

고유동 자기충전 콘크리트의 압축 강도수준별 배합특성

Properties of Mixing Proportions with Compressive Strength Level of High Flowing Self-Compacting Concrete

최연왕* · 정재권** · 정우용***

Choi, Yun Wang · Jung, Jea Gwone · Jung, Woo Yong

Abstract

The research performed a test concerning the fluidity and strength of concrete manufactured by combining lime stone power, fly ash, and blast furnace slag into two and three component systems, aiming at evaluating rheological and dynamic properties of concrete by manufacturing High Flowing Self-Compacting according to the strength changes of three levels. As a result of the research, for High Flowing Self-Compacting of 30 MPa, the combination of lime stone power 20% and fly ash 30% for securing quality and strength and adjusting viscosity satisfied the required performance. For High Flowing Self-Compacting of 50 MPa, the combination of blast furnace slag 10% and fly ash 20% satisfied the fluidity and strength of the requirement performance. Also, for 70 MPa that has many power contents, the combination of blast furnace slag 20% and fly ash 10% for the increase of fluidity and the reduction of viscosity satisfied the required performance. It is judged that fly ash in all combinations can be used to secure viscosity and reduce concrete amount. In addition, it is judged that for High Flowing Self-Compacting according to the levels of compressive strength the combination of three component system including fly ash is more appropriate than the combination of two component system.

Keywords : *high flowing self-compacting concrete, flowability, strength*

요 지

본 연구에서는 3수준의 강도 변화에 따른 고유동 자기충전 콘크리트를 제조하여 콘크리트의 유변학적 특성 및 역학적 특성 평가하기 위하여 석회석 미분말, 플라이애시 및 고로슬래그를 2성분계 및 3성분계 배합으로 제조된 콘크리트의 유동 및 강도 실험을 실시하였다. 실험 결과 30 MPa급의 고유동 자기충전 콘크리트는 품질확보, 강도 및 점성 조절용으로 석회석 미분말 20% 및 플라이애시 30% 배합이 요구성능을 만족하였으며, 50 MPa급의 고유동 자기충전 콘크리트는 고로슬래그 미분말 10% 및 플라이애시 20%를 사용한 배합이 소요의 유동 및 강도 특성을 만족하였다. 또한 분체량이 많은 70 MPa급의 경우 유동성 향상 및 점성 감소용으로 고로슬래그 20% 및 플라이애시 10% 배합이 요구성능을 만족하였으며, 모든 배합에서 플라이애시의 사용이 점성확보 및 시멘트 절감효과를 위하여 사용 될 수 있을 것으로 판단된다. 이상의 실험 결과를 통하여 압축 강도수준별 고유동 자기충전 콘크리트는 2성분계 배합의 경우 보다 플라이애시를 포함한 3성분계 배합이 적합한 것으로 판단된다.

핵심용어 : 고유동 자기충전 콘크리트, 유동성, 강도

1. 서 론

급속한 산업 발전과 함께 주변에서 흔히 볼 수 있는 일반 콘크리트부터 특정 목적을 위해 만들어지는 특수 콘크리트까지 그 종류는 다양해지고 있다. 또한 현장에서 콘크리트는 점차적으로 거대화되고 복잡한 형상을 지니고 있으며, 내진 설계의 강화에 따라 조밀한 철근배근의 구조물이 증가하고 있는 실정이다. 이러한 현실에도 불구하고 실제 건설구조물 현장에서는 콘크리트의 다짐작업시 작업이 어려운 구조물 중

대, 건설현장의 노무자의 고령화에 따른 기능공 및 숙련공 부족 등으로 타설시 콘크리트가 완전히 충전되지 못하여 부재 표면에 다량의 큰 기포 및 내부의 미충전 공동부위가 발생 등의 문제점이 발생한다. 이러한 문제점이 해결되지 못한 구조물들은 표면 불량 및 공동부위로 인한 취약한 구조로 균열발생의 원인이 됨에 따라 2차적인 표면 마감 작업이 필요하게 되어 생산효율이 떨어지고, 역학적 품질 및 내구적 품질에 대한 신뢰성이 현저히 떨어질 수 있다.

