



## 결합재에 따른 자기충전 콘크리트의 시공성 및 경제성 평가에 관한 실험적 연구

권영호 <sup>1)</sup>\*

<sup>1)</sup>동양대학교 건축소방행정학과

# An Experimental Study on the Construction Performances and Economical Evaluation of the Self-compacting Concrete by Cementitious Materials

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

<sup>1)</sup>Dept. of Architecture and Fire Service Administration, Dong Yang University, Youngju 36040, Rep. of Korea

**ABSTRACT** The purpose of this study is to investigate experimentally the construction performances and economical evaluation of the self-compacting concrete in actual site work after selecting the optimum mix proportions according to cementitious materials. Slag cement type of 46.5% slag powder and belite cement of 51.4% C<sub>2</sub>S content, lime stone powder as binders are selected for site experiment including water cement ratio. Also, test items for optimum mix proportion are as followings ; (1) Slump flow, 500 mm reaching time, V-type flowing time and U-box height (2) Setting time, bleeding, shortening depth and adiabatic temperature rising (3) Mixing time in plant (4) Concrete quantity and cost, quality control in actual concrete work. As test results, (1) Optimum water-cement ratio ; Slag cement type 41.0% and belite cement 51.0% (2) Setting time and bleeding finishing time of slag cement are faster, bleeding content of slag cement is higher, shortening depth and adiabatic temperature rising of belite cement type are lower (3) Optimum mixing time in batcher plant is 75 seconds and concrete productive capacity is about 100~110 m<sup>3</sup>/hr. (4) Belite cement type is lower than slag cement type in material cost 14.0%, and concrete quantity in actual concreting work save 3.3% in case of belite cement type. Therefore, self-compacting concrete of belite cement type is definitely superior to that of slag cement type in various test items without compressive strength development.

**Keywords** : self-compacting concrete, slag cement type, belite cement type, adiabatic temperature rising, economical evaluation

### 1. 서 론

지하구조물의 대형화, 특수화 및 굴착심도의 증가로 인하여 흙막이 공사에 도입되는 지하연속벽(Slurry wall) 공법에는 콘크리트의 고강도화 및 고유동화가 필수적인 요구 성능이기 때문에, 고성능 자기충전 콘크리트가 많이 사용된다. 일반적으로 자기충전 콘크리트는 분체계, 증점제계 및 병용계 등으로 나눌 수 있다.<sup>1)</sup> 분체계는 시멘트 및 플라이애쉬, 고로슬래그 미분말 등과 같은 다량의 결합재를 사용하여 분리저항성을 부여하기 때문에, 과도한 강도발현과 높은 수화열 및 건조수축 등의 문제가 발생하기도 한다. 또한 증점제계는 증점제를 사용하여 요구되는 분리저항성을 확보해야 하기 때문에, 비교적 저강도 영역의 자기충전 콘크리트에 유

용한 것으로 알려져 있다.<sup>2)</sup>

병용계의 경우에는 분체계의 고강도 발현과 수화열 및 건조수축 등의 문제를 해소하고, 안정적인 분리저항성의 유지 및 품질관리의 균일성을 확보하기 위하여 사용하는 경우가 많기 때문에, 결합재의 종류에 따른 적합성과 유동성, 강도 발현, 현장에서의 시공성 및 경제성 분석 등에 대한 연구가 필요한 실정이다.<sup>2)</sup>

특히 지하식 LNG 저장탱크와 같은 대형구조물의 흙막이 공사에 적용되는 지하연속벽은 굴착심도가 매우 깊을 뿐만 아니라, 트레미 배관(Tremie pipe)을 사용하여 자유낙하로 콘크리트를 타설하는 시공조건과 벤토나이트 안정액과 접하는 부분의 콘크리트 품질변동에 대한 우려가 높기 때문에, 자기충전 콘크리트의 분리저항성 확보 및 유지를 위한 품질관리가 매우 중요하다.<sup>3)</sup>

따라서 본 연구에서는 슬래그 시멘트 및 벨라이트 시멘트, 석회석 미분말 등과 같은 결합재에 따른 고성능 자기충전 콘크리트의 최적 배합조건을 도출하고, 현장에서의 제조, 운반, 타설에 따른 유동성, 충전성 및 재령별 강도발현 특성,

\*Corresponding author E-mail : kyh00127@naver.com

Received March 10, 2017, Revised April 18, 2017,

Accepted April 27, 2017

©2017 by Korea Concrete Institute

그리고 현장 최적 배합조건에 따른 재료비 및 현장적용에 따른 시공자료 등을 평가하여, 결합재 종류에 따른 자기충전 콘크리트의 시공성 및 경제성 등의 특성을 비교·분석하고자 한다.

## 2. 실험개요 및 배합조건

### 2.1 실험개요 및 요구성능

#### 2.1.1 실험개요

본 연구에서는 결합재에 따른 고성능 자기충전 콘크리트의 선행연구에서 도출된 기본배합을 기초로, 슬래그계(슬래그 시멘트+석회석 미분말) 및 벨라이트계(벨라이트 시멘트+석회석 미분말)의 잔골재 용적비( $S_r$ ), 굵은골재 용적비( $G_v$ ) 및 물-시멘트비(W/C)에 따른 유동성과 강도발현으로 실내의 배합조건을 선정하였다.<sup>4,5)</sup>

이러한 배합조건을 대상으로 현장 배치 플랜트에서 자기충전 콘크리트의 물-시멘트비에 대한 유동성, 배합시간의 선정 및 연속성 시험, 제조 성능에 따른 특성 시험 등을 실시하여 현장의 최적 배합조건을 선정하였으며, 현장에서의 시공성 및 경제성 등을 분석하고자 하였다. 이에 따른 본 연구의 단계적 실험개요는 Fig. 1과 같다.

