

Research Paper

골재에 포함된 토분의 현황 조사 및 콘크리트의 성능에 미치는 영향

The Status of Clay Minerals in Aggregates and Their Effect on the Concrete Performance

김인¹ · 한민철^{2*}

Kim, In¹ · Han, Min-Cheol^{2*}

¹Doctor's Course, Department of Architectural Engineering, Cheongju University, Naduk-Dong, Cheongju-City, 28503, Korea

²Professor, Department of Architectural Engineering, Cheongju University, Naduk-Dong, Cheongju-City, 28503, Korea

*Corresponding author

Han, Min-Cheol
Tel : 82-43-229-8484
E-mail : twhan@cju.ac.kr

Received : April 25, 2024

Revised : June 4, 2024

Accepted : June 20, 2024

ABSTRACT

The Korean Industrial Standard(KS) KS F 2527("Aggregates for Concrete") does not explicitly define criteria for clay mineral content in aggregates. This lack of clear quality standards and testing methodologies is further compounded by a scarcity of relevant research within both academic and industrial spheres. Consequently, the construction industry, encompassing both aggregate production and utilization, often overlooks the management of clay mineral content due to its perceived economic implications. This study addresses this gap by investigating the current state of regulations concerning clay mineral content in aggregates, exploring the causes of its occurrence, and evaluating its impact on concrete performance. The chemical composition of the clay minerals was determined to primarily consist of Al_2O_3 , Fe_2O_3 , and SiO_2 , which are commonly found in clay. X-ray diffraction(XRD) analysis revealed that the predominant clay minerals were montmorillonite and illite, both known for their high absorption capacity. An examination of domestic and international standards for clay mineral content in aggregates demonstrated that the density and absorption rate specifications outlined in KS F 2527("Aggregates for Concrete") only offer indirect estimations of clay mineral levels. Furthermore, the investigation into the influence of clay mineral content on concrete performance suggests that a higher clay mineral content necessitates a corresponding increase in the unit quantity of aggregates to maintain adequate workability. This, however, has a detrimental effect on the compressive strength of the concrete.

Keywords : clay minerals, aggregate, concrete, unit quantity of water, compressive strength

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

골재는 자원을 활용하고 건설산업에서 폭 넓게 사용되는 공공재의 성격을 띠는 대표적인 건설재료이나 이러한 골재의 품질 여건은 다른 건설재료보다 열악한 편에 속하는 것이 사실이다. 과거 양질의 골재로 사용되었던 강자갈, 강모래 등과 같은 하천골재는 이미 고갈되었으며 대체자원으로 사용하는 산림골재는 산림보호 정책 및 님비(Nimby) 현상 등으로 실질적인 확장이 어려운 상황이며 바다 모래 또한 어민들의 반발 및 수산자원 보호 등을 목적으로 채취량 감축 정책이 시행되는 등 전체적인 골재수요보다 공급량이 부족한 문제점이 발생하고 있다[1]. 이러한 시장 상황에서 일부 골재 업체들의 무분별한 골재 채취 및 생산으로 인해 품질기준을 만족하지 못하는 소위 '불량골재'가 유통되고 있으며 이를 사용한 콘크리트 구조물의



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

성능과 안전에 부정적인 영향을 미치는 실정이다[2]. 특히, 골재품질에 가장 영향을 미치는 문제점으로 흙 또는 이물질 등을 통칭하는 ‘토분’이 골재에 과다하게 혼입되어 콘크리트에 사용될 경우 강도저하, 균열발생 및 콘크리트의 수명저하 등 다양한 문제를 발생시켜 콘크리트 구조물의 안전을 위협할 수 있다.

그러나 토분에 대한 우리나라의 기준은 한국산업표준(KS)의 KS F 2527(콘크리트용 골재)에서 규정하고 있지 않을뿐만 아니라 명확한 품질기준과 시험방법이 존재하지 않으며, 학계 및 산업계의 관련 연구도 제한적으로 보고되고 있는 상황이다. 이와 관련하여 Park et al.[3]은 골재의 토분을 판정하기 위해 국내·외 규정을 고찰하고, 메틸렌블루법 등의 시험방법을 중심으로 연구를 진행한 바 있다. 또한, Sin et al.[4] 등은 비중계법(Hydrometer) 등의 시험방법을 활용하여 잔골재의 미립분 함유량 검토에 관한 연구를 진행하고, 골재의 토분 문제와 해결 방안을 제안한 바 있으며, Sin et al.[5]와 Sin et al.[6]의 연구자 등은 입도분석기를 이용한 골재 토분함유량 판정 가능성 분석을 진행 하였는데, 이를 통해 입도분석기를 이용한 골재의 토분함유량 측정방법의 활용가능성을 보고한 바 있다. 더욱 우려스러운 점은 골재를 생산하는 업계와 사용하는 업계등 실무에서는 토분 문제가 경제성과 직결됨으로 운영상 관리가 되지 않는 실정으로, 결국, 이와 같은 상황에서 피해를 보는 주체는 콘크리트 구조물의 최종 소비자인 국민들이기 때문에 정부, 학계 및 산업계 등의 관심과 대책 마련이 시급한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 골재중 토분에 대한 사전적 정의 및 광물조성에 대해서 고찰 후, 토분의 발생원인 및 토분의 품질기준 관련 조사를 실시 하고자 한다. 또한 0.08mm체를 통과한 토분의 함량에 따라 콘크리트의 성능을 평가하고자 하자 한다.

