

콘크리트의 耐海水性 試驗

Tests on Durability of Concrete When Exposed to Sea Water

高 在 君* · 黃 慶 九**
Chae Koon Koh · Kyung Koo Hwang

Summary

This test was attempted to investigate the effects of some mix designs of concrete on the compressive strengths and corrosive rates when exposed to sea water of the West Sea.

In this test, concrete mixes consisted of an ordinary concrete, a pozzolan concrete and concretes with different admixtures such as fly ash, pozzolith and vinsol resin.

Compressive strengths of the concrete were measured at ages of 1-year and 2-years when exposed to both sea water and fresh water. Corrosive rate was tested at ages of 1-year and 2-years when exposed to sea water only.

The results obtained from the test may be summarized as follows:

(1) When all of concretes were exposed to fresh water, compressive strength of an ordinary concrete was the lowest at all mixes of concretes, and all of them showed higher strength as the exposing age is longer. It was evidence that the uses of pozzolan cement, fly ash, pozzolith and vinsol resin in mix design of concrete had an effect on increasing compressive strength and that fresh water also had an effect on curing concretes even though at a long-time age.

(2) When concretes were exposed sea water, a concrete with fly ash was the highest in compressive strength and its strength was increasing as the exposing age is longer, but the other concretes were decreased at 2-year exposure. It was found that a concrete with fly ash was the most effective on compressive strength of all concrete, but the other concretes were attacked by action of the sea water.

(3) The use of vinsol resin admixture was the most resistant to corrosion by sea water, while the use of pozzolith was the most serious at corrosion and the others were corroded to almost same extent.

(4) The relationship between corrosions and compressive strengths of concretes was not clearly correlated yet. It was known that the corrosive rate of concretes could not affect to compressive strengths by 2-year exposure of the sea water.

*서울大學校 農科大學 ·

**農業振興公社, 農工試驗所

(5) Pozzolan concrete was the most effective in compressive strength when exposed to fresh water only. However, the use of a fly ash admixture was available for compressive strength when exposing to both fresh water and sea water.

It was also noticed that the use of vinsol resin was not available for strengths of concrete but for resistance to corrosion when exposed to sea water.

(6) It was found that the use of pozzolith was so defective in compressive strengths and corrosiive resistance when exposing to sea water that it was only available for fresh water.

I. 緒 言

政府의 經濟開發計劃에 의하여 食糧의 自給自足を 위한 農耕地擴張의 일환으로 干潟地開發과 工業立國의 基盤을 위한 臨海工業團地造成 그리고 80年代에 100億弗 輸出目標達成에 있어서 莫大한 物量의 輸送對策의 일환으로 港灣擴張 및 施設擴充등이 活潑히 推進되고 있다. 이와같이 高度의 産業發展과 經濟成長을 이룩하기 위해서는 從來의 內陸開發만이 아니라 近來에 海岸開發에 더욱 積極化되고 있는 實情이다.

이와같은 海岸開發事業은 土木工事의 뒷받침 없이는 이룰 수 없으며 이 土木工事에서는 多量의 콘크리트를 使用하게 마련이다. 海岸에 設置되는 콘크리트 構造物은 內陸에서와 달리 海風이나 海水作用을 받는 것이 特色이며 따라서 이 構造物은 構造上 堅固할 뿐만 아니라 海水作用으로 因한 浸蝕 또는 腐蝕에 對해서도 耐久의이고 經濟的이라야 할것이다.

先進外國에서는 콘크리트의 海水에 對한 耐久性에 關聯된 研究가 多年間 繼續되고 있으나^{1),2),3),4)} 우리 나라에서는 아직 이에 對한 研究가 別로 없으므로 海水中 콘크리트의 配合設計에 있어서 現業機關이나 實務者로서 아쉬움을 느끼고 있는 實情이다.

따라서 이 研究는 앞으로 西海岸에 있어서 海水作用을 받는 콘크리트構造物의 耐久의인 配合設計를

究明하여 干拓事業이나 港灣工事등 海岸土木事業의 現業을 뒷받침 할수있는 基本資料를 提示하고저 企圖하였다.

II. 材料 및 方法

1. 使用材料

가. 시멘트

공시체 제작에 使用한 시멘트는 國內에서 生産되는 普通포틀랜드시멘트와 牙山灣防潮堤 排水開門의 콘크리트工事に 使用하기 위하여 國內에서 生産된 포조란시멘트 이다.

나. 骨 材

이 試驗에서 使用된 콘크리트의 잔골재와 굵은 骨材는 漢江에서 採取한 것으로 各骨材의 品質은 표 1,2와 같으며 그 粒度는 잔골재에서 표준입도의 범위를 다소 벗어나고 있으나 굵은 골재에서는 좋은 粒度를 나타내었다.

