

서해 조수에 의한 콘크리트의 부식 방지법에 관한 연구

A Study on Preventive Methods Against Concrete Corrosion
by Sea Water of the West Sea

고 재 군*
Chae Koon Koh

Summary

This study was attempted in order to search for physical properties on various mix designs of concrete as one of studies relating to prevention against corrosion by action of sea water in the West Sea.

In this study, as concrete mix design, fly ash, pozzolith and vinsolresin were used as admixtures for normal portland cement respectively, and pozzolan cement and normal cement were also used for each plain concrete. Concrete specimens were made and cured in accordance with the Korean Standard Specifications for concrete.

In the test, compressive strengths of the specimens were measured at the following ages; 7-days, 28-days and 3-months. Absorption test was made by immersing the specimens in water kept at boiling temperature for 5 hours.

The results obtained from the tests are summarized as follows;

1. The use of fly ash as an admixture in mix design of concrete, has an effect on compressive strength at each age. But it is actually not effective on absorption by concrete, as the result of the fly ash concrete is almost the same at that of ordinary plain concrete.

2. The use of pozzolith as an admixture in mix design of concrete, has an effect on both of compressive strength at each age and absorption rate. The pozzolith is more effective than vinsol resin, relating to improvement for physical

properties of concrete.

3. The use of vinsol resin as an admixture in mix design of concrete, has also an effect on both of compressive strength at each age and absorption rate. As the above fact, effectiveness of the vinsol resin is somewhat lower than pozzolith, as far as physical properties of the concrete are concerned.

4. Plain concrete used pozzolan cement only is the most effective on both of strength at each age and absorption rate in this study. The pozzolan cement is characteristic of higher strength as the age is later.

5. Relationship between compressive strengths and absorption rates of the concrete is shown by a different regression line depending on ages. The gradient of the regression line is steeper as the age is later.

6. Through physical test, it may be expected that the use of pozzolith and vinsol resins as an admixture respectively will be better resistant than fly ash or ordinary plain concrete and that plain pozzolan concrete will also be the best resistant to action of sea water due to improvement of their physical properties.

I. 서 론

콘크리트는 시멘트의 품질개선과 시공기술의 발달에 따라 다른 토목 건축공사재료 보다 더욱 경제적이고 내구적인 재료가 되기 때문에 세계 각국에서 대량으로 사용되고 있는 것이다.

그러나 그 재질에 있어서 완전무결한 것은 아니며 아직도 얼마간의 결점을 가지고 있으므로 이 결점을 개선하고 품질을 향상 시켜 보다 우수한 건설재료로 만들기 위하여 선진외국에서는 여러 가지로

* 서울대학교 농과대학

연구가 끊임없이 진행되고 있다.

콘크리트의 결점중에서 특히 콘크리트의 부식(침식) 또는 붕괴 작용에 대하여 살펴보면 풍우한서(기상작용), 물의 침투작용, 해수작용, 알칼리작용, 산(酸)작용, 유류작용, 전해(電解)작용등으로서 각 작용에 의한 부식의 정도에는 차이가 있게 마련이다.

이들 작용중에서 특히 해수작용으로 인한 콘크리트의 부식 또는 붕괴현상에 대해서 과거에는 정설(定說)이 없었으나 최근에는 시멘트화학, 콘크리트공학 그리고 이 방법의 많은 연구에 의하여 화학적작용과 물리적작용으로 설명하고 있다. 해수의 화학적작용은 콘크리트중에 존재하는 수산화석회(水酸化石灰)가 해수중에 함유된 가용성황산염과 반응하여 황산석회(硫酸石灰)가 되며 결정(結晶)할 때 다량의 결정수를 함유하여 팽창하고, 또 이 화합물은 다시 수화물(水和物)중의 아루민산석회와 화합하여 반토황산석회(礬土黃酸石灰)로 되어 다량의 결정수를 함유하므로 극히 심한 팽창성을 갖게되어 드디어 콘크리트는 팽창파괴 된다. 또는 해수중에 함유된 염화마그네슘은 석회와 작용하여 가용성염화칼슘을 생성하며 이것이 점차 용출되므로서 콘크리트는 다공질(多孔質)이 되어 콘크리트 내부에 해수의 친입이 촉진되므로 더욱 콘크리트의 부식을 가중시킨다.

해수의 물리적작용은 강한 조풍(潮風) 파랑(波浪)에 의한 세굴, 한대지방에서는 동결(凍結), 유빙(流水)으로 인한 충격등의 기계적작용으로 콘크리트표면의 탄산석회의 피막이 제거되므로 해수의 친입이 더욱 용이하게 되어 콘크리트의 부식이 생기는데, 이 물리적작용에 의한 콘크리트의 부식은 해수중에 잠겨있는 부분에서 보다 최고조위(潮立)와 최저조위간의 부분에서 더욱 심하게 생긴다. 이 밖에도 굳은 콘크리트는 pH 13~14(1)의 강한 알칼리성을 나타내는 물질이므로 콘크리트중의 철근의 녹(鏽)을 방지할 수 있으나 전술한 바와 같이 해수의 화학적작용과 물리적작용으로 콘크리트는 부식이 되므로 해수의 친입 또는 침투(滲透)가 촉진된다. 이리하여 콘크리트의 표면이나 균열부분으로부터 중성화가 가속되므로 콘크리트중의 철근은 녹이 쫓겨되고 따라서 콘크리트는 팽창되고 또한 철근도 그 기능을 발휘할 수 없게되어 구조물의 파괴를 초래하는 것이다.

이상과 같이 해수의 작용은 콘크리트를 침식 또는 붕괴에 영향을 주고있으나 지금까지 해수중에 설치된 콘크리트 구조물을 보면 장기간 해수작용을 받고 있으나 하등의 결함이 없는 것도 있고 또는

해수작용으로 서서히 침식된 것 또는 급격한 피해를 받는 것도 있다. 해수작용에 의한 이와같은 콘크리트의 부식 또는 파괴의 유무, 정도의 차이에 있어서 그 원인이 확실치 못한 것도 없지 않으나 대부분은 사용재료(시멘트, 골재)의 성질, 배합, 사용수량의 조절, 양생 및 시공방법등등의 양부(良否)인 것으로 사료된다.

해수의 콘크리트에 대한 화학작용과 물리적작용은 근본적으로 방지할 수 없으므로 해수작용에 의한 콘크리트의 부식이나 파괴를 근본적으로는 방지할 수 없을것이다. 그러나 해수작용에 대한 콘크리트의 내구성을 증진시킬수는 있을것이며 효과적인 방법으로는 해수작용을 가장 적게 받는 재료선택과 밀도가 크고 수밀성이 높은 콘크리트를 만드는 것이라고 볼 수 있다.

