

## 염해 및 복합열화에 의한 부식촉진시험과 장기폭로 시험의 상관성에 관한 연구

박 상 순<sup>1,†</sup> · 이 민 우<sup>2</sup>

<sup>1</sup>상명대학교 건설시스템 공학과 조교수 충남 천안시 동남구 안서동 상명대학교  
<sup>2</sup>상명대학교 건설시스템 공학과 석사과정 충남 천안시 동남구 안서동 상명대학교  
(2014년 11월 17일 접수, 2014년 12월 23일 수정, 2014년 12월 29일 채택)

## Study on the correlation between long-term exposure tests and accelerated corrosion tests by the combined damage of salts

Park Sang Soon<sup>1,†</sup> and Lee Min Woo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering Assistant Professor, Sangmyung University, Ansu-dong, Dongnam-gu, Chun-an, Choong-nam, South Korea, 330-720

<sup>2</sup>Department of Civil Engineering, Sangmyung University, Ansu-dong, Dongnam-gu, Chun-an, Choong-nam, South Korea, 330-720

(Received November 17, 2014; Revised December 23, 2014; Accepted December 29, 2014)

Interest in the durability assessment and structural performance has increased according to an increase of concrete structures in salt damage environment recent years. Reliable way ensuring the most accelerated corrosion test is a method of performing the rebar corrosion monitoring as exposed directly to the marine test site exposure. However, long-term exposure test has a disadvantage because of a long period of time. Therefore, many studies on reinforced concrete in salt damage environments have been developed as alternatives to replace this. However, accelerated corrosion test is appropriate to evaluate the critical chlorine concentration in the short term, but only accelerated test method, is not easy to get correct answer. Accuracy of correlation acceleration test depends on the period of the degree of exposure environments. Therefore, in this study, depending on the concrete mix material, by the test was performed on the basis of the composite degradation of the salt damage, and investigate the difference of corrosion initiation time of the rebar, and indoor corrosion time of the structure, of the marine environment of the actual environments were investigated. The correlation coefficient was derived in the experiment. Long-term exposure test was actually conducted in consideration of the exposure conditions submerged zone, splash zone and tidal zone. The accelerated corrosion tests were carried out by immersion conditions, and by the combined deterioration due to the carbonation and accelerated corrosion due to wet and dry condition.

**Keywords :** durability, accelerated corrosion test, salt damage, neutralization test, tidal zone

### 1. 서 론

최근 염해환경에서 철근 콘크리트 구조물의 증가로 이에 대한 구조적성능과 내구성 평가에 대한 관심이 증가하고 있다.<sup>1)</sup> 부식촉진시험의 가장 확실하고 신뢰성이 높은 방법은 해양폭로시험장에 직접 폭로시켜 철근부식 모니터링을 실시하는 방법이다. 하지만 장기폭로시험은 장기간이 소요된다는 단점이 있다.<sup>2)</sup> 그래서 이를 대체하는 수단으로 염해환경의 철근콘크리트에 관한 많은 연구들이 진행되어져 왔

다. 하지만 부식 촉진시험은 단기간에 임계염소 농도를 평가하기에는 적절하지만 촉진시험방법만으로는 여전히 해답을 얻기 어려운 문제가 있다. 그것은 촉진시험이 폭로 환경의 어느 정도 기간에 상응 하느냐의 상관성에 대한 문제이다.<sup>3)</sup> 따라서 본 연구는 염해 및 복합열화를 기준으로 부식 촉진 시험을 실시하여 콘크리트 배합재료에 따라 철근부식 개시 시점의 차이를 규명하고, 실제 해양환경에 있는 구조물의 부식시기와 실내 실험실에서 부식촉진시험의 결과를 통하여 두 환경에서 상관계수 도출을 그 목적으로 한다. 실제 장기 폭로시험은 침지대, 비말대, 간만대 3가지 노출조건을 고려한 철근부식 시험을 시행하였다. 부식 촉진 시험으

<sup>†</sup> Corresponding author: parkss87@smu.ac.kr

**Table 1. The chemical composition and strength properties of cement**

Specific gravity (g/cm <sup>3</sup> )	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Fineness (cm <sup>2</sup> /g)	Compressive Strength(MPa)		
				3 Days	7 Days	28 Days
3.15	2.1	2.2	3500	26.7	41.2	57.6

**Table 2. The chemical composition of blast furnace slag and fly ash and their properties**

Item	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> SO (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SO <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	Fineness (cm <sup>2</sup> /g)
BS	32.7	13.9	0.4	2.8	45.2	5.8	4,326
FA	64.2	19.9	4.5	0	3.8	1.1	3,580

**Table 3. Physical properties of fine and coarse aggregates**

Item	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Surface absorption rate (%)	Fineness modulus	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )
Fine aggregate	2.6	1.5	2.5	1,597
Coarse aggregate	2.7	0.9	6.5	1,655

**Table 4. Mix proportions for concrete specimens**

Mix.	W/C (%)	Unit mass (kg/m <sup>3</sup> )						28 Days Compressive Strength (MPa)	Slump test (cm)	Air content test(%)
		Water	Cement	FA	BS	Fine agg.	Coarse agg.			
OPC60	60	165	275	-	-	840	975	32	18	8.5
OPC35	35	165	471.4	-	-	840	975	55	14.9	5.2
Fly ash	60	165	220	55	-	840	975	37	17.4	7.4
Blastfurnace slag	60	165	192.5	-	82.5	840	975	41	15.1	6

로는 침지조건에 따른 부식촉진시험<sup>4)</sup> 및 건습반복법에 따른 부식촉진시험<sup>5)</sup>과 탄산화를 고려한 복합열화에 의한 부식 촉진시험을 실시하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 인공해수 및 사용재료 배합 특성

시멘트는 국내에서 제조한 보통 포틀랜드 시멘트로 H사 제품을 사용하였다. 고로슬래그 미분말(Blastfurnace slag)은 3종을 사용하였으며, 플라이애시(Fly ash)는 2종을 사용하였다. 이들 각각의 물리 및 화학적 성질은 Table 1, 2과 같다. 잔골재는 충남 공주 강모래, 굵은 골재는 최대치수 20mm의 쇄석으로 각각의 물리적 성질은 Table 3과 같다. 실험에 사용된 배합은 Table 4와 같다. OPC 배합은 물시멘트 60%의 보통강도인 OPC60과 35%인 고강도 배합 OPC 35로 구분하였다. FA는 시멘트의 중량비 20% 치환하였으며, BS는 30% 치환한 배합으로 하였다.

