

콘크리트用 骨材로서 海砂의 特性에 관한 考察

崔 在 眞

<천안공업전문대학 토목과, 공학박사>

目	次
1. 序 言	5-2. 硬化後의 物性
2. 鹽化物量에 대한 規定	5-3. 조개껍질의 影響
3. 鹽化物에 의한 鐵筋의 腐食機構	6. 鐵筋腐食의 防止對策
4. 海砂의 特性	6-1. 鹽分의 除去
4-1. 鹽分 含有量	6-2. 기타의 方法
4-2. 物理的 性質	7. 結言
5. 海砂를 사용한 콘크리트의 性質	<參考文獻>
5-1. 凝結	

1. 序 言

건설사업의 꾸준한 증가와 더불어 최근의 건축붐으로 콘크리트의 소요량이 급격히 증가한 가운데 수도권 신도시의 아파트 건설공사에 配合比의 문제가 있는 레디 믹스 콘크리트가 공급된 일이 있었으며 특히 염분이 많은 해砂가 콘크리트용 골재로 대량 사용되어 커다란 사회적 문제가 된바 있다.

海砂는 철근콘크리트용 골재로 사용할 때 고려해야할 문제점이 몇가지 있다. 즉 粒度가 좋지 않은 경우가 있고 조개껍질이 혼입되어 있는 점 그리고 鹽分을 함유함으로써 콘크리트 중의 철근이 녹슬어 구조물의 耐久性을 저하시키는 원인이 된다는 점이다. 이 가운데서도 鹽分에 의한 철근의 부식문제는 매우 우려되는 바로서 레디 믹스 콘크리트에 대한 工業規格 및 콘크리트 標準示方書 등에서는 海砂의 鹽分含有量에 대한 규정을 두고 있다.

한편 鹽化物은 海砂 뿐만 아니라 사용하는 混和劑 등으로부터도 적지 않게 혼입되는 경우가 있고 또 구조물의 耐久性 向上에 대한 요구가 커짐에 따라 외국에서는 각 規準에서 콘크리트에 포함되는 鹽化物總量에 대한 규제치를 새로이 규정하는 추세이다.

本稿에서는 콘크리트용 골재로서의 海砂의 特性을 이해하기 위하여 각 規準에서의 鹽化物量에 대한 制限規定을 알아보고 海砂의 物理的 特性, 이를 사용한 콘크리트의 諸性質 및 鐵筋腐食에 미치는 影響과 對策 등에 대하여 고찰하고자 한다.

2. 鹽化物量에 대한 規定

鹽化物量에 대해서 레디 믹스 콘크리트에 대한 韓國工業規格(KS F 4009), 土木工事의 規準인 콘크리트標準示方書 및 建築工事의 規準인 建築工事標準示方書에서는 각각 日本의 該當規準인 JIS A 5308(레디 믹스 콘크리

트), 日本土木學會의 콘크리트標準示方書 및 日本建築學會의 建築工事標準仕様書(JASS 5, 鐵筋콘크리트工事)와 유사하게 鹽化物量에 대한 제한치를 規定해 오고 있기 때문에 여기서는 이들 日本規準을 중심으로 살펴보기로 한다.

먼저 海砂의 許容鹽分量에 대한 규정의 변화과정을 정리하면 표-1과 같다.

築學會, 시멘트協會, 全國레미콘工業組合聯合會가 합동하여 “海砂에 관한 調査研究委員會”를 설치하였다. 그 목적은 구제치 0.01%가 너무 엄격하여 지키기 어렵기 때문에 현실에 맞는 허용치를 정하는 것이었다고 한다.

이 委員會는 海砂에 관한 외국의 현황조사 및 자국내의 鹽害實態調査結果등을 토대로 海砂中の 허용염분량을 NaCl 환산치로 모래중

표-1 海砂의 許容鹽分量(NaCl/海砂의 絕對乾燥重量比)⁽¹⁾

制定年度	일본토목학회 콘크리트 標準示方書	일본건축학회 JASS 5	레디 믹스 콘크리트 JIS A 5308
1957		0.01% 이하	
1974	RC구조물 : 0.1% 이하		
1975		잔골재 1급 : 0.02% 이하 2급, 3급 : 0.10% 이하	
1978	프리텐션방식의 PC구조물 : 0.03% 이하 기타 : 0.10% 이하		토목용 : 0.10% 이하 건축용 : 0.04% 이하(승인을 얻었을 때 : 0.10% 이하)
1979		잔골재 1급 : 0.04% 이하 2급, 3급 : 0.10% 이하	
1986	프리텐션 방식의 PC구조물 : 0.04% 이하 기타의 RC, PC구조물 : 0.10% 이하	일반구조물 : 0.04% 이하 방청상 특별조치를 하는 경우 : 0.10%이하 高耐久性콘크리트, 프리텐션방식 PC 구조물 : 0.02%이하	위와 동일

지금부터 30년 이상된 JASS 5, 1957년 개정판을 보면 철근콘크리트에 사용하는 海砂에 함유된 염분량의 허용치는 NaCl로 환산하여 모래중량의 0.01%라고 규정되어 있었다.

歐美에서 철근부식을 방지한다는 관점에서 염분량의 규제치를 둔 것은 1965년 Greater London Council에 의한 暫定案이 최초일 것이며 여기에는 海砂中の NaCl 허용치를 모래중량의 0.1%로 규정하였다.⁽²⁾

한편 1972년도에는 日本콘크리트會議(현재의 콘크리트工學協會)안에 土木學會, 日本建

량의 0.1%라고 발표하며 JASS 5보다 상당히 후퇴한 값을 제시하였다.

日本土木學會의 콘크리트標準示方書에서는 이 委員會의 회신에 따라 1974년 개정에서 海砂의 허용염분량을 NaCl 환산치로 모래중량의 0.1%로 하였다. JASS 5의 1975년 개정에서는 허용치를 0.02%(조건을 붙인 경우 0.1%)로 하였다가 방청대책을 세우지 않는 경우의 허용염분량을 0.04%로 다시 개정하였다.

