금속 및 금속염계 항균제가 혼합된 항균 콘크리트 개발

Development on Antibiotic Concrete Mixed with Antibacterial Metals and Metallic Salts

최홍식¹ · 허 권² · 이호범³ · 이시우⁴ · 곽홍신^{5*}

Hong-Shik Choi¹ · Kwon Heo² · Ho-Beom Lee³ · Si-Woo Lee⁴ · Hong-Shin Kwak^{5*}

(Received August 19, 2013 / Revised September 9, 2013 / Accepted September 13, 2013)

In the sewage structures and wastewater facilities, concrete is exposed to hydrogen sulfide (H_2S) which acts as an acid material in a solution, and a strongly acidic sulfate ion (SO_4^{2-}) is generated by a sulfuric bacteria. Hence, a degradation of concrete with biochemical corrosion would be accelerated. Finally, durability of concrete and concrete structures may be greatly reduced. In this study, in order to remove the hydrogen sulfide which is used by the sulfuric bacteria organic-biologically, the antibiotic metal and metallic salt powders were mixed to concrete, and a suppressing performance of the sulfate ion was assessed. For the sulfuric acid bacteria, a comparative evaluation of antimicrobial performance on neutralized concrete specimens were carried out, also by a rapid chloride penetration test, chloride penetration depths and diffusion coefficients were measured for antibiotic concrete in accordance with the amount of metal and metallic salt-based antibacterial agents. Eventually, by an observation of the biochemical state of the surface of concrete specimens exposed outdoors, the performance and applicability of antibiotic concrete were confirmed.

키워드 : 항균 콘크리트, 생화학적 부식, 내구성, 황산화 억제, 염화물 침투

Keywords : antibiotic concrete, biochemical corrosion, durability, suppression of sulfation, chloride penetration

1. 서 론

콘크리트 구조물은 노출된 환경에 따라 물리 화학적 침식 작용으로 인해 손상될 수 있다. 이러한 침식을 동시에 받을 경우, 복합 작용에 의해 더 심한 손상이 발생하여 내구성이 급격하게 저하될 수 있다.(KICT, 1994). 이중 미생물에 의한 콘크리트 부식 문제는 최초로 1900년 미국 로스앤젤레스 하수도 시설에 대한 보고가 있었으며, 이후 선진국에서는 이에 대한 연구가 활발히 진행되었다. 국내에서는 1980년대부터 오수의 처리 목적이 가미된 하수도의 현대화를 추진하고 있으며, 국가적인 차원에서 하수도 사업이 최근 들어 진행되는 정도이다(Song, 2000). 특히 보고되는 많은 문

헌이 하수시설에서 황산에 의한 부식이 그 범위가 가장 넓다고 알려져 있는데 황화수소(H_2S)의 존재는 황산이온(SO_4^{2-})의 생성을 유발하기 때문이다. 다음으로 콘크리트에 포함되 있거나 외부에서 침투한 염화물은 콘크리트의 탄산화와 함께 내구성 평가에 중요한 영향 인자이다. 공기 중 온실가스의 증가 및 도로 제설제 사용에 의해 침투된 염화물은 철근 부식 및 콘크리트 손상을 더욱 유발한다(Charvin, 1999). 이는 염화물의 염소이온(Cl^-)이 철근과 접촉되면 철근 부식이 촉진되고, 따라서 철근 유효 단면적 감소와 부피 증가에 의한 팽창압 유발로 콘크리트 내부 균열이 발생함을 의미한다(ACI Committee 222, 1994).

본 연구에서는 콘크리트의 황산화를 억제하는 방안으로, 황산화균이 콘크리트에서 유기 생체적으로 사용하는 황화수소를 제거

* Corresponding author E-mail: hl2qpe@ok.ac.kr

¹충청대학교 토목공학과 (Dept. of Civil Eng., Chungcheong Univ., Chungbuk, 363-792, Korea)

²충청대학교 생명화공과 (Dept. of Chemical Eng., Chungcheong Univ., Chungbuk, 363-792, Korea)

³(주)쓰리텍 대표이사 (ThreeTECH Co., Ltd., Kyeonggi-do, 463-834, Korea)

⁴충청대학교 건축공학과 (Dept. of Architectural Eng., Chungcheong Univ., Chungbuk, 363-792, Korea)

