



골재 중 0.08 mm 이하 미립분의 종류가 콘크리트의 특성에 미치는 영향

송진우¹⁾ · 최재진^{1)*}

¹⁾공주대학교 건설환경공학부

The Influence of Fine Particles under 0.08 mm Contained in Aggregate on the Characteristics of Concrete

Jin-Woo Song¹⁾ and Jae-Jin Choi^{1)*}

¹⁾Dept. of Civil & Environmental Engineering, Kongju National University, Cheonan 330-717, Korea

ABSTRACT Recently, crushed fine aggregates are being widely used due to the shortage of natural sand. In Korea, the amount of fine particles under 0.08 mm contained in crushed fine aggregates is restricted to be less than 7%, which is similar to the regulations of ASTM but is still very strict compared to the regulations of the other nations. In addition, the crushed aggregates already have in them about 20% of fine particles under 0.08 mm which occurs while they are crushed. The fine particles are not easy to wash out, and also to maximize the use of resources it is deemed necessary to review the possibility of enhancing the limit of the amount of fine particles. Therefore, this study conducted experiments to analyze the characteristics of fine particles under 0.08mm and their influence on the properties of concrete. Experiments using silt and cohesive soil were also done for comparison. In the experiments on fine particles, the methylene blue value was more in the soil dust contained in silt and cohesive soil than in the stone powder contained in crushed fine aggregates. Also, the methylene blue value had a close correlation with packing density and liquid & plastic limit. In the experiments done with concrete, the quantity of high range water reducing agent demanded to obtain the same slump increased as the fine particle substitution rate heightened. However, in the experiment which used stone powder testing the compressive strength and tensile strength of concrete in the same water-cement ratio, there was little change in strength with less than 20% addition of fine particles among the fine aggregates, and no meaningful difference in the amount of drying shrinkage of concrete.

Keywords : crushed aggregate, microfines, methylene blue value, strength, drying shrinkage

1. 서 론

콘크리트의 구성 재료로서 골재는 하천골재의 고갈로 석산의 암석을 파쇄한 골재와 바다모래의 사용이 크게 증가하였다. 이에 관해서 국토해양부의 2009년도 골재수급계획을 보면¹⁾ '09년도 골재 수요량은 2억 1625만 m³ 정도였으며, 골재채취원별로는 하천 2657만 m³(11.3%), 바다 3325만 m³(14.2%), 산림 1억840만 m³(46.2%), 육상 1074만 m³(4.6%) 및 비허가 골재 5577만 m³(23.8%)로 추정되었다. 이와 같이 전체의 50%에 가까운 높은 사용 비율을 나타낸 산림 골재는 암석의 파쇄과정에서 0.08 mm 이하의 미립분이 20% 전후로 발생하게 되는 경우가 많다.²⁾ 미립분이 많이 포함된 골재를 콘크리트에 사용하는

경우 콘크리트의 단위수량이 증가하게 되고 건조수축이 증가하는 등 나쁜 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 그래서 KS F 2527(콘크리트용 부순 골재)에서는 부순 잔골재 중의 0.08 mm 이하 미립분을 7%이하로 제한하고 있고, ASTM C 33(standard specification for concrete aggregates)에서는 미립분의 양을 마모작용을 받는 경우 5% 이하, 기타의 경우 7% 이하로 규정하고 있다. 그러나 부순 잔골재에 대한 이러한 미립분 허용량은 영국의 16% 이하, 프랑스 12~18% 이하(용도에 따라), 호주 10% 이하(구입자가 허용하는 경우 25% 이하) 등과 비교할 때 보다 엄격한 규정이다.

한편 미국에서는 텍사스 대학의 Fowler 교수 등이 부순골재의 미립분 허용한도를 상향 조정할 필요가 있음을 보여주는 실험 결과를 발표하고 있고,^{3,4)} KS F 2527의 2007년 개정판 해설에서도 '생산 업체로부터 제조 시 발생하는 석분의 유효 이용과 생산성의 향상을 목적으로 0.08 mm 체 통과량을 10% 정도까지 확대시켜 달라는 의

*Corresponding author E-mail : jjchoi@kongju.ac.kr
 Received January 30, 2013, Revised March 14, 2013,
 Accepted March 25, 2013
 ©2013 by Korea Concrete Institute

견이 있었으나, 현 시점에서는 석분량을 크게 할 경우에 콘크리트에 미치는 영향이 불명확하므로, 이번 개정에서는 부순 잔골재의 0.08 mm 체 통과량을 7.0% 이하로 그대로 유지하였다. 그러나 추후 이 부분은 많은 연구를 통하여 다시 검토되어야 할 것으로 판단된다.'라고 부연 설명하고 있다. 이와 같이 부순 잔골재는 파쇄 과정에서 0.08 mm 이하의 미립분을 다량 포함하며 이를 물로 씻어 내는 일도 용이하지 않고 또 자원 활용의 극대화를 위해서도 부순 잔골재 중 잔입자량 한도의 상향 조정 여부에 대한 검토가 필요한 실정이다.

이 연구에서는 각기 다른 4개 지역의 원석 파쇄현장에서 부순 잔골재의 생산과정에서 발생된 0.08 mm 이하의 미립분을 수거하고 그 특성을 분석하기 위한 실험과 함께 이들을 콘크리트에 첨가하였을 때 그 첨가량에 따른 콘크리트의 물성변화를 알아보기 위한 실험을 실시하였다. 또한 골재 파쇄전의 원석에는 표토 등 토분이 혼입되는 경우가 있으므로 실트 및 점성토 중에 포함된 미립분이 콘크리트의 물성에 미치는 영향을 비교 고찰하기 위한 실험을 병행하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

콘크리트 실험에서 사용한 시멘트는 Table 1에 나타난 성분의 보통 포틀랜드 시멘트이고, 골재는 Table 2의 물성을 가지는 것으로서 굵은골재는 최대치수 25 mm의 부순돌을, 그리고 잔골재는 강모래를 사용하였다.