JASS 5에서 보다 엄격한 값을 취한 것은

建築物이 土木構造物에 비하여 부재단면이 작 으며 철근량이 많고 슬럼프가 큰 콘크리트를 사용하기 때문에 철근부식을 초래하기 쉬움을 고려한 것이라고 한다.

JIS A 5308 레디 믹스 콘크리트도 1978 년 개정하여 海砂中の 허용염분량은 토목용 콘크리트에 대해서는 0.1%, 건축용 콘크리트 에 대해서는 0.04%로 규정하였다. 이 규격은 1989년에도 개정이 되었는데 허용염분량에 대해서는 규정의 변화가 없었다.⁽⁶⁾

한편 콘크리트중의 염화물은 海砂에 의해 유래하는 것 외에도 표-2에 나타난 바와 같 이 混和劑에 의해 혼입되는 경우도 많다.

크리트로 환산하면 0.75kg/m³)이하이면 不動態膜이 존재한다고 하였다. 佐伯등⁽⁴⁾은 각종 Cl량, 鐵筋應力狀態의 철근모르터 공시체의 실험으로부터 모르터중의 철근발칭한계를 0.14% (Cl/시멘트중량비, 약 0.5kg/콘크리트 1m³)라 하였다.

宮天⁽⁵⁾은 혼합수, 균열폭을 변화시킨 철근 콘크리트 공시체의 연구에서 철근의 부식이 급격한 한계로서 1.2-2.5kg/m³(Cl/콘크리트)를 제안하였다. 大和등은 海砂를 사용한 철근콘크리트 보의 暴露試驗으로부터 海砂의 염분량이 0.06% (Cl/모래의 絶乾重量比, 0.8-2.3kg Cl/콘크리트 1m³)이하이면 부식의

表-2 混和劑로부터의 鹽分導入량의 예⁽¹⁾

종 류		염분함유량(%)		표준사용량 (C*%)	C=350kg/m ³ 인 경우의 도입량(g/m ³)	비 고
		CaCl · 2H ₂ O	Cl환산			
A E 減 水 劑	조강형	17.1	8.3	2.0	578	리그단계
	표준형	17.5	8.5	0.25	74	리그단계
	표준형	30.8	14.9	0.25	130	옥시칼본산계
	표준형	14.1	6.8	0.40	95	리그단계
	표준형	23.8	11.5	0.25	101	리그단계
	표준형	0	0	0.15	0	리그단계
	표준형	0	0	0.04	0	비이온계
	표준형	0	0	0.1	0	특수유기산계
	지연형	2.4	1.2	0.25	10	리그단계
유동화제		0	0	-	0	각 종

(주) C : 단위시멘트량

특히 早強型減水劑에는 다량의 염분(CaCl₂)을 함유하는 것이 있어서 海砂의 염분량의 규제 뿐만 아니라 다른 재료로부터 도입되는 염화물량에 대해서도 규제가 필요하다. 그래서 1986년 콘크리트標準示方書, JASS 5, JIS 레디믹스 콘크리트 등에서 콘크리트중의 鹽化物總量에 대한 규정을 추가하였는데 이때 참고가 된 연구결과는 다음과 같다.

大郎등⁽³⁾은 W/C, 사용수(수도물, 海水 등), 양생방법을 변화시킨 모르터중의 鋼材腐食分極曲線에서 0.05% (Cl/모르터중량비, 콘

정도는 경미하다고 보고하였다.⁽¹⁾

한편 美國聯邦道路局은 融水劑의 작용을 받는 稿梁床版의 조사로부터 酸溶性 Cl량 0.15% (시멘트중량비)이하이면 철근부식이 적다고 하였고 또 ASTM은 강재부식의 위험성이 적은 酸溶性 Cl량의 한계치로서 철근콘크리트 구조물의 경우 0.20% (Cl/시멘트중량비), 프리스트레스트 콘크리트 구조물의 경우 0.08% (Cl/시멘트중량비)를 제안하였다.⁽⁴⁾

이상의 연구결과를 토대로 각 規準에서 다음과 같이 콘크리트중의 염화물량을 규정하여

현재 이를 적용하고 있다.

1986년 개정된 일본의 콘크리트標準示方書는 “혼합시에 콘크리트중에 염화물 함유량의 허용한도는 구조물의 종류, 중요도, 환경조건, 기타에 따라 적절한 값을 정한다”라고 하여 기술자의 판단에 맡기고 있으나 解説에서는 “일반 콘크리트 및 포스트텐션방식 프리스트레스트 콘크리트에 대해서는 염소 이온중량으로 0.6kg/m³이하, 耐久性이 특히 요구되는 철근콘크리트나 포스트텐션방식의 프리스트레스트 콘크리트로서 鹽害나 電食의 염려가 있는 경우 및 프리텐션방식에 의한 프리스트레스트 콘크리트의 경우는 0.3kg/m³ 이하로 하는 것이 표준”이라고 하고 있다.

또 海砂는 Cl 환산치로 모래 절대건조중량의 0.02% 이하로 하는 것을 목표로 除鹽(염분총량을 0.3kg/m³ 이하로 규제하는 경우)하며 혼화제는 염분량이 0.2kg/m³이하인 것을 사용하도록 하고 있다.

1986년 개정된 일본건축학회의 JASS 5는 콘크리트에 함유된 염화물량은 Cl량으로서 0.3kg/m³이하, 방청상 유효한 대책을 강구하는 경우는 0.6kg/m³이하로 규정하고 있다.

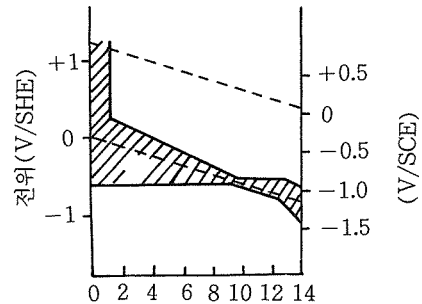
한편 1986년에 JIS A 5308 레디 믹스 콘크리트도 콘크리트표준시방서, JASS 5에 맞도록 개정되었다. 즉 콘크리트에 포함된 염분량은 공사지점에서 염소이온량으로 0.3kg/m³ 이하이어야 하며 구입자의 승인이 있는 경우에는 0.6kg/m³이하로 할 수 있다고 하였다.