⁵충청대학교 공학기술연구원 (Research Inst. for Engineering Technology, Chungcheong Univ., Chungbuk, 363-792, Korea)

함으로써 콘크리트의 중성화(본 연구는 황산화에 의한 콘크리트 내부의 산성도가 증가하는 반응을 주로 연구하였으므로, 용어를 포괄적인 의미에서의 콘크리트의 중성화로 사용함)를 억제하는 방법과, 금속의 살균성을 이용한 항균제의 금속 및 금속염 분말을 혼화제로 첨가하여 세균 자체를 살균하는 방법을 적용하여 그 성능을 비교하였다. 유기물질을 이용한 살균제는 항균효과가 뛰어나지만, 경제적 측면이나 냄새 등으로 인한 작업 환경에 영향을 충분히 미칠 수 있기 때문에 본 연구 범위에서는 배제하였다. 또한 본 연구에서는 항균 콘크리트의 내구성 평가를 위해 금속 및 금속염계 항균제 첨가량에 따른 콘크리트 염화물 침투깊이 및 확산계수 변화 양상을 측정하였다. 최종적으로 제반 실험 연구 결과를 바탕으로 둔 장기 폭로 시험을 통해 연구결과의 신뢰성 및 타당성을 검증하였다. 실외 환경에 폭로시킨 콘크리트 시편의 표면상에서 *Chroococcus*균에 대한 공초점 현미경(Confocal microscope) 영상분석장치와 주사전자현미경(Scanning electron microscope, SEM) 촬영을 통해 항균성능을 비교하였다.

2. 사용재료 및 시험체 제작

Choi et al.(2007)은 항균제를 배양액에 첨가하여 배양하였을 때 항균제의 농도에 따른 항균성을 평가하였고, Table 1과 같이 최소 저지 농도(Minimum inhibitory concentration, MIC)에 대한 결과를 도출하였다. 여기서, Table 1의 최소 저지 농도는 용해된 금속 이온의 농도가 아닌, 용액에 투입된 항균제의 농도이다. 또한 같은 연구에서 항균제의 농도에 따른 기간별 성능을 검사한 결과 항균제 농도가 높아짐에 따라 항균성능이 짧은 시간에 발현되는 것으로 나타났다.

반면 콘크리트는 염기성으로 pH가 큰 값을 가지므로 콘크리트 자체로도 약간의 항균성을 가지는 것으로 기대할 수 있지만, 이는 시멘트 수화물의 양에 따라 다른 조건을 생성한다. 따라서 본 연구에서는 이러한 영향을 배제하기 위해, 1차적으로 콘크리트 시편을 중성화하여 실험하였다. 또한 다른 외부 요소의 영향을 최소화하기 위해 배양액상에서보다 항균제의 농도를 높여서, 항균제 자체의 항균성능을 비교 평가하고자 하였다.

콘크리트의 항균성능 및 항균제 첨가 시 염소이온 침투에 대한 연구를 위해 1종 보통 포틀랜드 시멘트(KS L 5201)와 부순 모래 및 19mm 부순 골재(KS F 2502)를 사용하여 제작하였고, 사용된 콘크리트의 배합표는 Table 2와 같다. 항균 성능을 평가하기 위한 비교 시험체에는 Table 3과 같이 금속(구리(Cu), 아연(Zn)) 및 금속염(질산구리(III) ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$), 질산아연($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$))계 항균제를 각각

Table 1. Antibiotic performance degree of liquid culture medium (Choi et al., 2007)

Antibiotic agent	Inhibitory concentration for minimum growth
Copper	0.003%
Zinc	0.004%
Copper nitrate (II)	2.7%
Zinc nitrate	2.8%
Nickel	0.005%

Table 2. Mix proportion of concrete

W/C (%)	Slump (mm)	S/a (%)	Unit weight (kg/m^3)			
			Cement	Water	Coarse Agg.	Sand
55	150	47	300	165	983	855

Table 3. Antibiotic agent

	Metal		Metallic salts	
	Copper (Cu)	Zinc (Zn)	Copper nitrate (II) ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$)	Zinc nitrate ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$)
Mixing weight	0.1% 0.5%, and 1.0% of cement weight			

혼입하였고, 혼입한 양은 시멘트량에 대하여 0.1%, 0.5%, 1.0%이다.

