

## 잔골재 조립률 및 굵은골재 입형이 초유동 콘크리트의 특성에 미치는 영향

정용욱<sup>1)\*</sup>, 이승한<sup>1)</sup>, 윤용호<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 계명대학교 토목공학과

(2005년 4월 18일 원고접수, 2005년 7월 28일 심사완료)

### The Influence of Fineness Modulus of Fine Aggregate and Grain Shape of Coarse Aggregate on the Properties of High Flowing Concrete

Yong-Wook Jung<sup>1)\*</sup>, Seung-Han Lee<sup>1)</sup>, and Yong-Ho Yun<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Dept. of Civil Engineering, Keimyung University, Daegu, 704-701, Korea

(Received April 18, 2005, Accepted July 28, 2005)

#### ABSTRACT

This study is to examine the influence of defective grain shape of coarse aggregate and lowered fineness modulus of fine aggregate on the characteristics of high flowing concrete. The flow ability and compact ability of high flowing concrete was examined using fine aggregate, varying its fineness modulus to 2.0, 2.5, 3.0, and 3.5, and coarse aggregate with before and after grain shape improvement. Also the influence of fineness modulus of fine aggregate and grain shape of coarse aggregate on dispersion distance of particles of aggregate was examined by relatively comparing the dispersion distance between particles of aggregate. According to the experimental result, minimum porosity when mixing fine aggregate and coarse aggregate was shown in order of fineness modulus of fine aggregate, 3.0, 2.5, 2.0, 3.5, regardless of the improvement of grain shape. So when the fineness modulus is bigger or smaller than KS Standard 2.3~3.1, the porosity increased. When the spherical rate of the grain shape of coarse aggregate improved from 0.69, a disk shape to 0.78 sphere shape, the rate of fine aggregate, which represents minimum porosity, decreased 6% from 47% to 41%. The 28 days compressive strength according to fineness modulus of fine aggregate increased about 3MPa as the fineness modulus increased from 2.0 to 2.5, and 3.0. However, the 28 days compressive strength decreased about 9MPa at 3.5 fineness modulus as compared with 3.0 fineness modulus. The improvement of grain shape in coarse aggregate and increase of fineness modulus in fine aggregate made the flow ability, compact ability, and V-rod flowing time improve. Also the fineness modulus of fine aggregate increased the paste volume ratio when a higher value was used within the scope of KS Standard 2.3~3.1.

**Keywords :** high flowing concrete, grading, fineness modulus, grain shape, paste volume rate

## 1. 서 론

최근 콘크리트의 품질 및 구조물의 신뢰성을 향상시키기 위하여 작업자의 숙련도와 구조물의 형상 및 배근상태에 큰 영향을 받지 않는 다짐이 필요 없는 초유동 콘크리트의 구조물에의 적용<sup>1,2)</sup>이 늘고 있다.

초유동 콘크리트는 높은 유동성과 우수한 재료분리저항성을 가져야 하며, 진동다짐을 하지 않고도 철근 사이를 통과하여 밀실하게 충전되는 특징<sup>3)</sup>을 가져야 한다. 따라서 초유동 콘크리트 관련 연구는 유동성과 재료분리저항성 확보에 중점을 두고 있으며, 이 중 대부분이 사용분체

종류 및 고성능감수제와 증점제 등의 혼화재료 영향<sup>4,5)</sup>에 중점을 두고 있다.

그러나 이러한 초유동 콘크리트의 유동성과 재료분리저항성은 사용분체, 혼화재료특성 뿐만 아니라 사용골재의 입형 및 입도분포에도 큰 영향<sup>6,7)</sup>을 받는다. 특히 최근 콘크리트의 배합은 천연골재 고갈에 따른 입형이 불량한 쇄석 사용으로 콘크리트의 유동성 및 재료분리저항성이 저하되는 문제점<sup>8,9)</sup>을 가지고 있다. 또한 잔골재는 아직까지는 강모래에 의존하고 있으나 강 하류지역의 경우 천연잔골재의 조립률이 낮고 입도분포가 불량하여 콘크리트의 유동성 저하 및 사용수량 증가 등에 따른 콘크리트의 수화열 및 건조수축이 증가되어 내구성을 저하시키는 문제점을 가지고 있다. 이와 같이 부순골재의 사용에 따른 입형불량과 천연잔골재 사용에 따른 조립률의 저하는 초유

\* Corresponding author

E-mail : wook@kmu.ac.kr

©2005 by Korea Concrete Institute

동 콘크리트의 유동성 및 충전특성 뿐만 아니라 경화 후 강도 특성에도 큰 영향<sup>10)</sup>을 미치고 있지만 이들에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 잔골재 조립률을 2.0, 2.5, 3.0, 3.5로 변화시키고, 굵은골재는 입형 개선 전 골재와 임팩트크랏사로 입형을 개선한 후의 골재를 사용하여 잔골재 조립률별 굵은골재 입형 개선 유무에 따른 초유동 콘크리트의 굳지 않은 특성 및 강도 특성에 미치는 영향을 검토하고자 하였다. 이를 위해 잔골재의 조립률과 굵은골재의 입형개선 유무에 따른 최적 잔골재율을 산정하고, 굵은골재와 잔골재 혼합시의 골재 공극률과 페이스트량의 상대용적비를 구하여 골재입자의 분산거리를 상대 비교함으로써 잔골재의 조립률 변화 및 굵은골재의 입형이 골재입자의 분산거리에 미치는 영향을 검토하였다. 더 나아가 굵은골재 입형 및 잔골재 조립률 변화에 따른 초유동 콘크리트의 강도 특성을 검토하였다.

