

강섬유보강콘크리트의 내해수성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Seawater Resistance of Steel Fiber Reinforced Concrete

박승범* 오광진** 장석호*** 이봉춘***
Park, Seung Bum Oh, Kwang Chin Jang, Seok Ho Lee, Bong Chun

Abstract

This paper describes an experimental study on the seawater resistance of steel fiber reinforced concrete. The test method adopted for this study may be divided into long-term immersion test and accelerated test by wetting and drying. Test were carried out to evaluate the procedure in which reduction in dynamic modulus, length change and compressive strength to nine months were measured. Resistance indicators are the water - cement ratio, the content of steel fiber, the immersion water (artificial seawater or freshwater)

The conditions of intervals of immersing in artificial seawater and drying, low water-cement ratio, and non - steel fiber became most deteriorated.

1. 서 론

해안부근과 해수중에 축조된 구조물은 그 목적과 용도에 따라 사용되는 재료와 구조 형식은 다르나 구조물의 내구성에 관한 견해에는 큰 차이가 없다. 해수와 접한 구조물은 기본적으로 해수의 영향을 받으며, 가혹한 기상과 해상작용에 노출되어 있으며, 특히 파랑, 조류, 해중의 정수압, 염분의 축적, 조석에 의한 건습의 반복, 한랭지의 동결융해반복 등의 물리적 작용과 콘크리트의 수화생성물의 용출, 해수의 주성분과 시멘트 수화생성물과의 화학반응, 강재의 부식 등의 화학작용을 받고있다. 小林一輔와 坂藤誠史등에 의하면 수화생성물중 수산화칼슘과 시멘트 중의 유리석회는 해수에 대해 가용성으로, 콘크리트 중의 모세관공극을 통하여 해수중에 용출되고, 그 공극으로 콘크리트에 해수가 침입되어

* 정회원, 충남대 토목공학과 교수

** 정회원, 충남대 토목공학과 박사과정

*** 정회원, 충남대 토목공학과 석사과정

콘크리트는 점차 열화되며 나아가 철근의 방청기능도 저하되는 것으로 보고하고 있다.

또한 해수 중에 용존되어있는 이온중 주요한 염소이온, 황산이온 등은 시멘트수화물과 반응이 쉽다. 해수 중의 황산염은 시멘트광물조성의 C₃A와 C₄AF의 수화물과 반응하여 에트링가이트계의 화합물을 만들며, 그 생성시의 팽창압에 의해 콘크리트의 내부조직이 파괴되어 열화를 일으키는 것으로 보고하고 있다.

한편 해양구조물은 축조 후 보수·보강 및 유지관리가 극히 곤란하므로 사전에 해양환경에 대한 철저한 검토를 통하여 각종 외적조건에 대하여 충분한 내구성을 갖게하는 것이 중요하다.

특히 3면이 바다로 이뤄진 우리나라의 경우 현재 서해안지역개발, 영종도 신공항건설 등 많은 해양구조물이 계획과 건설중에 있으므로 이러한 각종 해양환경이 콘크리트의 내구성에 미치는 영향을 연구할 필요성이 크게 대두되고 있다. 따라서 본 연구에서는 물·시멘트비, 강섬유혼입률에 따른 콘크리트를 제조하여 해수와 표준수에 장기침지시험과 건조와 습윤의 반복시험에 의한 방법으로 각 조건에 따라 압축강도와 길이변화, 동탄성계수를 측정하여 강섬유보강콘크리트의 내해수성에 관한 연구를 수행하였다.

2. 실험계획

2.1 사용재료

(1) 시멘트

시멘트는 국내 D사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 그 화학조성 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1 보통 포틀랜드 시멘트의 화학적 성분 및 물리적 성질

화학적 성분 (%)									
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Ig.loss	Total
21.25	6.17	3.07	63.18	2.47	2.08	0.04	0.68	1.61	100.0

물리적 성질								
비 중	비표면적 (cm ² /g)	88μ on Residue	Soundness	응결시간(min)		압축강도(kg/cm ²)		
				초결	종결	3 일	7 일	28 일
3.14	3,315	0.2	0.03	225	410	216	320	406

(2) 골재

잔골재는 금강상류에서 채취한 강모래, 굵은골재는 충남 H사에서 생산되는 최대치수 20mm의 부순돌을 사용하였으며, 잔골재와 굵은골재 물리적 성질은 표 2에 나타난 바와 같다.