시편의 제작은 Fig. 1과 같이 100×100×100mm의 정사각형 시험체로 제작하였으며 피복두께는 10mm로 하였다. 철근은 지름 9mm의 원형철근을 사용하였고 이미 존재하고 있는 철근의 녹 및 흑피(Mill Scale)등을 제거하기 위해 사포(Sand Paper)를 이용해 표면처리를 실시하였다. 철근의 길이는 120mm이며 철근과 전선과의 연결부위 및 노출 예상 범위는 모두 에폭시 코팅을 실시하였다. 시편 6면 중 5면을 에폭시 코팅 후 인공해수에 침지시켜 일방향 침투를 유도하였다.

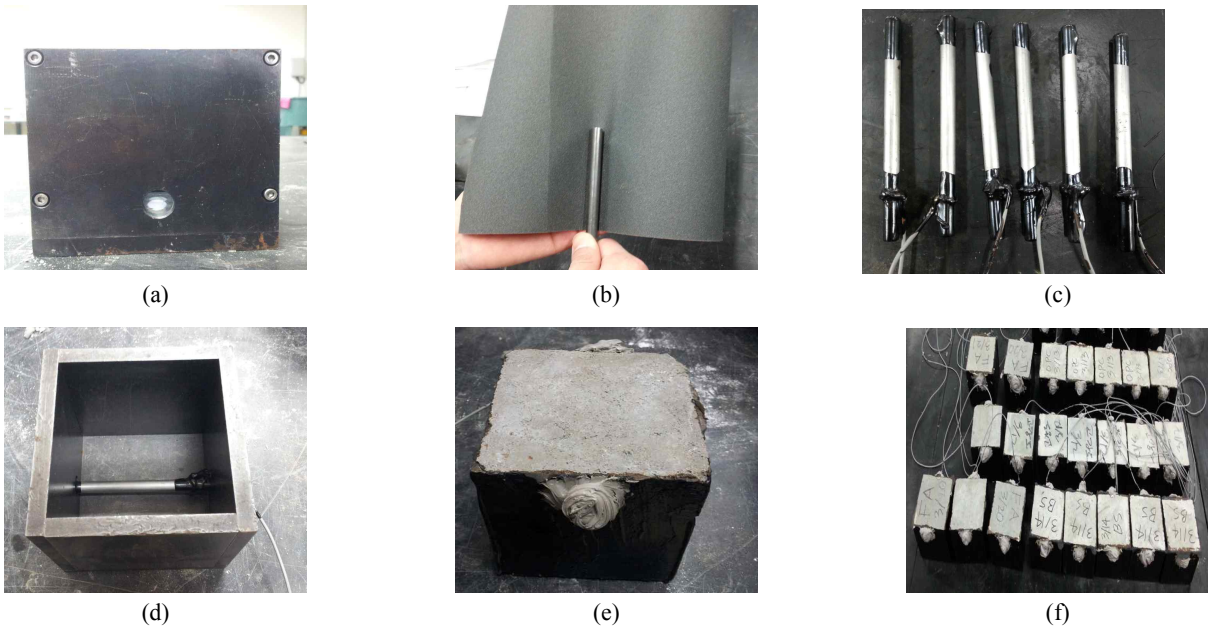
인공해수농도는 KS F 2599<sup>6)</sup>를 기준으로 제작하였으며, 해수의 성분표는 Table 5와 같다.

### 2.2 인공해수 침지조건에 따른 부식촉진시험

본 실험은 Table 4의 OPC60의 배합의 시편을 시험에 적용하였으며 실험의 변수는 Table 6과 같다. 농도는 기준 해수농도<sup>6)</sup>, 2배해수농도, 염화나트륨(NaCl) 포화상태인 4몰(M) 염화나트륨(NaCl)을 만들어 침지시켰다. 4몰(M)

**Table 5. Artificial seawater composition (g/L)**

NaCl		MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O		Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		CaCl <sub>2</sub>		KCl	
24.5 g/L	35	11.1 g/L	10.4	4.1 g/L	5.9	1.2 g/L	1.7	0.7 g/L	1



**Fig. 1.** Specimen production (a) Specimen mold, (b) Reinforced surface treatment, (c) Epoxy coating, (d) Reinforced input, (e) Second projection coating, (f) Specimens produced.

염화나트륨(NaCl)은 다른 해수농도와 달리 염화나트륨(NaCl) 성분만 넣고 제작했다. 상온의 온도는 열전대(Thermocouple)를 데이터로거(Data logger)에 연결해 실험실 온도를 측정하여 유지해주었으며 고온의 환경은 항온·항습기를 이용해 온도를 유지해 주었다. Fig. 2는 온도에 따른 인공해수 침지상태를 나타낸다.