국내에서는 건설현장에서 콘크리트의 유동성 및 경화 후

*정회원 · 교신저자 · 세명대학교 토목공학과 교수 (E-mail : crete77@semyung.ac.kr)

**정회원 · 세명대학교 토목공학과 박사과정 (E-mail : jig4329@nate.com)

***한국건설재시험연구원 건설기반기술센터 구조재료팀 연구원 (E-mail : zip011@nate.com)

균질한 제강도 발휘가 가능한 고유동 자기충전 콘크리트 (High Flowing Self-Compacting 이하: HSCC약함)에 대한 관심이 높아지고 있다. HSCC는 고성능 콘크리트의 한 형태로 충분한 타설 및 다짐이 가능함에 따라 작업자의 숙련도와 시공방법에 좌우되지 않는 고품질 및 고내구성의 콘크리트 구조물을 구축할 수 있다.

국외의 경우 일본을 중심으로 1990년대부터 HSCC를 적용한 구조물의 적용범위가 다양하며 콘크리트 압축강도 또한 21~95 MPa으로 폭넓게 분포하고 있다(P.L. Domone; 2006). 하지만 국내의 경우 적용사례는 아직까지 미비한 실정이며, 일부 구조물에 한정되어 사용되고 있다. 따라서 3D 기괴현상 및 복잡한 구조물 증가의 현 추세에 맞게 HSCC의 범위를 확대 적용하여 그 활용성을 높여야 할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 활용 범위를 넓히기 위한 일환으로 국내 실정에 맞게 수정 보완한 간편배합 설계시스템(Yun Wang Choi *et al.*, 2006)을 사용하였으며, 3수준의 강도 변화(30, 50 및 70 MPa)에 따른 HSCC를 제조하여 유변학적 특성 및 역학적 특성을 분석 고찰하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트 및 혼화제

HSCC를 제조하기 위하여 시멘트는 밀도 3.15 g/cm³ 및 분말도 3,540 cm²/g의 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC로 약함)를 사용하였으며, 고로슬래그 미분말(이하 SG로 약함), 플라이애시(이하 FA로 약함) 및 석회석 미분말(이하 LSP로 약함)을 사용하였다. 이들의 화학 및 물리적 성질은 Table 1과 같다.

2.1.2 골재

잔골재는 낙동강산 강모래(이하, S로 약함)를 사용하였고, 굵은 골재는 최대치수 20 mm인 석회암질 부순골재(이하, G로 약함)를 사용하였으며, 잔골재 및 굵은 골재의 물리적 성질은 Table 2와 같다.

Table 2. Physical properties of aggregates

Items Types	Gmax (mm)	Density (g/cm ³)	Absorption (%)	F.M.	Unit Mass (kg/m ³)
		50, 70 (30) MPa			
G	20	2.67 (2.70)	1.01	6.97	1,626
S	-	2.57 (2.56)	2.07	2.54	1,659

Table 1. Chemical component and physical properties of OPC and Admixtures

Items Types	CaO (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	SO ₃ (%)	L.O.I (%)	Surface area (cm ² /g)	Density (g/cm ³)
OPC	61.40	21.60	6.00	3.40	3.10	2.50	0.03	3,540	3.15
SG	42.12	33.33	15.34	5.70	0.44	2.08	3.00	4,159	2.90
FA	6.51	58.20	26.28	1.10	7.43	0.30	3.20	3,550	2.18
LSP	43.80	11.60	4.13	1.42	1.14	0.30	35.66	4,170	2.69

2.1.3 혼화제

HSCC의 유동성 확보를 위하여 국내 H사의 폴리카르본산계 고성능 감수제를 사용하였으며, SP제의 사용량은 단위 분체량에 대하여 0.5~2.3% 범위내에서 소요의 HSCC 유동 성능에 만족하는 적정량을 사용하였다.

2.2 콘크리트 배합설계

본 연구에서는 분체계 HSCC를 제조하기 위하여 골재체용률(이하 PF로 약함) 범위가 1.10~1.30으로 넓은 문제점을 가지고 있는 Nan-Su의 골재 체용율을 수정 보완한 간편 배합 설계 시스템 PF 결정 방법을 사용하였다(N. Su, K. C. Hsb and H.W. Chai 2001). 이러한 간편배합 설계시스템은 국내 실정에 맞게 수정 및 보완 현재 많은 실험 및 보고가 되고 있다(Yun Wang Choi *et al.*, 2006).

