

## 콘크리트 특성에 따른 반전위 측정값의 변화와 부식제어 조건

### Variation of Half Cell Potential Measurement in Concrete with Different Properties and Anti-Corrosive Condition

김기범<sup>1)</sup>  
Ki-Bum Kim

박기태<sup>2)</sup>  
Ki-Tae Park

권성준<sup>3)\*</sup>  
Seung-Jun Kwon

#### Abstract

Half Cell Potential (HCP) technique has been widely adopted for its quantitative evaluation of corrosion possibility. In this study, RC specimens with three different cover depths (10mm, 30mm, and 60mm) and w/c ratios (0.35, 0.55, and 0.70) are prepared and accelerated salt spray test (SST) is performed for 45 days. Steel corrosion occurs in the specimens with 0.55 of w/c and 10mm of cover depth. In the case of 0.70 of w/c and 30mm of cover depth, steel corrosion is also monitored. Considering the effect of cover depth and w/c ratio, HCP evaluation equation is proposed and the condition which can control steel corrosion is obtained. Furthermore, anti-corrosive conditions containing w/c ratio and cover depth are analyzed through Life 365 program and the conditions are compared with the results from this study.

Keywords : Steel corrosion, Half cell potential, Salt spray, Anti-corrosive condition

#### 1. 서론

콘크리트 구조물의 철근부식은 가장 큰 열화인자이며, 구조적인 성능저하로 직결되므로 이를 예측 또는 평가하기 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 염해는 경화된 콘크리트에 대해서는 큰 영향을 미치지 않지만 철근의 부동태 피막 파괴를 통하여 공식 (pitting) 형태의 부식을 야기하므로 내구성 설계에 반드시 반드시 고려하여야 한다 (Broomfield, 1997; RILEM, 1994).

탄산화 (Carbonation) 역시 이산화탄소의 침투를 통해 내부 공극수의 pH가 감소되어 부식이 활성화되므로 철근부식에 큰 영향을 미치게 된다 (Song et al., 2006). 그러나 콘크리트 구체에는 강도증가, 공극률 감소, 중량 증가와 같이 부분적으로 성능이 개선되기도 한다 (Kwon and Song, 2010). 다양한 열화기구를 통하여 발생하는 철근부식을 평가하기 위하여 많은 연구가 수행되고 있는데, 특히 NDT (Non

Destructive Technique) 기법은 콘크리트 구조물의 모재를 크게 파괴하지 않으므로 현장조사에 많이 사용되고 있다. 그 중에서도 전기저항측정, 분극저항 측정, 적외선 화상측정 등이 철근부식 탐지를 위하여 많이 사용되고 있다. 전기저항측정은 (Resisvity Method) 사용이 편리하지만, 수분의 영향을 많이 받고 단순히 콘크리트 모재의 비저항만을 측정하므로 정성적인 결과를 제공한다 (Lim, 2012). 분극저항 측정 (Linear Polarization)은 순간 부식률을 측정할 수 있는 방법으로 부식전위 부근에서 전위와 전류가 선형적인 관계를 유지한다는 원리로부터, 양극 및 음극의 Tafel 기울기를 통해 분극저항 및 부식전류를 결정하는 방법이다. 비교적 정량적인 평가 방법으로 알려져 있으나 고가의 운용비가 소요되며, 현장에서는 많이 사용되지 않는다 (So, 2006). 또한 적외선 열화상 (IR Thermography)을 이용한 부식평가방법은 부식량이 크고 피복두께가 작은 경우에 사용되지만 실용적으로 쓰이기는 무리가 있다 (Back et al., 2012; Kwon and Park, 2012).

1) 정회원, (주)시텍컨설팅  
2) 정회원, 한국건설기술연구원  
3) 정회원, 한남대학교 건설시스템공학과, 교신저자

\* Corresponding author : jjuni98@hannam.ac.kr  
• 본 논문에 대한 토의를 2013년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 2014년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

철근부식 탐지를 위한 비파괴 측정법인 반전위 (HCP: Half Cell Potential) 측정법은 매립된 철근을 일부 노출시키고 콘크리트 모재 사이의 전위를 측정하므로 부식가능성을 나타낼 수 있다. 분극저항법과 같이 철근에서 발생하는 전류밀도를 평가하지 못하므로 정량적인 평가방법은 아니지만, 우수한 현장 적용성으로 인해 실태조사에서 많이 사용되고 있으며 (Song et al., 2007), ASTM에서도 기준전극에 따른 철근부식 평가기준을 제시하고 있다 (ASTM, 2009). 그러나 측정되는 HCP은 습도조건, 표면조건 등에서 많은 차이를 나타내며, 콘크리트 품질 (피복두께 및 강도)에 따라서도 많은 차이가 발생하게 된다. 본 연구에서는 다양한 피복두께와 강도를 가진 RC (Reinforced Concrete) 보시편을 제조하여 촉진 염해분무시험 (SST: Salt Spraying Test)을 수행하였으며, 이에 따라 발생하는 철근부식과 측정된 HCP을 평가하였다.

본 연구에서는 콘크리트의 피복두께, w/c (water to cement) 비 및 강도와 측정된 HCP과의 상관성을 분석하였으며, 염화물 침투 해석기법인 Life 365를 이용하여 부식발생 조건을 비교하였다.

