

일반 강도용 고유동 콘크리트에서의 골재 입도 영향

Effects of Aggregate Grading on the Performance of High-Flowing Concrete with General Strength

김 상 철¹⁾ 김 연 태²⁾ 신 동 철^{3)*}
Kim, Sang Chel Kim, Yun Tae Shin, Dong Cheol

Abstract

The high-flowing concrete requires additionally or excessively more expensive admixture than conventional concrete. So, the concrete has not to be widely used in practical field due to the increase of production price, need of additional facilities, and excessive development of concrete strength in associate with addition of too much cementitious material even though it has more significant advantages than conventional concrete.

Thus, this study aims at developing high-flowing concrete with general strength unlike high strength which has been carried out in conventional study. To observe the role of aggregate in the concrete quantitatively and to increase the performance of high-flowing concrete effectively, parametric studies were carried out such as W/C, s/a, fineness modulus of aggregate, contribution degree of particle sizes, and the effect of 13mm aggregate and fine stone powder as a partial replacement of aggregates. And the effect of these factors on performance of the concrete was evaluated by measuring slump-flow and gap of penetration height in U-typed instrument.

As a result, it was found that flowability of high-flowing concrete depends upon grading of fine aggregate more significantly than that of coarse aggregate and is enhanced greatly as fineness modulus of fine aggregate decreases and the value of s/a increases. In addition, the application of 13mm aggregate and fine stone powder are expected as a partial replacement of aggregate in order to increase the performance of high-flowing concrete more effectively.

Keywords : Grading, Fine aggregate ratio, Fineness modulus, Fine stone powder, 13mm aggregate

1. 서론

구조물의 대형화, 초고층화 추세로 철근이 과밀 배근되고, 제한된 공간에서 작업을 수행하여야 하는 현장제약으로 인해 건축 및 토목현장으로 고유동 콘크리트의 사용이 점차 확산되고 있다(K. S. Lee, 2010; P. S. Lee et al., 2004; S. W. Choi et al., 2012). 고유동 콘크리트는 일반 콘크리트에서의 시공 숙련공의 의존도, 시공 불량에 따른 콘크리트의 품질 및 내구성 결함 등의 문제를 해결할 수 있으며 무진동·무다짐으로 콘크리트 타설이 가능하여 시공효율성이 높지만, 소요의 유동성과 점성 확보를

위해 그 적용이 고강도 영역으로 제한되었다(E. Y. Kang, 1998; Y. R. Kim, 2000; J. H. Yoon, 1997). 그러나 현재 사용되고 있는 대부분의 철근콘크리트 구조물은 일반 강도의 영역이기 때문에 필요 이상의 강도 확보와 그로 인한 비경제적이라는 문제점을 안고 있었다. 실질적으로 그간 고유동 콘크리트와 관련하여 많은 연구가 수행되었지만, 고유동 콘크리트는 유동성과 재료분리 저항성의 서로 상반된 특성을 만족시키기 위해서는 일반 콘크리트에 비해 다량의 분체를 사용하거나 고가의 재료분리 저감제(증점제)의 다량 사용이 필수 요건이므로 일반 강도의 고유동 콘크리트와 관련된 체계적인 연구와 실용화는 상당히

1) 정회원, 한서대학교 토목공학과 교수
2) 정회원, 서울과학기술대학교 구조공학과 교수
3) 정회원, 가천대학교 건축공학과 교수, 교신저자

* Corresponding author : sdc@gachon.ac.kr 031-750-5722

• 본 논문에 대한 토의를 2012년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 2013년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

부족한 실정이다(T. H. Cha, 1995; Y. W. Choi et al., 2007; Domone, 2007; Zhu et al., 2005).

따라서 본 연구에서는 일반강도(21~27 MPa)의 범위에서 콘크리트의 주요 구성재료 중의 하나인 골재가 고유동 콘크리트의 성상에 미치는 효과에 대해 검토하도록 하였다. 물-시멘트비, 잔골재율, 조립률, 입자 크기 등의 인자별 영향평가 시험을 통해 고유동 콘크리트의 성상에 미치는 영향을 정량적으로 평가하고, 이 평가를 통해 골재 대체재로서 현재 아스팔트 콘크리트에 사용되고 있는 13mm 골재와 채석장에서 다량 발생하는 미립의 석분 활용 방안에 대해 검토하고자 하였다.

2. 실험 개요

2.1 사용재료

본 실험에 사용된 시멘트는 국내 S사에서 시판하고 있는 1종 포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 최대입경이 5mm이고, 조립률이 2.15~3.38, 밀도가 2.66인 강모래를 사용하였다. 굵은 골재는 최대치수가 20mm이고, 조립률이 6.99~8.05, 밀도가 2.72인 쇄석을 사용하였다. 또한, 단위수량 감소와 재료분리 저감을 위해 사용되는 고성능감수제와 증점제는 국내 S사에서 생산하고 있는 나프탈렌계와 셀룰로오스계를 사용하였으며, 전 배합에 대해 각각 시멘트 질량의 2%, 단위수량의 0.18%를 적용하였다.

2.2 실험계획

2.2.1 고유동 콘크리트의 기본 성상시험

고유동 콘크리트의 기본 성상시험에서는 물-시멘트비와 잔골재율이 유동성과 충전성에 미치는 영향을 파악하기 위하여 일반강도의 범위에서 사용되고 있는 물-시멘트비 범위인 50, 52, 54%에 대해서, 그리고 잔골재율은 44, 46, 48, 50%에 대해서 각각 실험을 수행하기로 하였다.

일반적으로 잔골재율이 클수록 공극 내부로의 충전성 확보 등으로 고유동 콘크리트 제작이 용이할 것으로 판단되지만, 잔골재율이 50% 이상을 초과할 경우에는 잔골재가 차지하는 범위가 너무 크게 되어 비경제적으로 되기 때문에 최대 50%로 제한하였다(J. H. Kim, 2001; Sahmaran et al., 2006). 고유동 콘크리트의 유동성과 충전성은 Fig.

