

염분제거용 약액을 이용한 콘크리트 구조물의 보수공법에 관한 연구

A Study on Repair Method of Concrete Structures using the Solution of Removing Chloride

Woonhak Kim^{a,*}, Sungwoon Hwang^{b,1}, Seokwon Kang^{c,2}

^a Department of Civil, Safety, and Environmental Engineering, Hankyong National University, 327 Joongang-ro Anseong 17579, Republic of Korea

^b Department of Construction Disaster Control Engineering, Hankyong National University, 327 Joongang-ro Anseong 17579, Republic of Korea

^c Department of Civil, Safety, and Environmental Engineering, Hankyong National University, 327 Joongang-ro Anseong 17579, Republic of Korea

ABSTRACT

Reinforced concrete is used for bridges and large structures that are constructed with social overhead capital because they are economically and semi-permanently integrated with reinforcing bar and concrete. However, when the chloride ion in the concrete destroys the passive film of the reinforcing bar by the marine exposure environment and the snow remover used in the winter season, and the reinforcing bar is corroded by various chemical and physical actions, the durability is deteriorated in a short period, and the life span is shortened. In this study, a repair method to recover the durability of the initial structure by effectively removing chloride ion from the damage caused by salting of the above mentioned reinforced concrete was conducted.

KEYWORDS

chloride attack
durability
corrosion
chloride penetration
service life

철근콘크리트는 철근과 콘크리트가 재료적으로 일체화되어 경제적이고, 반영구적 이어서 사회 간접자본으로 건설되는 교량 및 대형구조물에 사용되어 지지만 해양노출환경 및 동절기에 사용되는 제설제 등으로 콘크리트 중의 염화물 이온이 철근의 부동태 피막을 파괴하여 철근이 부식함으로써 여러 가지 화학적 및 물리적 작용을 복합적으로 받을 경우에 단기간에 내구성능이 저하되고 구조물의 수명이 단축된다. 본 연구에서는 상기와 같은 철근콘크리트의 염해에 의한 손상부에서 염소이온을 효과적으로 제거하여 초기 구조물의 내구성을 회복할 수 있는 보수 공법에 대한 연구를 수행하였다.

염해
내구성
부식
염소이온침투
사용수명

© 2017 Society of Disaster Information All rights reserved

* Corresponding author. Tel. 82-10-5342-0738. Fax. 82-31-678-4674.
Email. whkim@hknu.ac.kr

1 Tel. 82-10-5050-8929. Email. charlie-hwang@hanmail.net

2 Tel. 82-10-4087-0208. Email. hastally@naver.com

ARTICLE HISTORY

Received Dec. 6, 2017

Revised Dec. 6, 2017

Accepted Dec. 21, 2017

1. 서론

콘크리트는 철근과 콘크리트로 구성된 경제적이고, 내구적인 건설재료로 인위적으로 건설되는 대부분의 건설구조물대부분이 적용되어 광범위하게 사용되어 왔으며, 해수, 지하구조물 등 다양한 환경에 노출되어 설계 당시에 계획했던 내구성능이 저하되어 이를 개선하려는 연구가 시도되고 있다. 염해는 콘크리트에 축적된 염화물 함유량이 허용한도를 초과하면서 강제 부식이 촉진되어 구조물의 내구성이 저하되는 현상으로, 철근부식에 가장 민감하고 빠르게 작용하여 콘크리트 구조물의 내하력을 저하시킨다. 최근 이상기후 및 폭설 등 제설제 사용량이 늘고 있어 교량구조물 등 콘크리트의 급속적인 열화, 박리, 박락 등의 우려가 있는 노후 콘크리트 구조물을 보호할 수 있는 염분제거 공법이 필요한 실정이며, 동절기에 제설방식이 기존의 모래 살포 방식에서 습염제설 방식으로 전환되면서 구조물의 누수로 인해 제설염화물에 노출되어 주요부재의 열화가 발생하고 있고 유지보수에 필요한 비용도 증가하는 추세이다. 본 연구에서는 염분이 침투되어 노후화를 촉진시키고 있는 콘크리트 시설물의 설계초기 기능을 유지시키고자 콘크리트 구조체에 침투되어 있는 염화물을 모세관을 통해 축출, 제거하는 염분제거공법을 실내시험을 통해 염분제거공법의 성능을 확인하였고 실제 콘크리트 구조물에 적용하여 개발된 염분제거공법의 품질 확인 및 시공의 이상 유무를 확인하기 위해 현장 시험시공을 실시하여 결과를 실험적으로 검증하고자 하였으며, 염분제거용 약액은 약 알칼리 성으로서 콘크리트에 형성된 많은 공극 중에서 모세관 공극을 통해서 내부로 침투하고, 외부에서 침입한 제설제(염화칼슘, 염화나트륨 등)을 만나면, Cl이온을 분리시켜서 모세관 외부로 몰아내면서 염분제거용 약액이 콘크리트내부에서 고정되는 역학적 특성을 지니고 있다. 본 연구에서는 이와 같은 염분제거용 약액을 이용하여 콘크리트구조물의 염분을 제거할 수 있는 보수공법을 연구하고자 한다. 이를 위해 여러 가지 재료를 혼합한 보수재료로서의 폴리머 모르타르를 연구 개발하여 최적의 배합비를 도출하고, 염분제거용 약액과 폴리머 모르타르를 이용하여 염해를 받고 있는 콘크리트 구조물의 염분을 제거하고 추후 염해의 영향을 최소화할 수 있는 보수공법을 제안하고자 한다.