## 2. 실험 개요

### 2.1 사용 재료 특성

#### 2.1.1 사용 분체

실험에 사용한 시멘트는 A사의 보통포틀랜드시멘트를 사용하였고, 플라이애쉬는 삼천포산으로 분말도 약 4,000 cm<sup>2</sup>/g인 것을 사용하였다. 이들 사용분체의 물리·화학적 성질을 Table 1에 나타내었다.

#### 2.1.2 골재

잔골재는 경북 고령산 천연사를 사용하였으며 조립률을 약 2.0, 2.5, 3.0, 3.5로 조정된 4종류를 사용하였다. 굵은골재는 잔골재와 마찬가지로 경북 고령산을 사용하였으며 굵은골재 최대 치수는 20mm로 하였다. 또한 굵은골재 입형 개선 효과에 따른 영향을 검토하기 위하여 입형 개선 전과 후의 쇄석을 사용하였다. 이들의 물리적 성질을 Table 2에 나타내었으며, 입도 분포 곡선을 Fig. 1에 나타내었다.

#### 2.1.3 혼화제

본 실험에서는 혼화제로서 폴리칼본산계 고성능감수제와 로진계 공기연행제를 사용하였다. 이들 혼화제의 특성은 Table 3과 같다.

### 2.2 실험 계획

#### 2.2.1 콘크리트 배합

콘크리트 배합은 단위시멘트량 371 kg/m<sup>3</sup>, 플라이애쉬 159 kg/m<sup>3</sup>로 단위분체량을 530 kg/m<sup>3</sup>으로 일정하게 하였다.

또한 물-분체비는 34%로 하였으며, 잔골재율은 굵은골재 입형 개선 전의 경우 47%, 입형 개선 후의 경우는 41%로 고정하였다. 콘크리트 배합을 Table 4에 나타내었다.

#### 2.2.2 공시체 제작

콘크리트 배합방법은 50ℓ 강제식 믹서를 사용하여 시멘트와 플라이애쉬를 잔골재와 함께 60초간 건비빔을 한 후 1차수를 투입하고 90초간 믹싱을 하였다. 이 후 2차수와 혼화제 및 굵은골재를 투입하여 150초간 믹싱하여 배출하였다.

배합 후 굳지 않은 콘크리트의 공기량을 비롯한 유동성 및 충전성 시험을 실시하였으며, 압축강도용 공시체를 제작하여 수중양생을 실시하였다.

**Table 1** Chemical composition and physical properties of binder

Type	Density	Fineness (cm <sup>2</sup> /g)	lg.loss (%)	Chemical composition (%)					
				SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>
OPC	3.15	3,180	-	22.9	5.57	3.4	64.1	2.58	0.6
Flyash	2.67	3,972	2.67	49.2	-	-	-	1.0	-

**Table 2** Physical properties of aggregates

Type		Density	Absorption (%)	F.M.	Ratio of absolute volume (%)
Fine aggregate	S1(2.0)	2.60	1.45	2.16	63.72
	S2(2.5)	2.60	1.44	2.58	64.51
	S3(3.0)	2.58	1.90	2.94	66.26
	S4(3.5)	2.58	1.90	3.54	62.04
Coarse aggregate	G1 (Before) <sup>1)</sup>	2.68	1.03	7.05	58.13
	G2 (After) <sup>2)</sup>	2.68	0.94	7.08	66.26

1) Before : Before improvement of grain shape

2) After : After improvement of grain shape

**Table 3** Properties of admixtures

Type	Characteristic	Main component	Density	pH
Super plasticizer	Soft yellow (Liquid)	Polycarbonic acid	1.04±0.05	3±1.0
Air entraining agent	Soft yellow (Liquid)	Rosine	1.05±0.05	9±1.5

**Table 4** Mixing design

Series	B (kg/m <sup>3</sup> )	W/B (%)	S/a (%)	Unit content (kg/m <sup>3</sup> )					Admixture (B×%)	
				W	C	FA	S	G	SP	AE
G1S1	530	34	47	180	371	159	722	839	1.0	0.05
G1S2										
G1S3										
G1S4										
G2S1	530	34	41	180	371	159	630	934	1.0	0.05
G2S2										
G2S3										
G2S4										

