

# 조수에 의한 콘크리트의 침식방지법에 관한 연구 (Ⅱ)

## Studies on Preventive Methods Against Concrete Corrosion by Sea Water (Ⅰ)

高 在 君\* · 黃 慶 九\*\*  
Chae Koon Koh · Kung Koo Hwang

### SUMMARY

This study was carried out to investigate the effects of various mix designs of concrete on the compressive strengths and corrosive rates when the concretes were immersed in sea water of the West Sea, as the part of study related to durability of concrete by action of the sea water.

Concrete mix designs used in this study were ordinary Concrete mix, Concrete mixes with different admixtures such as fly ash, pozzolith and vinsol resin, and pozzolan concrete mix. The concrete specimens were made and cured for 7 days and 28 days in the fresh water in accordance with the Korean Standard specification for concrete.

Compressive strengths of the specimens were measured after immersing the specimens for one year in fresh water and sea water which were placed indoors. The sea water used in this test was taken from the Bay of Ahsan. Corrosive rate was also tested after immersing the specimens in the same sea water and placed indoors for one year.

The results obtained from the tests are summarized as follows;

1. Compressive strength of an ordinary concrete was the lowest of the various mix designs of concrete immersed both in the fresh water and the sea water. Therefore, the uses of pozzolan cement, fly ash, pozzolith and vinsol resin in mix design of concrete had an effect on increasing compressive strength.

2. Pozzolan concrete was the most effective on compressive strength in the fresh water, but it had less effect than concrete with fly ash admixture immersed in the sea water.

3. The use of fly ash admixture in mix design of concrete showed higher strength as the immersing age is longer both in fresh water and sea water than the other concretes besides pozzolan concrete, but the concrete with fly ash admixture had lower strength than pozzolan concrete in the sea water. Therefore, concrete with fly ash admixture might be better than the pozzolan concrete as far as durability of concrete to sea water was concerned.

4. The use of pozzolith admixture in mix design of concrete had less compressive strength than the use of pozzolan cement or fly ash admixture both in fresh water and sea water. However, the concrete with pozzolith admixture was much stronger than one with vinsol resin admixture in fresh water, but somewhat stronger in the sea water.

5. Though the use of vinsol resin admixture was more effective than ordinary concrete on compressive strength both in fresh water and sea water, it was the least compressive strength among the other concretes.

6. Relation between compressive strengths and absorption rates of every kind of concrete besides concrete with fly ash admixture showed a linear regression line and the compressive strength is higher as the absorption rate is lower. Concrete with fly ash admixture had extremely high strength in comparison with corresponding adsorption rates of the other concretes.

\*서울대학교 農科大學  
\*\*農業振興工社農工試驗所

7. Corrosive appearance on the surface of concretes was not occurred significantly when exposed to the sea water for one year. However, the specimens of concretes besides ordinary concrete were a little heavier than those cured in fresh water for 28 days.

## I. 서 론

지금까지 해수 속에 설치된 콘크리트 구조물을 보면 장기간 해수작용을 받고 있으나 하등의 결함이 없는 것도 있고 또는 해수작용으로 서서히 침식된 것 또는 급격한 피해를 받고 있는 것도 있다. 그러나 일반적으로 해수에 잠긴 콘크리트는<sup>(15)(7)</sup> 서서히 열화(劣化)되는 것만은 사실인 것이다.

콘크리트는 근래에 시멘트의 품질개선과 시공기술의 발달에 따라 다른 토목·건설재료에 비하여 더욱 경제적이고 내구적인 재료가 되기 때문에 세계 각국에서 널리 사용되고 있는 실정이다. 그러나 그 재질에 있어서 완전무결한 것은 아니며 아직도 얼마간의 결점을 가지고 있으므로 이 결점을 개선하여 품질을 향상시켜야 할 것이다.

콘크리트의 결점은<sup>(1)(10)</sup> 기상작용, 물의 침투작용, 알칼리작용, 산작용, 유류작용, 전해작용 등에 의한 부식(침식) 또는 붕괴로서 각 작용에 따라 정도의 차이는 있게 마련이다.

이들 각 작용중에서 특히 해수작용에 대하여 언급하면 해수작용으로 인한 콘크리트의 침식 또는 붕괴현상에 대하여 과거에는 정설이 뚜렷하지 않았으나 최근에는 시멘트화학, 콘크리트공학의 발달, 그리고 이 방면의 연구결과로서 화학적 작용과 물리적 작용으로 설명하고 있다<sup>(10)(9)</sup>.

즉 해수의 화학적 작용에 의한 콘크리트의 침식·붕괴는 콘크리트 속에 존재하는 수산화석회( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )가 해수중에 함유하고 있는 가용성 황산염( $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$  등)과 반응하여 황산석회( $\text{CaSO}_4$ )가 되며 이 가용성 물질이 용출되어 침식되거나 또는 그 가용성 물질이 시멘트 경화체(硬化體)에 들어 있는 알민산석회( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )와 화학하여 복염(複鹽)인 반토산황산석회( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ), 일명 시멘트 바치루스(bazillus)를 형성하며 여기에는 다량의 결정수를 함유하므로 극히 심한 팽창성을 갖게되어 드디어 콘크리트는 팽창파괴 되는 것이다. 또는 해수속에 함유된 염화 마그네슘( $\text{CaCl}_2$ )는 석회와 작용하여 가용성염화칼슘( $\text{MgCl}_2$ )을 생성하며 이것이 점차 용출됨으로써 콘크리트는 다공질이 되어 콘크리트 내부에 해수의 침입이 촉진되므로

더욱콘크리트의 부식을 가중 시키기도 한다<sup>(15)(16)</sup>.

해수의 물리적 작용은 강한 태풍(조풍)과 파랑에 의한 세굴·풍화 또는 한대지방에서는 동결<sup>(14)</sup>·유빙 등으로 인한 충격 등의 기계적 작용으로 콘크리트 표면의 탄산석회의 피막이 제거되므로 해수의 침입이 더욱 용이하게 되어 콘크리트가 침식되는데 이 물리적 작용에 의한 콘크리트의 부식은 해수에 잠겨 있는 부분에서 보다 최고 조수위와 최저 조수위사이의부분에서 즉 건습이 교체되는 부분에서 더욱 심하게 생긴다<sup>(20)(19)</sup>.

