

규산염광물－세멘트복합재료의 2단계수화에 의한 콘크리트벽에서의 자기층형성

김충혁, 유철준, 리병혁

최근에 지구온난화와 기후변화가 심각한 문제로 제기되면서 건설부문에서 령에너르기, 령탄소로 특징지어지는 록색건물에 대한 관심이 커가고있다. 록색건축을 실현하는데서 중요한 문제는 콘크리트벽의 열절연성능을 강화하여 건물의 운영에너르기소비를 줄이는것이다.[1, 2] 콘크리트벽의 열절연성능을 높이기 위하여 시공이 간단하고 원가가 낮은 무기열절연칠감을 개발하기 위한 연구가 활발히 진행되고있다.[3, 4]

본문에서는 규산염광물분말과 세멘트를 리용하여 제조한 다기능복합건축재료를 콘크리트벽에 시공할 때 2단계수화에 의하여 자기층이 형성되는 물림새를 X선결정구조분석과 주사전자현미경분석을 통하여 해명하였다.

1. 규산염광물－세멘트복합재료의 제조와 X선구조분석

다기능복합건축재료를 제조하는데 드는 원료재료들은 규산염, 석영모래, 운모, 니켈－아연헥시트, 흑연, 팽창규조토, 연재와 같은 여러가지 광물들이다. 특히 금강약돌이 중요하게 리용된다. 이것은 사장석, 칼리움장석, 흑운모, 석영과 같은 성분들로 이루어진 복합광물로서 우리 나라에 풍부하게 매장되어있다. 이 무기재료들은 이산화규소, 산화알루미늄, 산화철과 같은 여러가지 금속산화물들과 과도금속, 희토류금속원소들을 포함하므로 콘크리트벽에 바르면 보온, 방습, 방화, 항균과 같은 여러가지 기능을 나타낸다.

광물재료들을 초미세분쇄기를 리용하여 립도가 $0.4\sim 50\mu\text{m}$ 인 미세한 분말로 만든다. 여러가지 용매들을 리용하여 전색제용액을 만든 다음 여기에 광물분말을 1:2의 질량비로 섞어 진밤색의 콜로이드용액을 만든다.

립도가 $1\sim 100\mu\text{m}$ 인 세멘트분말을 물과 1:2의 질량비로 섞어서 세멘트현탁액을 만들고 그것을 앞에서 만든 광물콜로이드용액과 1:2의 질량비로 섞으면 규산염광물－세멘트에 기초한 복합현탁액이 얻어진다.

광물분말과 세멘트분말의 립도분포를 레이자산란방법을 리용하여 측정하였다. 기구로는 레이자립도분석기(《BT-9300H》)를 리용하였다.(그림 1)

콘크리트벽을 세멘트몰탈로 두께 $20\sim 25\text{mm}$ 되게 미장한다. 미장면이 굳어

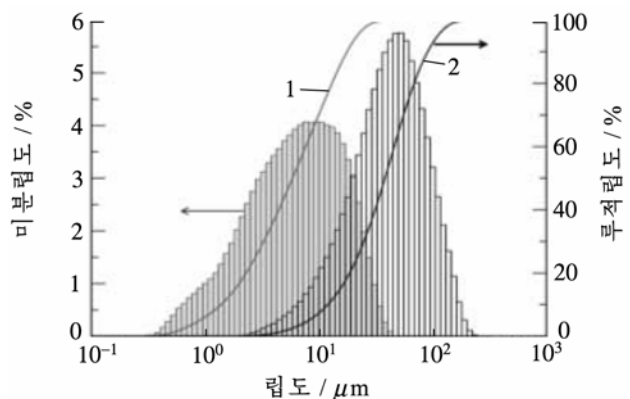


그림 1. 광물과 세멘트분말의 립도분포

1－광물, 2－세멘트

진 후에 앞에서 제조한 광물-세멘트복합현탁액을 공기뿔프층을 리용하여 벽면에 두번정도 골고루 분무한다. 분무층이 없으면 붓을 리용하여 큰 원을 그리면서 두번 칠한다. 칠감층의 두께는 1~2mm이하여야 한다. 복합칠감층이 충분히 마르는데 2h정도 걸리며 완전히 경화되는데 3달이 걸린다. 경화된 층에서 크기가 5cm×5cm×2cm인 시편조각들을 떼낸다.