표 2 골재의 물리적 성질

골재종류	최대치수 (mm)	F.M	비 중	흡수율 (%)	단위중량 (t/m ³)
잔골재	-	2.68	2.59	1.40	1.65
굵은골재	20	7.01	2.65	1.32	1.67

(3) 강섬유

사용 강섬유는 Belgium의 B사 제품의 $\phi 0.5 \times 30\text{mm}$ 의 양단Hook형 강섬유를 사용하였으며, 그 화학적 성분과 물리적 성질은 표 3에 나타낸 바와 같다.

표 3 강섬유의 화학적성분 및 물리적 성질

종 류	C	M _n	P	S	Tensile Strength(kg/mm ²)	Young's Modulus (kg/cm ²)
Hook형	0.08	0.35	0.035	0.035	약 110	2.1×10^6

(4) 혼화제

표준형 AE제로 Vinsol Resin 성분의 AEA 202를 사용하였고, 감수제로는 일본 K사 제품의 나프탈렌 설폰산염 고축합물계인 Mighty 150을 사용하였으며, 그 물리적 성질은 다음 표 4에 나타낸 바와 같다.

표 4 혼화제의 물리적 성질

Admixture	Appearance	Specific Gravity	pH	Solid Contents (%)
AEA 202	Brown Liquid	1.029	12.0	15.3
Mighty-150	Dark Brown Liquid	1.20	7~9	41~45

(5) 침지수

침지수로는 표준수와 ASTM D1141에 준하여 제조한 인공해수를 사용하였으며, 그 성분은 표 5에 나타낸 바와 같다.

표 5 인공해수의 성분

화학적 성분 (g/l)				
NaCl	MgCl ₂ ·6H ₂ O	Na ₂ SO ₄	CaCl ₂	KCl
24.530	11.110	4.090	1.160	0.695

2.2 콘크리트의 배합

본 연구의 콘크리트배합은 강섬유를 혼입하지 않은 콘크리트의 슬럼프를 12cm로 선정하였고, 공기량은 5.0%가 되도록 시험배합을 통하여 결정하였다.

강섬유보강콘크리트의 배합은 동일조건하에서 강섬유를 0.5, 1.0, 1.5% 혼입하여 각각 배합을 결정하였으며, 그 배합은 표 6에 나타낸 바와 같다.

믹싱은 강섬유의 랜덤 균등분산과 밀실한 콘크리트의 제조를 위하여 일본 C사 제품의 용량 30l의 섬유분산용 Omni-Mixer를 사용하였으며, 재료는 먼저 잔골재와 굵은골재의 전 비빔을 1분간 수행하며 강섬유를 투입한 후, 시멘트와 혼화제를 첨가한 혼합수를 투여하여 3분간 믹싱하는 방법을 사용하였다

표 6 강섬유보강콘크리트의 배합표

공시체 No.	W/C (%)	강섬유혼입률 (%)	Air (%)	S/a (%)	Unit Weight (kg/cm ³)					비 고				
					Water	Cement	Sand	Gravel	Steel Fiber		Adm.			
W40- 0	40	0	5.0	43	128	320	802	1088	0	1.6	표준수 침지			
W40-0.5		0.5				320	796	1080	39	1.6				
W40-1.0		1.0				320	790	1072	79	1.6				
W40-1.5		1.5				320	785	1065	118	1.6				
W60- 0	60	0			5.0	43	192	320	731	991		0	1.6	표준수 침지
W60-0.5		0.5						320	725	983		39	1.6	
W60-1.0		1.0						320	720	976		79	1.6	
W60-1.5		1.5						320	714	968		118	1.6	
S40- 0	40	0	5.0	43			128	320	802	1088	0	1.6	인공 해수 침지	
S40-0.5		0.5						320	796	1080	39	1.6		
S40-1.0		1.0						320	790	1072	79	1.6		
S40-1.5		1.5						320	785	1065	118	1.6		
S60- 0	60	0			5.0	43	192	320	731	991	0	1.6		인공 해수 침지
S60-0.5		0.5						320	725	983	39	1.6		
S60-1.0		1.0						320	720	976	79	1.6		
S60-1.5		1.5						320	714	968	118	1.6		

2.3 실험방법

1) 길이변화 및 동탄성계수의 측정방법

길이변화측정을 위해 $\phi 15 \times 30$ 의 공시체내에 3쌍의 동판 Brass insert를 각 공시체 내부에 매입 부착하고 휘트모어 스트레인 게이지를 사용하여 탈형 직후의 길이를 기준으로 변형을 측정하였으며, 동탄성계수를 측정하기 위하여 $7.6 \times 7.6 \times 35.5$ cm의 각주공시체를 제작하여 중량을 측정하고 초음파속도법에 따라서 각각의 동탄성계수를 측정하여 재령 1일을 기준으로 상대동탄성계수를 구하였다.

