

# 중탄산칼슘을 이용한 자기충전형 콘크리트의 특성에 관한 연구

## A Study on the Properties of Self-Compacting Concrete Using Ground Calcium Carbonate

최연왕\*      정문영\*\*      임흥빈\*\*\*      황윤태\*\*\*  
Choi, Yun Wang    Jung, Moon Young    Im, Heung Bin    Hwang, Youn Tae

### ABSTRACT

This study examines self-compacting of concrete using Ground Calcium Carbonate(GCC) gathering in limestone mine of Danyang district in order to make self-compacting concrete in the range of design strength  $300\text{kgf/cm}^2$  and the optimal mix proportion of self-compacting concrete that can use in field structure.

The result shows that the optimal GCC replacement ratio is  $45\pm 5\%$  in the normal strength of design strength  $300\text{kgf/cm}^2$  and that the volume ratio of the optimal fine aggregate used as the way satisfying both viscosity and compacting ability without separating materials is 46%. The optimal volume ratio of the coarse aggregate considering the economical aspect of concrete is 50%. It is desirable that the optimal mix proportion satisfying self-compacting for replacement of GCC is decided through mix design according to each replacement ratio.

### 1. 서론

최근, 국내의 건설환경은 건설현장 작업자의 고령화 및 숙련공의 부족과 3D현상으로 인한 건설인력 확보의 어려움이 증가하고 있으며, 또한 건설 구조물의 대형화, 고층화, 특수화됨에 따라 다양하고 복잡한 모양의 부재형상과 내진설계의 강화에 따른 과밀배근 및 콘크리트의 타설 및 다짐 불량 등에 의한 콘크리트 구조물의 초기 결함이 증가되고 있는 실정이다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 방법의 하나로 자기충전 콘크리트(Self-Compacting Concrete)에 대한 연구<sup>(1)</sup>가 활발히 진행되고 있고, 그 사용 실적 또한 증가 추세에 있지만, 국내의 경우 이러한 자기충전 콘크리트에 대한 연구는 대부분  $500\text{kgf/cm}^2$  정도의 고강도 콘크리트 영역에서 연구 성과<sup>(2)</sup> 및 사용 실적이 이루어지고 있는 반면, 콘크리트 구조물에 가장 일반적으로 사용되고 있는  $210\sim 350\text{kgf/cm}^2$ 의 보통강도에서의 자기충전 콘크리트에 대한 연구 및 실용화는 찾아보기 어려운 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 설계기준강도  $300\text{kgf/cm}^2$  범위의 자기충전 콘크리트를 제조하기 위한 연구의 일환으로 단양지역의 석회석 광산에서 발생하는 중탄산칼슘을 사용한 콘크리트의 자기충전성을 검토하여 현장 구조물에 적용할 수 있는 자기충전 콘크리트의 최적배합에 대하여 고찰하였다.

### 2. 실험개요

#### 2.1 사용재료

\* 정희원, 세명대학교 토목공학과 부교수  
\*\* 정희원, 세명대학교 자원환경공학과 부교수  
\*\*\* 정희원, 세명대학교 토목공학과 석사과정

### 2.1.1 시멘트 및 분체

시멘트는 비중이 3.15인 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC로 약함)를 사용하였으며, 재료분리 저항성을 향상시키기 위해 사용된 분체는 단양군 지역의 석회석을 미분쇄한 비중 2.70의 중탄산칼슘(이하 GCC로 약함)으로 이들의 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1 시멘트와 중탄산칼슘의 화학성분 및 물리적 성질

Items Types	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Specific gravity	Specific surface area (cm <sup>2</sup> /g)
O P C	21.6	6.0	3.1	61.4	3.4	2.5	3.15	3,539
G C C	2.8	0.25	0.2	52.0	3.0	-	2.70	4,000

### 2.1.2 골재

잔골재는 충주산 강모래와 굵은골재 최대치수가 19mm인 파쇄골재를 사용하였으며, 사용된 골재의 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2 골재의 물리적 성질

Items Types	G <sub>max</sub> (mm)	Specific gravity	Absorption (%)	F.M.	Organic impurities	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	Solids by weight
Coarse aggregate	19	2.69	0.86	7.15	-	1,589	58.0
River sand	-	2.60	1.82	2.67	O.K	1,677	64.5

### 2.1.3 혼화제

자기충전 콘크리트의 고유동성을 확보하기 위하여 비중 1.1±0.02, pH 7.0±1.0인 K사 제품의 폴리카본산계 고성능 감수제를 사용하였으며, 공기량을 조절하기 위한 AE제는 음이온계인 K사 제품을 사용하였다.

