

# 배합요인이 자기충전 콘크리트의 워커빌리티 및 레올로지 파라미터에 미치는 영향 분석

## Effect Analysis of Mix Designing Factors on Workability and Rheological Parameters of Self-Compacting Concrete

윤 섭<sup>1\*</sup>

한 민 철<sup>2</sup>

Yoon, Seob<sup>1\*</sup> Han, Min-Cheol<sup>2</sup>

*R&D Center, Sampyo Industry, Gwangju, Gyeonggi-do 12768, Korea <sup>1</sup>*

*Department of Architectural Engineering, Cheongju University, Naduk-Dong, Cheongju-Si, 28503, Korea <sup>2</sup>*

### Abstract

The objective of the paper is to investigate the effect of mix designing factors on the workability and rheological parameters of self compacting concrete in order to facilitate the difficulties of quality control of high sensitivity of SCC. Mix proportions of SCC were prepared with various conditions of coarse, and fine aggregate, and unit water content, and the SCC mixtures were tested on workability, rheological properties to provide basic data for quantitative evaluation. Test results indicated that the yield stress of SCC decreased with increasing the coarse aggregate volume ratio, and increased with increasing the amount of VMA. However, unit water content, fine aggregate type, and air content didn't affect the yield stress value. The plastic viscosity according to the mixing factors showed a similar tendency to the yield stress. In addition, there was no correlation between yield stress and workability (flow, T50, V-lot). However, there was closely correlation among plastic viscosity and T50 and V-lot. Especially, T50 and V-lot time decreased with decreasing plastic viscosity

Keywords : SCC(self-compacting concrete), rheology. slump flow, yield stress, plastic viscosity

### 1. 서 론

최근 건설업계에서는 레미콘 믹싱트럭의 운행시간 제한으로(속칭 8/5제) 인해 생산성 문제에 직면하고 있다. 믹서트럭의 운행시간 제한(오전 8시~오후 5시 타설)은 제한된 시간에 많은 양의 콘크리트를 타설하여야 하기 때문에 다짐 불량, 양생 시간 부족 등의 문제로 인해 콘크리트 품질에 악영향을 미친다.

이러한 생산성 향상 문제를 해결하기 위하여 해외의 많은

국가들은 자기충전 콘크리트(Self-Compacting Concrete, 이하 SCC)를 적극적으로 도입하고 있으며, 관련 연구도 1960년대 이래로 꾸준히 이루어지고 있다[1]. 하지만 우리나라에서는 특수건축물의 기초나 초고층 부위에 타설하기 위해서만 SCC가 사용되고 있을 뿐, 일반적인 건축물에서는 대부분이 슬럼프(120~180mm) 형태의 콘크리트가 사용되고 있다.

SCC는 별도의 다짐 작업 없이 콘크리트의 자중에 의해서 채워지는 고성능 콘크리트를 말한다. SCC는 일반 콘크리트에 비하여 충전성, 통과성, 재료분리 저항성의 3가지 성능을 동시에 만족하여야만 한다[2]. 특히, SCC는 굵은 골재, 잔골재의 함수율, 입도, 굵은 골재 부피, 잔골재의 종류(세척사, 부순모래 등)등의 원재료 품질 뿐만 아니라 단위수량, 분체, 페이스트, 모르타르의 부피 및 공기량, 증점제의 사용 유무,

Received : February 5, 2018

Revision received : March 19, 2018

Accepted : April 2, 2018

\* Corresponding author : Yoon, Seob

[Tel: 82-2-476-5483, E-mail: lovefdc@hanmail.net]

©2018 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

증점제 사용량이 SCC의 워커빌리티, 내구성에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다[3,4,5,6]. 이러한 다양한 배합요인에 의한 SCC의 민감성은 SCC가 대량으로 공장 생산하는데 한계로 작용하고 있으며, 우리나라의 공사 감독자가 SCC 품질을 신뢰할 수 없는 이유이기도 하다. 즉, SCC를 건설 현장에서 더욱 적극적으로 적용하기 위해서는 SCC의 비용 문제(일반 콘크리트보다 고가)보다 우선적으로 품질에 대한 신뢰성을 높이는 것이 중요하다.

그러므로 본 연구에서는 굵은 골재의 부피, 잔골재의 종류, 단위수량, 공기량, 증점제 사용량에 따른 굳지 않은 콘크리트의 워커빌리티, 즉 슬럼프 플로, 슬럼프 플로 500mm 도달시간(이하 T<sub>50</sub>), V-lot 유하시간(이하 V-lot), U-box 및 항복응력 및 소성 점도를 측정하여 콘크리트 초기 특성을 정량적으로 판단할 수 있는 기초 자료를 제공함으로써, SCC의 효율적인 품질관리에 기여하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구에서는 설계기준 강도 40MPa 기준으로 배합요인에 따른 SCC 특성을 파악하고자 분체량을 480kg/m<sup>3</sup>(고로 슬래그 미분말 46% 치환)으로 고정하였다.

