

# 유사 하수 환경에서 글라이코칼릭스 형성 균주를 혼입한 모르타르의 박테리아 성장성 및 글라이코칼릭스 형성량 평가

## An Evaluation of Bacteria Growth and Glycocalyx Formation in Mortars Incorporating Glycocalyx Forming Bacteria in Simulated Sewege Environment

황지원<sup>1</sup> · 양근혁<sup>2\*</sup>

Hwang, Ji-Won<sup>1</sup> · Yang, Keun-Hyeok<sup>2\*</sup>

**Abstract** : In this study, a mortar was prepared using *Rhodobacter capsulatus* which is forming glycocalyx and immersed in a simulated sewage environment. As a result of the experiment, it was observed that bacteria continued to grow in the mortar immersed in the simulated sewage environment, and it was confirmed that glycocalyx was formed by bacteria on the surface of mortar specimen.

**키워드** : 모르타르, 황산염, 박테리아

**Keywords** : mortar, sulfate attack, bacteria

### 1. 서론

하수관거 구조물은 황산 이온 및 황산 인자들과의 화학반응에 의해 내부 경화체 조직의 열화가 유발된다. 따라서 이 연구에서는 글라이코칼릭스를 형성하는 박테리아를 기반으로 콘크리트 표면 보호 효과를 가지는 콘크리트 내황산 모르타르를 제작하였다. 이후 유사 하수 환경 하에 노출된 모르타르 내에서 박테리아의 지속 성장성과 글라이코칼릭스 형성량을 평가하였다.

### 2. 실험 계획

본 연구에서는 세포 표면에 글라이코칼릭스를 형성하는 박테리아로서  $1 \times 10^9$  cell/mL의 고농도로 배양된 *Rhodobacter capsulatus*를 이용하였다. 사용된 박테리아는 경화 모르타르에서의 성장성 확보를 위하여 밀도  $0.25\text{g/cm}^3$ 의 다공성 재료인 팽창질석에 고정화 되었으며, 모르타르 배합시 골재 부피의 10% 및 30%를 치환하였다. 모르타르 제작을 위해 사용된 결합재로서는 보통포틀랜드시멘트 (ordinary portland cement, OPC), 플라이애시(fly ash, FA), 고로슬래그 및 밀도  $0.5\text{g/cm}^3$ 의 에틸렌 초산 비닐(ethyl vinyl acetate, EVA) 계 재유화형 분말 수지가 사용되었으며, 각각 31.5%, 18%, 40.5% 및 10%의 질량비로 혼합하였다. 코팅재의 물-결합재비(water to binder ratio, *W/B*)와 잔골재-결합재비(sand to binder ratio, *S/B*)는 각각 35%와 2로 고정하였다(표 1). 성능의 비교 평가를 위하여 박테리아 고정화재료를 혼입하지 않은 일반 모르타르 시험체를 함께 제작하였다. 유사 하수 환경에서의 박테리아 지속 성장성과 글라이코칼릭스 형성량을 평가하기 위해 제작된 코팅재를 표 2와 같이 조성된 인공 하수 오염수에 침지하였다. 침지 재령 3개월 후 코팅재 시료의 일부를 채취하였으며 이를 배양 배지에 재접종하여 박테리아 군락의 형성을 확인하였다. 더불어 유사 하수 환경 침지 재령 1개월, 2개월 및 3개월에 모르타르 시험체로부터 채취한 표면 시료로부터 박테리아에 의해 생성된 글라이코칼릭스의 양을 추가로 평가하였다.

