

## 철근콘크리트용 ICCP 양극의 종류별 음극방식 특성

정진아

한국해양대학교, 부산시 영도구 동삼동 1번지 606-791  
(2012년 4월 23일 접수, 2012년 6월 27일 수정, 2012년 6월 27일 채택)

### Characteristics of Cathodic Protection with ICCP Anode in Reinforced Concrete

Jin-A Jeong

Korea Maritime University, 1 Dongsam-dong, Youngdo-ku, Busan city, 606-791  
(Received April 23, 2012; Revised June 27, 2012; Accepted June 27, 2012)

This paper presents the results of a study of the effectiveness of cathodic protection with insoluble ICCP anode in reinforced concrete structures. Experimental tests were carried out on reinforced concrete specimens with 3 different commercial anodes for ICCP system in order to compare the effectiveness of cathodic protection. Results have shown that the kinds of anode for ICCP is irrelevant to the effectiveness of cathodic protection, In case of ICCP, the performance of cathodic protection has no relationship to the kinds of anode especially in concrete specimens with sea water condition. It has been found slightly more effective at Ti-Rod anode in fresh water condition and Ti-Mesh anode in atmospheric condition.

**Keywords** : ICCP, insoluble anode, depolarization, resistivity, reinforced concrete

#### 1. 서론

해양환경에서 철근콘크리트의 부식은 콘크리트 구조물의 내구성에 큰 영향을 미친다. 해양환경은 부식의 주요인자인 산소, 수분, 염분이 풍부하기 때문에 해양 환경에 노출된 교량이나 항만시설은 철근콘크리트의 부식에 가장 취약하다고 할 수 있다.<sup>1)</sup> 그러므로 해양환경에 노출되어 있는 철근콘크리트 구조물은 음극방식을 적용함으로써 부식을 억제할 수 있다. 음극방식은 19세기 초에 소개된 이후로 지중분야, 해양환경에서 강 구조물의 부식방식을 억제하는 기술로 사용되어 왔으며 이미 검증된 방식법의 하나가 되었다.<sup>2),3),4)</sup> 철근 콘크리트 환경에서의 음극방식 기술은 지난 20년 동안 괄목할 만한 발전이 있었으며 최근에는 국내에도 소개되어 적용이 늘어나고 있는 추세이다. 그러나 아직도 불균질인 콘크리트에 음극방식을 적용하는 분야에는 해결해야 할 기술적인 문제들이 많이 남아있다. 일반적으로 음극방식기술은 외부전원법과 희생양극법과 같이 크게 두 종류로 분류된다.<sup>5)</sup> 이 두 방법 중 철근 콘크리트와 같이 불균질이며 비저항이 높은 환경에서는 금속의 이온화 경향 차이로 작용하는 희생양극식 음극방식법보다 시설이나 유지보수 관리의 어려움이 존재함에도 불구하고 외부에 전원장치를 이용하여

강제적으로 직류전류를 공급하는 시스템인 외부전원법을 사용할 수밖에 없다. 외부전원법은 전원장치의 직류전류를 Ti-Mesh, Ti-Rod, Ti-Ribbon과 같은 불용성양극을 통하여 콘크리트 내부의 철근에 공급하여 방식한다.

외부전원법의 경우, 단순히 양극을 설치하여 철근과 전기적인 연결을 하면 방식이 되는 희생양극법과는 달리, 콘크리트 구조물 전체에 균일한 방식이 되도록 하기 위해서는 철근의 배근상태, 콘크리트의 배합비, 수분 함유율, 콘크리트 구조물이 노출되어 있는 환경 등 다양한 인자들에 관한 조사가 이루어져야 한다. 그리고 사용되는 불용성 양극의 종류, 양극의 배치, 양극의 사용량, 설치방법 등 외부전원용 불용성 양극의 상태에 따라 콘크리트에 공급되는 방식전류가 영향을 받게 된다. 이와 같이 철근콘크리트 구조물은 여러 요인에 의해 영향을 받기 때문에 일부에서는 과방식되기도 하고, 다른 일부에서는 미방식되는 구간이 발생하기도 한다.<sup>6),7)</sup>

따라서 본 연구에서는 외부전원법이 설치된 철근콘크리트 구조물의 노출환경 및 양극 특성에 따른 음극방식능을 확인하기 위하여 소형 콘크리트 시험편을 제작하였으며 제작된 소형 콘크리트 시험편에 Ti-Mesh, Ti-Rod, Ti-Ribbon 양극을 이용한 외부전원법을 적용하였다.<sup>8),9),10)</sup>

일반적으로 한 종류의 양극만을 사용하고 있는 외부전원에 의한 기존의 음극방식설비를 탈피하여 노출된 환경 조건에 따라 작업성, 경제성, 방식효과 등을 고려하여 여러 종류

\* Corresponding author: jina@hhu.ac.kr

의 양극을 복합 적용했을 때의 음극방식특성을 조사함으로써 복잡한 콘크리트 구조물의 방식설계를 위한 기초 실험데이터를 확보하고자 하였다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 시험편 제작

