

海水의 作用을 받는 콘크리트의 일반적 考察

曹 富 鉉

〈東洋시멘트(株) 釜山工場 品質管理室長〉

1. 序

海岸에서의 콘크리트의 劣化원인은 凍害나 塩害로서 콘크리트에 浸透한 塩分에 의한 것이라 할 수 있다.

海水中에는 約 3%의 塩分이 있어 이런정도의 염분농도는 콘크리트의 부식 및 凍害를 촉진시키는데 큰 영향을 미치며 또 콘크리트 中の 鐵筋腐食을 加速시켜 철근부식정도가 최대로 된다. 이와같이 海水의 염분 농도가 콘크리트의 부식 또는 劣化에 가장 위험한 요소가 되므로 품질관리 측면에서 더욱 주의를 기울여야 하며 특히 콘크리트의 被覆이 얇은 경우에는 철근에 직접적으로 영향을 줄수 있으므로 損傷이 크게 나타날 수 있다.

2. 海水에 의한 劣化

(1) 해수의 作用을 받는 콘크리트 구조물의 侵食정도는 그 구조물이 통상 水面下에 있는 部分, 干滿潮 사이에 있는 部分, 간만조보다 위에 있는 부분과는 상당한 차가 있다.

특히 간만조의 영향을 받는 부분은 물리적, 화학적 침식을 집중적으로 받기 때문에 구조물 중에서도 가장 침식을 강하게 받는다.

(2) 化學作用

海水中에는 아래 表 1.2와 같이 각종 塩類가

함유되어 있고, 그 평균치는 海水 1kg당 35gr (35%)이다.

표 1. 海水中에 녹아 있는 塩類의 구성

	g / l	%
NaCl	27.21	77.74
MgCl	3.81	10.89
MgSO ₄	1.66	4.74
CaSO ₄	1.26	3.60
K ₂ SO ₄	0.86	2.46
CaCO ₃	0.12	0.34
MgBr	0.08	0.23
합 계	35	100

표 2. 海水의 化學成分
(염소량 Cl=19%의 해수)

이 온	mg/kg (P. P. M)
Cl ⁻	18,980
SO ₄ ⁻⁻	2,649
H CO ₃ ⁻	140
Br ⁻	65
Na ⁺	10,556
Mg ⁺⁺	1,272
Ca ⁺⁺	400
K ⁺	380
기 타	40
계	34,482

海水比重 約 1.02 (20°C)

이러한 鹽類中 콘크리트에 有害한 것은 硫酸 마그네슘($MgSO_4$) 및 鹽化 마그네슘이다. 특히 마그네슘이 더욱 有害하다. 시멘트 中の 유리석회($Ca(OH)_2$) 또는 알루미늄산 三石灰(C_3A)와 反應해서 시멘트 Bacillus ($C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$)을 形成함으로써 이반응에 동반해서 溶적 팽창에 의한 압력에 따라 콘크리트를 시킨다고 말할 수 있다.

따라서 C_3A 적은 中庸熱 시멘트 또는 耐硫酸鹽 시멘트는 海洋 콘크리트에 適當하다고 할 수 있겠다.

또 鹽化마그네슘($MgCl$)은 칼슘과 化合해서 水容性의 鹽化칼슘을 形成하고 組織을 多孔質하게 된다.

(3) 氣象作用

表層의 콘크리트는 氣象의 變化와 干滿潮에 의해 溫度가 끊임없이 變化하여 이렇게 됨으로 인해 體積變化가 均일치 않기 때문에 部分的으로 큰 引長應력이 發生하여 均열의 原因이 된다. 氣溫이 현저하게 낮은 경우에는 凝縮된 海水의 作用과 동결응해 作用 등이 重複해서 作用한다.

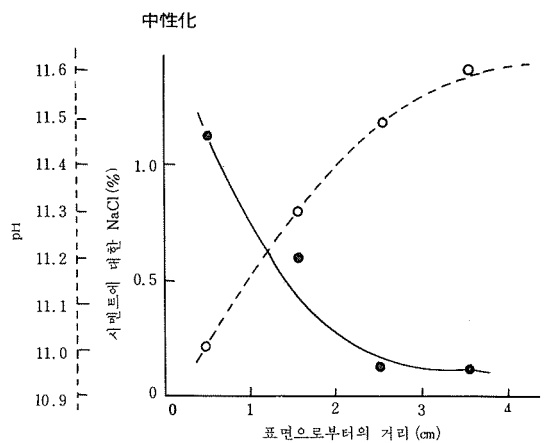
海水의 경우 동결응해 시험결과는 淡水보다 10倍정도 劣化의 進行이 빨라진다고 報告되어 있다(그림 1)