3. 황산화균 억제 성능

하수시설 구조물 및 복개 구조물 등은 용해 시 산성으로 작용하는 황화수소를 다량 함유하고, 결과적으로 콘크리트 부식에 의한 열화 촉진에 따라 구조물의 내구성이 크게 저하된다. 황화수소는 산소가 없는 환경에서 유기물이 부패하여 생성되며, 약산성 물질이다. 미량의 황화수소는 황산화균의 작용으로 강산성인 황산이온이 생성된다. 황산 이온은 수용액에서 강한 이온성을 띄게 되며, 이의 짝 양이온으로 수소 이온(H^+)이 생성되므로 강한 산성을 나타내게 된다(APHA, 1995). 이러한 생화학적 부식을 근본적으로 억제하기 위해서는 하수환경에서 콘크리트에 서식하는 미생물의 생장 및 증식을 억제할 수 있는 방법이 요구된다.

항균 성능을 평가하기 위해 제작된 콘크리트 시험체의 크기는 $40 \times 40 \times 10 \text{mm}$ 이고, 타설 후 24시간 동안 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 실내에서 양생한 후 탈형하였다. 이후 27일 동안 수중 양생을 실시한 후 중성화하였다. 콘크리트를 중성화하기 위해 촉진중성화 시험 장치(Fig. 1)에서 압축된 이산화탄소(CO_2) 가스에 노출시켰고, 콘크리트 시편을 할렬한 후 시편 내부 전체에 페놀프탈레인 용액의 반응이 무색이 되는 시점에서 중성화를 종료하였다. 중성화 이후 시험체에

Fig. 1. Carbonation equipment and set-up

Table 4. Mixture of bacterial culture solution and agar medium

Kinds	Chemical notation	Mixing state
Ammonium sulfate	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	2g
Niter	KNO_3	3g
Potassium dihydrogen phosphate	KH_2PO_4	3g
Magnesium chloride	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.5g
Calcium chloride	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.25g
Sodium sulfite	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	5g
Iron sulfate	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.01g
Molybdenum oxide sodium	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.3mg
Bromophenol blue	BPB	10mg
Sulfur powder	-	1g
Yeast extract	-	0.1g
Purified water	-	1000mL
Final pH	-	4.6
Agar	Agar, Bacteriological	20g

대한 멸균상태를 유지하기 위하여 105℃의 건조로에서 24시간 동안 멸균시켰다.

항균성능 평가에 사용된 시험 균주로는 pH가 3~4인 환경에서 가장 잘 자라는 황산화균(Thio-bacillus thiooxidans)을 선택하였다. Table 4에서 한천(Agar)을 제외한 물질을 이용하여 세균 배양액(Bacterial culture solution)을 제조한 후, 한천을 포함하여 한천 배지(Agar medium)를 제조하였다. 제조된 세균 배양액과 한천 배지는 Fig. 2와 같이 설치하여 항균성 실험을 진행하였다. 균액의 접종은 30℃를 유지하였고 준비된 시험체가 들어있는 배양액에 황산화균을 접종하였다. 황산화균의 배양을 위해 4주간 온도 30℃, 습도 80~90%로 유지하였고, 배양하는 동안 시편이 배양액

Fig. 2. Specimen test for proving antibiotic effect

(a) Initial state

(b) 4 weeks after

Fig. 3. Test for control specimens

에 충분히 잠기도록 침지하였다. 항균제에 대한 시험편의 항균성능은 황산화균의 특성에 맞추어 브로모페놀 블루(Bromophenol blue, BPB)를 이용한 비색변화로 확인하였다.

황산화균의 증식을 위한 Fig. 2와 같이 준비된 각각의 시험체를 약 4주간 관측한 후, 초기 배지의 색상이 청색에서 4주 후 황색으로 변하면 항균 효과가 없는 것으로 판정하였으며, 자주색을 유지하면 항균 효과가 있는 것으로 판정하였다. 지시약으로 사용한 BPB는 pH 3 이하에서는 황색을 띤다.

Fig. 3은 황산화균이 접종된 배양액에 항균제가 혼입된 콘크리트와 항균제가 혼입되지 않은 콘크리트를 침지하고 배양한 후 비색 변화를 관찰한 것이다. 측정 결과, 항균제가 혼입되지 않은 콘크리트는 초기에 청색에서 황색으로 변색되었지만 항균제가 혼입된 콘크리트의 배지 색상은 4주 후에도 청색을 그대로 유지하여 황산화균의 증식이 억제되는 효과를 확인할 수 있었다.

