

Research Paper

## 잔골재의 토분 평가방법 및 품질기준 제안을 위한 실험적 연구

# Experimental Study on the Proposal of an Assessment Method and Quality Standard for Identifying the Fine Particles of Clay Components in Fine Aggregates

최현규<sup>1\*</sup> · 한민철<sup>2</sup>

Choi, Hyun-Kyu<sup>1\*</sup> · Han, Min-Cheol<sup>2</sup>

<sup>1</sup>General Manager, Technical Cooperation, Sampyo Industry, Jongno-Gu, Seoul, 03152, Korea

<sup>2</sup>Professor, Department of Architectural Engineering, Cheongju University, Cheongwon-Gu, Cheongju-City, 28503, Korea

\*Corresponding author

Choi, Hyun-Kyu  
Tel : 82-2-6270-6206  
E-mail :  
[friendchk@sampyo.co.kr](mailto:friendchk@sampyo.co.kr)

Received : September 16, 2022

Revised : October 24, 2022

Accepted : October 25, 2022

ABSTRACT

The purpose of this study is to propose an assessment method to analyze clay collectively referred to as fine particles of clay components contained in fine aggregates, and to propose quality standards for clay use through correlation with the performance of concrete to verify the properties of clay measured according to the method. As a result, it is analyzed that it will be suitably utilized as a method to assess the fine particles of the clay component of fine aggregates through the component analysis of XRF. Regarding the related quality standards, considering the error rate of about 10% of KCS 14 20 10, the related quality standards were analyzed to be safe when  $Al_2O_3+Fe_2O_3+MgO$  is 23.5% or less and  $SiO_2+K_2O$  is 66.5% or more. To build on this study, it is expected that a comprehensive review will be conducted through additional follow-up studies such as on clay of coarse aggregates and durability analysis to establish a system for quality control of the soil fraction of aggregates.

**Keywords :** clay, assessment method, quality standard, correlation analysis, XRF(x-ray fluorescence)

## 1. 서론

국내 콘크리트용 골재의 품질관리는 한국산업표준(KS\_Korean Industrial Standard)[1]으로 정한 KS F 2527 콘크리트용 골재의 품질기준을 인용하여 골재채취법[2], 건설기준 표준시방서(KCS\_Korean Construction Specification)[3]의 기준으로 운영되고 있다. 그러나 콘크리트용 골재의 입도, 조립률, 입자모양판정실적률, 염화물 등과 같은 품질항목은 명확한 기준 및 시험방법이 표준화 되어 있는 반면, 콘크리트용 골재에 포함된 유해한 흙, 풍화토 등과 같은 점토성 미세입자를 평가할 수 있는 정의나 정량적 허용값 같은 명확한 지침이 없다[4]. 뿐만 아니라 점토덩어리, 0.08mm 체 통과량 등의 시험방법으로 그 정도를 평가하고 관리하기에는 어려움이 있는 것이 현실이다. 이런 흙, 풍화토 등의 유해한 점토성 미세입자를 통칭하는 이른바 토분이 포함된 골재를 콘크리트에 사용하면 높은 흡수율로 콘크리트의 유동성이 저하되어 시공성이 떨어지기 때문에 이를 보완하기 위한 별도의 조치로 경제성까지 저하된다[5,6].

더욱이 우려되는 부분은 일부 레디믹스트 콘크리트 제조사가 고성능 화학혼화제의 사용, 결합재의 사용량 증가 등을 통한 배합설계가 아닌 단순한 경제성 논리에 의해 콘크리트 단위수량의 증가로만 유동성을 만족시키고 건설현장에 공급될 수 있는 것이다[7]. 이는 콘크리트의 강도와 내구성이 저하될 뿐만 아니라 건조수축에 따른 균열발생 등 품질에 부정적 영향을



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

줄 수 있기 때문에 건설구조물의 목표수명 및 성능은 물론 국민의 안전에 위협하는 요인으로 작용할 수 있다. 이렇게 골재의 점토성 미세입자인 토분을 확인하기 위한 표준화된 평가방법과 품질기준의 부재는 제조자 입장에서 콘크리트용 골재의 유해한 미세입자에 관한 생산품질관리기준을 정하기 어렵고, 생산성 저하 및 비용부담을 감수하고서라도 이를 제거해야 하는 동기부여가 없는 실정이다. 또한, 사용자 입장에서는 허용기준이 명확하지 않아 토분을 판단하기에 어려움이 따르고 있는 것이다[8]. 이와 관련한 국내의 선행연구를 보더라도 골재에 함유되어 있는 토분을 분석하고자 입도분석기, Hydrometer, 메틸렌블루 등 물리·화학적 방법을 통해 토분의 평가방법이나 품질기준을 검토한 바 있어 점토성 미세입자인 토분의 정의나 표준화된 기준을 마련하는 것에 대한 중요성이 공감된다[4-8].

따라서 본 연구에서는 콘크리트용 잔골재 중에 포함되어 있는 점토성 미세입자를 통칭하는 토분을 분석할 수 있도록 정량적인 평가방법을 선정하고, 평가방법으로 측정된 토분의 특성을 검증하기 위한 콘크리트의 성능과 상관관계를 통해 토분이 사용될 수 있는 적정범위의 품질기준을 제안하고자 한다.

## 2. 국내·외 기준 및 현황

우리나라는 골재채취법(제22조의 4 골재의 품질기준)에 따라 골재채취업자 또는 골재를 판매하는 자는 한국산업표준에 적합한 골재(이하 KS 인증 골재)이거나 대통령령으로 정하는 골재의 용도별 품질기준에 적합한 골재(이하 국토교통부 인정 골재)를 공급하거나 판매하도록 규정하고 있다[2].

KS 인증 골재는 KS F 2527 콘크리트용 골재의 품질기준을 만족하여야 하며, 국토교통부 인정 골재는 골재채취법 시행령 별표 1의3(KS F 2527 품질기준 인용)을 따르도록 규정되어 있다. KS 인증 골재와 국토교통부 인정 골재는 대부분 유사한 품질기준으로 관리되고 있지만, 일부의 품질기준과 골재의 제조에 관한 규정은 차이가 있다. 이중에 부순 골재의 제조에 관한 규정으로 KS 인증 골재는 원석에 대한 품질관리를 ‘원석은 암석, 천연 자갈, 천연 모래 또는 석분을 사용하며, 풍화암이나 토사(흙), 부식토, 점토 등 유해물이 함유되지 않는 것이어야 한다.’라고 규정하고, ‘공사현장과 같이 외부에서 발생된 원석, 천연모래, 자갈을 사용하는 경우 사전에 품질을 확인하고 있어야 한다.’라고 정하고 있다[1].