미립분은 경기, 충남, 충북지역에서 각각 채취한 4종의 부순 잔골재를 0.08 mm 체로 쳐서 얻은 것(MF1, MF2, MF3, MF4)과 2종의 실트 및 점성토에서 얻은 것(MF5, MF6)으로 하였다. 미립분의 Particle Size Analyzer에 의한 입도분석 결과는 Table 3에 나타난 바와 같으며, 평균입경은 MF1, MF2, MF3, MF4의 경우 12~15 μm이고 MF5, MF6의 경우 24~25 μm 범위이었다.

Table 1 Properties of cement

Cement	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Density (g/cm ³)	Specific surface area (cm ² /g)
OPC	21.60	6.00	3.10	61.40	3.40	2.50	3.15	3600

Table 2 Physical properties of aggregates

Aggregate	Unit weight (kg/m ³)	FM	Density (g/cm ³)	Absorption (%)	Max size (mm)
Coarse	1613	6.84	2.65	0.81	25
Fine	1607	2.55	2.61	1.40	-

한편 콘크리트 실험에서 혼화제는 폴리카르본산계의 고성능 감수제(HRWRA)를 사용하였다.

2.2 0.08 mm 이하 미립분의 특성 분석 실험

2.2.1 조성광물 분석

미립분의 조성광물 분석을 위해 XRD 분석과 3000배의 배율로 SEM-EDS 분석을 실시하였다.

2.2.2 메틸렌블루 실험

메틸렌블루 실험(methylene blue test)은 AASHTO(TP57-06)에 규정된 방법에 준하여 실시하였다(Fig. 1). 그리고 실험 결과로서 골재의 0.08 mm 체 통과분이 유해한 점토를 포함하는지를 평가하기 위해 메틸렌블루 값(MBV)을 식 (1)에 의해 구하였다.

$$MBV = CV/W = 5 \times V/10 \quad (1)$$

MBV: 메틸렌블루 값

C: 메틸렌블루의 질량(mg)/용액의 부피(ml)

V: 적정을 위해 필요한 메틸렌블루의 양(ml)

W: 건조시료의 질량(g)

2.2.3 싱글드롭 실험

싱글드롭 실험(single drop test)은 Bigas & Gallias의 연구⁵⁾에서 제안된 것이다. 실험은 미립분의 수분 흡수능과 관련한 packing density 값을 구하기 위해 개방된 그릇에 미립분을 채워놓고 0.2 ml의 증류수를 떨어뜨려 증류수와 미립분이 결합된 덩어리를 빼내어 그 질량을 측정하는 방법으로 진행하였다(Fig. 2). 그리고 packing density

Table 3 Particle size distribution of microfines (μm)

Microfines	Mean	D10	D50	D90
MF1 (Granite)	14.97	1.93	10.33	35.58
MF2 (Gneiss)	11.55	1.74	7.28	26.37
MF3 (Gneiss)	12.07	1.83	8.22	27.63
MF4 (Limestone)	13.01	1.55	7.74	33.72
MF5 (Silt)	25.16	2.28	18.41	43.42
MF6 (Clay)	24.46	2.79	10.48	45.50

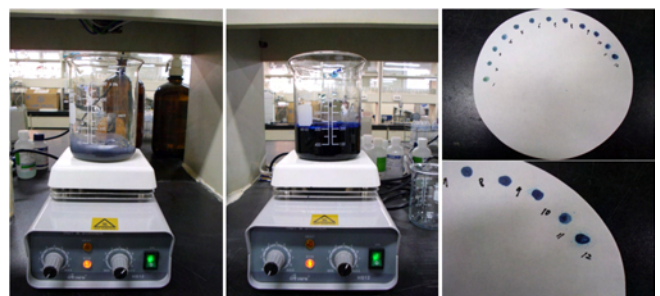


Fig. 1 Methylene blue test

값은 식 (2)에 의해 계산하였다.

$$Packing\ Density(\varnothing) = \frac{1}{1 + \rho_s \frac{w}{s}} \quad (2)$$

ρ_s : 미립분 밀도(g/cm^3)
 w : 물의 질량(g)
 s : 미립분의 질량(g)

2.2.4 액성한계 및 소성한계

0.08 mm 이하의 미립분에 대하여 KS F 2303에 따라 액성한계 및 소성한계를 측정하였다.

2.3 콘크리트 실험

2.3.1 콘크리트 배합

콘크리트 배합은 Table 4와 같이 물-시멘트 비 40% 및 50%에서 0.08 mm 이하 미립분을 잔골재 질량에 대한 대체율 0%, 5%, 10%, 15%, 20%로 변화시켰으며 고성능 감수제의 사용량을 조정하여 슬럼프가 150±10 mm의 범위가 되도록 하였다.

2.3.2 콘크리트 혼합

콘크리트 비빔은 배합별로 계량된 골재, 시멘트, 미립분을 30초간 건비빔한 후 물과 혼합해서 60초간 비빔을

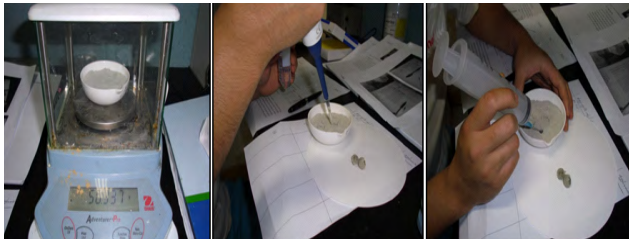


Fig. 2 Single drop test

Table 4 Mix proportions of concrete

W/C (%)	MF ⁽¹⁾ (S×%)	Slump (mm)	Unit weight (kg/m^3)				
			W	C	S	G	MF ⁽¹⁾
50	0	150±10	200	400	707	1039	0
	5				672		35
	10				636		71
	15				601		106
	20				566		141
40	0		200	500	625	1039	0
	5				593		32
	10				562		63
	15				531		94
	20				500		125

⁽¹⁾Microfines

실시한 후에 고성능 감수제를 넣고 다시 30초간 비빔을 실시하였다.