지금까지 적용되었던 외부전원법과 같이 한 종류의 양극만을 사용하던 기존 음극방식형태를 벗어나 구조물의 위치별로 설치하기 용이한 형상의 양극을 사용함으로써 작업성을 향상시키는 동시에 음극방식효과도 높일 수 있는 양극을 복합적으로 사용하는 외부전원식 음극방식시스템 개발을 위하여 먼저 소형 시험편에 의한 기초 연구를 하였다. 외부전원법의 경우에는 전원공급용 불용성양극으로 사용되는 양극의 종류나 형태 및 구조물의 노출된 환경에 따라서 음극방식특성이 상이하게 나타난다. 따라서 본 실험에서는 양극의 종류에 따른 음극방식특성을 확인하기 위하여 대표적인 외부전원용 불용성양극인 Ti-Mesh, Ti-Ribbon, Ti-Rod 양극을 소형 시험편용 양극으로 사용하였다. Table 1은 시험환경에 따른 이들 양극 설치 시험편의 종류와 수량을 나타내고 있으며, 총 12개의 소형시험편을 제작하여 공기, 해수, 청수 환경에서 방식특성을 실험하였다.

소형시험편에 사용된 철근은 KS D16(ASTM #5)의 철근을 35 cm 길이로 절단하여 각 시험편별로 2개씩 사용하였고 시험편은 ASTM G109 형식 규격을 참고로 하여 높이 10 cm, 폭 10 cm, 길이 25 cm의 크기로 제작하였으며 콘크리트의 배합은 Table 2와 같이 설계하였다.

Fig. 1은 거푸집을 제거한 후 소형시험편 상부에 수조를 설치한 광경이다. 철근의 전위측정 및 방식설비를 연결하기 위해 두 개의 철근 한쪽 끝단을 드릴링하고 나사를 이용하여 전선을 고정하였다. 시험편 외부는 중앙의 수조를 제외하고

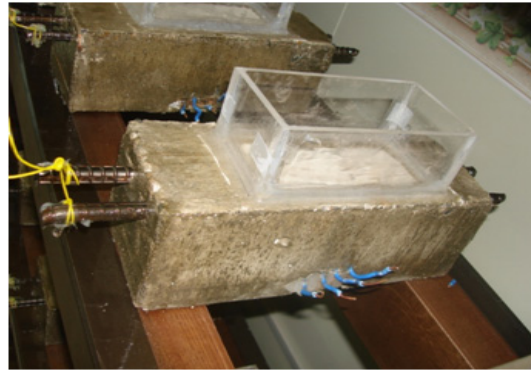


Fig. 1. Appearance of concrete specimens after curing.

에나멜로 표면 코팅을 하여 증발을 억제하면서 시험용액이 철근이 있는 하부방향으로만 흡수되도록 하였다. 실험에 사용된 수용액으로는 청수(수돗물) 및 자연해수를 사용하였으며 시험편 상부 수조의 5 cm 높이로 수위가 유지되도록 하였으며 1주일 간격으로 교환하였다.

Fig. 2는 소형시험편의 음극방식을 위해 사용된 양극의 형상이다. 외부전원용 불용성 양극으로는 10.0 cm X 2.0 cm 크기의 Ti-Ribbon, 9.0 cm X 10Ø의 Ti-Rod, 9.0 cm X 6.5 cm의 Ti-Mesh를 사용하였다.

Fig. 3은 소형시험편의 수조 내부에 음극방식용 양극을 배치하고 몰탈을 주입하기 직전의 모습이다. 양극 역시 각각의 끝단에 전선을 연결하고 전기적인 접촉저항을 최소화하기 위해 납땜처리 하였으며, 연결부위를 예폭시도 밀봉하여 음극방식 전류공급시 연결부를 통한 전류의 흐름이 발생하지 않도록 하였다. 음극방식을 위한 전원장치는 (주)코렐테크놀로지에서 제작한 정밀 전원공급용 CR-1212 Multi-channel Power Supply Unit을 사용하였다. 한 대의 전원장치에는 각각 독립적으로 동작하는 6개의 Channel이 있어 각각 6가지 다른 조건에서 시험편을 동시에 음극방식 할 수 있도록 고안된 것이다.

전원장치의 기능에는 일정 전압 모드(Constant Voltage Mode; CV Mode), 일정 전류 모드(Constant Current Mode; CC Mode), 일정 전위 모드(Constant Potential Mode; CP Mode)의 세 기능이 있었으며, 본 실험에서는

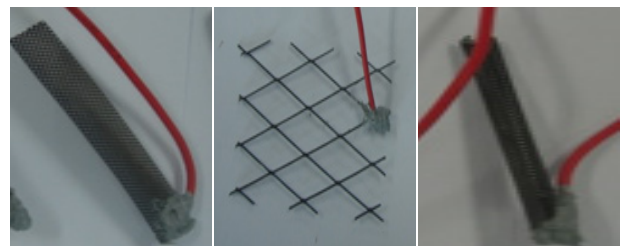
Table 1. Specimen type and experimental condition

Anode	Sea water	Fresh water	Air	Quantity
Ti-Mesh	Ti-MS1, 2	Ti-MS3	Ti-MS4	4
Ti-Ribbon	Ti-RB1, 2	Ti-RB3	Ti-RB4	4
Ti-Rod	Ti-RD1, 2	Ti-RD3	Ti-RD4	4

Table 2. Mixed design for concrete specimens

Gmax	slump	air	W/C	S/a	Weight (kg)			
					W	C	S	GA
9.5mm	10cm	5%	51%	53.3%	210	411	845	752.4

※ Compressive strength of concrete mix design : 210kgf/cm<sup>2</sup>, Gmax : maximum aggregate size, GA : coarse aggregate, S : fine aggregate, W/C : water/cement ratio



(a) Ti-Ribbon (b) Ti-Mesh (c) Ti-Rod

Fig. 2. Preparation of anodes for ICCP.