#### 2.1.2 요구성능 및 평가방법

본 연구의 고성능 자기충전 콘크리트에 대한 요구성능 및 평가방법은 Table 1과 같다.

여기서 설계기준강도는 재령 91일이며, 콘크리트의 변동

**Table 1** Required performances and test items of self-compacting concrete

Test items	Target value	Remark
Specified strength	40.0 MPa	KS F 2405 91days ( $\Phi 100 \times 200$ mm) Compressive strength
Required strength	50.5 MPa	
Slump flow <sup>2)</sup>	650 ± 50 mm	Korean Society of Civil Engineering (KSCE)
500 mm flowing time <sup>2)</sup>	7.0 ± 3.0 sec	
V-type flowing time <sup>3)</sup>	15 ± 5 sec	
Air contents	4.0 ± 1.0 %	1) KSCE 2003-1 2) KSCE 2003-2 3) KSCE 2003-3
U-box height <sup>1)</sup>	min. 300 mm	

계수(V)를 10%로 가정한 활중계수( $\alpha$ )와 수중저감계수를 각각 1.2 및 0.95로 하여 배합강도를 산정하였다.<sup>3)</sup>

또한 자기충전 콘크리트의 시험항목은 KSCE 2003-02(슬럼프 플로우 시험)에 따른 슬럼프 플로우 및 500 mm 플로우 도달시간, KSCE 2003-03(갈때기를 사용한 유하시험 방법)에 규정된 V형-갈때기 유하시험, KSCE 2003-01(충전장치를 이용한 간극통과성 시험방법)에 규정된 U형-box 충전시험 등으로 선정하였다.<sup>2,6)</sup>

## 2.2 사용재료 및 배합조건

### 2.2.1 사용재료

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

여기서 슬래그계는 고로슬래그 미분말의 함량이 평균 46.5%인 슬래그 시멘트이며, 잔골재는 강모래, 굵은골재는 20 mm 쇄석을 사용하였다. 또한, 고성능 AE 감수제 및 증점제의 적합성을 고려하여 폴리 카본산계 및 폴리 싸카라이드계를 사용하였으며, 각각의 재료시험 결과는 요구성능을 만족하였다.

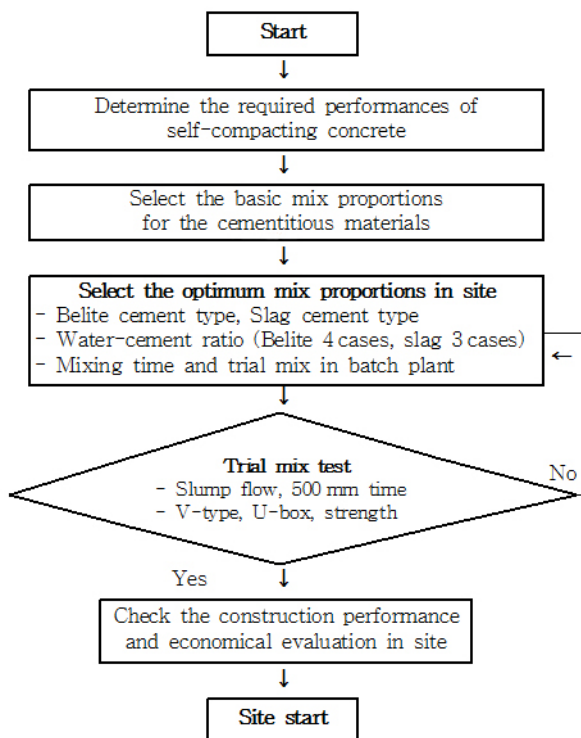
### 2.2.2 배합조건 및 배합방법

각각의 슬래그 시멘트 및 벨라이트 시멘트에 석회석 미분말을 사용한 자기충전 콘크리트의 현장재료에 따른 배합조건은 Table 3과 같다.

Fig. 2는 현장 실험실에서 자기충전 콘크리트의 배합방법을 나타낸 것이다. 용량 100 L의 강제식 믹서(40 rpm)를 사용하였으며, 전체 배합시간은 210초이지만 건비빔 단계(90초)를 제외하면 실제 배합시간은 120초이다.

### 2.2.3 배치 플랜트 시험배합 및 연속생산성 시험

Table 3에 제시한 배합조건으로 현장 최적배합 조건을 도출한 후, 이에 따른 배치 플랜트의 시험배합을 실시하여 콘크리트의 배합시간을 선정하였으며, 배치 플랜트의 연속성



**Fig. 1** Test procedures for self-compacting concrete

산성 시험을 통하여 자기충전 콘크리트의 유동성 및 시공성을 확인하였다. 또한, 최적 배합시간에 따른 시간당 생산량 및 시공계획을 사전에 분석하였다.

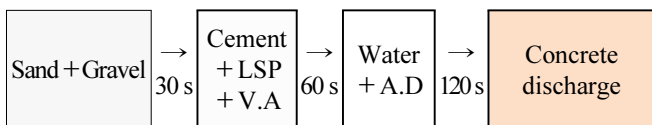
**Table 2** Properties of concrete materials