해수작용을 받는 콘크리트의 내구성에 관한 연구 혹은 콘크리트의 내해수성(耐海水性)에 관한 연구는 시험의 성질상 장기간이 소요되어 외국에서는 1년으로 부터 5년, 10년, 20년, 40년까지도 계획하여 추진하고 있으나 우리나라에서는 이 방면의 연구실적 특히 장기계획에 의한 연구실적이나 자료가 별로 없고 다만 토목시방서(12)에서 해수의 작용을 받는 콘크리트공사에 있어서 재료선택, 혼합수량, 4일 이상 양생, 시공에 주의해야한다고 규정되어 있을뿐 실질적으로 현업을 뒷받침할만한 자료가 없어 현업기관에서는 아쉬움이 많은 실정이다.

따라서 이 연구의 목적은 우리나라 서해(아산만)의 해수작용에 대하여 보다 내구적인 콘크리트의 배합설계를 규명함과 동시에 해중 공사에 있어서 배합설계의 기본자료를 제시하고자 시도 하였다.

이 연구에 있어서 재료의 선택으로는 보통포틀랜드시멘트에 혼화제로 후라이애쉬(Fly ash), 빈솔레진(Vinsol resin) 및 포조리스(Pozzolite)와 이질적인 시멘트로서 포조란시멘트(Pozzolan cement)를 각각 사용하였다. 그리고 이 시험에 있어서 특별히 아산만의 조수에 대한 내구성시험을 하게된것은 농업진흥공사에서 평택·안성지구 종합개발사업의 일환으로 아산만방조제 축조에 있어서 배수갑문공사가 착공되어 공사중에 있기 때문에 시험의 편의를 도모하는데 있는것이다.

이 연구는 4년계획으로 추진되고 있으나 시험의 성질상 장기간이 소요되므로 우리나라에 있어서 해중공사의 백년대계를 위하여 이 연구사업이 10년~20년까지 장기계획으로 연장되어 추진되어야 할 것으로 사료된다.

이 보고서는 1차년도 연구실적이며 그 내용은

본 연구의 기초시험으로 표준양생한 각종 공시체에 대하여 압축강도 및 흡수율 등물리적성질을 규명하여 그 결과를 보고하는 바이다.

II. 연구사

1933년 横山(22) 그당시의 연구에 의하던 시공에 주의한 콘크리트는 비록 해수의 화학적 작용을 받더라도 붕괴까지는 초래하지 못하며, 다만 해수의 영향을 가장 많이 받는 부분은 조수위의 고저에 의하여 공기층과 해수중에 노출되는 곳이고 도리어 해수에 계속 잠겨있는 부분은 안전하다고 하였다. 해수작용에 대한 내구적인 콘크리트의 시공은 밀도가 크고 해수의 화학적 작용을 적게받는 재료의 사용과, 철근콘크리트에 있어서는 철근을 충분히 보호해야 한다고 하며 해수공사용 시멘트로는 해수의 성분에서 따라 다르지만 우선 황산분이 적고 규산분이 많은 것이 좋으며 또 알미나시멘트도 내구적이므로 바람직하다고 주장하였다. 그리고 해중 콘크리트에 있어서 황산회의 혼합은 좋은 결과를 얻을 수 있으나 그 품질이 일정하지 않으므로 사용할 때는 주의해야 한다고 하고 황산회의 효과는 그 성분이 점토와 유사하며 가용성규산을 20~30% 함유하고 있으므로 이 성분은 콘크리트중의 시멘트의 유리 석회와 작용하여 수밀성이 되고 해수에 의한 분해작용을 방지하며 응결은 늦으나 장기 강도에 있어서 해수중의 강도는 보통 시멘트보다 도리어 높다고 밝혔다.

1934년 富本(15) 시멘트가 해수와 접촉하면 분해할 위험이 있으며 해수의 분해작용에 대해서 처음에는 해수중의 산화마그네슘(MgO)이 분해작용의 주요 원인이라고 생각하였으나 그것은 부인(副因)으로서 염화마그네슘과 같은 것은 전혀 무해이고 전적으로 분해작용을 하는 것은 황산마그네슘이므로 결국 황산자체가 주요원인이라고 주장하였다. 해수중의 가용성 황산염은 침사리 황산을 유리(遊離)하여 시멘트를 분해하는데 시멘트성분중에서 황산에 가장 쉽게 작용되는 것은 유리석회이며, 요는 시멘트중의 유리석회와 해수중의 유리석회와 해수중의 황산이 분해작용의 주요원인이라고 밝혔다. 아루미나에 관해서는 과거에 해수공사에는 아루미나함량이 적은 시멘트를 사용하는 것이 좋다고 알고 있었으나 근래에는 특별히 아루미나함량이 많은 소위 아루미나시멘트를 사용하는 것이 유리하다고 주장하고 해중공사에 있어서 콘크리트 및 모르타르에 대하여 재료선택과 시공상 충분한 주의를 해야 하며 그 요점을 열거하면 (1) 시멘트는 가급적 석

회, 산화마그네슘의 함량이 적고 가용성규산의 함량이 많은 것을 택할것. (2) 배합을 부배합으로 할것. (3) 취약성(脆弱性)이고 다공질 골재를 사용하지 말것. (4) 콘크리트의 밀도를 크게 할것. (5) 철근의 피복은 7.5cm 이상으로 할것. (6) 콘크리트를 친후 4~7일 이상 경과하여 충분히 경화된 후에 해수와 접촉시킬 것. (7) 시부트에 화산회, 규조토(硅藻土)를 혼합하여 사용할것 등으로 특히 화산회나 규조토의 효과에 대해서는 横山와 같은 주장을 하였다.

1938년 青木은 '6) 콘크리트가 해수와 접촉하면 붕괴되는데 그 원인중에 가장 놀라운 것은 해수중에 함유된 황산염류의 화학작용 이라고 밝히고 콘크리트의 붕괴를 방지하기 위해서는 우선 밀도가 큰 내해수성 콘크리트를 시공할 것이며 특히 해수작용에 대한 시멘트의 저항성을 증대시키는 데는 석회 및 석고가 적고 규산이 많은 시멘트 즉 아루미나시멘트를 사용하는 것이 효과적이며 이밖에도 적당한 혼화제를 사용하는 것을 권장하며 고로(高爐)시멘트 기타 혼합시멘트를 사용하는 것을 같은 의미에 있어서 유효하다고 언급하였다.

