



## 시멘트 종류에 따른 병용계 자기충전 콘크리트의 최적배합비와 특성

권영호<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>동양대학교 건축소방행정학과

### Optimum Mix Proportion and Characteristics of the Combined Self Compacting Concrete according to Cement Types

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

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

**ABSTRACT** This study is aimed to derive the optimum mix proportion of the combined self compacting concrete according to cement types (blast-furnace slag cement and belite cement) and to propose the basic data to field construction work after evaluating the quality properties. Specially, lime stone powder (LSP) as binder and viscosity agent are used in the combined self compacting concrete because slurry wall of an underground LNG storage tank should be kept stability of quality during concrete working. Replacement ratio of LSP is determined by confined water ratio test and main design factors including fine aggregate ratio ( $S_f$ ), coarse aggregate ratio ( $G_v$ ) and water-cement ratio (W/C) are selected. Also, quality properties including setting time, bleeding content, shortening depth and hydration heat on the optimum mix proportion of the combined self compacting concrete according to cement type are compared and analyzed. As test results, the optimum mix proportion of the combined self compacting concrete according to cement type is as followings. 1) Slag cement type-replacement ratio of LSP 13.5%,  $S_f$  47% and W/C 41%. 2) Belite cement type-replacement ratio of LSP 42.7%,  $S_r$  43% and W/C 51%. But optimum coarse aggregate ratio is 53% regardless of cement types. Also, as test results regarding setting time, bleeding content, shortening depth and hydration heat of the combined self compacting concrete by cement type, belite cement type is most stable in the quality properties and is to apply the actual construction work.

**Keywords** : combined self compacting concrete, confined water ratio, mix proportion, lime stone, viscosity agent

#### 1. 서 론

최근, 구조물의 초고층화, 대형화 및 특수화에 따라 지하공사의 비중이 증대되고 있으며, 이에 따른 흙막이 공사의 일환으로 지하연속벽 공법을 도입하는 경우가 많다.

특히, 지하식 LNG 저장탱크와 같은 특수구조물의 지하연속벽에 사용되는 자기충전 콘크리트는 굴착심도가 깊을 뿐만 아니라 트레미 관을 통해 자유낙하로 타설되는 시공조건의 영향을 받기 때문에, 품질의 안정성이 매우 중요하다. 이러한 현장조건의 콘크리트는 자기충전성에 의해 상부로 역충전되는 특징 외에도 콘크리트의 상부 표면이 벤토나이트 안정액 및 슬러지와 직접 접하기 때문에, 점성을 유지하면서 요구성능을 확보하는 것이 필요하다.<sup>1)</sup>

일반적으로 분체계 자기충전 콘크리트의 품질은 재료 및 환경조건에 따라 민감하게 반응하기 때문에, 안정적

인 품질관리를 위하여 증점제를 함께 사용하는 병용계 자기충전 콘크리트가 개발되었다.<sup>2)</sup> 증점제는 콘크리트에 증점효과를 부여하여 재료분리 저항성 및 품질의 안정성 목적으로 사용되지만, 시멘트 및 분체의 종류와 배합요인에 의한 품질의 안정성도 영향이 클 것으로 사료된다.

따라서, 본 연구에서는 지하식 LNG 저장탱크의 지하연속벽에 적용할 병용계 자기충전 콘크리트를 대상으로 사용되는 시멘트와 분체에 따른 배합요인(잔골재 용적비, 굵은골재 용적비 및 물-시멘트비)의 영향을 실험적으로 검토하고, 이에 따른 최적배합비를 제시하고자 한다. 또한 시멘트 종류별 최적배합비에 대한 응결시간, 블리딩량, 침하량 및 수화열 등의 특성을 실험적으로 비교·검토하여 현장 품질관리의 기본 자료로 제시하고자 한다.

#### 2. 실험 개요 및 배합조건

##### 2.1 사용 재료

시멘트 종류별 병용계 자기충전 콘크리트의 최적배합

\*Corresponding author E-mail : kyh00127@hanmail.net  
Received August 11, 2008, Revised September 29, 2008,  
Accepted September 29, 2008  
©2009 by Korea Concrete Institute

**Table 1** Material properties

Material		Properties	Remark
Cement	Slag cement	-Blaine (3,787 cm <sup>2</sup> /g) -Specific gravity (3.05) -Hydration heat (74.8 cal/g)	-Average slag 46.0% -SO <sub>3</sub> 2.5%
	Belite cement	-Blaine (3,504 cm <sup>2</sup> /g) -Specific gravity (3.22) -Hydration heat (63.0 cal/g)	-C <sub>2</sub> S 51.4%, C <sub>3</sub> S 28.6% -C <sub>3</sub> A 1.1%, -SO <sub>3</sub> 2.1%
Aggregate	Coarse	-Fineness modulus (6.72) -Specific gravity (2.63) -Absorption (0.68%)	-19 mm (crushed stone)
	Fine	-Fineness modulus (2.62) -Specific gravity (2.60) -Absorption (1.16%)	-River sand
Lime stone powder		-Blaine (6,570 cm <sup>2</sup> /g) -Specific gravity (2.61) -Particle size (9.7)	-C-140 -CaO 53.4%
High range water reducing agent		-Poly-carbone -Solid (36.4%) -Specific gravity (1.2)	-Phoenix-HPC (HRWR)
Viscosity agent		-Poly saccharide + HPMC -Viscosity (800cp)	-Phoenix- (VA)

비 및 품질특성을 검토하기 위한 재료의 성질은 Table 1과 같다. 사용된 시멘트는 분말도 3,787 cm<sup>2</sup>/g, 비중 3.05이고, 슬래그 미분말의 치환율이 평균 46.0%인 고로슬래그 시멘트 (2종)와 분말도 3,504 cm<sup>2</sup>/g, 비중 3.22, C<sub>2</sub>S 함유량이 51.4%인 저열포틀랜드시멘트 (4종-belite cement type)이다. 굵은골재는 용원석산의 19 mm 쇄석을, 잔골재는 금강의 강모래를 사용하였다. 고성능 감수제 (high range water reducing agent)는 경시변화 90분까지의 요구성능을 유지하기 위하여 액상형 폴리-카르본계를 사용하였고, 증점제는 고성능 감수제와의 적합성을 고려하여 분말형 폴리-싸카라이드계를 사용하였다.

**2.2 콘크리트의 요구성능**

본 연구에서 목표로 하는 병용계 자기충전 콘크리트의 요구성능 및 이에 대한 평가기준은 Table 2와 같다. 자기충전 콘크리트의 시험 및 평가기준은 일본토목학회 기준 (JSCE)<sup>3)</sup>을 적용하였고, 요구성능은 지하식 LNG 저장탱크의 현장조건을 고려하여 경시변화 60분 동안 만족하는 것으로 하였으며, 이를 통해 유동성, 충전성 및 재료분리 저항성을 평가하였다.

