

海砂使用에 관한 研究

玄 錫 訓

〈雙龍洋灰工業(株) 中央研究所 責任研究員〉

1. 개 요

과거 수년간 建設業이 비약적인 성장을 거듭하여, 골재 수요가 급격하게 팽창하여 골재 공급의 어려움이 심각한 문제로 대두되기 시작하였다.

지금까지는 河川産 骨材로 수요를 충족시켜왔지만, 자연환경 보존법의 강화로 인해 골재 채취의 어려움 및 Dam건설 등으로 골재원이 고갈되어 가고 있으며, 또한 골재 수송이 원거리화하여 가격 상승요인이 되고 있다.

따라서 필연적으로 새로운 골재원 개발의 필

요성이 대두되었으며, 3면이 바다로 둘러싸인 우리나라 실정에서는 海砂를 새골재원으로 이용하는 것이 가장 값싸게 얻을수 있고 장기적으로 공급할 수 있는 유리한 점을 감안, 海砂의 사용가능에 관한 기초연구를 제시하고자 한다.

2. 각국의 해사 사용실태

2.1. 日本—모래 총사용량(2억 ton : 81년) 중
에 30%이상을 점유 하고 있음.

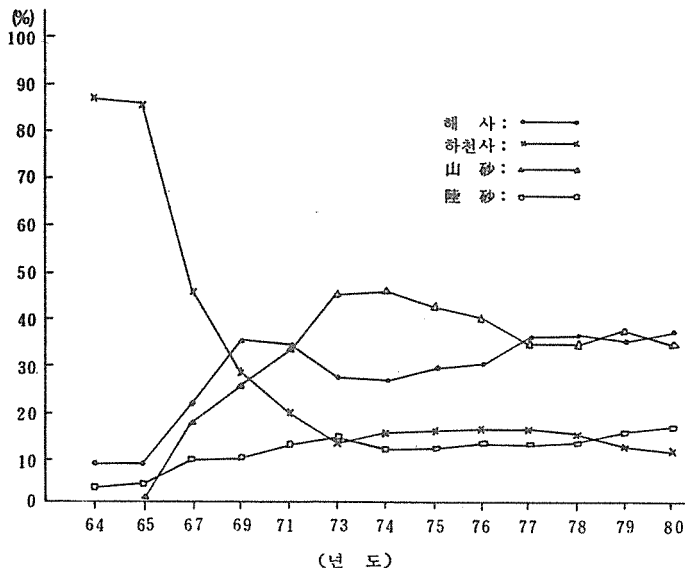


그림1. 모래사용실태(日本)

2.2. 영국-骨材(자갈+모래) 使用量(1972년)

- 陸 地 : 48%(10,500萬ton)
- 쇄 석 : 46%(10,000萬ton)
- 海産骨材 : 6%(1,200萬ton) - 대부분 海砂
- ※ 河川骨材는 河川의 保全上 規制하고 있으며 現在는 거의 採取하고 있지 않음. 陸地도 환경법으로 規制가 강화되고 있음.
- ※ 60~70年前부터 海砂 使用

3. 재료특성

3.1. 해사의 일반 물리적 특성

A지구 바다 모래의 일반 특성은 표1에 나타난 바와 같이 강모래에 손색이 없다.

3.2. 조개껍질 함유량

2.5mm이상의 조개껍질 size는 수(手)작업으로 구하고 2.5mm이하 size는 염산에 녹여서 손실무게로 함유량을 구하였으며 각 size별 함유량은 표2와 같다.

<표2> Shell content of sea-sand

Shell size	ratio at each size shell to sea sand (%)
10 mm over	아주 적음
10 - 5 mm	0.32
5 - 2.5 mm	1.67
2.5 mm under	0.66
total ratio of shell to sea sand 2.65	

<표3> Chemical component of sea water(Unit : wt%)

Chemical component	%
NaCl	2.72
MgCl ₂	0.30
MgSO ₄	0.21
CaSO ₄	0.14
KCl	0.08
etc.	0.02
total	3.47

3.3. 염분 함유량

바다모래중의 염분함유량 시험은 mohr법을 사용하였으며 바다 모래에 부착되어 있는 바다 물의 화학 분석치는 표3과 같다.