이 밖에 굳은 콘크리트는<sup>(1)</sup> pH13~14의 강한 알칼리성을 나타내는 물질이므로 콘크리트 중의 철근의 녹을 방지 할 수 있으나 전술한 바와 같이 해수의 화학적 물리적 작용으로 콘크리트는 부식되어 해수의 침입 또는 침투가 촉진된다. 이리하여 콘크리트의 표면이나 균열부분으로부터 중성화가 촉진되므로 콘크리트중의 철근은 드디어 녹이 슬게되어 그 기능을 발휘할 수 없게 된다. 이리하여 구조물의 파괴를 초래하는 것이다<sup>(7)</sup>.

이와 같이 해수의 콘크리트에 대한 화학적 작용과 물리적 작용은 막을수는 없으므로 해수작용에 대한 콘크리트의 부식이나 파괴를 근본적으로 방지할 수는 없을 것이다. 그러나 해수작용에 대한 콘크리트의 내구성 증진은 콘크리트의 재료(시멘트, 골재) 선택, 혼화제를 사용한 배합, 사용수량의 조절, 양생 및 시공방법 등으로 밀도가 크고 수밀성이 높은 콘크리트를 만드는 것이 효과적인 방법이라 할 수 있다.

선진외국에서는 해수작용을 받은 콘크리트의 내구성에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으나 우리나라에서는<sup>(2)</sup> 이 방면의 연구실적이 별로 없고, 다만 콘크리트 시방서에서 해수의 작용을 받는 콘크리트공사에 있어서 재료선택, 혼합수량, 4일 이상 양생 시공등에 주의해야 한다고 막연히 규정되어 있을뿐 실질적으로 현업을 뒷받침 할만한 자료가 없어 현업기관이나 실무자들에게 아쉬움이 많은 실정이다.

따라서 이 연구의 목적은 우리나라 서해의 조수에 대하여 보다 내구적인 콘크리트의 배합설계를 규명하고 동시에 해중공사에 있어서 배합설계의 기본자료를 제시하고자 시도하였다.

이 연구는 시멘트 또는 혼화제의 선택에 의한 콘크리트의 내구성을 비교하기 위하여 포조란시멘트(Pozzolan cement)와 혼합체로서 후라이 애쉬(fly ash), 빈솔 레진(Vinsol resin) 및 포조리스(Pozzolith)를 각각 사용하였다.

그리고 이 시험에 있어서 특별히 서해의 조수에

대한 내구성을 시험하게 된 이유는 농업진흥공사에서 평택·안성지구의 종합개발사업의 일환으로 아산만방조제축조공사가 시공중이기 때문에 시험의 편의를 도모하기 위한 것이다.

이 연구는 4년계획으로 추진되고 있으나 시험의 성질상 장기간이 소요되며 외국에서는<sup>(11)</sup> 5년, 10년, 20년, 40년까지 장기계획으로 추진되고 있어 우리나라에서도 해안개발의 백년대계를 위하여 장기계획으로 추진할 수 있기를 바라는 마음 간절하다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 사용재료

이 시험에 사용된 각종 콘크리트 공시체의 재료는 다음과 같으며 그 내용은 기초시험(제 1차 보고서)에서와 같다.

가. 시멘트

이 시험연구에 사용된 시멘트의 종류는 보통포틀랜드시멘트(보통시멘트)와 포조란시멘트이다.

보통시멘트는 국내 모 회사제품으로 기준용 공시체를 만드는데 사용하고 또 혼화제인 후라이에쉬, 빈솔레진, 포조리스를 사용한 콘크리트 공시체를 만드는데 사용하였다. 보통시멘트의 품질은 표 1과 같고 참고로 미국제품과 비교하기 위하여 화학적성분을 부기하였다.

포조란 시멘트는 농업진흥공사에서 아산만방조제의 배수갑문의 콘크리트공사에 사용한 국내 모 회사제품으로 포조란 콘크리트 공시체를 만드는데 사용하였으며 그 품질은 표 2와 같다.

나. 골재

이 시험에서 사용된 잔 골재와 굵은 골재는 한강에서 채취한 한강모래와 한강자갈로서 각 골재의 품질은 표 3, 4와 같고 각 골재의 입도는 그림 1, 2와 같다.

표-1. 보통포틀랜드 시멘트의 품질

물 리 적 성 질				화 학 적 조 성 분			
성 질	항 목	결 과	한국공업규격(KS)	항 목	결 과	한국공업규격(KS)	미국자료*
비 중		3.15		물밀의 공기연함량(%)	3.5		
분말도	부 렌 법 (cm <sup>2</sup> /g)	3,120	> 2,600	수화열 (Cal/g)	7일63 28일78		
	표준체 44 $\mu$ 잔분(%)			건조수축도 (%)			
	표준체 149 $\mu$ 잔분(%)			강열감량 (%)	1.01	< 3.0	1.5
용결시간	주 도 (%)	25		불용해잔분 (%)	0.36	< 0.75	0.18
	초 결 (분)	180	> 60	SO <sub>3</sub> (%)	1.72	< 2.5 또는 0.3	1.8
	종 결 (시간)	4 : 45	< 10	MgO (%)	2.62	< 5.0	2.4
안 정 도		0.12	< 0.80	SiO <sub>2</sub> (%)	21.36		21.3
수 량 (%)				Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	4.56		5.0
강 도 (kg/cm <sup>2</sup> )	압축재령	1 일			Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	3.06	3.0
		3 일	168	> 85	CaO (%)	63.55	63.8
		7 일	196	> 150	FeO (%)		0.04
		28 일	290	> 245	NaO (%)	0.25	0.27
	인장재령	1 일			K <sub>2</sub> O (%)	0.53	0.46
		3 일	21.0	> 10	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)		0.12
		7 일	23.8	> 20	TiO <sub>2</sub> (%)		0.27
		28 일	30.1	> 25	유리산화석회 (%)	1.57	1.0

\* 미국에서 122개 회사제품에 대한 화학분석의 평균값<sup>(21)</sup>

+ 한국공업규격 KSL 5201 규정

표-2.

포조란 시멘트의 품질

물 리 적 성 질				화 학 적 조 성 분			
성 질	항 목	결 과	※ 한국공업규격 (KS)	성 질	항 목	결 과	※ 한국공업규격 (KS)
		2.89		강열감량		3.50	< 3.0
분말도	부렌법 (cm <sup>2</sup> /g)	4,500		불용애잔분			
	표준체44 $\mu$ 잔분 (%)		< 12.0	SO <sub>3</sub> (%)	2.50		< 2.5
	표준체149 $\mu$ 잔분 (%)		< 1.0	MgO (%)	2.21		< 5.0
응결시간	주 도 (%)			SiO <sub>2</sub> (%)	75.61		
	초 결 (분)	140	> 60	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	13.86		
	종 결 (시간)	3:40	< 10	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	1.23		
안 정 도		0.45	< 0.5	CaO (%)	1.48		
수 량 (%)				FeO (%)	—		
강 도 (kg/cm <sup>2</sup> )	압축재령 (일)	1		NaO (%)	—		
		3	136	K <sub>2</sub> O (%)	—		
		7	182	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	—		
		28	289	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	—		
	인장재령 (일)	1		TiO <sub>2</sub> (%)	—		
		3	21.7	유리산화석회 (%)			
		7	28.0	가 용 SiO <sub>2</sub> (%)	47.09		
		28	34.3	성 분 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	5.37		

※ 한국공업규격 KSL 5401 규정

표-3.

