

海水에서 鐵筋콘크리트의 鐵筋 防蝕에 대한 塗料의 効果

Effects of Different Paints on Steel Rods Anticorrosion of Reinforced Concrete in Salt Water

李 信 昊* · 高 在 君*
Shin Ho Rhee , Chae Koon Koh

Summary

The objectives of this paper were to measure the bond strengths of reinforced concrete in which the steel rods were coated with five different kinds of anticorrosion paints, and to compare their prevention effects in salt water. The paints used in the study were epoxy resin I · II · III, Z.R.P., and silicone resin, which were applied at rates recommended by the manufacturers. The bond strengths were measured on the 7-, 14-, and 28-th days after molding. Corrosion conditions of coated steel plate under fresh water, seawater, 10 % salt water, and 20% salt water, were inspected every month during four months test periods, respectively.

The results obtained from tests are summarized as follows:

1. Paint-coating may reduce the bond strengths of reinforced concrete. Silicone resin paint showed some 20% reduction in the strength compared to those without the paint. However, the other paints seemed not to significantly affect the strength.
2. Picture analyses showed that epoxy resin I and II significantly prevented corrosion steel plates in seawater. Epoxy resin III and silicone resin coating did not do a good job in corrosion prevention. Z.R.P. paint was found to be moderate as preventive coating paint.
3. Varying soluble salt contents had little effects on the corrosion prevention of tested paints.
4. Epoxy resin I and II were found to be appropriate as a coating material to prevent the corrosion of steel rods in seawater. Z.R.P. may also be used for the purpose.

I. 緒 論

鐵筋콘크리트 構造物은 鐵筋과 콘크리트가 일체로 되어 外力에 저항하도록 만들어진 것으로서, 鐵筋

이 콘크리트 속에 묻히면 콘크리트의 알칼리성 작용으로 鐵筋은 거의 녹슬지 않고, 鐵筋과 콘크리트는 溫度에 대한 膨脹係數가 거의 같기 때문에 서로 分離되지 않으며, 콘크리트와 鐵筋은 附着強度가 비교적 크므로 잘 붙어서 합성체를 이루므로 土木

*서울大學校 農科大學

構造物에 널리 利用되고 있다⁵⁾.

특히 干拓事業과 潮力發電所, 造船所등의 建設에 있어서 鐵筋콘크리트 構造物이 많이 使用되며 이들은 海水의 作用을 받게 마련이다.

海水의 作用을 받고있는 鐵筋콘크리트 構造物은 하등의 缺陷이 없는 것도 있고 또는 海水作用으로 서서히 浸蝕된 것 또는 급격한 被害를 받는 것도 있다⁶⁾. 그러나 一般의으로 海水 中の 可溶性 硫酸鹽(CaSO₄, MgSO₄, K₂SO₄)에 의한 化學的 作用과 태풍, 파랑에 의한 세굴, 風化, 凍結, 流水의 衝擊 등의 物理的 作用으로 海水의 浸入이 促進되어 콘크리트는 서서히 浸蝕되고, 콘크리트 中の 鐵筋을 腐蝕시켜 構造物을 손상시키는 結果를 招來하게 된다.

이러한 경우 그 補強은 매우 어렵기 때문에 海水作用에 대해서 콘크리트의 耐久性을 增進시키기 위하여 콘크리트의 材料(시멘트, 骨材) 選擇, 혼화제 의 使用水量的 調節, 콘크리트 澆개, 養生 및 施工方法, 콘크리트 表面 保護등으로 密度가 크고, 水密性이 높은 콘크리트를 만드는 것이 効果的인 方法이라고 規定되어 있다.

이에 대한 연구도 橫山⁹⁾(1933) 이후로 官本(1934), 青木(1938), 일본시멘트 협회(1941, 1969), 伊木(1942), 吉田(1953), Tyler(1950), 木材(1969), 高(1972), 황(1973) 등에 의하여 많이 進行되었다¹⁰⁾¹¹⁾.

塗料을 콘크리트에 使用한 것은 Chung¹²⁾(1975)이 Epoxy 樹脂를 콘크리트 損傷部分에 塗布하여 補強하므로써 本來의 韌強도를 얻을 수 있다는 것을 試驗한 것이 처음이다.

Chung과 Lui¹³⁾¹⁴⁾(1977, 1978)도 같은 試驗을 하

였다.

