

2성분계 및 3성분계 초유동 자기충전 콘크리트의 유동성 평가

Flowability Evaluation of Binary and Ternary Blended of Ultra Flowing Self-Compacting Concrete

최연왕* 전준영** 김충언*** 정재권**** 정우용****
Choi, Yun Wang Jeon, Jun Yong Kim, Chung Un Jung, Jea Guane Jung, Woo Young

ABSTRACT

This research has evaluated flowability of ultra flowing self-compacting concrete, which is limitedly used for traditional building structures, in accordance with the first class regulations of Japan Society of Civil Engineering(JSCE) that can be applied to overcrowding-arrangement of bar, as a part of application methods that ultra flowing self-compacting concrete is applied to both precast and prestress bridge structures.

The experimental results show that the flowability is acceptable in ternary blended among binary and ternary blended mixings, which satisfies the first class regulation of JSCE. It is also concluded to use fly ash to increase viscosity of concrete in the case of segregation resistance because of low viscosity in the mixture of slag from blast furnace and limestone micropowder. Satisfying goals of every mixing after U-box self-compacting experiment, we conclude that ultra flowing self-compacting concrete is applicable to bridges and civil constructions of overcrowding arrangement of bar with evaluation of flowability of ultra flowing self-compacting concrete .

1.서론

최근 국내의 경우 건설 구조물의 대형화, 고층화 및 특수화됨에 따라 다양한 건설 신기술 및 신공법이 적용되고 있으며, 이 중 시공의 효율성을 증진시킨 자기충전 콘크리트(Self-Compacting Concrete, 이하 SCC로 약함)가 초고층 빌딩 건설에 있어 부분적으로 적용되고 있는 실정이다. 그러나 USCC에 대한 용어의 통일 및 성능평가 시험방법과 기준이 아직 국내에서는 정립되지 않고 있어 현장의 품질관리를 위하여 시급히 이에 대한 통일된 기준이 마련될 필요성이 있다. 또한 북미 및 유럽의 경우 유동성 및 재료분리 저항성이 우수한 자기충전 콘크리트를 프리캐스트 및 프리스트레스트 부재와 같은 과밀 배근된 콘크리트 부재에 사용하고 있어 기존에 건축구조물에 한정되어 사용되고 있는 SCC를 교량 및 토목구조물 등에 광범위하게 확대 적용하여 그 활용성을 높여야할 것으로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 프리캐스트 및 프리스트레스트 교량구조물 부재에 초유동 자기충전 콘크리트(Ultra Flowing Self-Compacting Concrete, 이하 USCC로 약함)를 적용하기 위한 방법의 일환으로 과밀 배근된 구조물에 적용할 수 있는 일본 토목학회(JSCE)의 1등급 규정에 따라 혼화재의 혼합률 변화에 따른 2성분계 및 3성분계 USCC의 유동성 특성에 대하여 분석 고찰하였다.

* 정회원, 세명대학교 토목공학과 부교수

** 정회원, 유진기업 기술연구소 부장

*** 정회원, 삼현PF 팀장

**** 정회원, 세명대학교 토목공학과 석사과정

2. 실험계획 및 방법

2.1. 사용재료

시멘트는 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC로 약함)를 사용하였고, 플라이 애쉬(이하 FA로 약함), 고로슬래그 미분말(이하 SG로 약함) 및 석회석 미분말(이하 LSP로 약함)을 혼화재로 사용하였다. 표 1은 USCC에 사용된 OPC 및 혼화재의 물리·화학적 성질을 정리한 것이다.

