

## 단면확대 보강 적용을 위한 콘크리트의 자기충전 성능 평가

# Evaluation of Self-Compaction Property of Section Enlargement Strengthening Concrete

황용하<sup>1</sup> · 양근혁<sup>2\*</sup> · 송금일<sup>3</sup> · 송진규<sup>3</sup>

Yong-Ha Hwang<sup>1</sup> · Keun-Hyeok Yang<sup>2\*</sup> · Keum-Il Song<sup>3</sup> · Jin-Kyu Song<sup>3</sup>

(Received August 7, 2019 / Revised September 20, 2019 / Accepted September 25, 2019)

The objective of this study is to modify the mixture proportions of concrete that were developed for section enlargement strengthening elements using a specially designed binder composed of 5% ultra-rapid hardening cement, 10% polymer, and 85% ordinary portland cement in order to assign the self-compaction property to such concrete. The self-compaction abilities of concrete were estimated by the performance criteria specified in JSCE and EFNARC provisions. Test results showed that the increase in the unit binder content at the consistent water-to-binder ratio led to increase in viscosity of fresh concrete but did not exhibit the decrease in the fluidity due to a greater viscosity. The mixture proportioning of self-compaction section enlargement concrete could be considered at the following conditions: unit binder contents of 430kg/m<sup>3</sup>~470kg/m<sup>3</sup> and fine aggregate-to-total aggregate ratios of 40%~46% at the water-to-binder ratio of 38%.

**키워드** : 자기충전, 단면확대 보강, 폴리머, 점성

**Keywords** : Self-compaction, Section enlargement strengthening, Polymer, Viscosity

## 1. 서론

철근 콘크리트(Reinforced Concrete, RC) 구조물의 내구성 저하에 중요한 영향을 미치는 요인 중의 하나는 콘크리트 다짐 불량으로 인한 시공결함이다. 콘크리트의 다짐 불량은 콘크리트 공보로 인한 단면손실 및 철근과의 부착력 감소로 연계될 수 있으며, 이는 RC 부재의 내력과 연성 저하의 원인이 되기도 한다. 하지만 다짐 불량에 의한 콘크리트 내부 결함은 육안 상 확인하기 힘들고 결함이 발견됐을 경우에도 보수·보강이 어렵다.

단면확대 내진보강은 비교적 그 단면 두께가 얇고 주철근 및 띠철근의 배근으로 과밀배근이 종종 형성된다. 또한 확대단면은 콘크리트 주입구가 신축에 비해 매우 좁게 있을 수 있다. 이와 같이 철근이 과밀하게 배근되는 경우 또는 콘크리트 타설입구가 좁은 경우에는 콘크리트 다짐 불량 등에 의한 시공 결함을 줄이기 위해

자기충전 콘크리트의 사용이 고려될 수 있다(Assie et al. 2007; Choi et al. 2008). 자기충전 콘크리트는 굳지 않은 상태에서 유동성을 극대화시켜 콘크리트 타설 시 다짐작업 없이 콘크리트의 자중만으로 내부 충전이 가능하며 재료의 균질성을 유지하는 콘크리트를 의미한다(Okamura 1999). 현재까지의 자기충전 콘크리트에 대한 연구는 보통 포틀랜드 시멘트(OPC: Ordinary Portland Cement)를 기반으로 각종 미네랄 혼화재를 치환한 연구가 주를 이루고 있다(Ye et al. 2007; Poppe and Schutter 2005; Song et al. 2013; Tukmen 2003). 한편, 단면확대 보강 시 콘크리트는 고유동성, 높은 초기강도발현 및 고접착성이 요구된다. Lee et al.(2018)은 폴리머와 초속경 시멘트를 사용하여 고접착 강도를 갖는 단면확대 보강용 콘크리트의 배합설계를 제시하였다. 제시된 배합설계는 단면확대 보강에서의 자기 충전성 확보를 위해 골재 양 및 페이스트 양 등의 상세가 수정될 필요가 있다.

\* Corresponding author E-mail: yangkh@kgu.ac.kr

<sup>1</sup>경기대학교 일반대학원 건축공학과 박사과정 (Department of Architectural Engineering, Graduate School, Kyonggi University, Suwon, 16227, Rep. of Korea)

<sup>2</sup>경기대학교 건축공학과 교수 (Department of Architectural Engineering, Kyonggi University, Suwon, 16227, Rep. of Korea)

<sup>3</sup>전남대학교 건축학부 교수 (Department of Architectural Engineering, Chonnam National University, Gwangju, 61186, Rep. of Korea)

Copyright © 2019 by Korean Recycled Construction Resources Institute

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

Table 1. Chemical compositions of cementitious materials

No.	Type of cement	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Chemical compositions(%)								Blaine fineness(cm <sup>2</sup> /g)
			SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	LOI	
1	Ordinary portland(type I)	3.15	21.0	6.6	3.0	61.9	2.6	0.9	2.0	2.0	3,260
2	Ultra rapid hardening cement(type III)	2.90	10.2	16.7	1.3	50.8	1.4	0.4	15.5	3.7	5,989

이 연구의 목적은 단면확대 보강을 위해 개발된 폴리머와 초속경 시멘트를 혼합한 콘크리트의 자기 충전성 확보를 위한 배합상세 수정이다. 보강용 콘크리트의 자기충전성은 일본토목학회(JSCE 1999)와 유럽통합기준(EFNARC 2002)에서 제시된 자기충전 콘크리트의 굳기 전 물성시험 및 성능기준을 통해 평가하였다. 배합조건에 따라 굳은 콘크리트에서 압축강도 발현을 평가하였으며, 할랄 실험을 통하여 파괴면에서의 재료분리 유·무도 확인하였다.