### 2.3 인공해수 건습반복 조건에 따른 콘크리트 배합별 부식 촉진시험

본 실험에서의 촉진부식시험은 KS F 2599-2 :2008에서 규정된 건습반복법에 의해서 수행하였다. 철근부식 촉진법의 하나인 건습방법의 촉진원리는 고온고습 환경에서는 강재 부식에 필요한 물을 충분히 공급, 온도상승에 따라서 산소 확산속도가 빨라져 부식이 촉진된다. 그러나 콘크리트 속의 함수량이 많아지면 외부에서 산소공급이 느려지기 때문에 저온건조과정에서 콘크리트 속으로 산소공급을 충분히 하여 이 과정에서 염분 농축에 따라 부식촉진을 증가시킨다. 시험조건 선정을 위해 KS F 2599-2에서 규정한 3가지 배합으로 수행한 촉진시험 결과 Fig. 4와 같이 C조건에서 부식촉진효과가 가장 빠른 것으로 나타났다. 또한 부식 면적율이 2% 이상 상회하는 결과도 C조건에서만 나타났기 때문에 최적 시험조건으로 C조건을 채택하였다. 시험의 건

조습윤조건은 Table 7, Fig. 3과 같다<sup>6)</sup>.

부식촉진시험방법으로 일반 건습반복법 및 건습반복 폰딩(Ponding)시험으로 두 가지 시험방법을 적용하였으며 Table 4의 모든 배합을 적용하였다. 일반 건습반복법은 Fig. 1과 같이 해수의 일 방향 침투를 유도하였으며, 습윤 기간 3일 건조 기간 4일을 1사이클로 시험을 실시하였다. 습윤 기간 동안 인공해수에 침지시켜 온도 60℃를 유지하였으며, 건조 기간 동안 항온 항습기를 이용하여 15℃, 습도 60%를 유지하였다. 인공해수농도는 Table 5와 같으며, 전선은 방수가 가능한 방수커넥터를 사용하였다. 철근부식모니터링은 황산동 전극을 이용한 반전지전위법으로 1사이클 당 1회씩 실시하였다.

건습반복 폰딩시험은 Fig. 5와 같이 철근이 돌출된 면에만 에폭시 코팅 처리를 하여 2면을 외기에 노출시켰으며, 아크릴판을 이용해 윗면에 인공해수 풀(Pool)을 설치하여 염화물의 일방향 침투를 유도하였다. 항온항습기에 시편을 넣어 온도 60℃, 습도 60%를 유지해주었다. 철근부식모니터링은 반전지전위법으로 4일에 한번 실시하였다.

### 2.4 염해 및 탄산화의 복합열화 작용에 의한 부식촉진시험

염해 환경조건 중 비말대와 간만대의 경우에는 염화물 이온의 침투확산이라는 염해와 더불어 이산화탄소의 침투

Table 6. Experimental variables

Temperature	Artificial seawater concentrations		
Room temperature (20±2 °C)	seawater concentration	2 times of seawater concentration	4M NaCl
High temperature (65±2 °C)	seawater concentration	2 times of seawater concentration	4M NaCl

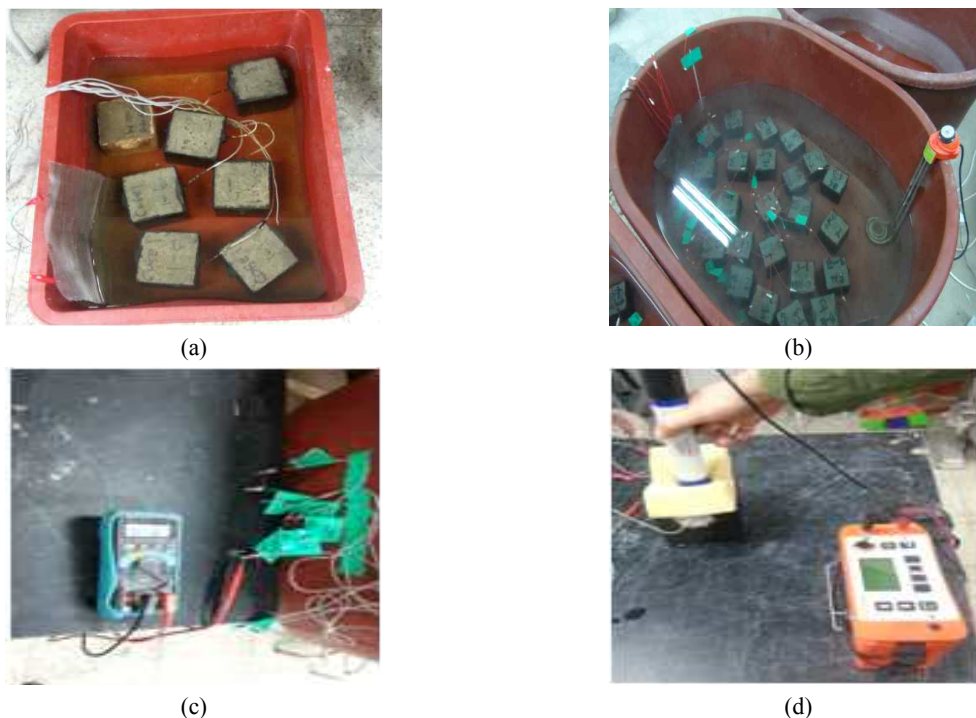


Fig. 2. Artificial seawater immersion (a) Room temperature, (b) High temperature, (c) Galvanic current measurement, (d) Half-cell potential measurement.