Kothari와 Bonel¹⁵⁾(1978)는 Epoxy 樹脂를 가는 철사(直徑 0.45mm)에 被覆하여 만든 補強콘크리트 供試體에 대하여 引張, 壓縮, 附着強度를 試驗한 結果, 非被覆狀態의 가는 철사로 만든 供試體보다 모든 強度가 增加되었다는 것을 立證하였다.

Chung¹⁴⁾(1981)은 鐵筋과 콘크리트 사이에 Epoxy 樹脂를 注入하므로써 附着強度를 增加시킬수 있다는 것을 實驗으로 立證하였다.

그러나 콘크리트 中の 鐵筋에 대한 浸蝕狀態를 조사하였거나 防蝕方法에 대한 研究는 거의 없는 實情인데 앞으로 우리나라에서는 西南海岸의 龍大 한 干拓事業을 展望할 때 鐵筋콘크리트 構造物의 耐海水性에 관한 研究가 切實한 時點에 와 있다고 생각한다.

따라서 이 研究의 目的은 防蝕劑(Epoxy), 防水劑(Silicone), 防鏽劑(Z.R.P) 등을 鐵筋의 被覆塗料로 使用하여 콘크리트에 대한 鐵筋의 附着強度 및 海水에 대한 鐵筋의 防蝕效果를 比較分析하고 耐海水性 鐵筋콘크리트 構造物을 만드는데 鐵筋被覆材料로 使用可能여부를 究明하고자 하였다.

II. 材料 및 方法

1. 材料

가. 시멘트

本 試驗에서 使用한 시멘트는 國內에서 生産된 보통포틀랜드 시멘트를 使用하였다. 그 品質은 Table-1과 같으며 韓國工業規格에 적합하였다.

Table-1. Quality of Normal Portland Cement

Physical properties				Chemical properties			
Property	Item	Result	K.S.	Compound	Item	Result	K.S.
Specific gravity		3.16	—	Heat of hydration(cal/g)	7days	—	—
Fineness	Blainess(cm ² /gr)	3011	>2600		28days	—	—
	Standard sieve 44 μ residue(%)	—	—	Drying shrinkage(%)	—	—	
	Standard sieve 149 μ residue(%)	—	—	Ignition loss(%)	1.2	<3.0	
Time of Setting	Normal(%) consistency	25	—	Insoluble residue(%)	2.27	<0.75	
	Initial(min)	155	>60	SO ₃ (%)	1.8	<2.5 or 3.0	
	Final(hr)	5:42	<10	MgO(%)	2.7	<5.0	

海水에서 鐵筋콘크리트의 鐵筋 防蝕에 대한 塗料의 効果

Soundness	0.12	<0.80	SiO ₂ (%)	21.5	—		
Water requirement(%)	—	—	Al ₂ O ₃ (%)	—	—		
Strength(Kg/cm ²)	Compression ages	1day	—	—	Fe ₂ O ₃ (%)	—	—
		3days	121	>110	CaO(%)	64.3	—
		7days	190	>175	S(%)	—	—
		28days	—	>245	Na ₂ O K ₂ O(%)	—	—
	Tension ages	1day	—	—	3CaO Al ₂ O ₃ (%)	—	—
		3days	19	>10	C ₃ S+C ₃ A(%)	—	—
		7days	28	>20	Free CaO(%)	—	—
		28days	—	>25	Air content of motar	—	—

Note: Rules of KS L 5210

나. 骨材

1) 잔 骨材

잔 骨材는 미호천에서 채취한 것을 使用하였으며

그 品質은 Table-2와 같고, 그 粒度는 Fig. 1과 같이 標準粒度 범위내에 들어있다.

Table-2. Quality of Fine Aggregate

Item	Specific gravity	Absorption	Unit weight	No. 200 sieve passing	Soundness	Finess modulus	Organic impurity
Result	2.62	0.97%	1.831g/cm ²	0.19%	good	2.42	none

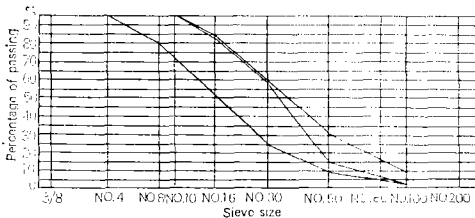


Fig. 1. Gradation Curve of Fine Aggregate

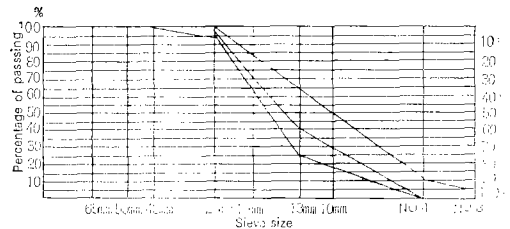


Fig. 2. Gradation Curve of Coarse Aggregate

Table-3. Quality of Coarse Aggregate

Item	Specific gravity	Absorption	Unit weight	Abrasion		Soundness	Finess modulus	clay lump
				100R	200R			
Result	2.69	1.61%	1.786 kg/cm ²	6.42%	27.42%	good	7.04	good