2) 압축강도 시험

압축강도시험은 KS F2405에 준하여 $\phi 15 \times 30$ 의 원주형공시체를 제조하여 측정하였으며 각 시험조건에 따라 소정의 재령에서 압축강도를 측정하였다.

3) 장기침지시험

공시체를 재령 1일후 탈형 후 표준수와 인공해수 중에 각각 일정 재령까지 침지하여 압축강도, 길이변화, 동탄성계수를 측정하였다.

또한 침지수는 그 성분이 변하는 것을 방지하기 위하여 표준수와 인공해수를 약 1개월마다 새로운 것으로 치환하였다.

4) 촉진시험

3일간의 표준수중양생을 거친 공시체에 대하여 표준수와 인공해수에 침지 24시간, 노건조(온도 $70 \sim 80^\circ\text{C}$) 24시간의 반복시험(2일 1사이클)을 하여 콘크리트의 열화가 촉진되도록 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 장기침지시험

1) 압축강도

재령 9개월까지 인공해수와 표준수에 침지하여 각 재령별로 측정한 압축강도의 결과는 다음 그림 1, 2에 나타낸 바와 같다. 이를 고찰하여 보면 물·시멘트비에 관계없이 해수침지의 경우는 표준수침지의 경우에 비하여 강도가 저하하는 경향을 보였으며 이는 물·시멘트비가 큰경우에 현저히 저하하는 것으로 나타났다. 특히 물·시멘트비 60%, 섬유를 혼입하지 않은 경우는 재령 6개월 이후 강도가 점차 저하하는 경향을 나타내고 있어 해수에 침지된 경우의 콘크리트는 장기재령의 압축강도에 불리한 것으로 판단된다.

또한 압축강도 증가율은 재령 9개월까지는 해수에 침지한경우는 표준수에 침지한 경우에 비하여 완만한 것으로 나타났다.

또한 강섬유의 혼입량이 0.5, 1.0, 1.5%로 증가함에 따라 침지수에 관계없이 압축강도는 증가하는 것으로 나타났으며, 이러한 현상은 높은 물·시멘트비와 해수침지의 경우에서 개선효과가 더욱 현저하게 나타났다. 물시멘트비 60%, 해수에 침지한 경우, 강섬유를 1.5% 혼입한 경우 재령 9개월에서 섬유를 혼입하지 않은 경우에 비하여 15%의 압축강도 증진효과를 나타내고 있어 해수의 영향을 받는 콘크리트 구조물에서 강섬유의 혼입은 콘크리트의 열화억제성능을 개선시키는 것으로 판단된다.

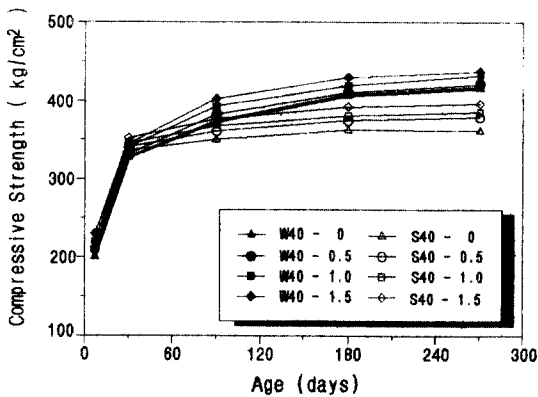


그림 1 장기침지시험에 의한 압축강도 (W/C=40%)