1941년 일본 시멘트협회에서는 '6) 콘크리트에 대한 해수작용은 해수가 함유한 염류량에 따라 차이가 인정되며 유해한 염류는 황산마그네슘, 염화마그네슘으로서 해수에 의한 콘크리트의 붕괴는 주로 해수중에 함유된 황산마그네슘이 석회와 화학하여 생성된 반토산 황산석회의 팽창에 의한 것이라고 밝히고, 염화마그네슘은 석회와 작용하여 가용성의 염화석회를 생성하여 이것이 점차 용출되므로 콘크리트는 다공성이 되어 그 내부에 해수가 침사리 침입하여 더욱 해수에 의한 부식을 촉진시킨다고 밝혔다. 그리고 내해수성 콘크리트를 만들기 위해서는 적당한 시멘트종류의 선택과 동시에 설계 및 시공에 주의하고 양생에 대해서도 등한시하여서는 안되며 무엇보다도 밀실한 콘크리트를 만드는 데 있다고 언급하였다.

1942년 伊木은 '6) 공극이 많은 콘크리트는 그 내부에 침투한 물이 동결하여 용적이 증대되므로 균열이 생기는데 특히 해수가 동결하는 지방에서는 이 작용이 더욱 심하며 조수위의 차이가 생기는 부분의 콘크리트는 현저한 피해를 받는다고 하였다. 그 방지법으로는 콘크리트를 치밀하게 만들고 특히 조위차의 상하 각각 60cm구간을 더욱 피복한 것이 바람직하다고 언급하고 콘크리트의 화학적, 저항성을 증대시키는 방법은 배합, 혼합(비비기), 치기(打設) 등에 주의하고 일반공사보다 더욱 조심스럽

게 시공하고 양생을 잘 하여 표면을 탄산석회화 할 것이며 이때 염류의 침투, 흡수를 피하고 수밀성 시공등을 강조하였다.

1953년 吉田은⁽³³⁾ 해수가 콘크리트에 미치는 화학적 작용에 대하여 해수중에는 극히 소량으로 함유되는 중탄산암모니아가 콘크리트에 피해를 준다고 주장하고 이 중탄산암모니아는 해수중에서 서식하고 있는 조개(二枚貝) 등과 밀접한 관계가 있으며 이 조개는 중탄산암모니아를 다량으로 발생 시키므로 이 조개의 발생(번식)을 방지하는 것이 해수에 의한 콘크리트의 피해를 감소 시킬 수 있는 것이라고 주장하였다.

1960년 Tryler는⁽⁶⁾ 내해수성 콘크리트를 만들기 위해서는 아루 민산 3석회 (C₃A)와 석회가 적고 규산이 많은 시멘트를 사용하고 물-시멘트 비를 가급적 적게 하는 것이 바람직하며 이때 A.E제의 사용은 효과적이라고 언급하였다.

1969년⁽⁴⁸⁾ 일본시멘트협회에서는 해수의 작용을 받은 콘크리트는 열화(劣化)되는데 그 주요원인은 해수의 화학적작용과 물리적작용 이라고 언급하고 특히 콘크리트의 수축개선 및 화학적 저항성을 증대 시키기 위해서는 시멘트중의 석고 즉 SO₃량을 중질의 함량보다 어느정도 증가시키는 것이 효과적이라고 주장하였다.

1969년 木村은⁽⁶⁾ 내해수성에 관한 콘크리트의 5년 및 10년 시험에 있어서 일본 동해만(洞海湾)에서 10년간, 광도만(廣島灣)에서 5년(40년계획) 시험 성적을 종합한 결과 표준압축 시험용 콘크리트 공시체에 대하여 해수작용에 대한 의한 부식율은 재령 10년에서 비로소 유의차가 인정되며 5년으로

서는 유의적인 비교가 어려우나 압축강도에서는 현저한 차이가 생겼고, 후라이애쉬시멘트는 장기강도 및 부식에 대한 저항성이 가장 크고 그 다음이 고로시멘트, 보통 시멘트의 순위이며 콘크리트속의 철근의 발청율(發錆率)은 후라이애쉬시멘트가 가장 낮고 보통시멘트는 이것보다 약간 높았으나 고로시멘트는 상당히 발청율이 높으므로 철근콘크리트용 시멘트로서 해수공사에는 재고되어야 한다고 언급하였다. 물-시멘트 비 및 스톱프값과 내해수성과는 명백한 관계는 얻을 수 없었으나 종합적인 판단으로 물-시멘트 비가 적고 스톱프값을 적게 하는 이 해수에 대한 저항성을 향상시키는데 바람직하며 AE제나 분산제(分散劑)를 사용한 것은 철근의 녹은 방지하는데 극히 유효하여 A.E제를 사용한 콘크리트의 방청(防錆)효과는 A.E제를 사용하지 않 것 것보다 1.75배로 나타났다고 밝혔다.

III. 재료 및 방법

이 시험에 사용한 각 재료는 다음과 같다.

1. 시멘트(Cement)

이 시험에서 사용한 시멘트의 종류는 보통 포틀랜드시멘트(Ordinary Portland Cement)와 포조란시멘트 (Pozzolan Cement)이다.

보통시멘트는 국내 모 회사의 제품이며 기준공시체와 포조리스(Pozzolith), 빈솔레진 (Vinsolresin) 후라이애쉬(Fly ash)를 각각 혼합체로 사용한 콘크리트 공시체를 만드는데 사용하였으며 그 품질은 표-1과 같고 참고로 미국제품과 비교하기 위하여 화학성분을 부기하였다.

표-1 보통포틀랜드 시멘트의 품질

물 리 적 성 질				화 학 적 조 성 분			
성 질	항 목	결 과	한국공업+ 규격(KS)	항 목	결 과	한국공업+ 규격(KS)	★ 미국자료
	성 질	항 목	결 과		항 목	결 과	
비	중	3.15		화합물			
				물탈의 공기 연향량 (%)	3.5		
				수화열 (Cal/g)	7일 63 28일 78		
분 말 도	부렌법 (cm/g)	3.120	> 2.600	진조수축도(%)			
	표준체 44μ잔분 (%)			강 열 감량(%)	1.01	< 3.0	1.5
	표준체 149μ잔분 (%)			불용해잔분(%)	0.36	< 0.75	0.18
용 결 시간	주 도 (%)	25		SO ₃ (%)	1.72	< 2.5 또는 1.8	1.8
	초 결 (분)	80	> 60	MgO (%)	2.62	< 5.0	2.4
	중 결 (시간)	4.45	< 10	SiO ₂ (%)	21.36		23.3
안 정 도		0.12	< 0.80				

수 량 (%)				Al ₂ O ₃ (%)	4.56	5.0
강 도	압 축 재 령	1일		Fe ₂ O ₃ (%)	3.06	3.0
		3일	168 > 85	CaO (%)	63.55	68.8
		7일	196 > 150	FeO (%)		0.04
		28일	290 > 245	NaO (%)	0.25	0.27
(kg/cm)	인 장 재 령	1일		K ₂ O (%)	0.53	0.64
		3일	21.0 > 10	P ₂ O ₅ (%)		0.27
		7일	23.8 > 20	TiO ₂ (%)		1.0
		28일	30.1 > 25	유리산화석 (%)	1.75	1.0

★ 미국에서 122개 회사 제품에 대한 화학분석의 평균값⁽¹⁸⁾ 방조제 축조공사에 있어서 배수갑문공사에 사용하기 위하여 특별히 국내 모 회사에서 제조된 것으로 포조란콘크리트 공시체를 만드는데 사용하였으며 그 품질은 표-2와 같다.