2.3.3 슬럼프와 강도실험

콘크리트의 슬럼프 실험은 KS F 2402에 준하여 실시하였다. 콘크리트 강도는 압축강도 및 인장강도 실험을 위해 각각 $\Phi 100 \times 200$ mm 원주 공시체와 $\Phi 150 \times 300$ mm 원주 공시체를 제작하여 1일 후 탈형하고 표준양생을 재령 7일과 28일 동안 실시한 다음 KS F 2405 및 KS F 2423에 따라 강도실험을 실시하였다.

2.3.4 건조수축

콘크리트의 건조수축실험은 KS F 2424 “모르타르 및 콘크리트의 길이변화 시험방법”에 준하여 콘택트 게이지 방법으로 측정하였다. 건조수축에 의한 길이변화 측정용 공시체는 100×100×400 mm의 몰드를 이용하여 시편의 표면에 플러그를 설치하여 제작하고 재령 7일까지는 수중양생을 실시한 다음, 항온항습실(온도 20°C, 습도 60%)에 정착시키고 재령에 따라 길이변화를 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 0.08 mm 이하 미립분의 특성 분석

3.1.1 미립분의 XRD 분석

Fig. 3은 0.08 mm 이하 미립분에 대한 X-선 회절 분석 결과이다. 광물학적 특성으로 부순 잔골재 중의 미립분은 석영과 장석이 주요광물로서 적철석을 포함한 화강암계(MF1)와 편마암계(MF2, MF3) 및 방해석이 주요광물인 석회암계(MF4)로 나타났다. 그리고 실트 및 점성토에서 얻은 미립분 MF5와 MF6에서도 석영과 장석 등의 광물이 확인되었다.

3.1.2 SEM-EDS 분석

Fig. 4는 미립분의 SEM사진을 보인 것이며, Table 5는 EDS분석 결과를 나타낸 것이다. SEM사진에 의해 전반적인 모양을 비교해 보면 부순 잔골재 중의 미립분은 실트 및 점성토에서 얻은 미립분과 비교하여 보다 각이 진 형상이 많이 관찰되었다. 그리고 SEM-EDS분석 결과에서는 부순 잔골재 중의 미립분의 경우 일반적인 암석의 구성원소 비를 나타냈으며 방해석이 주요광물인 석회암계에서는 원소 O, C, Ca가 주류를 이루었다. 실트 및 점성토계의 경우는 원소 O가 주류를 이루며 상대적으로 원소 C가 적은 것으로 나타나 유기질을 많이 포함하고 있는 것으로 나타났다.

3.1.3 MBV와 packing density 측정값

메틸렌블루실험은 골재 중의 미립분에 대하여 그것이

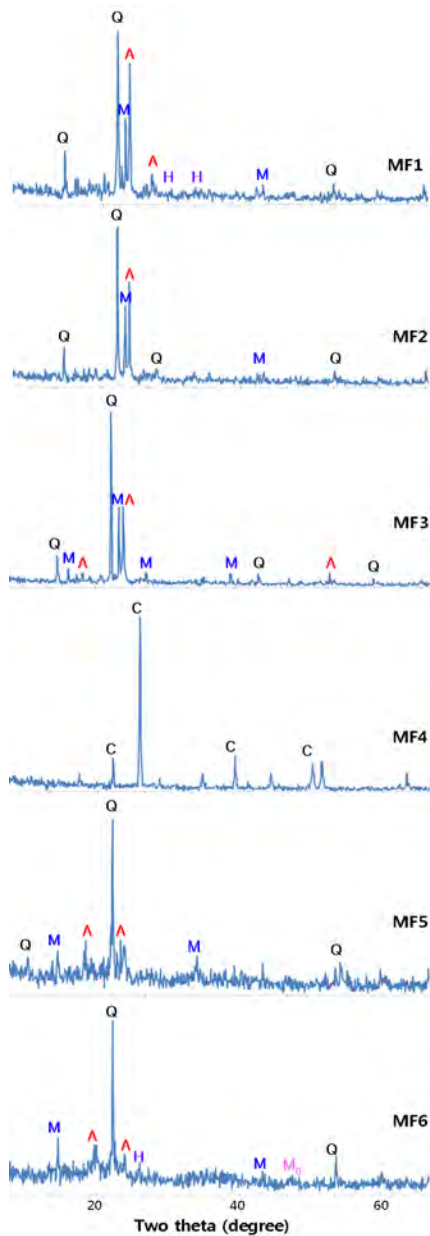


Fig. 3 XRD analysis of microfines
 Q: quartz, M: microcline, A: albite, H: hematite,
 Mo: manganosite

유해한 점토를 포함하는지의 여부를 분석하는 방법으로 활용되며, 그 예로서 Aschenbrenner⁶⁾는 수분 민감도와 관련된 핫 믹스 아스팔트 포장의 성능 관계에서 미립분의 메틸렌블루 값에 따라 예상되는 성능은 6 이하(우수), 7~12(허용 가능), 13~19(문제 발생), 20 이상(부적합)으로 구분한 바 있다.

