

海砂品質과 名國의 鹽分 鹽害에 의한 콘크리트 철근부식에 대한 고찰

金 孟 起

〈쌍용양회공업(주) 인천사업소품질관리실장〉

1. 序 言

과거수년간 건설업이 비약적인 성장을 거듭하여 골재수요가 급격하게 팽창한 반면 河川産골재는 자연환경보존법 및 댐건설등으로 인하여 점차 고갈되어가고 있다.

또한 교통혼잡과 골재수송이 원거리화하여 가격상승의 요인이 되고 있다.

따라서 필연적으로 새로운 골재원개발이 대두되었으며 3면이 바다인 우리나라실정에서는 海砂를 骨材源으로 이용하는 것이 경제적이고 장기적으로 공급할 수 있다는 유리한 점을 감안하여 80년대초부터 해사 및 세척사를 본격적으로 사용하기 시작하여 그생산량이 점차 증대되어왔다.

그리고 1990년도 수도권신도시 아파트건설 중 콘크리트 구조물의 鹽海와 海砂使用에 대한 부실공사 문제로 일반인에게 널리 알려지게 되었다.

最近(1993)에는 언론매체를 통하여 경인지역이 해사채취 및 그사용에 대해서 사회적인 문제로 비화되었다.

따라서 各國의 海砂使用실태 및 鹽分규제 현황을 조사분석하고 海砂中の 鹽化物에 의해서 콘크리트내의 철근이 부식하는 有害程度에 대한 各國의 연구결과를 고찰함으로써 海砂使用에 대한 정확한 이해와 그 利用性에

대해서 도움을 주고자한다.

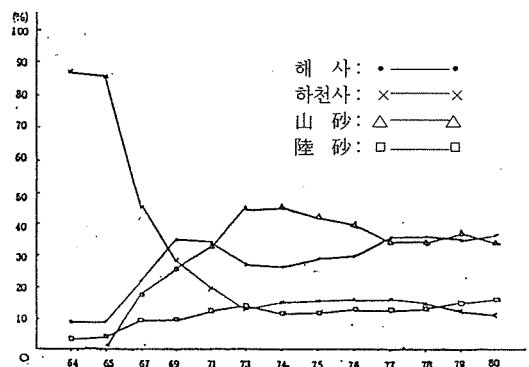
2. 各國의 海砂使用시기 및 실태

2.1 日本

- 일본의 해사사용 시작은 60년도초 부터임.
- 모래 총사용량(2억 ton:81년)중에 해사는 30%이상을 점유하고 있으며 점차적으로 그사용량이 증가하고 있는 추세임.

2.2 英國 — 골재(자갈+모래) 사용량 (1972년)

- 육 지: 48%(10,500만 ton)
 - 쇠 석: 46%(10,000만 ton)
 - 海産骨材: 6%(1,200만 ton) — 대부분 海砂
- ※ 하천골재는 하천 보전상 규제하고 있음



(그림 1) 일본의 모래사용 실태

며 現在는 거의 재취하고 있지않음. 陸地도 환경법으로 규제가 강화되고 있음.

※ 60~70年度부터 海砂사용

3. 各國의 콘크리트 및 海砂에 대한 鹽分規制値

3.1 한국

구분 측정항목	공업규격 KSP 4009 래디 믹스트 콘크리트	대한토목학회 콘크리트 품질 표준시방서	염화물 총량 규제에 대한 건설부 방침	
			토목구조물	일반구반구조물
콘크리트 염화물 총량 한도	콘크리트에 포함된 염화물량은 출하지점에서 Cl-이온 0.3kg/m ³ 이하 ※구입자 승인시 0.6kg/m ³ 이하 (KSP 4009 품질규격 4.2항)		(1)철근콘크리트 posttens-ioned콘크리트부재, 무근콘크리트부재:Cl 이온 0.6kg/m ³ ↓ (2)pretensioned 콘크리트부재 sheet내 grout, autoclaved제품:Cl 이온 0.6 kg/m ² ↓ (3)알루미늄시멘트를 이용한 경우, 염해전기 부식의 염려가 있는 경우:시험에 의해서 결정 하든가, 또는 Cl 이온 0.3kg/m ³ ↓	(1)원칙:Cl 이온 0.30kg/m ³ ↓ (2)부득이 0.30kg/m ³ 를 초과할때:Cl 이온 0.60kg/m ³ 이하로 하고 다음 조건을 만족할 것 ㉠ W/C:55% ↓ ㉡ AE감수제사용시:Sulmp 18cm ↓ ㉢ 유동화콘크리트경우 • Base콘크리트:Slump 15cm ↓ • Base콘크리트:Slump 18cm ↓ ㉣ 방청제사용 ㉤ Slab하단의 철근두께:3cm ↑
잔물재 염화물 한도	(1)천연골재염분한도:NaCl 0.04% 이하 (2)주문자승인시:NaCl 0.1% 이하 (KSP 4009골재규격 2.2항)	(1)보통철근·포스트텐션방식의 프리스트레스트콘크리트:NaCl 0.1% 이하 (2)내구성이 요구되는 철근콘크리트나 프리텐션방식의 프리스트레스트 콘크리트:NaCl 0.04%이하. 1989년 콘크리트 표준시방서 재표면해서 3.4,5) ※무근콘크리트에서는 염화물 함유량 한도를 따로 정하지 않는다.	—	—
측정 시기	(1)질산은적정화학분석법 (2)구입자 승인측정기	좌 동	(財)국도개발기술개발센터 기술평가를 받은 염화물 측정기	좌 동
측정 방법	(1)콘크리트:KSM0100(공용용수의시험방법)의 염화물이온(Cl-)에 규정된 질산은 적정법, 이온전극법KSM0013(전기화학분석)에 준한 전위차 적정법 *구입자승인업은정밀도가 확인된 염분량 측정기 (2)세골재:KSP2515(질산은 적정법)	좌 동	(1)1회의 검사측정 횟수를 3회로 하여 평균치로 판정 (2)염화물량의 총량은 Cl-이온의측정치와 시방배합의 단위수량의 곱으로 산출	—
측정 장소			(1)원칙:콘크리트타설지점 (2)감독원이 입회하는 경우 공장에서도 가능	원칙적으로타설지점의 fresh concrete에 대해서 실시
횟 수			(1)2회/일(오전-오후) 반나절 타설완료시:1회/일 (2)콘크리트종류(재료·배합)가변할때마다 1회 이상	
제정 시기			• 방침제정:86년6월 • 시행적실시:86년 10월 • 실시개시:87년 4월	• 방침제정:86년 6월 • 실시개시:87년 4월 • 완전실시:87년 10월
검 사	(1)콘크리트 염화물검사방법은 인수·인도 당사자간의 협의 (2)염화물량검사는 공장 출하시에 가능함			
규격 제정	1991년 6월 17일 제정			