Materials	Kinds	Properties	Remark
Cement	Belite type	- Density (3.22 g/cm <sup>3</sup> ), Blaine (3,492 cm <sup>2</sup> /g) - C <sub>3</sub> S (28.6%), C <sub>2</sub> S (51.4%), C <sub>3</sub> A (1.1%)	KS L 5201
	Slag type	- Density (3.05 g/cm <sup>3</sup> ), Blaine (4,307 cm <sup>2</sup> /g) - SO <sub>3</sub> (2.6%), Ignition loss (0.6%)	KS L 5210
Binder	Lime stone powder	- Density (2.61 g/cm <sup>3</sup> ), Blaine (6,350 cm <sup>2</sup> /g) - Moisture (0.1%), CaO (53.1%)	JIS A 5008
Fine aggregate	River sand	- Density (2.62 g/cm <sup>3</sup> ), F.M (2.61) - Absorption (1.1%), Soundness (4.1%)	KS F 2526
Coarse aggregate	Crushed stone	- Density (2.63 g/cm <sup>3</sup> ), F.M (6.68) - Absorption (0.6%), Soundness (3.2%)	
Chemical admixture	Poly-carbone	- Density (1.2 g/cm <sup>3</sup> ), Unit water 81.0% - Solid content (36.4%)	ASTM C494
Viscosity agent	Poly-saccharide	- Viscosity (800 cp) - White powder type	

**Table 3** Basic mix proportions for cement type

W/C (%)	S/a (%)	Unit materials content (kg/m <sup>3</sup> )							Remark
		W	C	LSP	S	G	A.D	V.A	
38.0	50.8	180	474	38	812	790	11.8	0.245	Slag type
41.0			439	69	812	789	11.7	0.245	
46.0			391	111	811	788	11.6	0.245	
47.9	48.8	174	363	236	745	785	7.49	0.16	Belite type
51.0			341	254	745	785	7.44	0.16	
52.4			332	262	745	785	7.43	0.16	
54.0			322	270	745	785	7.40	0.16	

Note: W=Water, C=Cement, LSP=Lime stone powder, S= Sand, G=Gravel, A.D=High range water reducing admixture, V.A=Viscosity-modifying admixture



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

## 2.3 시공성 및 경제성 평가

결합재에 따른 자기충전 콘크리트의 생산성, 운반, 타설 및 시공성에 대한 실험결과를 분석하였으며, 최적 배합조건에 따른 재료비 및 설계물량에 대한 실태설량을 비교하여, 이에 따른 경제성 평가를 실시하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

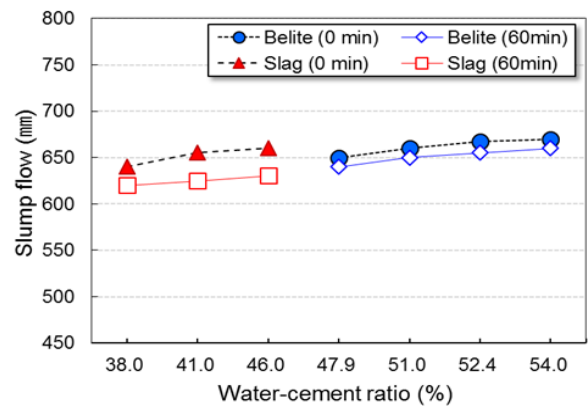
### 3.1 물-시멘트비에 따른 실험결과 분석

Table 3에 제시된 배합조건으로 현장 시험배합을 실시하였으며, 유동성, 충전성, 재료분리 저항성 및 재령별 강도발현 특성에 대한 실험결과는 다음과 같다.

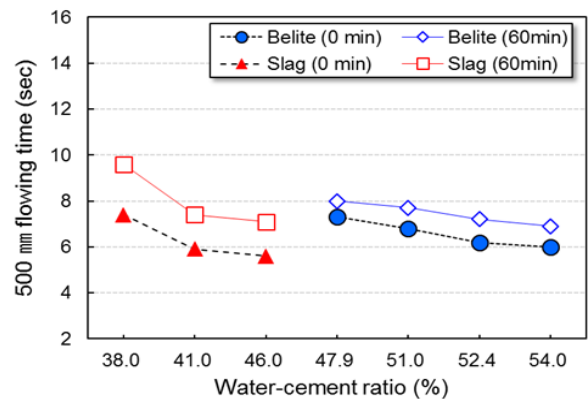
#### 3.1.1 물-시멘트비에 따른 유동성 실험결과 분석

Figs. 3 및 4는 슬래그계 및 벨라이트계 자기충전 콘크리트의 물-시멘트비에 따른 슬럼프 플로우 및 500 mm 플로우 도달시간의 실험결과를 각각 나타낸 것이다.

실험결과, 물-시멘트비가 증가할수록 단위결합재량의 감소에 따른 잉여수의 증대로 슬럼프 플로우가 증가하는 것으로 나타났으나, 경시변화에 따른 슬럼프 플로우의 변화는 크지 않았다. 또한, 물-시멘트비가 증가할수록 500 mm 플로우



**Fig. 3** Slump flow for W/C and elapsed time



**Fig. 4** 500 mm flowing time for W/C and elapsed time

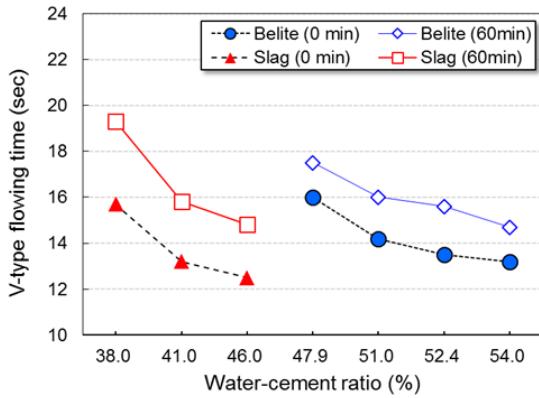


Fig. 5 V-type flowing time for W/C and elapsed time

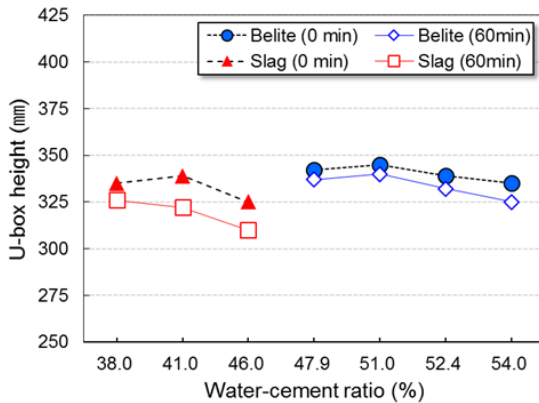


Fig. 6 U-box height for W/C and elapsed time

도달시간은 감소하는 경향을 나타내었다.