반면, 국토교통부 인정 골재는 골재의 제조에 대한 별도의 규정이 없고 원석에 대한 품질관리가 부족한 것이 현실이다. 이 때문에 골재에 포함된 유해한 흙, 점토 등과 같은 점토성 미세입자를 통칭하는 토분을 평가할 수 있는 명확한 방법이나 품질기준이 없다는 것이 우려되는 부분이다. Table 1은 KS F 2527 콘크리트용 골재에 따라 분순골재 및 천연골재의 미세입자에 대한 품질을 추정할 수 있는 항목 및 품질기준을 정리한 것이다[1]. 그러나 밀도, 흡수율, 0.08mm 체 통과량 등은 미세입자의 포함 정도에 대하여 간접적으로 일부 유추해볼 수는 있지만, 직접적인 연관성이 낮아 평가방법으로 활용되기 어렵다. 또한, 부순 잔골재의 0.08mm 체 통과량 허용 기준은 7% 이하로서 다소 높게 규정되어 있는데, 이는 과거 대부분의 부순 골재가 석산에서 제조되던 시절의 석분을 고려한 규정으로 현재 문제시 되고 있는 흙, 점토 등과 같은 토분과 동등한 품질로 판정하기에는 무리가 있다.

**Table 1.** Quality standards related to fine particles stipulated in KS F 2527

Aggregates		Density in absolute dry condition (%)	Percentage of absorption (%)	Amount of material finer than 0.08mm sieve in aggregate (%)	Clay contained in aggregate (%)
Crushed aggregate	Gravel	2.50 ≤	≤ 3.0	≤ 1.0	-
	Sand			≤ 7.0	
Natural aggregate	Gravel	2.50 ≤	≤ 3.0	≤ 1.0	≤ 0.25
	Sand			≤ 3.0, ≤ 5.0	≤ 1.0

현재 KS에 규정된 골재 시험방법 중에서 골재에 포함된 미세입자를 직접적으로 판단해볼 수 있는 시험으로 점토덩어리(KS F 2512)는 천연 골재에 한정되어 있고, 시험과정이 번거롭고 점토 판정 기준이 명확하지 않아(육안 선별) 이를 적용하기에는 무리가 있어 토분을 정량적으로 평가하기가 쉽지 않다. 이러한 국내의 현황은 미세입자를 평가하는 방법이 없어 대부분의 골재 제조업자들은 토분을 표준화된 기준으로 구분하지 못하고 0.08mm 체 통과량 7% 이내로만 만족하도록 생산하고 있다.

일본의 일본공업규격(Japanese Industrial Standard) JIS A 5005 콘크리트용 쇄석 및 쇄사[9]에서는 한국산업표준 KS F 2527 콘크리트용 골재와 유사하게 미세입자에 대한 평가방법을 0.08mm 체 통과량에 대한 물리적 특성으로만 규정하고 있다. 그 품질기준으로 굵은 골재 3% 이하(입형판정실적률 58% 이상인 경우 최대 5%까지 가능), 잔골재 9% 이하로 정하고 있어 KS와 비교하면 미세입자의 허용기준이 다소 높다. 이는 일본의 부순 골재 암석의 특성상 대부분 석회암질의 석산으로 구성되어 있어 부순골재 생산시 풍화되지 않은 양질의 미세입자가 발생하기 때문에 콘크리트 품질에 악영향을 주지 않는 범위에서 유효하게 활용하기 위한 규정으로 JIS A 5005의 해설 1. 개정경위에서 설명하고 있다.

미국의 ASTM C 33 Standard Specification for Concrete Aggregates[10]에서는 굵은 골재를 1% 이하로서 KS와 동일하지만, 잔골재는 천연골재 및 부순골재와 관계없이 모두 3% 이하로서 KS F 2527의 천연골재 규정과 동일하다. 다만, 석산 골재 제조과정에서 발생하는 석분으로 잔골재를 제조하는 경우에는 점토, 석편 등과 같은 유해물질이 함유되어 있지 않으면 최대 7%까지 허용하여 KS의 부순골재 규정과 동일하다. 또한, 콘크리트용 골재에 포함된 점토, 흙 등의 유해한 미세입자를 판단하기 위한 시험 방법으로 AASHTOT 330에서 정한 메틸렌블루(Methylene blue)를 이용해 골재의 유해물질 검출 시험방법을 규정하고 있다.

유럽의 EN 12620 Aggregates for concrete[11]는 콘크리트용 골재의 미세입자 기준을 0.063mm 이하로서 규정하고 있으며, ‘Filler aggregates’를 용어 및 정의하는 것으로 판단해 볼 때 미세입자를 콘크리트의 충전재로 유효하게 활용되고 있는 것으로 파악된다. 제조자가 생산시 미세입자의 양을 결정할 수 있고, 그 양에 따라 등급으로 구분되어 있어 사용자가 특성에 맞게 선택할 수 있는 시스템이 구축되어 있으며, 미세입자 활용에 대한 인식이 적극적이고 체계화 되어있는 것을 알 수 있다. 즉, 무조건적인 활용이 아닌 미세입자의 품질을 정확히 판단한 후 허용기준을 만족하여야만 활용이 가능한 것으로 안전장치를 마련하고 있다. 평가방법으로는 동일 표준의 Annex D Assessment of fine에서 미세입자의 품질을 판정하도록 규정하고 있는데, Table 2와 같이 4가지 조건 중 1가지 이상을 만족하여야만 미세입자로서 활용이 가능하도록 규정하고 있다.

**Table 2.** Annex D assessment of fine in EN 12620

Division	Conditions applying
a)	The total fines content of the fine aggregate is less than 3% or other value according to the provisions valid in the place of use of the aggregate
b)	The sand equivalent value(SE) when tested in accordance with EN 933-8 exceeds a specified lower limit
c)	The methylene blue test(MB) when tested in accordance with EN 933-9 gives a value less than a particular specified limit
d)	Equivalence of performance with known satisfactory aggregate is established or there is evidence of satisfactory use with no experience of problems

### 3. 실험계획 및 방법

#### 3.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 3과 같다. 먼저, 배합사항으로 결합재는 국내 레디믹스트 콘크리트에서 많이 사용되고 있는 포틀랜드 시멘트(Ordinary Portland Cement\_이하 OPC) 70%, 플라이애시(Fly Ash\_이하 FA) 15%, 고로슬래그 미분말(Ground Granulated Blast-furnace Slag\_이하 SP) 15%의 치환비율로 사용하였고, 결합재량은 340kg/m<sup>3</sup>로 계획하였다. 또한, 건설현장에서 주문하는 콘크리트의 성능조건과 동일하게 구현하기 위해 모든 배합수준에서 슬럼프 및 공기량의 목표를 설정하였

으며 건설현장에 도착하였을 경우를 고려하여 동일한 작업성이 기준이 되도록 계획하였다.

한편, 토분을 분석할 수 있는 정량적인 평가방법[12]은 메틸렌블루법, 0.08mm 체 통과량, 부피법, XRF법 4가지 유형으로 정하고, 대상의 잔골재는 총 28개(선별파쇄골재 20개, 산림골재 8개)를 선정하였다. 콘크리트의 성능평가로는 굳지 않은 콘크리트에서 슬럼프 및 공기량의 목표 수준을 확인하고, 이와 연관된 단위수량을 측정하였다. 그리고 경화 콘크리트에서는 압축강도를 검토하고, 토분이 사용될 수 있는 적정범위의 품질기준을 설정하기 위해 목표 배합강도를 기준으로 분석하였다. 또한, 콘크리트 배합사항은 Table 4와 같다.