## 2. 재료 및 실험방법

### 2.1 사용재료

#### 2.1.1 결합재

배합실험에 사용된 단면확대용 콘크리트의 결합재는 Lee et al.(2018)의 배합을 참고하여 일반시멘트와 초속경시멘트 및 폴리머를 중량비 85 : 5 : 10 으로 혼합하였다. 일반 시멘트는 KS L 5201(KATS 2016)의 1종 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)를, 초속경 시멘트(URHC: Ultra Rapid Hardening Cement)는 3종 조강 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. OPC 및 URHC의 물리적 특성 및 화학적 조성은 Table 1에 나타내었다. 이들 재료의 밀도와 분말도는 OPC의 경우 각각 3.15g/m<sup>3</sup> 및 3,260cm<sup>2</sup>/g이며, URHC는 각각 2.90g/m<sup>3</sup> 및 5,989cm<sup>2</sup>/g이다. OPC의 주요 화학 성분은 CaO 및 SiO<sub>2</sub>로서 전체 화학 조성의 각각 61.9% 및 21.0%이다. URHC는 CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 SO<sub>3</sub>가 주요성분으로 전체 화학 조성 중 각각 50.8%, 16.7% 및 15.5%를 차지한다. URHC의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 SO<sub>3</sub>의 구성 비율은 OPC에 비해 각각 10% 및 13% 높았다. 보강 콘크리트의 접착력 증진을 위한 폴리머(Polymer)는 에틸렌 초산 비닐(EVA)계 재유화형 분말을 사용하였다. 폴리머의 밀도와 점성도는 각각 0.5g/m<sup>3</sup> 및 2,000mPa·s이다(Table 2). 폴리머의 분산성 확보 및 공기연행 방지를 위해 분산제 및 소포제를 사용하였으며, 폴리머 질량의 각각 0.5%를 첨가하였다.

Table 2. Properties of polymer

Type	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Particle size(μm)	Viscosity (mPa·s)	pH
White powder	0.5	100	2,000	6.0~8.0

#### 2.1.2 골재

잔골재 및 굵은 골재의 물리적 특성은 Table 3에 나타내었다. 배합실험에 사용된 잔골재는 해사로써 최대 입자크기는 5mm이며, 절건밀도와 조립률은 각각 2,55와 2,680이다. 굵은 골재는 유동성 확보와 재료분리 방지를 위해 최대치수 13mm의 쇄석을 사용하였으며, 절건밀도와 조립률은 각각 2.6과 6,060이다. 잔골재 및 굵은 골재의 입도분포는 KS F 2527(KATS 2018)규격에서 제시하는 표준입도와 유사한 범위를 나타내었다(Fig. 1).

Table 3. Properties of aggregate

Aggregate	Type	G <sub>max</sub> (mm)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Absorption ratio(%)
Fine	Crushed	13	2.55	2.25
Coarse	Un crushed	5	2.60	1.41

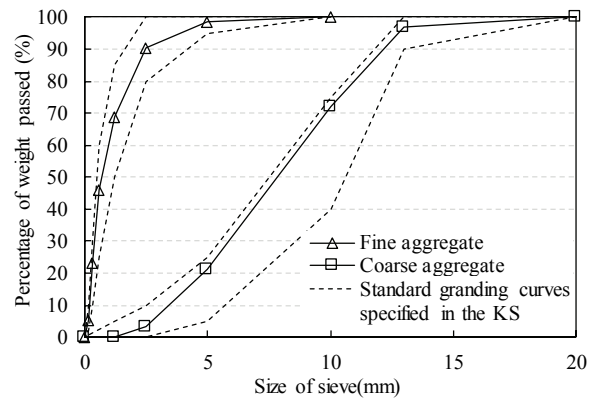


Fig. 1. Particle distribution of fine and coarse aggregates

## 2.2 콘크리트 배합

자기충전 콘크리트의 배합설계는 일반적으로 굵은 골재를 단위 콘크리트 부피의 약 32% 수준으로, 잔골재를 콘크리트 중 모르타르 부피의 약 40% 수준으로 결정한다(Topcu and Uygunglu 2010). 또한 콘크리트 유동성 향상 측면에서 콘크리트 중 페이스트 부피비가 중요 설계 요소가 된다. 보통 압축강도를 갖는 자기충전 콘크리트의 단위 결합재량은 일반적으로 390kg/m<sup>3</sup>~470kg/m<sup>3</sup>으로 평가되고 있다(Khayat 1999). 이 연구에서는 콘크리트의 단