특히 슬래그계에 비해 벨라이트계가 물-시멘트비 및 경시 변화에 따른 슬럼프 플로우와 500 mm 플로우 도달시간의 변동 폭이 적은 것으로 나타났는데, 이는 슬래그의 유리질 (Glass) 평활한 입자형태 및 벨라이트계의 C<sub>2</sub>S 함량 증대에 따른 실리케이트와 고성능 AE 감수제의 흡착거동과 분산작용의 영향, 그리고 석회석 미분말의 사용량과 분말도에 따른 미세공극의 충전효과 영향으로 사료된다.<sup>2,7)</sup>

### 3.1.2 물-시멘트비에 따른 충전성 실험결과 분석

Figs. 5 및 6은 물-시멘트비에 따른 V형-갈때기 유하시간 및 U형-box 충전성 실험결과를 나타낸 것이다.

물-시멘트비가 증가할수록 V형-갈때기 유하시간은 감소하는 경향을 나타내었으며, U형-box 충전성 실험결과 슬래그계는 물-시멘트비 41.0%, 벨라이트계는 물-시멘트비 51.0%에서 변곡점을 나타내었다. 이는 결합재-페이스트의 점성차이 및 굵은골재의 맞물림 현상(Arching)으로 사료되지만, 대부분 U-box 충전성 관리기준(300 mm 이상)을 만족하였다.<sup>2,8)</sup>

### 3.1.3 물-시멘트비에 따른 압축강도 실험결과 분석

Fig. 7은 결합재 종류별 물-시멘트비에 따른 재령별 압축강도 실험결과를 나타낸 것이다.

일반적으로 물-시멘트비가 증가할수록 압축강도 발현이

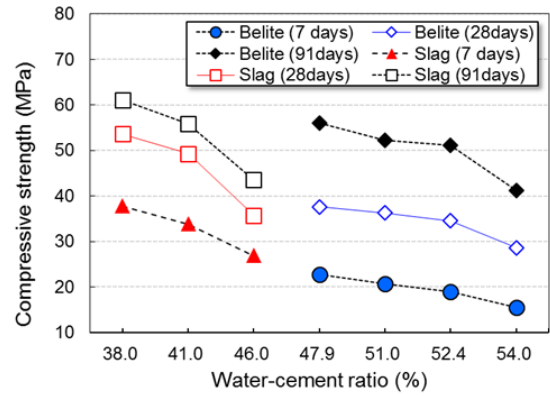


Fig. 7 Compressive strength for W/C at test ages

Table 4 Optimum mix proportions in site test

W/C (%)	S/a (%)	Unit materials content (kg/m <sup>3</sup> )							Remark
		W	C	LSP	S	G	A.D	V.A	
41.0	50.8	180	439	69	812	789	11.7	0.245	Slag
51.0	48.8	174	341	254	745	785	7.44	0.16	Belite

감소하는 경향을 보이지만, 결합재에 따른 강도 감소비율이나 재령별 강도증진 효과는 다른 것으로 나타났다.

슬래그계의 경우에는 91일 강도를 기준으로 볼 때, 재령 7일에 60.5~61.8%, 재령 28일에 82.0~88.3%의 높은 초기강도 발현을 나타내었다.

또한 벨라이트계의 경우에는 재령 7일에 36.9~40.5%, 재령 28일에 67.1~69.5%의 비교적 낮은 초기강도 발현을 보였다. 이는 벨라이트(C<sub>2</sub>S) 함량이 51.4%로 높은 시멘트의 특성과 석회석 미분말의 치환율(39.4~45.6%)의 영향으로 사료된다. 따라서 Table 1에 제시된 자기충전 콘크리트의 요구성능에 따른 유동성, 충전성 및 재령별 압축강도 실험결과를 고려할 때, Table 4와 같이 슬래그계는 물-시멘트비 41.0%, 벨라이트계는 물-시멘트비 51.0%를 최적 배합조건으로 선정하였다.

## 3.2 현장 최적배합에 대한 실험결과 분석

Table 4의 현장 최적배합에 대한 응결시간 및 블리딩 시험, 자기충전 콘크리트의 침하량 시험, 배치 플랜트의 배합시간 선정시험 및 연속 생산성 시험을 실시하였으며, 이에 따른 실험결과는 다음과 같다.

### 3.2.1 응결시간 및 블리딩 실험결과 분석

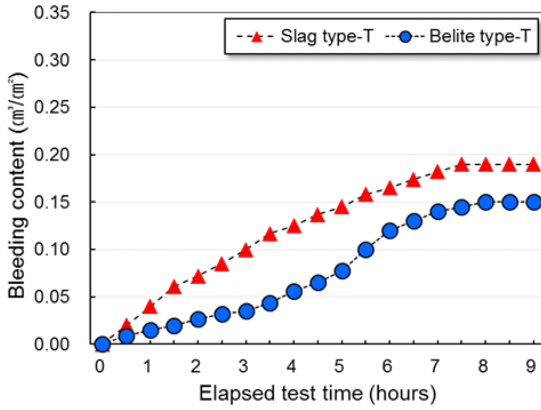
Table 5는 결합재에 따른 자기충전 콘크리트의 응결시간 실험결과를 나타낸 것이다.