잔골재의 품질

항 목	비 중	흡수율	단위용적증량	No. 200번체 통과율	안정성	조립율	유기물
결 과	2,608	0.74%	1,508 g/cm <sup>3</sup>	0.62%	—	2.29	양 호

표-4.

굵은 골재의 품질

항 목	비 중	흡수율	단위용적증량	마 모 율		안정성	조립율	잡기율 참 통과율
				100 회	500 회			
결 과	2,653	0.71%	1,664 g/cm <sup>3</sup>	5.4%	28.0%	—	—	양 호

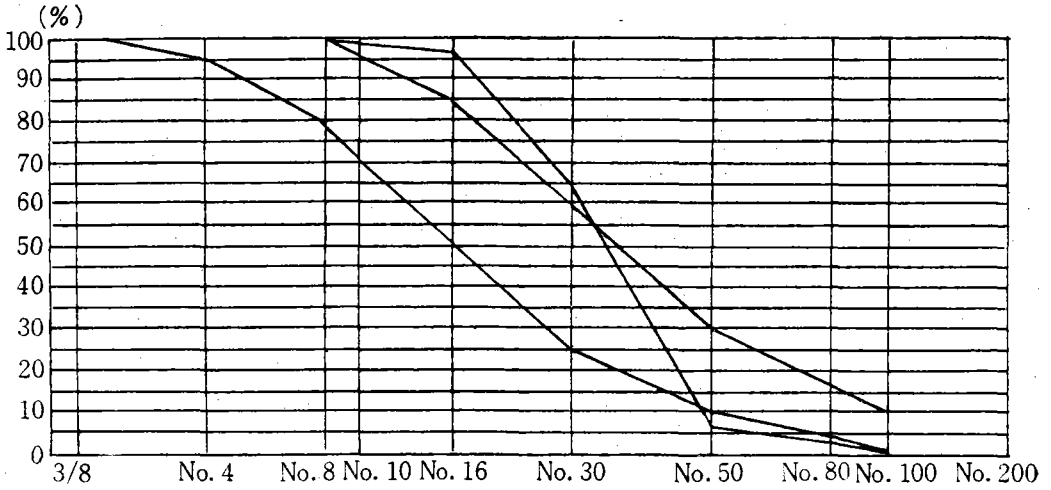


그림 1. 잔 골재의 입도

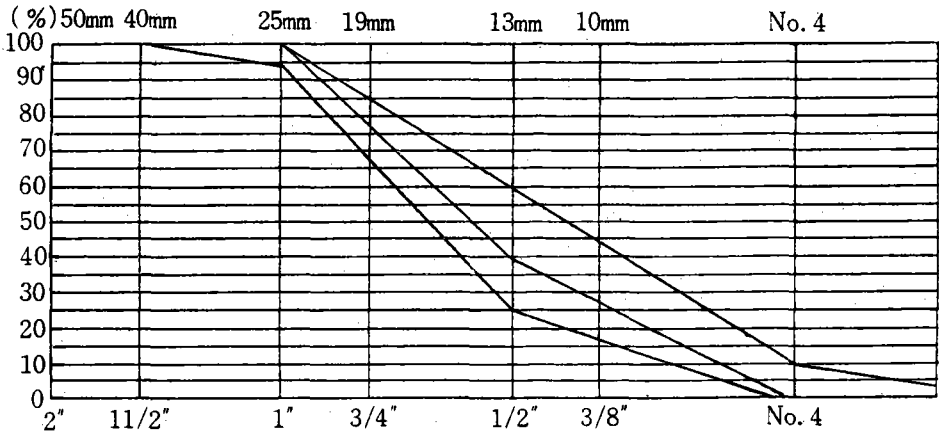


그림 2. 굵은 골재의 입도

그림 1 및 2에서와 같이 굵은 골재의 입도는 좋으나 잔골재의 입도는 표준입도의 범위를 다소 벗어나고 있다. 그러나 한강모래의 특수성을 고려하기 위하여 입도조절을 하지 않고 그대로 사용하였다.

다. 혼화제

(1) 후라이 애쉬 (fly ash)

화력발전소에서 미분탄을 연소시킬 때 부산물로 얻는 후라이 애쉬는 인공포조란으로 콘크리트의 혼화제나 또는 혼화제로 사용되며 우리나라 모 회사제품으로 그 품질은 표 5와 같으며 참고로 미국 일본

영국제품에 대한 화학성분을 비교하기 위하여 부기하였다. 후라이 애쉬는<sup>(6)</sup> 그 품질에 있어서 각국의 제품에 따라 또는 같은 나라의 제품이라도 공장에 따라 현저히 다르다.

(2) 포조리스 (Pozzolith)

포조리스는<sup>(5)(18)(24)</sup> 리그노살페이트(lignosulphate) 산, 칼슘염을 주성분으로 하는 담황색 분말로서 수용성이며 시멘트의 분산제로서 미국 마스터 빌더 (Master Builder) 회사에서 개발한 것으로 이 시험에서는 표준형 (No. 5)을 택하고 국산품이 없기 때문

표-5.

후 라이 애쉬의 품질

물 리 적 성 질				화 학 적 조 성 분					
성 항 목	결 과	한국공업 규격(KS)	성 항 목	결 과	한국공업 규격(KS)	미국제품 (11)	일 본 (11)	영 국 (11)	
비 중	2.38		강열감량(%)	5.42	< 12.0	7.83	0.73	3.86	
분말도	부렌법 cm <sup>3</sup> /g	7,572	> 6,500	수 분 (%)	0.33	< 3.0	0.5	0.21	—
	평균입경 "	—	< 9.0	SiO <sub>2</sub> (%)	46.98		44.11	57.96	46.16
압 강 도	7일(%)	176.1	> 100	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	37.22	> 70.0	20.81	25.86	26.99
	28일(%)	111.1	> 100	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	7.3		17.49	4.31	10.44
건조수축변화 (%)	0.023	> 0.03	MgO (%)	1.78		1.12	1.58	1.96	
수 량 (%)	100.65	< 105	SO <sub>3</sub> (%)	0.79		1.19	0.34	1.59	
콘크리트공기연 항량 (%)	—	< 2.0	Na <sub>2</sub> OK <sub>2</sub> O(%)	—		2.7	3.64	4.16	
안 정 도 (%)	—	0.50	CaO (%)	0.61		4.75	3.98	3.06	
포조란지 수	시멘트사 용 28일 (%)	90.01	> 85	TiO <sub>2</sub> (%)	—	> 0.5			
	석회사용 7일(%)	—	> 56	SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		3.71	3.83	2.92	
시멘트알카리반응	—	< 0.020	비중	2.38	—	2.40	2.14	2.10	
균 등 성	—	—	비표면적 cm <sup>2</sup> /g	7,572	> 6,500	3,673	3,090	5,180	

※ 한국공업규격 KSL 5405 규정

에 일본제품을 사용하였다.

