

# 메틸렌 블루 시험을 이용한 콘크리트용 부순모래에 함유된 미세골재의 사용타당성에 관한 기초적 연구

## A Fundamental Study on the Adequacy of Use of Micro Fines Including in Crushed Aggregate Using Methylene Blue Test

안 남 식\*

Namshik Ahn

---

### ABSTRACT

As the deposits of natural sands have slowly been depleted, it has resulted in an increase in manufactured fine aggregate (MFA). Standard specifications for fine aggregate for concrete contained in KS F 2558 permit a maximum of 7 percent finer than the No. 200 sieve ( $75\mu\text{m}$ ). Since the production process for MFA normally generates 10 to 20 percent of micro fines—which is defined as aggregates passing the No. 200 sieve ( $75\mu\text{m}$ )—more than permitted by specifications, Excess fines must be removed by screening and/or washing operations. The amount of by-products will continue to grow as production increases with environmental discharge restrictions. This fundamental study focuses on experimental research for the adequacy of use of micro fines included in crushed aggregate using methylene blue test. Total of 63 types of sands from seven different rocks were tested. Based on the test results, the methylene blue test was turned out to be a good indicator of the quality of micro fines for concrete and a supplementary article and an amendment of the KS standard were recommended.

---

### 1. 서론

강모래의 점차적인 고갈에 따라 강모래의 품질이 극히 악화되어 콘크리트 구조물의 하자발생의 주요 원인이 되고 있다. 한편, 해사는 다량의 염분을 함유하고 있어 콘크리트용 잔골재로 사용할 경우 콘크리트 내부에서의 철근부식을 유발시키는 등 철근콘크리트 구조물의 내구성에 큰 영향을 미치고 있다. 이러한 상황에서 강모래를 대체할 수 있는 콘크리트용 잔골재의 개발이 어느때 보다도 절실한 실정이며, 전국적으로 채취가능한 암석이 풍부하다는 국내의 여건을 고려할 때 부순 모래의 개발 및 사용이 시급히 이루어져야 할 것이다. 우리나라에 비해 상대적으로 천연자원이 풍부하다는 미국을 비롯한 유럽의 선진국들도 콘크리트용 잔골재로서 이미 부순 모래를 다량 사용하고 있으며, 국내의 일부 골재업체에서도 1990년대 초반부터 부순 모래의 개발을 서둘러 현재는 전국적으로 많은 업체에서 생산이 되고 있다. 그러나 국내에서는 아직 부순 모래의 품질 및 사용방법 등에 관한 연구자료가 거의 없어 이에 대한 인식이 극히 부족하고, 콘크리트의 품질을 확보하기 위한 방안도 수립되어 있지 않은 상태이다.

---

\* 정회원, 홍익대학교 건축공학과 전임교수, 공학박사

콘크리트용 잔골재로서의 부순 골재는 생산시 필연적으로 미세골재 (직경 75 $\mu$ m 이하)가 부산물로 발생하는데 그 차지하는 비중이 전체 부순 골재 중량의 약 10~20%에 이른다. 현재 우리나라의 규준 KS F 2558에서는 미국 ASTM의 규준을 거의 그대로 사용해, 부순 골재에 포함된 미세골재의 함유량을 전체 골재중량의 7% 이내로 규정하고 있기 때문에, 부순 골재의 생산시 7%를 초과하는 양의 미세골재는 전량 분리수거되어 매립되고 있는 실정인데 환경적으로도 문제가 되고 경제적으로도 큰 손실이 아닐 수 없다. 본 연구는 메틸렌 블루 시험을 이용해 부순 모래에 함유된 미세골재의 사용타당성을 알아보는 기초적인 실험 연구로서 암석의 종류별로 시험체를 제작하여 시멘트 모르타르의 플로우, 압축강도 및 건조수축을 고찰하였다.

## 2. 실험개요

### 2.1. 사용 재료

본 실험에서는 미국 ASTM C 150 규준에 준하는 1종 보통시멘트를 사용하였고, 부순 모래는 화강암(granite), 석회암(limestone), 규암(quartzite), 현무암(basalt), 백운석(dolomite), 사암(sandstone) 및 휘록암(diabase) 등이 사용되었다. 메틸렌 블루값과 미세골재의 함유량이 시멘트 모르타르에 미치는 영향을 고찰하기 위해, 각 부순 모래들은 인위적으로 미세골재의 함유량을 약간씩 다르게 하여 시험하였다. 각 부순 모래들의 화학적 성질은 표 1과 같다.