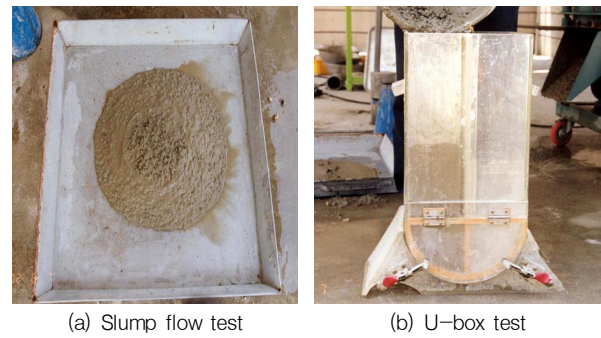


Fig. 1 Test instrument

Table 1 Mix proportion for high-flowing concrete

s/a (%)	W/C (%)	Cement (kg)	Water (kg)	Fine aggregate (kg)	Coarse aggregate (kg)	Compressive strength at 28 days (MPa)
50	52	307.0	159.64	886.51	903.83	24.6
	52	297.0	154.44	897.25	914.77	23.1
	54	287.0	154.98	900.63	918.22	21.6
48	50	307.0	153.50	858.60	948.32	24.7
	52	307.0	159.64	851.05	939.98	24.1
	52	297.0	154.44	861.36	951.36	22.8
46	54	287.0	154.98	864.61	954.95	21.1
	52	307.0	159.64	815.59	976.14	23.2
	54	297.0	160.38	818.58	979.58	21.9
44	52	317.0	164.84	770.69	1000.03	24.7
	52	307.0	159.64	780.13	1012.29	22.8
	54	297.0	160.38	782.89	1015.86	21.4

1과 같이 슬럼프플로와 U형 충전성 시험에서의 충전고차를 통해 평가하였다. Table 1은 여러 시험을 통해 얻은 물-시멘트비와 잔골재율별 최적 배합 결과를 나타낸 것이다.

2.2.2 고유동 콘크리트의 정량적 평가시험

고유동 콘크리트의 유동성과 충전성은 재료의 배합비상의 물성이외에도 최대 골재의 크기, 골재의 형상, 골재의 입도 분포에 따라 고유동 콘크리트의 성상에 미치는 영향은 매우 다를 것으로 판단된다. 특히, 골재의 입도가 고르게 분포되어 있을 경우 콘크리트 내부의 공극을 감소시킬 수 있어 경제적인 콘크리트 배합이 가능할 뿐만 아니라 유동성과 충전성에 있어서 콘크리트를 밀어내는 힘이 증가하게 되므로 그 효과는 상대적으로 매우 크게 된다(Sahmaran et al., 2006).

고유동 콘크리트의 성상에 주요한 영향을 미치는 인자 중의 하나가 골재의 입도 분포인데, 골재의 입도는 골재 원이나 야적된 골재를 채취하는 과정에서 위치별로 동일

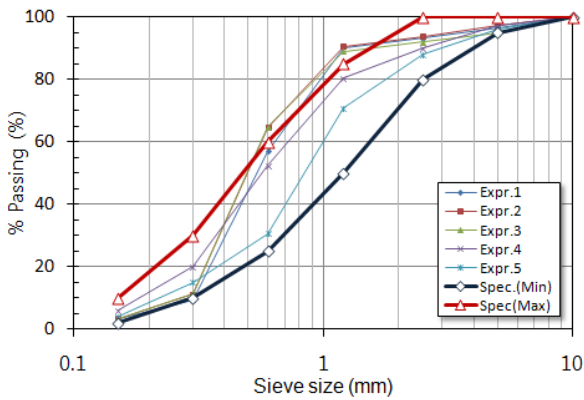


Fig. 2 Grading curves for fine aggregates

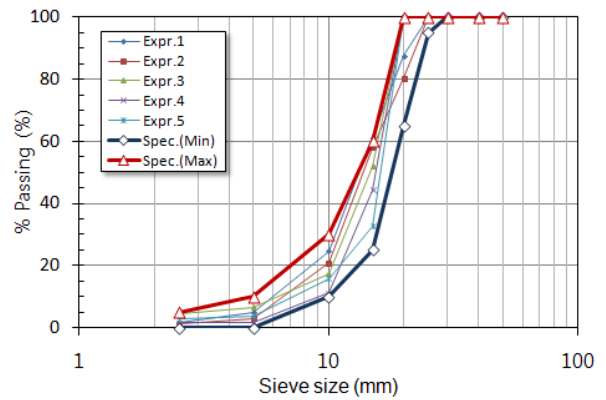


Fig. 3 Grading curves for coarse aggregates

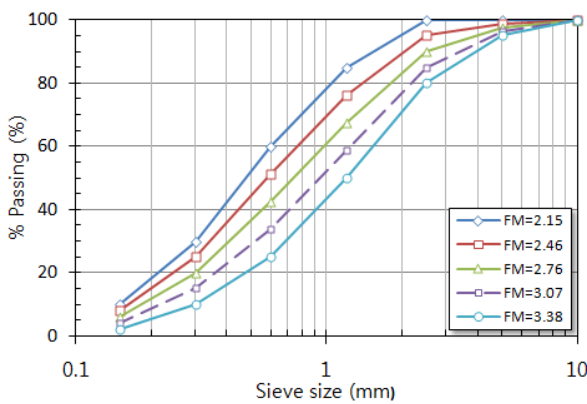


Fig. 4 Schematic manipulation of grading distribution for fine aggregate

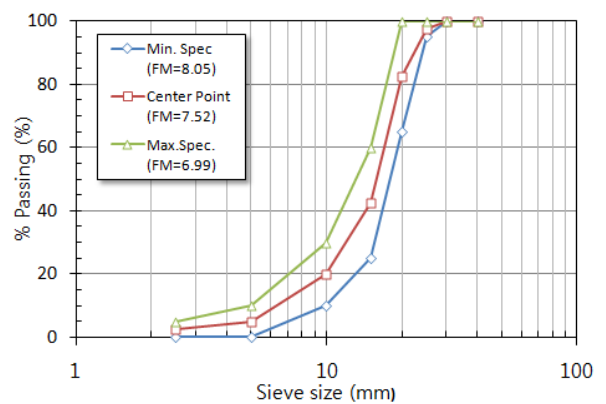


Fig. 5 Schematic manipulation of grading distribution for coarse aggregate

한 분포를 이루기 어려울 수 있다. 그 일례로써 Fig. 2와 3은 골재원별 굵은 골재와 잔골재에 대한 체가름시험을 수행한 결과를 나타낸 것으로, 굵은 골재의 경우는 대부분 KS F 2526에서 규정하고 있는 입도 표준을 만족하고 있으나, 잔골재의 경우는 골재원에 따라 입도 표준을 벗어나기도 하고 혹은 동일 골재원임에도 불구하고 서로 다른 입도 분포를 나타내었다. 이는 골재원에 따라서 요구되는 입도의 골재를 생산하기 곤란하며, 경우에 따라서는 표준 입도를 벗어날 수도 있다는 것을 의미한다. 따라서 본 실험에서는 골재의 입도를 수치적으로 나타내는 하나의 지표인 조립률(fineness modulus, FM)을 사용하여 이 값의 변화가 고유동 콘크리트에 미치는 영향을 평가하고자 하였다.

