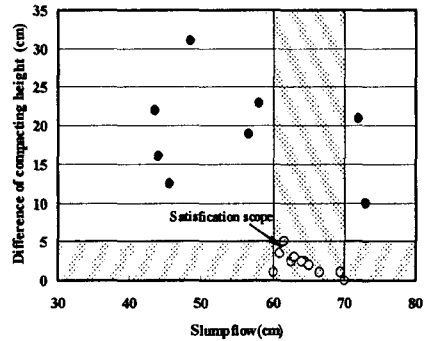


Fig. 3 슬럼프플로와 충전고의 관계

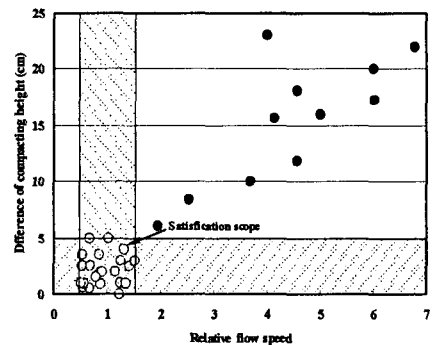


Fig. 4 상대유하속도와 충전고의 관계

법에 따라 사용되지 않는 재료는 배합설계시 무시하면 되며, 하나의 배합설계 흐름으로 고성능콘크리트의 제조방법별 배합설계법을 나타내고자 하였다.

Fig. 5에 따른 고성능콘크리트의 배합설계 흐름을 설명하면 다음과 같다.

- 1) 고성능콘크리트의 배합설계를 하기 위한 사용재료를 선정한다.
- 2) 굵은골재와 잔골재를 혼합하여 공극률이 최소가 되는 잔골재율을 산정한다.
- 3) 구조물이 놓이는 환경조건 및 내구성에 따른 공기량을 산정한다.
- 4) 강도, 건조수축을 기준으로 물분체비(W/B)를 결정한다.
- 5) 콘크리트의 유동폐쇄가 발생하지 않는 최소단위분체량 이상이 되도록 분체량을 결정한다.
- 6) 슬럼프플로 65±5cm, U형 충전고차 5cm 이내의 범위에 들도록 증점제 및 고성능감수제를 결정한다.
- 7) 제조된 콘크리트는 슬럼프플로 시험을 통해 유동성을 검토하고 만족할 수 없다면 고성능감수제 사용량을 조절한다. 단, 증점제계 고성능콘크리트에서는 물분체비(W/B)로 조절한다.
- 8) 제조된 콘크리트는 U형 충전성 시험기를 사용하여 충전성 평가를 실시하여 충전성을 검토하고, 만족할 수 없다면 단위분체량 및 증점제량을 조절한다.
- 9) 고성능감수제, 증점제량 및 단위분체량 등의 조절로도 유동성 및 충전성을 만족시킬 수 없다면 재료의 선정을 다시 실시한다.

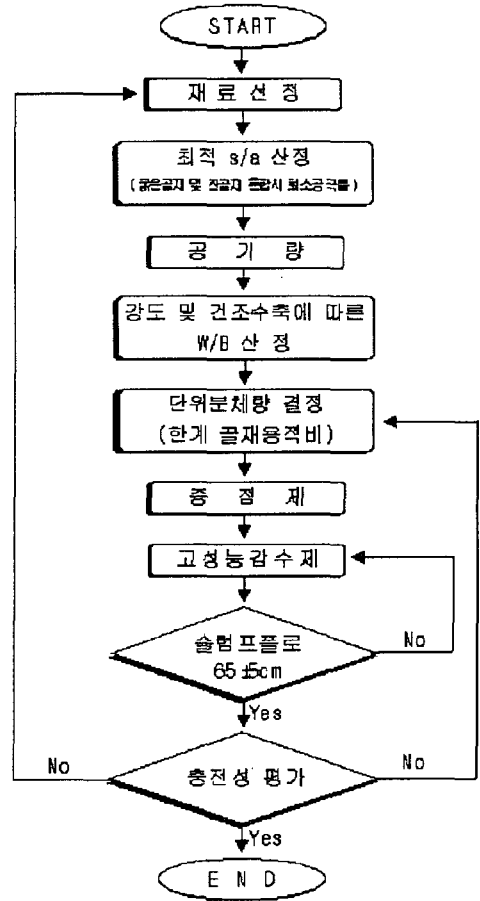


Fig. 5 고성능콘크리트의 배합설계 흐름도

4. 결론

고성능콘크리트의 배합설계법을 제안한 본 연구 결과는 다음과 같다.

- 1) 본 연구에서 제안된 배합설계법은 최적잔골재율 사용과 최소단위분체량 이상의 분체를 사용함으로써 시행착오를 줄여 자기충전성을 갖는 고성능콘크리트를 합리적이며 간편하게 제조할 수 있다.
- 2) 최대밀도이론을 바탕으로 한 고성능콘크리트의 실증 실험결과 최적잔골재율 41%인 골재를 사용한 고성능콘크리트의 최소단위분체량은 $470\text{kg}/\text{m}^3$ 이며, 최대골재용적으로는 $0.657\text{m}^3/\text{m}^3$ 이다.
- 3) 고성능콘크리트의 배합에 있어서 충전성을 만족하기 위한 슬럼프플로는 65±5cm, V로드 상대유속도는 0.5~1.5의 범위가 적정하다.

참고 문헌

1. Lee, Seung-Han, Han, Hyung-Sub, "Effect of Powder and Aggregate on Compactability of High Performance Concrete", An International Journal of Korea Concrete Institute, VOL. 11, NO. 3, JULY 1999, pp. 19 ~28.
2. 岡村 甫, 前川宏一, 小澤一雅, "ハイパフォーマンスコンクリート", 技報堂出版, 1993.