(3) 빈솔레진(Vinsol resin)

빈솔레진은<sup>(13)</sup> 공기연입체의 대표적인 것으로 소나무에서 추출한 콜탈계 탄화수소를 처리하여 제조한 갈색분말로서 물에는 잘 녹지 않으므로 가성소다에 녹여서 사용하는데 이것은 미국 헐큐레스 파우더

(Hercules Powder) 회사에서 발명한 것으로 이 시험에서는 국산품이 없으므로 미국제품을 사용하였다.

라. 해수(조수)

이 시험에 사용된 해수는 아산만(서해)의 조수로써 그 화학분석 결과는 표 6과 같으며 참고로 일본, 미국에서의 분석결과와 비교하기 위하여 부기하였다.

표-6.

아 산 만 해 수 의 화 학 성 분

비중 1.02, PH=7.9

구 분	이 온	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>--</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>
간 조 시	(g/kg)	1.38	0.198	0.0093	0.775	0.0276	0.0307	0.108
만 조 시	(g/kg)	1.47	0.187	0.0105	0.775	0.0288	0.0315	0.125
평 균	(g/kg)	1.43	0.193	0.010	0.775	0.028	0.031	0.117
백 분 율	(%)	55.34	7.47	0.39	30.00	1.08	1.20	4.53
	(%)	1.898	0.265	0.014	1.056	0.038	0.040	0.127
*일본	해 수 (g/kg)	1.898	0.265	0.014	1.056	0.038	0.040	0.127
	백분율 (%)	55.2	7.72	0.41	30.75	1.11	1.16	3.70
+미국	해 수 (g/kg)	1.968	0.274	0.008	1.089	0.040	0.043	0.133
	백분율 (%)	55.29	7.69	0.21	30.59	1.11	1.20	3.72

\* 일본해수의 분석치 (14)

+ 미국해수의 분석치 (6)

표-7.

콘크리트 공시체의 배합설계

공시체 종류	기 호	시멘트 (kg)	혼화제 (kg)	물 (kg)	물-시멘트 W/C (%)	절대골재 S/a (%)	모래 (kg)	자갈 (kg)	공기량 (%)
보통 콘크리트	O·C	320	—	179.2	56	39	712	1135	—
후라이애쉬콘크리트	F·A	320	32	183	52	38	683	1135	—
조리포스콘크리트	PO	320	3,200cc	156.8	49	35	642	1225	4
빈슬레진콘크리트	V·R	320	256cc	156.8	49	34	623	1223	4
포조란콘크리트	P·C	320	—	166.4	52	39	709	1110	—

2. 시험방법

가. 공시체 제작

이 시험에 사용된 공시체는 콘크리트의 압축강도 시험용과 같은 치수로 직경 15cm, 높이 30cm의 원주형이며 그 제작 방법과 양생 방법은 한국공업규격 (KSF 2403)에 준하고 각 공시체의 배합설계는 다음 조건으로 하였으며 그 결과는 표 7과 같다.

조건: (1) 단위시멘트량은 320kg/m<sup>3</sup> 이고

(2) 굵은 골재의 최대치수는 25mm 이며

(3) 스톱프값은 7.5±1cm 가 되도록 단위 수량을 조절하였다.

나. 시험방법

(1) 압축강도시험

압축강도는 K. S. F 2405에서 규정한 시험방법에 준하고 각종 콘크리트에 있어서 담수에서 재령 1년 강도를 만능강도시험기에 의하여 측정하였고, 해수에서 재령 1년강도는 현장실험실내의 수조 해수를 1주 간 간격으로 바꾸어 가며 해수에 담긴 각종 콘크리트를 유압식 압축강도시험기에 의하여 측정하였으며 각 시험은 3반복으로 하였다.

(2) 부식율시험

수중에서 7일 및 28일 양생한 각종 콘크리트 공시체의 표면수를 습포로 닦아낸 포화중량을 W<sub>1</sub>이라 하고, 이를 공시체를 다시 실내에서 해수에 1년간 침지한 후 겹내어 표면을 와이야 부랴쉬로 닦아낸 중량을 W<sub>2</sub>라 하여 다음 공식에 의하여 부식율을 구하였으며 시험은 3반복으로 하여 평균치를 취하였다.

$$\text{부식율}(\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

Ⅲ. 시험결과 및 고찰

1. 압축강도시험

압축강도는 콘크리트의 품질을 표시하는 가장 대표적인 요인으로 담수와 해수에 대한 시험결과는 표

7, 8과 같다.

표-7. 표준압축강도시험결과

단위: kg/cm<sup>2</sup>

재형 종류	※			
	7 일	28 일	3 개월	1 년
O·C	113	178	195	215
	105}111	177}177	153}192	233}224
	115	176	197	225
F·A	132	178	212	297
	139}133.7	190}185	206}204	283}276
	130	187	195	248
P·O	147	219	262	293
	132}140	208}221	238}246	269}273
	141	236	238	256
V·R	119	198	205	195
	125}121.3	184}182	221}216	252}233
	120	164	222	253
P·C	137	226	269	331
	130}132	253}247	266}259	304}306
	127	263	243	283

※ 동 보고서는 1호에서 인용 (1971. 12)<sup>(10)</sup>

표-8. 1년해수 침지후 압축강도 시험결과

단위: kg/cm<sup>2</sup>

구분 종류	7 일		28 일		표 준
	양생후해수		양생후해수		
O·C	226	276	215		
	258}256	256}264	233}224		
	283	260	225		
F·A	331	345	297		
	327}334	351}341	283}276		
	345	327	248		
P·O	311	283	293		
	309}285	322}294	269}273		
	260	277	256		

V·R	302}	283}	195}
	283}278	285}284	252}233
	308}	283}	253}
P·C	305}	325}	331}
	319}315	353}328	304}306
	322}	306}	283}

담수 중 각 재령에 따라 콘크리트의 강도변화를 그림 3에서 종합적으로 살펴보면 재령 28일까지는 각종 콘크리트가 공통적으로 강도가 급격히 증가하였는데 그 후에는 재령이 길수록 완만한 증가경향을 나타내고 있다. 이 현상은 콘크리트 시방서에서 콘크리트의 기준강도를 재령 28일로 규정하는 이유를 뒷받침하고 있다고 생각할 수 있다.

