



# 품질변동에 따른 병용계 자기충전 콘크리트의 유동특성에 관한 실험적 연구

권영호 <sup>1)</sup>\*

<sup>1)</sup>동양대학교 건축소방행정학과

## An Experimental Study on the Rheological Properties of the Combined Self-Compacting Concrete by Quality Variations

Yeong-Ho Kwon <sup>1)</sup>\*

<sup>1)</sup>Dept. of Architecture and Fire Service Administration, Dong Yang University, Youngju 750-801, Korea

**ABSTRACT** The purpose of this study is to investigate experimentally the variation factors range having influence on the rheological properties of the combined self-compacting concrete according to materials quality, weighting error and site conditions. Two types cement (blast-furnace slag cement and belite cement), lime stone powder as binder and the optimum mix proportions in the preceded study are selected for this study. Also, variations for sensitivity test are as followings; (1) Concrete temperature 3 cases (2) Surface moisture of sand 5cases (3) Fineness modulus of sand 5cases (4) Specific surface of lime stone powder 3cases (5) Dosage of chemical admixture 5cases. Slump flow (650±50 mm), 500 mm reaching time ((7±3 sec), V-type flowing time (15±5 sec) and U-box height (min. 300 mm) are tested for sensitivity. As test results, the variations range for quality control are as followings. (1) Concrete temperature; 10 ~ 20°C (below 30°C) (2) Surface moisture of sand; base±0.6% (3) Fineness modulus of sand; 2.6±0.2 (4) Dosage of chemical admixture; base±0.2% (5) Specific surface of lime stone powder 6000 cm<sup>2</sup>/g. Compared with two types cement including based belite cement (binary type) and based slag cement (ternary type), the combined self-compacting concrete used belite cement type is most stable in the quality control because of high contents for lime stone powder and C<sub>2</sub>S. It is to propose a control scheme of the combined self-compacting concrete in the actual construction work.

**Keywords** : combined self-compacting concrete, concrete temperature, surface moisture, fineness modulus, lime stone powder

### 1. 서 론

다짐이 필요없는 자기충전 콘크리트는 사용재료에 따라 분체계, 증점제계 및 병용계로 구분된다.<sup>1)</sup> 분체계는 보통포틀랜드 시멘트에 고로슬래그 미분말, 플라이애쉬 및 실리카 폼과 같은 잠재수경성을 갖는 분체와 잠재수경성을 갖지 않는 석회석 미분말을 많이 사용한다. 그러나 다량의 분체로 소성점도를 부여하기 때문에, 고강도 발현과 과도한 수화열 및 건조수축 등의 문제점을 갖고 있다.<sup>2)</sup> 또한 증점제계는 분리저감제를 사용하여 소성점도를 부여하므로 저장도 영역의 범위에 적합하다.<sup>3,4)</sup>

병용계의 경우에 분체계의 수화열과 건조수축의 문제를 해소하고, 자기충전 콘크리트의 안정적인 소성점도의 유지 및 품질의 균일성을 확보하기 위하여 사용한다.<sup>5)</sup>

이러한 병용계 자기충전 콘크리트는 도심도의 지하식 LNG 저장탱크의 지하연속벽, 초고층 건축물의 주요한 부재 및 특수교량 등에 많이 사용되고 있다.

특히, 지하식 LNG 저장탱크의 지하연속벽과 같은 구조물은 굴착심도가 깊고, 초기 자유낙하 및 벤토나이트 안정액과 접하는 콘크리트 시공과정에서 있어서 소성점도의 부여 및 유지성능에 변동성이 크기 때문에, 병용계 자기충전 콘크리트를 사용하더라도 재료의 품질변동, 계량오차 및 현장조건의 차이 등으로 콘크리트의 품질관리에 문제가 발생할 수 있는 가능성이 존재하고 있다.<sup>6)</sup>

따라서 이 연구에서는 병용계 자기충전 콘크리트의 현장시공에 있어서 발생할 수 있는 품질변동 요인을 선정하고, 이에 따른 유동성, 재료분리 저항성 및 자기충전성 등의 유동특성을 실험적으로 고찰하여 현장 품질관리의 방안을 제시하고자 한다. 병용계 자기충전 콘크리트는 사용하는 시멘트의 종류에 따라 벨라이트계와 슬래그계로 구분하였으며, 분체는 소성점도, 수화열, 경제성 등을 고려하여 석회석 미분말(Lime stone powder, 이하 LSP)을 대상으로 하였다.<sup>7)</sup>

\*Corresponding author E-mail : kyh00127@hanmail.net  
 Received December 20, 2013, Revised February 12, 2014,  
 Accepted February 17, 2014  
 ©2014 by Korea Concrete Institute

## 2. 실험개요 및 배합조건

### 2.1 실험개요 및 요구성능

재료의 품질변동에 따른 병용계 자기충전 콘크리트의 단계별 실험절차는 Fig. 1과 같다.

#### 2.1.1 실험개요

병용계 자기충전 콘크리트에 대한 선행연구에서 도출된 기본배합을 기초로 하여, 슬래그계(슬래그 시멘트+석회석 미분말) 및 벨라이트계(벨라이트 시멘트+석회석 미분말) 최적배합 조건을 각각 선정하였다.<sup>8)</sup>

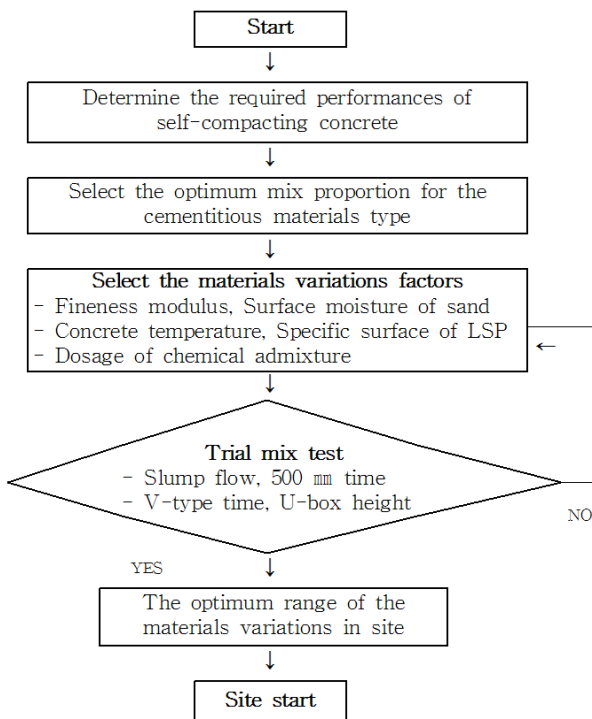


Fig. 1 Test procedures for self-compacting concrete

Table 1 Required performances of self-compacting concrete

Items	Target value	Remark
Specified design compressive strength	40.0 MPa	KS F 2405 91 days (Φ100×200 mm)
Required compressive strength	50.5 MPa	
Slump flow	(650±50) mm	JSCE working group for evaluating performance in subcommittee on high flowable concrete. "Testing for self-compacting concrete"
500 mm reaching time	7.0±3.0 sec	
V-type flowing time	15±5 sec	
Air contents	4.0±1.0 sec	
U-box height	min. 300 mm	

선정한 배합조건에 대상으로 콘크리트의 온도, 잔골재의 조립률 및 표면수율의 변동, 고성능AE감수제의 사용량 변동 그리고 석회석 미분말의 분말도 변동에 따른 병용계 자기충전 콘크리트의 유동특성을 실험하였다.