확산에 따른 탄산화 현상도 동시에 작용하는 복합열화 조건이 형성된다. 따라서 간만대 및 비말대의 환경조건을 모사하기 위해서는 이러한 복합적인 요인을 고려한 복합열화 시험방법의 적용이 요구된다. 본 실험에서는 기본적인 온도, 습도, 건습반복 주기는 KS F 2599-2 『철근콘크리트의 촉진부식 시험방법』-건습반복법에 준하며 간만대의 경우 건조시 이산화탄소의 확산이 발생하므로 이를 고려하여 건조 기간에는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)를 주입하여 복합적인 열화조건을 만들어 시험을 실시하였다. 시험조건 선정은 KS F 2599-2에서 규정한 조건 중 건습반복 시험과 마찬가지로 C조건을 선정하였다. 이산화탄소의 주입은 KS F 2584 『콘크리트의 촉진 탄산화 시험방법』에 준하는 농도를 따라 5% 이산화탄소를 주입 하였다.<sup>7)</sup> 탄산화 시험조건은 Table 8, Fig. 6과 같다. 탄산화 부식 촉진시험 방법으로는 건습반복 및 탄산화 복합열화 시험과 탄산화 폰딩시험을

실시하였으며 Table 4의 모든 배합을 적용하였다. 건습반복 및 탄산화 복합열화 시험은 Fig. 1과 같이 해수의 일 방향 침투를 유도하였으며, 습윤 기간 3일 건조 및 이산화탄소 노출 기간 4일을 1사이클로 시험을 실시하였다. 습윤 기간 동안 인공해수에 침지시켜 온도 60°C를 유지하였으며, 건조 기간 동안 탄산화 시험기를 이용하여 15°C, 습도 60%를 유지 하며 5%의 이산화탄소에 노출 시켰다. 인공해수농도는 Table 5와 같으며, 전선은 방수가 가능한 방수커넥터를 사용하였다. 철근부식모니터링은 황산동 전극을 이용한 반전지전위법으로 매일 실시하였다. 탄산화 폰딩시험은 Fig. 7과 같이 철근이 돌출된 면에만 에폭시 코팅 처리를 하여 모든 면을 외기에 노출시켰으며, 아크릴판을 이용해 윗면에 인공해수 풀을 설치하여 염화물의 일방향 침투를 유도하였다. 탄산화 시험기에 시편을 넣어 5%의 이산화탄소에 지속적으로 노출시키며, 온도 15°C, 습도 60%를 유지해주었다.

Table 7. Dry and wet conditions

Cyclic wet and dry method	Wet		Dry	
	Temperature	Relative humidity	Temperature	Relative humidity
A	15~40 °C	90%	40~15 °C	60%
B	40~65 °C	90%	65~40 °C	60%
C	15~65 °C	90%	65~15 °C	60%

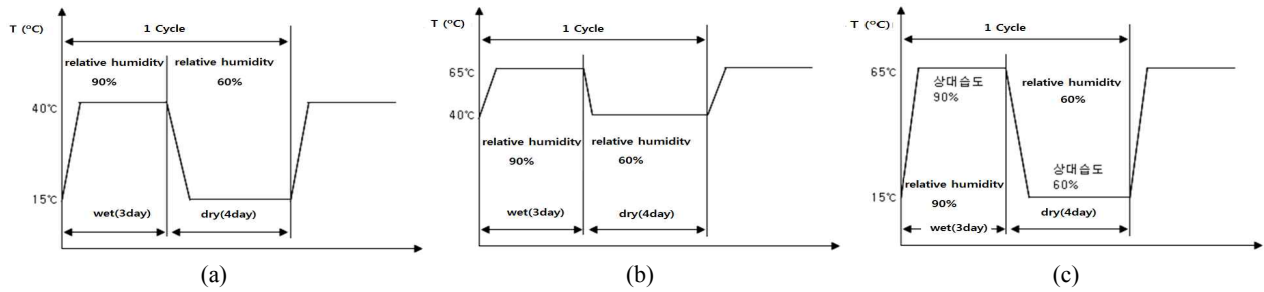


Fig. 3. Repeated wet and dry conditions (a) Conditions A, (b) Conditions B, (c) Conditions C.

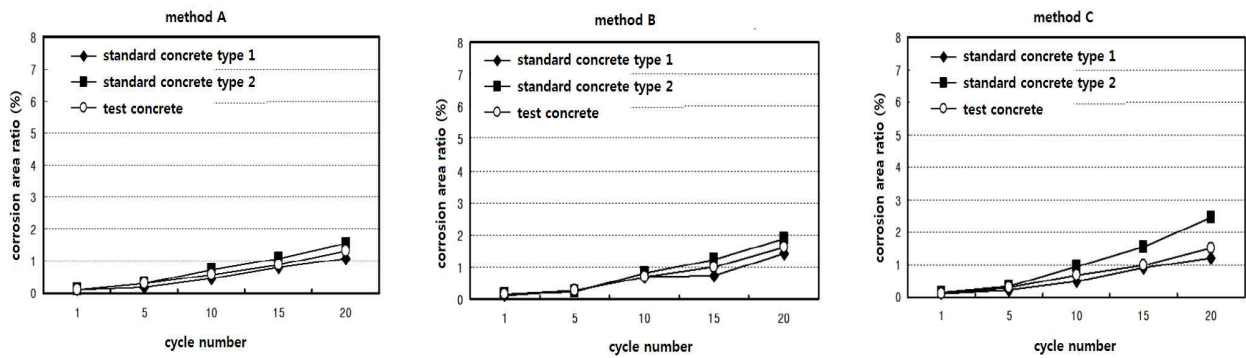


Fig. 4. Variation of corrosion area ratio with repeated wet and dry conditions (a) method A, (b) method B, (c) method C.

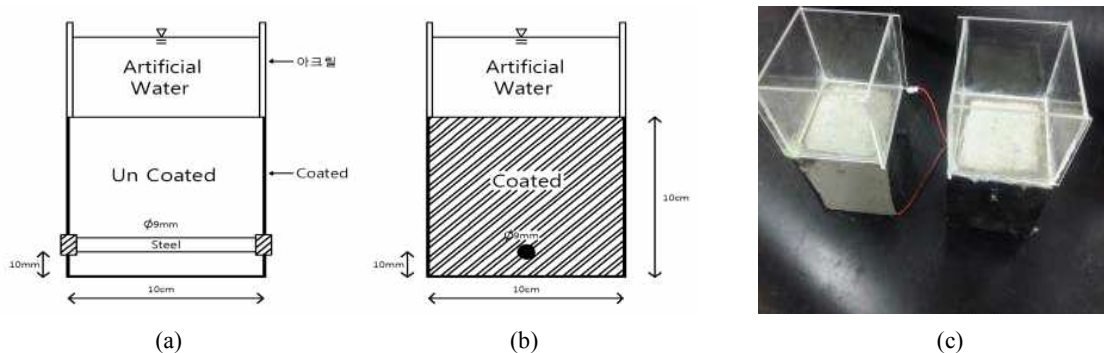


Fig. 5. Specimens with ponding well for dry and wet conditions (a) Front view, (b) Side view, (c) specimens picture.

