

콘크리트 構造物의 鹽害

崔 相 紘

〈漢陽大學校教授·工博〉

1. 머리 말

콘크리트 構造物은 耐久性 構造物로서 많은 시설에 쓰이고 있다.

그러나 바닷가의 콘크리트 構造物에서 鹽分이 浸透하여 內部的 鐵筋을 腐蝕하여 콘크리트를 劣化시키는 경우가 있다. 鹽分의 영향은 또 海砂의 사용에서도 올 수 있다.

콘크리트는 強알칼리性으로 鋼材表面에 不動態膜이 형성되어 腐蝕이 잘 안되나 鹽素 이온이 含有되면 이 鋼材表面의 不動態膜이 局部的으로 파괴되고 局部電池가 생겨 腐蝕現象이 일어나며 鋼材의 腐蝕은 콘크리트의 균열을 일으켜 構造物의 耐久性에 영향을 미친다.

콘크리트에 鹽素 이온이 含有되는 原因으로는 다음과 같은 네 경우를 들 수 있다.

- ① 海岸 근처에 建造된 構造物에 海鹽粒子가 날아와 콘크리트 表面에 부착하여 시간이 흐름에 따라 콘크리트 內部로 침투하는 경우
- ② 鹽分을 除去하지 않은 海砂를 細骨材로 사용한 경우
- ③ 早期의 強度 발현을 위하여 사용한 混和劑 中에 多量의 鹽化物이 含有되는 경우
- ④ 冬期の 路面 凍結防止를 위하여 撒布한 凍結防止劑의 鹽分이 內部로 침투하는 경우

筆者는 1983년 日本 시멘트 콘크리트 研究會 主催의 研究討論會에 참가하여 沖繩에서의

鹽害 실태를 시찰할 기회를 가졌었다.

최근 日本에서는 콘크리트의 鹽害問題에 대하여 全國的인 實態調査를 실시, 關係研究機關에서 研究 分析하고 있다. 日本에서의 被害事例는 주로 한창 建設붐이 최고에 달했을 때 건설한 콘크리트 構造物 중 특히 關西地域과 海岸地域, 島嶼地域(특히 沖繩)에서 많이 발견되고 있다 (<그림 1>).

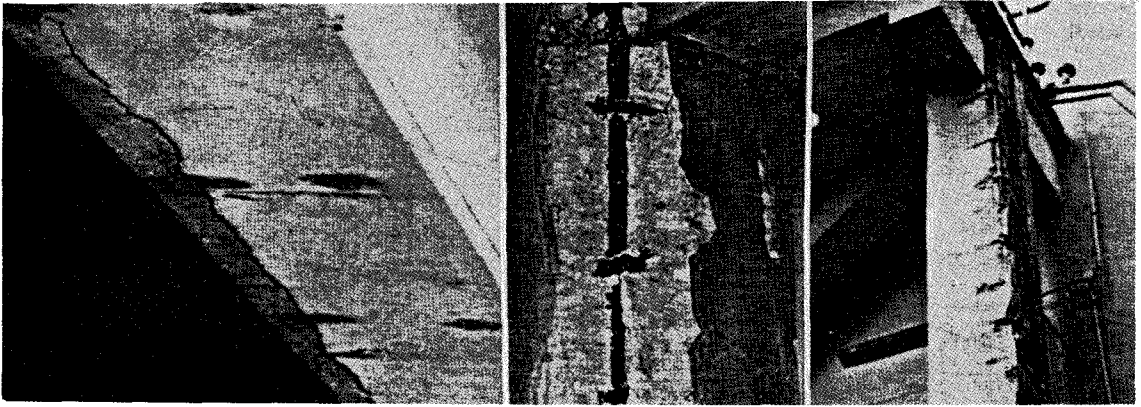
이는 급격한 콘크리트 打設量의 증가로 河川 骨材가 부족, 碎石이나 海砂 등이 사용되자 이중 反應性 骨材와 鹽分을 除去치 않은 海砂의 사용 및 海鹽에 의한 鹽害 등에 의하여 일어난 것으로 보고 있다(反應性 骨材에 대하여는 시멘트誌 98輯 參照)

