

플라이애쉬를 혼입한 강섬유보강콘크리트의 내해수성에 관한 실험적연구

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



박승범*

Park, Seung Bum



오광진**

Oh, Kwang Chin

요 약

본 연구에서는 보통의 일반콘크리트와 플라이애쉬를 혼입한 강섬유보강 콘크리트의 해수에 대한 저항성을 고찰하기 위하여 수행되었다. 콘크리트 배합 인자를 물·시멘트비, 강섬유혼입률, 플라이애쉬 혼입률 별로 각각 제조하였으며, 표준수(수도물)와 인공으로 제조한 해수에 장기간 침지한 경우와 건조와 습윤의 반복작용에 의한 촉진시험으로 시험을 수행하여 콘크리트의 성능저하에 미치는 영향을 비교·고찰하였다. 시험방법은 소정의 재령에 각각의 배합조건별로 압축강도와 재령 1일을 기준으로 길이변화와 동탄성계수를 측정하여 성능저하정도를 비교분석하였다. 그 결과 강섬유와 플라이애쉬의 적정량의 혼입은 콘크리트의 내해수성을 현저히 개선시키는 효과를 나타내었다.

Abstract

This paper describes an experimental study on the seawater resistance of steel fiber

* 정회원, 충남대 토목공학과 교수
** 정회원, 충남대 토목공학과 박사과정

• 본 논문에 대한 토의를 1997년 8월 30일까지 학회로 보내주
시면 1997년 10월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

reinforced concrete. The test methods adopted for this study are divided into long-term immersion test and acceleration test by wetting and drying. Tests were carried out to evaluate the procedures which were measured for nine months about reduction in dynamic modulus, length change and compressive strength. Resistance indicators are the water-cement ratio, the content of steel fiber, the content of fly ash, the immersion water (artificial seawater or freshwater) and the types of curing.

The seawater resistance of the appropriate additions of steel fiber and fly ash have apparently increased.

Keywords : seawater resistance, compressive strength, length change, dynamic modulus, steel fiber, fly ash

1. 서 론

최근 국내외적으로 건설구조물이 대형화, 다양화, 고기능화됨에 따라 건설재료도 새로운 차원의 수준을 요구하고 있다. 특히 건설재료의 대표적인 콘크리트는 압축강도는 양호하나 인장과 휨강도에 대한 저항이 작고 취성적이라는 본질적인 결함을 가지고 있어 이러한 결함을 개선하려는 목적으로 섬유보강 콘크리트에 대한 연구개발이 각광받고 있다.^{1)~5)} 그중 강섬유보강 콘크리트는 1963년 미국의 Romualdi와 Batson¹⁾이 그 연구결과를 발표한 이래 세계 각국에서 활발한 연구가 진행되었으며, 보통콘크리트에 비해 인장, 휨, 전단강도가 크고 균열에 대한 저항성이 우수하여 균열발생이후에도 인성이 현저히 개선되므로 미국, 일본 등의 선진국에서는 이미 1970년대 중반부터 다양하게 이용되어 왔다.^{6)~12)}

또한 현재 국내 화력발전소에서 부산되는 산업폐기물 플라이애쉬 및 석탄회는 매년 250만톤 정도가 발생되고 있고, 앞으로는 경제발전에 따라 더욱 증가할 것으로 예상되고 있으나 그 대부분이 막대한 예산을 들여 폐기되고 있는 실정으로 앞으로 해결해야 할 중대한 문제로 대두되고 있다. 이미 미국, 일본 및 유럽 선진국의 경우 1910년 중반이래 플라이애쉬가 우수한 시멘트 혼화재료로서의 실용화 및 활용연구가 진행되고 있으나,^{13)~18)} 우리나라의 경우 이에 대한 연구가 미진한 실정으로 에너지 절약차원의 이러한 산

업폐기물의 유효이용을 위한 용도개발이 시급한 실정이다.