물-시멘트 비 및 잔골재율 결정 후 식 (1)에 의하여 최종적으로 PF를 결정하였다.

$$PF = \frac{B}{A} \times \left(1 - \frac{S}{a}\right) + \left(\frac{D}{C} \times \frac{S}{a}\right) \quad (1)$$

여기서,

PF : 골재체용률

A : 느슨한 상태의 굵은 골재 단위용적질량(kg/m³)

B : 밀실한 상태의 굵은 골재 단위용적질량(kg/m³)

C : 느슨한 상태의 잔골재 단위용적질량(kg/m³)

D : 밀실한 상태의 잔골재 단위용적질량(kg/m³)

설계변수인 PF 결정 후 식 (2) 및 (3)을 이용하여 사용 골재의 양을 계산하였다.

$$W_s = PF \times S / a \times W_{sl} \quad (2)$$

$$W_g = PF \times (1 - S/a) \times W_{gl} \quad (3)$$

여기서,

W_s : 사용되는 잔골재의 양(kg/m³)

W_g : 사용되는 굵은 골재의 양(kg/m³)

W_{sl} : 느슨한 상태의 잔골재 단위용적질량(kg/m³)

W_{gl} : 느슨한 상태의 굵은 골재 단위용적질량(kg/m³)

본 연구에서는 제시된 배합설계 순서에 의해 기존에 연구된(최연왕 등, 2006) 50 Mpa을 통하여 분체계 HSCC의 성능평가를 만족하는 30 및 70 MPa의 최적배합을 결정하기 위하여 Table 3은 2 및 3성분계를 이용한 강도수준별 HSCC 배합표이다.

Table 3의 결과 Group III 목표강도 70 MPa배합의 경우 목표강도 50 MPa 배합인 Mix No. 8배합에서 PF=1.07 및 S/a=43%로 조절하여 상대적인 골재부피를 낮추었으며, W/

Table 3. Mixture proportions of concrete with SG, FA and LSP

Mix No.	Types		PF	S/a (%)	Unit Mass (kg/m ³)						SP (P×%)	
					W	P				S		G
						OPC	LSP	FA	SG			
1	Group I (30 MPa)	OPC	1.12	48	175	501	-	-	-	769	864	0.5
2		LSP 10		48	175	451	43	-	-	769	864	
3		LSP 20		48	175	401	86	-	-	769	864	
4		LSP 30		48	175	351	128	-	-	769	864	
5		LSP 20-FA10		48	175	361	86	28	-	769	864	
6		LSP 20-FA15		48	175	321	86	56	-	769	864	
7		LSP 20-FA20		48	175	281	86	84	-	769	864	
8	Group II (50 MPa)	OPC	1.12	48	175	501	-	-	-	769	864	1.4
9		SG 0-FA 30		48	175	351	-	105	-	769	864	
10		SG 10-FA 20		48	175	351	-	70	46	769	864	
11		SG 20-FA 10		48	175	351	-	35	92	769	864	
12		SG 30-FA 0		48	175	351	-	-	138	769	864	
13	Group III (70 Mpa)	OPC	1.07	43	148	673	-	-	-	670	889	2.3
14		SG 0-FA 30		43	148	471	-	140	-	670	889	
15		SG 10-FA 20		43	148	471	-	94	62	670	889	
16		SG 20-FA 10		43	148	471	-	47	124	670	889	
17		SG 30-FA 0		43	148	471	-	-	186	670	889	

Table 4. Specification of HSCC proposed by JSCE

Items	Rank	1	2	3	
		Construction condition	Minimum gap between reinforcement (mm)	35-60	60-200
		Amount of reinforcement (kg/m ³)	≥ 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	

C=22%로 조절하여 단위분체량의 상승으로 소요의 유동성능과 강도를 만족하는 배합을 실시할 수 있었다. 혼화제의 혼합량은 50 MPa 배합설계와 동일하게 하여 SG 및 FA의 혼화제를 OPC에 대하여 30%의 부피비 5수준(SG 0%와 FA 0%, SG 0%와 FA 30%, SG 10%와 FA 20%, SG 20%와 FA 10% 및 SG 30%와 FA 0%)으로 2성분계 및 3성분계 HSCC의 유연학적 및 역학적 특성을 검토하였다.