광물과 세멘트분말, 시편조각으로부터 얻어낸 분말재료들의 성분을 알아내기 위하여 분말시료들의 XRD분석을 진행하였다.(그림 2) 분말재료들이 복합재료이기때문에 XRD에 의하여 이 분말들에 포함된 모든 종류의 결정들을 다 명백히 식별하는것은 어렵다. 광물분말의 경우에 금강약돌에 포함된 석영, 칼리움장석, 사장석, 흑운모와 같은 성분들이 있다는것을 알수 있다. 세멘트분말에 대하여 알리트, 벨리트, 알루미늄이트, 웨리트 등에 대응하는 봉우리들이 관측되었다. 복합칠감자기막에 대한 XRD측정결과를 주의깊이 해석하면 규산칼시움수화물이나 알루미늄산칼시움수화물과 같은 몇가지 수화물들이 탄산염(방해석과 교회석), 수산화칼시움과 함께 관측된다는것을 알수 있다.

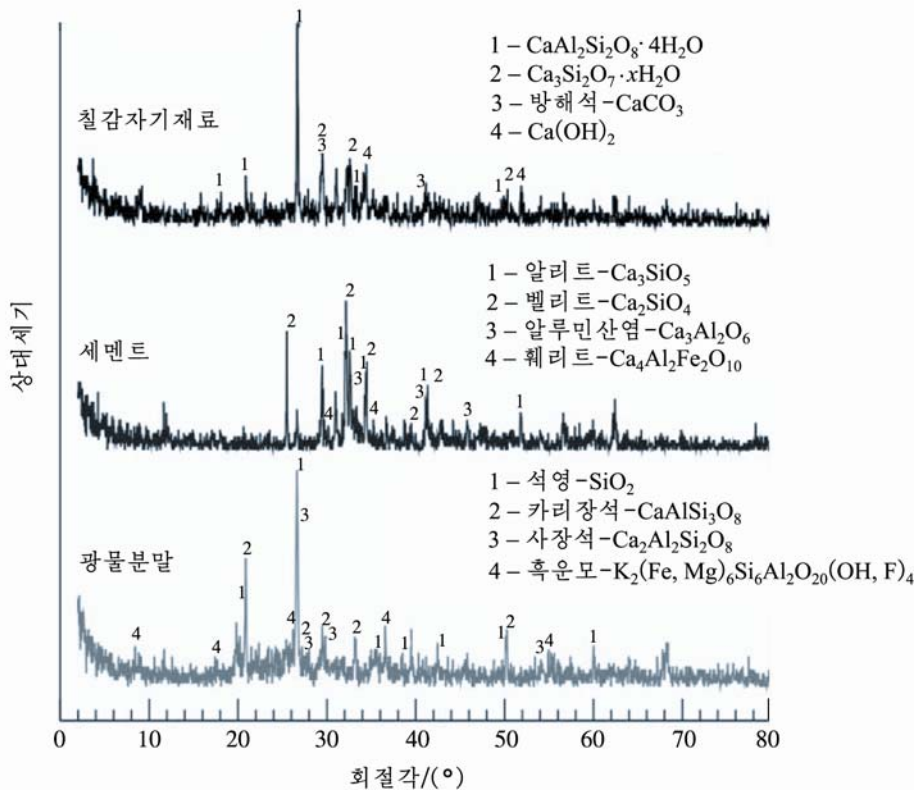


그림 2. 광물과 세멘트분말, 칠감재료의 XRD측정결과

2. X선형광분석과 주사전자현미경분석

X선형광분석(EDX)에 의하여 시료의 산화물성분들을 결정하였다. 기본산화물들을 보면 광물분말에서 SiO_2 (57.2%), Al_2O_3 (20.5%), Fe_2O_3 (8.9%), K_2O (3.6%), SO_3 (3.3%), CaO (3.0%)이고 세멘트분말에서는 CaO (64.2%), SiO_2 (22.9%), Al_2O_3 (5.3%), Fe_2O_3 (3.1%)으로 얻어졌다.

그것들을 혼합하고 충분히 경화한 다음 얻어진 복합재료에서는 혼합효과가 어느 정도 나타난다고 말할수 있다. 즉 성분들사이의 평균화가 나타나는데 SiO_2 (37.3%: 평균 40.1%), CaO (35.1 %: 평균 33.6 %), Al_2O_3 (8.7 %: 평균 12.9 %), Fe_2O_3 (7.5 %: 평균 6.1 %)이다. 여기서 얻어진 값들은 혼합방법과 생산조건에 따라 약간씩 달라질수 있다.