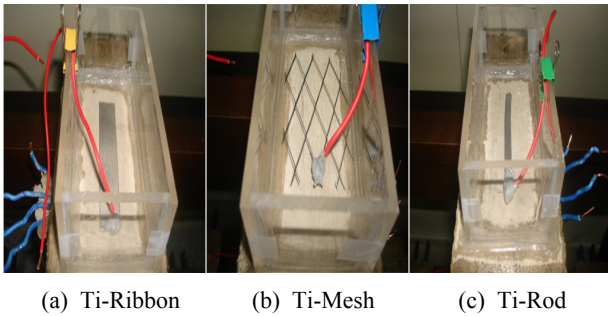


Fig. 3. Installation of anodes in concrete specimens.



Fig. 4. Appearance of concrete specimens with CR-1212 power supply unit.

CV 및 CP Mode를 이용하여 실험하였다. Fig. 4는 전원장치의 입력 및 출력단자에 소형시험편들의 철근과 양극, 기준전극을 연결한 후 음극방식 실험 중인 광경이다.

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 E-log i 측정실험

최적방식전위를 확인하기 위한 시험법인 E-log i 측정실험은 Gamry Instruments사의 Reference 600 Potentiostat을 이용하여 수행하였다. Fig. 5는 소형시험편의 최적방식전위 결정을 위한 E-log i 측정실험결과이다. 철근의 음극분극곡선은 자연 부식전위로부터 전위가 저하하면서 분극되어 전류밀도가 증가하는데 일정 전위에 이르면 전류밀도의 변화량이 감소하여 그래프의 모양이 곡선에서 선형으로 변하는 지점이 확인된다. 이 변곡점에서의 전위 값을 음극방식을 위한 최소 방식전위로 판정한다. 이때의 전류밀도 값은 방식에 필요한 최소전류밀도로 산정한다.<sup>11)</sup> 불용성양극에 의한 외부전원법을 적용한 모든 소형시험편들을 대상으로 E-log i 측정실험을 각각 3회씩 실시하였으며, 음극분극시험은 철근의 자연부식전위를 기준으로 +5 mV부터 -1,000 mV까지 1 mV/sec의 주사속도로 수행하였다. 실험에 사용된 기준전극으로는 염화은(Silver/Silver Chloride)전극이

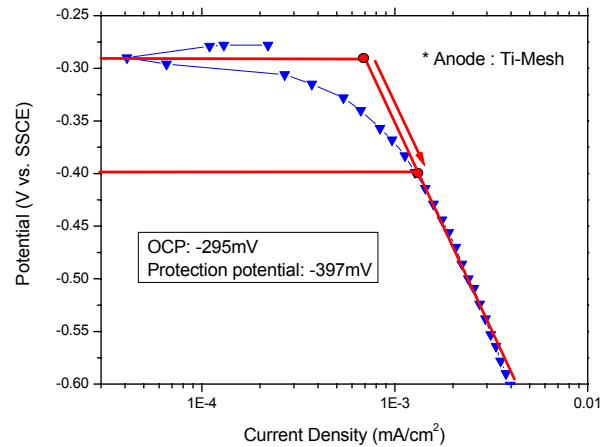


Fig. 5. CP potential determination from E-log i method.

있으며 대응전극으로는 각 소형시험편의 음극방식을 위해 설치한 불용성양극을 사용하였다. 전위측정에 사용된 기준전극은 염화은전극(silver-silver chloride electrode, SSCE)이었으며, 전위차계로는 Fluke digital multimeter를 사용하였다. 공기 중에 노출된 소형시험편의 전위를 측정 시에는 기준전극의 끝단에 스펀지를 부착하여 콘크리트와의 접촉저항으로 인한 오차를 최소한으로 하였으며 스포이트를 이용하여 스펀지가 젖을 정도로만 청수를 묻혀 기준전극의 끝 부분에만 전해질 통로(path)가 형성되어 전위의 측정이 원활하도록 하였다. 해수 및 청수가 들어있는 수조 시험편에서의 전위측정은 기준전극을 시험 용액 중에 침지하여 실시하였다.

### 2.2.2 방식전류 측정실험

방식전류는 불용성양극에서 콘크리트 매질을 통하여 철근에 공급되는 전류를 측정하였으며, 방식전류의 측정을 위해 Shunt가 내장되어 있는 전기화학적 측정 장치의 ZRA (zero resistance ammeter)를 사용하였다. 동일한 조건에서의 방식전류 측정을 위해 전원장치의 Constant Potential Mode를 이용하였으며 철근의 방식전위 설정 값을 -900 mV/SSCE로 입력하여 방식전류가 자동으로 조절되면서 일정전위가 유지될 수 있도록 하였다. 이때 관찰되는 방식전류의 변화 값을 측정하였으며, 양극의 종류 및 시험편의 노출 환경에 따라 소요되는 방식전류의 값을 비교하였다.

