

골재 채움율과 잔골재 용적비를 고려한 자기충전형 콘크리트의 최적배합

Optimum Mixture Proportion of Self-Compacting Concrete Considering Packing Factor of Aggregate and Fine Aggregate Volume Ratio

최연왕* 정문영** 정지승*** 문대중**** 안성일*****
Yun-Wang Choi Moon-Young Jung Jee-Seung Chung Dae-Joong Moon Sung-Il An

ABSTRACT

In Powder-System, SCC demands high dosage of superplasticizer and a large amount of powder for suitable fluidity and viscosity. Okamura's method of most representative mixing design method in SCC of Powder-System is unfavorable economically because of using a large amount of powder. In addition, many ready-mixed concrete plants do not use his mix design method and procedure due to complexity for practical application. Therefore, Nan Su proposed more simple mix design method than Okamura's. It had an advantage in simplicity in practical application and required a smaller amount of powders compared with Okamura's method. This paper proposed an optimal mixture proportion of SCC with consideration of Nan Su's method. The new and modified mix design method required a smaller amount of powder than that of Nan Su's. To check the properties of SCC, considered with the requirements specified by the Japanese Society of Civil Engineering(JSCE)

1.서론

최근 콘크리트 구조물이 고층화, 대형화 및 특수화됨에 따라 부재의 형상이 다양하고 복잡해지고 있어 신기술·신공법에 의한 합리화가 요구되어지고 있다. 이미 선진국뿐만 아니라 국내에서도 시공의 효율성 및 품질향상을 고려한 새로운 콘크리트의 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.⁽¹⁾ 특히 유동성을 크게 증대시킨 자기충전 콘크리트(Self-Compacting Concrete:이하 SCC로 약함)는 1986년 일본의 Okamura 교수에 의해 제시된 이후 콘크리트에 대한 기존의 고정관념을 뛰어넘는 획기적인 재료로 각광을 받고 있으며, 또한 1993년 Okamura교수는 SCC의 배합설계방법을 제안하여 그에 따라 일본의 건설회사 및 대학연구소에서 실용화를 위한 지속적인 연구 및 현장시공도 이루어지고 있는 실정이다.⁽²⁾

SCC는 굳지 않은 상태에서 유동성과 재료분리에 대한 저항성이 우수하며, 별도의 다짐작업 없이 콘크리트 자중만으로도 복잡한 구조물을 용이하게 충전시키는 특성을 가지고 있다. 한편 SCC의 유동성 및 충전성을 증대시키는 방법으로는 분체계, 증점계, 분체계와 증점계를 동시에 사용하는 병용계의 경

* 정회원, 세명대학교 토목공학과 부교수

** 정회원, 세명대학교 자원환경공학과 부교수

*** 정회원, 동양대학교 지구환경시스템 공학과 전임강사

**** 정회원, 세명대학교 토목공학과 강사

***** 정회원, 세명대학교 토목공학과 석사과정

우로 구분된다. 일반적으로 많이 사용되고 있는 분체계 방법은 레미콘의 유동성 확보를 위한 다량의 SP제의 투입과 재료분리 저항성을 확보하기 위해 많은 양의 분체를 투입함에 따라 제조비용의 상승이 발생하는 문제점이 있다.⁽³⁾ 특히 기존의 Okamura교수가 제시한 배합설계방법⁽⁴⁾은 일반 레미콘 공장에서 제조하는데 있어 배합방법이 까다롭고 복잡하므로, 이를 극복하기 위하여 Nan Su⁽⁵⁾는 배합설계가 용이하며, Okamura교수의 배합방법보다 분체량을 감소시킬 수 있는 Simple Mix Design Method(이하 SDM이라 약함)를 제안하였다.

본 연구에서는 SDM의 배합설계변수인 골재채움율(Packing Factor, 이하 PF라 칭함) 및 Okamura교수의 배합설계변수 중 잔골재 용적비(또는 V_s/V_m)를 변화시킨 SCC의 유동특성을 평가하여 분체량을 최소화 할 수 있는 SCC의 최적배합을 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 사용재료

시멘트는 보통 포틀랜드시멘트(이하 OPC라 약함)를 사용하였으며, 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다. 굵은 골재는 파쇄 골재를 사용하였으며, 잔골재는 예천산 강모래로 물리적 성질은 표 2와 같다. 혼화제는 SP제(폴리카본산계)를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 표 3과 같다.