Table 6은 0.08 mm 이하 미립분에 대한 메틸렌블루 값을 나타낸 것이다. 이 표에서 부순 잔골재 중의 미립분(MF1, MF2, MF3, MF4)의 메틸렌블루 값은 2.0~5.0의 범위로서 화강암계, 편마암계 및 석회암계의 원석에 따라 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 실트 및 점성토에서 얻은 미립분의 경우, 실트질계의 MF5와 점성토계의 MF6의 메틸렌블루 값은 각각 15.0 및 21.5의 높은 값을 나타

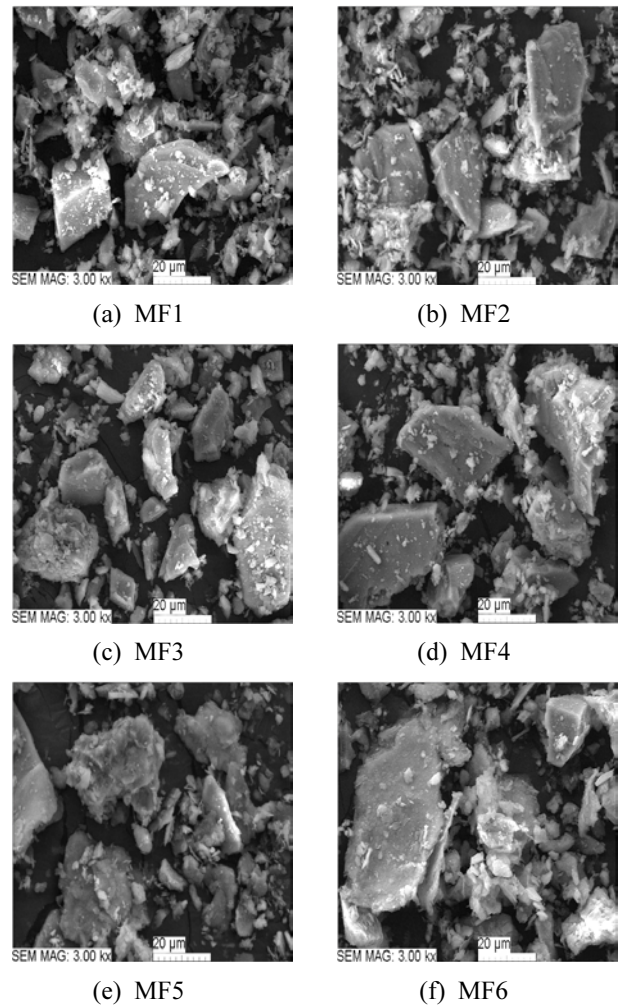


Fig. 4 SEM photographs of microfines

Table 5 Atomic analysis of microfines

Microfines	Atom (%)												
	O	Si	C	Al	K	Na	Fe	Ca	Mg	Ti	S	Cu	Mn
MF1 (Granite)	45	14	21	7	2	2	2	1	0.7	0.5	0.1	0.1	-
MF2 (Gneiss)	45	13	24	6	4	1	1	1	0.8	0.1	0.1	-	-
MF3 (Gneiss)	46	19	22	4	1	2	0.9	0.6	0.6	-	-	-	-
MF4 (Limestone)	46	0.2	22	0.7	-	-	0.6	28	0.7	-	-	-	0.1
MF5 (Silt)	50	20	2	13	0.5	4	1	4	0.7	0.2	-	-	-
MF6 (Clay)	51	12	11	10	2	-	7	0.6	3	-	-	-	-

났다.

이 결과로부터 부순 잔골재 중의 미립분은 흙 성분의 미립분과 달리 메틸렌블루 값이 작게 나타나며, 메틸렌블루실험은 골재 파쇄전의 원석에 혼입된 표토 등 흙 성분의 혼입 여부를 평가하는 데 유효하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

Table 7은 0.08 mm 이하 미립분에 대한 packing density

값을 나타낸 것이다. Packing density 값은 부순 잔골재 중의 미립분(MF1, MF2, MF3, MF4)의 경우 0.67~0.69의 범위로 나타났으며, 실트 및 점성토에서 얻은 미립분의 경우, 각각 0.61 및 0.58로 나타났다. Packing density는 미립분이 수분을 흡착하는 성질과 관계되며, 점성토에서 얻은 미립분보다는 부순 잔골재 중의 미립분에서의 packing density 값이 크게 나타남으로써 부순 골재 중의 미립분의 수분 흡착능은 상대적으로 작은 것으로 판단된다.

Fig. 5는 0.08 mm 이하 미립분의 메틸렌블루 값(x)과 packing density 값(y)의 관계를 그림으로 나타낸 것이며, 이들의 관계는 식 (3)으로 나타낼 수 있다. 그림에서 미립분의 메틸렌블루 값이 증가하면 packing density 값은 감소하는 경향이 있음을 알 수 있으며, 이들 간에는 R^2 97%의 높은 상관성을 나타냈다.

$$y = 0.695 - 0.005x \quad (3)$$

Table 6 MBV of microfines

Microfines	MBV
MF1 (Granite)	2.5
MF2 (Gneiss)	4.0
MF3 (Gneiss)	2.0
MF4 (Limestone)	5.0
MF5 (Silt)	15.0
MF6 (Clay)	21.5

Table 7 Packing density of microfines

Microfines	Packing density
MF1 (Granite)	0.680
MF2 (Gneiss)	0.686
MF3 (Gneiss)	0.680
MF4 (Limestone)	0.668
MF5 (Silt)	0.606
MF6 (Clay)	0.584