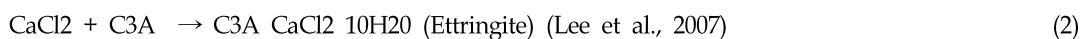


Fig. 1. Concrete deterioration phenomenon

2. 염분 제거액을 도포한 콘크리트내의 염화물 제거

2.1 염분 제거액의 특성

일반적으로 사용하는 표면 침투제는 소수성 물질을 용매에 희석시킨 형태로 부러쉬 또는 스프레이 방식으로 도포되며 중력의 영향으로 콘크리트 내부에 침투되는 방식으로 도포 후 상호 접착력, 부착력이 약해지고 표면 침투제가 침투되는 과정에서 용매가 증발되어, 침투제의 성능이 저해되는 단점이 있다. 본 논문에서 사용한 염분 침투제형 염분 제거액은 탄산수소나트륨 (Sodium bicarbonate)의 가공물로 제작되었으며, 식 (1)과 (2) 참조하여 삼투현상 및 삼투압에 기존의 중력에 의해 침투되는 제거액과의 성능의 차이가 발생하며 콘크리트 내부의 염화칼슘(CaCl)과 접촉하여 Cl이온을 분리시키고, 이를 콘크리트 내부의 공극을 통해 외부로 방출시킨다.



2.2 염화물 이온량 측정방법

본 논문에서는 염분 제거액의 성능을 평가하기 위하여 염화물에 침전된 시편을 사용하여 염분 제거액 사용 전후의 염분농도를 측정하여 염분 제거액의 성능을 확인하였으며, 순서는 다음과 같다.