또한, 일반 콘크리트 구조물에 많이 사용되는 30 MPa 배합의 경우 소요의 유동성 및 충전성을 만족하기 위하여 일반적으로 단위분체량 450 kg/m³ 이상을 만족하여야 하며, 단위수량의 상승은 건조수축 및 크리프등의 문제점이 발생함에 따라 무반응성인 분체로 강도발현에 거의 영향을 미치지 않는 LSP를 사용하여 배합을 실시하였다(정재권, 2007). 이때 사용된 OPC에 대한 LSP의 사용은 부피비 4수준(0, 10, 20 및 30%)으로 변화시킨 2성분계 HSCC 배합 및 OPC에 대하여 LPS를 20%로 고정시킨 후 FA를 3수준(10, 15 및 20%) 혼합한 3성분계 HSCC 배합으로 결정하였다. HSCC의 성능평가기준은 Table 4와 같은 일본토목학회의 “자기충전형 콘크리트의 시험방법” 2등급 성능기준을 선정하

여 HSCC의 유연학적 및 역학적 특성을 검토하였다.

2.3 콘크리트 시험

2.3.1 유동성 시험

HSCC의 유동성 평가 시험방법은 Slump-cone에 시료를 채운 후 다짐을 하지 않은 상태에서 편심이 작용하지 않게 수직으로 들어올려 시료의 자중만으로 흘러 퍼졌을 때 넓게 퍼진 값의 직교하는 2개의 부분을 선택하여 측정 후 그 평균값을 Slump flow(mm) 값으로 측정하였다.

2.3.2 재료분리 저항성 시험

HSCC의 재료분리 저항성 시험은 Slump flow가 500 mm까지 도달하는 시간(sec)을 측정하였으며, V-funnel 유하 시간 시험장치를 사용하여 시료를 시험장치에 채운 후 하부의 입구를 개방하였다. 이때 HSCC가 완전히 흘러내렸을 때 까지의 유하시간(sec)을 측정하였다.

2.3.3 충전성 시험

HSCC가 다짐 작업을 실시하지 않은 상태에서 자중만으로

철근사이 등의 협소한 부분을 재료분리가 발생하지 않고 장애물을 통과하는 충전시험으로 U형 Box 충전성 장치의 중앙부에 격리판을 설치하였다. 또한 실험 결과는 한쪽에 콘크리트를 채운 후 격리판을 제거하여 콘크리트가 철근 사이(50 mm)를 통과하여 상승된 높이와 단차(mm)를 측정하였다.

2.3.4 압축강도 시험

HSCC의 압축강도 시험방법은 KS F 2405에 준하여 실시하였으며, 시험용 공시체는 Ø100×200 mm 원주형 몰드에 다짐을 하지 않고 성형하여 24시간 후 몰드를 탈형 하였으며, 소정의 재령까지 23±2°C의 수조에 침지하여 양생을 실시하였다.

2.3.5 쪼갬인장강도 시험

HSCC의 쪼갬인장강도 시험은 압축강도용 공시체와 동일한 방법으로 제조한 콘크리트 공시체를 이용하여 KS F 2423에 준하여 실시하였다.

2.3.6 탄성계수 시험

HSCC의 탄성계수 시험은 압축강도용 공시체와 동일한 방법으로 제조한 콘크리트 공시체를 이용하여 KS F 2438에 준하여 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 유동성

Fig. 1은 강도수준별(30, 50 및 70 MPa) HSCC의 굳지 않은 상태에서 성능평가인 유동성을 검토하기 위해 Slump flow를 측정하여 정리한 것이다.