철근부식모니터링은 반전지전위법으로 매일 실시하였다.

### 2.5 장기폭로시험의 철근부식 장기모니터링

장기폭로 시험은 촉진 부식시험과 동일한 배합을 사용하

였으며 시편은 100×100×400mm를 사용하였다. 촉진 부식시험과 동일한 방법으로 6면중 5편을 에폭시로 코팅하여 1방향 침투를 유도하였으며, 피복두께는 10mm이다.

장기폭로 시험은 시화호에 위치한 한국건설생활환경시험

Table 8. Combined degradation due to carbonation conditions

Deteriorated condition	Wet		Dry	
	Temperature	Relative humidity	Temperature	Relative humidity
	65 °C	90%	15 °C	60%
artificial seawater	seawater inflow		seawater drainage	
CO <sub>2</sub>	-		5% exposure	

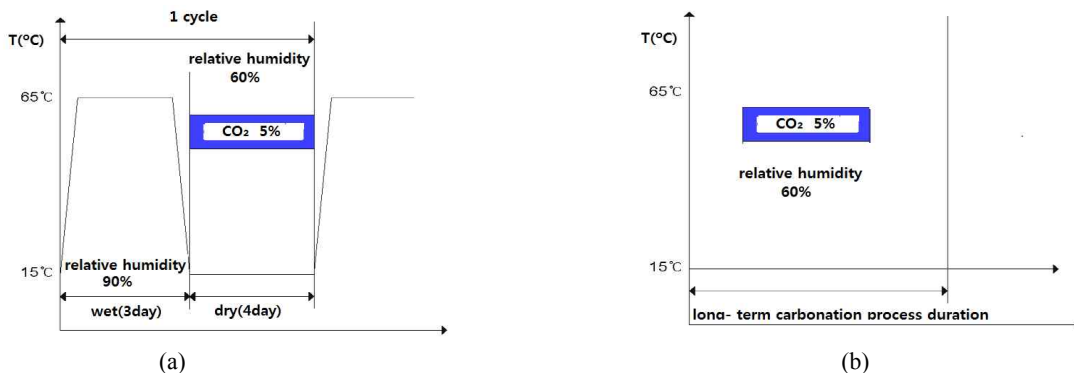


Fig. 6. Composite degradation due to carbonation conditions (a) Repeated wet and dry composite degradation and carbonation test, (b) Carbonation ponding test.

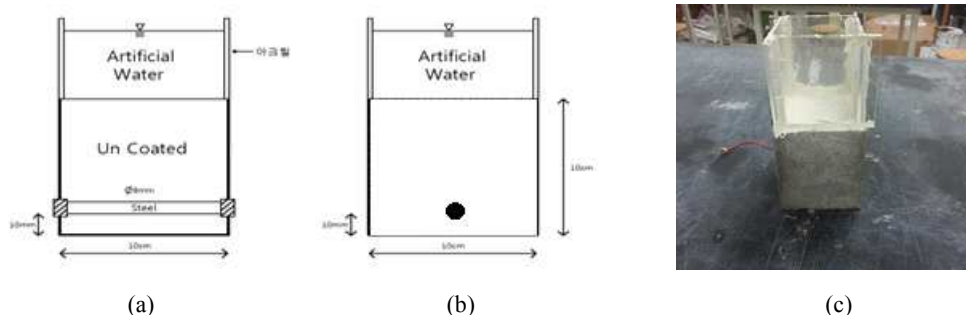


Fig. 7. Specimen with ponding well for carbonation condition (a) Front view, (b) Side view, (c) specimens picture.

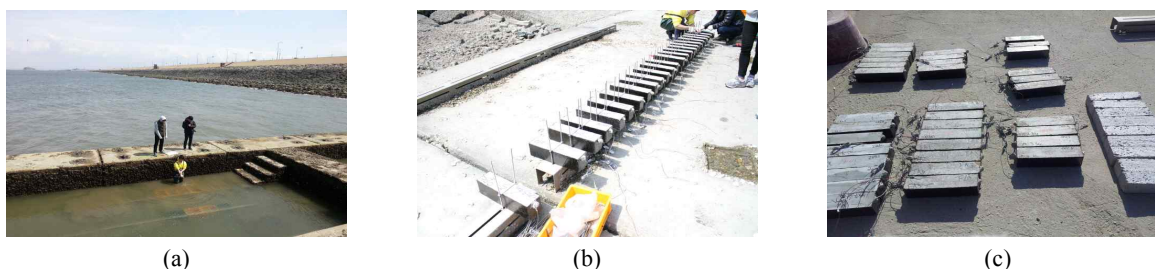


Fig. 8. Marine exposure test (a) submerged zone, (b) tidal zone, (c) splash zone.

협연구원의 해양환경폭로시험장에서 실시하였다. 시편은 Fig. 8과 같이 침지대, 간만대, 비말대로 구분하여 배치하였으며, 일정한 간격으로 지속적으로 모니터링 중이다. 철근 부식 평가는 반전지(Half-cell) 전위법으로 수행하였다. 모니터링 결과는 Fig. 9와 같다.