### 2.2.3 4시간 복극전위 측정실험

복극전위를 측정하기 위해 전원장치의 (-)단자에 소형시험편의 철근을 연결하고 전원장치의 (+)단자에 불용성 양극을 연결하여 방식전류를 공급하였다. 음극방식 중인 시험편의 공급전원을 차단하면 순간적으로 전위가 급상승하고 그 후 시간이 지나면서 전위의 상승이 서서히 둔화되어 일정 전위에 이르게 된다. 처음 전위가 순간적으로 상승(jump)하는 전위변화( $IR_{\Omega, drop}$ )가 콘크리트 자체 저항에 의한 전압강하( $IR Drop$ )이며, 이 후에 시간을 두고 서서히 증가하는

전위변화가 음극방식에 의해 전기화학적으로 분극되었던 철근표면이 음극방식을 하기 전의 본래의 상태로 회복되면서 일어나는 실질적인 복극이다. 따라서 초기에 전위가 급상승하는 부분인 콘크리트 자체의 전압강하(IR drop) 값을 배제한 서서히 전위가 상승하게 되는 구간 즉, 전위가 본래의 자연전위로 복극(Depolarization)되는 값을 측정하였다. 전원차단 후 복극전위의 측정은 경우에 따라 12시간 또는 24시간 측정하기도 하는데 본 실험에서는 4시간 기준을 채택하였다.<sup>12)</sup>

### 3. 연구결과 및 고찰

#### 3.1 E-log i 시험 결과

Fig. 6은 소형시험편의 E-log i 실험 결과를 통해 산출된 음극방식에 필요한 최소한의 전위를 나타낸 결과이다. 대부분의 실험에서 미국부식협회(NACE)에서 제시하는 방식기준인 100 mV를 만족하거나 매우 근접한 결과를 확인할 수 있었다. 데이터에서 보이는 바와 같이 양극 종류에 의한 최적 방식전위 값의 차이는 거의 확인할 수 없었다. 다만 실험 환경 조건별로 측정된 최적 음극방식전위는 사용된 모든 불용성 양극별로 유사한 경향을 나타내었다. 즉 대기 중에서 실험한 시험편에서 측정된 최적 음극방식전위가 가장 높고, 그 다음으로 청수 중, 해수 중 순서로 나타났다. 이러한 결과는 콘크리트가 건조한 상태인 대기 중에서 실험한 시험편에서 콘크리트의 비저항이 가장 높고, 다음으로 청수에서의 비저항이 해수의 비저항보다 높기 때문이라고 판단된다.

#### 3.2 방식전류 측정실험결과

방식전류 측정실험은 철근의 방식전위를 일정하게 유지하는데 필요한 전류 값을 측정하기 위해 Constant Potential Mode를 적용하였다. 여기에서 전원장치의 설정 전위 값은 -900 mV/SSCE로 하였으며, 이 방식전위까지 Ti-

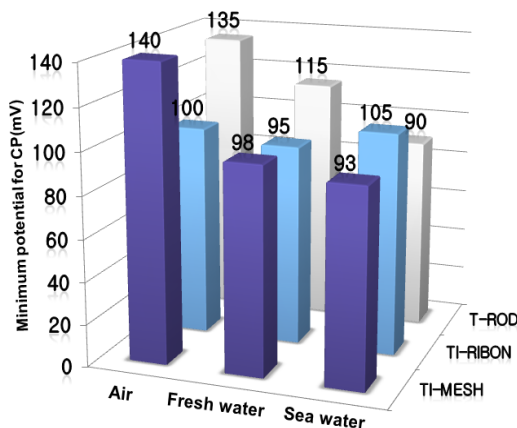
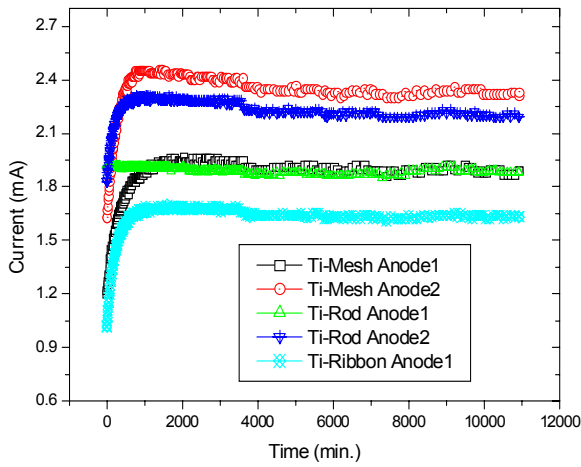


Fig. 6. Minimum potential results for CP.