#### 2.1.2 요구성능 및 평가방법

병용계 자기충전 콘크리트의 요구성능 및 평가방법은 Table 1과 같다. 여기서 설계기준강도는 재령 91일 강도 기준이며, 콘크리트의 제조·운반·타설 및 양생 등의 과정에서 발생하는 변동계수(V)를 10%로 가정한 활중계수(α)와 수중저감계수를 각각 1.2 및 0.95로 하여 배합강도를 산정하였다.<sup>6)</sup>

또한, 유동성 및 재료분리 저항성은 슬럼프 플로우, 500 mm 플로우 도달시간, 그리고 V형-깔대기 유하시간을, 자기충전성은 U형-box 충전시험으로 평가하도록 하였다.<sup>9)</sup>

## 2.2 사용재료 및 배합조건

병용계 자기충전 콘크리트의 사용재료, 품질변동의 변수범위, 기본배합조건 및 시험방법은 다음과 같다.

#### 2.2.1 사용재료

콘크리트의 제조에 사용된 재료의 종류 및 품질시험 결과는 Table 2와 같다.

Table 2 Properties of concrete materials

Materials	Kinds	Properties	Remark
Cement	Belite type	- Density (3.22 g/cm <sup>3</sup> ), Blaine (3391 cm <sup>2</sup> /g) - C <sub>3</sub> S (28.6%), C <sub>2</sub> S (48.0%), C <sub>3</sub> A (3%)	KS L 5201
	Slag type	- Density (3.05 g/cm <sup>3</sup> ), Blaine (3750 cm <sup>2</sup> /g) - SO <sub>3</sub> (2.5%), Ignition loss (0.6%)	KS L 5210
Binder	Lime stone powder	- Density (2.61 g/cm <sup>3</sup> ), Blaine (6320 cm <sup>2</sup> /g) - Moisture (0.2%), CaO (53.5%)	JIS A 5008
Fine aggregate	River sand	- Density (2.62 g/cm <sup>3</sup> ), F.M (2.50) - Absorption (1.1%), Soundness (4.5%)	KS F 2526
Coarse aggregate	Crushed stone	- Density (2.63 g/cm <sup>3</sup> ), F.M (6.64) - Absorption (1.0%), Soundness (3.7%)	
Chemical admixture	Poly-carbone	- Density (1.2 g/cm <sup>3</sup> ), - Solid content (36.4%)	ASTM C494
Viscosity agent	Poly-saccharide	- Viscosity (800 cp) - White powder type	

이 연구에서 벨라이트계는 벨라이트 시멘트에 석회석 미분말을 사용하였으며, 슬래그계는 슬래그 미분말의 함량이 평균 46.5%인 슬래그 시멘트에 석회석 미분말을 사용한 2종류의 결합재를 대상으로 하였다. 또한, 잔골재는 강모래, 굵은골재는 20 mm 쇄석을 사용하였으며, 석회석 미분말은 시판되는 C-140을 사용하였다.

또한, 고성능AE감수제 및 분리저감제의 적합성을 고려하여<sup>10)</sup> 폴리 카르본계 및 폴리 싸카라이드계를 사용하였으며, 각각의 재료실험의 결과, 대부분 표준에서 요구하는 성능을 만족하였다.

### 2.2.2 품질변동의 변수범위

병용계 자기충전 콘크리트는 일반 콘크리트에 비해 사용재료의 품질변동, 계량오차 및 온도변화 등에 매우 민감하게 작용하기 때문에, 이러한 변동요인에 의한 영향을 사전에 충분히 분석, 평가해야 한다.

이에 따라 현장적용에서 예상되는 재료의 품질변동 요인 및 변수범위는 Table 3과 같이 선정하였다.

품질변동 요인에 따른 변수범위로 1) 콘크리트의 온도 변동에 따른 3종류, 2) 잔골재의 표면수율 변동에 따른 5종류, 3) 잔골재의 조립률 변동에 따른 5종류, 4) 고성능 AE감수제의 사용량 변동에 따른 5종류, 5) 석회석 미분말의 분말도에 따른 3종류 등을 선정하였다.

여기서 콘크리트의 온도변동은 물의 온도로 조절하였고, 잔골재의 표면수율 및 조립률은 각각 단위수량 및 체가름을 통한 입도조정으로 하였다. 특히, 석회석 미분말의 분말도에 따른 품질변동 시험은 슬래그계에 비해 비교적 품질의 안정성이 우수한 것으로 나타난 벨라이트계 자기충전 콘크리트에 대해서만 추가적으로 실시하였다.

### 2.2.3 배합조건

품질변동에 영향을 미치는 요인에 대한 실험적 고찰을 위한 병용계 자기충전 콘크리트의 배합조건은 Table 4와 같으며, 이는 선행연구에서 시멘트 종류에 따른 석회석

미분말의 치환율과 구속수비, 물-시멘트비(38~54%), 잔골재 용적비( $S_v$ , 41~49%), 굵은골재 용적비( $G_v$ , 51~53%) 등에 대한 실험을 실시하여 선정된 최적배합이다.<sup>8)</sup>

여기서 S는 잔골재, G는 굵은골재, A.D는 고성능AE감수제, V.A는 분리저감제를 나타낸 것이다. 또한,  $G_v$ 는 굵은골재의 용적비율, LSP는 석회석 미분말을 나타낸 것이다.

### 2.2.4 배합 및 시험방법

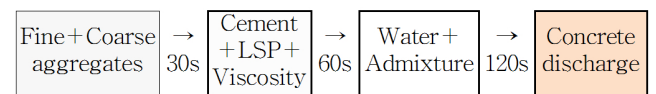
병용계 자기충전 콘크리트의 배합방법은 100 L 용량의 강제식 믹서(40 rpm)를 사용하여 Fig. 2와 같은 순서로 실시하였다. 이때, 전체 배합시간은 210초이지만 건비빔 단계를 제외하면 실제 배합시간은 120초이다.

