

기능성 나노복합 무기질 활성탄계 표면 처리제를 적용한 콘크리트의 내구성능 평가에 관한 실험적 연구

An experimental study on the durability evaluation of concrete applied functional nano composite inorganic activated carbon based coatings

백종명* 양기영** 장석재***
Baek, Jong-Myeong Yang, Gi-Young Jang, Seog-Jae

ABSTRACT

Concrete structure can be deteriorated by ingress of moisture and aggressive agents. To maintain the sound performance of concrete structure during the service life, it needs to protect concrete from ingress of moisture and aggressive agents before arising deterioration of concrete. Protection of concrete is possible by surface treatment.

In this study, durability of the functional nano composite inorganic activated carbon based coatings which can provide a barrier against the ingress of moisture or aggressive ions to concrete is discussed. For the durability evaluation of the coatings, fine void structure evaluation test, chloride penetration acceleration test, accelerated carbonation test, freezing and thawing test, and the accelerated test of chemical erosion are conducted.

As the result of this study, the functional nano composite inorganic activated carbon based coatings which became one formed complex compound with adsorption and porosity on concrete surface, had an effect on the function of far infrared radiation, antimicrobial action, air cleaning, airing assurance, and the interception of moisture of deterioration factor, chloride ion, carbon dioxide, sulfate, and so on.

1. 서 론

콘크리트 구조물의 내구성에 영향을 미치는 인자로서 재료조건, 구조물의 용도, 외기 환경조건 등으로 분류하여 고려할 수 있는데, 이중 외기 환경조건에서는 콘크리트 구조물이 접하게 되는 수분에 의한 건조 반복, 염분의 침투에 의한 염해, 이산화탄소 등의 침투로 인한 콘크리트의 중성화, 외기 온도의 심한 변화로 인한 동결융해 및 각종 산 등의 침식에 의한 화학적 침식 등이 대표적인 열화 인자로 고려된다.

이러한 열화 인자들로 인해 콘크리트 구조물에서는 균열, 누수, 철근부식, 박리, 박락 등의 현상이 발생하며, 심한 경우에는 구조물이 붕괴에 이를 수도 있다. 즉, 수분이나 기타 외부 유해물질 등이 콘크리트 내부로 침투하여 콘크리트 자체를 열화 시키거나, 철근의 부식 등을 유발하여 콘크리트 구조물의 성능저하를 일으키게 되는데, 이러한 콘크리트의 열화를 방지하기 위해서는 수분 및 외부 유해물질 등의 침투를 방지하는 것이 필요하다.

이를 위하여, 현재까지 콘크리트 구조물의 열화를 방지하고 열화된 콘크리트의 성능을 회복시키기 위해 여러 가지 표면처리 및 보수 공법들이 개발되어 왔으며, 이들을 이용하여 수많은 신·구 콘크리트 구조물을 대상으로 표면처리 및 보수 공사가 진행 중에 있다.

그러나, 기존 대부분의 방수 및 보수재료는 장기적으로 반복되는 열화 인자의 침투로 말미암아, 원래의 기능을 상실하게 되기 때문에 손상부위에 대하여 재시공을 해야 하는 경우가 많고, 비록 외부 유해

* 책임저자 : 정회원, 서울지하철공사, 기술연구실
E-mail : bjm6413@hanmail.net
TEL : (02)520-5982 FAX : (02)520-5969

** 서울지하철공사

*** 한국철도기술공사

물질 차단 성능이 뛰어난 재료라 하더라도 국산화가 이루어져 있지 않거나, 환경 부하물질을 배출하게 되어 심각한 환경오염을 유발하기도 한다.

본 연구에서는 기존 표면처리제들의 문제점을 개선하고, 나노수준에서 합성하여 콘크리트와 흡착성과 다공성으로 착화합물이 형성되어 일체화를 나타내는 것으로 알려진, 기능성 나노복합 무기질 활성탄계(이하에서는 기능성 나노복합 활성탄 이라함.) 표면 처리제에 대해 실험적 방법을 통한 내구성능 평가를 실시하고, 이를 통해 신 재료에 대한 표면 처리제로서의 적용성을 검증하도록 한다.