2) 굵은 골재

굵은 骨材는 남한강 지류인 廣州 미사리에서 채취하여 最大粒徑 25mm 以下인 것을 使用하였으며 그 品質은 Table-3과 같고 그 粒度는 Fig.2와 같이 標準粒度 범위내에 들어있었다.

다. 鋼材

附着強度試驗에 使用한 鐵筋은 異形鐵筋으로 公稱直徑은 D19mm (S.B.D.30)이고, 길이는 試驗裝置의 特性에 맞추어 약 70cm로 하였으며 그機械의 性質은 Table-4와 같다.

海水에 의한 鐵筋의 浸蝕試驗에서 異形 鐵筋은 浸蝕狀態를 判斷하는데 곤란하여 便宜上 鋼試片을

Table-4. Properties of Deformed Steel Rod

Item Kinds	Yield point	Tensile strength	Elonga- tion ratio	Bend- ing	Remark
S.B.D.30 D19mm	41.9 kg/mm ²	55.3 kg/mm ²	23.7%	good	suitable to KS

使用하였으며 그 치수는 나비 1.8cm, 길이 30cm, 두께 3.58mm이다.

라. 被覆材料

鐵筋의 被覆材料는 接着性, 防蝕性 및 耐鹽性이 강한 Epoxy 樹脂 3종(Epoxy I, Epoxy II, Epoxy III)¹¹⁾과 防水劑로 쓰이는 Silicone 樹脂(Silicon)¹⁰⁾를 使用하였으며 또한 鐵材나 鋼材등에 녹이 發生하는 것을 防止하기 위한 亞鉛鍍金防鏽劑(Z. R. P.)¹¹⁾를 使用하였다. 試驗에 使用된 被覆材料特性은 Table-5와 같다.

Table-5. Properties of Coating Paints

Item Kinds	Epoxy I	Epoxy II	Epoxy III	Z.R.P.	Silicone
Mix. (main : hardener)	5 : 1 (thinner : 20%)	7 : 3	1 : 1 (water 2)	shaking	nature
Specific Gravity	1.15	1.30-1.40	—	2.797	—
Pot Life	20min. (23°C)	10hours	2hours (27°C)	—	5min.
Recoat Time	above 10hours	—	2hours (24°C, RH50%)	in 12hours	—
Hardening Time					
touch	1hour	4hours	2hours	20-30min.	1hour
primary	5hours	—	—	—	24hours
fully	5-10days	—	1-7days	14days*	2-7days
Characteristics	· non-solvent · waterproof · medically cured	· waterproof · anticorrosion	· waterbased · waterproof · chemically cured · nonflammable · non-toxic · odorless	· protection against rust and rust creepage through electro-chemical action · selfhealing	· insulates · waterproof · weatherproof · permanently flexible
Use	· glass cloth lining · chest · file · steel bar	· concrete structures · steel structures	· interior & exterior waterproof of masonry surfaces	· protection against corrosion of iron & aluminum	· glass · woods · metal · porcelain ceramic

Note: *30minutes at 150°C

마. 浸漬溶液

鐵筋(鋼試片)이 海水에 腐蝕되는 狀態를 조사하기 위해서 天然海水와 人工鹽水를 使用하였다. 天然海水로는 京畿道 君子岾 바다에서 採取한 海水이고, 人工鹽水는 採取한 海水에 소금(粗製品)을 追加하여 鹽度を 높인 것으로 이때 使用한 소금은 君子產 것이었다.

浸漬溶液의 鹽度は 海水의 경우 約 3.1%이고,

人工鹽水の 경우에는 10%와 20%로 하였다. 淡水는 飲料水로 使用하는 수도물을 使用하였는데 鹽分은 없는 상태였다.

2. 方法

가. 鐵筋附着強度試驗

1) 供試體 製作

콘크리트 供試體의 配合設計는 다음과 같은 조건

으로 하였으며 그 結果는 Table-6과 같다.