우리나라에서도 海砂 사용에 대하여 檢討하고 報告된 바 있다.^{1,2)}

本稿에서는 콘크리트 중의 鋼材에 미치는 鹽分의 영향을 간단히 설명하고 海鹽粒子에 의한 콘크리트에의 鹽分侵入과 海砂 사용에 의한 鹽分의 영향 및 이로 인한 콘크리트의 劣化에 대하여 日本에서의 事例와 함께 소개하고자 한다.

2. 콘크리트 중 鋼材의 腐蝕에 미치는 鹽分의 영향

콘크리트는 強알칼리性(pH가 12 이상)으로 콘크리트 속의 鋼은 쉽게 녹슬지 않는다. 즉 強알칼리性의 환경에서는 鋼의 表面에 不動態膜이

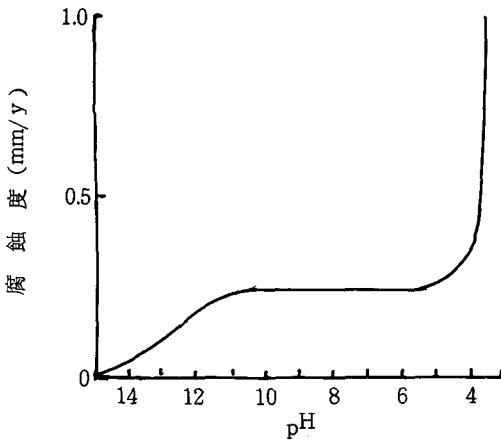


(a) 沖繩寫那橋

(b) 沖繩國民學校

(c) 海岸에서 60 m 떨어진 建物

〈그림-1〉 콘크리트의 균열 事例



〈그림-2〉 pH와 鐵의 腐蝕³⁾

생겨 腐蝕反應을 억제한다. 〈그림-2〉는 鋼의 腐蝕과 pH의 關係를 보인 것이다.³⁾ pH가 10 이상에서는 腐蝕이 적어지며 12~13에서는 아주 적어지고 있다.

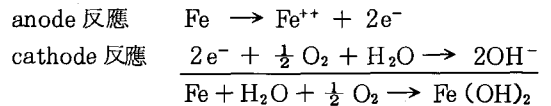
그러나 콘크리트 중의 鋼도 콘크리트가 中性化하거나 Cl^- 이온의 존재하에서는 腐蝕 가능한 상태로 된다.

콘크리트의 中性化는 大氣 중의 CO_2 와 콘크리트 중의 $Ca(OH)_2$ 의 反應 등에 의하여 일어나며 不動態化가 되지 못하게 한다. 알칼리性 환경에 있는 鋼材表面은 電氣化學的으로 noble (貴)한 상태 (cathode)가 되며 中性 환경에 있는 鋼材表面은 base (卑)한 상태 (anode)가 되

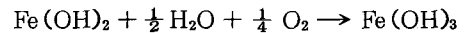
어 그 결과 anode에서 鐵分이 溶出하여 OH^- 이온과 結合하여 $Fe(OH)_2$ 를 생성하고 $Fe_2O_3 \cdot H_2O$ 로 되어 녹이 슬게 된다.

不動態膜은 Cl^- 이온에 약하다. 콘크리트 중에 Cl^- 이온 濃度가 크면 不動態膜은 파괴된다. $Ca(OH)_2$ 飽和溶液 중의 鐵筋의 自然電極電位를 測定한 결과에 의하면 NaCl을 함유하지 않은 경우 noble한 상태로, NaCl을 함유한 경우 base한 상태로 되었다.⁴⁾

콘크리트 중에 침투한 Cl^- 이온(擴散係數는 $3 \sim 4 \times 10^{-8} cm^2 s^{-1}$ 정도)^{5,6)}의 일부는 시멘트 鑛物에 의하여 固定되기도 한다. 특히 칼슘알루미늄에이트에 의하여 Friedel氏鹽으로 固定되나 黃酸鹽이 存在할 경우 반드시 固定化되지는 않는다. Cl^- 이온이 상당량 존재할 경우 鋼表面의 不動態膜은 局部的으로 파괴되어 不動態 부분과 파괴된 부분 사이에 cathode와 anode를 형성하여 腐蝕現象이 일어난다.