먼저, 실험요인으로는 굵은 골재의 용적률을 28, 30, 32%(3수준)와 단위수량을 170, 180, 190kg/m<sup>3</sup>(3수준)으로 변화시켰고, 잔골재 종류별 혼입비율(부순모래:세척사)

은 7:3, 5:5, 3:7(3수준)으로 정하였고, 공기량 변수로는 2, 4, 6%(3수준), 증점제 혼입률은 0, 3, 4%(3수준)로 변화를 주어 총 15수준으로 실험계획하였다. 이때, 목표 슬럼프 플로는 600~700mm로 계획하였으며, 목표 슬럼프 플로를 만족하도록 고성능 감수제의 사용량을 변화시켜서 배합설계하였다.

평가항목으로는 슬럼프 플로, T<sub>50</sub>, V-lot, U-box를 측정하여 굳지 않은 콘크리트의 기초적 특성을 평가하였고, 레올로지 특성으로 항복응력 및 소성 점도를 측정하여 콘크리트의 작업성을 정량화 하려고 하였다. 본 연구의 실험계획은 Table 1에 나타내었고 해당 배합표는 Table 2에 표현하였다.

Table 1. Experiment factor and tests

	Items	Variables
Experiment Factors	Binder(kg/m <sup>3</sup> )	480
	Gv(vol*%)	28, 30, 32
	Water(kg/m <sup>3</sup> )	170, 180, 190
	Sand type ratio (crush : sea)	7:3, 5:5, 3:7
	Air content(vol*%)	2, 4, 6
	VMA(AD*%)	0, 3, 4
Tests	Slump flow(mm)	Fresh Concrete
	T50(sec)	
	V-lot(sec)	
	U-box(mm)	
	Yield stress(Pa)	
	Viscosity(Pa.s)	

Table 2. Mixture proportion of concrete

Mix Type	Mix ID	W/B (%)	Gv (%)	Unit weight(kg/m <sup>3</sup> )					SP (B*%)	VMA (SP*%)
				W	Binder	CS	SS	G		
Coarse aggregate	Gv-28	35.4	28	170	480	689	291	765	1.10	3
	Gv-30	35.4	30	170	480	652	275	820	1.03	3
	Gv-32	35.4	32	170	480	615	260	873	1.08	3
Water	W-170	35.4	30	170	480	652	275	820	1.03	3
	W-180	37.5	30	180	480	642	271	807	1.00	3
	W-190	39.6	30	190	480	632	267	795	0.90	3
Sand	CS-7	37.5	30	180	480	642	271	799	1.00	3
	CS-5	37.5	30	180	480	458	451	799	1.00	3
	CS-3	37.5	30	180	480	275	632	799	1.10	3
Air	Air-2	37.5	30	180	480	642	271	799	1.00	3
	Air-4	37.5	30	180	480	642	271	799	1.00	3
	Air-6	37.5	30	180	480	642	271	799	1.00	3
VMA	VMA-0	37.5	30	180	480	642	271	799	0.90	0
	VMA-3	37.5	30	180	480	642	271	799	1.00	3
	VMA-4	37.5	30	180	480	642	271	799	1.10	4

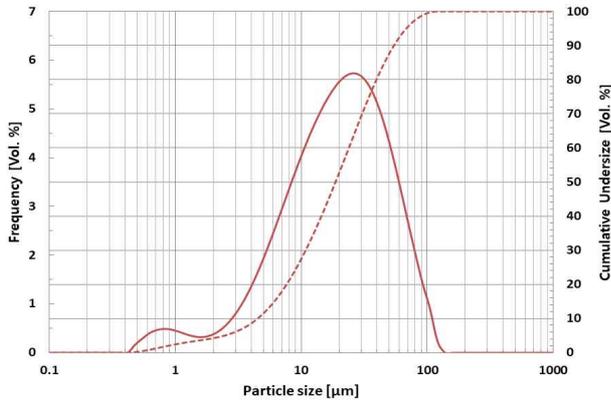


Figure 1. Particle size distribution of cement

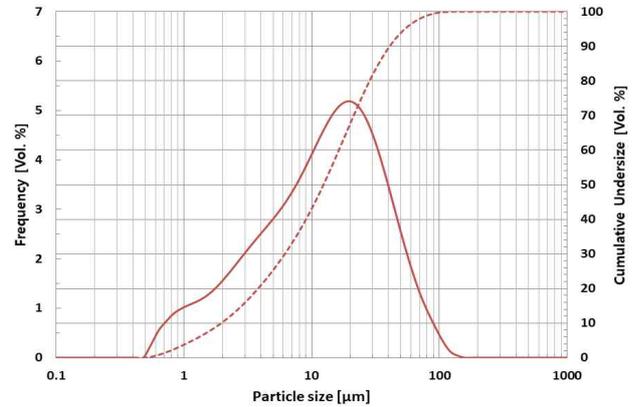


Figure 2. Particle size distribution of blast furnace slag powder

## 2.2 사용재료

### 2.2.1 시멘트

본 연구에 사용한 시멘트는 국내 S사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였는데, 그 물리적 특성 및 화학성분은 Table 3과 같다. 입도분포는 입도 분석기를 활용하여 측정하였다. 입도분포곡선은 Figure 1에 나타내었다.

