

황산, 염소이온 반응 소재 혼입 수용액에서의 이온반응성 및 전기화학적 철근 부식에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Ion Reaction and the Electrochemical Rebar-Corrosion in Aqueous Solution Mixed with Sulfate and Chloride Ion-Reactive Material

류 화 성¹

신 상 현^{2*}

강 태 원³

임 창 길⁴

김 흥 태⁵

Ryu, Hwa-Sung¹ Shin, Sang-Heon^{2*} Kang, Tae-Won³ Lim, Chang-Gil⁴ Kim, Hong-Tae⁵
*Researcher, Hanyang Experiment and Consulting, 55, Hanyangdaehak-ro, Sangnok-gu, Ansan-si, Gyeonggi-do
15588, South Korea ¹*
*Researcher, Hanyang Experiment and Consulting, 55, Hanyangdaehak-ro, Sangnok-gu, Ansan-si, Gyeonggi-do
15588, South Korea ²*
President, Sammyung E&C, 8, Jungang-daero 1473 beon-gil, Dongnae-ru, Busan, 47711, South Korea ³
*Doctoral course, Department of Civil Engineering, Kyungpook National University, 80, Daehak-ro, Buk-gu,
Daegu, 41566, South Korea ⁴*
*Professor, Department of Civil Engineering, Kyungpook National University, 80, Daehak-ro, Buk-gu, Daegu,
41566, South Korea ⁵*

Abstract

In this study, amine derivatives and ion exchange resins were selected to actively control penetration ions (SO_4^{2-} , Cl^-) as the element technology of repair materials for concrete structures in drainage environments. Ions (SO_4^{2-} , Cl^-) adsorption performance and corrosion resistance of calcium hydroxide solution with amine derivative and ion exchange resin were confirmed by ion chromatography and potentiostat analysis. As a result of the experiment, it was confirmed that the amine derivative is excellent in the adsorption of chlorine ion and the ion exchange resin is excellent in the adsorption of sulfate ion. It has been confirmed that corrosion resistance can be increased by proper combination of two materials in the calcium hydroxide solution containing sulfate ion and chloride ion simulating sewage environment.

Keywords : amine derivatives, ion exchange resins, sewage concrete structures

1. 서 론

최근 인구가 증가하고 사회가 급속히 발달하여 도시의 거
대화가 진행됨에 따라 상하수도과 같은 도시 생활에 없어서

는 안 될 필수적인 사회기반시설의 증대 및 유지관리의 필요
성이 대두되고 있다[1]. 주거지, 혹은 산업시설에서 사용되
고 배출되는 하수는 각 하수도를 거쳐 콘크리트 암거 구조물
에 도달하게 된다. 하수도와 같은 밀폐되고 유해가스의 농도
가 높은 환경은 기존 열화 요인들에 더해 황산염 침식의 영향
으로 인해 하수암거의 열화현상이 극심한 것으로 확인되고
있다[2]. 특히, 서울시에서는 하수도 시설의 목표연도를 20
년으로 설계에 반영하는데, 실제 서울시 내의 하수관거는
74% 이상이 매설 후 20년 이상 경과되어 염소이온 및 황산

Received : September 30, 2018

Revision received : November 6, 2018

Accepted : December 11, 2018

* Corresponding author : Shin, Sang-Heon

[Tel: 82-31-400-3752, E-mail: ssh8065@hanyang.ac.kr]

©2019 The Korea Institute of Building Construction, All
rights reserved.

가스에 의해 표면 침식과 균열, 단면손상 등의 열화가 심각한 상태인 것으로 조사되었다[3]. 이처럼 콘크리트 하수관거와 같은 하수시설에 대한 적절한 유지관리를 실시하지 않을 경우 장기적으로 누적된 손상에 의해 하수 누수에 따른 환경오염, 누수로 야기된 지반 불안정으로 인한 지반침하 등의 안전성에 심각한 문제가 야기될 수 있다.

철근콘크리트 구조물에 있어서 열화에 관여하는 유해 이온으로는 철근과 반응하여 부식을 발생시키는 염소이온(Cl^-), 시멘트 수화물과 반응하는 탄산 또는 중탄산 이온(CO_3^{2-} 또는 HCO_3^{2-}), 유기물에 의한 황산이온(SO_4^{2-}) 등이 있다. 현재 이러한 유해 이온을 제어할 수 있는 소재 및 이를 활용한 건설기술에 관한 다양한 연구가 진행되고 있다[4,5,6].