**Table 3.** Experimental plan

	Factor	Level
Mixture	Target proportioning strength(MPa)	33
	Slump(mm)	180 ± 20
	Air content(%)	4.5 ± 1.5
	Binder(kg/m <sup>2</sup> )	340
	Fine Aggregates	Screening aggregate(Sa) - 20, Forest aggregate(Fa) - 8
Assessment method (4 types)	Methylene blue	Methylene blue value(MBV)
	0.08 mm sieve passing amount	Amount of material finer than 0.08mm sieve in aggregate
	Volume	Volume by fine particle(Visual identification_60 min)
	XRF(X-ray Fluorescence)	Chemical composition(SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO, K <sub>2</sub> O)
Experiments	Fresh concrete	Slump, Air content(0 min, 60 min)
	Hardened concrete	Water content per unit volume of concrete Compressive strength(3 days, 7 days, 28 days)

**Table 4.** Mix proportions of concretes

Level	S/a (%)	Unit weight(kg/m <sup>3</sup> )						AE/C (%)	Superplasticizer/C (%)	
		Binder	OPC	FA	SP	Water	Crushed sand			Crushed gravel
Sa1						238	949	682	0.018	
Sa2						214	960	708	0.018	
Sa3						233	928	687	0.030	
Sa4						200	1007	724	0.026	
Sa5						213	1006	709	0.018	
Sa6						214	978	708	0.028	
Sa7						201	998	723	0.015	
Sa8						206	972	717	0.020	
Sa9						207	989	716	0.014	
Sa10	58	340	238	51	51	212	966	711	0.018	0.5
Sa11						198	991	726	0.018	
Sa12						212	966	711	0.018	
Sa13						189	1024	736	0.022	
Sa14						187	1004	738	0.013	
Sa15						180	1019	746	0.019	
Sa16						180	1003	746	0.019	
Sa17						181	1025	745	0.018	
Sa18						227	962	694	0.040	
Sa19						193	1007	732	0.027	
Sa20						184	1009	742	0.020	
Fa1						191	1013	734	0.012	
Fa2						180	1023	746	0.015	
Fa3						180	1023	746	0.012	
Fa4	58	340	238	51	51	185	1038	741	0.018	0.5
Fa5						184	1044	742	0.011	
Fa6						186	1013	739	0.012	
Fa7						190	1011	735	0.019	
Fa8						190	1027	735	0.014	

### 3.2 사용재료

본 연구의 사용재료는 결합재로서 OPC 1종, FA 2종, SP 3종으로 모두 국내 S사산을 사용하였으며, 그 물리·화학적 성질은 Table 5, Table 6, Table 7과 같다. 골재는 S사산 석산에서 생산된 부순 굵은골재를 사용하였으며, 부순 잔골재는 국내 각지에서 생산되어 레디믹스트 콘크리트 제조사에서 사용되고 있는 선별파쇄골재 20개, 산림골재 8개를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 Table 8과 같다.

**Table 5.** Physical properties of cement

Density(g/cm <sup>3</sup> )	Blaine(cm <sup>2</sup> /g)	Soundness(%)	Setting time(min)		Compressive strength(MPa)		
			Initial	Final	3 days	7 days	28 days
3.14	3 648	0.065	299	371	34.4	47.1	58.5

**Table 6.** Physical and chemical properties of fly ash

L.O.I(%)	Density(g/cm <sup>3</sup> )	Blaine(cm <sup>2</sup> /g)	Moisture content(%)	Flow ratio(%)	Activity index(%)		Chemical component(%)
					28 days	91 days	SiO <sub>2</sub>
3.0	2.24	3 530	0.1	100	89	100	57.9

**Table 7.** Physical and chemical properties of ground granulated blast-furnace slag

Density(g/cm <sup>3</sup> )	Blaine(cm <sup>2</sup> /g)	Cl-(%)	Activity index(%)			Chemical component(%)	
			7 days	28 days	91 days	SO <sub>3</sub>	MgO
2.87	4 230	0.007	75	90	105	1.86	2.81

**Table 8.** Physical basic properties of fine aggregates

Type	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Fineness modulus aggregate	Percentage of absorption(%)	Type	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Fineness modulus aggregate	Percentage of absorption(%)
Sa1	2.65	3.53	1.09	Sa15	2.59	3.22	0.86
Sa2	2.54	3.36	1.97	Sa16	2.55	3.27	0.84
Sa3	2.54	2.98	1.54	Sa17	2.59	3.01	1.39
Sa4	2.63	3.08	1.08	Sa18	2.62	3.65	1.24
Sa5	2.69	3.35	0.62	Sa19	2.58	3.43	1.79
Sa6	2.61	3.04	1.30	Sa20	2.57	3.45	1.27
Sa7	2.62	2.97	0.82	Fa1	2.62	2.90	0.65
Sa8	2.56	3.09	1.21	Fa2	2.60	3.06	0.87
Sa9	2.61	3.09	0.97	Fa3	2.60	2.89	0.87
Sa10	2.58	3.29	0.96	Fa4	2.65	3.44	0.92
Sa11	2.59	3.29	1.17	Fa5	2.68	3.02	0.61
Sa12	2.56	3.12	1.49	Fa6	2.61	3.17	0.53
Sa13	2.61	3.46	1.88	Fa7	2.61	2.71	0.83
Sa14	2.58	2.64	1.06	Fa8	2.64	2.76	1.29

### 3.3 실험방법

본 연구의 실험방법은 Figure 1과 같다. 잔골재의 토분을 평가하는 방법은 일반적인 물리적 방법인 0.08mm 체 통과량 및 부피법, 유럽의 화학적 평가방법으로 표준화된 메틸렌블루법, 정밀평가 및 분석을 위해 XRF법을 이용하여 총 4가지의 유형으로 측정하였다. 또한, 콘크리트의 슬럼프, 공기량, 압축강도는 KS에 따라 측정하였다.