## 2.2 실험방법

Okamura교수의 배합설계시스템<sup>(3)</sup>에 의한 시험방법을 적용하였으며, Slump-flow 시험, V-Lot 시험, U-Box 시험은 일본토목학회 “자기충전형 고유동 콘크리트의 시험방법(안)”의 기준에 따라 실시하였다.

### 2.2.1 페이스트 플로우시험

시멘트가 유동하기 직전의 구속수비 값을 구하기 위하여 시멘트 페이스트를 제조한 후 KS R 5201에 준용하여 무진동, 무다짐에 의한 플로우 시험을 실시하였다. 페이스트의 흐름이 종료된 시점에서 세방향의 직경을 측정한 후 그 평균값을 페이스트의 플로우값으로 결정하였다.

### 2.2.2 구속수비

물-분체 용적비가 1.1, 1.2, 1.3, 1.4인 1L를 믹싱한 후 페이스트 플로우시험을 실시하였다. 연속 2회 실시한 페이스트 플로우시험 결과로부터 상대플로우 면적비를 산정하여 상대플로우 면적비가 0이 되는 물-분체 용적비를 회귀분석하여 직선의 y절편 값을 구속수비( $\beta_p$ )를 구하였다.

### 2.2.3 콘크리트의 강도시험

Ø10×20cm 원주형공시체를 제작하여 20±1℃에서 표준양생하여 재령 3일, 7일, 28일에서 각 재령별로 KS F 2405에 따라 압축강도를 측정하였다.

### 2.3 배합

#### 2.3.1 모르타르 배합

GCC = 0%, 상대플로우면적비( $\Gamma_P$ ) =  $5 \pm 0.5$ , 상대로트속도비(Rm) =  $1 \pm 0.1$ 을 만족시키기 위하여 물-분체 용적비( $V_w/V_p$ )를 2개수준(0.80, 0.85), 잔골재 용적비( $V_s/V_M$ ) 2개수준(0.40, 0.45)으로 변화시키면서 SP제 사용량을 달리하며 배합을 결정하였다.

#### 2.3.2 콘크리트 배합

모르타르 배합을 통하여 결정된 배합에 대하여 시멘트 분체에 대한 부피비로 GCC를 5수준(0%, 15%, 30%, 45%, 60%), 잔골재 용적비 4수준(44%, 46%, 48%, 50%), 물-분체 용적비 3수준(95%, 97%, 99%), 굵은골재 용적비 3수준(48%, 50%, 52%)으로 변화시킨 콘크리트를 제조하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 모르타르의 유동특성

GCC의 혼합율에 따라 물-분체 용적비를 1.1, 1.2, 1.3, 1.4로 변화시켜 상대플로우 면적비에 대한 물-분체 용적비와의 관계를 나타낸 것이 그림 1이다.

그림 1의 결과 GCC혼합율에 따라 상대플로우 면적비와 물-분체 용적비는 선형관계이며, 상대플로우 면적비가 0이 되는 물-분체 용적비를 회귀분석하여 구한 직선의 y절편 값인 구속수비( $\beta_P$ )는 GCC 혼합율 0%, 15%, 30% 및 45%에 대하여 각각 1.06, 1.08, 1.10 및 1.11로 측정되었으며, 회귀분석한 직선의 기울인 변형계수는 GCC 혼합율에 대하여 0.119, 0.120, 0.160 및 0.206로 측정되어 GCC 혼합율이 증가됨에 따라 구속수비 및 변형계수는 다소 증가하는 것으로 나타났다.

구속수비 및 변형계수는 자기충전 콘크리트의 자기충전성에 영향을 미치는 분체고유의 특성치로서 구속수비가 크다는 것은 유동성에 기여하지 못하고 결합재에 흡수되는 구속수량이 높고, 변형계수가 크다는 것은 동일한 범위의 플로우를 증진시키는데 필요한 단위수량이 많아진다는 Okamura의 연구결과<sup>(3)</sup>에 의하면, GCC의 혼합율이 증가할수록 보통포틀랜드 시멘트의 경우보다 유동성에서는 다소 불리하지만 재료분리 저항성은 향상될 것으로 판단된다.