다. 混和劑

混和劑는⁵⁾ 후라이애쉬(Fly ash), 포조리스(Pozzolith) 그리고 빈솔레진(Visol resin)을 使用하였다. 후라이애쉬는 國內에서 生産되는 製品을 使用하였으나 포조리스와 빈솔레진은 國產品이 없기 때문에 포조리스는⁶⁾ 標準型(No. 5)인 日產品을 使用하고 빈솔레진은⁷⁾ 美國製品을 使用하였다.

표 一 잔 골 재 의 품 질

과 목	비 중	흡 수 율	단위용적 중	No.200번 제통과율	안 정 성	조 립 율	유 물 순 물
결 과	2.608	0.74%	g/cm ³ 1.508	0.62%	양 호	2.29	양 호

표 二 굵 은 골 재 의 품 질

과 목	비 중	흡 수 율	단위용적 중	마 모 율		안 정 성	유 물 순 물
				100 회	500 회		
결 과	2.653	0.71%	g/cm ³ 1.664	5.4%	28.0%	양 호	양 호

비중=1.02
pH=7.9

표-3 아산만 해수의 화학성분

이온	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
간조시(g/kg)	1.38	0.198	0.0093	0.775	0.0276	0.0307	0.108
만조시 "	1.47	0.187	0.0105	0.775	0.0288	0.0315	0.125
평균 "	1.43	0.193	0.010	0.775	0.028	0.031	0.117
백분율(%)	55.34	7.47	0.39	30.00	1.08	1.20	4.53
해수(일본)(g/kg)	1.898	0.265	0.014	1.056	0.038	0.040	0.127
백분율(%)	55.2	7.72	0.41	30.75	1.11	1.16	3.70

라. 海水
이 試驗은 牙山灣現場의 海水中에서 實施하였으며 海水의 化學分析結果는 표 3과 같다.

工業規格(KSF 2403)에 準하였다. 但 各 供試體의 配合設計는 다음 條件으로 하였으며 그 結果는 표4와 같다.

2. 試驗方法

가. 供試體製作

이 試驗에 使用된 供試體는 콘크리트의 壓縮強度 試驗用과 같고 그 製作方法과 養生方法도 韓國

- 條件 : (1) 單位시멘트量은 320 kg/m³이고
(2) 굵은骨材의 最大치수는 25mm이며
(3) 슬럼프값은 7.5±1cm가 되도록 單位水 量을 調節하였음.

표-4 各種 콘크리트 供試體의 配合設計

종류	기호	시멘트 (kg)	혼화제 (kg)	물 (kg)	물-시멘트비 W/C(%)	절대골재 비	모래 (kg)	자갈 (kg)
보통콘크리트	O.C	320	—	179.2	56	39	712	1,135
포조판 "	P.C	320	—	166.4	52	39	709	1,110
취라이애쉬 "	F.A	320	32	183.0	52	38	683	1,135
빈솔레진 "	V.R	320	256cc	156.8	49	34	623	1,223
포조리스 "	P.O	320	3,200cc	156.8	49	35	642	1,225

나. 試驗方法

(1) 壓縮強度試驗

콘크리트의 壓縮強度試驗은 韓國工業規格 (KSF 2405)에서 規定한 試驗方法에 準하고 各種 供試體는 淡水와 海水中에서 各各 材令 1年 및 2年の 壓縮強度를 測定하였으며 各試驗은 3反復으로 하였다.

(2) 腐蝕率試驗

水中에서 28日 養生한 各種 供試體의 表面水를 濕布로 닦아내어 飽和重量을 W₁이라 하고 이들을 海水中에서 1年 및 2年間 自然狀態에서 海水作用을 받게한후에 꺼내어 表面의 腐蝕部分을 와이야부랏쉬(wire brush)로 닦아낸 重量을 W₂라 하며 다음 公式에 의하여 腐蝕率을 구하였으며 試驗은 3反復으로 하며 平均值를 取했다.

$$\text{腐蝕率(\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

Ⅲ. 結果 및 考察

1. 壓縮強度試驗

普通콘크리트, 포조판콘크리트, 취라이애쉬 콘크리트 빈솔레진 및 포조리스 콘크리트등 5種의 各 콘크리트의 材令 1年 및 2年에 있어서 淡水와 海水中에서 壓縮強度의 試驗結果는 표-5, -6과 같다.