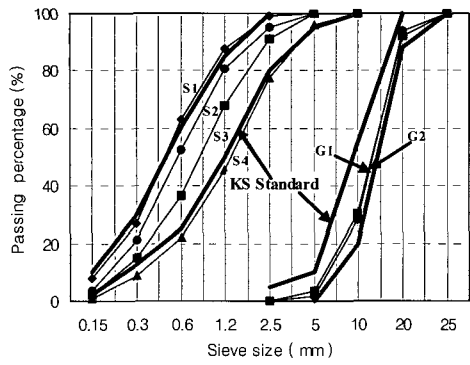


Fig. 1 Grading curves of aggregate

## 2.3 실험 방법

### 2.3.1 골재의 입형 실험

본 실험에서는 입형 개선 전후 골재의 입형 판정을 위하여 굵은골재의 제일 긴 쪽의 직경 a, 측면의 높이인 제일 짧은 직경 c와 a에 직교하는 중간경 b를 측정<sup>11)</sup>하였다. 각각 측정된 a, b, c에서 형상계수의 계산식에 따라 Table 5와 같이 구형률, 세장률, 방형률, 편평률을 구하였다. Table 5에서 입형 개선 후 굵은골재의 구형률은 입형 개선 전 골재보다 높으며 세장률, 방형률, 편평률은 낮게 나타났다. 또한 굵은골재의 입형은 입형 개선 전 구형률

Table 5 Shape factor of aggregate

Classification Type		Spher- ical rate	Slen- derness rate	Cubical rate	Flat- tening rate	c/b	Aggregate shape
		Coarse aggregate	G1	0.69	2.15	1.37	45.64
	G2	0.78	1.66	1.32	31.37	0.80	Circular shape

Table 6 Test item

Test item	Test standard
Slump flow	650±50 mm
U type compacting height	50 mm under
V-rod flowing time	7~20 sec
Air content	5 ± 0.5 %

Table 7 Test results

Series	Ratio of absolute volume (%)	Porosity (%)	Bulk volume of aggregate ( $\ell/m^3$ )	Void volume ( $\ell/m^3$ )	Paste volume ( $\ell/m^3$ )	Volume rate (%)	U type compacting height (mm)	Slump flow (mm)	V-rod flowing time (sec)	Air content (%)
G1S1	77.76	22.24	760.64	169.17	408.53	241.50	90	550	26	5.1
G1S2	78.30	21.70	761.78	165.31	403.53	244.11	50	640	15	4.6
G1S3	78.83	21.17	764.27	161.80	397.53	245.70	40	660	12	4.0
G1S4	76.75	23.25	787.59	183.11	395.53	216.00	20	690	18	3.8
G2S1	78.57	21.43	760.43	162.96	402.53	247.01	40	610	18	4.5
G2S2	78.98	21.02	761.55	160.08	398.53	248.96	25	660	13	4.0
G2S3	79.43	20.57	762.27	156.80	394.53	251.61	20	690	10	3.7
G2S4	77.13	22.87	787.59	180.12	392.53	217.92	140	750	37	3.5

0.69의 원반상에서 표면 형상을 개선함으로써 구형률이 0.78인 구상으로 분류되었다.

### 2.3.2 골재의 공극률 실험

잔골재와 굵은골재를 혼합하여 KS F 2505 「골재의 단위 용적 중량 및 공극률 시험방법」에 준하여 잔골재용 변화에 따른 공극률을 측정하였다.

### 2.3.3 기타 실험 항목

본 연구에서는 초유동 콘크리트의 유동성 및 충전성을 평가하기 위하여 슬럼프플로, U형 충전고차, V로드 유하시간과 공기량을 측정하였다. 측정 항목 및 기준을 Table 6에 나타내었다. Table 6의 표준값은 입형 개선 전 굵은골재와 잔골재 조립률 2.5를 기준으로 슬럼프플로는  $650 \pm 50$  mm, U형 충전고차는 50 mm 이내, V로드 유하시간 7~20 초, 공기량  $5 \pm 0.5$  %로 하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

본 연구는 잔골재 조립률과 굵은골재 입형이 초유동 콘크리트의 특성에 미치는 영향을 검토한 것이다. 이를 위해 잔골재 조립률을 2.0, 2.5, 3.0, 3.5 네 종류로 변화시키고 굵은골재의 입형 개선 유무에 따른 초유동 콘크리트의 유동성 및 충전특성을 검토하였다. 또한 잔골재 조립률과 굵은골재 입형이 골재입자의 분산거리에 미치는 영향을 검토하였다. 골재 입자의 분산거리의 측정은 골재중의 공극용적을 실적률에서 구하여 그 공극용적에 대한 페이스트 용적비를 이용하고 골재입자의 분산거리를 간접적으로 상대 비교하여, 잔골재 조립률 및 입형이 골재입자의 분산 거리에 미치는 영향에 대해서 검토하였다. 각 배합에 대한 측정값과 골재의 공극용적에 대한 페이스트 용적비를 Table 7에 나타내었다.