3.2 일본

항 목	규 정 工業規格 JIS A 5308레디믹스트 콘크리트	土木學會 콘크리트 표준시방서	建築學會 JASS 5 철근콘크리트 공사
염 화 물 총량한도	(1)타설지점기준:Cl 이온 0.3kg/m ³ ↓구입자의 승인을 받은 경우:Cl 이온 0.6kg/m ³ ↓ (2) 특수품의한도:별도지정 (3)염화물량한도:구입자에 보고 (4)염화물량계산:요구시보고	구조물의 종류, 중요도, 환경조건등을 고려해서 적당히 정함(해설의 표준치) (1)RC, Post-tensioned 콘크리트부재: Cl 이온 0.6kg/m ³ ↓ (2)내구성이 특히 요구되는 RC, Post- tensioned 콘크리트부재등에서 염해전 기부식의 염려가 있는 경우, Pre-tensioned 콘크리트부재 Cl 이온: 0.3kg/m ³ ↓	(1) 일반 및 고강도 콘크리트:Cl 이온 0.3kg/m ³ ↓ (2) 부득이 0.3kg/m ³ ↓을 초과시 철 근의 방청처리 후 :Cl 이온 0.6kg/m ³ ↓ (3) 고내구성콘크리트 :Cl 이온 0.2kg/m ³ ↓
세 골 재의 염 화 물 한도	(1)토목용골재 기철근콘크리트:NaCl 0.1% ↓ 기PS콘크리트:NaCl 0.03% ↓ (2)건축용골재:NaCl 0.4% ↓ 구입자승인시:NaCl 0.4% ↓	구조물의 종류, 중요도, 환경조건등을 고려해서 적당히 정함(해설의 표준치) (1) 일반부재:NaCl 0.1% ↓ (2) 프리텐션부재:NaCl 0.03% ↓	(1) 보통콘크리트; NaCl 0.04% ↓ 특기사항이 있을경우; NaCl 0.1% ↓ (2) 고내구성콘크리트: NaCl 0.02% ↓
시험방법	시험은부속서등에 따른다.	토목학회기준(해사중의 염화물함유량시 험 방법)에 준한다.	(1) JASS 5T-501: Fresh con'c중의 염화물량 시험방법 (2) JASS 5T-502: fresh con't중의 염 화물량 간이시험방법
측정기기	(財)국토기술개발연구센터의 기술 평가를 받은 염분측정기	이온전극법등 신뢰할 수 있는 기관의 평가 받은 것	左 同
측정장소	당사자간에 결정: 공장/타설지점		
측정횟수	대표적인 시료를 약 20L 채취하여 3회측정—평균치 사용 (1) 해사사용시: 1회/일 이상 (2) 해사사용시: 1회/주 이상		(1) 해사등염분을 포함하고 있는 골재사 용시: 타설시마다또는 1회/150m ³ 이상 (2) 그외경우: 1회/일 이상
규격개정	• 개정공사: 86년 10월 • 개정공사: 87년 4월	개정: 86년 10월	개정 86년 9월

3.3 미국 및 영국

3.3.1 미국 ACI 318의 염화물 총량규제치

콘 크 리 트 종 류 와 용 도	시멘트총량에 대한 Cl ⁻ 이온(%)	콘크리트중의염분		세 골 재에 대한 NaCl(%)
		Cl ⁻ (g/m ³)	NaCl(g/m ³)	
PRESTRESSED 콘크리트	0.08	180	297	0.037
염분 환경 하의 R C 조	0.15	450	742	0.093
건 조 환경 하의 R C 조	1.00	3,000	4,950	0.619
기 타 R C 조	0.30	900	1,485	0.816

*. ACI 318 Building Code Requirements for Reinforced Concrete

3.3.2 영국 CP 114의 염화물 총량규제치

콘크리트의 종류와 용도	시멘트총량에 대한 Cl ⁻ 이온(%)	콘크리트중의염분		세골재에 대한 NaCl(%)
		Cl ⁻ (g/m ³)	NaCl ⁻ (g/m ³)	
중기양생한 구조용 콘크리트, 또는 BS4027, 4248에 적합한 시멘트 콘크리트	0.06	180	297	0.037
BS 12에 적합한 시멘트를 사용한 철근콘크리트 또는 금속을 포함한 콘크리트	0.35(시험결과의 95%이상 기준치 이하일 것) 0.60(기준치이상이어서는 안됨)	1,048	1,730	0.216
		1,450	2,472	0.309

- *. CP 114, Part2, British Standard Code of Practice, The Structural Use of Reinforced Concrete in Buildings
- *. BS 4027;내황산염시멘트, BS 4248;고황산염시멘트, BS12;포오틀랜드시멘트

3.4 各國의 콘크리트 및 海砂에 대한 염분규제치에 대한 고찰

3.4.1 앞의 규격에서 모든 국가는 모래중의 염분규격치와 콘크리트중의 염분규격치를 동시에 제정하여 사용하고 있으며 모래와 콘크리트염분의 상관관계는(참고자료-1)과 같은 경향을 보인다.

3.4.2 한국의 염화물 규제치는KSF 4009(레디믹스트 콘크리트)규격과 콘크리트 품질시방서(대한토목학회) 및 건설부방침에 제정되어 있으며, KSF4009는 日本JIS A5308을 그대로 인용하여 콘크리트내에는 Cl⁻이 0.30kg/m³이하이며, 모래인경우는 NaCl 0.04%이하, 구입자승인시는 0.1%이하로 하고 콘크리트품질 시방서에서는 콘크리트 용도에 따라 모래중의 염분을 0.04%,

[참고자료1] 잔골재염분과 콘크리트중의 염분량관계 (日本 주택공단 DATA)

잔골재중의 염분함유량(%)	콘크리트중의 염분함유량(kg/m ³)
0.04	0.30
0.1	0.75
0.2	1.50

0.1% 이하로 규제하며, 건설부방침은 구조물의 시공부분 및 콘크리트용도에 따라 콘크리트내의 Cl⁻량을 0.30kg/m³이하, 0.60kg/m³이하로 규제하고 있다. 따라서 해사중에 NaCl 0.04%~0.1%, 콘크리트중에 Cl⁻이 0.30kg/m³ ~ 0.60kg/m³함유된 경우라도 구조물의 시공구분 및 콘크리트용도에 따라서 사용해도 된다는 해석이 가능하다.

[참고자료2] 水溶性 염화물 함유 허용량

재 료	Cl ⁻ 량(wt. %)	주(참고문헌)
시멘트	0.10	DIN 1164, Locher ³⁾
	규정없음	KS L 5120
	0.05	Schulze ¹⁾
잔골재 (모래)	0.04	KS F 4009
	0.02	Locher ³⁾
	0.03	Schulze ¹⁾
물	150ppm이하	KS F 4009
	0.03(=300mg/1물)	Locher ³⁾
	0.05	Schulze ¹⁾
혼화제	첨가금지	DIN 1045
	제한 규정 없음	KS F 2560
콘크리트	0.4%/시멘트 ¹⁾	Locher ³⁾ , DIN
	0.30kg/m ³ 콘크리트 ²⁾	KS F 4009
	0.05%시멘트	Schulze ¹⁾

- 1) 프리텐션 경우는 0.2% Cl⁻/시멘트
- 2) (%/시멘트) ≒ 7·(콘크리트)·단 “중량” 단위 당.

