



## 과밀 배근된 교량 부재용 초유동 자기충전 콘크리트의 역학적 특성

최연왕<sup>1)\*</sup> · 김용직<sup>2)</sup> · 강현진<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>세명대학교 토목공학과 <sup>2)</sup>라이어슨대학교 토목공학과 <sup>3)</sup>한국건설기술연구원 구조재료연구실

### Mechanical Properties of the High Flowing Self-Compacting Concrete for Members of Bridge Overcrowded Arrangement of Bar

Yun-Wang Choi<sup>1)\*</sup>, Yong-Jic Kim<sup>2)</sup>, and Hyun-Jin Kang<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Dept. of Civil Engineering, Semyung University, Jecheon 390-711, Korea

<sup>2)</sup>Dept. of Civil Engineering, Ryerson University, Ontario, M5B 2K3, Canada

<sup>3)</sup>Korea Institute of Construction Technology, Goyang 411-712, Korea

**ABSTRACT** Domestically, application of High Flowing Self-Compacting Concrete (HSCC) is limited to building structures and it is difficult to find examples of application in civil infrastructural constructions. However, in the case of North America and Europe, by introducing precast and prestressed system, HSCC is being used for high-density reinforced bridge members. Hence it is assessed that broadening the utilization of HSCC into areas such as bridges and civil construction is required. Therefore in this research, to apply HSCC to high-density reinforced bridge members, ground granulated blast-furnace slag and fly ash were mixed in binary and ternary systems. Also the dynamical characteristics of HSCC, following 1st class regulations of Japan Society of Civil Engineers (JSCE), were assessed to enable application on high-density reinforced structures. The test results revealed ternary system mixture showed better mechanical characteristics than binary system mixture and the application on high-density reinforced precast bridge members seems possible.

**Keywords :** high-flowing, self-compacting concrete, bridge members, overcrowded arrangement of bar

#### 1. 서 론

인류의 건설 산업은 철근콘크리트의 개발로 인하여 급속히 변화되었으며, 최근 철근콘크리트를 발전시키기 위하여 콘크리트의 성능을 향상시킨 고성능콘크리트의 개발이 활발히 진행되고 있다. 고성능콘크리트 중 초유동 자기충전 콘크리트는 기존 일반콘크리트의 단점인 시공성을 보완시킬 수 있어 우수한 품질의 콘크리트 제품을 생산할 수 있다<sup>1-3)</sup>.

국내의 초유동 자기충전 콘크리트에 관한 연구는 1994년 대책과제로 수행된 D사의 초유동 콘크리트 메커니즘에 관한 연구를 시작으로 하여, 그 이후에 인천 LNG 인수기지 공사에 초유동 자기충전 콘크리트를 적용하기 시작하였으나 주로 특수 구조물에 적용되고 있는 실정이다<sup>4,5)</sup>.

현재 교량에 타설되고 있는 일반콘크리트로 과밀 배근된 교량 부재에 타설 할 경우 콘크리트 표면 마감성이 좋지 않아 타설 완료 후 2차적인 표면 마감작업이 필요하며, 거푸집 구성구석을 제대로 채우지 못하여 나누어

치기를 해야한다. 또한, 다짐봉에 의한 다짐과 거푸집 자체의 진동을 통하여 시공하고 있으나 과도한 다짐으로 인하여 재료분리 현상이 발생하고 있는 실정이다. 따라서 과밀 배근된 프리캐스트 교량 부재의 시공성 및 시공품질을 향상할 수 있는 초유동 자기충전 콘크리트의 적용이 필요할 것으로 판단되지만, 과밀 배근된 교량부재에 초유동 자기충전 콘크리트를 적용한 실적은 국내에서 찾아보기 어려운 상황이다.

국외의 경우 2001년 독일에서는 초유동 자기충전 콘크리트 배합을 이용하여 프리스트레스를 도입한 프리캐스트 교량 거더를 제조한 실적이 있으며, 일본에서는 2005년에 초유동 자기충전 콘크리트를 교량에 적용한 사례가 있다<sup>6)</sup>.

본 연구에서는 과밀 배근된 교량구조물에 초유동 자기충전 콘크리트를 적용하기 위한 방법의 일환으로 과밀 배근된 구조물에 적용할 수 있는 일본토목학회의 JSCE 1등급 규정을 만족하는 초유동 자기충전 콘크리트를 제조하여 역학적 특성을 검토한 후, 과밀 배근된 모형 부재를 제작하여 현장 적용성을 평가하였다<sup>7)</sup>.

\*Corresponding author E-mail: crete77@semyung.ac.kr

Received July 9, 2007, Accepted February 11 2008

©2008 by Korea Concrete Institute

## 2. 실험 개요

### 2.1 사용 재료

#### 2.1.1 시멘트 및 혼화제

시멘트는 밀도  $3.15 \text{ g/cm}^3$  및 분말도  $3,540 \text{ cm}^2/\text{g}$ 의 보통포틀랜드시멘트 (이하 OPC로 약함)를 사용하였으며, 분체계 초유동 자기충진 콘크리트 (이하 HSCC로 약함)를 제조하기 위하여 고로슬래그 (이하 GBFS로 약함) 및 플라이애쉬 (이하 FA로 약함)를 사용하였다. 이들의 화학 성분 및 물리적 성질은 Table 1과 같다.

#### 2.1.2 골재

잔골재는 낙동강 강모래 (이하 S로 약함)를 사용하였고, 굵은골재는 최대치수 20mm인 석회암질 부순골재 (이하 G로 약함)를 사용하였으며, 잔골재 및 굵은골재의 물리적 성질은 Table 2와 같다.

#### 2.1.3 혼화제

HSCC의 유동성 확보 및 공기량 조절을 위하여 국내 H사의 폴리카르본산계 고성능 감수제 (이하 SP라 약함)를 사용하였다.

### 2.2 콘크리트

과밀배근된 교량부재용 HSCC의 성능평가를 만족하는 기준배합은 Table 3과 같은 일본토목학회의 “자기충진형 콘크리트의 시험 방법” 1등급 성능기준을 선정하였다<sup>6)</sup>. 이러한 기준을 만족시키는 기준 배합을 선정한 후 Table 4의 GBFS 및 FA를 혼합한 2성분계 및 3성분계 배합을 실시하였다.