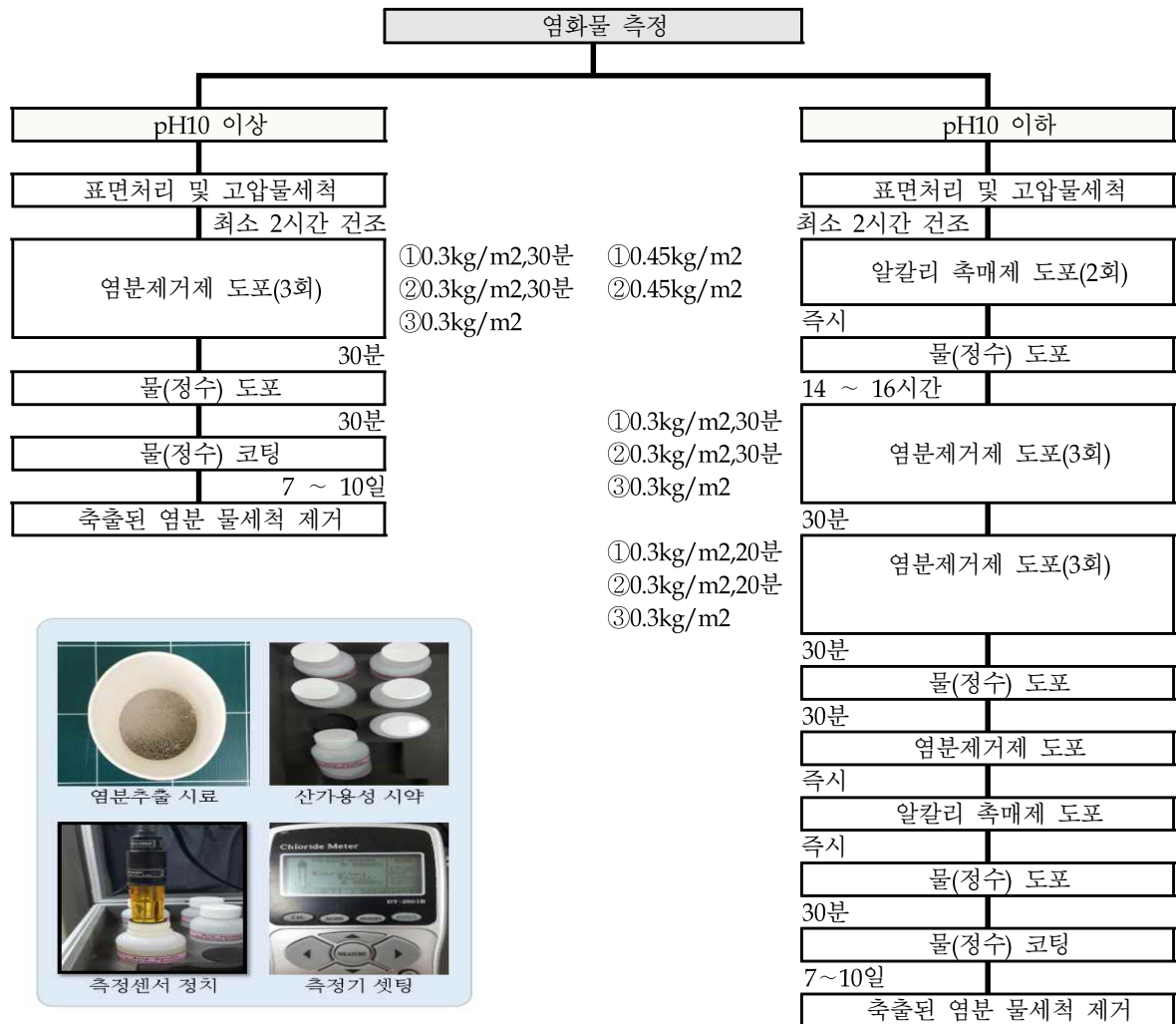


Fig. 2. Desalination test

3. 시 험

3.1 개요

겨울철에 염화칼슘 제설제로 인한 도로구조물 등 콘크리트의 급속적인 열화, 박리, 박락 등의 우려가 있는 노후 콘크리트 구조물을 보호할 수 있는 염분제거 공법이 필요했다. 염분이 침투되어 노후화를 촉진시키고 있는 콘크리트 시설물의 원래 기능을 유지시키고자 콘크리트 구조체에 침투되어 있는 염화물을 모세관을 통해 추출, 제거하는 염분제거공법을 개발하여 공시체를 이용한 실내실험을 수행하여 개발한 염분제거제의 성능을 파악하였으며, 염해를 입은 콘크리트 공극 내에 염분이 증가하면 수압이나, 삼투압으로 수분이 인접한 공극으로 이동하면서 공극의 포화도를 증가시키고, Salt Crystallization 으로 인한 팽창이 표면 박리를 증가시킨다는 기존의 문헌 ((Lee et al., 2017)과 최종적으로 콘크리트 내부의 염화물을 외부로 배출하는 것을 Fig. 3과 Fig. 4에 도식화 하였다.