표-5 淡水中の 壓縮強度 (kg/cm²)

材令	種類	O.C	P.C	F.A	V.R	P.O
		強度	224	306	276	233
1年	百分率	100	145	123	104	121
	強度	230	326	303	259	298
2年	百分率	100	141	131	112	129

표 一6 海水中の 壓縮強度 (kg/cm²)

材齡	種類	海水中的 壓縮強度 (kg/cm ²)				
		O.C	P.C	F.A	V.R	P.O
1년	強度	251	268	268	241	247
	百分率	100	106	106	96	98
2년	強度	244	231	274	235	221
	百分率	100	94	112	96	90

淡水中에 있어서 材齡 1~2년의 壓縮強度를 各種 콘크리트間에서 比較할 때 普通콘크리트가 가장 낮고 포조란콘크리트가 가장 높은 強度를 나타내고 있다. 이 結果는 淡水中에서 壓縮強度上 포조란시멘트가 가장 優秀하다는 것을 立證하고 있으며 특히 포조란시멘트는 混和劑를 쓰지 않더라도 높은 強度를 얻을 수 있으며 또한 國內에서 生産될 수 있다는 點과 多量生産의 境遇 普通시멘트에 比하여 價格面에서 低廉할 수 있다는 點에서 포조란시멘트의 使用은 바람직한 일이라고 생각된다. 후라이애쉬 빈솔레진 그리고 포조리스 등 混和劑도 普通포트랜드시멘트를 單用한 것보다 壓縮強度上 그 效果가 認定되고 있다. 이 中에서 특히 후라이 애쉬는 다른 混和劑에 比하여 더욱 效果의이며 더욱이 國內生産이 可能한 利點을 갖고 있어 使用價値가 더욱 높다고 볼 수 있다. 그러나 후라이애쉬는 製造會社에 따라 그 品質이 크게 달라질 수 있으므로 使用할 때는 事前에 그 品質試驗을 하여 選擇·使用하는 것이 바람직하다.

그리고 淡水中에서는 材齡이 길수록 各種콘크리트의 強度는 10% 内外로 增加率을 나타내고 있어 養生效果는 初期에 比하여 顯著히 낮지만 長期에도 認定할 수 있다는 것을 알 수 있다.

海水中の 壓縮強度에 있어서 材齡 1년의 境遇 淡水中에서와 달리 普通콘크리트는 포조란 및 후라이애쉬 콘크리트 보다는 낮지만 빈솔레진 및 포조리스 콘크리트보다 높은 強度를 나타내고 있다. 材齡 2년의 境遇에는 후라이애쉬 콘크리트 보다 낮지만 포조란 콘크리트보다 높은 強度를 나타내고 있다. 即 海水中 長期強度에 있어서 普通콘크리트는 후라이애쉬 콘크리트를 除外하고 다른 콘크리트보다 높은 強度의 콘크리트로서 淡水中에서와 달리 強度上 포조란, 빈솔레진 및 포조리스 콘크리트를 使用한 것보다 普通콘크리트를 使用하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다.

海水中の 壓縮強度를 材齡에 따라 各種콘크리트

를 比較하여 보면 후라이애쉬를 除外하고는 淡水中에서와 달리 材齡이 길수록 減少되고 있다. 이 現象은 淡水는 콘크리트의 養生이 되나 海水中에서는 海水의 物理化學的·作用에 의한 所謂 海水作用에 의한 劣化라고 말할 수 있다. 그러나 후라이애쉬 콘크리트는 材齡에 따라 壓縮強度가 增加하고 있다는 것은 후라이애쉬의 化學成分이 海水作用에 對한 抵抗性 또는 海水作用을 中和하여 콘크리트의 養生效果로 轉換하는 후라이애쉬의 特殊作用이 認定되고 있다. 따라서 壓縮強度로 볼 때 耐海水性 콘크리트는 후라이애쉬 콘크리트라고 말할 수 있다.

海水中の 腐蝕率試驗에 있어서 그 結果는 표 一7과 같다.

표 一7 海水中の 腐蝕率(%)

材齡	種類	海水中の 腐蝕率(%)				
		O.C	P.C	F.A	V.R	P.O
1년	부식율	0.91	0.54	1.02	0.26	1.45
	백분율	100	59	112	28	169
2년	부식율	1.42	1.34	1.41	1.05	1.80
	백분율	100	92	100	71	128

1年間 海水作用을 받은 各種콘크리트는 포조리스 콘크리트를 除外하고는 그 腐蝕率이 1.0% 以下이며 빈솔레진 콘크리트가 가장 낮고 포조리스콘크리트가 가장 높은 腐蝕率을 나타내고 있다.

2年間 海水作用을 받은 各種콘크리트는 다 같이 1% 以上으로 1년 成績에서와 같이 빈솔레진 콘크리트가 가장 낮고 포조리스콘크리트가 가장 높은 腐蝕率을 나타내고 있어 結局 1~2년間에 있어서 各種콘크리트間에는 같은 傾向을 나타내고 있다.