한편 3면이 바다로 이루어진 우리 나라의 경우 현재 서해안 지역개발, 영종도 신공항건설등 많은 해양구조물이 계획과 건설중에 있으나 각종 해양환경조건, 즉 해수, 가혹한 기상, 조석에 의한 건습의 반복, 한랭지의 동결융해반복작용등이 콘크리트 성능저하에 미치는 영향을 연구할 필요성이 크게 대두되고 있다.^{19)~24)} 해양구조물은 축조후 보수·보강및 유지관리가 극히 곤란하므로 사전에 해양환경에 대한 철저한 검토를 통하여 각종 외적조건에 대하여 충분한 내구성을 갖게 하는것이 중요하다.

따라서 본 연구에서는 물·시멘트비, 강섬유혼입률, 플라이애쉬혼입률에 따른 콘크리트를 제조하여 표준수와 인공으로 제조한 해수중에 장기침지시험과 건조와 습윤의 반복시험에 의한 방법으로 각 조건에 따라 압축강도와 길이변화, 동탄성계수를 측정하여 플라이애쉬를 사용한 강섬유보강 콘크리트의 내해수성에 관한 연구를 수행하였다.

2. 실험계획

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

시멘트는 국내 T사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트

를 사용하였으며, 그 화학조성 및 물리적 성질은 Table 1과 같다.

Table 1 Properties of ordinary portland cement

Chemical Composition (%)									
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
Physical Properties									
Specific Gravity	Blaines (cm ² /g)	88 μ on Residue	Soundness	Setting Time(min)		Compressive Strength(kg/cm ²)			
				Initial	Final	7 day	28day		
3.14	3.315	0.2	0.03	225	410	320	406		

2.1.2 골재

잔골재는 금강상류에서 채취한 강모래, 굵은 골재는 충남 H사에서 생산되는 최대치수 20mm의 부순 돌을 사용하였으며, 잔골재와 굵은골재 물리적 성질은 Table 2에 나타낸 바와 같다.

Table 2 Physical properties of aggregates

Item	Max Size (mm)	F.M	Specific Gravity	Absorption (%)	Unit Weight (t/m ³)
Sand	-	2.68	2.59	1.40	1.65
Gravel	20	7.01	2.65	1.32	1.67

2.1.3 강섬유

사용 강섬유는 Belgium의 B사 제품의 $\phi 0.5 \times 30$ mm의 양단Hook형 강섬유를 사용하였으며, 그 화학적 성분과 물리적 성질은 Table 3에 나타낸 바와 같다.

Table 3 Properties of steel fiber

Type	C	Mn	P	S	Tensile Strength (kg/mm ²)	Young's Modulus (kg/cm ²)
Bundle Hooked Type	0.08	0.35	0.035	0.035	110	2.1×10^4

2.1.4 혼화제

표준형 AE제로 Vinsol Resin 성분의 AEA 202를 사용하였고, 감수제로는 일본 K사 제품의 나프탈

렌 실폰산염 고축합물계인 Mighty 150을 사용하였으며, 그 물리적 성질은 다음 Table 4에 나타낸 바와 같다.

Table 4 Physical properties of admixture

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

2.1.5 플라이애쉬

플라이애쉬는 보령 화력발전소에서 부산된 유연탄 플라이애쉬를 사용하였고, 그 화학적성질 및 물리적 성질은 Table 5와 같다.

Table 5 Properties of Fly ash

Chemical Composition (%)							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	SO ₃	Ig. loss
65.3	25.50	4.25	1.20	0.98	0.21	1.03	3.63
Physical Properties							
Specific Gravity		Blaine's (cm ² /g)		Particle Size(mm)			
2.1		3.124		$<4.2 \times 10^{-2}$			

2.1.6 침지수

침지수로는 표준수(수도물)와 ASTM D1141에 준하여 제조한 인공해수를 사용하였으며, 그 성분은 Table 6에 나타낸 바와 같다.