기준에 사용된 오키무라 (Okamura) 교수가 제시한 자

**Table 2** Physical properties of aggregates

Items Type	G <sub>max</sub> (mm)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Absorption (%)	FM	Bulk density (kg/m <sup>3</sup> )
G	20	2.70	1.01	6.94	1,626
S	-	2.56	2.07	2.76	1,659

기충진 콘크리트의 배합설계는 레미콘 현장에서 제조하는데 배합 방법이 까다롭고 매우 복잡하며, 다양한 골재의 특성을 반영하기가 어려운 단점이 있기 때문에 Nan-Su가 제시한 골재채움률에 따른 PF를 수정·보완하게 되었다. 또한 본 실험에서 혼합한 GBFS 및 FA는 높은 유동성과 점성을 확보하기 위하여 사용하였으며, HSCC의 배합은 Nan-Su의 배합설계법<sup>8,9)</sup>을 수정·보완하여 골재의 느슨한 상태에 대한 밀실한 상태의 단위용적질량의 비에 잔골재율에 따른 가중치를 적용하여 얻어지는 PF 값<sup>10)</sup>을 적용하여 실시하였다<sup>11)</sup>. HSCC의 배합은 골재채움률 (이하 PF로 약함) 1.12, 잔골재율 48%, 물/분체비 0.36인 배합을 기준으로 결정하였다.

#### 2.2.1 응결 시험

HSCC의 응결시험은 KS F 2436에 준하여 실시하였으며, HSCC의 초결시간 및 종결시간까지 관입침의 지지면적 (640, 320, 160, 64, 32 및 16 mm<sup>2</sup>) 종류에 따라 변화시켜 측정하였다. 이때 관입침의 관입깊이는 25 mm까지 침입시킨 값으로 하였으며, 초결의 응력은 3.5 MPa, 종결의 응력은 28 MPa의 값에 도달하는 시간으로 측정하였다.

#### 2.2.2 압축강도 시험

HSCC의 압축강도 시험 방법은 KS F 2405에 준하여 실시하였으며, 시험용 공시체는 Ø100×200 mm 원주형 몰드에 다짐을 하지 않고 성형하여 24시간 후 몰드를 탈

**Table 1** Chemical compositions and physical properties of OPC and admixtures

Items Type	CaO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Insol. (%)	LOI (%)	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Density (g/cm <sup>3</sup> )
OPC	61.4	21.6	6.0	3.4	3.1	2.5	0.2	1.12	3,540	3.15
GBFS	42.1	33.3	15.3	5.7	0.4	2.0	-	0.02	4,160	2.90
FA	6.5	58.2	26.2	1.1	7.4	0.3	-	3.20	3,550	2.18

**Table 3** Specification of SCC proposed by JSCE

Items	Rank	Rank		
		1	2	3
Construction condition	Minimum gap between reinforcement (mm)	35~60	60~200	≥ 200
	Amount of reinforcement (kg/m <sup>3</sup> )	≥ 350	100~350	≤ 100
Flowability	Slump flow (mm)	600~700	600~700	500~650
Segregation resistance ability	Time required to flow through V-funnel (s)	9~20	7~13	4~11
	Time required to reach 500 mm of slump flow (s)	5~20	3~15	3~15
Filling height of U-box test (mm)		≥ 300	≥ 300	≥ 300
Absolute volume of coarse aggregate per unit volume of SCC (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )		0.28~0.30	0.30~0.33	0.32~0.35

**Table 4** Mixture proportions of concrete with GBFS and FA

Mix no.	PF	S/a (%)	GBFS/(P) (Vol, %)	FA/(P) (Vol, %)	W/(P) (%)	W/C (%)	Unit weight of volume (kg/m <sup>3</sup> )					SP (wt, P×%)		
							W	P			S		G	
								OPC	GBFS	FA				
1	1.12	48	0	0	35	35	175	501	0	0	769	864	0.9	
2			15		35	41		426	69					
3			30		36	50		351	138					
4			45		36	64		276	208					
5			0	10	36	39		451	0	35				
6			20	37	44	401		70						
7			30	38	50	351		105						
8			10	20	37	50		351		46				70
9			20	10	37	50				92				35

\*P = OPC + GBFS + FA

형하였으며, 소정의 재령까지 23±2°C의 수조에 침지하여 양생하였다.

2.2.3 쏘갠인장강도 시험

HSCC의 쏘갠인장강도 시험은 KS F 2423에 준하여 실시하였다.

2.2.4 탄성계수 시험

HSCC의 탄성계수 시험은 KS F 2438에 준하여 실시하였다.

2.3 시험 항목 및 방법

과밀 배근된 교량 부재에 HSCC를 적용하기 위하여 Figs. 1 및 2와 같이 모형 시험체를 제작하여 모형 시험을 실시하였으며, A-48은 JSCE 1등급 규정을 고려한 철근 순간격 48 mm로 제작하였으며, B-88은 JSCE 2등급 규정을 고려한 철근 순간격 88 mm로 제작하였다. 사용된 철근은 D-13 이형철근을 사용하였다.

2개의 시험체를 제작한 후 1개의 시험체는 일반콘크리트의 배합설계를 적용하여 슬럼프 170 mm인 콘크리트를 제조하여 검토하였으며, 다른 1개의 시험체는 GBFS 10%와 FA 20%를 혼합한 3성분계 배합을 적용하였다.

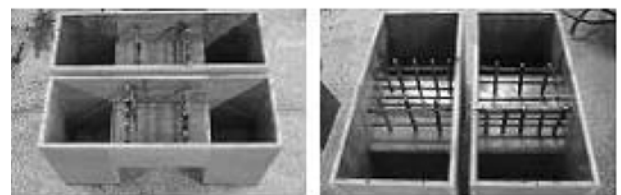


Fig. 1 Photo of the mock-up test model

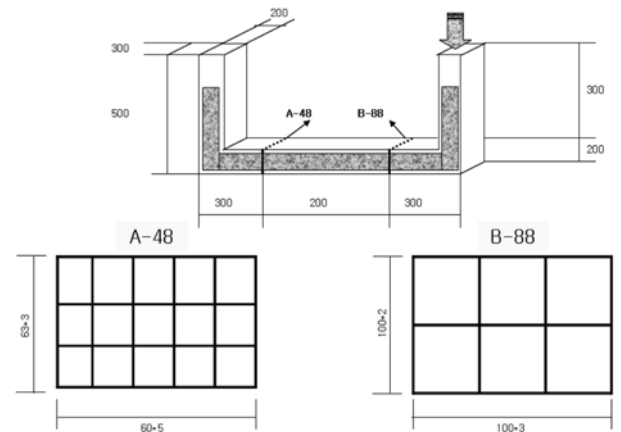


Fig. 2 Scheme of the mock-up test model (mm)

모의시험체에 적용된 배합표는 Table 5와 같으며, 유동 성능은 Table 6과 같다.

