

海砂를 사용한 鐵筋콘크리트에서 鹽化物的 舉動에 관한 實驗的 研究

A Experimental Study on the Activity of Chloride in Reinforced Concrete Using Sea-sand

金 文 漢

〈서울大學校建築學科 教授, 工博〉

1. 序 論

건설공사의 증가로 콘크리트의 수요가 대폭 증가하게 되어 구조재료로써 주종을 이루고 있는 콘크리트내에서의 잔골재의 중요성은 매우 크다고 할 수 있다. 그러나 기존의 주요 골재 자원으로 사용되고 있는 하천골재 및 육산골재 등은 점차로 고갈되고 있으며, 개발 및 수송에 드는 비용의 증가로 경제성이 점차로 낮아지고 있다. 또한 이의 개발에 따른 환경의 파괴가 문제점으로 대두되고 있다. 이러한 현실로 비추어 볼 때 대체골재의 개발은 매우 시급하며 3면이 바다로 둘러싸인 우리나라의 경우에는 대체 골재로서 해사의 사용이 불가피하다고 볼 수 있을 것이다.

그러나 세척하지 않은 해사를 사용할 경우 鐵筋 콘크리트중에 염화물이 허용치 이상 포함되게 되고 이러한 염화물의 작용으로 腐蝕이 일어나게 되며 鐵筋 콘크리트의 균열 등이 수반되어 鐵筋콘크리트 구조물이 요구하는 바 제 기능을 다할 수 없게 된다. 이러한 이유로 인해 해사를 잔골재로 사용하는 경우는 해사에 함유된 염화물의 영향을 제어하는 대책이 요구된다.

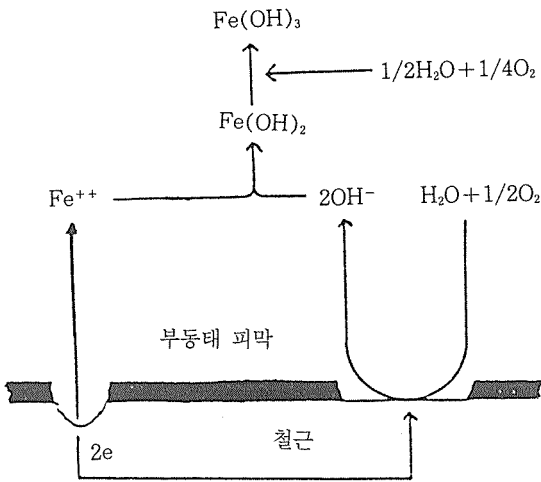
따라서 본 연구에서는 鐵筋 콘크리트 속에서 염화물이 腐蝕을 일으키는 메카니즘을 규명하고 염화물이 鐵筋腐蝕에 미치는 국내 해사를 사용한 실험을 통해 조사하여 鐵筋腐蝕을 일으키는 임계 염화물 함량을 파악하며 鐵筋 콘크리트의 양생조건과 재령에 따른 염화물의 활동에 대하여 고찰함으로써 鐵筋 콘크리트 속의 염화물의 영향을 제어할 수 있는 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 鐵筋腐蝕 메카니즘 糾明

2. 1 콘크리트 속에서 鐵筋腐蝕

철의 표면에는 다음과 같은 반응에 의해 이루어지는 산화 제2철의 부동태 피막으로 덮혀 있어 腐蝕으로부터 보호되는데 이 막은 분자형태로 결합되어 있어서 결합부분이 많고 이 부분에 물이 존재하게 되면 국부전지를 형성하여 다음과 같은 반응에 의해 녹이 발생한다.

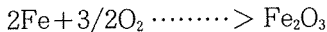
이러한 반응 機構를 개념적으로 그려보면 <그림 2. 1>과 같다. 이러한 반응에 의해 腐蝕이 진행되면 鐵筋의 박리현상이 발생하여 콘크리트의 체적이 팽창하게 되어 균열이 발생하게 되고 이러한 부분으로 수분, 탄산가스 등



<그림 2. 1> 콘크리트 속에서의 鐵筋腐蝕

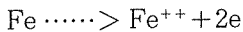
유해성분이 침투하게 되어 腐蝕이 더욱 촉진되게 된다.

