

지속가능한 시멘트 · 콘크리트 기술 ④

환경 활성 시멘트 콘크리트 기술

한양대학교 ERICA캠퍼스 건축학부 이한승 교수



01*

들어가며

시멘트와 콘크리트가 지구 환경 및 인간 문명을 발전시키는데 매우 큰 역할을 해 왔다는 것에는 그 누구도 이견이 없을 것이다. 그러나 시멘트 · 콘크리트는 제조 특성상 대량의 CO₂를 발생시키고 강알칼리 특성을 갖고 있기 때문에 보다 친환경적이고 지속가능한 산업으로 발전시키는 노력이 절실히 요청되고 있다. 이러한 추세에 발맞추어 시멘트 · 콘크리트의 품질성능을 유지하면서도 다양한 친환경 기능을 부가함으로써 환경을 활성화 하고자 하는 연구들이 융합기술을 중심으로 추진되고 있다.

그 대표적인 예로는 유기물인 아미노산을 콘크리트에 혼입하여 제작한 콘크리트블록이나 테트라포트 등을 바다에 침지시켜 아미노산의 용출에 의해 해초류 및 어패류 등에게 영양분을 공급함으로써 해양환경을 활성화한 사례가 있다. 또한 유기물인 요소를 콘크리트에 혼입함으로써 수축저감 및 수화열저감에 의한 콘크리트 구조물의 균열을 억제시켜 인간의 정주환경을 활성화시킨 연구사례도 있다.

이러한 배경 하에 이 글에서는 시멘트 · 콘크리트 기술 중에서도 아미노산 콘크리트와 요소 혼입 콘크리트를 소개함으로써 시멘트 · 콘크리트의 친환경성과 함께 보다 적극적인 환경 활성 기술 개발을 위한 아이디어를 제공하고자 한다.



Technical Report 연재순서

- 1회 PCM 시멘트 · 콘크리트
- 2회 CO₂, 고정 시멘트 · 콘크리트
- 3회 Zero Energy 시멘트 · 콘크리트
- 4회 환경 활성 시멘트 · 콘크리트

02*

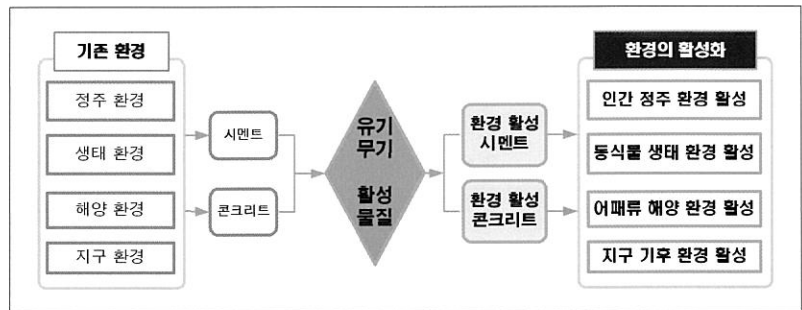
환경 활성 시멘트 · 콘크리트 기술의 개념

현재까지 시멘트 · 콘크리트의 환경 관련 연구개발은 환경의 저해성을 감소시키거나 보전하는 수동적 입장에서의 기술개발이나 주변 환경과 조화를 강조한 친

환경 기술이 주된 테마였다. 이러한 가운데 환경 활성 시멘트·콘크리트 기술과 관련해서는 아직까지 정확하게 정의된 것이 없는 것도 사실이다. 이에 필자는 시멘트·콘크리트에 고기능성의 유기물 또는 무기물을 혼입함으로써 인간 정주 환경 활성화, 동식물 생태환경 활성화, 어패류 해양환경 활성화 및 지구 기후환경 활성화를 도모하는 능동적인 시멘트·콘크리트 기술로 그 개념을 정의코자 한다.

〈그림 1〉에는 이와 같은 ‘환경 활성 시멘트·콘크리트’ 기술의 개념도를 나타내었다.

〈그림 1〉 환경 활성 시멘트·콘크리트 기술의 개념



03*

유기화합물인 아미노산 혼입 환경 활성 시멘트·콘크리트

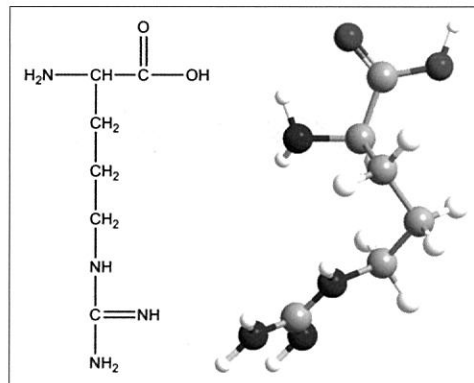
기존 해양환경에 사용되는 콘크리트제품은 생물의 생식공간을 내부에 갖는 블록이나 테트라포트를 사용한 에코시스템식 방파제를 설치하고, 벽면에는 포러스콘크리트 패널이나 블록을 설치하여 다양한 부착생물의 생식을 촉진하는 방법으로 생태계를 수복·복원하는 기술을 사용하여 왔다.