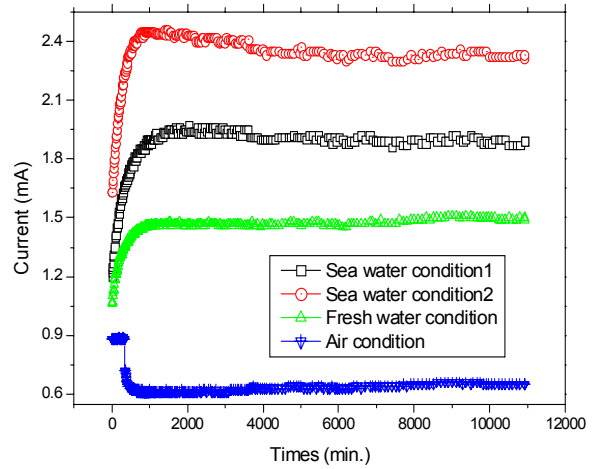
Ribbon, Ti-Rod, Ti-Mesh 세 종류의 불용성양극을 통하여 음분극 시키면서 그 때의 전류 값을 측정하였다. Fig. 7(a)는 소형시험편 수조에 해수를 넣은 후 해수환경에서 측정된 불용성양극의 방식전류를 나타내고 있다. 음극방식을 시작한 후 초기에는 방식전류 값이 증가하다가 시간이 경과함에 따라 서서히 감소하는 일반적인 경향을 나타내었다. 해수환경의 경우, 양극의 종류와 관계없이 약 1.6~2.4 mA의 높은 방식전류가 확인되었다. Fig. 7(b)는 청수환경에서 측정된 불용성양극의 방식전류이다. 청수환경에서도 방식 초기에 전류 값이 증가하다가 시간에 따라 서서히 감소하는 같은 경향을 나타내었다. 청수에는 Ti-Rod 양극에서의 방식전류 값이 Ti-Ribbon과 Ti-Mesh보다 낮게 유지되는 것을 볼 수 있다.

Fig. 7(c)는 소형시험편에 대하여 공기 중에서 측정된 불용성양극의 방식전류 변화이다. 공기 중에서는 Ti-Mesh 양극에서의 방식전류 값이 Ti-Ribbon과 Ti-Rod에서보다 낮게 유지되었다. 이것은 소형시험편이 공기 중에 노출되어 있어 콘크리트의 비저항이 높기 때문에 상대적으로 시험편 표면을 덮고 있는 양극의 표면적이 넓은 Ti-Mesh양극에서의 방식전류가 낮게 나타난 것으로 판단된다. 공기 중과 같은 환경에서는 불용성양극으로 Ti-Mesh를 사용하는 것이 방식전류가 균일하게 분포되어 방식전류의 공급효율이 좋아 질 것으로 사료된다. 이러한 결과는 대기 중 콘크리트구조물에 외부전원에 의한 음극방식을 적용할 경우 Ti-Mesh 양극을 사용하는 것이 방식전류 측면에서 전류의 소모가 줄어들 것으로 생각되나 방식 설계시 구조물의 형상들을 동시에 고려해야 하기 때문에 추가적인 실험이 필요할 것으로 판단된다.

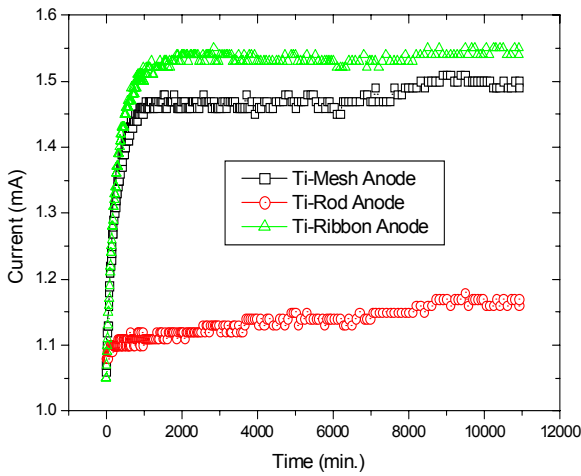
철근의 방식전위를 일정하게 유지하는데 필요한 방식전류 값을 얻기 위해 Constant Potential Mode로 실험하였고 전원장치의 방식전위 값을 -900 mV/SSCE 로 설정하여 부식 환경에 대한 방식전류 측정결과를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8(a)는 Ti-Mesh 양극을 사용한 소형시험편이 여러 부식 환경에 노출되었을 때 외부전원에 의한 음극방식 전류 값의 환경에 따른 변화를 나타내고 있다. -900 mV/SSCE 방식전위까지 음분극 시키기 위한 방식전류가 Ti-Mesh를 통하여 철근에 공급되게 하였다. Ti-Mesh 양극을 사용한 소형시험편 시험에서 방식전류 값이 해수 중에서는 2.0~2.4 mA, 청수에서는 약 1.5 mA, 대기공기에서는 약 0.6 mA를 나타내었다. Fig. 8(b)는 Ti-Ribbon 양극 소형시험편이 부식 환경에 노출되었을 때 외부전원에 의한 방식전류 값의 환경에 따른 변화를 나타내고 있다. 실험결과 Ti-Ribbon양극에서의 방식전류 값이 해수에서는 1.6~2.2 mA, 청수에서는 약 1.5 mA, 공기 중에서는 약 0.8 mA이었다. Fig. 8(c)는 Ti-Rod 양극을 사용한 소형시험편의 부식 환경에 따른 방식전류의 변화를 시험한 결과이다. Ti-Rod