- 부동태 피막의 형성

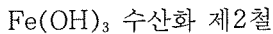
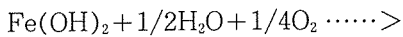


- 腐蝕의 진행

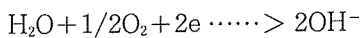
양극부 (결합부분, ANODE)



제1철



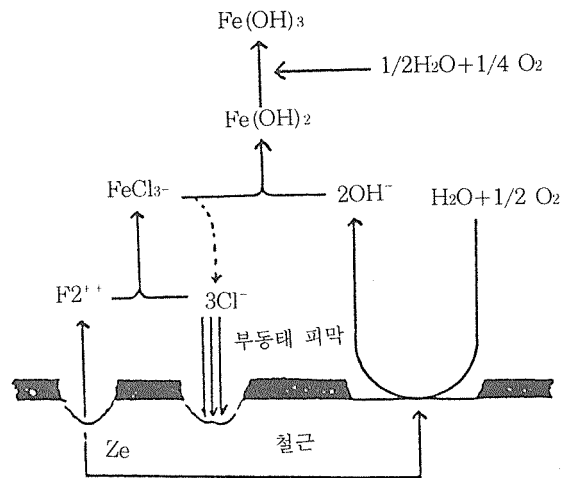
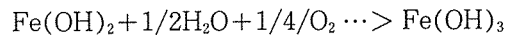
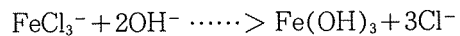
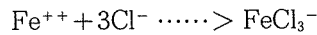
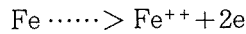
음극부 (안정부분, CATHODE)



2. 2 鹽化物로 인한 鐵筋腐蝕 메카니즘의 糾明

일정량 이상의 鹽化物이 존재하는 경우 鹽化物的 작용으로 부동태피막이 파괴되어 腐蝕이 촉진되며 鹽化物은 腐蝕을 가속화시키는 촉진제 역할을 하므로 鹽化物이 腐蝕의 진행에 미치는 영향은 더욱 크게 된다. 일반 腐蝕에서의 마이크로 셀(micro cell)과는 달리 콘크리트와 같이 不均質한 복합체 안에서의 腐蝕에서는 상황에 따라 양음 두 전극의 거리가 먼 매크로 셀(macro cell)이 구성되는데 특히 鹽化物이

있게 되면 양극부와 음극부의 면적비가 작게 되어 腐蝕은 좁고 깊은 孔蝕(pitting)의 형태를 띄게 된다. 鹽化物로 인한 腐蝕은 다음과 같으며, <그림 2. 2>는 鹽化物로 인한 鐵筋腐蝕의 메카니즘을 도식적으로 그린 것이다.