표 1. 글라이코 칼릭스 형성 박테리아 고정화 재료 치환율 변화에 따른 내염해 모르타르의 배합상세

| Specimens | <i>W/B</i> (%) | <i>S/B</i> | Binder mixing ratio (%) |    |      |         | Bacteria strain               | Replacement of expanded vermiculite (sand vol, %) |
|-----------|----------------|------------|-------------------------|----|------|---------|-------------------------------|---|
|           |                |            | OPC                     | FA | GGBS | Polymer |                               |   |
| C         | 35             | 2          | 31.5                    | 18 | 40.5 | 10      | <i>Rhodobacter capsulatus</i> | -   |
| R10       |                |            |                         |    |      |         |                               | 10  |
| R30       |                |            |                         |    |      |         |                               | 30  |

1) 경기대학교 일반대학원 건축공학과, 박사과정

2) 경기대학교 스마트시티공학과 건축공학전공, 교수, 교신저자(yangkh@kyonggi.ac.kr)

표 2. 유사 하수 오염수

| 오염도 (ppm) |     |    |  |
|-----------|-----|----|--|
| 화학적산소요구량  | 총질소 | 총인 | 황산이온(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) 농도(ppm) |
| 100       | 10  | 1  | 120  |

### 3. 실험 결과

박테리아를 혼입한 모르타르의 표면 시료를 채취 후 계대배양을 실시하여 경화 모르타르 내부 박테리아 생존 개체수를 계수한 결과 및 글라이코캘릭스 형성량 평가 결과를 그림 1 및 그림 2에 나타내었다. 일반 모르타르를 제외한 모든 시험체는 유사 하수 환경 하에서 박테리아 고정화 재료의 혼입율에 관계없이 모두 박테리아가 생존한 것을 확인할 수 있었으며 혼입율이 커질수록 더 많은 수의 박테리아가 성장하는 것을 알 수 있었다. 또한 글라이코캘릭스 형성량의 경우 일반 모르타르를 제외한 R10 및 R30 시험체의 표면에서 글라이코캘릭스가 생성되었으며 유사 하수환경 침지 재령이 증가할수록 글라이코캘릭스의 생성량 또한 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

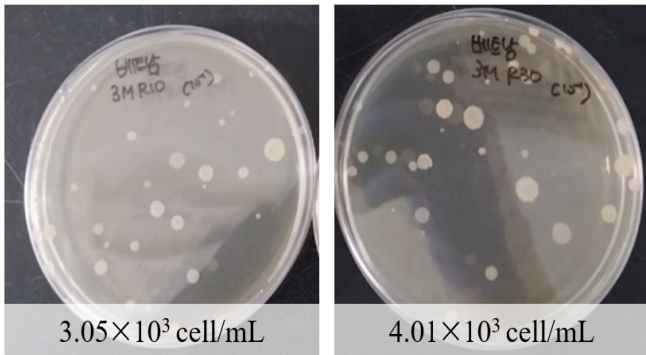


그림 1. 모르타르에서의 박테리아 생존 개체수

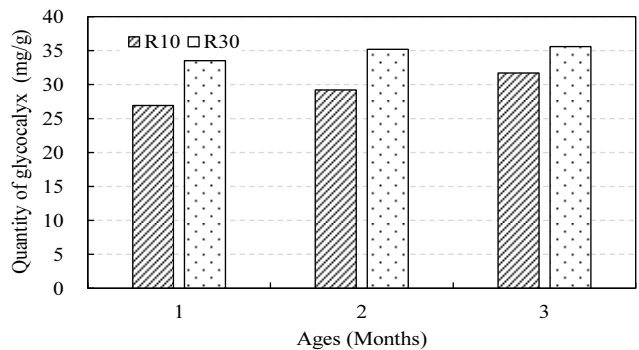


그림 2. 모르타르 표면에서 형성된 글라이코캘릭스 양

### 4. 결론

*Rhodobacter capsulatus*를 혼입한 모르타르는 유사 하수 환경 하에 노출된 후에도 지속적으로 박테리아가 성장하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 모르타르 시험체의 표면에 박테리아에 의한 글라이코캘릭스 형성 효과로 콘크리트 표면 보호 효과를 기대할 수 있다.

### 감사의 글

이 논문은 2022년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 한-동남아시아 협력기반조성사업의 연구결과임 (과제번호: No. 2020K1A3A1A05103600)

### 참고문헌

- 윤현섭, 양근혁. 유사 하수환경에서 글라이코 캘릭스 코팅 콘크리트의 효율성 평가. 한국건설순환자원학회 논문집. 2020. 제8권 1호. pp. 97-104.