## 2. 실험계획 및 재료

### 2.1 시험계획

#### 2.1.1 시편의 조건

콘크리트의 품질에 변동성을 고려하기 위해 0.35, 0.55, 0.70의 세 가지 w/c비가 고려되었다. 또한 w/c 0.55에 대해서는 피복두께를 10, 30, 60mm를 고려하여 HCP에 미치는 영향을 평가하였다. Table 1에서는 시편제조 조건을 나타내고 있으며, Table 2에서는 콘크리트 시편의 배합을 나타내고 있다. 일반적인 경우를 고려하기 위해, 1종 보통포틀랜드 시멘트 (OPC: Ordinary Portland Cement)가 사용되었고, 잔골재 및 굵은 골재의 물리적 성능은 Table 3에 나타내었다.

28일 압축강도 측정을 위해서 150×300mm 실린더 몰드가 사용되었으며, RC 보시편은 150×150×600 (mm) 크기의 보를 제작하였다. D19 철근이 매립되었는데, 철근을 원하는 깊이별로 고정하기 위하여 시멘트 페이스트로 만들어진 스페

Table 1 Conditions for specimen preparation

w/c	Cover depth (mm)
0.35	30
0.55	10, 30, 60
0.70	30

Table 2 Mix proportions for this test

Case	w/c	S/a	Unit content (kg/m <sup>3</sup> )				S.P.*
			W	C	S	G	
A	0.35	39.5	171.5	490.1	639.7	998.7	0.2% of Cement wt.
B	0.55	43.5	171.5	311.9	768.5	1017.4	
C	0.70	48.2	186	266	902	969	

\* : Super-plasticizer

Table 3 Properties of sand and coarse aggregate

Item	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Absorption (%)	F.M.
Sand	2,570	0.74	2.57
Coarse Aggregate	2,620	0.53	6.72

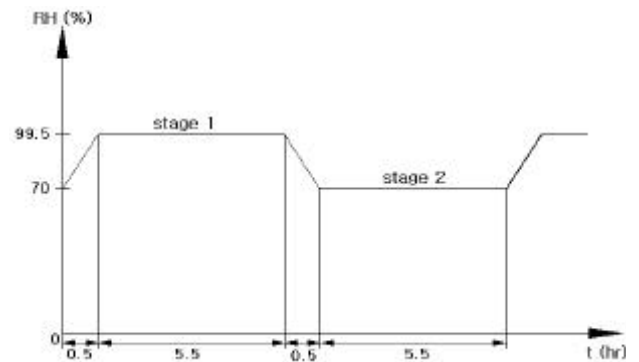


Fig. 1 Periodical cycles of temperature and R.H.

이서를 사용하였다. 촉진 염해분무시험을 하기 위해 종합 내구성 시험기안에 RC시편을 존치시킬 경우, 콘크리트와 스페이서 사이의 계면을 통하여 염화물이온이 침투하게 된다. 이를 방지하기 위하여 스페이서 위치에는 방수처리를 하였다. 시편은 제작, 탈형한 후 28일간 수중 양생하였으며 이후 1일 실내에서 기건 후 강도 및 HCP 측정을 수행하였다.

#### 2.1.2 종합내구성 시험기를 이용한 촉진염해분무시험

염해환경에 RC 구조물이 장기간 노출되었을 때 발생하는 효과를 모사하기 위하여 종합내구성 시험기를 사용하였다. 염해분무촉진실험은 습도와 온도를 조절할 수 있는 내구성 시험기내에 RC 시편을 거치시킨 후, NaCl 5% 용액을 5시간 30분 동안 분무하고 5시간 30분 동안 건조시키는 12시간 단위의 건습반복을 실시하였다. 온도는 40°C로 하여 부식을 촉진시켰으며, 45일 동안 염해분무를 실시하였다. Fig. 1에서는 염해분무 사이클을 나타내었으며, Fig. 2에서는 RC시편을 내구성시험기에 거치시킨 상태를 나타내었다.

기존의 연구 (Kim, 2001)에 의하면 해안으로부터 250m이



Fig. 2 RC specimens in accelerated chamber



Fig. 3 Photo for HCP measurement

내의 대기중 염화물량은  $0.3\sim 0.8\text{g/m}^2/\text{day}$ 로 알려져 있다. 내구성 시험기의 분무량 ( $\text{g/m}^2$ )과 환경을 고려하면 9.4년 정도의 노출환경을 나타낸다.

## 2.2 HCP 측정 및 부식평가

부식평가를 위해서 육안검사를 수행한 뒤, 염화물 침투깊이를 측정하였다. RC 시편을 커터기를 이용하여 절단하고 질산은 ( $0.1\text{N-AgNO}_3$ )용액을 이용한 변색법을 수행하여 시편에 침투한 깊이를 측정하였다 (Otsuki et al., 1992). 무색의 질산은 용액은 염화물이온이 존재하지 않는 부분에서는 반응하지 않지만, 염화물이온이 존재하는 부분에서는 회색을 띄므로 부식영향인자별로 염화물의 침투깊이를 측정할 수 있다.

최종적으로 황산구리전극 (CSE: Copper/Copper Sulphate Electrode)를 이용하여 HCP를 측정하였다. 측정위치는 단부로부터 75mm, 150mm, 300mm를 선정하여 측정하였으며, 시험시 단부의 철근을 노출시켜 장비의 한쪽 단자를 연결하였다. Fig. 3에서는 HCP 측정상태를 나타내고 있다.

## 3. 콘크리트 특성과 반전위 평가

### 3.1 강도 특성

Table 2에 나타낸 배합에 대하여 재령 28일 압축강도를 KS F 2405에 따라 평가하였다. 각 배합에 따라 3개의 시편이 제조되었으며 그 평균값을 결과로 사용하였다. Table 4 및 Fig. 4에서는 강도평가결과를 나타내고 있다. 압축강도는 w/c의 감소에 따라 거의 선형적으로 증가하는 일반적인 강도증가를 나타내고 있었다.