또한 황산화균에 노출시키기 전과 노출 후 16주가 지난 후에 전자현미경(SEM)으로 촬영한 사진은 Fig. 4와 같다. 항균제를 혼입하지 않은 시편의 경우 (Fig. 4(a)) 황산화에 의해 콘크리트의 미세구조가 매우 변화하였으나, 항균제를 혼입한 시험체(Fig. 4(b)~(e))는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

즉, 충분히 중성화시킨 콘크리트에서 항균성능을 평가할 경우 금속 및 금속염계 항균제의 농도가 0.1%일 경우에도 황산화균의 증식이 충분히 억제되어 항균성능이 있는 것을 확인하였다. 반면 일반적인 콘크리트는 염기성을 가지고 있지만, 염소이온 등의 침

투에 따른 콘크리트의 중성화 및 산성화와 황산화균에 의한 내구성 손실을 복합적으로 평가해야 한다. 따라서 향후 복합 열화에 따른 장기적인 실험이 필요할 것으로 판단된다.

4. 항균제 첨가시의 염소이온 침투

콘크리트 내의 염화물 확산은 콘크리트의 공극률과 공극의 분포 상태에 따라 다르고(Dhir et al., 1990), 그 확산성을 정량적으로 나타낸 염화물 확산계수는 염화물 이동에 대한 콘크리트의 저항성을 설명하는 매개변수로, 시간에 대한 염화물의 침투 깊이로 나타낼 수 있다. 본 연구는 항균제의 종류 및 혼입양에 따라 염소이온의 확산계수가 달라질 것으로 예상하여 앞서 언급한 금속 및 금속염계의 항균제별로 시험체를 제작하였고, 금속 염소이온 침투시험(Rapidly chloride penetration test, RCPT) 방법에 의해 염소이온의 확산계수를 측정하였다(Heo et al, 2009; Tang, 1996).

시험체는 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ 의 콘크리트 공시체를 제작하여 28일간 표준양생한 후 $\phi 100 \times 50\text{mm}$ 로 절단하여 사용하였다. 준비된 시험체는 수용액이 접촉되지 않는 면은 에폭시 수지로 도포하여 점착하였고, 시험체의 공극을 증류수로 포화시켰다. 금속 염소이온 침투 시험은 ASTM C 1202에 의해 Fig. 5와 같이 설치하였다. 양극(+)에는 0.1M의 수산화나트륨(NaOH) 수용액을, 음극(-)에는 0.5M의 염화나트륨(NaCl) 수용액을 채우고 30V의 전압으로 8시간 동안 통전시켰다. 실험이 끝난 시편을 뜯개어 표면에 0.1N 질산(AgNO_3) 수용액을 분무하였다. 표면에 분무된 시약은 염소이온

Fig. 4. SEM photographs (X3000) of specimens exposed to Thio-bacillus thiooxidans for 16 weeks

Fig. 5. Rapid diffusion cell of chloride ions and test set-up

(a) Copper

(b) Zinc

(c) Copper nitrate (II)

(d) Zinc nitrate

Fig. 6. Chloride penetration in concrete mixed with antibiotic agent

과 반응하여 염화은(AgCl)을 침전시켜 염소이온이 있는 부위에서 은회색으로 변하게 된다. 이 때 콘크리트의 음극측 표면에서부터

은회색으로 변하는 지점까지의 염소이온 침투 깊이를 측정하였고, 염소이온 확산계수를 식 (1)에 의하여 도출하였고, 그 결과는 Fig. 6과 같다.

$$D_d = \frac{RTL}{zF\Delta E} \cdot \frac{x_d - \alpha \sqrt{x_d}}{t} \quad (1a)$$

$$\alpha = 2 \sqrt{\frac{RTL}{zF\Delta E}} \cdot \operatorname{erf}^{-1} \left[1 - \frac{2C_d}{C_o} \right] \quad (1b)$$

여기서, D_d : 금속 염소이온 침투계수(m²/sec)

R : 기체상수(8,314 J/(mol · K))

T : 절대 온도(K)

L : 시편 두께(m)

z : 이온의 전하수

F : 패러데이 상수(96,500J/(V · mol))

ΔE : 전위차(V)

x_d : 비색법에 의한 침투 깊이(m)

t : 전위차의 적용 시간(sec)