일반 콘크리트와 비교해 볼 때, 자기충전 콘크리트의 응결시간은 매우 지연되는 것으로 나타났다. 특히, 벨라이트계가 슬래그계보다 지연되었는데, 이는 시멘트의 수화속도와 석회석 미분말의 사용량 등의 영향으로 사료된다.<sup>2,8)</sup>

Fig. 8은 결합재에 따른 자기충전 콘크리트의 블리딩 실험결과를 나타낸 것이다.

**Table 5** Setting time for self-compacting concrete

Test items	Initial setting time (hr : min)	Final setting time (hr : min)
Belite type	18 : 30	22 : 10
Slag type	16 : 30	19 : 45
Ordinary type	6 : 28	8 : 56



**Fig. 8** Bleeding content for concrete types

실험결과, 벨라이트계는 블리딩량  $0.15 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$  및 블리딩 종료시간 8.5시간이며, 슬래그계는 블리딩량  $0.19 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$  및 블리딩 종료시간 7.5시간으로 나타났다. 슬래그계가 블리딩량이 크게 나타난 것은 유리질 입자형태 외에도 분말도가 큰 석회석 미분말의 사용량이 벨라이트계에 비해 매우 적었기 때문에, 미세공극의 충전효과와 시멘트의 흡착효과 감소 등의 영향으로 사료된다.<sup>2,8)</sup>

### 3.2.2 침하량 및 단열온도 상승량 실험결과 분석

Figs. 9 및 10은 자기충전 콘크리트의 침하량 및 단열온도 상승량의 실험결과를 나타낸 것이다.

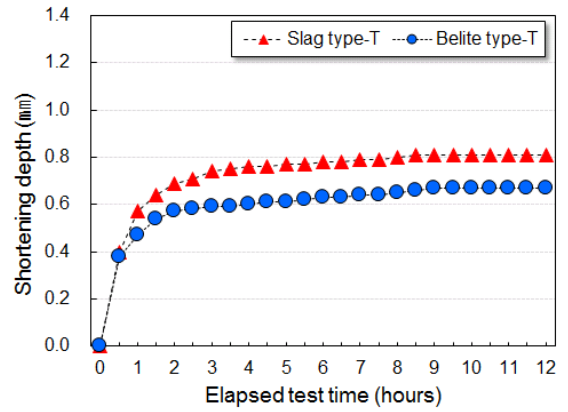
실험결과,  $\Phi 150 \times 1,210 \text{ mm}$  원형 시험체를 대상으로 벨라이트계는 침하깊이 0.67 mm, 침하종료 9.0시간, 슬래그계는 침하깊이 0.81 mm, 침하종료 8.5시간을 나타내어 슬래그계가 벨라이트계보다 높은 것으로 나타났다.

또한 단열온도 상승량은 벨라이트계( $30.8^\circ\text{C}$ )가 슬래그계( $49.9^\circ\text{C}$ )보다 낮게 나타났으며, 단열온도 상승속도는 슬래그계(0.62)가 벨라이트계(0.42)보다 큰 것으로 나타났다. 이는 벨라이트계가 수화열이 낮은  $\text{C}_2\text{S}$ 의 함량 및 석회석 미분말의 사용량이 크기 때문으로 사료된다.<sup>9,10)</sup>

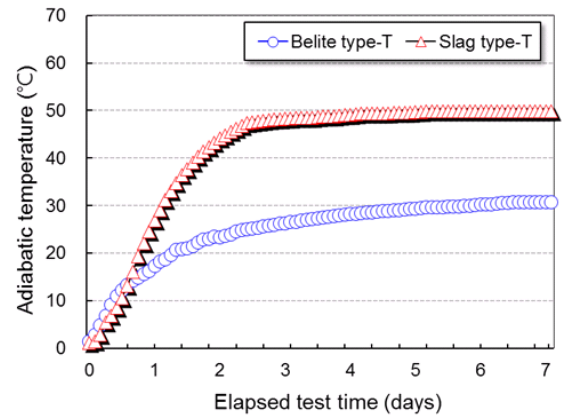
### 3.2.3 배치 플랜트의 배합시간에 따른 유동성 분석

배치 플랜트에서 자기충전 콘크리트의 배합시간은 콘크리트의 성능뿐만 아니라 시간당 생산량 및 현장 타설속도와도 상관성이 높다. 따라서 조정실 게이지의 믹서 암페어와 배합시간의 관계를 실험으로 분석하였으며, 이에 따른 자기충전 콘크리트의 유동성을 확인하였다.

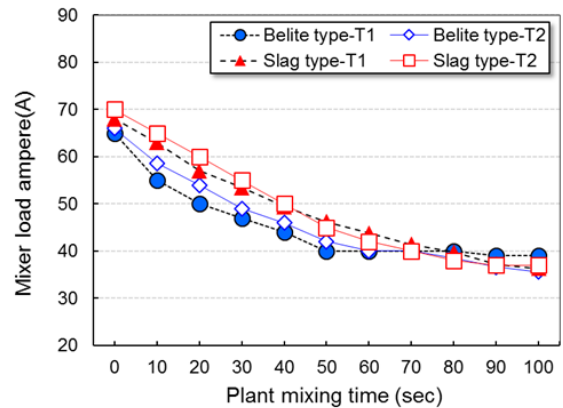
Fig. 11은  $3 \text{ m}^3/\text{batch}$  배합할 때, 배치 플랜트의 배합시간과



**Fig. 9** Shortening depth for concrete types



**Fig. 10** Adiabatic temperature rising for concrete types



**Fig. 11** Mixer load ampere for plant mixing time

믹서 암페어에 따른 결합재별 10회 측정된 평균값의 실험결과를 나타낸 것이며, Figs. 12 및 13에 믹서의 배합시간에 따른 슬럼프 플로우 및 500 mm 플로우 도달시간을 측정된 실험결과를 나타낸 것이다.