Group I은 압축강도 30 MPa 범위의 HSCC를 제조하기 위하여 OPC만을 사용한 배합(Mix No. 1)을 기준으로 LSP의 혼합률을 10, 20 및 30%로 혼합한 배합(Mix No. 2, 3 및 4) 및 LSP를 20%로 고정 후 FA의 혼합률을 10, 15 및 20%로 혼합한 배합(Mix No. 5, 6 및 7)의 Slump flow값을 정리한 것이다. Group I의 결과 Mix No. 2, 3 및 4의 경우 혼합률이 증가 할수록 Slump flow가 비례적으로

로 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 원인은 LSP의 특성상 고성능 감수제의 민감도가 OPC, FA 및 SG보다 크므로 혼합률이 커질수록 유동성이 향상된 것으로 판단된다(Yun Wang *et al.*, 2006). 또한, Mix No. 5, 6 및 7의 3성분계 배합의 경우 LSP 30%를 혼합한 2성분계보다 Slump flow값은 다소 감소하였으나, FA 혼합률 20% 범위 내에서는 Slump flow값의 변화없이 일정한 Slump flow값을 나타내었다. 이러한 결과를 통하여 LSP 혼합은 유동성을 향상시키지만 FA는 유동성 변화에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 판단되었다.

Group II는 압축강도 50 MPa 범위의 HSCC를 제조하기 위하여 OPC만을 사용한 배합(Mix No. 8)을 기준으로 OPC에 대하여 30%의 부피비로 SG 0%와 FA 30%, SG 10%와 FA 20%, SG 20%와 FA 10% 및 SG 30%와 FA 0%로 혼합한 배합(Mix No. 9, 10, 11 및 12)의 Slump flow값을 정리한 것이다. Group II의 결과 HSCC Slump-flow값은 SG의 혼합률이 증가하고 FA의 혼합률이 감소함에 따라 다소 증가되는 것으로 나타났다. 70 MPa 급의 고강도 HSCC의 경우 국내·외에서는 유동성에 대한 명확한 기준이 미흡한 실정 이므로 본 연구에서는 30 및 50 MPa의 HSCC와 상대비교를 위하여 JSCE 2등급 규정을 적용하여 유동성은 600 mm 이상을 기준으로 성능평가를 실시하였다.

Group III은 압축강도 70 MPa 범위의 HSCC를 제조하기 위하여 OPC만을 사용한 배합(Mix No. 13)을 기준으로 OPC에 대하여 동일한 30%의 부피비로 SG 0%와 FA 30%, SG 10%와 FA 20%, SG 20%와 FA 10% 및 SG 30%와 FA 0%로 혼합한 배합(Mix No. 14, 15, 16 및 17)의 Slump flow값을 정리한 것이다. Group III의 결과 단위분체량의 증가로 760 mm에서 최대 820 mm까지 높은 유동거리를 나타내었으며, 기준 OPC배합보다 최대 20%로 증가하여 높은 유동성을 나타내었다. 이러한 원인은 강도를 향상시키기 위하여 단위수량은 크게 감소함에 따라 단위분체량이 증가함에 따라 SP제량이 크게 증가되며, 또한 단위 페이스 트량이 크게 증가됨에 따라 유동성이 크게 상승된 것으로 판단된다.

3.2 재료분리 저항성

Fig. 2는 강도수준별(30, 50 및 70 MPa) HSCC의 굳지 않은 상태에서 성능평가인 재료분리 저항성을 검토하기 위하여 JSCE 2등급 규정으로 Slump flow 500 mm 도달시간 및 V-funnel 유하시간을 측정하여 정리한 것이다.

Group I의 결과 LSP의 혼합률이 증가하는 Mix No. 2, 3 및 4의 경우 Slump flow 500 mm 도달시간 및 V-funnel 유하시간은 비례적으로 감소하였으며, LSP 및 FA를 동시에 혼합한 3성분계 배합인 Mix No. 5, 6 및 7에서는 일정한 성상을 나타내었다. 이러한 원인은 2성분계 배합의 경우 LSP 혼합률이 증가할수록 유동성 증가 및 점성 감소로 판단되며 LSP 및 FA를 동시에 혼합한 3성분계의 경우 FA의 혼합률 20% 범위 내에서는 Slump flow 500 mm 도달시간 및 V-funnel 유하시간이 변화 없이 실험오차내의 비슷한 양상이 나타났으며 이러한 결과 FA의 혼합률에 따른 HSCC의 큰 변화가 없을 것으로 판단된다.