그러나 최근에는 일본을 중심으로 구조물의 재료자체에 환경기능을 갖도록 하는 재료를 혼입한 시멘트·콘크리트 제품이 개발되어 현장에 적용되고 있다. 그 대표적인 예로, 철강슬래그혼입 콘크리트제품은 해양 중에서 알칼리성분의 용출이 적고, 철, 규소 등의 원소를 많이 포함하고 있기 때문에 해양환경에서 부착생물 종류 및 갯수, 부착생성물량이 매우 많다는 것이 보고되고 있다. 또한, 소주제조시의 당을 혼입한 콘크리트를 해저에 침지시켜 도쿄부시 어초를 창출하려는 시도도 보고되고 있다.

하지만 이러한 구조물 재료의 화학적 특성이 생물 및 생태계에 미치는 작용에 착목한 연구사례가 매우 적기 때문에 높은 환경 활성기능을 갖는 해안구조물 개

발연구가 일본을 중심으로 추진되고 있다. 이러한 환경 활성 사례로는 콘크리트에 높은 환경기능성을 부가시킬 목적으로 아미노산을 콘크리트에 혼입함으로써 콘크리트 표면에서 아미노산이 서서히 방출되는 것에 의해 미세조류의 성장촉진 효과와 함께 어류 및 패류를 모으는 환경 활성 콘크리트가 주목을 받고 있다. 이 글에서 소개하는 아미노산을 혼입한 콘크리트는 '아미노산콘크리트'라고 불리며, 환경을 활성화한다는 측면에서 '환경 활성 콘크리트'라고도 불리고 있다. 연구에서 사용한 아미노산은 단백질을 만들고 있는 최소 성분으로서 여러 가지 생리기능이 있는 것으로 천연 유기물질인 아미노산의 일종인 L-아르기닌(L-arginine : 분자식 C₆H₁₄N₄O₂, 분자량 174.20g/mol)을 사용한 것이며 일본의 아지노모토 회사의 제품이다. 아르기닌은 비필수 아미노산이지만 성장기에는 섭취가 필요하고 혈관 등의 기능을 정상으로 유지하게 하며 신체 속 여분의 암모니아를 제거하고 면역성을 높이는 기능을 하고 있다. 특히, 이러한 아미노산은 어류(송어, 장어, 잉어류, 연어 등)의 취각 응답 또는 미각 응답이 있는 것으로 알려져 어류를 모으거나 패류 등을 부착시킴으로써 해양 생태환경을 활성화하는 목적으로 사용되고 있다. <그림 2>는 연구에 사용한 아르기닌의 구조와 입체

<그림 2> 아르기닌 구조와 입체 모형

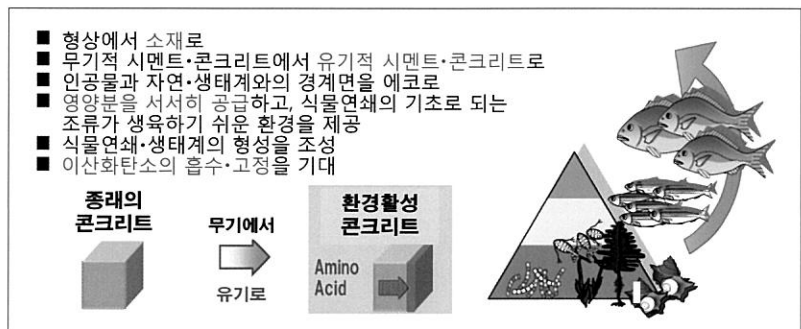


모형을 나타낸 것이며 <그림 3>은 아미노산콘크리트의 환경 활성 모식도를 나타낸 것이다. 아미노산 혼입 콘크리트는 아르기닌을 시멘트 중량비 3% 또는 10%까지 혼입하여 제작한 사례가 보고되고 있으며, 그 제작 방법은 일반 콘크리트와 동일한 방법으로 실시하고 있다.