**Table 5** Mixture proportions of concrete for mock-up test

PF	S/a (%)	GBFS/(P) (%)	FA/(P) (%)	W/(P) (%)	W/C (%)	Unit mass (kg/m <sup>3</sup> )					SP (OPC×%)	
						W	P			S		G
							OPC	GBFS	FA			
1.14	44	0	0	35	35	170	485	0	0	718	947	0.5
1.12	48	10	20	37	50	175	351	46	70	769	864	0.9

**Table 6** Properties of HSCC for mock-up test

	Slump-flow (mm)	Slump (mm)	Slump-flow T-50 (sec)	V-lot (sec)	U-box (mm)
GC mixture	-	170	-	-	-
HSCC mixture	680	-	7.51	10.34	34

GC : general concrete

일반콘크리트로 모의시험체 제작 시 프리캐스트 교량 타설 현장에서 진동과 다짐봉의 효과와 동일하게 하기 위하여 진동기 및 고무망치로 다짐을 실시하였으며, HSCC의 타설은 무진동 무다짐으로 실시하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 초유동 자기충전 콘크리트의 역학적 특성

##### 3.1.1 응결 특성 평가

과밀 배근된 프리캐스트 교량 부재는 공장제품으로서 신속한 탈형이 필요하며, 현재 증기양생을 통하여 공정을 단축하고 있다. 그러나 HSCC는 일반콘크리트와 비교하여 많은 양의 SP를 사용하기 때문에 콘크리트 관입저항시험을 통한 초기 응결 특성의 검토가 필요하다.

Fig. 3은 OPC에 대하여 GBFS 0, 15, 30 및 45% 혼합에 따른 HSCC의 초결 및 종결을 측정된 것이다. Fig. 3의 결과 GBFS의 혼합률이 증가함에 따라 초결과 종결은 비례적으로 지연되었으며, GBFS의 혼합률이 15% 증가함에 따라 초결은 약 4.4%, 종결은 약 6.1%의 응결 지연현상이 나타났다. 기준과 비교하여 GBFS를 최대 45% 혼합한 경우 초결은 약 13.3%, 종결은 약 18.5%의 응결 지연이 나타났다.

Fig. 4는 OPC에 대하여 FA 0, 10, 20 및 30% 혼합에 따른 HSCC의 초결 및 종결 측정된 것이다. Fig. 4의 결과 FA의 혼합률이 증가함에 따라 초결과 종결은 비례적으로 지연되었으며, FA의 혼합률이 10% 증가함에 따라 초결은 약 5.5%, 종결은 약 6.2%의 응결 지연현상이 나타났다. 기준과 비교하여 FA를 최대 30% 혼합한 경우 초결은 약 16.7%, 종결은 약 18.6%의 응결 지연이 나타났다.

Fig. 5는 OPC에 대하여 GBFS 및 FA를 5수준 (GBFS 0%-FA 0%, GBFS 30%-FA 0%, GBFS 20%-FA 10%, GBFS 10%-FA 20% 및 GBFS 0%-FA 30%) 혼합에 따른 HSCC의 초결 및 종결을 측정된 것이다. Fig. 5의 결과 GBFS 20%-FA 10%를 혼합한 경우 GBFS 30%를 혼합한 경우와 비슷한 종결이 나타났다. 이러한 원인은 GBFS 및 FA가 포졸란반응성 분체로서 장기적으로 반응이 나타나기 때문에 초기 응결을 지연시킨 것으로 판단된다.