<표1> Characteristic Properties of sands

Item	sea sand.	river sand (육천)	기 준 치
S.G	2.60	2.60	-
Water absorption (%)	0.93	1.01	-
F.M	2.56	2.66	2.3~3.1
Water # 200 sieve	0.91	0.93	3.0
Unit Wt. (kg/m ³)	1,610	1,631	-
Voids (%)	38	37.3	-
Org. impurity	합 격	합 격	표준색 이하
Soundness	합 격	합 격	12% 이하
Shell cont. (wt %)	2.65	-	-
NaCl cont. (wt %)	0.13	-	-

* Na₂SO 사용

4. 조개껍질이 콘크리트 물성에 미치는 영향

4.1. 5mm이하 size조개껍질

질이 4%까지 혼입되었을때 slump, 압축강도, 곡강도의 대비(%)를 표5에 표시하였다.

표5의 결과를 보면 바다모래에 5-13mm조개껍질이 4%까지 혼입되어도 slump 및 강도에 영향을 주지 않는다.

<표4> Result of slump, strength ratio of 5mm under shell contents(%)

Shell contents in sea sand(%)	slump (cm)	Comp. str (%)			flex. str (%) 28ds
		7ds	28ds	91ds	
2.65	8.5	100	100	100	100
8	8.1	103	95	100	104
12	7.5	102	88	92	99
20	7.5	98	101	106	100

※ W/C = 51%, cement = 320 kg/m³, S/A = 37 %

<표5> 5-13mm조개껍질 함유율에 따른 강도비 및 slump(양생수 23℃)

(양생수 23℃)

조개껍질 함유율(%)	Slump (cm)	압축강도비(%)			곡강도비(%)	
		7ds	28ds	91ds	28ds	91ds
0	8.7	100	100	100	100	100
1	9.0	99	96	95	98	100
2	9.3	100	102	96	96	102
3	9.0	105	100	99	100	102
4	8.5	106	98	96	109	109

※ W/C = 51%, Cement = 320 kg/m³, S/A = 37 %

표4의 결과를 보면 바다모래에 5mm이하 조개껍질이 20% 혼입되어도 slump 및 강도에 영향을 주지 않는다. 20%까지 혼입되어도 강도에 영향을 미치지 않은 것은 matrix부분의 파괴 저항력이 조개껍질이 혼입되지 않은 경우와 거의 동등하기 때문이다.

4.2. 5-13 mm 조개껍질 크기

4.2.1. 수중양생

바다모래중에 함유된 암석 및 size가 큰 조개껍질 등을 제거하기 위해 trommel통과는 필연적이며, 이때 통과될수 있는 5-13mm의 조개껍

4.2.2. Autoclave 양생

콘크리트 2차제품 등의 고강도 영역을 대상으로 하는 고압 증기양생의 경우에 조개껍질 혼입량이 4%까지는 동일한 강도를 나타내지만 6%에서는 약간 강도가 저하하는 것을 표6에서 강도대비(%)로서 보여준다. 이것은 조개껍질의 화학성분이 CaCO₃로 구성되어 있어서 시멘트와 조개껍질 표면과의 수열(水熱) 반응이 골재에 비해 전혀 없기 때문에 부착강도가 저하되는 것이라고 생각된다.

그러나 실용상 5mm이상의 조개껍질 혼입량은 2%이하로 생각되기 때문에 강도적인 면에서 조개껍질 혼입의 영향은 무시하여도 좋다.

<표6> 5-13mm조개껍질 함유율에 따른 강도비 (autoclave양생)

조개껍질 함유율 (%)	압축강도 (%)	50 시간 양 생		
		압축강도비 (%)	인장강도비 (%)	곡강도비 (%)
0	100	100	-	100
2	99	99	100	103
4	100	100	100	100
6	98	96	106	100

5. 염분이 콘크리트 물성에 미치는 영향

5.1. Slump 및 강도

바다모래 중에 염분함유량이 0~0.25% 함유 되었을 때 Slump 및 강도대비(%)를 표7에 표시하였다.