+ 한국공업규격 KSL 5210규정

포조란시멘트는 금번 농업진흥공사에서 아산만

표-2 포조란시멘트의 품질

물 리 적 성 질				화 학 적 조 성 분				
성 질	항 목	결 과	한국공업※ 규격(KS)	성 질	항 목	결 과	한국공업※ 규격(KS)	
	비 중		2.89			강 열 감 량		3.50
분 말 도	부렌법(cm ³ /g)	4.500		불 용 애 잔 분				
	표준제 44μ잔분 (%)		< 12.0	SO ₃ (%)	2.21	< 2.5		
	표준제 149μ잔분 (%)		< 1.0	MSO (%)	2.50	< 5.0		
응 결 시 간	주 도 (%)			SiO ₂ (%)	75.61			
	초 결(분)	140	< 1.0	Al ₂ O ₃ (%)	13.56			
	종 결(시간)	3:40	< 0.5	Fe ₂ O ₃ (%)	1.23			
안 정 도		0.45	< 0.5	CaO (%)	1.48			
수 량 (%)				FeO (%)	—			
				NaO (%)	—			
	압축재령 (일)	1			K ₂ O (%)	—		
		3	136		P ₂ O ₅ (%)	—		
7		182		Mn _{2s} (%)	—			
(kg/cm ²)	인장재령 (일)	1			TiO ₂ (%)	—		
		3	21.7		유리산화석 (%)			
	가 용 성 분	7	28.0		SiO ₂ (%)	47.09		
		28	34.3		Al ₂ O ₃ (%)	5.37		

※ 한국공업규격 KSL 5401규정

1. 골 재

이 시험에 사용한 잔골재 및 굵은 골재는 한강에서 채취한 한강모래와 한강자갈로서 각 골재의 품

질은 표-3 및 4와 같고 각 골재의 입도는 그림1 및 2와 같다.

표-3 잔골재의 품질

항 목	비 중	흡 수 율	단 위 용 적	No. 200 번 체 통 과 율	안 전 성	조 립 율	유 기 물
결 과	2.608	0.74 %	g/cm ³ 1.508	% 0.62	—	2.29	양 호

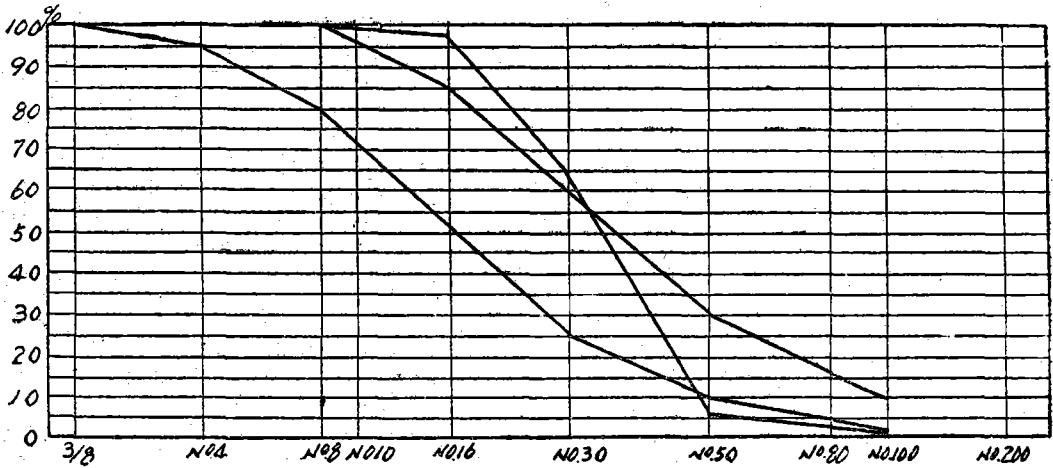


그림 1. 잔골재의 입도

표-4 굵은 골재의 입도

항 목	비 중	흡 수 율	단 위 용 적	마 모 율		안 전 성	조 립 율	잡 기 율
				100 회	500 회			
결 과	2.653	0.71 %	g/cm ³ 1.566 1.664	5.4 %	28.0 %	—	—	양 호

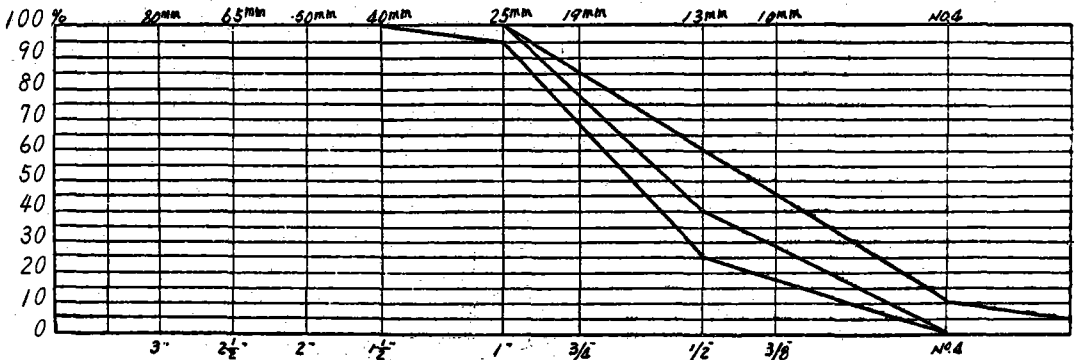


그림 2. 굵은 골재의 입도

그림 1 및 2에서와 같이 굵은 골재의 입도는 좋으나 잔골재의 입도는 허용범위를 벗어나 즉 표준입도에 비하여 입경이 가는 편이다. 한강모래의 특수성을 고려하여 입도조절을 하지않고 그대로 사용하였다.