<그림 2. 2> 鹽化物로 인한 鐵筋腐蝕

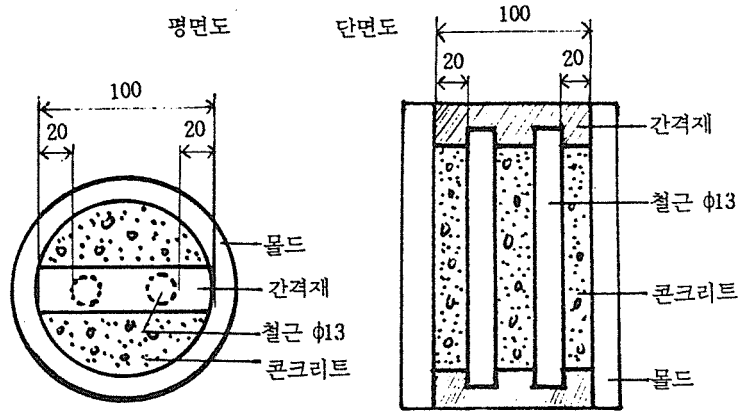
3. 海砂중의 鹽化物의 舉動에 관한 實驗

3. 1 實驗 計劃

국내해사에 의한 鐵筋腐蝕을 조사하고 鐵筋腐蝕을 유발하는 임계염화물 함량을 파악하며 양생조건을 달리 하였을 때의 腐蝕정도를 검토

<표 3. 1> 실험인자 및 수준

인 자	수 준
물시멘트비	0.6
피복 두께	2(cm)
Cl-량	0, 0.15, 0.3, 0.6, 1.2(kg/m³)
양 생 조 건	습윤양생, 해수침지, 촉진양생중 해수침지
촉진기간	2, 4(사이클)



<그림 3. 1> 공시체 제작도

하기 위하여 <표 3. 1>과 같은 인자와 수준으로 실험을 하였다.

배합에 대하여 원주형 공시체(Φ10×20cm)를 3개씩 제작하였다.

3. 2 使用 材料

시멘트는 KSL 5201에 규정에 합당한 H사의 보통 포틀란트 시멘트를 사용하였다. 海砂는 울산에서 채취한 해사로서 조립율 3.24, 표준비중은 2.61, 흡수율 0.77%이고, 단위용적중량은 1654kg/m³이며, 염화물량은 0.228%인 미세척사와 0.012%인 세척사를 사용하였으며 염화물량은 산술평균으로 조정하여 사용하였다. 또한 강모래는 조립율 2.63, 깎자같은 표준비중 2.73의 것을 사용하였다. 사용골재는 최대크기를 각각 2.5mm, 25mm로 입도 조절을 하여 사용하였다.

혼합수는 유해량의 기름, 유기물등 불순물이 함유되지 않은 상수도용 물을 사용하였고 鐵筋 Φ13의 원형철근(SS 41)으로 표면에 발생된 腐蝕물질이나 이물질등을 제거하기 위하여 외부표면을 400번, 600번의 사포로 연마한 후, 아세톤으로 세정하여 표면의 불순물을 제거한 후 사용하였다.

3. 3 배합 계획

콘크리트의 배합은 목표 슬럼프값을 18cm으로 하여 <표 3. 2>와 같이 하였고 각각의

<표 3. 2> 기준 배합설계표

분 류	강 사	해 사
물시멘트비(%)	60	60
잔골재율S/a(%)	41.5	44.5
단위수량(kg/m ³)	200.4	200.4
시멘트(kg/m ³)	334.0	334.0
잔 골 재(kg/m ³)	743.6	797.5
굵은골재(kg/m ³)	1028.2	975.4