병용계 자기충전 콘크리트의 유동성, 충전성, 재료분리 저항성 등의 성능평가는 콘크리트 표준시방서의 고유동 콘크리트 지침에 따라 실시하였다.<sup>11)</sup>

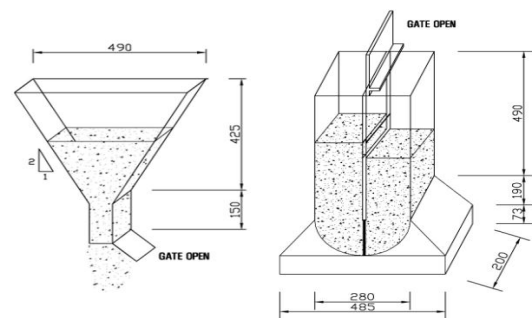
즉, Fig. 3에 나타난 바와 같이 KSCE 2003-01(충전장치

**Table 4** Base mix proportions for cement type

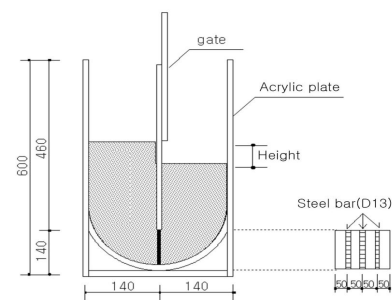
W/B (%)	S/a (%)	Gv (%)	Unit materials content (kg/m <sup>3</sup> )							Re-mark
			Water	Ce-ment	LSP	S	G	A.D	V.A	
35.5	50.8	53	180	439	69	812	789	11.7	0.245	Slag
29.3	48.6	53	174	341	253	742	788	7.44	0.16	Belite



**Fig. 2** Mixing method and time of the fresh concrete



**Fig. 3** V-type flowing time and U-box height Tester (unit: mm)



**Fig. 4** U-box height tester (unit: mm)

**Table 3** Variation factors for sensitivity test

Variation factors	Variation range	Remark
Concrete temperature	10°C, 20°C, 30°C (3 Cases)	Flowability
Surface moisture of sand	W, W±5 kg/m <sup>3</sup> , W±10 kg/m <sup>3</sup> (5 Cases)	
Fineness modulus of sand	2.2, 2.4, 2.6, 2.8, 3.0 (5 Cases)	Self-compaction
Specific surface of lime stone powder	5000, 6000, 8000 cm <sup>2</sup> /g (3 Cases)	* Base - Slag: 2.3% - Belite: 1.25%
Dosage of chemical admixture	Base*, Base±0.2%, Base±0.4% (5 Cases)	

를 이용한 간극통과성 시험방법)에 규정된 U형-Box 시험 장치로 간극통과성을 측정하였으며, KSCE 2003-03(갈때기를 사용한 유하시험 방법)에 규정된 V형-갈때기 시험 장치로 유하시간을 측정하였다. Fig. 4는 U형-Box 시험 장치의 상세를 나타낸 것이다. 또한, KSCE 2003-02(슬럼프 플로우 시험)에 따라 슬럼프 플로우 및 500 mm 플로우 도달시간을 측정하였다.

### 3. 실험 결과 및 분석

#### 3.1 콘크리트의 온도변동에 따른 영향 분석

분리저감제의 온도민감성에 따른 병용계 자기충전 콘크리트의 품질변동을 검토하기 위하여 콘크리트의 온도를 10, 20, 30°C로 조정하여 유동성, 충전성 및 재료분리 저항성 등에 대한 민감도 시험을 실시하였다.

##### 3.1.1 콘크리트의 온도변동에 따른 유동성

Fig. 5 및 6은 슬래그계 및 벨라이트계 자기충전 콘크리트의 온도변동에 따른 슬럼프 플로우 및 500 mm 플로우 도달시간의 측정 결과를 각각 나타낸 것이다.

10°C의 경우에는 시멘트 종류에 따라 약간의 차이가 있지만, 대부분 목표 슬럼프 플로우(650±50 mm)를 만족하였다. 500 mm 플로우 도달시간은 시멘트의 종류에 관

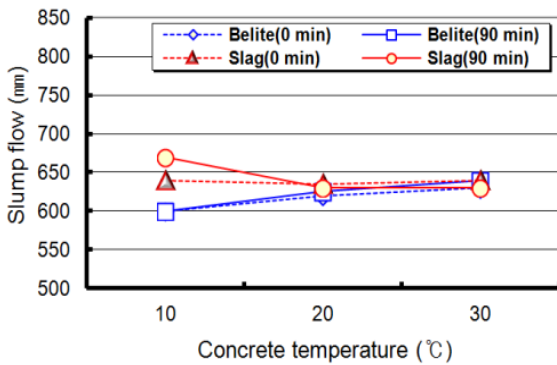


Fig. 5 Slump flow for concrete temperature

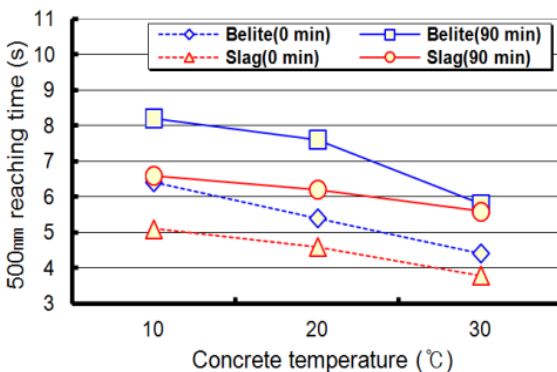


Fig. 6 500 mm slump flow reaching time for concrete temperature

계없이 콘크리트의 온도가 높아질수록 감소하는 경향을 보였는데, 이는 콘크리트의 온도가 병용계 자기충전 콘크리트의 점성에 민감하기 때문으로 사료된다.

Fig. 7은 콘크리트의 온도변화에 따른 V형-갈때기 유하시간을 측정한 실험결과이다. V형-갈때기 유하시간도 500 mm 플로우 도달시간과 마찬가지로 콘크리트의 온도가 높아질수록 감소하는 것으로 나타났다.

즉, 콘크리트 온도가 높아질수록 병용계 자기충전 콘크리트의 점성이 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 고분자 화합물로 구성된 분리저감제가 높은 온도일수록 분자간의 운동이 활발해지기 때문에, 분자간극의 증대로 점성이 감소된 것으로 사료된다.<sup>12)</sup> 벨라이트계가 슬래그계에 비하여 점성유지 성능이 양호한 것으로 나타났다.

##### 3.1.2 콘크리트의 온도변동에 따른 충전성

Fig. 8은 콘크리트의 온도변동에 따른 U형-box 충전성 실험 결과를 나타낸 것이다.