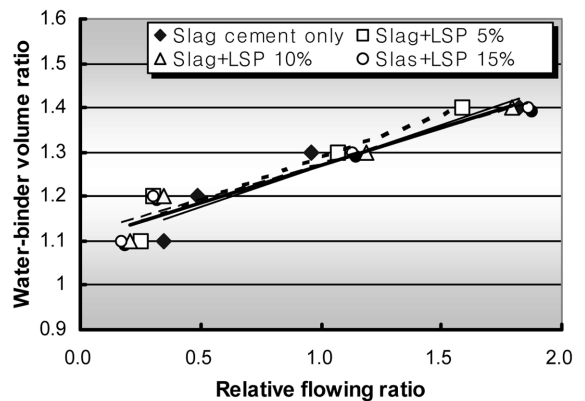
**2.3 석회석 미분말의 최적치환율**

석회석 미분말의 치환율을 결정하기 위하여 저열포틀

랜드시멘트의 경우에는 0, 15, 30 및 45%를, 고로슬래그 시멘트의 경우에는 0, 5, 10 및 15%를 치환하여 구속수비 시험을 실시하였으며, 시험 결과는 Figs. 1과 2와 같다.

시험 결과, 고로슬래그 시멘트의 경우에는 석회석 미분말의 치환율이 증가할수록 시멘트의 입자에 흡착되는 구속수비는 증가하지만, 유동성을 부여하기 위한 변형계수는 낮기 때문에, 최적치환율은 10~15% 범위에서 선정하는 것이 효과적일 것으로 평가되었다.

저열포틀랜드시멘트의 경우에도 석회석 미분말의 치환율이 증가할수록 구속수비는 증가하지만 15% 이상에서는 거의 일정한 값 (1.078)을 나타내었으며, 변형계수는



**Fig. 1** Confined water ratio for LSP replacement ratio (slag cement type)

**Table 2** Required performances and specifications

Slump flow (mm)	SF 500 mm time (sec)	V-type flowing time (sec)	U-box height (mm)	Air content (%)	Compressive strength (MPa)
650 ± 50	7 ± 3	15 ± 5	min. 300	4 ± 1	40.0

### 3. 실험 결과 및 분석

#### 3.1 잔골재 용적비에 따른 결과 분석

잔골재 용적비는 모르타르의 용적에 차지하는 잔골재의 용적비율로, 콘크리트의 유동성 및 점성에 영향을 미친다. 일반적으로 잔골재 용적비가 증가하면 골재의 표면적이 증대되기 때문에 경계면에 요구되는 페이스트량이 증대된다. 이러한 영향을 검토하기 위해 잔골재 용적비 41~49% 범위에 대하여 굳지 않은 콘크리트의 특성을 분석하였다.

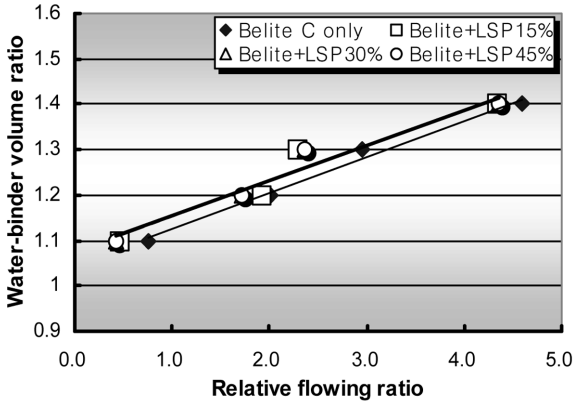


Fig. 2 Confined water ratio for LSP replacement ratio (belite cement type)

치환율과 관계없이 일정한 값 (0.078)을 나타내었기 때문에, 최적치환율은 30~45% 범위에서 선정하더라도 유동성 및 점성을 만족하는 것으로 사료된다.

#### 2.4 콘크리트의 배합변수 및 범위

병용계 자기충전 콘크리트의 배합변수 및 범위는 Table 3과 같다. 여기서, 주된 배합변수는 자기충전 콘크리트의 유동성 및 충전성에 영향을 미치는 잔골재 용적비 ( $S_r$ ), 굵은골재 용적비 ( $G_v$ )와 압축강도에 영향을 미치는 물-시멘트비 ( $W/C$ )를 대상으로 하였으며, 석회석 미분말의 치환율과 고성능 감수제 (HRWR) 및 증점제 (VA)의 사용량은 구속수비 시험에 의해 선정하였다.<sup>4)</sup>

기본적으로 시멘트 종류에 따른 병용계 자기충전 콘크리트의 유동성상 및 압축강도 등을 실험적으로 비교·평가하여 잔골재 용적비, 굵은골재 용적비 및 물-시멘트비에 의한 최적배합비를 도출하고, 이에 대한 응결시간과 블리딩, 침하량 및 수화열 특성을 비교·분석하였다.

Table 3 Test range of mix design factors

W/C (%)	$S_r$ (%)	$G_v$ (%)	Lime stone powder (C×%)		HRWR (B×%)		Viscosity agent (W×%)	
38~54	41~49	51~55	42.6 (Belite)	13.5 (Slag)	1.25 (Belite)	2.30 (Slag)	0.09 (Belite)	0.136 (Slag)

Table 4 Mix proportions for concretes according to  $S_r$

Mix conditions (%)			Unit materials (kg/m <sup>3</sup> )					Remarks
W/C	$G_v$	$S_r$	W	C	LSP	S	G	
51.0	52.8	41	181	355	263	704	787	- Belite cement - HRWR B×1.25% - VA W×0.092% - LSP 42.6%
		42	178	349	259	722	787	
		43	174	341	254	744	787	
		44	170	333	247	767	787	
		45	166	325	242	786	787	
41.0	52.8	45	185	451	70	788	789	- Slag cement - HRWR B×2.3% - VA W×0.136% - LSP 13.5%
		46	183	446	70	799	789	
		47	180	439	69	813	789	
		48	178	434	68	822	789	
		49	175	427	67	841	789	

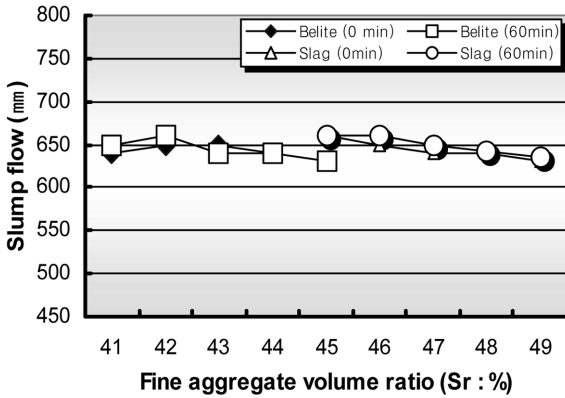


Fig. 3 Slump flow for elapsed time and  $S_r$

Figs. 4 및 5는 잔골재 용적비에 따른 500 mm 플로우 도달시간 및 깔대기 유하시간의 측정 결과를 경시변화별로 각각 나타낸 것이다.