### 3.1 잔골재 조립률 및 굵은골재 입형이 혼합골재의 공극률에 미치는 영향

다음 Figs. 2, 3에 조립률 2.0, 2.5, 3.0, 3.5인 잔골재에

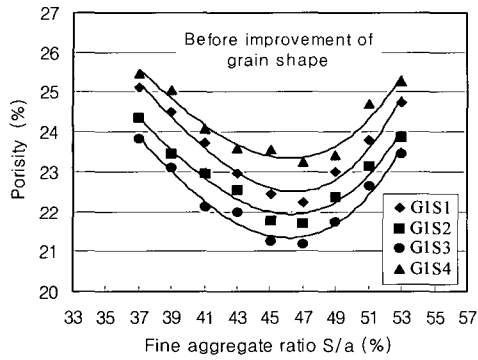


Fig. 2 Porosity according to S/a (Before)

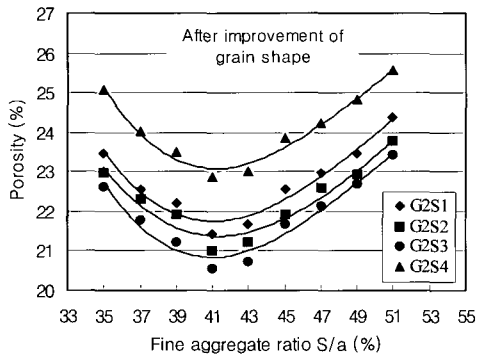


Fig. 3 Porosity according to S/a(After)

입형 개선 전과 후의 굵은골재를 혼합하여 잔골재를 변화에 따른 공극률을 나타내었다. 일반적으로 콘크리트는 골재 입자간의 공극을 시멘트페이스트로 채워서 만들어지므로 공극률이 작은골재를 사용하는 것이 시멘트페이스트의 소요량을 적게 할 수 있다.<sup>12)</sup>

Figs. 2, 3에서 입형을 개선하지 않은 굵은골재를 사용한 경우 공극률이 가장 작은 잔골재율은 잔골재 조립률에 관계없이 47%로 나타났으며, 입형 개선 굵은골재를 사용한 경우 잔골재율 41%에서 공극률이 가장 작게 나타났다. 따라서 굵은골재의 입형 개선은 잔골재율을 6% 감소시킬 수 있어 동일한 워커빌리티를 얻는데 사용되는 단위 시멘트량을 줄일 수 있을 것으로 사료된다. 또한 굵은골재의 입형 개선은 최소 공극률을 약 0.5% 감소시켰으며, 굵은골재 입형 개선 유무에 관계없이 최소 공극률이 낮은 사용 잔골재의 조립률 순서는 3.0, 2.5, 2.0, 3.5로 나타나 잔골재 조립률 KS 규정값인 2.3~3.1보다 작거나 너무 클 경우 오히려 공극률을 증가시키는 것으로 나타났다.

### 3.2 잔골재 조립률 및 굵은골재 입형이 초유동 콘크리트의 굳지 않은 특성에 미치는 영향

#### 3.2.1 유동 특성

Fig. 4는 잔골재 조립률에 따른 슬럼프플로를 나타낸 것

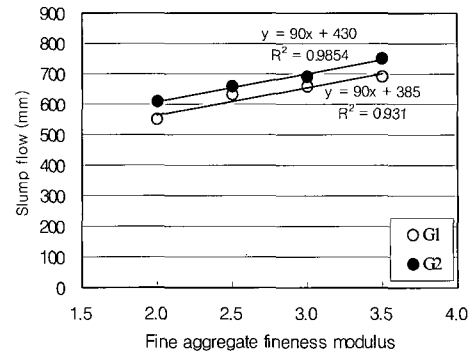


Fig. 4 Slump flow according to fine aggregate F.M.

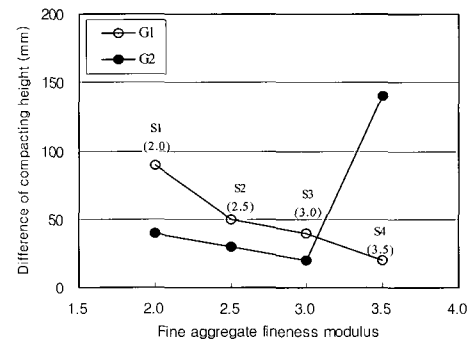


Fig. 5 Difference of compacting height according to fine aggregate F.M.

이다. Fig. 4에서 굵은골재의 입형 개선 유무에 관계없이 잔골재 조립률이 증가할수록 슬럼프플로는 증가하였다. 또한 굵은골재의 입형 개선과 잔골재 조립률 0.5의 증가는 슬럼프플로를 약 30~50mm정도 향상시키는 것으로 나타났다. 반면, 입형 개선 전 굵은골재 사용시 잔골재 조립률 2.0에서는 슬럼프플로 값이 550mm로 슬럼프플로 기준값  $650 \pm 50$ mm를 만족시킬 수 없었다. 또한 잔골재 조립률 3.5에서 입형을 개선시킨 굵은골재 사용시 슬럼프플로 750mm로 기준값을 초과하였다. 이것은 굵은골재의 입형 개선과 잔골재 조립률 증가에 따른 유동성 향상에 기인한 것으로 판단된다.