표 1 부순 모래의 화학적 성질

구 분	CaO	MgO	Fe2O3	SiO2	Al2O3	연소
석회암 1	44.4	2.5	0.5	12.4	1.4	39.7
석회암 2	27.0	19.9	0.2	6.7	0.4	45.8
석회암 3	50.2	0.8	0.8	8.9	1.4	38.6
화강암	6.1	2.2	5.2	60.3	16.7	8.5
규암	0.0	0.0	0.1	97.1	0.9	1.1
휘록암	6.2	5.0	8.2	57.3	15.6	8.2
백운석	24.5	16.1	0.8	17.5	2.7	38.7
현무암	9.6	5.8	12.3	51.8	13.8	5.9
사암	0.4	0.3	0.1	89.4	5.0	3.8

사용된 부순 모래들의 여러 가지 물리적 성질들은 표 2와 같다. 표 2에서 보정된 메틸렌 블루값은 실험에 의한 메틸렌 블루값에 각 부순 모래가 함유하고 있는 미세골재의 양을 곱해 보정한 값이다.

표 2 부순 모래의 물리적 성질

구 분	절건비중	흡수율(%)	미세골재 함유량(%)	메틸렌 블루값	보정된 메틸렌 블루값
석회암 1	2.52	2.6	14.3	1.50	21.5
석회암 2	2.83	0.3	13.3	0.25	3.3
석회암 3	2.56	1.9	18.4	10.00	184.0
화강암	2.73	1.6	13.3	1.25	16.6
규암	2.64	0.1	11.6	0.50	5.8
휘록암	2.80	0.8	15.8	4.00	63.2
백운석	2.71	1.2	16.7	2.25	37.6
현무암	2.79	2.6	15.0	3.25	48.8
사암	2.63	0.3	10.3	0.75	7.7
강모래	2.58	0.8	4.5	0.50	2.3

## 2.2. 배합 계획 및 시험체 제작

메틸렌 블루 시험을 이용해 미세 골재의 사용타당성을 파악하기 위한 시멘트 모르타르 시험의 배합계획은 표 3과 같다. 단위시멘트량은  $275 \text{ kg/m}^3$ 을 사용하였고, 물/시멘트비를 0.49로 고정한 배합과 모르타르의 플로우를  $110 \pm 5$ 로 고정한 배합 등 두가지를 사용하여 실시하였다. 공시체의 제작은 ASTM C 305에 준하여 실시하였으며, 압축강도용 공시체는  $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}$  크기의 몰드를 이용하여 제작하였고 건조수축용 공시체는  $2.5 \times 2.5 \times 25 \text{ cm}$  크기로 제작하였다.

표 3 배합 계획

구 분	시험체 번호	배 합 량(g)			물/시멘트 비
		물	시멘트	모래	
강모래	NS-F	298	614	1548	0.49
	NS-V	245	614	1548	0.40
석회암 1	PA/LS-F	298	614	1512	0.49
	PA/LS-V	266	614	1512	0.43
석회암 2	VA/LS-F	298	614	1698	0.49
	VA/LS-V	280	614	1698	0.46
석회암 3	MO/LS-F	298	614	1536	0.49
	MO/LS-V	459	614	1536	0.75
화강암	VA/GT-F	298	614	1638	0.49
	VA/GT-V	305	614	1638	0.50
규암	SD/QZ-F	298	614	1584	0.49
	SD/QZ-V	308	614	1584	0.50
휘록암	VA/DI-F	298	614	1680	0.49
	VA/DI-V	345	614	1680	0.56
백운석	OK/DO-F	298	614	1626	0.49
	OK/DO-V	318	614	1626	0.52
현무암	CT/BA-F	298	614	1674	0.49
	CT/BA-V	326	614	1674	0.53
사암	PA/SS-F	298	614	1578	0.49
	PA/SS-V	298	614	1578	0.49

## 2.3. 실험 방법 및 측정

### (1) 메틸렌 블루 시험

모래에 함유된 점토성분의 함량을 알아보기 위한 메틸렌 블루 시험은 ASTM C 837과 NCHRP project 4-19에서 제안한 방법 등 두가지가 있는데, 본 연구에서는 후자에 준하여 시험을 실시하였다.

