

미생물의 생체광물형성작용에 따른 모르타르 내구성 검토

The Examination of Mortar Durability by Microbial Biomineralization

김 성 태* 천 우 영* 김 화 중**
Kim, Sung Tae Chun, Woo Young Kim, Wha Jung

ABSTRACT

On this paper we induce calcite(CaCO_3) precipitation using microbial biomineralization of the *Sporosarcina pasteurii* and evaluate required performance evaluation by adjusting it to mortar. As a result carbonation normal mortar test piece(C3S-W) and mortar test piece(C3S-S.p) mixed with *Sporosarcina pasteurii*, reaction of C3S-S.p was late than C3S-W. Also, in the case of carbonation experiment of C3S-S.p curing in the Urea- CaCl_2 aqueous solution(Medium) during 28days and durability of the C3S-W, durability of the mortar test piece(C3S-S.p) mixed with *Sporosarcina pasteurii* become higher than normal mortar test piece(C3S-W).

요 약

본 논문에서는 *Sporosarcina pasteurii*라는 미생물의 생체광물형성작용을 이용하여 Calcite(CaCO_3) 석출을 유도하고, 이를 Mortar에 적용하여 요구 성능 향상을 평가하였다. *Sporosarcina pasteurii*를 혼입(input)한 Mortar 시험체(C3S-S.p)와 일반 Mortar 시험체(C3S-W)의 중성화 반응을 실험을 통해 비교한 결과 C3S-S.p가 C3S-W에 비해 중성화가 지연되는 것을 육안으로 확인할 수 있었다. 또한 28일간 Urea- CaCl_2 수용액(Medium)에서 양생한 C3S-S.p와 C3S-W의 내구성을 실험을 통해 비교한 결과 *Sporosarcina pasteurii*를 혼입한 Mortar 시험체(C3S-S.p)가 일반 Mortar 시험체(C3S-W)에 비해 내구성이 향상된 것으로 나타났다.

1. 서 론

본 연구는 미생물이 자신의 몸 내외에 광물(Biomineral)을 만들어 내는 작용, 즉, 생체광물형성작용(Biomineralization)을 이용하여 Mortar의 개질(改質) 및 성능향상을 목적으로 한 새로운 가능성에 대한 연구이다. 따라서 본 논문에서는 *Sporosarcina pasteurii*라는 미생물의 생체광물형성작용 중 Calcite(CaCO_3) 석출을 응용, 이를 Mortar에 적용하여 기초실험을 통해 향후 행해져야 할 연구의 방향성이나 요구 성능 향상을 목적으로 한 발전 가능성에 대해 고찰하였다.

2. 실험 계획

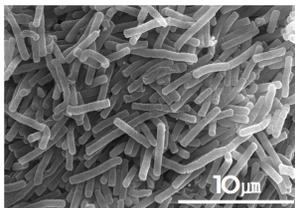


그림1. *Sporosarcina pasteurii*

표1. 시험체 제작 배합표

배치명	Cement	Sand	Water	단위: g/1,150cm ³ × 3EA	
				<i>Sporosarcina pasteurii</i> + Urea- CaCl_2 수용액(Medium) ³⁾	목표 Flow
C3S-W ¹⁾	1,625	5,107	975	0	18±1
C3S-S.p ²⁾	1,625	5,107	0	975	cm

1)C3S-W : [C : S = 1 : 3, W/C = 60%] 2)C3S-S.p : [C : S = 1 : 3, *Sporosarcina pasteurii* + Urea- CaCl_2 수용액(Medium)/C = 60%] 3)Urea- CaCl_2 수용액(Medium) 조성 : [증류수 1ℓ 기준 : NB(nutrient broth) 0.3%, NH_4Cl 1%, NaHCO_3 2.12g, CaCl_2 3.70g(Ca^{2+} 25.2mM), Urea($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) 2%]

본 실험에서는 그림1의 *Sporosarcina pasteurii*라는 미생물이 신진대사 작용을 할 때 수반되는 생체광물형성작용(Biomineralization)을 이용하여 표1의 실험배합에 따라 *Sporosarcina pasteurii*를 Mortar에 적용하였다. 또한 제작한 Mortar 시험체를 이용한 중성화 실험 및 내구성을 평가하고, 요구 성능 향상에 관한 가능성을 검토하였다.

* 정회원, 경북대학교, 재료구조연구실, 석사과정

** 정회원, 경북대학교, 재료구조연구실, 교수

3. 실험결과 분석 및 결론

Mortar 중성화 실험은 가스백 법을 이용하여 표1의 시험배합에 따라 1)40*40*160mm 시험체를 제작, 2)일반 공기와 CO₂ gas를 일정비율 혼합하고 가스백에 주입, 3)CO₂ gas 검지관을 이용하여 CO₂ 농도 변화를 10분 간격으로 1시간 측정하였다.