표 1 시멘트 및 혼화재의 화학성분 및 물리적 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
S G	33.33	15.34	0.44	42.12	-	-	5.70	2.08	3.00	2.90	4,159
F A	58.20	26.38	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

잔골재는 밀도가 2.56 g/cm³인 낙동강 강모래를 사용하였으며, 굵은골재는 최대치수 20mm인 부순골재를 사용하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1 초유동 자기충전 콘크리트 배합(2성분계 및 3성분계)

USCC 배합은 Nan-Su의 배합설계법을 수정·보완하여 골재의 느슨한 상태에 대한 밀실한 상태의 단위용적질량 비에 잔골재율(이하 S/a로 약함)에 따른 가중치를 적용하여 얻어지는 골재채움률(이하 PF로 약함) 값을 적용하여 배합하였으며, 예비배합을 통하여 얻어진 PF를 1.12, S/a 48%, 물/분체비 0.35, 고성능 감수제(이하 SP로 약함) 투입량 0.9%인 기준배합을 결정하였다.

2성분계 배합은 SG 및 LSP의 혼합률을 OPC에 대하여 부피비로 0, 15, 30 및 45%(각각 4수준)로 하였으며, FA의 혼합률은 OPC에 대하여 부피비로 0, 10, 20 및 30%(4수준)로 변화시켜 USCC의 유동성 평가를 실시 하였다. 3성분계 배합은 SG와 FA를 OPC에 대하여 5수준[(SG-0% FA-0%), (SG-30% FA-0%), (SG-20% FA-10%), (SG-10% FA-20%), (SG-0% FA-30%)]으로 배합하였다. 또한 LSP를 30%로 고정하고 FA의 혼합률을 0, 10, 20 및 30%(4수준)로 변화시켜 USCC의 유동성을 평가하였다.

2.2.2 초유동 자기충전 콘크리트의 성능평가

USCC의 성능평가는 국내의 경우 평가 기준이 정립되어 있지 못하여 JSCE “자기충전 고유동 콘크리트의 시험방법(분체계)”에 의해 Slump-flow, Slump-flow 500mm 도달시간, V-funnel 유하시간 및 U-box 충전시험을 실시하였으며, 본 연구에서는 과밀배근된 프리캐스트 및 프리스트레스트 교량부재에 적합한 성능 규준인 JSCE의 1등급 규정을 적용하여 USCC의 유동성을 평가하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 2성분계 및 3성분계 초유동 자기충전 콘크리트의 유동성

그림 1은 OPC에 대한 각각의 혼화제 혼합률에 따른 Slump flow값을 나타낸 것이다. 그림 1의 결과 OPC에 대하여 SG, FA 및 LSP를 각각 혼합한 2성분계 배합에서 Slump flow는 JSCE 1등급 기준인 600~700mm 기준값을 모두 만족하였다. SG 및 LSP를 혼합한 경우 혼합률이 증가함에 따라 유동성은 증가하였으나, FA를 혼합한 경우 혼합률이 증가함에 따라 Slump flow값이 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 원인은 SP제에 대한 혼화제별 민감도에 대한 선행실험 결과 OPC와 비교하여 SG 및 LSP는 민감도가 크며, FA는 민감도가 작은 특성 때문으로 판단된다¹⁾. 그림 2 및 3은 SG, LSP 및 FA를 3성분계로 혼합한 Slump flow값을 나타낸 것이다. 그 결과 SG 및 LSP에 대한 FA를 혼합한 3성분계의 경우 혼합률 30% 범위내의 모든 배합에서 기준값을 만족하였으나, FA의 혼합률이 증가함에