XRD와 EDX에 의한 성분분석에 따라 세멘트와 광물분말의 2단계수화반응을 가정할 수 있다. 1차수화를 보면 세멘트화합물들인 $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (C3S: 알리트), $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (C2S: 벨리트)과 CaO 는 반응성이 높은 무수물이며 따라서 물과 반응할 때 수화물과 수산화칼시움을 만든다. 즉

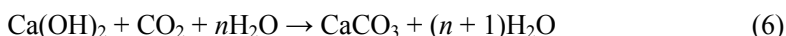


여기서 $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (규산칼시움수화물: C-S-H)는 겔상태에 있으며 수산화칼시움은 모세관공극으로 추출된다. C-S-H겔은 에드린키드와 다른 작은 상들과 공존하면서 여러가지 상으로 결정화되어 초기에 물과 공기가 차있던 공극들을 메운다.[4]

2차수화에서는 크기가 $8\mu\text{m}$ 이하인 SiO_2 과 Al_2O_3 이 원래 물과 반응하지 않지만 알칼리 추출물인 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 이 존재하는 조건에서 공극에 있는 물과 다음과 같이 반응할수 있다.



이렇게 얻어진 추가적인 C-S-H, C-A-H겔들은 모세관공극을 메우며 결과 세멘트파스타의 치밀화가 진행되고 자기충이 형성된다. 한편 결면에 있는 일부 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 추출물들은 대기에 있는 이산화탄소, 물과 반응하여 탄산염을 만든다.



얻어진 불용성탄산칼시움은 결면에 남아서 공극의 입구를 막는다.

그림 3에 시편의 결면에 대한 2차전자를 리용하여 얻어낸 SEM사진을 보여주었다.

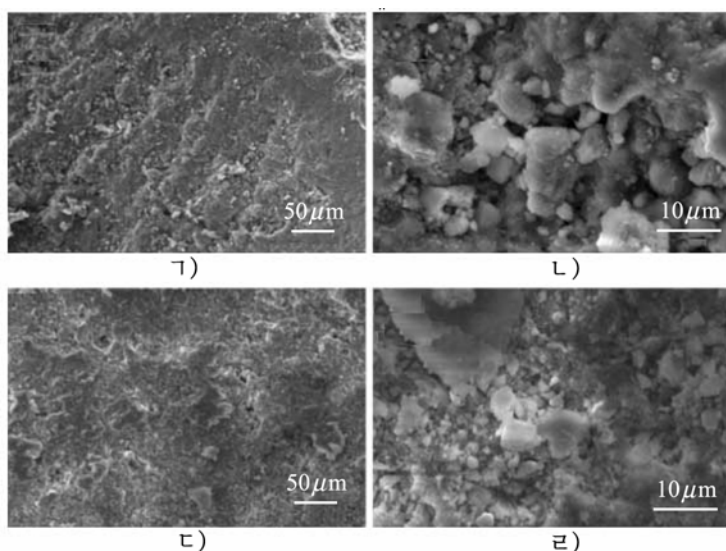


그림 3. 2차전자를 리용하여 얻어낸 외벽(가), 나))과 내벽(다, 라))의 SEM사진

그림 3으로부터 좀 거칠기는 하지만 칠감면들이 거시적인 공극이나 틈이 없이 조밀한 구조를 이룬다는것을 알수 있다. 수십 μm^2 의 면적을 가진 구름모양의 거친 미시구조는 나노크기의 립자들을 포함하는데 이것은 규산염수화물의 성장에 의하여 형성된것이라고 볼수 있다. 칠감층은 수백nm크기의 수많은 나노립자들로 구성되어있는데 이것은 광물과 세멘트립자들의 크기보다 훨씬 더 작은 크기이다.

맺 는 말

- 1) 규산염광물과 세멘트를 리용하여 제조한 다기능복합건축재료의 립도측정과 X선회절측정을 진행하고 재료의 결정구성성분들을 분석하였다.
- 2) 복합건축재료를 콘크리트벽에 시공할 때 세멘트의 1차수화의 생성물인 알카리가 광물의 2차수화를 일으키고 경화되면서 자기충이 형성된다는것을 밝혔다.

참 고 문 헌

- [1] A. Koezjakov et al.; Energy Build., 165, 233, 2018.
- [2] Z. Zhang et al.; Energy Build., 87, 220, 2015.
- [3] I. Maruyama et al.; Cem. Concr. Res., 73, 158, 2015.
- [4] M. Parisatto et al.; J. Mater. Sci., 50, 1805, 2015.

주체108(2019)년 3월 5일 원고접수

Formation of Ceramics on the Concrete Wall by Two-Step Hydrations of Silicate Mineral-Cement Composite

Kim Chung Hyok, Yu Chol Jun and Ri Pyong Hyok

We have performed the particle size distribution and X-ray diffraction measurements of multifunctional composite building materials made from silicate mineral and cement, and analyzed the crystalline constituents of materials. When we applied the composite building materials to the concrete wall, the products of alkali from the first hydration of cement caused the second hydration of minerals, hardening and formation of ceramics.

Key words: silicate mineral, cement, ceramics