다음은 자기충전 콘크리트 기준배합의 최적 물-분체 용적비 및 고성능감수제 적정 첨가량을 알아보기 위하여 물-분체 용적비를 GCC를 혼합하지 않은 구속수비값(1.06)의 80% 및 0.85%의 2수준, 잔골

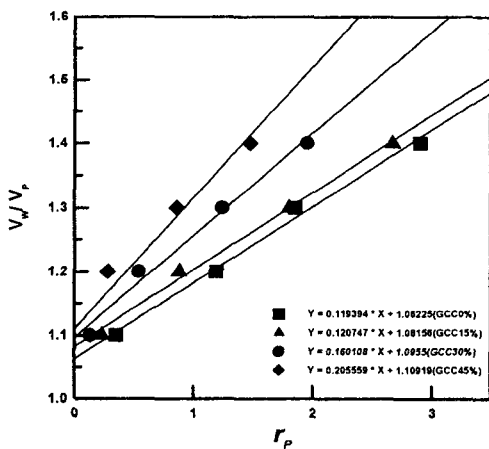


그림 1 물-분체 용적비와 상대플로우 면적비 관계

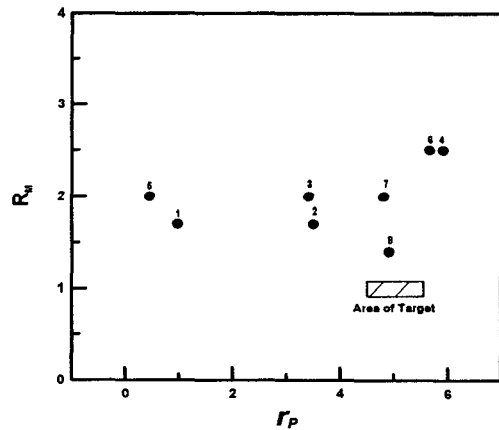


그림 2 상대로트 속도비에 대한 상대플로우 면적비의 관계

재 용적비( $V_s/V_M$ )는 40% 및 45%의 2수준 및 SP제 사용량을 변화시켜 제조한 모르타르의 플로우시험 및 V-Lot시험의 결과를 나타낸 것이 그림 2이다.

그림 2의 결과, 목표 상대플로우 면적비( $\Gamma_p$ ) =  $(\frac{F_M}{F_0})^2 - 1 = 5 \pm 0.5$ cm, 목표 상대로트 속도비

( $R_M$ ) =  $\frac{10}{T_r} = 1 \pm 0.1$ 초 ( $T_r = V_{lot}$ 유하시간)의 범위에 가장 근접한 배합은 GCC 혼합물 0%에서, 물-분체 용적비 80%와 잔골재 용적비 45%이며, 정확한 목표범위에 해당하는 물-분체 용적비 및 잔골재 용적비는 콘크리트 배합시험을 통하여 구하는 것이 바람직하다고 판단된다.

### 3.2 콘크리트의 자기충전특성

#### 3.2.1 GCC의 적정 혼합률

GCC를 사용한 설계기준 강도 300kgf/cm<sup>2</sup> 범위의 자기충전 콘크리트를 제조하기 위하여 기준 Slump Flow범위인 60±5cm에 적합하도록 SP제 량을 조절하면서 GCC의 혼합율 5수준(0%, 15%, 30%, 45%, 60%)으로 내할 혼합하여 압축강도 특성을 정리한 것이 그림 3이며, 이때 사용된 SP제 양을 나타낸 것이 그림 4이다.

그림 3의 결과 기준재령 28일의 압축강도는 GCC 혼합율이 0, 15, 30%인 경우에 400kgf/cm<sup>2</sup> 이상의 압축강도를 나타내고 있으며, GCC 혼합율이 60% 이상인 경우에는 본 연구의 목표 강도보다 낮은 강도특성을 나타내고 있어 본 연구의 목표강도 범위에서 자기충전성을 확보하기 위한 GCC 혼합율은 45% 정도가 적합하다고 판단된다. 또한 그림 4의 결과 GCC 혼합율이 증가함에 따라 목표 슬럼프 플로우를 만족시키기 위하여 사용된 SP제 양은 비례적으로 감소하여 혼합율 60%에서는 GCC를 치환하지 않은 경우보다 SP제 사용량이 44%정도 감소되는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 GCC 혼합율이 증가할수록 구속수비가 증가하여 유동성에 불리한 모르타르의 실험결과와 상반된 결과이지만 SP제 사용량은 분체 전체에 대하여 결정되므로 GCC 혼합율이 증가 할수록 시멘트의 사