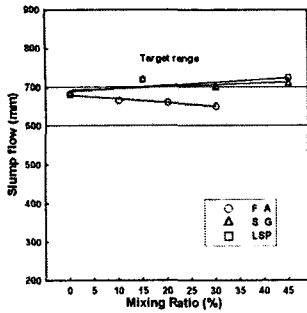


그림 1 SG, LSP 및 FA 2성분계 Slump flow

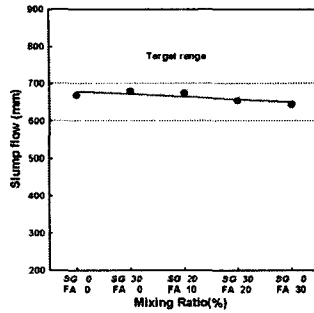


그림 2 SG 및 FA 3성분계 Slump flow

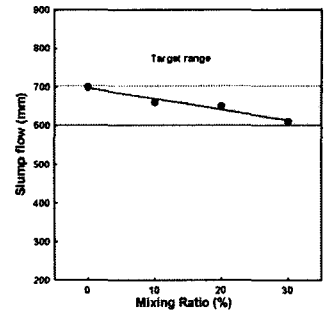


그림 3 LSP 30% 및 FA 3성분계 Slump flow

따라 Slump flow값은 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 원인은 SP제의 민감도가 큰 SG 및 LSP와 민감도가 작은 FA의 상호작용에 의한 것으로 판단되며, JSCE 1등급 규정을 만족하는 배합은 FA를 포함한 3성분계 혼합 배합이 적합한 것으로 판단된다.

3.2 2성분계 및 3성분계 초유동 자기충진 콘크리트의 재료분리 저항성

그림 4, 5, 6 및 7은 OPC에 대한 SG, FA 및 LSP를 각각 혼합한 2성분계 배합 및 SG, FA를 동시에 혼합한 3성분계의 V-Lot 통과시간에 대한 Slump flow 500mm 도달시간과의 관계를 나타낸 것이다.

그림 4의 결과 FA 혼합 2성분계 배합은 혼합률이 증가함에 따라 점성은 다소 증가하는 경향을 나타내고 있으나 혼합률 30% 범위내에서 재료분리저항성의 목표기준을 만족하였다. 이러한 원인은 본 연구 이전에 선행된 SCC의 유동성능에 영향을 미치는 혼화재의 유변학적 특성¹⁾에서 SP제를 사용하지 않은 FA 혼합 페이스트의 시험결과 혼합률이 증가함에 따라 구속수비는 감소하는 경향을 나타내었으나, FA의 작은 민감도 영향으로 점성은 증가된 것으로 판단된다. 그림 4 및 5의 결과 SG 및 LSP를 각각 혼합한 2성분계 배합의 경우 혼합률 45% 범위내에서는 JSCE 1등급 재료분리저항성 기준을 만족하지 못하였다. 이러한 원인은 SG와 LSP의 혼합률이 증가함에 따라 OPC보다 SP제의 높은 민감도의 영향으로 유동성은 증가하는 반면 점성은 감소된 것으로 판단된다.

그림 6의 결과 SG 10% 및 FA 20%의 3성분계 배합이 목표성능을 만족하였으나, SG 20% 및 FA 10%의 3성분계 배합은 목표성능을 만족하지 못하였다. 이러한 결과를 통하여 JSCE 1등급 규정에서 요구되는 점성을 확보하기 위해서는 FA를 20%이상 혼합하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

그림 7의 결과 LSP 30% 및 FA를 동시에 혼합한 3성분계 배합 모두 기준을 만족하지 못하였다. 이러한 원인은 LSP가 SP제에 대한 민감도 영향이 매우 크기 때문에 FA 혼합률과는 상관없이 점성을

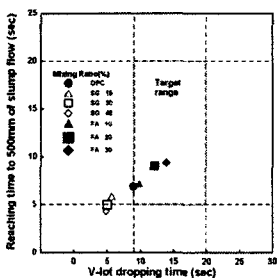


그림 4 SG 및 FA 2성분계 재료분리 저항성

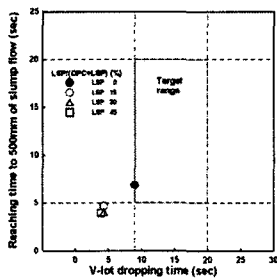


그림 5 LSP 2성분계 재료분리 저항성

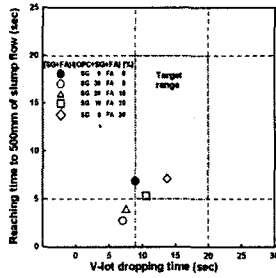


그림 6 SG 및 FA 3성분계 재료분리 저항성 확보하지 못한 것으로 판단

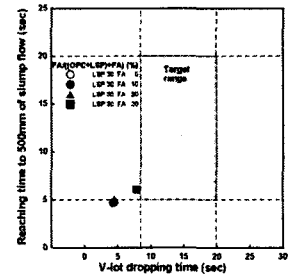


그림 7 LSP 30% 및 FA 3성분계 재료분리 저항성

된다.