#### 3.2.2 충전 특성

Fig. 5에 잔골재 조립률 및 굵은골재 입형 개선에 따른 U형 충전고차를 나타내었다. Fig. 5에서 굵은골재 입형 개선에 관계없이 잔골재 조립률의 증가는 충전고차를 감소시키는 것으로 나타났다. 반면, 입형을 개선시킨 굵은골재와 잔골재 조립률 3.5 사용시 충전고차 140mm로 본 연구 기준 값인 50mm이내를 상회하고 있다. 이것은 굵은골재의 입형 개선과 잔골재 조립률 및 잉여 페이스트량 증가에 따른 유동성 증가로 재료 분리에 의한 골재 입자 간 아치 형상에 따른 폐쇄 현상을 나타내어 비교적 충전고차가 높게 나타난 것으로 판단된다.

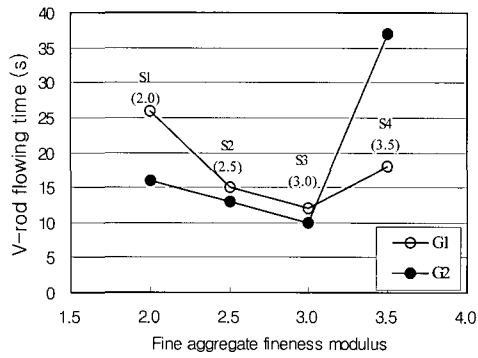


Fig. 6 V-rod flowing time according to fine aggregate F.M.

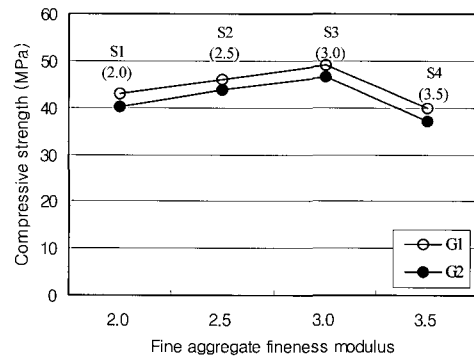


Fig. 8 Compressive strength content according to fine aggregate F.M. (Age 28 days)

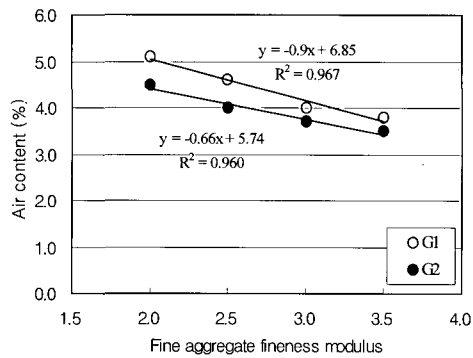


Fig. 7 Air content according to fine aggregate F.M.

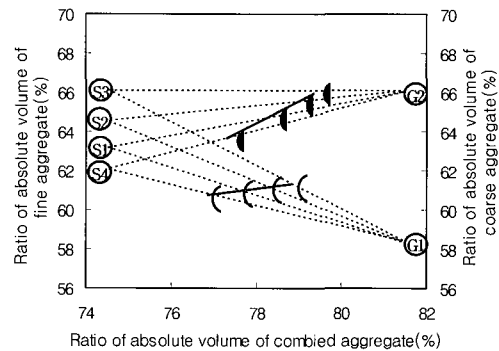


Fig. 9 Ratio of absolute volume of combined aggregate

### 3.2.3 상대유하속도

일반적으로 상대유하속도가 낮으면 점성 부족으로 유하 시간이 길어지고, 너무 높으면 콘크리트의 유동성 부족과 점성이 증가하여 유하속도가 길어지게 된다<sup>13)</sup> 따라서 슬럼프플로 650 ± 50 mm인 초유동콘크리트의 적정 상대유하속도는 0.5~1.5의 범위가 적당하다고 보고<sup>14)</sup>하고 있다. 이것을 유하시간으로 나타내면 적정유하시간은 7~20초이다. Fig. 6에 잔골재 조립률 및 굵은골재 입형에 따른 V로드 유하 시간을 나타내었다. 입형 개선 전 굵은골재와 잔골재 조립률 2.0 사용시 V로드 유하 시간이 26초로 기준값을 만족시킬 수 없었다.

반면, 입형을 개선시킨 굵은골재 사용시 유하 시간 16초로 기준 범위를 만족시켰다. 이것은 잔골재 조립률 2.0과 입형개선전 굵은골재의 사용으로 낮은 조립률과 입형 불량에 따른 유동성 저하에 기인한 것으로 사료되며, 굵은골재의 입형을 개선시킴으로서 유하 시간을 충족시킬 수 있었다.