표 1 Characteristic Properties of Sands

시험 항목	海 砂	천사(옥천)	기준치	비 고
표건 비중	2.60	2.60	2.50 이상	※ 바다모래는 채취장소, 수심 모래층깊이 등에 따라서 품질특성 및 염분이 변함.
흡수율(%)	0.93	1.01	2.0 이하	
No200번체 씻기	0.91	0.93	3.0 이하	
손실량(%)				※ 본 DATA는 콘크리트용 잔골재기준인 해사시험치임
단위용적중량(kg/m ³)	1,610	1,631	1,450 이상	
공극율(%)	38.0	37.3	—	
유기불순물	acc.	acc.	표준색도이하	
안정성	acc.	acc.	12.0% 이하	
조개껍질	2.65	—	—	
함유량(wt%)				
NaCl함유량(wt%)	0.13 (1,300ppm)	—	0.04(400pm)이하	

안정성시험:Na2 S04 사용

3.4.3 外國의 규격중 日本의 염분규제치는 우리나라규격치와 거의 동등하나 미국인 경우 PRESTRESSD 콘크리트에서는 모래인 경우 0.034%이하, 콘크리트인 경우 0.18kg/m³이하로 우리나라 규격보다 엄격하지만 그외의 콘크리트에서는 모래 0.093~0.86%, 콘크리트 0.45kg/m³~3kg/m³이하로 우리나라규격보다 규격치 범위가 상당히 크며 영국역시 동일한 경향이다. 따라서 海砂인 경우 염분의 함유량이 0.04%이상인 경우 무조건 콘크리트에 적합하지 않다는 것은 고려되어야 할 사항이다.

[참고자료2]는 콘크리트의 각 재료에 대한 Cl 각국 규격치로서 참고로 제시한다

4. 海砂의 品質特性

4.1 해사의 일반물리적특성 (콘크리트용 잔골재:中砂)

A지구(인천산)바다모래의 일반특성은 표-1에 제시한 바와같이 강모래에 손색이 없는 콘크리트 제조용 잔골재로 판단된다.

4.2 조개껍질 함유량(Shell Cont.)

표-2 Shell Content of Sea-Sand

조개껍질크기	조개껍질함유량	비 고
10mm 이상	아주 적음	※ 채취장소, 수심, 모래층 및 왕사, 중사(콘크리트용잔골재), 세사(미장사)에 따라 함유량 변함
10~5mm	0.32	
5~2.5mm	1.67	
2.5mm이하	0.66	
Total ratio of shell to Sea Sand:2.65		

2.5mm이상의 조개껍질 Size는 수(手)작업으로 구하고 2.5mm이하 Size는 염산(HCl)에 용해시켜 손실무게로 함유량을 구하였으며 각Size별 함유량은 표-2와 같다.

4.2.1 5mm이하 Size 조개껍질이 콘크리트 물성에 미치는 영향

표-3의 결과를 보면 바다모래에 5mm이하

표-3 5mm이하인 조개 껍질 함유량에 따른 콘크리트 Slump, 강도비(%)결과(표준양생)

조개껍질 함유량(%)	SLUMP cm	압축강도비(%)			휨강도비(%)
		7일	28일	91일	28일
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

※콘크리트배합:W/C=51%, Cement=320kg/m²
S/A=37%

표-4 5~13mm Size의 조개껍질 함유량에 따른 콘크리트의 Slump, 강도비(%)결과 (표준양생)

조개껍질 함유량(%)	SLUMP	압축강도비(%)			휨강도비(%)	
	cm	7일	28일	91일	28일	91일
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

※콘크리트배합:W/C=51%, Cement=320kg/m²
S/A=37%

인 조개껍질이 20%혼입되어도 Slump 및 강도에 영향을 주지 않는다. 20%까지 혼입되어도 강도에 영향을 미치지 않는것은 martix 부분의 파괴저항력이 조개껍질이 혼입되지 않은 경우와 거의 동등하기 때문이다.

4.2.2 5~13mm Size 조개껍질이 콘크리트 물성에 미치는 영향

1)수중양생

바다모래중에 함유된 암석 및 Size가 큰 조개껍질은 Trommel에 의해 거의 제거되는 것이 필연적이며 이때 통과 할 수있는 5~13mm의 조개껍질이 4%까지 혼입되었을때 Slump, 압축강도, 휨강도는 표-4에 제시한 강도대비(%)의 결과를 보면 5~13mm조개껍질이 4%까지 혼입되어도 Slump 및 강도에 영향을 주지 않는다. 다만 콘크리트표면에 조개껍질이 나타내는 것에 대해서는 주의할 필요가 있다.

2)Auto Clave 양생(고압증기양생)

콘크리트 2차제품등의 고강도영역을 대상으로하는 고압증기양생의 경우에 조개껍질

표-5 5~13mm조개껍질 함유율에 따른강도비 (Autoclave 양생)

조개껍질 함유량(%)	압축강도 (%)	50시간 양생		
		압축강도비(%)	인장강도비(%)	휨강도비(%)
0	100	100	—	100
2	99	99	100	103
4	100	100	100	100
6	98	96	106	100

표-6 Chemical Component of Sea Water (Unit:wt %)

Chemical Component	%
NaCl	2.72(27,200ppm)
MgCl ₂	0.30
Mgso ₄	0.21
CaSo ₄	0.14
KCl	0.08
etc	0.02
Total	3.47

혼입량이 4%까지는 동일한 강도를 나타내지만 6%에서는 약간 강도가 지하하는 것을 표 6에서 강도대비(%)로서 보여준다. 이것은 조개껍질의 표면과의 수열(水熱)반응이 골재에 비해 전혀없기 때문에 부착강도가 저하되는것 이라고 생각된다.

그러나 실용상 5mm이상의 조개껍질 혼입의 영향은 무시하여도 좋다.

4.3 염분함유량

바다모래중의 염분함유량 시험은 MOHR 법을 사용하였으며 바다모래에 부착되어 있는

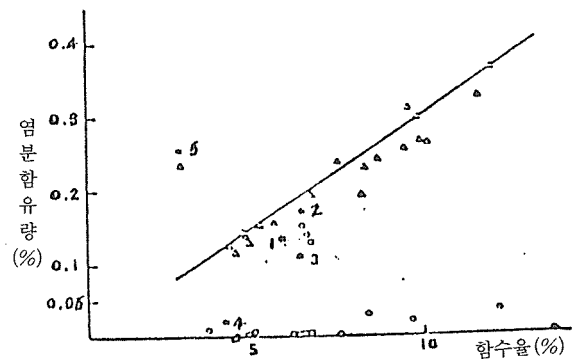


그림 2 해사의 함수율과 염분함유량

(범례)

- a. ○ 스포링클러등으로 물을 뿌린다(세척사)
△ 물을 뿌리지 않은 것(해사 그대로의 것)
— 직선은 함수율에 대한 이온염분량(부착수를 해수로운 경우)
- b. * 1 쌓여진 모래의 최하부
* 2 지하터널벨트콘베아
* 3 세척된 모래와 혼합
* 4 아직 2년
* 5 약간 건조한것

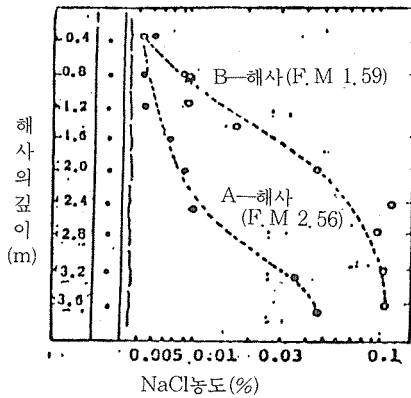


그림 3 세척깊이와 NaCl농도와와의 관계 (살수량 300m/m)

바다물의 화학분석치는 표-5와 같다.