Table 3. Physical and chemical properties of cements

Physical Properties	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Fineness (cm <sup>2</sup> /g)	Setting time		Compressive strength(MPa)			
			Initial (min)	Final (hr)	3days	7days	28days	
	3.15	3,387	240	5:00	31.3	42.2	54.6	
Chemical composition	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
	19.8	5.2	3.3	62.8	2.1	2.6	1.1	0.1

Table 4. Physical properties of ground granulated blast furnace slag powder

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Fineness (cm <sup>2</sup> /g)	Activity	Factor(%)	Flow ratio (%)
		7day	28day	
2.91	4,014	56	89	110

### 2.2.2 고로슬래그 미분말

고로슬래그 미분말은 국내 S사의 3종 고로슬래그 미분말을 사용하였는데, 이에 대한 물리·화학적 특성은 Table 4와 같고 입도 분포는 Figure 2와 같다.

### 2.2.3 골재

굵은 골재는 경기도 화성 지역의 최대치수 20mm 부순 골재를 사용하였고 잔골재는 최대치수 5mm의 KS 석산(경기도 화성 소재)의 부순 모래와 인천지역의 세척사를 혼합사용 하였다. 각각의 물리적 성질은 Table 5와 같다.

Table 5. Physical properties of aggregates

Aggregates	Density (g/cm <sup>3</sup> )	F.M.	Absorption(%)	
Fine aggregate	Crushed	2.65	3.18	1.43
	Sea	2.61	2.08	0.99
Coarse aggregate	2.67	6.76	0.78	

### 2.2.4 혼화제

본 연구에 사용된 고성능 감수제는 폴리카본산계를 사용하였고 밀도는 1.06g/cm<sup>3</sup>이다. 증점제(VMA)는 MC계를 사용하였는데, 밀도는 1.00g/cm<sup>3</sup>이고 고형분량은 5%로 희석하여 사용하였다.

## 2.3 실험방법

SCC의 슬럼프 플로는 KS F 2594에 따라 측정하였는데, 슬럼프 플로의 형상을 보고 재료분리 유무를 판단하였다. T<sub>50</sub>은 슬럼프 플로 측정 중 슬럼프 플로우가 500mm 도달할 때의 시간을 측정한 것이다.

V-lot 유하시험은 KSCE 2003-03의 “갈대기를 사용한 유하 시험방법”에 따라 실시하였는데 실험기구는 Figure 3과 같다. U-Box 충전성 시험은 KSCE 2003-01 “충전장치를 이용한 간극 통과성 시험방법”에 따라 실시하였다.



Figure 3. V-lot test



Figure 4. ICAR rheometer

레올로지 측정은 Figure 4과 같이 ICAR Rheometer를 사용하여 측정하였다. ICAR Rheometer는 정적 상태의 항복응력과 동적 상태의 소성 점도를 동시에 측정할 수 있는 시험기구이다. 측정방법은 직경 286mm인 용기에 배합 완료된 콘크리트를 300mm 높이까지 채운다. 이어서 날개판(직경, 높이 127mm)을 용기 중앙 콘크리트 속에 배치하고 콘크리트의 점도를 일정하게 유지하기 위해 약 20초 동안 0.5rev/s의 속도로 회전시킨 후 30초 동안 회전 속도를 0.5rev/s에서 0.05rev/s까지 감소시켜가며 날개판에서 발생하는 비틀림 모멘트 값을 5초마다 총 7회 측정한다. 측정된 값을 직선 회귀하여 얻어지는 직선 기울기로부터 소성점도를 산출하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 슬럼프 플로

본 연구는 슬럼프 플로 600~700mm 범위를 만족시키기 위하여 고성능 감수제 사용량을 조절하여 배합설계하였다. Figure 5는 배합요인에 따른 슬럼프 플로와 고성능감수제 사용량을 나타낸 것이다.