2. 골재 토분의 개요

2.1 토분의 정의

토분에 대한 이론적 정의는 표준 및 관련 시방서 등에 명확하게 규정하고 있지않다. 그러나 용어를 해석해 보면 “흙가루”의 뜻으로서, 실무에서는 골재에 포함되어 있는 흙, 이물질 등과 같은 유해한 미분을 표현하는 의미로 사용하고 있다. 골재에 포함된 토분은 흡수율이 높은 점토, 실트 등으로 구성되어 있으며 구성된 점토 또는 실트 등이 과다하게 포함된 골재를 사용할 경우 콘크리트의 단위수량 증가를 초래하여 전반적인 콘크리트의 품질성능을 악화 시킬 수 있다. 다만 미분 중에서 흡수율이 높지 않은 양질의 미분(석분)이 골재에 적정하게 혼입되어 있으면 필러(Filler)효과로 인해 콘크리트 성능에 유익한 영향을 미칠 수 있으므로[7] 유해한 흙 성분을 가지는 토분과 구분하여 정의할 필요가 있다.

2.2 토분의 광물조성 분석

Figure 1은 2곳의 석산에서 생산되는 골재와 2곳의 선별파쇄장에서 생산되는 골재를 수급한 골재를 나타낸 것이며 Table 1은 수급한 골재에 대해 광물조성을 BRUKER사의 X선형광분석기(이하 XRF)로 이용하여 광물조성을 분석한 결과이며 XRF 분석시 사용되는 골재의 석분 및 토분의 시료는 생산된 골재에 한하여 0.08mm 이하의 미분을 채취하였으며 토분 시료 또한 같은 방법으로 시료를 채취하였다.

본 연구에서 사용된 골재에 대해 광물분석을 실시한 결과, 일부 화학성분에서의 차이가 있었으며 골재의 주성분인 SiO_2 함유량은 석분시료에서 높게 나타났으며 토분시료는 Al_2O_3 와 Fe_2O_3 의 함량이 높게 나타났다. Figure 2는 XRF분석에 사용된 동일한 시료로 XRD 분석을 실시한 결과이다. 분석결과 토분 시료에서는 점토 광물인 montmorillonite, illite 등이 관찰되는 것으로 나타났다. 이와 같이 샘플로 수급된 골재에 의한 석분과 토분을 비교하였을시 토분은 몬모릴라이트와 같이 흡수성이 높은 조성물로 이루어져 토분함량이 높은 골재를 콘크리트에 사용시 콘크리트 배합시 단위수량을 증가시키며 증가된 단위수량으로 인해 콘크리트의 성능 저하를 발생시킬 수 있는 요인으로 작용할 수 있을 것으로 사료된다.



Figure 1. Characterization of aggregates employed in the study

Table 1. XRF analysis results of stone dust and clay minerals

| Division | Stone dust | | Clay minerals | | |
|------------|--------------------------------|-------|---------------|------|------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | |
| XRF (%) | Na ₂ O | 2.9 | 4.8 | 0.1 | 0.7 |
| | MgO | 1.8 | 2.1 | 4.7 | 4.8 |
| | Al ₂ O ₃ | 16.36 | 17.6 | 22.6 | 22.7 |
| | SiO ₂ | 56.8 | 59.4 | 48.5 | 47.3 |
| | P ₂ O ₅ | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.2 |
| | K ₂ O | 5 | 7.6 | 5.2 | 4.7 |
| | CaO | 4.3 | 3.8 | 1.8 | 1.8 |
| | TiO ₂ | 0.41 | - | 1.4 | 1.5 |
| | MnO | - | - | 0.2 | 0.3 |
| | Fe ₂ O ₃ | 3.8 | 4 | 14.3 | 15.8 |
| | BaO | 0.1 | - | 0.1 | 0.1 |
| | SO ₃ | 1.3 | 0.2 | - | - |