4.3.1 海砂의 함수율과 염분함유량의 관계
 바다속에서 채취된 해사의 함수율에 따라 염분함유량이 변한다는 것은 그림.2 에서와 같이 알 수 있으며 스프링클러등으로 물을 뿌려 세척된 모래의 함수율에 따른 염분함유량을 비교하여 그림으로 나타내고 있다.

4.3.2 海砂의 제염(세척)에 따른 염분함유량의 관계

1) 해사의 F.M(조립율) 변화와 제염상태와의 관계

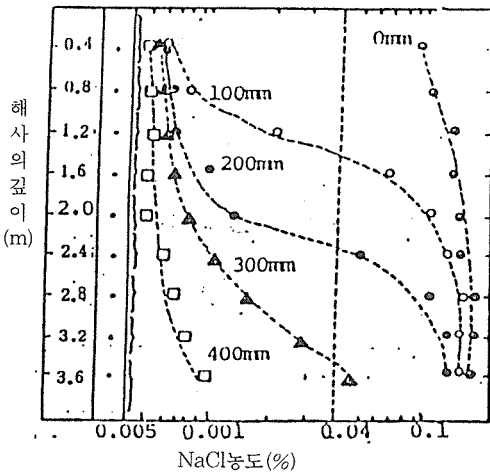


그림 4 세척깊이와 NaCl농도 및 살수량과의 관계

[참고자료-1] 일본의 제염방법 및 海砂사용방법

* 제염방법

昭和55년

集積		기계注水			공장	
자연야적	散水	Trommel	Screen	분급기	Spring Coder	Over Flow
30%	2%	32%	22%	22%	30%	2%

* 海砂사용방법

해사단독	2종이상의 해사혼합	해사와 다른모래혼합
18.5%	32.8%	48.7%

그림 3은 조립율이 서로다른 B해사(F.M=1.59)와 A해사(F.M 2.56)를 살수량이 같을 때의 세척상태를 본 것인데, 300m/m 살수후 24hr경과된 다음 결과로서, A해사가 B해사에 비해 현저히 세척효율이 좋음을 보여주었다. 이것은 조립율이 클수록 비표면적이 적기때문에 보수율이 작으며 표수와 염분함유량과는 절대적인 비례관계가 있기 때문이라고 생각된다.

2) 살수량 변화와 제염상태와의 관계

그림 4는 살수량변화에 따른 각 깊이에서 해사의 제염상태 측정 한 것이며 살수후 24hr 경과한 다음 샘플링하여 염분함유율을 측정 한 것이다. 이 결과에서 400mm살수량이면 4m깊이까지 염분농도 0.04%이하로 제염가능하다.

표-7 NaCl 함유율에 따른 강도비 및 Slump

조개접질 함유량(%)	SLUMP (cm)	압축강도비(%)			휨강도비(%)	
		7일	28일	91일	28일	91일
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	98	99	103
0.25	8.5	110	100	99	93	99

※ W/C=51%, Cement=320kg/m³ S/A=37%

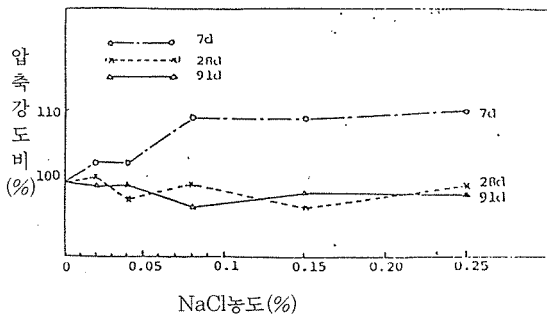


그림 5 NaCl농도에 따른 재령별 압축강도비

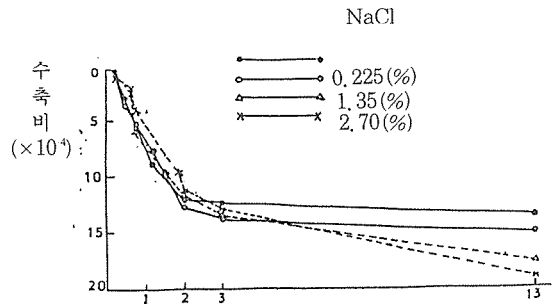


그림 7 NaCl 함유수준별 각내형에서의 수축비(물탈)

5. 염분이 콘크리트 物性에 미치는 영향

5.1 Slump 및 강도

바다모래중에 염분함유량이 0~0.25% 함유되었을때 Slump 및 강도대비(%)를 표7에 표시하였다.

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

그림 5는 각재령에서 염분 함유량에 따른 압축강도비(%)를 나타낸 것이며 0.25%까지의 염분 함유량내에서는 초기강도(7일)는 염분함유량 증가에 따라 상승하며 후기강도(28

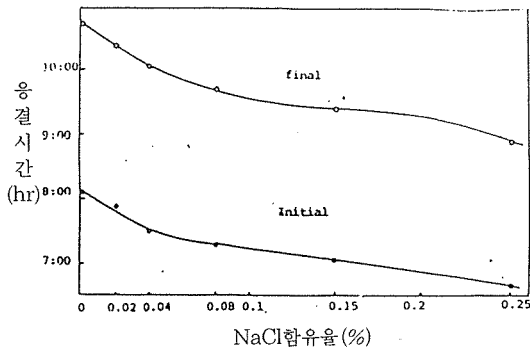


그림 6 NaCl함유율 응결시간과의 관계

일)에서는 거의 동등함을 보여준다.

5.2 응결시간

그림6에 나타난 바와같이 염분함량이 많아짐에 따라 응결시간이 짧아지는 것을 보여주고 있다. 이것은 염분함유량 증가에 따라 수화반응이 빨라지며 수화반응량도 많아져서 응결이 촉진되기 때문이다.

그림 7에 나타난 바와같이 염분함유량이 증가함에 따라 건조수축은 증가하나 0.225%까지 첨가하여도 0%에 비해 1×10^{-4} %정도 건조수축이 증가하므로 0.1%까지 염분이 함유되어있는 경우는 큰 문제없다.