### (2) 플로우 시험

부순 모래를 사용한 시멘트 모르타르의 플로우 시험은 ASTM C 109와 ASTM C 230에 준하여 실시하였다.

### (3) 압축강도 시험

부순 모래를 사용한 시멘트 모르타르의 압축강도 시험은 ASTM C 109 “수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법”에 준하여 실시하였다.

(4) 건조수축 시험

시멘트 모르타르의 건조수축 시험은 ASTM C 157 “수경성 시멘트 모르타르의 건조수축 시험방법”에 준하여 실시하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

메틸렌 블루 시험을 이용해 미세 골재의 사용타당성을 파악하기 위한 시멘트 모르타르 유동성과 재령별 압축강도, 건조수축의 측정결과는 표 4와 같다.

표 4 시험 결과

시험체 번호	플로우(%)	28일 압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	건조 수축 변형도 (%)			
			7일	14일	28일	8주
NS-F	142.5	537	0.0235	0.0500	0.0705	0.0805
PA/LS-F	125.0	596	0.0235	0.0605	0.0900	0.1010
VA/LS-F	123.0	726	0.0380	0.0650	0.0820	0.0910
MO/LS-F	15.0	468	0.0795	0.1180	0.1415	0.1565
VA/GT-F	109.5	591	0.0370	0.0685	0.0925	0.1035
SD/QZ-F	100.5	692	0.0330	0.0540	0.0770	0.0900
VA/DI-F	51.5	714	0.0495	0.0795	0.1105	0.1200
OK/DO-F	93.0	669	0.0485	0.0725	0.0920	0.1070
CT/BA-F	82.5	689	0.0335	0.0680	0.0905	0.1030
PA/SS-F	107.5	612	0.0260	0.0540	0.0760	0.0910
NS-V	110.5	667	0.0265	0.0465	0.0615	0.0705
PA/LS-V	107.5	628	0.0235	0.0640	0.0915	0.1020
VA/LS-V	107.0	793	0.0390	0.0640	0.0790	0.0885
MO/LS-V	106.0	270	0.0625	0.1275	0.1665	0.1845
VA/GT-V	109.5	591	0.0370	0.0685	0.0925	0.1035
SD/QZ-V	106.0	658	0.0350	0.0480	0.0680	0.0810
VA/DI-V	105.5	565	0.0435	0.0815	0.1140	0.1260
OK/DO-V	105.0	605	0.0460	0.0740	0.0935	0.1095
CT/BA-V	111.5	565	0.0325	0.0680	0.0950	0.1070
PA/SS-V	107.5	612	0.0260	0.0540	0.0760	0.0910

3.1. 플로우

물/시멘트 비를 일정하게 고정했을 경우, 각 부순 모래와 강모래의 플로우 비교는 그림 1과 같은데, 부순 모래의 플로우가 강모래의 것보다 낮은 이유는 입형이 둥글고 비교적 고른 강모래와는 달리 부순 모래는 모가 많이 나고 입형이 고르지 못한 때문으로 사료된다.

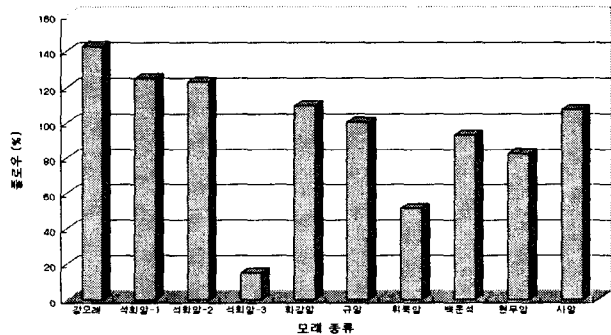


그림 1 시멘트 모르타르의 플로우 (W/C 일정)

