

염해환경에서 외부전원법에 의한 지오폐리머 시험체 보강철근의 방식특성 평가

Anti-Corrosion Property of Geopolymer Evaluated by an Impressed Current Cathodic Protection Method, Exposed to Marine Environment

이 해 승 조 규 환 박 동 천*
Lee, Hae-Seung Cho, Ggu-Hwan Park, Dong-Cheon*

*Department of Architecture and Ocean Space, College of Ocean Science and Technology, Korea and Ocean
University, YoungDo-Gu, Busan, 606-791, Korea*

Abstract

There are many literatures reporting that the service life of re-bars in concrete structures is reduced in the oceanic environment due to chloride attack. To solve this problem, this study used geo-polymer as a mix material for concrete to increase its resistance to salt damage, and the external voltage method, one of the electric methods, is was applied to evaluate the likelihood of re-bars in the oceanic structure being exposed to the extreme salt environment. The items evaluated include the natural potential of re-bars and the corrosion rate. The results of the tests showed that in all of the salt environmental conditions (submerged zone, tidal zone, and crack), the tested materials were remarkably effective compared with ordinary concrete. The corrosion protective property was found not only in the evaluation of the natural potential but also in the evaluation of the corrosion rate, suggesting that the external voltage method can be used stably for geo-polymer RC structures in an extreme salt environment.

Keywords : cathodic protection, impressed current cathodic protection, geopolymer concrete, half-cell method, corrosion rate

1. 서 론

염화물이온은 RC구조물의 보강철근을 부식, 팽창시켜 결과적으로 피복콘크리트의 균열을 발생[1,2]시키며 이를 RC구조물의 염해라고 한다. 대처방안으로서 혼화재로써 플라이애쉬 및 고로슬래그를 치환한 콘크리트의 경우 부식성 이온의 전이가 어려워 염해 저항성이 높은 것[3,4]으로 알려져 있어 염해 저항성이 높은 고로슬래그를 기반으로 하고 있는 지오폐리머[5,6]는 국내외에서 크게 각광 받고 있

다. 또 다른 방안으로 보강철근에 부식이 발생하면 건전부(Cathode)와 결합부(Anode)사이에서 전위차가 발생하여 이를 기전력으로 부식이 진행하는데 전원장치(외부전원)와 양극시스템을 적용하여 적절한 방식전류를 공급하는 외부전원법[1,2,7,8,9]을 적용하고 있다. 하지만 현재 국내의 전기방식에 관한 연구들은 대부분 보통 콘크리트에 이를 적용하고 있으며 지오폐리머에 대해 적용한 사례는 전무한 실정이라 혼화재 과다 치환의 경우 내방식성에 대한 정확한 정보가 부족한 상황이다.

이에 본 연구에서는 지오폐리머를 대상으로 외부전원법의 적용가능성에 대하여 일련의 실험을 통하여 검증하고 정량적 효과를 측정하여 보통 콘크리트와 비교 평가하였다.

Received : July 8, 2014

Revision received : August 28, 2014

Accepted : August 28, 2014

* Corresponding author : Park, Dong-Cheon

[Tel: +82-10-5533-9443, E-mail: dcpark@komu.ac.kr]

©2014 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

2. 철근부식과 방식

철근 부식을 방지하기 위한 방법으로 음극방식기법이 해양 구조물에 많이 사용되고 있다. 문한영, 이상국 등의 연구 결과[2,7]를 살펴보면 음극방식은 피방식체인 철근에 방식전류를 공급함으로써 부식 반응을 억제하는 효과적인 방식법으로 해양구조물은 물론 선박과 항만시설 등까지 널리 적용되고 있다. 문홍식은 해양, 항만환경에 대해 여러 방식기법(철근 방청제, 음극방식기법, 피복두께에 의한 방식성능)을 비교 분석하여 음극방식기법이 적절한 기법임을 평가[8]하였다. 음극방식기법은 방식전류의 작용매개체의 차이에 의해 크게 외부전원법과 희생양극법으로 분류된다. 특히 외부전원법은 불용성 양극을 사용함으로써 시스템의 수명이 길며 지속적으로 모니터링이 가능하여 사용이 증가하고 있다.

이광수에 따르면 해외에서는 철근 부식 방지 대책으로 음극방식법 이외에 부식성 물질이 피복 콘크리트 중으로 침입, 확산하는 것을 방지하는 방법과 부식성 물질이 철근 Table면에 도달하는 것을 방지하는 방법이 주로 사용된다고 기술[10]하였다. 해외에서는 대표적인 부식성 물질인 염소 이온의 침투 및 확산을 방지하기 위한 방법으로 지오폐리머라는 알칼리 활성 콘크리트의 연구가 진행됐으며 해안 지역 등에서 도로, 다리과 같은 사회기반시설건설에 활용되고 있다. 지오폐리머는 염소 이온과 같은 부식성 이온의 전이가 매우 어려워 철근의 보호성능이 우수하여 해양구조물의 보수, 보강공사에 활용[5]되고 있으며 CO₂의 발생량이 적은 친환경 재료[6]로써 앞으로 국내에서도 저탄소 기조에 발맞추어 적극적으로 연구되고 상용화될 것으로 예상된다.