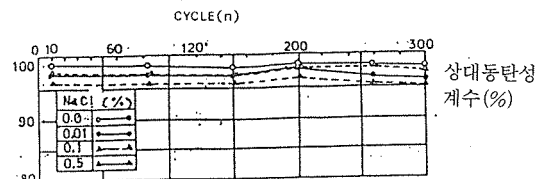


그림 8 NaCl 함유수준별 각 Cycle별 동탄성계수와의 관계(AE 제 첨가)

5.3 동결융해

그림 8에 나타난 바와같이 염분함유량 증가에 따른 동결융해에 대한 내구성 변화는 무시해도 좋다.

표- 8 NaCl 함유율에 따른 수화열

NaCl (%)	수화열 (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	70.7	78.6
0.50	63.2	70.2	78.7
1.00	66.9	72.3	78.2
2.50	69.5	72.6	77.7

5.4 수화열

표 8. 결과에서 염분량 0.1%이하에서 2, 4주의 수화열은 염분량에 따라 큰 차이가 없지만, 0.5%에서는 1주의 수화열을 기준으로 보면 3cal/g정도 높게된다.

6. 콘크리트내의 철근부식(녹발생) 발생의 Mechanism

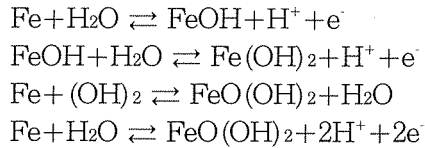
콘크리트의 중요한 역할은 높은강도를 내는 외에 철근을 부식작용으로부터 보호하는 것이다. 즉 정상적으로 제조된 콘크리트의 철근이 부식되지 않는 이유는 시멘트의 알카리(石炭)반응 때문이다. 시멘트 硬化體의 氣孔들에는 pH 12.5에 달하는 石炭飽和溶液이 존재하는데 이러한 강알카리 媒質에서는 철근표면에 얇은(1~1.5mm) 酸化物층(소위 不動態膜이 형성되며 이膜은 매우 치밀하여 철이 더이상 산화되지 않도록 보호하는 작용을 한다. 그리고 이러한 不動態膜은 pH>9 (CaCO₃의 pH값)의 조건하에서 계속유지된다.

그러나 만일 媒質(氣孔水)의 알카리성이 저하되거나(예:콘크리트층이(피복두께) 충분히 두껍지 못하거나 치밀하지도 않고 또한 시멘트량이 부족할때등) 대기중의 CO₂로 인한 中性化, 또는 pH값은 충분하여도 不動態膜을 파괴할 수 있는 水溶性鹽(예:鹽化物, 질산염)이나 Gas(CO₂, SO₂)와 접하게하면 보호

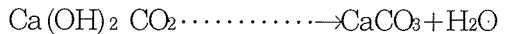
膜층이 局部的으로 파괴되어서 철의 酸化가 진행될 수 있다. 이때 생성되는 산화철층은 철 자체에 비하여 그용적이 매우 커서 철근을 덮고있는 피복층(콘크리트)을 파괴하고 이후 산화반응은 계속되어 방치해두면 구조물자체를 위태롭게 하기에 이르게 되는 것이다.

6.1 콘크리트의 中性化에 의한 철근부식

(순서1) 콘크리트내에 Calcium Silicate 水和에서 생긴 Ca(OH)₂에 따라 氣孔水의 pH 값이 11.5≤pH≤13.8의 범위(강알카리)에 있을때 안정한 보호층 역할을 하는 不動態膜(FeO)의 형성은 다음과 같은 반응을 통하여 이루어진다.



(순서 2) 그러나 Ca(OH)₂는 장기간동안에 공기중의 CO₂를 흡수하여 CaCO₃가 되어 알카리성을 잃어버려 中性化(pH가 알카리에서 中性)가 진행된다.



(순서 3) 시멘트 中性化가 진행되어 철근의 표면까지 이르면 물과 CO₂Gas, 산소(O₂)등이 공존하여 不動態膜이 파괴되어 철근이 부식이 생긴다.

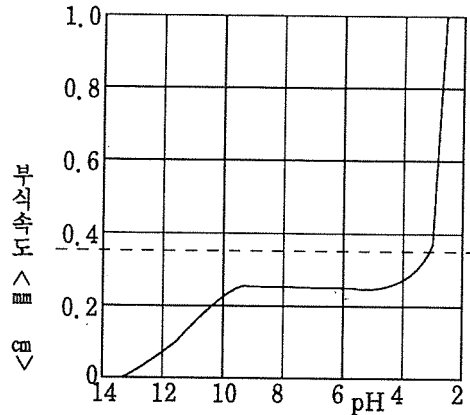
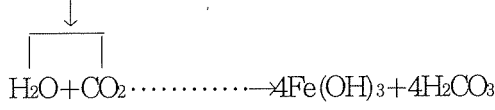
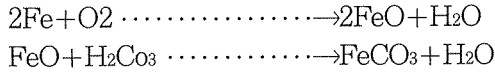


그림-9 pH와 부식속도와의 관계(mm/년)



콘크리트 中性化(pH)와 철근부식의 밀접한 관계는 그림 9에 표시했다.

6.2 콘크리트(내부적이고 수밀함)내의 염분(염소이온 Cl⁻)에 의한 철근 부식

6.2.1 Cl⁻이 철근보호피막을 局部的으로 파괴하는 경우

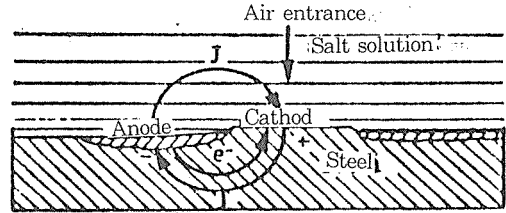
(순서 1) 다량의 염소이온이 콘크리트내에 존재하거나 침입하거나 하면 철근의 不動態膜이 파괴되는데 이것은 염소이온(Cl⁻)이 철 표면의 산소이온 및 수산화이온(OH⁻)과 可逆으로 치환하여 不動態화된 철표면을 局部的으로 活性化하기 때문에 철근의 보호역할이 실효된다.

(산화피막설; Cl⁻이 다른이온보다 쉽게 산화피막에 침투하여 콜로이드상으로 분산시켜 투과성을 좋게함, 흡착설; Cl⁻이 용존산소 및 수산화이온(OH⁻)과 경쟁적으로 금속면에 흡착하여, 일단표면에 접촉하면 금속이온의 수화를 도와 이것이 용액중에 용출하는 것을 용이하게 함.)

같은 염소이온에서도 그것이 알카리금속염(NaCl, KCl, LiCl)과 알카리토금속염(CaCl₂, SrCl₂)을 비교하면 알카리금속염 쪽의 부식성이 조금 크다.