실험 결과, 잔골재 용적비가 감소할수록 500 mm 플로우 도달시간 및 깔대기 유하시간이 증대되는 것으로 나타났는데, 이는 잔골재의 용적비가 감소할수록 단위 결합재량이 증가로 인하여 페이스트의 점성이 증대되기 때문으로 사료된다.

또한, 고로슬래그 시멘트에 비해 저열포틀랜드시멘트를 사용한 콘크리트의 점성이 안정적인 경향을 나타내었는데, 이는 저열포틀랜드시멘트의 흡착과 분산작용 및 증점제와 석회석 미분말의 사용량에 따른 영향으로 사료된다. 고로슬래그 시멘트의 경우에는 잔골재 용적비 45%, 저열포틀랜드시멘트의 경우에는 잔골재 용적비 41%를 제외하면, 대부분 500 mm 플로우 도달시간의 관리기준 ( $7 \pm 3$ 초)과 깔대기 유하시간의 관리기준 ( $15 \pm 5$ 초)을 만족하였다.

### 3.1.3 잔골재 용적비에 따른 충전성 분석

Fig. 6은 고로슬래그 시멘트 및 저열포틀랜드시멘트를 각각 사용한 자기충전 콘크리트의 잔골재 용적비에 따른 U-box 충전성 높이의 실험 결과를 나타낸 것이다.

실험 결과, 저열포틀랜드시멘트의 경우에는 잔골재 용적비 43%를 정점으로 충전성 높이가 감소하였으며, 고

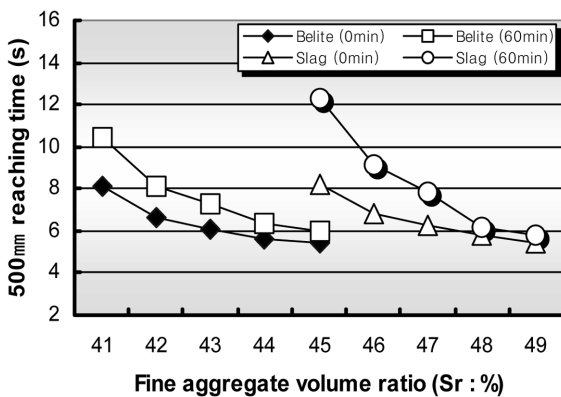


Fig. 4 500 mm reaching time for elapsed time and  $S_r$

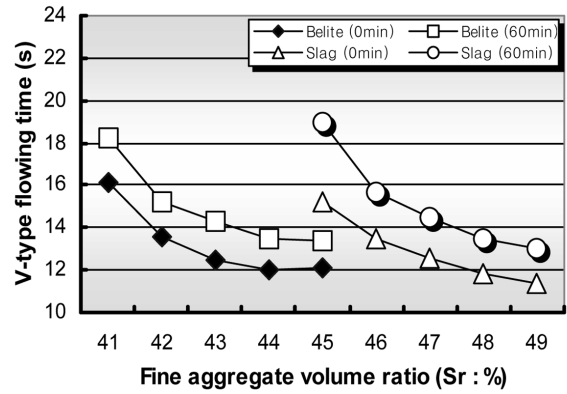


Fig. 5 V-type flowing time for elapsed time and  $S_r$

로슬래그 시멘트는 잔골재 용적비가 증가할수록 S형 곡선으로 충전성 높이가 감소하는 경향을 나타내었다.

따라서, 증점제를 사용한 자기충전 콘크리트에서 잔골재 용적비에 따른 영향은 크지 않지만, 작업성 및 경제성을 고려하여 고로슬래그 시멘트는  $47 \pm 1\%$  (잔골재을 환산  $50.8 \pm 0.4\%$ ), 저열포틀랜드시멘트의 경우에는  $43 \pm 1\%$  (잔골재을 환산  $48.8 \pm 0.8\%$ ) 범위에서 잔골재 용적비를 선정하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

## 3.2 굵은골재 용적비에 따른 결과 분석

자기충전 콘크리트의 굵은골재 용적비는 공기량을 제외한 콘크리트의 용적에 차지하는 굵은골재의 용적비율로, 충전성 및 간극통과성에 큰 영향을 미친다. 본 연구에서는 동일한 물-시멘트비 및 잔골재 용적비에서 시멘트의 종류에 따른 굵은골재 용적비의 영향을 고찰하였다.

### 3.2.1 굵은골재 용적비에 따른 배합조건

Table 5는 시멘트 종류별 병용계 자기충전 콘크리트의 굵은골재 용적비에 따른 배합조건을 나타낸 것이다.

여기서 굵은골재 용적비의 범위는 51, 53, 55%이며, 콘크리트의 단위체적에서 차지하는 골재용적으로 나타내면 각각 290, 300, 310  $l/m^3$ 이다.

또한, 물-시멘트비, 단위수량 및 잔골재 용적비를 일정

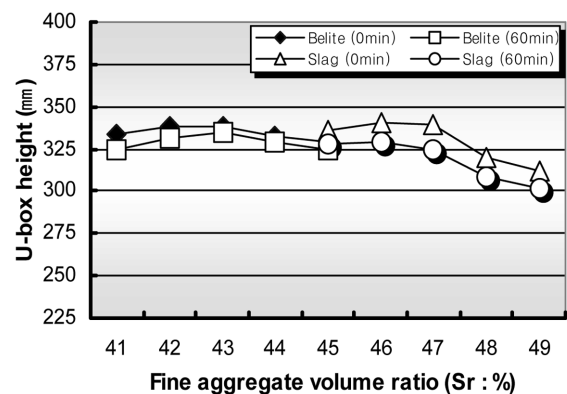


Fig. 6 U-box height for elapsed time and  $S_r$

**Table 5** Mix proportions for concretes according to  $G_v$

Mix conditions (%)				Unit materials (kg/m <sup>3</sup> )					Remarks
W/C	W/B	$G_v$ (l/m <sup>3</sup> )	$S_r$	W	C	LSP (%)	S	G	
51	28.3	51 (290)	43	174	341	275 (44.6)	747	762	- Belite cement - HRWR B×1.25% - VA W×0.092% - LSP 42.6%
	29.2	53 (300)	43	174	341	254 (42.7)	740	789	
	30.3	55 (310)	43	174	341	232 (40.5)	732	819	
41	34.9	51 (290)	47	180	439	75 (14.5)	832	762	- Slag cement - HRWR B×2.3% - VA W×0.136% - LSP 13.5%
	35.5	53 (300)	47	180	439	69 (13.5)	812	789	
	36.4	55 (310)	47	180	439	56 (11.3)	797	816	

하게 두고, 굵은골재 용적비에 따라 배합조건을 산정하였기 때문에, 증감되는 모르타르 부분은 석회석 미분말 사용량 및 잔골재의 사용량으로 조정하였다.