2.1 외부전원법

외부전원법은 방식전류를 외부전원장치에서 철근으로 공급하는 음극방식법이다. Figure 1은 외부전원법의 원리를 나타낸 것이다. 철근을 외부전원장치의 (-)극과 연결하고 (-)극에서 (+)극으로 방식전류를 통전하기 위한 직류전원을 얻기 위해 직류를 교류로 바꿔주는 정류기를 설치하는데 이를 양극과 함께 (+)극에 연결하여 회로를 형성[11]한다.

양극에서는 산화반응을 통해 전자를 방출하여 음극의 산화반응을 억제하는 역할을 하며, 장기적으로 안정된 전류를 공급해야 하므로 소모성이 적은 금속이나 특수 표면처리된 금속을 사용해야 한다. 주로 티타늄, 나이오븀 또는 아크

용사 코팅된 티타늄 등이 많이 사용된다. 또한 구조물의 구조와 방식전류의 분포에 따라 리본형, 메쉬형, 분리형 등 다양한 형태의 양극이 적용된다.

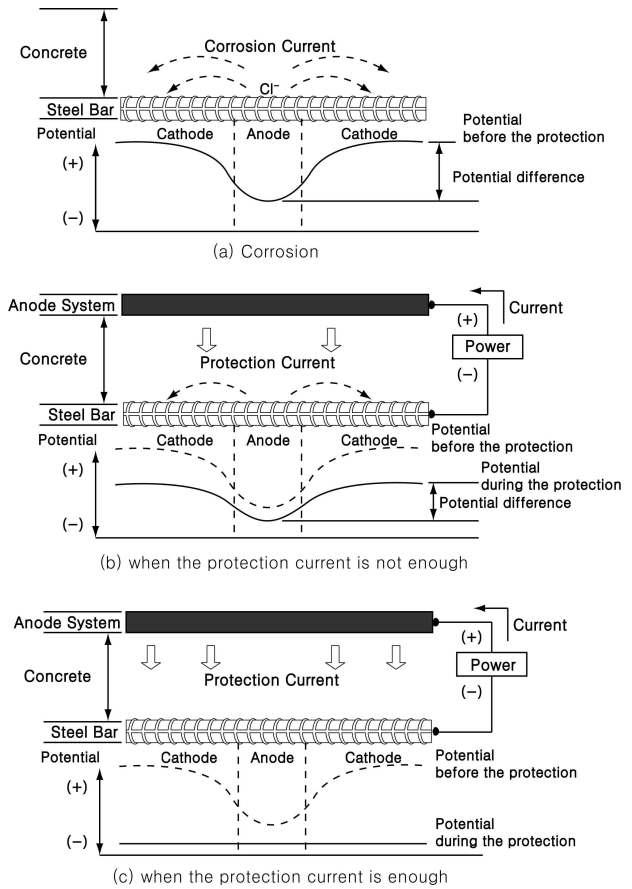


Figure 1. Principle of the cathodic protection by anode

2.2 지오폐리머

포틀랜드 시멘트의 1톤 제조 시 소성 과정에서 대기 중에 약 1톤의 CO₂가 발생하며 전 세계 CO₂ 방출량의 약 5%를 구성[13]한다. CO₂ 발생에 따른 지구온난화를 막기 위해 소성 과정을 도입하지 않은 새로운 개념의 비소성 무기계 바인더의 개발이 진행되고 있고 현재 비소성 무기계 바인더의 역할을 수행할 수 있는 물질로는 플라이애시, 슬래그 등과 천연원료인 점토, 카올린 등이 있다[14].

해양환경에 접하고 있는 해양구조물의 내구성 설계에서 내황산염 시멘트 등의 사용을 권장하고 있지만, 앞에서 언급하였듯이 비소성 바인더를 이용한 지오폐리머를 사용하여 지구온난화를 막기 위한 방안이 더욱 적극적 방법으로 강조되고 있다. 기존 연구로서 송진규 등은 고로슬래그 기

반 알칼리 활성 콘크리트의 공극분포가 염해 저항성에 미치는 영향에 대해 연구[16]하였고, 최두선 등은 고로슬래그 미분말을 사용할 경우 염소 이온의 투과성이 낮아지고 고로슬래그를 다량 치환할 경우 염해에 대한 저항성이 우수[17]해진다고 분석하였다. 또한 최순석 등은 플라이애시의 혼입량이 증가할수록 염소 이온의 확산계수가 낮아진다고 분석[18]하였다.

3. 실험방법

3.1 실험조건 및 변수

Figure 2는 극한 염해환경에 노출된 상황을 가정하여 제작된 시험체의 개요도를 나타낸 것이다. 간만대의 경우 해수를 이용한 해수침지를 시험체에 적용하였다. 해수를 3일간 공급하고 용액을 제거한 다음 4일간 해수 없이 노출시켜 건조하는 과정을 1주기로 하는 해수침지를 실시하였다. 침지대의 경우 철근 부근까지 염화물이온이 확산된 상태로 가정하여, 시험체 제작 시 배합수를 해수로 사용하였다. 그리고 균열의 경우 균열의 발생으로 해수가 균열부 근방으로 침투된 상태로 가정하고 시험체 일부분(길이 12cm, 깊이 5cm)을 해수로 배합하여 시험체를 제작하였다.