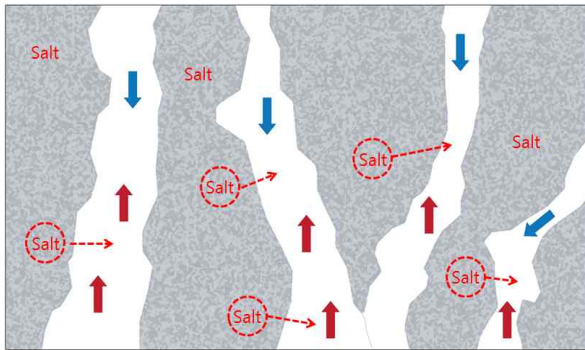


Fig. 3. Desalination reaction image

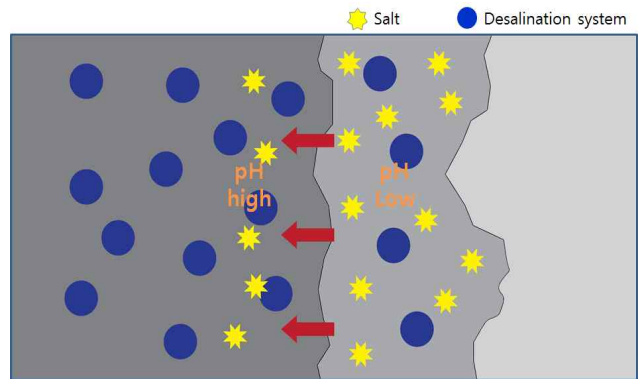


Fig. 4. Osmotic phenomenon and osmotic pressure

3.2 염화물 이온량 측정 실험

3.2.1 염화나트륨, pH10이상, 염분농도(50%), 침지일수(14일)

실험에 사용한 공시체는 Fig. 5에 나타내었으며, A는 시공후 4,000시간이 경과된 구조체에서, B는 2,000시간이 경과된 구조체에서 채취하였다. 염분농도 50%의 염화나트륨 용액에 14일 침지한 시험체를 꺼내 표면처리 후 염분제거제를 총 3회 도포하였다. 이중 B를 도포한 시험체 표면에 염분 결정이 생기기 시작하는 것이 목격되었다. 염분 결정은 B가 가장 많이 분출되었으며 A에는 거의 변화가 없었으며, 염분제거제 도포 후 7일동안 대기, 표면을 세척하고 나서 다시 염분측정을 실시하였다. 육안으로 큰 변화를 보였던 B를 도포한 시험체의 염분량이 0.52% 감소, 염분제거율 75.4%를 확인하였다. A를 도포한 시험체의 염분량은 0.11% 감소로 염분제거율이 13.9%라 B와 효과가 적은 것을 확인하였다.

3.2.2 염화나트륨, pH10이상, 염분농도(50%), 침지일수(14일)

염분농도 50%의 염화칼슘 용액에 10일 침지한 시험체를 꺼내 표면처리 후 염분제거제를 총 3회 도포하였다. 시험체 4개중 2개는 습윤시험을 위해 표면처리 후 건조를 생략해 습윤상태에서 바로 도포시험을 진행하였으며 시험체 모두 표면에 염분 결정이 생기는 것이 확인되었다.(Fig. 6 참조). 건조조건인 시험체가 습윤상태의 시험체보다 염분결정 반응이 3시간정도 빠른 모습을 보였으며, A 염분제거제를 도포한 습윤시험체는 염분결정 반응이 적었다.