- (1) 單位시멘트량은 371kg/cm³이고,
- (2) 굵은 골재의 最大치수는 25mm이며,
- (3) 슬럼프 값은 7.5±1cm가 되도록 單位水량을 調節하였다.

Table-6. Specified Mix of Concrete

Cement	Water	W/C	S/a	Sand	Gra- vel	Air co- ntent
kg	kg	%	%	kg	kg	%
371	178	48	35	666	1,178	—

그리고 콘크리트 供試體는 콘크리트, 壓縮強度 試驗用과 같은 치수로 直徑 15cm, 높이 30cm의 圓柱形이며, 그 製作方法과 養生方法은 韓國工業規格(KSF2403)에 準하였다. 試驗에 使用한 異形鐵筋은 그 表面에 各 被覆材料를 붓으로 2~3회 塗布한 후 충분히 硬化시켰으며 이때 各 被覆厚께를 Venier Calipers로 측정하였고 그 平均被覆 厚께는 Table-7과 같다.

Table-7. Thickness of Coating Paint of Steel Rod (unit: cm)

Kinds	Epoxy	Epoxy	Epoxy	Z.R.P.	Silicone
	I	II	III		
Thickness	0.23	0.22	0.21	0.22	0.23

부착강도試驗의 供試體는 Fig. 3과 같고 鐵筋의 묻힘길이는 30cm로 하였다.

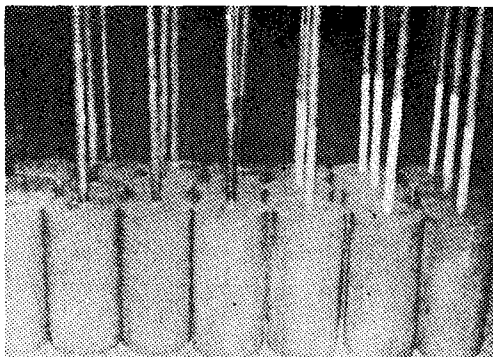


Fig. 3. Specimens for Bond Strength Test at Each Age (one set per age)

2) 附着強度 試驗

附着強度는 콘크리트 材令 7일, 14일, 28일에 對해서 測定하였다. 試驗機는 農業振興公社에 있는 油壓콘크리트 試驗機(Universal Hydraulic Test Machine)을 使用하여 最大引拔荷重(P)를 구하고 다음式을 使用하여 鐵筋의 附着強度를 求하였다.

$$\tau_0 = \frac{P}{\pi D l} \dots \dots \dots (1)$$

- 여기서 τ_0 : 鐵筋의 附着強度(kg/cm²)
- P; 最大引拔荷重(kg)
- D; 鐵筋의 公칭直徑(cm)
- l; 철근의 묻힘길이(cm)

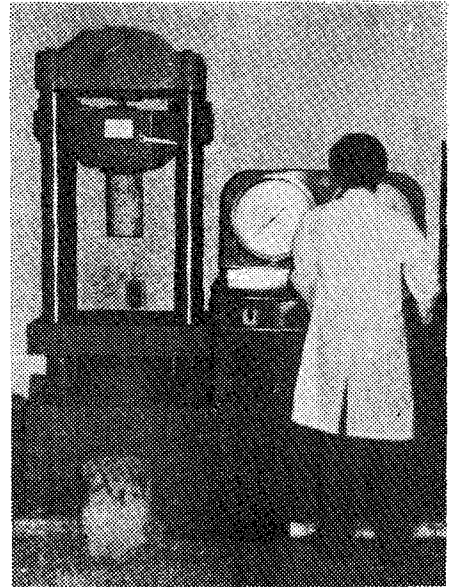


Fig. 4. Bond Strength Test of Reinforcing Steel

나. 浸蝕狀態試驗

1) 供試體製作

韓國工業規格(KSM3718)에 準하여 試片表面을 砂布(Sand Paper)로 녹을 完全히 除去하고 Trichloroethylene으로 充分히 닦아서 乾燥시켰다. 일정 時間이 경과한 후 Venier Calipers로 被覆厚께를 測定하였으며 그 結果는 Table-8과 같다.

Table-8. Thickness of Coating Paint of Steel Plate (unit: cm)

Kinds	Epoxy	Epoxy	Epoxy	Z.R.P.	Silicone
	I	II	III		
Thickness	0.22	0.21	0.21	0.21	0.28

2) 浸蝕試驗

被覆된 各 試片과 塗布되지 않은 試片을 다같이 淡水, 海水(鹽度 3.1%), 鹽水 10% 및 鹽水 20%에 길이 3cm 정도만 露出시키고 完全히 沈漬시켰다.