Fig. 4와 5는 KS F 2526에서 규정하고 있는 표준 입도 분포에서의 최대 상한범위와 최소 하한범위를 균등 분할한 것을 도시한 것으로, 잔골재의 경우는 4등분, 굵은 골재는 2등분하여 각 곡선에 따른 조립률을 계산하였다.

따라서 잔골재의 분포를 나타내고 있는 Fig. 4의 경우는 5개의 분포곡선 조립률이 2.15, 2.46, 2.76, 3.07, 3.38로 계산되었으며, 상한의 경계곡선에서는 최소 조립률인 2.15 또, 하한범위 곡선에서는 최대의 조립률 3.38이 산정되었다. 동일한 방식으로 Fig. 5의 굵은 골재 분포에서도 하한 경계곡선에 최대 조립률인 8.05가 산출되었고 중앙에서는 7.52, 상한에서는 최소값인 6.99가 산출되었다. 실험에서는 각각의 주어진 입도곡선이 형성되도록 인위적으로 각 체별로 체가름한 입자들을 정량적으로 혼합하여 콘크리트 배합에 사용하였다.

또한, 골재의 입자 크기가 고유동 콘크리트의 성상에 미치는 영향을 보다 정량적으로 파악하기 위하여 굵은 골재와 잔골재의 입도 분포 곡선 상에서 각 체크기의 입자를 결손시킨 상태에서 고유동 콘크리트를 배합하여 어느 입도가 고유동 콘크리트의 유동성과 충전성에 가장 큰 영향을 미치는지 평가하고자 하였다.

또, 굵은 골재와 잔골재 간의 입도 격차를 좁혀줄 13mm

골재와 미립 석분의 효과를 파악하고자 각각 굵은 골재와 잔골재의 대체재로서 그들의 혼합비율을 10~50%까지 대체하여 이들 골재들이 고유동 콘크리트의 성능 향상에 미치는 영향을 평가하고자 하였다.

2.3 실험방법

콘크리트 제작은 강제식 믹서기를 사용하였으며, Fig. 6과 같이 먼저 소요 입도 분포곡선에 따라 준비한 잔골재를 시멘트와 혼합하여 1분간 건비빔한 뒤, 사전에 배합수와 충분히 혼합시킨 혼화제를 믹서기에 투입하고 시험계획에 따라 체가름으로 준비한 굵은 골재를 최종적으로 투입하여 혼합하였다.

시험에서는 슬럼프플로, U형 시험기의 충전고차, 압축강도 등을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 물-시멘트비와 잔골재율 변화에 따른 기본 성상

Fig. 7과 8은 단순히 물-시멘트비와 잔골재율 변화에 따른 U형 충전시험에서의 충전고차와 슬럼프 시험을 통한 슬럼프플로값의 결과를 도시한 것이다. 예측한 바와 같이 물-시멘트비의 크기와 관계없이 잔골재율이 클수록



Fig. 6 Mixing procedure

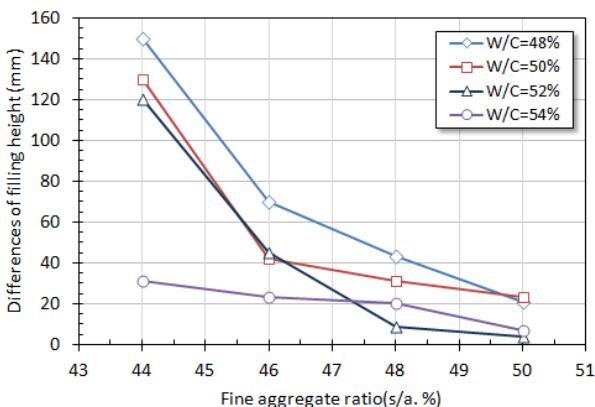


Fig. 7 Fine aggregate ratios vs. differences of filling height with different water-cement ratios

유동성과 충전성이 향상됨을 알 수 있다. 특히, 충전고차의 경우 높은 물-시멘트비에 비해 물-시멘트비가 낮아질수록 잔골재율의 영향이 커지고 있어 낮은 물-시멘트비를 조건으로 콘크리트를 배합할 경우에 충전성 즉, 철근의 간극 통과성을 향상시키기 위해서는 가능한 한 잔골재율을 향상시키는 것이 보다 효과적이라는 것을 본 기본 연구결과를 통해 알 수 있다.

3.2 잔골재율과 잔골재 조립률의 변화에 따른 효과

앞서 기본 실험결과를 통해 물-시멘트비와 잔골재율의 변화에 따른 충전성과 유동성의 효과를 파악할 수 있지만, 그 변동이 크기 때문에 정량적인 영향 평가가 곤란하다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 잔골재와 굵은 골재의 표준 입도 범위를 균등 분할하여 인위적으로 골재 입도를 조정함으로써 각각의 곡선에 대한 조립률을 구하고 골재의 입도가 고유동 콘크리트의 성상에 미치는 영향을 평가하기로 하였다.