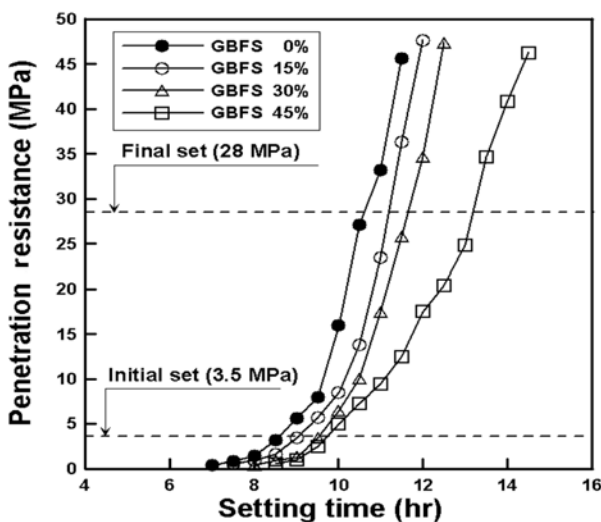


Fig. 3 Setting times of concrete with replacement ratio of GBFS

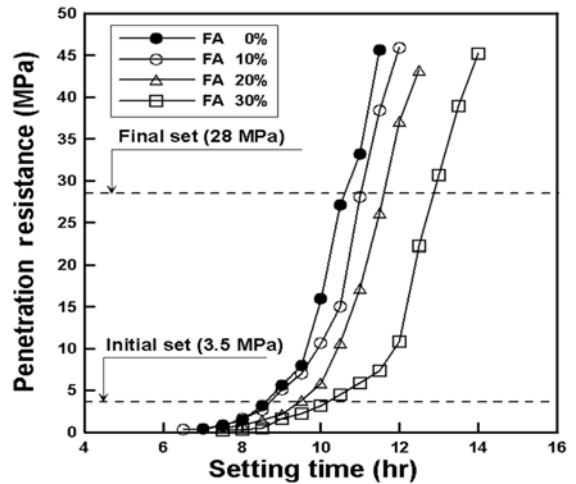


Fig. 4 Setting times of concrete with replacement ratio of FA

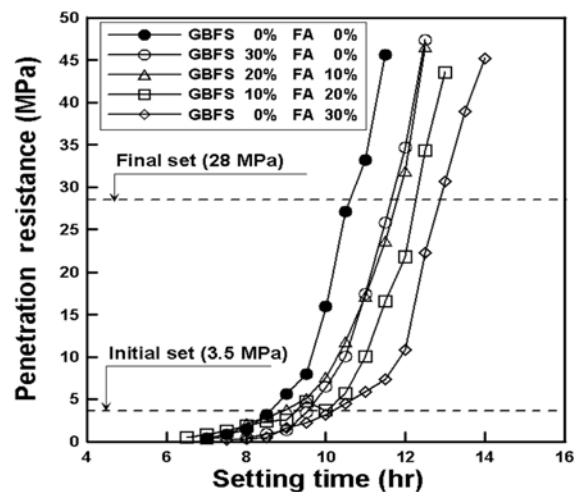


Fig. 5 Setting times of concrete with replacement ratio of GBFS and FA

10%-FA 20% 및 GBFS 0%-FA 30%) 혼합에 따른 HSCC의 초결 및 종결을 측정된 것이다. Fig. 5의 결과 GBFS 20%-FA 10%를 혼합한 경우 GBFS 30%를 혼합한 경우와 비슷한 종결이 나타났다. 이러한 원인은 GBFS 및 FA가 포졸란반응성 분체로서 장기적으로 반응이 나타나기 때문에 초기 응결을 지연시킨 것으로 판단된다.

##### 3.1.2 압축강도 평가

교량부재용 콘크리트의 압축강도는 현재 30~50 MPa 범위 정도의 콘크리트가 가장 일반적으로 사용되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 목표 강도 50 MPa 수준의 기준배합을 설계하였다.

Fig. 6은 OPC에 대하여 GBFS 0, 15, 30 및 45% 혼합에 따른 HSCC의 압축강도를 나타낸 것이다. Fig. 6의 결과 GBFS의 혼합률이 증가함에 따라 비례적으로 감소하였으며, 기준과 비교하여 GBFS의 혼합률이 증가함에 따라 3일에서 7일 사이의 강도발현은 비례적으로 증가하였으나, 7일에서 28일 사이의 강도발현은 GBFS를 15%

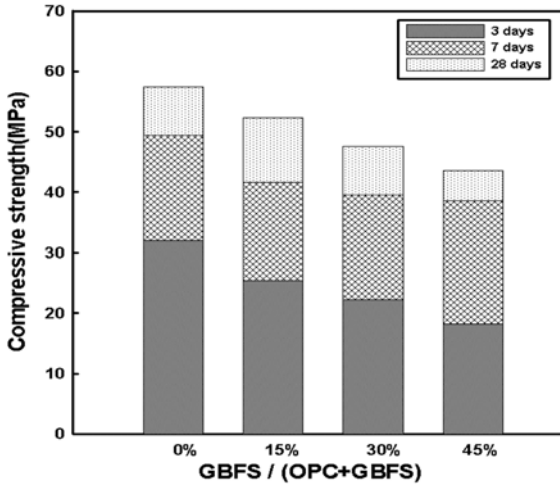


Fig. 6 Compressive strength with replacement ratio of GBFS

혼합한 경우가 가장 큰 강도를 발현하였다. GBFS를 최대 45% 혼합한 경우 28일 압축강도가 기준배합과 비교하여 약 32.2% 작아졌다. 이러한 원인은 GBFS의 혼합으로 재료분리 현상이 발생한 것으로 판단된다.

Fig. 7은 OPC에 대하여 FA 0, 10, 20 및 30% 혼합에 따른 HSCC의 압축강도를 나타낸 것이다. Fig. 7의 결과 FA의 혼합률이 증가함에 따라 압축강도는 비례적으로 감소하였으며, 기준과 비교하여 GBFS를 최대 30% 혼합한 경우 약 19.8%의 압축강도가 감소하였다. 이러한 원인은 포졸란반응을 하는 FA의 강도발현이 활성화되지 않았기 때문으로 판단된다.

Fig. 8은 OPC에 대하여 GBFS 및 FA를 5수준 (GBFS 0%-FA 0%, GBFS 30%-FA 0%, GBFS 20%-FA 10%, GBFS 10%-FA 20% 및 GBFS 0%-FA 30%)으로 변화시켜 제조한 HSCC의 압축강도를 나타낸 것이다. Fig. 8의 결과 2성분계 배합인 GBFS 30% 및 FA 30%의 경우 기준과 비교하여 약 20.8% 및 19.8%의 28일 압축강도가 감소하였으며, 3성분계 GBFS 20%-FA 10% 및 GBFS 10%-FA 20%의 경우 재령 28일에서 기준과 비교하여 약 3.2% 및 11.7%의 압축강도가 감소하였다. 이러한 원인은 GBFS

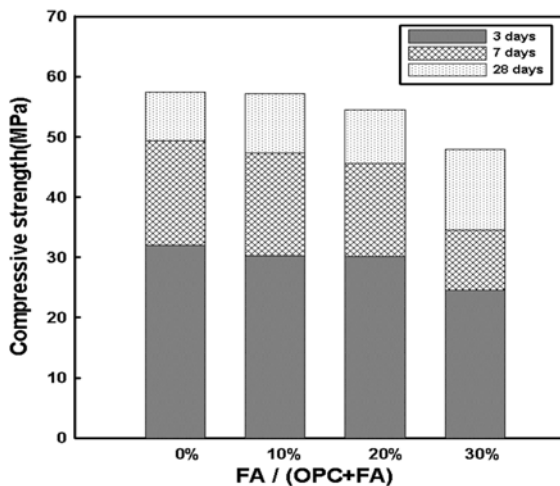


Fig. 7 Compressive strength with replacement ratio of FA

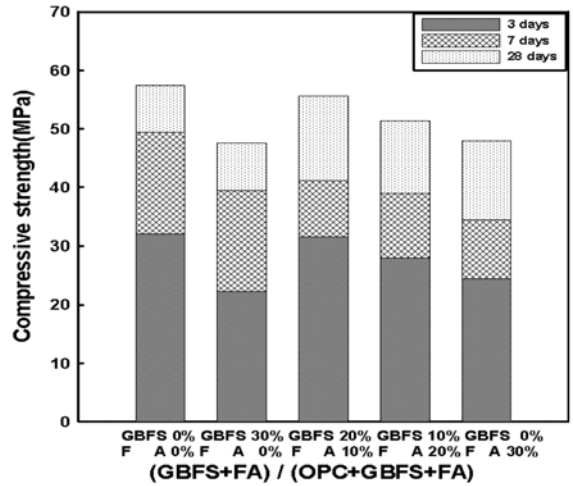


Fig. 8 Compressive strength with replacement ratio of GBFS and FA

와 FA의 상호보완 관계에 의하여 적절한 유동성과 적절한 점성을 확보하였기 때문으로 판단된다.

