

# 해수 콘크리트에 대한 수중불분리혼화제와 방청제의 효과에 관한 연구

강현주\*, 이경희\*, 조인성\*\*

\* 명지대학교 무기재료 공학과

\*\* 동남기업 (주)

## 1. 서론

해수에 의한 침식기구에 관해서는 19세기부터 주로 시멘트화학의 입장에서 해명하고자 하는 많은 연구가 이루어지고 있으며, 현재 선진 각국에서는 염화물의 영향을 받는 콘크리트 구조물 축조시 염해에 대한대책을 충분히 수립하여 시행하고 있을 뿐만 아니라 이미 건설된 구조물의 경우에도 유지 관리 및 내구성 진단, 평가에 대책을 강구하고 있는 실정이며, 특히 우리나라에서도 철근 부식 억제 효과가 있는 것으로 평가받고 있는 철근 콘크리트용 방청제의 사용이 영종도 신공항 공사, 부산의 메트로 시티공사, 가덕 항만기지공사등 SOC(사회기반시설 : 도로, 항만, 공항, 교량등)공사를 위주로 점차 일반화하고 있는 추세에 있다.

이와 마찬가지로 수중불분리 콘크리트의 수요량도 한강의 교량 보수공사를 시작으로 증가하고 있는 추세이며 부산 광안대교 공사, 호남선 복복선 공사, 남해안 일주도로 공사등 교량에서의 수중 불분리 콘크리트 공사가 진행되었다.

그러나 해양 구조물 공사에서 수중불분리 콘크리트의 염해에 대한 영향에 대해서는 검토가 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다.

참고문헌에 따르면 해수 중에서의 수중불분리 콘크리트는 유해이온의 침식으로 인하여 강도가 감소하는 경향을 나타내었고 이는 시멘트 조성광물중의  $C_3S$ ,  $C_2S$ 의 수화반응으로 인하여 생성된  $Ca(OH)_2$ 가 해수중의  $SO_4^{2-}$ ,  $Mg^{2+}$ 이온과 반응하여 gypsum과  $Mg(OH)_2$ 를 생성함으로써 콘크리트의 조직구조를 열화 시키기 때문으로 생각된다.

건설재료 중에서 철강재와 더불어 가장 큰 비중을 차지하는 콘크리트 재료는 내구성이 우수하여 반영구적인 구조물 축조에 적용되어 왔다. 최근 내륙사의 고갈로 인하여 해사의 사용량이 폭발적으로 증가 추세에 있고, 해사중의 염화물로 인하여 철근의 부식이 발생되고 있다. 또 해양개발이 활발해지면서 해상, 해안 및 바다근처에 설치되는 교량, 방파제, 안벽 등과 같은 콘크리트 구조물에서부터 해상도시, 해상비행장, 해저터널 및 심해의 유전탐사기지 등과 같은 많은 콘크리트 구조물의 경우 구조물 외부로부터 침투되는 염분의 영향으로 인하여 콘크리트 내부에 묻힌 철근이 녹슬게 되고 부피가 약 1.8~2.5배 정도 증가되어 이 팽창 압력으로 콘크리트 구조물의 균열, 박리 등과 같은 열화현상이 나타남으로써 구조물이 치명적인 손상을 받게 되고 균열발생으로 수분, 산소의 침투가 용이해져 철근의 부식은 더욱 촉진되고 콘크리트의 내구성은 현저하게 저하되어 콘크리트의 파괴가 진행된다. 그러므로 해양 및 해양콘크리트 구조물은 철근부식에 대한 내구성과 신뢰성을 확보해야 하는 문제가 매우 중요시되고 있다.

이와 같이 열화된 콘크리트 조직구조는 염화물 이온의 침투가 용이해질 것으로 생각되며 이에 대한 대비책이 필요한 실정이며, 최근 들어 해수중, 해양환경 등 열악한 환경 하에서 콘크리트대형 구조물의 건설이 늘어나고 있어 콘크리트 구조물의 부식이 큰 문제로 대두되고 있다.