Table 6 Proportion of artificial seawater

Chemical Composition (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 실험개요

강섬유보강 콘크리트의 내해수성을 고찰하기 위한

본 연구에서의 배합은 다음 Table1에 나타난 바와 같다. 물·결합재비를 40, 60%로 하여 시험배합을 통해 워커빌리티가 양호한 배합을 결정하여 각 배합에 강섬유를 0, 0.5, 1.0% 혼입하였으며, 강섬유혼입률 1.0%에 fly ash를 시멘트 중량의 10, 20%로 혼입하여 fly ash의 영향을 고찰하기 위하여 배합을 선정하였다. 믹싱은 용량 30 l의 섬유분산용 믹서 Omni Mixer를 사용하여 제작하였으며, 재료의 투입순서는 굵은 골재, 잔골재를 혼합하고 일정한 속도로 믹서에 강섬유를 혼합한 다음 시멘트, 플라이애쉬와 물을 혼합하는 방법으로 하였다.

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 스트레인지지를 사용하여 재령 1일의 길이를 기준으로 변형을 측정하였으며, 동탄성계수를 측정하기 위하여 $7.6 \times 7.6 \times 35.5$ cm의 각주 공시체를 제작하여 중량을 측정하고 각각의 동탄성

계수를 측정하여 재령 1일을 기준으로 상대동탄성계수를 구하였다.

2) 압축강도 시험

압축강도 시험은 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 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 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 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 표준수와 인공해수에 침지 24시간, 노건조(온도 $70 \sim 80^\circ\text{C}$) 24시간의 반복시험(2일 1사이클)을 하여 콘크리트의 성능저하가 촉진되도록 하였다.

Table 7 Mix proportion of SFRC using fly ash

Specimen No.	W/B (%)	SF Content (%)	Air (%)	FA Content (%)	s/a (%)	Unit Weight (kg/cm ³)						Remark					
						Water	Cement	F. A	Sand	Gravel	Steel Fiber		Adm.				
W40-0	40	0	5.0	0	43	128	320	0	802	1088	0	1.6	Standard Water Immersion				
W40-0.5		0.5					320		796	1080	39	1.6					
W40-1.0		1.0					320		790	1072	79	1.6					
W60-0	60	0				5.0	0	43	192	320	0	731		991	0	1.6	Standard Water Immersion
W60-0.5		0.5								320		725		983	39	1.6	
W60-1.0		1.0								320		720		976	79	1.6	
S40-0	40	0	5.0	0	43	128	320	0	802	1088	0	1.6	Artificial Seawater Immersion				
S40-0.5		0.5					320		796	1080	39	1.6					
S40-1.0		1.0					320		790	1072	79	1.6					
S40-FA10		1.0		288		32	785	1065	79	1.6							
S40-FA20		1.0		256		64	780	1058	79	1.6							
S60-0	60	0	5.0	0	43	192	320	0	731	991	0	1.6		Artificial Seawater Immersion			
S60-0.5		0.5					320		725	983	39	1.6					
S60-1.0		1.0					320		720	976	79	1.6					
S60-FA10		1.0		288		32	714	968	79	1.6							
S60-FA20		1.0		256		64	709	961	79	1.6							

Table 8. Compressive strength for long-term immersion test

Specimen No.	Compressive Strength (kg/cm ²)		Specimen No.	Compressive Strength (kg/cm ²)	
	28d	270d		28d	270d
W40-0	324	415	W60-0	178	263
W40-0.5	332	422	W60-0.5	183	272
W40-1.0	339	433	W60-1.0	187	279
S40-0	328	407	S60-0	175	207
S40-0.5	315	393	S60-0.5	180	220
S40-1.0	336	358	S60-1.0	180	223
S40-10	339	377	S60-10	171	227
S40-20	345	384	S60-20	178	241

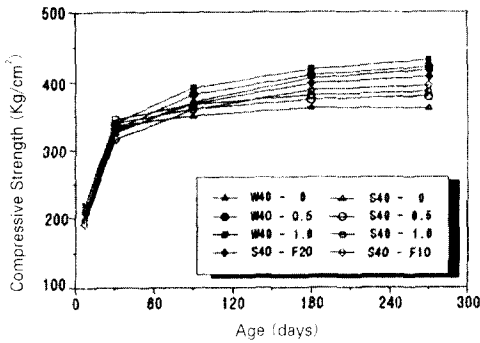


Fig. 1 Compressive Strength for long-term Immersion Test (W/C=40%)