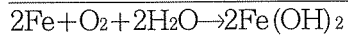
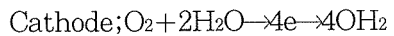
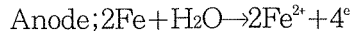
그리고 A Bukowiecki는 그림 10에서 보는 것과 같이 갈바노부식 電池의 작용법으로 철근부식 현상을 설명하였다.

(순서2) 즉 不動態膜이 局部的으로 파괴되면 이때 노출되는 철은 Anode가 되고 아직 존재하는 不動態膜 부위는 Cathode 역을 하여 일종의 局部電池가 形成된다. 그리고 각 전극에서는 다음과 같은 반응이 일어난다.



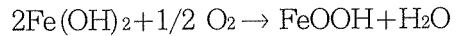
(J; 전류의 흐름)

그림 10 전류작용에 의한 부식 과정



(Anode에서 생기는 전자는 물매질에 함유된 산소와 반응함)

(순서3) 그리고 이 수산화철은 산소와 다시 반응하여 느슨한 조직을 가지면서 금속철 표면에 거의 密着치않은 二次침전물(FeOOH, 녹)을 형성한다.



6.2.2 Cl⁻이 콘크리트 pH를 저하시키는 경우

그림 11은 염소이온이 Ca(OH)₂포화용액의 pH를 저하시키는 것을 보여 주는 것으로서 콘크리트중의 잔골재(모래) 및 海水침입의 경우 콘크리트의 pH를 저하시켜 철근보호능력을 감소시키는 것을 나타낸다.

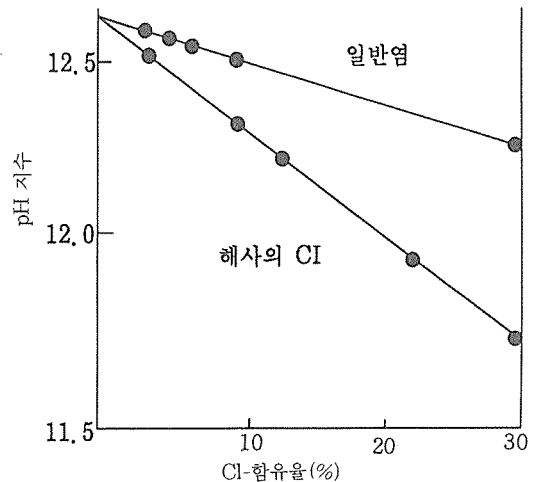


그림 11 pH와 Cl함유율과의 관계

(세부사항은 6.1의 中性化에 의한 철근부식 참조 要)

7. 海砂中の 鹽分함유량에 따라 콘크리트내의 철근부식 發生程度

7.1 實驗 개요

海砂中の 鹽分함유량이 각각 다른 콘크리트에 철근을 配筋한 소형시험체 (15×15×28cm直方體, 콘크리트 打設面側과底面側에 각각 피복두께가 20, 30, 40mm되도록 配筋하였음)를 사용해서 乾濕 반복조작에 의한 促進暴露시험 및 일반환경하에서 自然暴露 시험을 해서 각 재령에서의 철근 발청 狀況을 관찰측정하는 것에 따라 각종 발청 대책의 有效性을 비교검토 하기로 한 것이다.

7.2 實驗계획

1) 기본씨리즈

	물시멘트비슬럼프	염분량 (%)	방청제 사용	표면활성제 사용
보통콘크리트	65.21	0	無	無
		0.04		
		0.1		
		0.2		
		0.3		
	55.18	0.1	有	有
			無	AE減水劑
	50.21	0.1	有	無
			無	AE減水劑
	50.18	0.2	有	AE減水劑
경량콘크리트	60.21	0	無	AE劑
		0.04		
		0.1		
		0.2		
		0.3		
	55.18	0.1	有	AE劑
			無	AE減水劑
	50.21	0.1	有	AE劑
			無	AE減水劑
	50.18	0.2	有	AE減水劑

* NaCl환산: 절건상태 모래에대한중량백분율(이하같음)

* 鹽分の 혼입은 NaCl량으로 절건상태모래 중량에 대해서 0.04, 0.1, 0.2, 0.3%로 되도록 海水로 조정사용

2) 유동화씨리즈

	물시멘트비슬럼프	염분량 (%)	방청제 사용	표면활성제 사용
보통콘크리트	55.18	0.1	有	AE減水劑
			無	
	50.18	0.2	有	AE減水劑
			無	
	50.12	0.2	有	AE減水劑
			無	
경량콘크리트	55.18	0.1	有	AE減水劑
			無	
	50.18	0.2	有	AE減水劑
			無	

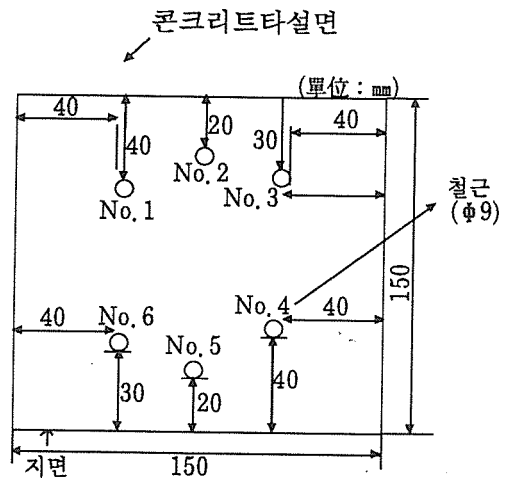
* 유동화: Slump→22cm. 기타는 18→22cm

3) 증기양생씨리즈

	물 시멘트비슬럼프	염분량 (%)	방청제 사용	표면활성제 사용
보통콘크리트	55.6	0.04	無	
		0.1		
		0.2	有	
			無	
		0.3	有	
			無	

註) 증기양생조건: 통상의 PC관등을제조 할때의 증기양생방법

4) 시험체 斷面에 대한 配筋씨리즈



7.3. 實驗結果 및 考察

7.3.1 基本 試리즈에 대하여

표 9는 촉진폭로시험 20cycle에서 물-시멘트비, 鹽分量과 철근부식 狀況과의 관계를 나타낸것으로서

1) W/C比 65%의 보통콘크리트에서는 鹽分量 0.04%에서도 철근의 D형 부식이 확인되고 있지 않지만 鹽分量이 0.1%以上이 되면 명확하게 D형부식이 보인다.

2) 그러나 W/C比 55,50%로 적게한 경우 염분량 0.1% 에서도 D형부식은 보이지 않는다.

3) 위의 1),2)항에 따라서 철근의 부식에 미치는 염분량과 W/C比의 영향은 명확하며 염분량이 0.04%인 경우는 W/C比를 적게하는등의 대책을 강구할 필요가 있다.

4) 경량콘크리트는 일반적으로 보통콘크리트 보다도 通氣성이 크다고 생각되기 때문에 동일배합인 경우 염분의 존재하에서는 경량콘크리트중의 철근쪽이 부식정도가 현저하다고 생각된다. 그러나今回の 촉진폭로 시험의 범위내에서는 오히려 경량콘크리트인 경우쪽이 철근부식이 어려운 것은 아닌가 생각되는 결과가 얻어졌다.