따라서 본 연구의 목적은 해수 중에서의 수중불분리 콘크리트의 염해에 대한 메카니즘의 규명과 이에 대한 대비책의 수립, 현장의 사용성을 고려하여 수중불분리 콘크리트와 방청제를 1TYPE

으로 실용화에 기여하고 해전 해양구조물에서의 설계자료로 제공하는데 그 목적이 있다.

## II. 실험방법

### 1. 사용재료

: 시멘트는 일반 포틀랜드시멘트를 사용하였고 굵은골재 비중은 2.67, 잔골재의 비중은 2.59의 재료를 사용하였다. 수중불분리성혼화제는 기존에 사용되는 제품을 사용하였고 본 연구의 중심인 ltype 수중불분리 혼화제는 변형된 수중불분리혼화제에 방청성능을 첨가한 재료를 사용하였다. 수중불분리혼화제에 사용된 증점제로는 Methyl Cellulose계(그림 1)의 HPMC, HEC를 사용하였으며, 유동화제는 나프탈렌계와 직접 합성한 멜라민 유동화제를 사용하였다. 그 외에도 소포제 조강제 등을 사용하였으며, 염분용액은 KS F 2561 에 의해 표 1과 같은 농도로 하였다. 방청제는 국내 D사에서 제조한 방청제를 사용하여 실험하였다.

표 1. 인공해수의 조성(g/l)

약 품 명	무 계(g)
NaCl	24.5
MgCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	11.1
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4.1
CaCl <sub>2</sub>	1.2
KCl	0.7

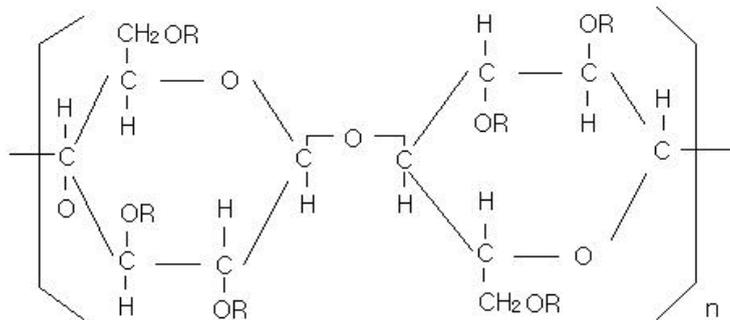


그림 1. 셀룰로스계 증점제의 화학구조

### 2. 실험기구 및 방법

기본물성 측정은 압축강도, 응결시간, 증점제 사용량에 따른 블리딩 양, Flow 경시변화, pH 변화 탁도를 측정하였다. 압축강도는 공시체를 제작하여 일반수중 양생과 해수양생을 병행하여 7, 28, 91일, 6개월 강도를 각각 측정하였다. 부식속진시험은 KS 규격에 따라 시험하였으며 해수에서 양생하여 28일, 6개월 후의 부식율을 측정하였다.

표 2. 최종배합비

	조골재 최대수치 (mm)	Slump Flow (cm)	W/C (%)	s/a (%)	단위량(kg/m <sup>3</sup> )							
									혼화재료			
					W	C	S	G	수중불분 리혼화제	유동 화제	AE 제	방청제
일반콘크리트 + 방청제(액상)	25	12	49.06	47	157	314	878	1021	-	1.6	3.2	3.9 (액상)
수중불분리콘크리트	25	48	50	40	220	440	643	994	2.6	8.8	-	-
수중불분리콘크리트 + 방청제	25	50	49.32	40	217	440	646	999	1.6	8.8	-	1

### III. 실험결과

#### 1. 블리딩 시험

수중불분리 콘크리트(0, 0.5, 1, 2.6%사용)와 수중불분리+방청제(0, 0.4, 0.8, 1.6%사용)의 사용량을 변화시켜 plain 대비 각각의 블리딩율을 측정 한 결과 수중불분리콘크리트 사용량 1kg 일 때, 수중 불분리 + 방청제의 사용량이 1.8kg일 때 블리딩율이 0으로 나타났으며, 수중불분리혼화제의 사용 양보다 수중불분리+방청제의 사용량이 최종 목표치인 2.6kg/m<sup>3</sup>일때의 블리딩율은 기존 수중불분리 혼화제와 마찬가지로 0으로 나타났었다. 즉, 사용량 적을 때에는 변형 수중불분리혼화제의 블리딩 율이 높으나 사용량이 증가하면 기존의 수중불분리혼화제와 같게 나타나는 것을 알 수 있었다.