(4) 鐵筋의 腐食

이런 종류의 콘크리트에서는 海水 또는 바다

의 바람에 의해 鹽分의 축적이 쉽게되고 水酸化칼슘의 溶出에 의해 알칼리性의 상실되는 경향이 있는등 콘크리트중의 철근부식을 촉진시키는 조건이 있다. 또한 과도한 均열이 發生하면, 均열을 통해서 海水와 海풍이 침투해서 철근은 급속하게 부식이 시작된다.

그림 2. 4년간 露暴시킨 Mortar의 鹽分浸透와 中性化



(5) 波浪과 표류 固形物 등의 作用

上記 作用에 의해 劣化한 콘크리트는 波浪 과 표류 固形物의 충격으로 더욱크게 劣化된다. 健全한 콘크리트에서도 漂砂등에 의한 지속적인 마모작용을 받아서 현저하게 소모된다.

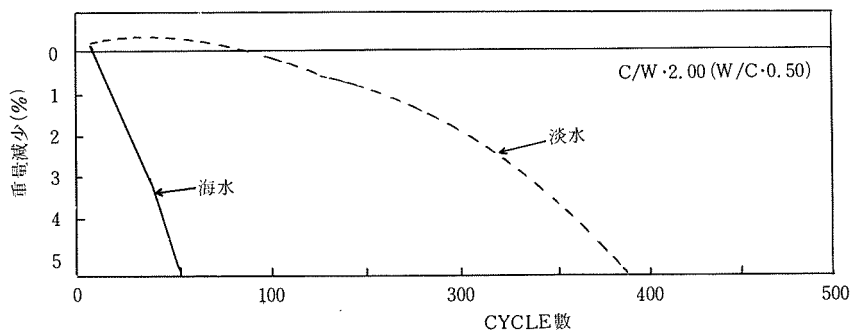


그림 1. 海水와 淡水下에서의 콘크리트의 凍結融解試驗

3. 海水의 作用을 받는 콘크리트의 시공

해양 콘크리트는 험한 환경에 노출되어 있기 때문에 海水 作用에 내구적인 재료를 쓰고, 강도 또는 수밀성이 큰 콘크리트를 염두에 두어서 공하는 것이 중요하다.

콘크리트의 품질 등급은 “고급”으로 하는 것으로 토목시방서에 규정되어 있다.

(1) 材 料

1) 시멘트

일반적으로 보통 포틀랜드 시멘트 또는 早強 포틀랜드 시멘트가 쓰여지고 있지만 海水의 작용에 의해 특히 耐久性이 있는 시멘트는 中庸 熱포틀랜드 시멘트 耐硫酸鹽포틀랜드시멘트 스투그분이 많은 포틀랜드 시멘트 또는 포조란(Pozzolan)성분이 많은 시리카 시멘트, 프라이애쉬 시멘트이다.

이런 시멘트들은 일반적으로 初期強度가 낮기 때문에 초기양생을 철저히 할 필요가 있다.

2) 骨 材

깨어지기 쉽고, 균열이 있고, 흡수율이 큰 것, 강도가 적고 마모가 크고, 팽창성이 있는 것은 부적당하다.

3) 混和材料

良質의 減水劑 또는 AE劑를 쓰는 것은 부분적인 결함이 작고 수밀성에 따른 내구성이 큰 콘크리트가 얻어지는 의미에서 바람직하다. 포조란은 良質의 것이 있으면 사용해서 양호한 결과가 얻어진 예는 많지만 效果는 品質과 혼합비율에 의해 틀려진다는 것을 주의할 필요가 있다.

(2) 配 合

1) 물, 시멘트비

해양環境에 있는 철근콘크리트 部材가 各형태의 가혹한 작용에 대해서 충분한 耐久性을 유지하기 위해서는 보통콘크리트에 비교해서 물시멘트비를 적게할 필요가 있다.