부식현상에서 各種콘크리트를 比較할 때 빈솔레진이 가장 腐蝕에 對하여 耐久의이고 이에 反하여 포조리스가 가장 弱하며 이 밖의 콘크리트間에는 腐蝕率에 있어서 큰 差異를 나타내지 않고 있다.

壓縮強度와 腐蝕率과의 關係에 있어서는 2年間의 海水作用에 對해서는 腐蝕率이 아직 強度에 미칠만큼 나타나지 않았기 때문에 兩者間에는 別로 關係가 成立되지 않은 것을 알 수 있다. 그러나 腐蝕率이 어느程度 進展됨에 따라 強度에 미치는 影響은 점차 增大될 것이며 그 時期에 對해서는 長期試驗이 要請되며 이것은 콘크리트 構造物의 壽命을 判定하는 資料가 될 수도 있을 것이다. 이 試驗의 範圍에서는 各種콘크리트의 腐蝕에 對한 特性만을 파악하였을 뿐이고 腐蝕이 壓縮強度에 미치는 影響을 究明하기 위해서는 더욱 長期試驗이 要望됨을 알 수 있다.

IV. 結 論

콘크리트의 耐海水性試驗의 일환으로 5種의 콘크리트에 對하여 1~2年間の 壓縮強度와 腐蝕率을 測定한 範圍에서 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

(1) 淡水中에 露出된 各種콘크리트의 壓縮強度는 포조란시멘트, 후라이애쉬, 포조란, 빈솔레진의 順位로서 普通콘크리트에 比하여 그 效果가 認定되고 또한 습콘크리트는 1年以上의 長期材令에서도 養生 效果가 있어 強度가 增加되었다.

(2) 海水中에 露出된 各種콘크리트의 壓縮強度는 포조리스, 빈솔레진 포조란의 順序로 普通콘크리트에 比하여 強度低下 即 劣化現象이 생겼는데 후라이애쉬는 그 效果가 認定되었다. 그리고 海水中에서는 淡水中에서와 달리 材令에 따라 壓縮強度가 후라이애쉬를 除外하고는 低下되고 있는데 이 現象은 海水作用에 基因되는 것으로 본다.

(3) 海水中에 露出된 各種콘크리트의 腐蝕率은 포

조리스가 가장 높고, 빈솔레진이 가장 낮고 그 밖의 콘크리트는 僅少한 差異를 나타내었다. 따라서 빈솔레진은 海水에 對한 耐蝕性 混和劑임을 알 수 있었다.

(4) 腐蝕率과 壓縮強度와의 關係에 있어서 1~2年間の 海水作用에 의한 腐蝕率은 壓縮強度에 影響을 줄만큼 높지 않은 것을 알 수 있었다.

(5) 壓縮強度로 볼때 淡水中에서는 포조란시멘트 또는 후라이애쉬를 使用한 콘크리트가 가장 適當하나 海水中에서는 후라이애쉬를 使用한 콘크리트가 가장 바람직하다. 그리고 海水中에서 壓縮強度보다 腐蝕率이 더욱 重要視 되는 境遇에는 빈솔레진을 使用한 콘크리트가 바람직하다고 생각된다.

(6) 포조란을 使用한 콘크리트는 特히 海水中에서 壓縮強度나 腐蝕率에 있어서 가장 劣等한 非耐海水性 콘크리트이므로 海水中에서 使用하는 것을 避하고 淡水中에 限하여 使用하는 것이 바람직 하다고 생각된다.

參 考 文 獻

1. 赤塚雄三, 外 2人(1969), 海水の作用を受ける鐵筋コンクリートの ひびわれと 鐵筋の腐蝕について セメント協會, セメントコンクリート No. 266 pp. 38~42
2. セメント協會(1969), 콘크리트의耐海水性に關する研究の實施にあたって, セメント協會, セメントコンクリート No. 273, pp. 26~27
3. 木村惠雄 外 4人(1971) 耐海水性に關するコンクリートの 5年 および 10年試驗, セメント協會, セメントコンクリート No. 289, pp. 10~17
4. 李九鍾(1967) 포조란시멘트에 對한 考察, 洋炭工業協會, 洋炭工業 第20輯, pp. 32~43
5. 文定淵(1967), 콘크리트混和材料에 對하여, ———, ———, ———, pp. 44~61
6. ポゾリス物産會社(1965), ポゾリス(セメント分散劑, 콘크리트減水劑) pp. 15
7. 關博(1970), 海水の作用を受けるコンクリートの中性化について, 土木學會論文集 No. 181 pp. 91~98
8. The Master Builders Company(1965), Master Builder Producter for Improving Concrete, pp. 35