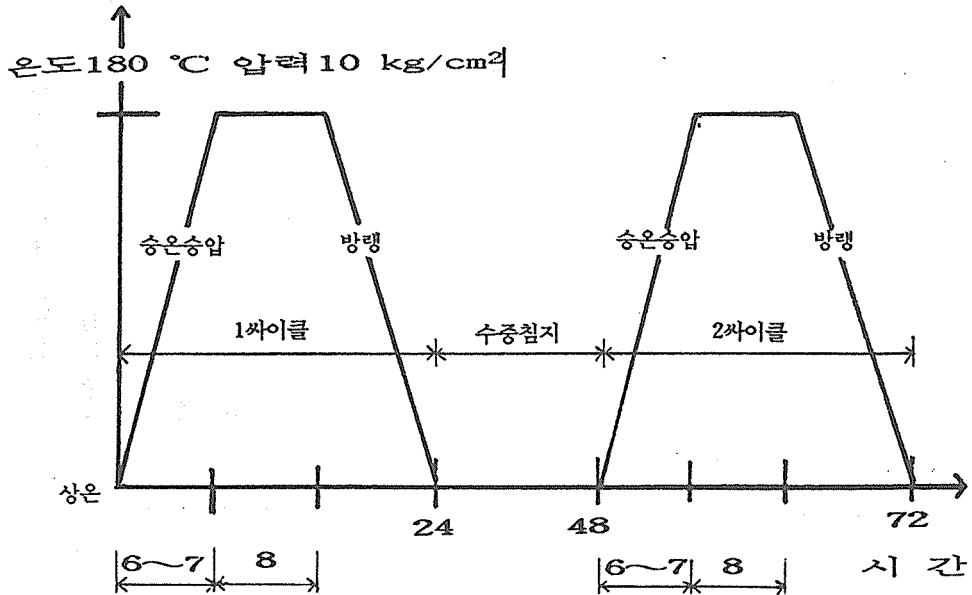
3. 4 공시체 제작 및 양생

3. 4. 1 공시체 제작

KSF 2561 부속서 2에 의거하여 원형 철근을 길이 18cm으로 자르고 양끝을 모떼기 가공을 한 후 피복두께가 2cm가 되도록 <그림 3. 1>과 같이 하여 수직으로 평행하게 2개를 집어넣어서 제작하였으며, 재령 1일에 상부캐핑(capping), 2일에 하부 패킹, 3일에 탈형하였다.

3. 4. 2 양생

공시체는 각각 재령 3일로 탈형하고 28일까지 20±3℃로 습윤양생 후 촉진양생을 하는



<그림 3. 2> 오토클레이브 조건

습윤양생 방법, 재령 3일로 탈형하고 28일까지 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 로 습윤양생 후 촉진양생하면서 수중침지시 해수에 침지시켜 양생하는 촉진양생 중 해수침지양생 방법, 재령 3일로 탈형하고 28일까지 해수침지양생 후 촉진양생하면서 수중침지 시 해수에 침지시켜 양생하는 해수침지양생 방법의 3가지로 양생한 후 철근부식시험 장치로 촉진시험을 하였으며 KSF 2561 부속서 2에 규정된 <그림 3. 2>의 조건을 갖춘 오토클레이브 장치를 사용하였다.

3. 5 腐蝕面積의 測定

촉진시험을 하고 만능시험기(UTM)로 공시체를 파괴하여 鐵筋을 꺼내어 腐蝕面積을 측정하였다. 腐蝕面積 측정은 鐵筋에 투명한 모눈 종이를 대고 부식면적을 묘사한 부식도를 그리고 부식면적의 폐곡선 내부의 결점 수를 측정하여 다음 식을 이용하여 부식면적율을 산출하였다.

$$\text{부식면적율} = \frac{\text{부식면적의 결점수}(n)}{\text{측정면적의 결점수}(N)} \times 100(\%)$$

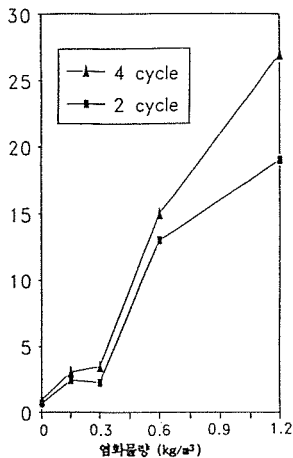
4. 실험 결과 및 고찰

4. 1 염화물 함량에 따른 鐵筋의 부식

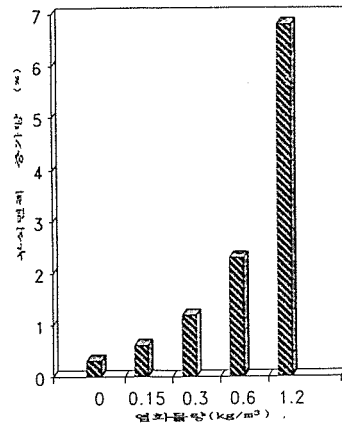
염화물 함량에 따른 鐵筋의 부식면적율은 <표 4. 1> 및 <그림 4. 1>과 같다. 오토클레이브 2 사이클인 경우 염화물함량이 0.15,