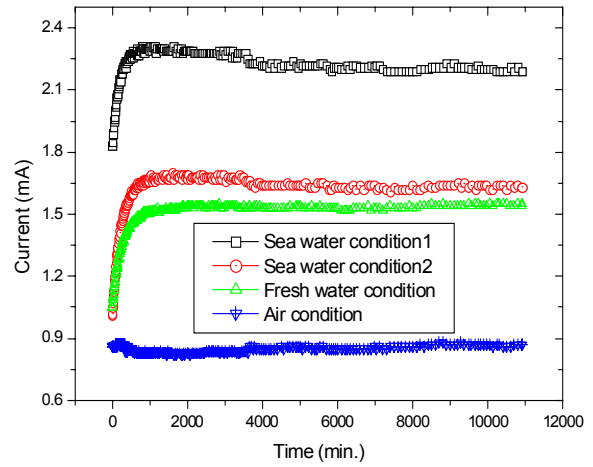
(a) Seawater condition



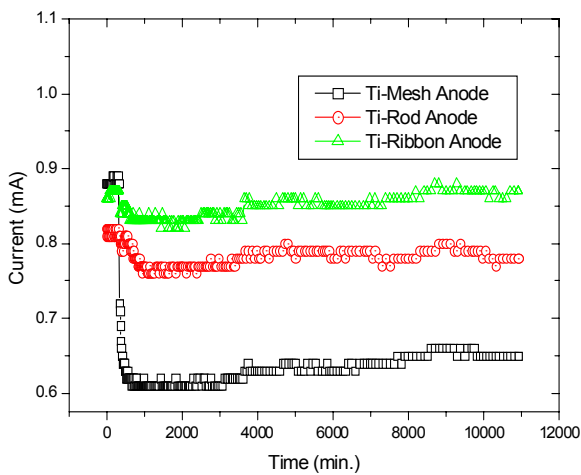
(a) Ti-Mesh anodes



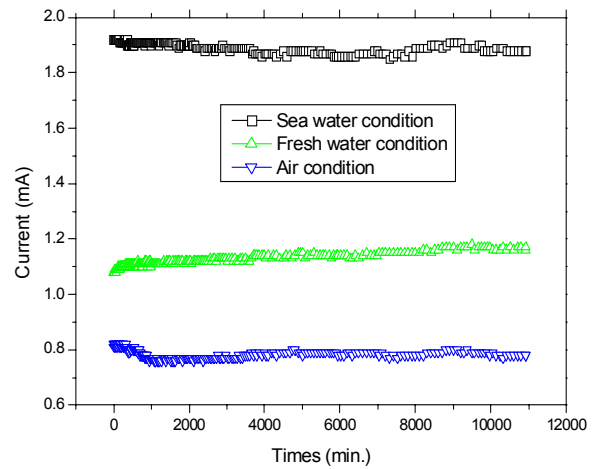
(b) Freshwater condition



(b) T-Ribbon anodes



(c) Air condition



(c) Ti-Rod anodes

**Fig. 7.** Variation of CP current from different anodes.

**Fig. 8.** Variation of CP current from the same anodes at different condition.

양극에 의한 소형시험편에서의 방식전류 값이 해수에서 약 1.9 mA, 청수에서는 약 1.2 mA, 대기공기에서는 약 0.8 mA를 나타내었다. 외부전원에 의한 음극방식시험에서 Ti-Mesh, Ti-Ribbon, Ti-Rod 세 양극에 대한 방식전류 비교에서 해수, 청수, 공기 순으로 나타났다. 이 결과는 외부전원에 의한 음극방식시 사용되는 양극의 종류보다는 환경의 부식성이 더 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었으며, 해수에서 방식전류가 가장 높았고, 비저항이 가장 높은 공기에서 방식전류가 가장 낮았다. 즉 비저항의 크기가 커질수록 방식전류의 흐름을 방해하여 방식전류가 감소하는 경향이 나타났다.

### 3.3 4시간 복극전위 실험 결과

Fig. 9~10은 소형시험편을 외부전원에 의하여 음극방식을 하다가 전원장치의 전원을 차단했을 때 시간이 경과함에 따라 소형시험편의 철근이 자연부식전위로 회복되는 과정인 복극거동을 나타내고 있다. Fig. 9는 부식 환경에 대한 불용성양극의 종류별 복극전위거동을 나타내고 있다. 외부전원에 의해 철근의 방식전위를 일정하게 유지하는데 필요한 전류를 측정하기 위하여, Constant Potential Mode를 적용하였으며, 이 때 설정 전위 값은 -900 mV/SSCE 이었다. 양극의 종류별로 약간의 전위차가 관찰되었으나 모든 실험에서 100 mV 분극기준을 초과하였다. 해수 중 복극전위거동은 세 종류의 양극 모두 비슷한 경향으로 500 mV 정도를 나타내었다. 청수에서의 복극전위 역시 세 양극 모두 유사한 경향을 나타내었으며, Ti-Mesh, Ti-Ribbon 양극에서의 복극량이 500 mV이었고, Ti-Rod에서는 약간 낮은 400 mV이었다. 공기 중에서의 복극전위거동은 Ti-Mesh, Ti-Rod 양극에서의 전압강하(IR Drop)가 유사한 값을 나타내었으나, Ti-Ribbon에서는 다소 낮은 것이 확인되었다.