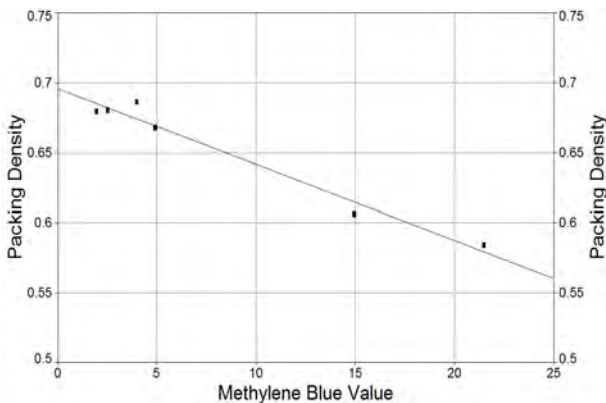


Fig. 5 Relation between MBV and packing density

3.1.4 액성한계와 소성한계 측정값

Table 8은 미립분의 액성한계 및 소성한계 실험 결과이다. 액성한계는 부순 잔골재 중의 미립분(MF1, MF2, MF3, MF4)의 경우 20~24%의 범위이었으며, 실트 및 점성토에서 얻은 미립분의 경우는 31~51%로 나타났다. 그리고 소성한계는 부순 잔골재 중의 미립분의 경우 16~25%의 범위를, 실트 및 점성토에서 얻은 미립분의 경우는 27~42%를 나타냈다. 통일분류법에 의해 흙을 분류할 때 액성한계가 50% 이하를 나타내는 경우 실트질계로, 그리고 50% 이상일 때를 점성토계로 분류하기 때문에 미립분 MF5는 유기질을 포함한 실트질계로, 미립분 MF6는 유기질토로서 점성토계로 분류할 수 있다.

Fig. 6과 7은 골재 중의 0.08 mm 이하 미립분에 대한 메틸렌블루 값(x)과 액성한계(y_1) 또는 소성한계(y_2)와의 관계를 보인 것으로 메틸렌블루 값이 큰 경우 액성한계와 소성한계가 크게 되는 경향을 나타냈다. 메틸렌블루 값과 액성한계의 관계는 식 (4)로, 그리고 메틸렌블루 값과 소성한계의 관계는 식 (5)로 나타낼 수 있으며 이들

Table 8 Liquid and plastic limit of microfines

	MF1	MF2	MF3	MF4	MF5	MF6
Liquid limit (%)	21	24	23	20	31	51
Plastic limit (%)	22	23	25	16	27	42

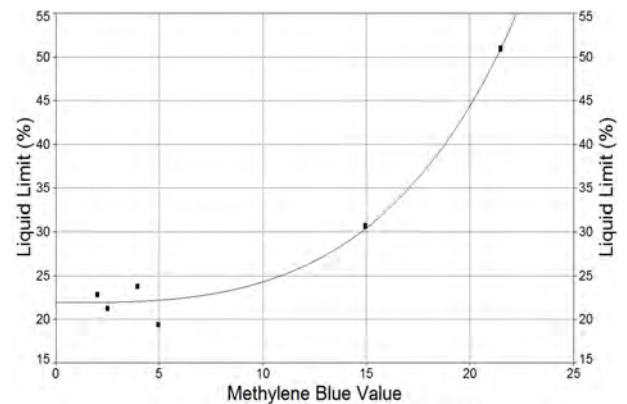


Fig. 6 Relation between MBV and liquid limit

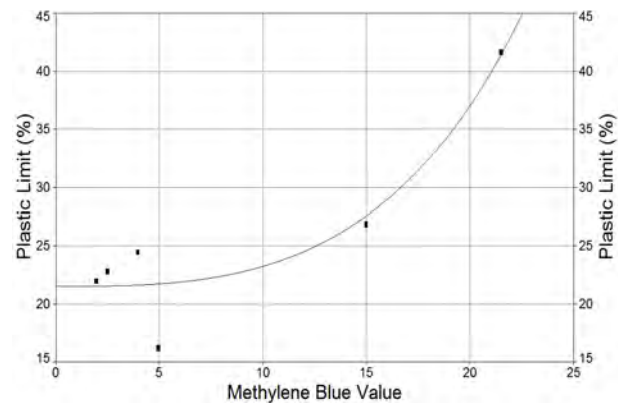


Fig. 7 Relation between MBV and plastic limit

사이에는 각각 R² 값이 98% 및 89%로 높은 상관성을 보였다.

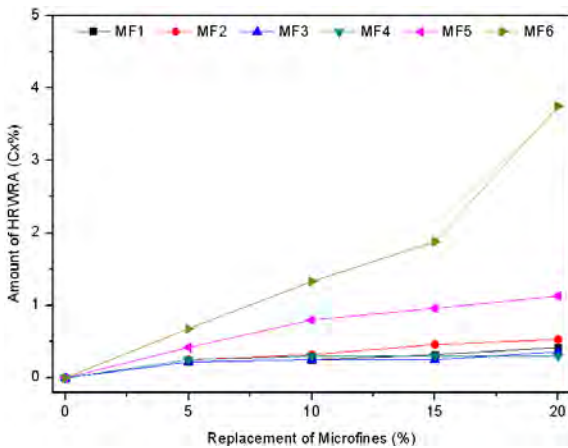
$$y_1^{0.5} = 4.68 + 0.0002x^3 \quad (4)$$