Fig. 11에 보듯이 배합시간이 증가할수록 믹서 암페어가 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 콘크리트의 품질이 균일해지기 때문으로 암페어 50 (A)범위에서 안정화되는 경향을 보였는데, 이때의 배합시간은 70초 범위에 있다.

또한, Figs. 12 및 13에 나타난 바와 같이 배합시간이 증가할수록 슬럼프 플로우는 증가하였으며, 500 mm 플로우 도



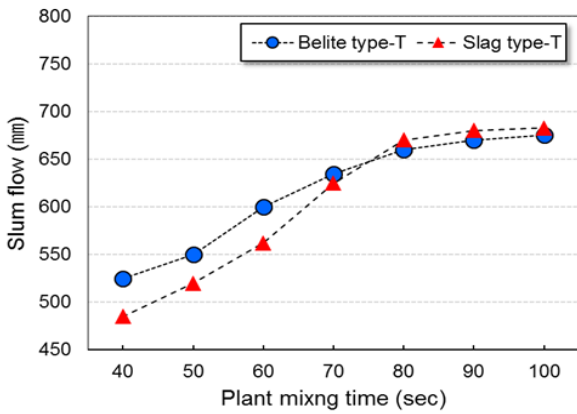


Fig. 12 Slump flow for plant mixing time

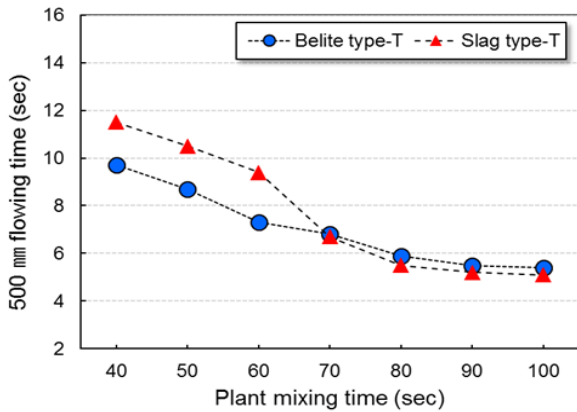


Fig. 13 500 mm flowing time for plant mixing time

달시간은 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 배합시간이 증가함에 따라 시멘트 입자의 분산능력이 개선되기 때문으로 사료된다.<sup>2)</sup> 배합시간 60초 이하에서는 슬럼프 플로우의 관리기준(650 ± 50 mm)을 만족하지 못하였으며, 50초 이하에서는 500 mm 플로우 도달시간의 관리기준(7 ± 3초)을 만족하지 못하였다. 또한 이 범위에서 벨라이트계의 실험결과가 약간 우수한 것은 벨라이트 시멘트 및 대량의 석회석 미분말 사용으로 인한 고성능 AE 감수제의 흡착 및 분산능력이 개선되었기 때문으로 사료된다.<sup>2,8)</sup> 이러한 실험결과를 고려하여 배치 플랜트의 최적 배합시간을 75초로 선정하였다.

### 3.2.4 배치 플랜트의 생산성 실험결과 분석

배치 플랜트에서 자기충전 콘크리트의 재료계량 및 투입, 배합시간, 배출시간 등을 고려한 콘크리트의 3 m<sup>3</sup> 및 6 m<sup>3</sup> 생산에 소요되는 시간과 생산량은 Fig. 14와 같다.

실험결과, 3 m<sup>3</sup> 생산에 필요한 임계시간은 133초, 예지테이터 1대(6 m<sup>3</sup>)의 생산에 소요되는 시간은 약 3분 30초로 나타났다. 따라서 플랜트 믹서의 안전율을 고려하면, 배치 플랜트 1대당 자기충전 콘크리트의 생산량은 100~110 m<sup>3</sup>/hr 정도로 예상할 수 있다.

Table 6은 생산성 시험에서 결합재에 따른 자기충전 콘크리트의 유동성을 측정된 실험결과를 나타낸 것이다.

실험결과, 결합재에 따라 약간의 차이는 있으나 자기충전

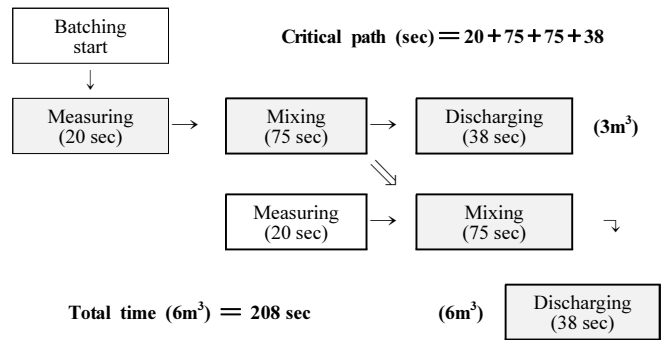


Fig. 14 The required time for manufacturing 6 m<sup>3</sup>

Table 6 Test results for continuous manufacturing

Test items	Belite type				Slag type			
	Max	Min	Ave	St.D	Max	Min	Ave	St.D
Slump flow (mm)	690	610	633	22	660	620	637	15
500 mm time (sec)	6.9	4.5	5.9	1.2	7.3	5.1	6.1	0.7
V-flowing (sec)	15.0	12.0	13.7	0.9	17.0	12.7	14.4	1.2
U-height (mm)	350	330	341	6.2	351	335	343	4.0

Table 7 Required concrete quantity for panel type

Panel type	Primary	Secondary	Drainage pit
Panel size (m)	7.24×1.74×75	2.8×1.74×75	2.8×4.94×75
Quantity (m <sup>3</sup> )	975	376	937
Pouring time	13~15 hr	9~10 hr	15~16 hr
Panel numbers	26	24	2

콘크리트에 요구되는 성능을 대부분 만족하였으며, 표준편차도 매우 안정적인 것으로 나타났다.