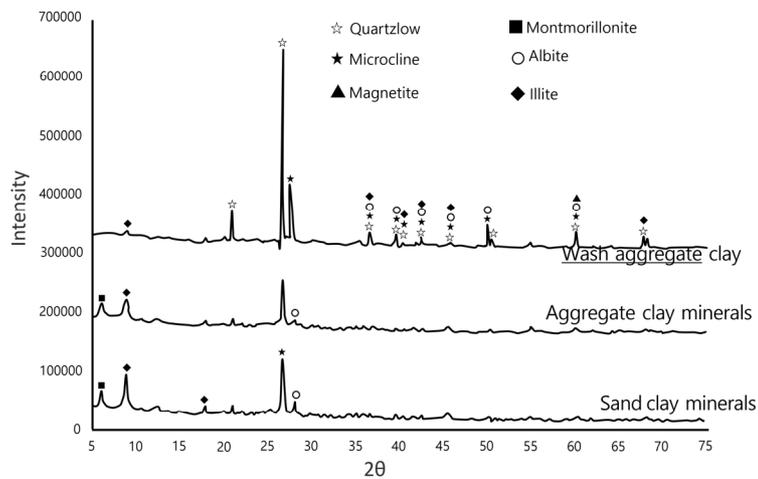


Figure 2. XRD analysis results for stone dust and clay minerals

2.3 토분의 발생원인

골재의 생산공정은 원석을 투입하여 파쇄-선별-세척-체가름 과정을 거쳐 생산되는 굵은 골재와, 원석을 파쇄하는 과정에서 발생한 석분을 세척-선별 과정을 거쳐 생산되는 잔골재로 구분된다. 토분의 발생원인은 생산공정에서 크게 원료적인 요

인과 생산적인 요인으로 구분할 수 있다.

2.3.1 원료적 요인

골재는 기본적으로 원석 및 원사를 가공하여 생산하기 때문에 원료 및 원석의 상태에 따라 품질에 영향을 미치게 된다. 즉, 원료 투입 단계에서 양질의 원석 및 원사만을 사용한다면 생산제품의 품질에 문제는 없지만 토분이 혼입되면 생산된 골재에도 토분이 함유되어 있을 가능성이 높다. 따라서 원료 투입 전 단계부터 품질관리 방안이 필요하나, 원석 및 원사에 대한 품질기준은 없으며 선별파쇄 골재의 경우 외부의 건설현장에서 반입되는 원석의 품질 편차가 크기 때문에 원료에 대한 품질관리가 되지 않는 실정이다[3].

2.3.2 생산적 요인

토분이 혼입된 원석 및 원사를 사용하는 경우 생산공정에서 적절한 제거가 필요하다. 이에 대한 방법으로 먼저 원석이 조크러셔를 통과한 후 페토 스크린에서 토분이 함유된 잔입자를 선별해 주는 방법이 있다. 그러나 이 경우 석분 발생량이 줄어들어 모래 생산량이 감소할 수 있으므로 대부분의 골재 생산업체 들은 선별 분리된 페토를 다시 석분 생산 공정에 재투입하여 잔골재를 생산하는 실정이다.

또한 생산설비중 세척설비를 이용하여 생산된 골재에 대하여 세척하는 공정을 실시하여야 한다. 그러나 세척을 실시할 경우 골재생산량 감소와 폐기물 발생으로 인해 업체들이 선호하지 않는 편이다.

2.4 골재에 포함된 토분의 품질 규정 조사

2.4.1 국내기준(KS)

KS F 2527(콘크리트용 골재)에서 정의하는 골재의 일반적인 성질로는 “골재는 깨끗하고 강하며 내구적이고, 알맞은 입도를 가지며, 흙, 얇은 석편, 가는 석편, 유기 불순물, 염화물 등은 유해량 이상을 함유해서는 안 된다.”라고 규정하고 있다[8]. 이는 상징적으로 골재에 토분과 같은 유해한 성분이 함유되면 안된다는 의미를 담고 있지만 구체적인 규정은 존재하지 않고 있다.

Table 2는 토분과 관련있는 골재의 품질항목을 나타낸 것이다.