따라서, 굵은골재의 입형 개선은 유동성 증진에 따른 상대유하 시간을 줄일 수 있어 초유동 콘크리트의 충전성 향상에도 큰 영향을 미치는 것으로 사료된다. 또한 입형 개선시킨 굵은골재와 잔골재 조립률 3.5에서도 유하 시간 37초

로 상한값인 20초를 크게 벗어나고 있다. 이것은 잔골재 조립률 3.5와 입형 개선시킨 굵은골재의 사용으로 유동성의 과다 증가에 따른 재료 분리 현상으로 골재 입자 간 맞물림 현상에 의해 유하 시간이 길게 나타난 것으로 사료된다.

### 3.2.4 공기량

본 연구에서는 입형 개선 전 굵은골재와 잔골재 조립률 2.5를 기준으로 공기량 5 ± 0.5%로 일정하게 하여 굵은골재의 입형 개선과 잔골재 조립률 변화에 따른 공기량 변화를 검토하였다.

Fig. 7에 잔골재 조립률과 굵은골재 입형 개선 유무에 따른 공기량 변화를 나타내었다. 잔골재 조립률의 증가는 공기량을 감소시키는 것으로 나타났으며, 굵은골재 입형 개선 유무에 관계없이 조립률 0.5씩 증가시 마다 약 0.5%의 공기량을 감소시켰다.

또한 굵은골재의 입형 개선 시 공기량은 입형 개선 전 굵은골재 사용시 보다 약 0.5%정도 낮게 나타났다. 이것은 굵은골재의 입형 개선과 잔골재 조립률 증가에 따른 유동성 향상으로 상대적인 공기량이 감소하는 것으로 사료된다. 따라서 초유동 콘크리트에 일정량의 공기량을 연행시키기 위해서는 굵은골재의 입형 개선 유무와 잔골재

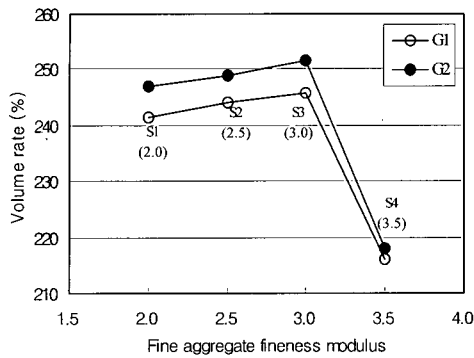


Fig. 10 Volume rate according to fine aggregate F.M.

조립률 변화에 따른 유동성을 검토하여 AE제 첨가량의 증감이 필요할 것으로 사료된다.

### 3.3 잔골재 조립률 및 굵은골재 입형이 압축강도에 미치는 영향

본 연구에서는 잔골재 조립률 및 굵은골재 입형 개선에 따른 강도 특성을 검토하기 위하여 Fig. 8과 같이 잔골재 조립률 변화에 따른 28일 압축강도를 측정하였다. Fig. 8에서 잔골재 조립률이 2.0에서 2.5, 3.0으로 증가할수록 압축강도가 약 3MPa씩 증가하는 것으로 나타났으나, 잔골재 조립률 KS범위인 2.3~3.1을 벗어나는 3.5에서는 3.0에 비해 약 9MPa 정도 감소하였다.

이것은 Fig. 2, 3에서 나타낸 것과 같이 잔골재 조립률 3.5에서 혼합골재의 공극률이 조립률 2.0, 2.5, 3.0보다 높은 것에 기인한 것으로 혼합골재의 공극률이 증가함에 따른 초유동콘크리트의 밀실도 저하에 의한 강도감소로 사료된다.

또한 28일 압축강도는 잔골재 조립률에 관계없이 굵은골재의 입형 개선 전이 입형 개선 후 보다 약 6%정도 높게 나타나고 있다. 입형 개선시킨 굵은골재의 강도저하는 골재 상호간의 맞물림 작용 및 시멘트 페이스트와의 부착력 감소에 의한 것으로 보고<sup>15,16)</sup>되고 있다. 그러나 본 실험에서 사용한 단위분체량은 530kg/m<sup>3</sup>의 부배합 콘크리트에서는 골재 상호간 적정 거리가 확보됨으로써 입형개선 골재의 강도저하 원인은 시멘트페이스트와 골재의 부착력 감소에 기인한 것으로 사료된다.

### 3.4 잔골재 조립률 및 굵은골재 입형에 따른 골재입자의 분산거리의 영향

본 연구에서는 콘크리트 중의 골재 입자의 분산거리를 직접 계측하는 것은 곤란하여, 골재중의 공극용적을 실적률에서 구하여 그 공극용적에 대한 페이스트 용적비를 사

용하였다. 골재 입자의 분산거리를 간접적으로 상대 비교한 것으로 잔골재 조립률 및 굵은골재 입형 변화가 골재 입자의 분산거리에 미치는 영향을 검토하였다. 각 배합에 대한 잔골재 및 굵은골재를 혼합한 골재의 실적률 측정 결과를 Fig. 9에 나타내었다.