3. 혼화제(Admixture)

가) 후라이애쉬 (Fly ash)

화력발전소에서 미분탄을 연소시킬 때 부산물로 얻는 후라이애쉬는 인공포조탄으로 콘크리트의 혼화제나 또는 혼화재로 사용되며 그 품질은 각국의

제품에 따라 또는 같은 나라의 제품이라도 공장에 따라 현저히 다르다. 이 시험에 사용한 후라이애쉬는 국내 모 회사의 제품으로 그 품질은 표-5와 같

으며 참고로 미국, 일본 영국제품에 대한 화학성분을 비교하기 위하여 부기하였다.

표-5 후라이애쉬의 품질

물 리 적 성 질				화 학 적 조 성 분					
성 질	항 목	결 과	한국공업※	항 목	결 과	한국공업※	(10)	(10)	(10)
			규격(KS)			성 질	규격(KS)	미국제품	일본
비 중		2.38		강열감람(%)	5.42	< 12.0	7.83	0.73	3.86
분 말 도	부렌법 cm/g	75.72	> 6500	수 분(%)	0.33	< 3.0	0.5	0.21	—
	평균입경 μ	—	< 9.0	SiO ₂ (%)	46.98	> 70.0	44.11	57.96	46.16
압축강도	7일 (%)	176.1	> 100	Al ₂ O ₃ (%)	37.22		20.81	25.86	26.99
	28일 (%)	111.1	> 100	Fe ₂ O ₃ (%)	7.3		17.49	4.31	10.44
진 조 수 축 변화(%)		0.023	> 0.03	MgO (%)	1.78		1.12	1.58	1.59
수 량(%)		100.65	< 105	SO ₃ (%)	0.79		1.19	0.34	1.59
콘 크 리 트 공 기 연 함 량(%)		—	< 2.0	Na ₂ O·K ₂ O (%)	—		2.7	0.64	4.16
안 청 도(%)		—	0.50	CaO (%)	0.61		4.75	3.98	3.06
포 조 리 스 활 성 지 수	시멘트사 용 28일 (%)	90.01	> 85	TiO ₂ (%)	—		> 0.5		
	석회사 용 7일 (%)	—	> 56	SiO ₂ Al ₂ O ₃			3.71	3.83	2.92
시멘트 알칼리 반응		—	< 0.022	비 중	2.38	—	2.40	2.14	2.10
균 등 성		—	—	비표면적 cm/g	7,572	> 6,500	3,673	3,090	5,180

※ 한국공업규격 KSL 5405규정

나) 포조리스(Pozzolith)

포조리스는 (10)(17)(50) 리그노살페이트(Lignosulphate)산, 칼슘염을 주성분으로 하는 담황색 분말로서 수용성이며 시멘트의 분산제(감수제)로서 미국 마스터빌더(Master Builder)회사에서 개발한 것으로 이 시험에서는 표준형(No.5)을 택하고 국산품이 없기 때문에 일산품을 사용하였다.

다) 빈솔레진(Vinsol resin)

빈솔레진은(14) 공기연입제(空氣連入劑=A. E)의 대표적인 것으로 소나무에서 추출한 콜탈제 탄화수소를 처리하여 제조한 갈색분말로서 물에는 잘 녹지 않으므로 가성소다에 녹여서 사용하는데 이것은 미국 헬류테스파우더(Hercules Powder)회사에서 유명한 것으로 이 시험에서는 국산품이 없으므로

미국제품을 사용 하였다.

2. 시험방법

가. 공시체 제작

이 시험에 사용한 공시체는 콘크리트의 압축강도 시험용과 같은 치수로 직경 15cm, 높이 30cm의 원주형이며 그 제작방법과 양생방법은 한국공업규격(K.S.F 2403)에 준하고 각 공시체의 배합 설계는 다음과 같은 조건으로 하였으며 그 결과는 표-6과 같다.

- (1) 단위 시멘트량은 320kg/m³이 고
- (2) 굵은 골재의 최대 치수는 25mm이며
- (3) 스톱프값은 7.5±1cm가 되도록 단위수량을 조절 하였다.

표-6 콘크리트 공시체의 배합설계

공 시 체 종 류	기 호	시멘트 (kg)	혼화제 (kg)	물 (kg)	물-시멘트 비 W/C (%)	절대골재 비 S/a (%)	모 래 (kg)	자 갈 (kg)	공기량 (%)
보 통 콘 크 리 트	O.C	320	—	179.2	56	39	712	1135	—
후라이애쉬 콘 크 리 트	F.A	320	2	183	52	38	682	1135	—

포조리스콘크리트	P.O	320	3,200 ^{CC}	156.8	49	35	642	1225	4
빈솔레진콘크리트	V.R	320	256 ^{CC}	156.8	49	34	623	1223	4
포조란콘크리트	P.C	320	—	166.4	52	39	709	1110	—

나. 물리시험

콘크리트의 물리적 시험은 내해수시험의 기초시험으로 압축강도와 흡수율에 대하여 실시 하였으며 각 시험은 3반복으로 하였다.

1) 압축 강도 시험

압축강도는 K.S.F2405에서 규정한 시험방법에 준하고 각종 콘크리트에 있어서 재령 7일, 28일, 3월 강도를 만능강도 시험기에 의하여 측정하였다.

2) 흡수율시험

항온수조의 수온을 90~100°C까지 상승시킨 후 공시체를 그 수조에 넣어 뚜껑을 덮고 5시간 끓인 후 공시체를 그대로 수조내에서 방치하였다가 수온이 실온에 달할 때 표면수분을 습포로 닦아 내고 평량한 중량을 포수중량 W_1 이라 하고 그 공시체를

공기중에서 건조시킨 후 다시 건조로에 넣어 온도 100~110°C의 범위에서 24시간 건조한 후 평량한 중량을 절대 건조중량 W_2 이라 하여 다음 공식으로 흡수율을 구하였다.

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

IV. 시험결과 및 고찰

1. 압축 강도 시험

콘크리트의 압축강도는 그 품질을 나타내는 가장 중요한 요인으로 시험결과는 표-7과 같고 재령에 따라 각종 콘크리트의 강도변화를 보면 그림3과 같다.

