

하수시설 콘크리트의 생화학적 부식특성 평가를 위한 실내 인공축진 시험방법

A Testing Method of Indoor Artificial Acceleration for the evaluation of Biochemical Corrosion Properties of Sewage Concrete

이의배* 김도수** 길배수*** 이승훈**** 김규용***** 김무한*****
Lee, Eui-Bae Kim, Do-Su Khil, Bae-Su Lee, Seung-Hoon Kim, Gyu-Yong Kim, Moo-Han

ABSTRACT

Recently sewage facilities mainly consisted of concrete structures are being deteriorated seriously by biodeterioration originated from sulfur-oxidizing bacteria. To prevent biochemical corrosion of the sewage concrete, antibiotics which prevent growth of sulfur-oxidizing bacteria were developed.

Existing methods to evaluate properties of biochemical corrosion of concrete examine the antimicrobial performance and resistance to sulfuric acid separately, but don't complexly. So, in this study, new method to test properties of biochemical corrosion of concrete complexly is suggested.

1. 서론

필수불가결한 사회기반시설인 하수시설은 주로 콘크리트로 이루어져 있으며, 이러한 콘크리트 하수시설은 높은 습도 및 침식성 물질이 다량 포함된 하수가 상재하고 있을 뿐만 아니라 토압, 활하중 등이 항상 가해지고 있기 때문에 지상의 타 콘크리트구조물에 비해 열화의 진행도가 빠르다.

특히 황산화세균(*Thiobacillus*속 균주) 등과 같은 미생물의 신진대사 작용으로 생성된 황산 등의 부식인자에 의한 생화학적 부식은 콘크리트 하수시설의 열화를 가속화시키는 주요 원인으로 대두되고 있으며, 이로 인한 하수시설의 수명저하는 도로함몰로 인한 안전사고뿐만 아니라 보수 등의 재공사로 인한 경제적인 손실, 불명수 유입에 의한 하수처리 용량부족, 처리효율저감 및 불필요한 하수처리비용의 증대, 지하수의 오염 등 직·간접적인 환경피해를 수반하기도 한다.¹⁾

최근에는 하수시설 콘크리트의 생화학적 부식을 저감시키기 위한 방안으로서 황산화세균의 생장을 억제시킬 수 있는 혼화형 또는 도포형 항균제에 대한 연구가 진행되고 있다. 이러한 항균제를 사용한 콘크리트의 생화학적 부식특성을 평가하기 위한 대표적인 항목으로서는 항균제의 항균성과 항균제를 사용한 콘크리트의 항균성 및 내황산성을 들 수 있다. 이 중 항균제를 사용한 콘크리트의 항균성을 평가하기 위한 방법으로는 KS 규격(안)에 제시된 비색시험법이 있으며,²⁾ 내황산성을 평가하기 위한 방법으로는 일반적인 황산수용액 침지시험법을 사용하고 있다.

그러나 비색시험법 및 침지시험법은 생화학적 부식의 주요원인인 황산화세균의 생육과 황산화세균의

* 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과, 박사과정

** 정회원, (주)트라이포드, 기술경영이사 · 공학박사

*** 정회원, (주)트라이포드, 대표이사 · 공학박사

**** 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술본부 기술연구소, 수석연구원

***** 정회원, 충남대학교 건축공학과, 조교수 · 공학박사

***** 정회원, 충남대학교 건축공학과, 교수 · 공학박사

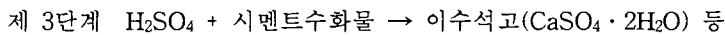
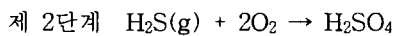
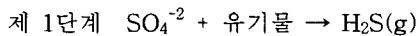
신진대사로 발생하는 황산, 이 두 요인을 개별적으로 평가하고 있으며, 두 요인이 인과적으로 작용하고 있는 생화학적 부식을 평가하기에는 다소 현실성이 부족하다.

이에 본 연구에서는 상기의 두 요인을 동시에 평가할 수 있는 생화학적 부식 인공촉진시험법을 새로이 개발하고, 이를 하수시설 콘크리트의 생화학적 부식특성을 평가를 위한 방법으로서 제안하고자 한다.

2. 생화학적 부식 메커니즘

하수시설 콘크리트의 황산화세균에 의한 생화학적 부식 메커니즘을 살펴보면, 1차적으로 하수시설의 하수층 하부에 퇴적되어 있는 슬러지 층에 생존하는 혐기성 미생물이 유기물을 분해하여 유기산을 섭취하는 과정 중 황화수소(H_2S)를 생성하게 된다. 생성된 황화수소는 기층부로 상승·이동하게 되고, 콘크리트 면에서 서식하는 호기성 미생물인 황산화세균에 의해 황산(H_2SO_4)으로 전환된다.