Table 4. Mix proportions

Mixture	Unit volume(m <sup>3</sup> )			Sand-mortar ratio(%)	Air (%)	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m <sup>3</sup> )				
	V <sub>G</sub>	V <sub>S</sub>	V <sub>P</sub>					B	W	F <sub>a</sub>	C <sub>a</sub>	Admix
B390	0.427	0.225	0.338	40	1	38	34.5	390	148.2	596.5	1153.7	4.5(1.1%)
B430	0.370	0.248	0.372	40	1	38	40.2	430	163.4	657.7	997.8	3.6(0.8%)
B450	0.341	0.260	0.390	40	1	38	43.3	450	171.0	688.2	919.9	3.2(0.7%)
B470	0.312	0.271	0.407	40	1	38	46.5	470	178.6	718.8	842.0	2.9(0.6%)

Note] V<sub>G</sub>=Volumetric ratio of coarse aggregate in concrete, V<sub>S</sub>=Volumetric ratio of fine aggregate in concrete, V<sub>P</sub>=Volumetric ratio of paste in concrete, W/B=Water-to-binder ratio, S/a=Sand-to-aggregate ratio by volume, B=Binder, W=Water, F<sub>a</sub>=Fine aggregates, and C<sub>a</sub>=Coarse aggregates.

Table 5. Classification of self-compacting concrete

Contents		Classification		
		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
Flow(filling) ability	Slump flow(mm)	600~700	600~700	500~650
Flow(filling) ability & segregation resistance	Time required to flow through V-funnel(s)	9~20	7~13	4~11
	Time required to reach 500mm of slump flow(s)	5~20	3~15	3~15
Passing ability	Filling height of U-box(mm)	≥300	≥300	≥300
	J-ring flow and height(mm)	flow : ≥500, height : ≤50		

위 결합재량은 390kg/m<sup>3</sup>으로 시험배합의 성능결과를 통해 단위 결합재량을 수정하였다. 수정된 단위결합재량은 각각 430kg/m<sup>3</sup>, 450kg/m<sup>3</sup> 및 470kg/m<sup>3</sup>으로 설정하였다(Table 4). 따라서 Table 4에 나타난 시험체 명은 단위 결합재량을 의미한다. 폴리머의 사용으로 인해 단면확대 보강용 결합재 자체의 점성은 일반 OPC 콘크리트보다 높기 때문에 추가적인 증점제를 사용하지 않았다. 고성능 감수제는 폴리카르복산계(PC계: Polycarboxylate type)를 사용하였다. 각 재료는 중량비로 계량한 후 중력식 믹서를 이용하여 배합하였다. 배합방법은 1) 믹서기에 결합재와 잔골재를 넣고 30초간 건비빔 실시, 2) 배합수를 넣고 60초간 비비기 실시, 3) 적정량의 고성능 감수제를 넣고 다시 60초간 비비기 실시, 4) 마지막으로 굵은 골재를 넣고 60초간 비비기 순으로 수행하였다.

### 2.3 콘크리트 시험 방법

JSCE(1999), ACI 237R-07(2007) 및 EFNARC(2002) 기준에 따르면 콘크리트의 자기충전성 시험은 크게 콘크리트의 유동성, 점성(재료분리저항성), 간극의 충전성 및 통과성의 4가지 성능을 평가한다. 본 연구에서 콘크리트 자기충전성의 평가는 JSCE(1999)의 성능기준을 기준으로 하였으며, EFNARC(2002)의 간극통과성능(J-ring) 시험을 추가로 수행하였다. 자기충전 콘크리트의 성능

은 배근된 철근의 간격과 철근량의 조건에 의해서 결정되며, 일반적으로 JSCE(1999)에서 1 등급 또는 2 등급에 해당된다(Table 5). 자기충전 성능 시험은 콘크리트 배합 직후 굳지 않은 콘크리트 상태에서 수행하였으며, 압축강도 및 할렬강도는 소정의 재령까지 수중양생한 후 측정하였다.

#### 2.3.1 유동성 시험

유동성 평가 시험은 슬럼프 콘(slump-cone)을 이용하여 KS F 2594(KATS 2015)에 따라 수행하였다(Fig. 2 (a)). 슬럼프 플로우 값은 650±50mm 값을 요구하는데, 이는 600mm보다 작거나 700mm보다 크면 펌프압송 시 물성의 변화에 의한 문제가 있기 때문이다.