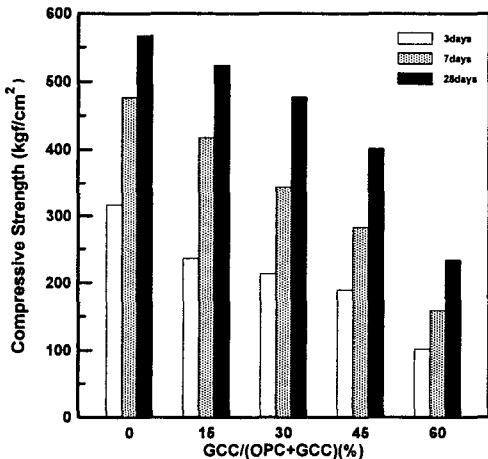


그림 3 GCC 혼합율에 따른 재령별 압축강도

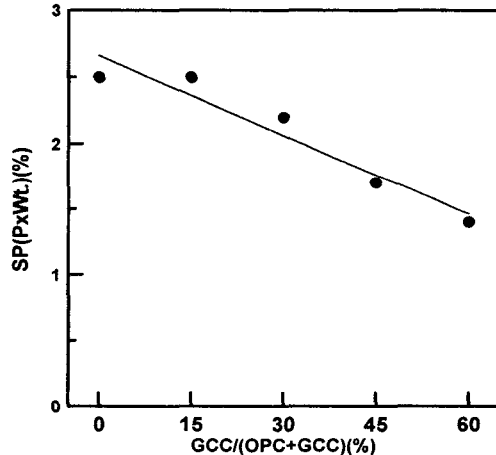


그림 4 GCC 혼합율에 따른 SP제 사용량

용량은 상대적으로 적어지기 때문에 SP제에 의한 유동성 향상효과가 시멘트 보다 GCC의 경우가 더 효율적이기 때문이라고 판단된다. 이상의 결과를 통하여 동일한 고유동성을 확보하기 위하여 사용되는 SP제 양은 GCC의 사용량이 증가할수록 감소되고 있어 GCC의 사용이 동일한 SP제를 사용할 경우 유동성 개선에 효과적임을 알 수 있다.

#### 3.2.2 잔골재 용적비의 영향

GCC 혼합율 45%에서 잔골재 용적비 변화에 따른 충전특성을 알아보기 위하여 잔골재 용적비 44%, 46%, 48% 및 50%의 4수준으로 변화시켜 슬럼프 플로우 60±5cm를 만족하는 콘크리트를 제조하여 점성 및 충전성을 V-Lot 유하시간 및 U-Box 높이차를 측정하여 정리한 것이 그림 5이다.

그림 5의 결과, 자기충전 콘크리트의 점성을 평가할 수 있는 V-Lot 유하시간은 잔골재 용적비가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보이고 있으며, 목표 유하시간(10±5초)을 만족하는 잔골재 용적비는 44% 및 46% 범위이다. 또한 간극통과성 시험을 통하여 충전성을 평가하는 Box 높이차의 결과는 잔골재 용적비가 46%일 경우에만 7.4cm로 목표 Box 높이차(5±1cm)에 가장 근접한 값을 나타내고 있음을 알 수 있어 점성과 충전성을 모두 만족하는 최적의 잔골재 용적비는 46%로 판단된다.

### 3.2.3 물-분체 용적비의 영향

GCC 치환율 45%, 잔골재 용적비 46%에서 물-분체 용적비에 따른 충전특성을 알아보기 위하여 물-분체 용적비를 95%, 97% 및 99%의 3수준으로 변화시켜 슬럼프 플로우 60±5cm를 만족하는 콘크리트를 제조하여 점성 및 충전성을 V-Lot 유하시간 및 U-Box 높이차를 측정하여 정리한 것이 그림 6이다. 그림 6의 결과, 동일한 잔골재 용적비의 경우 물-분체 용적비가 증가됨에 따라 V-Lot 유하시간은 비례적으로 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 경향은 물-분체비가 증가할수록 상대적으로 점성이 감소됨을 나타낸 것으로 물-분체비가 증가되면 페이스트 절대용적의 증가로 굵은 골재 입자끼리의 마찰저항 및 아칭(arching)현상이 감소되기 때문으로 판단된다. 또한 물-분체 용적비 변화에 따른 BOX 높이차는 일정한 경향은 나타나지 않고 있지만 물-분체 용적비 97%의 경우에서만 6cm로 목