우리나라에서는 아직 콘크리트중의 염화물 총량에 대한 규정은 두고있지 않으며 현재 토목, 건축에서 각각 표-1의 일본의 1986년 개정내용과 같은 값을 규정하고 있다. 그리고 1986년 개정 한국공업규격(KS F 4009)에서는 KS F 2515(골재중의 염화물 함유량 시험방법)에 따라 시험을 하였을 때 0.04%이하이어야 하며 0.04%를 초과하는 것에 대해서는 주문자의 승인을 얻어 0.1%까지 사용할 수 있도록 하고있다.

3. 鹽化物에 의한 鐵筋의 腐食機構

(1, 7, 8)

강재의 부식에는 pH, 습도, 산소 등이 관계하며 반드시 염화물이 필요한 것은 아니지만 염화물은 강재의 부식을 발생하기 쉽게 한다. Pourbaix는 Cl를 포함한 용액과 포함하지 않은 용액중에서의 철의 anode분극곡선을 구하여 용액의 pH와 철의 電位圖를 작성하였다. (그림 1, 2 참조)

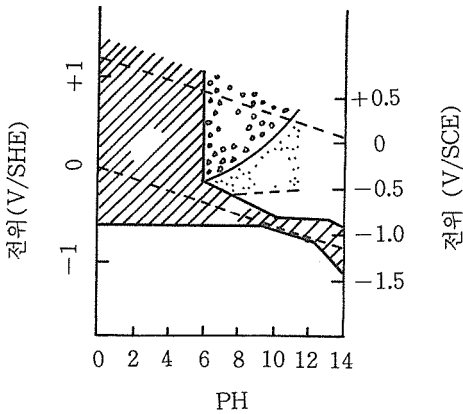


- ① 전체면부식 ③ 불활성
- ② 부동태 (= 전기防食)

그림 1 철의 電位-pH圖(Cl 이온을 포함하지 않는 경우)⁽¹⁾

Cl을 포함하지 않은 용액중에서는 광범위한 不動態膜이 존재하지만 Cl이 있는 경우에는 pH 6 이하에서 不動態膜은 존재하지 않으며 또 pH 6 이상에서도 孔食을 일으키거나 不全不動態膜으로 되는 경우가 있다.

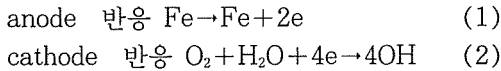
일반적으로 콘크리트중의 鋼材는 pH 12.5 이상의 강한 알칼리성 때문에 그 표면에 20-60 Å 두께의 不動態膜($\sigma\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)을 형성하여 녹슬기 어려운 상태로 된다. 그러나 이 막이 Cl이나 SO₄등에 의해 파괴되면 강재 표면적을 점하는 부동태막을 cathode로 하고 부동태막을 파괴당한 철을 anode로 하는 局



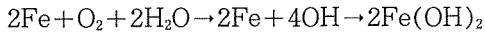
- ① 전체면부식 ④ 완전부동태
- ② 孔食 ⑤ 불활성
- ③ 불완전부동태 (=전기防食)

그림 2 철의 電位-pH圖(Cl 355ppm을 포함하는 경우)⁽¹⁾

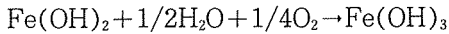
部電池가 형성되어 孔食狀態의 부식을 일으킨다.



부식의 전체반응은 철이 이산화하는 산화반응(anode반응)과 산소가 환원하는 환원반응(cathode 반응)으로 이루어지며 다음식과 같은 수산화제1철 $Fe(OH)_2$ 가 철의 표면에 석출한다.



이 화합물은 溶存酸素에 의해 산화되어 수산화제2철 $Fe(OH)_3$ 로 된다.



그 후 이 화합물은 물을 잃게되어 水和酸化物 $FeOOH$ (붉은녹) 또는 Fe_2O_3 (검은녹)이 되어 철의 표면에 녹층을 형성한다. 생성된 녹의 체적은 철의 2.5배, 경우에 따라서는 6-7배로 되어 덮개 콘크리트에 철근방향의 균열을 일으키며 더욱 부식을 촉진시키게 된다.

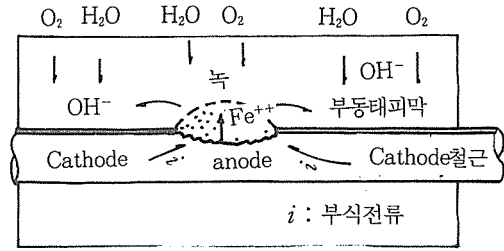


그림 3 鐵筋의 腐食電池作用⁽⁷⁾

4. 海砂의 特性

4-1 鹽分含有量

海砂의 염분함유량은 시료채취위치 및 함수량 등에 따라 큰 차이가 있는 것으로 알려져 있는데 海砂의 염분함유량을 시험한 예인 표-3에서는 염분함유량의 범위가 NaCl량으로 환산하여 0.078-0.864%의 범위에 있는 것을 보여 준다.

표-3 海砂의 염분량 시험예⁽⁹⁾

		염분량(NaCl, %)
범	위	0.078-0.864
평	균	0.23
시	험	46
회	수	

海砂에 염분을 제공하는 海水는 3.3-3.8%의 可溶性鹽分을 포함하며(표-4 참조) 그 組成成分의 상대적인 양은 거의 일정하다.

海水의 蒸發殘分의 대부분은 NaCl이며 소량의 $MgCl_2$ 와 $MgSO_4$ 가 포함되어 있다.

海砂採取時의 염분량으로서 해저에서 채취한 경우 표면수량을 10%라 하고 海水中の 염분량을 NaCl로서 3%라 가정할 때 이 염분이 혼입된다면 골재에 대하여 3%의 양이 된다.

海岸砂는 해저의 海砂보다 염분량이 적는데 그 연구의 예를 보면 그림-4와 같다.