콘크리트의 온도변동에 따른 충전성 높이는 큰 차이가 없었지만, 점성의 차이로 인하여 충전속도는 콘크리트의 온도가 높을수록 빠른 것으로 나타났다. 또한, 벨라이트계는 경시변화에 관계없이 안정적인 경향을 보였다.

따라서 여름철 공사의 경우, 온도관리 및 분리저감제의 사용량을 조절하여 병용계 자기충전 콘크리트의 점성관리가 필요하며, 겨울철 공사에는 콘크리트 온도를 10°C이

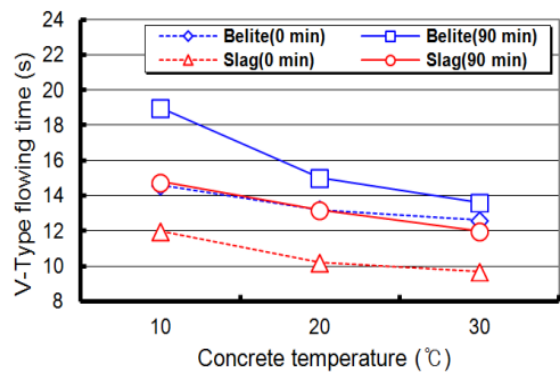


Fig. 7 V-type flowing time for concrete temperature

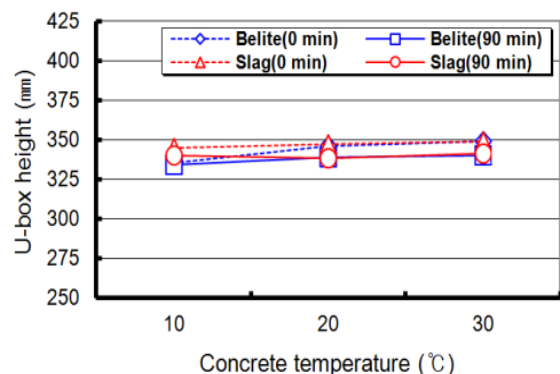


Fig. 8 U-box height for concrete temperature

상으로 유지하는 방안이 필요하다.

### 3.2 잔골재의 표면수율 변동에 따른 영향 분석

현장에서 잔골재의 표면수율을 균일하게 관리하는 것은 현실적으로 매우 어렵기 때문에, 표면수율 변동에 따른 병용계 자기충전 콘크리트의 품질성능을 확인할 필요가 있다. 이를 위하여 콘크리트의 기본배합(잔골재의 표면수율 일정)에 단위수량을  $\pm 5 \text{ kg/m}^3$ ,  $\pm 10 \text{ kg/m}^3$ 로 변동시켜 표면수율 변동에 따른 민감도 시험을 실시하였다.

#### 3.2.1 잔골재의 표면수율 변동에 따른 유동성

Fig. 9 및 10은 잔골재의 표면수율 변동에 따른 슬럼프 플로우 및 500 mm 플로우 도달시간의 실험 결과이다.

단위수량  $-10 \text{ kg/m}^3$ 의 경우에는 유동성 부족으로 대부분 슬럼프 플로우의 관리기준( $650 \pm 50 \text{ mm}$ )을 만족하지 못하는 것으로 나타났으며, 이러한 경향은 경시변화에 따라 심화되는 것으로 나타났다.

500 mm 플로우 도달시간은 경시변화에 따라 차이는 있지만,  $\pm 10 \text{ kg/m}^3$ 인 범위에서 관리기준( $7 \pm 3 \text{ sec}$ )을 만족하지 못하였다. 그러나  $-10 \text{ kg/m}^3$ 의 경우, 생산 직후에는 벨라이트계 및 슬래그계 모두 안정적인 경향을 나타내었다.

Fig. 11은 잔골재의 표면수율 변동에 따른 V형-깔대기

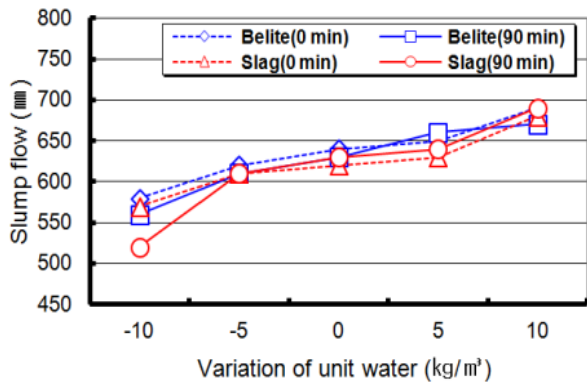


Fig. 9 Slump flow for surface moisture of sand

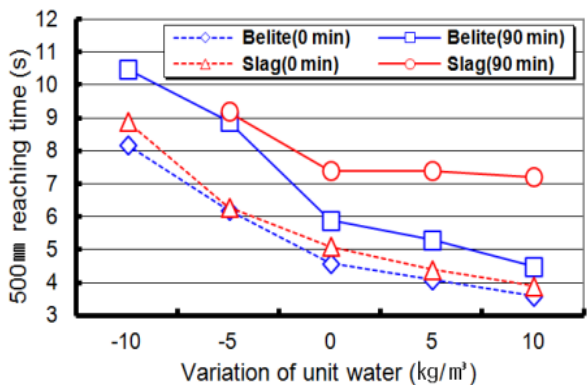


Fig. 10 500 mm slump flow reaching time for surface moisture of sand

유하시간의 실험 결과이다. V형-깔대기 유하시간도 500 mm 플로우 도달시간과 마찬가지로 단위수량의 변동  $\pm 10 \text{ kg/m}^3$ 인 범위에서 관리기준(10~20 sec)을 만족하지 못하였다.

특히  $+10 \text{ kg/m}^3$ 일 때, 슬래그계 자기충전 콘크리트에서 굵은골재의 막힘 및 재료분리 현상 등이 발생하는 경향을 나타내었다.

#### 3.2.2 잔골재의 표면수율 변동에 따른 충전성

Fig. 12는 잔골재의 표면수율 변동에 따른 U형-box 충전성의 실험 결과를 나타낸 것이다.

슬래그계 자기충전 콘크리트에서 단위수량  $-10 \text{ kg/m}^3$ 를 제외한 대부분의 U형 box 충전성 높이는 관리기준 (min. 300 mm)을 만족하였으나, 단위수량  $+10 \text{ kg/m}^3$ 의 경우에는 시멘트의 종류에 관계없이 재료분리 및 블리딩이 발생하는 경향을 나타내었다.

특히, 강도특성 결과를 고려할 때, 표면수율 (+)범위에서는 강도저하 및 (-)범위에서는 강도증진의 경향을 나타내었다. 따라서 병용계 자기충전 콘크리트의 유동성 및 충전성 및 재령 91일 강도를 고려할 때, 단위수량의 변동 범위를  $\pm 5 \text{ kg/m}^3$  이내로 관리해야 하며, 잔골재의 표면수율로 환산할 때  $\pm 0.6\%$  이내에서 현장의 표면수율을 관리하는 방안이 필요하다.