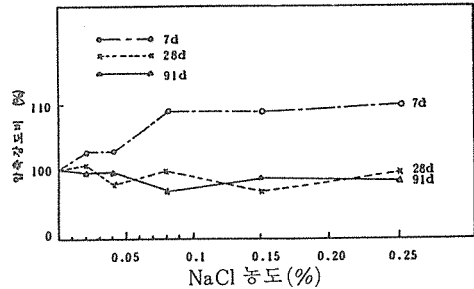


그림2. NaCl 농도에 따른 재령별 압축강도비

<표7> NaCl 함유율에 따른 강도비 및 Slump

함 유 율 (%)	Slump (mm)	압 축 강 도 비 (%)			곡 강 도 비 (%)	
		7ds	28ds	91ds	28ds	91ds
0	8.5	100	100	100	100	100
0.02	8.7	103	101	100	93	103
0.04	8.7	103	98	100	106	106
0.08	9.0	109	100	97	97	100
0.15	8.6	109	97	99	98	103
0.25	8.5	110	100	99	93	99

※ W/C = 51 %, Cement = 320 kg/m³, S/A = 37 %

표 7에 나타난 바와같이 바다모래에 염분이 0.25%까지 함유되어 있어도 slump에는 영향이 없다.

그림2는 각재령에서 염분 함유율에 따른 압축강도비(%)를 나타낸 것이며, 0.25%까지의 염분 함유율내에서는 초기강도(7일)는 염분 함유율 증가에 따라 상승하며 후기강도(28일)에서는 거의 동등함을 보여준다.

5.2. 응결시간

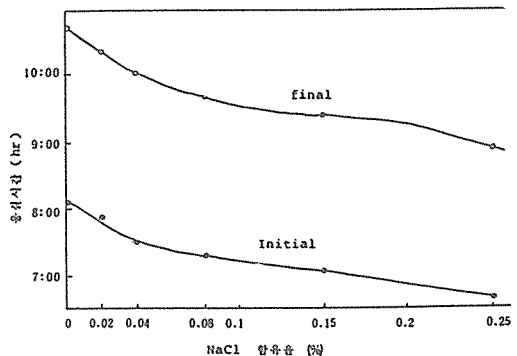


그림3. NaCl 함유율 응결시간과의 관계

그림3에 나타난 바와같이 염분 함유량이 많아짐에 따라 응결 시간이 짧아지는 것을 보여 준다. 이것은 염분 함유량 증가에 따라 수화반응이 빨라지며 수화반응량도 많아져서 응결이 촉진되기 때문이다.

5.3. 건조수축

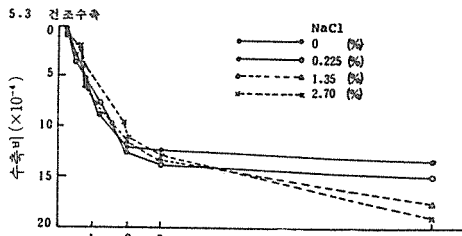


그림4. NaCl 함유수준별 각재령에서의 수축비(물 탈)

그림4에 나타난 바와 같이 염분함유량이 증가함에 따라 건조수축은 증가하나 0.225%까지 첨가하여도 0%에 비해 1×10^{-4} % 정도 건조수축이 증가하므로 0.1%까지 염분이 함유되어 있는 경우는 큰 문제없다.

5.4. 동결융해

그림5에 나타난 바와 같이 염분함유량 증가에 따른 동결융해에 대한 내구성 변화는 무시해도 좋다.

5.5. 수화열

표8 결과에서 염분량 0.1%이하에서 2, 4주의

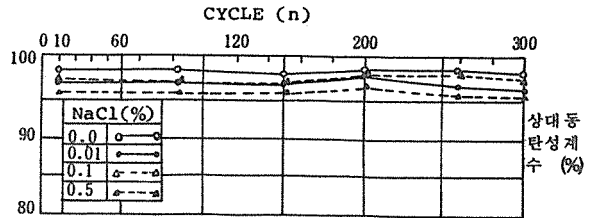


그림5. NaCl 함유수준별 각 Cycle별 동탄성계수와 의 관계(AE제첨가)

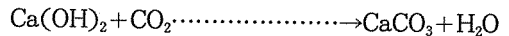
수화열은 염분량에 따라 큰 차이가 없지만, 염분량 0.5%에서는 1주의 수화열을 기준으로 3cal/g 정도 높게 된다.

6. 염분이 철근 부식에 미치는 영향

6.1. 콘크리트중의 철근의 부식인자

(1) PH변화(중성화)

경화된 콘크리트는 calcium silicate의 수화에 서 생긴 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 에 따라 고 알카리성(PH=12.4)을 나타내며 철근을 부동태화(passive state)하는 것이 되어 방청제적 역할을 얻을 수가 있지만 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 는 장기간 동안에 공기중의 CO_2 를 흡수하여 CaCO_3 가 되어 알카리성을 잃어버려 중성화(PH변화)가 진행된다.