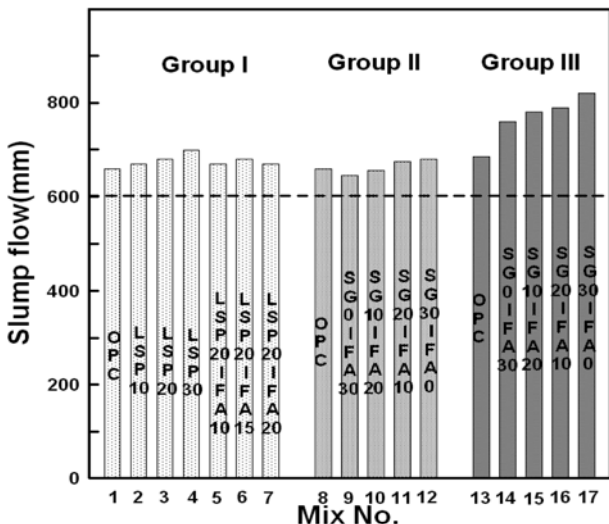


Fig. 1 Slump flow of HSCC

의 경우 압축강도는 FA의 혼합률이 증가됨에 따라 감소되었지만, 압축강도 감소는 크지 않았다. 이러한 원인은 FA 혼합으로 인한 포졸란 반응 때문으로 판단되며, Mix No. 5 및 6 배합이 설계기준강도 30 MPa를 확보한 것으로 나타내었다.

압축강도 50 MPa 범위인 Group II를 나타낸 그림의 결과 2성분계 배합인 SG 30% 및 FA 30%의 경우 기준배합 (Mix No. 8)과 비교하여 약 10% 압축강도가 감소하였으며, 3성분계 배합인 SG 10%와 FA 20% 및 SG 20%와 FA 10%의 경우 기준배합(Mix No. 8)보다 압축강도는 감소하였지만 목표 압축강도 50 MPa를 확보한 것으로 나타내었다.

압축강도 70 MPa 범위인 Group III를 나타낸 그림의 결과 SG 20% 및 FA 10%를 동시에 혼합한 3성분계와 SG를 30% 혼합한 2성분계 배합의 경우 압축강도 70 MPa를 확보 하였으나, FA 30% 혼합한 2성분계 배합과 SG 10% 및 FA 20%를 동시에 혼합한 3성분계의 경우 목표강도 70 MPa를 확보하지 못하였다. 이러한 원인은 잠재수경성을 지닌 혼화재료인 SG에 의하여 목표강도를 만족한 것으로 판단된다. 다음과 같은 결과를 통하여 압축강도 70 MPa범위의 고강도 HSCC를 제조하기 위하여 혼합률 30% 범위 내에서 혼화재를 선택할 경우 소요의 압축강도를 만족하기 위하여 SG를 선택하는 것이 적합하며, FA를 사용할 경우 10% 범위 내에서 사용하는 것이 강도 확보 면에서 필요하다고 판단된다.

3.5 압축강도와 쪼갬인장강도의 관계

강도 수준별 HSCC의 유변학적 특성 및 재령 28일 압축강도 측정결과 목표 강도 30 MPa는 Mix No. 5 및 6, 목표 강도 50 MPa는 Mix No. 8, 10 및 11, 목표강도 70 MPa는 Mix No. 13, 16 및 17 배합이 적합한 것으로 판단되어 총 선정된 8개 배합으로 측정된 압축강도, 쪼갬인장강도를 분석하였다.

