

# 배수갑문 교량의 노후도 감시시스템

## Management System for Saemangeum Gate Bridge

이준구\*      조영권\*      김한중\*\*      김관호\*      김명원\*

Lee, Joon Gu    Cho, Young Kwon    Kim, Han Joung    Kim, Kwan Ho    Kim, Myung Won

### ABSTRACT

The basic prediction model was constructed to obtain optimal maintenance method for concrete structure under marine environment by exploring the mechanism of mono and combined deterioration in lab. This model was planned to be upgraded with data acquired from several exposure specimens under same environment as structures. The computer program developed to give useful guidance observer would be improved. Several repair materials and repair construction methods applied to exposure specimens will be tested for its performance of prohibit salt attack and freezing & thawing action during experimental period about ten years. All of these data could be available to complete the prediction system. The manager will be able to use the system for optimal maintenance of marine concrete structures.

#### 1. 서론

사업의 타당성 검토 시부터 시설물의 생애기간동안 발생하는 유지관리비용을 고려하여 타당성 평가를 수행하며, 시설물의 설계 시에도 내구성 설계를 지향하는 등 시설물의 최적유지관리를 통한 장수명화를 추구하는 방향으로 변화해 가고 있다. 이러한 방향이 장기적으로 경제적이며 환경을 보전할 수 있는 합리적 방향일 것이다. 따라서 본 연구에서는 해양콘크리트 구조물의 열화메카니즘을 규명하고 사용연한에 따른 노후도를 예측하여 적정유지보수를 통한 구조물의 사용성증대와 장수명화를 구현하기 위해 노후도 예측모델을 개발하고자 한다. 모델의 개발을 위해 실내축진내구성 실험과 현지해수노출 실험을 수행한다. 단일열화모드와 복합열화모드로 구분하여 열화메카니즘의 기본모델을 구성하고 장기간해수에 폭로시키는 해수노출실험을 수행하여 얻은 자료를 통해 모델을 수정하여 예측모델을 완성하고자 한다.

#### 2. 개발개요

##### 2.1 실험개요

해양콘크리트구조물의 노후도 예측시스템의 개발을 위해 그림 1과 같이 개발계획을 수립하고 그림 2와 같이 실내실험 및 현지해수노출실험을 수행함으로써 시스템을 완성할 계획을 수립하였다. 국내·외 현지해수노출시험장을 답사·조사하고 노출실험체의 종류와 개수의 결정 및 해양환경에서 장기간 안전하게 실험체를 노출시킬 수 있는 시험장 구상에 대한 아이디어를 도출할 수 있었다. 실내실험의 변수는 본 고에서 모두 언급할 수는 없지만 보편적으로 알려진 방법과 KS, JIS, ASTM을 기준으로 하였다. 기본모델의 결정 시에는 선임연구자들의 모델을 참조하여 실내실험결과를 분석하여 구성하였다. 기본모델을 바탕으로 다년간에 걸쳐 획득할 현지해수노출 실험자료를 이용하여 향후모델로 발전시켜 보다 정확한 노후도 예측시스템을 완성할 계획을 수립하였다. 기본모델을 중심으로 웹기반 전산프로그램으로 개발하고 해수노출 실험자료를 매년 획득하며 주기적인 갱신으로 예측시스템을 완성할 계획을 수립하였다.

\* 정회원, 한국농촌공사 농어촌연구원

\*\* 정회원, 환경대학교 지역자원시스템공학과 교수

## 2.2 사용재료

시멘트는 보통포틀랜드시멘트(OPC), 삼성분계시멘트(TBC), 내황산염시멘트(SRC)를 사용하였으며 콘크리트 배합비는 표1과 같다.

표 1 콘크리트배합설계표

시험번호	물/시멘트비 W/C (%)	굵은골재최대치수 (mm)	슬럼프의 범위 (mm)	공기량의 범위 (%)	잔골재율 s/a (%)	단 위 량 (kg/m <sup>3</sup> )					
						물 W	시멘트 C	잔골재 S	굵은골재 G	혼화제	
										고성능AE감수제, AE감수제 (kg)	AE제 (g)
TBC-41.5	41.9	25	21±3.0	5±1.5	44.9	160	382.0	761.0	933.0	4.20	91.68
OPC-41.0	41.0	25	15±3.0	5±1.5	45.0	161	393.0	774.0	975.0	5.895	-
SRC-41.0	41.0	25	15±3.0	5±1.5	45.0	161	393.0	774.0	975.0	5.895	-