시멘트에 중성화가 진행되어 철근의 표면까지 이르면 물과 CO_2 가스가 공존하여 산화피막이 파괴되어 철근에 부식이 생긴다.

<표8> NaCl 함유율에 따른 수화열

NaCl (%)	수 화 열 (cal / g)		
	7 day	14 day	28 day
0	60.1	71.5	78.1
0.01	60.6	71.3	78.8
0.05	59.8	72.4	78.2
0.10	59.6	71.7	78.6
0.15	62.1	72.1	78.7
0.25	63.0	72.5	78.1
0.50	63.2	72.2	78.7

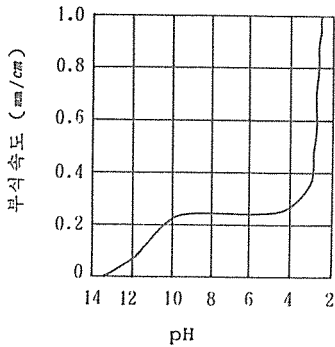
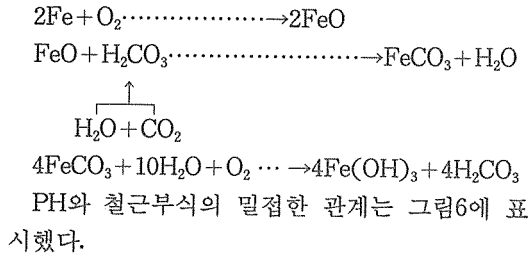


그림6. pH와 부식속도와의 관계(mm/년)

(2) 溶在산소

산소의 존재는 철근부식에 필수 조건이다. 산소가 없으면 부식은 무의미하다.

(3) 수 분

수분의 존재는 필수조건이다. 만일 수분이 없으면 부식에 영향을 미치는 인자는 의미가 없다. 외부에 있는 물은 산소, 탄산가스 및 염소이온 등을 보급하는 역할을 하며 부식에 직접 영향을 준다.

(4) 염소이온

다량의 염소 이온이 콘크리트 중에 존재하거나, 침입하거나 하면 강 알칼리성 분위기에 의해 부동태화(passive state)하고 있는 철근의 부동태화를 방해하거나 파괴한다.

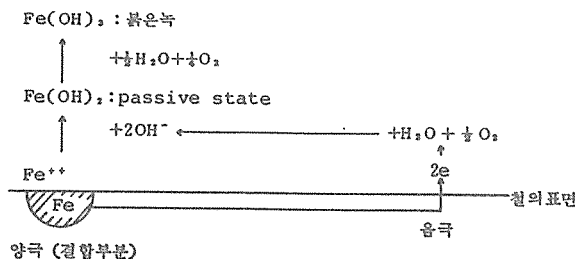
산화피막에서는 염소이온이 다른 이온보다 쉽게 산화피막에 침투하여 산화피막을 콜로이드상으로 분산시켜, 투과성을 좋게 한다고 말한다. 흡착설에 의하여 염소이온은 용존산소 및 수산화 이온과 경쟁적으로 금속표면에 흡착하며, 일단 표면에 접촉하면 금속이온의 수화를 도와 이것이 용액중에 용출하는 것을 용이하게 하는 것이다. 같은 염소이온에도 그것이 알칼리 금속염(NaCl, KCl, LiCl)과 알칼리 토금속염(CaCl₂, SrCl₂)을 비교하면 알칼리 금속염 쪽의 부식성이 조금 크다. 염화나트륨의 용액 농도와 철의 부식 관계는 그림 7에 표시한 것처럼 0.04%(NaCl/SAND : wt%)까지는 부식속도가 작지만, 0.04%를 초과하면 부식속도가 커지게 된다.

그림 8은 염소이온이 Ca(OH)₂ 포화용액의 PH를 저하시키는 것을 보여주는 것으로 콘크리트중의 세골재에 염분함유 및 해수 침입의 경우, 콘크리트의 PH를 저하시켜 철근 보호능력을 감소시키는 것을 나타낸다.

염소이온에 의한 부식 과정은 다음과 같이 표현한다.