아민유도체는 최근 방청제 성분으로 활용이 되고 있는 소재로서 제올라이트, 활성탄소, 산화칼슘 등과 함께 탄산 또는 중탄산 이온의 고정화에 성능이 좋은 소재로 알려져 있다 [4]. 또한, 아민유도체가 염소이온과 반응하여 고정시키는 특성이 확인되어[5,6] 철근콘크리트 구조물의 방청 성분으로 주목받고 있다.[7]

이온교환수지는 유해물질 및 불순물 제거를 위해 수처리, 화학공정 등의 분야에서 많이 사용되고 있는 소재이다 [8,9,10,11]. 이온교환수지는 범용성이 우수하여 여러 분야에서 활용되고 있으나, 건설 재료 분야에서 보수재료의 요소기술로서 적용되어 연구가 진행된 경우가 매우 부족한 것으로 확인되었다.

보수재료에 관한 기존의 전기화학적 실험연구에서는 주로 염소이온만을 대상으로 보수재료의 방식성능을 확인함으로써 염소이온 외 다른 음이온이 존재할 시의 방식성능의 검증이 불가하였다. 또한, 아민유도체만을 활용한 보수재료에 관한 연구는 다수 진행되었으나, 아민유도체와 이온교환수지 혼합물의 방식성능을 확인한 연구는 전혀 없는 것으로 확인되었다.

본 연구의 목적은 하수 환경의 콘크리트 구조물(암거, 처리시설)용 보수재료의 요소기술로서, 콘크리트 유해이온(SO_4^{2-} , Cl^-)을 능동적으로 제어(고정, 반응)하는 아민유도체 및 이온교환수지를 도입하기 위한 성능을 확인하는 것이다. Figure 1의 연구흐름도와 같이 Cl^- 이온과 SO_4^{2-} 이온이 포함된 수산화칼슘 수용액을 이용하여 이온 크로마토그래피 분석으로 아민유도체와 음이온교환수지의 음이온 흡착 성능을 확인하고, Potentiostat을 이용하여 음이온 흡착 성능에 따른 전기화학적 방식성능을 확인하였다.

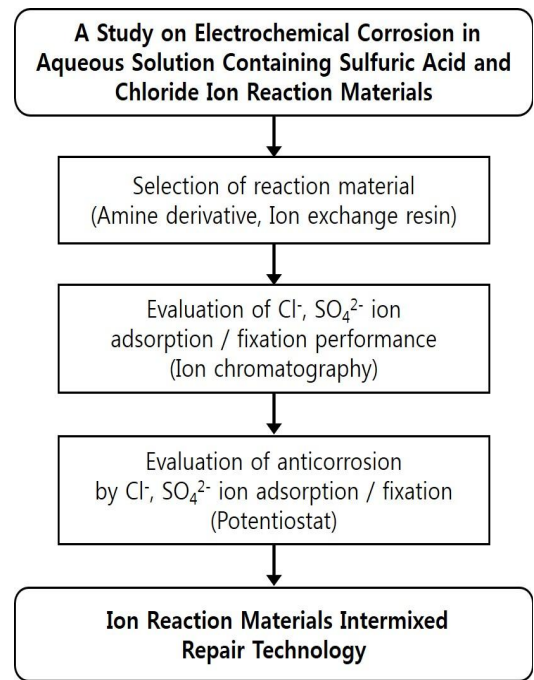
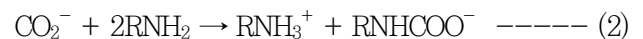


Figure 1. Study flow

2. 주요 사용재료의 특성

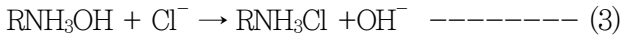
2.1 아민유도체 (Amine derivative)

아민유도체는 건설 분야에서 CO_2 , Cl^- 와 반응하는 소재로 방청제의 성분으로 활용되고 있다. CO_2 와의 반응에서 아민유도체의 염기와 CO_2 는 빠르게 반응하여 아민 작용기의 수소이온에서 음이온이 외부로 방출되면서 아민의 수소이온이 H^+ 이온 상태가 된다. 탈 양성자화 된 수소이온은 아민유도체와 다시 반응하여 안정화된 상태로 존재하게 된다[12]. 이때 방출된 음이온은 식(1)과 같이 CO_2 를 공격하여 CO_2^- 상태가 되므로 식(2)와 같은 화학적인 결합이 가능하게 된다.



아민유도체에 의한 Cl^- 의 고정 메커니즘은 한 개의 아민과 한 개의 Cl^- 이 만나 말단의 알킬기인 OH와 교환되어 $RNHCl$ 을 형성하게 되고 외부로 OH^- 이온을 방출하는 특성을 나타내어 부식부의 장벽 역할을 하여 부동태 피막을 유지 시킨다. 또한, 시멘트 내 C_3A 가 초기에 염화물을 흡착

하였다가 탄산화가 진행되면서 해리 상태가 되나 아민유도체는 Cl^- 의 이온 친화력에 의해 고정화 되어 안정된 상태이다[5,6]. 이러한, Cl^- 을 함유하는 화합물, 즉 아민에 의해 생성되는 화합물은 식(3)과 같은 화학적 결합에 의해 염소 이온이 고정화될 수 있다.