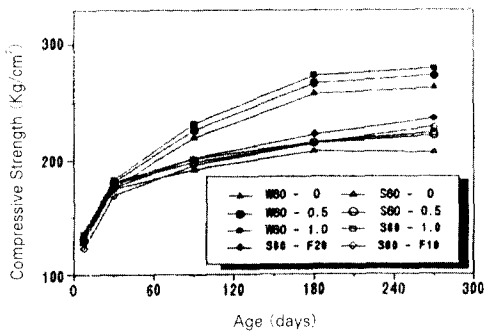


Fig. 2 Compressive Strength for long-term Immersion Test (W/C=60%)

3. 실험결과

3.1 장기침지시험

3.1.1 압축강도

재령 9개월까지 인공해수와 표준수에 침지하여 각 재령별로 측정된 압축강도의 결과는 Table 8 및 Fig. 1, 2, 3에 나타낸 바와 같다. 이를 고찰하여 보면 물·시멘트비에 관계없이 해수침지의 경우는 표준수침지의 경우에 비하여 강도가 저하하는 경향을 보였으며 이는 물·시멘트비가 큰 경우에 현저히 저하하는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 김²²⁾에 의한 실험결과와 비교적 잘 일치하였다. 특히 물·시멘트비 60%, 섬유를 혼입하지 않은 경우는 재령6개월 이후 강도가 점차 저하하는 경향을 나타내고 있어 인공해수중에 침지된 경우의 콘크리트는 장기재령의 압축강도에 불리한 것으로 판단된다. 또한 압축강도 증가율은 재령9개월까지는 인공해수중에 침지한 경우는 표준수에 침지한 경우에 비하여 완만한 것으로 나타났다.

한편 강섬유 혼입률 1.0%, 해수침지한 경우의 압축강도는 플라이애쉬 혼입량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었으며, 특히 물·시멘트비 60%, 강섬유혼입률 1%, FA 혼입률 20%인 경우는 재령 9개월에서 보통콘크리트에 비하여 약 17% 증가되는 것으로 나타났다.

또한 강섬유의 혼입량이 0.5, 1.0%로 증가함에 따라 침지수에 관계없이 압축강도는 증가하는 것으로

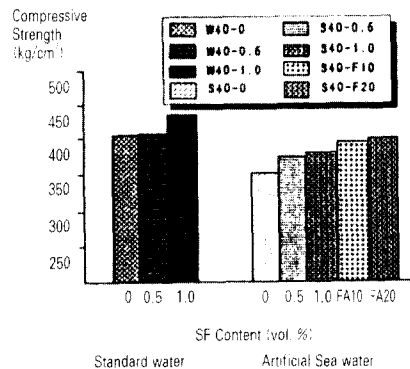


Fig. 3 Compressive Strength for Long-term Immersion Test (9month)

나타났으며, 이러한 현상은 높은 물·시멘트비와 해수침지의 경우에서 개선효과가 더욱 현저하게 나타났다. 물시멘트 60%, 해수에 침지한 경우, 강섬유를 1.0% 혼입한 경우 재령9개월에서 섬유를 혼입하지 않은 경우에 비하여 11%의 압축강도 증진효과를 나타내고 있어 해수의 영향을 받는 콘크리트 구조물에서 강섬유의 혼입은 콘크리트의 성능저하현상을 다소 개선시키는 것으로 판단된다.

3.1.2 길이변화 및 상대동탄성계수

표준수와 인공해수에 장기침지하여 길이변화와 상대동탄성계수를 측정 한 결과는 Table 9 및 Fig. 4, 5에 나타낸바와 같다. 이를 고찰하여 보면 물·시멘트비 40%에서의 길이변화는 침지수의 종류에 관계없이 매우 작았으며, 물·시멘트비 60%에서는 인공해수에 침지시킨경우가 표준수에 침지한 경우에 비하여 약간 큰 변화를 보였으며, 이러한 경향은 S. Nishibayashi¹⁹⁾에 의한 연구결과와 비교적 일치하는 것으로 나타났다. 또한 상대동탄성계수는 물·시멘트비와 강섬유의 혼입량에 관계없이 점차 증가하는 것으로 나타났으나, 해수침지의 경우 그 증가율은 다소 둔화되어 나타났다. 한편 플라이애쉬 혼입률에 의한 영향은 FA의 혼입량에 증가함에 따라 길이변화를 다소 억제하는 경향을 보였으며, 상대동탄성계수에는 거의 영향이 없는 것으로 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.

