



수산화칼슘을 혼입한 폴리머 방청 코팅의 부식 임계치 향상에 대한 연구

송하원¹⁾ · 이창홍^{1)*} · 이근주¹⁾ · 안기용¹⁾

¹⁾연세대학교 사회환경시스템공학부

A Study on Chloride Threshold Level of Polymer Inhibitive Coating Containing Calcium Hydroxide

Ha-Won Song¹⁾, Chang-Hong Lee,^{1)*} Kewn-Chu Lee,¹⁾ and Ki-Yong Ann¹⁾

¹⁾Dept. of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749 Korea

ABSTRACT Various types of coatings have been developed for use as reinforcement in concrete and to resist chloride environment. The most commonly used coatings are inhibited and sealed cement slurry coating, cement polymer compositing coating and epoxy coating. Cement slurry offers passive protection, epoxy coating offers barrier protection whereas polymer coating offers both passive protection and barrier protection. Moreover, damage during handling of the steel may result in disbondment of the epoxy coating, which would increase the risk of localized corrosion. In the present study, inhibiting technique was used to increase the calcium hydroxide content at the interface up to 20%. Calcium hydroxide provides a high buffering capacity that resists a local fall in pH and thus maintains the alkaline environment necessary to prevent chloride corrosion. This study examines the use of a calcium hydroxide coating on the steel surface to enhance the pH buffering capacity of steel-concrete interface. Finally, the chloride threshold level (CTL) of polymer inhibitive coating calcium hydroxide is evaluated.

Keywords : calcium hydroxide, inhibitive coating, chloride-induced corrosion, CTL, concrete

1. 서 론

염해 및 중성화 등의 열화인자를 포함한 해양환경에 노출된 콘크리트구조물은 콘크리트 내로의 염화물 혹은 대기중에 포함된 CO₂를 흡수하여 콘크리트 내로 침투시키며, 이는 철근콘크리트구조물 내의 철근과 콘크리트 계면에 존재하고 있는 부동태피막을 파괴하여 철근부식을 개시시키게 된다.^{1,2)}

기존의 많은 연구들이 철근부식 개시의 지연 및 부식 임계치 (chloride threshold level: CTL)와 관련하여 연구가 수행되어져 왔으며 특히, 철근부식의 방청과 관련하여서는 콘크리트 내의 방청제의 혼입 및 전기화학적 기법을 활용한 음극보호 혹은 탈염의 방식으로 부식을 억제해왔다.³⁻⁵⁾ 그러나 위의 방법은 콘크리트 전체 구조물에 있어서 직·간접적인 단점을 가지고 있는데, 철근부식의 관점에서는 상기의 방법들이 효율적이고 정량적인 방법으로 사용될 수 있으나, 전체 구조물의 내하성 및 안전성 그리고 시공성 측면에서는 다분히 취약점을 가지고 있기 때문이다. 즉, 방청제의 과다사용은 콘크리트의 강도를 저하시켜 구조물의 안전성 및 내구성을 저하시키게 되며,⁶⁾

음극보호 등을 통한 전기화학적 기법의 경우 신설 구조물의 경우에는 설치비용이 많이 들고, 기존 구조물의 경우는 구조물의 일부 손상을 유도하여 전기회로를 형성해야 한다는 단점을 수반하여 경제성 혹은 안전성 측면에서의 고려가 필요하다.⁷⁾

본 연구에서는 경제성 및 시공성을 목표로 두어, 철근/콘크리트 계면에서의 철근부식제어를 위한 방안으로서 철근 표면 피복코팅을 이용한 부식 임계치 향상 방안에 대한 연구를 수행하였다. 철근의 방청코팅에 대한 적용 사례는 국외의 경우 일부 연구가 있으나 대부분 에폭시 수지를 이용한 표면코팅에 한정되어 있고,^{8,9)} 방청코팅제 내에 수산화칼슘을 혼입하여 철근/콘크리트계면에서의 수화를 촉진시키고 그로인해 부동태 피막의 국부적인 폐하 (이하 pH) 저하저항성을 향상시키기 위한 방안의 연구는 국외에서도 전무한 실정이라 하겠다.

2. 실험

본 연구에서의 실험은 수산화칼슘 (calcium hydroxide; CH)을 고정량으로 두고, 그에 따른 폴리머/물 (polymer/water)비를 증가시키면서 수산화칼슘 및 방청코팅의 두께에 따른 CTL의 영향을 분석하고자 하였다. 사용 폴리머는 수용성의 100% butyl digol (C₈H₁₈O₃, 이하 폴리머

*Corresponding author E-mail: lch1730@yonsei.ac.kr

Received May 28, 2008, Revised August 18, 2008, Accepted November 13, 2008

©2008 by Korea Concrete Institute

로 표기)을 사용하였으며, 수산화칼슘과 조합된 폴리머의 방청 코팅 경화속도를 비교하였다.

