

지하 콘크리트구조물의 열화 억제에 의한 내구성 증진에 관한 연구

A Study on the Durability Improvement by Controlling the Deterioration of Underground Concrete Structures

천 병 식¹ Chun, Byung-Sik

최 춘 식² Choi, Choon-Sik

정 원 우³ Jung, Weon-Woo

Abstract

Normally, coating is used for protecting reinforced concrete. For this purpose, both organic and inorganic coatings are used. The advantages of inorganic coatings are lower absorption of UV, non-burning etc. On the other hand, organic coatings have the advantage of low permeability of CO₂, SO₂ and water. Organic coatings provide better protection for reinforced concrete. However, organic coatings such as epoxy, urethane and acryl reduce long-term adhesive strength by the difference of their thermal expansion coefficients and elastic modulus from those of concrete, and the formed coating cover of these is blistered by poor breathing. Also, when organic coatings are applied to the wet surface of concrete, they have a problem with adhesion. In this study, a new coating material for protecting concrete was hybridized with polymer and ceramics. And tests were carried out on its physical and durable characteristics, and safety characteristic on elution. All results were compared with organic coating materials and epoxies and showed that the performance of the developed coating material was not inferior to that of other organic coatings in protecting concrete. On the other hand, safety characteristic on elution was superior to epoxies which were used in this study. So, the developed coating material was considered as a suitable protecting coating material which have advantages of inorganic and organic coatings for protecting underground concrete structures, especially in contact with water.

요 지

일반적으로 코팅은 철근 콘크리트를 보호하기 위해 사용되어지며, 이러한 목적으로 사용되어지는 코팅에는 무기계 뿐만 아니라 유기계 코팅이 있다. 무기계 코팅의 장점은 자외선 흡수성이 적고 불연성이라는 것이며, 반면 유기계 코팅의 장점은 CO₂, SO₂ 투과성 및 물의 투수성이 낮으며, 철근 콘크리트의 보호능력은 유기계 코팅이 더 우수하다. 그러나 에폭시, 우레탄 및 아크릴과 같은 유기계 코팅은 콘크리트와의 열팽창계수와 탄성계수 차이로 인해 장기 접착 강도가 저하되고, 통기성이 부족하여 형성된 막에 들뜸이 발생된다. 또한 유기계 코팅이 콘크리트의 습윤면에 적용될 경우에는 접착의 문제가 발생된다. 본 연구에서는 콘크리트를 보호하기 위해 폴리머와 세라믹을 합성시켜 개발된 코팅재의 물리 성능과 내구 성능 및 용출 안전성에 대한 시험을 하였다. 개발된 코팅재에 대하여 유기계 코팅재 및 에폭시와 비교하였으며, 시험결과 개발된 코팅재는 콘크리트를 보호하기 위한 유기계 코팅재에 비해 성능이 떨어지지 않았고, 반면 용출 안전성 측면에서는 에폭시보다 더 우수함을 보였다. 특히 물과 접해 있는 지하 콘크리트구조물을 보호하는 데에 적합하며, 무기계와 유기계 코팅재의 장점을 갖춘 콘크리트 보호용 코팅재라고 판단된다.

Keywords : Ceramic, Coating, Polymer, Protecting concrete, Underground concrete structure

1 정회원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수 (Member, Prof., Civil Engrg., Hanyang Univ.)

2 정회원, 서울그라우팅연구소 소장 (Member, President, Seoul Grouting Research Institute, sgr@unitel.co.kr)

3 정회원, (주)도와종합기술공사 이사 (Member, Director, Dohwa Consulting Engrg. Co. LTD.)

1. 서론

콘크리트 재료는 용도가 다양하고 성형성, 시공성 뿐만 아니라 강도, 내구성, 내화성 등이 우수하여 강재와 더불어 반영구적인 구조물 축조에 적용되어 왔다. 그러나 콘크리트는 이상적인 조건에서 건설되기 어렵기 때문에 내·외적 환경영향 요인인 건조·습윤 반복조건, 대기 중의 탄산가스 및 산성비에 의한 수분 침투에 의해 콘크리트 구조체에 균열 및 박리현상이 초래되어 구조체의 철근이나 PS강재의 부식으로 내구성능이 저하되고 경우에 따라서는 구조물이 붕괴되어 엄청난 재난을 불러 일으키는 심각한 경우를 초래할 수도 있다. 따라서 적절한 보수 및 보호대책을 실시함으로써 비교적 적은 비용으로 구조물의 수명을 연장시키는 것이 중요하다.