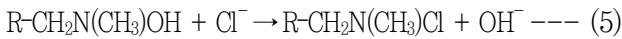


또한, 아민유도체는 SO_2 을 고정하는데, 이는 식(4)와 같이 SO_2 이 수분과 함께 아민유도체와 반응하여 화합물을 생성, 황산 이온이 고정화될 수 있다[13].



2.2 이온교환수지 (Ion exchange resin)

이온 교환 수지는 관능기의 종류에 따라 약산성·강산성·약염기성·강염기성으로 분류된다. 본 연구에서 사용된 수산화칼슘 수용액은 pH 11 ~ 13 정도의 알칼리성 조건이기 때문에 본 연구에 사용하는 이온 교환 수지로는 강 염기성 음이온 교환 수지를 선정하여 사용하였다. 이온 교환 반응의 예는 식(5)로 표현된다.



또한, 음이온 교환 수지의 각 이온에 대한 선택성의 순위는 일반적으로 식(6)과 같이 표현된다.



음이온 교환 수지에 의해 Cl^- 이온과 SO_4^{2-} 이온이 모두 존재하는 환경 조건에서 더 선택성이 높은 SO_4^{2-} 이온으로 인하여 Cl^- 에 대한 흡착성이 저감 될 가능성이 있다.

3. 실험 계획 및 방법

3.1 열화이온 반응소재 혼입에 따른 수용액 내 음이온량

본 연구에서는 콘크리트 유해요인인 SO_4^{2-} , Cl^- 이온을 고정, 흡착하는 특성을 갖는 것으로 알려진 아민유도체와 이온교환수지를 사용하여 실험을 실시하였다. Table 1, 2와 같이 각각의 혼입량을 설정하여 Figure 2의 (a)와 같이 수용액을 제조하고, 콘크리트와 같은 알칼리 수용액 환경에서의

고정/흡착 성능을 Table 3에 명시된 조건으로 Figure 2 (b)의 장비를 활용하여 이온 크로마토그래피 분석실험을 통하여 확인하였다.

Table 1. Experimental variable (detection of SO_4^{2-} ion)

No.	Solution	Content (g)	
		Amine derivative	Ion exchange resin
1		-	-
2		1.00	-
3	$\text{Ca}(\text{OH})_2$ Solution 50 mL	0.75	0.25
4	+ Na_2SO_4 1mg	0.50	0.50
5		0.25	0.75
6		-	1.00

Table 2. Experimental variable (detection of Cl^- ion)

No.	Solution	Content (g)	
		Amine derivative	Ion exchange resin
1		-	-
2		1.00	-
3	$\text{Ca}(\text{OH})_2$ Solution 50 mL	0.75	0.25
4	+ NaCl 1mg	0.50	0.50
5		0.25	0.75
6		-	1.00

Table 3. Equipment and experimental conditions (IC)

Equipment	Thermo Scientific ICS-2100
Analysis columns	IonPac® AS19 analytical (4 * 250 mm)
Moving phase	45 mM KOH / Dionex EGAIII KOH
Flow velocity	1.0 mL/min
Oven temperature	30°C
Detecting Method	Suppressed Conductivity Detector
Amount of injection	25 µL
Suppressor	Anion Electrolytically Regenerated Suppressor

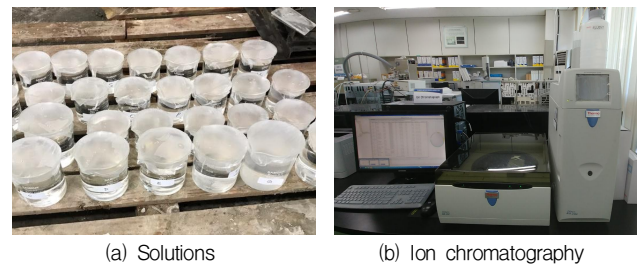


Figure 2. Ion chromatographic analysis (anion detection)

3.2 열화이온 반응소재 혼입에 따른 부식특성

본 연구에서 부식특성을 수용액 상에서의 전기화학적 분석을 통하여 확인하였다. 일반적으로 전기화학적 분석 방법에서는 콘크리트의 고알칼리 환경을 포화수산화칼슘 수용액으로 모사하여 실시한다. 본 연구에서는 아민유도체와 이온교환수지의 염소, 황산이온 제어를 통한 부식특성을 확인하기 위하여 제한적으로 포화수산화칼슘 수용액에 염소이온과 황산이온만을 첨가하여 실험을 실시하였다. 염화물이 존재하는 시멘트세공용액을 모사한 포화 수산화칼슘 수용액내에서 황산나트륨과 유기계 방청 성분인 아민 유도체, 이온교환수지의 혼입량을 변수로 하여 전기화학적 부식특성 평가로 하수 환경의 콘크리트 구조물(암거, 처리시설)용 보수재료의 요소기술로서 방청 성능을 실험적으로 파악한다.