재령 28일 이후의 장기 강도의 변화에 있어서 후라이 애쉬는 다른 콘크리트에 비하여 특히 재령 3개월부터 강도가 현저히 증가하고 있어 장기강도가 높은 특징을 여실히 나타내었다.

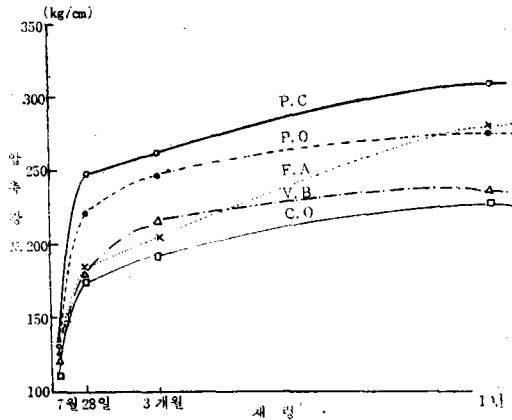


그림 3. 각종 콘크리트의 재령과 강도의 관계

그러나 포조리스 및 빈솔레진등은 후라이 애쉬와 달리 재령 3개월부터서는 오히려 완만한 강도의 증가경향을 나타내고 있다.

각종 콘크리트에 대하여 구체적으로 고찰하여 보면 콘크리트는 재령 7일부터 1년에 이르기까지 각 재령에 있어서 다른 콘크리트의 강도에 비하여 가장 낮았는데 이 현상은 포조란시멘트를 위시하여 후라이 애쉬, 포조리스, 빈솔레진 등이 강도에 미치는 효과를 입증하고 있는 것이다.

포조란 시멘트는 재령 7일의 초기강도에 있어서 포조리에 비하여 낮았을 뿐 다른 콘크리트에 비해서 높고, 그 후 각 재령에 있어서는 모든 콘크리트에 비하여 가장 높은 강도를 나타내고 있어 강도상에

있어서 우수성을 나타내었다. 포조란 시멘트는<sup>(6)</sup> 일반적으로 초기강도에서는 보통 콘크리트 보다 낮으나 장기강도에서는 오히려 높은 강도를 나타낸다. 그러나 이 실험결과에 의하면 초기강도나 장기강도에서 다 같이 보통 콘크리트에 비하여 높은 강도를 나타내고 있는데 이는 포조란 시멘트의 물리적 성질과 화학적성분 등의 차이에 기인된다고 사료되며 국산품인 포조란 시멘트의 우수한 품질을 인정할 수 있다.

혼화제가 압축강도에 미치는 효과를 비교하면 재령 3개월까지는 포조리스가 후라이 애쉬나 빈솔레진에 비하여 현저히 높은 효과를 나타내었고 빈솔레진과 후라이 애쉬 중에서는 빈솔레진이 더욱 효과적이었다. 그러나 재령 3개월 이후 1년간에 있어서 각 혼화제의 효과의 차이는 현저한 변화가 생겼다. 즉 초기강도에서는 강도의 효과가 가장 낮았던 후라이 애쉬는<sup>(21)(25)</sup> 장기재령이 될수록 다른 혼화제에 비하여 현저한 효과를 나타내어 재령 1년에서는 빈솔레진은 물론이고 혼화제 중에서 초기강도에 가장 높은 효과를 나타낸 포조리스보다 오히려 더 높은 강도를 나타내고 있어 장기강도에 있어서 후라이 애쉬의 특징이 인정되었다. 포조리스와 빈솔레진은 장기강도에서 보다 초기강도에서 그 효과가 현저하며 재령이 길수록 그 효과는 미은적이고 특히 빈솔레진은<sup>(3)</sup> 항상 포조리스에 비하여 강도상의 효과가 떨어지고 있다.

아산만의 조수(해수)를 현장 실험실에 운반하여 수조에 채우고 이 수조 중에서 1년간 해수에 침지 후 각종 콘크리트의 압축강도를 도시하면 그림 4와 같다.

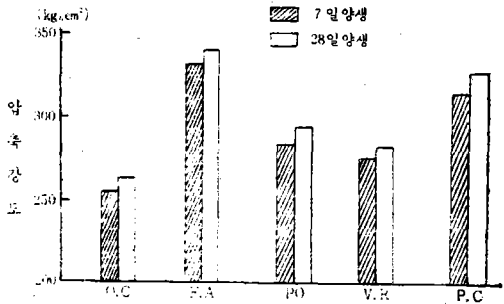


그림 4. 양생간의 강도 비교

수중양생이 해수중의 콘크리트의 강도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 7일양생과 28일 양생으로 나누어 그 결과를 비교하면 그림 4와 같이 28일 양생한 각종 콘크리트는 7일 양생한 각종 콘크리트에



비하여 높은 강도를 나타내었다. 이 현상은 예기한 바와같이 콘크리트의 양생은 해수중의 콘크리트 강도에 그 효과가 인정된다는 사실을 증명해 주고 있다. 따라서 같은 배합의 콘크리트라 하더라도 장기간 양생을 하여 해수에 노출시키는 것이 콘크리트의 강도증진에 효과적이라는 것을 알 수 있다.

각종 콘크리트 간에 있어서 강도를 비교할 때 그림 5에서 보통 콘크리트는 수중(담수)에서와 같이 가장 낮은 강도를 나타내고 있어 해수 중에서도 포조란시멘트를 비롯하여 각 혼화제의 효과가 인정됨을 알 수 있다. 그러나 특기할만한 사실은 수중에서는 포조란시멘트가 다른 콘크리트보다 가장 높은 강도를 나타냈으나 해수중에서는 오히려 후라이 애쉬보다 낮은 강도를 나타내었다. 그리고 빈솔레진과 포조리스는 수중에서와 같이 후라이애쉬나 포조란시멘트보다 그 효과가 떨어지며 포조리스는 빈솔레진에 비하여 다소 높았으나 수중에 비해서 그 차이는 더욱 적었다.