#### 2.3.2 점성(재료분리 저항성, 통과성) 시험

콘크리트의 점성은 T50 플로우와 V-funnel 시험을 이용하여 평가하였다. T50 플로우 시험은 슬럼프 플로우가 500mm까지 도달하는 시간(sec)을 측정하는 시험(Fig. 2 (a))이며, V-funnel 시험은 V형 깔때기 모양의 시험 장치에 시료를 채운 후 하부의 입구를 개방하고 콘크리트가 완전히 흘러내렸을 때까지의 유하시간(sec)을 측정하는 시험(Fig. 2 (b))이다. T50 플로우 시험은 콘크리트의

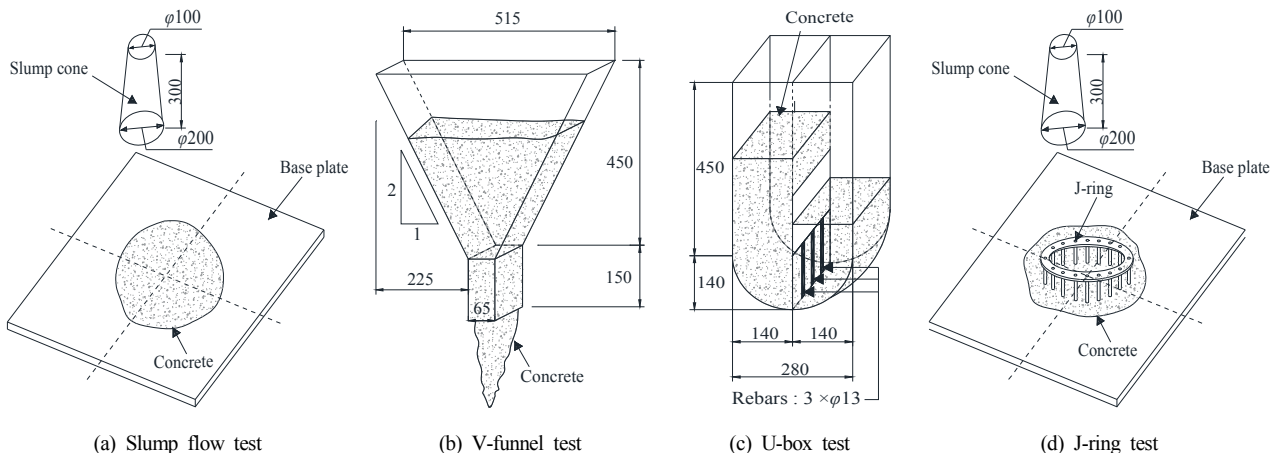


Fig. 2. Tests for self-compaction properties of fresh concrete

낮은 점성에 의한 재료분리 여부를 판단하는 기준이며, V-funnel 유하시간 시험은 콘크리트의 높은 점성에 의한 통과성을 평가하는 시험이다. 만약 콘크리트의 점성이 낮아 재료분리가 발생하게 되면 T50 플로우 시험 시 골재는 제자리에 남고 페이스트만 흘러 내리기 때문에 슬럼프 플로우가 500mm까지 도달하는 시간이 매우 짧게 된다. V-funnel 유하속도 시험은 콘크리트의 점성이 너무 낮으면 재료분리가 발생하게 되고 V-funnel 하부에서 굵은 골재에 의해 토출구가 막혀 유하시간이 길어진다. 반대로 콘크리트의 점성이 너무 높으면 콘크리트와 V-funnel 측면의 마찰저항이 커져 이 또한 유하시간이 길어지는 특징이 있다.

### 2.3.3 충전성 시험

충전성 시험은 콘크리트의 다짐작업 없이 자중만으로 철근사이를 통과하여 채워지는 성능을 평가하는 시험으로서 U-box와 L-box 시험을 이용한다. 본 연구에서는 U-box 시험을 실시하였으며, 중앙부에 철근과 격리판을 설치한 U형 장치를 이용하였다. U-box 시험은 U형 장치의 한쪽에 콘크리트를 채운 후 격리판을 제거하여 콘크리트가 철근 사이를 통과하여 상승된 높이 또는 양쪽의 콘크리트 높이의 단차(mm)를 측정하여 충전성을 평가하였다 (Fig. 2 (c)).

### 2.3.4 간극통과성 시험

간극통과성 시험은 JSCE(1999)에서 제시되고 있지 않아, EFNARC(2002)에서 제시된 방법을 따랐다. EFNARC(2002)의 간극통과성 시험인 J-ring 시험은 직경 300mm의 J-ring 장치의 중앙에 슬럼프 콘을 넣고 콘크리트를 채워 넣은 후 다짐작업 없이 슬럼프 콘을 들어 올려 콘크리트를 자중만으로 J-ring의 직경

16mm 봉 사이를 통과시키는 시험이다. 콘크리트가 J-ring을 통과하여 흘러 퍼졌을 때 J-ring 단부 4지점에서 높이를 측정하여 평균을 낸 후 중앙부와의 단차를 측정한다(Fig. 2 (d)).

### 2.3.5 강도 시험

압축강도 시험방법은 KS F 2405(KATS 2017)에 준하여 실시하였다. 시험용 공시체는  $\phi 100 \times 200$ mm의 원주형 몰드에 다짐을 하지 않고 성형하여 24 시간 후 몰드를 탈형하였으며, 소정의 재령까지  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 수조에서 양생을 실시하였다. 압축강도는 재령 3, 7, 28일에 측정하였으며, 재령 28일에는 응력-변형률 관계를 측정하였다. 할렬 인장강도는 재령 28일 만 측정하였으며, 할렬 단면의 육안조사를 통해 재료(골재)분리 여부를 함께 평가하였다.