Fig. 10은 불용성양극에 대한 환경별 복극전위 거동을 나타내고 있다. 다른 시험결과에서와 동일하게 부식 환경별로 다소의 차이는 있으나 모두 100 mV 분극기준을 상당히 초과하는 양호한 결과를 확인할 수 있었다. Ti-Ribbon, Ti-Rod, Ti-Mesh 양극 모두 NACE의 음극방식기준인 100 mV 분극기준을 충분히 만족하고 있음을 확인할 수 있었다.

Ti-Mesh, Ti-Rod, Ti-Ribbon 양극 시험편에 대한 해수, 청수에서의 복극량이 약 500 mV였으나, 공기 중에서의 복극량은 약 200 mV로 상당히 낮게 측정되었다. 그 원인은 공기 중에서 콘크리트 비저항이 해수, 청수에서보다 현저히 크기 때문에 동일한 음극방식전위일 때 방식전류가 감소되면서 상대적으로 분극이 적게 일어나기 때문으로 사료된다. 각각의 불용성 양극에 대한 부식환경별 복극전위 측정 결과를 나타내고 있는 Fig. 10에서 보는 바와 같이 초기 전압강하(IR Drop)가 뚜렷하였으며, 이들 환경중에서는 공기 중

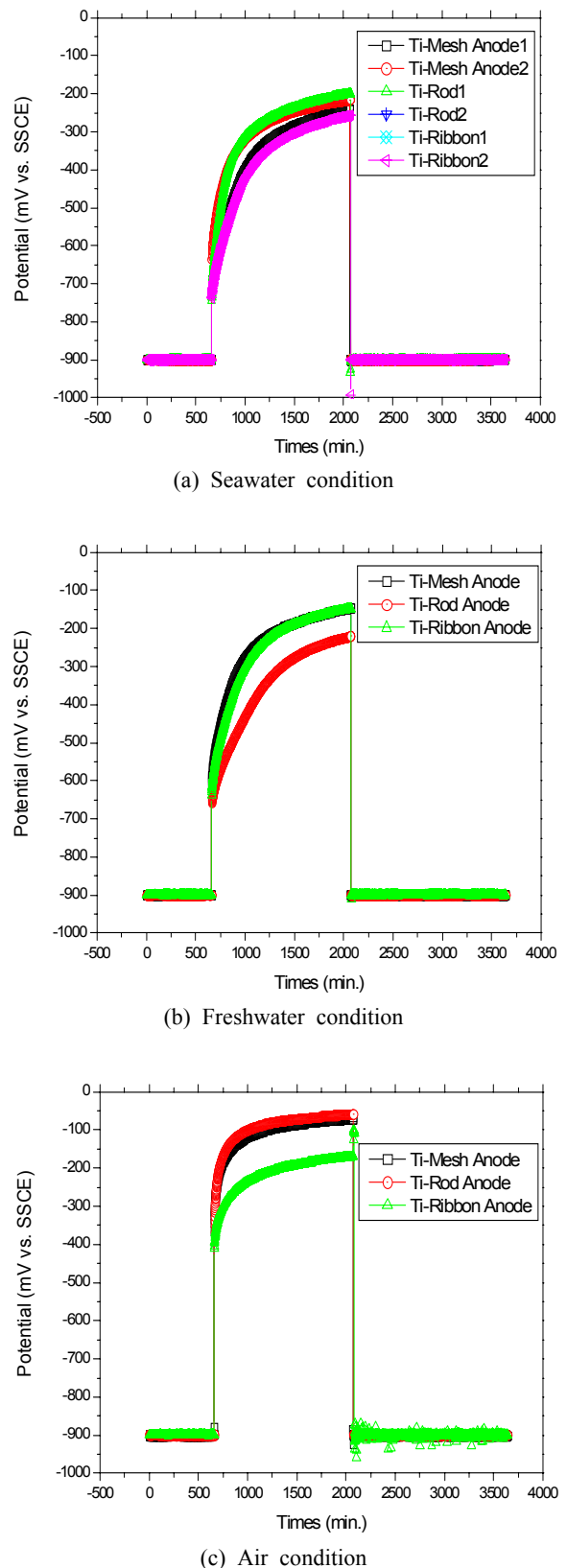
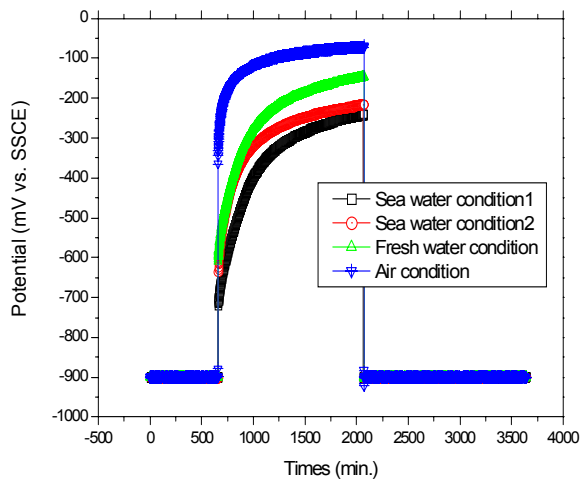
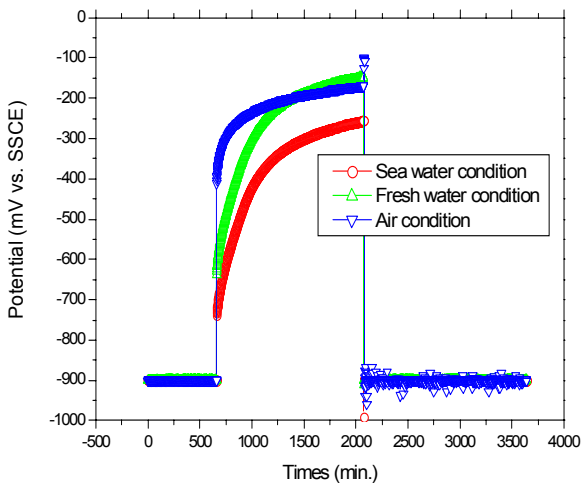