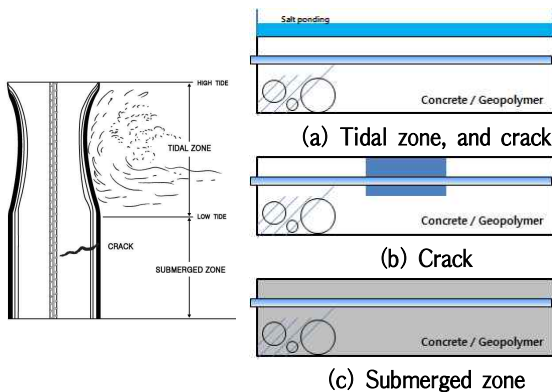


Figure 2. Extreme salt environment

3.2 시험체 제작

3.2.1 사용재료

본 실험에서 제작한 일반 콘크리트 시험체는 KS L 5201의 규정에 적합한 비표면적이 3,130 cm²/g인 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. Table 1에 콘크리트 배합

설계를, Table 2에 고로슬래그 화학성분을 나타내었다. Table 3은 31 MPa 설계기준 강도로 제작한 콘크리트 시험체의 배합을 나타낸 것이다.

한편 본 실험에 사용된 지오폴리머는 고로슬래그 기반이며, 알칼리 활성제는 수산화나트륨 3%와 황산나트륨 4%를 사용하였고 화학적 조성은 Table 2에 기술하였다. Table 3에 31 MPa 설계기준 강도로 제작된 지오폴리머 콘크리트 시험체 배합을 나타내었다. 양생은 20℃, 상대습도 60%에서 실시하였다. 철근은 D13을 사용하였으며 표면의 방청처리 및 부동태 피막은 샌드페이퍼 No.600 과 아세톤으로 제거하여 실험 중에 발청이 가능하도록 도모하였다. 주기적으로 자연건위 측정을 위하여 전선을 납땜하여 콘크리트 및 지오폴리머 속에 매설하였다.

방식전류를 공급할 양극재 티타늄 매쉬는 ASTM 265에 규정된 1등급의 견고한 티타늄 기체에 소결시킨 산화 귀금속 촉매로 구성되었으며 본 실험에서는 LIDA CN-25 티타늄 매쉬를 사용하였다. Figure 3에 티타늄 매쉬를 Table 4에 물성값을 나타내었다.

Table 1. Concrete mixing design

G _{max} (mm)	Slump (mm)	W/C (%)	S/a (%)	Unit Volume(kg/m ³)			AE water reducing agent(g/m ³)
				C	S	G	
15	160±20	51	38.8	339.1	691.7	1,071.2	102.3

Table 2. Chemical composition of blaster furnace slag

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Blaine(cm ² /g)
31.57	13.58	43.26	0.38	4.86	4.53	0.41	4300

Table 3. Geo-Polymer mixing design

W	Unit Volume(kg/m ³)			AE water reducing agent(g/m ³)
	B	S	G	
180	450	707	980	135

Table 4. The property of titanium mesh

Size (mm)	Thickness (mm)	Max current density in concrete (mA/m ²)	Max current density in rebar (mA/m ²)	Electric resistance (Ω/m)
40×19	2	40	110	0.011

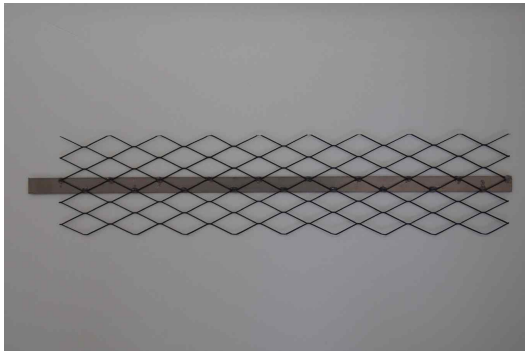


Figure 3. Titanium mesh used as cathode materials

3.2.2 시험체 제작

본 연구의 실험을 위해 제작된 시험체 재료구성 및 치수를 Figure 4에 나타내었다. 시험체의 전체 크기는 100×100×380 mm이며 철근(음극)은 깊이 30 mm에 매립하고 그 위 20 mm 이격시켜 양극재를 설치하였다. 양극재 보호를 위해 10 mm의 피복을 두었다. 외부전원법을 적용하지 않은 경우에 대해서도 동일 치수의 시험체를 제작하였다. 시험체는 타설 후 28일간 수중양생을 실시하였고 외부 환경에 노출되는 상부면을 제외하고는 에폭시 코팅을 도포하여 수분의 출입을 차단하였다. Table 5은 극한 염해환경에 노출된 상황을 가정하여 각각 제작된 시험체의 기호를 나타낸 것이다.