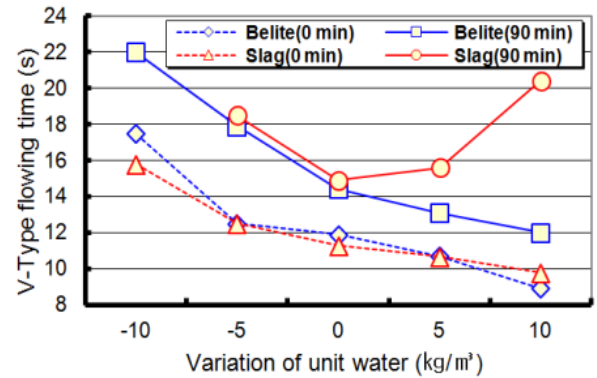


Fig. 11 V-type flowing time for surface moisture of sand

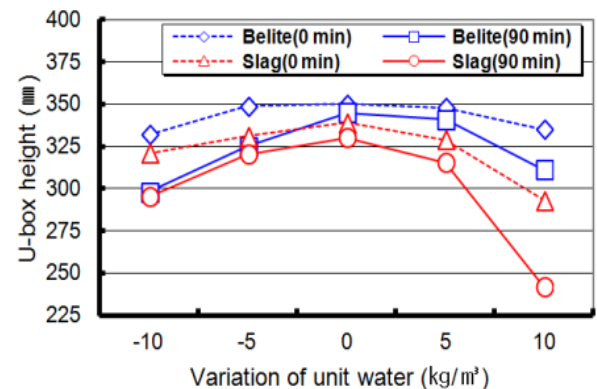


Fig. 12 U-box height for surface moisture of sand



### 3.3 잔골재의 조립률 변동에 따른 영향 분석

강모래는 바닷모래와 달리 조립률의 변동이 매우 크기 때문에, 조립률 변동에 따른 자기충전 콘크리트의 성상을 실험적으로 고찰할 필요가 있다.

따라서 잔골재의 조립률 2.2~3.0 범위에서 민감도 시험을 실시하였다.

#### 3.3.1 잔골재의 조립률 변동에 따른 유동성

Fig. 13 및 14는 잔골재의 조립률 변동에 따른 슬럼프 플로우 및 500 mm 플로우 도달시간의 실험 결과이다.

슬래그계는 잔골재의 조립률 변동에 따른 슬럼프 플로우의 영향이 거의 없는 것으로 나타났지만, 벨라이트계는 조립률이 낮을수록 슬럼프 플로우가 감소되는 경향을 나타내었다. 이는 석회석 미분말의 사용량이 매우 높기 때문에 콘크리트의 점성 및 시멘트의 구속수비와 변형계수의 영향도 있는 것으로 사료된다.

또한, 시멘트 종류와 관계없이 잔골재의 조립률이 낮을수록 500 mm 플로우 도달시간은 증대되는 것으로 나타났다. 이는 잔골재의 조립률이 낮을수록, 콘크리트의 점성이 증대되기 때문으로 사료된다.

Fig. 15는 잔골재의 조립률 변동에 따른 V형-깔대기 유

하시간의 실험 결과이다. 초기에는 잔골재의 조립률이 감소할수록 미립 잔골재의 영향으로 증가하였으나, 경시 변화 30분부터 조립률이 비교적 큰 범위(F.M=3.0)에서도 유사시간이 증대되는 것으로 나타났다. 이는 골재입자간의 마찰력 증대 및 맞물림 현상에 따른 것으로 사료된다.

또한, 벨라이트계가 슬래그계에 비하여 안정적인 경향을 나타내었는데, 이는 C<sub>2</sub>S의 함량에 따른 고성능AE감수제의 흡착 및 분산작용의 안정화와 석회석 미분말의 치환율에 따른 구속수비 및 변형계수의 차이로 사료된다.

#### 3.3.2 잔골재의 조립률 변동에 따른 충전성

Fig. 16은 잔골재의 조립률 변동에 따른 U형-box 충전성의 실험 결과를 나타낸 것이다.

U형-box 충전성 높이는 조립률 2.6을 정점으로 감소하는 경향을 나타내었다. 즉, 조립률 2.6을 기준으로 조립률이 낮아질수록 점성이 증대한다는 것과 조립률이 높아질수록 골재입자간의 마찰력 증대 및 맞물림 현상이 발생하기 때문으로 사료된다.

따라서 잔골재의 조립률에 따른 민감도 시험 결과를 고려할 때, 병용계 자기충전 콘크리트의 잔골재의 조립률 변동에 따른 품질변동은 2.6±0.2범위에서 관리하는 것이 가장 바람직할 것으로 사료된다.