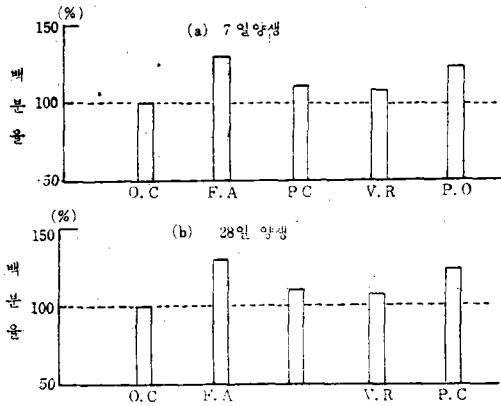


그림 5. 각종 콘크리트의 강도 비교

따라서 해수중 콘크리트의 강도시험 결과에 의하면 포조란시멘트는 강도상에 있어서 수중에서는 후라이애쉬보다 효과적이거나 해수중에서는 오히려 후라이애쉬가 포조란시멘트보다 더욱 효과적이라고 말할 수 있다. 그리고 포조리스와 빈솔레진의 해수중에서의 효과는 수중에서 보다 다소 떨어지는 경향이 있다.

수중양생한 각종 콘크리트 강도와 실내의 해수중의 각종 콘크리트의 강도와를 비교할 때 수중 양생한 각종 콘크리트는 해수중의 강도에 비하여 오히려 낮은 결과를 나타내고 있는데 이 실험결과에 의하면 해수는 오히려 담수보다 콘크리트 양생효과가 크다고 말할 수 있다. 그러나 木村<sup>(11)</sup>에 의하면 1년간 바다물에 침지한 콘크리트 강도는 같은 기간동안 수

중에 침지한 것보다 감소된다고 하였다. 이 시험에서는 바다에 직접 공시체를 침지한 것이 아니고 실내에서 해수에 침지한 것이므로 엄밀히 말하자면 동일조건이 아니므로 똑같은 결과를 기대할 수는 없으나 해수중의 공시체강도가 수중에서 보다 증가된다는 것은 기대하기 어려운 것으로 생각한다. 따라서 이 시험에 있어서 수중양생한 각종 콘크리트의 강도는 만능강도시험기(Universal testing machine)에 의하여 측정하였으나 해수중의 콘크리트의 강도는 현장실험실에 있는 유압식 강도시험기에 의하여 측정하였기 때문에 강도시험기간에 있어서 기계 오차에 연유된 것이 아닌가 생각한다. 따라서 유압시험기의 Calibration이 필요하며 앞으로는 해수중의 콘크리트 강도시험도 수중의 콘크리트 강도시험에와 같은 강도시험기의 사용이 바람직함을 알게 되었다.

현지 해수에 침입한 각종 콘크리트는 시험기간중 소수의 유속변화가 심하여 유실되었기 때문에 중간에 다시 공시체를 만들어 해수중에 침지중이며 현재로는 재령 1년이 미달되어 이 보고서에는 강도시험결과를 알 수 없어 유감스러운 일이나 명년에는 木村 연구결과와 직접 비교할 수 있는 시험결과를 기대한다.

## 2. 부식물 시험

실내에서 해수에 1년간 침지한 각종 콘크리트의 부식물 시험결과는 표 9, 10과 같다.

표-9. 28일 표준양생 1년 해수침지후 부식물

구 분	W <sub>1</sub> (kg)	W <sub>2</sub> (kg)	$\frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100(\%)$
O · C	12, 490	12, 512	0.34
	12, 480	12, 485	
	12, 588	12, 432	
F · A	12, 370	12, 495	1.21 ※
	12, 291	12, 454	
	12, 271	12, 433	
P · O	12, 297	12, 192	0.14 ※
	12, 244	12, 542	
	12, 344	12, 185	
V · R	12, 210	12, 241	0.32
	12, 251	12, 172	
	12, 347	12, 286	
P · C	12, 024	12, 243	3.65 ※
	12, 005	12, 484	
	11, 967	12, 584	

※ 는 증가율을 표시함.

표-10. 7일 표준양생후 1년 해수침지후 부식율

구 분	W <sub>1</sub> (kg)	W <sub>2</sub> (kg)	$\frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100(\%)$
O·C	12,586	12,359	0.77
	12,294	12,333	
	12,398	12,300	
F·A	12,412	12,294	1.21 ※
	12,272	12,576	
	12,368	12,630	
P·O	12,308	12,406	1.17 ※
	12,266	12,500	
	12,535	12,636	
V·R	12,206	12,359	0.39 ※
	12,337	12,390	
	12,363	12,300	
P·C	11,997	12,167	0.63 ※
	12,076	12,050	
	12,008	12,090	

※는 증가율을 표시함.

부식을 시험에 있어서 각종 콘크리트 공시체는 외관상 부식현상을 식별할 수 없었다. 이것은 木村<sup>(11)</sup>에 의하면 바다에 침지한 콘크리트의 부식은 5년 이상이 되었을 때 비로서 유의적 부식율이 인정되었다는 사실로 미루어 볼 때 이 시험은 더구나 실내에서 해수에 의한 부식현상을 규명하는 실험이기 때문에 부식율이 재령 1년으로는 기대하기 어렵다는 것을 알 수 있다. 그러나 시험결과에 의하면 보통 콘크리트에서는 7일 양생과 28일 양생이 다 같이 미량이나마 부식율이 있었으며 다른 각종 콘크리트는 중량감소율이 아니고 오히려 증가율을 나타내고 있

다. 또한 이 중량증가율은 압축강도가 큰 콘크리트에서 생기며 압축강도가 큰 콘크리트일수록 중량증가율도 크게 나타나고 있다.

중량감소율은 해수의 화학작용에 의하여 콘크리트 표면에서 침식되어 이로 인한 감소율이 기대되나 중량증가율은 해수의 화학적 작용에 의하여 콘크리트가 팽창하거나 또는 내부에서 가용성물질이 용출되므로 다공질이 되어 콘크리트 내부에 해수가 더욱 침입·흡수하기 때문이라고 생각할 수 있다.

그러나 이 시험결과에 의하면 강도가 높을수록 중량증가율이 큰 것으로 보아 이 현상은 해수의 화학적 작용에 의한 콘크리트의 팽창 또는 붕괴현상으로 연유된다고 보다는 오히려 시험상 계량오차로 사료된다. 즉 초기중량을 계량할 때는 수중에서 포화된 중량이나 그 후의 중량은 해수에 포화된 중량으로 비중이 무거운 해수에 포화되었기 때문에 더 무거워질 수 있다. 그리고 또한 지령에 있어서 인위적인 방법에 의하여 습포로 표면수를 닦아내기 때문에 계량오차가 개입될 수 있을 것으로 본다.