이러한 압축강도 시험 결과 동일한 혼합률 30%를 혼합한 배합은 GBFS 30%의 경우 47.6 MPa, FA 30%의 경우 48 MPa, GBFS 20%-FA 10%의 경우 55.7 MPa 및 GBFS 10%-FA 20%의 경우 51.4 MPa의 압축강도를 나타내었다. 따라서 2성분계 배합보다 3성분계 배합이 동일한 혼합률에서 높은 압축강도를 나타내었으며, 적절한 유동성과 적절한 점성을 확보하기 위하여 3성분계 배합이 필요할 것으로 판단된다.

### 3.1.3 압축강도와 쪼갠인장강도의 관계

Fig. 9는 OPC에 대하여 GBFS 0, 15, 30 및 45%, Fig. 10은 OPC에 대하여 FA 0, 10, 20 및 30% 및 Fig. 11은 OPC에 대하여 GBFS 및 FA를 5수준 (GBFS 0%-FA 0%, GBFS 30%-FA 0%, GBFS 20%-FA 10%, GBFS 10%-FA 20% 및 GBFS 0%-FA 30%)으로 변화시켜 제조한 HSCC의 압축강도와 쪼갠인장강도의 관계를 나타낸 것이다.

Figs. 9~11의 결과 압축강도가 증가함에 따라 쪼갠인장

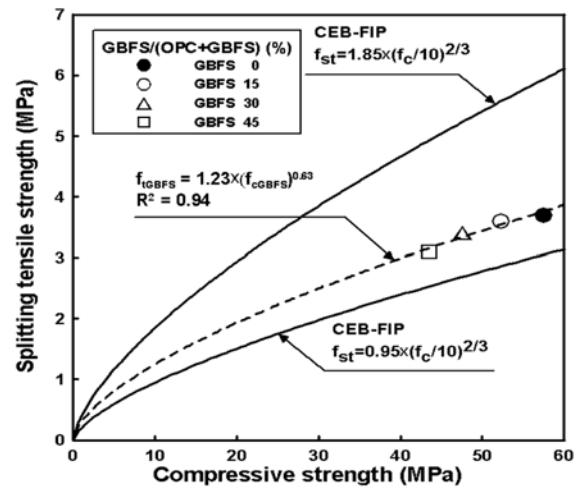


Fig. 9 Relationship between compressive strength and splitting tensile strength (GBFS)

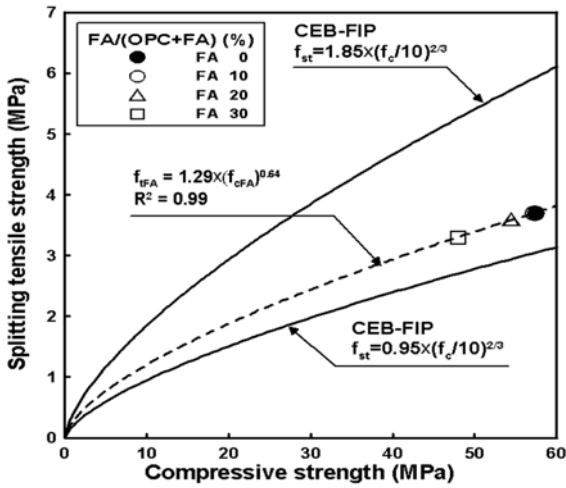


Fig. 10 Relationship between compressive strength and splitting tensile strength (FA)

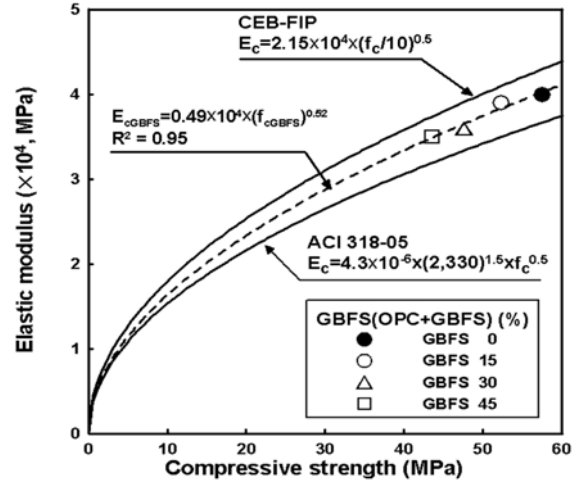


Fig. 12 Relationship between compressive strength and elastic modulus (GBFS)

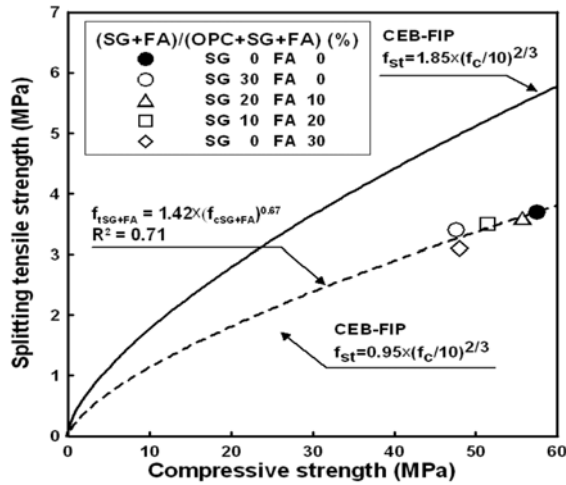


Fig. 11 Relationship between compressive strength and splitting tensile strength (GBFS+FA)