이것은 다시



鐵筋이 腐蝕하면 이에 따르는 膨脹에 의하여 콘크리트에 균열이 생기며 결과적으로 鐵筋腐蝕은 더욱 擴大되고 콘크리트는 劣化한다. 따라

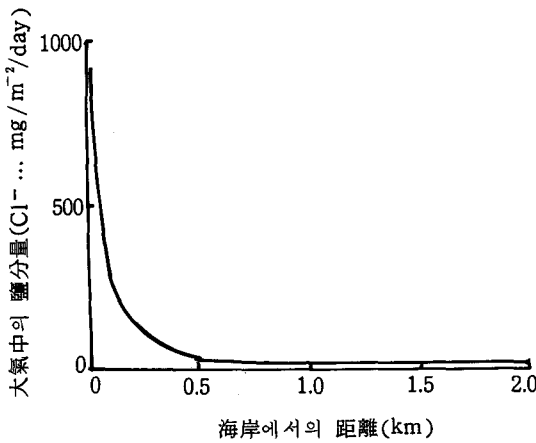
서 여러나라에서 細骨材에 대하여 許容 鹽分量을 규정하고 있다.

3. 海鹽粒子에 의한 鹽分侵入과 鐵筋의 腐蝕

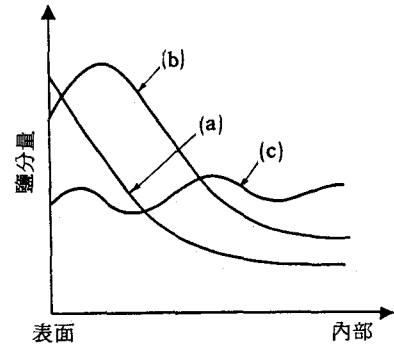
海邊 주변의 鐵筋 콘크리트 構造物에서는 파도에서 날아드는 海鹽粒子和 바다 바람이 날아오는 海鹽粒子가 콘크리트 表面에 부착하여 콘크리트에 侵入하고 鐵筋을 부식시켜 콘크리트 構造物의 劣化現象을 보이는 경우가 있다. 바다 바람을 타고 날아오는 海鹽粒子는 도중에 蒸發

이나 分裂 등으로 변형하여 海上에서 3~18 μm 이던 것이 0.03~0.6 μm 로 된다. 바다 바람 중의 海鹽粒子는 海岸 근처가 많으며 콘크리트 構造物에 대한 鹽害現象도 보통 이 地域에서 일어나고 있다. 海岸에서의 거리와 大氣 중 鹽分量과의 일반적 관계는 대략 <그림-3>과 같다.⁷⁾ 그러나 地形이나 차폐물 등에 따라 또는 颱風이나 季節風 등에 따라 달라진다.