표 3. 블리딩측정 배합표

	조골 최대수치 (mm)	공기량 (%)	W/C (%)	s/a (%)	단위량(kg/m <sup>3</sup> )							블리딩 율 (%)
									혼화제			
					W	C	S	G	수중불분 리혼화제	유동 화제	방청제	
수중불분리콘크리트	25	-	50	40	220	440	643	994	0	8.8	-	3.9
									0.5			0.6
									1			0
									2.6			0
수중불분리콘크리트 + 방청제	25	-	49.3	40	217	440	646	999	0	8.8	1	4.0
									0.4			0.8
									0.8			0
									1.6			0

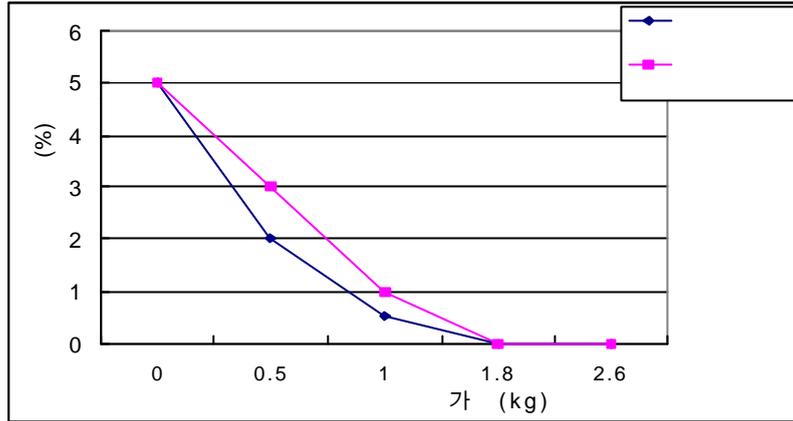


그림 2. 수중불분리혼화제의 첨가량과 블리딩율의 관계

### 2. 응결시간

응결시간 측정결과 그림 2와 같이 일반콘크리트 + 방청제, 수중불분리콘크리트 + 방청제, 수중불분리콘크리트의 순으로 응결시간이 지연되었다. 일반적으로 수중불분리 혼화제로 사용되는 증점제가 시멘트의 응결을 지연시키는 성능을 가짐으로 일반콘크리트 보다 응결이 지연되는 것으로 판단된다. 초기에는 수중불분리콘크리트 + 방청제가 응결이 약간 늦었으나 시간이 흐를수록 약간 빨라지기 시작했는데, 이는 수중불분리콘크리트 + 방청제 내에 조강성 재료사용에 의한 영향으로 판단된다.