2. 기능성 나노복합 활성탄 표면 처리제의 특성

2.1 열화인자의 침투억제 메카니즘

콘크리트 보호 코팅을 목적으로 사용되어온 기존의 합성수지계 재료의 문제점을 보완하기 위하여, 나노수준에서 합성되는 무기질 활성탄소계를 이용한 표면 처리제를 사용하였는데, 이 재료는 그림 1에서 알 수 있는 바와 같이 콘크리트 모체와 일체화된 세공구조와 성상의 형태로 구성되며 모세관 응축에 의한 흡착성과 다공성의 육각형 방향족 구조를 형성하여 이로 인한 통기성 발현 등의 기능을 가지고 있다. 이러한 무기질 활성탄계는 콘크리트 조직에 침투하여 미세기공을 가지게 되는데[19] 미세기공은 직경이 3~100 Å으로 열화인자를 근본적으로 차단할 수 있는 특성을 가지게 된다.

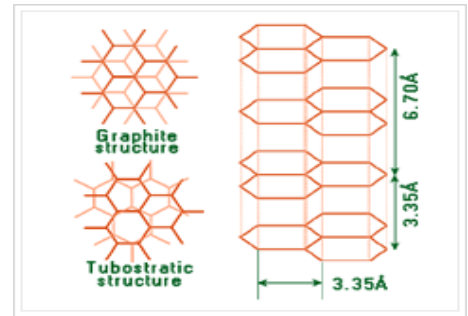


그림 1. 기능성 나노복합 활성탄 표면 처리제의 세공구조와 성상

본 연구에 사용된 기능성 나노복합 활성탄 표면 처리제의 합성 기구를 살펴보면, 식 (1),(2)에서 나타난 바와 같이 활성탄의 원료에는 약 2~5 %의 회분(무기물질) CaO, MgO, NaO, Al₂O₃이 존재하며 위와 같은 활성탄 형성 과정상 산소와 물과 결합해 착화합물의 성상 형태로 중합과정을 통하여 무기질 활성탄소 구조를 형성하게 된다[18].

- ① Ca, Na, K + O₂ → CaO, Na₂O, K₂O(1)
- ② 중축합반응 ⇒ 착화합물 구조 형성
CaO, Na₂O, K₂O + H₂O → Ca(OH)₂, NaOH, KOH(2)

무기질 활성탄소계는 강력한 흡착력과 함께 뛰어난 선택성을 가지고 있다. 따라서 표면 처리제에 무기질 활성탄소계를 첨가할 경우 원적외선 방사, 향균성 작용, 음이온 방출, 공기정화, 통기성 확보 등의 기능을 발휘하게 된다. 콘크리트 모체와 일체화되는 착화합물을 형성하기 때문에, 기본적으로 수성으로 조성된 친수성 재료로 무기계 콘크리트와의 부착력이 우수하며 건조 후에 친수성을 나타내어 수분의 확산을 차단할 수 있어, 장기적으로 부착력이 탁월한 동질 재료간의 화합물 형태를 유지할 수 있는 장점을 가진다[15].

2.2 시멘트 수화물과의 반응 메카니즘

기능성 나노복합 활성탄 표면 처리제 도포를 할 경우, 그림 2와 같이 나노 레벨에서의 중합반응을 통하여 합성된 저분자량의 무기질 활성탄소계가 콘크리트 내의 착화합물 반응을 일으켜, 시멘트 경화체와 일체화되는 화학반응에 의하여 흡착결합이 이루어지며, 이를 통해 착화합물 미세공 구조를 형성하게 되어 콘크리트 미세조직 내에 약 1~2 nm 정도의 미세 기공이 형성된다[19].

이는 내부의 수분을 외부로 방출하면서 동시에 통기성을 갖게 하는 결정구조로서 장기적으로 도막의 박리가 발생되지 않는 안정적인 결합이 이루어질 수 있는 이유이기도 하다. 일반적인 활성탄은 500~1500 m²/g의 내부 표면적을 갖고 있다. 활성탄의 세공구조에 있어서 세공특성은 Micro-, Transitional-, Macro-Pore로 구분된다.

20 Å 이하의 직경을 갖는 Pore를 Micro-Pore이라 하고, 흡착이 일차적으로 일어나는 20~1000 Å의 직경을 갖는 Pore를 Transitional-Pore이라 한다. 반면 직경이 1000 Å 이상인 Macro-Pore는 실제적인 흡착공정에서 단지 2차적인 중요성을 가질 뿐, 이러한 Macro-Pore는 액체로부터 용질을 흡착하기 위한 통로로서 제공된다. 기능성 나노복합 활성탄 표면 처리제는 저분자량으로써 콘크리트 공극 내 침투성이 우수하여 콘크리트 수화조직과 무기질 착화합물의 구조를 형성하게 된다. 이는 콘크리트와 동질 재료로서 가장 이상적인 결합모델 통기성을 확보할 수 있게 된다.