Fig. 9와 10은 잔골재의 조립률 변화에 따른 유동성과 충전성 결과를 도시한 것이다. Fig. 9에서 모든 잔골재율에 대해 조립률이 작을수록 충전고차가 작아지는 즉, 충전성이 향상되는 것을 알 수 있다. 일반적으로 골재의 크기가 작을수록 조립률이 작아지는 경향이 있으므로 본 실험결과에 의하면 입자 알갱이의 크기가 작을수록 충전성이 좋아진다는 것을 의미하게 된다. 이는 골재 내부에 세립 성분이 많을수록 콘크리트 내부를 밀실하게 하여 재료 분리가 발생하지 않고 콘크리트를 밀어주는 역할을 하므로 입자의 크기가 작은 것이 유리하다는 것을 나타낸다. 또한, Fig. 9에서 보는 바와 같이 조립률보다는 그 영향이

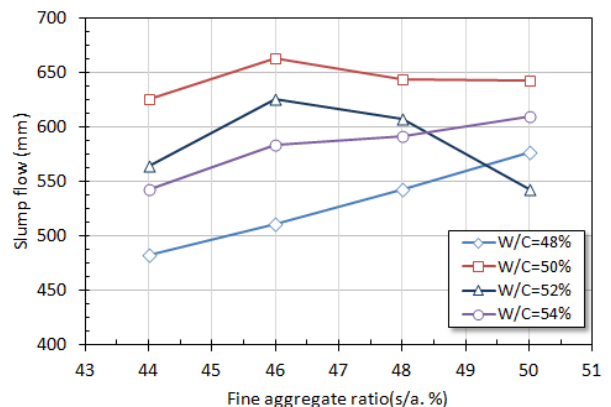


Fig. 8 Fine aggregate ratios vs. slump flow values with different water-cement ratios

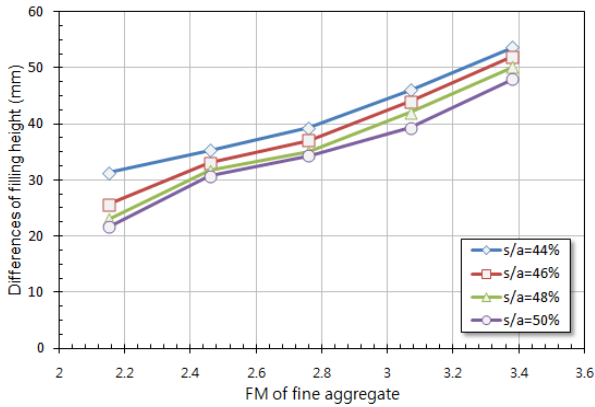


Fig. 9 Differences of filling height vs. fineness moduli of fine aggregate in associate with s/a (W/C=52%)

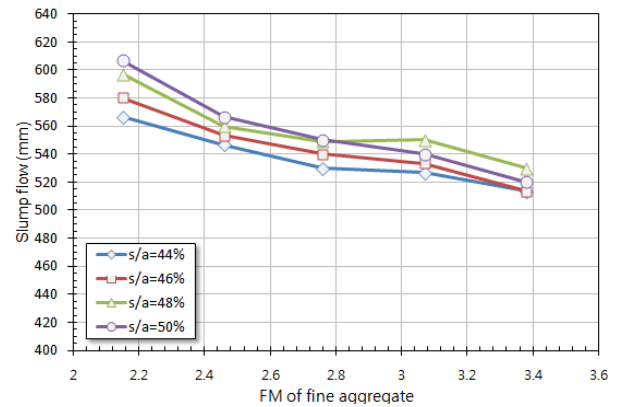


Fig. 10 Slump flow values vs. fineness moduli of fine aggregate in associate with s/a (W/C=52%)

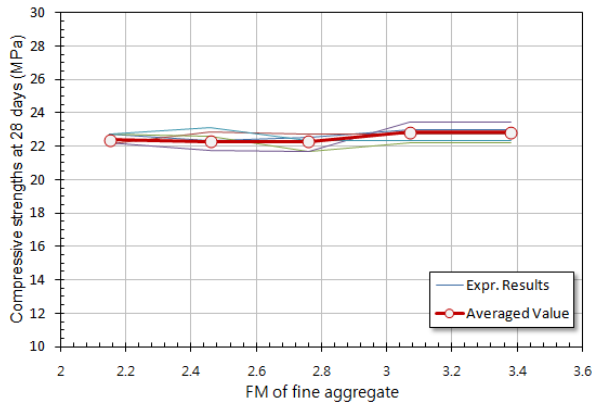


Fig. 11 Compressive strengths vs. fineness moduli (W/C=52%, s/a=48%)

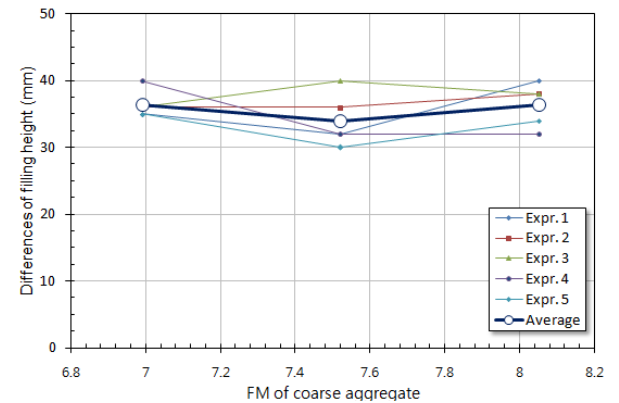


Fig. 12 Differences of filling height vs. fineness moduli of coarse aggregate in associate with s/a (W/C=52%, s/a=48%)

크지는 않지만 잔골재율이 높을수록 충전성이 향상되는 것을 알 수 있다. 이는 굵은 골재에 비해 잔골재가 많이 포함되어 있을수록 충전성을 향상시키는데 유리하다는 것을 나타내는 것이며, 앞서 조립률에서와 동일 개념이라 할 수 있다. 따라서 현장에서 잔골재에 대해 입도시험을 수행한 결과, 다소 조립률이 높은 골재로 판단될 경우에 보다 효과적으로 충전성을 상승시키기 위해서는 단순히 잔골재율을 높이기보다는 미립분이 많이 함유되어 있는 다른 골재들을 일정 비율로 혼합하여 사용하는 것이 유리하다는 것을 본 실험은 제시하고 있다.

Fig. 10은 조립률 변화에 따른 잔골재율별 슬럼프시험 결과를 나타낸 것으로, 앞서 충전성 평가와 마찬가지로 조립률이 작을수록 유동성이 향상됨을 알 수 있다. 또한, 잔골재율의 효과에 있어서도 잔골재율이 높을수록 슬럼프플로가 증가하고 있음을 나타내고 있다.

Fig. 11에서는 잔골재의 조립률에 따른 압축강도의 변

화를 도시한 것으로 잔골재의 조립률의 변화가 강도에 미치는 영향은 거의 없다는 것을 알 수 있다.