<표 4. 1> 염화물량에 따른 부식면적율

기 호	내 용	염화물량 (kg/m ³)	양생방법	오토클레이브 사이클 수	평균부식 면 적 율 (%)
CL 000 WW 2		0	습윤양생	2	0.6
CL 000 WW 4		0		4	0.9
CL 015 WW 2		0.15		2	1.6
CL 015 WW 4		0.15		4	2.1
CL 030 WW 2		0.3		2	1.3
CL 030 WW 4		0.3		4	2.4
CL 060 WW 2		0.6		2	13.2
CL 060 WW 4		0.6		4	14.9
CL 120 WW 2		1.2		2	20.1
CL 120 WW 4		1.2		4	27.2



<그림 4. 1> 염화물 함량에 따른 철근의 부식면적율



<그림 4. 2> 축진양생 사이클 증가에 따른 부식면적율의 증가

<표 4. 2> 축진양생 사이클 증가에 따른 철근의 부식 증가량

염화물함량 (kg/m³)	오토클레이브사이클 증 가	부식면적율증가량 (포인트%)
0.15	2 → 4	0.5
0.3	2 → 4	1.1
0.6	2 → 4	1.7
1.2	2 → 4	7.1

0.3, 0.6, 1.2kg/m³으로 증가할 때 부식면적율은 각각 1.6, 1.3, 13.2, 20.1%로 되었고, 오토클레이브 4 사이클인 경우 염화물 함량이 0.15, 0.3, 0.6, 1.2kg/m³으로 증가할 때 부식면적율은 2.1, 2.4, 14.9, 27.2%로 각각 증가하였다.

염화물 함량이 0.3kg/m³이하인 경우, 염화물 함량의 증가에 따른 부식의 증가는 그리 크지 않으며 오히려 감소하는 경우도 있는 것으로 미루어 볼 때 염화물의 활동은 미미하며 콘크리트의 품질에 별다른 악영향을 주지 않는 것으로 생각되나 염화물 함량이 0.3kg/m³을 넘어서게 되면 염화물 함량의 증가에 따른 腐蝕의 증가가 급격하게 일어나므로 염화물의 활동이 활발하게 일어난다고 보여진다. 염화물이

일정정도(0.3kg/m³)이하에서는 그 활동이 미미하나 일정정도를 넘어서게 되면 활동이 급격히 활발해지는 것은 염화물이 존재하는 상황에서 일정량의 염화물이 부동태 피막을 파괴하면 이 파괴부분으로 염화물이 이동하면서 집중되어 腐蝕을 촉진하고 전파하기 때문으로 사료된다.

4. 2 축진양생 사이클 증가에 따른 鐵筋의 부식 증가량

오토클레이브 2 사이클에서 4 사이클로 양생기간을 길게 할 때 축진양생 사이클 증가에 따른 철근부식면적율의 증가를 보면 <표 4. 2> 및 <그림 4. 2>와 같다.

염화물함량이 각각 0.15, 0.3, 0.6, 1.2kg/m³인 경우에 부식면적율의 증가량은 각각 0.5, 1.1, 1.7, 7.1 포인트% 증가하였다. 따라서 이 결과는 염화물 함량이 높을수록 시간의 경과에 따른 鐵筋의 腐蝕이 증가한다는 것을 의미하므로 초기 철근콘크리트 타설 단계에서부터 염화물에 대한 고려가 필요하다고 사료된다.

4. 3 養生條件에 따른 鐵筋의 腐蝕

염화물 함량은 0kg/m³으로 하고 양생조건

을 습윤양생, 해수침지 양생, 촉진양생 중 해수침지 양생으로 각기 달리 하였을 때의 철근 부식 결과는 <표 4. 3> 및 <그림 4. 3>과 같다. 촉진양생 중 해수침지양생을 한 것은 오토클레이브 2, 4사이클에서 부식면적율은 각각 11.5, 16.3%이었으며 해수침지양생을 한 것은 각각 79.7, 92.1%였다.