표2. 시간에 따른 CO₂ 농도 변화

단위: CO₂농도율(%) [CO₂농도비]

배치명 \ 시간(분)	0	10	20	30	40	50	60
Air+CO ₂	69 [1.00]						
C3S-W	68 [1.00]	51 [0.75]	38 [0.56]	26 [0.38]	16 [0.24]	8 [0.12]	6 [0.09]
C3S-S.p	72 [1.00]	52 [0.72]	38 [0.53]	25 [0.35]	14 [0.19]	6 [0.08]	4 [0.06]

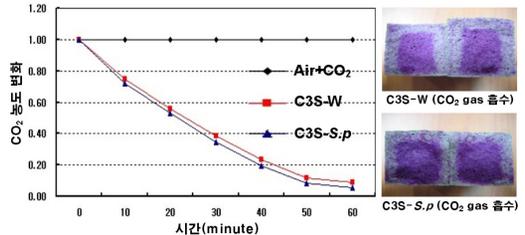


그림2. CO₂ gas 흡수에 따른 Mortar 중성화 실험

측정결과 표2와 같이 *Sporosarcina pasteurii*를 혼합한 C3S-S.p 시험체가 혼합하지 않은 C3S-W 시험체 비해 CO₂를 약 1.5배 더 많이 흡수함에도 불구하고, 중성화 속도는 C3S-W 시험체에 비해 늦어지는 것을 그림2를 통해 확인할 수 있었다.

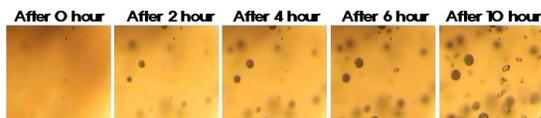


그림3. *Sporosarcina pasteurii*에 의한 Calcite(CaCO₃) 결정의 성장



그림4. Urea 환경의 *Sporosarcina pasteurii*에 의한 pH 상승 변화

이는 Mortar에 서식하는 *Sporosarcina pasteurii*의 신진대사 과정 중 자신이 CO₂를 그대로 흡수하고, 그림3,4와 같이 Urea 환경에서의 Calcite(CaCO₃) 석출 및 주변의 pH상승에 따라 Mortar의 중성화 속도에 영향을 준 것으로 판단된다. Mortar 내구성 평가는 표1의 시험배합에 따라 1)50.8*50.8*50.8mm의 압축강도 시험체와 40*40*160mm의 휨강도 시험체를 제작, 2)28일간 Urea-CaCl₂ 수용액(Medium)에 양생하고, 3)*Sporosarcina pasteurii* 적용 유무에 따른 Mortar 내구성을 평가하였다.

표3. 양생조건과 재령에 따른 압축강도

압축강도	양생조건		Urea-CaCl ₂ 수용액(Medium)	
	재령		14H	28H
	배치명		C3S-W	C3S-S.p
			17.8MPa	20.5MPa
			19.3MPa	22.9MPa

표4. 양생조건과 재령에 따른 휨강도

휨강도	양생조건		Urea-CaCl ₂ 수용액(Medium)	
	재령		14H	28H
	배치명		C3S-W	C3S-S.p
			5.6MPa	6.7MPa
			6.3MPa	7.1MPa

Sporosarcina pasteurii 혼입 유무에 따른 내구성 평가는 표3,4와 같이 C3S-S.p 시험체가 C3S-W 시험체에 비해 높은 수치적 결과를 보였다. 이는 Urea 환경을 좋아하는 *Sporosarcina pasteurii*가 신진대사작용을 할 때 자신이 CO₂를 그대로 흡수하고, Calcite(CaCO₃)를 석출시켜 Mortar의 내구성을 향상시킨 것으로 사료된다. 따라서 앞으로의 향후 목표는 *Sporosarcina pasteurii*가 지속적으로 Mortar 환경에서 잘 서식하고, Calcite(CaCO₃)의 석출량을 왕성하게 할 수 있도록 쾌적한 환경을 어떻게 Mortar에 부여할 것인가 하는 것이다.

감사의 글

이 논문은 2008년도 한국학술진흥재단 상반기 이공분야 기초연구과제지원사업(과제번호:KRF-2008-314-I00463)인 “친환경 콘크리트를 위한 가시광선 반응형 나노 광촉매와 박테리아를 이용한 고정화 기술 개발”(산학연구지원02)의 일부로서 실시되었으며, 이를 가능하게 재정적 지원을 해주신 한국학술진흥재단 및 BK21 사업단에도 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- Ramachandran, S.K., Ramakrishnan, V., and Bang, S.S., “Remediation of Concrete using Microorganisms”, *ACI Materials Journal*, v.98, No.1, pp. 3-9, Jan-Feb 2001.
- Ramakrishnan, V., Bang, S.S., Srinivasan Neelamegam., and Ramesh, K.P., “Durability of Cement Mortar Made With Different Concentrations of Bacteria”, *Proceedings of 25th International Conference of Cement Microscopy*, Richmond, Virginia, April 2003.