표-4 염소량 19%의 海水 1kg에 포함된 이온량⁽¹⁾

이온	g/kg	%
Cl	18.980	55.04
Br	0.065	0.19
SO ₄	2.649	7.68
HCO ₃	0.140	0.41
F	0.001	0.00
H ₃ BO ₃	0.026	0.07
Mg	1.272	3.69
Ca	0.400	1.16
Sr	0.007	0.02
K	0.380	1.10
Na	10.556	30.61
계	34.476	99.97

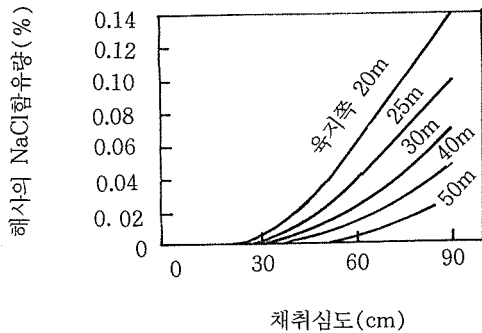


그림 4 해안선으로부터의 거리, 채취깊이와 염화물 (NaCl) 함유량(%)의 관계⁽¹⁰⁾

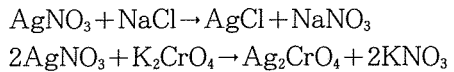
이 그림을 보면 해안선에서 40m 육지쪽으로 들어간 지점을 깊이 90cm 굴착하면 모래는 약 0.05%의 염분을 함유하는 것을 알 수 있다.

국내의 실험예로서는 해저에서 채취한 습윤 상태의 海砂의 염분량이 NaCl로서 0.57%이고 해안사의 경우 0.32%로 측정된 예⁽¹¹⁾가 있으며 운반후 海砂의 염분량이 0.13%로 측정된 예⁽¹²⁾도 있어서 海砂의 취급방법에 따라서 염분량이 크게 변화하는 것을 알 수 있다.

한편 海砂의 염분함유량 시험방법은 Mohr 방법, 試驗紙方法, Volhard 방법, 水銀適定法,

電氣傳導度法, 이온電極法, 比色法 등이 있으며 電氣傳導度計 등도 개발되어 있다.⁽¹⁴⁾

이중 가장 일반적으로 사용되는 것은 Mohr 방법으로서 이 방법은 은과 염소이온이 반응하여 염화은의 침전이 생기며 그것이 크롬산 은에서 용해되지 않는다는 원리를 이용한 것으로 크롬산칼륨을 지시약으로 하여 초산은으로 滴定한다. 이 화학반응을 나타내면 다음과 같다.



이 시험은 試驗水의 pH가 중성의 범위에 있는 염화물의 측정에 일반적으로 사용되는 방법으로 海砂의 염화물 측정법으로서 일본건축학회의 JASS 5 등에서 채택하고 있다.

4-2 物理的 性質

동해안의 삼척 및 북평, 서해안의 인천 및 蘭芝島에서 채취된 海砂의 물리적 성질을 시험한 예를 나타낸 것이 표-5이다.

(1) 比重 및 吸水量

주지하는 바와 같이 일반적으로 비중이 크고 흡수량이 적은 골재가 콘크리트용 골재로 적합한 것이다. 표-5에서 海砂의 비중은 2.58-2.68로서 콘크리트용 잔골재로서의 일반적인 범위 2.5-2.7이내에 있다. 흡수량의 경우도 0.4-1.9%로서 하천모래의 범위 2.0%를 넘지 않고 있어 모두 양호한 상태를 나타낸다.

(2) 粒度

海砂는 細粒이며 일정한 크기의 입자로 구성된 單粒性을 나타내는 경우가 많다. 표-5에서도 海砂의 粗粒率이 1.59-2.94로서 적정 범위 2.3-3.1이내에 있는 경우도 있지만 대부분 이보다 작은값을 나타내고 있다. 따라서 조립율이 작고 單粒性의 海砂는 콘크리트용 골재로 이용하기 위해서는 粗粒砂를 혼합하여 입도를 조정하는 것이 바람직하다고 생각된다.

표-5 海砂의 물성시험결과^(11, 12, 13)

산 지		비 중	흡수량 (%)	안정성 (%)	조립률	단위중량 (kg/m ³)	No. 200체 통과량 (%)	조개껍질량 (%)
동 해 안	1	2.67	1.3	2.4	2.07	1576	—	—
	2	2.68	1.9	2.5	2.17	1462	—	—
	3	2.66	1.9	2.5	2.07	1475	—	—
	4	2.61	0.4	3.9	2.94	1578	—	—
	1	2.58	1.5	0.K	1.59	1520	3.5	8.25
	2	2.63	1.2	4.8	2.22	1574	0.5	*0.06
	3	2.62	0.9	4.2	2.29	1662	0.2	*0.45
서 해 안	1	2.60	0.9	0.K	2.56	1610	0.9	2.65
	2	2.59	0.9	5.9	1.65	1665	0.2	*0.15
	3	2.62	0.7	5.4	1.91	1705	0.1	*0.03

(주) * 표 : No.8체에 남는 조개껍질의 全試料에 대한 증량백분율

한편 No.200체 통과량은 그 상한치 5%(콘크리트의 표면이 마모작용을 받는 경우는 3%)보다 훨씬 작은값을 나타내고 있다.

(3) 安定性과 單位重量

표-5에서 海砂의 안정성에 대해서는 모두 토목학회규준인 10%를 하회하여 철근콘크리트용 골재로서 안정성에 대한 문제는 없다고 생각된다. 단위중량은 1462-1705kg/m³ 범위로써 양질의 하천모래의 값 1600-1700kg/m³보다는 다소 작은 값을 나타내는 경우도 있는데 이는 海砂의 입도가 單位性을 나타내는데 기인한 것으로 보인다.