실험결과, 굵은 골재 용적을 증가에 따른 고성능 감수제 사용량은 큰 차이가 없었지만 슬럼프플로는 목표 값 이내에서 잔골재의 부피 저하로 인해 약간 증가하였다. 단위수량 증가에 따른 고성능 감수제의 사용량은 단위수량이 증가할수록 고성능 감수제 사용량이 감소하는 것으로 나타났다. 부순모래와 세척사의 비율에 따라서는 조립율이 낮은 세척사가 증가할수록 잔골재의 비표면적 증가로 인해 고성능 감수제의 사용량이 증가하였는데, 공기량 증가에 따른 고성능 감수제 사용량은 동일하게 사용되었으나, 슬럼프 플로값이

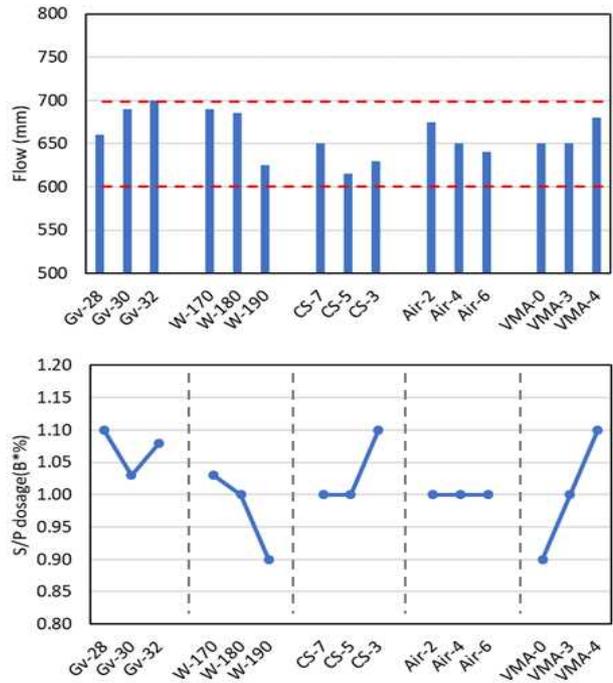


Figure 5. Slump flow and S/P dosage for each mixture

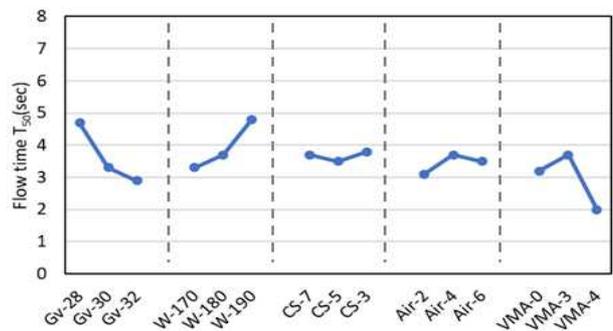


Figure 6. T50 Flow time according to mix designing factors

675mm에서 640mm으로 낮아지는 것을 알 수 있었다. 이는 고유동을 발휘하기 위해서는 일정 수준 이상의 점도가 필요한데 공기량이 증가함에 따라 콘크리트의 점도가 낮아졌기 때문인 것으로 판단된다.

증점제 사용량 증가에 따른 고성능 감수제 사용량은 증점제의 응집력으로 인해 동일 유동성을 만족시키기 위하여 그 사용량이 증가하는 것으로 나타났다.

#### 3.2 T50

T50은 굳지 않은 콘크리트의 점도를 간접적으로 측정할 수 있는 방법으로 콘크리트 표준시방서에서는 3~20초 범위를 제시하고 있으며, ACI에서는 '2초 이내이면 점도 낮고

5초 이상이면 점도가 높다' 라고 표현하고 있다.

Figure 6은 배합 요인에 따른  $T_{50}$ 을 나타낸 것이다. 실험 결과, 굵은 골재 용적율이 28, 30, 32% 증가할수록  $T_{50}$ 은 4.7, 3.3, 2.9초로 빨라지는 것으로 나타났다. 이는 목표 슬럼프 플로 범위내에서 슬럼프 플로가 굵은 골재 용적율이 증가할수록 증가한 것과 굵은 골재의 용적율이 높아질수록 콘크리트를 이루고 있는 입자들의 비표면적이 낮아졌기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 단위수량 증가에 따른  $T_{50}$ 은 단위수량이 증가할수록 동일 유동성을 만족하기 위해 고성능 감수제량의 사용량이 줄어든 영향으로 인하여  $T_{50}$ 이 3.3초에서 4.8초로 증가하는 것으로 나타났다. 동일 유동성에서는  $T_{50}$ 을 단축시키기 위해서 단위수량 증가보다 고성능 감수제 사용량 증가가 더 유리한 것으로 판단된다. 잔골재 종류별 혼입비율에 따라서는 큰 차이가 발생하지 않았다. 또한, 공기량 증가에 의해서도 의미있는 차이를 발견할 수 없었다.

증점제 사용량에 따른  $T_{50}$ 은 증점제 사용량 4%에서  $T_{50}$  2초로 가장 빠르게 나타났다. 고유동 콘크리트에 증점제를 사용하게 되면 유동성이 줄어들고 점성이 높아져 재료분리 저항성이 증가된다. 본 연구와 같이 목표 슬럼프 플로를 만족시키기 위해 고성능 감수제 사용량을 증가시키게 되면 증점제를 사용하지 않은 배합보다 더 많은 고성능 감수제 사용량이 필요하게 되고 많아진 고성능 감수제로 인하여 콘크리트의 점성이 낮아져  $T_{50}$ 도 빨라지는 것으로 판단된다.