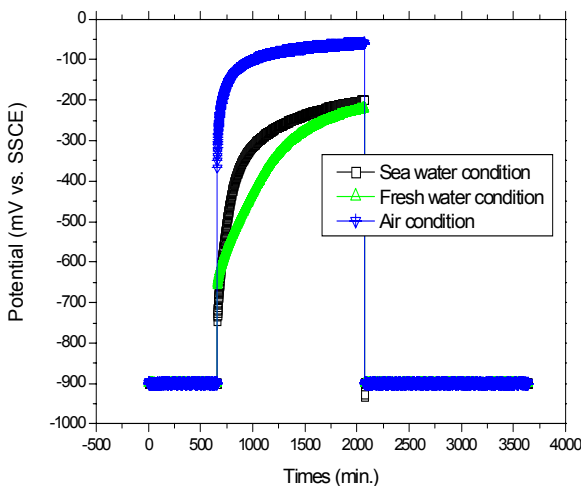
Fig. 9. Depolarization potential variation from different anodes.



(a) Ti-Mesh anodes



(b) T-Ribbon anodes



(c) Ti-Rod anodes

Fig. 10. Depolarization potential variation from the same anodes at different condition.

에서 실험한 시험편에서의 전압강하가 가장 크게 나타남을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

외부전원법이 적용된 철근콘크리트 구조물의 노출환경 및 양극의 종류에 따른 음극방식특성을 확인하기 위하여 Ti-Mesh, Ti-Rod, Ti-Ribbon 양극을 소형 콘크리트 시험편에 설치하여 음극방식성능을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 소형 콘크리트시험편의 환경별 음극방식을 위한 최소한의 분극전위를 확인하기 위하여 E-log i 실험을 시행한 결과 소형시험편의 분극전위는 90~140 mV/SSCE로 분포되었다.

2) 소형시험편의 방식전위는 양극의 종류와는 거의 무관한 결과를 나타내었으며, 부식 환경별로는 대기공기, 청수, 해수 순으로 방식전위 값이 낮아지는 경향이 나타났으나 그 차이는 크지 않았다.

3) 소형시험편의 방식전류 측정결과 해수환경에서는 사용되는 불용성 양극의 종류에 관계없이 양호한 방식특성을 나타내었으며, 청수에서는 Ti-Rod 양극이, 공기 중에는 Ti-Mesh 양극이 방식전류 효율 측면에서 양호한 특성을 나타내었다.

4) 복극전위 측정결과 공기 중에서 측정된 소형시험편의 복극량은 매우 컸으나, 콘크리트 비저항에 의한 전압강하를 배제한 순수 복극량은 상대적으로 적었다. 이것으로 외부전원식 음극방식의 경우 양극의 종류가 방식성능에 큰 영향을 미치지 않으며, 방식전위와 방식전류의 효율은 양극과 기준전극의 설치위치에 의해 좌우되는 것으로 판단되었다.

#### 참 고 문 헌

1. S. J. Kim and S. J. Lee, *Corros. Sci. Tech.* **10**, 101 (2011).
2. NACE Standard, *RP290* (2000).
3. J. P. Broomfield, *Corrosion of Steel in Concrete*, 2<sup>nd</sup> ed., 178 (2007).
4. B. E. Bennet and J. P. Broomfield, *Mater Perform.* **36**, 12 (1997).
5. D. A. Jones, *Principles and Prevention of Corrosion*, 2<sup>nd</sup> ed., p. 442, Prentice Hall, New Jersey (1996).
6. L. Bertolini, M. Carsana, and P. Pedferri, *Corros. Sci.*, **49**, 1506 (2007).
7. K. Zakowski and W. Sokolski, *Corros. Sci.*, **41**, 2213 (1999).
8. P. C. S. Hayfield and M. A. Warne, *Construct Build Mater.*, **3**, 152 (1989).
9. H. McArthur, S. D'Arch, and J. Barker, *Construct Build Mater.*, **7**, 85 (1993).
10. C. Christodoulou, G. Glass, J. Webb, S. Austin, and C.

- Goodier, *Corros. Sci.*, **52**, 2671 (2010).
11. S. H. Park, J. S. Kim, M. S. Han, and S. J. Kim, *Trans. of Nonferrous Metals Soc. of China*, **19**, 898 (2009).
12. L. Bertolini, M. Gastaldi, M. Pedferri, and E. Redaelli, *Corro. Sci.*, **44**, 1497 (2002).