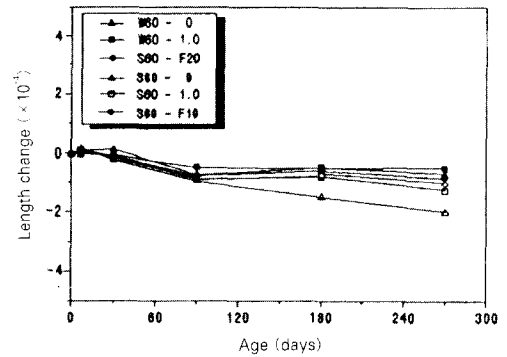


Fig. 4 Length Change for long-term Immersion Test (W/C=60%)

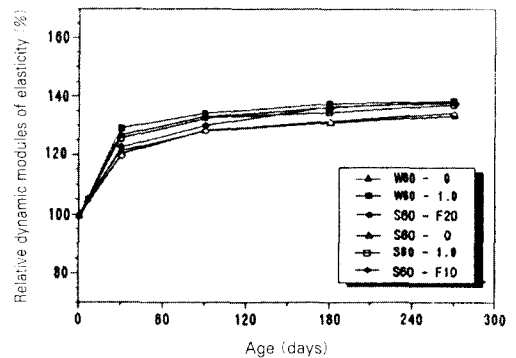


Fig. 5 Relative Dynamic Modulus of Elasticity of (W/C=60%) Long-term Immersion Test

Table 9 Length change and relative dynamic of elasticity for long-term immersion test

Specimen No.	Final values(270 days)		Specimen No.	Final values(270 days)	
	Length change ($\times 10^{-4}$)	Relative dynamic modulus of elasticity(%)		Length change ($\times 10^{-4}$)	Relative dynamic modulus of elasticity(%)
W40-0	-0.5	143	W40-0	-0.7	138
W40-1.0	-0.4	141	W40-1.0	-0.4	138
S40-0	-1.5	137	S40-0	-2.0	133
S40-1.0	-1.0	138	S40-1.0	-1.3	136
S40-10	-0.8	138	S40-10	-1.1	134
S40-20	-0.7	140	S40-20	-0.8	137

Table 10 Length change and relative dynamic modulus of elasticity for wetting and drying (Accelerated test)s

Specimen No.	Final values(135 Cycle)		Specimen No.	Final values(135 Cycle)	
	Length change ($\times 10^{-4}$)	Relative dynamic modulus of elasticity(%)		Length change ($\times 10^{-4}$)	Relative dynamic modulus of elasticity(%)
W40-0	-0.4	127	W40-0	-4.7	125
W40-1.0	-2.6	130	W40-1.0	-2.0	129
S40-0	35.2	76	S40-0	-23.0	60
S40-1.0	22.1	87	S40-1.0	14.0	78
S40-10	18.0	89	S40-10	12.4	81
S40-20	15.0	92	S40-20	10.3	85

W60시리즈에서 상대동탄성계수의 증가가 보였으나 그외의 콘크리트의 상대동탄성계수는 전부 기준치보다 작았다. 한편 길이변화는 S60-0에서 가장 크며, 약 35×10^{-4} 으로 나타났다.