### 3.3 V-lot

V-lot는 고유동 콘크리트에서 점성이 높으면 늦어지고 점성이 낮아지면 빨라진다. 또한 재료분리가 발생하면 굵은 골재가 V-lot 시험 기구의 토출구를 막아 유하시간이 늦어지는 경향이 있다. 이러한 이유로 펌프압송성을 간접적으로 평가하거나 재료분리 저항성을 평가하는 척도로 사용되기도 한다.

Figure 7은 배합요인에 따른 V-lot 유하시간을 나타낸 것이다. 배합설계 시 재료분리가 발생하지 않도록 고성능 감수제의 사용량을 조절하였기 때문에 모든 배합에서  $T_{50}$ 과 유사한 경향을 나타내었다. 특히, 증점제 4%를 사용한 배합의 경우 V-lot 4초로 가장 빠르게 측정되었다. 이는 증점제로 사용량 증가로 인해 고성능 감수제의 사용량이 증가하여 콘크리트의 흐름성이 높아지고 소성 점도가 저하하였기 때문인 것으로 판단된다.

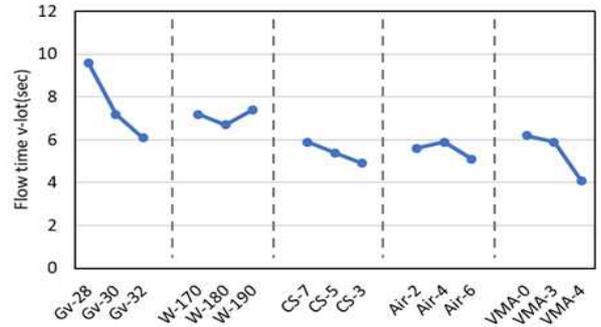


Figure 7. V-lot Flow time according to mix designing factors

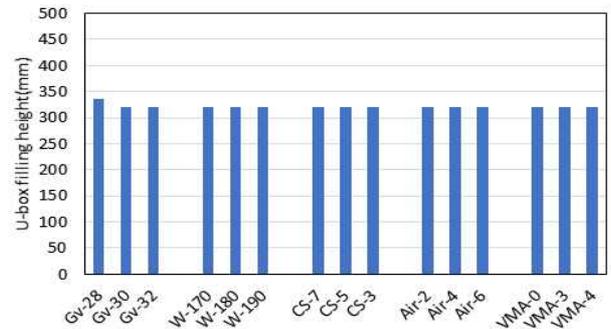


Figure 8. U-box filling height according to mix designing factors

### 3.4 U-box

U-box 충전 높이 시험은 콘크리트를 다짐하지 않은 상태에서 철근 사이를 통과하여 수직으로 채워지는 특성 평가하는 것이다.

Figure 8은 본 연구의 배합 요인에 따른 U-box 충전 높이를 나타내었다. 목표 슬럼프 플로 600~700mm를 만족하도록 모든 배합을 설계하였기 때문에 배합 요인에 관계 없이 양호한 충전성(320mm 이상)을 나타내었다. U-box 충전성 시험의 경우, 육안상 재료분리가 관찰되지 않았다면, 본 연구와 같이 일정 수준이상의 유동성 갖출 경우, 큰 의미를 찾기 어려운 것으로 판단된다.

### 3.5 레올로지 특성

Figure 9는 배합요인이 굳지 않은 콘크리트의 항복응력에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 항복응력은 레올로지의 정수 중 하나로 굳지 않은 콘크리트가 흐르기 시작하기 위한 최소한의 응력을 나타낸 것으로 타설 후 콘크리트 표면상태와 영향이 깊은 것으로 알려져 있다.