이러한 결과는 콘크리트가 경화한 이후에 외부에서 침투하는 염화물보다 초기양생 과정에서 침투하는 염화물에 의한 鐵筋의 腐蝕이 훨씬 많이 일어난다는 것을 의미하며 이것은 염화물이 콘크리트가 수화반응 기구를 따라 이동하면서 철근의 腐蝕에 직접 관여하며 촉진제 역할을 하여 일어난 현상으로 생각되며 따라서 콘크리트 중의 염화물로 인한 철근의 腐蝕은 이온상태로 존재하는 活性 염화이온(active chloride ion)에 기인하므로 염화물은 단순히 골재 속에 포함된 염분 뿐만 아니라 혼화제 속의 염분, 시멘트 속의 염분, 혼합수 속의 염분

등 콘크리트 재료 전체에서 들어오는 염화물이온(Cl⁻)량으로 산정해야만 한다고 사료된다.

5. 결 론

鐵筋 콘크리트 속에서 염화물이 腐蝕을 일으키는 메카니즘을 규명하고 염화물이 철근부식에 미치는 영향을 조사하여 鐵筋腐蝕을 일으키는 임계 염화물 함량을 파악하며 양생조건과 재령에 따른 염화물의 거동에 대하여 고찰한 본 연구에서 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 염화물 함량에 따른 鐵筋의 부식면적율은 오토클레이브 2 사이클인 경우 염화물함량이 0.15, 0.3, 0.6, 1.2kg/m³으로 증가할 때 부식면적율은 각각 1.6, 1.3, 13.2, 20.1%로 되었고 오토클레이브 4 사이클인 경우 염화물함량이 0.15, 0.3, 0.6, 1.2kg/m³으로 증가할 때 부식면적율은 2.1, 2.4, 14.9, 27.2%로 각각 증가하였다.

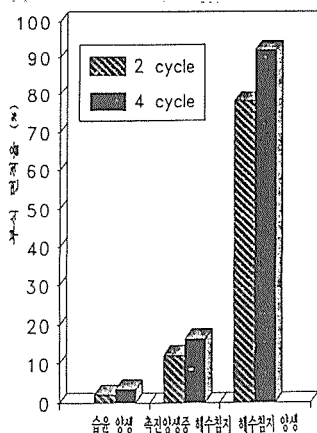
이것은 염화물이 일정정도(0.3kg/m³)이하에서는 그 활동이 미미하나 일정정도를 넘어서게 되면 활동이 급격히 활발해지는 것을 보여주며 이러한 현상은 염화물이 존재하는 상황에서 일정량의 염화물이 부동태 피막을 파괴하면 파괴부분으로 염화물이 이동하면서 집중되어 腐蝕을 촉진하고 전파하기 때문으로 사료된다.

2) 오토클레이브 2 사이클에서 4 사이클로 양생기간을 길게 하면, 염화물 함량이 0.15, 0.3, 0.6, 1.2kg/m³인 경우에 부식면적율의 증가량은 각각 0.5, 1.1, 1.7, 7.1 포인트% 증가하였다. 이 결과는 염화물 함량이 높을수록 시간의 경과에 따른 鐵筋의 腐蝕이 증가한다는 것을 의미하므로 초기 鐵筋콘크리트 타설 단계에서부터 염화물에 대한 고려가 필요하다고 사료된다.