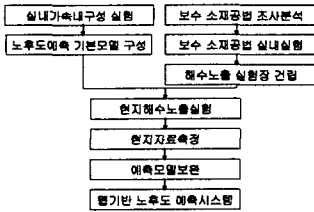


그림 1 시스템 개발 흐름도



그림 2 실험계획 체계

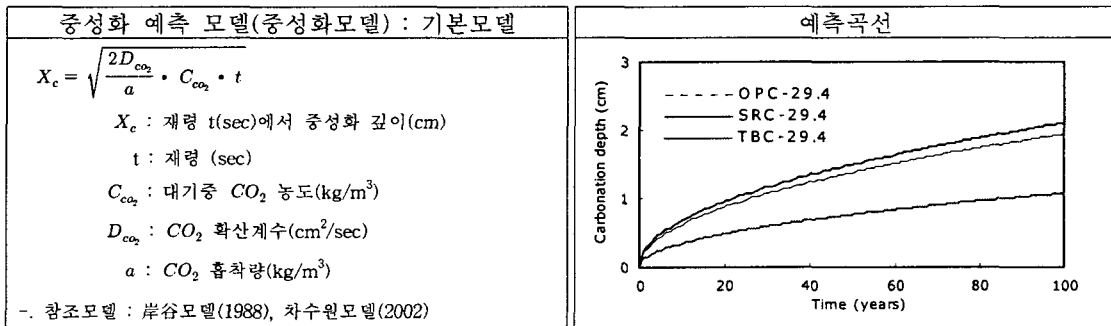
## 3. 기본모델의 구성

해양환경에 노출되는 콘크리트 구조물의 열화에 영향을 주는 인자로서 염해와 동해를 가장 먼저 꼽을 수 있을 것이며, 중성화를 그 다음으로 들 수 있을 것이다. 표2에 요약 정리한 바와 같이 실내실험 결과와 국내외 연구자들의 선행연구 모델을 참고하여 기본모델을 구성하였으며, 사용연한에 따른 노후 진행을 예측곡선에 도시하였다. 표3과 같이 기본모델의 유도기준과 향후 기본모델을 발전시킬 방향, 그리고 활용방안을 수립하였다.

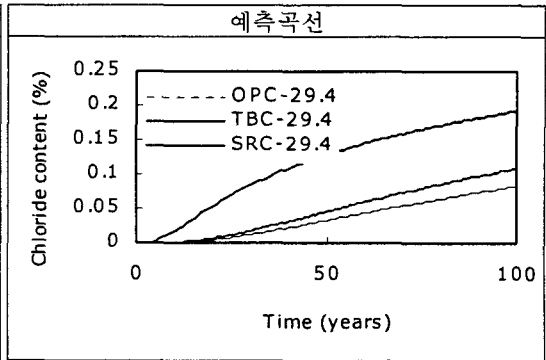
최근 단일열화뿐만 아니라 복합열화 메카니즘의 규명에 대한 연구가 이루어지고 있는데 아직은 논란의 여지를 많이 내포하고 있는 연구분야이다. 특히, 염해와 중성화, 염해와 동해 등 동시에 두 종류의 열화작용을 주는 촉진환경을 구현하는데 어려움이 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 현지구조물은 이보다 훨씬 많은 열화작용을 동시에 받고 있다. 따라서 장래 부각될 수 있는 연구분야일 것이다.

본 연구에서는 실내실험결과와 선임연구자들의 제안모델을 참조하여 표2와 같이 기본모델을 구성하였으며, 표3과 같이 향후모델로 발전시킬 방향을 정하였다.