철근의 표면 피복 코팅은 콘크리트 타설 전에 코팅재료의 밀도 및 무게를 측정하여 두께로 치환 계산하는 방법과 마이크로미터를 이용하여 실제 코팅부의 두께를 직접적으로 측정하는 두 가지의 방법을 모두 사용하였다.

각 철근의 수산화칼슘을 혼입한 폴리머방청 코팅에 따른 중성화 시기는 실험실 조건 ($20 \pm 1^\circ\text{C}$)에서 갈바닉 전류 측정에 의한 모니터링 기법으로 결정되었으며,¹⁰⁾ 부식개시 여부가 결정된 이후에 시편을 쪼개어 페놀프탈레인의 분무를 통한 중성화 침투시험을 수행하였다. 각 실험 시편의 화학적 구성성분 및 배합은 Tables 1 및 2에 제시하였다. 여기서, 콘크리트의 배합과 관련하여서는 본 연구의 주요 측정 파라미터가 철근 표면의 방청 코팅에 따른 철근/콘크리트 계면에서의 부식임계치 향상 방안에 관한 연구를 주된 연구 내용으로 하였고, 임계치 향상 인자로서 철근의 방청코팅을 수산화칼슘 및 액상 폴리머의 첨가비율을 가감하는 방법으로 인자설정을 하였으므로 실제의 수산화칼슘을 혼입한 폴리머방청 코팅 철근을 보호하게 될 콘크리트 시편내에 첨가된 결합재의 치환율 및 물/결합재비는 단위시멘트량을 변수로 하였다. 한편, 혼합시멘트 제조용으로 시멘트는 S사 보통포틀랜드시멘트 (이하 OPC)를 사용하였다. 플라이애쉬 (이하 PFA)는 국내 유연탄계 화력발전소인 B 발전소에서 발생한 것을

Table 1 Oxide composition of OPC, PFA and GGBS used in this study (in %)

Oxide	OPC	PFA	GGBS
CaO	64.7	1.7	41.2
SiO ₂	20.7	48.7	34.2
Al ₂ O ₃	4.6	18.8	11.7
Fe ₂ O ₃	3.0	7.7	1.43
MgO	1.0	1.0	8.81
Na ₂ O	0.13	0.4	0.29
K ₂ O	0.65	1.9	0.31
Mn ₂ O ₃	-	-	0.3
TiO ₃	-	0.9	0.58
SO ₃	3.0	0.64	-
Ignition loss	1.30	1.52	1.29

Table 2 Mix proportions for concretes used in this study

Mix	W/C	Slump (mm)	Unit weight (kg/m ³)					Gravel
			Cement	PFA	GGBS	Water	Sand	
OPC (lean)	0.45	140	282	-	-	127	709	1,307
OPC (rich)	0.45	130	350	-	-	158	519	1,355
30% PFA	0.4	90	280	120	-	160	680	1,230
65% GGBS	0.4	80	140	-	260	160	680	1,230

사용하였으며 고로슬래그미분말 (이하 GGBS)의 경우는 K 제철에서 취급하는 것을 사용하였다. 또한, OPC의 경우 분말도는 $3,200 \pm 300 \text{ cm}^2/\text{g}$, PFA는 $2,400 \text{ cm}^2/\text{g}$, GGBS는 $4,000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 이며 OPC의 내부 염소 이온량은 0.02% 이하였다. 또한, 굵은골재의 최대 치수는 13 mm를 사용하여 실험을 수행하였다.

2.1 코팅재료

액상 폴리머는 4종류의 인자를 사용하였다. 여기서, 폴리머/물 비는 0, 0.5, 0.75 및 0.875를 설정하였고, 방청 코팅제로 사용된 수산화칼슘의 증량비는 본 연구의 예비 실험을 통해 도출된 건조 및 경화기간 동안에 최소값으로 균열을 방지하는 값인 1.25를 사용하였다.¹¹⁾ 코팅재료와 관련된 배합비는 Table 3에 나타내었다.

물, 폴리머 및 수산화칼슘을 혼입한 방청 코팅제의 배합과 관련해서는 6.5 cm³ 용적의 원형몰드를 사용하였으며 실험실에서 (50%RH, 20) 1일간 건조 하였다. 철근의 방청코팅 용적은 0.0001g의 정밀 전자저울을 이용하여 각 철근의 코팅부의 밀도를 측정하였다. 여기서, 철근 표면의 방청 코팅 무게는 코팅 전·후 철근의 무게를 측정하여 결정하였다. 한편, 방청 코팅 두께는 코팅 무게를 밀도로 나누어 코팅 면적에 고르게 분포된 것으로 가정하여 계산을 도출하였다.¹²⁾ 한편, 마이크로미터를 이용하여서도 철근 주변을 둘러싼 5군데의 코팅의 두께를 측정하여 중복검사를 수행하였다. 다만, 시편 III 및 시편 IV의 철근 방청 코팅의 경우는 코팅부가 마이크로미터를 이용하여 측정하기에는 코팅부의 경도 감소에 따른 매질의 유연화에 따른 부적합 조건을 나타냈으므로 치수 오차의 폭이 커 측정하지 않았다.¹¹⁾