3.3 굵은 골재의 조립률 변화에 따른 효과

Fig. 12와 13은 굵은 골재의 조립률 변화에 따른 충전성과 유동성을 평가한 결과를 도시한 것으로, 굵은 골재의 조립률이 변화하여도 슬럼프플로나 충전고차에는 변화가 거의 없다는 것을 알 수 있다. 이는 앞서 잔골재의 조립률 영향과는 달리 굵은 골재의 조립률은 유동성과 충전성에 거의 영향을 미치지 않는다는 것을 나타내며, 따라서 고유동 콘크리트의 유동성과 충전성 확보는 굵은 골재보다는 잔골재에 주로 의존하고 있다는 것을 나타낸다. 그러므로 보다 유리한 고유동 콘크리트 성상을 위해서는 굵은 골재의 입도보다는 잔골재의 입도에 대해 보다 신중하여야 한다는 것을 본 실험을 통해 확인할 수 있다.

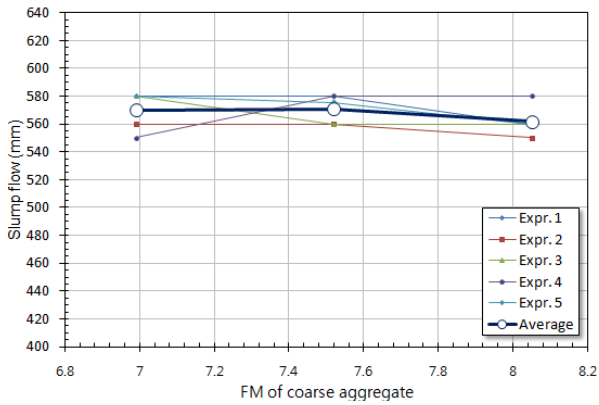


Fig. 13 Slump flow values vs. fineness moduli of coarse aggregate in associate with s/a (W/C=52%, s/a=48%)

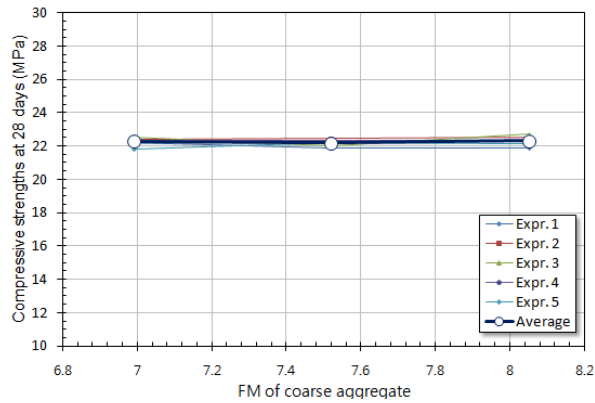


Fig. 14 Compressive strengths vs. fineness moduli of coarse aggregate (W/C=52%, s/a=48%)

Fig. 14는 굵은 골재의 조립률에 따른 압축강도 값을 도시한 것으로, 잔골재와 마찬가지로 굵은 골재의 조립률의 변화가 강도에는 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

3.4 잔골재 및 굵은 골재의 입도 결손에 따른 효과

골재의 조립률이 고유동 콘크리트 성상에 미치는 영향 이외에 각 입자 크기의 영향을 정량적으로 분석하기 위하여 골재의 체가름 곡선에서 각각의 입도를 결손시켜 그 미치는 영향의 정도를 관측해 보기로 하였다. 실험에서는 조립률이 2.76인 잔골재를, 굵은 골재에서는 조립률 7.52를 사용하였으며 모든 경우에 대해 물-시멘트비는 52%, 잔골재율은 48%를 적용하였다.

입도 결손에 따른 평가에 있어 실질적으로 각 입도별로 동일한 양의 골재가 적용된 것이 아니기 때문에 입도결손에 따른 효과에서 차이가 발생하게 된다. 따라서 충전고

차와 슬럼프플로에 대한 평가에서는 각 입도에 사용된 사용량에 대해 식 (1)과 같이 가중치를 적용하여 평가하도록 하였다.

$$\begin{aligned} \text{유효 편차값} &= |T_i - T_o| \times \text{가중치} \\ &= |T_i - T_o| \times \frac{W_o - W_i}{W_o} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서,

T_i = 입도 결손에 따른 결과값(충전고차, 슬럼프플로)

T_o = 입도 결손이 없을 때 결과값(충전고차, 슬럼프플로)

W_o = 시험에 사용된 전체 골재의 질량

W_i = 입도 결손된 골재가 차지하는 질량이다.

Table 2와 3은 각 시료 500g을 기준으로 하였을 때 잔골재와 굵은 골재의 각 체에 남겨진 시료의 질량과 함께 각 체의 시료가 결손되었을 경우의 충전고차와 슬럼프플로의 결과값을 나타낸 것이고, Fig. 15와 16은 잔골재에 있어 각각의 입도 결손에 따른 충전고차와 슬럼프플로의 유효 편차값을, Fig. 17과 18은 굵은 골재의 입도 분포 중 각 입도 결손에 따른 유효 편차값을 도시한 것이다.

잔골재의 경우, Table 2, Fig. 15와 Fig. 16에서 보는 바와 같이 입도에서 각 체에 남는 질량비가 상대적으로 높은 0.3mm, 0.6mm, 1.2mm의 골재가 결손되었을 때 충전고차와 슬럼프플로 상의 높은 편차가 발생되었다. 그러나 0.6mm가 전체 골재량 대비 가장 높은 질량비임에

Table 2 Test results with loss of each grade associated with fine aggregate

Sieve size (mm)	Mass retained on the sieve	Averaged value at the loss of each sieve (mm)		Averaged effective deviation (mm)	
		Filling height	Slump flow	Filling height	Slump flow
5 (No. 4)	12.5	35.5	555	0.49	4.88
2.5 (No. 8)	37.5	36.0	540	0.93	9.25
1.2 (No. 16)	112.5	38.0	530	2.33	15.50
0.6 (No. 30)	125.0	41.0	521	4.50	20.63
0.3 (No. 50)	112.5	42.0	520	5.43	23.25
0.15 (No. 100)	70.0	35.5	563	0.43	10.75
PAN	30.0	-	-	-	-
Total	500.0	-	-	-	-

Note:

(1) Difference of filling height at full grade=35mm

(2) Slump flow at full grade=550mm

Table 3 Test results with loss of each grade associated with coarse aggregate

Sieve size (mm)	Mass retained on the sieve	Averaged value at the loss of each sieve (mm)		Averaged effective deviation (mm)	
		Filling height	Slump flow	Filling height	Slump flow
40	0	-	-	-	-
30	0	-	-	-	-
25	12.5	35.5	563	1.46	5.36
20	75.0	35.8	568	1.49	0.43
15	200.0	36.5	543	1.50	15.30
10	112.5	35.8	553	1.36	12.01
5	75.0	35.0	570	0.85	1.70
0.5	12.5	34.0	570	0	1.95
PAN	12.5	-	-	-	-
Total	500.0	-	-	-	-