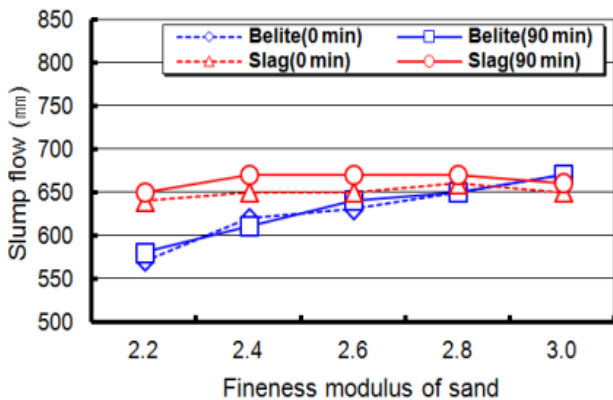


Fig. 13 Slump flow for fineness modulus of sand

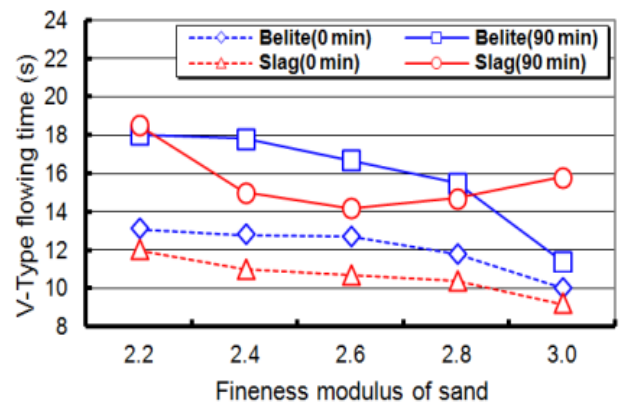


Fig. 15 V-type flowing time for fineness modulus of sand

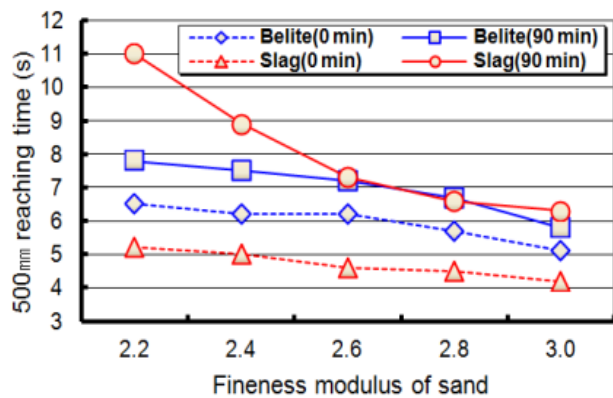


Fig. 14 500 mm slump flow reaching time for fineness modulus of sand

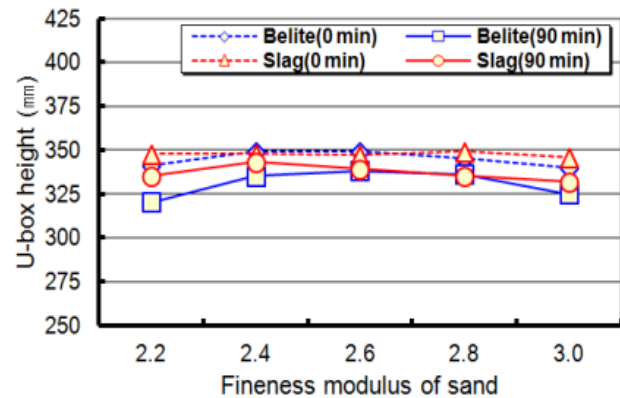


Fig. 16 U-box height for fineness modulus of sand

### 3.4 고성능AE감수제의 사용량에 따른 영향 분석

고성능AE감수제는 비록 사용량이 적을지라도 현장 배치플랜트에서의 계량오차 등으로 인해 사용량에 따른 영향이 매우 클 것으로 예상된다. 따라서 고성능AE감수제의 사용량을 기준량에  $\pm 0.2\%$ ,  $\pm 0.4\%$  범위로 하여, 자기충전 콘크리트의 민감도 시험을 실시하였다.

#### 3.4.1 고성능AE감수제의 사용량 변동에 따른 유동성

Fig. 17 및 18은 고성능AE감수제의 사용량 변동에 따른 슬럼프 플로우 및 500 mm 플로우 도달시간의 실험 결과를 나타낸 것이다.

고성능AE감수제의 사용량 변동은 슬럼프 플로우에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉, 고성능AE감수제의 변동이  $\pm 0.2\%$  이내인 범위에서는 슬럼프 플로우의 관리기준( $650 \pm 50$  mm)을 만족하였지만,  $\pm 0.4\%$  범위에서는 재료분리 또는 유동성 부족 등으로 만족하지 않았다.

또한, 고성능AE감수제의 사용량이 적을수록 500 mm 플로우 도달시간이 높게 나타났는데, 이는 점성증대의 영향이 아니라 유동성의 감소에 의한 것으로 사료된다. 그러나  $+0.4\%$  경우에는 골재분리 현상,  $-0.4\%$  경우에는 유동성의 부족현상이 현저하게 나타났다.

Fig. 19는 고성능AE감수제의 사용량에 따른 V형-갈대기 유하시간의 실험 결과를 나타낸 것이다.

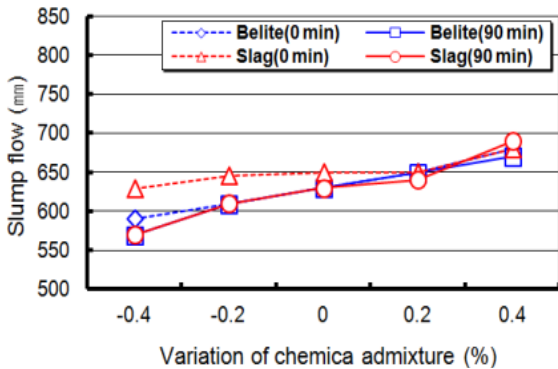


Fig. 17 Slump flow for dosage of chemical admixture

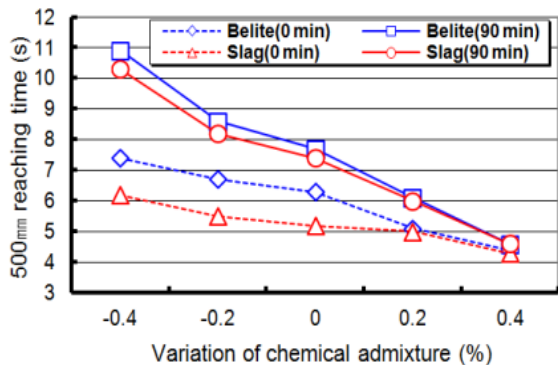


Fig. 18 500 mm slump flow reaching time for dosage of chemical admixture

V형-갈대기 유하시간은 대부분 경시변화 초기에는 관리기준( $10 \sim 20$  sec)을 만족하였지만,  $\pm 0.4\%$ 의 경우에는 90분 이후부터 관리기준을 벗어났다.

고성능AE감수제의 사용량 변동이 (-)범위인 경우에는 유동성 및 분산작용의 부족에 따른 것으로 사료된다. 그러나 (+)범위인 경우에는 유동성은 증대되었지만 골재분리 현상 및 골재입자간의 맞물림 작용에 따른 막힘현상이 발생하는 경향을 나타내었다.

#### 3.4.2 고성능AE감수제의 사용량 변동에 따른 충전성

Fig. 20은 고성능AE감수제의 사용량 변동에 따른 U형-box 충전성의 실험 결과를 나타낸 것이다.

고성능AE감수제의 사용량이  $\pm$ 범위로 변동될수록 U형-box 충전성 높이는 감소되는 경향을 보였는데,  $-0.4\%$ 인 경우에는 경시변화 90분부터 관리기준(min. 300 mm)을 만족하지 않는 것으로 나타났다. 이는 유동성 부족으로 인하여 모르타르 및 골재입자가 간극을 통과하지 못하기 때문으로 사료된다.

슬래그계의 경우에는  $+0.4\%$ 인 범위에서도 경시변화에 따라 관리기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났는데, 이는 고성능AE감수제의 흡착 및 분산작용의 매커니즘이 시멘트의 종류에 따라 다르기 때문이다.