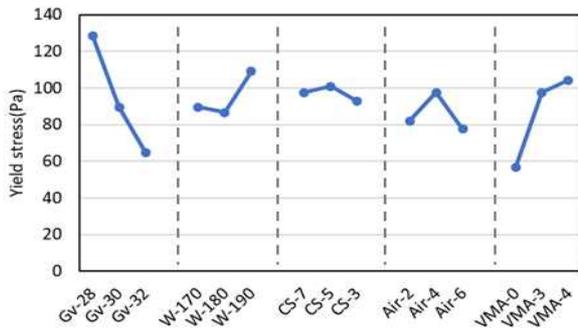


Figure 9. Yield stress of concrete according to mix designing factors

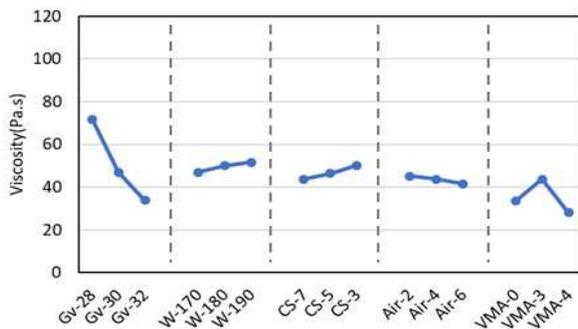


Figure 10. Viscosity of concrete according to mix designing factors

실험결과, 굵은 골재 용적을 30%, 분체량  $480\text{kg/m}^3$ , 증점제 3%로 배합설계한 배합들의 경우 70~90 Pa 항복응력을 나타내었다. 이는 Nielsson과 Wallevik가 제안한 self-compacting zone 보다 높은 값[8]으로, 콘크리트 타설 후 양호한 채움성능을 얻기 위해서는 항복 응력 값을 좀 더 낮추어야 할 것으로 판단된다.

항복 응력 값은 공기량, 잔골재 종류에 따른 사용량 변화(즉, 조립율 조절) 및 단위수량 조정(본 연구 범위에서는  $20\text{kg/m}^3$  범위만 조정됨)만으로는 큰 변화를 발견할 수 없었다. 하지만 굵은 골재 용적을 변화(28, 30, 32%)에 대한 항복응력의 변동 폭은 약 70 Pa으로 매우 큰 것을 알 수 있었으며, 증점제 사용량에 따른 항복응력 변동 값도 약 40 Pa로 SCC 품질관리에 매우 중요한 요인임을 알 수 있었다. 이에 SCC를 공장에서 생산 시 굵은 골재 용적률 및 증점제 사용량에 대한 고려가 충분히 있어야 할 것으로 판단된다.

Figure 10은 배합요인이 굳지 않은 콘크리트의 점도에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 점도는 흐르기 시작한 굳지 않은 콘크리트를 동일 속도로 흐르기 위한 에너지를 나타낸

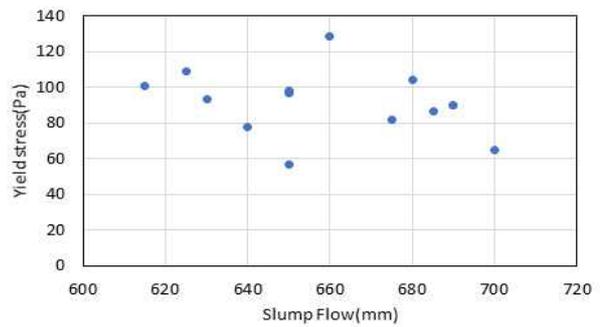


Figure 11. Relationship between slump flow and yield stress

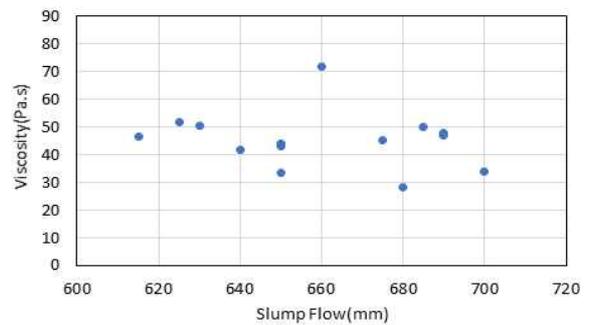


Figure 12. Relationship between slump flow and viscosity

것이다. 타설 중 콘크리트 채움성, 시공성에 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있다.

실험결과, 일부 배합을 제외하고 점도가 40~50 Pa.s 범위로 Nielsson과 Wallevik가 제안한 self-compacting zone를 만족시키는 것으로 나타났고 굵은 골재 용적률 및 증점제 사용량 변화에 따라서 20~30 Pa.s 정도로 낮은 점도를 발휘하는 것으로 나타났지만 기타 배합요인에 의한 차이는 크지 않았다.

Figure 11~16은 슬럼프 플로,  $T_{50}$ , V-lot과 항복응력 및 소성 점도의 관계를 나타낸 그래프이다. 먼저, 슬럼프 플로와 항복응력, 점도와의 상관관계(Figure 11, 12)는 슬럼프 플로 600~700mm 범위에서 찾아볼 수 없었다. 하지만 R.zerbino의 기존 연구[8]를 보면, 슬럼프 플로 범위 400~800mm에서는 항복응력과 상관관계가 있는 것을 알 수 있는 반면, 본 연구에서 그 상관성을 발견할 수 없었다. 그 이유는 목표 슬럼프 플로 범위가 600~700mm로 작기 때문인 것으로 판단된다.

