

# 변색법을 활용한 해양 콘크리트 구조물의 염해평가

## Evaluation on Chloride Attack by Colormetric Method in Marine Concrete Structures.

박진호\*      김명유\*      곽상윤\*\*      양은익\*\*\*      박해균\*\*\*\*  
Park, Jin Ho      Kim, Myung Yu      Kwak, Sang Yun      Yang, Eun Ik      Park, Hae Geun

### ABSTRACT

When concrete structures are exposed under marine condition for a long time, the steel in concrete is corroded due to the ingress of chlorides in the seawater. Because the damages of corrosion resulting from the chloride ion are very serious, many researches have been performed. However evaluation on chloride attack of concrete structures are not fully examined, recently. Therefore, the objective of this paper is to study the applicability of colormetric method. For the purpose of this, reaction mechanism of colormetric method were investigated, and the colormetric method is applied for marine concrete structures.

According to the test results, the diffusion coefficient by colormetric method is not so different to the value of chloride concentration profile test. It is confirmed that the colormetric method is useful tool for estimating the chloride of concrete structures in situ. The average chloride amount of colored parts indicates  $0.9\text{kg/m}^3$  per concrete unit weight.

### 1. 서론

우리나라의 경우 아직까지 콘크리트 구조물의 성능저하 정도 등에 대해 조사, 분석 자료가 많지 않을 뿐만 아니라 철근 부식에 대한 체계적인 연구 성과도 찾기 어려운 현실이므로 콘크리트 구조물 중의 철근 부식의 원인에 대한 체계적인 분석 및 검토가 절실히 요망된다. 또한 철근 콘크리트 구조물 중의 철근부식 및 탄산화 평가는 유지관리에 있어서 중요한 것으로 정기적인 진단과 장기적인 성능저하의 진행예측 등을 판단하는 토대가 된다. 그러나 염화물 이온의 침투 깊이를 측정하는데 있어서는 정확하게 확립된 시험방법이 정해져 있지 않다. 최근 질산은 변색법이 염화물 침투 깊이를 측정하기 위해 사용되기 시작하고 있으나, 이에 대한 반응 메커니즘과 콘크리트 적용성에 대한 평가가 이루어지지 않은 상태이다.<sup>1), 2)</sup> 따라서, 본 연구에서는 질산은 변색법의 메커니즘과 실제 콘크리트에 대한 적용성을 살펴봄으로써 현장에서 신속하게 염화물 침투 특성을 파악할 수 있는 가능성을 검토하고, 구조물의 철근 부식 개시시기와 유지 보수에 대한 기초 자료로 제시하는데 목적을 두었다.

\*정회원, 강릉대학교 토목공학과 대학원생

\*\*정회원, 섬강종합건설(주) 과장

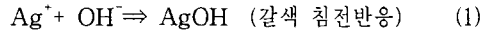
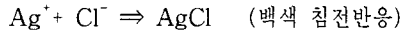
\*\*\*정회원, 강릉대학교 토목공학과 교수

\*\*\*\*정회원, 삼성물산(주)건설부문 토목사업본부 과장

## 2. 변색법의 메커니즘

질산은 변색법에 의한 염화물 이온의 침투 깊이 측정은 Otsuki<sup>3)</sup>에 의해 소개되었는데 콘크리트 내부의 염화물 이온과 외부에서 침투한 염화물 이온( $Cl^-$ )이 분무되는 질산은 용액의 은이온( $Ag^+$ )과 반응하여 백색의 침전물이 생성된다는 사실을 보고하였다.

그러나 변색 반응은 두 가지 반응에 의해 발생하는데, 식(1)은 그 반응식을 나타낸다.



침투한 염화물( $Cl^-$ ) 이온과 분무되는 질산은 용액에 존재하는 은( $Ag$ ) 이온이 반응하여 백색을 띠며, 콘크리트 수화 생성물로 발생한 수산화 이온( $OH^-$ )과 은( $Ag$ ) 이온이 반응하여 갈색을 띠게 된다. 이러한 변색 반응 메커니즘을 이용하여 탄산화 시험처럼 현장에서 육안으로 손쉽게 염화물 침투 깊이를 측정하는 것이 가능하게 된다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 탄산화 깊이

본 연구에서는 선행된 질산은 변색법 실험에 있어 탄산화가 변색법 적용에 영향을 미치므로, 탄산화깊이에 대하여 조사가 이루어졌다. Table 1은 13개 위치의 구조물에 대한 1%의 페놀프탈레인 용액에 의해 측정된 탄산화 깊이 결과를 나타낸다. 우○○(WY)와 영동○○(YDE) 교량의 경우 탄산화 깊이가 사용수명에 비해 다소 크게 나타났는데, 두 곳의 노출 환경에 기인한 결과로 판단된다. 우○○(WY)의 시료 채취 위치로부터 3m 부근에 하수구가 위치함으로 인한 결과로 판단되며, 영동○○(YDE)의 경우는 인근에 위치한 화력 발전소의 배기가스와 배출수에 기인하여 비슷한 재령의 구조물보다 비교적 크게 나타난 것으로 파악된다. 광○○(KJ)의 경우도 탄산화 깊이가 크게 나타났는데 이는 구조물의 사용수명이 오래되었고 구조물 자체의 강도가 적은 관계로 콘크리트의 품질이 문제시되었기 때문으로 판단된다.