淡水, 海水 및 鹽水는 實驗室 室溫狀態에 두고 蒸發散에 의한 鹽度變化를 막기 위해서 비닐로써 密閉하였으며 每日 2회씩 溶液을 흔들어 주었다.

浸蝕試驗은 3反復으로 하였으며 浸漬期間을 30일, 60일, 120일로 하여 各 浸蝕狀態를 精密寫眞으로 적어 比較하였다. 被覆되지 않은 試片은 노출표면적이 被覆된 鐵筋과 동일하므로 重量減少 比率을 다음 式으로 구하였다.

$$W.L.R = \frac{\Delta W}{W} \times 100(\%) \dots \dots \dots (2)$$

여기서 W ; 浸蝕前 重量(kg)

ΔW ; 減少重量(kg)

Ⅲ. 結果 및 考察

1. 鐵筋의 附着強度

철근의 附着強度 試驗結果는 3反復의 平均値로서 Table-9과 같다.

Table-9. Average Bond Strength at Pull-out Test

Steel type	7 days		14 days		28 days	
	Bond strength (kg/cm ²)	Bond improvement factor	Bond strength (kg/cm ²)	Bond improvement factor	Bond strength (kg/cm ²)	Bond improvement factor
Non-coated	39.5	1	46.5	1	71.3	1
Epoxy I	40.0	1.01	45.6	0.98	69.2	0.97
Epoxy II	39.4	1.00	47.4	1.02	72.7	1.02
Epoxy III	36.7	0.93	46.7	1.00	77.7	1.09
Z.R.P.	39.1	0.99	46.1	0.99	71.4	1.00
Silicone	30.8	0.78	35.4	0.76	51.3	0.72

Note: Compressoin Strength $\sigma_7=147\text{kg/cm}^2$, $\sigma_{14}=186\text{kg/cm}^2$, $\sigma_{28}=252\text{kg/cm}^2$

2. 浸蝕狀態

被覆되지 않은 試片의 浸蝕狀態는 Table-10와 같이 重量減少率로 表示할 수 있었으나, 被覆材料를 使用한 試片에서는 重量變化를 측정할 수 없으므로 精密寫眞으로 比較하였다. 各 塗料와 浸漬期間에 따른 試片의 浸蝕상태는 Fig.5, 6, 7, 8, 9와 같다.

Table-10. Comparison of Weight Losses of Non-Coated Steel Plate

Solution	Ages		
	30days	60days	120days
fresh water	0.29(%)	0.55(%)	1.10(%)
seawater	0.30	0.61	1.17
10% salt water	0.13	0.29	0.62
20% salt water	0.07	0.17	0.38

Note: A : before immersion
 B : after 30days
 C : after 60days
 D : after 120days

(a) fresh water (b) seawater
 (c) 10% salt water
 (d) 20% salt water

Fig.5에서는 Epoxy 樹脂 I로 被覆된 試片은 各 용媒에서 양쪽 가장자리 一部分을 제외하고는 거의 浸蝕現象이 일어나지 않았다. 양쪽 가장 자리의 상

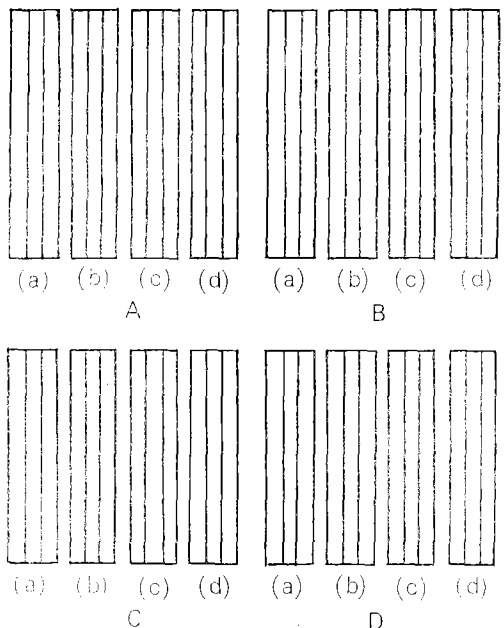


Fig. 5. Corrosion Behavior of Epoxy Resin I-Coated Steel Plate Immersed in Each Solution