$$y_2^{0.5} = 4.64 + 0.0004x^3 \quad (5)$$

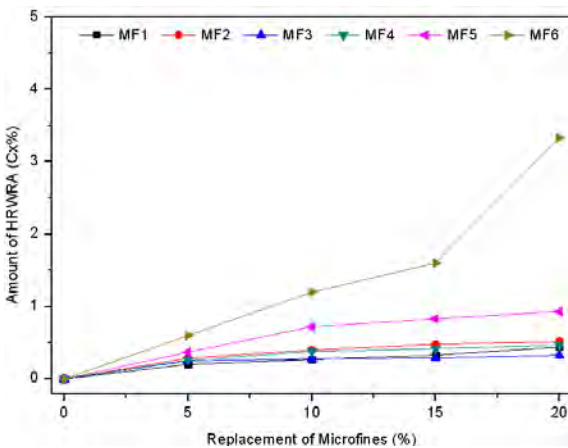
3.2 0.08 mm 이하 미립분을 사용한 콘크리트의 특성

3.2.1 고성능 감수제 소요량

Fig. 8은 0.08 mm 이하 미립분의 대체율에 따라서 콘크리트의 슬럼프 값을 150±10 mm로 조정하기 위한 고성능 감수제(HRWRA)의 소요량을 나타낸 것이다. 목표 슬럼프를 얻기 위한 고성능 감수제의 소요량은 화강암계(MF1), 편마암계(MF2, MF3), 석회암계(MF4) 모두 비슷한 수준이었으나, 실트질토 중의 미립분 MF5 및 점성토 중의 미립분 MF6을 대체 사용한 경우는 고성능 감수제 소요량이 2배 이상 크게 증가하였다. 특히 MF6을 사용한 경우는 그 미립분의 대체율이 증가하는데 따라 고성능 감수제의 소요량이 대폭적으로 증가하였으며 이러한 경



(a) W/C 50%



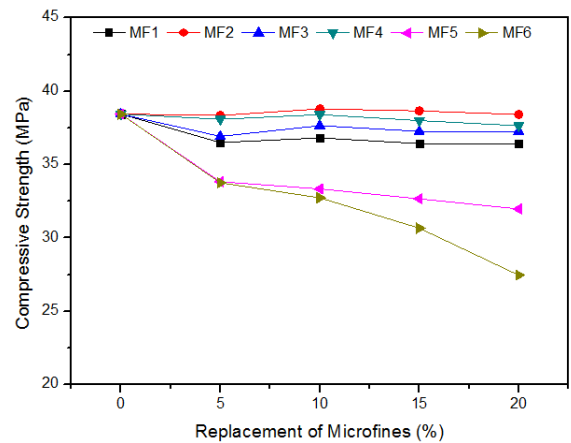
(b) W/C 40%

Fig. 8 Amount of HRWRA

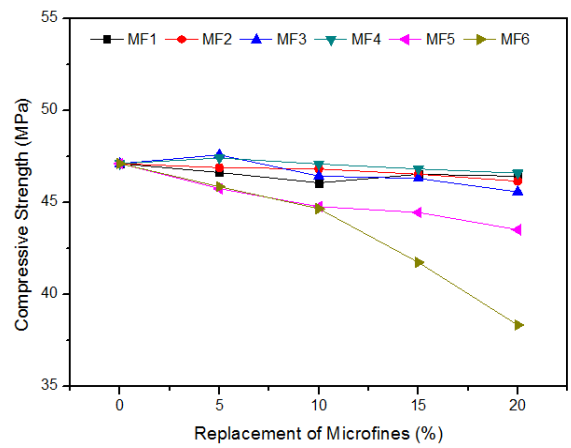
향은 물-시멘트비 40% 및 50%의 콘크리트에서 동일하게 나타났다.

3.2.2 강도 특성

Fig. 9는 0.08 mm 이하 미립분의 대체율에 따른 콘크리트 채령 28일 압축강도 실험 결과를 나타낸 것이다. 고성능감수제를 사용하여 반죽질기를 같게 한 물-시멘트비 40%와 50%의 콘크리트 실험에서, 부순골재 중의 미립분을 사용한 콘크리트의 압축강도는 그 대체 사용비율에 따라 동등하거나 10% 정도 범위 이하의 강도 저하가 나타났으며, 실트 및 점성토 중의 미립분을 사용한 콘크리트의 강도는 미립분의 대체율이 증가하는데 따라 강도저하가 크게 나타났다. 이와 관련한 연구 결과로서 Malhotra는⁷⁾ 동일한 슬럼프를 가지는 물-시멘트비 53%와 40%의 콘크리트의 경우, 미립분 대체율에 따른 강도변화는 거의 없었으며 물-시멘트비 70%의 콘크리트에서는 미립분의 대체율이 증가함에 따라 강도가 증가하는 경향이 나타났다. 한편 일반적인 경향으로 단위수량을 변화시켜 동일한 콘크리트의 반죽질기를 얻는 경우는 미립분의 사용량 증가에 따라 단위수량이 증가하고, 강도저하와 건조수축의 증가가 초래되는 것으로 알려져 있다.⁸⁾

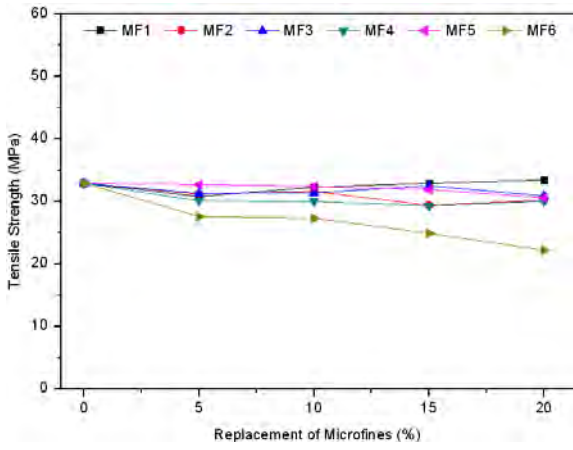


(a) W/C 50%

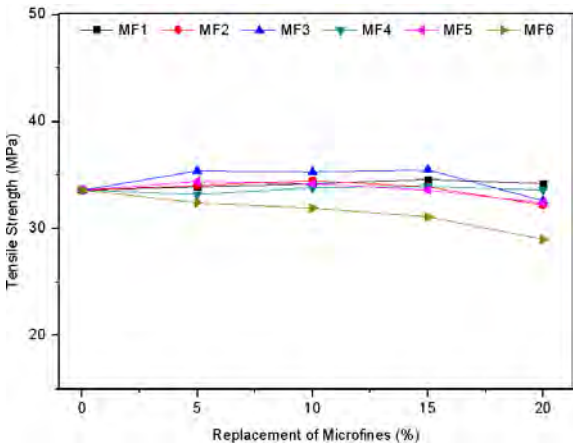


(b) W/C 40%

Fig. 9 Compressive strength (age 28 days)