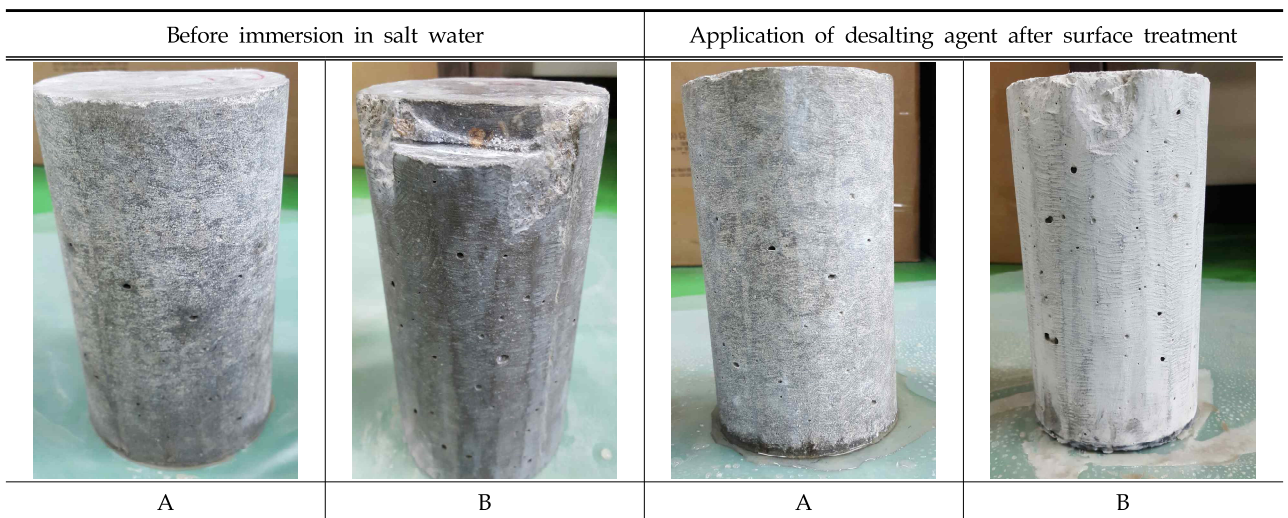


Fig. 5. Photo before and after application of desalting agent (14day)