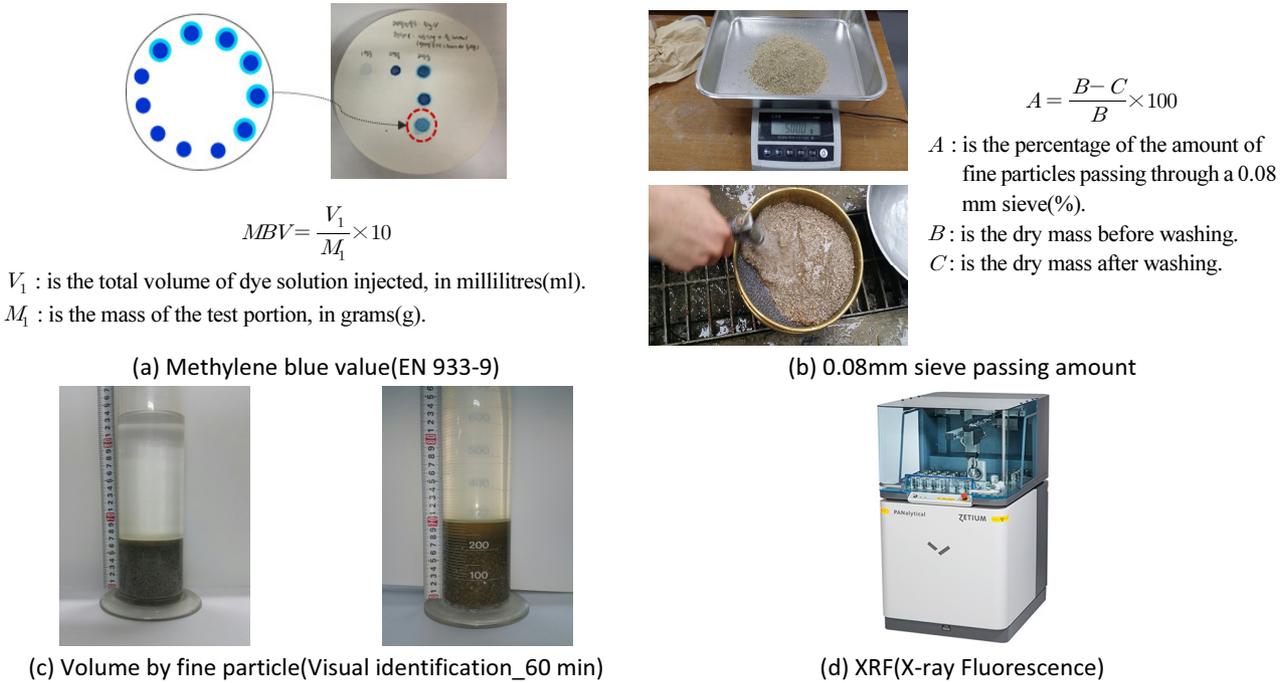


Figure 1. Type of assessment method

## 4. 실험결과 및 분석

### 4.1 실험결과

잔골재의 토분을 확인하기 위한 평가방법의 실험결과는 Table 9와 같다. 먼저, 메틸렌블루법의 경우에 메틸렌블루값(MBV)이 선별파쇄골재가 0.35~1.50ml/g, 산림골재가 0.35~0.65ml/g로 측정되어 산지별 잔골재의 샘플링 개수를 감안하더라도 상대적으로 선별파쇄골재가 산림골재보다 점토성 미세입자가 많은 것으로 나타났다. 이는 메틸렌블루법의 원리가 물과 메틸렌블루를 섞은 용액을 점토성 미세입자와 반응시켰을 때 청색의 환으로 반응이 나타나는 용액의 정도에 따라 평가 [11]하기 때문에 메틸렌블루 용액을 흡수하는 양이 많을수록 흙, 풍화토 등 점토성분의 미세입자 함유량이 많이 함유되어 있다는 것을 의미하기 때문이다.

한편, 산림골재 Fa3은 일부 선별파쇄골재보다 메틸렌블루값이 높게 나타났는데, 이는 산림골재라고 하더라도 암질이나 조성광물의 성분에 따라 그 값이 변화할 수 있다는 점을 의미하기 때문에 추가적인 기술적 검토가 필요할 것으로 판단된다. 0.08mm 체 통과량은 모든 잔골재가 KS 품질기준 7%이하를 만족하였으며 선별파쇄골재와 산림골재는 유사한 경향으로 확인되었다.

부피법은 산림골재가 10ml, 선별파쇄골재가 10ml ~ 40ml 수준으로 측정되어 상대적으로 선별파쇄골재가 산림골재보다 높게 나타나 선별파쇄골재에 토분에 상대적으로 많이 포함되어 있었다. XRF법의 경우 점토광물의 기본적인 분자구조를 차지하는 성분인 Al, Fe, Mg에서 선별파쇄골재가 산림골재보다 상대적으로 높게 측정되었다.

Table 10는 각각의 잔골재를 사용한 콘크리트의 실험결과를 나타낸 것이다. 슬럼프 및 공기량은 건설현장에 도착하였을 경우 동일한 작업성이 기준이 되도록 설정한 경시변화 60분에서의 목표값을 만족하였다. 재령28일의 압축강도는 선별파쇄골재 22.1MPa ~ 35.7MPa, 산림골재 35.1MPa ~ 39.8MPa로써 산림골재가 선별파쇄골재보다 토분의 함유량이 상대적으로 낮아 압축강도가 높은 것으로 확인되어 국내 연구결과[13]와 같이 유사한 경향으로 확인되었다.

**Table 9.** Experimental results by assessment method

Type	Methylene blue (ml/g)	0.08mm sieve passing amount (%)	Volume (ml)	XRF(%)												
				SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	LOI	Cl
Sa1	0.50	2.40	20	56.38	17.13	8.37	2.88	2.38	0.45	2.06	3.56	1.39	0.32	0.15	4.87	192
Sa2	1.00	3.56	30	60.31	19.01	6.37	1.23	1.61	0.00	2.24	3.88	0.76	0.16	0.09	0.39	66
Sa3	0.85	4.16	50	59.40	20.83	4.46	1.39	1.00	0.07	3.49	4.02	0.81	0.06	0.06	4.36	91
Sa4	0.60	2.20	10	60.12	17.33	6.79	2.24	2.61	0.22	2.72	3.65	0.86	0.14	0.10	3.16	276
Sa5	0.50	1.78	10	56.71	14.72	8.24	3.93	2.38	1.17	1.81	3.67	0.77	0.24	0.08	6.21	181
Sa6	0.90	3.74	30	60.71	16.51	6.45	2.34	2.16	0.15	2.54	3.64	0.82	0.18	0.08	4.36	167
Sa7	0.35	3.11	10	63.75	16.83	5.38	1.79	1.85	0.13	3.16	4.15	0.55	0.12	0.08	2.15	167
Sa8	0.75	2.33	30	65.57	18.27	3.08	1.66	0.59	0.00	5.11	3.11	0.39	0.00	0.04	2.3	92
Sa9	0.50	2.03	10	64.78	15.17	5.20	2.97	1.83	0.42	3.12	3.39	0.65	0.33	0.07	2	196
Sa10	0.65	3.26	30	61.42	17.40	5.61	2.96	1.53	0.00	3.77	2.85	0.92	0.38	0.08	3.11	132
Sa11	0.90	3.01	10	63.49	15.77	5.27	2.83	1.66	0.00	3.60	3.13	1.21	0.22	0.06	2.82	120
Sa12	0.75	2.53	30	62.32	16.25	5.71	2.38	2.26	0.00	2.91	3.41	0.72	0.29	0.06	2.75	122
Sa13	0.75	6.83	40	60.83	14.11	7.65	3.87	1.72	0.13	1.85	4.24	1.10	0.32	0.08	4.07	216
Sa14	0.40	2.67	10	66.70	16.03	3.72	2.23	0.55	0.00	4.23	4.05	0.61	0.10	0.03	1.75	109
Sa15	0.40	6.27	20	67.03	14.68	5.67	2.15	0.69	0.00	3.41	4.69	0.53	0.12	0.03	0.94	240
Sa16	0.40	1.57	10	66.01	15.05	7.04	1.51	0.65	0.00	3.34	4.36	0.33	0.06	0.03	1.64	104
Sa17	0.60	5.06	30	70.26	13.77	9.32	0.13	0.49	0.00	1.00	2.91	0.38	0.00	0.06	1.54	69
Sa18	1.75	2.45	20	58.69	12.23	11.42	2.54	1.61	0.97	2.09	2.55	0.58	0.07	0.18	6.99	139
Sa19	0.65	6.48	30	61.20	16.81	6.08	4.31	1.57	0.47	3.78	2.21	0.75	0.18	0.09	2.49	180
Sa20	0.40	1.65	10	69.87	13.51	4.73	1.65	0.95	0.00	3.48	3.81	0.62	0.11	0.18	1.08	186
Fa1	0.35	1.91	10	67.35	14.18	4.43	3.12	1.39	0.01	2.63	3.94	0.66	0.21	0.06	1.96	125
Fa2	0.35	1.16	10	67.47	14.95	3.34	1.81	1.15	0.86	1.99	4.89	0.45	0.15	0.04	2.86	176
Fa3	0.35	2.03	10	68.88	13.71	2.62	2.13	1.10	0.47	2.23	4.91	0.33	0.08	0.04	3.47	128
Fa4	0.35	3.51	10	69.30	13.23	3.27	2.54	2.28	0.21	2.85	3.72	0.85	0.30	0.06	1.28	399
Fa5	0.25	3.34	20	67.13	12.38	6.05	2.74	1.69	0.18	2.42	3.50	0.75	0.37	0.06	2.58	107
Fa6	0.25	1.68	10	66.68	14.28	2.04	1.73	0.76	0.00	3.59	4.16	0.51	0.02	0.02	6.19	95
Fa7	0.65	3.22	10	80.33	10.30	2.30	0.16	0.46	0.00	1.04	3.24	0.36	0.00	0.10	1.87	37
Fa8	0.50	2.30	10	65.79	12.65	4.21	3.52	2.06	0.01	3.29	2.84	0.67	0.09	0.08	4.72	91