### 3. 연구결과 및 고찰

철근부식 모니터링은 반전위법을 사용하였으며, 기준전극으로는 황산구리 전극을 사용하였다. 부식개시판단시점은 선행연구결과<sup>4),5)</sup>를 기초로 전위값과 무관하게 전위의

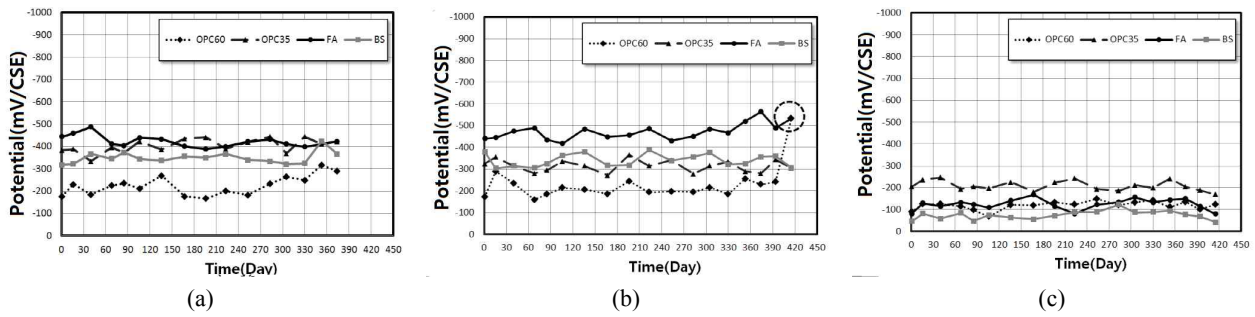


Fig. 9. Results of marine exposure tests (a) submerged zone, (b) tidal zone, (c) splash zone.

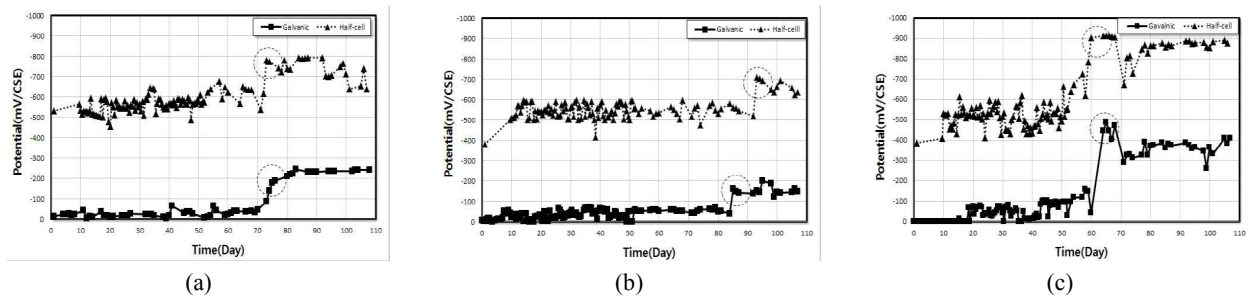


Fig. 10. Result of artificial seawater immersion conditions (a) artificial seawater, (b) 4M NaCl, (c) twice of artificial seawater.

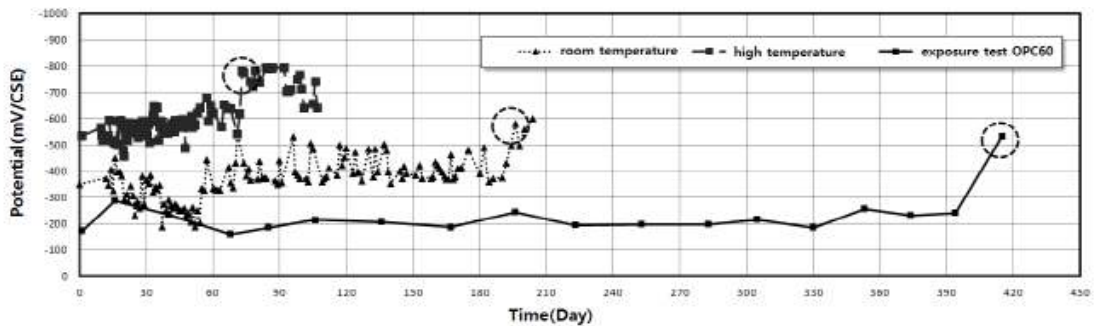


Fig. 11. Result of different immersion temperature conditions with time.

변화가 급격하게 발생한 시점으로 판단하였다. 장기폭로 시험중 간만대 조건에서 OPC60의 부식이 415일 쯤에 발생하였다.

### 3.1 인공해수 침지조건에 따른 부식속진시험 결과

인공해수 침지조건에 따른 부식 속진시험 결과는 Fig. 10과 같으며 2배의 인공해수 농도, 인공해수 농도, 4몰(M) 염화나트륨(NaCl)순으로 부식이 발생하였으나 농도에 따른 부식 개시 시점은 큰 차이를 나타내지 않았다. 하지만 온도에 따른 침지 조건에서 부식개시 시점의 차이를 나타냈다. OPC60배합의 시편은 20℃상온 조건에서 195일에 부식이 발생하였고 60℃의 고온조건에서 75일에 부식이 발생하였다. 장기폭로 시험의 간만대 모니터링 결과와 인공해수

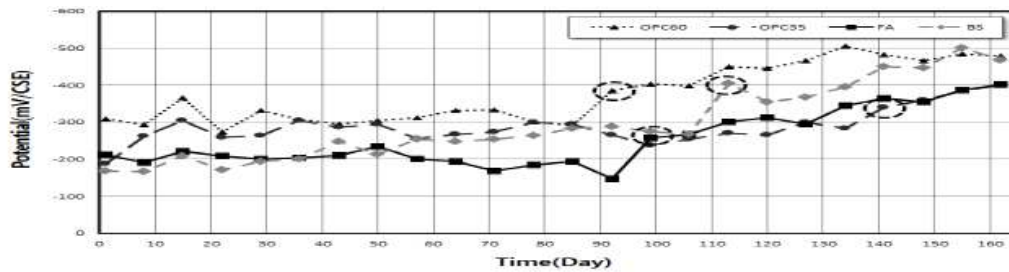
침지 조건에 따른 부식속진시험결과를 비교한 그래프는 Fig. 11와 같다.