그러나, 결과를 살펴볼 때, 전체적으로 동해안 해안가 구조물의 탄산화 깊이가 20mm이하 정도로 적으며, 특수한 구조물을 제외한 해양 구조물의 건설시 품질이 양호한 콘크리트를 사용하면 탄산화에 대한 영향을 고려하지 않아도 될 것으로 판단된다.

Table 1 Chloride penetration depth and carbonation of core specimens

Structure Name	Completion	Distance from Coast (m)	Exposure Condition	Chloride Penetration Depth (mm)	Carbonation Depth (mm)
HH	1997	5	Splash Zone	72.3	1.3
SP	1940	103	Air	0.0	3.3
WY	1998	72	Air	19.3	20.0
YDE	1977	200	Air	17.3	14.7
MC	1989	53	Air	0.0	9.7
SCN	1996	12	Splash Zone	59.7	1.3
SCN	1997	24	Air	12.3	10.7
GOS	1971	300	Air	7.7	20.0
SOS	1996	51	Air	59.0	20.3
KJ	1963	450	Air	49.3	45.0
YD	1985	3	Splash Zone	76.7	6.3
YD	1994	3	Splash Zone	67.3	7.7
YD	1998	3	Splash Zone	73.3	4.0

### 3.2 변색법을 적용한 염화물 침투 깊이

염화물 침투 깊이는 질산은 변색법에 의해 측정하였으며, 선행된 연구<sup>2)</sup>에서 변색법 적용결과 뚜렷한 변색을 보인 0.1N의 질산은을 분무하여 염화물 침투깊이를 측정하였다. 측정된 염화물 침투 깊이 결과는 Table 1에 나타내었다. 기중에 비해 비말대의 염화물 침투 깊이가 크게 나타나며, 해안으로부터의 거리가 가까움에 따라 표면 염화물 농도가 높게 측정되었다. 또한, 현장에서의 변색법 적용에 있어 해양 구조물이나 인접한 곳에 위치한 구조물의 경우, 특별한 경우를 제외하고 탄산화 속도보다 염화물 침투 속도가 빠르기 때문에 변색법을 콘크리트 구조물에 적용하는 하는데 효과적으로 사용이 가능하다. 단, 탄산화의 영향을 받는 구조물에 있어서는 변색법 적용에 앞서 필히 탄산화 깊이를 검토할 필요가 있다. 이것은 선행된 실험에서 콘크리트의 pH가 10 이하일 경우 침투 깊이가 크게 나타날 가능성이 있기 때문이다.

### 3.3 질산은 변색법에 의한 겉보기 확산계수와 농도프로파일에 의한 확산계수 비교

표면 염화물량은 JCI 기준을 이용하여 Co값을 가정하였고, 식(2)에서 x는 시료의 채취 깊이, C(x,t)는 채취 깊이에서의 염화물량을 말한다.

t는 준공 후부터의 사용수명이며, D는 구하고자 하는 확산계수이다. Table 2는 농도프로파일에 의한 확산계수(Dc)와 변색법에 의해 측정된 침투 깊이 결과를 토대로 구한 확산계수(DA) 결과를 나타낸다. 확산계수 순서는 비말대, 해안선, 기중순으로 나타났는데, 이는 염화물 침투 깊이 결과와 일치한다. 이러한 결과는 염화물 침투와 마찬가지로 염화물 이온의 농도와 관련하여 해양이 가까울수록 표면에 접하는 염화물 이온 농도가 높고 습윤 환경을 제공하므로 많은 염화물 이온의 침투량을 보이는 것으로 판단된다.

$$\frac{C(x,t)}{C_0} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{\sqrt{4Dt}}\right) \quad (2)$$

### 3.4 변색구간에서의 염화물량

변색법을 적용하여 염화물 침투 깊이를 측정하고 변색된 구간에서의 염화물 농도를 알아보았다. 변색 구간에서의 염화물량을 측정한 목적은 선행된 연구에서의 변색구간 염화물량과 비교함으로써, 현장에서 변색법을 적용하여 염해에 대해 평가함에 있어 일정한 농도 수준에서 변색이 이루어지는지에 대하여 조사하고자 수행되었다.