Table 4와 같이 세공용액은 포화 수산화칼슘에 NaCl 1.0g/L를 첨가하여 제조하였고, Na₂SO₄ 1.0, 2.0g/L 두 가지 혼입량으로, 아민유도체는 염소이온 대비 아민기의 몰비 0.3 몰을 최대 혼입량으로 설정하였다. 또한, 이온교환수지는 아민유도체 혼입량을 0, 25, 50, 100%로 대체 혼입하는 것으로 설정하였다.

Table 4. Experimental variable (evaluation of corrosion)

Inhibitors	Concentration of NaCl (g/L)	Concentration of Na ₂ SO ₄ (g/L)	Concentration of AD (g/L)	Concentration of IER (g/L)	Solution names
None	1.0	1.0	0.0	-	C1.0-S1.0
		2.0	0.0	-	C1.0-S2.0
Amine derivative + Ion exchange resin	1.0	1.0	0.4	-	C1.0-S1.0-A0.4
			0.3	0.1	C1.0-S1.0-A0.3-R0.1
		0.2	0.2	C1.0-S1.0-A0.2-R0.2	
		0.1	0.3	C1.0-S1.0-A0.1-R0.3	
		-	0.4	C1.0-S1.0-R0.4	
		2.0	0.4	-	C1.0-S2.0-A0.4
			0.3	0.1	C1.0-S2.0-A0.3-R0.1
			0.2	0.2	C1.0-S2.0-A0.2-R0.2
			0.1	0.3	C1.0-S2.0-A0.1-R0.3
		-	0.4	C1.0-S2.0-R0.4	

Table 5. Equipment and experimental conditions (potentiostat)

Equipment	VersaSTAT (Princeton Applied Research, Oak Ridge, TN, USA)
Analysis columns	Metrohm Autolab Nova 1.10
Analysis model	CPE (constant phase element)
Specimen	ø16mm steel (polishing by 180~1200 μm sandpaper)

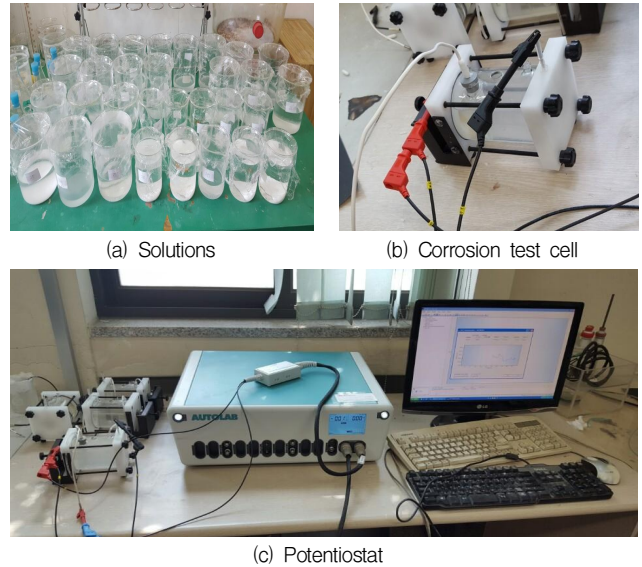


Figure 3. Evaluation of electrochemical corrosion properties

본 실험에서 사용된 전기화학적 실험기구 Potentiostat은 기준 전극(Reference Electrode), 작동 전극(Working Electrode), 보조 전극(Counter Electrode)으로 구성된 부식성능 측정 셀을 통하여 철근의 자연 전위와 분극 저항을 측정하는 장비로서, Table 5에 명시된 VersaSTAT 장비와 CPE 분석 모델을 이용하여 지름 16mm의 강철 시편을 대상으로 Figure 3의 (a)와 같은 각 수용액에서의 부식특성을 확인하였다. Figure 3의 (b)는 전극과 강철 시편이 장착된 측정 셀이며 (c)는 전기화학적 실험기구를 나타낸다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 열화이온 반응 소재 혼입에 따른 수용액 내 음이온량

포화 수산화칼슘 수용액에 황산나트륨 1mg을 혼입 후, 아민유도체와 음이온교환수지의 첨가량을 총량 1g 기준으로 1:0, 3:1, 1:1, 1:3, 0:1로 혼입하여 황산이온량을 이온 크로마토그래피 장비를 이용하여 분석한 결과를 Figure 4에 나타내었다. 아민유도체, 이온교환수지를 첨가하지 않은 경우와 비교하여, 아민유도체만 1g 첨가된 경우는 16.21%, 아민유도체 0.75, 이온교환수지 0.25g 첨가된 경우는 19.96%, 아민유도체 0.5, 이온교환수지 0.5g 첨가된 경우는 25.72%, 아민유도체 0.25, 이온교환수지 0.75g 첨가된 경우는 26.52%, 이온교환수지만 1g 첨가된 경우는 29.78%의 황산이온 저감 성능을 갖는 것으로 나타났다. 음이온교환수지의 첨가율 증가에 따라 황산이온 저감율이 증가하는 것