Fig. 9에서 잔골재와 굵은골재를 혼합한 골재의 실적률은 잔골재와 굵은골재 각각의 실적률보다 높은 값을 나타내었다. 또한 굵은골재의 입형 개선은 입형 개선 전 굵은골재의 실적률 약 58%에서 66%로 실적률이 8% 높게 나타나 굵은골재의 입형 개선에 따른 실적률 증가는 콘크리트 골재의 공극률을 감소시킬 수 있어 동일한 콘크리트 배합에서 단위분체량 및 단위수량을 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

또한 잔골재 조립률 증가에 따른 혼합골재의 실적률은 잔골재 조립률 3.5, 2.0, 2.5, 3.0순으로 나타났으며 잔골재와 굵은골재의 혼합률이 일정할 경우 혼합골재의 실적률은 일직선상에 분포하였다. 잔골재와 굵은골재 혼합 후의 실적률은 76~79%범위를 나타내었다.

Fig. 10에 잔골재 조립률 및 굵은골재 입형 개선에 따른 골재공극용적에 대한 페이스트 용적비를 나타내었다.

단위분체량을 530kg/m<sup>3</sup>으로 일정하게 했을 때 잔골재 조립률 변화와 굵은골재 입형 개선 유무에 따른 페이스트 용적비를 나타낸 것으로 페이스트 용적비가 높을수록 콘크리트 속의 잉여 페이스트량이 증가하게 되고 골재입자간 거리를 떨어뜨려 유동성 및 충전성이 우수<sup>17)</sup>하게 된다.

Fig. 10에서 굵은골재의 입형을 개선시킨 경우 페이스트 용적비가 입형 개선 전 굵은골재보다 높게 나타나고 있다. 또한 굵은골재의 입형 개선에 관계없이 잔골재 조립률이 2.0에서 2.5, 3.0으로 증가할수록 페이스트 용적비는 증가하지만 잔골재 조립률 3.5에서 페이스트 용적비가 급격히 떨어지고 있다. 이것은 잔골재 조립률 3.5인 경우 혼합골재의 공극률이 비교적 높아 상대적으로 골재 공극을 채우는 페이스트량이 증가하게 되고 그에 따른 잉여 페이스트가 감소함으로써 페이스트 용적비가 감소된 것으로 사료된다. 따라서 초유동 콘크리트의 유동성 및 충전성을 증가시키기 위해서는 굵은골재의 입형 개선이 효과가 있을 것으로 사료되며, 잔골재 조립률은 KS 규정 값 2.3~3.1을 만족하는 범위 내에서 높은 값을 사용하는 것이 페이스트 용적비를 증가시켜 유동성을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

## 4. 결 론

본 연구는 잔골재 조립률 및 굵은골재 입형 개선이 초유동 콘크리트의 유동 및 충전 특성에 미치는 영향을 검토한 것으로 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 잔골재 조립률에 따른 최소 공극률은 굵은골재 입형개선 유무에 관계없이 잔골재 조립률 3.0, 2.5, 2.0, 3.5 순으로 나타나 조립률 KS 규정값 2.3~3.1보다 작거나 클 경우 공극률을 증가시키는 것으로 나타났다.
- 2) 굵은골재의 입형 개선과 잔골재 조립률의 증가는 유동성, 충전성 및 V로드 상대유하시간을 향상시키는 것으로 나타났으며, 잔골재 조립률 KS 기준을 만족하는 2.5와 3.0에서 양호하게 나타났다.
- 3) 굵은골재 입형개선 유무에 관계없이 잔골재 조립률 0.5씩 증가시 마다 약 0.5%의 공기량을 감소시키는 것으로 나타났다.
- 4) 잔골재 조립률에 따른 28일 압축강도 특성은 조립률 2.0에서 2.5, 3.0으로 증가할수록 약 3MPa씩 증가하였으나, 조립률 3.5에서는 3.0에 비해 약 9MPa 정도 감소하였다. 또한 굵은골재의 입형 개선은 잔골재 조립률에 관계없이 입형 개선에 따른 시멘트페이스트와의 부착력 감소로 약 6%정도 낮게 나타났다.
- 5) 굵은골재의 구형률 증가는 최적 잔골재율을 감소시키며 구형률 0.69의 원반상에서 구형률 0.78의 구상으로 입형 개선시킨 굵은골재는 최소 공극률을 나타내는 잔골재율을 47%에서 41%로 감소시키는 것으로 나타났다.
- 6) 초유동 콘크리트의 유동성 및 충전성을 증가시키기 위해서는 굵은골재의 입형 개선이 효과가 있을 것으로 사료되며, 잔골재 조립률은 KS 규정 값 2.3~3.1을 만족하는 범위 내에서 높은 값을 사용하는 것이 페이스트 용적비를 증가시켜 초유동 콘크리트의 유동성 및 충전성을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