6.2. 부식판정

철근이 기준전극(Ag-Agcl electrode)에 대하여 최초 측정(0-3분) 전위보다 시간경과에 따



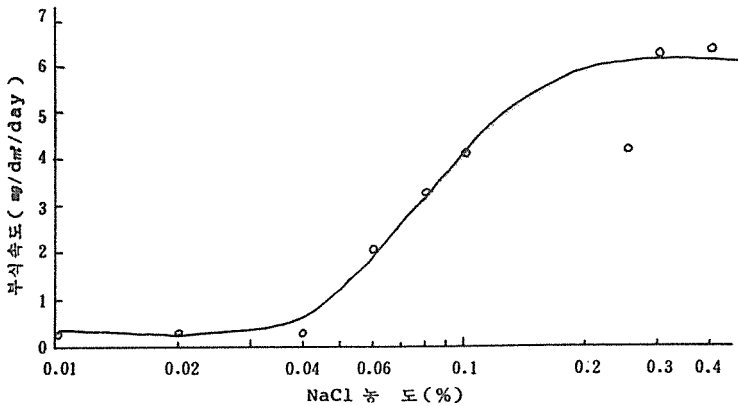


그림7. NaCl 농도와 부식속도와의 관계

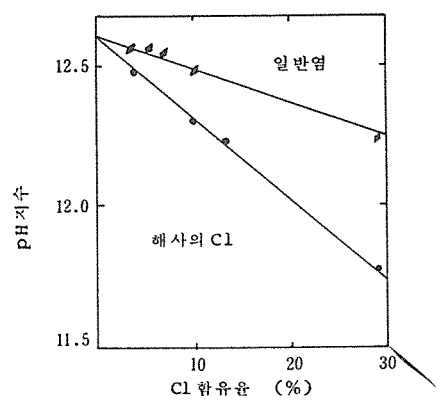


그림8. pH와 Cl 함유율과의 관계

라 양극화 경향이 커지면 그 수치가 크게 되어서 최초 전극전위보다 -방향(아래방향)의 전극전위를 가르키게 된다.

반대로 최초 측정 전위보다 양극화 경향이 작아지면 그 수치가 작게 되어서 최초 전극전위보다 +방향(윗방향)의 전극 전위를 갖게 된다. 전극전위가 -방향(아래방향)을 가리키면 철근부식이 되기 쉬움을 알려주며 + 방향(윗방향)을 가르키면 철근부식이 되기 어려움을 나타낸다.

부식측정장치는 그림9와 같고 그림10처럼 부식판정을 한다.

시험결과는 그림11에 표시하였다. 이 결과로

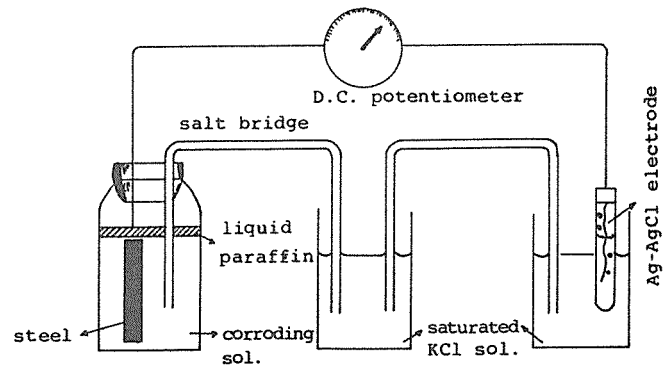


그림9. D. C. potentiometer 장치

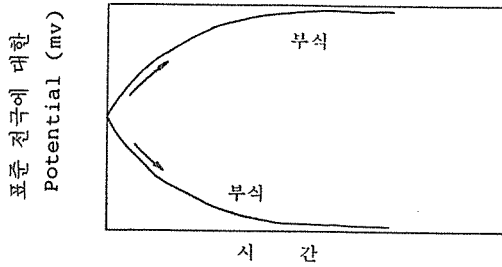


그림10. Ca(OH)₂ 용액내의 시간경과에 따른 Potential 곡선

보면 다음과 같다.

- 1) 염화물이 없는 콘크리트에서는 pH가 12 보다 작으면 철근에 녹이 발생한다.
- 2) 0.04% NaCl/sea sand(CaCl₂ 부식액 농도 0.15%)보다 크면 고 알칼리(PH=12.0) 분위기에서도 녹이 발생한다.
- 3) 0.25% NaCl/sea sand(CaCl₂ 부식액 농도 0.98%)까지 시험한 결과를 보면 PH=10이 되어도 방청제(Rusnein)를 3 l /concrete m² 를 첨가하면 발청하지 않는다.
- 4) 철근이 부식되는 형태는 철근 전체에 골고루 부식되는 것이 아니라, 군데군데에 집중적으로 부식이 발생되어 공식(pitting)을 일으키게 되어 구조물 내구성에 더욱 악영향을 미친다.