또한, 그림 2의 콘크리트 수화물과의 착화합물 형성, 친수성을 나타내어 외부 수분이나 유해물질에 대

한 장벽의 역할을 하게 되며, 이러한 무기질 활성탄소계는 콘크리트 미세 공극 구조를 강화하여 표면 경도를 증가시킨다[16]. 이로써 기능성 나노복합 활성탄 표면 처리제는 기존의 합성수지계 도막을 이용한 표면처리제 등이 가지는 폐쇄도막의 단점을 보완할 수 있게 된다.

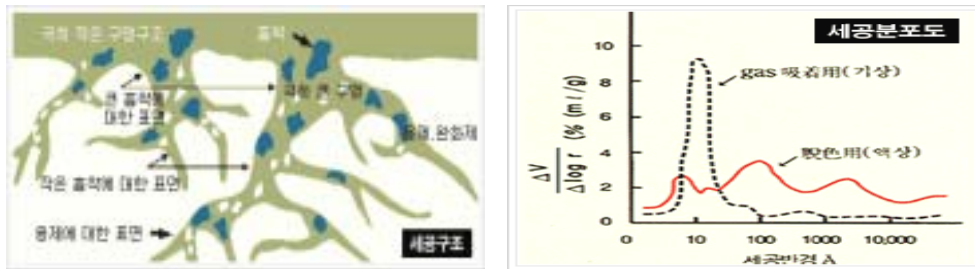
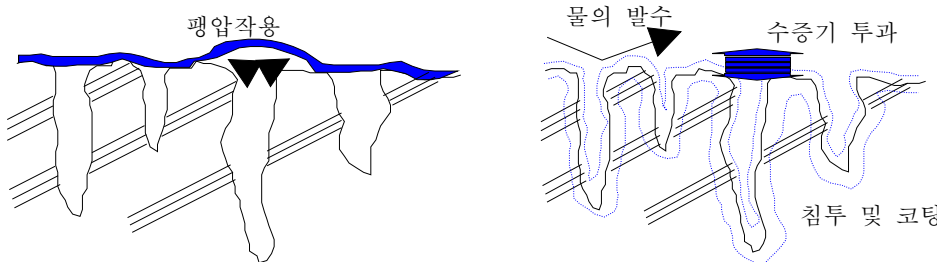


그림 2. 콘크리트 수화물과의 착화합물 형성 모델

그림 3은 콘크리트 표면에 도포된 합성수지계 도막과 기능성 나노복합 활성탄 표면 처리제의 도포에 따른 표면형상을 나타낸 개념도이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 합성수지계 도막은 장기적으로 볼 때 내부 수분의 팽압 작용으로 인한 부풀음 및 탈락 등이 발생하는 반면, 기능성 나노복합 활성탄소 표면 처리제의 경우에는 콘크리트 내부의 모세관 공극에 균질하게 침투함과 동시에 통기성을 나타내어 장기적으로 도막의 박리·탈락·변형 등의 문제점이 해결 될 수 있을 것으로 기대된다[1].



(a) 합성수지계 도막 (b) 기능성 나노복합 활성탄 표면 처리제(무기질 활성탄소계)

그림 3. 콘크리트 표면에 처리된 표면 처리제의 형상 비교

3. 실험 계획 및 방법

3.1 실험 계획

본 연구의 실험 계획은 도표 1, 도표 2, 도표 3과 같다.

도표 1. 시험체의 제작

실험항목	시험체 재질	시험체 규격(cm)	갯수
내구성	콘크리트	염분침투	10×20 (cylinder) 24
		중성화	10×20 (cylinder) 24
		동결융해	7.5×7.5×40 (cubic) 24
		화학적 침식	5×5×5 (cubic) 24
미세조직	모르타르	-	7×20×2.5 (cubic) 6

도표 2. 표면 처리제 도포 방법

실험항목	보강재 종류	도포 방법	도포 횟수	도포두께
내구성	수성 에폭시계	붓	2	0.5~1.0 mm
미세조직	무기질 활성탄소계	붓	2	5±2 mm