3.3 2성분계 및 3성분계 초유동 자기충전 콘크리트의 충전성

그림 8, 9 및 10은 SG, FA 및 LSP를 각각 혼합한 2성분계 및 동시에 혼합한 3성분계 배합의 U-box 충전성을 나타낸 것이다. 그림 8의 결과 SG, FA 및 LSP를 혼합한 2성분계 모든 배합에서 충전성 기준인 300mm 이상을 모두 만족하였다. 이상의 실험 결과를 통하여 과밀배근된 프리캐스트 및 프리스트레스트 부재에 USCC를 적용하기 위한 2성분계의 경우 SG 및 LSP 보다는 FA 30% 범위내에서, 3성분계 배합은 SG 10% 및 FA 20% 동시에 혼합한 경우가 적절할 것으로 판단된다.

4. 결론

1) SG, FA 및 LSP를 각각 혼합한 2

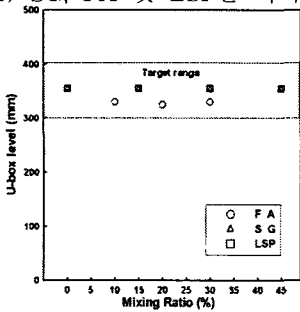


그림 8 SG, LSP 및 FA 2성분계 충전성

에서, SG, FA 및 LSP를 동시에 배합에서 JSCE의 1등급 기준값을 만족하였다.

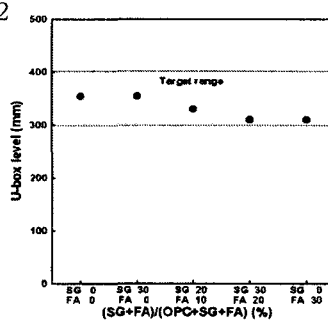


그림 9 SG 및 FA 3성분계 충전성

성분계의 경우 혼합물 30% 범위내

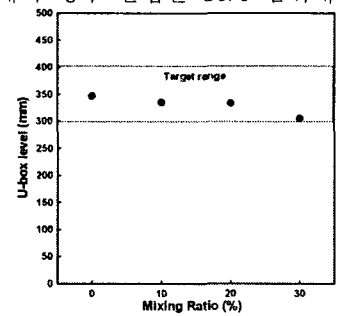


그림 10 LSP 30% 및 FA 3성분계 충전성

혼합한 3성분계 배합의 경우 모든

- 2) FA 혼합 2성분계의 경우 혼합물 30% 범위내에서 재료분리저항성의 목표기준을 만족하였으나, SG 및 LSP를 혼합한 경우 혼합물 45% 범위내에서는 재료분리저항성 기준을 만족하지 못하였다. 또한 SG 10% 및 FA 20%의 3성분계의 경우 재료분리저항성 기준을 만족하였다.
- 3) 과밀배근된 프리캐스트 및 프리스트레스트 부재에 USCC를 적용하기 위한 2성분계의 경우 SG 및 LSP 보다는 FA 30% 범위내에서, 3성분계 배합은 SG 10% 및 FA 20% 동시에 혼합한 경우가 적절할 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. 최연왕 외 3인 “자기충전 콘크리트의 유동성능에 영향을 미치는 혼화재의 유변학적 특성” 토목학회 가을 학술 발표회, 2006.
2. 최연왕 외 3인 “광산광미를 활용한 초유동 자기충전 콘크리트의 유변학적 특성 연구” 콘크리트학회 논문집, 제 18권 1호, 2006. 5 pp. 89 - 92.
3. V. B. Bosiljkov “SCC mixes With poorly graded aggregate and high volume of limestone filler”. Cement and Concrete Research, 2003, Vol. 33, January 2, pp. 1279 - 1286.