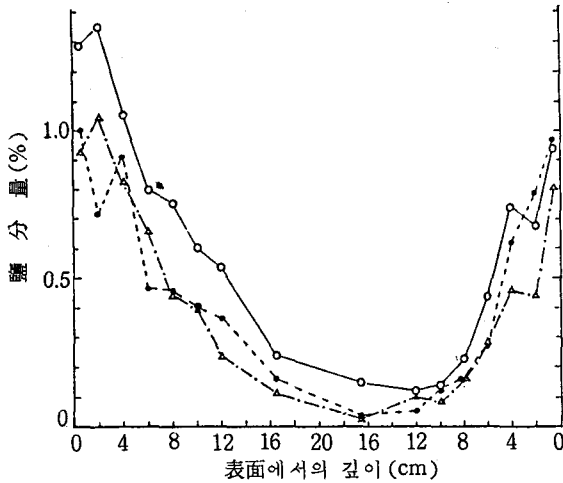
콘크리트 表面에 부착한 海鹽粒子는 서서히 内部로 浸透하는데 콘크리트 중의 鹽分分布 傾向은 <그림-4>와 같이 콘크리트 表面 가까이 에 집중하고 있으며 (<그림-4>의 (a)), 경우에 따라서는 아주 表面 가까이 가 좀 적은 경우도 있고 (<그림-4>의 (b)), 아주 不規則한 경우 (<그림-4>의 (c))도 있다.⁸⁾ 鹽分量의 分布나 侵入 깊이는 表面層의 鹽分量, 環境條件, 콘크리트 材



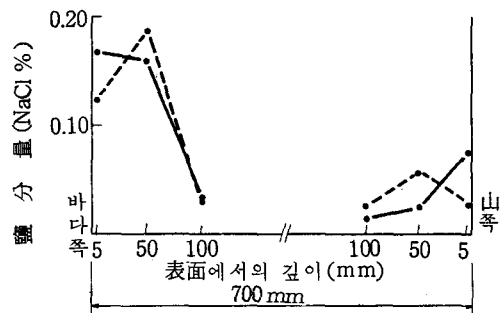
<그림-3> 海岸에서의 거리와 鹽分量과의 관계⁷⁾



<그림-4> 콘크리트 중의 鹽分分布⁸⁾

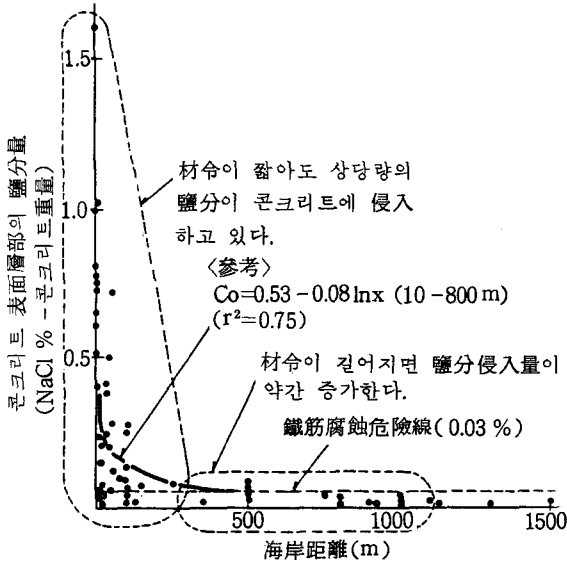


(A) 鹽屋大橋 (沖繩)⁸⁾

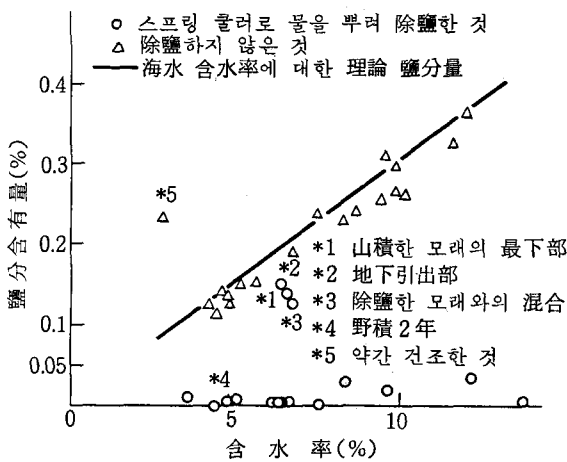


(B) 山生橋 (千葉縣)⁸⁾

<그림-5> 콘크리트 構造物 중 鹽分分布 例 (日本)