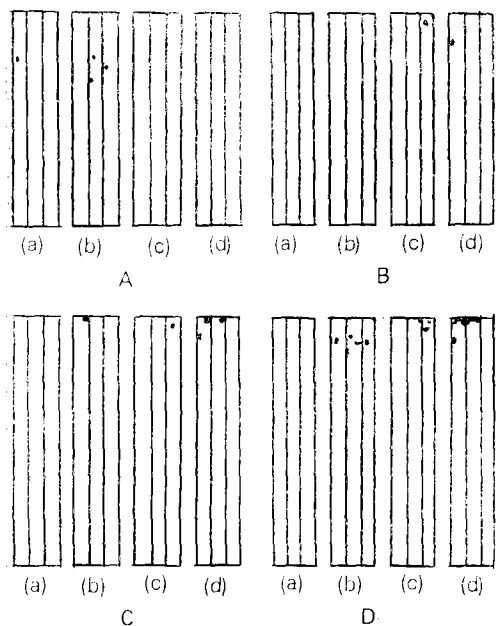


Fig. 6. Corrosion Behavior of Epoxy Resin II-Coated Steel Plate Immersed in Each Solution

대는 被覆상태의 불량으로 생각된다.

Fig.6에서 Epoxy 樹脂Ⅱ는 침적 60일까지는 양쪽 가장 자리의 被覆이 불량한 一部分을 제외하고는 浸蝕현상이 없었으나, 浸漬 120일 淡水에서는 浸蝕되지 않았으나 海水에서는 水面近處에서 氣泡形 浸蝕이 몇 개 나타났고, 10% 및 20% 鹽水에서는 가장 자리에 微小한 浸蝕현상이 있었다.

Fig.7에서 Epoxy 樹脂Ⅲ는 각 용매에서 局部的인 表面 아래 침식 (localized and subsurface corrosion) 現象을 일으키며 全表面에 넓게 퍼져있다. 특히 海水에서는 浸蝕이 擴散되어 크게 부풀어 오르는 곳도 있었다.

Fig.8에서 Z.R.P.는 浸蝕이 거의 되지 않았으나, 浸漬 30일에서 海水에서 局部的인 表面아래 浸蝕현상이 微小하게 氣泡形으로 나타났고, 浸漬 60일에서는 10% 鹽水에서도 氣泡形 浸蝕이 몇 개 나타났고 浸漬 120일에서는 20% 鹽水에서도 몇 개가 나타났다. 海水에서는 氣泡形 浸蝕이 微小하게 증가되나 거의 浸蝕이 擴散되지는 않았다. 이것은 Z.R.P 特有的인 自體治癒能力 때문인 것 같다.

Fig.9에서 Silicone 樹脂는 각 용매에 浸漬 30일에서는 양쪽 가장 자리를 제외하고 浸蝕現象이 나

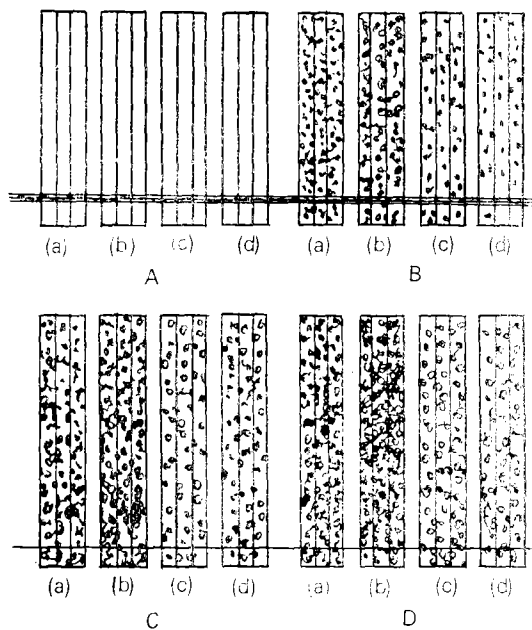


Fig. 7. Corrosion Behavior of Epoxy Resin III-Coated Steel Plate Immersed in Each Solution

타나지 않았으나, 浸漬 60일에서는 淡水를 제외하고 각 용매에 部分的으로 浸蝕되어 平蝕과 塗料가 分離現象을 일으키고 심한 곳은 塗料가 떨어져 나갔다. 浸漬 120일에서는 浸蝕이 조금 더 擴散되어 平蝕과 塗料의 分離現象이 深化되었다.

鹽度別 浸蝕狀態는 鹽度が 높을수록 浸蝕이 많을 것으로 생각하였으나 試驗 結果는 海水에서 가장 많이 浸蝕되었고 海水에 소금을 넣어 鹽度を 높일수록 浸蝕現象이 줄어들었다.