7. 해사의 제염

7.1. 해사의 F.M변화와 제염상태와의 관계

그림 12는 조립율이 서로 다른 B해사(F.M=1.59)와 A해사(F.M=2.56)를 살수량이 같을 때의 세척상태를 본 것인데, 300‰ 살수후 24hr 경과된 다음 결과로써, A해사가 B해사에 비해 현저히 세척효율이 좋음을 보여주었다. 이것은 조립율이 클수록 비표면적이 적기 때문에 보수율이 작으며 표면수와 염분함유량과는 절대적인 비례관계가 있기 때문이라고 생각된다.

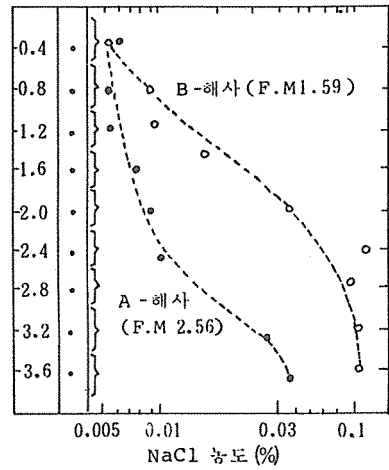


그림12는 세척깊이와 NaCl농도와의 관계(살수량 300‰)

7.2. 살수량 변화와 제염상태와의 관계

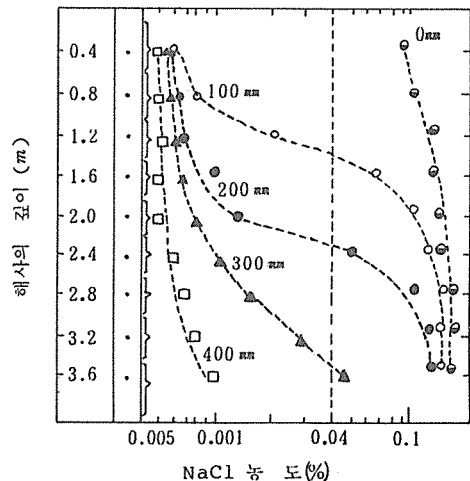
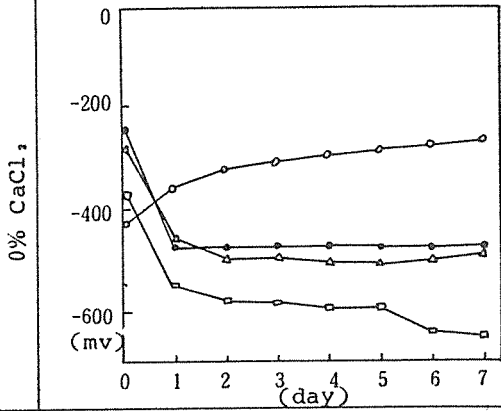