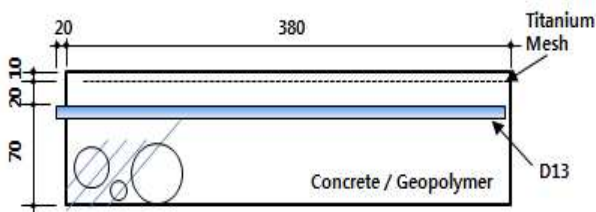


Figure 4. The detail of specimen size

Table 5. Code of test conditions
(Concrete(C), Geo polymer(G))

	No Applying Cathodic protection by power-impressed methods (N)	Applying Cathodic protection by power-impressed methods (I)	Applying Cathodic protection by power-impressed methods after corrosion (AI)
tidal zone(T)	C/G-T-N	C/G-T-I	C/G-T-AI
submerged zone(S)	C/G-S-N	C/G-S-I	C/G-S-AI
Crack(C)	C/G-C-N	C/G-C-I	C/G-C-AI

Figure 5에 시험체에 연결된 외부전원 회로도를 나타내었다. 정전압 직류전원 공급장치를 이용하였으며 외부전원의 (-)극을 철근에 (+)극을 티타늄 메쉬에 연결하여 철근으로 전류가 흐르게 하였다. 방식대상 시험체에 1V 미만의 미소 직류전압을 가하고 각각의 시험체에 적절한 방식전류 공급이 가능하도록 가변저항을 연결하였다. 건습반복의 가혹한 축진환경을 고려하여 50mA/m²의 방식전류 밀도로 공급하였다.

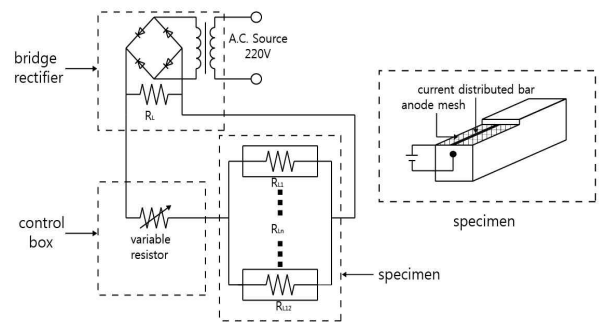


Figure 5. Electrical network diagram from AC power to specimen



Figure 6. Accelerated corrosion test

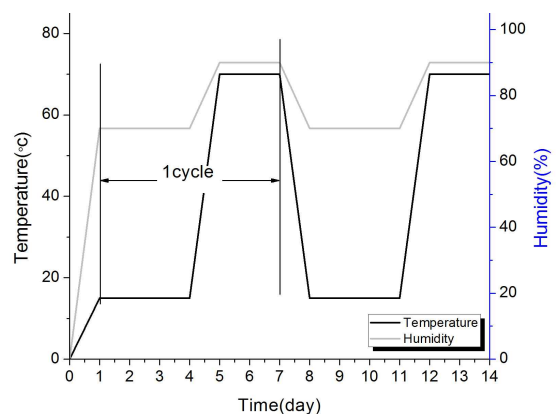


Figure 7. Cycle condition of accelerated aorrosion test

3.3 촉진 부식환경

시험체 속의 원형 철근의 부식을 촉진은 철근 콘크리트의 촉진 부식 시험방법(KS F 2599-2)에 준하여 실시하였다. Figure 6은 건습환경의 반복을 조절하기 위해 항온항습챔버를 사용하여 촉진 부식을 실시하고 있는 사진이다. Figure 7은 촉진 부식의 온도 습도 조건 사이클을 나타낸 것이다.

3.4 측정방법

자연전위 측정은 ASTM C876-91 규정에 따라서 측정 평가하였다. 시험체의 측정위치는 철근길이 방향에 따라 8부분의 전위차를 측정하였다.

4. 실험결과

4.1 콘크리트 및 지오폴리머 기초물성

슬럼프 측정은 KS F 2402, 공기량 측정은 KS F 2421에 준하여 실시하였다. Table 6는 굳지 않은 콘크리트의 실험 결과이며, 슬럼프는 목표 슬럼프인 160 ± 20 mm를 만족하는 것으로 나타났고, 공기량 또한 목표값 4.5 ± 1.5 %를 만족하였다. 지오폴리머 및 보통 콘크리트의 압축강도 실험은 KS F 2405에 따라 측정하였으며, Figure 9에 재령별 압축강도를 나타내었다. 지오폴리머는 재령 28일에서 목표 압축강도에 도달하지 못하였으나 49일의 재령에서는 목표 압축강도를만족하였다.