일반적으로 철근 콘크리트를 보호하기 위한 코팅방법은 무기계 코팅과 유기계 코팅이 사용되고 있다. 무기계 코팅은 자외선에 거의 영향을 받지 않고 내화성이 우수한 장점이 있는 반면, 유기계 코팅은 CO₂, SO₂ 및 물 등의 침투가 어렵다는 장점이 있으며 이러한 특성은 무기계 코팅보다 더 우수하다(Batis and Pantazopoulou, 2000). 그러나 에폭시, 우레탄 및 아크릴 등과 같은 유기계 코팅은 시공 초기에는 큰 접착강도를 나타내지만 콘크리트와의 열적거동 특성이 매우 상이하고 콘크리트 내부로 코팅재료의 침투가 어려워 장기 접착성능이 저하된다. 또한 콘크리트와 코팅재의 접착경계면에 형성된 유기계 코팅막에 의해 콘크리트 내부에 존재하는 수분이 외부로 증발되는 것이 어려워 코팅막이 들뜨거나 겨울철 코팅막 아래에 집중된 수분이 얼어 발생한 팽창압에 의해 코팅막 뿐만 아니라 콘크리트에 손상이 입혀진다.

따라서, 본 연구는 외부 환경에 노출된 콘크리트의 노화방지 및 내구성능 유지를 목적으로 하고 기존 무기계 코팅의 장점과 유기계 코팅의 장점을 살리면서 단점은 보완하여 개발된 코팅재의 성능을 파악하기 위해서 접착, 흡수 및 균열 추종성의 물리 성능과 염소이온 침투 저항성, 중성화 저항성 및 동결융해 저항성의 내구성능 평가를 실시하였으며 이를 기존의 외국 제품들과 비교 평가하였다.

2. 콘크리트 구조물 보호를 위한 코팅 메커니즘

대기 중의 CO₂ 가스 및 염화물이 콘크리트 내에 존재하는 공극 및 미세 균열을 통하여 내부에 침입하면 콘크리트의 중성화 및 철근의 부식팽창으로 인해 콘크리트 구조물의 성능 저하가 발생된다. 따라서 콘크리트 보호용 코팅재료를 사용하여 콘크리트 표면에 차단층을 형성하는 것은 철근의 부식을 방지하는데 유효한 방법일 뿐만 아니라 콘크리트의 수명을 연장하는데 간단하고 유용한 방법이다. 이러한 공법의 장점은 종래의 시공기술을 이용할 수 있으며, 비교적 얇은 막으로 우수한 효과를 얻을 수 있는 점이고 또한 최근 구조물의 미관에 대해서도 관심이 높아지고 있어서 색, 모양 및 디자인 등을 고려할 수 있는 점도 장점이다.

콘크리트 보호 코팅이란 콘크리트 내부의 철근 부식 방지 및 미세 균열을 제어하기 위하여 콘크리트 표면에 도료를 도포하는 것이며, 콘크리트에 사용된 코팅재료는 콘크리트의 특성에 적합한 함침성, 내수성, 내알칼리성을 가져야 한다. 또한 우수한 도막으로서의 모체와의 접착성, 차염성, 내후성, 색조보호성능 등을 갖추어야 한다. 콘크리트 성능 저하를 미연에 방지하기 위해서는 콘크리트 중의 철근이 부식되기 전에 대책을 강구하는 것이 필요하다. 즉, 균열 및 열화 원인 물질을 억제하고 철근이 부식을 시작하는 데에 필요한 염화물, 수분 및 산소를 미리 차단하는 대책이 중요하다. 일단 콘크리트 중의 철근 부식 및 미세균열이 발생하면 부식을 억제하기는 극히 곤란하다. 따라서 콘크리트 표면에 코팅막이 없는 경우와 코팅막이 있는 경우의 콘크리트 수명 거동의 차이점은 다음 그림 1과 같다.

코팅막이 없는 경우에는 표면이 다공질이고 미세 균열로 인하여 열화 물질의 접착이 많고, 미세 균열에 침투한 열화 물질은 빗물에 의해서도 세척되기 어렵기 때문에 침투하기 쉬운 경향이 있다. 또한 전체적으로는 양질의 콘크리트라도 국부적으로 불균질 하기 때문에 시공이음부 등의 결합부분에서의 미세 균열에 의한 열화 물질의 침투는 급속히 침투하고 열화 물질의 축적량이 증가하여 철근의 부식을 조기에 발생시키는 것이다. 더욱이 콘크리트 표면에 접착한 열화 물질은 상당량 내부로 이동하는 것으로 알려져 있다(日本建設省土木研究所, 1989). 코팅막이 있는 경우, 열화 물질 및 미세균열의 확장 발생이 억제된다. 이것은 코팅표면이 평활하기 때문에 열화 물질의 접착이 어렵고, 빗물에 의해 세척되



그림 1. 콘크리트에 코팅재의 사용 유무에 따른 열화물질 거동

어 나가기 쉽기 때문이고, 코팅재의 탄성 성질로 인하여 콘크리트에 미세균열이 발생하여도 코팅재의 막이 파단 되지 않아서 외부의 열화 물질 침투를 방지한다. 또한 코팅막의 투과성이 극히 작아 열화 물질의 내부 침투가 거의 없기 때문에 열화 물질의 내부 축적이 극히 적은 것이다.