3.2.2 굵은골재 용적비에 따른 유동성 분석

Figs. 7 및 8은 고로슬래그 시멘트 및 저열포틀랜드시멘트를 각각 사용한 병용계 자기충전 콘크리트의 굵은골재 용적비에 따른 슬럼프플로우 및 500 mm 플로우 도달 시간을 나타낸 것이다.

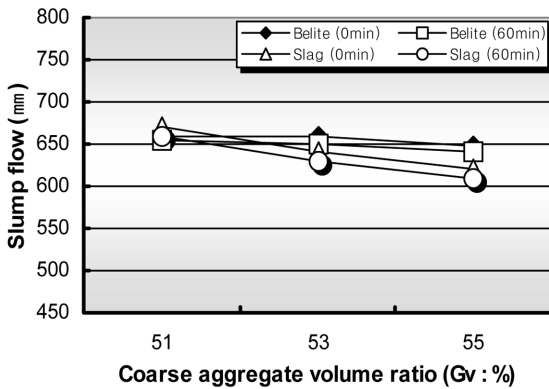
실험결과, 굵은골재 용적비가 증가할수록 슬럼프플로우 및 500 mm 플로우 도달시간이 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 굵은골재 용적비가 증가함에 따라 페이스트 및

모르타르의 체적이 감소하기 때문으로 사료된다. 대부분의 실험 결과는 슬럼프플로우의 관리기준 (650±50 mm) 및 500 mm 플로우 도달시간의 관리기준 (7±3초)을 만족하였다.

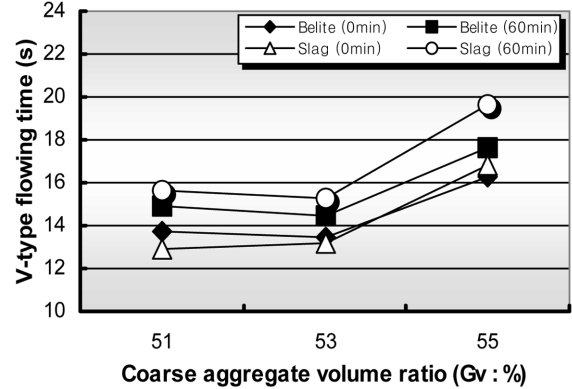
Fig. 9는 시멘트 종류별 굵은골재 용적비에 따른 깔대기 유하시간을 측정한 결과이다. 실험 결과, 굵은골재 용적비 51~53%에서는 유하시간이 거의 비슷하게 나타났지만, 55%에서는 매우 증대되는 것으로 나타났다. 이는 굵은골재 용적비가 증대될수록 골재입자간의 맞물림 저항이 증대되기 때문으로 사료된다.

3.2.3 굵은골재 용적비에 따른 충전성 분석

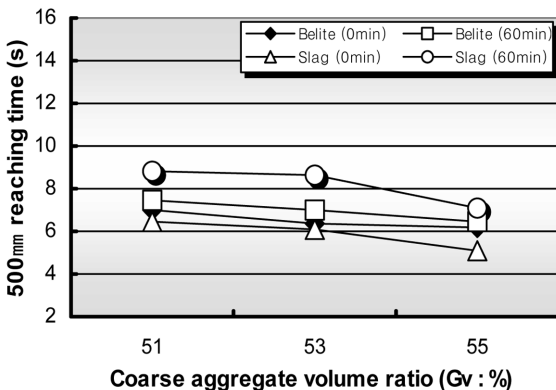
Fig. 10은 굵은골재 용적비에 따른 U-box 충전성 높이



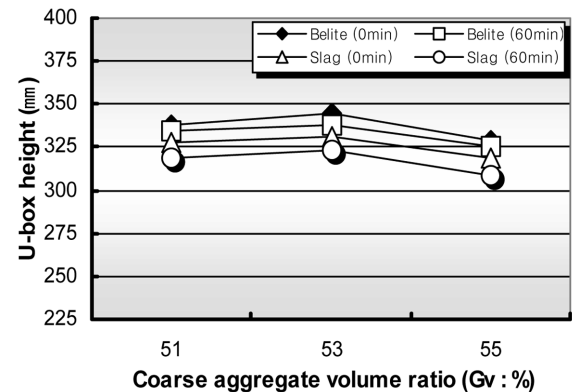
**Fig. 7** Slump flow for elapsed time and  $G_v$



**Fig. 9** V-type flowing time for elapsed time and  $G_v$



**Fig. 8** 500 mm reaching time for elapsed time and  $G_v$



**Fig. 10** U-box height for elapsed time and  $G_v$

를 측정 한 결과이다.

실험 결과, 굵은골재 용적비 53%를 기준으로, 굵은골재 용적비가 변화됨에 따라 U-box 충전성 높이가 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 부착력 증대 및 골재입자의 맞물림 저항에 따른 것으로 사료된다.

또한, 재료분리 저항성 및 간극통과성을 측정하기 위하여 U-box 충전성 높이를 측정 한 후, 양쪽 시험체의 콘크리트 시료를 채취하여 셋기 시험을 실시한 결과, 굵은골재 용적비가 55%인 경우에는 배합설계시의 굵은골재 용적에 비해 6% 정도 감소되는 것으로 측정되었다.

따라서, 병용계 자기충전 콘크리트에서 굵은골재 용적비는 시멘트의 종류에 관계없이  $53 \pm 1\%$  (굵은골재의 단위용적  $300 \pm 5 \text{ kg/m}^3$ )의 범위로 선정하는 것이 바람직하다.

### 3.3 물-시멘트비에 따른 결과분석

잔골재 용적비 및 굵은골재 용적비의 실험 결과로부터 선정 한 배합조건을 대상으로 시멘트 종류에 따른 물-시멘트비의 영향을 검토하였다. 이를 위하여 고로슬래그 시멘트 및 저열포틀랜드시멘트에 대하여 각각 물-시멘트비를 3~4수준으로 선정하여 유동성, 충전성 및 재령별 강도 특성을 실험적으로 비교하였다.

#### 3.3.1 물-시멘트비에 따른 배합조건

Table 6은 고로슬래그 시멘트 및 저열포틀랜드시멘트를 각각 사용한 병용계 자기충전 콘크리트의 물-시멘트비에 따른 배합조건을 나타낸 것이다.