Table 2. KS quality standards are associated with the clay minerals of aggregates[8]

| Aggregates | | Density in absolute dry condition (g/cm ³) | 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 | ≤ 1.0 |

Table 2에서 제시하고 있는 밀도 및 흡수율은 토분의 함유량의 어느 정도에 대하여 간접적으로 유추해 볼 수 있는 수치에 불과하며 0.08mm 체 통과량은 토분 및 석분의 종류와 상관없이 단순히 골재가 포함하는 미분의 함량만 측정 하는 방법으로 토분의 함량만을 직접적으로 측정하는 방법으로는 한계가 있다. 특히 부순 잔골재의 경우 0.08mm체 통과량을 7.0% 이하로

규정하고 있으나 이는 석산골재가 대부분인 일본의 JIS를 참조해서 만든 기준으로 현재 국내상황과 비교하면 맞지 않음을 확인할 수 있었다.

이로 인해 골재를 생산하는 업체들은 토분과 석분을 구분하지 않고 0.08mm 통과량 총량만을 7% 기준 이하로만 생산하고 있으며, 이로 인해 골재 사용자들 역시 기존방법으로는 토분의 함유량에 대하여 판단할 수 없는 문제점이 제기되고 있다. 또한 점토덩어리 시험방법은 시험에 대한 신뢰성이 낮고 활용성이 떨어져 실무에서는 적용하기 어려운 실정이다. 따라서 현행 KS의 품질규격으로는 골재가 포함하고 있는 토분의 함량에 대하여 품질기준을 설정하는데 어려움이 있으며 이에 대한 시험방법 및 규격개발이 시급한 실정으로 판단된다.

2.4.2 국외기준

일본의 JIS A5005에서는 KS와 동일하게 토분에 대한 별도의 시험방법이나 기준이 존재하고 있지 않다. 또한 0.08mm체 통과율기준에서 굵은골재는 3%이하, 잔골재는 9% 이하로 규정하고 있어 국내의 기준보다 완화된 기준으로 관리한다[9]. 이는 일본의 경우 대부분이 석산에서 생산된 골재이며 양호한 원석으로 생산된 골재가 주로 유통되고 시장공급도 충분함에 따라 토분이 혼합된 골재는 유통이 되지 않기 때문이다. 그러나, JIS 또한 최근 개정과정에서 석분의 품질기준 방법의 필요성 및 모래당량 시험법을 응용한 석분의 품질시험 방법 등이 논의되고 있다.

한편, 미국의 ASTM C 66(standard specification for concrete aggregates)와 유럽의 EN 12620(Aggregates for concrete)에서는 미분의 품질 판정방법으로 메틸렌블루, 모래당량 등의 방법을 제시하고 있는 것으로 보아 골재가 포함하는 미분에 대해 표준 시험방법이 존재하고 있는 것으로 사료된다[10]. 그러나, 국내의 경우 메틸렌 블루 시험법이나 모래당량을 이용한 시험법은 국내 실정에 맞지 않는 실정인데, 메틸렌블루법은 화학반응에 의해 용액의 색변화로 판단하는 방법으로[11] 유럽의 암석과 국내의 암석은 화학적 성분이 상이하여 국내실정에 도입 할 수 없으며 모래당량 시험법은 석분과 토분의 구분이 힘든 점이 있는 것으로 판단된다[12].

이를 종합하면, 국내의 콘크리트용 골재의 토분의 품질규정으로 KS F 2527(콘크리트용 골재)에서 제시하고 있는 밀도 및 흡수율은 토분의 함유량의 어느 정도에 대하여 간접적으로 유추해 볼 수 있는 수치에 불과한 실정이며, ASTM C 66과 유럽의 EN 12620(Aggregates for concrete)에서는 미분의 품질 판정방법으로 메틸렌블루, 모래당량 등의 방법을 제시하고 있으나, 국내 실정에 맞지 않음을 확인할 수 있어 국내 실정에 적합한 토분 품질시험 및 규정의 제정이 필요하다고 판단된다.

3. 토분 첨가량 변화가 콘크리트의 성능에 미치는 영향 평가

3.1 실험계획 및 방법

본 실험에서는 토분의 함유량이 콘크리트의 물성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 부순굵은골재, 부순잔골재를 대상으로 토분의 첨가량에 따른 콘크리트의 물성시험 및 단위수량 증가량에 대한 평가를 실시 하였으며, 일련의 실험계획은 Table 3과 같다. 먼저, 콘크리트의 배합으로는 24-27-180 규격의 배합을 선정하였으며, 목표 슬럼프 $180 \pm 25\text{mm}$, 목표 공기량 $4.5 \pm 1.5\%$ 를 기준으로 배합을 실시하였고, 기초배합실험을 실시한 후 측정되는 값에 따라 우선 목표 슬럼프를 달성하기 위해 단위수량을 증가시켜 배합을 실시하였고 목표슬럼프 달성후 공기량을 맞추기 위해 AE제를 추가하여 본 배합을 실시하였다. 이때 추가되는 단위수량과 AE제량을 측정하여 최종 Table 4의 배합표에 나타냈다.