## 3.3 현장 시공계획 및 타설결과 분석

### 3.3.1 현장 시공계획

지하식 LNG 저장탱크의 지하연속벽에 요구되는 자기충전 콘크리트의 설계물량 및 사양은 Table 7과 같다.

선행패널의 경우, 최대 타설량이 75 m<sup>3</sup>/hr이기 때문에 생산성 실험결과와 비교해 볼 때, 자기충전 콘크리트의 생산 및 시공계획에는 문제가 없는 것으로 사료된다.

### 3.3.2 시공결과 분석

Table 8은 자기충전 콘크리트의 현장시공에 따른 유동성을 측정된 실험결과를 나타낸 것이다. 여기서 P는 선행패널(Primary), S는 후행패널(Secondary)을 의미한다. 선행패널은 시험 Lot(10회/패널)에 따라 26회 측정결과의 평균값을 나타낸 것이며, 후행패널은 4회/패널에 따라 96회 실험결과의 평균값을 나타낸 것이다.

**Table 8** Test results for fresh concrete in site

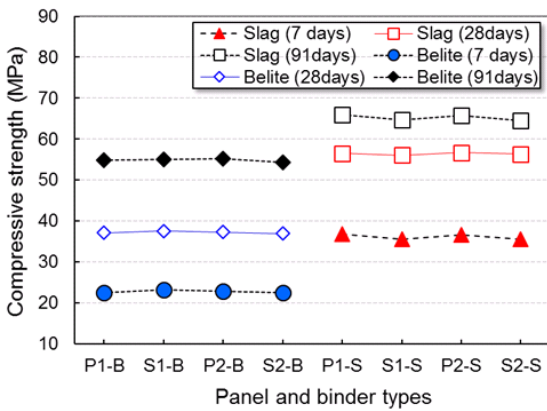
Test items	Belite type				Slag type			
	P <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>
Slump flow (mm)	634	629	623	616	640	633	637	630
500 mm time (sec)	6.5	6.3	6.3	6.4	5.6	6.0	5.6	6.1
Air contents (%)	3.8	4.0	4.2	4.0	3.6	3.8	3.6	3.9
Concrete temperature (°C)	15.6	14.9	15.6	18.7	16.2	24.1	17.3	24.6

시공결과, 대부분 자기충전 콘크리트의 요구성능을 만족하였으며, 벨라이트계가 슬래그계보다 슬럼프 플로우는 약간 낮게, 500 mm 도달시간은 약간 높게 나타났는데, 이는 콘크리트의 온도에 따른 증점제의 온도민감성 및 점성의 영향으로 사료된다.<sup>2)</sup>

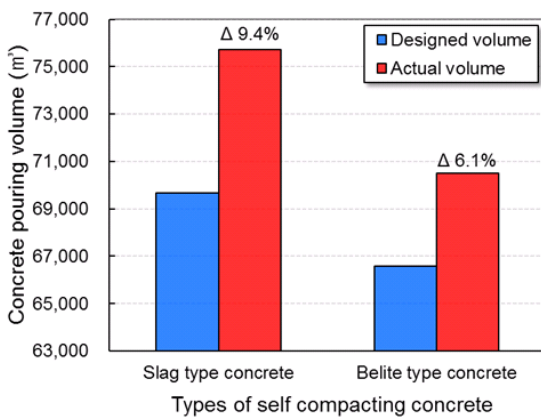
**3.3.3 압축강도 결과분석**

Fig. 15는 결합재별 자기충전 콘크리트의 현장시공에 따른 재령별 압축강도의 측정결과를 나타낸 것이다.

시공결과, 슬래그계의 강도발현이 벨라이트계에 비해 높은 것으로 나타났는데, 이는 소성점도를 만족하기 위한 시멘트



**Fig. 15** Test results for compressive strength at ages



**Fig. 16** Actual concrete volume for designed volume

트량의 증대에 기인한 것으로 사료된다. 벨라이트계는 낮은 시멘트량과 증점제량 및 석회석 미분말의 치환율 증대로 유동특성을 만족할 수 있기 때문에, 매우 경제적인 강도발현을 나타낸 것으로 사료된다.<sup>10,11)</sup>

**3.3.4 경제성 결과분석**

결합재에 따른 자기충전 콘크리트의 경제성 분석은 최적 배합조건에 대한 재료적 측면 및 설계물량과 실타설량에 대한 시공적 측면으로 나누어 평가하였다.

먼저, 재료비 측면에서 Table 4에 제시된 최적 배합조건에 대한 콘크리트의 단위체적(m³)당 재료단가는 슬래그계가 86,087원/m³인 반면에 벨라이트계는 74,187원/m³으로 약 14.0% 저감되는 것으로 나타났는데, 이는 시멘트와 고성능 AE 감수제 및 증점제 사용량의 차이에 기인된 것으로 사료된다. 또한, 설계물량에 대한 실타설량의 평가결과는 Fig. 16과 같다.

슬래그계는 설계물량 69,661 m³에서 실타설량은 75,708 m³로 약 9.4%가 증가하였으나, 벨라이트계는 설계물량 66,586 m³에서 실타설량 70,491 m³로 6.1%가 증가하였다.