한편, 수산화칼슘 및 액상 폴리머를 혼입한 방청코팅은 고밀도 브러쉬를 이용하여 철근 표면에 고르게 코팅하였으며 코팅 후에는 경화 및 철근의 표면코팅을 고르게 하기 위해 시편 고정용 교반기를 사용하여 초반 5분간 30 rpm의 조건에서 고르게 양생하였고 이후에는 25분간 15 rpm의 조건에서 양생을 수행하였다. 철근 표면부의 방청코팅이 완료된 철근은 20°C의 실내실험실에서 건조 및 경화를 위해 1일간 양생하였다.

2.2 시편 준비

콘크리트 시편은 150 mm × 150 mm × 150 mm의 사각형 몰드를 사용하여 타설하였으며, 몰드 중앙에는 20 mm 직

Table 3 Mix proportions of inhibitive coating used in this study

Coating	Water (g)	Polymer (butyl digol) (g)	CH (g)
I	50	0	40
II	25	25	40
III	12.5	37.5	40
IV	7.5	42.5	40

경의 원형철근을 수직으로 삽입하였다. 또한, 콘크리트 시편내의 철근의 고정과 관련하여서는 기 제작된 플라스틱 브릿지를 몰드 상부에 위치시켜서 철근의 볼트연결을 통해 타설 콘크리트의 중앙에 위치하도록 고정하였다.

방청 철근 표면의 미세녹 (이하 Millscale)은 국부부식의 위험성을 제거하고자 샌드페이퍼 및 질산을 이용하여 제거하였으며 철근의 양 끝 단부에는 수산화칼슘을 포함한 표면 방청 코팅을 수행하여 부식방지를 위한 절연을 수행하였다.

철근콘크리트 시편의 탈형 후에는 콘크리트 시편을 폴리에틸렌 필름을 이용한 막양생을 통해 4주 동안 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 에서 양생을 하여 대기중의 중성화를 방지하였다. 한편, 시편은 초기에는 1주간 양생조에서 포화상태로 두었고, 이후 4M의 NaCl 용액상에서 25°C 의 조건으로 측정을 수행하였다. 본 실험과 관련된 전체 실험 개략도는 Fig. 1에 나타내었다.

철근과 콘크리트의 덮개깊이는 염분의 침투시간을 고려하여 15 mm로 설정하였으며, 실제 부식전류 측정시에는 티타늄 메시를 이용하여 갈바닉 회로 형성 후 부식전류를 측정하였다.

2.3 부식개시 판정을 위한 갈바닉 부식전류 측정

철근과 콘크리트 계면에서의 부식 개시 판정은 Fig. 1에서 제시된 실험 개요를 통해 갈바닉 전류 측정으로서 평가를 하였다. Fig. 2에는 콘크리트 시편에서 철근의 국부 부식 개시 이후에 철근을 제거한 콘크리트 단면의 BSE (backscattered electron) image 기법을 적용한 binaries에 따른 철근과 콘크리트 계면에서의 국부부식 부위의 사진을 확대하여 나타내었다.²⁾

Fig. 2는 갈바닉 전류측정으로 국부 부식이 예측되어진 시편에 대해 시편을 쪼개어 철근을 제거한 단면을 주사전자현미경 (scanning electron microscopy: SEM)을 이용하여 확대촬영한 후 이를 Scion image 프로그램을 이용하여 기존의 256 bitmap 컬러를 BSE image기법을 이

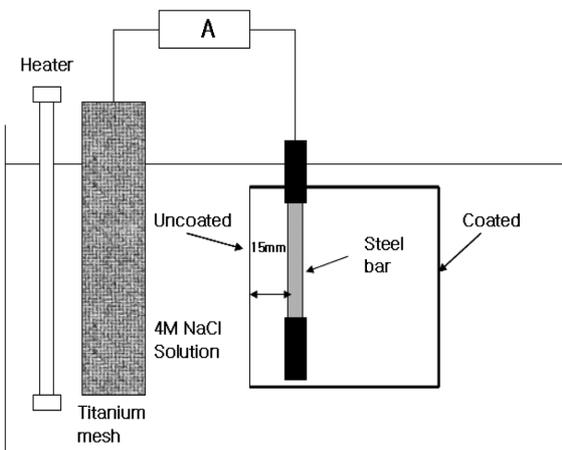


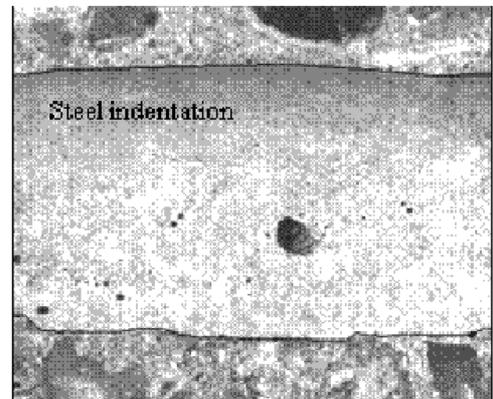
Fig. 1 Schematic of experimental set-up for CTL testing

용한 흰색 및 검은색으로 2원화시켜 국부 부식부위를 강조한 그림이다.