被覆되지 않은 試片에서도 Table-10와 같이 동일한 현상을 나타내었다. 이러한 現象은 May와 Alexander가 주철에 대한 標準鹽水噴霧試驗(ASTM 기준)에서 人工鹽水보다 海水에서 腐蝕이 많이 되고, NaCl 20%보다 NaCl 10%에서 腐蝕이 더 많이 되었다는 結果와 類似하며 이를 뒷받침해 주는 것으로 思料된다.

그리고 淡水에서는 Epoxy 樹脂Ⅲ를 제외하고 모든 塗料에서 거의 浸蝕現象이 나타나지 않았다.

3. 浸蝕狀態와 附着強度와의 關係

각 被覆材別로 浸蝕狀態와 附着強度에 대한 試驗

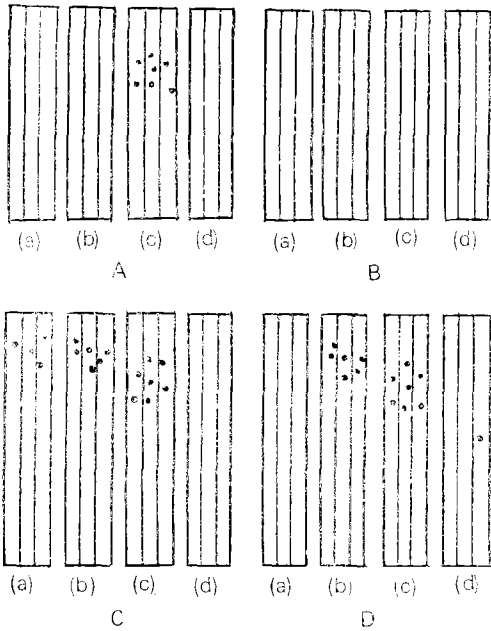


Fig. 8. Corrosion Behavior of Z.R.P.-Coated Steel Plate Immersed in Each Solution

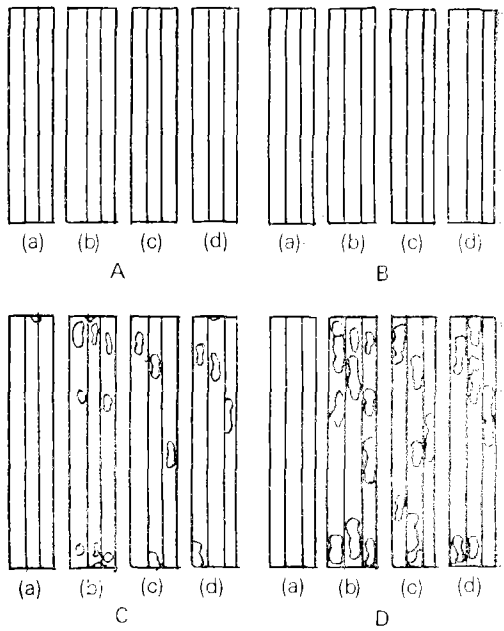


Fig. 9. Corrosion Behavior of Silicone Resin-Coated Steel Plate Immersed in Each Solution

結果를 볼 때, Epoxy 樹脂 I, II, III은 鐵筋의 附着強度가 모두 良好하였고 그 중에서 I과 II는 防蝕効果도 優秀하여 被覆材料로서 適合하고, III은 防蝕效果를 갖지 못하였으므로 被覆材料로 使用이 不可能하다고 볼 수 있었다.

Z.R.P는 微小한 浸蝕現象이 나타났지만 그 以上 擴散되지 않았으므로 防蝕能力이 認定되고 附着強度도 높게 나타났으므로 被覆材料로서 使用이 可能하다고 보겠다.

그러나, Silicone 樹脂는 防蝕能力도 거의 없고, 附着強度도 현저하게 減少되므로 被覆材料로서 使用할 수 없다고 判斷되었다.

IV. 結 論

이 研究는 耐 海水性 鐵筋 콘크리트를 만드는 데 있어서 防蝕塗料로 被覆된 鐵筋의 附着強度와 浸蝕狀態를 比較分析하여 그 使用可能性을 究明하고자 試驗한 것이다. 이 試驗에서 鐵筋의 附着強度는 各 被覆塗料別로 材齡 7일, 14일, 28일 強度를 比較하였고, 浸蝕試驗은 各 被覆塗料別로 淡水, 海水, 鹽水 10%와 20%에 浸漬시켜 30일, 60일, 120일 후

의 浸蝕상태를 比較해 보았다.