3.2.1 길이변화

건조와 습윤의 반복작용에 의해 축진시험 결과 나타난 길이변화는 다음 Fig. 6, 7에 나타낸 바와 같다. 표준수에 침지한 경우의 길이변화는 다소 길이가 수축하는 경향을 보이나, 해수에 침지시킨 경우 점차 크게 증가하는 것으로 나타났다. 특히 물·시멘트비 40%, 재령9개월에서 최대 35×10^{-4} 까지 증가하는 것으로 나타나 장기침지의 경우 수축이 발생하는 것과는 다른경향을 보이고 있다. 이러한 현상은 인공해수 중의 황산염과 시멘트 성분과의 화학반응에 의해 생성된 물질이 건조와 습윤의 반복작용에 의하여 길이 팽창이 촉진되기 때문인 것으로 판단된다. 또한 플라이애쉬의 첨가량이 증가함에 따라 길이변화는 크게 억제되는 경향을 나타내었다. 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 30%로 길이변화의 저감효과를 나타내었다. 이는 혼입된 강섬유와 매트릭스와의 부착력에 의해 매트릭스의 팽창력을 구속하기 때문인 것으로 판단된다.

3.2.2 상대동탄성계수

축진시험에 의한 재령 9개월까지의 상대동탄성계수에 관한 시험결과는 다음 Fig. 8, 9에 나타낸바와 같다. 이를 고찰하여 보면 물·시멘트비에 관계없이

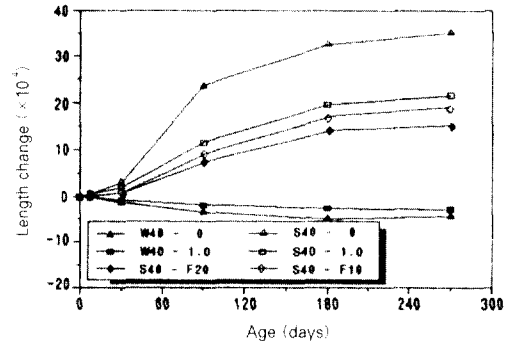


Fig. 6 Length Change for Wetting-Drying Test (W/C=40%)

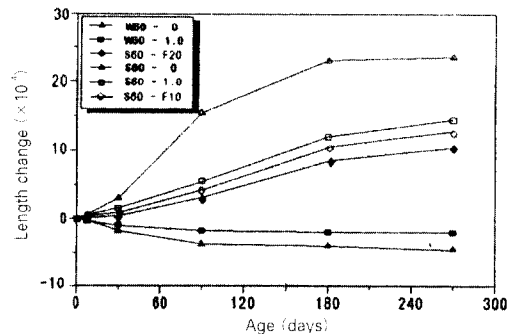


Fig. 7 Length Change for Wetting-Drying Test (W/C=60%)

표준수에 침지한 경우는 상대동탄성계수가 장기침지한 경우에 비하면 다소 둔화되기는 하나 점차 증가하고 있는 반면, 해수에 침지한 경우는 콘크리트가 열화되어 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 현상은 물·시멘트비가 높은 경우에 더욱 현저하여 재령9개월에서는 상대동탄성계수가 60%까지 저하하는 것으로 나타났다. 따라서 해양환경에 사용되는

콘크리트는 건설작용의 반복과 해수의 침지에 의하여 성능저하가 촉진되는 것으로 판단된다. 또한 플라이애쉬 혼입률이 증가함에 따라 상대동탄성계수는 크게 개선되는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 해수에 황산염이 콘크리트 내부로 침투되어 C₃A 및 시멘트 수화물과 반응하여 에트리נג아이트를 생성하며 이때 체적이 팽창하려는 것을 플라이애쉬가 Ca(OH)₂를 포졸란반응에 의해 감소시킴과 동시에 조직을 치밀하게 만들기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 경향은 정²³⁾ 등에 의한 시험결과와 비교적 잘 일치한다. 한편 강섬유혼입의 영향은 표준수에 침지한 경우에는 큰 영향을 미치지 못하나 해수에 침지된 경우는 섬유혼입률이 증가함에 따라 현저히 개선되는 것으로 나타났다. 특히 물·시멘트비가 60%인 경우 섬유를 혼입하지 않은 경우에 상대동탄성계수가 60%인 반면, 섬유혼입률 1.0%에서 78%로 나타나 약 30% 정도의 개선 효과를 나타내고 있어 해수와 접하며 건조와 습윤이 반복되는 조건의 콘크리트에 있어서 강섬유의 혼입은 내해수성을 크게 증진하는 것으로 판단된다.