Table 4 Compressive strength results at 28 days

w/c ratio	Compressive strength (MPa)	Average (MPa)
0.70	19.3	20.2
	20.4	
	20.9	
0.55	28.1	26.4
	28.7	
	29.8	
0.35	45.0	45.0
	44.2	
	45.7	

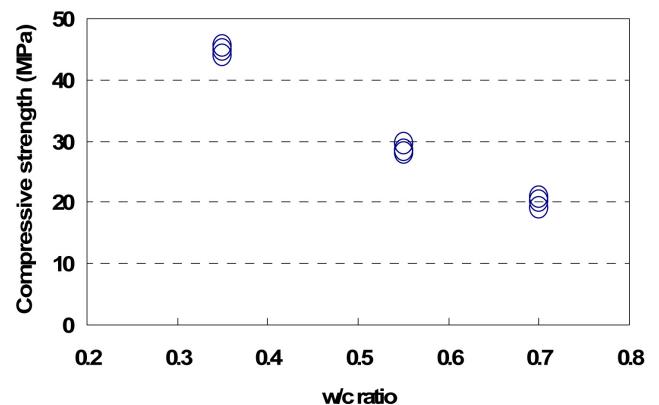


Fig. 4 Compressive strength with different w/c ratios

### 3.2 피복두께에 따른 반전위 평가 및 부식특성

#### 3.2.1 HCP의 변화

본 절에서는 w/c 0.55인 경우를 대상으로 피복두께의 변화에 따른 HCP의 변화를 분석하였다. 단부로부터 3개소의 HCP를 측정하였는데, 중앙부로 갈수록 측정값이 약간 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 RC 시편의 가운데 부분

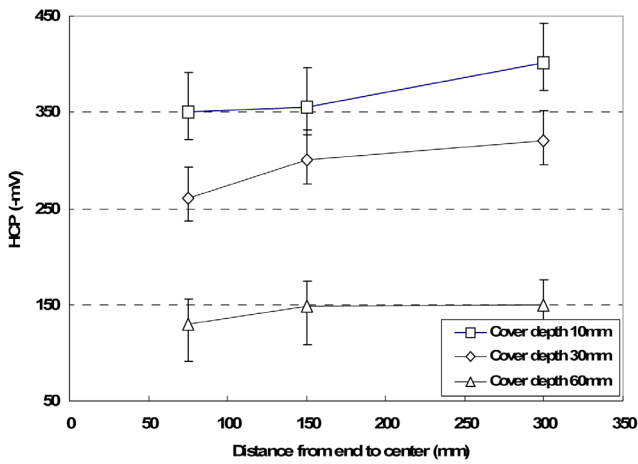
이 염화물 이온이 분무되는 위치에 가깝게 놓여있고 중앙부 쪽으로 분무된 인공해수가 흘러내리지 않기 때문에 여겨진다. 피복두께 10mm에서는 -350~-400mV, 30mm에서는 -262~-331mV, 그리고 60mm에서는 -135~-151mV가 평가되었다. 피복두께에 따른 HCP값의 변화를 위치에 따라 Fig. 5에 나타내었으며 Fig. 6에서는 각 측정위치의 평균값을 피복두께에 따라 도시하였다. Fig. 5(a)에서는 각 측정값의 오차 범위를 같이 도시하였는데, 피복두께 10mm에서는 +42~-28의 오차를, 피복두께 30mm에서는 +32~-24의 오차를, 피복두께 60mm에서는 +26~-39의 오차범위를 나타내었다. 각 측정오차보다 피복두께에 의한 HCP의 범위가 지배적임을 알 수 있다. Fig. 5(b)에서는 HCP 측정값을 최소 100에서 최대 500범위로 하여 보시편 (폭 150mm, 길이 600mm)에 대한 HCP의 측정 contour을 나타내고 있는데, 피복두께가 10mm

인 경우가 가장 붉게 나타나고 있다.

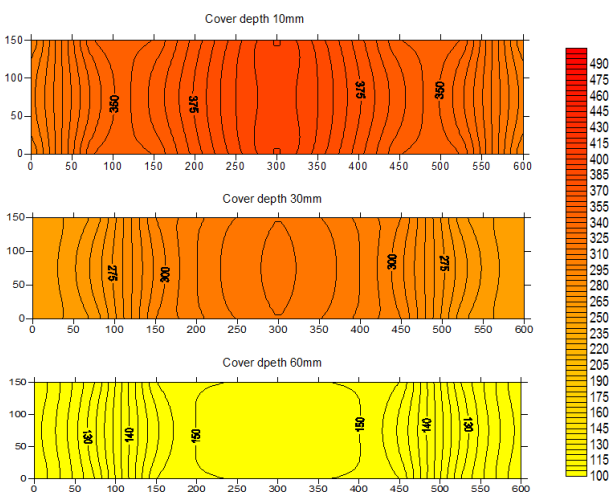
Fig. 6에서 알 수 있듯이 피복두께가 증가할수록 HCP의 값이 낮아지면서 이에 따라 부식발생 가능성이 줄어들고 있음을 알 수 있다. 기존의 연구에서 피복두께는 열화인자에 가장 결정적으로 작용하는 방어기재이며, 피복두께가 증가할수록 염화물의 유입과 철근부식가능성이 감소하게 된다 (Guthrie et al., 2008; Kim, 2001). 피복두께가 충분히 확보된 RC시편 (60mm)에서는 -140mV의 낮은 수준의 전위를 보이고 있으나, 피복두께가 작은 시편에서는 (10mm)에서는 2.6배 정도 전위차가 발생함을 알 수 있다.

