

2성분계 및 3성분계 초유동 자기충전 콘크리트의 강도 특성

Strength Properties of Binary and Ternary Blended of Ultra Flowing Self-Compacting Concrete

최연왕* 김경환** 하상우*** 문대중**** 강현진*****
Choi, Yun Wang Kim, Kyung Hwan Ha, Sang Woo Moon, Dae Joung Kang, Hyun Jin

ABSTRACT

Needs for the new technologies and cutting-edge Ultra Flowing Self-Compacting Concrete are emerging as the concrete structures are becoming bigger and more specialized recently. In North America and Europe, SCC, which has high resistance against flowability and segregation, is being used as concrete material in applications such as precast and prestressed bridges, where reinforcing bars are overcrowdedly placed. In Korea, SCC has been utilized limitedly in building structures but its utilization should be expanded to engineering structures such as bridges. In this study, for the application in precast and prestressed bridges with overlying crowded reinforcing bars, USCC was mixed with admixtures to give a binary system and a ternary system according to the 1st grade rules by JSCE (Japan Society of Civil Engineers). Compressive strength and splitting tensile strength of the resulting USCCs were tested. Elastic modulus were compared with the values suggested in CEB-FIP code and ACI 318-05.

1. 서론

최근 국내의 경우 콘크리트 구조물이 점점 대형화·특수화되면서 고유동, 고강도 및 고내구성 콘크리트의 필요성이 요구되고 있다. 이러한 기대에 부응하기 위하여 신기술 및 신공법이 빠르게 현장에 적용되고 있으며, 이 중 시공의 효율성을 증진시킨 자기충전 콘크리트(Self-Compacting Concrete, 이하 SCC로 약함)가 초고층 빌딩 건설에 부분적으로 적용되고 있는 실정이다. 그러나 SCC에 대한 용어의 통일 및 성능평가 시험방법과 기준이 국내에서는 현재까지 정립되지 않은 반면, 국외의 경우 북미 및 유럽은 유동성 및 재료분리 저항성이 우수한 SCC를 프리캐스트 및 프리스트레스트 부재와 같은 과밀 배근된 콘크리트 부재에 확대 사용하고 있다. 따라서, 국내의 경우도 건축구조물에 한정되고 있는 SCC를 교량과 같은 토목구조물 등에 광범위하게 확대 적용하여 그 활용성을 높여야 할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 과밀배근된 프리캐스트 및 프리스트레스트 교량부재에 초유동 자기충전 콘크리트(Ultra Flowing Self-Compacting Concrete, 이하 USCC로 약함)를 적용하기 위한 방법의 일환으로 일본토목학회(JSCE) 1등급 규정에 따라 혼화재의 혼합률에 따른 2성분계 및 3성분계 USCC의 압축강도 및 인장강도를 검토하였으며, 탄성계수는 CEB-FIP Code와 ACI 318-05에 제시된 값과 비교 분석하였다.¹⁾

2. 실험개요

- * 정회원, 세명대학교 토목공학과 교수
- ** 정회원, (주)에이치비티 대표이사
- *** 정회원, (주)대신구조엔지니어링 대표이사
- **** 정회원, (주)백트 기술이사
- ***** 정회원, 세명대학교 토목공학과 석사과정

2.1 사용재료

시멘트는 밀도 3.15g/cm³인 보통포틀랜드 시멘트(이하 OPC로 약함)를 사용하였으며, 굵은골재는 최대치수 20mm, 밀도 2.7g/cm³, 조립률 5.94인 부순골재(이하 G로 약함) 및 잔골재는 밀도 2.56g/cm³, 조립률 2.76인 낙동강산 강모래(이하 S로 약함)를 사용하였다. 혼화재는 고로슬래그(이하 SG로 약함), 플라이애쉬(이하 FA로 약함) 및 석회석미분말(이하 LSP로 약함)을 사용하였으며, 표 1은 혼화재의 물리·화학적 성질을 정리한 것이다.