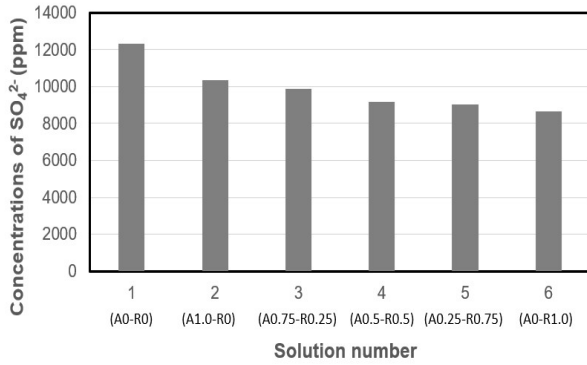


Figure 4. Result of IC (SO₄²⁻)

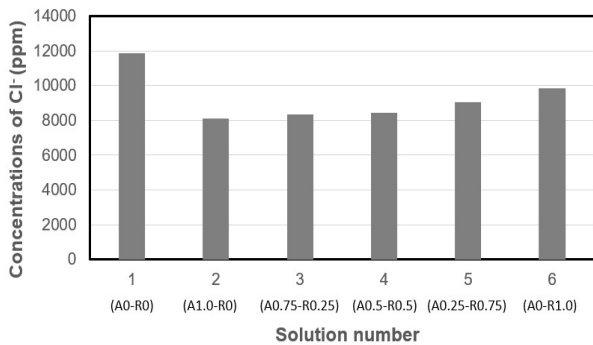


Figure 5. Result of IC (Cl⁻)

으로 보아, 아민유도체 보다 음이온교환수지의 황산이온과의 반응성이 우수한 것으로 확인되어 음이온교환수지의 혼입량이 황산이온 저감에 영향을 주는 것으로 판단된다.

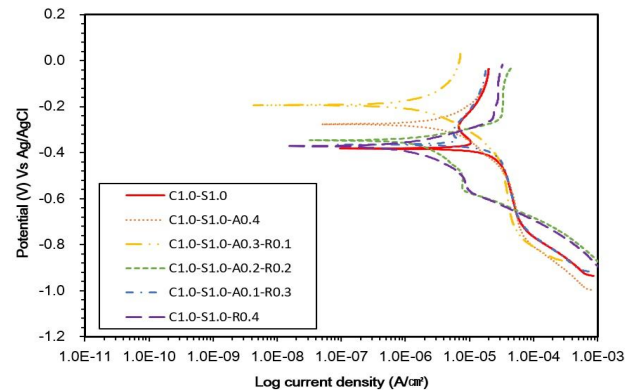
포화 수산화칼슘 수용액에 염화나트륨 1mg을 혼입 후, 아민유도체와 음이온교환수지의 첨가량을 총량 1g 기준으로 1:0, 3:1, 1:1, 1:3, 0:1로 혼입하여 염소이온량을 이온크로마토그래피 장비를 이용하여 분석한 결과를 Figure 5에 나타내었다. 아민유도체, 이온교환수지를 첨가하지 않은 경우와 비교하여, 아민유도체만 1g 첨가된 경우는 31.47%, 아민유도체 0.75, 이온교환수지 0.25g 첨가된 경우는 29.50%, 아민유도체 0.5, 이온교환수지 0.5g 첨가된 경우는 28.67%, 아민유도체 0.25, 이온교환수지 0.75g 첨가된 경우는 23.79%, 이온교환수지만 1g 첨가된 경우는 16.78%의 염소이온 저감율을 나타내었으며, 아민유도체의 첨가율 증가에 따라 염소이온 저감율이 증가하는 것으로 보아, 염소이온에 대한 흡착성능은 음이온교환수지 보다 아민유도체의 경우가 우수한 것으로 확인되었다. 이는 음이온교환수지의 반응 선택성이 염소이온보다 황산이온이 더 높기 때문이며,

이에 따라 음이온교환수지보다는 아민유도체의 혼입량이 염소이온 저감에 영향을 주는 것으로 판단된다.