**Table 10.** Experimental results by concrete type

Type	Slump(mm)		Air content(%)		Compressive strength(MPa)		
	0 min	60 min	0 min	60 min	3 days	7 days	28 days
Sa1	205	190	4.6	3.2	6.7	13.0	22.1
Sa2	200	160	4.6	3.3	9.1	15.1	25.0
Sa3	205	170	5.0	3.4	8.3	13.1	23.1
Sa4	205	160	6.0	4.5	10.7	17.9	29.0
Sa5	210	170	5.7	4.0	9.6	16.0	27.7
Sa6	210	160	4.4	3.2	9.8	17.2	26.5
Sa7	210	170	5.9	4.2	11.3	18.9	31.5
Sa8	225	170	5.2	3.7	10.8	18.0	30.3
Sa9	220	185	5.4	4.0	10.6	18.8	30.5
Sa10	205	165	5.0	3.2	10.2	16.5	27.4
Sa11	205	160	5.5	3.4	11.2	18.8	29.6
Sa12	210	165	5.6	3.4	9.7	16.3	25.4
Sa13	205	175	5.0	3.5	13.3	19.8	31.3
Sa14	210	170	6.0	4.2	13.3	19.8	30.8
Sa15	205	160	5.2	3.1	13.9	20.8	33.2
Sa16	210	175	5.8	3.4	14.2	21.3	32.5
Sa17	225	180	4.5	3.1	14.4	21.5	35.7
Sa18	200	160	4.5	3.6	7.3	14.7	25.1
Sa19	205	170	6.0	3.8	11.5	19.2	31.0
Sa20	210	175	6.0	4.2	12.0	20.1	32.7
Fa1	210	190	5.1	3.6	13.8	22.7	35.1
Fa2	205	180	5.8	3.6	16.4	23.2	35.9
Fa3	210	180	5.5	3.5	16.8	24.5	39.8
Fa4	210	180	5.2	3.8	14.8	23.0	36.5
Fa5	210	180	5.4	3.4	15.1	22.7	36.8
Fa6	210	165	5.0	3.2	14.7	23.7	36.9
Fa7	210	165	5.2	3.8	17.0	24.4	37.5
Fa8	210	175	6.0	4.0	11.3	21.1	36.5

### 4.2 단위수량 변화에 따른 토분 평가방법 간의 상관관계

본 절에서는 콘크리트의 품질을 직·간접적으로 평가 할 수 있는 콘크리트의 단위수량과 골재의 점토성 미세입자인 토분을 평가하는 방법 간의 상관관계를 비교·분석하였다.

Figure 2는 각각의 잔골재를 사용한 콘크리트의 단위수량과 토분 평가방법 간의 상관관계를 나타낸 것이다. 먼저, 메틸렌 블루법은 콘크리트의 단위수량이 증가할수록 메틸렌블루값도 증가하는 것을 알 수 있으며 양의 상관관계로 분석되었다. 콘크리트의 단위수량이 증가한다는 것은 유동성이 떨어지기 때문에 그 성능을 보완하기 위함이며 이러한 유동성 저하는 흡수율이 많은 골재의 사용이 원인이 되고 수분 흡착능을 갖고 있는 토분이 상대적으로 많이 존재하고 있다는 것으로 판단된다. 이러한 원리로 메틸렌블루법이 토분을 평가하는 가능성 있는 방법임을 시사한다.

또한, 0.08mm 체 통과량과 부피법은 콘크리트의 단위수량이 증가할수록 그 값이 각각 증가하는 경향을 보였으나, 다른 평가방법과 비교하여 상대적으로 약한 경향을 나타냈다.

한편, XRF법은 알루미늄(Al), 철(Fe), 마그네슘(Mg)의 비율을 확인하고 이 성분들의 합을 콘크리트의 단위수량과 비교하였다. 이 성분들의 합을 상관관계의 비교요인으로 선정한 것은 Al, Fe, Mg이 수화된 규산염(Si) 분자구조를 기본으로 구성된 다수의 결정체가 중첩된 것이 점토성 미세입자로서 이 성분이 많다는 것은 토분이 상대적으로 많이 존재하고 있음을 의미하는 것이기 때문이다[14]. 결과적으로 콘크리트의 단위수량이 증가할수록  $Al_2O_3+Fe_2O_3+MgO$ 가 증가하였으며 다소 강한 양의 상관관계로 분석되었기 때문에 골재의 토분을 평가할 수 있을 것으로 판단된다. 한편, XRF법의 콘크리트의 단위수량과  $SiO_2+K_2O$  간의 상관관계는 콘크리트의 단위수량이 증가할수록  $SiO_2+K_2O$ 는 감소하는 음의 상관관계를 나타냈다. 이는  $K^+$ 의 정도에 따라 안정적인 점토성 미세입자의 분자구조를 구성하기 때문에 수분의 침투를 억제한 것으로 판단된다[14].