도표 3. 시험체의 배합표

배합비 실험종류	굵은골재 최대치 (mm)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	W/C (%)	잔골재율 (%)	단위량 (kg/cm ²)			
						물	시멘트	잔골재	굵은골재
내구성시험 (콘크리트)	25	15	4.5±1.5	45	45	194	432	750	923
미세 조직 (모르타르)	· 1종 포틀랜드시멘트 · 잔골재 및 굵은 골재의 비중, 조립률, 흡수율(%):(2.62, 2.78), (2.82, 6.80), (0.8, 0.5) · 시멘트(C) : 잔골재(S) = 1 : 2 · W/C 50%의 중량비로 배합한 모르타르								

3.2 미세 조직 평가 방법

본 연구에서는 나노수준에서 합성된 저분자량의 무기질 활성탄소계 표면 처리제를 도입하여 콘크리트의 모세관 공극을 제어함으로써 각종 열화 인자의 확산 및 이동을 억제하여 콘크리트의 내구성을 개선하고자 하며, 이에 대한 검증을 위해 기능성 나노복합 활성탄 표면 처리제의 도포에 따른 모세관 공극의 형상 변화와 이에 따른 미세조직의 변화를 관찰하였다.

기능성 나노복합 활성탄 표면 처리제를 적용한 콘크리트의 미세 공극량 변화를 평가하기 위하여 수은 압입식 포로시미터를 사용해 세공 용적을 측정하였다. 본 실험에 사용된 수은 압입식 포로시미터의 최고 압력은 30000psi로 하였다.

기능성 나노복합 활성탄 표면 처리제를 적용한 콘크리트의 미세 조직 변화를 확인하기 위해 주사전자 현미경(SEM) 관찰을 실시하였으며, 도포면 및 단면에 대해 500배 및 3000배로 확대하여 관찰하였다. 시험체에 기능성 나노복합 활성탄 표면 처리제를 도포하고 14일 경과 후 시편을 채취하였으며, 평가부위로서 도포면인 표면에 대하여 500배율로 관찰하였고, 침투부위에 대한 평가로서 도포면에 수직인 면으로 할렬하여 단면부의 조직변화를 3000배율로 확대 관찰하였다.

3.3 내구성능 평가 방법

콘크리트 시험체의 내구성능 평가를 위해서 시험체는 W/C가 45 %로 무처리, 수성에폭시계, 무기질 활성탄소계 3종류로 제작하였으며, 다음과 같이 실험을 실시하였다.

- (1) 염분 침투 저항성 시험은 시험체를 20℃, NaCl 10 % 용액에 28일간 침지시킨 후, 질산은 적정법에 의해 염화물 이온 침투 깊이에 대한 시간적 변화를 측정하였다.
- (2) 중성화 시험(CO₂ 5 % 가스 분무, 건습반복)은 촉진 중성화 시험 장치를 사용하여 35일간 실시하였으며, 시험 종료 후 할렬면에 페놀프탈레인 1 % 용액을 분무하여 중성화 깊이를 측정하였다.
- (3) 동결융해 시험은 KS F 2456에 의해 +4 ~ -18℃ 온도 주기를 300회 반복하였으며, 정해진 횟수에서 그 때마다 상대동탄성계수를 측정하였다.
- (4) 화학적 침식 저항성 시험은 강산인 H₂SO₄ 5 % 용액에 12일간 침지하면서 콘크리트 시험체의 질량 변화를 측정하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 미세조직 평가

무도포 시험체의 경우 전형적인 콘크리트의 수화조직을 나타내고 있으나, 도포 시험체의 경우 표면뿐만 아니라 단면 조직 구조에서도 매우 치밀하게 공극의 변화되었음을 알 수 있다.

이러한 미세조직으로 인하여 외부로부터의 수분 침투가 억제되고, 콘크리트의 열화 원인인 염소이온이나 CO₂ 가스의 침투 및 확산이 어렵게 되는 것이다. 또한 기능성 나노복합 활성탄 표면 처리제의 흡착능력은 수많은 세공과 그 내부표면에 산소, 수소, 질소, 황, 할로젠 등이 탄소와 결합한 착화합물 형성으로 생긴다. 흡착되는 분자는 활성탄의 세공이 비교적 큰 세공을 지나 흡착성 있는 1 ~ 2 nm의 수많은 세공표면에 흡착된다. 이 기공을 통하여 내부의 수분을 외부로 방출하는 발수성과 통기성을 갖게 되기 때문에 내부수분의 증발로 인한 팽압작용에 의한 도막의 박리가 발생되지 않는 주요 원인이 되는 것으로 판단된다. 물리적·화학적으로 안정되고, 산·알칼리성에 강하며, 각종 유기용제에도 녹지 않는다. 또한 강력한 흡착력과 함께 뛰어난 선택성을 가지고 있다. 따라서 표면 처리제에 무기질 활성탄소를 첨가할 경우 원적외선 방사, 향균작용, 음이온 방출, 공기정화, 통기성 확보 등 기능을 발휘하게 된다.