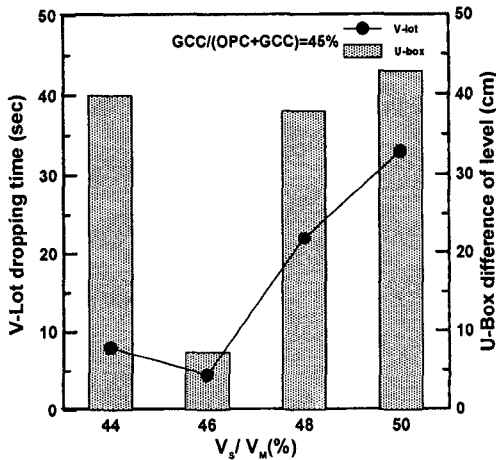


그림 5 잔골재 용적비에 따른 V-Lot 유하시간 및 Box 높이차

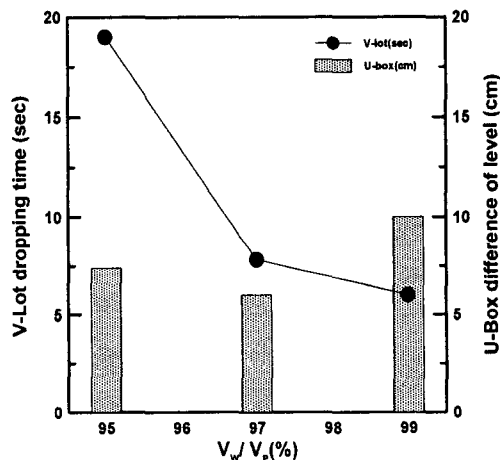


그림 6 물-분체 용적비에 따른 V-Lot 유하시간 및 Box 높이차

표 BOX 높이차(5±1cm)를 만족하고 있음을 알 수 있어 잔골재 용적비가 일정한 경우 점성과 충전성을 모두 만족하는 물-분체비의 최적값은 97%로 판단된다.

### 3.2.4 굵은골재 용적비의 영향

선행 실험들을 통해 얻은 GCC 혼합율 45%, 잔골재 용적비 46%, 물-분체 용적비 97%에서 굵은골재 용적비를 48%, 50% 및 52%의 3수준으로 변화시켜 슬럼프 플로우 60±5cm를 만족하는 콘크리트를 제조하여 점성 및 충전성을 V-Lot 유하시간 및 U-Box 높이차를 측정하여 정리한 것이 그림 7이다. 그림 7의 결과, 잔골재 용적비 및 물-분체 용적비가 동일한 경우 굵은골재 용적비의 변화에 따라 V-Lot 유하시간 및 U-Box 높이차는 모두 큰 변화폭을 나타내지 않아 굵은골재 용적비의 변화는 점성 및 충전성에 중요한 영향을 미치지 못하고 있음을 알 수 있다.

이상의 실험결과를 통하여 점성과 충전성을 확보할 수 있는 최적의 굵은골재 용적비는 48%로 나타났으나 목표 슬럼프 플로우 범위(60±5cm)의 단위 수량이 180kg/m<sup>3</sup> 이상이 필요하며, 굵은골재 용적비 52%의 경우에는 목표 슬럼프 플로우를 만족시키기 위해서 필요한 SP제의 양이 증가하는 것으로 나타나 콘크리트의 경제성을 고려한 최적의 굵은골재 용적비는 50%로 판단된다.