또한, 본 실험의 배합표는 Table 4와 같다. 결합재는 1종 포틀랜드시멘트(밀도 : 3.15g/cm^3 , 분말도: $3,548\text{cm}^2/\text{g}$), 고로슬래그(밀도 : 2.87g/cm^3 , 분말도: $4,230\text{cm}^2/\text{g}$), 플라이애시(밀도: 2.24g/cm^3 , 분말도: $3,530\text{cm}^2/\text{g}$)를 사용하였다. 또한 사용된 골재는 석산에서 발생하는 토분이 없는 골재를 사용하였으며 임의 추가 혼입된 토분은 골재 선별파쇄 사업장에서 토분이 많

이 함유된 골재를 수급하고 0.08mm체를 통과하는 토분을 콘크리트 1m³ 제조시 사용되는 골재의 총량 대비 0, 1, 3, 6, 9, 12, 15%를 골재에 첨가하였다. 또한 사용된 골재는 부순골재로서 그 물리적 성질은 Table 5와 같다. 콘크리트의 배합은 콘크리트 믹서를 사용하여 30RPM으로 고정한 후 골재를 투입하여 15초 동안 건비빔, 다음으로 바인더를 투입하여 15초 혼합 후 실험에 필요한 물과 혼화제를 투입하여 90초간 혼합한 다음에 배출하여 제작하였다. 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프는 KS F 2402, 공기량은 KS F 2421에 의거 시험을 실시하였고, 콘크리트의 압축강도는 KS F 2403에 의거 측정을 실시하였다.

Table 3. Experimental plans

| Factors | Levels |
|--------------------------------|---|
| Clay minerals in aggregates(%) | 0, 1, 3, 6, 9, 12, 15 |
| Mixture | Slump 180±25mm Air content 4.5±1.5% |
| Fresh concrete | Slump, Air content Water content per unit volume of concrete |
| Hardened concrete | Compressive strength(3 days, 7 days, 28 days) |

Table 4. Mix design of concrete specimens

| Level | W/B (%) | S/a | Unit weight(kg/m ³) | | | | | | SP (%) | AE (%) | | | |
|------------------|---------|-------|---------------------------------|----|-----|-----|-------|------|--------|--------|-------|-------|-------|
| | | | C | FA | BFS | S | G | Clay | | | | | |
| Sand | 48.6 | 52 | 258 | 56 | 56 | 920 | 822 | 0 | 0.70 | 0.016 | | | |
| | | | | | | | | | | | 920 | 0 | 0.016 |
| | | | | | | | | | | | 910.8 | 9.2 | 0.013 |
| | | | | | | | | | | | 882.4 | 27.6 | 0.023 |
| | | | | | | | | | | | 864.7 | 55.3 | 0.035 |
| | | | | | | | | | | | 837.1 | 82.9 | 0.055 |
| | | | | | | | | | | | 809.5 | 110.5 | 0.090 |
| 781.9 | 138.1 | 0.150 | | | | | | | | | | | |
| Coarse aggregate | 48.6 | 52 | 258 | 56 | 56 | 920 | 772.8 | 49.2 | 0.70 | 0.020 | | | |
| | | | | | | | | | | | 822 | 0 | 0.015 |
| | | | | | | | | | | | 813.8 | 8.2 | 0.012 |
| | | | | | | | | | | | 797.4 | 24.6 | 0.016 |
| | | | | | | | | | | | 748.2 | 73.8 | 0.024 |
| | | | | | | | | | | | 723.6 | 98.4 | 0.028 |
| | | | | | | | | | | | 699 | 123 | 0.031 |

Table 5. Physical properties of plain concrete aggregate

| Factors | Coarse aggregate | Crushed fine aggregate |
|--|------------------|------------------------|
| Absolute dry density(g/cm ³) | 2.7 | 2.6 |
| Water absorption ratio(%) | 0.7 | 1.2 |
| Safety test(%) | 4 | 4 |
| 0.08mm sieve passing amount(%) | 0.7 | 2.9 |
| Distribution of grain shape(%) | 58 | 56 |
| Attrition Rate(%) | 21 | - |

3.2 실험결과 및 분석

3.2.1 토분 첨가량 변화가 굳지않은 콘크리트의 물성에 미치는 영향

Figure 3, Figure 4는 세척된 골재에 토분을 첨가하여 첨가량 변화에 따른 굳지않은 콘크리트의 슬럼프 및 단위수량 증가량을 나타낸 것이다. Figure 3에서 나타나듯이 토분 첨가량 변화에 따른 목표 슬럼프 180±20mm를 확보하기 위해 단위수량을 인위적으로 변경하였다. 이때 첨가되는 토분으로 인해 토분 첨가량이 증가함에 따라 단위수량의 증가하는 것으로 나타났다, 토분의 첨가량이 증가함에 따라 최대 약 30kg/m³이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 골재에 포함된 토분이 콘크리트 배합시 사용되는 배합수를 흡착함에 따라 유동확보가 어려워 얻어진 결과로서, 이와 같이 토분첨가량이 증가함에 따라 유동성 확보를 위해 단위수량을 증가시킬 경우 압축강도를 비롯한 모든 콘크리트의 물성에 악영향을 미칠 것으로 판단된다.