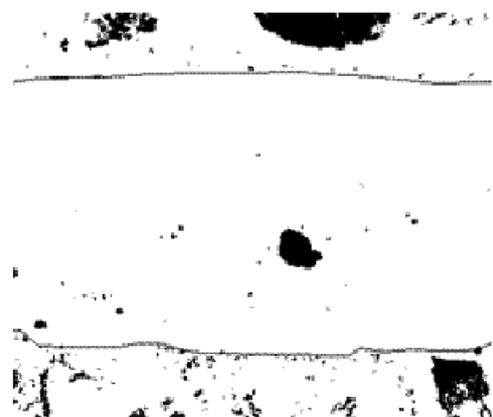
Fig. 3에는 해당 철근콘크리트 시편의 부식개시를 판정하기 위한 갈바닉 전류 측정 결과 예시를 나타내었다. 여기서, 철근과 티타늄 메쉬 사이에서의 갈바닉 전류는 10 kΩ의 저항을 가진 데이터로거를 통해 매 6시간마다 측정하였으며, 부식 개시의 철근부식 모니터링시에 철근과 메쉬 사이에서 급격한 전류의 변화 및 증가가 나타나는 구간을 부식 개시 구간으로 설정하였다. 따라서 Fig. 3의 경우에는 35일째에 급격한 전류 상승효과를 보이면서 부식이 개시되고 있음을 쉽게 확인이 가능하며 이와 같이 본 방청코팅을 사용한 철근부식의 부식 개시 시기 예측도 같은 방법으로 평가하였으며, 이는 시편을 쪼개어 본 연구는 철근의 부식 전류보다는 방청코팅의 CTL상의 효율성에 초점이 맞추어진바 부식 개시 판정을 위한 방법으로써만 적용되었음을 밝혀둔다.

3. 실험 결과

500일의 실험 기간동안 4M의 NaCl 환경하에서 시편 I과 시편 IV의 2개의 배합 중 부식의 발생은 오직 4군데 시편에서만 발생하였다. 4단계 4개씩의 시편 중 부식발생이 이처럼 작게 나타난 결과는 방청코팅의 높은 부식저항성을 단적으로 나타내 중국적으로 효율적인 CTL의



(a) Scion image with 256 colors



(b) BSE image with binarised colors

Fig. 2 BSE image of steel-concrete interface

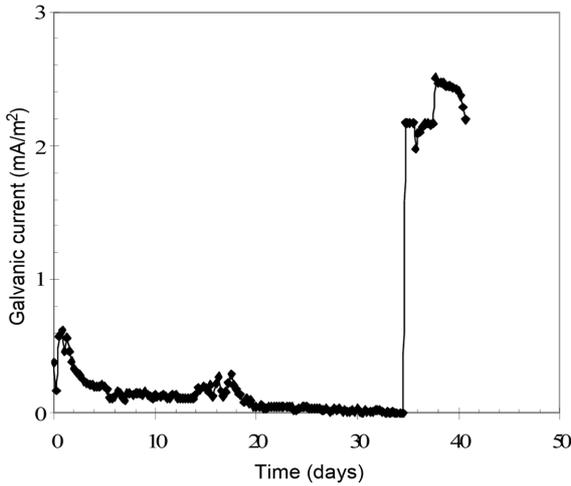


Fig. 3 An example of corrosion monitoring by galvanic current measurement between the anodic steel in concrete and an external cathodic titanium mesh

증가를 추론케 하는 증거가 될 수 있지만, 부식의 미발생으로 인한 데이터 측면에서의 연구에서는 데이터의 부족으로 인한 방청 코팅효과를 CTL과 포괄적으로 비교하는데 있어 상당한 시일을 필요로 할 것으로 요구된다.

한편, 대부분의 각 시편내 철근의 방청 코팅 밀도가 유사함에도 불구하고 갈바닉 부식전위 측정에 의한 부식 개시 예측 후 측정된 콘크리트 시편의 중성화 시기는 시험 시편내 폴리머의 증가율이 증가함에 따라 중성화가 이루어지기까지의 시간 역시 증가하는 거동을 보여 수산화칼슘이 첨가된 방청 코팅의 효율성을 재확인 할 수 있었다.

3.1 코팅 재료

방청코팅으로 사용된 수산화칼슘이 함유된 폴리머 함유율의 증가에 따른 코팅의 두께는 폴리머/물 비가 0.0, 0.5, 0.75 및 0.875인 각 경우에 대해 1.23, 1.27, 1.29 및 1.35 mm로 나타났다.