Table 6에 나타난 바와 같이 물-시멘트비에 따라 배합조건을 구분하였지만, 굵은골재 용적비 및 잔골재 용적비가 일정한 조건에서 석회석 미분말의 치환율을 조정하여 물-결합재비의 변동을 최소화하였다.

고로슬래그 시멘트 및 저열포틀랜드시멘트를 각각 사용한 병용계 자기충전 콘크리트의 물-시멘트비에 따른 유동성, 충전성 및 재령별 강도 특성의 실험 결과는 다음과 같다.

#### 3.3.2 물-시멘트비에 따른 유동성 분석

Figs. 11 및 12는 시멘트 종류별 병용계 자기충전 콘크리트의 물-시멘트비에 따른 슬럼프플로우 및 500 mm 플

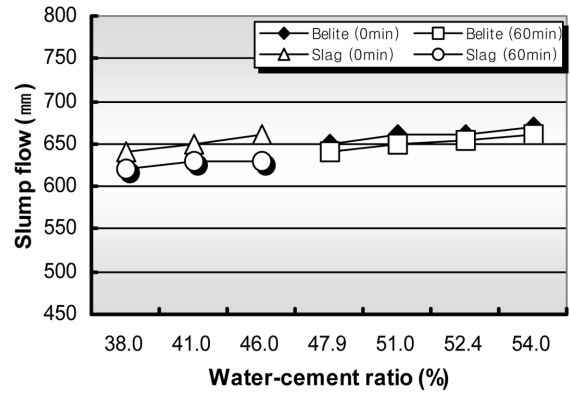


Fig. 11 Slump flow for elapsed time and W/C

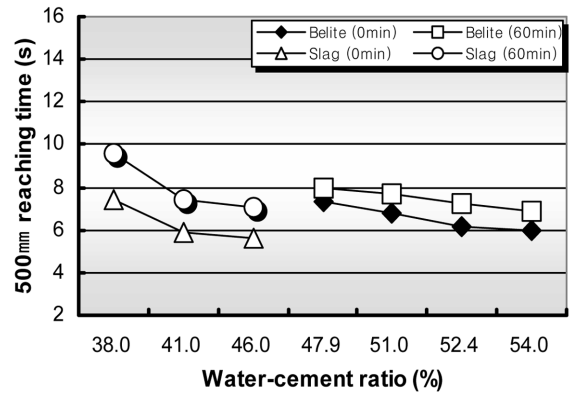


Fig. 12 500 mm reaching time for elapsed time and W/C

로우 도달시간의 실험 결과를 나타낸 것이다.

실험 결과, 물-시멘트비가 증가할수록 슬럼프플로우는 약간 증가하는 경향을 보였다. 이는 단위수량이 일정한 조건에서 물과 반응하는 단위시멘트량이 감소되었기 때문이며, 반면에 자기충전 콘크리트의 유동성에 기여하는 잉여수는 증가하였기 때문으로 사료된다.

또한, 500 mm 플로우 도달시간은 물-시멘트비가 증가할수록 약간 감소하는 경향을 나타내었는데, 이는 물-시멘트비가 증가할수록 점성에 기여하는 단위 시멘트량이 감소하기 때문으로 사료된다. 고로슬래그 시멘트의 경우에는 물-시멘트비 38%에서 41%로 증가할 때 점성 변동이 매우 큰 것으로 나타났으나, 저열포틀랜드시멘트는 비교적 완만한 것으로 나타났다.

Table 6 Mix proportions for concrete according to water-cement ratio

Mix conditions (%)				Unit materials (kg/m <sup>3</sup> )					Remarks
W/C	W/B	G <sub>v</sub> (l/m <sup>3</sup> )	S <sub>r</sub>	W	C	LSP (%)	S	G	
47.9	29.0	53.0 (298)	43	174	363	236 (39.4)	745	785	- Belite cement - HRWR B×1.25% - VA W×0.092%
51.0	29.2			174	341	254 (42.7)	745	785	
52.4	29.3			174	332	262 (44.1)	745	784	
54.0	29.4			174	322	270 (45.6)	745	784	
38.0	35.2	53.0 (300)	47	180	474	38 (7.5)	812	789	- Slag cement - HRWR B×2.3% - VA W×0.136%
41.0	35.5			180	439	69 (13.5)	812	789	
46.0	35.8			180	391	111 (22.1)	811	788	

이러한 경향은 저열포틀랜드시멘트에 대한 고성능 AE 감수제의 분산 및 흡착효과와 석회석 미분말의 간극 충전효과에 따른 것으로 사료된다.

Fig. 13은 물-시멘트비에 따른 깔대기 유하시간을 측정 한 결과를 나타낸 것이다. 실험 결과, 깔대기 유하시간 도 500 mm 플로우 도달시간과 마찬가지로 물-시멘트비가 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다.

### 3.3.3 물-시멘트비에 따른 충전성 분석

Fig. 14는 시멘트 종류별 물-시멘트비에 따른 U-box 충전성 높이의 실험결과를 나타낸 것이다. 실험 결과, 고로슬래그 시멘트의 경우에는 물-시멘트비 41%에서 충전성 높이의 정점을 나타내었으며, 저열포틀랜드시멘트는 물-시멘트비 51%에서 정점을 나타내었다. 이는 결합재-페이스트의 점성차이로 사료되지만, 대부분 관리기준 (300 mm 이상)을 만족하는 것으로 나타났다.

### 3.3.4 물-시멘트비에 따른 강도특성 분석

Figs. 15 및 16은 시멘트 종류별 물-시멘트비에 따른 재령별 압축강도비의 실험 결과를 나타낸 것이다. Fig. 15에서 나타난 바와 같이 고로슬래그 시멘트의 경우에는 초기강도 발현율이 매우 높은 것으로 나타났다. 91일 강도를 기준으로 할 때, 재령 7일에 61~62%, 재령 28일에

82~88%, 재령 56일에 90~94%의 강도 발현율을 보이고 있다. 이는 고로슬래그 시멘트의 수화가 초기에 급격히 일어나고 석회석 미분말의 치환율이 낮기 때문인 것으로 사료된다.

반면에 Fig. 16과 같이 저열포틀랜드시멘트의 경우에는 91일 강도를 기준으로 할 때, 재령 7일에 37~41%, 재령 28일에 67~69%, 재령 56일에 88~92%의 강도 발현율을 나타내었다. 이는 수화속도가 느린 벨라이트 (C<sub>2</sub>S)의 함량이 평균 51.4%인 시멘트의 특성 및 석회석 미분말의 치환율이 상대적으로 높기 때문으로 사료된다.