표 1. 시멘트의 화학성분 및 물리적 성질

Type \ Items	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Specific gravity	Specific surface area(%)
O P C	21.6	6.0	3.1	61.4	3.4	2.5	3.15	3,539

표 2. 골재의 물리적 성질

Type \ Items	G _{max} (mm)	Specific gravity	Absorption (%)	F.M.	Organic impurities	Unit weight (kgf/m ³)	Solids by werght (%)
Coarse aggregate	19	2.69	0.86	7.15	-	1,386	58.0
River sand	-	2.60	1.82	2.67	O.K	1,589	64.5

표 3. SP제의 물리적 성질

Ingredient	Shape	Specific gravity	Recommended dosage (C×%)	Viscosity
Poly carbon oxide	Dark brown liquid	1.09~1.11	1.3	-

2.2 실험계획

본 연구에서 사용되는 배합설계변수인 PF는 KS F 2505의 삼을 사용하여 얻은 골재의 단위용적 중량에 대한 SCC 상태에서 골재의 단위용적 중량비를 말하며, 실험단계별 설계변수 범위는 표 4와 같다. 표 4의 단계 I에서는 PF와 잔골재 용적비를 단계별로 변화시킨 콘크리트를 제조하여 분체량을 최소화하며 SCC의 성능을 만족시킬 수 있는 PF와 잔골재 용적비의 적정 범위를 산정하였으며, 이를 고려한 SP제량을 결정하였다. 단계 II에서는 단계 I의 실험결과 산정된 범위에서 SP제를 고정투입하고, PF와 잔골재 용적비의 변화에 따른 SCC의 성능평가를 통해 일본토목학회(JSCE)에서 제시한 성능평가 기준안⁽⁶⁾ 중 2등급에 해당하는 품질의 SCC를 제조하는 최적의 배합설계를 결정하도록 하였다. 한

편 표 5에 JSCE에서 제시한 SCC의 성능평가 기준안을 나타내었다.

표 4. 실험단계별 설계변수 범위

단계	W/C(%)	PF	V_s/V_m (%)	SP제 ($C \times wt, \%$)
I	40	1.06~1.16	42~55	0.9~1.4
II		1.09~1.12	47~50	1.3

표 5. JSCE에 제시된 SCC의 성능평가 기준안

항목	등급	1	2	3	
		건설 조건	최소 철근 간격 (mm)	30-60	60-200
		철근량 (kg/m^3)	≥ 350	100-350	≤ 100
유동성	Slump flow (mm)	650-750	600-700	500-650	
재료분리저항성	V-lot 유하시간 (sec)	10-20	7-20	7-20	
	Slump flow 500mm 도달시간 (sec)	5-25	3-15	3-15	
U-Box 높이차 (mm)		≥ 300	≥ 300	≥ 300	

또한 그림 1과 2에 Okamura교수가 제시한 배합설계방법과 본 연구에서 제시한 배합설계방법을 배합설계순서도에 의해 비교하여 나타내었다.