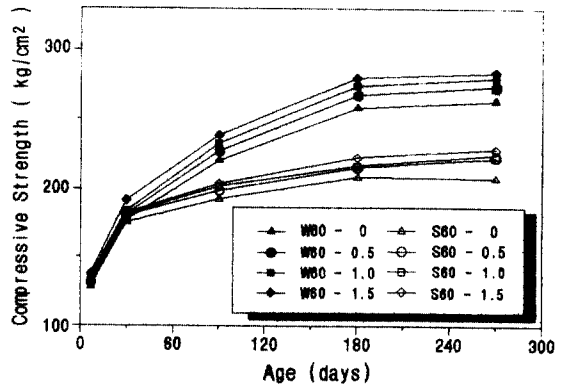


그림 2 장기침지시험에 의한 압축강도 (W/C=60%)

2) 길이변화 및 상대동탄성계수

표준수와 인공해수에 장기침지하여 길이변화와 상대동탄성계수를 측정한 결과는 다음 그림 3, 4에 나타낸 바와 같다. 이를 고찰하여보면 물·시멘트비 40%에서의 길이변화는 침지수의 종류에 관계없이 매우 작았으며, 물·시멘트비 60%에서는 인공해수에 침지시킨경우가 표준수에 침지한 경우에 비하여 약간 큰변화를 나타내었다. 또한 상대동탄성계수는 물·시멘트비와 강섬유의 혼입량에 관계없이 점차 증가하는 것으로 나타났으나, 해수침지의 경우 그 증가율은 다소 둔화되어 나타났다. 한편 강섬유혼입률이 증가함에 따라 길이변화는 감소하는 경향을 나타내었으나 그 효과는 크지 않았으며, 상대동탄성계수는 물·시멘트비 60%, 해수에 침지한 경우는 섬유혼입량이 증가함에 따라 약간 개선되었으나, 그 이외에서는 섬유를 혼입하지 않은 경우와 거의 같은 경향을 나타내었다.

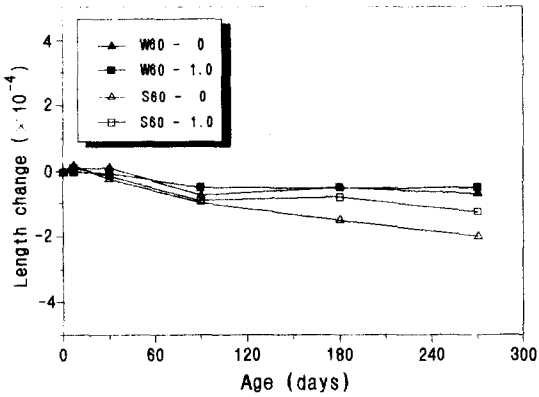


그림 3 장기침지시험에 의한 길이변화 (W/C=60%)

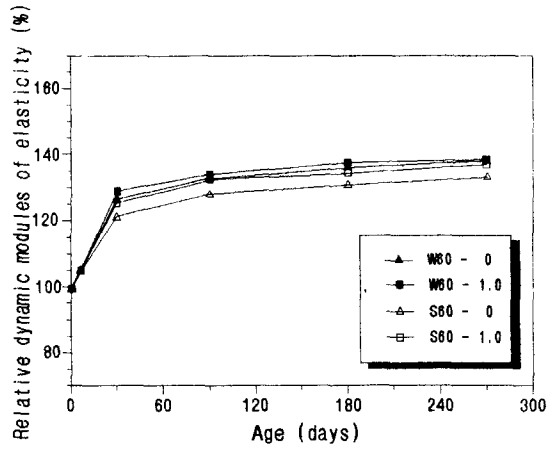


그림 4 장기침지시험에 의한 상대동탄성계수 (W/C=60%)

3.2 축진시험

1) 길이변화

건조와 습윤의 반복작용에 의해 축진시험결과 나타난 길이변화는 다음 그림 5, 6에 나타낸 바와 같다. 표준수에 침지시킨 경우의 길이변화는 다소 길이가 수축하는 경향을 보이나, 해수에 침지시킨 경우 점차 크게 증가하는 것으로 나타났다. 특히 물·시멘트비 40%, 재령 9개월에서 최대 35×10^4 까지 증가하는 것으로 나타나 장기침지의 경우 수축이 발생하는 것과는 다른경향을 보이고 있다. 이러한 현상은 인공해수중의 황산염과 시멘트 성분과의 화학반응에 의해 생성된 물질이 건조와 습윤의 반복작용에 의한 부피팽창을 일으키기 때문인 것으로 판단된다.