Figure 13은  $T_{50}$ 과 항복응력 간의 상관관계를 나타낸 것이고 Figure 15는 V-lot와 항복응력 간의 상관관계를 나타낸 것이다. 그림과 같이 항복응력과  $T_{50}$ , V-lot와의 상관성

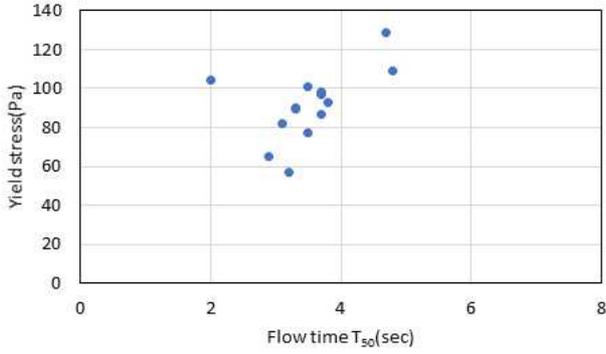


Figure 13. Relationship between flow time  $T_{50}$  and yield stress

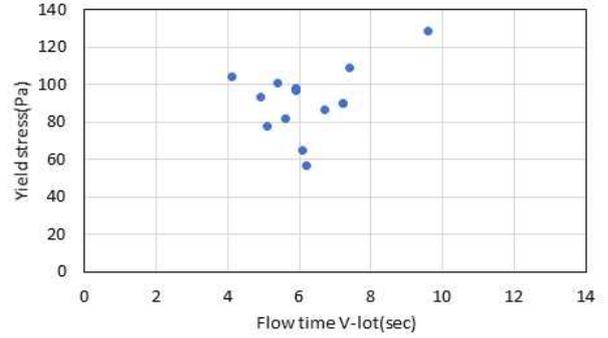


Figure 15. Relationship between V-lot and yield stress

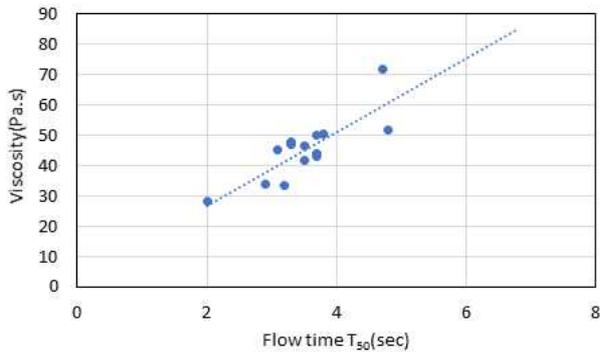


Figure 14. Relationship between flow time  $T_{50}$  and viscosity

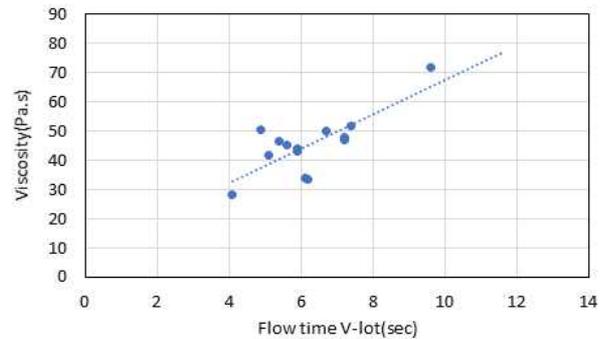


Figure 16. Relationship between V-lot and viscosity

은 없는 것으로 알 수 있었다. 앞서서도 언급했듯이 항복응력은 콘크리트가 흐르기 시작할 때의 최소한의 응력이므로 두가지 측정 방법의 원리상 유동성 상태에서 측정하므로 항복응력과와의 관계가 적은 것으로 판단된다.

또한 Figure 14는  $T_{50}$ 과 소성 점도와의 관계를 나타낸 것이고, Figure 16은 V-lot과 소성 점도와의 관계를 나타낸 것이다.

$$\text{Viscosity} = 12,148 \times T_{50} + 2,372 \quad R^2 = 0.67 \quad \text{--- (1)}$$

$$\text{Viscosity} = 5,8512 \times V\text{-lot} + 8,858 \quad R^2 = 0.59 \quad \text{--- (2)}$$

식 (1)과 같은  $T_{50}$ 과 소성 점도와 식 (2)와 같이 V-lot와 소성 점도는 어느 정도 상관성이 있는 것으로 분석되었다. 이와 같이 콘크리트의 흐름성을 평가하는  $T_{50}$ 과 콘크리트의 통과성을 평가하는 V-lot가 콘크리트의 소성 점도와 일정부분 상관관계가 있기 때문에 고가의 레올로지 시험기구가 없는 건설 현장의 경우,  $T_{50}$ 은 2~4초, V-lot 4~6초 범위로 관리하면 Nielsson과 Wallevik가 제안한 self-compacting zone를 만족시킬 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 SCC 대량 생산 시 SCC의 민감성으로 인한 품질관리에 어려움을 극복하고자 굵은 골재의 부피, 잔골재의 종류, 단위수량, 공기량, 증점제 사용량 변화 등과 같은 다양한 배합요인이 SCC 특성에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 이를 위해 각 배합 요인에 따른 슬럼프 플로,  $T_{50}$ , V-lot, U-box 및 항복응력, 소성 점도 변화를 측정하고 분석하여 SCC의 초기 물성을 정량적으로 판단할 수 있는 정보를 제공하고자 하였는데, 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

배합요인 변화에 따른 슬럼프 플로는 굵은 골재 용적율이 증가할수록 증가하였고 단위수량 증가에 따른 고성능 감수제 사용량은 감소하는 것으로 나타났다. 증점제 사용량 증가에 따른 고성능 감수제 사용은 증점제의 응집력으로 인해 증가하였다.