표-7 압축강도 시험결과

종류	재령	7 일		28 일		91 일	
		강도(kg/cm ²)	지 수	강도(kg/cm ²)	지 수	강도(kg/cm ²)	지 수
OC		113		178		195	
		105	111	177	177	153	192
		115		176		197	
FA		132		178		212	
		139	133.7	190	185	206	294
		130		187		195	
PO		147		219		262	
		132	140	208	221	238	246
		141		236		238	
VR		119		198		205	
		125	121.3	184	182	221	216
		120		164		222	
PC		137		226		269	
		130	132	253	247	266	259
		127		263		243	

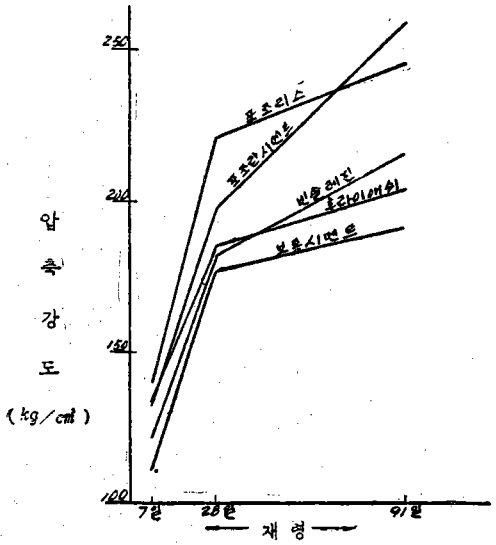


그림 3. 재령에 따른 각종 콘크리트의 압축강도

그림 3에서 재령에 따른 각종 콘크리트의 압축강도의 변화는 일정하지 않으나 공통적으로 재령 28일에 있어서 급격히 증가되고 그 후에는 완만하였는데 이는 콘크리트 시방서에 있어서 콘크리트의 기준 강도를 재령 28일 강도로 규정한 이유를 뒷받

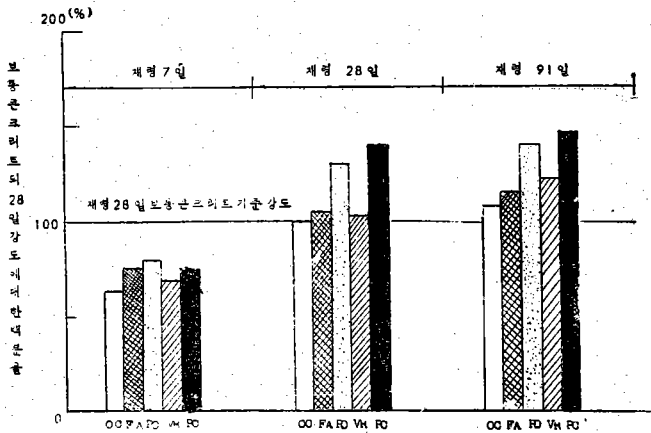


그림 4. 보통콘크리트의 28일 강도에 대한 각재령에 따른 강도의 비교

침하고 있다고 생각된다. 그리고 재령 28일 이후의 장기 강도의 변화에 있어서 포조란콘크리트는 다른 콘크리트에 비하여 급격한 증가를 나타내고 있어 포조란시멘트에 있어서 장기강도가 높다는 문, (11)W.J.Halstead(11)의 연구 결과와 일치되었다.

보통 콘크리트의 강도는 각 재령에 있어서 다른 콘크리트의 강도에 비하여 가장 낮은데 이것은 후라이애쉬, 포조리스 및 빈솔레진등의 혼화제의 효과와 포조란시멘트의 효과를 입증하여주고 있다.

포조란 시멘트는 조기(早期) 강도에서는 보통시멘트보다 낮은 것이 그 결점이라고 지적되고 있으나 이 시험에서는 조기강도에서도 더 높아 포조란시멘트의 우수성을 나타내고 있는데 이 결과는 주로 포조란시멘트의 물리적성질 또는 화학적 성분의 차이이고 2차적으로는 사용한 보통시멘트의 품질의 차이라고 생각된다.

각 혼화제의 강도에 대한 효과는 각 재령에 있어서 포조리스가 후라이애쉬나 빈솔레진에 비하여 월등하게 좋고 후라이애쉬와 빈솔레진은 거의 비등하나 빈솔레진이 장기강도에 있어서 더 높은 경향을 나타내고 있다.

각 재령에 있어서 각 콘크리트의 강도의 차이는 조기강도에서보다 장기재령일수록 더욱 현저한차이를 나타내고 있는데 이것은 혼화제나 포조란시멘트의 특징에 기인된 것으로 바람직한 결과라고 생각한다.

콘크리트의 기준강도를 재령 28일 강도를 정하고 있으므로 보통 콘크리트의 재령 28일 강도를 기준(100)으로 하여 각 콘크리트의 강도를 비교하여 보면 그림 4와 같으며 재령 7일에서는 각 콘크리트의 강도는 기준강도에 미달됨을 알수 있다. 이것은 조강시멘트를 사용하지 않은한 비록 혼화제나 포조란시멘트를 사용하더라도 콘크리트의 조기강도에는 그 효과를 기대할 수 없다는 것을 알수 있다. 따라서 혼화

표-8

흡수율 시험결과

종 류	O C	F A	P O	V R	P C
흡 수 율 (%)	3.18	3.10	2.06	2.60	2.40
	2.25	2.52	2.14	2.52	1.01
	2.52	2.53	2.06	2.24	1.49
지 수	2.13	1.96	1.97	1.59	1.06
	100	100	82	80	59.2

제나 포조란시멘트를 사용한 콘크리트에 있어서도 소요강도를 얻기 위해서는 보통콘크리트와 같이 일정한 재령 즉 양생기간이 필요하다는 것이며 콘크리트의 양생은 강도에 중요한 요인의 하나임을 입증한 것이다.

2. 흡수율 시험

콘크리트의 흡수율은 그의 품질을 나타내는데 압축강도의 다음으로 중요한 요인이 되며 그 시험결과는 표-8과 같고 이것을 도시하면 그림 5와 같다.

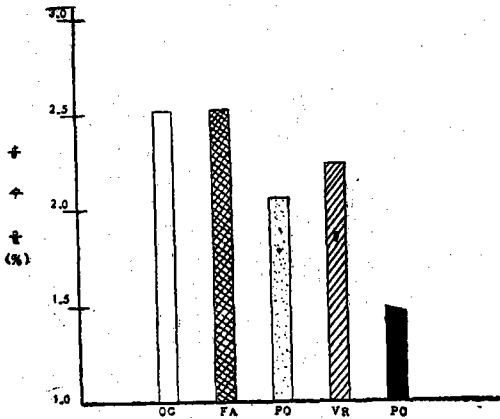


그림 5. 각종 콘크리트의 흡수율 (재령 28일)

각종 콘크리트에 있어서 흡수율을 비교하기 위하여 보통콘크리트의 흡수율을 기준 (100)으로 정하고 다른 콘크리트의 흡수율과 비교하면 그림 6과 같다.