한편 강섬유의 혼입량이 증가함에 따라 표준수에 침지한 경우는 큰 영향을 보이지 않으나, 물·시멘트비 60%, 해수에 침지시킨 경우 섬유를 1.0% 혼입한 경우는 섬유를 혼입하지 않은 경우에 비하여 최대 50%의 길이변화 저감효과를 나타내었다. 이는 혼입된 강섬유와 매트릭스와의 부착력에 의해 부피팽창하려는 팽창력을 구속하기 때문인 것으로 판단된다.

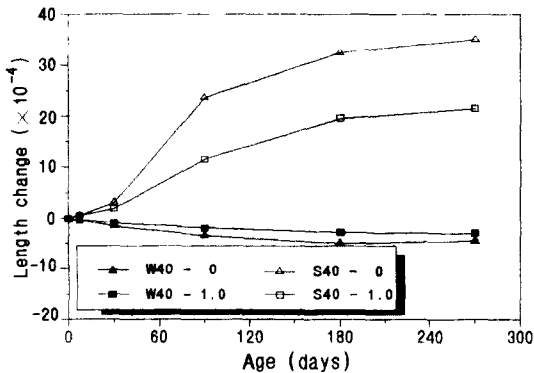


그림 5 축진시험에 의한 길이변화 (W/C=40%)

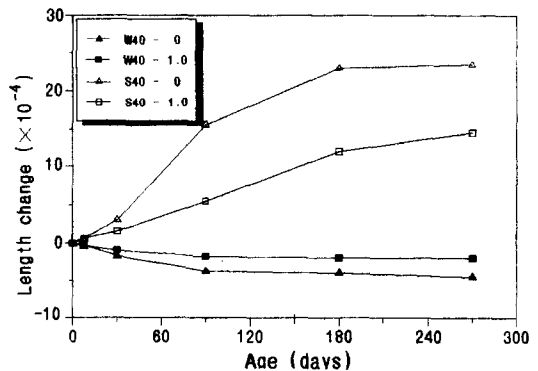


그림 6 축진시험에 의한 길이변화 (W/C=60%)

2) 상대동탄성계수

축진시험에 의한 재령 9개월까지의 상대동탄성계수에 관한 시험결과는 다음 그림 7, 8에 나타낸 바

와 같다. 이를 고찰하여보면 물·시멘트비에 관계없이 표준수에 침지한 경우는 상대동탄성계수가 장기침지한 경우에 비하여 다소 둔화되기는 하나 점차 증가하고 있는 반면, 해수에 침지한 경우는 콘크리트가 열화되어 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 현상은 물·시멘트비가 높은 경우에 더욱 현저하여 재령 9개월에서는 상대동탄성계수가 60%까지 저하하는 것으로 나타났다. 따라서 해양환경에 사용되는 콘크리트는 건설작용의 반복과 해수의 침지에 의하여 열화가 촉진되는 것으로 판단된다.

한편 강섬유혼입의 영향은 표준수에 침지한 경우에는 큰영향을 미치지 못하나 해수에 침지된경우는 섬유혼입량이 증가함에 따라 현저히 개선되는 것으로 나타났다. 특히 물·시멘트비가 60%인 경우 섬유를 혼입하지 않은 경우, 재령 9개월에서 상대동탄성계수가 60%인 반면, 섬유혼입률 1.0%에서 78% 나타나 약 30% 정도의 개선 효과를 나타내고 있어 해수와 접하며 건조와 습윤이 반복되는 조건의 콘크리트에 있어서 강섬유의 혼입은 내해수성을 증진하는 것으로 판단된다.

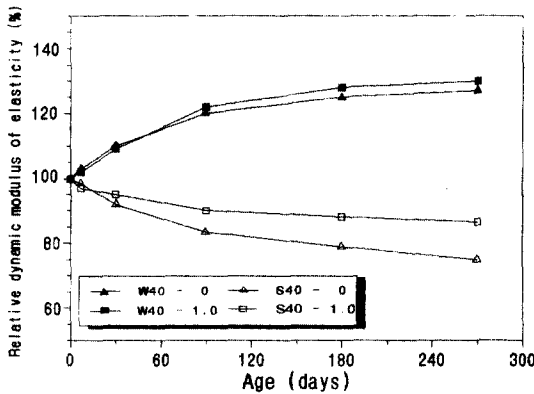


그림 7 촉진시험에 의한 상대동탄성계수 (W/C=40%)