(4) 조개껍질 함유량

조개껍질 함유량은 표 5에서 海砂試料를 염산에 담구어 용해된 석회량을 구함으로써 측정할 수 있다. 표 5에서 海砂中の 조개껍질 함유량은 각각 2.65%, 8.25%이며 No.8체에 남는 조개껍질량만을 시험한 결과는 0.5% 미만을 나타내고 있다. 한편 일본전역을 대상으로 조개껍질 함유량을 조사한 보고에서는 평균 3.9%, 최대치 18.7%를 나타냈다.⁽¹⁵⁾

그런데 파쇄된 조개껍질이 海砂中에 30% 정도까지 함유되어도 콘크리트의 성질에 악영향을 크게 주지는 않는다는 보고가 있다. 그러나 크기가 큰 조개껍질, 편평한 것 또 속이

빈 조개껍질을 함유한 海砂는 콘크리트의 품질에 나쁜 영향을 미치는 원인이 되기 때문에 10mm 이하의 체로 쳐서 조개껍질을 제거하는 것이 필요하다고 본다.

5. 海砂를 사용한 콘크리트의 性質

5-1 凝結

염화물이 존재하면 포틀랜드 시멘트는 수화반응이 활발해진다. 포틀랜드 시멘트에 염화물에 첨가하였을 때의 發熱速度曲線을 보인 그림-5에서도 염화물량이 증가함에 따라 發熱피크를 나타내는 시간이 빨라지며 水和反應量도 많아지는 것을 나타내고 있는데 이 때문에 콘크리트의 凝結, 硬化가 빨라진다.

그림-6은 염화물을 첨가한 콘크리트의 응결시험결과를 나타낸 것이다. 이 그림에 의하면 염화나트륨을 포함하는 콘크리트는 이를 포함하지 않은 콘크리트에 비하여 응결이 촉진된다. 그러나 콘크리트표준시방서에서의 허용범위 0.1% 이하에서는 그 정도가 약하며 0.1%(시멘트량에 대하여 0.27%) 정도부터 이 경향이 뚜렷하다. 함유량이 0.5%(시멘트량에 대하여 1.35%)의 경우에는 염화 나트륨을 포함하지 않은 경우에 비하여 응결시간이

2시간 정도 빠름을 보여준다. 또 寒中콘크리트 등에 이용되는 경우가 있는 염화칼슘의 경우에는 함유량 0.5% (시멘트량에 대하여 1.35%) 정도부터 그 효과가 보이며 그 이하의 함유량에서는 응결축진효과가 명확하지 않다. 염화나트륨에 비해 염화칼슘의 응결축진작용이 작은 것은 염화칼슘의 순도(75-78%)가 염화나트륨에 비하여 낮았기 때문이 아닌가 생각된다.

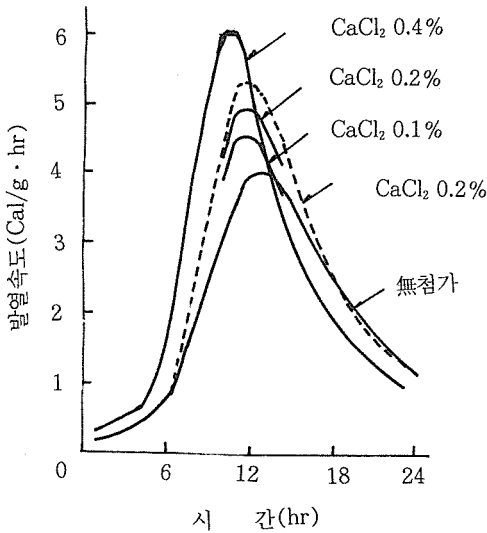


그림-5 시멘트의 발열속도곡선(W/C=0.5)⁽¹⁶⁾

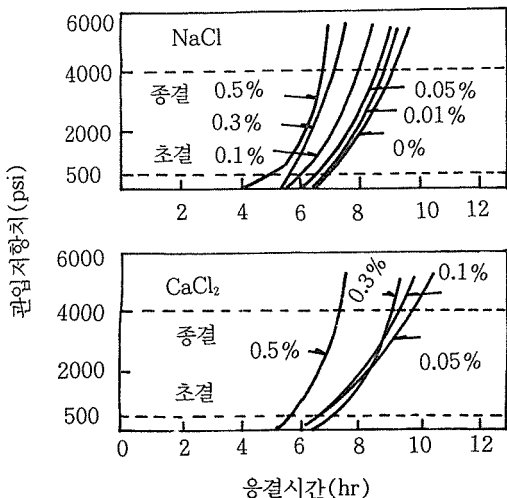


그림 6 콘크리트의 응결시험결과⁽¹⁷⁾

5-2. 硬化後의 物性

염화물이 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향을 시험한 예를 표-6에 나타냈다.

염화나트륨을 포함한 콘크리트는 NaCl 사용량 0.5%의 범위에서 이것을 사용하지 않은 콘크리트에 비하여 전체적으로 보면 초기 및 장기강도 모두 다소 크게되는 경향을 보였다. 그러나 함유량의 차이가 강도에 미치는 영향은 그다지 명확하지 않다. 염화칼슘을 포함한 콘크리트는 염화나트륨을 포함한 경우와 같이 초기 및 장기강도 모두 크게 되지만 염화나트륨에 비해 0.3% 및 0.5%에서 초기강도의 증대가 특히 현저한 것으로 나타났다.

Newman 등의 보고⁽¹⁸⁾에 의하면 海砂中の 염분이 0.1% 이하이면 거의 일반하천모래를 사용한 콘크리트와 강도발현에 차이가 없다고 하며 염분이 0.1%를 넘으면 경화진행과 초기강도의 증진이 보인다고 한다.

한편 石川 등⁽¹⁵⁾은 재령 3일, 7일의 초기강도는 염분량 0.3%까지는 강도에 거의 영향을 미치지 않고 재령 91일 강도는 염분량 0.1%까지는 강도에 영향이 없으나 0.1% 이상에서는 약간 저하하는 것으로 보고하였다.