4. 결 론

플라이애쉬를 혼입한 강섬유보강 콘크리트의 강섬유의 혼입률과 물·시멘트비, 플라이애쉬 혼입률을 배합인자로 제작한 각공시체를 인공해수와 표준수에 장기침지한 경우와 건조와 습윤의 반복시험을 통한 촉진시험에 의한 압축강도와 길이변화, 상대동탄성계수에 관한 연구를 수행한 결과는 다음과 같다.

1) 장기침지시험에서 압축강도는 재령이 경과함에 따라, 또한 플라이애쉬와 강섬유 혼입률이 증가함에 따라 물·시멘트비와 침지수에 관계없이 압축강도는 점차 증대되었다.

2) 장기침지시험에서는 침지수에 관계없이 강섬유와 플라이애쉬 혼입률이 증가함에 따라 보통콘크리트에 비하여 길이변화는 약간 감소하였으며, 상대동탄성계수는 다소 개선되었다.

3) 건조와 습윤의 반복작용에 의한 촉진시험에서 해수에 침지한 보통콘크리트의 경우 상대동탄성계수는 재령이 경과함에 따라 현저히 저하하였으며, 길이는 현저히 증가하는 것으로 나타났으나, SFRC의 경우 강섬유와 플라이애쉬의 혼입률이 증가함에 따라

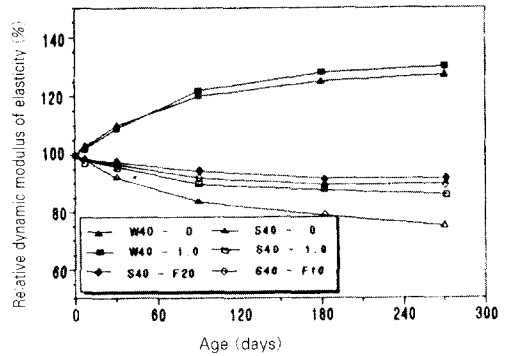


Fig. 8 Relative Dynamic Modulus of Elasticity of (W/C=40%) Wetting-Drying Test

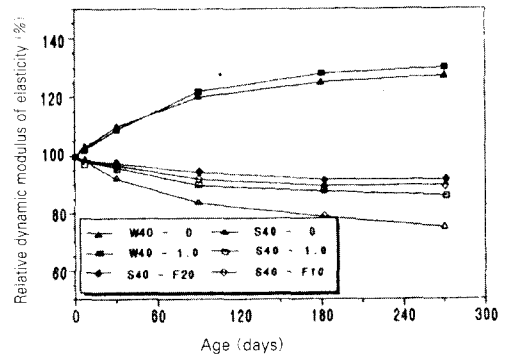


Fig. 9 Relative Dynamic Modulus of Elasticity of (W/C=60%) Long-term Immersion Test

길이변화는 침지수 종류에 관계없이 현저히 감소하였고, 상대동탄성계수는 특히 인공해수침지의 경우 현저한 개선효과를 나타내었다.

4) 이러한 결과를 종합하면 해수와 접한 콘크리트 구조물은 건조와 습윤의 반복작용에 의해 콘크리트의 성능저하현상이 더욱 가속화되는 것으로 판단되며, 낮은 물·시멘트비와 강섬유와 플라이애쉬의 적절한 혼입으로 콘크리트의 내해수성을 현저히 개선할 수 있는 것으로 판단된다.