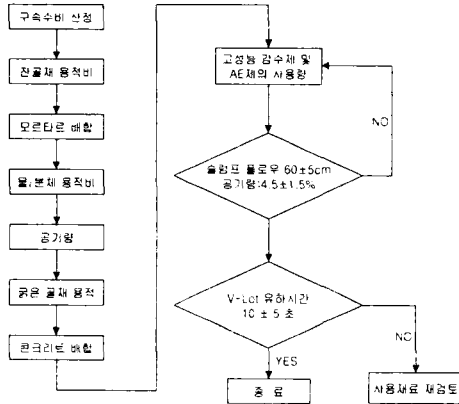


그림 1. Okamura의 배합설계방법

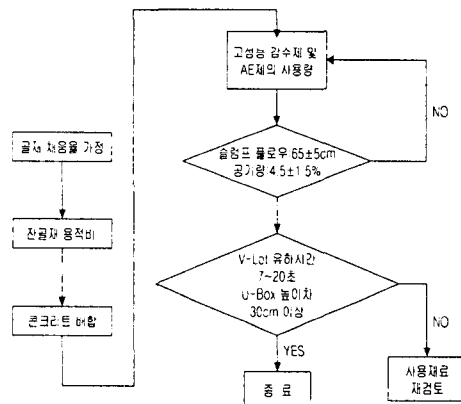


그림 2. 간편 배합설계방법

2.3 실험방법

2.3.1 균지 않은 콘크리트

균지 않은 콘크리트 실험은 JSCE의 “자기충전형 고유동 콘크리트의 시험방법(안)”⁽⁶⁾을 따라 Slump-flow, Slump-flow 50cm 도달시간, V-Lot 유하시간 및 U-Box충전시험을 실시하였다.

2.3.2 콘크리트의 배합

용량60ℓ의 강제식 믹서를 사용하였으며 사용재료가 충분히 혼합될 수 있도록 그림 3과 같은 순서로 실시하였다. 또한 PF를 1.09, 1.10, 1.11, 1.12의 4수준, 잔골재 용적비를 47%, 48%, 49%, 50%의 4수준으로 총 16수준의 콘크리트 배합을 실시하였으며, 이에 따른 배합표는 표 6과 같다.

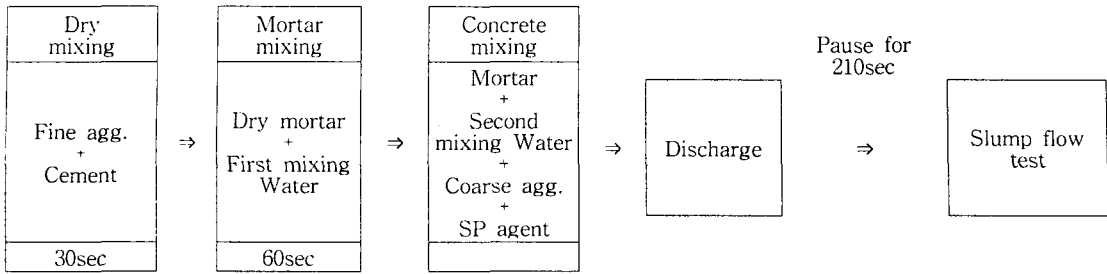


그림 3. 믹싱 방법

표 6. PF와 잔골재 용적비의 변화에 따른 배합표

W/C(%)	PF	V _v /V _m (%)	S/a(%)	Unit Weight(kgf/m ³)				SP (C×wt)(%)
				W	C	S	G	
40	1.09	47	51	194.2	485.6	803.2	787.4	1.3
		48	53	193.4	483.5	832.6	760.9	
		49	55	192.6	481.4	862.8	733.7	
		50	57	191.7	479.2	894.0	705.6	
	1.10	47	50	191.6	479.1	792.6	810.8	
		48	52	190.8	477.1	821.5	784.7	
		49	54	190.0	475.0	851.4	757.9	
		50	56	189.2	472.9	882.1	730.2	
	1.11	47	49	189.1	472.7	781.9	834.3	
		48	51	188.3	470.7	810.5	808.5	
		49	53	187.5	468.6	839.9	782.0	
		50	54	186.6	466.5	870.3	754.7	
	1.12	47	48	186.5	466.2	771.3	857.7	
		48	50	185.7	464.3	799.4	832.4	
		49	52	184.9	462.3	828.5	806.2	
		50	53	184.1	460.2	858.4	779.2	

3. 실험결과 및 고찰

3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

3.1.1 유동성 평가

PF와 잔골재 용적비의 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 Slump flow값을 나타낸 것이 그림 4이다. 그림 4의 결과 잔골재 용적비와 PF가 증가함에 따라 Slump flow값이 감소되고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 Slump flow값이 감소하는 이유는 잔골재 용적비가 증가하면 모르타르내의 단위수량 및 단위 시멘트량이 감소되고 동시에 콘크리트 내의 굵은 골재량이 감소 되기 때문으로 판단된다. 또한 동일한 잔골재 용적비 내에서 PF가 증가함에 따라 굳지 않은 콘크리트의 Slump flow값이 감소하는 이유는 굵은 골재의 양이 증가하여 콘크리트 내에 골재간의 간극이 좁아지므로 골재 입자간 마찰과 맞물림 저항이 증대되기 때문으로 판단된다. 이러한 실험 결과로부터 JSCE에서 규정한 2등급 SCC의 유동성 평가 기준인 60~70cm를 만족하는 배합은 PF가 1.09에서 잔골재 용적비가 49%까지의 3수준으로 가장 많았음을 알 수 있었다.