피복두께를 어느 정도 확보하는 것으로 철근의 열화 물질 도달 시간을 지연시킬 수 있지만 하수박스 및 지하 구조물, 공장지대의 매연이 많은 경우에는 다량의 열화 물질이 비교적 단기간에 내부 깊숙이 침투하게 된다. 이와 같은 경우에는 열화 물질이 콘크리트 표면에서 차단되기 위해서는 콘크리트 보호용 코팅이 필수적이다.

3. 폴리머-세라믹 코팅재의 특성

3.1 주요 구성 성분

3.1.1 폴리머-세라믹 코팅재(WGS-Eco)의 액상

폴리머-세라믹 코팅재의 액상은 아크릴계 모노머를

표 1. 폴리머-세라믹 코팅재 액상의 주요 구성성분

원 재 료	중 량 배 합 비 (%)
De-ionized Water	300 ~ 500
계면활성제 A	0.5 ~ 5.0
계면활성제 B	
분산제	0.77 ~ 0.93
Initiator / H ₂ O	2.50 / 10.5
De-ionized Water	15 ~ 250
계면활성제 A	5.0 ~ 10.0
계면활성제 B	15.0 ~ 20.0
Butyl acrylate	330 ~ 390
Methyl methacrylate	250 ~ 325
N-Methyl acryl amide	15.0 ~ 25.0
Methacrylic acid	8.5 ~ 10.2
기능성 첨가제	1.5 ~ 3.5
De-ionized Water	0.77 ~ 0.93

주성분으로 하여 공중합된 것으로서 아크릴계 고분자의 화학적 구조는 (CH₂-CH(OR))이며, 여기서 R이 어떤 구조를 가지느냐에 따라 여러 가지 아크릴 고분자로 분류된다.

일반적으로 R은 Alkyl, Alkoxyalkyl Group으로 구성되고 R의 탄화수소가 증가함에 따라 유리전이온도는 낮아지며 연화도가 커져 에너지 소산능력이 커진다. 반대로 탄소수가 줄어들면 유리전이온도는 높아지고 경도가 커져 에너지 소산 능력은 작아진다. 아크릴 수지는 화학구조적으로 볼 때 내열성(-40~204℃), 고온에서의 내유성, 내산성, 내용제성(특히 aliphatic hydrocarbons), 자외선 저항성 등의 장점을 갖고 있다. 표 1은 폴리머-세라믹 코팅재 액상의 주요 구성성분을 나타낸 것이다.

3.1.2 폴리머-세라믹 코팅재 분말

폴리머-세라믹 코팅재 분말은 무기계 재료로서 아크릴계 고분자인 폴리머-세라믹 코팅재 액상과 함께 혼합되어 탄성 도막을 형성시키며, 폴리머-세라믹 코팅재 분말의 주요 구성성분은 표 2와 같다.

한편 SEM 분석결과 폴리머-세라믹 코팅재는 그림 2와 같이 폴리머와 시멘트계 무기질이 반응하여 폴리머가 수화생성물을 둘러싸고 수화생성물 사이에서 네트워크를 형성하는 Composite Matrix를 형성한다. 따라서 개질된 합성고분자 액상과 특수 배합된 시멘트계 무기질 분말로 합성된 폴리머-세라믹 코팅재는 외부로부터의 탄산가스, 물 및 염분 등이 콘크리트 내부로 침투되

표 2. 폴리머-세라믹 코팅재 분말의 주요 구성성분

원 재 료	중 량 배 합 비 (%)
보통포틀랜드시멘트	80 ± 10
플라이애쉬	15 ± 15
반수석고	3 ± 2
셀룰로오스 섬유	2 ± 1
기타 혼화제	1 ± 0.5

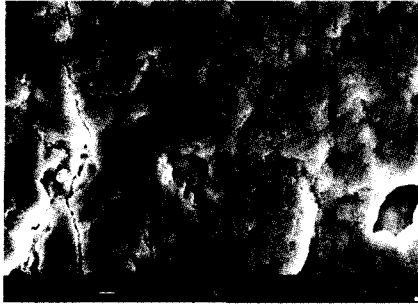


그림 2. 폴리머-세라믹 코팅재 Matrix (×5,000)



(a) 폴리머-세라믹 코팅재



(b) 에폭시

그림 3. 코팅재 표면의 SEM 촬영(×1,000)

는 것을 억제하여 콘크리트 구조물의 중성화, 염해 및 동해 등으로 인해 철근이 부식되는 것을 방지할 수 있다. 반면, 폴리머-세라믹 코팅재는 그림 3과 같은 미세 공극에 의해 콘크리트 내부의 수증기가 자유롭게 외부로 통과할 수 있다. 그러나 에폭시 코팅재의 경우는 공극률이 매우 작아 내부 수증기의 자유로운 이동이 억제되어 코팅막이 부풀어 오르거나 코팅막 아래에 집중 수분이 동결될 때 팽창압에 의해 콘크리트와 코팅재에 손상이 발생된다.