또한 중량의 감소율을 나타내는 콘크리트에 있어서도 1년간에 실제부식에 기인된 것인지 아니면 역시 계량오차에 기인한 것인지 확신하기는 어렵다.

따라서 부식율은 어느 정도 외관상 부식의 흔적이 있어 표면을 와이야 부랴쉬로 닦았을 때 부식부분이 제거되므로서 부식율이 인정될 수 있다. 그러므로 부식율의 실적은 木村이 언급한 바와 같이 적어도 1년 이상이 되어 각종 콘크리트 간에 있어서 유의적 차이가 생길 것으로 본다.

### 3. 강도와 흡수율과의 관계

각종 콘크리트의 흡수율에 대해서는 이미 기초시

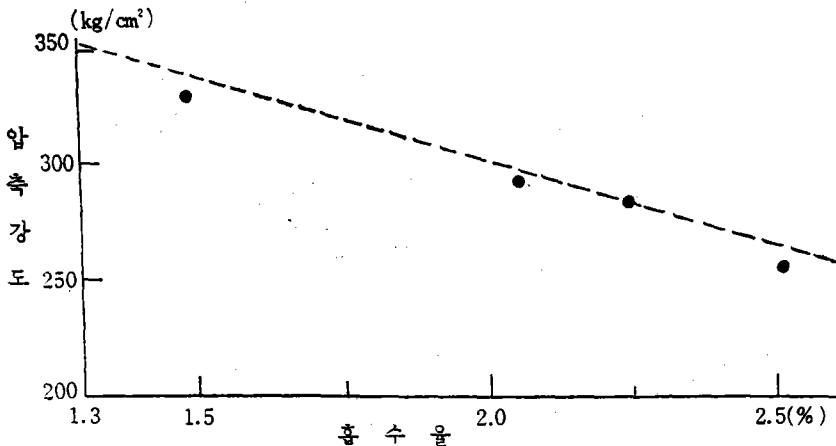


그림 6. 흡수율과 강도와의 관계

표-11.

흡수율 시험 결과

구분	종류		O · C		F · A		P · O		V · R		P · C	
	흡수율 (%)	3.18		3.10		2.06		2.60		2.40		2.40
	2.25	2.52	2.52	2.53	2.14	2.06	2.52	2.24	1.01	1.49		
	2.13		1.96		1.97		1.59		1.06			
지 수	100		100		82		89		59.2			

※ 동 연구 제 1차 보고서, 1971<sup>(14)</sup>

험에서 얻은 결과로서 재령 1년의 해수중 압축강도와 흡수율과의 관계를 살펴 보면 그림 6과 같다.

후라이애쉬를 제외한 다른 콘크리트와 흡수율과의 관계는 재령 1년에 있어서도 재령 3개월에서와 같은 경향으로서 흡수율이 적을수록 압축강도는 증가되었다. 그러나 후라이애쉬는 재령 1년에 있어서 다른 콘크리트에 비하여 강도가 현저히 증가되어 후라이애쉬의 장기강도에 대한 특증 때문에 다른 콘크리트와 비교할 때 흡수율에 비하여 강도가 현저히 높은 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

이 시험은 해수작용에 대한 콘크리트의 내구성 시험의 일환으로 1년간 실내에서 아산만 주수에 침지한 각종 콘크리트의 압축 강도와 부식율을 비교한 바 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

압축강도에 있어서 보통콘크리트는 수중에서나 해수중에서 다 같이 다른 콘크리트에 비하여 가장 강도가 낮으므로 포조란시멘트, 후라이애쉬 포조리스 빈솔레진 등은 그 효과의 차이는 있으나 효과가 수중에서나 해수중에서 다 같이 인정되었다.

포조란시멘트는 수중에서 강도가 다른 콘크리트보다 가장 높아 그 효과가 크게 인정되었으나 해수중에서는 후라이애쉬보다 더 낮은 강도를 나타내었으며 즉 포조란시멘트는 강도상에 있어서 수중에서는 가장 효과적이나 해수중에서는 후라이애쉬가 더 효과적이라고 말할 수 있다.

후라이애쉬는 수중에서는 포조란시멘트보다 낮은 강도이나 해수중에서는 오히려 포조란시멘트의 강도를 능가하고 있어 특히 후라이애쉬는 해중콘크리트에 바람직한 혼화제라고 말할 수 있다. 그리고 후라이애쉬는 또한 포조리스, 빈솔레진 등 혼화제 중에서도 장기강도에 있어서는 해수나 수중에서 다 같이 그 효과가 인정되었다.

포조리스는 수중에서나 또는 해수중에서 다 같이 후라이애쉬와 포조란시멘트에 비하여 그 효과는 떨

어지나 빈솔레진에 비하여 수중에서는 높은 효과가 인정되고 해수중에서는 큰 차이가 없었다.

빈솔레진은 포조란시멘트나 후라이애쉬, 포조리스 등의 혼화제중에서 그 효과나 강도가 가장 낮았다.

부식율시험에 있어서 보통콘크리트는 다른 콘크리트에서와 달리 미량이지만 부식율이 나타났으나 다른 콘크리트는 오히려 중량의 증가율이 나타나고 있었으며 그 중량의 증가율은 강도가 큰 콘크리트일수록 더 큰 경향을 나타내었다. 그러나 각종 콘크리트는 외관상으로는 부식현상을 식별할 수 없었으며 1년간의 실험결과에 의하여 유의적인 콘크리트의 부식율은 인정하기 곤란하며 따라서 중량의 감소 및 증가율은 콘크리트의 해수작용에 의한 침식 또는 부식에서 연유되었다기 보다 부식율 시험에 있어서 계량적인 오차 내지 해수와 담수와의 비중의 차이에서 유래된 것으로 생각한다.

시험중에 얻은 체험으로 특히 바다에 직접 콘크리트 공시체를 침지할 때 공시체의 표면에 굴이 많이 붙으므로 표지(標識)에 주의하고 또한 공시체의 유실을 방지하기 위하여 조수의 유속변화가 적고 최고 조위와 최저조위의 중간위치에 드람통의 부이를 띄워 항상 그 위치를 확인하여야 한다.

이상과 같은 결론을 집약하면 수중이나 해수중에서 콘크리트의 압축강도 즉 품질을 개선하기 위해서는 보통시멘트만을 사용하지 않고 각종 혼화제나 포조란시멘트를 사용하는 것이 효과적이라고 볼 수 있다. 그리고 부식율에 있어서는 1년간의 시험결과에 의하면 각종 콘크리트간에 유의적 부식율이 인정될 수 없었다.