강도 이외의 성질로서 乾燥收縮은 海砂를 사용하는 것에 의해 차이가 생기지 않으며 凍結融解에 대해서는 다소 중량감소를, 動彈性係數比의 저하가 크지만 문제가 될 정도는 아니라고 한다.⁽¹⁶⁾

이와같이 海砂를 사용한 시멘트 경화체의 물리적 성질에 대한 보고는 염분이 그렇게 크게 악영향을 미치지 않는 것을 나타내고 있다. 또 無筋콘크리트 구조물에서는 염분으로 인해 손상되었다는 보고가 없는 것 같다.

참고로 표-7에는 海水를 혼합수로 사용한 경우의 콘크리트 강도의 시험결과를 나타냈다.

이 결과를 보면 담수에 비하여 海水를 사용한 경우 초기강도가 크게 되며 재령 28일 이후에는 반대로 海水를 사용한 콘크리트의 강도가 저하하는 것을 알 수 있다.

표-6 콘크리트의 압축강도 시험결과에 예⁽¹⁷⁾

시험 No.	사용염분 및 함유량 (%)	단위시멘트량 (kg)	단위수량 (kg)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	압축강도 (kg/cm ²)		
						7일	28일	91일
1	없음	290	139	10.0	4.2	262	362	419
2	NaCl 0.01	290	135	10.0	4.4	260	379	422
3	NaCl 0.05	290	134	8.0	4.0	285	405	478
4	NaCl 0.10	290	135	8.5	4.5	276	394	442
5	NaCl 0.30	290	135	8.0	5.0	293	371	432
6	NaCl 0.50	290	135	8.5	4.7	280	349	432
7	CaCl ₂ 0.05	290	138	10.0	4.0	277	374	430
8	CaCl ₂ 0.10	290	133	9.0	3.9	295	412	454
9	CaCl ₂ 0.30	290	134	8.0	4.1	358	415	471
10	CaCl ₂ 0.50	290	133	8.0	4.0	358	405	465

(주) 잔골재율 : 40%

표-7 海水콘크리트의 強度⁽¹⁹⁾

시멘트의 종류	혼합수	압축강도비 (%)					
		3일	7일	28일	91일	6개월	1년
보통	담수	100	100	100	100	100	100
	海水	149	110	84	83	76	75
高爐	담수	77	71	90	102	103	113
	海水	121	101	88	89	90	92

5-3 조개껍질의 영향

海砂中에 포함되어 있는 조개껍질은 탄산칼슘을 주성분으로 하며 연질인것도 있지만 단단하고 치밀한 것이 대부분이기 때문에 형상에 의한 영향 이외에 본질적인 문제는 없다고 보고되고 있다.⁽¹⁶⁾ 그러나 조개껍질 중에는 평평하거나 空胴部分이 있는 것이 있는데 이러한 것은 그대로 사용하면 콘크리트의 워커빌리티를 해치고 강도, 내구성 등의 성질을 저하시킬 우려가 있기 때문에 가능한 제거할 필요가 있다.

조개껍질이 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향을 실험한 예로서 비중 2.75, 흡수량 0.9%의 조개껍질을 모래와 대체하여 사용한 콘크리트의 워커빌리티 및 강도를 시험한 결과를 그림-7에 나타냈다.

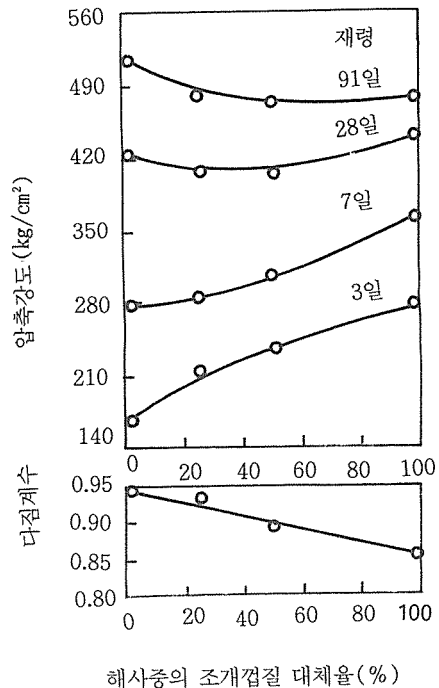


그림-7 조개껍질이 콘크리트에 미치는 영향⁽²⁰⁾

이 그림에서 초기재령 7일까지는 첨가율의 증가에 따라 압축강도가 증가하나 재령 28일에는 첨가량 25% 및 50%에서 강도저하가 보이고 재령 91일에서는 모두 저하하며 워커빌리티도 나빠지는 것을 알 수 있다.

또 10-5mm 크기의 조개껍질(비중 2.70, 흡수량 1.3%)을 굵은골재 최대치수 20mm의 콘크리트중의 10-5mm부분으로 대체한 시험 결과를 나타낸 그림-8에서는 재령 3일을 제외하고 첨가량의 증가에 따라 압축강도가 현저히 저하하는 경향을 나타내고 있다.

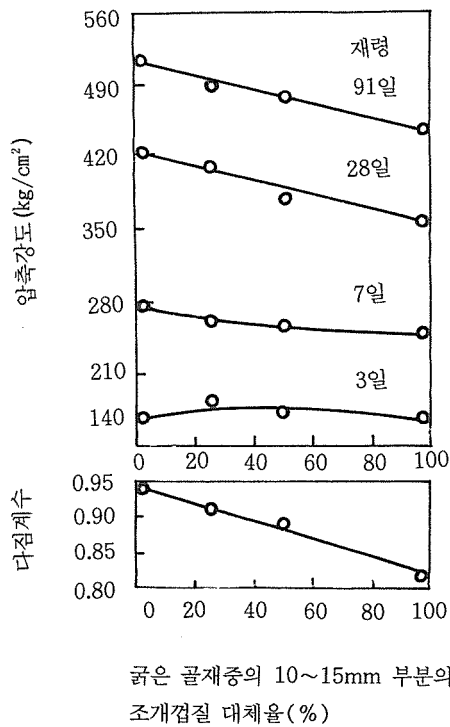


그림 8 굵은골재중의 10-5mm 부분을 조개껍질로 대체한 시험결과⁽²⁰⁾

조개껍질의 영향에 대하여 일반적으로 細片

의 혼입은 30% 정도까지는 문제가 되지 않는다고 보고되고 있으며 10mm 정도의 트롬멜을 통과시키면 원래의 형태에 가까운 유해한 조개껍질은 거의 제거할 수 있을 것으로 생각된다. 다만 오오토클레이브 養生을 하는 경우에는 부적합하다고 하며 화재를 당할 경우 등을 고려하여 너무 많은 양의 혼입은 좋지 않다는 견해도 있다.