## 3. 실험결과 분석

### 3.1 콘크리트 유동성 시험 결과

콘크리트의 자기충전성 시험결과는 Table 6에 나타내었다. 굳기 전 콘크리트의 슬럼프 플로우 시험결과는 기준 배합인 B390을 포함한 모든 배합에서  $650 \pm 50$ mm이내를 만족하였다(Fig. 3). 이는 배합비 선정을 위한 예비 배합 단계에서 콘크리트의 유동성을 확보하는 수준의 고성능 감수제의 첨가량을 결정했기 때문이다. 육안 상 플로우 경계면에서 재료분리(골재 또는 결합재) 현상은 나타나지 않았으며, 콘크리트의 펠처짐 모양도 원에 가까운 형상을 나타내었다(Fig. 4). 즉, 단위 결합재량  $390\text{kg/m}^3 \sim 470\text{kg/m}^3$  사이에서 자기충전 콘크리트의 유동성은 모두 만족한 것으로 나타났다.

Table 6. Summary of test results on fresh concrete

Mix. Code.	Slump flow		V-funnel flow time(s)	U-box filling height(mm)	J-ring flow	
	Spread (mm)	T50 (s)			Spread (mm)	Height (mm)
Requirement by JSCE & EFNARC	600~700	3~20	4~20	≥300	≥500	≤50
B390	630	10	55	85	450	76
B430	665	7	11	325	590	48
B450	680	3	8	320	615	30
B470	690	3	5	330	645	12

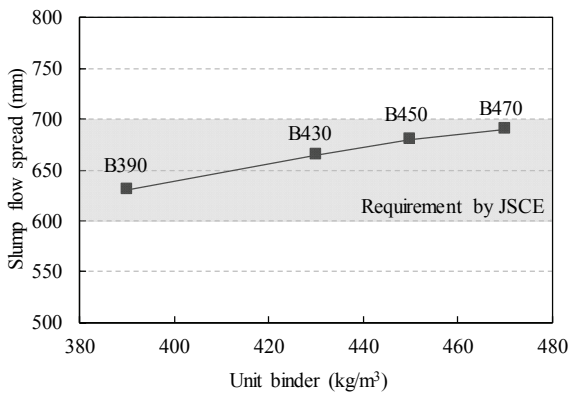


Fig. 3. Effect of the unit binder on slump flow values



Fig. 4. Effect of the unit binder on slump flow values

### 3.2 점성(재료분리저항성, 통과성) 시험 결과

#### 3.2.1 T50 시험 결과

콘크리트의 재료분리 저항성 시험 중 슬럼프 플로우 500mm 도달 적정 시간(T50)의 시험결과는 Fig. 5에 나타내었다. B390 및

B430의 T50 시험결과는 10초 및 7초로 JSCE기준을 만족하였다. 자기충전 콘크리트의 T50 시험 결과는 단위 결합재량이 많을수록 짧아지는 경향을 보였다. 페이스트의 양이 많아지면, 상대적으로 골재의 양이 줄어들고 이는 콘크리트 중 골재의 맞물림 현상에 의한 점성이 줄어들어, 유동성이 커짐을 뜻한다. 하지만, 페이스트 양이 적정량보다 많아지면, 콘크리트의 점도가 낮아져 굵은 골재와 페이스트가 분리된다. 이 경우 T50 시간은 3초보다 빨라지게 된다. 일반적으로 OPC 기반 자기충전 콘크리트는 유동성 뿐 만 아니라 충전성, 간극통과성 등을 동시에 만족시켜야하기 때문에 고성능 감수제를 다량으로 사용하여 유동성을 높여야 한다. 이 경우 콘크리트의 점도도 함께 낮아져 재료분리가 발생되기 때문에 증점제를 사용하여 재료분리를 방지해야한다. 하지만, B450 및 B470의 T50 시험 결과는 3초이지만 OPC보다 상대적으로 점도가 높기 때문에 재료분리는 나타나지 않았다.

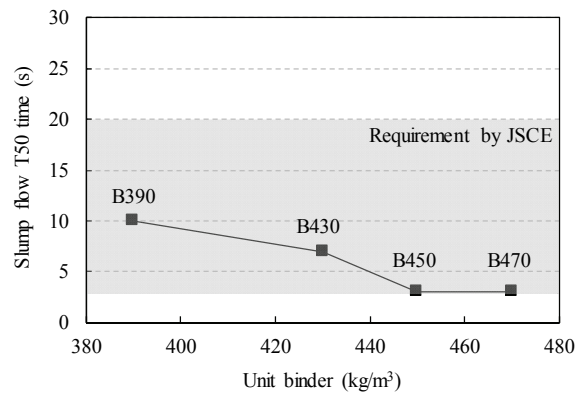


Fig. 5. Effect of the unit binder on T50 time in slump flow

#### 3.2.2 V-funnel 유하시간 시험 결과

V-funnel 시험에서 V형 깔데기를 통과하는 시간은 콘크리트의 점성이 너무 높으면 콘크리트와 깔데기 측면 사이의 마찰력이 커져 토출시간이 길어진다. V-funnel 통과시간은 자기충전 콘크리트의 통과성능을 만족시키기 위해서 20초 이하로 제한하고 있다. B390 배합의 시험결과를 제외한 B430, B450 및 B470 배합의 V-funnel 통과시간은 각각 11초, 8초 및 5초로 JSCE기준인 20초 이내로 나타났다(Fig. 6). B390 배합은 유동성 측면에서 슬럼프 콘 플로우를 만족시키지만, V-funnel 유하시간은 만족시키지 못한다. 이 연구에서 사용한 결합재는 OPC 배합에 비해 상대적으로 높은 점성 때문으로 자기충전성능을 달성하기 위해서는 단위 결합재량을 420kg/m³이상으로, 굵은 골재의 부피비를 38% 이내로 추천될 수 있다.