Table 6. Test results of slump and air volume

	Slump Value(mm)	Air Volume(%)
Concrete(C)	160	4.5
Geo-polymer(G)	155	4.2

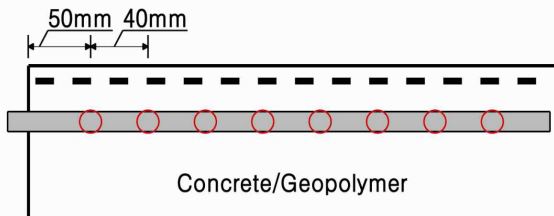


Figure 8. Measurement gap by half-cell method

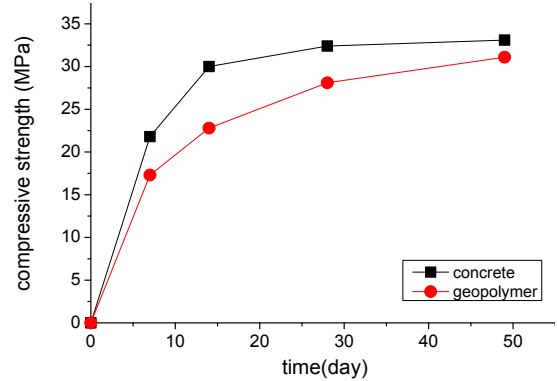


Figure 9. Compressive strength

4.2 방식성능 평가

4.2.1 자연전위 측정

Figure 10에 간만대 환경을 가정한 콘크리트와 지오폴리머 시험체에 외부전원법을 적용한 후 자연전위차를 측정하여 나타내었다. 외부전원법을 적용하지 않은 콘크리트(C-T-N)는 28일 시점으로 -350 mV이하의 값이 측정되어 부식이 발생한 것으로 판단된다. 부식 후 외부전원법을 적용한 콘크리트(C-T-AI)는 -356 mV~ -410 mV의 자연전위차가 측정되었고 이는 부식의 진행이 느려지는 것으로 추정된다. 시험체 제작 이후 즉시 외부전원법을 적용한 콘크리트(C-T-I)는 -144 mV~ -251 mV로 매우 안정된 값을 유지하며 어떤 환경조건에서도 부식이 진행되지 않음을 확인하였다.

외부전원법을 적용하지 않은 지오폴리머(G-T-N)와 적용한 지오폴리머(G-T-I)는 부식 영역에 속하지 않는 -200 mV~ -350 mV의 값이 측정되었다. 이와 같은 결과는 지오폴리머가 일반 콘크리트보다 염화물이온과 같은 부식성 열화 이온의 확산이 어려워 철근까지 도달하지 않은 것에 기인한 것으로 판단된다. 부식 후 외부전원법을 적용한 지오폴리머(G-T-AI)는 42일 시점으로 부식 영역의 값이 측정되었으며 이후 -359 mV~ -409 mV의 자연전위차를 보이며 부식의 진행이 느려지는 것을 확인하였다. 이 결과는 부식 후 외부전원법을 적용한 콘크리트(C-T-AI)의 결과와 유사하다.

Figure 11에 침지대 환경을 가정한 콘크리트와 지오폴리머 시험체의 자연전위차를 나타내었다. 외부전원법을 적용한 콘크리트(C-S-I)와 지오폴리머(G-S-I) 모두 -200 mV~ -350 mV의 부식을 일으키지 않는 범위에 들어있는 것으

로 관찰되었다. 외부전원법을 적용하지 않은 콘크리트(C-S-N)는 28일 시점으로 부식 영역에 들어 간 것으로 관찰되었으며, 부식 후 외부전원법을 적용한 콘크리트(C-S-AI)는 $-409\text{mV} \sim -435\text{mV}$ 의 값이 측정되었다.