Fig. 5는 유변학적 특성 및 목표 압축강도를 만족하는 8개 배합에 대한 압축강도와 쪼갬인장강도의 관계를 정리한 것이다. Fig. 5의 결과 HSCC의 압축강도와 인장강도의 관계는 기존 일반콘크리트에서 제시되고 있는 CEB-FIP 모델 코

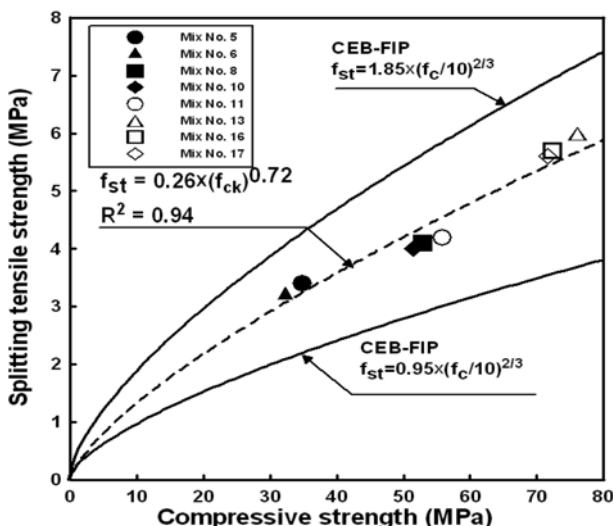


Fig. 5 Relationship between compressive strength and splitting tensile strength

드의 상한선 및 하한선 범위 내에 있어 기존의 일반콘크리트와 유사한 결과를 나타내었다.

3.6 압축강도와 정탄성계수의 관계

콘크리트의 설계 계산에 사용하는 탄성 계수 값은 콘크리트의 강도와 밀도에 유사한 관계가 있는 것으로 가정하고 실험식으로 평가한다. 이러한 가정은 콘크리트의 세 가지 요소인 골재, 시멘트 페이스 및 천이대의 응력-변형 거동이 실제 이들로 결정되기 때문이다. 또한 골재의 탄성 계수는 골재의 공극률에 직접 관계하고 있기 때문에 콘크리트의 단위 용적 중량 측정은 콘크리트 속의 골재 공극률을 평가하는 가장 간단한 방법 중 하나이다.

ACI 318 코드 및 국내 콘크리트구조 설계기준에서 콘크리트 압축강도가 30 MPa를 초과한 2,300 kg/cm³의 단위 용적 중량의 콘크리트인 경우의 식과 CEB-FIP 모델 코드 식의 경우 콘크리트 압축강도가 80 MPa까지의 강도에 대해서 유효하다고 명시되어 있다(CEB-FIP 2000).

따라서 본 연구의 탄성계수와 압축강도와의 관계는 ACI 318 코드 및 국내 콘크리트구조 설계기준(2007)에서 제시한 식과 CEB-FIP코드에서 제시한 콘크리트 압축강도 80 MPa에 관한 식으로 비교 검토하였다.

Fig. 6은 강도 수준별 HSCC의 배합 중 유변학적 특성 및 목표 압축강도를 만족하는 8개 배합에 대한 압축강도와 탄성계수와의 관계를 정리한 것이다. Fig. 6의 결과 30 및 50 MPa의 경우 ACI 318에서 제시한 식보다는 CEB-FIP코드에서 제시하는 식과 유사한 경향을 나타내고 있으며, 70 MPa의 경우 탄성계수가 증가되는 경향을 나타내었다.

4. 결 론

1. LSP를 HSCC에 혼합한 Group I 배합의 유동성은 LSP의 혼합률이 높아질수록 Slump flow가 비례적으로 증가하였고 Slump flow 500 mm 도달시간 및 V-funnel은 지연되었으며, U-box 충전높이는 모두 만족하였다.
2. FA를 HSCC에 혼합한 모든 배합의 유동성은 FA의 혼합률이 높아질수록 Slump flow가 다소 감소하였고 Slump flow 500 mm 도달시간 및 V-funnel 유하시간은 지연되었으며, U-box 충전높이는 모두 만족하였다.
3. SG를 HSCC에 혼합한 Group II 및 III 배합의 유동성은 SG의 혼합률이 높아질수록 Slump flow가 다소 증가하였고 Slump flow 500 mm 도달시간 및 V-funnel은 감소하였으며, U-box 충전높이는 모두 만족하였다.
4. 유변학적 특성 및 역학적 특성을 고려한 고유동 자기충전 콘크리트의 최적배합은 Group I의 압축강도 30 MPa배합의 경우 LSP 20% 및 FA 15%, Group II의 압축강도 50 MPa배합의 경우 SG 10% 및 FA 20%, Group III의 압축강도 70 MPa배합의 경우 SG 20% 및 FA 10%의 배합이 적합한 것으로 나타났다.