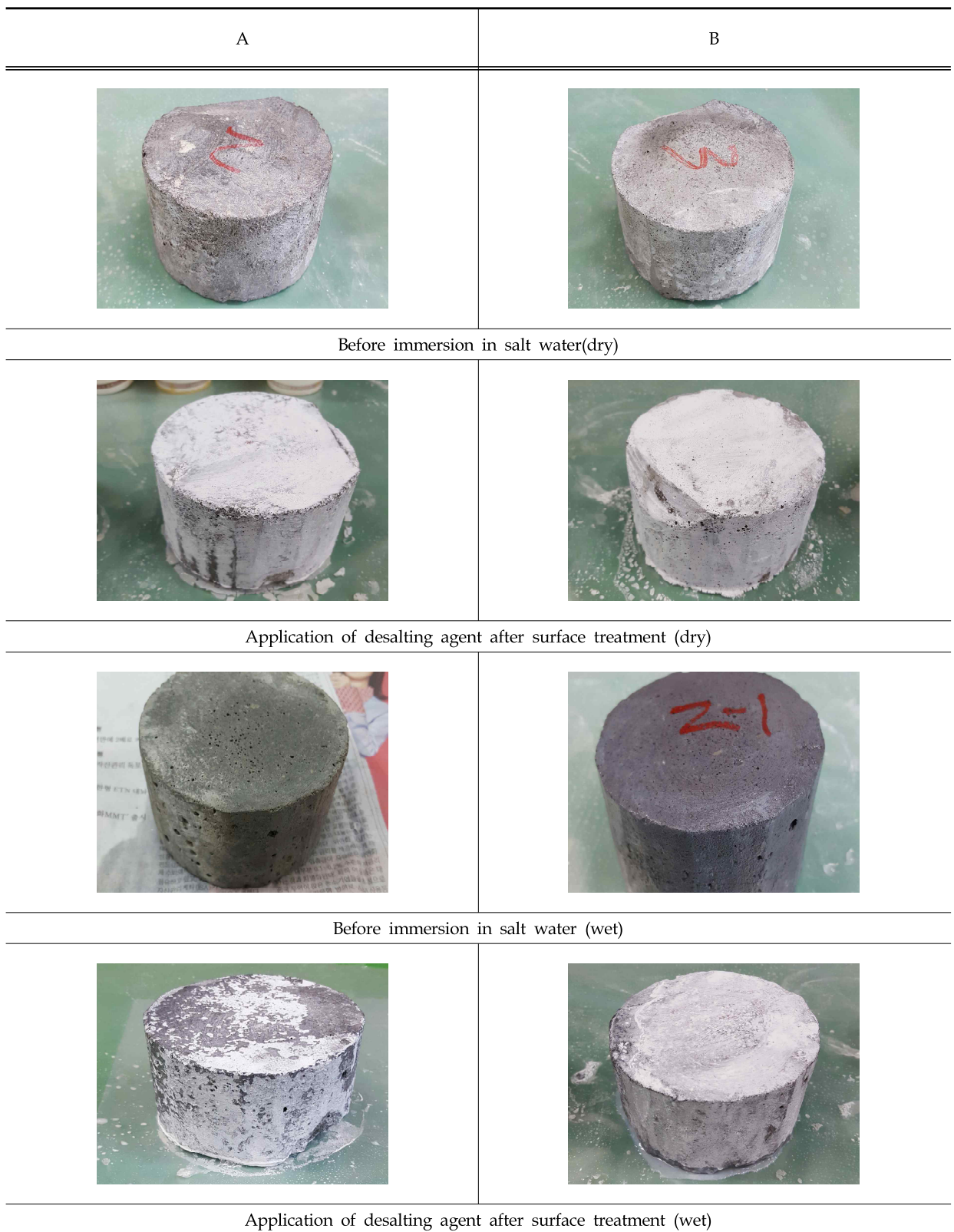


Fig. 6. Photo before and after application of desalting agent (10day)

3.3 내구성 허용기준 검토

콘크리트구조기준(2012)의 노출등급이 결정된 콘크리트의 내구성 허용기준에 명시된 노출되지만 외부의 염화물에 노출되지 않는 콘크리트의 콘크리트 내 최대 수용성 염소 이온량은 철근콘크리트의 경우 0.3으로 규정하고 있어 오이도 박물관 공사현장의 진입계단의 샘플을 채취하여 KS F 2714(2012) 염화물 함유량 측정실험을 수행하였다.

사용한 계산식은 콘크리트 단위 부피당 염화물량(kg/m³)계산식은 염화물량(%) × (U/100) 이며 여기서 U = 콘크리트나 모르타르의 밀도(kg/m³)로 KS F 2714에서 가정한 2263 kg/m³를 사용하였다.

4. 실험결과

콘크리트구조기준(2012)에서 명시한 내구성 허용기준의 콘크리트내 최대 수용성 염소이온량을 30% 이상 상회하는 시험체에 염분 제거제를 3회 도포 하여 염화이온을 측정된 결과 염분제거제를 도포한 결과 아래 Table 1과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 두 시험체 모두 50% 가량의 높은 염분제거율을 보였으나, 습윤상태에 따른 조건으로 표면처리 및 물세척이 사전에 수행되어 염화이온의 배출에 효과가 있음을 입증하였으며, 건조 상태에서 NaCl 시험시 큰 염분제거율을 보였던 B공시체의 염분제거율이 가장 큰 것으로 확인되었으며(Table 2), 습윤상태에서는 건조상태와 다른 경향을 보였다(Table. 3 - Table. 4). A의 염분제거율은 46%에서 25%로 큰 감소를 보였다. 그와 반대로 B의 염분제거율은 78%로 건조상태보다 17% 증가하였으며, CaCl 노출 조건하의 염분제거 시험결과, B공시체가 건조와 습윤 상태 상관없이 높은 염분제거율을 보였으며, A공시체는 습윤 상태에서의 염분제거율이 떨어지는 것을 확인하였으며, 현장 적용 시험결과 Table. 5에 시공부위에 콘크리트 중 염화물 함유량의 4~8배 높은 수치가 나타나 염분이 배출되는 것을 증명하였다.

Table 1. Chloride content measurement test (KS F 2714)

Salinity content (Cl-)		before	after	Saline remover using	Removal rate(%)
A	%	0.42	0.17	5.63	59.4
B	%	0.41	0.21	4.62	49.3

Table 2. Immersion 14 day

Salinity content (Cl-)		before	after	Saline remover using	Removal rate(%)
A	%	0.005	0.77	0.66	13.9
	(kg/m3)	0.13	17.35	14.94	
B	%	0.001	0.69	0.17	75.4
	(kg/m3)	0.02	15.64	3.84	

Table 3. Immersion 10 day (dry)

Salinity content (Cl-)		before	after	Saline remover using	Removal rate(%)
A	%	0.011	3.34	1.79	46
	(kg/m3)	0.25	75.58	40.51	
B	%	0.014	3.49	1.35	61
	(kg/m3)	0.32	78.98	30.55	