Figure 5, Figure 6은 골재의 토분첨가량에 따른 콘크리트의 공기량 변화와 AE제 사용량 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 나타나듯이 토분의 첨가량이 증가함에 따라 목표 공기량 4.5±1.5%를 고정하기 위해 공기연행제의 사용량이 증가하는 것으로 나타났다. 이 또한 토분의 첨가량이 증가함에 따라 토분이 배합수를 흡착하고 콘크리트의 유동성을 위해 추가된 배합수로 인하여 공극량이 감소하는 것으로 추정되며 이를 보완하기 위해 공기연행제 또한 증가하는 것으로 사료된다.

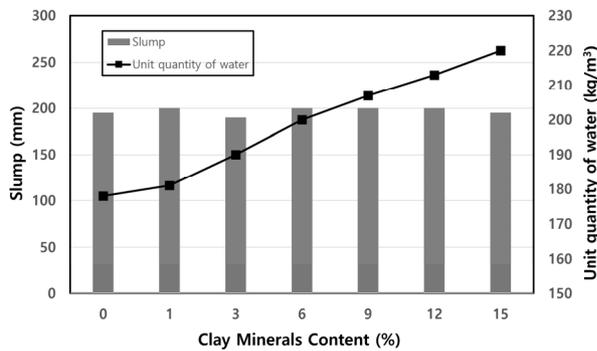


Figure 3. Slump and unit water content of concrete mixes as functions of clay mineral content in coarse aggregates

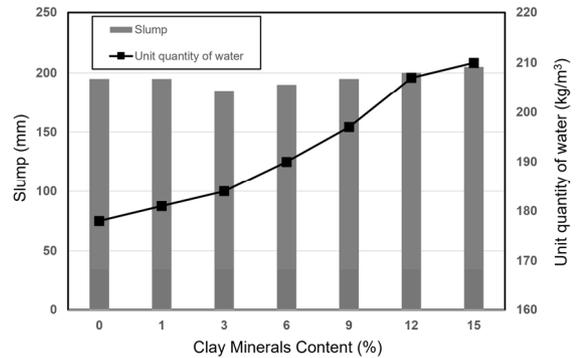


Figure 4. Slump and unit water content of concrete mixes as functions of clay mineral content in fine aggregates

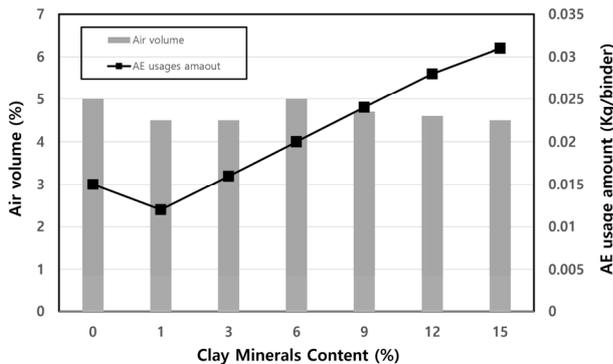


Figure 5. Air content and air-entraining admixture dosage required for concrete mixes with varying clay mineral content in coarse aggregates

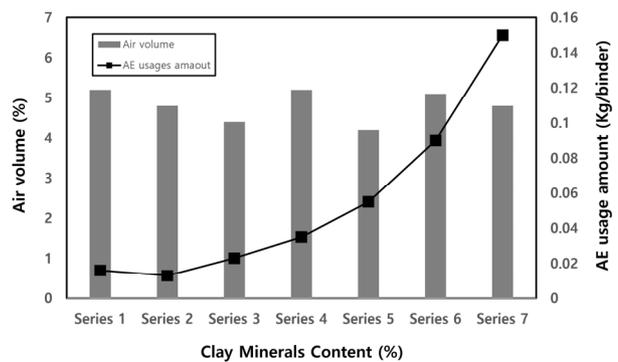


Figure 6. Air content and air-entraining admixture dosage required for concrete mixes with varying clay mineral content in fine aggregates