Table 2 comparison of Chloride diffusion coefficient of core specimens

Structure Name	Service life	Distance from Coast (m)	Exposure Condition	Chloride Amount of Surface (kg/m <sup>3</sup> )	D <sub>c</sub>	D <sub>A</sub>
KJ	40	450	Air	2.3	0.44	0.30
SCN	6	24	Air	10	0.37	0.07
GOS	32	300	Air	3	0.05	0.01
SOS	7	50	Coast	9	4.71	1.43
YD	18	3	Splash Zone	13	1.71	0.84
YD	9	3	Splash Zone	13	12.6	1.30
YD	5	3	Splash Zone	13	10.8	2.77
WY	5	72	Air	4.5	1.09	0.27
SCN	7	12	Coast	9	0.67	1.46
HH	6	5	Splash Zone	13	9.41	2.24

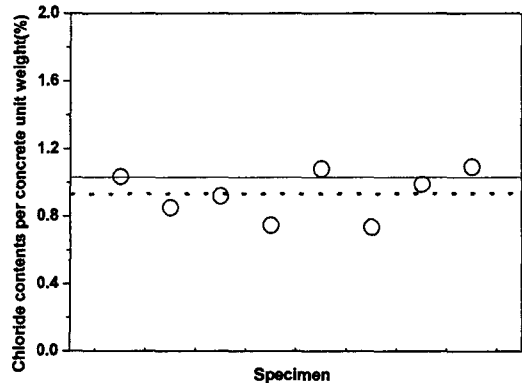


Fig.1 Chloride contents of colored parts

Fig. 1은 동해안 해안가 구조물의 코어 시험체에 대하여 변색법을 적용하여 염화물 침투 깊이를 측정하고, 변색된 구간에서의 염화물량을 조사한 결과를 나타낸다.

결과를 살펴보면, 검은색 실선은 선행된 연구에서의 염화물량을 나타내며, 회색 점선은 현장 코어 시험체의 변색 구간 염화물량을 나타낸다.

변색 구간에서의 염화물량 값은 콘크리트 단위 중량당 평균  $0.9\text{kg/m}^3$ 으로 나타났으며, 선행된 연구<sup>2)</sup>의  $1.05\text{kg/m}^3$ 값과 큰 차이가 없음을 보였다. 또한, 각각의 시험체에 있어 일정한 수준의 염화물량 값을 보인다. 따라서, 현장에서 질산은 용액을 이용한 변색법의 적용에 있어 0.1N 농도를 사용할 경우, 콘크리트 함유 염화물량이  $0.75\sim 1.2\text{kg/m}^3$ (평균  $0.9\text{kg/m}^3$ )수준에서 변화한다고 판단된다.

#### 4. 결론

콘크리트의 염화물 침투 특성 파악을 위한 변색법의 적용성에 대한 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 해양 구조물이나 인접한 곳에 위치한 구조물의 경우, 현장에서 구조물의 부식여부를 판단하는데 변색법이 유용한 방법인 것으로 확인되었다.

(2) 변색법에 의한 확산계수와 농도프로 파일에 의한 확산계수의 경향은 일치하였으며, 변색법에 의한 확산계수 평가가 가능하다. 단,  $D_A$ 가  $D_C$ 보다 적게 나타났으며, 이것은 표면 염화물량의 부정확성에 기인한 것으로서 표면염화물량에 대한 검토가 필요하다.

(3) 변색 구간에서의 염화물량 값은 콘크리트 단위 중량당 평균  $0.9\text{kg/m}^3$ 으로 나타났으며, 선행된 연구의  $1.05\text{kg/m}^3$ 값과 큰 차이가 없음을 보였다.

위의 결론을 요약해 보면, 질산은 변색법은 염화물의 침투를 받는 콘크리트 시험체나 현장 구조물에서 용이하고 신속하게 염화물 특성을 파악하는데 유용하게 쓰일 수 있을 것으로 판단된다. 하지만, 변색법 적용에 있어 콘크리트의 pH가 참고로 측정되어 사용되어야 한다.

#### 감사의 글

본 과제는 건설교통부 건설핵심기술 연구개발사업(C104A1000016-04A0200-01610)의 지원에 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고 문헌

1. 오병환 외, "콘크리트 구조물의 염화물 확산거동 및 침투해석", 한국콘크리트학회, 연구소위원회보고서, 2001.
2. 양은익 외, "콘크리트 물성 및 시험법에 따른 콘크리트 염화물 확산", 한국콘크리트학회, Vol.16, No.2, pp.261~268, 2004.
3. Otsuki, N. Nagataki, S., and Nakashita, K., "Evaluation of  $\text{AgNO}_3$  Solution Spray Method for Measurement of Chloride Penetration into Hardened Cementitious Matrix Materials," *ACI Materials Journal*, Vol.89, No.6, pp.589~92. 1992.