### 3.2 인공해수 건습반복 조건에 따른 콘크리트 배합별 부식속진시험 결과

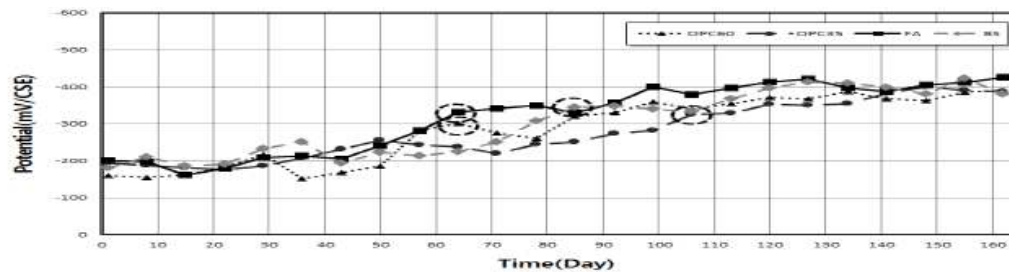
인공해수 건습반복 조건에 따른 콘크리트 배합별 부식속진결과 일반 건습반복 시험법과 건습반복 폰딩시험법의 모든 배합에서 부식이 발생하였다. 건습반복 폰딩시험에서의 부식이 전체적으로 빠르게 발생하였으며, 배합별 부식속도 비교 결과 OPC60>FA>BS>OPC35의 순으로 부식이 발생하였다. 각 시험 및 배합의 부식개시 시점은 Table. 9와 같고 모니터링 결과와 장기폭로 시험과의 비교 그래프는 Fig. 12와 같다.

**Table 9. Corrosion initiation time**

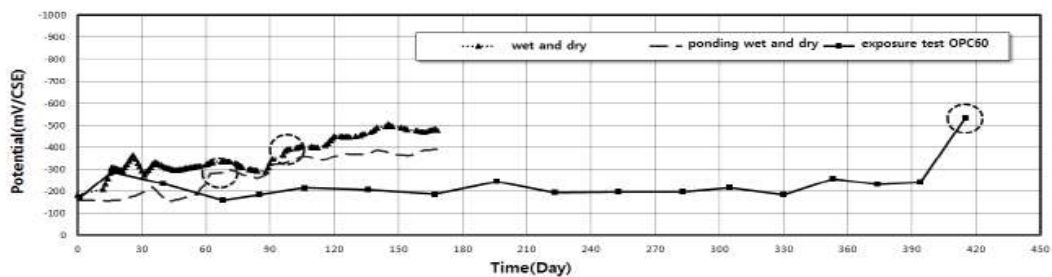
Type	Corrosion initiation time (Days)			
	OPC60	OPC35	FA	BS
Repeated wet and dry conditions	98	147	105	119
Ponding wet and dry	63	112	70	84



(a) Result of repeated wet and dry conditions



(b) Result of repeated Ponding wet and dry



(c) Result of comparison of repeated wet and dry conditions with marine exposure test

**Fig. 12.** Results of repeated wet and dry conditions.

### 3.3 염해 및 탄산화의 복합열화 작용에 의한 부식촉진시험 결과

탄산화의 복합열화 작용에 의한 부식촉진시험 결과 건습 반복 조건에 따른 콘크리트 배합별 부식 촉진결과와 마찬가지로 모든 배합에서 부식이 발생하였고, 배합별 부식속도 비교 결과 역시 OPC60>FA>BS>OPC35의 순으로 발생하였다. 탄산화 폰딩시험에서도 부식이 전체적으로 빠르게 발생하였으며, 각 시험 및 배합의 부식개시 시점은 Table. 10와 같고 모니터링 결과와 장기폭로 시험과의 비교 그래프는 Fig. 13(c)와 같다.

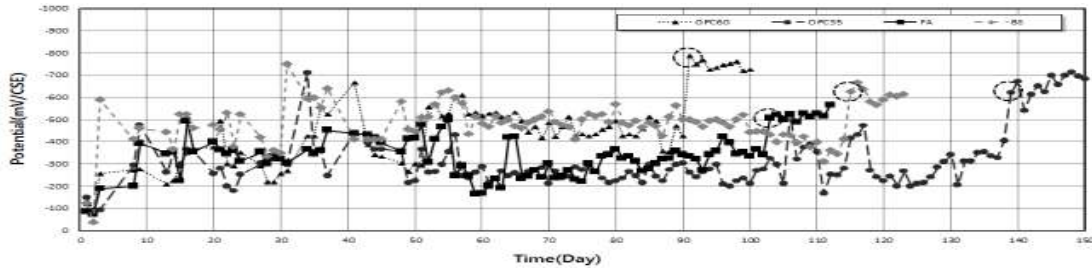
### 3.4 부식촉진 시험별 상관계수 도출

OPC60의 배합인 경우 장기폭로시험의 간만대 환경에서 부식이 발생하였기 때문에 부식촉진시험과의 상관계수 도출이 가능했다. Table 11을 보면 각 부식촉진시험 조건과 OPC60배합의 부식시점을 확인할 수 있다. 장기폭로 시험의 간만대 환경조건을 1이라는 기준으로 두고 각각의 부식촉진시험 별로 시간에 관한 상관계수 도출을 수행하였다.