Fig. 4에는 각 시편의 밀도로부터 계산된 코팅두께와 마이크로미터를 이용하여 직접 측정된 방청 코팅 두께의 상관관계를 나타내었다. 여기서, 시편 III과 IV의 경우에는 표면 코팅부가 마이크로미터를 사용하여 측정하기에는 경화된 상태의 재질이 유연하여 상당량의 손상을 포함하므로 비교를 하지 않았으며, 시편 I과 시편 II의 경우는 그림과 같이 선형관계가 나타나 정량적인 밀도측정에 의해 계산된 코팅 피복두께의 거동과 방청 코팅부의 마이크로미터를 이용하여 측정된 결과값이 일치하고 있음을 확인할 수 있었다.

한편, Table 4에는 본 실험에서 측정된 표면의 피복두께 결과를 나타내었다.

3.2 중성화 개시 시기

Fig. 5에는 본 실험에서 사용된 콘크리트 시편의 중성

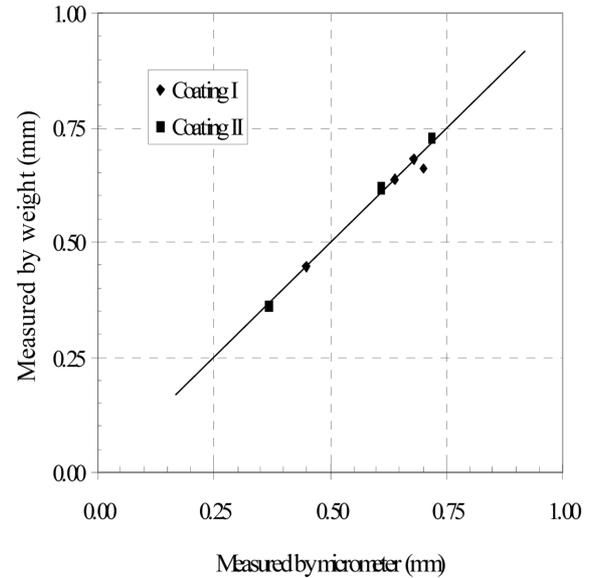


Fig. 4 The thickness of inhibitive coating measured by a micrometer and by the weight method

Table 4 Thickness of calcium hydroxide polymer coating on the steel

Coating	Thickness calculated from density (mm)	Thickness measured by micrometer (mm)
I	0.45	0.45
	0.66	0.70
	0.68	0.68
	0.64	0.64
II	0.62	0.61
	0.61	0.61
	0.73	0.72
	0.36	0.37
III	0.84	N/A
	0.76	
	0.55	
	0.71	
IV	0.73	N/A
	0.62	
	0.68	
	0.70	

화 개시 시간에 대한 결과를 나타내었다. 갈바닉 부식전류의 측정 모니터링을 통해 부식 개시가 관정되어진 콘크리트 시편에 대해 중성화 실험을 수행하였으며, 본 연구에서는 콘크리트 시편의 중성화 개시를 페놀프탈레인 용액을 분사시 색변화가 없는 시간으로 정의하였다.¹²⁾ 따라서 실험 결과로서, 시편 I, II, III 및 IV의 폴리머 첨가율의 증가에 따른 콘크리트 시편의 중성화 개시 시기는 12, 15, 18 및 26일로 각각 관찰되었다. 이로써 방청 코팅제 내의 수산화칼슘을 함유한 폴리머의 첨가율 증가로 인해 중성화 개시 시기를 지연시키고 있음을 확연히 알

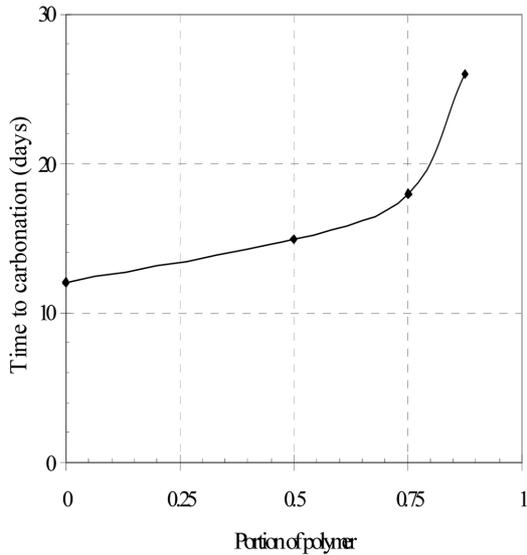


Fig. 5 Time to surface carbonation of inhibitive coating with various proportions of polymer in the solvent

수 있었고 이러한 이유로써 폴리머/물 비가 증가하면서 콘크리트내에서 상대적인 수분 감소에 의한 중성화 개시 시기의 지연효과로 설명될 수 있다 하겠다.