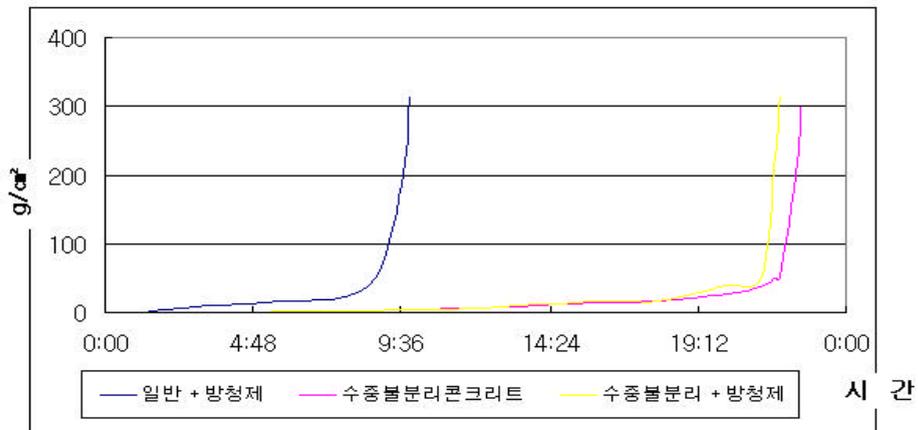


그림 3. 일반+방청제, 수중불분리혼화제, 수중불분리+방청제의 응결시간 측정결과

### 3. Flow 경시변화측정

Flow경시변화측정결과 수중불분리콘크리트, 수중불분리 혼화제+방청제 모두 시간 변화에 따라 증가하는 것으로 나타났으며, 수중불분리 혼화제+방청제가 전체적인 flow가 조금 높게 나타났으며, 수중불분리 혼화제에 비해 상대적으로 사용량이 적음으로 증점제의 양도 상당히 줄어들었다. 그러한 이유로 점성이 약간 떨어져 Flow가 조금 높게 나타난 것으로 사료된다.

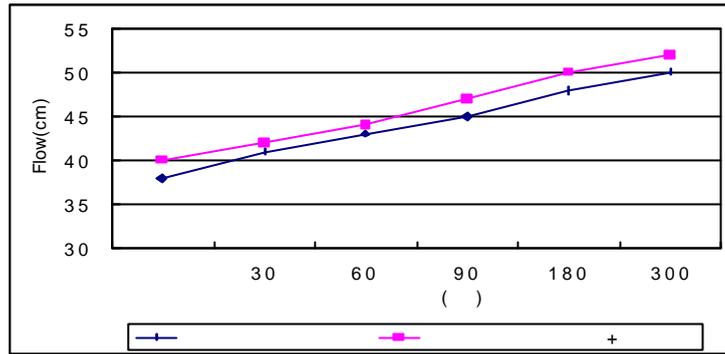


그림 4. 수중불분리혼화제와 수중불분리+방청제의 flow 경시변화 측정결과

#### 4. 탁도측정

수중불분리혼화제와 수중불분리+방청제의 첨가량에 따른 탁도 측정결과 사용량이 증가할수록 탁도는 감소하는 것으로 나타났으며, 수중불분리혼화제와 수중불분리+방청제의 탁도가 각각 30, 45ppm으로 전반적으로 높게 나타났다. 그러나 대한토목학회는 물론 일본토목학회의 규정에 적합한 것으로 나타났으며, 45ppm도 상당히 낮은 수치로 판단된다.

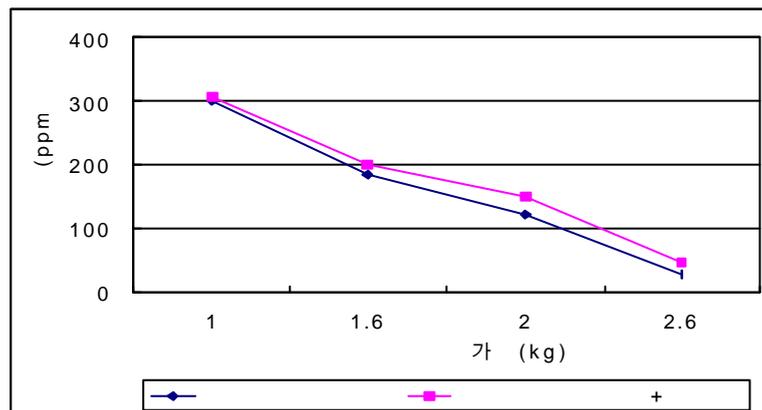


그림 5. 수중불분리혼화제 첨가량과 탁도와의 관계

#### 5. pH 측정

pH 측정결과 수중불분리혼화제, 수중불분리+방청제 모두 사용량의 증가에 따라 감소하는 현상을 나타냈으며 수중불분리+방청제가 대체적으로 pH가 높게 나타났다. 이는 사용량이 증가할수록 물에 용출되는 시멘트의 양이 감소함에 따라 나타나는 현상으로 판단되며 탁도 측정에서도 볼수 있었던 수중불분리+방청제가 시멘트의 용출양이 약간 많은 관계로 pH가 전반적으로 높게 나타난 것으로 판단된다.