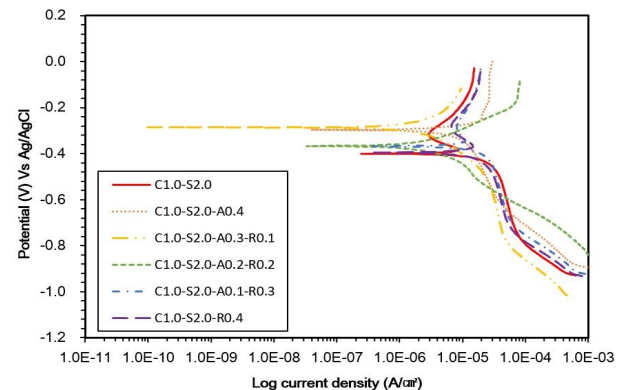
실험결과, 아민유도체와 음이온교환수지는 콘크리트 구조물의 유해이온인 황산이온과 염소이온에 대한 흡착성능이 우수한 것으로 나타났으나, 황산이온과 염소이온이 함께 존재시, 각 이온에 대한 흡착 순위가 다른 것으로 확인되어, 추후 보수재료로 사용 시 적정 혼입량의 선정이 필요할 것으로 판단된다.

4.2 열화이온 반응소재 혼입에 따른 부식특성

염화물이 존재하는 시멘트세공용액을 모사한 포화 수산화칼슘 수용액 내에서 황산나트륨과 유기계 방청 성분인 아민유도체, 이온교환수지의 혼입량을 변수로 하여 전기화학적 방법으로 부식특성을 확인한 결과, 측정된 분극 곡선을 Figure 6에 나타내었다. 또한, 분극 곡선으로 확인할 수 있는 부식 전위 값을 염화나트륨 혼입량에 따라 Table 6에 나타내었다.



(a) NaCl 1.0g/L, Na₂SO₄ 1.0g/L



(b) NaCl 1.0g/L, Na₂SO₄ 2.0g/L

Figure 6. Polarization curves

Table 6. Corrosion potential

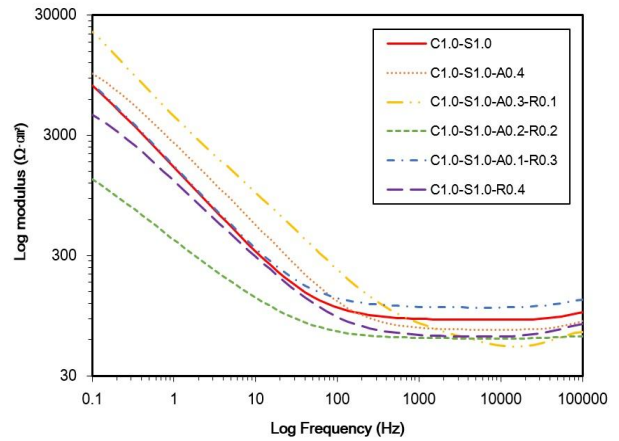
Solution	Corrosion potential (mV)	Solution	Corrosion potential (mV)
C1.0-S1.0	-382	C1.0-S2.0	-399
C1.0-S1.0-A0.4	-275	C1.0-S2.0-A0.4	-296
C1.0-S1.0-A0.3-R0.1	-193	C1.0-S2.0-A0.3-F0.1	-286
C1.0-S1.0-A0.2-F0.2	-346	C1.0-S2.0-A0.2-F0.2	-366
C1.0-S1.0-A0.1-F0.3	-364	C1.0-S2.0-A0.1-F0.3	-368
C1.0-S1.0-F0.4	-371	C1.0-S2.0-F0.4	-395

분극 곡선 분석 결과, 가로축의 전류밀도는 아민유도체와 이온교환수지 혼입에 따라 감소하는 것을 확인할 수 있으며, 아민유도체가 혼입되지 않은 경우의 수용액에서 pitting type의 부식이 발생할 수 있음이 확인되었다.

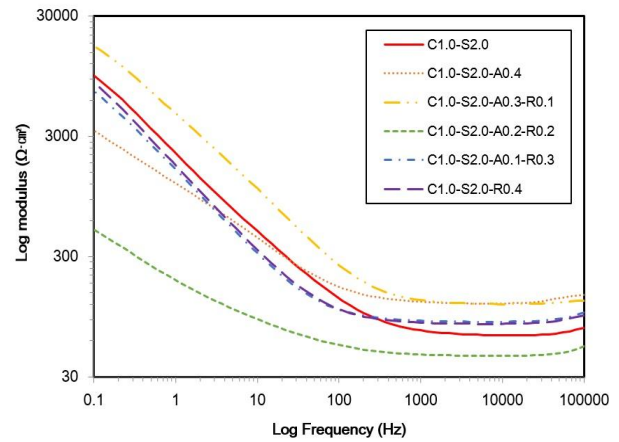
분극 곡선 분석 결과 중, 부식 전위는 철근의 표면 부식에 대한 정보를 제공하는데[14], 일반적으로 NaCl의 농도를 조절하는 연구에서 부식 전위는 NaCl의 농도가 증가함에 따라 활발히 증가하고, 이는 Cl⁻ 농도 증가에 따른 철근 / 용액 경계면에서 더 많은 반응이 발생할 수 있음을 나타낸다 [15].