3.3 부식임계치 (CTL)

철근에 수산화칼슘을 혼입한 방청코팅의 효율성에 대한 결과는 Fig. 6에 나타난 바와 같이 CTL의 증대효과를 가져다 주는 것으로 분석되었다. 여기서, 철근과 콘크리트 계면에서의 갇힌 공기의 계산은 실제 시험시편의 코팅으로 인해 직접적으로 측정될 수 없었으나 시멘트 매트릭스내에서의 용적당 공극과 계면에서의 공극량은 동일하다고 가정하여 비교가 가능하다고 할 수 있겠다.¹³⁾

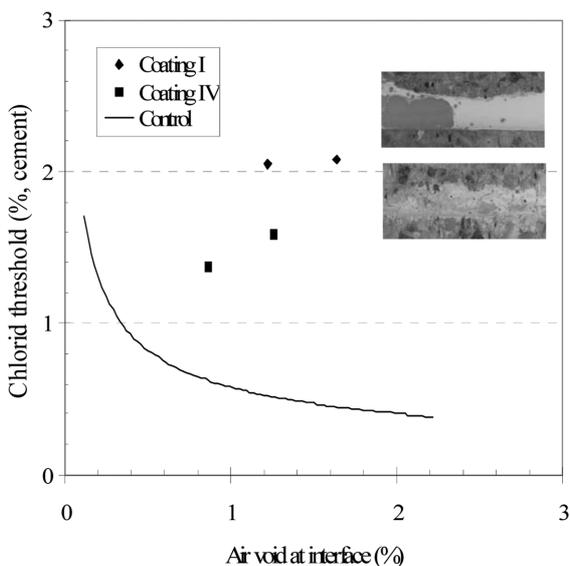


Fig. 6 Chloride threshold level for the inhibitive coating as a function of the entrapped air void content at the steel-concrete interface

한편, 총 500일의 실험 기간동안 부식의 개시는 4개의 시편중 I과 IV 시편에서 각각 감지가 되었는데, I시편의 경우 CTL은 2.05% 및 2.07%로 나타났으며, IV 시편의 경우는 1.37% 및 1.58%로 나타났다. 또한, 부식의 개시는 I 시편의 경우는 294일과 341일에 발생되었으며, IV 시편의 경우는 198일과 234일에 발생이 된 것으로 관찰되었다. 한편, 표면염화물량 및 확산계수 등의 기타 조건은 control시편 (W/C = 0.45, 시멘트량 350 kg/m³인 철근의 표면 피복코팅을 수행하지 않은 콘크리트 시편)과 동일한 조건에서 실험이 수행되었다.

본 연구에서 CTL은 Fig. 6에서와 같이 수산화칼슘을 함유한 폴리머 치환률의 증가에 따라 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 아마도 코팅의 분산에 의해 나타난 것으로 판단된다. 즉, 높은 수산화칼슘이 함유된 폴리머의 치환률이 증가될 경우, 방청코팅의 매질의 경도를 감소시키고, 그로 인해 철근과 코팅부의 양생 혹은 실험 기간동안 박락의 형태로 나타나 CTL을 감소시킨 것으로 판단된다.

Fig. 6의 그래프내 사진에는 갈바닉 전류측정으로 부식이 예측되었던 시편의 쪼갬후 중성화 개시 여부 육안 확인 결과를 사진으로 동시에 나타내었다. 시편 I의 경우에는 철근/콘크리트 계면에서 중성화가 발생되지 않음을 확인하였으나 Fig. 6의 시편 IV의 경우는 부분적으로 중성화에 의한 손상이 일어나고 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 방청 코팅의 경우 충분한 경화시간 및 부착 등이 부식 저하 저항성을 향상시키기 위해 반드시 고려해야 할 대상중의 하나라고 할 수 있겠다.

4. 고 찰

본 연구를 통해 철근의 방청을 위한 표면 코팅용으로 폴리머와 물에 수산화칼슘을 첨가한 코팅철근을 적용하여 주어진 공극 범위내에서 CTL을 증대시키고 있음을 확인하였다. 또한, 낮은 CTL범위의 철근 부식 개시는 철근과 콘크리트 계면에서 갇힌 공극의 저항성의 결여로 인한 결과로서 설명이 가능하다. 수산화칼슘의 혼입량 증가를 통한 방청코팅의 적용은 철근과 콘크리트 계면 구간에서 시멘트수화를 증대시켜 전체적인 시멘트량을 증가시키는 효과를 나타내고 있음도 알 수 있었다. 한편, 철근 및 콘크리트 계면구간에서의 수산기 이온의 지속적 공급을 통해 철근 부동태 피막에서의 국부적인 pH저하를 방지하기 위한 저항성을 증대시키고 있음도 확인이 가능하였다.

한편, 기존의 연구¹⁴⁾¹⁶⁾로부터 포졸란계 재료, 질산칼슘 및 전기화학적 기법 등의 적용을 통해 CTL을 증가시킬 수 있으나 철근/콘크리트 계면에서의 갇힌 공극의 CTL에 대한 영향 또한 고려 대상이 되어야 할 것이라고 판단된다. 즉, CTL의 변화는 철근과 콘크리트 계면에서의 칼슘수화물의 적절한 공급을 통한 칼슘수화물과 공극내에서의 수화반응 및 계면구간 전범위에 걸친 공극분포도

고려해야 하며, 철근 계면에서의 방청 철근피복의 두께와 사용 폴리머 유형이 CTL과의 영향성과 관련지어 큰 인자라 할 수 있겠다.