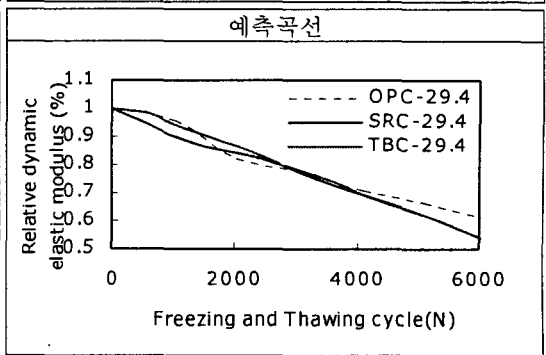
표 2 단일열화 및 복합열화 기본모델 및 예측곡선



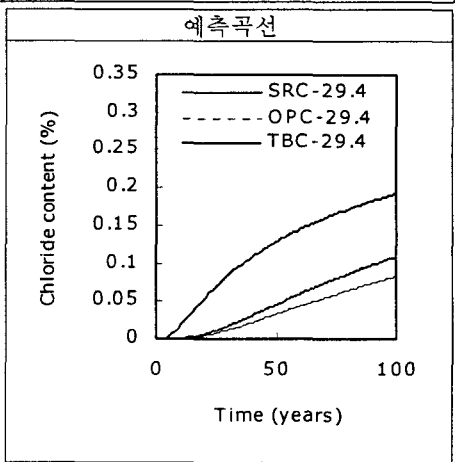
<b>염해 예측 모델(염해모델) : 기본모델</b>
$C(x,t) = C_s \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{D_{cl} \cdot t}} \right) \right\}$ <p> <math>C(x,t)</math> : 재령 <math>t</math>(sec), 깊이 <math>x</math>(cm)에서의 염소이온량(%)  <math>C_s</math> : 표면염화물량(%)  <math>\operatorname{erf}</math> : 가우스오차함수(error function)  <math>D_{cl}</math> : 염소이온확산계수(<math>\text{cm}^2/\text{sec}</math>)  <math>t</math> : 재령(sec)  <math>x</math> : 측정깊이(cm)         </p> <p>- 참조모델 : Fick's second law</p>



<b>동해 예측 모델(동해모델) : 기본모델</b>
$F_n = 10^{\{ (0.14 \ln(c/w) + 0.004)\theta \} + 3.15 \ln(c/w) + 1.43}$ <p> <math>F_n</math> : 상대동탄성계수 60%일때의 사이클수(N)  <math>\theta</math> : 년 평균 동결 온도(<math>^{\circ}\text{C}</math>)  <math>c/w</math> : 시멘트 물비(%)         </p> <p>· 지역별 기상청 자료 분석으로 년간 동결융해 사이클수 산정</p> <p>- 참조모델 : 山下모델(1992), 고정택모델(2001)</p>



<b>염해와 중성화 예측 모델(염해중성화모델) : 기본모델</b>
$C_{cl,cb}(x,t) = C_s \sum_{n=0}^{\infty} \alpha^n \left[ \operatorname{erfc} \left( \frac{x}{2\sqrt{D_{cl,cb} \cdot t}} \right) - \alpha \cdot \operatorname{erfc} \left( \frac{(2n+2)X_c - x}{2\sqrt{D_{cl,cb} \cdot t}} \right) \right]$ $C_{cl,web}(x,t) = \frac{2k}{k+1} C_s R \sum_{n=0}^{\infty} \alpha^n \operatorname{erfc} \left( \frac{(2n+1)x + k(x - X_c)}{2\sqrt{D_{cl,cb} \cdot t}} \right)$ <p> <math>C_{cl,cb}, C_{cl,web}</math> : 중성화, 비중성화된 콘크리트의 염화물량(%)  <math>X_c</math> : 중성화 깊이(cm)                      <math>x</math> : 측정깊이(cm)  <math>C_s</math> : 표면염소이온량(%)                      <math>\operatorname{erfc}</math> : 오차여함수  <math>\alpha</math> : <math>(1-k)/(1+k)</math>                              <math>k</math> : <math>\sqrt{D_{cl,cb}/D_{cl,web}}</math>  <math>D_{cl,cb}, D_{cl,web}</math> : 중성화, 비중성화된 콘크리트의 염화물 확산계수(<math>\text{cm}^2/\text{sec}</math>)  <math>R</math> : 농축정도계수         </p> <p>- 참조모델 : Andrade(1997), 오병환모델(2003)</p>



<b>염해와 동해 예측 모델(염해동해모델) : 기본모델</b>
$C(x,t) = \phi \times C_s \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{D_{cl} \cdot t}} \right) \right\}$ <p> <math>C(x,t)</math> : 재령 <math>t</math>(sec), 깊이 <math>x</math>(cm)에서의 염화물량(%)  <math>\phi</math> : 동해에 따른 염화물량 증가계수  <math>C_s</math> : 표면염소이온량(0.346%)  <math>\operatorname{erf}</math> : 가우스오차함수(error function)  <math>D_{cl}</math> : 염소이온확산계수(<math>\text{cm}^2/\text{sec}</math>)  <math>t</math> : 재령(sec),                      <math>x</math> : 측정깊이(cm)         </p> <p>- 참조모델 : 岸谷모델</p>