4. 실험

4.1 사용 재료

4.1.1 콘크리트 보호용 코팅재료 및 수리 구조물 코팅용 에폭시

본 연구에 사용된 콘크리트 보호용 코팅재인 폴리머-세라믹 코팅재와 국내에서 현재 사용되고 있는 것으로서 일부는 외국으로부터 수입된 것이며, 주성분 및 물리적 성질은 다음 표 3과 같다. 또한 용출 안전성 평가를 위해 사용된 국내 3사의 에폭시에 대한 물리적 성질은 다음 표 4와 같다.

4.1.2 시멘트 및 골재

본 연구에 사용된 시멘트는 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 콘크리트 배합비는 표 5와 같고 골재는 강사를 사용하였으며 굵은골재는 쇄석을 사용하였다. 잔골재 및 굵은골재의 물리적 성질은 표 6과 같다.

표 3. 콘크리트 보호용 코팅재의 주요 성분 및 물리적 특성

구분 \ 종류	폴리머-세라믹 코팅재	A제품	B제품	C제품	D제품
주요 성분	폴리머 세라믹의 합성	아크릴	합성 아크릴	아크릴	아크릴, 시멘트
고형분(%)	50	49	63	53	47
외관	액상 & 분말	고점도 액상	크림타입 액상	고점도 액상	액상
비중	약 2.0	약 1.3	약 1.45	약 1.4	약 2.3

표 4. 수리 구조물 코팅용 에폭시의 물리적 성질

항목 \ 종류	C사	D사	J사	
조성	2액형	2액형	2액형	
점도(cps)	600±100	1500±300	850±150	
중량 배합비(%)	주제	4	4	2
	경화제	1	1	1

표 5. 콘크리트 배합비

설계 기준강도 (kgf/cm ²)	굵은골재 최대치수 (mm)	슬럼프범위 (cm)	공기량범위 (%)	물/시멘트비 (%)	잔골재율 (%)	단위 재료량(kg/m ³)				
						물	시멘트	잔골재	굵은골재	고성능 AE 감수제
500	20	15	4.5	31.0	39.0	165	532	645	1,017	4.27

표 6. 잔골재 및 굵은골재의 물리적 성질

종류	항목	최대 치수 (mm)	비중	흡수율 (%)	조립률	유기 불순물
잔골재		---	2.55	1.05	2.32	O.K.
굵은골재		25	2.59	1.36	6.87	---

4.2 물리 성능 평가 방법

4.2.1 접착력 시험

콘크리트의 압축강도가 약 500kgf/cm²인 콘크리트로 60×60×60cm인 바탕콘크리트 시험체를 제작하여 양생이 완료된 후 바탕콘크리트가 건조한 상태에서 표면의 이물질을 그라인더 혹은 철 브러쉬를 이용하여 표면의 이물질을 제거한 후에 콘크리트 보호용 코팅재료를 도포하여 충분히 경화시킨 다음 1, 2, 4주 간격으로 그림 4와 같이 4×4cm 크기의 Attachment를 각각의 측정 부위에 접착하여 인발 접착강도를 측정하였다. 본 시험방법은 KS F 4715(얇은 나무리용 벽 바름재)(한국표준협회, 2001), JIS A 6909(박충마감도재), JIS A 6910(복충마감도재)의 접착력 시험방법에 준하여 측정하였다.

4.2.2 흡수 시험

70×70×20mm의 모르타르 판에 시료를 2mm 두께로

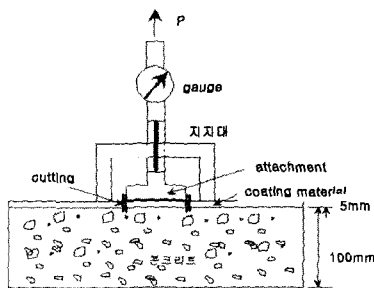


그림 4. Attachment에 의한 접착력 시험

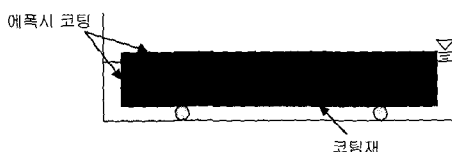


그림 5. 흡수 시험

바르고 온도 20±2℃, 습도 65±10%의 양생실에서 14일 동안 양생한 뒤 4측면을 에폭시수지 도료로 도포한 것을 시험체로 하였다.

KS F 4919(한국표준협회, 1998) 시멘트혼입 폴리머 제 방수재 기준에 의해서 시료를 바른 시험체의 무게를 측정 후 그림 5와 같이 시료를 바른 면을 밑으로 하여 수평을 유지하고 20±2℃로 조정된 물 속에 24시간 동안 약 15mm 깊이까지 침전시켰다. 흡수량은 시험 후 시험체의 질량과 초기 시험 전 시험체의 질량과의 차로부터 구하였다.