### 3.2.2 육안관찰에 의한 철근부식

RC 시편을 파쇄한 후 철근부식을 조사한 결과, 피복두께 30mm, 60mm에서는 부식이 거의 발생하지 않았으며, 피복두께 10mm에서는 일부 영역에서 표면부식이 경미하게 발생하였다. 또한 질산은으로 측정된 염화물이온 침투깊이는 13~17mm 깊이로 침투되었다. Fig. 7(a)에서는 피복두께에 따른 철근의 부식사진을 나타내고 있으며, Fig. 7(b)에서는 질산은을 통하여 나타난 염화물 침투깊이를 나타내고 있다.



(a) HCP measurement with location



(b) Contour of HCP

Fig. 5 HCP with different cover depth

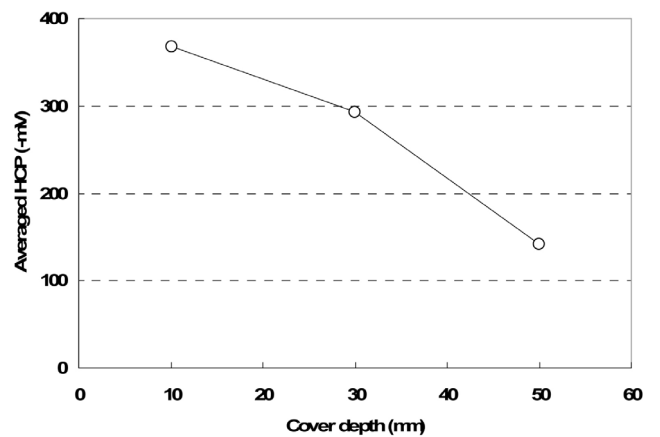
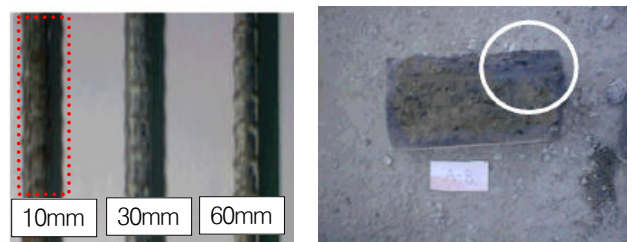


Fig. 6 Averaged HCP with cover depth



(a) visual inspection (b) Chloride penetration depth

Fig. 7 Steel corrosion and chloride penetration depth

### 3.3 w/c에 따른 반전위 평가 및 부식특성

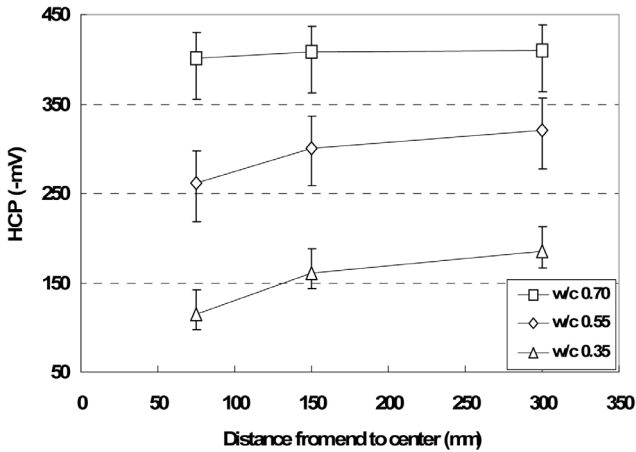
#### 3.3.1 HCP의 변화

본 절에서는 w/c의 변화에 따른 HCP의 변화를 분석하도록 한다. 피복두께를 30mm로 고정시킨 RC 시편에 대해 w/c를 0.35, 0.55, 0.70로 변화시키면서 측정위치에 따른 HCP의 변화를 분석하였다. Fig. 8(a)에서는 w/c의 변화에 따른 HCP의 위치별 변화를 나타내고 있으며, Fig. 8(b)에서는 Fig. 5와 마찬가지로 측정위치에 따른 HCP의 contour를 나타내고 있다. Fig. 8(a)에서는 w/c에 따른 오차범위를 같이 나타내었는데, w/c 0.70인 경우는 +29~46을, w/c 0.55인 경우는 +36~42를, w/c 0.35인 경우는 +27~18의 오차 변동성을 나타내었다. 이 오차 범위 역시 w/c의 변동성보다는 낮은 수준으로 평가되었다. Fig. 9에서는 HCP 평균값을 w/c의 변

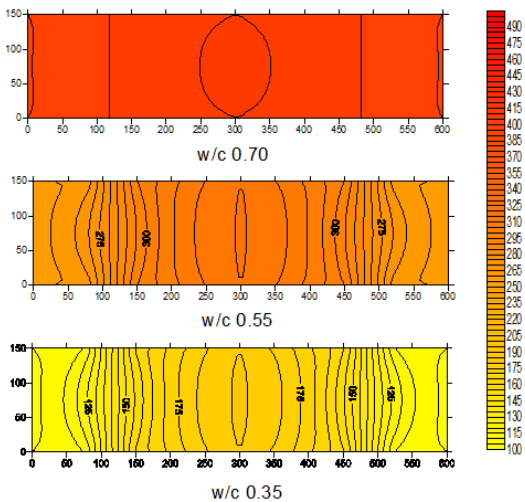
화와 함께 도시하였다.

w/c가 감소하고 단위시멘트량이 증가할수록 구조가 밀실해 지므로 염화물에 대한 저항성이 증가하고 (Song and Kwon, 2009), 이로 인해 HCP 및 철근부식 가능성이 뚜렷하게 감소하는 것을 알 수 있다. 평균 HCP가 w/c 0.7인 경우 -406mV로 측정되었는데, w/c 0.35인 경우인 -153mV보다 2.7배 정도 증가하였다. 피복두께의 증가뿐 아니라, 배합조정을 통해서도 뚜렷한 철근부식 저항성을 확인할 수 있다. 또한 28일 채령 압축강도 결과와 HCP 측정값을 비교하면 Fig. 10과 같이 나타낼 수 있다.