(a) W/C 50%



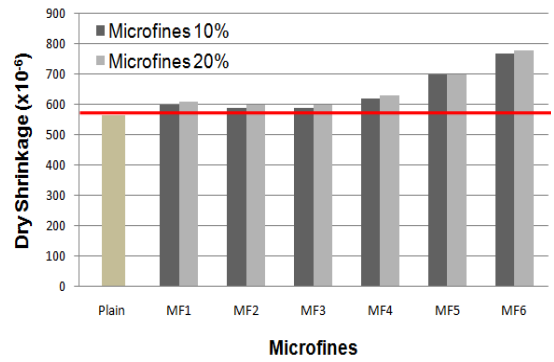
(b) W/C 40%

Fig. 10 Tensile strength (age 28 days)

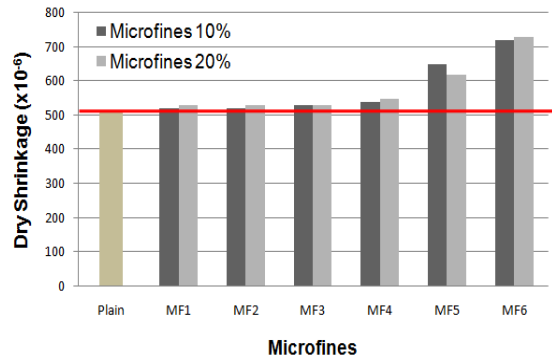
Fig. 10은 0.08 mm 이하 미립분의 대체율에 따른 콘크리트의 재령 28일 인장강도 실험 결과이다. 물-시멘트비 40%의 경우 모두 부순골재 중의 미립분 MF1, MF2, MF3 및 MF4를 사용한 경우와 실트질토의 미립분 MF5를 사용한 경우, 콘크리트 인장강도는 큰 변화가 없었으며, 물-시멘트비 50%의 콘크리트에서는 약간의 강도저하의 경향을 나타냈다. 그러나 점성토 중의 미립분 MF6을 사용한 콘크리트는 미립분 대체율이 증가할수록 인장강도저하가 크게 되는 것으로 나타났는데 이는 고성능감수제의 사용량 증가에 따른 수량증가의 영향이 어느 정도 관계된 것으로 추정된다.

3.2.3 건조수축 특성

Fig. 11은 0.08 mm 이하의 미립분 대체율을 10% 및 20%로 하였을 때의 콘크리트 재령 180일의 건조수축 실험 결과이다. 고성능감수제를 사용하여 반죽질기를 같게 한 물-시멘트비 40%와 50%의 콘크리트 실험에서, 부순골재 중의 미립분(MF1, MF2, MF3, MF4)을 사용한 콘크리트의 건조수축은 plain 콘크리트와 비교하였을 때 거의 같은 수준으로 나타났다. 이러한 결과는 Koehler 등의 연구 결과⁴⁾와 유사한 것이며, Ahmed⁹⁾는 동일한 슬럼프를



(a) W/C 50%



(b) W/C 40%

Fig. 11 Drying shrinkage test results (180 days)

가지는 콘크리트의 건조수축 실험 결과 미립분 대체율 10%까지는 차이가 없었으나 15% 이상에서는 콘크리트의 건조수축이 오히려 작아졌다고 보고한 바 있다.

한편 Fig. 11에서 실트 및 점성토 중의 미립분(MF5, MF6)을 사용한 콘크리트의 건조수축은 plain 콘크리트와 비교하였을 때 길이변화량이 재령 6개월에서 $100 \times 10^{-6} \sim 200 \times 10^{-6}$ 정도 증가함으로써 미립분이 골재의 파쇄과정에서 발생하는 것과 달리 토분인 경우는 이것이 콘크리트에 혼입될 때 건조수축량을 증가시키며, 균열의 발생을 증가시키는 원인이 된다고 판단된다.

4. 결 론

부순 잔골재를 0.08 mm 체로 쳐서 얻은 미립분 4종류와 실트 및 점성토 중의 미립분 2종류에 대한 특성 분석 및 이들이 콘크리트의 물리적 성질에 미치는 영향에 대해 검토한 결과, 이 연구의 범위 내에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 골재의 파쇄 과정 중에 발생하는 미립분의 메틸렌블루 값은 2.0~5.0의 범위이었으며 실트 및 점성토 중의 미립분의 메틸렌블루 값은 각각 15, 21.5로 나타났다. 또한 메틸렌블루 값이 큰 미립분일수록 packing density 값이 작아지며, 액성한계와 소성한계 값이 크게 되는 경향을 나타냈다.
- 2) 동일한 슬럼프 값을 얻기 위한 콘크리트의 고성능

감수제 소요량은 미립분 사용량이 많아짐에 따라서 증가하였으며, 메틸렌블루 값이 큰 실트 및 점성토의 미립분을 사용한 경우가 부순골재 중의 미립분을 사용한 경우에 비하여 보다 크게 증가하는 것으로 나타났다.