Table 4. Immersion 10 day (wet)

Salinity content (Cl-)		before	after	Saline remover using	Removal rate(%)
A	%	0.020	2.20	1.66	25
	(kg/m3)	0.45	49.79	37.57	
B	%	0.018	2.00	0.44	78
	(kg/m3)	0.41	45.26	9.96	

Table 5. Field construction Result

Test Type	Result	Standard
Chloride Content (Cl-) (KS F 2714)	0.1129 % (2.554 kg/m3)	- (0.3~0.6 kg/m3)

5. 결론

본 연구에 의하면 염분침투로 철근부식이 우려되는 콘크리트 구조물(항만구조물, 콘크리트 바닥 등)의 열화를 방지하고, 콘크리트 내부에 설치된 철근부식 원인을 제거함으로써, 콘크리트 구조물의 내구성 향상에 기여를 할 것으로 예상된다. 특히, 겨울철 콘크리트 고속도로 및 일반도로에 제설제 도포로 열화된 도로의 기능을 원래의 상태로 회복시키 유지관리측면에서도 편리성이 향상되어질 것으로 사료되며, 수행한 실험들을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 콘크리트구조기준에서 명시한 콘크리트 내 최대 수용성 염소이온을 초과하는 시험체에 염분제거제를 3회 도포하였을때 수용성 염소 이온의 양이 기준치 (0.30)보다 낮은 0.17, 0.21으로 나타나 염분제거제가 수분에 노출되지만 외부의 염화물에 노출되지 않은 철근 콘크리트의 염분 제거에 효과가 있음을 검증하였다.

(2) 사용된 염분제거 용액중 전반적으로 B공시체가 A공시체보다 보다 염분 제거율이 높았으며, 침지일수가 길수록 더 높은 염분제거율을 나타내었다.

(3) 콘크리트 내부의 염화물 함유량을 낮추기 위해 알칼리성 염분제거제를 도포하여 61% 및 78%의 염분 제거율을 나타내었으나, 염화이온의 원활한 이동이 가능한 콘크리트의 습윤상태에서 가장 높은 수치인 78%가 나타나, 추후 알칼리성 염분제거제의 농도 변화 및 성분보완보다 사전처리를 통한 표면의 습윤상태 유지가 더 중요할 것으로 사료된다.

(4) A공시체의 경우는 B공시체 보다는 낮은 수치의 염분 제거율을 나타내지만, 침지일수 10일의 건조상태에서 가장 높은 수치의 46%의 염분 제거율을 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 환경대학교 2016년도 학술연구조성비의 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Lee, K.B, Lee S.W. (2007) Effects of Deicer on Concrete Pavement Distress KSCE Vol. 27, No. 1, pp. 73~80
- Lee, BY (2017) kimberly E.K. Effect of pore structure on salt crystallization damage of cement based materials: Consideration of w/b and nanoparticle use. Cement and Concrete Research 98, pp. 61-70
- Lee, S.-H., and Kwon, S.-J., "Experimental Study on the Relationship between Time-Dependent Chloride Diffusion Coefficient and Compressive Strength", Journal of the Korea Concrete Institute, Vol.24, No.6, 2012, pp.715-726.
- Park, S.-S., Kwon, S.-J., and Jung, S.-H., "Analysis Technique for Chloride Penetration in Cracked Concrete Using Equivalent Diffusion and Permeation", Construction and Building Materials, Vol.29, No.2, 2012, pp.183-192.
- Maekawa, K., Ishida, T., and Kishi, T., "Multi-Scale Modeling of Concrete Performance", Journal of Advanced Concrete Technology, Vol.1, No.2, 2003, pp.91-126.
- Song, H.-W., Pack, S.-W., Lee, C.H., and Kwon, S.-J., "Service Life Prediction of Concrete Structures under Marine Environment Considering Coupled Deterioration", Journal of Restoration Building and Monuments, Vol.12, No.4, 2006, pp.265-284.
- Duprat, F., and Sellier, A., "Probabilistic Approach to Corrosion Risk Due to Carbonation via An Adaptive Response Surface Method", Journal of Probability Engineering and Mechanics, Vol.21, No.4, 2006, pp.207-216.