Note:

- (1) Difference of filling height at full grade=34mm
- (2) Slump flow at full grade=568mm

도 불구하고 0.3mm 입자 결손에서 높은 편차를 나타내고 있으며, 0.3mm와 1.2mm는 동일 질량비이지만 0.3mm가 상대적으로 높은 편차를 보이고 있어 세립분이 유동성과 충전성에 있어 보다 중요한 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 실질적으로 미립분인 0.15mm 결손이 상당한 영향을 미칠 것으로 판단되지만 전체 골재 질량에 대해 14%를 차지하고 있어 그 결과에 미치는 영향이 비교적 작아진 것으로 판단된다.

굵은 골재의 영향을 나타낸 Fig. 17과 18의 결과를 보면, 잔골재와 달리 입도 결손에 따른 충전고차의 편차가 최대 4mm 이내로 입도 결손이 없을 경우의 34mm와 비교하여 그 편차의 범위는 크지 않다. 따라서 굵은 골재는 어느 특정한 입도의 결손으로 인해 큰 영향을 받는 것이 아니라 각각의 입도에서 거의 균등한 영향이 작용하고 있음을 알 수 있다. 슬럼프플로의 경우도 입도 결손이 없는 경우의 슬럼프플로값 568mm 대비 최대 편차의 크기가

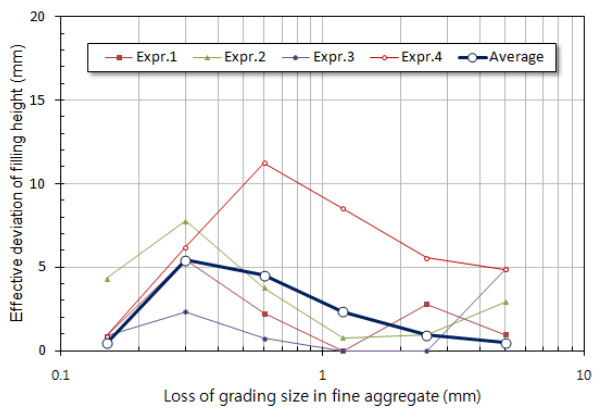


Fig. 15 Effective deviation of filling height vs. loss of grading size in fine aggregate (W/C=52%, s/a=48%)

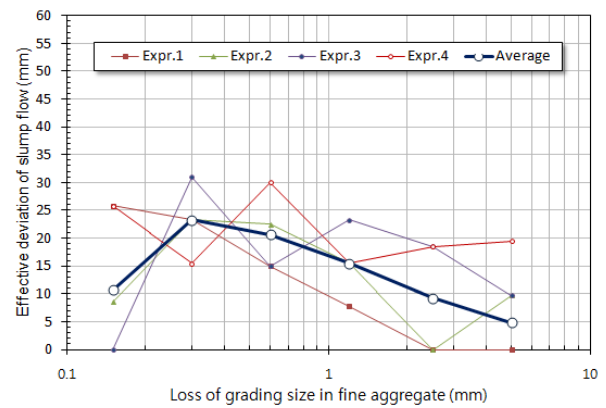


Fig. 16 Effective deviation of slump flow vs. loss of grading size in fine aggregate (W/C=52%, s/a=48%)

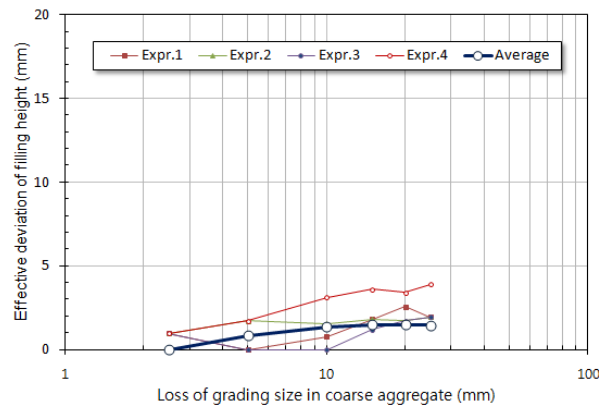


Fig. 17 Effective deviation of filling height vs. loss of grading size in coarse aggregate (W/C=52%, s/a=48%)

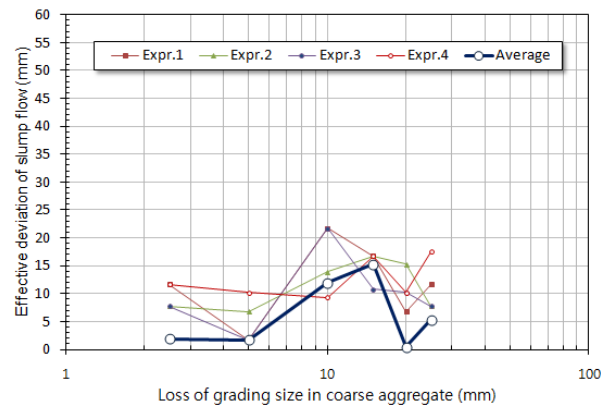


Fig. 18 Effective deviation of slump flow vs. loss of grading size in coarse aggregate (W/C=52%, s/a=48%)

20mm 내외로 입도 결손에 의한 영향이 크지 않음을 확인할 수 있다. 그림 상에서 20mm 입도의 영향이 가장 작은 것으로 나타나고 있지만 이는 전체 굵은 골재량 중에서 이 입도가 차지하는 질량의 범위가 상대적으로 작기 때문에 기인한 것으로 판단된다.

3.5 13mm 골재와 미립 석분의 사용량에 따른 효과

일반적으로 잔골재와 굵은 골재의 분류 기준이 되는 체의 크기는 5mm이며, 이 분류의 기준이 되는 입도의 크기에서 골재 양이 부족할 수 있으므로 완만한 입도 분포가 형성되기 위해서는 이 입도에서의 질량 보정이 요구된다. 그러나 현실적으로 입자 크기 5mm 만의 골재입수가 곤란하기 때문에 현재 아스팔트포장에서 사용되고 있는 최대골재 크기 13mm 골재를 활용하여 굵은 골재의 대체재로 사용하여 그 영향에 대해 평가해 보기로 하였다. 또한,

앞서 설명한 것과 같이 미립분의 증가가 고유동 콘크리트에 미치는 영향을 보다 정량적으로 검증하는 차원에서 시중에서 입수가 용이하고도 콘크리트 강도에 거의 영향을 주지 않는 석분을 활용하여 미립분의 효과를 검토하기로 하였다.