4.2.3 균열 추종성 시험

타설된 콘크리트는 온도균열, 및 건조수축으로 인한 수많은 미세균열이 발생하며, 이러한 균열부위를 통해 콘크리트 내부로 열화요인 인자가 침투되어 콘크리트 성능을 저하시킨다. 따라서 균열부위를 통한 열화물질의 침투를 억제하는 방안으로 콘크리트 표면에 코팅재를 도포하는 방안이 가장 효과적이라 할 수 있다. 따라서 콘크리트 보호코팅재료의 성능 중 콘크리트의 균열 확장이 발생하더라도 코팅 막이 파괴되지 않기 위해서 보호코팅재료의 균열 추종성능이 요구된다.

콘크리트 보호용 코팅재료의 균열 추종성 시험은 국내에 소개된 시험방법이 없으므로 시험은 일본 콘크리트공학협회(日本コンクリート工學協會, 1993)에서 제안한 방법에 따라 120×40×10mm의 모르타르판을 제작하였으며, 이때 모르타르의 배합은 중량비로써 보통포틀랜드시멘트가 1일 때, 모래 2, 물 0.6 배합비로 표준양생 후 콘크리트 보호 코팅재료를 도포하였다. 시험편은 다음 그림 6과 같이 인장시험기에서 5mm/min의 속도로 시험편을 인장시키고, 인장 시험 시간동안 도막에서 일어나는 변형은 Strain Guage와 Data Logger를 이용하여

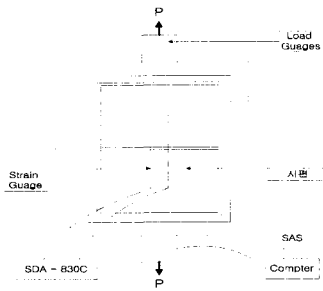


그림 6. 균열 추종성 시험방법

변형률을 1초에 20개씩 저장하였으며 기계내의 Load Gauges 및 Computer의 SAS를 이용하여 하중 변화를 측정하였다. 시험체의 측정 조건은 도장재료를 도포한 다음 표준양생 시키고 시험편을 +20℃ 상온 및 -20℃의 저온실에서 30분간 냉각시킨 후 -20℃의 저온에서 시험하였다. 시험 결과에 대한 도장재료의 균열 추종성 규격은 상온시험 시 신장이 0.4mm 이상이며, 저온 시험 시 신장이 0.2mm이상 되어야 한다.

4.3 내구 성능 평가 방법

4.3.1 염소이온 침투저항성 시험

ASTM C 1202(Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration)의 시험방법에 준하여 $\phi 10 \times 20$ cm 원주형 몰드로 제조한 공시체를 20±1℃의 수중에서 28일 양생한 후에 콘크리트 절단기로 절단한 시편에 콘크리트 보호용 코팅재료를 도포한 후 그림 7과 같이 확산셀을 구성하였다. 시험을 실시하는 동안 전해질 용액이 새지 않도록 고무로 된 sealant를 사용하였다.

이 회로에서 전원은 60V의 직류를 ±0.1V 정도로

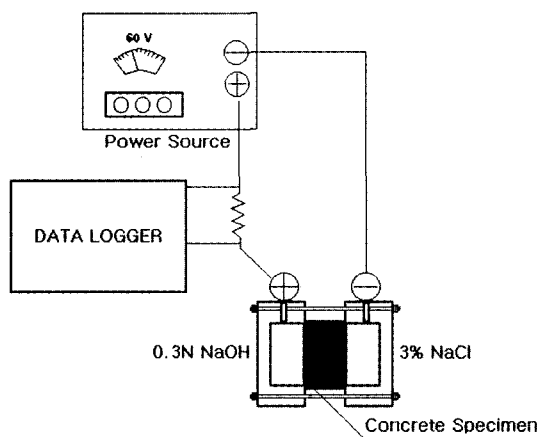


그림 7. Applied Voltage Cell의 회로구성

표 7. 통과전하량에 따른 염소이온 투과성

통과전하량 (Coulomb)	염소이온 투과성
4000 이상	높음
2000~4000	보통
1000~2000	낮음
100~1000	매우 낮음
100 이하	무시 할 만함

안정적으로 공급할 수 있어야 하며, 전류의 측정은 기지의 저항체를 회로에 연결하여 전압을 측정함으로써 얻을 수 있다. 이 때 콘크리트 시편에 적용되는 전압에 영향이 적도록 하기 위하여 저항기를 사용하는데 가능한 작은 저항을 사용하며, 본 시험에서는 1.0Ω을 사용하였다.

확산셀에 들어가는 전해질 용액은 Applied Voltage Cell의 (-)전극에 3.0%의 NaCl 용액에 채우고 (+)전극에는 0.3N의 NaOH 용액을 채운다. 시험 중 30분마다 저항에 걸리는 전압을 6시간까지 측정하여 기록을 하는데 이 때 전압은 0.1mV까지 측정이 가능해야 하고 측정된 전압은 다음 식 (1)에 의해 전류값으로 환산하였다.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V}{1.0} \quad (1)$$

여기서, I 는 전류, V 는 전압, R 은 저항을 나타낸다.