설계기준강도 (40.0 MPa)에 대한 할증계수 (1.2) 및 수중콘크리트의 저감계수 (0.93)를 고려한 배합강도 (51.5 MPa)를 만족하는 물-시멘트비를 최적배합으로 선정하였다.<sup>5)</sup>

## 3.4 최적배합에 대한 특성 시험 결과 분석

배합요인에서 도출한 최적배합조건에 대한 블리딩, 응결시간 및 침하량, 수화열 등을 실험적으로 고찰하였다.

### 3.4.1 최적배합 조건

Table 7은 시멘트 종류별 배합조건에 따른 병용계 자기충전 콘크리트의 최적배합비를 나타낸 것이다.

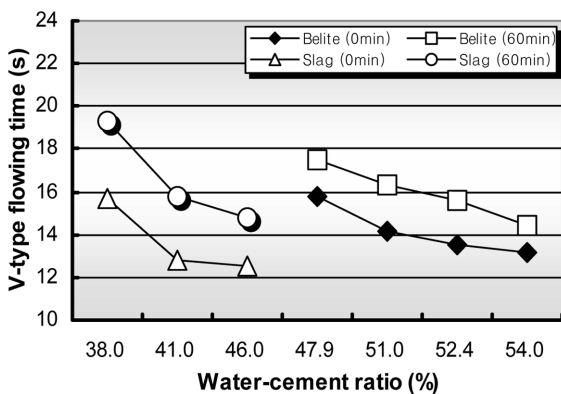


Fig. 13 V-type flowing time for elapsed time and W/C

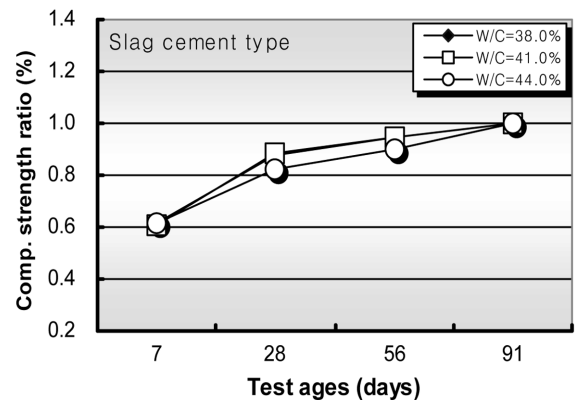


Fig. 15 Comp. strength ratio for W/C (Slag)

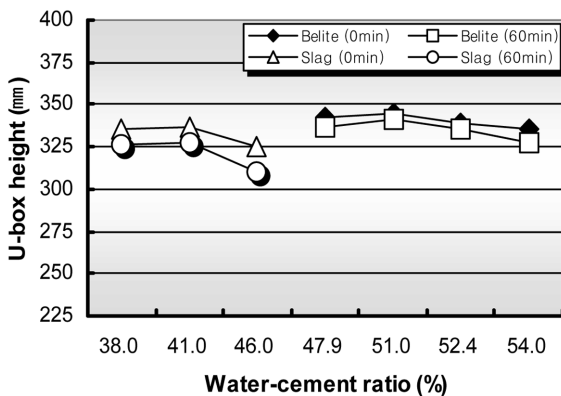


Fig. 14 U-box height for elapsed time and W/C

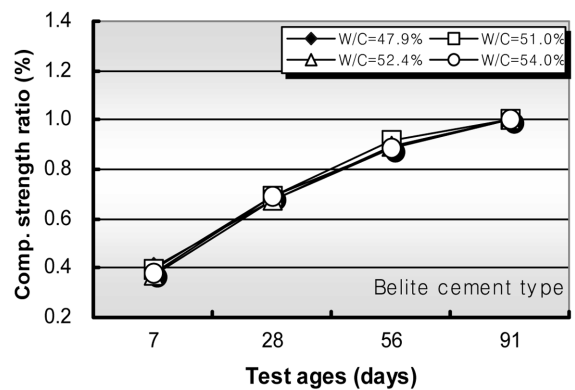


Fig. 16 Comp. strength ratio for W/C (Belite)

**Table 7** Optimum mix proportion

Mix conditions (%)				Unit materials (kg/m <sup>3</sup> )					Remarks
W/C	W/B	G <sub>v</sub> (l/m <sup>3</sup> )	S <sub>r</sub> (S/a)	W	C	LSP (%)	S	G	
51	29	53 (298)	43 (48.8)	174	341	254 (42.7)	745	785	- HRWR 7.44 - VA 0.16 - Belite cement
41	35	53 (300)	47 (50.8)	180	439	69 (13.5)	812	789	- HRWR 11.7 - VA 0.245 - Slag cement

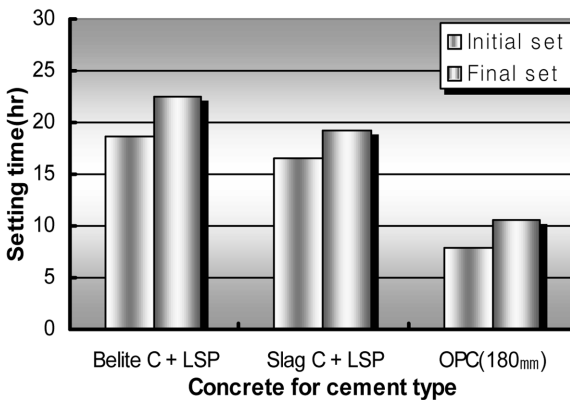
3.4.2 응결시간 및 블리딩 시험 결과 분석

Fig. 17은 시멘트 종류에 따른 병용계 자기충전 콘크리트 및 비교용 일반 콘크리트 (슬럼프 180 mm)의 응결시간 KS L 5103에 따라 시험한 결과를 나타낸 것이다.

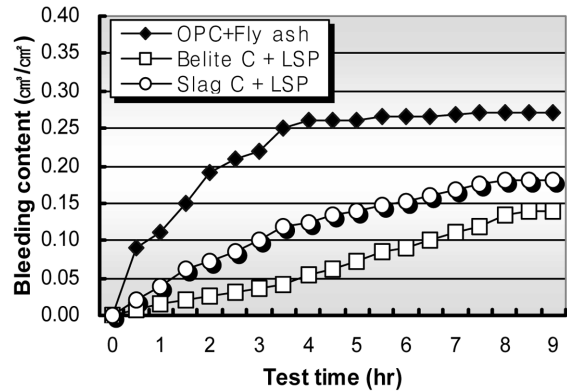
실험 결과, 저열포틀랜드시멘트를 사용한 자기충전 콘크리트의 응결시간은 초결이 18:40 (hr:min), 종결이 22:30으로 가장 지연되었으며, 반면에 고로슬래그 시멘트는 초결이 16:30, 종결이 19:20으로 약간 빠른 경향을 보였다. 그러나 일반 콘크리트와 비교해 볼 때, 자기충전 콘크리트의 응결시간이 매우 지연되었는데, 이는 시멘트의 수화속도, 석회석 미분말의 치환율에 따른 영향으로 사료된다.<sup>6)</sup>

Fig. 18은 고로슬래그 시멘트와 저열포틀랜드시멘트를 각각 사용한 병용계 자기충전 콘크리트와 보통포틀랜드시멘트에 플라이애쉬를 사용한 자기충전 콘크리트의 블리딩량을 KS F 2414에 따라 측정된 결과를 비교한 것이다.