13mm 골재의 굵은 골재 대체효과 시험에서는 굵은 골재의 질량비에 대해 10%씩 최대 50%까지 대체 사용하고 각 경우에 대해 충전고차와 슬럼프플로를 측정하였다. Fig. 19와 20은 물-시멘트비 52%, 잔골재율 48%, 잔골재의 조립률 2.76, 굵은 골재의 조립률 7.52로 배합하여 실험한 결과를 나타낸 것으로, 13mm를 대체 사용함으로써 충전고차는 15mm 정도 감소되고, 슬럼프플로는 약 100mm 정도 향상되었다. 따라서 고유동 콘크리트의 유동성과 충전성을 향상시키기 위해서는 화학 혼화제나 분체량을 증가시키는 것 이외에도 13mm 골재를 활용할 수 있음을 본 실험을 통해 관측할 수 있었다.

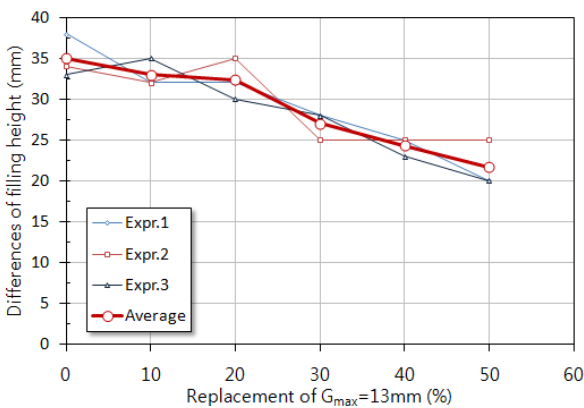


Fig. 19 Differences of filling height with use of 13mm aggregate (W/C=52%, s/a=48%)

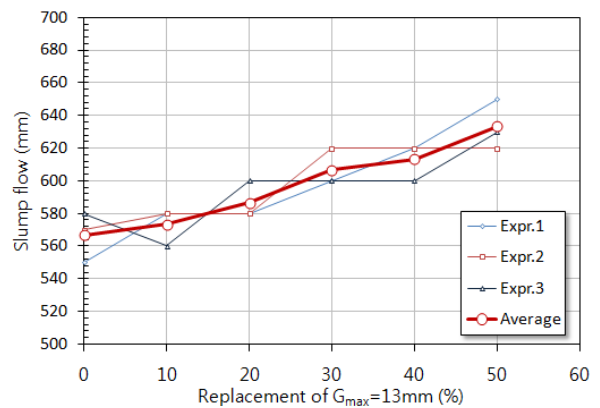


Fig. 20 Slump flow values with use of 13mm aggregate (W/C=52%, s/a=48%)

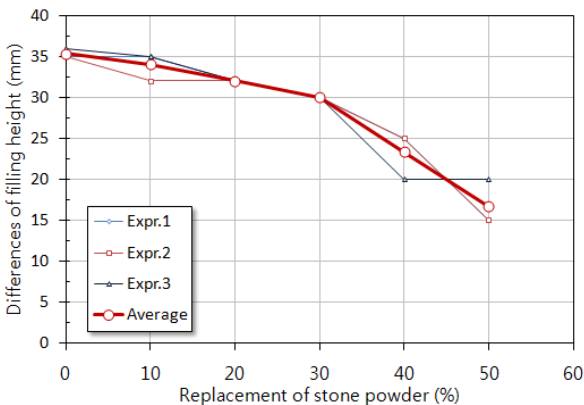


Fig. 21 Differences of filling height with use of stone powder (W/C=52%, s/a=48%)

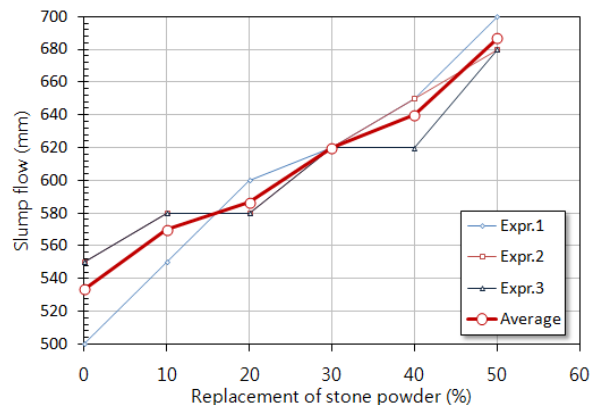


Fig. 22 Slump flow values with use of stone powder (W/C=52%, s/a=48%)

석분의 효과에 관한 실험에서는 석분을 잔골재량의 10%~50%까지 10%씩 증가하여 대체하였으며 그 실험결과를 나타내면 Fig. 21 및 22와 같다. 석분을 대체 활용한 결과는 석분을 활용하지 않은 배합에 비해 충전고차는 최대 20mm 정도, 슬럼프플로는 120mm 정도 성능향상이 나타나고 있어 석분의 활용이 고유동 콘크리트 제조에 유리하게 작용하고 있음을 알 수 있다. 그러나 과도한 미립분의 활용은 콘크리트 내구성 상에 문제를 일으킬 수 있으므로 이에 대한 검증이 요구된다.

4. 결론

본 연구는 일반 강도용 고유동 콘크리트에 있어 골재가 콘크리트 성상에 미치는 영향을 정량적으로 평가하기 위해 물-시멘트비, 조립률, 잔골재율, 골재 크기의 결손 등을 실험변수로 하여 그 효과를 비교, 분석하였고, 골재 대체재로서 13mm 골재와 미립 석분의 활용성을 검토하였다. 그 실험결과를 요약 정리하면 다음과 같다.