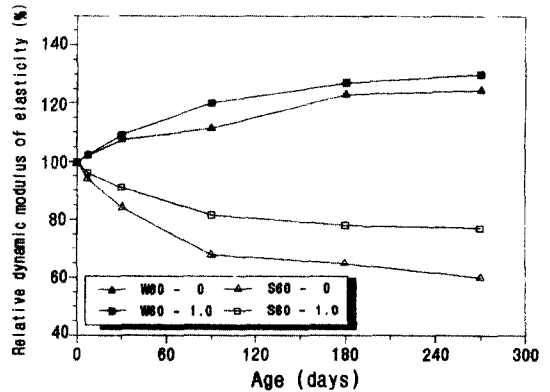


그림 8 촉진시험에 의한 상대동탄성계수 (W/C=60%)

4. 결 론

강섬유보강콘크리트의 강섬유의 혼입률과 물·시멘트비를 배합인자로 제작한 각 공시체를 인공해수와 표준수에 장기침지한 경우와 건조와 습윤의 반복시험을 통한 촉진시험에 의하여 압축강도와 길이변화, 상대동탄성계수에 관한 연구를 수행한 결과는 다음과 같다.

- 1) 장기침지시킨 경우의 압축강도는 물·시멘트비 40%에서는 침지수에 관계없이 증가하였으며, 압축강도 증가율은 표준수에 침지한 경우가 인공해수에 침지한 경우보다 높은 것으로 나타났다. 또한 강섬유 혼입영향은 물·시멘트비와 침지수에 관계없이 섬유혼입량이 증가함에 따라 압축강도가 증가하는 것으로 나타났다.
- 2) 장기침지시험에 의한 길이변화는 물·시멘트비 40%에서는 침지수의 종류에 따른 영향은 거의 없으나 물·시멘트비 60%, 인공해수에 침지시킨 경우에는 표준수에 침지시킨 경우에 비하여 길이변화는 약간 큰 것으로 나타났다. 또한 상대동탄성계수는 침지수에 관계없이 증가하나, 증가율은 해수에 침지한 경우의 증가율이 작은 것으로 나타났다. 한편 강섬유혼입률이 증가함에 따라 길이변화는 다소 감소하는 경향을 나타내었으며 상대동탄성계수는 인공해수에 침지한 경우에 큰 효과를 나타내었다.

- 3) 촉진시험에서 표준수에 침지시킨 경우의 상대동탄성계수는 재령 9개월까지 연속적으로 증가하였으며, 길이변화는 거의 나타나지 않았다. 또한 해수에 침지시킨 경우의 상대동탄성계수는 최대 60%까지 저하하였으며 길이는 점차 증가하는 것으로 나타났다. 한편 강섬유의 혼입량이 증가함에 따라 길이변화는 침지수 종류에 관계없이 감소하였고, 상대동탄성계수는 섬유를 혼입하지 않은 경우에 비하여 섬유혼입 1.0%인 경우에 상대동탄성계수가 약 30% 정도 개선되는 것으로 나타났다.
- 4) 이러한 결과를 종합하면 해수와 접한 콘크리트구조물은 건조와 습윤의 반복작용에 의해 열화현상이 더욱 가속화되는 것으로 판단되며, 낮은 물-시멘트비와 강섬유의 적절한 혼입은 콘크리트 내해수성 개선에 효과가 있는 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 西林新藏, 失村, 井上正一, 林昭富, "콘크리트의 耐海水性에 關する 研究", *セメント技術年報* 34, 1980 pp.299-302
2. 文翰英, 金成秀, 柳在順, "人工海洋에 浸漬한 모르타중의 鐵筋 腐蝕에 對한 研究", *한국콘크리트학회 학술발표회 논문집*, 제5권 1호, 1993
3. P. S. Mangat, B. T. Molloy, Gurusamy, "Marine durability of steel fiber reinforced concrete of high water/cement ratio", *Fiber reinforced cement and concretes*, 1989 pp. 553-562
4. 小林一輔: *耐海水 콘크리트 콘크리트·ジャーナル*, Vol. 11, No, 1973
5. 坂藤誠史, 大門正機: *エトリンガイト セメント·コンクリート*, No. 408, 1981