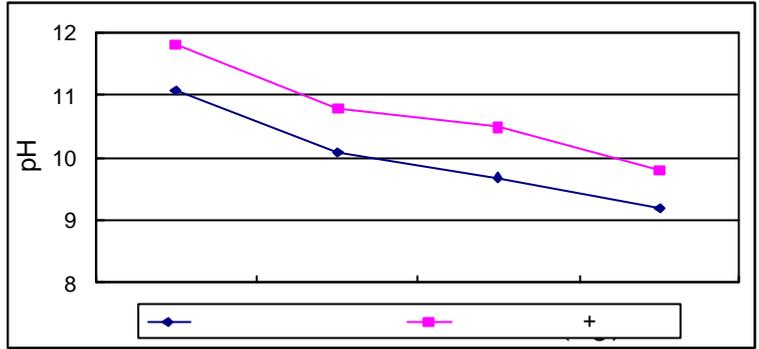


그림 6. 수증불분리혼화제 첨가량과 pH와의 관계

**6. 압축강도시험**

콘크리트 시험체를 수중양생과 해수양생을 병행하여 재령 7일, 28일, 91일에서의 압축강도를 측정하였다. 그 결과 그림 1, 2, 3에서 볼 수 있듯이 일반콘크리트에 비해 수증불분리 콘크리트의 초기 강도가 적게 나타났으나 재령이 경과할수록 강도가 점점 증가하여 일반콘크리트와 비슷하거나 조금 높은 강도값을 나타내었다. 대체적으로 수중양생이 해수양생보다 강도가 약간 높았으며 그림 2, 3에서 보는 것과 같이 수증불분리콘크리트에서의 수중양생, 기건양생에서의 압축강도 비는 큰 차이를 보이지 않았으며 압축강도비는 80%이상이 됨을 알 수 있었다.