실험 결과, 플라이애쉬를 사용한 자기충전 콘크리트의 블리딩량은 0.27 cm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup>이고 종료시간은 7시간인 반면에, 저열포틀랜드시멘트의 블리딩량은 0.14 cm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup>이고 종료시간은 8시간이며, 고로슬래그 시멘트의 블리딩량은 0.18 cm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup>이고 종료시간은 7.5시간으로 측정되었다. 이는 시멘트 및 사용된 분체의 종류, 고성능 AE감수제의 사용량에 따른 영향도 있지만, 증점제를 사용한 병용계 자기충전 콘크리트의 경우에는 점성이 안정적으로 유지되기 때문에 블리딩의 억제효과도 있는 것으로 사료된다.<sup>7)</sup>



**Fig. 17** Setting time for concrete type



**Fig. 18** Bleeding content for concrete type

그러나, 대부분의 실험 결과는 콘크리트 표준시방서에서 제시한 기준 (0.3 cm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup> 이하)을 만족하는 것으로 나타났다.

3.4.3 타설 심도에 따른 침하량 결과 분석

LNG 저장탱크의 지하연속벽은 트레미 관으로 콘크리트를 자유낙하로 타설하기 때문에, 이로 인한 골재부분의 침하 또는 비중이 낮은 페이스트 부분의 상승 등이 우려된다. 따라서 이러한 영향을 실험적으로 고찰하기 위하여 지름 150 mm이고 길이가 1,210 mm인 원형 시험체를 제작하여, 여기에 콘크리트를 타설한 후 다이얼게이지를 설치하여 침하량을 측정하였다.

Fig. 19는 고로슬래그 시멘트 및 벨라이트 시멘트를 사용한 병용계 자기충전 콘크리트와 보통 포틀랜드시멘트에 플라이애쉬를 사용한 분체계 자기충전 콘크리트에 대한 침하량의 측정 결과를 비교한 것이다.

실험 결과, 플라이애쉬를 사용한 분체계 자기충전 콘크리트의 전체 침하깊이는 0.94 mm이고 침하가 종료되는 시간은 7.5시간으로 나타났다. 저열포틀랜드시멘트의 침하깊이는 0.66 mm이고 종료시간은 8.5시간이며, 고로슬래그 시멘트의 침하깊이는 0.79 mm이고 종료시간은 8시간으로 나타났다.

또한, 시험체의 높이 (1,210 mm)에 대한 침하율을 비교하면, 플라이애쉬가 0.077%, 저열포틀랜드시멘트가 0.054%, 그리고 고로슬래그 시멘트가 0.065%로 나타났다.

또한, 시험체의 단면을 높이별로 커팅하여 골재분포도 및 압축강도를 시험한 결과, 상·하부위의 재료분리 현



## 4. 결 론

본 연구에서는 고로슬래그 시멘트 및 저열포틀랜드시멘트를 각각 사용한 병용계 자기충전 콘크리트의 배합요인에 따른 품질특성을 실험적으로 고찰하였으며, 결론을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 석회석 미분말의 치환율은 페이스트의 구속수비 및 모르타르의 수정배합 시험결과를 고려하여, 고로슬래그 시멘트의 경우에는 중량비 (내할) 13.5%로, 저열포틀랜드시멘트의 경우에는 42.7%로 사용하는 것이 가장 바람직하다.
- 2) 병용계 자기충전 콘크리트의 잔골재 용적비 ( $S_r$ )는 증점제의 사용으로 인해 큰 영향을 미치지 않는지만, 작업성 및 경제성을 고려하여 고로슬래그 시멘트의 경우에는 잔골재 용적비  $47 \pm 1\%$  (잔골재율 환산  $50.8 \pm 0.3\%$ ), 저열포틀랜드시멘트는  $43 \pm 1\%$  ( $48.8 \pm 0.8\%$ )로 관리하는 것이 바람직하다.
- 3) 시멘트 종류에 관계없이 병용계 자기충전 콘크리트의 충전성 및 간극통과성을 확보하기 위해서는 굵은골재 용적비 ( $G_v$ )의 범위를  $51 \pm 1\%$  (골재용적  $300 \pm 5 \text{ l/m}^3$ )에서 관리하는 것이 바람직하다.
- 4) 설계기준강도 40 MPa (배합강도 51.5 MPa)인 병용계 자기충전 콘크리트의 최적 물-시멘트비는 고로슬래그 시멘트의 경우  $41 \pm 1\%$ , 저열포틀랜드시멘트의 경우  $51 \pm 2\%$ 가 가장 바람직하다.
- 5) 병용계 자기충전 콘크리트의 응결시간은 일반 콘크리트에 비해 매우 지연되었는데, 저열포틀랜드시멘트의 경우에 초결이 18:40, 종결이 22:30이며, 고로슬래그 시멘트의 경우에 초결이 16:30, 종결이 19:20으로 나타났다. 따라서, 거푸집 설계를 할 때는 초기 액압을 고려하는 것도 중요하지만, 응결시간의 지연에 따른 지속응력도 함께 고려해야 한다.
- 6) 분체계 자기충전 콘크리트의 블리딩량이  $0.27 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ , 종료시간이 7시간인데 비해, 저열포틀랜드시멘트는 블리딩이  $0.14 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ , 종료시간은 8시간으로 적었다. 또한, 고로슬래그 시멘트의 블리딩량은  $0.18 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$  종료시간은 7.5시간이었다.
- 7) 병용계 자기충전 콘크리트는 안정적인 점성의 유지로 인하여 침하량이 작은 것으로 나타났다. 저열포틀랜드시멘트를 사용한 병용계 자기충전 콘크리트가 가장 안정적인 경향을 나타내었다.
- 8) 특히, 단열온도 상승시험 결과, 단열온도 상승량 (K) 및 수화속도 ( $\alpha$ )는 고로슬래그 시멘트 > 저열포틀랜드시멘트 순으로 나타났다.