3.2.2 토분 첨가량 변화가 압축강도에 미치는 영향

Figure 7은 콘크리트의 굵은골재 사용량 대비 토분 첨가량에 따른 압축강도와 단위수량 증가량에 대한 실험결과를 나타낸 것이며 Figure 8은 잔골재 사용량 대비 토분 첨가량에 따른 압축강도와 단위수량 증가량에 대한 실험결과를 나타낸 것이다. Figure 7에서 나타나듯이 토분의 함량이 증가함에 따라 압축강도는 감소하는 것으로 나타났다. 특히 토분이 9% 첨가량 혼합된 실험체에서는 약 18% 이상의 압축강도 감소가 나타났다. 단위수량 또한 토분이 첨가되지 않은 Plain 실험체에 비해 18kg/m³ 증가되는 것으로 나타났다. Figure 8의 결과에서는 토분 첨가량 6% 이상부터 압축강도가 약 20% 감소되는 것으로 나타났으며 단위수량은 22kg/m³ 증가하는 것으로 나타났다. 이는 토분의 성분중 몬모릴나이트의 성분이 물과의 흡착으로 인해 단위수량이 증가되었으며, 이로 인해 W/B가 증가하여 압축강도 또한 감소되는 것으로 사료된다. 따라서, 골재의 포함된 토분은 콘크리트의 압축강도를 저하시키며, 특히 압축강도저하폭이 15% 이상이 되는 경우 품질에 심각한 악영향을 미칠 수 있을 것으로 사료되어, 본 연구범위에서 굵은 골재의 경우 토분함유량 9% 이내, 잔골재의 경우는 토분함유량이 6% 이내로 관리되어야 할 것으로 판단된다.

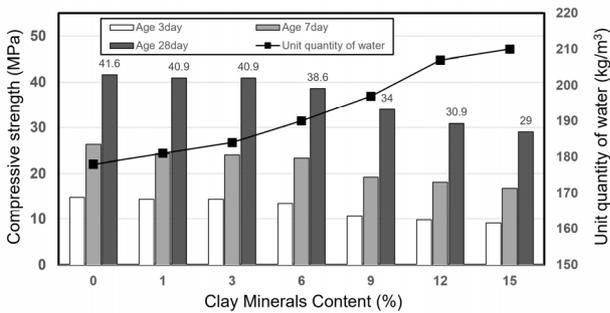


Figure 7. Compressive strength and unit water content of concrete mixes as functions of clay mineral content in coarse aggregate

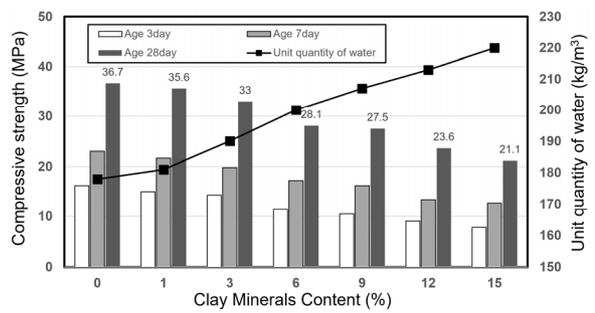


Figure 8. Compressive strength and unit water content of concrete mixes as functions of clay mineral content in fine aggregate

4. 결론

본 연구에서는 콘크리트용 골재의 토분과 관련한 현황, 토분 평가관련 기준 및 발생원인을 조사하고 시사점을 도출하였으며, 아울러, 토분이 콘크리트에 미치는 영향에 대해 실험적으로 고찰하였는데, 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 토분의 화학적 조성은 점토에서 흔히 조성되는 Al₂O₃, Fe₂O₃, SiO₂로 나타났고, XRD 분석결과 흡수성이 높은 몬모릴 나이트와 일라이트 광물로 구성되어 있는 것으로 확인되었다.
- 2) 국내·외 토분의 품질규정 조사결과 KS F 2527(콘크리트용 골재)에서 제시하고 있는 밀도 및 흡수율은 토분의 함유량의 어느 정도에 대하여 간접적으로 유추해 볼 수 있는 수치에 불과하며 ASTM C 66과 유럽의 EN 12620(Aggregates for concrete)에서는 미분의 품질 판정방법으로 메틸렌블루, 모래당량 등의 방법을 제시하고 있으나, 국내 실정에 맞지 않는 것으로 판단된다.
- 3) 토분 첨가량에 따른 콘크리트의 성능평가 결과 토분의 첨가량이 증가함에 따라 콘크리트의 유동성을 확보하기 위해서는 단위수량 증가가 필요하며 토분함유량이 15%가 경과할 경우 단위수량은 최대 30kg/m³ 이상이 증가 되는 것으로 나타났다.
- 4) 콘크리트의 굵은골재 사용량 대비 토분 첨가량이 증가함에 따라 압축강도는 감소하는 것으로 나타났으며 9% 이상의 토분 첨가가 될 경우 18%의 압축강도 감소가 나타났으며 잔골재의 경우는 토분 첨가량 6%일 때 압축강도는 20% 이상