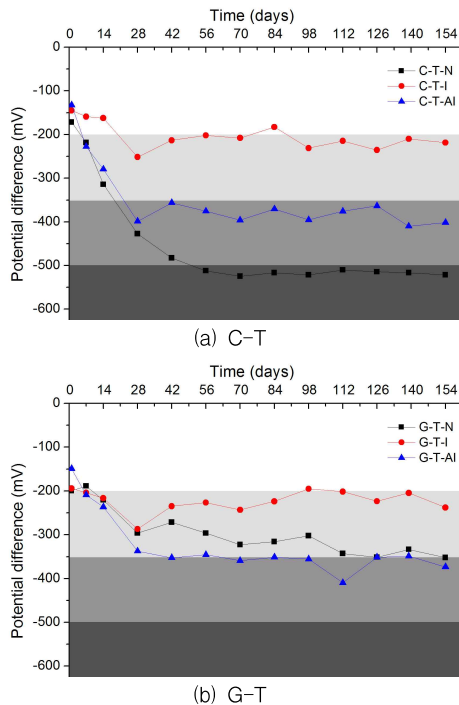


Figure 10. Self potential under the tidal zone

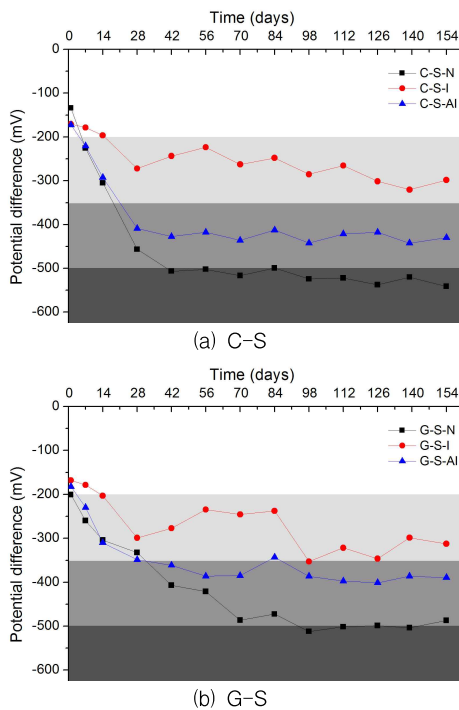


Figure 11. Self potential under the submerged zone

Figure 12에 균열 환경을 가정한 콘크리트와 지오폴리머 시험체의 자연전위차를 나타내었다. 외부전원법을 적용한 콘크리트(C-C-I) 및 지오폴리머(G-C-I) 모두 촉진 열화시험의 종료까지 $-200\text{mV} \sim -350\text{mV}$ 의 안정된 값을 유지하며 부식이 되지 않음을 확인하였다. 외부전원법을 적용하지 않은 시험체(C-C-N, G-C-N)의 경우 콘크리트와 지오폴리머 모두 촉진 열화 28일 시점으로 부식이 판단되는 영역의 값이 측정되었다. 부식 후 외부전원법을 적용한 시험체(C-C-AI, G-C-AI)의 자연전위차는 침지대 환경을 모의한 시험체(C-S-AI, G-S-AI)와 비슷한 경향을 나타내었다.

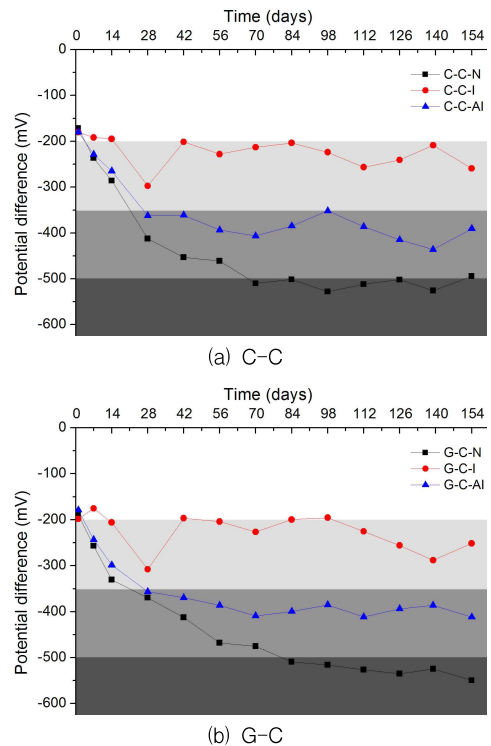


Figure 12. Self potential under crack condition

4.2.2 철근 부식률

철근 부식률은 촉진 열화시험 종료 후 시험체 내부의 철근을 빼낸 뒤 철근의 부식면적과 부식질량을 측정하여 철근 부식 면적률 및 철근 부식률을 각각 측정하였다. Figure 13에 철근 부식 면적률 결과값을 나타내었다. 간만대를 가정한 외부전원법을 적용하지 않은 콘크리트(C-T-N)의 철근 부식 면적률은 97.7%가 측정되었으며, 같은 조건의 지오폴리머(G-T-N)는 5.3%의 값이 나타났다. 두 결과값의 차는 92.4%로 다른 조건의 시험체에 비해 현저히 크게 나타났으

며 이는 지오폐리머의 염해 저항성이 콘크리트보다 탁월히 우수하여 방청성이 강하다는 것을 보여준다고 사료된다. 침지대와 균열을 가정한 시험체의 경우 전반적으로 지오폐리머의 철근 부식 면적률이 콘크리트보다 작은 값을 나타내었다. 그리고 각각의 환경에서 외부전원법을 적용하지 않은 콘크리트 시험체는 97.7%(C-T-N), 89.8%(C-S-N), 72.1%(C-C-N)가 나왔고 외부전원법을 적용한 콘크리트는 33.4%(C-T-I), 48.1%(C-S-I), 9.6%(C-C-I)가 측정되었으며 외부전원법을 적용하지 않은 지오폐리머는 5.3%(G-T-N), 87.2%(G-S-N), 50.0%(G-C-N)가 외부전원법을 적용한 콘크리트의 경우 4.7%(G-T-I), 38.2%(G-S-I), 7.4%(G-C-I)가 측정되었다. 이러한 결과를 통해 외부전원법을 적용하지 않은 시험체의 경우 전반적으로 외부전원법을 적용한 시험체보다 철근 부식 면적률이 크게 나타났으며 외부전원법을 통해 철근의 부식 진행을 방지하고 있다는 것을 보여주고 있다.