3) 염화물함량은 0kg/m³으로 하고 양생조건을 습윤양생, 해수침지 양생, 촉진양생 중 해수침지 양생으로 각기 달리 하였을 때 오토클레이브 2, 4 사이클에서의 부식면적율은 촉

<표 4. 3> 양생조건에 따른 鐵筋의 腐蝕

사이클 수	습윤양생시 철근부식 면적율(%)	촉진양생 중 해수침지시 철근부식면적율(%)	해수침지 양생시 철근 부식 면적율(%)
2	0.6	11.5	79.7
4	0.9	16.3	92.1



<그림 4. 3> 양생조건에 따른 鐵筋의 腐蝕

진양생 중 해수침지양생을 한 것은 각각 11.5, 16.3% 해수침지양생을 한 것은 각각 79.7, 92.1% 였다.

이러한 결과는 콘크리트가 경화한 이후에 외부에서 침투하는 염화물보다 초기 양생과정에서 침투하는 염화물에 의한 鐵筋의 腐蝕이 훨씬 많이 일어난다는 것을 의미하며 이것은 염화물이 活性 염화이온(active chloride ion)으로 되어 콘크리트의 수화반응 기구를 따라 이동하면서 鐵筋腐蝕에 직접 관여하여 일어난 현상으로 생각되며 따라서 염화물은 단순히 골재 속에 포함된 염분 뿐만 아니라 시멘트 속의 염분, 혼합수 속의 염분, 혼화제 속의 염분 등 콘크리트 재료 전체에서 들어오는 염화물이온(Cl⁻)량으로 산정해야만 한다고 사료된다.

또한 해사중에 구속되어 있던 염화물이 어느 정도의 비율로 解離되어 活性 염화이온으로 되는가, 또 어느 시점 어떤 조건에서 活性 염화이온으로 되는가 하는 것은 지속적인 연구 검토가 필요하다고 사료된다.

< 參 考 文 獻 >

1. R. Shalon & M. Raphael, "Influence of sea water on corrosion of reinforcement", ACI Journal, June 1959.
2. Brian B. Hope 外 : "Corrosion Rate of Steel in Concrete", 「CEMENT and CONCRETE RESERCH」, Vol.16, 1986.
3. H. H. Uhlig : "Corrosion & Corrosion Control" Wiley, New York 1985.
4. E. Atimtay & M. Ferguson, "Early Chloride Corrosion of Reinforced Concrete-A Test Report" ACI Journal Sept. 1973.

5. Special Issue on Effect of Chloride on Corrosion, Concrete Construction, V.27, No.10, Oct.1982.
6. 川上光男 : 海岸域構造物の金屬腐蝕と防食に關する基礎的研究. 1984. 2
7. 森永繁 : 鐵筋の腐蝕速度に基づいた鐵筋コンクリート建築物の壽命豫測に關する研究 1986. 11
8. 岸谷孝一外 : 鹽害(Ⅱ), 技報堂出版, 1991.
9. セメント協會 : セメントコンクリート化學とその應用 鐵筋の腐蝕と防蝕 No. 10—No. 12, 昭和 62年 8月.
10. 是石俊文 外 2人 : "海砂の脱鹽に關する實驗", セメント・コンクリート No. 332, 1973. 12
11. 狩野春一, "海砂の鐵筋コンクリート工事への利用に關する研究ろ", 日本建築學會論文報告集, Vol. 25, No. 28, 1956.
12. 石川達雄, "コンクリート用細骨材としての海砂の問題點", コンクリートジャーナル, Vol. 11, No. 10, 1973.
13. 堅野紀元, '鐵筋コンクリート構造物の耐久性に關する研究', 東京大學校 博士學位論文, 1979.
14. 金文漢 外 2人 : 海砂活用技術研究(Ⅰ), 1991
15. 金文漢 外 4人 : 海砂活用技術研究(Ⅱ), 1992
16. 李在龍 : 鐵筋 콘크리트에 있어서 鹽分이 鐵筋腐蝕에 미치는 影響에 관한 研究, 서울大學校 碩士學位論文, 1992
17. 李鐘國 : 鐵筋 콘크리트 中の 鹽化物 固定化에 관한 實驗的 研究 서울大學校 碩士學位論文, 1993.