이는 시공관리 외에도 자기충전 콘크리트의 점성유지와 안정적인 품질관리에 의한 것으로 사료된다. 따라서 재료비 및 시공성 측면에서 볼 때, 벨라이트계가 슬래그계보다 경제성 측면에서 우수한 것으로 나타났다.

**4. 결 론**

결합재에 따른 자기충전 콘크리트의 시공성 및 경제성 분석에 관한 본 연구의 결론을 정리하면, 다음과 같다.

- 1) 자기충전 콘크리트의 현장 시험배합에서 유동성, 충전성, 재료분리 저항성 및 재령별 강도발현을 만족하는 물-시멘트비는 슬래그계 41.0%, 벨라이트계 51.0%의 범위가 가장 적합한 것으로 나타났다.
- 2) 응결시간 실험결과, 벨라이트계가 슬래그계보다 지연되었으며, 유리질 슬래그의 입자형태 및 석회석 미분말의 사용량의 차이로 슬래그계가 벨라이트계보다 블리딩량이 증가되었으나 종료시간은 감소되었다.
- 3) 침하량 실험결과, 슬래그계가 벨라이트계보다 침하깊이는 증대하였으나, 종료시간은 짧은 경향을 보였다. 시멘트의 C<sub>2</sub>S 함량 및 석회석 미분말의 사용량의 차이로 단일온도 상승량 및 상승속도는 슬래그계가 큰 것으로 나타났다.
- 4) 배치 플랜트의 배합시간은 결합재에 관계없이 75초가 적합하였으며, 생산량은 100~110 m³/hr로 동일하였고 생산성 실험결과도 대부분 요구성능을 만족하였다.
- 5) 시공성 분석에서 유동성 및 충전성은 모두 만족하였으며, 재령별 압축강도는 슬래그계가 높게 나타났으나, 경제성 분석에서 벨라이트계가 재료비 약 14.0%, 설계물량-실타설량에서는 3.3% 절감되는 것으로 나타났다.

## 감사의 글

본 연구는 2016년 동양대학교 교내과제 연구비지원을 통해 수행된 연구로, 이에 감사드립니다.

## Reference

1. Okamura, H., Ouchi, M., "Self-Compacting Concrete, Development, Present and Future", *Proceeding of the First International RILEM Symposium on "Self Compacting Concrete"*, RILEM, Stockholm, Sweden, 1999, pp. 3-14.
2. JSCE., "A Task and State of the Report on the High Flowing Concrete", Japan Society of Civil Engineers, Concrete Engineering Series 15, Japan, 1996, pp. 41-207.
3. 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, Korea, 2000.10, pp. 1-40.
4. 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.
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*, Korea Concrete Institute, Korea, Vol. 18, No. 2, 2006, pp. 485-488.
6. Korea Concrete Institute., "Standard Specification for Concrete-Chapter 8 High Fluidity Concrete", Korea, 2009, pp. 118-124.
7. 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*, Korea Concrete Institute, Korea, Vol. 20, No. 2, 2008, pp. 369-372.
8. 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*, Korea Concrete Institute, Korea, Vol. 11, No. 2, 1999, pp. 267-270.
9. Kim, Y. J., Choi, M. S., and Jo, Y. H., "Property of Self Consolidating Concrete with High Volume Mineral Admixture", *Proceedings of the Korea Concrete Institute*, Korea Concrete Institute, Korea, Vol. 25, No. 1, 2015, pp. 275-276.
10. Choi, S. W., Jo, H. T., Ryu, D. H., and Kim, G. Y., "An Experimental Study on the Influence of the Qualities of Ordinary Portland Cement on the Flowability of High Flow Concrete", *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 24, No. 1, 2012, pp. 37-044.
11. Cho, C. G., Kim, W. J., and Choi, Y., "Flow Experiments and Analysis of Highly Flowable Concrete Considering the Effect of Dosages of SP Admixture and W/C Ratios", *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 26, No. 6, 2014, pp. 671-677.

**요약** 본 연구는 결합재에 따른 자기충전 콘크리트의 현장 최적배합비의 선정 및 이에 따른 현장 시공성과 경제성을 평가하기 위한 것이다. 결합재로 슬래그 함량이 46.5%인 슬래그계와 C<sub>2</sub>S함량이 51.4%인 벨라이트계, 그리고 석회석 미분말이 사용되었다. 물-시멘트비를 대상으로 유동성, 충전성, 재령별 압축강도를 측정하여 현장 최적배합조건을 선정하였으며, 이에 따른 평가항목으로 응결시간, 블리딩, 침하깊이, 단열온도 상승시험을 실시하였다. 현장 시공성 및 경제성 평가를 위하여 현장시공에 따른 콘크리트 물량과 재료비를 분석하였다. 실험결과, 유동성 및 압축강도에 만족하는 물-시멘트비는 슬래그계 41.0%, 벨라이트계 51.0%이며, 응결시간 및 블리딩량 종료시간은 슬래그계가 빨랐지만, 블리딩량은 슬래그계가 큰 것으로 나타났다. 단열온도 상승량 및 상승속도는 벨라이트계가 낮은 것으로 나타났다. 또한 배치 플랜트의 최적 배합시간은 75초가 적합하였으며 생산량은 100~110 m<sup>3</sup>/hr이었다. 재료비 및 콘크리트 물량에서 벨라이트계가 슬래그계보다 각각 14.0% 및 3.3% 절감되는 것으로 나타났기 때문에, 재령별 압축강도 발현을 제외하면 벨라이트계 자기충전 콘크리트가 시공성 및 경제성 등에서 우수하였다.

**핵심용어** : 자기충전 콘크리트, 슬래그계, 벨라이트계, 단열온도 상승량, 경제성