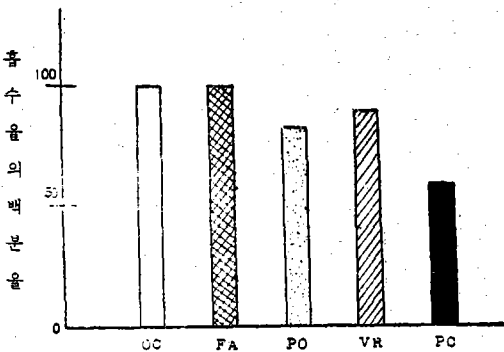


그림 6. 각종 콘크리트의 흡수율의 비교

각종 콘크리트중에서 흡수율이 가장 높은것은 보통 콘크리트와 후라이애쉬 콘크리트이고 가장 낮은 것은 포조란콘크리트이다. 따라서 포조란시멘트는 흡수율에 있어서 가장 효과적이거나 후라이애쉬는 보통 콘크리트와 같으므로 결국 역효과를 나타내고 있

는 셈이다.

포조리스와 빈솔레진을 사용한 콘크리트에 있어서 흡수율에 대한 효과는 포조란시멘트에 비해서 떨어지나 인정할 수 있으며 포조리스는 빈솔레진 보다 약간 더 효과적임을 알 수 있다.

포조란 20%를 보통시멘트에 혼합하여 사용한 포조란 시멘트에 있어서는(6) 혼화제를 사용한 콘크리트보다 더 높은 흡수율을 나타내었으나 이 시험에서는 이와 반대로 현저히 낮은 흡수율을 나타내고 있는데 이것은 포조란시멘트의 품질의 차이에 기인된 것으로사료 된다.

콘크리트에 있어서 흡수율이 높은 것은 특수성이 크므로 수밀성 콘크리트가 될 수 없기 때문에 수밀성을 요하는 콘크리트구조물이나 특히 해중공사에 있어서 철근콘크리트로는 부적당한 것이다.

따라서 후라이애쉬를 사용한 콘크리트는 포조란 시멘트나 포조리스 및 빈솔레진을 사용한 콘크리트와 같이 수밀성 콘크리트나 해수공사에는 바람직하지 못하며 만일 후라이애쉬로 사용할려면 후라이애쉬의 품질개선이 선행되어야 할 것이다.

물-시멘트 비가 서로 같은 포조리스와 빈솔레진을 각각 사용한 콘크리트에 있어서 흡수율이 서로 다른것은 혼화제를 사용한 콘크리트의 흡수율은 물-시멘트 비에 크게 관계가 없고 혼화제의 특징에 달려 있다는 것을 알 수 있다.

포조리스가 빈솔레진에 비하여 흡수율이 낮은 것은 그의 특징인 시멘트의 분산(分散)작용에 기인한 것으로 빈솔레진은 A.E제로서 포조리스 보다 분산 효과가 적기 때문인 것이다.

3. 강도와 흡수율과의 관계

각종 콘크리트의 압축강도와 흡수율에 대해서는 이미 고찰되었으나 이들 사이의 관계를 살펴보면 그림 7과 같이 흡수율이 낮을수록 강도는 높아지며 흡수율을 X, 강도를 Y로할 때 회귀직선(回歸直線)의 관계가 성립되고 있다. 그러나 그 회귀직선은 각 재령에 따라 일정하지 않고, 조기재령에서 보다 장기 재령에서 더욱 급격한 강도의 변화율을 나타내었다. 이와 같은 현상은 각종 혼화제나 포조란시멘트의 특징이 조기재령에서 보다 장기재령에서 더욱 현저히 나타나고 있다는 사실을 입증하고 있다.

이 강도와 흡수율과의 관계에 의하여 압축강도를 중심으로한 콘크리트의 배합 설계는 흡수율과 밀접한 관계가 있으므로 투수성 또는 수밀성 콘크리트를 만드는데 척도(尺度)가 될 수 있다는 것을 알

수 있다.

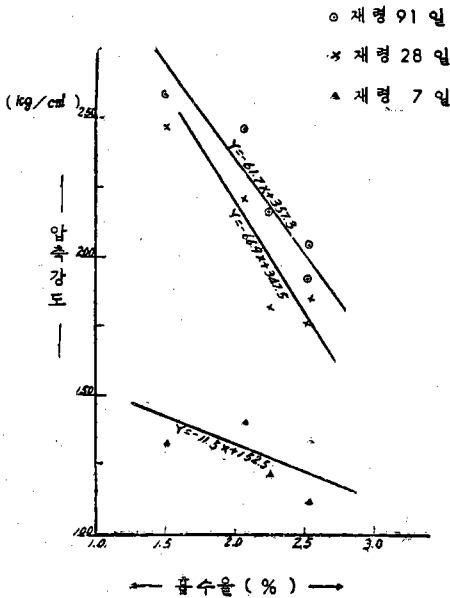


그림 7. 흡수율과 압축강도와의 관계

V. 결 론

콘크리트는 일반적으로 압축강도가 높고 흡수율이 낮은 물리적성질이 바람직하다. 그러나 콘크리트의 사용목적이나 입지조건등에 따라 물리적성질 뿐만 아니라 화학적저항성도 요망되는 것이다.

이 시험은 해수작용에 대한 저항성시험의 기본자료를 얻기 위하여 각종 혼화제와 포조란시멘트를 사용한 콘크리트의 물리적성질을 보통시멘트만을 사용한 콘크리트와 비교검토한 바 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

혼화제로서 후라이애쉬를 시멘트중량의 10%를 추가로 사용한 콘크리트는 조기강도나 장기강도에 있어서 다 같이 그 효과가 인정 되었다. 그러나 흡수율에 있어서는 강도에서와 달리 보통 콘크리트와 같은 결과를 갖게 되므로 결국 흡수율에 대한 효과는 없는 셈이다. 특히 흡수율은 해수공사에 있어서 해수작용에 대한 부식이나 콘크리트의 중성화에 밀접한 관계가 있으므로 이 콘크리트는 해수공사에 있어서 부적당할 것이며 해수작용에 대한 저항성에 있어서도 효과를 기대하기 어려울 것으로 생각된다.

포조리스를 혼화제로 사용한 콘크리트는 각 재령에 있어서 압축 강도나 흡수율에 있어서 다른 혼화제보다 더 큰 효과를 나타내었다. 따라서 해수 작용

에 대한 내구성에 있어서도 물리적 성질에서와 같이 그 효과가 크게 기대되는 바이다.

빈솔레진을 혼화제로 사용한 콘크리트는 각 재령에 있어서 강도나 흡수율에 있어서 다 같이 그 효과가 인정 되었으나 포조리스에 비해서는 강도나 흡수율이 다 같이 더 낮았다. 해수작용에 대한 내구성에 있어서 포조리스와 같이 그 효과를 기대할 수 있다고 생각된다.