V. 적 요

이 연구는 해수작용에 대한 콘크리트의 내구성 시험의 일환으로 각종 배합설계의 콘크리트에 대하여 1년간 실내에서 해수에 침지하여 압축강도와 부식율을 규명하고자 시도하였다.

각종 콘크리트의 배합설계에 있어서 보통시멘트만

을 사용한 것, 혼화제로서 후라이애쉬, 포조리스, 빈솔레진 등을 각각 보통시멘트에 사용한 것, 그리고 포조란 시멘트만을 사용한 것 등으로 구분하고 각 콘크리트 공시체는 K.S 규격에 준하여 만들어 재령 7일 및 28일 양생하였다. 그리고 압축강도시험은 수중과 해수에 각각 1년간 침지한 것에 대하여 강도를 측정하고 부식율시험은 해수중에 1년간 침지한 것에 대하여 부식율을 측정하였다.

이와같은 콘크리트의 압축강도시험과 부식율 시험에 대한 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 압축강도에 있어서 보통콘크리트는 수중이나 해수중에서 다 같이 다른 콘크리트의 강도보다 낮으므로 포조란시멘트나 혼화제인 후라이애쉬, 포조리스, 빈솔레진은 각각 그 효과가 인정되었다.

(2) 포조란시멘트는 수중에서 강도가 다른 콘크리트보다 가장 높았으나 해수중에서는 후라이애쉬보다 낮은 강도를 나타내었다. 따라서 포조란시멘트는 해수중에서 보다 수중에서 강도상 효과가 있다는 것을 알 수 있다.

(3) 후라이애쉬는 수중에서의 해수중에서 다 같이 장기강도에 있어서 높은 강도를 갖는 특성이 있다는 것을 나타내었고, 수중에서는 포조란시멘트에 비하여 강도가 낮았으나 해수중에서는 오히려 포조란 시멘트의 강도를 능가하고 있어 해수중에서는 포조란 시멘트보다 강도상 더욱 그 효과가 크다는 것을 알 수 있다.

(4) 포조리스는 후라이애쉬와 포조란시멘트에 비해서 그 효과가 떨어지나 빈솔레진에 비해서는 강도상에 있어서 항상 그 효과가 인정되고 있다.

(5) 빈솔레진은 포조란시멘트나 혼화제중에서 강도상 가장 그 효과가 낮으나 보통콘크리트에 비하면 그 효과는 수중이나 해수중에서 다 같이 인정되고 있다.

(6) 콘크리트의 압축강 와 흡수율과의 관계는 후라이애쉬를 제외하면 다른 재령에서와 같이 흡수율이 적을수록 압축강도는 증가되며 회기적선관계가 성립되었다. 그러나 후라이애쉬는 장기강도에서 그 특징이 현저히 나타나고 있어 다른 콘크리트의 흡수율에 비하여 현저히 높은 강도를 나타내고 있다.

(7) 부식율에 있어서는 1년간 해수작용을 받았을 때 각 콘크리트의 유의적인 부식율이 인정될 수 없으며 외관상에도 부식현상을 식별할 수 없었다.

### 參 考 文 獻

(1) 金亨洙, 外 4 人(1969) 土木施工法, 治庭文化社, p. 52.

(2) 建設部(1968), 무근콘크리트 표준시방서, pp. 33~4.

(3) 高在君(1971), 混和劑가 콘크리트의 耐酸性과 物理的 性質에 미치는 影響에 關한 實驗的 研究 農工學會誌, 第13号 2 卷 및 3 卷.

(4) 高在君(1972), 서해안 조수에 의한 콘크리트의 부식방지법에 관한 연구 (I), 韓國農工學會誌 第14号 2 卷.

(5) 文定淵(1967), 콘크리트混和材料에 對하여 pp. 44~61.

(6) 李九鍾(1967), 포조란시멘트에 對한 考察, 洋灰工業第20輯, pp. 32~43.

(7) 關博(1970), 海水의 作用을 受ける 콘크리트의 中性化について, 土木學會 論文報告集, No. 181, pp. 91~8.

(8) 國分正胤(1969), フライアッシュおよび フライアッシュセメント, セメント協會, セメントコンクリート No. 267, pp. 2~8.

(9) 宮本武之輔(1934), 鉄筋コンクリート工学, 材料及び 施工篇, 丸善社, pp. 127~130.

(10) 近藤泰夫, 坂静雄(1965), 콘크리트工学 핸드ブック, 朝倉書店, p. 127.

(11) 木村恵雄, 外 4 人(1971), 耐海水性に關する 콘크리트의 5 年および 10 年試驗, セメント協會, セメント 콘크리트 No. 289, pp. 10~17.

(12) セメント協會(1969), 콘크리트의 耐海水性에 關する 研究의 實施에 於て, セメント協會, セメント 콘크리트 No. 273, pp. 26~7

(13) 岸谷孝一(1963), 鉄筋コンクリートの 耐久性, 鹿島建設技術研究所出版部, pp. 165.

(14) 伊木貞雄, 外 1 人(1942), セメント並びに 콘크리트化学, 誠文堂, p. 317, p. 349.

(15) 日本ポルトランドセメント同業會(1941), 콘크리트要覽, pp. 463~4.

(16) 日本セメント技術協會(1959), 港灣工事と 콘크리트, pp. 11~12.

(17) 赤塚雄三, 外 2 人(1969), 海水의 作用을 受ける 鉄筋콘크리트의 ひびわれと 鉄筋의 腐食について, セメント協會, セメント콘크리트 No. 266 pp. 38~43.

(18) ポゾリス物産會社(1965), ポゾリス(セメント分散劑, 콘크리트減水劑) pp. 15.

(19) 横山文司(1933), 応用セメント工学, 興學館 pp. 332~3.

(20) I. L. Tyier(1960), Long-time study of Cement

- Performance in Concrete, A. C. I. Jour. pp. 825~836.
- (21) J. D. Wat1, and D. J. Tnorne(1965), The Composition and Pozzolan Properties of Pulverised Tuel Aashes, Jour. of App. Chem. 15, pp. 585~594.
- (22) Kenneth A. Kafe(1956), Inorganic Process Industries, p. 14.
- (23) Ryu, H. Y. (1959), Rhysical Tests to Measuse the Durability of Concrete Drain Tile When Exposed to acid Wators, Graduate School of Univ of Minnesota, pp. 199.
- (24) The master Builders Company (1965), master Builder Product for Improving Concrete, pp. 35.
- (25) W. J. Halstead, and R. H. Brink(1956), Studies, Relating to The testing of Fly ash for Use in Concrete, Proc, A. S. T. M. pp. 1161~1206.