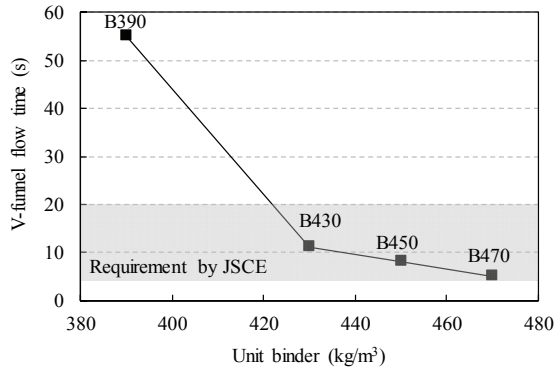


Fig. 6. Effect of the unit binder on V-funnel flow time

### 3.3 콘크리트 간극 충전성 시험 결과

U-box 장치를 이용한 콘크리트의 간극 충전성은 Fig. 7에 나타내었다. B390 배합은 콘크리트의 간극 충전성을 만족시키지 못했지만 B430, B450 및 B470 배합은 간극 충전성을 만족하였다. U-box 채움 높이 시험은 충전높이(300mm 이상)와 좌우 충전된 높이 차이(120mm 이하)로 간극 충전성을 평가한다. B430, B450 및 B470 배합의 충전높이는 각각 325mm, 320mm 및 330mm이었으며, U-box의 좌우 콘크리트의 높이 차는 모두 35mm 이하를 나타내었다. 즉, B430, B450 및 B470 배합은 JSCE(1999)의 간극 충전성을 만족하였다.

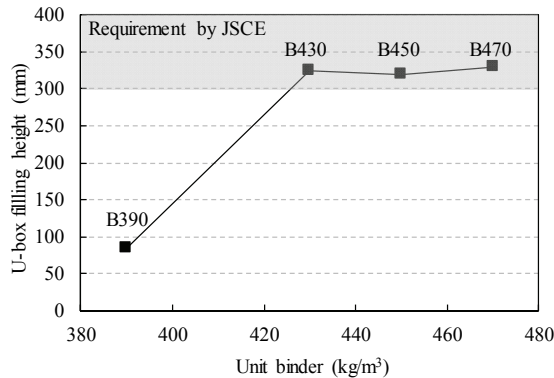
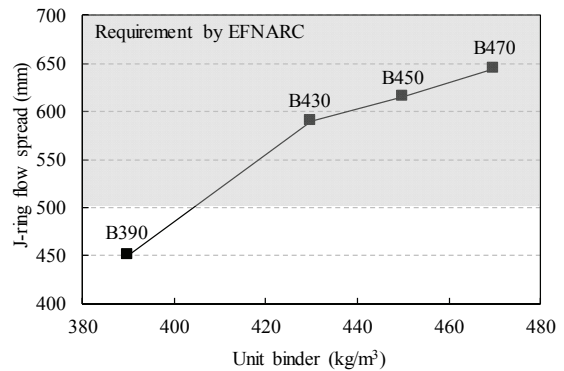


Fig. 7. Effect of the unit binder on U-box filling height

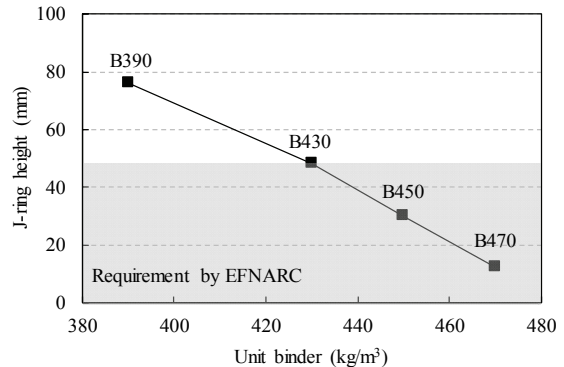
### 3.4 콘크리트 간극 통과성 시험 결과

간극 통과성 평가시험인 J-ring 시험결과는 Fig. 8에 나타내었다. 간극 통과성 시험에서도 B390 배합을 제외한 모든 배합에서 기준에 만족하는 것으로 나타났다. J-ring 시험은 간극통과성과 유동성을 동시에 평가 할 수 있는 시험방법으로 EFNARC(2002)에 따랐다. B390 배합의 J-ring 플로우와 높이는 각각 450mm 및 76mm로 EFNARC(2002)에 만족하지 못하였다. 반면 B430, B450