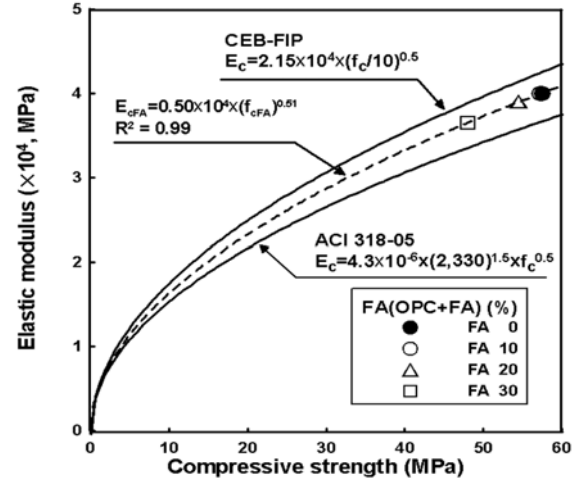


Fig. 13 Relationship between compressive strength and elastic modulus (FA)

강도는 증가하였으며, GBFS 및 FA를 혼합한 2성분계 배합 및 3성분계 배합 모두 CEB-FIP (유럽콘크리트위원회 「콘크리트구조물 설계기준」 코드에서 제시된 식과 유사한 경향을 나타내었으며, 압축강도와 쪼갠장강도( $f_c/f_{st}$ )의 비는 14.0~15.5의 범위로 나타났다.

### 3.1.4 압축강도와 탄성계수의 관계

압축강도와 탄성계수의 관계는 ACI 318-05 및 CEB-FIP 코드에서 제시한 식과 비교하였으며, 각각의 혼화제 혼합물에 따른 압축강도와 탄성계수의 관계를 정리하였다.

Fig. 12는 OPC에 대하여 GBFS 0, 15, 30 및 45% 혼합에 따른 HSCC의 압축강도와 탄성계수의 관계를 나타낸 것이다. Fig. 12의 결과 GBFS의 혼합률이 증가함에 따라 압축강도 및 탄성계수는 비례적으로 감소하였으며, 탄성계수는 GBFS를 최대 45% 혼합한 경우 기준과 비교하여 약 10% 정도 감소하였다.

Fig. 13은 OPC에 대하여 FA 0, 10, 20 및 30% 혼합에 따른 HSCC의 압축강도와 탄성계수의 관계를 나타낸 것

이다. Fig. 13의 결과 FA의 혼합률이 증가함에 따라 압축강도 및 탄성계수는 비례적으로 감소하였으며, 탄성계수는 FA를 최대 30% 혼합한 경우 기준과 비교하여 약 8.75% 정도 감소하였다.

Fig. 14는 OPC에 대하여 GBFS 및 FA를 5수준 (GBFS 0%-FA 0%, GBFS 30%-FA 0%, GBFS 20%-FA 10%, GBFS 10%-FA 20% 및 GBFS 0%-FA 30%)으로 변화시켜 제조한 HSCC의 압축강도와 탄성계수의 관계를 나타낸 것이다. Fig. 14의 결과 GBFS 20%-FA 10%를 혼합한 경우 압축강도와 탄성계수가 기준배합과 거의 동일한 결과를 나타내었다.

이러한 시험 결과 압축강도와 탄성계수의 관계는 상호 비례관계이며, 모든 배합에서 CEB-FIP 코드와 ACI 318-05의 식과 유사한 경향을 나타내었다. 또한, 2성분계 배합보다 3성분계 배합에서 압축강도와 탄성계수는 증가하였으며, 이러한 원인은 GBFS 및 FA가 점성과 유동성 측면에서 상호 보완작용을 하여 콘크리트 내부 조직이 치밀해진 때문으로 판단된다.

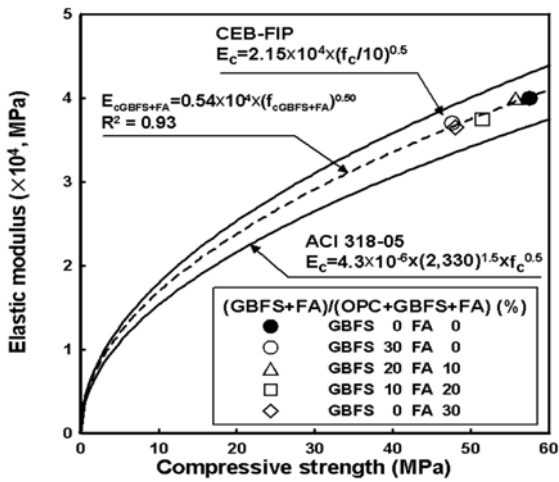


Fig. 14 Relationship between compressive strength and elastic modulus (GBFS+FA)

### 3.2 Mock-up 테스트 결과

Fig. 15는 모의시험체를 제작한 후 완료한 두 시험체를 비교한 사진이다. Fig. 15의 결과 일반콘크리트의 경우 다짐작업을 실시한 후에도 B-88을 통과하지 못한 결과를 나타내었으며, HSCC의 경우 B-88은 완전히 통과하였으나 A-48은 약 50% 통과하였다. HSCC의 경우 A-48을 통과한 후에도 표면이 오토레벨 (auto leveling) 되는 효과를 나타내었다. 이러한 시험 결과 일반콘크리트의 경우 과밀 배근된 프리캐스트 교량 부재에 사용하는 것은 어려울 것으로 판단되며, HSCC의 경우 본 연구에서 만들어진 모형 부재 주입부 하단의 압력은 8.3 kg/cm<sup>2</sup>으로 주입부의 높이를 높여 하단의 압력을 높인다면 완전히 채울 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 16은 mock-up 테스트 후의 시험체 골재 분포도를 나타낸 것이며, 일반콘크리트의 최하단 및 HSCC의 A-