따라서 민감도 시험 결과를 고려하여 고성능AE감수제의 사용량의 변동폭은 KS F 4009에 제시된 허용값( $3\%$  이내)을 고려하여 기준량 $\pm 0.2\%$ 의 범위에서 현장 품질관리

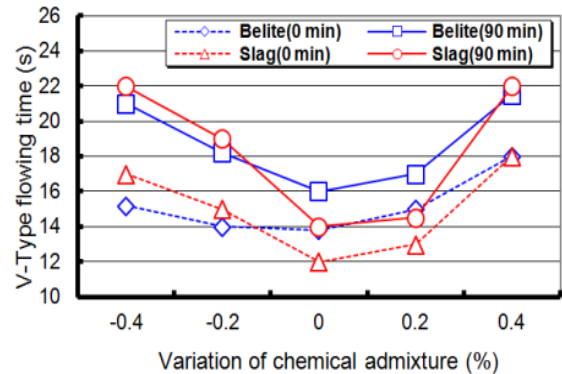


Fig. 19 V-type flowing time for dosage of chemical admixture

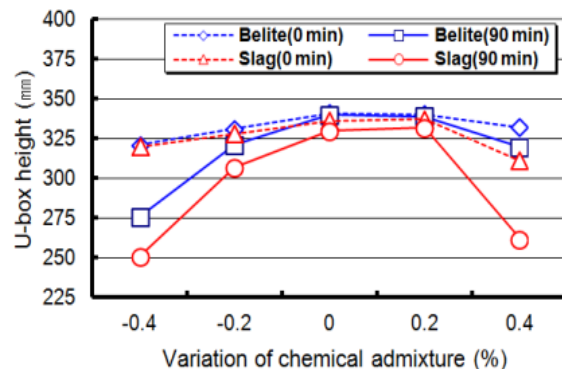


Fig. 20 U-box height for dosage of chemical admixture

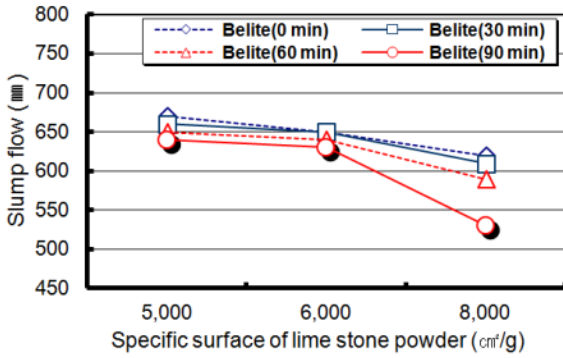


Fig. 21 Slump flow for specific surface of lime stone powder

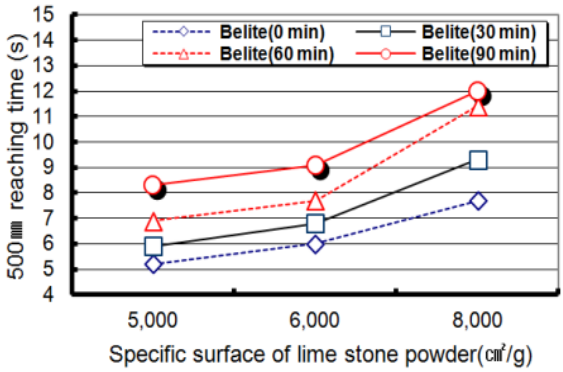


Fig. 22 500 mm slump flow reaching time for specific surface of lime stone powder

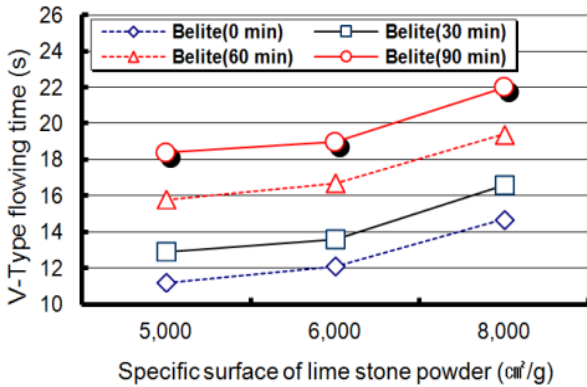


Fig. 23 V-type flowing time for specific surface of lime stone powder

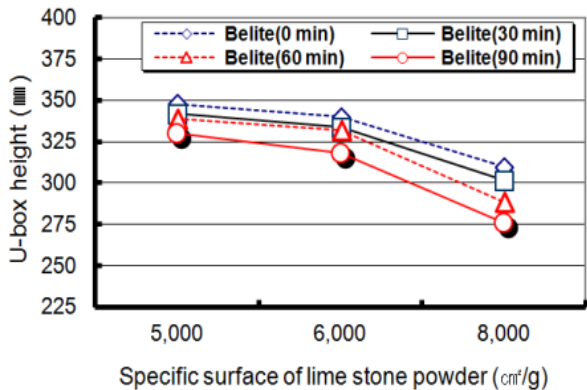


Fig. 24 U-box height for specific surface of lime stone powder

를 실시하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

### 3.5 석회석 미분말의 분말도에 따른 영향 분석

일반적으로 자기충전 콘크리트에 석회석 미분말을 분체로 사용하면, 콘크리트 온도상승의 억제, 점도증진 및 재료분리 저항성의 개선에도 효과적인 것으로 알려져 있다.<sup>7)</sup> 벨라이트계 시멘트를 대상으로 석회석 미분말의 분말도(5000, 6000 및 8000 cm<sup>2</sup>/g)에 따른 병용계 자기충전 콘크리트의 민감도 시험을 실시하였다.

#### 3.5.1 석회석 미분말의 분말도에 따른 유동성

Fig. 21 및 22는 석회석 미분말의 분말도에 따른 슬럼프 플로우 및 500 mm 플로우 도달시간의 측정 결과를 각각 나타낸 것이다.

석회석 미분말의 분말도가 증대할수록 점성이 매우 증대하기 때문에 상대적으로 슬럼프 플로우가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 미세입자의 충전효과 및 표면적 증대에 따른 구속수비의 영향으로 사료된다.

특히, 분말도 8000 cm<sup>2</sup>/g의 경우에는 점성이 매우 강하기 때문에, 경시변화 60분부터 슬럼프 플로우의 관리기준(650±50 mm)을 만족하지 못하였다.

Fig. 23은 석회석 미분말의 분말도에 따른 V형-깔대기 유하시간의 측정결과를 나타낸 것이다. 석회석 미분말의 분말도가 증가할수록 500 mm 플로우 도달시간 및 V형-깔대기 유하시간은 증대하였으며, 이에 따른 점성의 증진효과가 매우 높은 것으로 나타났다.

특히, 분말도 8000 cm<sup>2</sup>/g에서 유동성이 매우 감소되었고, 경시변화 60분부터 관리기준(10~20 sec)을 벗어났다.

#### 3.5.2 석회석 미분말의 분말도에 따른 충전성

Fig. 24는 석회석 미분말의 분말도에 따른 U형-box 충전성 높이의 실험 결과이다.