표 1 OPC 및 혼화재의 물리·화학적 성질

Items Types	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	L.O.I	Density (g/cm ³)	Specific Surface Area (cm ² /g)
OPC	21.60	6.00	3.10	61.40	-	-	3.40	2.50	0.03	3.15	3,539
BC	24.50	3.70	3.60	62.00	-	-	1.30	2.50	0.03	3.17	3,021
SG	33.33	15.34	0.44	42.12	-	-	5.70	2.08	3.00	2.90	4,159
FA	58.20	26.28	7.43	6.51	0.80	-	1.10	0.30	3.20	2.18	3,550
LSP	11.06	4.13	1.44	43.80	0.18	1.02	1.42	0.30	35.66	2.69	4,170

2.2 실험방법 및 콘크리트 배합

콘크리트의 압축강도용 공시체는 다짐작업 없이 Ø100×200mm로 제조하였으며, 제작된 공시체는 KS F 2403에 준하여 24시간 후 물드를 탈영한 다음 시험 전까지 20±3℃에서 수중 양생을 실시하였다. 콘크리트의 압축강도는 KS F 2405에 의하여 측정하였으며, 인장강도는 KS F 2423에 의하여 측정하였다. 또한, 탄성계수는 KS F 2438에 의하여 측정하였다. 콘크리트 배합은 JSCE 1등급 성능 평가를 만족하는 기준배합(PF=1.12, S/a=0.48, W/P=0.35)과 혼합률 변화에 따른 2성분계 및 3성분계 배합을 실시하였으며, 본연구의 배합방법은 "골재채움률과 잔골재 용적비를 고려한 자기충전형 콘크리트의 최적배합 설계방법"^{2,3)}을 적용하였다. 표 2는 USCC의 배합표를 나타낸 것이다.

표 2 USCC의 배합표

Mix No.	W (kg/m ³)	P (kg/m ³)				S (kg/m ³)	G (kg/m ³)	Mix No.	W (kg/m ³)	P (kg/m ³)				S (kg/m ³)	G (kg/m ³)
		C	SG	FA	LSP					C	SG	FA	LSP		
1	175	501	0	0	0	769	864	7	175	351	0	105	0	769	864
2		426	69	0	0			8		426	0	0	64		
3		351	138	0	0			9		351	0	0	128		
4		276	208	0	0			10		276	0	0	193		
5		451	0	35	0			11		351	46	70	0		
6		401	0	70	0			12		351	92	35	0		

*각 배합의 고성능 감수제는 시멘트 중량의 0.9% 사용

3. 실험결과 및 고찰

3.1 2성분계 및 3성분계의 압축강도

그림 1, 2, 3 및 4는 2성분계 및 3성분계로 배합한 USCC의 압축강도를 정리한 것이다. 그림 1, 2 및 3의 결과 2성분계 배합의 경우 혼합률이 증가함에 따라 압축강도는 비례적으로 감소하는 경향을 나타내었으며, SG의 경우 혼합률이 15% 증가함에 따라 약 5%정도, FA의 경우 혼합률이 10% 증가

함에 따라 약 3% 정도의 압축강도가 감소하였다. 그러나 LSP는 포졸란 반응이 없는 분체로서 혼합률이 15% 증가함에 따라 약 11% 정도의 강도가 감소하여 최대 45% 혼합한 경우 약 47% 정도의 압축강도가 감소하였다. 따라서, LSP를 혼합한 2성분계 배합의 경우 프리캐스트 및 프리스트레스트 교량 부재에서 요구되는 소요의 강도를 만족하지 못하여 강도조절용 분체로서 보통 정도의 강도를 요구하는 USCC의 혼화재로 사용하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다. 그림 4의 결과 동일한 혼합률 30%를 기준으로 2성분계보다 3성분계 배합의 압축강도가 더 크게 나타났으며, SG 10% 및 FA 20%를 동시에 혼합한 3성분계의 경우 기준강도와 거의 동일한 강도를 나타내었다. 이러한 원인은 SG와 FA의 혼합이 유동성 및 점성에 상호 보완작용하여 충전성이 향상된 결과로 판단된다. 본 연구와 병행된 유동성 평가⁴⁾ 시험에서 JSCE 1등급 규정을 모두 만족하는 기준배합과 2성분계 배합중 FA를 혼합한 배합 및 SG 10% 및 FA 20% 혼합 3성분계 배합의 경우 40MPa 이상의 강도를 나타내었다.