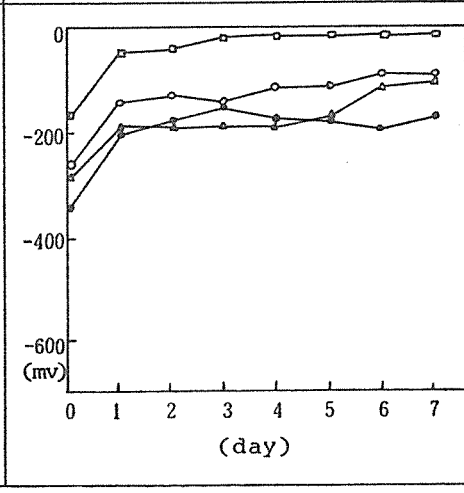
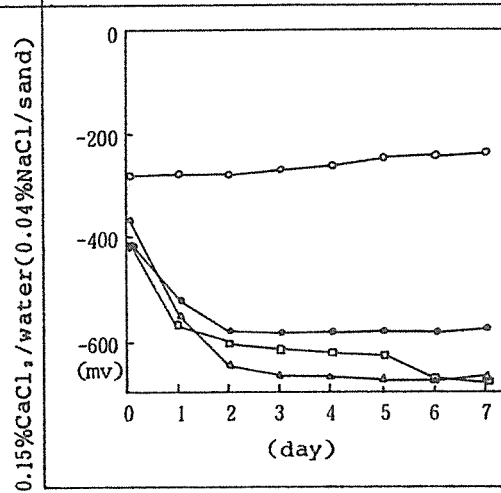
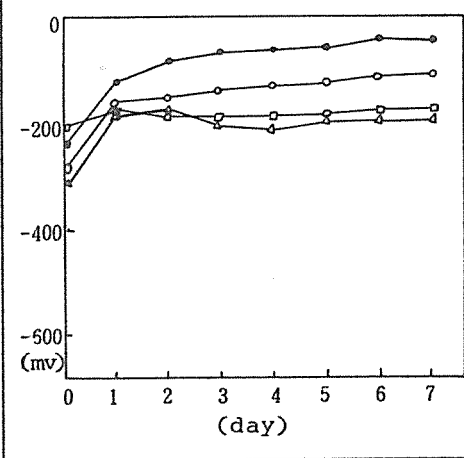
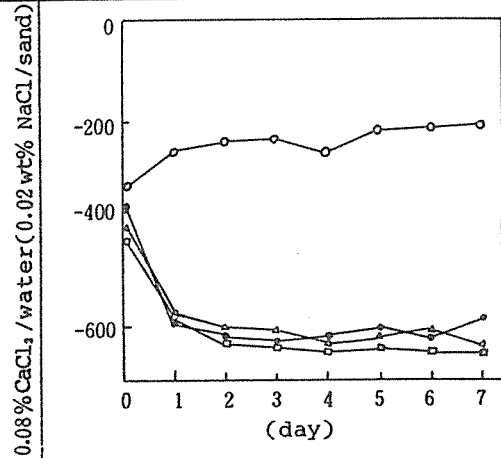
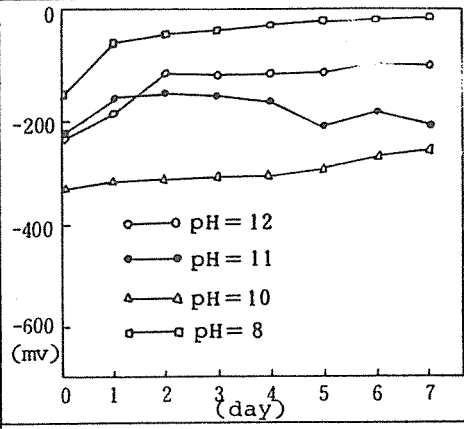
그림13. 세척깊이, NaCl농도 및 살수량과의 관계

그림13은 살수량 변화에 따른 각 깊이에서 해사의 제염 상태를 측정된 것이며 살수후 24hr 경과한 다음 샘플링하여 염분함유율을 측정하는 것이다. 이 결과에서 400mm 살수량이면 4m 깊이까지 염분 농도 0.04% 이하로 제염이 가능하다.