기존의 HCP 측정결과 (Leelalerkiet et al., 2004)에서는 w/c 0.55와 7.5mm의 피복두께로 시험을 수행하였는데, 건조시 -200mV~300mV 수준을, 포화시 -400mV~650mV 수준을 나타내었다. 본 실험결과는 24시간 실내존치후, 표면 건조시 적절한 수준의 측정결과를 나타내고 있다.



(a) measurement with location



(b) Contour of HCP

Fig. 8 HCP with different w/c ratios

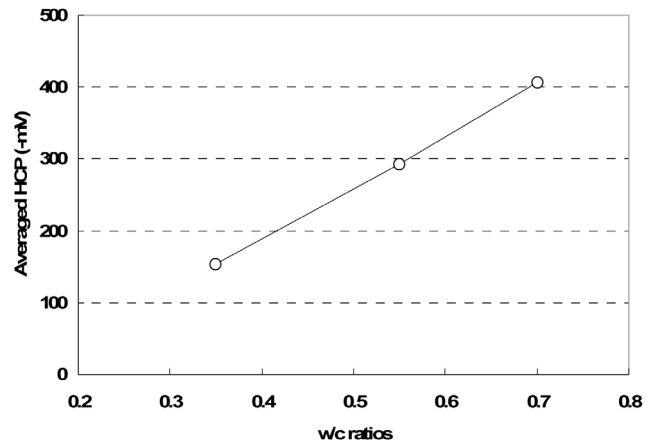


Fig. 9 Averaged HCP with w/c ratios

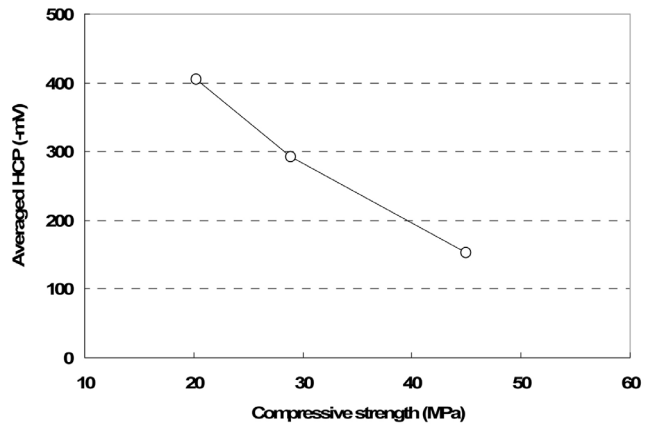


Fig. 10 Averaged HCP with compressive strength

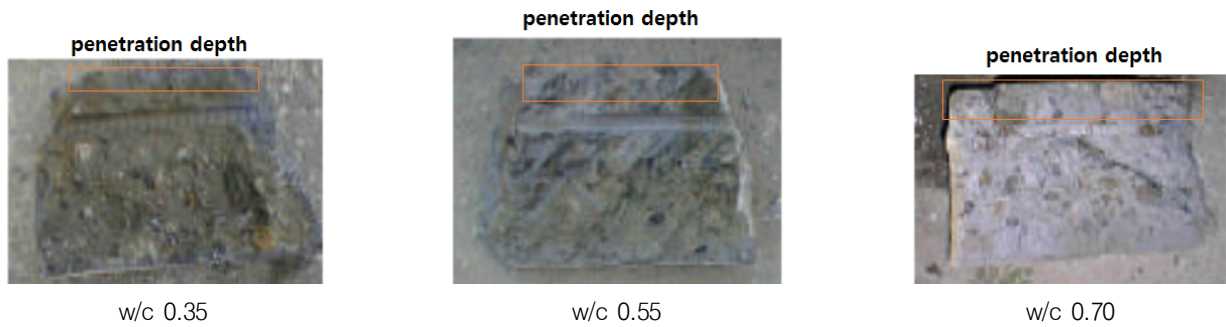


Fig. 11 Chloride penetration depth in different w/c ratio

### 3.3.2 육안관찰에 의한 철근부식 평가

RC부재를 파쇄후 육안으로 철근부식을 조사하였으며 염화물 침투 깊이를 Fig. 11에 나타낸다. w/c 0.70인 시편에서는 경미한 부식이 일부 시작되고 있었지만 심각한 수준은 아니었으며, w/c 0.35 및 0.55에서는 부식이 발생하지 않았다.

또한 염화물 침투깊이에서는 w/c 0.35인 경우 5~10mm 수준을, w/c 0.55인 경우는 8~13mm를, 그리고 w/c 0.70의 경우는 20~25mm의 염화물 침투깊이를 나타내었으며 부분적으로 30mm까지 진전된 부분도 존재하였다. 피복두께가 30mm로 고정되었으므로 심각한 부식은 모든 시편에서 발생하지 않았다.