생성된 황산은 콘크리트의 시멘트수화물과 화학반응을 일으켜 이수석고($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) 및 에트린자이트(Ettringate, $C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$)를 생성시켜 시멘트수화물의 조직 와해, 콘크리트의 박리·박락, 철근의 노출 및 부식을 인과적으로 유발시켜 최종적으로 하수시설 콘크리트의 내하력 저하 및 붕괴에까지 이르게 되며, 이러한 생화학적 부식의 진행단계를 개략적으로 나타내면 다음과 같다.



3. 기존의 생화학적 부식 평가방법

콘크리트의 항균성능에 대한 평가방법은 KS 규격(안) KS F 4403 「원심력 철근 콘크리트판」의 부속서에 수록된 [무기항균제가 첨가된 공시체의 항균효과 시험방법]에 제시되어 있으며, 그림 1 및 사진 1과 같이 $40 \times 40 \times 10\text{mm}$ 의 항균콘크리트 시험체를 시험균주 배양액에 4주간 침지한 후 황산화세균 배양액의 색상변화를 통해 항균성능을 평가한다. 또한 하수시설 콘크리트의 내황산성 평가방법은 소정 농도의 황산수용액에 시험체를 일정 기간 동안 침지시켜 시험체의 질량변화로 평가한다.

이와 같이 비색시험 및 침지시험은 상기된 생화학적 부식 단계 중 각각 제 2단계 및 제 3단계를 평가하고 있으며, 인과적으로 작용하는 제 2단계와 제 3단계를 종합적으로 평가하기엔 난해한 실정이다.

4. 생화학적 부식 인공촉진시험

4.1 생화학적 부식 인공촉진시험의 원리 및 시험장치의 구성

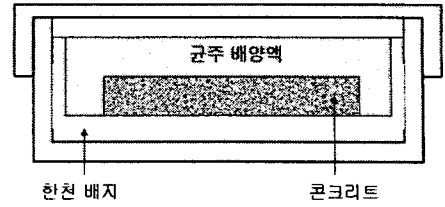


그림 1 비색시험 모식도

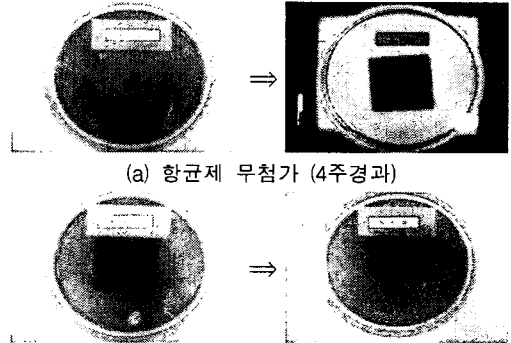


사진 1 비색시험의 일례 (*Thiobacillus Versutus*)

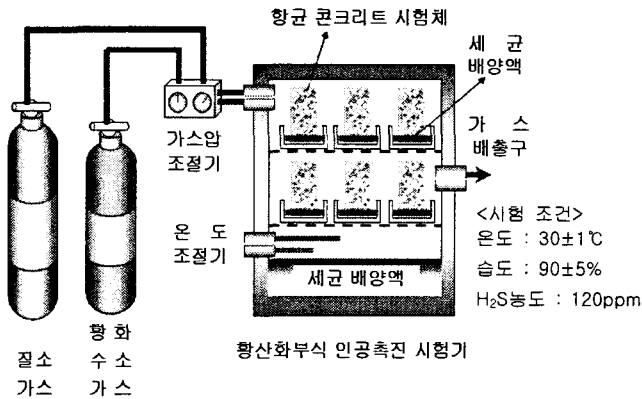


그림 2 생화학적 부식 평가용 인공촉진시험 장치 모식도



사진 2 인공촉진시험 장치 전경

생화학적 부식 인공촉진시험은 시험체에 황산화세균을 접종한 후 황산화세균이 성장할 수 있는 최적조건을 유지시켜 인공적으로 생화학적 부식을 유도하는 시험으로서, 시험체의 조건에 따라 황산화세균의 성장 정도의 차이가 발생되고 또 이에 따라 발생하는 황산의 차이에 의해 시험체의 열화정도가 상이함을 전제로 하였다.

이와 같은 원리의 생화학적 부식 인공촉진시험을 위한 장치는 그림 2 및 사진 2에 나타난 바와 같이 크게 주입부, 조절부, 시험부로 나눌 수 있으며, 주입부는 시험기 내부의 클리닝(Cleaning) 및 회석을 위한 질소가스 탱크와 황산화세균의 신진대사 기질을 제공하기 위한 황화수소가스 탱크로 구성된다. 조절부는 시험기 내부의 황화수소 농도를 제어하기 위한 가스압 조절기 및 가스배출구, 내부 온도를 제어하기 위한 온도센서와 가열기로 구성되고, 시험부는 실제 생화학적 부식이 진행되는 시험기 내부를 지칭하며 가스순환을 유도하기 위한 천공(직경 20mm) 철판으로 내부공간을 분할하였다.