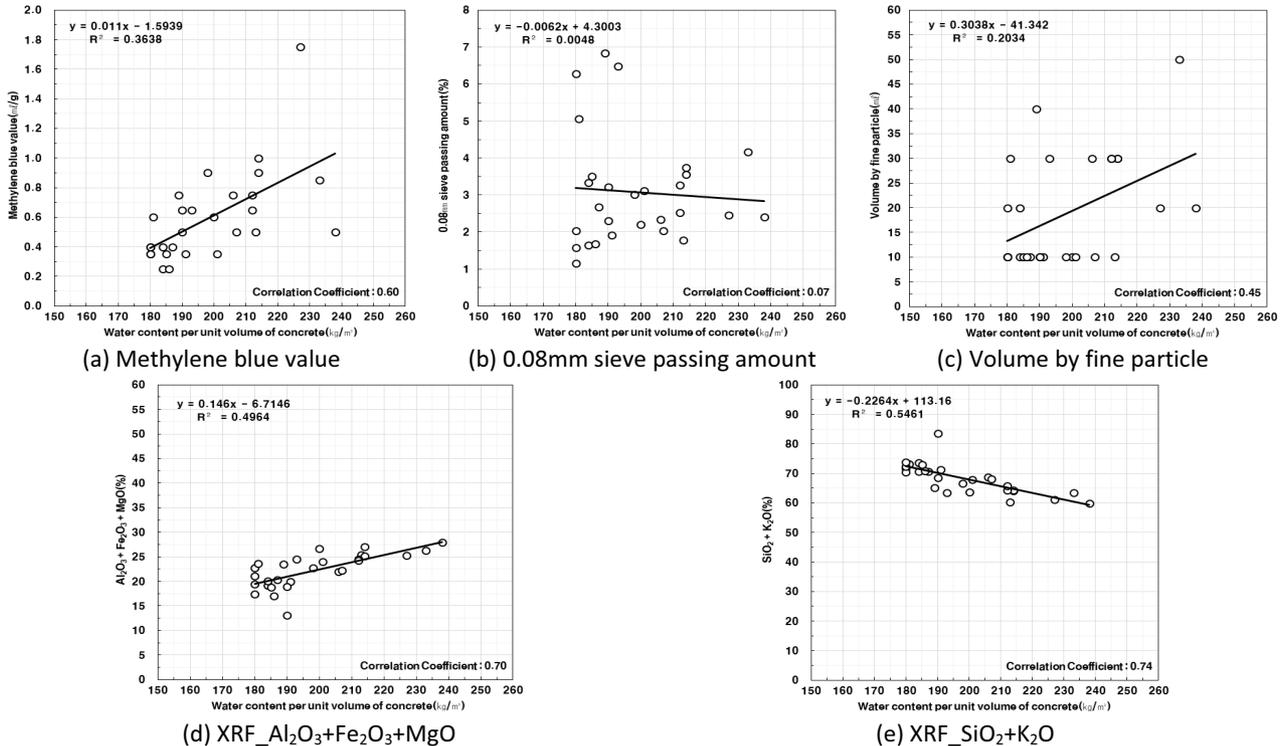


Figure 2. Correlation between assessment method and water content per unit volume of concrete

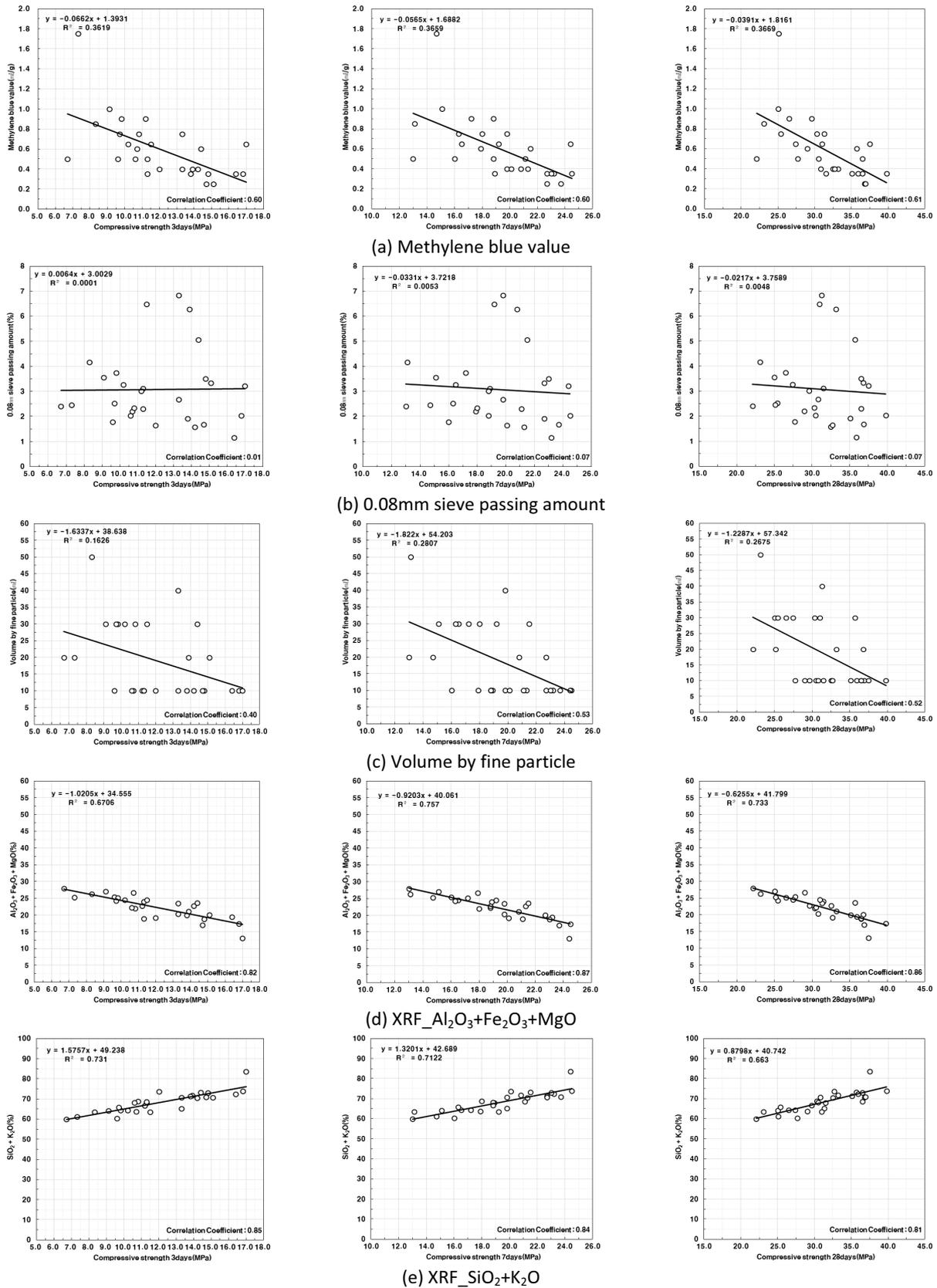


Figure 3. Correlation between assessment method and compressive strength

### 4.3 압축강도 변화에 따른 토분 평가방법 간의 상관관계

Figure 3은 콘크리트의 압축강도와 토분 평가방법 간의 상관관계를 나타낸 것이다. 각 평가방법에 대한 재령별(3일, 7일, 28일) 압축강도는 상관관계는 유사하게 나타났다. 먼저, 메틸렌블루법은 압축강도가 증가할수록 메틸렌블루값(MBV)이 감소하는 음의 상관관계로 분석되었다. 이는 메틸렌블루법의 점토성 미세입자에 관한 측정원리와 잔골재에 토분이 많이 포함되어 있을수록 압축강도가 감소한다는 선행연구[5,6]를 고려해 볼 때 분석된 상관관계의 경향과 동일함에 따라 메틸렌블루법이 토분 평가방법으로 사용이 가능함을 일부 확인할 수 있다.