## 4. 반전위값의 특성화 및 Life 365와의 비교

### 4.1 피복두께와 w/c를 고려한 평가식의 제안

본 절에서는 이상의 실험결과를 이용하여 피복두께와 w/c를 고려한 반전위 측정값을 함수화하도록 한다. w/c 0.55를 기준으로 한 실험결과는 Fig. 6에 나타나있는데, 반전위값의 변화 ( $HCP_c$ : -mV)를 피복두께의 함수 ( $C$ : mm)로 나타내면 식 (1)과 같다.

$$HCP_c = 437.2 - 5.65(C), R^2=0.96 \quad (1)$$

또한 Fig. 10의 결과에서 w/c의 영향을 고려하면 식 (2)와 같은 결과 ( $HCP_{w/c}$ : -mV)를 얻을 수 있다.

$$HCP_{w/c} = -16.9 + 574.9(w/c), R^2 = 0.97 \quad (2)$$

만일 w/c비에 따른 반전위값의 변동성을 식 (1)에 적용할 수 있다면 w/c에 따른 HPC의 증가분 ( $A$ )을 식 (3)과 같이

고려할 수 있으며, 최종적으로 식 (4)와 같은 반전위 측정값을 제안할 수 있다.

$$A = 2.287(w/c)^{1.397}, R^2 = 0.99 \quad (3)$$

$$HCP = 2.287(w/c)^{1.397} \cdot (437.2 - 5.65 \cdot C) \quad (4)$$

여기서  $HCP$ 는 w/c와 피복두께 ( $C$ )를 고려한 반전위값 (-mV)를 나타낸다.

위의 식은 w/c와 피복두께의 영향이 독립적이라는 가정으로 식을 제안한 것인데, 이에 대해서는 제한사항이 있으며 추가적인 연구가 필요하다. 실제로는 w/c가 낮은 경우에는 HCP의 피복두께에 대한 의존도가 w/c가 높은 경우보다 작기 때문이다. 또한 주기적인 염수분무시험결과이므로 완전포화인 해수중이 아닌 비말대 지역에만 적용 가능할 수 있다. 본 논문에서는 각 실험경우당 3개의 시편이 사용되었으며, 측정횟수도 제한이 있었다 (한 시편에 3개소 측정, 1개소당 3회 측정). 포화도가 증가할수록 HCP값은 증가하는 경향이 있는데, 본 논문에서는 정확한 포화도를 측정하기 못하였으며, 표면이 건조된 것만 확인하였으므로 이 역시 보완해야 할 대상이다. Fig. 12에서는 제안된 식 (4)와 실험결과와의 비교를 나타내었다.

### 4.2 부식방지를 위한 최적조건 도출

ASTM (2009)에 의하면 -200mV 이상의 경우에는 부식이 발생하지 않는다고 제시하였는데, Table 5와 같다.

식 (4)를 이용하여 부식발생이 없는 조건, 즉 비말대 조건에서 HCP가 -200mV 이상의 값을 가질 조건을 w/c와 피복두께를 고려하여 Fig. 13에 나타내었다. 또한 -200mV에 해당하는 영역을 Fig. 14에 도시하였으며, 결과는 Table 6에

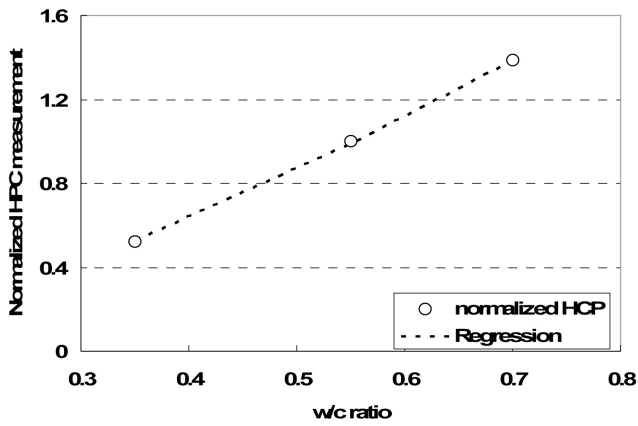


Fig. 12 Normalized HCP with w/c ratio

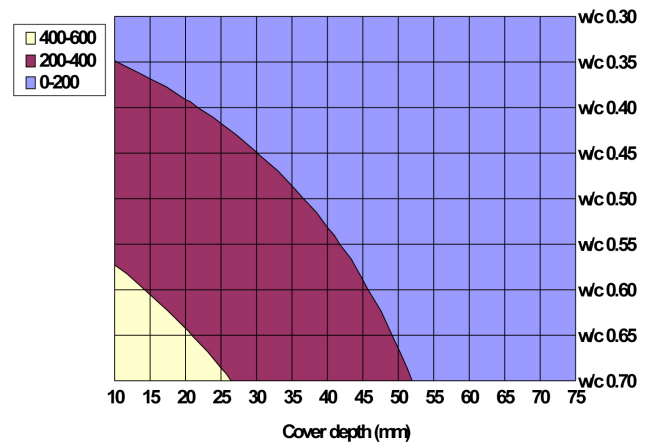


Fig. 14 Critical HCP with cover depth and w/c

Table 5 ASTM suggestion of HCP and corrosion (ASTM, 2009)

Measurement	Corrosion probability
Less -200mV	No steel corrosion
-200mV~-350mV	Uncertain
Over -350mV	Over 90% of steel corrosion

Table 6 Cover depth and w/c for critical HCP

w/c	Required cover depth (mm)
0.35	11
0.40	22
0.45	30
0.50	37
0.55	42
0.60	46
0.65	49
0.70	52