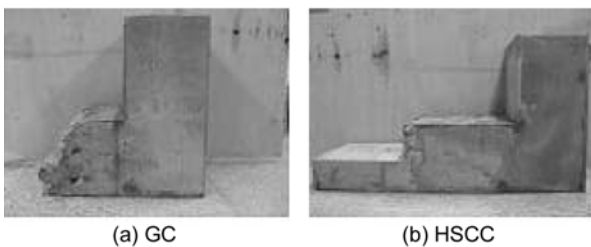


Fig. 15 Compacting shape of mock-up test specimens

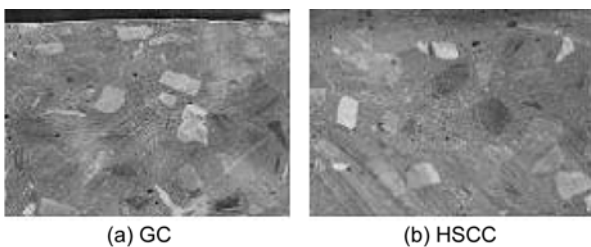


Fig. 16 Aggregate distribution of mock-up test specimens

48 스크린을 통과한 부분의 골재 분포의 단면을 나타낸 것이다. Fig. 16의 결과 일반콘크리트와 HSCC 모두 양호한 골재 분포도를 나타내었으며, HSCC의 경우 A-48 및 B-88의 JSCE 1등급과 2등급 규정을 모두 통과한 후에도 양호한 골재 분포를 나타낸 것은 높은 유동성과 적절한 점성을 모두 확보하였기 때문으로 판단된다. 모의 시험체 타설 후 콘크리트 표면의 마감성을 Table 7 GK 프로젝트 특기사항서 (부산~거제간 연결도로 민자사업)에 의하여 실시하였다<sup>12)</sup>.

표면마감성 검사항목 1번의 결과 일반콘크리트의 경우 타설이 완성된 모형시험체 콘크리트 표면에 기포가 5개가 발생하였으며, HSCC의 경우 3개가 발생하였다. 표면 마감성 검사 항목 2번의 결과 일반콘크리트와 HSCC 모두 기준 범위를 모두 만족하였다. 검사 항목 3번의 결과 일반콘크리트와 HSCC 모두 표면의 색은 일정하게 나타났다.

이상의 검사 결과 일반콘크리트는 직접적인 다짐작업을 실시한 기둥부의 경우 HSCC보다 우수한 표면마감성을 나타내었으며, 수평부의 경우 HSCC의 표면마감성이 일반콘크리트보다 우수하게 나타났다.

Figs. 17 및 18은 재령 7일 후 모의 시험체 각 부위에 대하여 슈미트해머를 30 mm 간격으로 5열 4행의 직사각형을 그려 넣은 후 총 20회를 측정하는 비파괴시험을 실시한 후 스위스연방재료시험소에서 제시한 압축강도 환산표를 이용하여 강도 분포를 정리한 것이다. 그림 Figs. 17 및 18의 결과 일반콘크리트의 표준편차는 1.56이며, HSCC의 표준편차는 1.04로 HSCC의 강도 분포가 더 고르게 분포되어 있었다. Figs. 19 및 20은 재령 28일 후 강도 분포를 정리한 것이다. Figs. 19 및 20의 결과 일반콘크리트의 표준편차는 1.55이며, HSCC의 표준편차는 0.88로 HSCC의 강도분포가 더 고르게 분포되어 있었다.

Table 7 Special specification of GK project

Test item	Test contents
1	The maximum size of the porous that we can check on the surface of the concrete is 10 mm.
2	The porous number of the size 5 mm~10 mm in the 1 m <sup>2</sup> concrete should be less than 50, and it should be less than 10 in the 0.01 m <sup>2</sup> .
3	The color and the appearance on that area should be homogeneous.

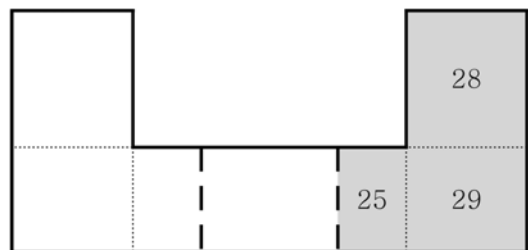


Fig. 17 Compressive strength of normal concrete (7 days) (unit : MPa)



Fig. 18 Compressive strength of HSCC (7 days) (unit : MPa)

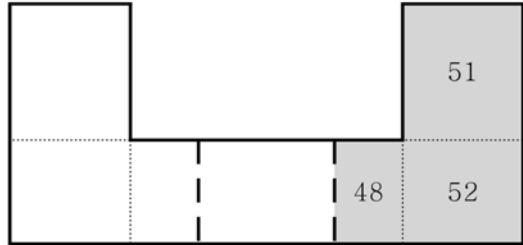


Fig. 19 Compressive strength of normal concrete (28 days) (unit : MPa)

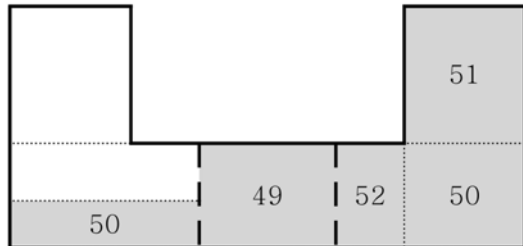


Fig. 20 Compressive strength of HSCC (28 days) (unit : MPa)

이러한 원인은 모형시험체 절곡부에서 유동성이 적은 일반콘크리트의 충전이 미흡한 것으로 판단되며, HSCC의 경우 높은 유동성과 충전성으로 다짐을 하지 않고도 고른 강도 분포를 나타낸 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

- 1) HSCC 응결 시험 결과 2성분계의 경우는 GGBF를 45% 혼합한 경우 기준과 비교하여 초결은 약 13.3%, 종결은 약 18.5%의 지연 현상이 나타났으며, FA를 30% 혼합한 경우는 초결은 약 16.7%, 종결은 약 18.6%의 응결 지연이 나타났다. 또한 3성분계의 경우 GBFS 20%-FA 10%를 혼합한 경우 GBFS 30%를 혼합한 경우와 비슷한 종결 시간을 보였다.
- 2) HSCC의 압축강도는 2성분계 배합보다 3성분계 배합이 동일한 혼화재료의 혼합물에서 높은 압축강도를 나타내었다. 즉, 기준 배합과 비교하여 GGBF를 30% 혼합한 경우 20.1% 및 FA를 30% 혼합한 경우 19.8%의 압축강도 감소가 있었으나, 3성분계의 경우는 기준 배합과 비교하여 GGBF 20%와 FA 10%를 동시에 혼합한 경우 3.2% 및 GGBF 10%와

FA 20%를 동시에 혼합한 경우는 11.7%의 강도가 감소하였다.