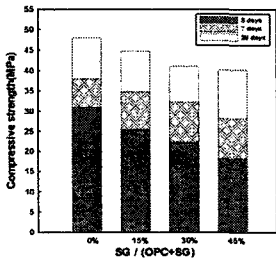


그림 1 SG 혼합률에 따른 재령별 압축강도

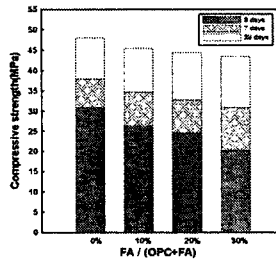


그림 2 FA 혼합률에 따른 재령별 압축강도

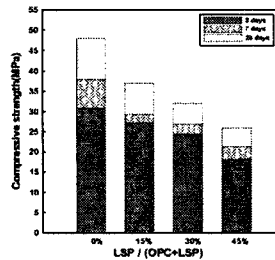


그림 3 LSP 혼합률에 따른 재령별 압축강도

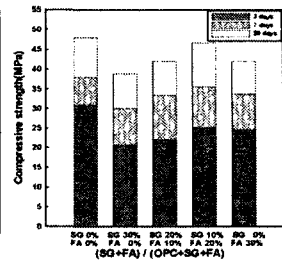


그림 4 SG 및 FA 3성분계 재령별 압축강도

3.2 2성분계 및 3성분계의 압축강도와 탄성계수의 관계

그림 5, 6, 7 및 8은 2성분계 및 3성분계 USCC의 재령 28일의 압축강도에 대한 탄성계수의 관계를 나타낸 것이다. 2성분계 배합인 그림 5, 6 및 7의 결과 혼합률이 증가할수록 탄성계수는 낮아지는 경향을 나타내었으며, 3성분계 배합인 그림 8의 결과 SG 10% 및 FA 20% 3성분계 배합의 경우 가장 높은 탄성계수를 나타내었다. USCC의 압축강도와 탄성계수의 관계는 기존의 CEB-FIP 코드 및 ACI 318-05에서 제시된 값과 유사한 경향을 나타내고 있어 일반콘크리트에서 적용되고 있는 압축강도와 탄성계수와의 관계식을 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

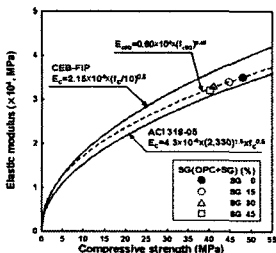


그림 5 SG 혼합률에 따른 압축강도와 탄성계수의 관계

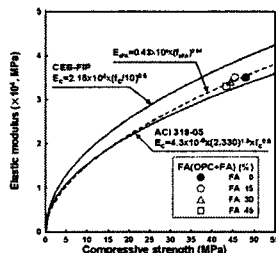


그림 6 FA 혼합률에 따른 압축강도와 탄성계수의 관계

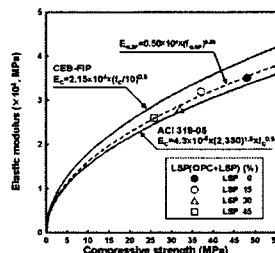


그림 7 LSP 혼합률에 따른 압축강도와 탄성계수의 관계

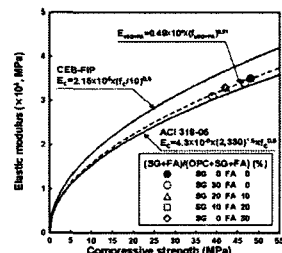


그림 8 SG 및 FA 3성분계 압축강도와 탄성계수의 관계

3.3 2성분계 및 3성분계의 압축강도와 인장강도의 관계

그림 9, 10, 11 및 12는 2성분계 및 3성분계 USCC의 재령 28일의 압축강도에 대한 쪼갬인장강도의 관계를 나타낸 것이다. 2성분계 배합 및 3성분계 배합 모든 배합에서 압축강도와 쪼갬인장강도

와의 관계는 상호 비례적이며, CEB-FIP에서 제시한 범위를 만족하였다.