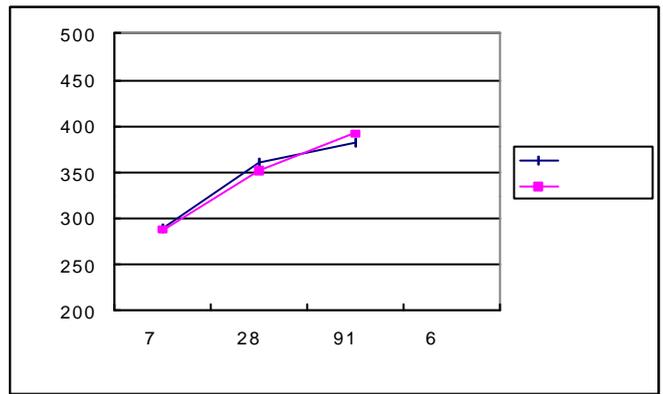


그림 7. 일반콘크리트 + 방침제(액상)의 압축강도 결과

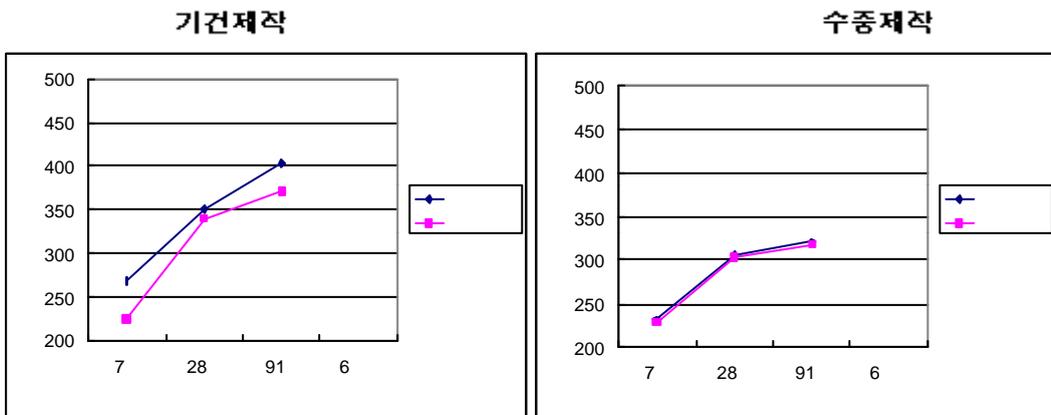


그림 8. 수증불분리혼화제의 압축강도 결과

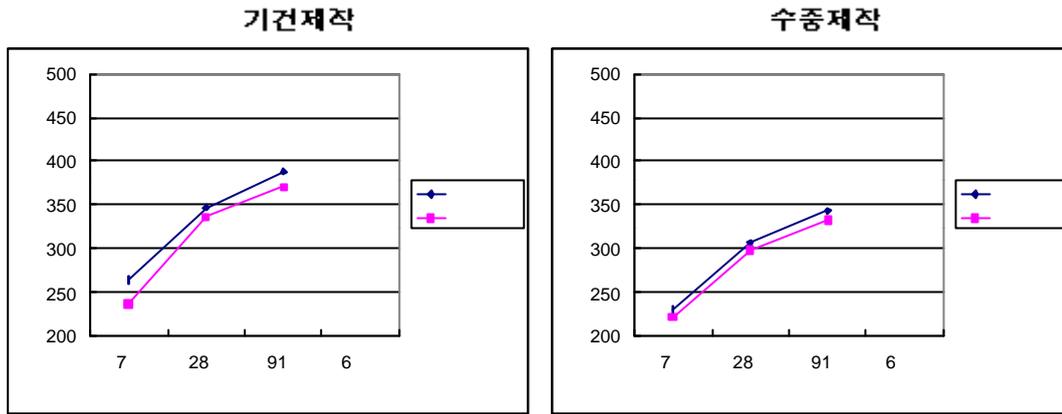


그림 9. 수중불분리혼화제 + 방청제의 압축강도 결과

### 7. 부식속진시험결과

KS F 2561에 의해 실험하였으며 재령 28일 부식율을 측정하였다. 부식정도를 확실히 보기 위하여 성형체를 인공해수에 보관하였다. 부식속진시험결과 그림 10와 측정결과에서도 볼 수 있듯이 일반콘크리트 > 수중불분리혼화제 > 방청제 > 수중불분리+방청제 순으로 부식이 되는 것을 그림 10.에서 보듯이 유관상으로도 확실히 볼 수 있었다. 일반+방청제는 철근콘크리트용 방청제의 부식속진 시험규정인 방청을 95%이상에 적합한 것으로 나타났으며, 수중불분리+방청제는 거의 녹이 발생하지 않는 것으로 나타났다.



일반콘크리트

일반 + 방청제

수중불분리혼화제

수중불분리 + 방청제

그림 10. 부식속진시험

표. 4 부식속진시험결과

	28일	
	부식률(%)	평균부식률(%)
일반콘크리트	5.7	13.9
	21.3	
	10.5	
	18.2	
일반 + 방청제	0.27	0.8
	0.3	
	0.4	
	2.3	
수중불분리혼화제	3.7	5.4
	8.3	
	2.3	
	7.1	
수중 + 방청제	0.07	0.07

#### IV. 결론

기존 수중불분리혼화제의 단점을 보완하여 수중불분리콘크리트와 방청제의 사용을 1TYPE으로 실용화하기 위한 목적으로 일반콘크리트+방청제, 수중불분리혼화제, 수중불분리혼화제+방청제의 기초적인 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 재령 7일, 28일, 91일의 압축강도는 7일, 28일 강도에서는 수중불분리+방청제가 수중불분리 혼화제 보다 약간 낮게 나타났으나 91일 강도에서는 증가하는 것을 알 수 있었고, 수중/기중 압축강도비는 80%이상 이었다.
- 2) 블리딩수는 수중불분리콘크리트 1kg/m<sup>3</sup>, 수중불분리+방청제 1.8kg/m<sup>3</sup> 사용에서 0%로 나타났다.
- 3) Flow 경시변화는 시간이 경과할수록 증가하는 것으로 나타났으며 수중불분리혼화제가 50cm, 수중불분리+방청제가 52cm로 약간 높게 나타났다.
- 4) 탁도와 pH는 서로 상관 관계가 있는 것으로 나타났으며 탁도가 낮을수록 pH가 떨어지는 현상을 볼 수 있었다.
- 5) 부식촉진시험결과 일반콘크리트+방청제는 방청제 규정에 적합하게 나타났으며 수중불분리혼화제만을 쓴 콘크리트의 부식율을 5.4%로 높게 나타났다. 그에 반하여 수중불분리+방청제는 0.07%로 거의 부식이 되지 않음을 알 수 있었다.
- 6) 결과적으로 본 논문의 기초실험을 통한 분석결과 수중불분리혼화제의 단독사용(2.6kg/m<sup>3</sup>)보다는 수중불분리+방청제(2.6kg/m<sup>3</sup>)의 사용이 상대적으로 좋음을 알 수 있었다.
- 7) 본 논문에서 실험한 내용의 최종 결과는 표5와 같다.