철근콘크리트 示方書에서는 耐久性으로부터 결정되는 물시멘트비는 포틀랜드 시멘트를 쓴경

표 3. 내구성을 고려하여 정한 AE콘크리트의 最大물 시멘트비(%)

구조물의 노출상태	기상조건 단면	동결융해가 때때로 반복되는 지역			빙점하의 기온이 드문지역		
		(1) 얇은경우	(3) 보통경우	(2) 두꺼운경우	(1) 얇은경우	(3) 보통경우	(2) 두꺼운경우
(a) 해풍을 받는부분, 파도에 영향을 받는 부분		50	55	55	50	60	65
(b) 조류의 간만작용을 받는 부분, 해수에 씻겨지는 부분		45	50	55	45	50	55
(c) 常時海中에 있는 부분		55	60	65	55	60	65

注, (1) 단면의 두께가 20cm정도이하의 구조물부분
 (2) 肉重한 구조물의 표면부분
 (3) (1) 또는 (2)에 속하는 부분

표 4. 해양 콘크리트 구조물의 최소 피복두께(cm)

(a) 海水에 접하는 부분, 해수에 씻겨지는 부분 또는 강한 해풍을 받는 경우	¹⁾ 7.5cm	²⁾ 7 cm
(b) 상기 이외의 부분	5cm	5 cm

1) 한국 토목 시방서, 2) 日本 토목시방서 규정

우 表 3에 나타나는 값이하로 하도록 규정되어 있다.

여기서, AE劑를 사용한 콘크리트의 경우에는 W/C가 이보다 5%정도 크게해도 무관하다고 되어 있다.

건축시방서에는 물시멘트比를 55%이하로 하도록 규정되어 있다

2) 단위 시멘트량

조류의 간만의 영향을 받는 부분 또는 海水에 항시 씻어지는 부분을 별도로 나누어 劣化하기 쉬운 부분에 있어서는 이부분의 耐久性이구조물 전체의 내구성을 지배하는 경우가 적지않으므로, 여기서 이와 같은 부분에서는 단위 시멘트량을 330kg이상 하는것이 바람직하다고 되어 있다.

(3) 被覆(피복의 두께)

구조물의 조사결과를 기초로해서 R·C표준시방서에서는 최소 피복을 表 4와 같이 정해져 있다.

일본 건축학회 시방서는 海水에 접하는 개소에 대해서는 8cm이상, 이외의 개소에서는 5cm이상으로 정하고 있다. 이 경우는 보통보다 큰 규정치라 할수 있겠다.

(4) 콘크리트의 打設

1) 타설이음

해양콘크리트에서는, 특히타설이음의 부분으로부터 劣化가 시작되기 때문에 타설이음을 만드는데 것을 피한다. 특히 最高수위로부터 위로

60cm 최저 수위로부터 밑으로 60cm와의 사이의 感潮部分은 타설이음을 설계치 않도록 시공계획을 세운다.

2) 養生

콘크리트가 충분히 경화하지 않은 단계에서 海水에 씻겨지게 되면 몰탈의 유실등 그의 피해를 받을 위험이 있다.

그래서 R·C 및 건축시방서에서는 타설후 적어도 4일간은 해수에 접하지 않도록 규정되어 있다. 또 콘크리트는 해수에 접촉되기 전에, 가능하다면 공기를 먼저 쐬는 것도 권장되어지고 있다.

이것은 콘크리트를 공기중에 방치하면 표면에 탄산칼슘의 피막이 되어 해수의 작용에 대해 저항성이 커지기 때문이다(표 5)

3) 피복(피복두께)의 確保

철근과 거푸집 사이는 간격材로서 Mortar 塊, 철물 등이 사용되나 이런것들과 콘크리트가 부착이 충분치 않음으로서 이 공간으로 海水가 침투하는 경향이 있기 때문에 충분히 유념해 두는 것이 좋다.

(5) 기 타

海水의 作用을 받는 콘크리트에서는 철근의 부식이 촉진되기 쉬운 상황이므로 특히 設計荷重 時는 큰 균열이 발생하는 경우에 콘크리트가 철근에 대해서 防鏽기능을 충분히 가지도록 해야한다.

設計 時 部材에 發生하는 균열폭은 될수 있는 한 적게 하도록 한다. *

표 5. 급격한 기상작용을 받는 콘크리트의 양생종료시의 소요 압축강도의 표준(kg/cm²)

구조물의 노출상태	단 면	얇은 경우	보통의 경우	뚜거운 경우
(1) 계속해서 또는 자주물에 포화 되는 부분		150	120	100
(2) 보통노출상태에 있고 (1)에 속하지 않는 부분		50	50	50