감사의 말

본 연구는 1994년도 한국학술진흥재단 및 일본 문부성의 대학간 국제협력연구지원에 의한 연구내용중 일부임을 밝히며, 동재단과 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. Romualdi, J.P., Batson, G.B., "Mechanics of Crack Arrest in Concrete", Proc. of ASCE, Vol.89, No.EM 3, 1963 pp. 147-168.
2. Majumdar, A.J., Ryder, J.F., "Reinforcement of Cements and Gypsum Plaster by Glass Fibre", Science of Ceramics, Vol.5, 1970 pp.539-564.
3. Ali, M.A., Majumdar, A.J., and Rayment, D.L., "Carbon Fiber Reinforced Cement", Cement and Concrete Research, Vol.2, 1972 pp.201-212.
4. Dardare, J., "Contribution to the Study of the Mechanical Behavior of Concrete Reinforced with Polypropylene Fibre", Fiber Reinforced Cement and Concrete, RILEM Symposium, Vol.1, 1975 pp.259-267.
5. 秋浜, 末永, 山口, 中川, "アラミド纖維補強セメント複合體の力學的性質", 第8回コンクリート工學年次講演會, 1986
6. Shah, S. P., Rangan, B.V., "Fiber Reinforced Concrete Properties", Proc. of ACI, Vol.68, No.2, 1971 pp.126-135.
7. Romualdi, J.P., Mandel, J.A., "Tensile Strength of Concrete Affected by Uniformly Distributed and Closely Spaced Short Lengths of Wire Reinforcement", J. of ACI, Vol.61, No.6, 1964 pp.657-672.
8. Chen, W.F., Carson, J.L., "Stress Strain Properties of Random Wire Reinforced Concrete", J. of ACI, Vol.68, 1971 pp.933-936.
9. Swamy, R.N., Mangant, P.S., "A Theory for the Flexural Strength of Steel Fibre Reinforced Concrete", Cement and Concrete Research, Vol.4, 1974
10. Naaman, A.E., Shah, S.P., "Bond Studies on Oriented and Aligned Steel Fibres", Fiber Reinforced Cement and Concrete, RILEM Symposium, Construction Press Ltd., London, 1975 pp.171-178.
11. 小林 輔 外, "短い鋼纖維によるコンクリートの強化機構", 生産研究, Vol.28, No.7, 1976
12. 박승범, 조영찬, "강섬유보강 플라이애쉬?플라이에스터수지 복합체의 역학적 특성", 한국콘크리트학회지 제5권 4호, 1993.12 pp.156-166.
13. 박승범, "섬유보강 플라이애쉬·석회·석고복합체의 역학적특성에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회지 제 5권 4호, 1993. pp.145-155.
14. 박승범, 윤의식, "실리카흄 및 플라이애쉬·시멘트복합체의 역학적특성에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회지, VOL.6 NO.5, 1994. pp.158-170.
15. Lane, R. O., and Best, J. F., 1982, "Properties and Use of Fly Ash in Portland Cement Concrete," Concrete International Design Construction, V. 4, No. 7, Tuly, pp. 81-92
16. Majko, Richard M., and Pistilli, Michael F., 1984, "Optimizing the amount of Class C Fly Ash in Concrete Mixtures," Cement, Concrete, and Aggregates, V. 6, No. 2, Winter, pp. 105-119
17. Richard Holmwith, "Fly Ash in Cement and Concrete", Portland Cement Association, Illinois, 1983 pp. 203.
18. Davis, R.E., "Properties of Cement Paste and Concrete Containing Fly Ash" J. of ACI, Vol.33, No.5, 1937
19. Shinozo Nishibayashi, Kiyoshi Yamura, Shoichi Inoue, "Durability of Concrete in Seawater : Method of Accelerated Testing and Evaluation", SP-65, 1980 pp.351~378.
20. 文翰英, 金成秀, 柳在順, "人工海洋에 浸漬한 모르타중의 鐵筋 腐蝕에 대한 研究", 한국콘크리트학회 학술발표회논문집, 제5권 1호, 1993
21. P. S. Mangant, B. T. Molloy, Gurusamy, "Marine Durabilty of Steel Fiber Reinforced Concrete of High Water/cement Ratio", Fiber Reinforced Cement and Concretes, 1989 pp. 553-562.
22. 김성수, "해양환경하에 방치한 콘크리트의 열화및 철근의 부식, 방식에 관한 연구", 박사학위논문, 1994
23. 정용, 김원기, 정재동, 한기성, 최상훈, "해양환경하 콘크리트경화체의 동결융해 저항성에 관한 연구", 한국콘크리트학회지 제4권 3호, 1992 pp. 157-166.