석회석 미분말의 분말도가 증대할수록 U형-box 충전성 높이는 감소되는 것으로 나타났다. 이는 콘크리트의 점성이 증대되어 간극통과성이 저하된 영향도 있지만, 입자표면적의 증대에 따른 유동성 감소의 영향도 있을 것으로 사료된다. 따라서 민감도 실험 결과 및 경제성을 고려하여 분말도 6000 cm<sup>2</sup>/g를 사용하는 것이 바람직하다.

## 4. 결 론

병용계 자기충전 콘크리트의 현장 품질변동 요인의 영향에 관한 이 연구의 결론을 정리하면, 다음과 같다.

- 1) 콘크리트의 온도변화는 분리저감제의 온도민감성에 따른 영향을 고려하여, 10~20℃범위에서 관리해야 하며, 여름철의 경우에도 30℃를 넘지 않도록 해야 한다.
- 2) 잔골재의 표면수율은 유동성, 점성 및 재료분리 저



항성, 강도특성에 영향을 미치기 때문에,  $\pm 0.6\%$  이내의 범위에서 엄격하게 관리해야 한다.

- 3) 잔골재의 조립률은 점성 및 자기충전성에 큰 영향을 미치기 때문에,  $2.6 \pm 0.2$  범위에서 관리해야 한다.
- 4) 고성능AE감수제의 사용량은 골재입자간의 맞물림 작용 등으로 유동성 및 재료분리 저항성에 영향을 미치기 때문에, 기준량의  $\pm 0.2\%$  이내로 관리해야 한다.
- 5) 석회석 미분말의 분말도는 점성, 재료분리 저항성, 안정성 및 경제성을 고려하여  $6000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 을 권장한다.

## 감사의 글

이 연구는 2013년 동양대학교 교내과제 연구비지원을 통해 수행된 연구로, 이에 감사드립니다.

## References

1. Okamura, H. and Ouchi, M., "Self-Compacting Concrete, Development, Present and Future," *Proceeding of the First International RILEM Symposium on Self Compacting Concrete*, Sweden, Proc 7, 1999, pp. 3-14.
2. Ozawa, K., Maekawa, K., and Okamura, H., "Development of the High Performance Concrete," *Proceedings of the Japan Concrete Institute*, Vol. 11, No. 1, 1989, pp. 699-704.
3. Han, C. G., Kim, S. S., and Son, S. U., "Determination of Optimal Mixture Proportion of Segregation Reducing Type Superplasticizer for High Fluidity Concrete," *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 14, No. 3, 2002, pp. 275-282.
4. Choi, Y. W., Jeong, J. G., Kim, K. H., and Moon, D. J., "Flowability Properties of Combined High Flowing

- Self-Compacting Concrete to the Addition of Viscosity Agent," *Proceedings of the Korea Concrete Institute*, Vol. 20, No. 2, 2008, pp. 369-372.
5. Choi, Y. W., Jeon, J. Y., Kim, C. U., Jung, J. G., and Jung, W. Y., "Flowability Evaluation of Binary and Ternary Blended of Ultra Flowing Self-Compacting Concrete," *Proceedings of the Korea Concrete Institute*, Vol. 18, No. 2, 2006, pp. 485-488.
6. Korea Gas Corporation, "The Report of Concrete Mix Design for Slurry Wall in Incheon LNG Terminal (TK-17, 18)," Obayashi Corporation Document No. 2C-C-SL-0005, 2000, pp. 1-40.
7. Cho, J. D., Hong, S. H., Cho, B. Y., Jang, G. Y., and Han, C. G., "The Properties of High Flowing Concrete with the Kind and Content of Limestone Powder," *Proceedings of the Korea Concrete Institute*, Vol. 11, No. 2, 1999, pp. 267-270.
8. Kwon, Y. H., "Optimum Mix Proportion and Characteristics of the Combined Self Compacting Concrete according to Cement Types," *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 21, No. 1, 2009, pp. 55-64.
9. Choi, Y. W., Kim, K. H., Park, S. J., and Jung, J. G., "High Fluidity Concrete," *Magazine of the Korea Concrete Institute*, Vol. 22, No. 1, 2010, pp. 45-47.
10. Kim, J. G. and Choi, Y., "A Study on Rheological Property of Ultra-High Fluidity Concrete by Adding Viscosity Modifying Admixture," *Proceedings of the Korea Concrete Institute*, Vol. 19, No. 1, 2007, pp. 593-596.
11. Korea Concrete Institute., *Standard Specification for Concrete-Chapter 8 High Fluidity Concrete*, 2009, pp. 111-118.
12. JSCE, "A Task and State of the Report on the High Flowing Concrete," *Japan Society of Civil Engineers, Concrete Engineering Series 15*, December 1996, pp. 118-126.

**요 약** 이 연구는 현장에서 사용하는 재료의 품질 및 계량오차, 현장조건 등에 따라 병용계 자기충전 콘크리트의 유동특성에 영향을 미치는 변동요인의 범위를 실험적으로 규명하기 위한 것이다. 병용계 자기충전 콘크리트의 재료는 벨라이트 시멘트와 석회석 미분말을 사용한 벨라이트계 및 슬래그 시멘트와 석회석 미분말을 사용한 슬래그계가 선정되었으며, 선행연구에서 제시된 최적배합 조건을 대상으로 하였다. 변동요인으로 (1) 콘크리트의 온도 3종류, (2) 잔골재의 표면수율 5종류, (3) 잔골재의 조립률 5종류, (4) 고성능AE감수제의 사용량 5종류, (5) 석회석 미분말의 분말도 3종류 등을 대상으로 민감도 시험을 실시하였다. 민감도 시험의 항목은 슬럼프 플로우, 500 mm 플로우 도달시간, V-깔대기 유하시간, U-box 충전성 높이를 대상으로 하였다. 실험 결과, (1) 콘크리트 온도는  $10 \sim 20^\circ\text{C}$  범위, (2) 잔골재의 표면수율은  $\pm 0.6\%$  범위, (3) 잔골재의 조립률  $2.6 \pm 0.2$  범위, (4) 고성능AE감수제의 사용량은  $\pm 0.2\%$  범위, (5) 석회석 미분말의 분말도는  $6000 \text{ cm}^2/\text{g}$  범위에서 현장품질을 관리해야 한다. 벨라이트계 및 슬래그계에 따른 차이는 크지 않았지만, 석회석 미분말 및  $\text{C}_2\text{S}$  함량이 높은 벨라이트계가 안정적인 경향을 나타내었다. 따라서 이러한 결과를 현장 시공현장에서 병용계 자기충전 콘크리트의 관리방안으로 제안하고자 한다.

**핵심용어** : 병용계 자기충전 콘크리트, 콘크리트 온도, 표면수율, 조립률, 석회석 미분말