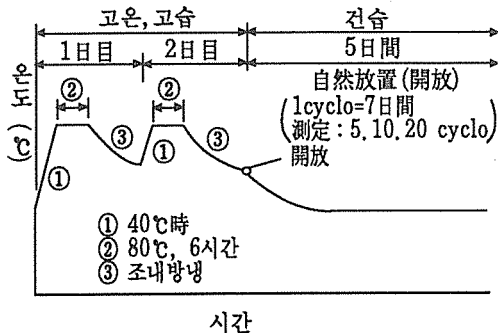


그림 12 乾濕반복조건(증기양생+자연건조)

표 11 基本試리즈의 물-시멘트에대한 염분량과 철근부식 상황

콘크리트 염분량 NaCl(%)	물시멘트 W/C 65	보통콘크리트			경량콘크리트		
		55	50		60	55	50
0	C	/	/	N	/	/	
0.04	C	/	/	N	/	/	
0.1	D	C(N)	N(N)	N	N(N)	N(N)	
0.2	D	/	(N)	D	/	(N)	
0.3	D	/	/	D	/	/	

이러한점에 대해서는 자연폭로 시험결과와도 합쳐서 비교검토가 필요하지만 한단계에서는 許容염분량을 설정하는 경우 보통콘크리트와 같은정도의 수치로 하여야한다고 생각된다.

5) 철근부식형태별 호칭구분시리즈

• D형부식

①진행성이라고 생각되는 부식형태

②측정시점에서 명확하게 녹층이 형성되는것

• G형부식

①진행성이 없다고 생각되는 부식형태

②약간의 녹이 있을것 이라고 판단된 것

• N형: 전혀부식이 없는것

표 12, 13도 같다.

G:G형 부식이 보인다.

D:D형 부식이 보인다

N:전혀 부식이 보이지 않는다.

내는 방청제를 사용한 시험제

6) 그림 12-1은 염분량과 철근부식량과의 관계를 표시한 것으로 염분량이 0.04%를 넘으면 D형 부식이 보이고 그것이상 염분량을 증가시키면 철근부식량이 증가하는 경향을 보인다.

7) 그림 13은 보통 콘크리트에 대해서 촉진폭로시험 20cycle까지의 철근부식량의 진행 상황을 제시한 것이다. 이것에 의하면 염분량

이 0.2, 0.3%크게되는 만큼 축진 Cycle증가에 따른 부식의 진행 정도는 크게 되며 폭로 시험 20cycle에서는 염분량이 0.1%를 넘으면 철근부식이 급격히 증가된다.

8) 아연도금 철근의 유용성에 대해서는 여기서 결과를 제시하고 있지 않지만 W/C비 65%, 염분량이 0.3%인 콘크리트 중에서도 철근의 부식은 전혀 확인되고 있지 않으며 도금층이 견실하고 균일한 것이라면 충분히 耐食性を 나타낸다는 것이 확인 되었다.

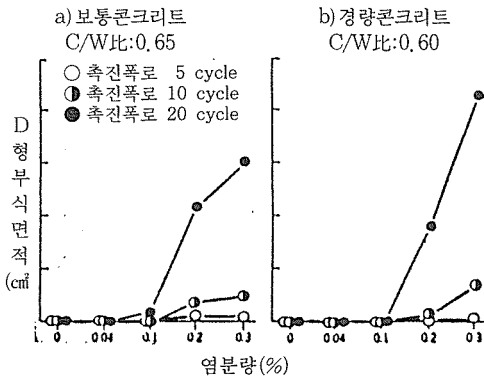


그림 12-1 각종 콘크리트에서 염분량과 물시멘트비, 염분량과 D형부식 면적과의 관계

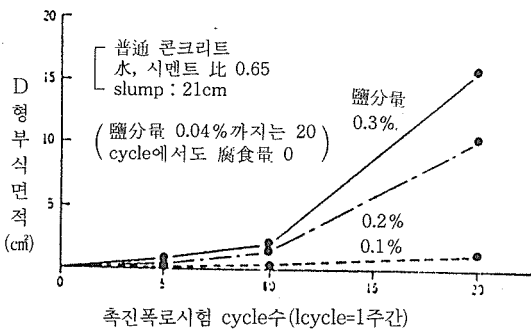


그림 13 축진폭로시험에서 D형부식의 진행상황

9) 또한 방청제의 의한 철근부식 억제효과에 대해서도 표11에서 명확한 것 같이 염분량 0.2%를 혼입해도 철근의 부식은 인정되지 않으며 이번 축진폭로 시험결과에서는 그

효과가 충분히 발휘되고 있다는 것을 알고있음.

10) 피복두께 20, 30, 40mm변화시킨 시험의 결과 철근의 부식 상황이 명확하게 파악되지 않았지만 長期자연 폭로 시험결과를 합쳐서 시험할 필요가 있을것이다.

7.3.2 流動化 씨리츠에 대해서

1) 표12는 축진폭로 시험 20cycle에서 W/C비, 염분량과 철근 부식상황과의 관계를 표시한 것으로 이것에 의해 염분이 0.1% 존재하는 경우 Slump 18cm를 22cm로 유동화 해도 철근의 부식은 보이지 않는다. 염분 혼입량, 물-시멘트비가 동일한 유동화하지 않은 보통콘크리트 또는 경량콘크리트중에서인 경우와 거의 같은 경향을 나타내고 있다. 따라서 이 정도의 유동화인 경우 유동화시킨 자체가 철근부식에 특별한 영향을 미치지 않는 것이다. 라고는 생각되지 않는다.

Slump 12cm를 22cm로 유동화한 콘크

표 12 유동화 씨리츠의 W/C비, 염분량과 철근부식상황

콘크리트	보통 콘크리트		경량콘크리트				
	물·시멘트비55	50	55	50			
염분량 NaCl(%)	방청제 사용無	有	有	無	有	無	有
0.1	G		G	G	N		
0.2			N/D	N/D	*		N

상단Slump →22cm, 하단 Slup 12→22cm
이것이외의 모두 Slup 18→22cm

표 13 증기양생 씨리츠의 물-시멘트, 염분량과 철근부식 상황

콘크리트	보통콘크리트	물·시멘트비(0.55)
	방청제의사용無	방청제의사용有
0.04	G	
0.1	D	
0.2	D	D
0.3	D	D

a) 방청제 없는 경우

b) 방청제 사용의 경우

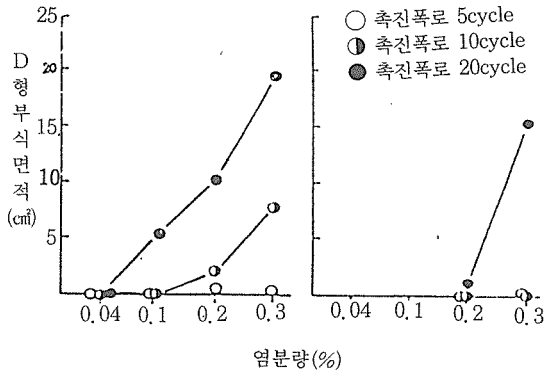


그림 14 증기양생콘크리트(물-시멘트비0.05)에서 염분량과 D형부식 면적과의 관계

리트또는 유동화시키지 않은 콘크리트보다 약간 철근 부식진행 정도가 크게 되는 경향이 보였다.