FOOTNOTE

1 “人からいきもの”의 콘크리트
 へ建設資材情報' 2012.12

<그림 3> 유기 아미노산 혼입 환경 활성 시멘트·콘크리트 모식도¹



FOOTNOTE

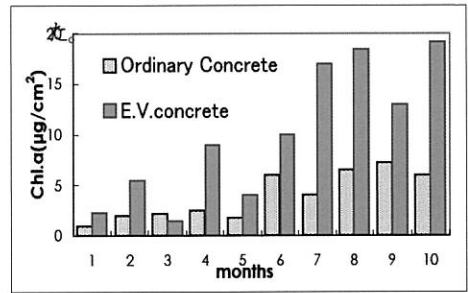
2 日建工學株式會社'環境活性コンクリート

〈그림 4〉는 아미노산 혼입 콘크리트를 해양환경에서 8개월 침지시킨 후 아미노산 혼입 농도에 따른 부착조류의 상태를 나타낸 것으로 농도가 높을수록 부착조류가 많은 것을 육안으로 확인할 수 있다. 또한, 〈그림 5〉는 해양 설치 10개월까지의 아미노산 혼입콘크리트(E.V. Concrete)의 부착조류량(클로로필, a)을 정량적으로 나타낸 것으로, 아미노산콘크리트에서 시간이 경과함에 따라 부착조류량이 보통콘크리트와 비교하여 매우 큰 것을 알 수 있어 해양 환경을 활성화할 수 있음을 확인할 수 있다.

〈그림 4〉 아미노산 농도에 따른 부착조류 생성량²



〈그림 5〉 시간경과에 따른 부착조류량 변화²



FOOTNOTE

3 河井徹 "尿素を用いたコンクリートの諸特性" 콘크리트工學年次論文集'Vol.29, No.1, 2007

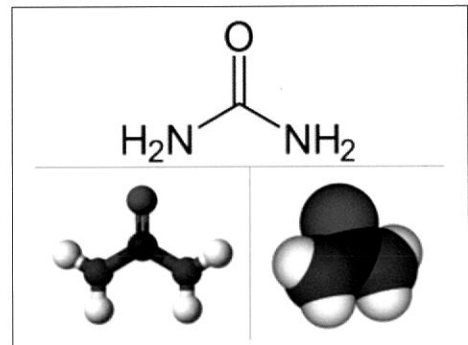
4 <http://ja.wikipedia.org/>

04*

유기화합물인 요소 혼입 시멘트·콘크리트³

콘크리트의 수화열에 기인하는 온도균열과 건조수축에 기인하는 균열의 저감은 콘크리트 기술자의 영원한 테마이다. 최근에는 유기화합물인 요소가 물에 잘 녹는 성질을 가지고 있고 물에 용해한 경우의 흡열반응에 의해 콘크리트의 온도응력 저감에 효과가 있는 것이 보고되고 있다. 요소(H_2NCONH_2), 용해도:108g/100ml-20℃, 밀도:1.32g/cm³, 분자량: 60.06 g/mol)는 〈그림 6〉과 같은 구조를 가지고 있으며, 무색·무취·투명의 과립상으로 콘크리트 제조시에는 주로 물에 용해하여 사용하게 되며 콘크리트의 물성에는 큰 영향을 미치지 않는다.

〈그림 6〉 ZES 활용 PCa 제조 (Degussa)⁴



〈표 1〉은 요소를 혼입한 콘크리트의 배합표를 나타낸 것이다. P는 일반배합, U25는 요소를 25kg/m³ 혼입한 것, U50은 요소를 50kg/m³ 혼입한 것, U75는 요소를 75kg/m³ 혼입한 것, LE는 저발열시멘트를 사용한 콘크리트를 나타낸다.

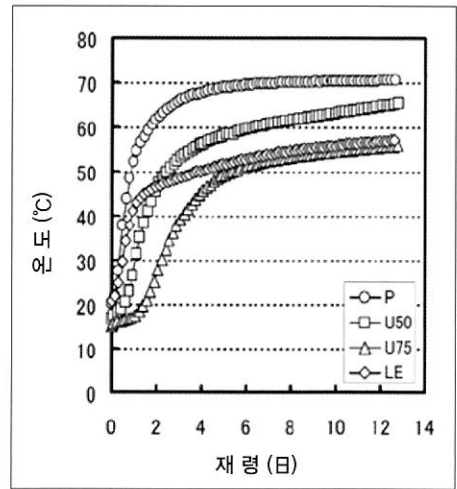
〈표 1〉 요소 혼입 콘크리트의 배합표

배합명	물결합재비(%)	용액(물+요소)용적(L/m ³)	잔골재율 S/a(%)	단위량(kg/m ³)						
				물	요소	시멘트	팽창재	잔골재	굵은골재	AE제(g/m ³)
P	55.0	165	46.4	165	0	300	0	845	991	30
U25	48.7	165		146	25			845	991	23
U50	42.0	163		125	50			848	994	15
U75	35.0	162		105	75			849	996	6
LE	55.0	165		165	0	285	15	848	994	30

