

港灣 構造物의 비파괴시험에 의한 안정성검토

The Evaluation of Durability by NDT test of Marine-Concrete Structures

조 병 완* 이 일 근** 강 희 풍***

Jo, Byung-wan Lee, Il-keun Kang, Hee-pung

ABSTRACT

Establishment of a diagnosing technology for the deterioration of reinforced concrete structures due to salt contamination is urgent, but few analytical methods based on measured data obtained from concrete structures have been presented so far. Chloride penetration into concrete from sea water is generally understood and analysed as diffusion of chloride ion.

This paper presents a new method of predicting chloride penetration into concrete based on diffusion theory.

Also, it determines the durability of Marine structure in service with the prediction of remaining lifetime by the carbonation test.

1. 序 論

鐵筋 콘크리트 構造物의 鹽害에 의한 鐵筋腐植은 社會的인問題가 되고 있으며, 그 構造物의 耐久性은 疑問시되고 있다. 특히, 海洋環境下에 있는 構造物에 대해선, 鹽分의 浸透機構나 그에 따른 鐵筋의 腐植機構와 콘크리트의 중성화에 의한 열화를 理解한다는 것은 대단히 重要하다.

鹽分의 浸透機構는 一般的으로 Fick' 2nd law를 解釋하므로서 料明될수있다. 그러나, 실제로 지금껏 콘크리트의 時間에 따른 表面鹽分量 變化에 대한 考慮가 없었기때문에 많은 境界條件들을 使用하여왔다.

이 論文에선, 海洋環境下의 埠頭에서 採取한 試篇의 鹽分量을 測定하여 Fick' 2nd law에 適用, 公營중의 構造物의 깊이별 鹽分量을 구하고, 鐵筋이 묻혀있는 位置에서의 材令別鹽分量을 구하였다.

또한, 중성화시험에 의한 잔존수명의 예측으로 항만구조물의 안정성을 검토해본다.

2. 鹽分浸透解析技法

1) 鹽分浸透機構

鹽分의 浸透는 콘크리트속으로의 물의 浸透나 化學的인反應이나 鹽分의 吸收로 인한 鹽分擴散과 같은 多樣한 因子를 포함한 複雜한 現狀이다. 그러나, 콘크리트 構造物에서 얻어진 데이터를 Fick의 第2法則에 의해 近似化하거나 表面境界條件을 一定하게 놓고 近似化시키는것도 可能하다. 이런면에서, 鹽分의 浸透는 擴散現狀이나 規定지을수 있을 것이다. 게다가 Concrete構造物의 材令에 따라 境界條件이 달라지기때문에 表面鹽分量은 材令年度의 函數로 表現이 可能하며, 比例常數는 海洋環境條件에 따라 區分지을수 있다.

Fick's 2nd law는 다음식과 같다.

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{D \partial^2 c}{\partial x^2} \quad (1)$$

여기서,

c : 콘크리트 重量에 대한 鹽分量 (wt'%)

t : 材令(sec)

x : 콘크리트 表面으로부터의 距離(cm)

D : 鹽分擴散 係數 (cm² /s)

* 정회원, 한양대학교 토목공학과 교수

** 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정

*** 감사원 기술국 4과

이 때, 다음 條件을 식(1)에 適用하면,

初期條件 $C(x,0)=0$

境界條件 $C(0,t)=C_0$ (constant)

擴散係數 D 는 一定

境界條件에 따라 풀어 보면, 다음식을 얻을 수 있다.

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

여기서, C_0 : 表面 鹽分量 (wt%)

erf : Error function

D : 0.98×10^{-7} (cm²/sec)

그러나, 材齡이 길면 길수록 表面鹽分量 C_0 의 값은 더 크게 되는 傾向이 있으므로 C_0 는 材齡 期間(t)의 平方根에 比例할 것이다. 따라서,

$$C_0 = C(0,t) = s\sqrt{t} \quad (3)$$

여기서, S : 表面鹽分係數

이 된다. 여기에 擴散式을 適用하면 다음과 같이 된다.

콘크리트 構造物로 부터 얻어진 鹽分量값은 식(2)를 통해 近似化될 수 있다. 表面鹽分量은 식(3)에서 같이 時間에 따라 變하기때문에 다음 條件들이 식(1)에 適用된다.