6. 鐵筋腐食의 防止對策

6-1 鹽分の 除去

海砂를 콘크리트용 잔골재로 사용하는 경우의 방청조치로서 염분을 제거하는 것이 가장 기본적이라 할 수 있겠으며 일반적으로 사용되는 제염방법에는 살수법, 침수법, 자연방치법 등이 있다.

(1) 살수법

스프링클러 또는 호스 등에 의해 선상 또는 육상에서 살수하는 것으로 널리 사용하는 방법이다. 세척작업에 있어서 특히 주의해야 할 점은 海水의 물빼기로서 海砂中の 海水含有率에 따라 필요한 세척수의 양은 크게 변화된다.(표-8 참조)

표-8 海砂 1m³의 세척에 필요한 수량⁽¹⁾

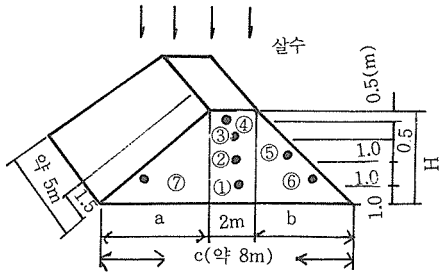
희망하는 염분규제치	0.1%	0.04%	0.02%
海水함유율			
15%	1288	3246	6510
12%	569	1439	2889
5%	140	357	719
3%	49	127	256

또 海砂의 상층부는 비교적 빨리 제염되는 반면 중하층부는 제염하기 어려운 경우도 있기 때문에 품질관리에 충분히 주의해야 할 필요가 있다.

레미콘 플랜트의 골재치장에서 海砂 약 140m³를 야적한 다음 살수실험을 실시한 예를 그림-9 및 그림-10에 나타냈다. 시료번호

호 1-3은 중앙부에서, 4-7은 표면에서 50 cm의 위치에서 시료를 채취하여 염분량을 측정한 것으로 살수초기에는 중앙부의 중간 및 밑부분에서 급격히 염분이 증가하여 최대치를 나타내며 그 후 윗쪽에서부터 시작하여 아래 부분이 제염되는 것을 알 수 있다.

또한 야적된 골재를 밑부분에서 인출하여 사용하는 지하인출식 벨트콘베이어 방식 등에서는 주의할 필요가 있다. 다시말해서 밑부분으로부터 재료를 인출해 사용하게 되면 살수량이 적은 경우 입하시의 염분량보다 더 농축된 염분을 포함하는 모래를 사용하게 되는 부분도 나타날 수 있기 때문에 유의해야 한다.



	a (m)	b (m)	H (m)	모래량 (m ³)	살수량 (t/h)	살수면적 (m ²)
제1회제	3.5	4.0	4.5	129	9.0	48
제2회제	3.5	5.0	4.3	145	9.7	58

그림-9 海砂의 살수시험⁽⁹⁾

(2) 침수법

이 방법은 歸港後 船內에 물을 채우는 방법으로 통상 2회의 침수로 0.02% (NaCl/모래의 절대건조중량비) 정도로 제염이 가능하다고 한다. 이 경우에도 상층부와 하층부에서는 제염정도가 다른 경우가 있기 때문에 품질관리에 주의가 필요하다. 또 귀항후 海砂를 일단 육상의 저장탱크 내로 옮겨 물을 채우는 방법도 실시되고 있다.

(3) 자연방치법

강우와 자연탈수에 의해 제염하는 것으로 80cm 두께로 야적한 경우 175mm 정도의 강우에 의해 모래의 윗부분은 90% 정도 이상 제

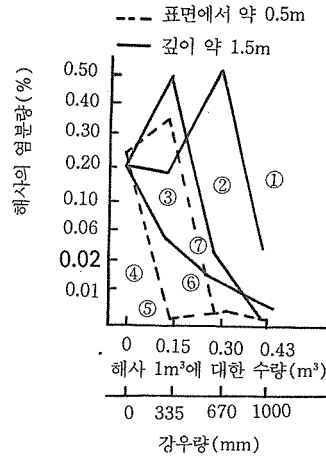


그림 10 살수에 의한 제염효과⁽⁹⁾

염되었다는 보고가 있다. 야적소요기간은 보통의 경우 1개월 이상인데 제염의 정도는 날씨에 좌우되기 때문에 안정공급에 어려움이 있다는 문제점이 있다.

6-2 기타의 방법

잔골재로서 海砂를 사용하는 경우 철근의 부식을 방지하기 위한 수단으로 제염방법 외에 방청제의 사용, 아연도금 철근의 사용 등의 방법이 있으며 낮은 물시멘트비로서 시공에 유의하여 치밀한 콘크리트를 만들거나 표면마무리를 잘함으로써 부식방지의 효과를 기대할 수 있다.

방청제는 아초산소다(NaNO_2), 크롬산칼리(K_2CrO_4)등을 주성분으로 하며 방청제를 사용하는 경우는 시험에 의해 양질임이 판명된 것만을 사용해야 한다. 시판되는 방청제 가운데는 커다란 방청효과가 없는 것이 많기 때문에 주의를 요한다.

일반적으로 금속의 부식을 판정하는 방법에는 물리적 방법(발청면적, 중량 변화의 측정), 화학적 방법(부식반응 생성물의 분석), 전기화학적 방법(자연전극전위, 정전위분극의 측정)의 3가지 방법이 있다.