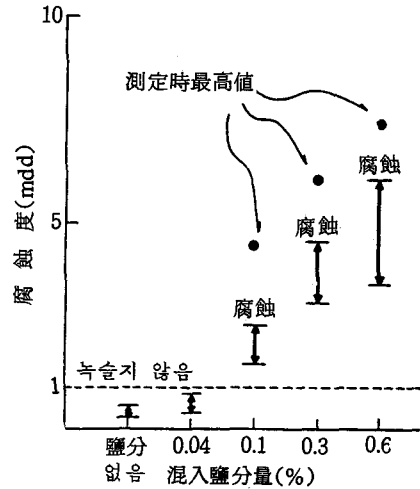
〈그림-6〉 海岸에서의 거리와 콘크리트 表面層部の 鹽分量⁷⁾



〈그림-7〉 海砂의 含水率과 鹽分 含有量¹⁰⁾

습 등에 따라 다르나 그 몇 例^{8,9)}를 들면 〈그림-5〉와 같다.

鐵筋腐蝕을 일으키는 危險 수준의 鹽分量은 0.03~0.035% (NaCl % · 콘크리트 重量) 라고 볼 때 콘크리트의 表面層部の 鹽分量이 이 값보다 큰 地域은 대체적으로 海岸에서 200~250m 정도까지이며(〈그림-6〉) 島嶼地域과 같은 일부 地域은 비교적 섬 内部까지 鹽害現象을 보이기도 한다(例: 沖繩地域 등).



〈그림-8〉 分極抵抗値로부터 구한 腐蝕度¹¹⁾ (14日間 試驗)

4. 海砂使用의 영향

콘크리트用 骨材로 쓰이던 河川 모래의 枯渴에 따라 日本에서는 십여年前부터 海砂를 사용하였다(1982년 統計에 의하면 海砂 供給量은 40%에 이르고 있다).

간 骨材로서의 海砂는 그가 갖고 있는 鹽分이 콘크리트의 劣化에 영향을 미친다. 〈그림-7〉은 海砂에 含有된 鹽分量을 보인 것으로¹⁰⁾ 鹽分含量은 採取時에 海砂에 묻어 있는 海水量에 비례하여 海砂에 충분히 물을 뿌려 씻어서 除鹽하면 비교적 좋은 결과를 보이고 있다.

除鹽은 가능하면 0.04% 이하로 하는 것을 바라고 있으며 日本에서는 海砂使用 基準(鹽分 許容值)를 정하여 관리하고 있다.

〈表-1〉은 普通콘크리트에 있어서 鹽分の 移動이나 中性化에 의한 영향을 받지 않았을 경우 물·시멘트比와 混入鹽分量에 따른 腐蝕狀況을 보인 것으로¹¹⁾ 混入鹽分量이 0.1%를 넘고 물·시멘트比가 60% 이상인 경우 腐蝕이 심함을 보이고 있다. 〈그림-8〉은 混入鹽分量 증가에 따른 鐵筋의 腐蝕度(mg/dm²/day, mdd로 略)를 보인 것이다.¹¹⁾

콘크리트의 물·시멘트比와 鹽分混入量에
따른 내부의 鐵筋腐蝕 狀況¹¹⁾

<表-1>

콘크리트의 混入 鹽分量 (NaCl%·砂)	w/c	보통콘크리트의通氣性的尺度： 콘크리트의 물·시멘트比(%)				
		40	50	60	65	70
0		녹슬지 않음	G型	G型	G型	G型
0.01		G型	G型	G型	G型	G型
0.04		G型	G型	G型	G型	G型
0.1		G型	G型	D型	D型	D型
0.2		G型	G型	D型	D型	D型
0.3		G型	G型	D型	D型	D型

註 G型 : anode-cathode 比가 1/10을 넘을 경우
아주 적은 腐蝕

D型 : anode-cathode 比가 1/10을 넘지 않을
경우 不均一 凸凹狀 腐蝕
검은색, 黃色, 赤茶色 複合 녹 형성

腐蝕의 指標로서 1년간 腐蝕에 의한 鐵筋直
徑의 감소를 보는 侵蝕度(mm/year)를 腐蝕度
로부터 換算하면 鐵筋이 均일하게 腐蝕한다고
가정할 경우 2mdd에서 0.01mm/y, 8mdd에
서 0.04mm/y 이나 鹽分存在時 2mdd에서 0.08
mm/y, 8mdd에서 0.14mm/y가 된다.