Figure 14에 철근 부식률을 측정하여 그 결과 값을 나타내었다. 간만대를 가정한 외부전원법을 적용하지 않은 콘크리트(C-T-N)의 철근 부식률은 0.46%가 측정되었으며 외부전원법을 적용하지 않은 지오폐리머(G-T-N)는 0.07%의 값이 나타났다. 이 두 결과값의 차는 0.39%로 다른 조건의 시험체에 비해 현저히 크게 나타났으며 이는 지오폐리머의 염해 저항성으로 인한 것으로 사료된다. 각각의 환경에서 외부전원법을 적용하지 않은 콘크리트는 0.46%(C-T-N), 0.41%(C-S-N), 0.27%(C-C-N)가 나왔으며 외부전원법을 적용한 콘크리트는 0.18%(C-T-I), 0.19%(C-S-I), 0.11%(C-C-I)가 측정되었다. 그리고 외부전원법을 적용하지 않은 지오폐리머는 0.07%(G-T-N), 0.37%(G-S-N), 0.22%(G-C-N)가 나왔으며 외부전원법을 적용한 지오폐리머의 경우 0.08%(G-T-I), 0.24%(G-S-I), 0.05%(G-C-I)가 측정되었다. 이러한 결과를 통해 외부전원법을 적용하지 않은 시험체의 경우 전반적으로 외부전원법을 적용한 시험체보다 철근 부식률이 크게 나타났다. 이는 외부전원법을 통해 철근의 부식 진행을 방지하고 있는 것을 보여주고 있다.

침지대 환경에서 콘크리트 시험체의 철근 부식 면적률이 지오폐리머 시험체보다 큰 결과(Figure 13 참조)를 보이지만, 부식률에서는 외부전원법을 적용한 지오폐리머와 부식 후 외부전원법을 적용한 지오폐리머가 콘크리트의 부식률보다 더 크게 측정되는 것(Figure 14 참조)을 알 수 있다. 이는 간만대 환경에 있어 외부전원법을 적용한 지오폐리머

에서 다소 국부(공식) 부식 현상이 발생하였기 때문인 것으로 사료된다.

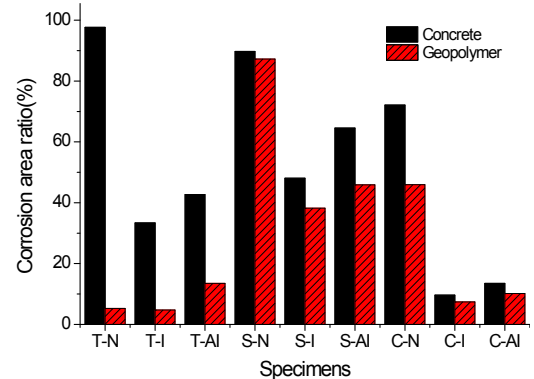


Figure 13. Corrosion area ratio of reinforced steel bar

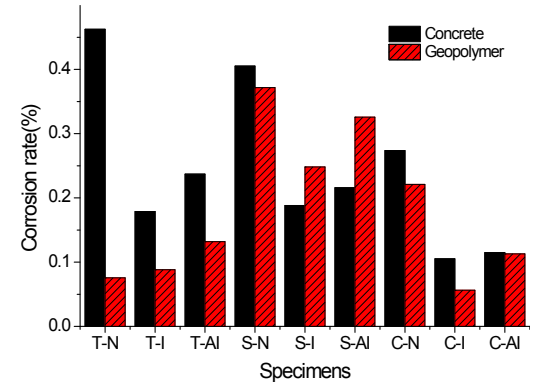


Figure 14. Corrosion ratio of reinforced steel bar

5. 결 론

본 연구에서는 극한 부식환경을 상정하여 지오폐리머와 보통시멘트 콘크리트 시험체를 제작한 후 전기방식(외부전원법)을 적용하여 시험체(콘크리트, 지오폐리머) 속 보강철근의 방식특성을 평가하였다. 보강철근의 자연전위차 측정과 부식 상태의 관찰을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 콘크리트와 지오폐리머 시험체에 외부전원법을 적용하였을 경우, 세 가지 환경조건(간만대, 침지대, 균열) 모두에서 방식효과가 나타났으며 이를 바탕으로 외부전원법이 지오폐리머를 사용한 구조물에도 안정적으로 적용 가능하다고 판단된다.
- 2) 자연전위차 및 부식 면적률, 부식률 측정결과를 통해 간만대 환경조건에서는 지오폐리머의 염해 저항성을

바탕으로 보강철근의 방식성능이 일반 콘크리트보다 우수한 것을 확인하였다.

- 3) 염해에 의해 시험체 내부의 철근 부식이 진행된 이후에 외부전원법을 적용하였을 경우, 철근의 부식 진행이 느려지거나 멈추는 경향이 나타났으며 이를 통해 철근의 부식 생성물 발생한 이후에도 외부전원법의 적용이 가능하다고 판단된다.
- 4) Half-Cell을 이용한 자연전위차 측정법은 정성적인 평가법으로 철근의 부식 생성물 발생 여부에 대해서 측정할 수 있으나 철근의 국부적인 전위차 측정에서 측정구간설정을 세밀하게 할 경우 중간적인 전위영역의 불확실함은 극복할 수 없을 것으로 판단된다. 따라서 분극저항법(Linear Polarization Method)과 같은 정량적인 평가법을 이용하여 철근의 국부전위차를 측정한 부식도 측정이 필요할 것으로 판단된다.