4.2 염분침투 저항성

그림 4는 침지시간 경과에 따른 각 시편들의 염분침투깊이의 시간적 변화를 나타낸 것이다. 28일간 염수 중에 침지한 후, 최종 염분의 침투깊이는 무처리 경우 17.97 mm, 수성 에폭시계의 경우 6.72 mm, 무기질 활성탄소계의 표면 처리를 실시한 경우 0.94 mm로 측정되었다. 무처리 시험체에 비하여 표면처리를 실시한 시험체의 염분침투 저항성은 매우 크며, 특히 무기질 활성탄소계 시험체의 경우 매우 적은 염분침투를 나타내었다. 즉, 무기질 활성탄소계의 경우 무처리 시험체에 비해 염분침투 깊이를 90 % 이상 감소시킨 결과를 나타내었으며, 수성에폭시계에 비해서도 50 % 이상 염분침투를 감소시켜 염분침투에 대한 저항성이 탁월한 것으로 나타났다.

이와 같은 염분침투 저항성은 무기질 활성탄소계의 경우 작은 분자량을 갖기 때문에 콘크리트 내부의 미세공극까지 도포제가 침투되어 콘크리트 모체와 일체화되는 착화합물의 결합을 만들어 근본적으로 열화이온의 침투 및 확산을 억제하고 있음을 알 수 있다.

4.3 중성화 저항성

그림 5는 촉진 중성화 시험을 통해 얻어진 각 시편의 중성화 침투깊이 결과를 나타낸 것이다. 무처리

시험체에 비해 표면 처리제를 도포할 경우 중성화 깊이가 상당히 감소하는 것을 볼 수 있다.

수성에폭시계를 사용한 경우는 무처리 시험체에 비해 약 50 %의 중성화 깊이 감소를 보였으며, 무기질 활성탄소계로 도포한 경우는 무처리에 비해 약 10 %에 해당하는 중성화가 진행되었다.

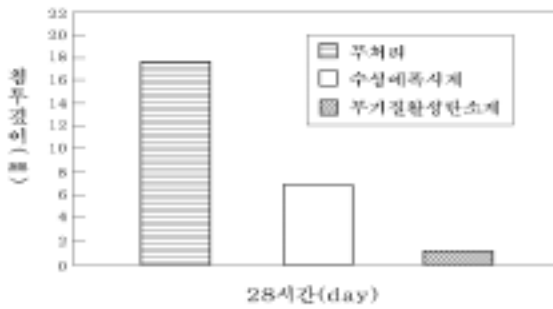


그림 4. 표면 도포제 종류별 염분침투 저항성

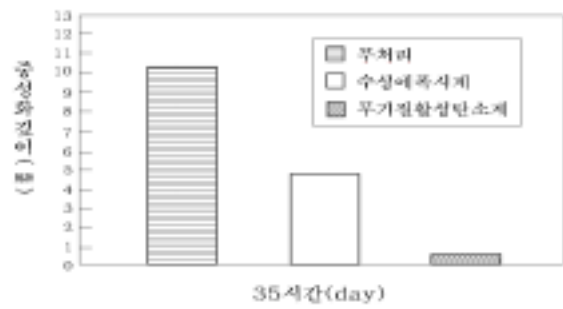


그림 5. 표면 도포제 종류별 중성화깊이 변화

4.4 동결융해 저항성

그림 6은 각 시험체에 대한 동결융해 시험결과를 나타낸 것이다. 이와 같이 본 재료가 탁월한 동해저항성을 가지는 이유로서는 동결융해는 주로 수분의 이동과 이동하는 수분의 동결 팽창압 작용에 기인하므로, 기능성 나노복합 활성탄 표면 처리제의 재료적 특성에 기인한 수분차단 효과 때문인 것으로 판단된다.