5. 鹽害對策

海砂의 사용, 海鹽粒子的 侵入 등에 의한 콘
크리트의 鹽害는 단시간에 일어나지는 않는다.
오랜 시간이 경과하면서 점차 녹이 슬고 콘크
리트가 劣化한다. 그러나 어쨌든 鹽分이 없는
경우에 비하면 鐵筋腐蝕의 확률이 크다 하겠다.
따라서 이에 대한 대책을 강구하지 않을 수 없
다.

海鹽粒子的 侵入에 대처하기 위하여는 물·시
멘트比를 적게 하고 치밀하게 하여 鹽分浸透를
막으며 콘크리트의 두께를 보통보다 두껍게 하
고 콘크리트 자체의 鹽分에 대한 抵抗성을 높
이고 한편 腐蝕抑制劑의 사용, 防蝕鐵筋의 사용
과 콘크리트 表面에 防蝕塗裝 또는 타일 등에
의한 마무리로서 鹽分의 侵入을 막을 수도 있다.

海砂 사용의 경우 許容鹽分量은 設計條件,

設計耐用年數 등에 따라 다를 것이므로 일률적
으로 정하기는 힘드나 어쨌든 鹽分除去가 우
선하여야 할 것이다. 장기간 野積하여 降雨에
의한 鹽分의 제거도 시도할 수 있으나 表面上
層部에서는 어느 정도 除鹽이 가능하더라도 內
部 下層部에서는 除鹽이 잘 되지 않는다. 撒水
施設을 갖추어 물을 충분히 뿌려 水洗하는 한
편 밑에서 물이 잘 빠지도록 排水處理도 고려
하여야 한다. 또 海砂와 鹽分이 없는 河川 모
래나 山砂 등과의 混合使用으로 상대적으로 鹽
分量을 줄일 수도 있으나 근본적인 해결책은
아니다.

6. 맺음말

鹽害에 의하여 劣化하기 시작한 콘크리트 構
造物은 補修에 의하여 처음 상태로 회복하기는
힘들다. 콘크리트 중에 鹽分이 存在하는 한 그
대로 두면 鐵筋의 腐蝕은 진행되며 콘크리트 중
에 들어간 鹽分의 除去는 불가능에 가깝다.

따라서 콘크리트 構造物에 鹽分이 들어가지
않도록 事前 배려가 무엇보다 중요하며 일단 鹽
分이 들어간 경우 鐵筋의 腐蝕速度를 늦추는
方案을 찾아야 할 것이다.

< 參 考 文 獻 >

1. 全賢雨, 土木學會 論文集, 25 (1), 107 (1977)
2. 申鉉默, 土木學會 論文集, 26 (2), 85 (1978)
3. W. Whitman, R. Russell, V. Altieri, Ind. Eng. Chem., 16, 665 (1924)
4. H. A. Berman, J. A. C. I., 72, 150 (1975)
5. 後藤誠史, 常谷正己, 柳田洋明, 近藤連一, 窯業協會誌(日), 87, 126 (1979)
6. 민경소, 최상훈, 요업학회 춘계총회 발표(1986)
7. 樞野紀元, 시멘트·콘크리트(日), No. 469, 22(1986)
8. 具志幸昌, 和仁屋 晴謹 日本 第10회 시멘트·콘크리트(日), No. 471, 7 (1986)
9. 小林明夫, 高田三郎, 시멘트·콘크리트(日), No. 471, 7 (1986)
10. 福土勳, 支澤史紀, 콘크리트工學(日), 16 (9), 9 (1978)
11. 樞野紀元, 시멘트·콘크리트(日), No. 468, 30 (1986) ♣