- 3) 고성능감수제를 사용하여 동일한 반죽질기를 갖게 한 물-시멘트비 40% 및 50%의 콘크리트에 대한 강도실험 결과, 메틸렌블루 값이 낮은 부순골재 중의 미립분을 사용한 경우 그 사용비율에 따라서 콘크리트의 압축강도 및 인장강도의 변화는 10%의 범위 이내이었으나 메틸렌블루 값이 큰 실트 및 점성토 중의 미립분을 사용한 경우는 그 사용 비율의 증가에 따라서 콘크리트의 압축강도 및 인장강도가 보다 크게 감소하는 것으로 나타났다.
- 4) 고성능감수제를 사용하여 동일한 반죽질기를 갖게 한 물-시멘트비 40% 및 50%의 콘크리트에 대한 길이변화 실험 결과, 부순골재 중의 미립분을 사용한 경우는 미립분을 사용하지 않은 plain 콘크리트와 비교하여 차이가 거의 없었으나 메틸렌블루 값이 높은 실트 및 점성토 중의 미립분을 사용한 경우는 plain 콘크리트에 비해 재령 6개월의 길이변화량이 $100 \times 10^{-6} \sim 200 \times 10^{-6}$ 정도 크게 나타났다.
- 5) 골재 중의 0.08 mm 체 통과분이 골재의 파쇄과정에서 발생한 석분으로 흙 성분이 아닌 경우 고성능감수제에 의해 반죽질기를 조정함으로써 콘크리트의 물성에 미치는 영향을 최소화할 수 있기 때문에 KS F 2527에서의 0.08 mm 체 통과량의 허용범위를 어느 정도 상향 조정할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2011년 공주대학교 학술연구지원사업의 연

구비지원에 의하여 연구되었습니다.

References

1. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2009 *Aggregate Supply-Demand Prospect*, 2008, pp. 13-15.
2. Ma, S. J. and Kim, D. M., "Development of the Environment all Friendly Filling Material for the Underground Cavities using the Rock-dust and an Assessment on Filling and Material Characteristics," *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol. 21, No. 9, 2005, pp. 35-44.
3. Stewart, J., Novell, J., Juenger, M., and Fowler, D. W., "Characterizing Minus No. 200 Fine Aggregate for Performance in Concrete," Report No. 107-1, International Center for Aggregates Research, 2006, pp. 121-123.
4. Koehler, E. P. and Fowler, D. W., "Dust-of-Fracture Aggregate Microfines in Self-Consolidating Concrete," *Materials Journal*, Vol. 105, No. 2, 2008, pp. 165-173.
5. Bigas, J. P. and Gallias, J. L., "Effect of Fines Mineral Additions on Granular Packing of Cement Mixtures," *Magazine of Concrete Research*, Vol. 54, No. 3, 2002, pp. 155-164.
6. Aschenbrenner, T., "Comparison of Colorado Component Hot Mix Asphalt Materials with Some European Specifications," Colorado Department of Transportation, Report No. CDOT-DTD-R-92-14, 1992, pp. 11-38.
7. Malhotra, V. M. and Carrette, C. G., "Performance of Concrete Incorporation Limestone Dust as a Partial Replacement of Sand," *ACI Journal*, Vol. 82, No. 3, 1985, pp. 363-371.
8. Kalcheff, I., "Portland Cement Concrete with Stone Sand," Special Engineering Report, National Crushed Stone Association, Washington DC, 1977, pp. 1-20.
9. Ahmed, A. E. and El-Kour, A. A., "Properties of Concrete Incorporation Natural and Crushed Stone Very Fine Sand," *ACI Materials Journal*, Vol. 86, No. 4, 1989, pp. 417-440.

요 약 최근 천연모래의 부족으로 부순 잔골재가 널리 사용되고 있다. 우리나라에서는 부순 잔골재 중의 0.08 mm 이하 미립분을 7% 이하로 제한하고 있으며 이는 ASTM의 규정과 유사한 것이나 그 외의 다른 나라의 규정과 비교할 때 상당히 엄격한 규정이다. 또한 부순 잔골재 중에는 파쇄 시에 발생하는 0.08 mm 이하 미립분을 20% 정도 포함하게 되며 물로 씻어내는 일도 용이하지 않을 뿐 아니라 자원이용의 극대화를 위해서도 잔입자량 한도의 상향 조정 가능 여부에 대한 검토가 필요하다. 그래서 이 연구에서는 0.08 mm 이하 미립분에 대한 특성 및 콘크리트 품질에 미치는 영향에 대한 실험을 실시하였으며, 비교를 위하여 실트 및 점성토 중의 미립분을 사용한 실험을 병행하였다. 미립분에 대해 실험한 결과 메틸렌블루 값은 부순 잔골재 중의 석분에 비하여 실트 및 점성토 중의 미립분에 대한 값이 보다 크게 나타났으며 또한 메틸렌블루 값은 packing density 및 액성한계, 소성한계와 높은 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 콘크리트 실험에서 동일한 슬럼프를 얻기 위한 고성능 감수제의 소요량은 미립분의 대체 사용량 증가에 따라 커지며, 메틸렌블루 값이 큰 미립분을 사용할 때 보다 크게 나타났다. 한편 부순 잔골재 중의 미립분을 20% 이내에서 대체 사용한 경우, 고성능감수제를 사용하여 반죽질기를 같게 한 콘크리트의 압축강도와 인장강도는 거의 변화가 없었으며 콘크리트의 건조수축량도 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 실트 및 점성토 중의 미립분을 대체 사용한 경우는 콘크리트의 강도가 현저히 저하하고 건조수축량도 크게 증가하는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 부순골재, 미립분, 메틸렌블루값, 강도, 건조수축