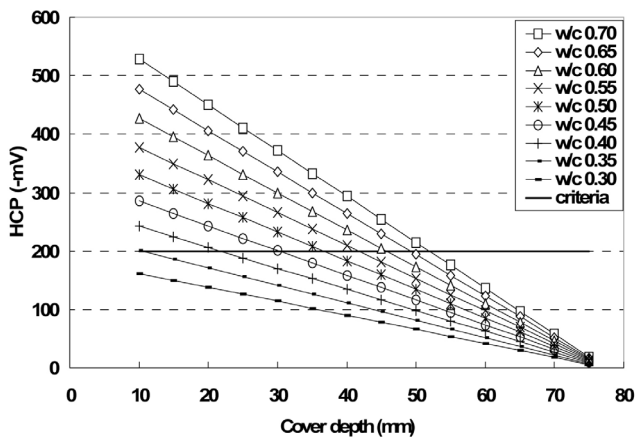


Fig. 13 HCP with various cover depth and w/c ratios

Table 7 Boundary conditions for Life355 analysis

Critical condition	1.2kg/m <sup>3</sup> at steel location
Apparent diffusion coefficient	$1.0 \times 10^{(-12.06 + 2.4w/c)} [m^2/s]$
Surface chloride content	3.0kg/m <sup>3</sup> (250m from seashore) South seashore in Korea
Temperature	14.7°C
Time to build up of surface chloride	3 Months
Time exponent	$m = 0.2$
Duration time	9.4 year

정리하였다.

### 4.3 Life 365를 통한 해석결과와의 비교

비파괴 실험결과와 염화물 침투거동 프로그램 결과와 비교하는 것은 정량적인 평가는 되지 못하지만 흥미로운 결과를 가져올 수 있다. Life 365 프로그램은 수중과 같은 정상 상태를 가정하므로 비말대 지역에서 사용하기 어렵지만, Table 7과 같이 경계조건 및 입력조건을 고려하여 해석을 수행하였다. 촉진염해분부시험에서 모사된 기간인 9.4년의 침투기간을 가정하였으며 HCP 실험과 유사한 환경조건을 가정하

였다. 결보기확산계수는 Life 365에서 제공하는 w/c의 지수 함수식을 사용하였으며 (Thomas and Bentz, 2002), 표면염화물량은 콘크리트 시방서를 기준으로 남해안에서 250m 떨어진 거리를 고도차 없이 가정하였다 (KCI, 2004). 온도는 남해안 (부산)지역의 연평균 온도를 가정하였으며, 표면염화물이 증가하는 시점은 3개월로 가정하였다.

해석결과를 Fig. 15에 나타내었는데, Life 365로 평가된 피복두께, 즉 유입된 염화물 침투량이 1.2kg/m<sup>3</sup>에 도달하는 침투깊이는 w/c가 감소할수록 감소하였으며, 최대값은 w/c

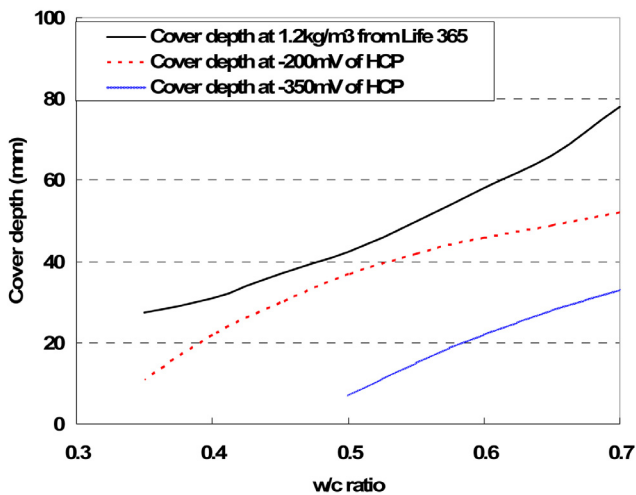


Fig. 15 Comparison of chloride penetration depth from Life 365 and resistant cover depth from HCP

0.7에서 78mm, 최소값은 w/c 0.35에서 27.5mm로 평가되었다. 이 한계상태를 부식이 발생하지 않는 조건으로 가정하면, HCP이 -200mV 이하인 값으로 가정할 수 있다. w/c 0.5인 경우는 비슷한 피복두께 및 침투깊이를 보이고 있으나, w/c가 낮아지거나 높아질수록 Life 365에 의한 침투깊이와 HCP로부터 제안된 피복두께의 차이가 증가하였다. 표면염화물 증가시기, 1차원 해석의 한계, HCP 측정시의 오차, HCP 평가방법의 보수성 등 여러 가지 이유가 있겠지만 주요원인으로는 Life 365가 겉보기 확산계수를 크게 가정하여 보수적인해석을 하고, 임계부식량 (1.2kg/m<sup>3</sup>)도 철근부식 개시조건에서 보수적이기 때문이다. 또한 본 연구에서 도출된 식 (4)도 실내실험에 국한된 것이므로 실태조사 결과와의 차이가 발생한다. 그러나 비말대 조건에서 10년 기간 동안 부식발생을 제어하기 위하여, w/c 0.5 수준에서 피복두께가 40mm 이상을 확보해야 되는 것은 두가지 방법에서 공통적으로 도출되었다.

## 5. 결론

콘크리트 특성에 따른 반전위 측정값의 변화와 부식제어 조건에 대한 연구를 통해 도출된 결론은 다음과 같다.

- (1) 피복두께와 w/c를 변수로 하여 제조한 RC 시편에 대하여 45일간 염수분무시험을 수행한 뒤, HCP를 측정하였다. 피복두께가 증가할수록 HCP는 선형적으로 감소하였고, 피복두께가 10mm (-350~-400mV)에서는 뚜

렷한 부식발생이 확인되었다. 또한 피복두께 30mm인 RC 시편에 대하여 w/c를 0.35, 0.55, 0.70으로 변화시켜 반전위값을 측정하였는데, w/c가 증가할수록 선형적으로 HCP값이 증가하였으며, w/c 0.70에서는 경미한 부식이 발생하였다.