이상의 결과로부터 지오폴리머 콘크리트에 대한 외부전원법 적용은 다양한 열화 조건 및 외부환경에 노출되는 해양 철근 콘크리트 구조물의 방식기법으로 그 사용성이 적합하다고 판단된다.

요 약

극한 염해환경에서 철근보강 지오폴리머 시험체의 외부전원법 전기방식 특성을 평가를 위하여 일련의 촉진실험을 실시하였다. 동시에 같은 조건의 보통 시멘트 콘크리트도 제조하여 비교 검토하였다. 환경조건은 침지대, 간만대, 그리고 크랙을 상정하였다. 지오폴리머는 밀실한 재료적 특성에 기인한 열화인자 침투 저항 증대에 의해 자연전위 뿐만 아니라 촉진 종료 후의 부식면적에서도 상당히 우수한 방식 성능이 있는 것으로 밝혀졌으며 향후 제작 양생 등의 문제를 개선함으로써 해양구조물로서의 활용이 다양해질 것으로 기대된다.

키워드 : 전기방식, 외부전원법, 지오폴리머 콘크리트, 자연전위 측정, 부식률

Acknowledgement

This work was supported by the National Research

Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MEST) (No. NRF-2013-0014286)

This research was supported by Korea Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs through grant F02 of Construction Technology Innovation Program.

References

1. Kim SS, Study on the Deterioration of Concrete and the Corrosion and Protection of Reinforcing Steel in Concrete under the Seawater Environment [master's thesis]. [Seoul Korea]: Hanyang University; 1994. 175 p.
2. Moon HY, Kim SS, Kim SH, Effect of Impressed Current System for Corrosion Protection of Rebars in Concrete, Journal of the Korea Concrete Institute, 1999 October 31;11(2):221-30.
3. Lee JH, Lee JB, Kim SS, Uhm SH, Furnace Slag and Fly Ash in Concrete Utilizing Study on Salt Resistance, Journal of Korea Recycled Construction Resource Institute, 2013 November 30;13(22):164-6.
4. Sin KS, Kim GY, Lee BG, Cho BS, Lee HH, Evaluation on the Salt damage Resistance of Concrete using Blast-furnace Slag, Journal of Korea Recycled Construction Resource Institute, 2012 November 30;12(2):44-6.
5. Song JK, Yang JH, Trends of Geopolymer Concrete Development, Journal of Architectural Institute of Korea, 2010 February 18;54(2):26-9.
6. Lee KP, Do YS, Lee SS, Song HY, A Study on Optimum Mixing Derivation of the Environment-Friendly High Performance Geopolymer Paste, Journal of The Korea Institute of Building Construction, 2009 November;9(2):107-11.
7. Lee SG, The Study on the Anti-Corrosive Methods of Reinforced Concrete Exposed to Salt damage Environment [master's thesis]. [Seoul Korea]: Chung-Ang University; 2002. 68 p.
8. Moon HS, Research of Corrosion Protection System for Reinforced Concrete Steel Exposed to Chloride Environments [master's thesis]. [Seoul Korea]: Chung-Ang University; 2001. 73 p.
9. Kim EG, Sin CB, Cho WI, Lee YH, An Experimental Study on the Transport of Chloride Ions and the Corrosion of Reinforcing Steel in Coastal Concrete Structures, Journal of Korean Society of Civil Engineers, 1998 July 31;18(1-4):447-55.
10. LEE GS, Chloride Attack Protection Cases of Reinforced Concrete Structures in Foreign Countries, Journal of the Korea Institute

-
- for Structural Maintenance Inspection, 2000 July 31;4(3):30-8.
11. Bennet J, Turk T. Criteria for the Cathodic Protection of Reinforced Concrete Bridge Elements, SHRP-S-359, SHRP, US, 1994; 3-14.
 12. Jung JA, Corrosion and Cathodic Protection Monitoring of Reinforced Concrete Structure [Doctorate thesis]. [Busan Korea]: Busan University; 2013. 162 p.
 13. Kwon TS, Effects of Alkali-Activators on Compressive Strength of Blast Furnace Slag Concrete [master's thesis]. [Seoul Korea]: HanYang University; 2002. 51 p.
 14. LEE JG, Choo YS, Jung SJ. Status and Prospect of Geopolymer. The Korean Journal of Ceramics, 2006 June 30;9(3):44-9.
 15. Kim CM, A Study on the Ways of Practically using Geopolymer Concrete [master's thesis]. [Jeon Nam Korea]: Jeon Nam University; 2009. 45 p.
 16. Song JG, Yang GH, Kim GW, Kim BJ. Properties of Sodium Alkali-Activated Ground Granulated Blast-Furnace Slag(GGBS) Mortar. Journal of Architectural Institute of Korea, 2010 June 30;26(6):61-8.
 17. Choi DS. Characteristics of Chloride Ion Diffusion in Concrete Containing GGBS [master's thesis]. [Seoul Korea]: Hang Yang Univsity; 2001. 56 p.
 18. Choi SS. The Property of Chloride Ion Migration in Concrete According to Method of Fly-Ash Mixtures [master's thesis]. [Busan Korea]: Dong-Eui University; 2012. 82 p.