측정은 30분 간격으로 6시간 동안 저항 양단에 걸리는 전압을 측정하고 이를 전류로 환산한 후 다음 식을 이용하여 회로를 통과한 총 전하량을 산정한다. 시험 후 평가는 다음 식 (2)에 의해 얻어진 총 통과전하량을 표 7의 방법에 의거하여 평가하였다.

$$Q = 900 \times (I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{330} + I_{360}) \quad (2)$$

여기서, Q 는 회로를 통과한 전하량, I_n 은 시험 시작 후 n 분이 경과하였을 때의 전류를 나타낸다.

4.3.2 중성화 촉진시험

$\phi 10 \times 20$ cm 원주형 몰드로 제조한 콘크리트 공시체를 20±1℃의 수중에서 28일간 양생한 후 시험편 표면을 그라인더 및 브러쉬를 이용하여 정리한 후 표면에 콘크리트 보호코팅재료를 코팅하여 이산화탄소의 농도를 높인 중성화 촉진시험기안에 넣어 중성화촉진 시험을 실시하였다. 촉진시험기 내의 촉진조건은 온도 23℃, 상대습도 65%, CO₂농도 10%로 하였다.

촉진 시험기에서의 촉진 시험 후 중성화깊이 측정은

촉진개시부터 1주, 2주 및 4주로 하여 측정하였고, 중성화 평가는 촉진 시험 후의 도장된 공시체를 KS F 2423 콘크리트의 쪼갬 인장 강도 시험 방법에 의해 할렬 인장 후 할렬면에 KS M 0015(한국표준협회, 1993a) 화학분석용 지시약 조제 방법에 의거하여 1% 페놀프탈레인 용액을 분무해서 미착색 부분을 콘크리트 중성화부분으로 측정한다. 측정 시 공시체의 20곳을 측정하여 평균값을 구하였다.

4.3.3 동결융해 시험

동결융해 시험을 실시하기 위해 7.5×10×40cm 크기의 각주형 공시체를 제작하였으며, 제작된 공시체에 각각의 재료를 코팅하였다. 동결융해 내구성을 알아보기 위해 전자동 동결융해 시험기를 사용하였으며, KS F 2456(한국표준협회, 1993b)에 의해 공기중 급속동결 수중 급속융해의 방법으로 동결융해 시험을 실시하였다.

동결융해 시험 공시체의 온도는 동결완료 시 -17℃, 융해 완료 시 +4℃가 되게 하였고, 동결융해 1사이클은 약 2.5시간이 소요되었다. 동결융해 시험은 동탄성계수를 그림 10과 같이 초음파속도에 의한 동탄성계수 시험법에 의하였으며, 동결과 융해의 반복 사이클 수가 300에 도달하거나 그 이전에 상대동탄성계수가 60%이하일 때 완료하였다.

콘크리트의 전파속도, 동탄성계수 및 동결융해 내구성 지수는 다음 식 (3), 식 (4) 및 식 (5)에 의해 구하였다.

$$V_i = \frac{l}{t} \quad (3)$$

여기서, V_i 는 전파속도 (km/sec), l 는 공시체 길이 (cm), t 는 전파시간 (sec)을 나타낸다.

$$E_D = \frac{V_i^2 \times \rho \times 10^7}{g} \quad (4)$$

여기서, E_D 는 동탄성계수(kgf/cm²), ρ 는 공시체의 밀도 (gf/cm³) g 는 중력가속도(cm/sec)를 나타낸다.

$$DF = \frac{P \times N}{M} \quad (5)$$

여기서, DF 는 내구성지수(kgf/cm²), N 는 동결융해시험을 마친 사이클의 수, P 는 N 사이클에서의 상대동탄성계수, M 은 동결융해시험 목표사이클 수(300 Cycles)를 나타낸다.

5. 결과 분석 및 고찰

5.1 콘크리트용 코팅재의 물리성능에 대한 평가

콘크리트 보호용 코팅재료인 폴리머-세라믹 코팅재 (WGS-Eco), A제품, B제품, C제품 및 D제품의 재령 28일 접착강도는 29.7kgf/cm², 28.7kgf/cm², 28.8kgf/cm², 26.9kgf/cm² 및 24.8kgf/cm²로 나타나 일본도로공단 코팅재료 규격에서 요구하는 접착강도 10kgf/cm² 이상을 만족하였으며, 폴리머-세라믹 코팅재의 접착강도는 시험에 사용된 코팅재료 중 접착력이 가장 크게 나타났다. 다음 그림 8은 접착강도 시험결과를 나타낸 것이다.

콘크리트용 코팅재의 방수성능을 알아보기 위해 흡수 시험을 실시한 결과는 다음 그림 9와 같으며, 폴리머-세라믹 코팅재의 경우 흡수량이 0.7g으로써 가장 낮게 나타나 폴리머-세라믹 코팅재는 수로 구조물이나 정수장, 물탱크 및 지하구조물 등 수밀을 요하는 구조물에 적합한 것으로 판단된다.