한편, Fig. 6에 나타난 시편 I의 경우, 코팅 두께는 CTL과의 영향성이 적은 반면에 시편 IV에 있어서 시편이 철근/콘크리트 계면에서 더욱 많은 공극을 함유하고 있었음에도 불구하고 CTL은 방청 코팅 두께의 증가에 따라 증가하는 경향을 알 수 있었다. 이는 본 실험에서 사용된 코팅이 상대적으로 갇힌 공극을 많이 가지고 있는 다공성의 콘크리트에 효과적으로 보상효과를 가져다 줄 수 있음을 입증하고 있다.

한편, 수산화칼슘을 함유한 방청 코팅내의 폴리머/물비에 따른 실험 결과, 부식 개시 시기는 12~26일로 나타났다. 즉, 부식 개시 이후의 중성화 실험은 방청 코팅부가 공극수내의 강 알칼리성 환경을 코팅의 무결성 정도에 따라 적절하게 유지가 되게끔 하고 있음 확인 가능하다. 따라서 철근 방청 피복 코팅시 수분의 사용량이 중성화를 결정하는 또다른 중요한자라는 결론을 내릴 수 있다 하겠다.

또한, 수산화칼슘을 함유한 폴리머 방청 코팅의 사용은 염해 부식의 측면에서 상당히 경제적이며 시공성이 높은 방법으로 판단되어진다. 본 실험에서 수행된 방청 코팅은 철근 표면에만 한정되어 적용되는 장점이 있고, 향후 시공성에 있어서도 스프레이형태로 시공 간편화가 가능하다. 반면, 방청제 혹은 전기 화학적 방식기법의 경우는 신설 혹은 기존 구조물의 전체 적용을 필요로할 수밖에 없는 단점을 가지고 있다.

따라서, 향후 연구로써 철근을 보호하기 위한 방청코팅에 대한 다양한 연구가 진행되어야 하며, 본 연구의 결과를 통해, 수산화칼슘을 함유한 폴리머 방청 코팅의 사용을 통해 최소한 염해에 의한 철근부식의 개시를 연장할 수 있음을 확인하였다고 할 수 있겠다.

5. 결 론

본 연구에서는 수산화칼슘을 함유한 폴리머 방청 코팅이 염해 환경에 노출된 철근 콘크리트내의 임계염화물농도 (CTL)를 증가시키기 위한 방법으로서 제안되었다. 총 500일간의 실험을 통해, 부식은 총 16개의 시편 중 오직 4개 시편에서만 관측되었으며, 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 철근의 방청을 위한 표면 코팅용으로서 폴리머와 물에 수산화칼슘을 첨가한 코팅을 적용하여 주어진 공극 범위내에서 CTL을 증대시키고 있음을 확인하였다.
- 2) 각 CTL은 시편 I의 경우 2.05%와 2.07%로 나타났으며, 시편 IV의 경우는 1.37%와 1.58%로 나타나 수산화칼슘의 상대적 증가에 따른 CTL 증대효과를 알 수 있었다.
- 3) 철근 표면코팅의 접착과 수산화칼슘을 함유한 폴리

머의 비율이 CTL에 크게 영향을 끼치고 있음을 확인하였다. 방청 코팅의 두께 증가는 CTL의 증가를 나타내고 있음을 알 수 있었다.