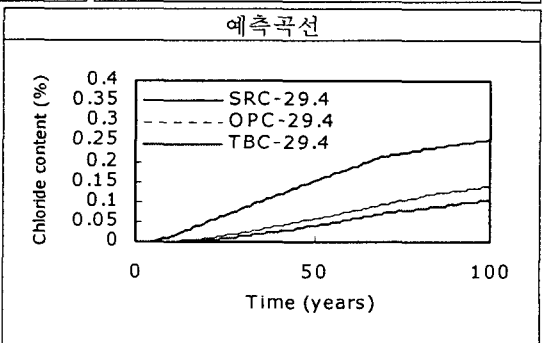


표 3 모델의 개선 및 활용방안

모델명	기본모델	향후모델	활용방안
중성화모델	- 실내실험에 의한 확산계수 유도	- 장기폭로실험에 의한 확산계수 수정	- 대상구조물의 중성화 깊이 추정
염해모델	- 실내실험에 의한 확산계수 유도 -山下모델 표면염화물량 적용	- 장기폭로실험에 의한 확산계수 수정 - 실측 표면염화물량 적용	- 대상구조물의 염분침투깊이, 염분 함량 예측
동해모델	- 문헌자료에 따른 기본모델 구성 - 연간 지역별 동결융해사이클 수를 고려하여 수명예측	- 장기폭로 실험에 의한 모델수정 - 실측기상자료 분석	- 대상구조물의 동해로 인한 열화 정도 예측
염해중성화 모델	- 실내실험에 의한 $D_{cl,cb}, D_{cl,tcb}$ 유도 - 실내실험에 의한 농축정도계수 산정	- 장기폭로실험에 의한 $D_{cl,cb}, D_{cl,tcb}$ 수정 - 실측 표면염화물량으로 수정 - 실측농축정도계수로 수정	- 대상구조물의 복합열화(염해와 중성화)에 의한 노후정도 예측
염해동해모델	- 동해로 인한 염해의 가속화도를 실내실험에서 산정하여 계수( $\phi$ )화	- 장기폭로 실험에 의한 실측가속도 계수로 수정	- 대상구조물의 복합열화(염해와 동해)에 의한 노후정도 예측

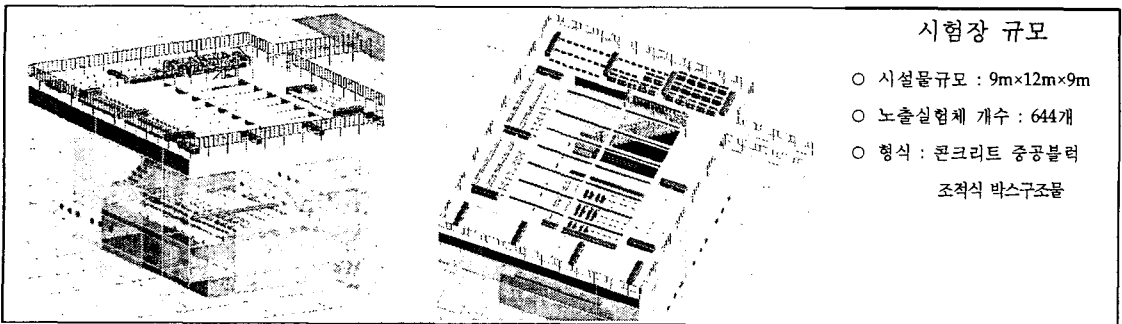


그림 3 현지해수노출 시험장 입체도

그림 3과 같이 콘크리트 중공블럭 조적식 박스구조물을 외해에 설치하여 실험체들을 안전하게 다년간 보존하여 분석할 수 있도록 설계하였으며, 간판대와 비말대를 가지고 있어 열화작용이 심한 부분에 대한 집중분석이 가능할 것이다.

#### 4. 결론

해양환경에 놓인 콘크리트구조물의 최적유지관리를 위해 단일열화모드 및 복합열화모드의 열화메카니즘을 구명하고 노후도 예측기본모델을 구성하였다. 구조물과 동일한 현지에 실험체를 노출시킴으로서 구조물과 동일한 환경하에서 자연열화작용을 받도록 계획하고, 향후 다년간 획득한 자료를 통해 기본모델을 갱신할 수 있도록 하였다. 또한 해양환경 콘크리트 구조물에 적합한 보수소재·공법을 해수노출 실험체에 시험도포하여 노출시킴으로서 해양콘크리트 구조물의 보수방안을 마련할 수 있도록 하였다.

#### 참고문헌

1. Andrade C., "Mathematical Modeling og a Concrete Surface Skin Effect on Diffusion on Chloride Containated Media" Advanced Cement Based Materials, Vol6, 1997, pp. 39~44
2. 이창수, 윤인석, "대기환경변화를 고려한 콘크리트 구조물의 중성화 예측," KCI 제15권, 제4호, 2003.
3. 차수원, "콘크리트의 수화도 및 단일온도상승량 예측모델 개발", KCI Vol.14, No.1, 2002