### 3.2. 압축 강도

시멘트 모르타르의 28일 압축강도 시험결과는 그림 2 (물/시멘트 비 일정)와 그림 3 (플로우 일정)과 같다. 그림 2에서 보듯이 물/시멘트 비가 일정할 경우 부순 모래의 압축강도는 강모래의 것보다 대부분 높게 나타남을 알 수 있다. 그림 3과 같이 플로우를 일정하게 유지시킨 경우에는, 부순 모래의 압축강도가 강모래의 것보다 비슷하거나 약간 낮은 것을 알 수 있지만 그 차이는 약 10% 내외로 근소함을 알 수 있었다. 그 이유는 부순 모래가 비록 입형이 고르지 못해 플로우에는 불리하게 작용하지만, 골재와 페이스트간의 접착력을 증가시키는 역할을 하여 골재에 따라 미세 골재 함량이 10~18%를 사용하여도 강모래를 사용했을 때와 비교해 압축강도가 많이 떨어지지 않음을 알 수 있다.

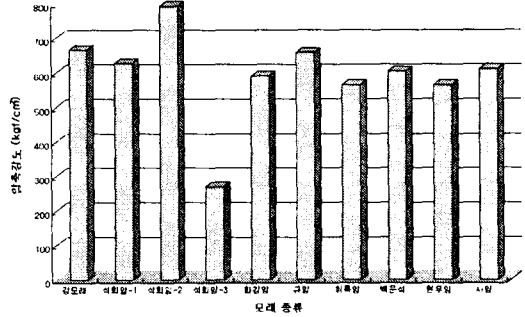
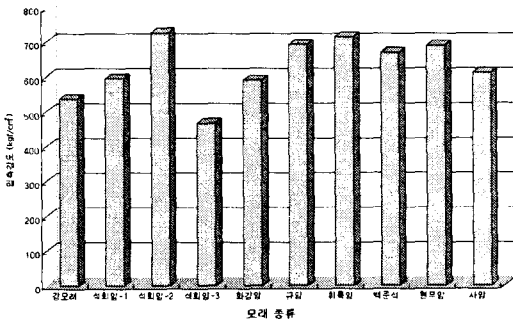


그림 2 시멘트 모르타르의 28일 압축강도(W/C 일정)

그림 3 시멘트 모르타르의 28일 압축강도(플로우 일정)

### 3.3. 건조 수축

시멘트 모르타르의 28일 건조수축 시험결과는 그림 4 (물/시멘트 비 일정)와 그림 5 (플로우 일정)와 같다. 그림에서 보듯이 물/시멘트 비나 플로우의 일정함과 상관없이 부순 모래의 건조수축은 강모래의 것보다 대부분 높게 나타남을 알 수 있다. 이것은 미세 골재의 함량이 많은 골재를 사용했을 때 표면적의 증가로 필요한 시공연도를 얻기 위한 윤활작용의 표면수가 그만큼 증가하며 따라서 건조수축이 증가된다고 볼 수 있다. 그러나 미세 골재의 함량이 크게 차이가 나지 않지만(10~18%) 압축강도나 건조수축은 비교적 많이 차이가 남에서 보듯이 단순히 미세 골재의 함량만이 압축강도나 건조수축에 영향을 주지 않는다는 사실을 알 수 있다.

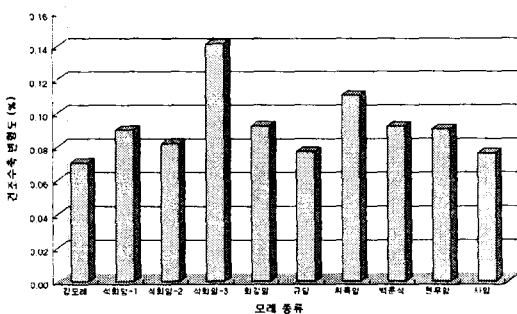


그림 4 시멘트 모르타르의 28일 건조수축(W/C 일정)

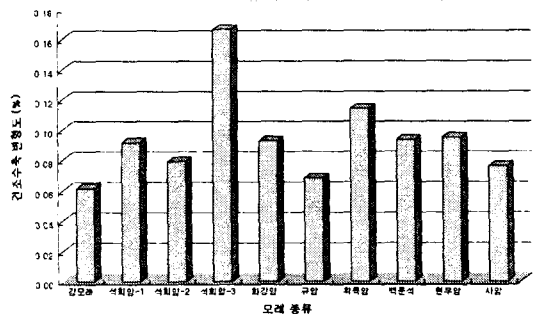


그림 5 시멘트 모르타르의 28일 건조수축(플로우 일정)