$T_{50}$ 의 경우, 굵은 골재 용적율이 증가할수록 빨라졌으며, 단위수량 증가에 따라서는 오히려 늦어지는 것으로 나타났다. 공기량 변화는  $T_{50}$ 에 큰 영향을 주지 못하였다. 가장 빠른  $T_{50}$ 을 발휘한 배합 요인은 증점제 4%로  $T_{50}$ 이 2초로

측정되었다.

V-lot의 경우,  $T_{50}$ 과 유사한 특성을 나타냈는데, 증점제 4%에서 V-lot 4초로 가장 빠르게 측정되었다.

U-box의 경우, 모든 배합에서 목표 슬럼프 플로 600~700mm을 만족하였기 때문에 양호한 충전성을 나타내었다.

레올로지 특성으로, 먼저 항복응력은 굵은 골재 용적율이 증가할수록 낮아졌고, 증점제 사용량이 증가할수록 항복응력도 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 단위수량, 잔골재 종류 변화, 공기량 증감에 따른 항복응력 값의 변화는 없는 것으로 나타났다. 배합요인에 따른 소성 점도는 항복응력과 비슷한 경향을 나타냈다. 항복응력과 flow,  $T_{50}$ , V-lot와의 상관성은 없는 것으로 나타났으며, 소성 점도와  $T_{50}$ , V-lot와의 상관성은 매우 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났는데,  $T_{50}$  및 V-lot 시간이 줄어들수록 소성 점도도 낮아지는 것을 알 수 있었다.

## 요 약

본 연구에서는 SCC의 높은 민감성으로 인한 품질관리에 어려움을 극복하고자 굵은 골재의 부피, 잔골재의 종류, 단위수량, 공기량, 증점제 사용량 변화 등과 같은 다양한 배합요인이 SCC 특성에 미치는 영향을 분석하여 SCC의 초기 물성을 정량적으로 판단할 수 있는 기초자료를 제공하고자 하였다. 실험결과, 항복응력은 굵은 골재 용적율이 증가할수록 낮아졌고 증점제 사용량이 증가할수록 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 단위수량, 잔골재 종류 변화, 공기량 증감에 따른 항복응력값의 변화는 없는 것으로 나타났다. 배합요인에 따른 소성 점도는 항복응력과 비슷한 경향을 나타냈다. 또한 항복응력과 슬럼프 플로,  $T_{50}$ , V-lot와의 상관성 분석 결과, 상관관계가 없었고 소성 점도와  $T_{50}$ , V-lot와의 상관성은 매우 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났는데, 특히,  $T_{50}$  및 V-lot 시간이 줄어들수록 소성 점도도 낮아지는 것을 알 수 있었다.

**키워드** : 자기충전 콘크리트, 레올로지, 슬럼프 플로, 항복응력, 소성 점도

## References

1. European Project Group. The european guidelines for

self-compacting concrete EFNARC, UK, 2005 May.

2. Shen L, Jovein HB, Shen S, Li M. Effects of aggregate properties and concrete rheology on stability robustness of self-consolidating concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2014 Oct;27(5):1-10.
3. Abdelhamid R, Mongi Ben O, Mohamed A, Elhem G. Incorporation of crushed sands and tunisian desert sands in the composition of self compacting concrete part II :SCC fresh and hardened states characteristics. *Concrete Structures and Materials*. 2013;3(1):3-9.
4. Ryo J, Lee Y, Jeon J, Jeon C. An experimental study on the self-consolidating concrete with EP nylon fiber. *Journal of the Korea institute of Building construction*. 2011 Jun 20;15(1):159-68.
5. Kwon Y. Optimum mix proportion and characteristics of the combined self compacting concrete according to cement types. *Journal of the Korea Concrete Institute*. 2009 Mar 20;21(1):55-64.
6. Kwon S, Tri P, Kim J. Experiment for verification of prediction model for SCC formwork pressure. *Journal of the Korea Concrete Institute*. 2009 May;21(1):217-8.
7. Kwan A, Ng I. Optimum superplasticizer dosage and aggregate proportions for SCC. *Magazine of Concrete Research*. 2009;61(4):281-92.
8. Zerbino R, Barragan B, Garcia T, Agullo L, Gettu R. Workability tests and rheological parameters in self-compacting concrete. *Materials and Structures*. 2008;42(7):947-60.