4.2 생화학적 부식 인공촉진시험의 조건

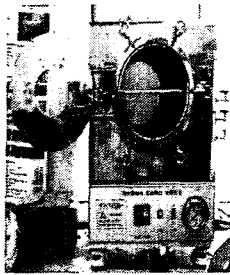
시험기의 내부는 황산화세균의 성장을 위한 최적조건을 유지하도록 하였다. 본 연구에서는 황산화세균 중 콘크리트의 중성화영역에서 가장 활발한 대사작용을 보이는 *Thiobacillus novellus*를 대상으로 실시하였으며, *Thiobacillus novellus*의 최적생장을 위해 온도는 $26\pm 1^\circ\text{C}$ 를 설정하였고 습도 $90\pm 5\%$ 의 유지 및 세균의 지속적인 공급을 위해 시험기 내부 하면에 일정량의 세균배양액을 저장하도록 하였다. 또한 *Thiobacillus novellus*의 신진대사를 위해 필요한 기질인 H_2S 농도는 120ppm으로 설정하였다.

pH 7 정도에서 서식하는 *Thiobacillus novellus*의 높은 pH에 의한 초기 사멸을 방지하기 위해 생화학적 부식 인공촉진시험에 사용될 시험체는 5% CO_2 , 습도 60%의 중성화 촉진시험기 내에서 3주간 시험체의 표면 중성화를 실시하였으며, 이후 시험체 표면에 생존할 수 있는 타 미생물의 제거를 위해 $100\pm 5^\circ\text{C}$ 의 가열로에 1일간 존치하였다.

4.3 생화학적 부식 인공촉진시험의 진행개요

사진 3은 생화학적 부식 인공촉진시험의 진행 순서를 나타낸 것으로, 먼저 타 세균번식에 의한 시험오차를 줄이기 위해 에탄올을 사용하여 촉진시험기 내부 및 시험에 사용될 제반 도구들을 소독하였으며, 시험기 내부의 온도를 목표온도로 유지시켰다.

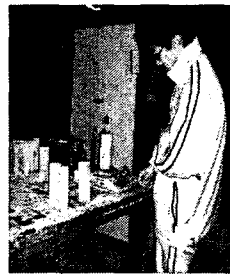
이후 투입될 시험체의 투입 전 평가항목을 검토 및 측정하고 미리 배양된 세균배양액을 일정 용기에 계량하였으며, 시험체 전체 표면에 황산화세균을 접종시키기 위해 세균배양액에 침지를 10분간 실시하였다. 침지 완료된 시험체는 시험기 내부에 순차적으로 투입하였으며, 투입 완료 후에는 황화수소가스를 일정량 주입하여 목표농도를 설정하였다.



(a) 시험기 준비



(b) 제반도구 소독



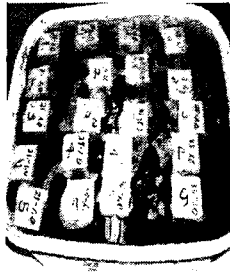
(c) 시험체의 시험전 측정



(d) 세균배양액 투입



(e) 세균배양액 계량



(f) 시험체 침지



(g) 시험체 투입



(h) 시험 개시

사진 3 생화학적 부식 인공축진시험 진행순서

4.4 생화학적 부식 평가를 위한 측정항목

인공축진 시험에 의한 콘크리트의 생화학적 부식 특성을 평가하기 위한 측정항목으로는 우선적으로 육안관찰에 의한 외관평가를 들 수 있으며, 정량적인 방법으로는 중량변화율 및 부식깊이의 측정을 들 수 있다. 또한 미시적인 방법으로는 시험체 표면의 원소분석, 특히 황산화세균에 의해 생성된 황산(H_2SO_4)이 시멘트수화물과 반응하여 표면에 고정되어 있는 황(S) 원소분석을 위해 SEM·EDX 기기분석을 실시할 계획이다.

4. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 생화학적 부식특성 평가를 위한 기존의 시험항목과는 달리 인과적이며 복합적으로 발생하는 생화학적 부식, 즉 시험체에 황산화세균을 접종하여 세균의 성장 최적조건을 유지시킨 후 황산화세균의 성장 및 번식 정도에 의해 발생하는 시험체의 열화정도를 파악함으로써 생화학적 부식특성을 비교·분석할 수 있는 실내 인공축진 시험방법을 제안하였다.

향후 실험조건 및 밀폐실험에 의한 황산화세균의 성장확인 어려움의 보완과 축진열화의 육안관찰이 가능한 재령의 시기 및 이에 따른 측정 주기의 선정이 용이해진다면, 본 시험방법이 실제적인 하수시설 콘크리트의 생화학적 부식특성을 평가하기 위한 인공축진 실험으로서 널리 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 삼성물산(주) 건설부문의 연구과제인 「항균콘크리트의 축진열화에 의한 생화학적 부식평가」에 관한 일련의 연구로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 하수관거의 부식에 관한 연구, 한국건설기술연구원, 1994
2. KS F 4403, "원심력 철근콘크리트관". 한국산업규격(안), 2004
3. 下水道コンクリート構造物の腐食制御技術及び防蝕技術指針・同マニュアル, 日本下水道事業團, 2002