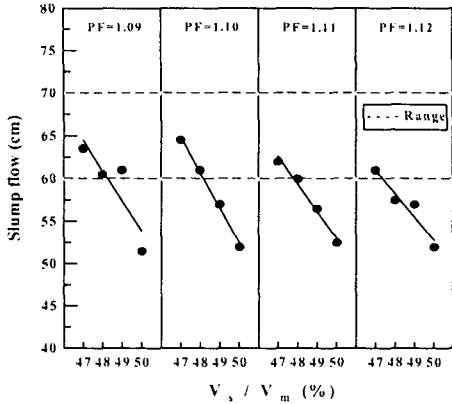


그림 4. PF와 V_s/V_m 의 변화에 따른 Slump flow

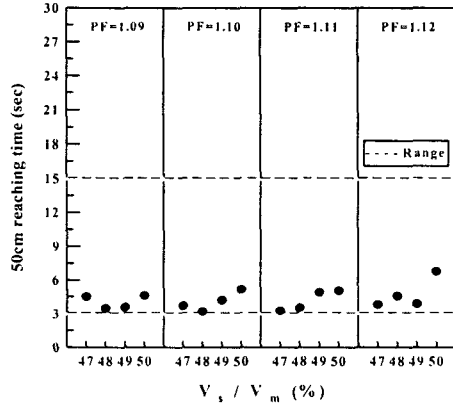


그림 5. PF와 V_s/V_m 의 변화에 따른 Slump flow 50cm 도달시간

3.1.2 재료분리저항성 및 충전성 평가

PF와 잔골재 용적비의 변화에 따른 콘크리트의 Slump-flow 50cm 도달시간을 측정하여 정리한 것이 그림 5이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 PF 및 잔골재 용적비에 관계없이 모든 배합에서 콘크리트의 Slump-flow 50cm 도달시간이 7초 이내로 JSCE에서 제시된 2등급 SCC의 Slump-flow 50cm 도달시간인 3~15초를 만족하는 것으로 나타났다.

한편 Slump-flow 50cm 도달시간의 측정은 콘크리트의 재료분리저항성을 평가하는 실험으로써 이상과 같은 실험결과를 통해 본 연구에서 제시한 배합설계방법으로 제조된 SCC의 재료분리저항성이 우수함을 알 수 있었다.

다음은 PF와 잔골재 용적비의 변화에 따른 콘크리트의 V-lot 유하 시간과 U-Box 충전시험의 관계를 나타낸 것이 그림 6과 7이다. 이 그림들로부터 JSCE에서 제시된 2등급 SCC의 V-lot 유하 시간 및 U-Box 높이차 기준(그림 내 Box부분)을 만족시키는 배합은 잔골재 용적비가 49 및 50%에서 나타났으며, 이때의 PF는 각각 1.09 및 1.10임을 알 수 있었다. 이상의 실험 결과를 종합해 볼 때 JSCE에서 제시된 2등급 SCC의 성능 평가 기준값을 모두 만족하는 PF는 1.09이며 이때의 잔골재 용적비는 49%로 나타났다. 이때 콘크리트 배합에서 사용된 분체량은 480kg/m³ 정도로 일반적인 분체계 SCC에 사용되는 분체량보다 감소됨을 알 수 있었다.