- (2) 실험결과를 이용하여, 물-시멘트비와 피복두께를 고려한 HCP식을 제안하였으며, 비말대 지역에서 적용할 수 있는 부식방지를 위한 최적조건을 도출하였다.
- (3) 염수분무시험과 비슷한 환경조건을 가정하고 Life 365 프로그램의 해석결과와 비교하여 부식방지조건을 도출하였다. HCP 측정결과와 Fick의 법칙을 가정한 해석결과와는 차이가 발생하였으나, 두가지 방법 모두 비말대 조건에서 w/c 0.5일 경우 40mm 이상의 피복두께가 필요함을 확인하였다.

## 감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 주요사업 (FRP Hybrid Bar를 활용한 해양항만구조물 수명향상 기술 개발)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다

## References

1. ASTM C876-09, Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete, 2009, pp.1-6.
2. Baek, S. H., Xue, William, Feng, M. Q., Kwon, S. J., "Nondestructive Corrosion Detection in RC Through Integrated Heat Induction and IR Thermograph", Journal of Non Destructive Evaluation, Vol. 31, No. 2, 2012, pp.181-190.
3. Broomfield, J. P., Corrosion of Steel in Concrete: Understanding, Investigation and Repair. London: E&FN, 1997, pp.1-15.
4. Guthrie, W. S., Pinkerton, T. M., Eggett, D. L., Sensitivity of Half Cell Potential Measurements to Properties of Concrete Bridge Deck, Report No.UT-08.21, October 2008, pp.36-50.
5. KCI-Korea Concrete Institute. Concrete Standard Specification -Durability Part, 2004, pp.12-19 (in Korean).
6. Kim, K. B., A Study on Allowable Crack Width of Reinforced Concrete Flexural Beam Subjected to Corrosive Environment, Yonsei University, Dissertation of MS, 2001, pp.35 (in Korean).
7. Kwon, S. J., Park, S. S., "Non Destructive Technique for Steel Corrosion Detection Using Heat Induction and IR Thermography", Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol. 16, No. 2, 2012, p.40 (in Korean).
8. Kwon, S. J., Song, H. W., "Analysis of Carbonation Behavior in Concrete Using Neural Network Algorithm and Carbonation Modeling", Cement and Concrete Research, Vol. 40, No. 1, 2010, pp.119-127.



- 
9. Leelalerkiet, V., Kyung J. W., Ohtsu, M., Yokota, M., Yokota, M., "Analysis of Half-Cell Potential Measurement for Corrosion of Reinforced Concrete", Construction and Building Materials, Vol. 18, No. 3, pp.155-162.
  10. Lim, Y. C., "A study on the Estimation of Moisture Condition of Concrete by Resistivity Method", Journal of Korea Architecture Institute, Vol. 28, No. 12, 2012, pp.69-76 (in Korean).
  11. Otsuki, N., Nagatataki, S. and Nakashita, K., "Evaluation of AgNO<sub>3</sub> Solution Spray Method for Measurement of Chloride Penetration into Hardened Cementitious Matrix Materials", ACI Materials Journal, Vol. 89, No. 6, 1992, pp.587-592.
  12. RILEM, Durability Design of Concrete Structures. Report of RILEM Technical Committee 130-CSL, E&FN, 1994, pp.28-52.
  13. So, H. S., "Environmental Influences and Assessment of Corrosion Rate of Reinforcing Bars Using the Linear Polarization Resistance Technique", Journal of Korea Architecture Institute, Vol. 22, No. 2, 2006, pp.107-114 (in Korean).
  14. Song, H. W., Lee, C. H., Lee, K. C., "A study on Corrosion Potential of Cracked Concrete Beam According to Corrosion Resistance Assessment", Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol. 97, No. 1, 2009, pp.97-105 (in Korean).
  15. Song, H. W., Park, S. W., Lee, C. H., Kwon, S. J., "Service Life Prediction of Concrete Structures Under Marine Environment Considering Coupled Deterioration", Journal of Restoration and Building Monuments, Vol. 12, 2006, pp.265-284.
  16. Thomas, M. D. A., Bentz, E. C., Computer program for predicting the service life and life-cycle costs of reinforced concrete exposed to chlorides. Life 365 Manual, SFA, 2002, pp.28-56.

Received : 05/09/2013  
 Revised : 07/15/2013  
 Accepted : 07/19/2013

---

## 요 지

비파괴 기법중 반전위 측정법은 부식가능성을 정량적으로 판별할 수 있으므로 꾸준히 사용되고 있다. 본 연구에서는 피복두께를 10, 30, 60mm, 물-시멘트비를 0.35, 0.55, 0.70으로 변화시킨 RC 시편을 대상으로 비말대 지역을 모사한 촉진염해분무실험을 수행하였다. 45 일간의 촉진 염해 분무실험을 수행한 뒤, RC 시편에 대하여 반전위값을 측정하였다. w/c 0.55 조건에서 피복두께가 10mm인 RC 시편은 부식이 발생하였으며, w/c 0.7인 경우 피복두께 30mm인 시편에서도 부식이 발생하였다. 실험결과를 이용하여 물-시멘트비와 피복두께를 변수로 하는 반전위 평가식을 제안하였으며, 비말대지역에서 부식을 억제할 수 있는 조건을 도출하였다. 또한 Life 365 프로그램을 이용하여 비부식 조건의 w/c와 피복두께를 분석하였으며, 본 연구의 결과인 반전위 측정값과 비교하였다.

**핵심 용어** : 철근부식, 반전위 측정, 염해 분무, 비부식조건