### 참고문헌

1. 정용욱, 윤용호, 이승한, “현장적용을 위한 분체계 초유동콘크리트의 배합비 산정에 관한 연구”, 대한토목학회 정기학술대회, 2003. 10, pp.1113~1118.
2. 오병환, “내구성 향상을 위한 고성능콘크리트의 개발과 활용”, 콘크리트학회지, 6권 1호, 1997, pp.4~51.
3. 岡村甫, 前川宏一, 小澤一雅, “ハイパフォーマンスコンクリート”, 技報堂出版, 1993, pp.60~85.
4. 松岡康訓, “超流動コンクリート”, 콘크리트工學論文集, Vol.31, No.3, 1993, pp.79~82.
5. 万木正弘, 坂田昇, 岩井稔, “特殊増粘剤を用いた締固め不要コンクリートに関する研究”, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.14, No.1, 1992., pp.51~56.
6. Lee, Seung-Han, Han, and Hyung-Sub, “Effect of Powder and Aggregate on Compactability of High Performance Concrete”, *An International Journal of Korea Concrete Institute*, Vol.11, No.3, Jul. 1999, pp.19~28.
7. 이승한, 김희중, 정용욱, “굵은골재 입형개선이 고성능 콘크리트의 충전특성에 미치는 영향”, 콘크리트학회 논문집, 12권 4호, 2000, pp.10~111.
8. 平田隆祥, 竹田宣典, 三浦律彦, 十河茂幸, “超流動コンクリートのフレッシュ性狀に及ぼす骨材粒度の影響”, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.17, No.1, 1995, pp.81~86.
9. 出光隆, 山崎竹博, 高山俊一, “球狀細骨材を用いた超流動化コンクリートの配合に関する研究”, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.14, No.1, 1992, pp.393~398.
10. Cetin, A. and Carrasquillo, R. L., “High-Performance Concrete: Influence of Coarse Aggregates on Mechanical Properties”, *ACI Materials Journal*, Vol.95, No.3, 1998, pp.252~261.
11. 村田二郎, 岩崎訓明, 兒玉和巳, “コンクリートの科學と技術”, 山海堂, 1996, pp.41~94.
12. 近松龍一, 竹田宣典, 十河茂幸, “超流動コンクリートの流動性と分離抵抗性に関する一考察”, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.14, No.1, 1992, pp.381~386.
13. 本間礼人, 山本康弘, “高流動コンクリートの流動性評價方法に関する研究”, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.13, No.1, 1996, pp.75~80.
14. 皆口正一, 丸山久一, 稻葉美穂子, 坂田昇, “高流動コンクリートの材料分離測定方法に関する研究”, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.13, No.1, 1996, pp.87~92.
15. 岩井信彰子, 柳田佳寛, 阿部道彦, “高流動コンクリートのフレッシュ性狀に及ぼす骨材の形狀・寸法の影響”, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.13, No.1, 1996, pp.117~122.
16. Larrard, F. D. and Belloc, A., “The Influence of Aggregate on the Compressive Strength of Normal and High-Strength Concrete”, *ACI Materials Journal*, Vol.94, No.3, 1997, pp.417~426.
17. 出光隆, 山崎竹博, 高山俊一, “球狀細骨材を用いた超流動化コンクリートの配合に関する研究”, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.14, No.1, 1992, pp.393~398.

---

## 요 약

본 연구는 굵은골재의 입형불량과 잔골재의 조립률 저하가 초유동콘크리트의 특성에 미치는 영향을 검토한 것이다. 이를 위해 잔골재 조립률을 2.0, 2.5, 3.0, 3.5로 변화시키고 굵은골재는 입형개선전·후 골재를 사용하여 초유동콘크리트의 유동성 및 충전성을 검토하였다. 또한 골재입자의 분산거리를 상대비교 함으로써 잔골재의 조립률 및 굵은골재의 입형이 골재입자의 분산거리에 미치는 영향을 검토하였다. 실험 결과 굵은골재와 잔골재 혼합시의 최소공극률은 골재 입형개선 유무에 관계없이 잔골재 조립률 3.0, 2.5, 2.0, 3.5 순으로 나타나 조립률 KS 규정값 2.3~3.1보다 작거나 클 경우 공극률을 증가시키는 것으로 나타났다. 굵은골재의 입형은 구형율 0.69의 원반상에서 구형율 0.78의 구상으로 개선할 경우 최소공극률을 나타내는 잔골재율을 47%에서 41%로 6% 감소시키는 것으로 나타났다. 잔골재 조립률에 따른 28일 압축강도 특성은 조립률 2.0에서 2.5, 3.0으로 증가할수록 약 3MPa씩 증가하였으나, 조립률 3.5에서는 3.0에 비해 약 9MPa 정도 감소하였다. 또한 굵은골재의 입형개선과 잔골재 조립률의 증가는 유동성, 충전성 및 V로드 상대유하시간을 향상시키는 것으로 나타났으며, 잔골재 조립률은 KS 규정 값 2.3~3.1을 만족하는 범위내에서 높은 값을 사용하는 것이 페이스트 용적비를 증가시키는 것으로 나타났다.

**핵심용어** : 초유동 콘크리트, 입도, 조립률, 입형, 페이스트 용적비

---