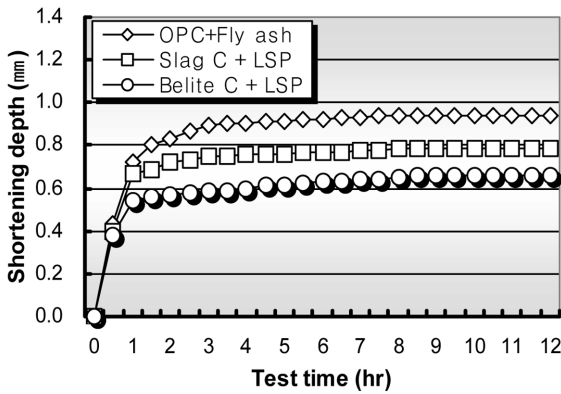


Fig. 19 Shortening depth for concrete type

상은 발생하지 않았으며, 강도에 대한 편차도 크지 않았다. 따라서, 깊은 심도의 지하연속벽에 타설할 경우에도 콘크리트 자체의 품질변동에 대한 우려는 크지 않을 것으로 사료되지만, 벤토나이트 안정액과 접하는 최상부의 콘크리트 변동에 대해서는 세심한 검토가 필요할 것이다.

### 3.4.4 병용계 자기충전 콘크리트의 수화열 분석

Fig. 20 및 Table 8은 고로슬래그 시멘트 및 저열포틀랜드시멘트를 각각 사용한 병용계 자기충전 콘크리트에 대한 단열온도 상승 시험의 측정 결과를 비교한 것이다. 실험 결과, 저열포틀랜드시멘트를 사용한 병용계 자기충전 콘크리트의 단열온도가 고로슬래그 시멘트에 비해 매우 낮게 측정되었는데, 이는 수화열이 높은  $C_3A$ 와  $C_3S$  및 수화열이 낮은  $C_2S$ 의 함량으로 기인된 것이며, 특히 석회석 미분말의 치환율에 영향도 클 것으로 사료된다. 특히, 단열온도 상승량 (K)과 온도상승 속도의 정수 ( $\alpha$ )는 고로슬래그 시멘트, 저열포틀랜드시멘트 순으로 나타났다.

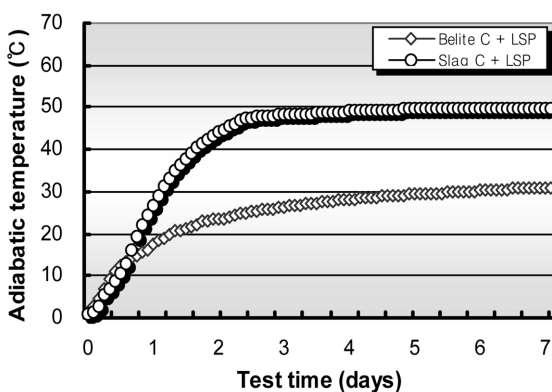


Fig. 20 Adiabatic temperature for concrete type

Table 8 Test results of adiabatic temperature

Cement	Mix proportions (%)				Test results			Remarks
	W/C	W/B	$G_v$	$S_r$	K (°C)	$\alpha$	$\beta$	
Belite	51.0	29.2	53	43	30.8	0.42	1.17	Belite + LSP (LSP = 42.7%)
Slag	41.0	35.5	53	47	49.9	0.62	2.05	Slag c + LSP (LSP = 13.5%)

9) 자기충전 콘크리트의 실험 결과를 고려할 때, 저열 포틀랜드시멘트를 사용한 병용계 자기충전 콘크리트가 우수한 품질특성을 갖는 것으로 나타났다.

### 참고문헌

1. 河井徹, 吉川章三, 村上邦夫, “タイプ別高流動コンクリートの特性比較に関する実験的研究,” 高流動コンクリートシンポジウム論文報告集, 土木學會コンクリート技術シリーズ, No. 10, 1996, pp. 77~80.
2. 全國生コンクリート工業組合連合會, “高流動(自己充填)コンクリート製造マニュアル,” 全國生コンクリート工業組合連合會, 1998. 7.
3. 日本土木學會, “高流動コンクリート施工指針,” 93コンクリ

-トライブライ-, July 1998, pp. 1~246.

4. 권영호, 김무한, 전성근, “사용재료의 품질변동이 고유동 콘크리트의 특성에 미치는 영향,” 콘크리트학회 논문집, 12권, 2호, 2000, pp. 99~107.
5. 青木茂他, “國內最高域の高強度コンクリートによる連續地中壁の施工,” セメント・コンクリート, No. 655, 2001. 9, pp. 24~30.
6. 김은겸, 최재진, 전창기, “고로슬래그미분말 및 플라이애쉬를 사용한 고유동 콘크리트의 특성에 관한 연구,” 한국콘크리트학회 학술대회논문집, 15권, 1호, 2003, pp. 89~94.
7. 한천구, 손유신, 김규용, “콘크리트의 블리딩에 미치는 혼화제의 영향,” 한국콘크리트학회 학술대회논문집, 15권, 1호, 2003, pp. 339~342.

**요약** 본 연구는 시멘트 종류에 따른 병용계 자기충전 콘크리트의 최적배합비를 도출하고, 최적배합비의 품질특성을 평가하여 현장시공의 자료로 제안하기 위한 것이다. 병용계 자기충전 콘크리트는 분체와 증점제를 함께 사용하기 때문에, 품질의 안정성을 확보할 수 있을 것으로 예측된다. 분체로써 점성 증대 및 수화열 저감에 우수한 석회석 미분말을 사용하였다. 석회석 미분말의 치환율은 시멘트 종류에 따른 구속수비 실험을 통해 정하였으며, 배합변수는 잔골재 용적비 ( $S_p$ ), 굵은골재 용적비 ( $G_v$ ) 및 물-시멘트비 ( $W/C$ )로 하여, 최적배합비를 도출하였으며, 이에 대한 응결시간, 블리딩량, 침하량 및 수화열 특성을 분석하였다. 실험결과, 고로슬래그 시멘트의 경우에는 석회석 미분말의 치환율 13.5%, 잔골재 용적비 47%, 물-시멘트비 41%이며, 저열포틀랜드시멘트의 경우에는 석회석 미분말의 치환율 42.7%, 잔골재 용적비 43%, 물-시멘트비 51%이며, 굵은골재 용적비는 시멘트의 종류에 관계없이 53%로 나타났다. 최적배합비에 대한 응결시간, 블리딩, 침하량 및 수화열에 대한 실험 결과, 저열포틀랜드시멘트를 사용한 자기충전 콘크리트가 가장 안정적인 것으로 나타났으며, 설계기준강도 40.0 MPa (배합강도 51.5 MPa)를 만족하는 저열포틀랜드시멘트를 사용한 병용계 자기충전 콘크리트를 지하식 LNG 저장탱크의 지하연속벽용 콘크리트로 제안하였다.

**핵심용어** : 병용계 자기충전 콘크리트, 구속수비, 최적배합비, 석회석 미분말, 증점제