콘크리트용 코팅재의 균열 추종성을 측정한 결과(그림 10) 상온에서의 A제품, B제품, C제품의 측정 결과는 현저한 차이를 나타내지 않았으며 일본도로공단(산업자원부, 2002)의 상온에서의 균열 추종성 시험 규격인 0.4mm 이상 만족하는 것으로 나타났다. 개발된 폴리머-세라믹 코팅재의 경우는 일본 도로공단에서 제시하는

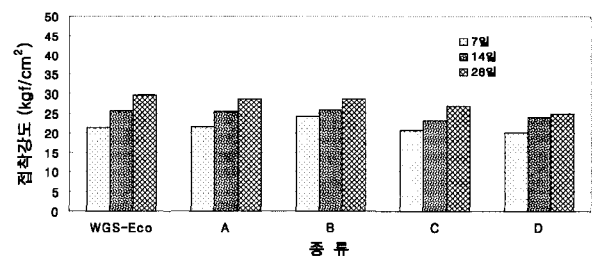


그림 8. 콘크리트용 코팅재의 재령에 따른 접착강도

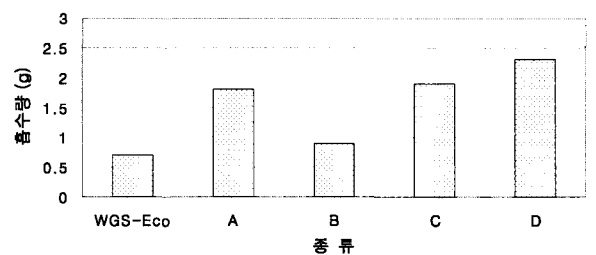


그림 9. 코팅재의 흡수성

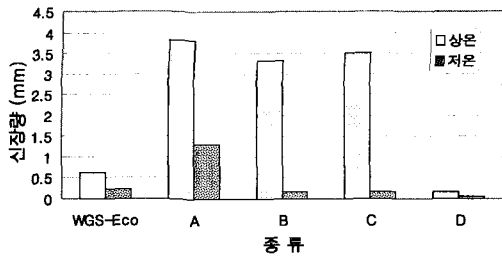


그림 10. 코팅재의 균열 추종성

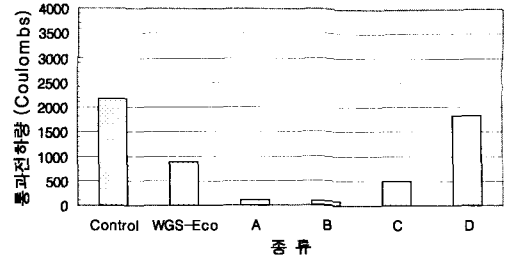


그림 11. 코팅재의 염소이온 침투저항성

규격치 이상의 값인 0.63mm로 나타나 코팅재로서 적합한 것으로 나타났다. 반면 D제품은 0.17mm의 매우 작은 신장량을 보였으며, 바탕 모르타르의 파괴가 발생한 후 바로 취성 파괴되어 균열추종성이 거의 없는 것으로 나타났다.

저온에서의 폴리머-세라믹 코팅재, A제품, B제품, C제품 및 D제품의 신장량 측정결과는 각각 0.23mm, 1.32mm, 0.18mm, 0.18mm 및 0.05mm로 나타났으며, 이 중 폴리머-세라믹 코팅재와 A제품의 경우 일본 도로공단에서 제시하는 저온에서의 신장량 0.2mm 이상을 만족하는 것으로 나타났다.

5.2 콘크리트용 코팅재의 내구성능에 대한 평가

콘크리트 보호용 코팅재료의 염소이온 침투 저항성 평가를 위해 확산셀을 구성하여 60V의 직류 전원을 6시간 동안 통전시켜 30분마다 측정된 전류를 시간에 대하여 적분하여 통과전하량을 측정된 결과 코팅하지 않은 콘크리트의 통과전하량이 2,179Coulomb로 표 8의 평가 기준에 근거하여 보통 영역인 것으로 평가되었으며, 폴리머-세라믹 코팅재, A제품, B제품 및 C제품의 통과전하량은 1,000Coulomb 이하로 염소이온 침투가 매우 낮은 영역으로 나타났다. D제품의 경우는 1,830Coulomb으로 염소이온 투과성이 낮은 영역에 해당되었다. 통과전하량 측정 결과는 그림 11에 나타내었다.

콘크리트용 코팅재료의 중성화에 대한 저항성 평가를 위해 각각의 코팅재료를 콘크리트 시편에 코팅하고 중성화 촉진시험기에서 촉진시험 후, 페놀프탈레인 1% 용액을 분무하여 중성화 깊이를 측정하였다(그림 12).