初期條件 : $C(x,0)=0$

境界條件 : $C(0,t)=S\sqrt{t}$

위 條件에 식(1)을 풀면 다음과 같은 式을 얻을 수 있다.

$$C(x,t) = s\sqrt{t} \left\{ \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right) - \frac{x\sqrt{\pi}}{2\sqrt{Dt}} \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right\} \quad (4)$$

erfc : Complemently Error Function

式(4)를 使用하여, 測定된 Data에 대해 D 를 구한 뒤, 可用性鹽分量-距離와의 關係를 구하면, Figure.2와 같다.

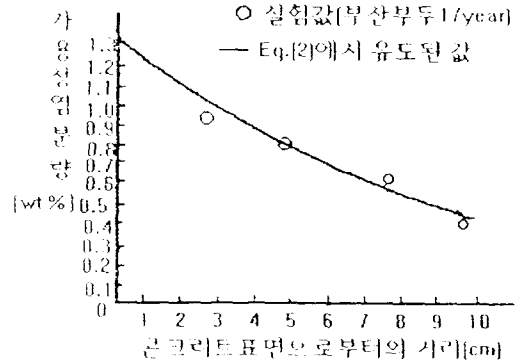


그림 1 : Eq(2)를 使用하여 얻어진 염분량

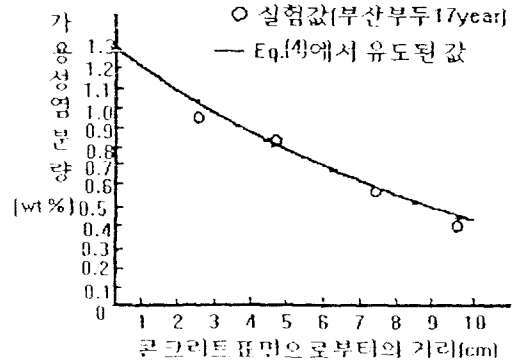


그림 2 : Eq(4)로 얻어진 염분값 Graph

結果를 통해 볼 때, 式(4)를 使用하여 얻은 擴散係數(D)가 式(2)를 使用하여 구한 (D)보다 크게 나타나며, 表面鹽分量이 고려되는 한 式(4)를 使用하는 것이 더욱 安全하다.

또한, 위 式(4)를 使用하면 鐵筋이 묻혀있는 지점에서의 鹽分量을 材齡별로 推定해 볼 수 있을 것으로 생각된다.

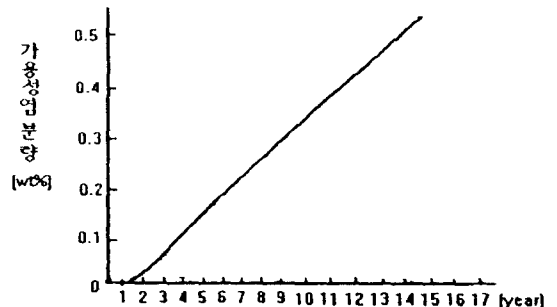


그림 3 : 철근이 묻힌위치(7.5cm)의 재령별 염분량

위 그래프에서의 결과는 海洋環境條件이나 콘크리트 自體의 特性등에 따라 多樣하게 나타날 것으로 생각되지만, 鹽分量推定이 어려운 現時點에서 多少의 差가 있을 것으로 생각한다. 또한, 鐵筋이 露出된 位置에서의 鹽分量을 통해 鹽害에 鐵筋腐蝕程度를 測定하므로써 硬化한 콘크리트에서의 構造物 舉動을 解析하는데 資料로 使用할 수 있을 것으로 思料된다.

3. 中性化 試驗에 의한 殘存壽命 豫測

콘크리트의 中性化 깊이, 鐵筋의 腐蝕狀況 및 被服厚의 實際調査結果를 根據로 信賴性공학의 개념을 도입하여 規定的 和泉의 方法에 따른다. 수명의 推定은 실제 尙未구조물(부산 부두)에 적용하였으며, 그 절차는 다음과 같다.

1) 측정결과를 바탕으로해서 다음의 정수를 선정한다.

중성화깊이(mm)	철근의 피복두께(mm)
57 43 66 47 46	70 72 56 66 57
67 54 57 58 57	53 64 63 62 62
62 63 47 49 46	57 55 64 63 64
60 56 54 56 54	46 54 64 64 61

- ▷ 콘크리트 中性化 깊이의 평균치(Ct_1)=55mm
- ▷ 콘크리트 中性化 깊이의 변동계수(v)=0.12
- ▷ 철근의 피복두께의 평균치(D)=61mm
- ▷ 철근의 피복두께의 표준편차(δ)=4mm
- ▷ 조사시의 경과년수(t_1)=17year

2) 조사시점에서의 철근의 부식확률($P_0=25\%$)는 구조물의 중요도, 일상의 안전도등을 고려하여 설정하는데 다음표를 통해 결정하였다.