4.5 화학적침식 저항성

그림 7은 황산 5% 용액에 침지된 시험체의 재량에 따른 중량 변화율을 나타낸 것이다. 12일간 침지한 결과 무처리의 경우 +5에서 -3% 범위의 중량변화율을 나타내었으며, 기존의 표면처리제로 처리한 경우 +4에서 -4% 범위의 중량변화율을 나타내었고, 기능성 나노복합 활성탄 표면 처리제로 처리한 경우 +1에서 -1% 범위의 안정적인 중량변화율을 나타내었다.

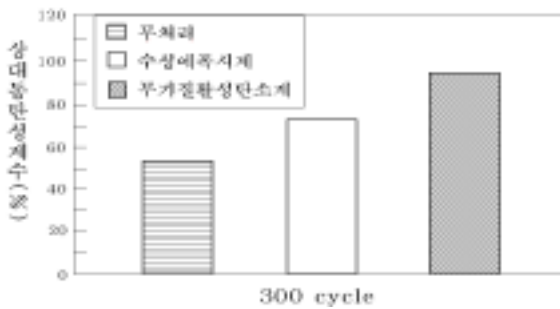


그림 6. 표면 도포제 종류별 상대동탄성계수의 변화

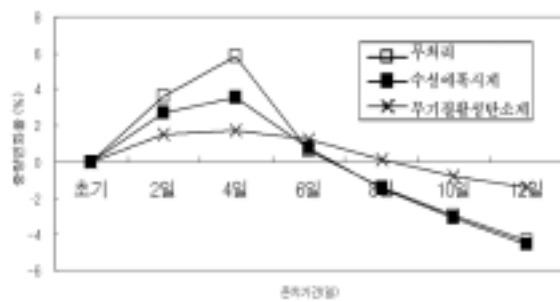


그림 7. H₂SO₄ 5% 용액에 침지한 시험체의 질량변화율

5. 결 론

본 연구는 기능성 나노복합 활성탄 표면 처리제를 도포한 콘크리트 시험체의 내구성능 평가를 실시하기 위해 수행한 실험적 연구로서, 다음과 같은 주요결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 무도포 시험체의 경우 전형적인 콘크리트의 수화조직을 나타내고 있으나, 도포 시험체의 경우 표면 뿐만 아니라 단면 조직 구조에서도 매우 치밀하게 공극의 변화되었음을 알 수 있다. 이러한 미세조직으로 인하여 외부로부터의 수분 침투가 억제되고, 콘크리트의 열화 원인인 염소이온이나 CO₂ 가스의 침투 및 확산이 어렵게 되는 것이다. 기능성 나노복합 활성탄 표면 처리제를 도포함에 따라 표면처리제의 흡착능력은 수많은 미세 다공성과 그 내부표면에 산소, 수소, 질소, 황, 할로젠 등이 탄소와 결합한 착화합물로 형성된다. 흡착되는 분자는 활성탄의 미세공이 잘 형성되어 큰 내부 표면적을 가지게 되고, 비교적 큰 미세공을 통해 흡착성 있는 1 ~ 2 nm의 수많은 세공표면에 흡착된다. 이 기공을 통하여 내부의 수분을 외부로 방출하는 발수성과 통기성을 갖게 되기 때문에 내부 수분의 증발로 인한 팽압작용에 의한 도막의 박리가 발생되지 않는 주요 원인이 되는 것으로 판단된다.

- (2) 기능성 나노복합 활성화탄 표면 처리제를 도포한 시험체의 경우, 무처리 시험체에 비해 염분침투 깊이 및 중성화 억제에 탁월한 효과를 나타내었다.
- (3) 동결융해 시험결과 기능성 나노복합 활성화탄 표면 처리제를 사용할 경우, 무처리 시험체에 비해 상대 동탄성계수의 저하가 거의 발생하지 않았다. 이는 콘크리트 수화물과 일체화된 착화합물 형성의 다공성 구조로 인하여 외부로부터의 수분침투를 막아줌으로써, 동결융해에 대한 저항성능을 향상시킨 것으로 판단된다.
- (4) 화학적 침식 저항성 시험결과 기능성 나노복합 활성화탄 표면 처리제로 처리한 시험체의 경우는 무처리 시험체에 비해 매우 안정적인 중량변화율을 나타내어 외부로부터 침투되는 산에 대한 화학적 저항성이 뛰어난 것으로 평가되었다.