이 가운데 전기화학적 방법은 용액중에서 실시하면 정도가 높으며 간편하게 짧은 시간에 판정할 수 있기 때문에 현재 철근콘크리트

용 방청제의 효과 판정에 많이 이용되고 있다.⁽²¹⁾

7. 結 言

이상 콘크리트용 골재로서 海砂의 사용과 관련한 기술적 사항을 검토하였다. 海砂의 품질로서 우려되는 사항중에서 입도는 콘크리트용 잔골재로서 적합한 경우도 있고 세립의 海砂인 경우는 粗粒砂와 혼합사용 등의 방법으로 이용이 가능하다고 판단되며 海砂中에 포함된 조개껍질량도 일반적으로 문제가 되지 않는다고 생각된다. 결국 문제가 되는 것은 염분량이다. 그런데 철근의 녹발생 정도는 염분량 뿐 아니라 콘크리트의 품질, 시공의 양부, 강재의 덮개(피복두께) 및 구조물이 놓이는 환경조건의 영향도 대단히 크다.

특히 최근과 같이 건설공사의 폭주로 시멘트의 품귀현상과 더불어 골재의 부족현상으로 열악한 콘크리트 구조물이 시공될 가능성이 높은 실정을 감안할 때 콘크리트속의 염분은 콘크리트 구조물의 내구성을 크게 저해하는 원인이 될 수 밖에 없다고 본다.

따라서 海砂를 사용하는 경우는 海砂의 염분량을 비롯한 混和材料로부터의 염분량에 대하여 엄격한 규정의 적용이 필요하며 콘크리트의 배합 및 시공에 있어서도 보다 엄격한 관리가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

參 考 文 獻

1. 太田利隆, 耐久性(そのろ). 콘크리트工學, Vol. 25, No 2, 1987
2. 小林茂敏, 鐵筋콘크리트構造物の鹽害對策, 콘크리트工學, Vol.28, No. 2, 1990.
3. 大郎ほか, 몰탈中鐵筋의不動態に及ぼす鹽系の影響, 土木學會論文集, No. 360, V-3, 1985. 8
4. 佐伯ほか, 콘크리트中の鹽分による

鐵筋の發錆について, 土木學會第 40回年次學術講演會論文集

5. 宮川豊章, Early chloride corrosion of reinforced steel in concrete, 學位論文集, 1985.
6. JIS A 5308-1989, 레テー믹스트콘크리트
7. 新井哲三, 鹽分環境下での鐵筋の腐蝕機構, 콘크리트工學, Vol. 25, No 11. 1987.
8. 船戶巳和雄, 田代利明, 콘크리트技術者に必要な學和識(12), 生콘크리트 Vol. 7, No 3, Mar. 1988.
9. 中村修吾, 海砂の品質, 콘크리트ジャーナル, Vol. 12, No. 10, 1987.
10. 日本콘크리트工學協會編, 콘크리트便覽, 技報堂, 1987.
11. 崔乘和, 콘크리트用 海砂의 除鹽效果에 대한 研究, 東國大學校 碩士學位論文, 1979.
12. 玄錫訓, 海砂使用에 관한 研究, 第5회레미콘技術세미나, 韓國레미콘工業協會 1989. 11.
13. 申鉉默, 콘크리트用 잔골재로서의 海砂의 利用, 大韓土木學會論文集 第26卷 第2號, 1978.
14. 蒔田實, 坂本浩行, 海砂および海砂使用 콘크리트中の鹽分の測定法, 콘크리트ジャーナル, Vol. 12, No 10, 1974.
15. 石川達成夫ほか, 콘크리트用細骨材としての海砂の問題點, 콘크리트ジャーナル Vol. 11. No 10, 1973.
16. 川田尙哉, 海砂かセメント콘크리트에及ぼす影響, 콘크리트ジャーナル Vol. 2, No. 10, 1974.
17. 中村修吾, 金子恒夫, 鹽分を含む콘크리트中の鐵筋의發錆に關する研究 콘크리트工學, Vol. 13, No. 1, 1975.
18. Proceedings of symposium on "Sea-dredged aggregates for concrete", Sand and gravel association, 1968.

19. 森茂三郎, 實用コンクリート技術, 建築技術, 1977.
20. G.P. Chapman, The effects of sea-shells in concrete aggregates, Concrete 4(2), 1970.

21. 工藤矩弘, 尹部傳, 鹽化物を含む鐵筋コンクリート中の腐蝕と防鏽(第2報) 小野田研究報告, 第28卷 第1冊 第95號, 1976.

레미콘지식 TESTING

1. 참인가? 거짓인가?

시험결과에서 一貫性(consistency)을 維持하기 위하여는 슬럼프시험에 使用되었던 콘크리트로 強度試驗用 供試體를 만드는 것이 가장 좋다.

2. 補強材(reinforcement)가 없는 콘크리트를 _____ 콘크리트라고 부른다.

3. 참인가? 거짓인가?

물과 配合된 시멘트 또는 콘크리트가 皮膚에 묻었을 시에는 가능한 빨리 닦아주어야 한다.

4. 만약 鐵筋을 保護하고 있는 콘크리트의 알칼리성이 減少한 狀態에서 물과 산소가 浸透하게 된다면 _____이 發生하기 시작한다.

5. 참인가? 거짓인가?

콘크리트중 連行(entrained)된 空氣量은 凍結融解 및 除氷化學藥品에 의하여 發生하는 콘크리트의 龜裂 및 表面薄利에 대하여 더 큰 低抗性을 갖게 한다.

6. 地盤에 바닥콘크리트를 타설함에 앞서서 下層地盤을 _____하게 되면 打設後의 定着龜裂(settlement cracks)을 避할 수 있게 된다.

7. 참인가? 거짓인가?

細骨材(fine aggregate)의 微粒粉은 콘크리트配合에 使用되는 混合水의 量에 거의 影響을 미치지 않는다.

8. 콘크리트配合에서 시멘트重量에 대한 물의 重量의 比率을 _____라고 부른다.

해답 : 1. 거짓 2. 無筋(plain or nonreinforced) 3. 참 4. 腐蝕(corrosion) 5. 참 6. 다짐(compacting) 7. 거짓(使用水量이 增加하게 됨) 8. 물·시멘트比(water cement ratio) 또는 물·結合材比(cement-cementitious ratio)