<철근의 부식확률과 성능저하증상의 발생상황>

철근의 부식확률	성능저하의 발생상황
$P_0 < 0.5\%$	성능저하의 증상이 없다.
$0.5\% \leq P_0 \leq 3\%$	소수의 녹물, 미세한 균열이 있다.
$3\% \leq P_0 \leq 15\%$	도처에 녹물, 균열이 있다.
$15\% \leq P_0 \leq 50\%$	도처에 박락, 철근노출이 보인다.
$50 \leq P_0$	반 이상의 면에 박락, 철근노출이 보인다.

3) 중성화 속도계수 A 는 다음식으로 구할수있다.

$$A = C\sqrt{t_1}$$

4) 철근의 부식확률 P_t 와 경과년수 t 의 관계식 $P_t=f(t)$ 를 구한다.

$$P_t = \int_{-\infty}^0 f(D-C_t) d(D-C_t)$$

여기에서,

$$f(D-C_t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi(A^2 t^2 + \sigma^2)}} \times \exp\left[-\frac{[(D-C_t)-(D-A\sqrt{t})]^2}{2(A^2 t^2 + \sigma^2)}\right]$$

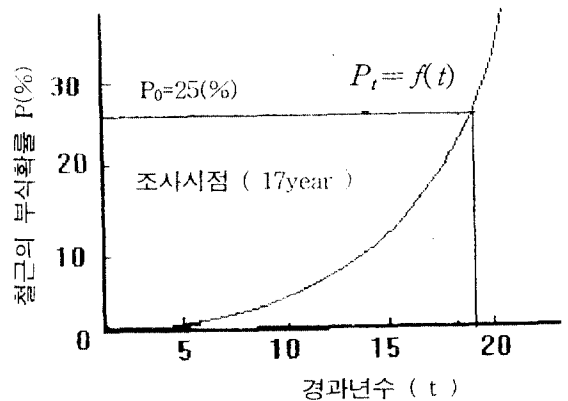


그림 4 : $P_t=f(t)$ 와 수명추정

5) 위 그래프에서 수명년수 t_2 (19년)를 구한뒤 잔존수명을 구할 수 있다.

$$\text{잔존연수} = t_2 - t_1 = 19 - 17 = 2\text{year}$$

위 결과를 통해 볼때, 부산부두는 中性化에 대한 대책을 豫め방지와 함께 구려해야한다는 것을 알 수 있다.

4. 結 論

1) 우리나라 海洋構造物은 全般的으로 鹽害에 露出되어 있으며, 鹽分은 鐵筋의 腐蝕에 直接的으로 影響을 주고있을 것으로 생각된다. 따라서, 이에대한 防止對策과 아울러 鹽害에 대한 더욱 信憑性 있는 研究가 있어야 할것이다.

2) 時間에 따른 變化를 考慮하기위한 表面鹽分量 係數의 導入은 實驗値에 더욱 近接하였으므로, 앞으로의 鹽分量을 推定할수 있는 根據 資料로 有用할것으로 생각한다.

3) 鐵筋이 묻힌 지점에서의 鹽分量 推定은 公營 構造物의 耐久性 判定뿐 아니라, 補修補強에도 커다란 役割을 할수있을 것이다.

4) 鹽分量 推定을 통해 鹽害을 입은 鐵筋콘크리트를 構造的으로 解析할수있을 것으로 생각된다.

5) 중성화시험에 의한 잔존수명예측으로 構造物의 安定性을 어느정도 推定할수있었다.

6) 鹽害에 의해 중성화가 더욱 加速化 되었을 것으로 생각된다.

參 考 文 獻

1. Chloride Corrosion in Danish Road-Bridge Columns, Carsten F. Heinksen and E. Stoltzner
2. On the mechanism of steel corrosion in concrete: the role of oxygen diffusion, J. A. Gonzalez, A. Molina, E. Otero and W. Lopez
3. Mechanical Behaviour of Beams Damaged by Corrosion of Reinforcement, Yoshihiro Tachibana, Ken-Ichi Maeda, Yasuo Kajikawa, and Mitsunori Kawamura
4. Formulation of an Equation for Surface Chloride Content of Concrete due to Permeation of Chloride, Kimitaka UJI, Yasunori Matsuoka, and Tsuyoshi Maruya
5. 和泉意登志, “耐久性診斷事例-中性化-”