0.08mm 체 통과량은 압축강도와 상관성이 아주 낮게 나타났다. 이는 0.08mm 체 통과량이 높아도 잔골재에 포함되어 있는 미세입자의 성분이 토분과 같은 점토성 미세입자가 아닌 양질의 미세입자로 구성되어 있다면 콘크리트의 미세한 공극을 충전하여 콘크리트의 강도가 다소 높게 측정되기 때문에 이와 같은 결과가 나온 것으로 판단된다. 이에 따라 0.08mm 체 통과량을 활용한 잔골재의 토분 평가방법에 부적합한 것으로 판단된다.

부피법은 압축강도가 증가할수록 점토성 미세입자라 할 수 있는 토분의 부피는 감소하는 음의 상관관계로 확인되었다. 다만, 측정편차가 다소 높은 것으로 확인되었는데, 이는 부피법이 육안으로 측정하기 때문에 점토층, 실트층, 모래층의 구분이 실험자에 따라 편차가 발생할 소지가 있어 정확도가 다소 결여되어 있기 때문으로 판단된다.

XRF법의  $Al_2O_3+Fe_2O_3+Mg$ 는 강한 음의 상관관계로서 설명력이 재령 3일 0.67, 재령 7일 0.75, 재령 28일 0.73로 확인되었으며,  $SiO_2+K_2O$ 는 강한 양의 상관관계로서 설명력이 재령 3일 0.73, 재령 7일 0.71, 재령 28일 0.66로 확인됨에 따라 압축강도와의 상관성은 다른 평가방법과 비교하여 상대적으로 높게 분석되었다. 결과적으로 XRF는 골재의 토분을 성분으로 정량적으로 평가할 수 있고, 정밀한 실험기기를 통해 편차를 최소화하고 정확도의 확보가 가능함에 따라 토분 평가방법으로 활용이 가능할 것으로 판단된다. 다만, 실제 현장에서 즉시 평가하는 것은 다소 제한적으로 사료된다.

### 4.4 토분 평가방법 및 품질기준 제안

Table 11은 콘크리트의 단위수량 및 압축강도와 토분 평가방법 간의 상관계수를 나타낸 것이다. 콘크리트의 단위수량에 대한 관계에서는 XRF법이  $Al_2O_3+Fe_2O_3+MgO$ 가 0.70,  $SiO_2+K_2O$ 가 0.741로 다른 토분 평가방법과 비교하여 상대적으로 높은 상관계수로 확인되었다. 콘크리트의 품질과 직접적인 영향을 알 수 있는 압축강도의 경우에 재령 28일 기준으로 메틸렌블루법 0.61, 0.08mm 통과량 0.07, 부피법 0.52, XRF법  $Al_2O_3+Fe_2O_3+MgO$  0.86 및  $SiO_2+K_2O$  0.81로 분석되어 상대적으로 높은 상관계수를 나타냄으로서 토분 평가방법으로 유효하게 분석되었다.

이를 토대로 고찰해보면, 0.08mm 체 통과량은 경향성이 없고, 가장 낮은 상관계수로 분석됨에 따라 토분 평가방법으로 다소 제한적으로 판단되며, 부피법은 상관계수가 다소 낮아 평가방법 및 품질기준을 정량적으로 산정하기 어려운 것으로 사료된다. 반면에, 메틸렌블루법은 보통수준의 상관관계로 확인되어 토분 평가방법으로 가능할 것으로 판단되지만, 실험자의 숙련도에 따라 측정오차에 따른 편차가 발생 할 수 있는 평가방법임을 고려하여야 할 것으로 사료된다.

결과적으로 토분의 입자크기, 밀도 등의 물리적인 평가방법보다 성분을 활용한 화학적인 평가방법이 더 효과적인 것으로 판단되고 측정오차를 최소화 할 수 있는 XRF법이 잔골재의 토분에 대한 혼입 여부를 평가하는 적합한 방법으로서 활용이

**Table 11.** Absolute value of Correlation coefficient between assessment method and concrete properties

Coefficient of correlation	Methylene blue	0.08mm sieve passing amount	Volume	XRF	
				$Al_2O_3+FeSO_3+MgO$	$SiO_2+K_2O$
Water content per unit volume of concrete	0.60	0.07	0.45	0.70	0.74
Compressive strength	3 days	0.60	0.01	0.40	0.82
	7 days	0.60	0.07	0.53	0.87
	28 days	0.61	0.07	0.52	0.86

가능할 것으로 판단된다. 다만, XRF법은 검량선에 따른 화학조성비 편차를 고려해야 할 것으로 사료된다.

결과적으로 토분은 각각의 평가방법 및 실험결과를 고려할 때 흙, 점토, 풍화토 등이 부순골재나 천연골재에 포함되어 콘크리트의 품질성능에 유해한 영향을 미치는 것으로서 점토질(2 $\mu\text{m}$  이하)의 미세입자이거나 풍화된 성분( $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$ )을 다량으로 함유하고 있는 세립토(75 $\mu\text{m}$  이하)로 정의와 범위를 설정할 수 있다.

또한, 토분 평가방법으로서 XRF법은  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$  및  $\text{SiO}_2+\text{K}_2\text{O}$ 에 따른 상관관계로부터 도출된 추세선 수식인 식 (1)과 식 (2)으로 토분이 포함될 수 있는 허용범위에 대한 품질기준을 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

$$y = -0.6255x + 41.799 \quad (1)$$

$$y = 0.8798x + 40.742 \quad (2)$$

즉, 추세선 수식에 콘크리트의 목표 배합강도로 설정한 33MPa를 반영하면, 식 (1)에 따른  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$ 는 21.1%이며, 식 (2)에 따른  $\text{SiO}_2+\text{K}_2\text{O}$ 는 69.7%로 산정된다. 다만, 콘크리트용 잔골재의 토분관리는 건설현장에서 콘크리트에 필요한 요구 성능을 확보하기 위함이므로 KCS 14 20 10의 압축강도에 대한 콘크리트의 품질검사 판정기준(① 호칭강도 35MPa 이하일 때 1회 시험값이 -3.5MPa 이상, ② 호칭강도 35MPa 초과일 때 1회 시험값의 90% 이상)에 따른 오차율 약 10%를 고려할 때, 잔골재의 토분에 대한 정량적 허용값 및 품질기준은  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$ 는 23.5% 이하이며, 식 (2)에 따른  $\text{SiO}_2+\text{K}_2\text{O}$ 는 66.5% 이상으로 관리되어야 할 것으로 분석되었다.