및 B470 배합의 J-ring 플로우 값은 각각 590mm, 615mm 및 645mm로이였으며, J-ring 높이 값은 각각 48mm, 30mm 및 12mm이었다. J-ring 시험에서도 B390 배합을 제외한 모든 배합에서 EFNARC(2002)의 성능을 만족하였다. J-ring 시험 결과는 V-funnel 과 U-box 시험 결과와 달리 시험 결과 값과 단위 결합재량의 관계가 거의 직선으로 매우 긴밀한 관계를 나타내었다. 이는 J-ring 시험이 다른 시험에 비해 현장에서 단위결합재량에 따른 콘크리트의 자기다짐 성능을 손쉽게 예측할 수 있음을 의미하기도 한다. 시험 결과 단위 결합재량이 많을수록 콘크리트 중 골재의 부피비는 감소하고, 이로 인해 콘크리트가 J-ring의 리브 사이를 통과할 수 있는 간극 통과성이 높아짐을 알 수 있다.



(a) J-ring flow spread



(b) J-ring height

Fig. 8. Effect of the unit binder on J-ring flow values and height

### 3.5 콘크리트 강도 시험결과

자기충전 콘크리트 배합의 재령별 압축강도 결과 및 할렬인장 강도는 Table 7에 나타내었으며 콘크리트의 응력-변형률 관계는 Fig. 9에 나타내었다. B390 배합의 재령 28일 압축강도 및 탄성계수는 각각 약 35,3MPa 및 26,157MPa이었으며, 재령 28일 대비

재령 3일과 7일의 압축강도 발현률은 약 41% 및 74%이었다. 모든 배합의 28일 압축강도, 탄성계수 및 압축강도 발현률은 단위 결합재 양에 의한 영향이 미미하였다. 이는 각 배합들의 물-결합재비가 동일하며, 결합재 대비 혼화제의 첨가량 비율도 차이가 크지 않기 때문이다. 재령 28일에 측정된 할렬 인장강도는 압축강도의 약 8.9~10.4% 수준이었다. 할렬 인장파괴면에서의 육안조사 결과 골재들은 시험체 높이를 따라 고르게 분포하였는데, 이는 재료 분리 현상이 미미함을 의미한다(Fig. 10).

Table 7. Summary of test results on hardened concrete

Mix. Code.	$f_{ck}$ (MPa)			$E_c$ (MPa)	$f_{sp}$ (MPa)
	3days	7days	28days		
B390	14.5	26.0	35.3	26157	3.15
B430	15.2	25.2	34.9	26189	3.28
B450	14.9	25.1	34.0	25979	3.61
B470	15.1	26.1	35.4	25328	3.67

Note]  $f_{ck}$ =Compressive strength,  $E_c$ =Modulus of elasticity,  $f_{sp}$ =Splitting tensile strength.

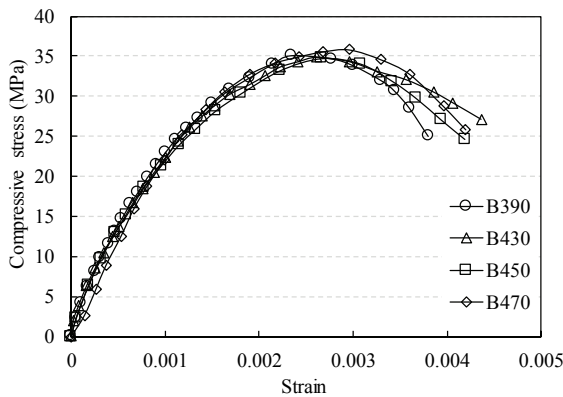


Fig. 9. Stress-strain curves of concrete

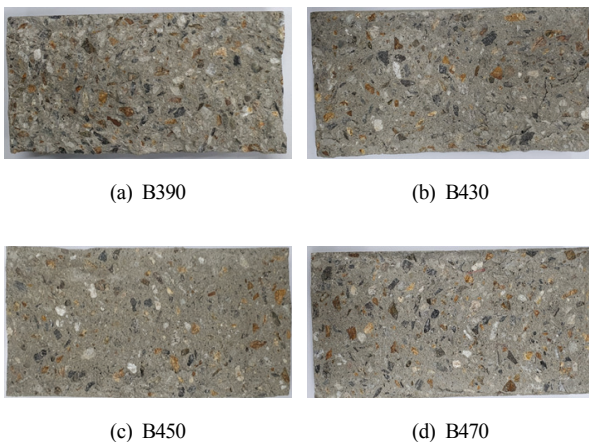


Fig. 10. Aggregate distribution observed in splitting failure planes

#### 4. 결론

1. 단면확대 보강용 콘크리트를 위해 개발된 결합재(OPC 85%, 초속경 시멘트 5%, 폴리머 10%)를 이용한 일반강도 콘크리트 배합 시 자기다짐 성능을 확보하기 위한 배합조건은 물-결합재비 38%에서 단위결합재량은 430~470kg/m<sup>3</sup>, 잔골재율은 40%~46% 수준이 추천될 수 있었다.
2. 위 조건으로 실시한 배합들은 일본토목학회 및 유럽통합기준의 자기충전 콘크리트의 물성 기준을 모두 만족했다.
3. 이 연구에서 사용된 결합재는 폴리머의 높은 점도로 인해 증점제를 따로 사용하지 않고서도 재료분리 저항성을 확보하는 것으로 나타났다.
4. 동일한 물-결합재 비에서 단위 결합재량을 증가(페이스트 부피비 증가)시키면, 점성이 증가 하지만, 단위수량도 증가하여 점성에 의한 유동성/간극 통과성 저하는 없는 것으로 나타났다.