표5. 최종시험결과

	공기량 (%)	Slump Flow (5분 후 /cm)	탁도 (ppm)	pH	응결시간		부식율 (%)	혼화재료			
					초결	종결		수중불분리혼화제	유동화제	AE제	방청제
일반콘크리트 + 방청제(액상)	4.3	12			8:25	9:45	0.8	-	1.6	3.2	3.9 (액상)
수중불리콘크리트	2.8	50	30	9.8	21:10	22:27	5.4	2.6	8.8	-	-
수중불분리콘크리트 + 방청제	3.1	52	45	10.1	20:00	21:48	0.07	1.6	8.8	-	1

#### V. 참고문헌

- ① 鳥居 和之 “鹽化カルシウム溶液によるコンクリートの 化學的 腐蝕”, セメント・コンクリート論文集, 49, 720-725 (1995)
- ② 한기성, 「해양시멘트 開發에 관한 研究」 『시멘트 심포지엄』 15, 33-39 (1987)
- ③ S. Ehtesham Hussain, “Influence of sulfates on chloride binding in cements”, Cem. Conc. Res., 24(1), 8-24 (1994)
- ④ 최상훈, 「〈技術研究〉 海洋開發과 시멘트」 『시멘트』, 102(3), 33-37 (1986)
- ⑤ 山路文夫, 道清古美, “海水モルタルの性状に關する基礎的研究”, セメント技術年報, 19,233-236 (1965)
- ⑥ 後勝誠史, “フレッツシュコンート中の鹽化物”, セメント・コンクリート(エンサイクレペ

デア), セメント協會, 206-208 (1996)

① 新崎義華, “コンワリートの耐海水性”, セメント・コンワリート(エンサイクレペデア), セメント協會, 201-203 (1996)

② 竹内勝信, “擴散”, セメント・コンワリート(エンサイクレペデア), セメント協會, 198-200 (1996)

③ 조선규, 「수중불분리성 혼화제를 첨가한 콘크리트의 최적배합비에 관한 실험적 연구」, 『콘크리트학회논문집』 8(5), 179-187 (1996)

④ S.S.Al-Saadoun, “Migration of Ions in Concrete due to Cathodic Protection Current”, Cement and Concrete Research, Vol.22, 79-94 (1992)

⑤ S.Diarmind, “Chloride Concentrations in Concrete Pore Solutions Resulting from Calcium and Sodium Chloride Admixtures”, Cement, Concrete and Aggregate, Vol.8, No.2, 97-102 (1986)

⑥ 윤종규, 오병환 「염화물 전해제(CI-R)의 내부식성능 연구」, 『서울대학교 신소재공동연구소』, 1995

⑦ M.A. Mustafa and K.M.Yusof, “Atmospheric Chloride Penetration into Concrete in Semitropical Marine Environment”, Cement and Concrete Research, Vol.24, No.4, 56-61( 1994)

⑧ 오병환, 장봉석, 장승엽, 박대균, 「해수에 노출된 콘크리트내의 철근부식 예측에 관한 연구」, 『한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집』, 411-414 (1999)

⑨ 문한영, 김성수, 한태송, 이승태, 김종필, 「수중불분리성 콘크리트의 해수침식에 대한 저항성 평가」, 『한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집』, 683-688 (2001)