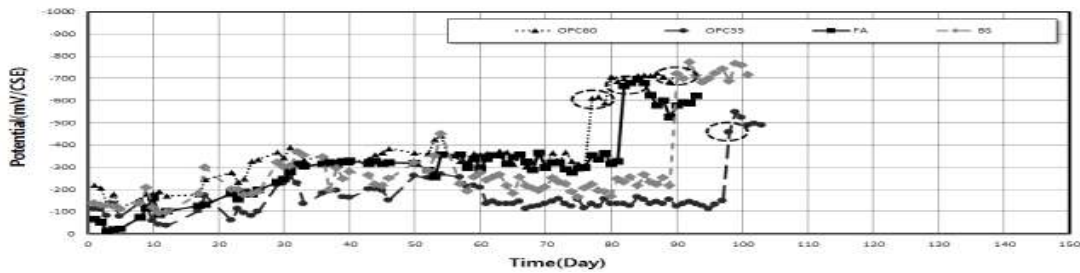


**Table 10. Corrosion initiation time**

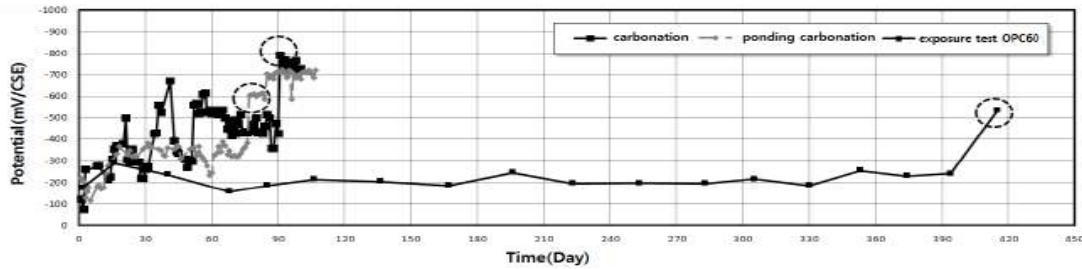
Type	Corrosion initiation time (Days)			
	OPC60	OPC35	FA	BS
Repeated wet and dry conditions	91	139	103	115
Ponding wet and dry	77	96	80	88



(a) Result of carbonation test



(b) Result of Ponding carbonation test



(c) Result of comparison between carbonation test with Marine exposure test

**Fig. 13.** Result of carbonation tests.

**Table 11. Result of tests**

Condition	Mix	Dry		Wet		Day	Coefficient
		temperature	humidity	temperature	humidity		
marine exposure(tidal zone)	OPC60	10~15 °C	60~75%	10~15 °C	60~75%	415	1
artificial seawater of room temperature	OPC60	-	-	20 °C	90%	195	2.12
artificial seawater of high temperature	OPC60	-	-	60 °C	90%	75	5.53
repeated wet and dry	OPC60	15 °C	60%	65 °C	90%	98	4.23
repeated ponding wet and dry	OPC60	60 °C	60%	-	-	63	6.59
carbonation test	OPC60	15 °C	60%	65 °C	90%	91	4.56
Ponding carbonation	OPC60	15 °C	60%	-	-	77	5.39

#### 4. 결론

부식촉진 시험결과 모든 시험에서 부식이 발생하였다. 배합별로 부식 발생 속도를 비교해 보았을 때 모든 촉진시험에서 OPC60 > FA > BS > OPC35의 순으로 부식이 발생하였다. 물-시멘트비(W/C)가 낮은 OPC35의 경우 상대적으로 높은 수밀성과 내구성을 가지고 있어 염소 이온 침투에 대한 저항성이 높은 것이라 판단된다. 모든 촉진시험에서 OPC60과 FA의 부식발생 시점은 적은 차이를 보였다. 이는 시멘트와 FA의 분말도가 큰 차이가 없기 때문이며, BS의 경우 시멘트와 FA보다 높은 분말도를 가지기 때문에 수밀성과 내구성에 차이가 발생해 염소이온 침투량에 차이가 있다 판단된다.<sup>8)</sup>

장기폭로 시험의 경우 염해의 영향을 직접 받으며 산소 포화도가 높은 간만대에서 부식이 가장 먼저 발생하였다. 침지대의 경우 염해에 영향을 가장 많이 받지만 산소 포화도가 낮아 간만대에 비해 부식 발생은 비교적 느리게 발생한다.

건습반복법과 탄산화 시험은 모든 조건을 동일하게 두고 이산화탄소의 노출에 변수를 두었다. 시험결과 결과 값은 거의 동일한 결과를 얻을 수 있었다. 하지만 건습반복 폰딩 시험과 탄산화 폰딩 시험은 온도의 변수를 두어 시험결과 값에 차이가 발생했다. 이를 통해 철근 부식은 탄산화보다 온도에 의한 열화 인자에 더 큰 영향을 받는다는 결론을 도출할 수 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 상명대학교 교내연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### References

1. H. S. Mun, Research of Steel Corrosion and Corrosion Protection System for Reinforcing Steels in Concrete Exposed to Chloride Environments, M.S Thesis Chungang University, Korea (2001).
2. Y. J. Jo, B. W. Choi, J. S. Choi and Y. W. Jung, Journal of academia-industrial technology, **14**, 4542 (2013).
3. S. S. Park, J. W. Jung and M. W. Kim, KCI concrete journal, **25**, 95 (2013).
4. J. W. Jung, A Study of Accelerated Corrosion Test and Chloride Penetration Analysis with Artificial Seawater Immersion Condition, M.S Thesis SangMyung University, Korea (2013).
5. M. W. Kim, A Study on the accelerated corrosion test and chloride penetration analysis for each concrete mixture based on the wetting and drying condition of artificial seawater, M.S Thesis Sangmyung University, Korea (2014).
6. KS F 2599-2 Standard test method for the accelerated corrosion of reinforced concrete (wet-drying cycles method), Korean Industrial Standards (2008).
7. KS F 2584 Standard test method for the accelerated carbonation of concrete, Korean Industrial Standards (2010).
8. D. W. Ryu, Journal of Korea Institute Building Construction, **12**, 315 (2012).