부식 전위 산출 결과, 염화나트륨이 1.0g/L 혼입된 C1.0 수용액 결과를 살펴보면, 이온교환수지가 아민유도체 첨가량의 25% 치환되어 첨가된 경우가 부식 전위의 절대값이 아민유도체와 이온교환수지가 첨가되지 않은 수용액 대비 49% 감소하여 높은 부식 저항성을 갖는 것으로 확인되었다. 이는 아민유도체와 이온교환수지의 적정 혼합으로 아민유도체의 염소이온과의 반응으로 강철 시편 표면에 피막을 형성하고, 이온교환수지의 황산이온과의 반응으로 알칼리환경을 유지시키는 이유로 판단된다. 반면, 이온교환수지의 혼입량이 25% 이상 치환되고 아민유도체의 혼입량이 줄어들게 되면, 염소이온의 잔존량이 효과적으로 감소하지 않는 관계로 부식 저항 성능이 급격히 감소하는 것으로 확인되었다.

염화나트륨이 2.0g/L 혼입된 C2.0 수용액 결과를 살펴보면, 1.0g/L 혼입된 결과와 마찬가지로 아민유도체 첨가량의 25% 치환되면 가장 우수한 부식 저항성을 갖는 것으로 나타났으며 그 정도는 아민유도체와 이온교환수지가 첨가되지 않은 수용액 대비 28%인 것으로 확인되었다. 이처럼 염화나트륨 1.0g/L 혼입의 경우에 비해 낮은 저감량을 나타난 것은 염화나트륨 2.0g/L 혼입은 아민유도체와 이온교환수지가 제어할 수 있는 임계치 이상의 염소이온이 존재하기 때문으로 판단된다.



(a) NaCl 1.0g/L, Na₂SO₄ 1.0g/L



(b) NaCl 1.0g/L, Na₂SO₄ 2.0g/L

Figure 7. Impedance–frequency bode plots

Figure 7은 측정된 임피던스-주파수 그래프를 나타낸다. 임피던스-주파수 그래프를 통하여 낮은 주파수 (0.1Hz)에서의 임피던스값으로 부식 저항 특성을 확인한다[16]. 본 연구의 임피던스-주파수 그래프를 확인한 결과, 아민유도체의 혼입량이 75% 이상일 경우에 높은 임피던스값을 나타내어 부식 저항성이 있는 것으로 확인되었으나, 아민유도체의 혼입량이 75% 미만의 경우는 이온교환수지의 혼입량이 증가하더라도 부식 저항성이 없는 것으로 나타났다. 따라서 아민유도체 0.3g/L, 이온교환수지 0.1g/L이 첨가된 C1.0-S1.0-A0.3-R0.1, C1.0-S2.0-A0.3-R0.1의 수용액에서 아민유도체는 수용액 내의 염소이온과 반응하여 강철 시편 표면에 방식에 효과적인 비활성의 피막을 형성하여 임피던스값을 증가시키고, 이온교환수지는 황산이온과의 반응을 통하여 수용액의 고 알칼리를 유지하여 부식 저항성을 높이는 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 하수 환경의 콘크리트 구조물(암거, 처리 시설)용 보수재료의 요소기술로서 콘크리트 유해요인(SO_4^{2-} , Cl^-)을 능동적으로 제어(고정, 반응)하는 아민유도체 및 이온교환수지를 대상으로, 시멘트세공용액을 모사한 수산화칼슘 수용액을 이용하여 이온 크로마토그래피 분석으로 유해요인 흡착성능을 확인하고, Potentiostat으로 철근 부식 저항성을 평가한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 이온 크로마토그래피 분석실험 결과, 아민유도체는 염소이온과의 고정반응에 유효하고, 음이온교환수지는 반응성 순서의 특징으로 인하여 황산이온과 염소이온이 함께 존재하는 수용액에서 황산이온과의 반응에 더 유효한 것으로 나타났다.
- 2) Potentiostat 장비를 활용하여 전기화학적 방법으로 부식 저항성 평가를 실시한 결과, 아민유도체와 이온교환수지가 3:1 비율로 첨가된 C1.0-S1.0-A0.3-R0.1, C1.0-S2.0-A0.3-R0.1의 경우가 부식 저항성이 우수한 것으로 확인되었으며, 이는 아민유도체의 염소이온과의 반응으로 강철 시편 표면에 피막을 형성하고, 이온교환수지의 황산이온과의 반응으로 알칼리환경을 유지 시키는 이유로 판단된다.
- 3) 반면, 아민유도체의 혼입량이 줄어드는 경우, 이온교환수지의 혼입량과 관계없이 부식 저항성이 감소하는 것으로 확인되었으며, 이는 전기화학적 부식 저항성 실험은 시편과 직접 반응하는 염소이온과의 반응성이 이온교환수지보다 아민유도체가 높기 때문으로 판단된다.
- 4) 실제 하수 환경 하의 콘크리트 구조물에서는 다양한 이온의 존재로 인하여 유해이온 반응물질의 성능이 다른 경향을 보일 가능성이 있을 것으로 판단되지만, 본 연구와 같은 제한된 조건에서의 반응물질의 성능 연구를 통하여 실제 환경에서도 부식 저항성을 향상할 수 있는 기술로서의 발전이 가능할 것으로 기대된다.