감소되는 것으로 나타났다. 이는 토분의 성분중 몬모릴나이트의 성분이 물과의 흡착으로 인해 단위수량이 증가되었으며 이로 인해 압축강도 또한 감소되는 것으로 분석되어 콘크리트 품질관리를 위해서는 골재토분 함량에 대한 기준 마련이 절실히 필요하다고 사료된다.

요약

토분에 대한 기준은 한국산업표준(KS)의 KS F 2527(콘크리트용 골재)에서 규정하고 있지 않으며 명확한 품질기준과 시험방법이 없으며 학계 및 산업계의 관련 연구도 부족한 상황이다. 또한 골재를 생산하는 업계와 사용하는 업계등 실무에서는 토분 문제가 경제성과 직결됨으로 운영상 관리가 되지 않는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 골재 토분 문제에 대한 현황 및 관련 기준, 발생원인을 조사하고 토분이 콘크리트에 미치는 영향에 대해 연구 한 결과 토분의 화학적 조성은 점토에서 흔히 조성되는 Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 로 나타났으며 XRD 분석결과 흡수성이 높은 몬모릴나이트와 일라이트 광물로 구성되어 있는 것으로 확인하였다. 또한 국내·외 토분의 품질규정 조사결과 KS F 2527(콘크리트용 골재)에서 제시하고 있는 밀도 및 흡수율은 토분의 함유량의 어느 정도에 대하여 간접적으로 유추해 볼 수 있는 수치에 불과한 실정이다. 또한 토분이 콘크리트의 성능에 미치는 영향을 분석한 결과 토분의 첨가량이 증가함에 따라 콘크리트의 유동성을 확보하기 위해서는 단위수량 증가가 필요하며 이로인해 압축강도 또한 감소 되는 것으로 사료된다.

키워드 : 토분, 골재, 콘크리트, 단위수량, 압축강도

Funding

Not applicable

ORCID

In Kim,  <https://orcid.org/0009-0006-8050-5157>

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

References

1. Park MY, Park KT. The problems and solution method of aggregates clay. Magazine of the Korea Concrete Institute. 2020 Jul;32(4):21-7.
2. Ministry of Land, Infrastructure and Transport. Aggregate Extraction Act article 22-4 Quality Standards for Aggregates. Sejong (Korea): Ministry of Land, Infrastructure and Transport; 2021 Jul 27.
3. 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.
4. Sin SJ, Choi YH, Han JH, Hyun SY, Han MC, Han CG. Possibility of determination of aggregate soil content using hydrometer method. Proceedings of the Architectural Institute of Korea; 2019 Oct 39-2; Daejeon, Korea. Seoul (Korea): Architectural Institute of Korea ; 2019. p. 465-2.

5. Sin SJ, Hyun SY, Park KT, Park MY, Han MC, Han CG. Possibility of determination of aggregate soil content using a particle analyse. Proceedings of the Korea Concrete Institute; 2019 Nov 31-2; Byeonsan, Korea. Seoul (Korea): the Korea Concrete Institute; 2019. p. 331-2.
6. Sin SJ, Lee HJ, Han JH, Hyun SY, Han MC, Han CG. Comparative analysis of dry and wet clay content test of crushed fine aggregate using particle size analyzer. Proceedings of the Korea Recycled Construction Resources Institute; 2019 Nov 19-2; Gyeongju, Korea. Seoul (Korea): the Korea Recycled Construction Resources Institute; 2019. p. 161-2.
7. Choi HK, Han MC. Experimental study on the proposal of an assessment method and quality standard for identifying the fine particles of clay components in fine aggregates. Journal of The Korea Institute of Building Construction. 2022 Dec;22(6):585-96. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2022.22.6.585>
8. Korean Industrial Standards. KS F 2527 Concrete aggregate. Eumseong (Korea): Korean Agency for Technology and Standards; 2020 Dec 14.
9. JIS A 5005. Crushed stone and manufactured sand for concrete. Tokyo (Japan): Japan Industrial Standards. 2020. p. 1-9.
10. ASTM C 33. Standard specification for concrete aggregates. PA: American Society for Testing and Materials. 2018. p. 1-13.
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. p. 3-15.
12. 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.