#### Conflict of interest

None.

#### 감사의 글

이 연구는 과학기술정보통신부와 한국산업기술진흥협회의 학연 공동 기업부설연구소 연계 후속 연구개발 지원사업으로 수행된 연구결과임(KOITA-NET-20190310).

#### References

ACI Committee 237. (2007). Self-Consolidating Concrete(ACI 237R-07), American Concrete Institute, Michigan, US.

Assie, S., Escadeillas, G., Wallter, V. (2007). Estimates of self-compacting concrete 'potential' durability, Concrete Building Materials, **21(10)**, 1909-1917.

Choi, Y.W., Kim, Y.J., Kang, H.J. (2008). Mechanical properties of the high flowing self-compacting concrete for members of bridge overcrowded arrangement of bar, Journal of the Korea Concrete Institute, **20(2)**, 175-183 [In Korean].

EFNARC. (2002). Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete, EFNARC, Farnham, UK.

- JSCE, (1999). Standard Test Methods Self-Compacting Concrete, Concrete Engineering Series 31, JSCE, Tokyo, Japan.
- Khayat, K.H. (1999). Workability, testing and performance of self-consolidating concrete, *ACI Materials Journal*, **96(3)**, 346-353.
- Korean Agency for Technology and Standard(KATS). (2017). Standard Test Method for Compressive Strength of Concrete(KS F 2405), Korean Standard Association(KSA), Seoul, Korea [In Korean].
- Korean Agency for Technology and Standard(KATS). (2018). Concrete Aggregate(KS F 2527), Korean Standard Association (KSA), Seoul, Korea [In Korean].
- Korean Agency for Technology and Standard(KATS). (2015). Standard Test Method for Slump Flow of Fresh Concrete(KS F 2594), Korean Standard Association(KSA), Seoul, Korea [In Korean].
- Korean Agency for Technology and Standard(KATS). (2016). Portland Cement(KS L 5201), Korean Standard Association(KSA), Seoul, Korea [In Korean].
- Lee, K.I., Yoon, H.S., Yang, K.H. (2018). Compressive and adhesive strengths of mortars using re-emulsification type polymer and ultra-rapid-hardening cement, *Journal of Korea Institute of Building Construction*, **18(4)**, 329-335 [In Korean].
- Okamura, H. (1999). Self-Compacting High Performance Concrete, Tokyo Social System Institute, Japan.
- Poppe, A.M., Schutter, G.D. (2005). Cement hydration in the present of high filler contents, *Cement Concrete Research*, **35(12)**, 2290-2299.
- Song, K.I., Shin, K.S., Gong, M.H., Song, J.K. (2013). Basic research of self compacting concrete using alkali-activated slag binder, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **25(6)**, 657-665 [In Korean].
- Topcu, I.B., Uygunoglu, T. (2010). Effect of aggregate type on properties of hardened self consolidating lightweight concrete (SCLC), *Construction and Building Materials*, **24**, 1286-1295.
- Ye, G., Liu, X., De Schutter, G., Poppe, A.M., Taerwe, L. (2007). Influence of limestone powder used as filler in SCC on hydration and microstructure of cement paste, *Cement Concrete Composites*, **29(2)**, 94-102.
- Tukmen, I. (2003). Influence of different curing conditions on the physical and mechanical properties of concretes with admixtures of silica fume and blast furnace slag, *Materials Letters*, **57(29)**, 4560-4569.

### 단면확대 보강 적용을 위한 콘크리트의 자기충전 성능 평가

이 연구의 목적은 단면확대 보강을 위해 개발된 폴리머와 초속경 시멘트를 혼입한 콘크리트의 자기 충전성 확보를 위한 배합상세 수정이다. 보강용 콘크리트의 자기충전성은 일본토목학회(JSCE 1999)와 유럽통합기준(EFNARC 2002)에서 제시된 자기충전 콘크리트의 굳기 전 물성시험 및 성능기준을 통해 평가하였다. 실험결과, 동일한 물-결합재 비에서 단위 결합재양을 증가(페이스트 부피비 증가)시키면, 점성이 증가 하지만, 단위수량도 증가하여 점성에 의한 유동성 저하는 없었다. 단면확대 보강용 콘크리트를 위해 개발된 결합재를 이용한 일반강도 콘크리트 배합 시 자기다짐 성능을 확보하기 위한 배합조건은 물-결합재비 38%에서 단위결합재양은 430kg/m<sup>3</sup>~470kg/m<sup>3</sup>, 잔골재율은 40%~46% 수준이 추천될 수 있었다.