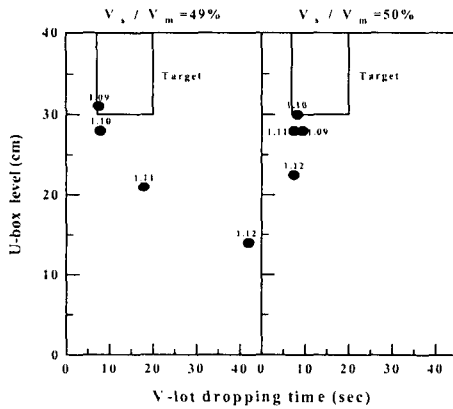


그림 7. $V_s/V_m = 49, 50\%$ 에서 PF의 변화에 따른 V-lot 유하시간 및 U-Box 높이차

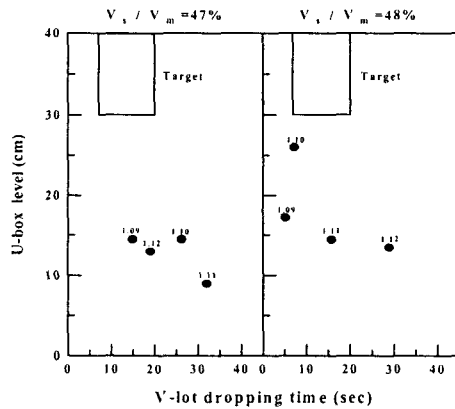


그림 6. $V_s/V_m = 47, 48\%$ 에서 PF의 변화에 따른 V-lot 유하시간 및 U-Box 높이차

4. 결론

- 1) PF 및 잔골재 용적비가 증가함에 따라 SCC의 Slump flow값이 감소하는 결과를 나타내었으며, JSCE에서 규정한 2등급 SCC의 유동성 평가 기준인 60~70cm를 만족하는 배합은 PF 1.09에서 잔골재 용적비가 47, 48 및 49%이었다.
- 2) 굳지 않은 콘크리트의 Slump-flow 50cm 도달시간을 측정한 결과 PF 및 잔골재 용적비에 관계없이 모든 배합에서 굳지 않은 콘크리트의 Slump-flow 50cm 도달시간이 7초 이내로 JSCE에서 제시된 2등급 SCC의 Slump-flow 50cm 도달시간인 3~15초를 만족하는 것으로 나타났다
- 3) PF와 잔골재 용적비의 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 V-lot 유하 시간과 U-Box 충전시험결과 JSCE에서 제시된 2등급 SCC의 기준을 만족시키는 배합은 잔골재 용적비가 49 및 50%에서 나타났으며, 이때 PF는 각각 1.09 및 1.10 이었다.
- 4) 이상의 실험 결과를 종합해 볼 때 JSCE에서 제시된 2등급 SCC의 성능 평가 기준값을 모두 만족하는 최적배합의 PF 및 잔골재 용적비는 각각 1.09, 49%로 나타났으며, 이때 콘크리트 배합에서 사용된 분체량은 480kg/m³정도로 일반적인 분체계 SCC에서 사용되는 분체량보다 감소됨을 알 수 있었다.

향후 본 연구를 기초로 하여 SP제의 영향을 고려한 자기충전 콘크리트의 성능 기준을 만족하는 PF와 잔골재 용적비의 범위를 결정하고 고로슬래그 미분말이나 플라이애시를 첨가하여 보다 경제적이며 간편한 분체계 SCC의 배합설계방법에 대해 연구하고자 한다.

참고문헌

1. 최연왕 외 3인, “중탄산칼슘을 이용한 자기충전형 콘크리트의 특성에 관한 연구,” 한국 콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 제 14권 1호, 2002, pp.73~78.
2. 井手土朗 外 2人, “高流動コンクリートの諸特性に関する調査結果,” コンクリート工學年次論文報告集, Vol. 18, No.1, 1996, pp. 141~146.
3. 한천구 외 2인, “고유동 콘크리트용 분리저감형 유동화제의 최적배합비 결정,” 한국 콘크리트학회 논문집 제14권 3호, 2002.6 pp. 275~282.
4. 岡村甫 外 3人, ハイパフォーマンスコンクリート, 技報堂出版, 1993.
5. Nan Su, Kung-Chung Hsb, His-Wen Chai, “ A simple mix design method for self-compacting concrete,” Cement and Concrete Research 31, 2001.6, pp. 1799~1807.
6. 일본 토목학회(JSCE) “高流動コンクリート施工指針,” 2000.