요 약

본 연구에서는 하수 환경의 콘크리트 구조물(암거, 처리 시설)용 보수재료의 요소기술로서 콘크리트 유해요인

(SO_4^{2-} , Cl^-)을 능동적으로 제어(고정, 반응)하는 아민유도체 및 이온교환수지를 대상으로, 시멘트세공용액을 모사한 수산화칼슘 수용액을 이용하여 이온 크로마토그래피 분석으로 유해요인 흡착성능을 확인하고, Potentiostat으로 철근 부식 저항성을 평가하였다. 실험결과, 아민유도체는 염소이온의 흡착, 이온교환수지는 황산이온의 흡착에 우수한 것으로 확인되었으며, 하수시설환경을 모사한 수용액에서 두 소재의 적절한 조합으로 부식 저항성을 증가시킬 수 있는 것을 확인하였다.

키워드 : 아민유도체, 이온교환수지, 콘크리트 하수시설

Acknowledgement

This research was supported by the research grant from (18CTAP-C130223-02) through the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

References

1. Ahn JW, CHO JH, Lee SH, Kim NY, Myung GM, Strengthening public-private partnership for infrastructure asset management, Sejong(Korea): korea research institute for human settlements; 2017, p. 14-7.
2. Oh KC, Ryu KJ, Bae TH, Kim DH, Bae JJ, Inspection of chemical attacked sewage concrete structures, Magazine of the Korea Concrete Institute, 2006 Mar;18(2):22-6.
3. Hong SI, Im JY, Gil KI, Improvement of strength and prevention of twist strain in sewer pipe using glass fiber and twist prevention band, Journal of Wetlands Research, 2017 Feb;19(1):63-8.
4. Ryu HS, Kim SY, Kim SK, Lee HS, A study on the anti-corrosion properties of organic and inorganic inhibitor by electrochemical evaluation method in saturated aqueous solution of calcium hydroxide, Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, 2013 Jul;10(18):66-74.
5. Ormellese M, Berra M, Olzoni F, Pastore T, Corrosion inhibitors for chlorides induced corrosion in reinforced concrete structures, Cement and Concrete Research, 2006 Feb;36(10):536-47.
6. Maeder U, A new class of corrosion inhibitors for reinforced concrete, ACI Special Publication, 1996 Jan;163:215-32.

7. Ryu HS, Shin SH, Lee HS, An experimental study on the resistance to penetration of harmful ions in surface coatings material containing organic corrosion inhibitor, *Journal of the Korea Institute Building and Construction*, 2017 Apr;17(2):157–66.
8. Park CG, Kim HS, Lee JM, Applicability evaluation of the wastewater treatment system using magnetic ion exchange resin in the existing wastewater treatment plant, *International journal of fluid machinery and systems*, 2014 Apr;17(2):35–40.
9. Shin GW, Kang YH, Ahn JW, Hyeon SG, Recovery of tin from waste tin plating solution by ion exchange resin, *Journal of Korean Institute of Resources Recycling*, 2015 Jun;24(3):51–8.
10. Lee SG, Chae HJ, Yoo JW, Kim EY, Pretreatment of feedstock by ion exchange resin catalyst in biodiesel process, *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 2006 Jan;21(1):68–71.
11. Lee DJ, Park JS, Application of capacitive deionization packed ion exchange resins in two flow channels, *Journal of Electrochemical Science and Technology*, 2015 Feb;18(1):24–30.
12. Kim MS, Park JW, Reversible, solid state capture of carbon dioxide by hydroxylated amines, *Chemistry Communications*, 2010 Oct;46(10):2507–9.
13. Rezaei F, Rownaghi AA, Monjezi S, Lively RP, Jones CW, SO_x/NO_x Removal from Flue Gas Streams by Solid Adsorbents: A Review of Current Challenges and Future Directions, *Energy Fuels*, 2015 Aug;29(9):5467–86.
14. Saremi M, Mahallati E, A study on chloride-induced depassivation of mild steel in simulated concrete pore solution, *Cement and Concrete Research*, 2002 Dec;32(12):1915–21.
15. Bohni H, Uhlig HH, Environmental factors affecting the critical pitting potential of aluminium, *Journal of The Electrochemical Society*, 1969 Jan;116(7):906–10.
16. Walter GW, A review of impedance plot methods used for corrosion performance analysis of painted metals, *Corrosion Science*, 1986 Apr;26(9):681–703.