C_o : 음극 셀의 염소이온 농도(mol/l)

C_d : 비색법에 의한 반응 농도(mol/l)

α : 실험상수

erf^{-1} : 오차함수의 역함수

실험 결과, 금속계(Cu, Zn)과 질산아연(Zn(NO₃)₂)을 사용하였을 때 유사한 확산계수를 갖는 것으로 나타났다. 그러나 질산구리(II)(Cu(NO₃)₂)를 사용하였을 때 매우 낮은 확산계수를 나타냈다. 이는 염소 이온(Cl⁻)의 침투 시 구리 이온(Cu²⁺)이 염소 이온과 반응하여 난용성의 염(염화구리(II), CuCl₂)을 형성하는 것으로 판단된다. 염화구리(II)의 용해도 곱 상수(Solubility product, K_{sp})는 1.9×10^{-7} 으로 구리이온과 염소이온이 존재할 때 급격한 반응을 통하여 염화구리(II)를 형성하여 염소이온의 확산을 억제할 수 있기 때문이다. 염소이온과의 용해도 곱이 작은 이온으로는 은이온(Ag⁺)과 수은이온(Hg²⁺) 등이 있으나 가격과 중금속 오염 등으로 실제 사용하기는 어려운 물질이다. 따라서 구리 이온(Cu²⁺)이 함유된 염을 항균제로 사용하는 것은 콘크리트의 항균성과 함께 염소 이온(Cl⁻)의 확산을 억제하는 효과적인 방법이 될 것으로 판단된다.

5. 장기 폭로 실험

항균제가 첨가된 콘크리트의 실외 환경에서의 장기적 성능 평가를 위해 폭로 실험을 실시하였다. 폭로 시험체는 Fig. 7과 같이 야외의 균류가 잘 성장하는 위치에 장기적으로 노출 시켰으며, 노출한 후 32주 후에 콘포칼(Confocal) 영상 분석장치를 통해 촬영하

Fig. 7. Exposure test specimens

여 표면의 Chroococcus균을 관측하였다.

콘포칼 영상에서 관측되는 Chroococcus균은 Fig. 8 (a)와 녹색의 이미지로 구분된다. 야외 폭로 32주 후에 항균제가 없는 콘크리

Fig. 9. Numbers of Chroococcus after 32 weeks by Confocal images

(a) Chroococcus

(b) Control specimen

(c) Copper 1%

(d) Zinc 1%

(e) Copper nitrate (II) 1%

(f) Zinc nitrate 1%

Fig. 8. Confocal images of Chroococcus on specimen surface 32 weeks after

트와 1%의 금속 또는 금속염 항균제를 혼입한 콘크리트 표면을 촬영한 콘포칼 영상의 사진은 Figs. 8(b)~(f)와 같다. 또한 콘포칼 이미지를 통해서 관측된 *Chroococcus*균의 수는 Fig. 9와 같다.

관측결과, 항균제를 첨가하지 않은 Control시편의 경우 외부 오염물질에 영향을 많이 받아 표면에 *Chroococcus*균이 성장하여 오염된 것을 확인하였다. 실험에서 적용한 항균제는 모두 탁월한 항균 성능을 보이는 것으로 나타났다. 이중 질산구리(II)를 1% 사용한 시편의 경우 표면에서 *Chroococcus*균이 거의 성장하지 못하여, 다른 항균제 보다 항균성능이 가장 좋은 것으로 판단된다.

6. 결 론

본 연구에서는 황산화균의 생육을 억제하기 위해 금속 또는 금속염을 항균제로 사용한 콘크리트의 항균 성능을 평가하기 위한 실험적 연구를 수행하였고, 이에 따른 결론은 다음과 같다.