## 5. 결론

본 연구에서는 콘크리트용 잔골재에 포함되어 있는 점토성 미세입자를 통칭하는 토분을 분석할 수 있도록 정량적인 평가 방법 및 품질기준을 제안하고자 하였는데, 이에 대한 종합적인 요약결과는 다음과 같다.

- 1) 각각의 토분 평가방법과 콘크리트의 단위수량 또는 압축강도 간의 상관관계에 대한 분석결과로서 상대적으로 XRF법에 대한 상관관계가 높게 분석되었다. 이는 토분으로 추정하는 성분을 정량적으로 평가할 수 있으며, 정밀한 실험기기를 통해 편차를 최소화하고 정확도의 확보가 가능하기 때문으로 판단되고 토분 평가방법으로 활용이 가능할 것으로 사료된다. 다만, XRF법은 실험기기의 보유, 구매비용 및 평가시간 등을 고려할 때 실제 현장에서 실시간으로 적용 및 사용하기보다 정기적으로 정밀성을 요구하는 공인시험기관에서 활용하는 평가방법으로서 적합할 것이다.
- 2) 토분 평가방법으로 XRF법을 활용할 경우에 잔골재에 토분이 포함될 수 있는 허용범위에 대한 품질기준은  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$  및  $\text{SiO}_2+\text{K}_2\text{O}$ 에 따른 상관관계와 KCS 14 20 10의 압축강도에 대한 콘크리트의 품질검사 판정기준 오차율을 고려할 때  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$ 는 23.5% 이하,  $\text{SiO}_2+\text{K}_2\text{O}$ 는 66.5% 이상으로 관리되어야 할 것으로 분석되었다.

이상을 종합하면 잔골재에 포함되어 있는 점토성 미세입자를 통칭하는 토분의 정량적인 평가방법은 XRF법을 활용하여 성분을 확인하는 것이 가장 적합한 방법으로 판단되었고, 정량적 허용값 및 품질기준까지 제안하였다. 다만, 본 연구를 기반으로 국내 다양한 골재산지의 더 많은 표본수 확보를 통한 종합적인 검토와 토분 성분의 조성비에 대한 고려가 필요할 것으로 판단되며, 굵은 골재의 토분까지 평가하고 품질기준을 제안할 수 있는 추가적인 후속연구가 요구된다. 나아가 골재의 토분에 대한 평가방법 및 품질기준의 필요성을 인식하고 제도적으로 정착되기를 기대해 본다.

## 요약

본 연구는 잔골재에 포함되어 있는 점토성 미세입자를 통칭하는 토분을 분석할 수 있는 정량적 평가방법을 결정하고, 각 방법별 측정된 토분의 특성을 검증하기 위한 콘크리트의 성능과 상관관계를 통해 토분이 사용될 수 있는 품질기준을 제안하고자 하였다. 그 결과 XRF의 성분분석을 통해 잔골재의 토분을 평가하는 방법으로서 적합하게 활용될 것으로 판단되며, 이

와 연관한 품질기준은 KCS 14 20 10의 오차율 약 10%가 고려하여  $Al_2O_3+Fe_2O_3+MgO$ 는 23.5% 이하,  $SiO_2+K_2O$ 는 66.5% 이상으로 관리할 경우에 안전할 것으로 분석되었다. 본 연구를 기반으로 굵은 골재의 토분, 내구성 분석 등 추가적인 후속연구를 통한 종합적인 검토로 골재의 토분을 품질관리 할 수 있는 제도가 정착되기를 기대한다.

키워드 : 토분, 평가방법, 품질기준, 상관관계, 엑스선 형광

## Funding

Not applicable

## ORCID

Hyun-Kyu Choi,  <https://orcid.org/0000-0002-4671-0396>

Min-Cheol Han,  <https://orcid.org/0000-0002-2555-673X>

## References

1. Korean Industrial Standards. KS F 2527 Concrete aggregate. Eumseong (Korea): Korean Agency for Technology and Standards; 2020 Dec 14.
2. Aggregate Extraction Act article 22-4 Quality Standards for Aggregates. Sejong (Korea): Ministry of Land, Infrastructure and Transport; 2021 Jul 27.
3. Korean Construction Specification 14 20 10. Goyang (Korea): Korea Construction Standard Center; 2022 Jan 11.
4. Park MY, Hong JH, Choi HK, Lee JM. Suggestion of aggregate soil decision and evaluation test method for improving concrete quality and securing structure stability. Proceedings of the Korea Concrete Institute; 2021 Nov 3-5; Gyeongju, Korea. Seoul (Korea): the Korea Concrete Institute; 2021. p. 375-6.
5. Han HS, Kim YR, Lee TG, Lee DG, Son HJ. Fundamental properties of concrete corresponding to fine aggregate with high silty soil. Proceedings of the Korea Concrete Institute; 2019 Nov 6-8; Buan, Korea. Seoul (Korea): the Korea Concrete Institute; 2019. p. 349-50.
6. Park MY, Seo KW, Baek HS, Hong JH, Park KT. Experimental study on physical properties of concrete on containing soil of aggregates. Proceedings of the Korea Concrete Institute; 2017 May 10-12; Jeju, Korea. Seoul (Korea): the Korea Concrete Institute; 2017. p. 77-8.
7. Sin SJ, Kim MS, Park KT, Park MY, Han MC, Han CG. Effects of aggregate soil on the fundamental properties of the concrete. Proceedings of the Korea Concrete Institute; 2019 Nov 6-8; Buan, Korea. Seoul (Korea): the Korea Concrete Institute; 2019. p. 305-6.
8. Sin SJ, Lee JH, Park KT, Park MY, Han MC, Han CG. The effect of soil on the fundamental properties of mortar in fine aggregate. Proceedings of the Korean Institute of Building Construction Conference; 2019 Oct 31-Nov 1. Chungju, Korea. Seoul (Korea): the Korea Institute of Building Construction; 2019. p. 83-4.
9. JIS A 5005 Crushed stone and manufactured sand for concrete. Tokyo (Japan): Japan Industrial Standards. 2020.
10. ASTM C 33 Standard specification for concrete aggregates. PA: American Society for Testing and Materials. 2018.
11. British Standards. BS EN 933-9 Tests for geometrical properties of aggregates - part 9: assessment of fines - methylene blue test. United Kingdom: British Standards Institution; 2013.
12. Park MY, Park KT. The problems and solution method of aggregates clay. Magazine of the Korea Concrete Institute. 2020 Jul;32(4):21-7.
13. Lee JS. Qualification of aggregates from different region in korea and evaluation on concrete properties using the aggregates [Dissertation]. [Cheongju (Korea)]: Cheongju University. 2018. 164 p.
14. Kwon HJ, Park JB, Song YU, Lee YS. Soil mechanics. Seoul (Korea): Gumiseogwan; 2021. 576 p.