이상의 결과를 통하여 LSP, SG는 유동성을 증가를 시키며, FA는 점성증가를 시키는 특성을 가지고 있어 기존의 시멘트와 혼합할 경우 2성분계 보다는 상호 작용을 할 수 있는 3성분계 배합이 타당하다고 판단됩니다. 또한 보통강

도 30 MPa 범위에서 사용되는 LSP는 혼합물에 따라 강도가 변화되기 때문에 강도조절용으로도 사용해야 할 것으로 판단됩니다.

감사의 글

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

참고문헌

대우건설기술연구소(1994) 고성능 콘크리트, 기술자료 DICT-HPC 94-01.

이희근, 이승훈, 카말 카야트(2006) 자기충전 콘크리트의 워커빌리티 시험 방법 및 성능 기준, 한국콘크리트학회지, 한국콘크리트학회, 제18권 제4호, pp. 68-72.

정재권(2007) 터널 라이닝용 고유동 자기충전 콘크리트의 품질 특성 연구, 석사학위논문, 세명대학교 대학원.

최연왕, 정문영, 정지승, 문대중, 안성일(2002) 골재 채움율과 잔 골재 용적비를 고려한 자기충전형 콘크리트의 최적배합, 한국콘크리트학회 가을학술발표회논문집, 한국콘크리트학회, 제14권, 2호, pp. 549-554.

최연왕, 문대중, 강현진, 정우용(2006) 자기충전 콘크리트의 유동 성능에 영향을 미치는 혼화제의 유연학적 특성, 대한토목학회 정기학술대회, 대한토목학회, pp. 2523-2528.

한국콘크리트학회(2007) 콘크리트구조설계기준.

일본토목학회(JSCE)(2005) 高流動 ヌソクリト施工指针.

CEB-FIP 2000, Structural Concrete; Textbook on Behavior, Design and Performance Vol. 1 Sprint Druck stuttgart 1999.

David, A., Aaron, Williams, Saak, W., and Hamlin, M. Jennings (1999) The influence of mixing on the rheology of fresh cement paste, *Cement and Concrete Research*, Vol. 29, pp. 1491-1496.

Hajime Okamura and Masahiro Ouchi (2003) Self-compacting concrete, japan concrete institute journal of advanced concrete technology, Vol. 1, No. 1, pp. 5-15.

Domone, P.L. (2006) Self-compacting concrete: An analysis of 11 years of case studies, *Cement and Concrete Composite*, Vol. 28, Issue 11, pp. 197-208.

Lachemi, M., Hossain, K.M.A., Lambros, V., Nkinamubanzi, P.C. and Bouzoubaa, N. (2003) Self-consolidating concrete incorporating new viscosity modifying admixtures, *Cement and Concrete Research*, Vol. 10, pp. 917-926.

Nan, S., Hsu, K.C., and Chai H.W. (2001) A simple mix design method for self-compacting concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 31, Issue 12, pp. 1799-1807.

Nan, S. and Miao B. (2003) A new method for the mix design of medium strength flowing concrete with low cement content, *Cement and Concrete Composite*, Vol. 25, Issue 2, pp. 215-222.

Yun, W.C., Kim, Y.J., Shin, H.C., and Han, Y.M. (2006) An experimental research on the fluidity and mechanical properties of high-strength lightweight self-compacting concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 36, Issue 9, pp. 1595-1602.

Wenzhong, Zhu, John C. Gibbs (2004) Use of different limestone and chalk powders in self-compacting concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 7, pp. 1457-1462.

吳相均 (1999) 高流動 コンクリートのレオロジ — 評價および流動設計, 東京大學.

松岡康訓 (1993) 超流動コンクリート, コンクリート工學年次論文報告集, Vol. 31, No. 3, pp. 79-82.

(접수일: 2008.10.21/심사일: 2008.11.22/심사완료일: 2009.1.7)