이에 對한 試驗結果를 要約하면 다음과 같다.

(1) Epoxy 樹脂와 Z.R.P. 防蝕塗料로 被覆된 鐵筋의 附着強度는 普通鐵筋과 類似한 값을 나타냈고, Silicone 樹脂는 20% 以上 낮은 값을 나타내었다.

(2) Epoxy 樹脂 I, II의 被覆塗料는 海水에 對한 防蝕效果가 認定되었고, Z.R.P는 약간의 浸蝕現象을 나타냈지만 그 以上 擴散은 거의 되지 않았다. Epoxy 樹脂 III와 Silicone 樹脂는 거의 防蝕效果가 없는 것으로 나타났다.

(3) 鹽度別 浸蝕狀態는 海水에서 가장 많이 浸蝕되었고, 海水에 소금을 넣어 鹽度(10%, 20%)를 높일수록 浸蝕現象이 줄어들었다.

(4) 이 試驗을 통하여 海水에 接하는 鐵筋構造物에 使用되는 鐵筋의 被覆材料로서는 Epoxy 樹脂 I, II가 適合하고, Z.R.P도 使用 可能하다고 思料된다.

(5) 海岸에 鐵筋콘크리트 構造物이 앞으로 干拓事業과 더불어 많이 築造될 展望이므로 腐蝕專家와 함께 이 研究가 長期間에 걸쳐 施行되어야 하며 實用化를 위하여 經濟的 分析과 被覆方法등에 對한

研究도 必要하다고 思料된다.

參 考 文 獻

1. 高在君(1972), 서해 조수에 의한 콘크리트 부식 방지법에 관한 연구, 韓國農工學會誌, 第14卷 第2號, pp.30~41.
2. 高在君, 黃慶九(1973), 서해 조수에 의한 콘크리트 침식방지법에 관한 연구, 韓國農工學會誌 第15卷, 第2號, pp.70~82.
3. ——(1974), 콘크리트 내구성시험, 韓國農工學會誌 第16卷, 第2號, pp.8~12
4. 關博(1970), 海水의 作用의 作用을 受け及ぶ コンクリートの中性化 について, 日本土木學會論文報告集, No.181, pp.91~98.
5. 徐英甲, 申鉉默(1982), 最新콘크리트工學, 治庭文化社, pp.1~9.
6. 全賢雨(1972), 콘크리트 材齡에 따른 이형철근 부각강도에 관하여, 韓國農工學會誌, 第20卷 第4號 pp.58~63.
7. 台成樹脂工業技術研究會(1978), 台成樹脂便覽, 大光書林, pp.222~248.
8. 橫山文可(1933), 應用セメント工學 興學館, pp.332~333.
9. 黃俊性(1978), 防鏽塗料의 效果, 韓國腐蝕學會誌, 第7卷, 第2號, pp.18~23.
10. 黃俊性, 崔弘模(1978), 金屬前處理塗料, 韓國腐蝕學會誌, 第7卷, 第3號, pp.21~26.
11. ——(1979), 防蝕塗料, 韓國腐蝕學會誌 第8卷 第2號, pp.27~36.
12. Ailor, W.H. (1971), Handbook on Corrosion Testing and Evaluation, John Wiley and Sons, Inc., pp.113~124, 507~516.
13. Chung, H.W. (1975), Epoxy-Repaired Reinforced Concrete Beams, ACI Journal Proceedings, Vol.72, No.5, May, pp.233~234.
14. ——(1981), Epoxy Repair of Bond in Reinforced Concrete Members, ACI Journal Proceedings, Vol.78, No.1, pp.79~82.
15. Chung, H.W. and L.M. Lui (1977), Epoxy-Repaired Concrete Joints Under Dynamic Loads, ACI Journal Proceedings Vol.74, No.6, pp.313~316.
16. ——(1978), "Epoxy-Repaired Concrete Joints, ACI Journal Proceedings, Vol.75, No.7, pp.264~267.
17. Kotahari, N.C. and Bonel, E.A. (1978), Strength Properties of Concrete Reinforced with Epoxy-Coated Steel Fibers, ACI Journal Proceedings, Vol.75, No.10, pp.550~553.
18. Spetter, Frank N. (1951), Corrosion (Causes and Prevention), McGraw-Hill Book Co., Inc., 3rd Edition, pp.365~376.