즉 이실험 범위에서 유동화정도를 크게 하면 내부철근이 보다 부식하기 쉬운상태로 되는 것이 나타났다고 생각되지만 유동화 콘크리트에 대해서는 이후 자연폭로 시험결과등과 합쳐서 검토할필요가 있을 것이다.

7.3.3. 증기양생 씨리츠에 대해서

표 13은 축진폭로시험 20cycle에 대한 물-시멘트 비, 염분량과 철근 부식과의 관계를 제시한 것이다.

또한 그림 13 염분량과 철근부식량과의 관계를 제시한 것이다. 이번에 실시한 축진폭로 시험결과에 의하면 초기에 증기양생을 한 콘크리트중에서는 증기양생을 한 콘크리트중에서는 염분혼입량이 동일한 증기양생을 하지 않은, 보통, 경량콘크리트인 경우보다도 내부 철근의 부식정도가 현저하게 큰 경향이 인정된다. 또한 증기양생 콘크리트에서는 방청제를 사용해도 염분량 0.2%에서 D형부식이 보인다. 따라서 증기 양생콘크리트의 염분허용량의 설정에 있어서는 일반 콘크리트인 경우보다 특별히 엄하게 규정할 필요가 있다.

8. 結 言

8.1 各國의 海砂에 대한 염분규제치는 前述의 표와 같이 콘크리트사용 용도, 구조체의 시공구분에 따라 대략적으로 0.034%~0.1%(1,000ppm)까지 사용할 수 있도록 규정하고 있으며 우리나라 역시 주문자의 승인이 있을시 0.1%까지 사용할 수 있다고 규정하고 있다. 그러므로 海砂의 염분함유량이 0.04%~0.1%이하의 것을 사용하는 경우 구조체내의 철근부식으로 인하여 무조건 부실공사의 우려가 있다는 표현은 객관성이 없는 것으로 판단된다.

8.2 세계 각국의 규격치에는 콘크리트중의 모래, 시멘트, 물, 혼화제에 대한 각각의 Cl⁻ 함유량은 규제하고 있는 추세임으로 향후 우리나라에서도 이와같은 콘크리트내의 Cl⁻ 함유량을 기준으로 각재료에 대한 Cl⁻ 량의 규제치설정이 보다 구체적인 (부속서등) 염분규정의 제정이 필요하다고 판단된다.

8.3 모래중의 염분함유량이 0.04%를 기점으로 0.1%정도에서 進行性부식형태(D형)가 나타나기 시작하여 염분량이 0.2%, 0.3%에서 점차 크게된다는 실험결과와 같이 염분이 다량함유되면 콘크리트내의 철근부식을 발생하여 구조체의 수명을 단축시키며 결함이 발생되기 때문에 관계기술자들은 제규정을 철저히 지켜야 한다고 사료된다.

日本주택공단;

①콘크리트중의 염분함유량은 원칙으로 0.75kg/m³을 넘지않도록 하며 0.30kg/m³을 넘는 경우는 건설성 住指發 제759호에 제시한 조치를 강구한다. (예. 방청제사용, W/C비관리, 철근종류)

②인공경량골재 콘크리트에 대해서는 상기 ①의 조건에서 보통콘크리트와 동일하게 한다.

③증기양생 콘크리트에서는 콘크리트중의 염분은 0.75 kg/m^3 이하로하고 반드시 방청제를 사용한다.

8.4 [전남대, 무기재료공학과 張復基교수]

1) 점차 稀貴해가는 天然골재를 節約하기 爲해서라도 無筋의 一段콘크리트(블록, 各種 벽돌, 石, 관, 도로포장等)에는 일부러 海砂 使用을 권함이 바람직하다.

海岸地方에서는 海水使用도 같은 意味에서 無妨하다. 그러나 參考로, 無筋콘크리트라 하더라도—황산염 또는 알칼리 侵蝕等 과 類似한— 콜로이드侵蝕이 매우 多量의 염화물 첨가時 일어날 수 있다.

2) 철근콘크리트를 위해서는 含有許容量에 對한 연구자들이 見解가 一致하지 않으나, $0.4\% \text{ Cl}^-$ /시멘트值로 制限함이 安定性이 이 유에서 바람직하다.

그리고 콘크리트의 시멘트 含量이 경우에 따라 큰 差異($200 \sim 500 \text{ kg}$ 시멘트/ m^3 콘크리트)를 나타내므로, 鹽化物許容基準値를 콘크리트보다 콘크리트內의 量으로 定함이 合理的이다. 또 프리텐션경우는 염화물을 最大 $0.2\% \text{ Cl}^-$ /시멘트로 規制함이 亦是 安定性의 이 유에서 必要하다.

3) 海砂(또는 海水)는 鐵筋콘크리트 경우라도 總鹽化物量이 $0.4\% \text{ Cl}^-$ /시멘트를 초과하지 않은 限 시멘트自體, 혼합水 及 콘크리트 用 混和劑가 各各 含有하고 있는 염화물量을 고려하여 0.04% 이상 염화물을 含有한 海砂 일지라도 사용할 수 있다.

(參考 문헌)

1. 해사 사용에 관한 研究, 쌍용양회공업 (주)중앙연구소, 현석훈

2. 콘크리트 철근부식의 유해 鹽化物量에 대하여, 레미콘지(93, 7), 전남대 張復基 교수

3. KSF 4009規格(레디믹스트 콘크리트)

4. 콘크리트 시방서(대한토목, 건축학회)

5. 岸谷, 友澤, 福士, 海砂使用上の 技術基準に 關する研究(その1)

—研究要 および 技術基準の 提案, 日本建築學會大會學術講演(昭和55年)

6. 友澤, 福士, 經野, 海砂使用上の 技術基準に 關する(その2)

—鐵筋の防せい 對策に 關する 實驗的檢討 (實驗計面 および 實驗方法)—, 日本建築學會大會學術講演梗概集(昭和55年 9月)

7. 友澤, 福士, 經野, 海砂使用上の 技術基準に 關する研究(その3)

—鐵筋の防せい 對策に 關する 實驗的檢討 (促進ばくる試驗20サイクルレの結果)—, 日本建築學會大會學術講演梗概集(昭和55年 9月)

8. 鹽土, 森永, 成田, 海砂使用上の 技術基準に 關する研究(その4)

—既存構造物の鐵筋腐食に 關する 實態調査—, 日本建築學會大會學術講演梗概集(昭和55年 9月)

9. 橋高, 福士, 中島, 工藤, 海砂使用上の 技術基準に 關する研究(その5)

—鹽分の簡易燥査方法に 關する 實驗的檢討—, 日本建築學會大會學術講演梗概集(昭和55年 9月)