포조란 시멘트를 사용한 콘크리트는 각 재령에 있어서 압축강도 및 흡수율이 다 같이 이 시험에서 효과가 가장 높았으므로 콘크리트의 물리적 성질을 개선하는데 바람직한 시멘트라고 생각 되었다. 그리고 해수작용에 대한 내구성에 있어서도 물리적 시험 성적으로 미루어 보아 가장 큰 효과가 기대 된다.

압축 강도는 흡수율이 낮일 수록 증가하여 이들 사이에는 회기 직선으로 표시 되었다. 그러나 그 회기 직선은 각 재령에 따라 일정하지 않고 조기재령에 비하여 장기재령 일수록 강도의 증가율은 더욱 급격 하였다.

이상과 같은 결론을 집약하면 콘크리트의 물리적 성질을 개선하기 위해서는 보통 시멘트만을 사용하는 것 보다 각종 혼화제나 또한 포조란시멘트를 사용하는 것이 효과적이라고 볼수있다. 그러나 이들의 효과는 일정하지 않으므로 콘크리트의 사용목적이나 입지조건을 고려하여 선택 사용하는 것이 더욱 요망된다. 그리고 물리적성 질이 개선된 콘크리트는 해수작용에 대한 내구성에 있어서도 그 효과가 기대되는 것이다.

VI. 적 요

이 연구는 해수 작용에 대한 콘크리트의 내구성 시험의 일환으로 각종 배합설계에 있어서는 보통 시멘트 만을 사용, 혼화제로서 후라이애쉬, 포조리스, 빈솔레진등을 각각 보통시멘트에 사용, 포조란 시멘트만을 사용한 것등으로 구분하고 각 콘크리트의 공시체는 K.S규정에 준하여 만들어서 양생 하였다. 그리고 압축강도 시험은 재령 7일, 28일 및 3개월 강도를 측정하고, 흡수율시험은 재령 28일 공시체로서 저불법(煮沸法)에 의하여 5시간 짧은 물에 담구어 흡수율을 측정 하였다.

이와같이 콘크리트의 물리적성질에 대한 시험 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 후라이애쉬를 혼화제로 사용한 콘크리트는 각 재령에 있어서 그 효과가 인정 되었으나 흡수율에 있어서는 보통 콘크리트와 같은 결과를 얻었으므로

그 효과는 인정할 수 없는 셈이다.

2. 포졸리스를 혼화제로 사용한 콘크리트는 자재령에 있어서 압축강도나 흡수율에 있어서 그 효과가 인정되며 후라이애쉬(강도)나 빈솔레진을 사용한 콘크리트 보다 더욱 큰 효과를 나타내었다.

3. 빈솔레진을 혼화제로 사용한 콘크리트는 자재령에 있어서 압축강도나 흡수율에 있어서 그 효과가 인정되었다. 그러나 포졸리나 포졸란시멘트를 사용한 콘크리트보다 약간 그 효과는 떨어졌다.

4. 포졸란시멘트만을 사용한 콘크리트는 자재령에 있어서 압축강도나 흡수율은 이 시험에서 가장 큰 효과를 나타내었으며 특히 장기 강도는 급증 현상

을 보였다. 이 시험에서 포졸란시멘트는 콘크리트의 품질개선에 있어서 바람직한 시멘트라고 생각된다.

5. 콘크리트의 압축강도와 흡수율간에는 회정기선관계가 성립 되었으나 이는 자재령에 따라 일직하지 않고 조기재령에 비하여 장기 재령 일수록 더욱 급격한 강도의 변화율을 나타 내었다.

6. 후라이애쉬를 제외하고 포졸리나 빈솔레진을 혼화제로 사용한 콘크리트와 포졸란 시멘트만을 사용한 콘크리트는 물리적 성질의 개선으로 미루어 볼때 해수작용에 대한 내구성에 있어서도 그 효과가 기대될 것으로 본다.

VII. 참고문헌

1. 赤塚雄三, 關博, 淺岡邦一(1969), 海水の作用を受ける鐵筋コンクリートのひびわれと鐵筋の腐食について, セメント協會, セメントコンクリート 266 pp. 38~43
2. 青木楠男(1938), 土木工事材料, アルス社 p.(397)
3. セメント協會(1969), 콘크리트의耐海水性に関する研究の實施にあつて, セメント協會, セメントコンクリート No.273, pp.26~7
4. 伊木貞雄, 後英太郎(1942), セメント並びにコンクリート化學, 誠文堂 新光社 p. 317, p. 349
5. I. L. Tyler(1960), Long-time Study of Cement Performance in Concrete, A.C.I. Jour., pp. 825~836
6. J.D. Watt, and D.J. Thorne (1965), The Composition and Pozzolanic Properties of Pulverised Fuel Ashes, Jour. of App. Chem. 15, pp. 585~594.
7. 金亨洙, 徐英甲, 林炳祚外 2人(1969), 土木施工法, 治庭文化社, p.52
8. 木村惠雄, 鈴木昇, 野崎貞澄外 2人(1971), 耐海水性に 關する 콘크리트の5年 および10年試験, セメント協會, セメントコンクリート No.289, pp. 10~17
9. 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, 韓國農工學會誌 第13號, 2卷 및 3卷
10. 國分正胤(1939), 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 No. 267, p.4
11. 近藤泰夫, 坂靜雄(1965), 콘크리트工學ハンズブック, 朝倉書店 p. 127
12. 建設部(1968), 무근 콘크리트표준시방서, p. p. 33~34
13. 李九鍾(1967), 포졸란시멘트에對한考察, 洋灰工業協會 洋灰工業 第20輯, pp. 32~43
14. 文定淵(1967), 콘크리트混和材料에 對하여, ———, ———, ———, PP. 44~61
15. 宮本武之輔(1934), 鐵筋コンクリート工學, 材料 및 施工篇, 丸善社, pp. 127~130
16. 日本ボルトランドセメント同業會(1941), 콘크리트要覽, pp. 463~4
17. ポゾリス物産會社(1966), ポゾリス(セメント分散劑, 콘크리트減水劑) pp. 15
18. Ryu, H. Y. (1959), Physical Tests to Measure the Durability of Concrete Drain Tile When Exposed to Acid Waters, Graduate School of University of Minnesota, pp.199
19. 關博(1970), 海水の作用を受ける 콘크리트の中性化について 土木學會論文報告集 No. 181 pp.91~18
20. The Master Builders Company (1965), Master Builder Product for Improving Concrete, pp. pp.35
21. W.J. Halstead. and R.H. Brink (1956), Studies Relating to the Testing of the Testing of Fly Ash for Use in Concrete, Proc. A. S. T. M, pp. 1161 1206
22. 横山文司(1933), 應用セメント工學, 興學館, pp.332~3
23. 吉田德次郎(1953), 鐵筋コンクリート設計法, 養賢堂, pp. 79~80