1. 황산화 억제를 위해 금속(구리(Cu), 아연(Zn))과 금속염(질산구리(II)($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$), 질산아연($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$))을 사용하였고, 최소저지농도(MIC)와 콘크리트의 염기성을 고려하여, 0.1%와 0.5%, 1.0%를 혼입하여 항균 콘크리트를 제작하였다.
2. 황산화균 배양액 상에서 중성화한 콘크리트 시편의 항균 성능 평가에서는 침지 4주 후에 항균제를 투입하지 않은 콘크리트의 BPB 지시색이 황색으로 변한 반면, 모든 항균 콘크리트에서는 초기의 pH를 유지하는 것으로 나타났고, 주사전자현미경(SEM) 사진에서도 항균 성능을 확인할 수 있었다.
3. 금속 염소이온 침투시험을 통한 항균 콘크리트의 염소이온 침투 특성은 항균제의 투입량이 증가할수록 침투계수가 감소하는 경향을 나타내었다. 특히 질산구리(II)를 사용한 시편에서는 0.1%의 투입량에서도 낮은 침투계수를 보였으며, 따라서 구리 이온이 함유된 항균제를 사용할 경우 콘크리트의 항균성 및 염소 이온의 확산을 억제할 수 있을 것으로 판단된다.
4. 항균 콘크리트의 실제 실외 환경에서의 항균성능을 평가하기 위해 야외에서 폭로 실험을 수행하였고, 야외 폭로 32주 후에 콘포칼(Confocal) 영상을 통해 *Chroococcus*균을 관측하였고, 특히 질산구리(II)를 사용한 경우에 항균성능이 높게 나타나는 것을 확인하였다.
5. 콘크리트 수화물의 염기성은 소정의 항균 성능일 기대할 수 있지만, 하수 시설이나 복개 시설은 외부에서 침투하는 염소이온 등에 따른 콘크리트의 중성화 및 산성화와 황산화균에 의한 내

구성 손실을 복합적으로 평가해야 한다. 따라서 향후 다양한 열화 조건이 복합된 환경에서 장기적인 실험이 필요할 것으로 판단된다.

References

- ACI Committe 222 (1994), Corrosion of Metals in Concrete, ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, American Concrete Institute, USA.
- APHA, (1995), American Water Works Association and Water Environment Federation Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Ed., American Public Health Association, USA.
- Charvin, S. (1999), Influence of Possolanic Admixtures on Concrete Pore Water pH, Chloride Diffusion and Chloride Binding, MSc. Thesis, Florida Atlantic University.
- Choi, H.-S., Heo, K., Lee, S.-T., Yoo, S.-W., Kwak, H.-S. (2007) "A study on antibacterial performance of antibiotics for sulfuric acid bacillus control in concrete," Proceedings of 2007 Korea Institute for Structural Maintenance Inspection [in Korean].
- Dhir, R.K, Jones, M.R., Ahmed, H.E.H., Senevirate, A.M.G. (1990), Rapid estimation of chloride diffusion coefficient in concrete, Magazine of Concrete Research, **42(7)**, 177-185.
- Heo, K, Choi, H.-S., Lee, S.-W., An, J.-E. (2009) "A study on the evaluation of the compressive strength and the chloride diffusion coefficients of the antibiotic concrete," Proceedings of 2009 Spring Conference of Korea Concrete Institute, 433-434 [in Korean].
- KICT (1994), A Study on Corrosion of Sewer Pipe, Research Report, Korea Institute of Construction Technology [in Korean].
- Song, H.-M. (2000), A Study on Bio-chemical Corrosion of Concrete Sewer Pipe, Ph.D Thesis, Cheonbuk University [in Korean].
- Tang, L. (1996), Electrically accelerated methods for determining chloride diffusivity in concrete current development, Magazine of Concrete Research, **48(176)**, 173-179.

금속 및 금속염계 항균제가 혼입된 항균 콘크리트 개발

하수시설 및 복개 구조물 등은 용해 시 산성으로 작용하는 황화수소에 크게 노출되어, 황산화균의 작용에 의해 강산성의 황산이온이 생성된다. 이에 따라 콘크리트의 생화학적 부식에 의한 열화가 촉진되며, 콘크리트 손상을 더욱 가속화하여 내구성이 크게 저하될 수 있다. 본 연구에서는 콘크리트에서 황산화균이 유기 생체적으로 사용하는 황화수소를 제거하기 위해, 금속의 살균성을 이용하여 금속 및 금속염 분말을 콘크리트에 혼입한 후, 황산화 억제 성능을 평가하였다. 이를 위해 중성화한 콘크리트 시편의 황산화균에 대한 항균 성능을 비교 평가하였고, 급속 염소이온 침투시험을 통해 금속 및 금속염계 항균제 첨가량에 따른 콘크리트 염화물 침투깊이 및 확산계수를 측정하였다. 또한 야외에서 폭로시킨 콘크리트 시편의 표면 상태의 생화학적 상태를 관측하여, 항균콘크리트의 성능 및 적용성을 확인하였다.