이상의 결과로부터 기능성 나노복합 활성화탄 표면 처리제를 콘크리트 표면에 도포할 경우, 콘크리트 수화물과 반응하여 모세관 공극이 치밀화 되어 외부로부터의 수분 침투를 차단하고 콘크리트의 열화 원인인 염소이온이나 CO₂ 가스의 침투 및 확산 억제는 물론, 동해 및 화학적 저항성도 크게 향상됨으로 열화에 대한 저항성이 탁월한 재료로 판단된다.

따라서, 본 연구 대상 표면 도포제는 염해를 입기 쉬운 해안구조물, 지하수면과 접하게 되는 지하구조물, 각종 대기오염에 노출되어 있는 콘크리트 구조물의 내·외벽 등에 대한 내구성 증진 및 친환경 용도로의 개발이 기대되며, 향후 고강도 콘크리트 및 염분을 함유한 콘크리트에 대하여 성능평가를 실시함으로써 다양한 적용성 검토가 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. 박홍욱, 송하원, 백종명, 우종태, 남진원 (2003), “알콕시 실란계 나노합성 Hybrid 폴리머형 코팅제를 적용한 콘크리트의 내구성능 평가에 관한 실험적 연구”, 봄학술발표회 논문집, 한국철도학회, pp. 687-692.
2. 백종명, 김은겸 (2004), “나노합성 무기질 폴리머계 표면처리제를 적용한 콘크리트의 내구성능 평가에 관한 실험적 연구”, 춘계학술대회 논문집, 한국철도학회, pp. 1-7.
3. 백종명, 장석재 (2006), “나노합성 나일론 섬유 무기질 폴리머 보강제를 적용한 콘크리트의 내구성 평가에 관한 실험적 연구”, 춘계학술대회 논문집, 한국철도학회, pp. 1-6.
4. 변근주, 송하원, 권성중 (1998), “콘크리트 구조물의 내구성 설계 시스템 개발”, 가을학술발표회 논문집, 한국콘크리트학회, Vol.10, No.2, pp. 161-166.
5. 오상근 (2000), “콘크리트 구조물의 방수 연구보고서(I)”, 콘크리트방수 연구소위원회 발표집, 한국콘크리트학회, KCI-M-00-007.
6. 박창엽, 조영일, 한학수 (1996), 기능 재료 공학, 반도출판사.
7. 眞田雄三外 2人 (1995), “新版 活性炭 基礎 應用”, 講談社.
8. Buenfeld, N., R. and Zhang, J., -Z. (1998), “Chloride Diffusion through Surface-treated Mortar Specimens”, Cement and Concrete Research, Vol. 28, No. 5, pp. 665-674.
9. Ibrahim, M., Al-Gahtani, A. S., Maslehuddin, M., and Dakhil, F., H. (1999), “Use of Surface Treatment Materials to Improve Concrete Durability”, Journal of Materials in Civil Engineering, pp. 36-40.
10. Tanaka, H. (2003), “Enhancement of Durability of Concrete Structures by Surface Treatment”, Concrete Journal of JCI, Vol. 41, No. 8.
11. Xi, Yi, Bazant, Z. P. and Jennings, H. M. (1994), “Moisture diffusion in cementitious materials : Adsorption isotherm”, J. of advanced cement based materials, Vol.1, pp. 248-257.
12. Sergi, G., Seneviratne, A., M., G., Maleki, M., T., Sadegzadeh, M., and Page, C., L. (2000), “Control of Reinforcement Corrosion by Surface Treatment of Concrete”, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Structures and Buildings, pp. 85-100.
13. Al-Gahtani, A. S., Ibrahim, M., Maslehuddin, M., and Almusallam, A., A. (1999), “Performance of Concrete Surface Treatment Systems”, Concrete International, pp. 64-68.
14. Paul, J. H. (1998), “Extending the Life of Concrete Repairs”, Concrete International, pp. 62-66.
15. Bradley, D. C. and Mehrotra, R. C. (1978), “Metal Alkoxides”, Academic Press, pp. 336-337.
16. D. W., Breck (1974), “Zeolite Molecular Sieves : Structure”, Chemistry and Use, John, Wiley&Sons, Inc.
17. EPA (1989), “Design & Use of Granular Activated Carbon : Practical Aspects”.
18. EPA (1973), “Process Design Manual for Carbon Adsorption”.
19. Subhash Bhatia (1989), “Zeolite Catalysis : Principles & Applications”, CRC Press, Inc.