〈그림 7〉은 요소 혼입 콘크리트의 단열온도상승 시험결과를 나타낸 것이다. 요소는 물에 용해하면 요소 1mol당 흡열량이 15.4kJ이므로 요소 혼입량이 50kg/m³의 경우, 콘크리트 온도는 이론적으로 5.7℃ 저하하게 된다.

본 실험에 의하면 콘크리트의 온도 저하량은 3.2℃로 나타났으며 이는 믹서의 열용량, 믹싱 중의 온도상승에 의한 저하량

〈그림 7〉 요소콘크리트 단열온도상승시험 결과



감소로 판단된다. 배합 U50, U70은 요소의 흡열반응에 의해 믹싱 후 콘크리트 온도가 저하하며, 그 이유는 흡열량과 함께 수화의 지연효과도 있다고 판단된다. 따라서 이들 요소 혼입 콘크리트는 저발열콘크리트처럼 같은 정도의 온도상승을 억제하는 효과가 있어 수화열에 의한 온도균열을 억제하는데 매우 효과적인 것을 알 수 있다.

한편, 〈그림 8〉은 요소를 혼입한 콘크리트의 건조수축에 의한 길이변화 시험결과를 나타낸 것이다.

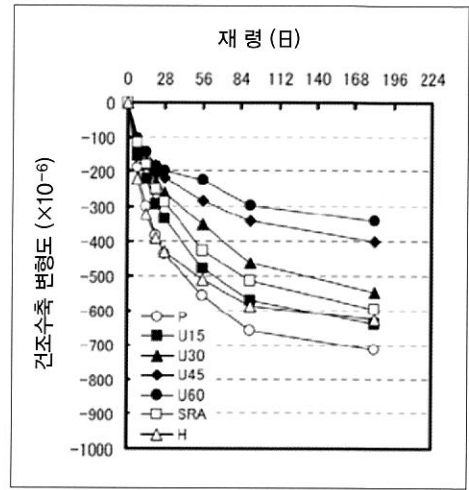
요소 혼입량 50kg/m³의 경우, 건조수축율은 재령에 상관없이 일반배합 P의 약 60% 정도까지 저감되고 있다. 더욱이 혼입량 70kg/m³의 경우, 건조수축율은 재령에 상관없이 일반배합 P의 약 40% 정도까지 저감되고 있다. 이로부터, 요소

혼입량 $60\text{kg}/\text{m}^3$ 이하의 범위에서 요소의 혼입량 증가에 따라 건조수축율이 저감되는 것을 알 수 있다.

또한, 시판의 수축저감제를 사용한 SRA의 경우, 요소 혼입량이 $15\sim 30\text{kg}/\text{m}^3$ 의 수축율과 동등한 값을 나타내었다. 또한, 고강도콘크리트를 사용한 H의 경우는 요소 혼입량이 $15\text{kg}/\text{m}^3$ 의 경우와 거의 같은 정도의 수축율을 나타내었다.

따라서 이를 종합하면 요소를 콘크리트에 혼입한 경우 수화열 저감에 의한 수화 균열저감 효과가 매우 우수하고, 건조수축에 의한 균열억제에도 매우 우수한 유기화합물이라고 판단된다.

〈그림 8〉 요소콘크리트 길이변화시험 결과



05*

맺음말

이 글에서는 시멘트·콘크리트 기술 중에서도 유기물 혼입물인 아미노산 콘크리트와 요소 혼입 콘크리트를 개괄하여 소개하였다.

최근의 지속가능성과 친환경성이 신성장동력과 국가 아젠다로 되어 있는 만큼, 그동안 시멘트·콘크리트 산업이 경주해 왔던 환경 보호 전략에서 더 나아가 환경을 활성화하여 고부가가치 산업으로 탈바꿈하는 계기가 되기를 기원하는 바이다. 또한, 이러한 연구는 무기물 및 유기물의 융합에 의한 시너지 효과와 함께 시멘트·콘크리트, 타 학문 분야 연구자 및 기술자의 끊임없는 교류를 통하여 달성할 수 있는 새로운 패러다임이라는 것을 인식하여 이와 같은 융합연구가 활성화되기를 기대한다. ▲