### 3.4. 보정된 메틸렌 블루값과 압축강도의 비교

보정된 메틸렌 블루값과 압축강도 및 건조수축과의 비교는 각각 그림 6과 그림 7과 같다. 그림에서 보듯이 보정된 메틸렌 블루값은 압축강도와는 반비례하며 건조수축과는 거의 정비례함을 알 수 있다. 그 이유는 보정된 메틸렌 블루값이 사용된 골재에 포함된 점토의 함유량을 뜻하므로 일정한 시공연도를 얻기 위한 필요수량과 밀접한 관계가 있기 때문이다. 따라서 보정된 메틸렌 블루값이 압축강도나 건조수축과 같은 시멘트 모르타르의 중요한 물성을 결정하는 좋은 지표가 됨을 알 수 있다.

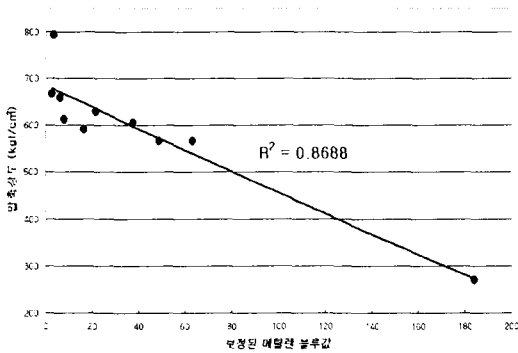


그림 6 보정된 메틸렌 블루값과 압축강도의 비교

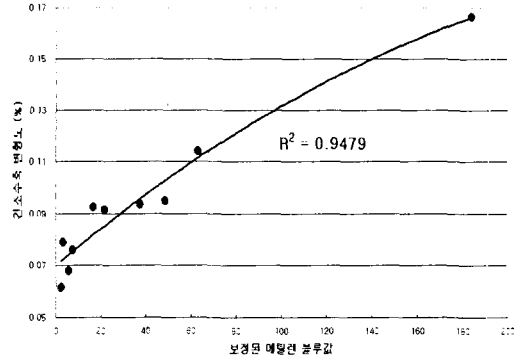


그림 7 보정된 메틸렌 블루값과 건조수축의 비교

## 4. 결론

메틸렌 블루 시험을 이용해 부순 모래에 함유된 미세골재의 사용타당성을 알아보기 위해 시멘트 모르타르의 플로우, 압축강도 및 건조수축을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 물/시멘트 비를 일정하게 고정했을 경우, 부순 모래의 플로우는 강모래의 것보다 낮게 측정되었다.
- (2) 물/시멘트 비가 일정할 경우 부순 모래의 압축강도는 강모래의 것보다 대부분 높게 나타났고, 플로어를 일정하게 유지시킨 경우에는, 부순 모래의 압축강도가 강모래의 것보다 비슷하거나 약간 낮은 것을 알 수 있지만 그 차이는 약 10% 내외로 근소함을 알 수 있었다.
- (3) 물/시멘트 비나 플로어의 일정함과 상관없이 부순 모래의 건조수축은 강모래의 것보다 대부분 높게 나타남을 알 수 있었다.
- (4) 보정된 메틸렌 블루값은 압축강도와는 반비례하며 건조수축과는 거의 정비례함을 알 수 있었다. 따라서 보정된 메틸렌 블루값이 압축강도나 건조수축과 같은 시멘트 모르타르의 중요한 물성을 결정하는 좋은 지표가 됨을 알 수 있었다.

## 참고 문헌

1. Fowler, D.W. and Constantino, C., "International Research on Fines in Concrete," International Center for Aggregates Research, 5TH Annual Symposium, C2-4-1, 1997.
2. Fowler, J.C., "Increasing Amount of Minus 200 Fines in Portland Cement Concrete: 200 mesh fines in concrete," International Center for Aggregates Research, 5th Annual Symposium, 1997.
3. Hughes, C. A., and K. A. Andersen, "The Effect of Fine Aggregate on the durability of mortar," Proceedings, ASTM, Vol.41, 1941.
4. 콘크리트용 부순모래의 실용화방안 연구, 대한주택공사 주택연구소, 삼표산업 주식회사, 1996. 12.