- 3) HSCC의 압축강도와 쪼갬인장강도 관계는 GBFS 및 FA를 혼합한 2성분계 배합 및 3성분계 배합 모두 CEB-FIP (유럽콘크리트위원회 「콘크리트구조물 설계기준」)코드에서 제시된 식과 유사한 경향을 나타내었으며, 압축강도와 쪼갬인장강도 ( $f_c/f_{st}$ )의 비는 14.0~15.5의 범위로 비교적 높게 나타났다.
- 4) HSCC의 압축강도와 탄성계수 관계는 상호 비례관계이며, 모든 배합에서 CEB-FIP코드와 ACI 318-05의 식과 유사한 경향을 나타내었다. 또한 2성분계 배합보다 3성분계 배합에서 압축강도와 탄성계수는 증가하였으며, 이러한 원인은 GBFS와 FA의 점성과 유동성 측면에서 상호 보완 작용에 의한 것으로 판단된다.
- 5) 유동 특성 및 역학적 특성 검토 후 결정된 GBFS 10%와 FA 20%를 동시에 혼합한 3성분계 HSCC 배합을 이용하여 과밀 배근된 모형시험체에 타설한 후 일반콘크리트 배합설계를 이용한 모형 시험체와 비교한 결과 3성분계를 혼합한 HSCC가 유동성, 충전성 및 표면마감성이 우수한 것으로 나타났다.

이상의 시험 결과 과밀 배근된 교량 부재에 적용하기 위한 초유동 자기충진 콘크리트는 비교적 높은 유동성과 점성이 요구되는 것으로 판단되며, 유동성과 점성을 향상시키기 위하여 2성분계 배합보다는 3성분계 배합이 적합한 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국건설교통기술평가원 건설핵심기술연구개발사업의 고성능·다기능 콘크리트의 개발 및 활용기술 (05 건설핵심 D11-1)의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Lachemi, M., Hossain, K. M. A., Lambros, V., Nkinamubanzi, P. C., and Bouzoubaa, N., "Self-Consolidating Concrete Incorporating New Viscosity Modifying Admixtures", *Cement and Concrete Research*, Oct. 2003, pp.917~926.
2. Zhu, Wenzhong and Gibbs, John C., "Use of Different Limestone and Chalk Powders in Self-Compacting Concrete", *Cement and Concrete Research*, Jul. 2004, pp.1457~1462.
3. Sahmaran, Mustafa, Yurtseven, Alperen, and Yaman, I. Ozgur, "Workability of Hybrid Fiber Reinforced Self-Compacting Concrete", *Bulding and Environment*, Vol.40, Issue12, 2004, pp.1672~1677.
3. 이회근, 이승훈, 카말 카야트, "자기충진 콘크리트의 워커빌리티 시험 방법 및 성능 기준", *콘크리트학회지*, 18권, 4호, 2006, pp.68~72.
4. 최연왕, 김경환, 하상우, 문대중, 강현진, "2성분계 및 3성분계 초유동 자기충진 콘크리트의 강도 특성", *대한토*



- 목학회, 학술발표대회논문집, 2006, pp.489~492.
5. 金容植, 自己充填 高强度 輕量콘크리트의 實用化를 위한 研究, 한양대학교 토목공학과, 박사논문, 2005, pp.21~22.
  6. Domone, P. L., "Self-Compacting Concrete: An Analysis of 11 Years of Case Studies", *Cement and Concrete Composite*, Vol.28, Issue11, 2006, pp.197~208.
  7. JSCE, 高流動 ヌソクリト施工指針, 일본토목학회, 2000, pp.40~45.
  8. Nan, S. and Miao, B., "A New Method for the Mix Design of Medium Strength Flowing Concrete with Low Cement Content", *Cement and Concrete Composite*, Vol.25, Issue2, 2003, pp.215~222.
  9. Nan S., Hsu K. C., and Chai H. W., "A Simple Mix Design Method for Self-Compacting Concrete", *Cement and Concrete Research*, Vol.31, Issue12, 2001, pp.1799~1807.
  10. Choi, Yun-Wang, Kim, Yong-Jic, Shin, Hwa-Cheol, and Moon, Han-Young, "An Experimental Research on the Fluidity and Mechanical Properties of High-Strength Lightweight Self-Compacting Concrete", *Cement and Concrete Research*, Vol.36, Issue9, 2006, pp.1595~1602.
  11. 최연왕, 정문영, 정지승, 문대중, 안성일, "골재 채움율과 잔골재 용적비를 고려한 자기충전형 콘크리트의 최적배합", 한국콘크리트학회, 가을학술발표회논문집, 14권, 2호, 2002, pp.549~554.
  12. 정기성, 유재강, 박상준, 김영진, 임현칠, "고내구성 해양 콘크리트의 표면 마감성 개선 사례", 콘크리트학회지, 18권 4호, 2006, pp.63~67.

---

**요 약** 초유동 자기충전 콘크리트 (high flowing self-compacting concrete)는 현재 국내의 경우 건축 구조물에 한정적으로 적용되고 있으며, 토목 구조물의 적용은 찾아보기 어려운 실정이다. 그러나 북미 및 유럽의 경우 유동성 및 재료 분리 저항성이 우수한 초유동 자기충전 콘크리트를 프리캐스트 및 프리스트레스트를 도입한 과밀 배근된 교량 부재에 사용하고 있어 초유동 자기충전 콘크리트를 교량 및 토목구조물 등에 광범위 하게 확대 적용하여 그 활용성을 높여야 할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 토목 구조물인 과밀 배근된 교량 구조물에 초유동 자기충전 콘크리트를 적용하기 위한 방법의 일환으로 고로슬래그 및 플라이애쉬를 2성분계 및 3성분계로 배합하였으며, 과밀 배근된 구조물에 적용할 수 있는 일본토목학회의 JSCE 1등급 규정에 따른 초유동 자기충전 콘크리트의 역학적 특성을 평가하였다. 시험 결과 2성분계의 배합보다 3성분계의 배합이 우수한 역학적 성질을 나타내었으며, 과밀 배근된 프리캐스트 교량 부재에 사용 가능할 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 초유동, 자기충전 콘크리트, 교량 부재, 과밀 배근