- 4) 방청 코팅제내의 수산화칼슘을 함유한 폴리머의 첨가율 증가로 인해 중성화 개시시기를 지연시키고 있음을 확인하였으며, 부식 개시 시기도 증가되고 있음을 알 수 있었다. 시편 I의 경우는 294일 및 341일에서, 시편 2의 경우는 198일과 234일에서 부식이 발생됨을 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 “건설교정R&D정책 · 인프라사업 성능중심의 건설기준 표준화 연구단 및 콘크리트 코리아 연구단 (Concrete Corea)”의 재정적 지원을 받아 연구되었으며, 실험과 관련하여 도움을 주신 한국건자재시험연구원에도 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Song, H. W., Lee C. H., and Ann, K. Y., “Factors influencing chloride transport in concrete structures exposed to marine environment,” *Cem Concr Comp*, Vol. 30, I. 2, 2008, pp. 113~121.
2. Ann, K. Y. and Song, H. W., “Chloride threshold level for corrosion of steel in concrete,” *Corros Sci.*, Vol. 49, 2007, pp. 4113~4133
3. Buenfeld, N. R. and Broomfield, J. P., “Influence of Electrochemical Chloride Extraction on The Bond Between Steel and Concrete,” *Mag Conc Res*, Vol. 52, 2000, pp. 79~91
4. Swamy, R. N., “Resistance to Chlorides of Galvanized Rebars,” In: *Corrosion of Reinforcement in Concrete*, C.L. Page, K.W.J. Treadaway and P.B. Bamforth, eds., Elsevier Applied Science, London UK, 1990, pp. 586~600
5. Alonso, C., Castellote, M., and Andrade, C., “Chloride Threshold Dependence of Pitting Potential of Reinforcements,” *Electrochimica Acta*, Vol. 47, 2002, pp. 3469~3481
6. Hansson, C. M., Mammoliti, L., and Hope, B. B., “Corrosion Inhibitors in Concrete - Part 1: the principles,” *Cem Concr Res*, Vol. 28, 1998, pp. 1775~1781
7. Gowripalan, N. and Mohamed, H. M., “Chloride Ion Induced Corrosion of Galvanized and Ordinary Steel Reinforcement in High-performance Concrete,” *Cem Concr Res*, Vol. 28, 1998, pp. 1119~1131
8. Smith, L. L., Kessler, R. J., and Powers, R. G., “Corrosion of Epoxy Coated Rebar in a Marine Environment,” *Transportation Research Circular*, No. 403, *Transportation Research Board*, pp. 36~45
9. Lundquist, J. T., Rosenberg, A. M., and Gaidis, J. M., “A Corrosion Inhibitor Formulated with Calcium Nitrite for Chloride Containing Concrete Improved Electrochemical Test Procedure, the International Corrosion Forum, San Francisco USA. 1977, pp. 64~82.
10. Glass, G. K., Reddy, B., and Buenfeld, N. R., “The Par-

- tipitation of Bound Chloride in Passive Film Breakdown on Steel in Concrete,” *Corros Sci* Vol. 42, 2000, pp. 2013~2021
11. Ann, K. Y., “Enhancing the Chloride Threshold Level for Steel Corrosion in Concrete,” *Imperial College, UK, Phd Thests*, 2005, pp. 126~142.
 12. Sagues, A., Powers, R., and Zayed, A., “Marine Environment Corrosion of Epoxy-coated Reinforcing Steel, In: Corrosion of Reinforcement in Concrete, C.L. Page, K.W.J. Treadaway and P.B. Bamforth, eds., Elsevier Applied Science, London UK, 1990, pp. 539~549.
 13. Reddy, B., “Influence of the Steel-Concrete Interface on the Chloride Threshold Level, Phd Thesis, University of London, pp. 87~94.
 14. Song, H. W., Saraswathy, V., Muralidharan, S., and Thangavel, K., “Tolerance Limit of Chloride for Steel in Blended Cement Mortar Using the Cyclic Polarisation Technique,” *J Appl Electrochem*, Vol. 38, 2008, pp. 445~450
 15. Song, H. W. and Saraswathy, V., “Studies on the Corrosion Resistance of Reinforced Steel in Concrete with Ground Granulated Blast-furnace Slag - An kverview,” *J hazard Mat*, Vol. 138, 2006, Issue 2, pp. 226~233
 16. Cady, P. D. and Weyer, R. E., *Prediction Service Life of Concrete Bridge Decks Subjected to Reinforcement Corrosion, In: Corrosion Forms and Control for Infrastructure*, V. Chaker, eds., ASTM STP 1137, 1992, pp. 302~324.

요 약 철근콘크리트내의 염분침투저항성을 향상시키기 위한 방안으로 다양한 철근 방청 코팅기법이 개발되어져왔다. 이와 관련된 가장 일반적인 방법으로는 방청철근의 사용, 시멘트 슬러리 코팅 및 폴리머계 복합수지를 사용한 철근 코팅 및 에폭시 코팅등을 들 수 있다. 여기서 폴리머계 시멘트 코팅이 철근의 부동태 피막 및 장벽보호를 동시에 꾀함과는 달리 시멘트 슬러리 코팅의 경우는 철근의 부동태 보호에, 에폭시 코팅의 경우는 철근의 장벽보호에 주 목적을 두고 있다. 더욱이 에폭시코팅의 경우는 시공상의 오차로 인해 철근의 비부착 문제를 일으키게 되며 이는 국부부식의 위험을 증대시키게 된다. 본 연구에서는 철근-콘크리트 계면에서, 최대 20%의 수산화칼슘의 증가를 통한 방청기법이 적용되어졌다. 수산화칼슘의 경우 높은 pH저하저항성을 가지고 있어 염해부식환경에 대해 알칼리성 환경이 유지하도록 하는 역할을 한다. 본 논문은 철근/콘크리트 계면에서의 pH 저하 저항성의 향상 방안으로서, 수산화칼슘의 첨가에 따른 철근 방청코팅의 향상 효과를 시험하였다. 또한 수산화칼슘을 혼입한 폴리머 코팅의 염화물임계치 (CTL)에 관해서도 비교분석을 하였다.

핵심용어 : 수산화칼슘, 방청코팅, 염해부식, 부식임계치, 콘크리트