코팅을 하지 않은 콘크리트 시편은 재령 7일에서 12.7mm의 중성화 깊이를 보였으나, 콘크리트 보호용 코팅재료인 폴리머-세라믹 코팅재, A제품, B제품 및 C제품으로 코팅한 시험체는 거의 중성화가 진행되지 않

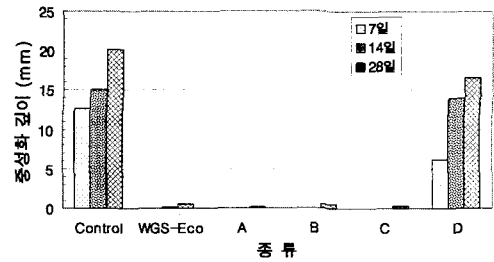


그림 12. 코팅재의 재령에 따른 중성화 깊이

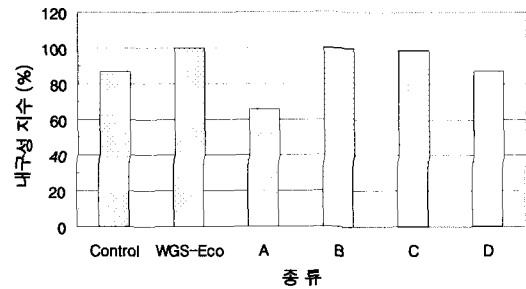


그림 13. 코팅재의 내구성 지수 비교

아 일본도로공단의 규격에 적합한 것으로 나타났으며, 이산화탄소의 침투 억제성이 우수함을 알 수 있었다. D제품의 경우 중성화 촉진 재령 7일에 6.2mm, 재령 28일에 16.5mm로 코팅하지 않은 경우의 약 90%정도로 중성화 억제 성능은 거의 없는 것으로 나타났다.

공시체에 각각의 코팅재료를 코팅한 후 동결융해 저항성을 알아보기 위해 실시한 동결융해시험 결과 모두 동결융해 300사이클에 도달하여 시험을 종료하였다. 각각의 제품으로 코팅된 공시체의 내구성 지수는 폴리머-세라믹 코팅재 및 B제품이 99.8%로 가장 높게 나타났으며, C제품이 98.6%, A제품이 95.5%, D제품이 87.1%의 순서로 나타났고 코팅하지 않은 공시체의 경우 86.6%로 나타났다.

따라서 폴리머-세라믹 코팅재 및 B제품의 경우 콘크리트 구조물이 동결과 융해의 반복 작용을 입을 경우

그에 대한 저항성능이 매우 우수한 것으로 판단된다(그림 13).

6. 결론

본 연구는 콘크리트 구조물을 보호하기 위해 개발된 폴리머와 무기질 세라믹을 합성시켜 개발된 코팅재에 대하여 물리성능 및 내구성능을 평가하고 이를 기존의 외국 제품들과 비교평가한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 콘크리트 보호용 코팅재의 접착강도 측정 결과 재령 28일 29.7 kgf/cm²의 높은 접착력을 나타내어 일본도로공단 10kgf/cm² 이상을 만족하였으며, 흡수량 측정결과는 흡수량이 0.7g 정도로서 방수 효과가 우수하게 나타나 지하구조물 등 수밀성을 요하는 구조물에 적합할 것으로 판단된다. 또한 저온 및 상온에서의 균열 추종성 시험 결과 일본도로공단에서 제시하는 기준치를 만족하는 것으로 나타났다.
- (2) 개발된 폴리머-세라믹 코팅재의 내구성능 평가 결과 염소이온 침투저항성은 염소이온 투과성이 매우 낮은 영역에 해당되었다. 또한, 중성화 촉진 시험결

과 및 동결융해에 대한 저항성이 매우 우수한 것으로 나타났다.

- (3) 따라서 개발된 코팅재 폴리머-세라믹 코팅재는 유기계 코팅재에 비해 콘크리트를 보호하는 성능이 뒤떨어지지 않기 때문에 무기계 코팅의 장점과 유기계 코팅의 장점을 동시에 지닌 콘크리트 보호용 코팅재라고 판단된다.

참고 문헌

1. 산업자원부 (2002), 건설 구조물 보수보강 표준화연구(I), p.110.
2. 한국표준협회 (1993a), 화학분석용 지시약 조제 방법, KS M 0015.
3. 한국표준협회 (1993b), 급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험 방법, KS F 2456.
4. 한국표준협회 (1998), 시멘트 혼입 폴리머계 방수재, KS F 4919.
5. 한국표준협회 (2001), 얇은 마무리용 벽바름재, KS F 4715.
6. 日本建設省土木研究所 (1989), 콘크리트構造物の電氣防蝕に關する共同研究報告書.
7. 日本コンクリート工學協會 (1993), 콘크리트의炭酸化に關する研究の現狀, 炭酸化研究委員會.
8. ASTM International (1997), *Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration*, ASTM C 1202.
9. Batis, G. and Pantazopoulou, P. (2000), *Advantages of the Simultaneous Use of Corrosion Inhibitors and Corrosion Inorganic Coatings*, *Cement and Concrete Technology in the 2000s*.

(접수일자 2003. 6. 2, 심사완료일 2004. 4. 15)