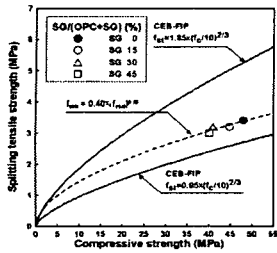


그림 9 SG 혼합률에 따른 압축강도와 쪼갬인장강도의 관계

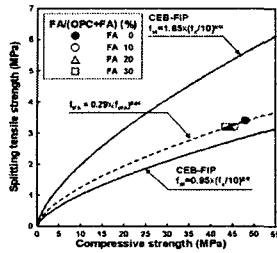


그림 10 FA 혼합률에 따른 압축강도와 쪼갬인장강도의 관계

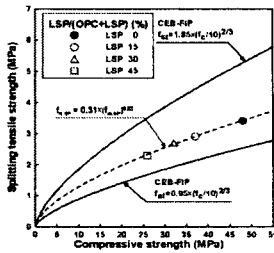


그림 11 LSP 혼합률에 따른 압축강도와 쪼갬인장강도의 관계

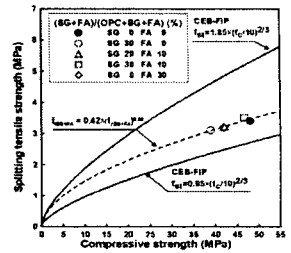


그림 12 SG 및 FA 3성분계 압축강도와 쪼갬인장강도의 관계

4. 결론

- (1) 본 연구와 병행된 유동성 평가에서 JSCE 1등급 규정을 모두 만족하는 기준배합과 2성분계 배합중 FA를 혼합한 모든배합 및 3성분계 SG 10% 및 FA 20% 배합의 경우 40MPa 이상의 압축강도를 모두 만족하였으며, 동일한 30%의 혼합률에서 2성분계보다 3성분계의 배합이 더 높은 압축강도를 나타내었다. 또한 LSP의 경우 동일한 물-분체비에서 혼합률이 증가함에 따른 강도감소가 크기 때문에 프리캐스트 및 프리스트레스트 교량부재에서 요구되는 강도를 만족시키기 위해서는 배합조정이 필요할 것으로 판단된다.
- (2) 2성분계 및 3성분계 USCC의 배합에서 압축강도와 탄성계수의 관계는 비례관계이며, 기존 CEB-FIP 및 ACI-318에서 제시한 식과 유사한 경향을 나타내었다.
- (3) 2성분계 및 3성분계 USCC의 배합에서 압축강도와 쪼갬인장강도의 관계는 비례관계이며, 기존 CEB-FIP에서 제시한 범위를 만족하였다.

이상의 실험결과를 통하여 과밀배근의 프리캐스트 및 프리스트레스트 교량부재에 JSCE 1등급 규정에 따라 제조된 USCC의 강도 특성을 검토한 결과 2성분계 배합보다 3성분계 배합이 효과적으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국건설교통기술평가원 건설핵심기술연구개발사업의 고성능·다기능 콘크리트의 개발 및 활용기술(O5 건설핵심 D11-1)의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 최연왕 외 2인, "상동광산 광미를 혼합한 자기충전콘크리트의 유동 및 강도 특성", 대한토목학회, 논문집, 제 26권 제 4A호, 2006, 7, pp. 767-774.
2. 최연왕 외 4인, "골재채움률과 잔골재 용적비를 고려한 자기충전형 콘크리트의 최적배합", 한국콘크리트학회, 가을학술발표회 논문집, 제 14권 2호, 2002, pp. 549-554.
3. Su, N. Hsb, K.-C., and Chai, H.-W., "A Simple mix design method for Self-compacting concrete", Cement and Concrete Research, 2001, Vol. 31, Issue 12, pp. 1799-1807.
4. 최연왕 외 4인, "2성분계 및 3성분계 초유동 자기충전 콘크리트의 유동특성 평가", 한국콘크리트학회, 가을학술발표회 논문집, 2006.