- (1) 고유동 콘크리트의 성상에 있어 굵은 골재에 비해 잔골재 입도의 영향이 크게 작용되며, 잔골재율이 높을수록 또한, 조립률이 작을수록 충전성과 유동성이 상승하게 된다. 이는 고유동 콘크리트의 충전성과 유동성 확보를 위해서는 굵은 골재의 입도보다는 잔골재 입도 조정에 주의를 요하며, 콘크리트 내부에 잔골재양을 증가시키고 세립자를 많이 포함시킬수록 고유동 콘크리트 제조가 용이하게 된다.
- (2) 충전성과 유동성의 효과는 잔골재율보다는 조립률의 의존도가 더 높기 때문에 경제적인 측면에서 단순히 지나치게 잔골재율을 높이는 것보다는 미립분이 많은 다른 잔골재와 일정 비율 혼합하여 조립률을 낮추는 것이 고유동 콘크리트 제조상에 유리하다.
- (3) 입자 결손을 통한 입자크기의 중요도 평가에서 잔골재의 경우는 비교적 크기가 작은 입자들이 충전성과 유동성 확보에 큰 영향을 미치고 있으며, 굵은 골재는 어느 특정한 입도의 결손으로 인해 큰 영향을 받는 것이 아니라 각각의 입도에서 거의 균등하게 영향을 미친다.
- (4) 고유동 콘크리트의 보다 효율적인 충전성과 유동성 향상을 위해서는 13mm 골재와 석분과 같은 미

립의 골재 대체 활용이 추천된다. 그러나 석분의 경우는 콘크리트 내구성 상에 문제가 없는 지 확인하여 그 사용량의 범위를 정하는 것이 바람직하다.

감사의 글

이 연구는 건설기술혁신사업인 초장대교량 사업단의 “고기능성 콘크리트/포장재료 및 이용기술 개발” 연구과제로 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. E. Y. Kang, A Fundamental Study on the Improvement of Superplasticizer for High Quality of In-situ Flowing Concrete, Master Dissertation, Chongju University, Korea, 1998.
2. J. H. Kim, An Experimental Study on the Enhancement of Material Properties in High Flowing Concrete in Consideration of Field Conditions, Master Dissertation, Seoul National University of Technology, Korea, 2001.
3. J. H. Yoon, “An Experimental Study on the Rheological Characteristics of High Flowing Concrete”, Journal of the Korea Industry and Technology Research Institute, vol. 12, 1997, pp.67-76.
4. J. P. Goncalves, L. M. Tavares, R. D. Toledo Filho, E. M. R. Fairbairn, E. R. Cunha, “Comparison of Natural and Manufactured Fine Aggregates in Cement Mortars”, Cement and Concrete Research, 37, 2007, pp.924-932.
5. K. S. Lee, Effects of Mixing Parameters on the Flowing Behavior in High Flowing Concrete, Master Dissertation, Kyungpook National University, Korea, 2010.
6. M. Sahmaran, H. A. Christianto, I. Q. Yaman, “The Effect of Chemical Admixtures and Mineral Additives on the Properties of Self-Compacting Mortars”, Cement & Concrete Composites 28, 2006, pp. 432-440.
7. P. L. Domone, “A Review of the Hardened Mechanical Properties of Self-compacting Concrete”, Cement & Concrete Composites 32, 2007, pp.1-12.
8. P. S. Lee, K. J. Kwon and S. M. Kim, “The Comparative Experimental Study of short and long-term Behavior of the Blended High-Fluidity Cement Concrete and Existing Nuclear Power Plant Structural Concrete”, Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance Inspection, vol. 8, No. 4, 2004, pp.195-202.
9. S. W. Choi, H. T. Jo, D. H. Ryu and G. Y. Kim, “An Experimental Study on the Influence of the Qualities of Ordinary Portland Cement on the Flowability of High Flow Concrete”, Journal of the Korea Concrete Institute, vol. 24, No. 1. 2012, pp.37-44.
10. T. H. Cha, An Experimental Study on Fabrication of High Flowing Concrete and its Field Application, Master Dissertation, Suwon University, Korea, 1995.
11. V. S. Ramachandran, Concrete Admixtures Handbook, Noyes Publications, 1984.

-
12. W. Zhu and J. C. Gibbs, "Use of Different Limestone and Chalk Powers in Self-compacting Concrete", Cement and Concrete Research 35, 2005, pp.1457-1462.
 13. Y. R. Kim, S. K. Park, K. Y. Kim, M. H. Kim, S. H. Lee and M. H. Kim, "An Experimental Study on the Engineering Properties of High-Strength Concrete according to Kinds of Cement", KCI Spring Conference, Korea, vol. 12, No. 1, 2000, pp.126-129.
 14. Y. W. Choi, W. Choi, B. K. Kim, S. W. Ha and J. J.

Gwon, "Rheological Properties of the Combined Normal Strength High Flowing Self-Compacting Concrete", KCI Autumn Conference, Korea, vol. 9, No. 2, 2007, pp.717-720.

Received : 08/14/2012

Revised : 09/11/2012

Accepted : 09/14/2012

요 지

고유동 콘크리트는 일반 콘크리트에 비해 고가의 각종 혼화재료를 과량 혹은 추가로 사용하여야 하기 때문에 재료비 단가 상승, 추가 설비의 필요 등의 문제점이 있고, 재료분리를 방지하기 위해 분체량을 증가시킴으로써 과잉 강도발현 등 고유동 콘크리트가 갖고 있는 많은 장점이 있음에도 특수 목적 이외에는 그 사용에 있어 제약이 있었다. 이에 본 연구에서는 기존에 개발된 고강도성 고유동 콘크리트와 달리 일반 강도의 고유동 콘크리트의 상용화를 위해 콘크리트 구성 재료 중에서 골재를 중심으로 이들의 합리적 활용과 콘크리트의 성능향상 모색을 위해 정량적 인자별 실험을 수행하였다. 사용한 실험변수로 물-시멘트비, 잔골재율, 골재의 조립률, 입자 크기의 중요도, 13mm 골재와 미립분의 활용에 대해 검토하였으며, 슬럼프플로와 U형 충전시험의 충전 고차로 평가하였다.

연구결과, 고유동 콘크리트 성상은 굵은 골재보다 잔골재 입도에 대한 의존도가 높으며, 잔골재율이 높을수록, 조립률이 낮을수록 충전성과 유동성 확보에 유리하였다. 또한, 골재의 대체재로써 13mm 골재 및 미립의 석분을 활용함으로써 보다 효율적으로 충전성과 유동성을 향상시킬 수 있음이 본 연구를 통해 확인되었다.

핵심 용어 : 입도, 잔골재율, 조립률, 미립의 석분, 13mm 골재