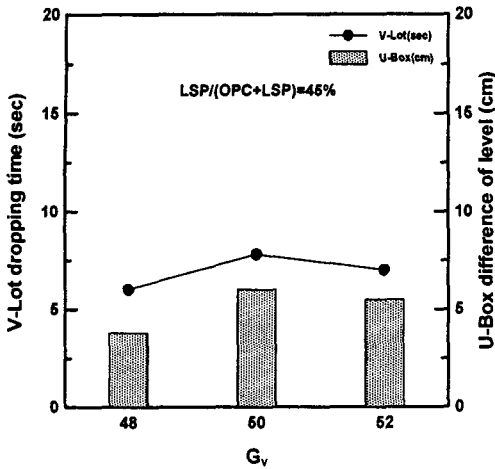


그림 7 굵은골재 용적비에 따른 V-Lot 유하시간 및 Box 높이차

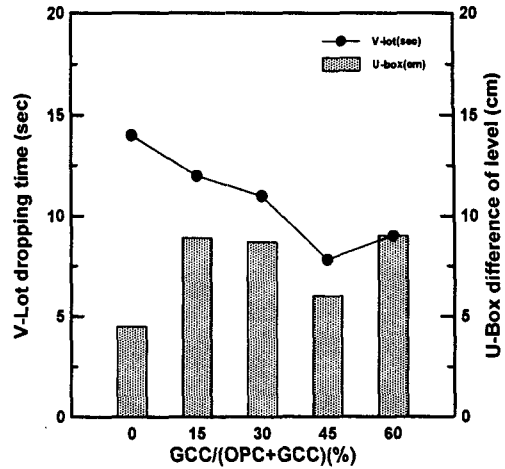


그림 8 최적 변수를 적용한 GCC 혼합율에 따른 V-Lot 유하시간 및 Box 높이차

### 3.2.4 GCC 혼합을 변화에 따른 최적변수 영향

GCC 혼합을 45%에서 결정된 최적 변수값을 적용하여 GCC 혼합을 0%, 15%, 30% 및 60% 각각에 대한 자기충전성 시험을 실시한 결과를 정리한 것이 그림 8이다. 그림 8의 결과 모든 GCC 혼합율에서 목표 V-Lot 유하시간(10±5초)을 만족하고 있음을 알 수 있으나, 충전성을 나타내고 있는 U-Box 높이차는 0%와 45%만이 목표 Box 높이차(5±1cm) 범위를 만족하고 있음을 알 수 있다.

이러한 결과를 통하여 GCC 혼합율에 따라 자기충전성을 만족하는 최적배합은 각각의 혼합율에 따라 배합설계를 통하여 결정하는 것이 바람직하다고 판단되었다. 또한 목표 공기량(4.5±1%)을 얻기 위한 AE제의 사용량은 각각의 GCC 혼합율에 따라 큰 변화가 없이 안정된 공기량을 얻을 수 있었으며, 그 사용량은 분체중량에 대하여 0.07~0.08%의 범위가 가장 적당한 것으로 나타났다.

## 4. 결론

콘크리트의 타설 및 다짐 불량 등에 의한 콘크리트 구조물의 초기 결함의 문제점을 해결하기 위한 방법의 일환으로 다짐작업이 필요없는 보통강도 범위의 자기충전 콘크리트를 개발하기 위하여 단양인근 지역에서 생산되는 중탄산칼슘을 사용하여 제조한 콘크리트의 유동성, 점성 및 충전성에 대하여 실험을 통하여 비교 분석한 결론은 다음과 같다.

- (1) 설계기준 강도 300kgf/cm<sup>2</sup> 범위에서 자기충전성을 확보하기 위한 GCC 혼합율은 45±5%로 판단되며, 동일한 고유동성을 확보하기 위하여 사용되는 SP제 양은 GCC의 혼합율이 증가할수록 감소되고 있어 GCC의 사용이 동일한 SP제를 사용할 경우 자기충전 콘크리트의 유동성 개선에 효과적임을 알 수 있다.
- (2) GCC 혼합율이 45%인 자기충전 콘크리트의 점성과 충전성을 모두 만족하는 최적의 잔골재 용적비는 46%, 물-분체비는 구속수비의 97%, 굵은골재 용적비는 50%로 판단된다.
- (3) GCC 혼합을 변화에 따른 자기충전성을 만족하는 최적배합은 각각의 혼합율에 따라 배합설계를 통하여 결정하는 것이 바람직하다고 판단된다

## 참고문헌

1. P.C. Aitcin, High-Performance Concrete, E & FN Spon, 1998.
2. 권영호 외 3인, "사용재료의 품질변동이 병용계 초유동콘크리트의 품질특성에 미치는 영향," 한국레미콘협회, 제64호, 2000, pp.16~30.
3. 岡村甫 外 3人, ハイパフォーマンスコンクリート, 技報堂出版, 1993.