방청제 무첨가



방청제 첨가



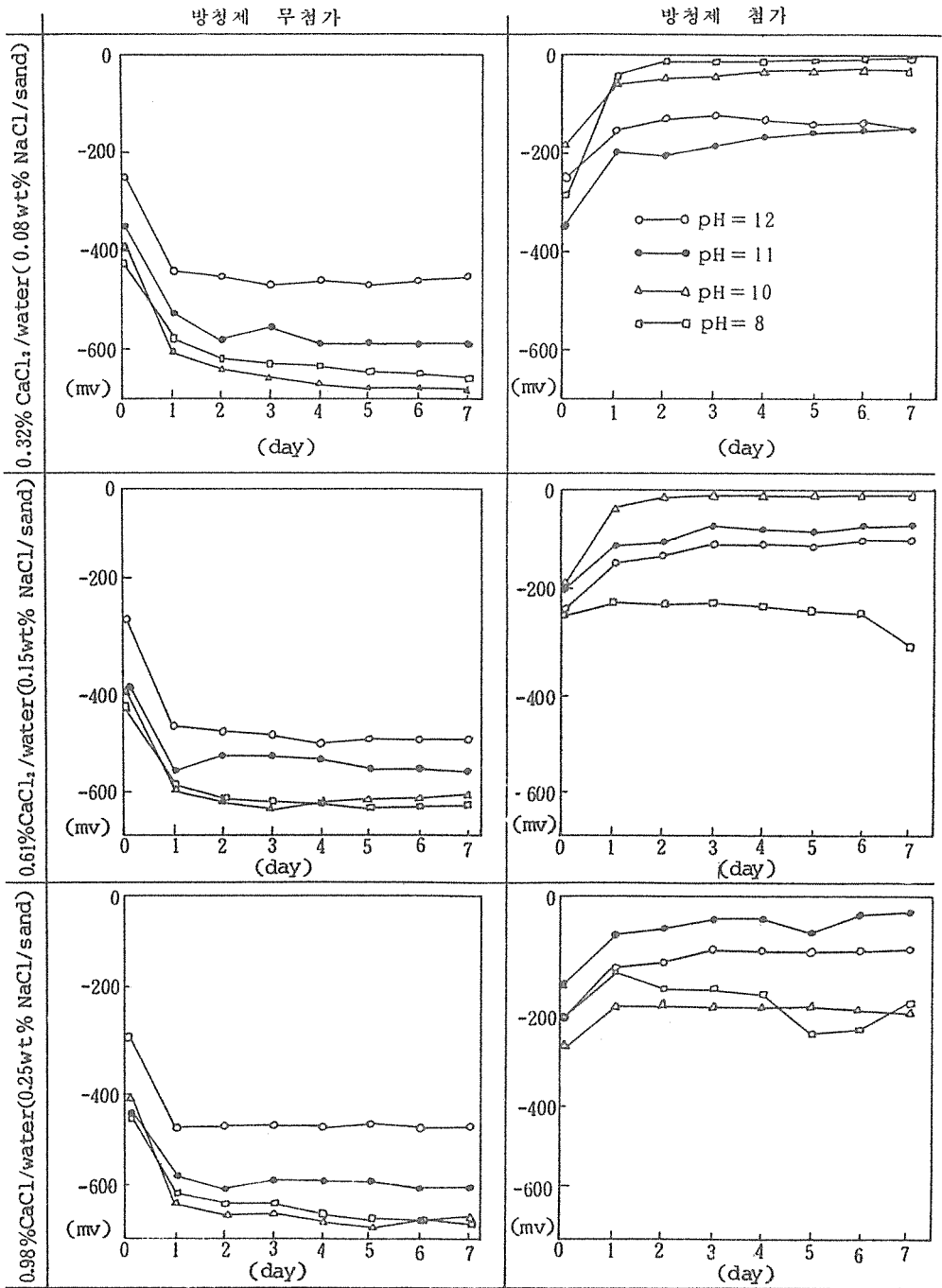


그림11. Time Potential Curves in Ca(OH)₂-CaCl₂

8. 결 론

- 1) 해사(A지구)와 천연모래와의 물성은 큰 차이가 없다. 2) 조개껍질 함유량에 따른 콘크리트 물성 차이는 없다.

조개껍질크기(mm)		5 이 하		5 - 13	
조개껍질 함유량 (%)		2.65	20	0	4
특	Slump (cm)	8.2	7.4	8.3	7.9
성	압축강도대비 (%)	100	101	100	98

- 3) 염분 함유량 0.1%이하에서는 무근 콘크리트에 사용 가능하다.

항 목	염 분	0 %	0.04%	0.1 %	0.15 %	0.25 %	0.50 %
Slump (cm)		8.5	8.5	9.0	8.5	8.7	-
28 일 강도 (%)		100	98	98	97	100	-
종결시간 (hr)		10:50	10:00	9:40	9:20	9:00	-
13주 건조 수축($\times 10^{-4}$)		1.2	-	-	-	1.3	-
수화열 (7 일)		60.1	59.8	59.6	62.1	63.0	63.2

- 4) 염분함유량 0.04%이하에서는 보통 강모래와 동등하게 철근 콘크리트에 사용 가능하다.
- 5) 염분 함유량 0.04~0.1%의 바다모래를 철근 콘크리트에 사용할 때는 방청제를 첨가, 보완하여야 한다.
- 6) 해사의 조립율에 따라 제염 효과가 달라지며 표준 FM(2.75 부근)을 갖는 해사는 400mm 살수량이면 4m 깊이까지 염분농도 0.04% 이하로 제염이 가능하다.

방 청 제	무 침 가						침 가
염분함유량	0 %		0.04 %		0.08%이상		0-0.25 %
pH	> 12	≤ 11	> 12	≤ 11	> 12	≤ 11	≥ 10
부 식	부식	부식	부식	부식	부식	부식	부식 없음
여 부	없음		없음				