

해수 환경하 콘크리트 경화체의 동결융해 저항성에 관한 연구

A Study on the Freezing and Thawing Resistance of Hardened Concrete under Sea Water Environment

정	용*	김	원	기*	정	재	동**
Jeong,	Yong	Kim,	Won	Ki	Jaung,	Jae	Dong
한	기	성***	최	상	홍****		
Han,	Ki	Sung	Choi,	Sang	Heul		

요 약

해수환경하의 콘크리트 구조물은 동결융해의 반복에 의한 물리적인 침식과 해수중에 용존하는 각종의 이온들의 침투로 인한 화학적 침식에 의해 현저한 성능저하현상을 나타내는 것으로 알려져 있다. 본 연구는 포졸란계 혼합재인 플라이 애쉬, 슬래그, 실리카 흙과 폴리머계 혼합재인 Ethylene Vinyl Acetate(EVA), Styrene-Butadiene Rubber(SBR)를 사용하여 제조한 콘크리트 경화체의 해수환경하에서 동결융해 저항성에 미치는 혼합재의 종류 및 첨가량의 영향, W/C의 영향을 비교 검토한 실험적 연구이다.

콘크리트의 동결융해 저항성을 위해서는 공기연행이 필수적이며, 공기 연행시킨 경우 W/C가 낮을수록 동결융해 저항성이 우수하였다. 해수중에서의 동결융해 저항성은 슬래그분말을 첨가할 때 우수하였으며, 폴리머계 혼합재에서는 EVA가 우수한 결과를 나타내었다.

Abstract

It is well-known that the concrete structures under sea water environment show remarkably degrading phenomena physically by repeatable freezing and thawing action and chemically by penetration of soluted ions in sea water.

* 성희원, 동양중앙연구소 주임연구원
 ** 정희원, 동. 2차제품연구실장, 공박
 *** 성희원, 인하대학교 무기재료공학과 교수
 **** 성희원, 한양대학교 무기재료공학과 교수

This study investigated the influences of type of blending materials, their dosage and W/C ratio on freezing and thawing resistances of the hardened concrete using fly ash, ground blast furnace slag, silica fume, EVA and SBR under sea water environment.

To improve the freezing and thawing resistance of the hardened concrete, air-entraining is a necessary condition. The hardened concrete added with air-entraining agent had good freezing and thawing durability with lower water/cement ratio. The hardened concrete with slag as blending material and EVA as polymer additive, showed excellent freezing and thawing durability under sea water condition

Keywords : concrete, durability, freezing and thawing, air-entraining agent, fly ash, slag, silica fume, EVA, SBR, sea water.

1. 서 론

콘크리트 경화체가 동결융해의 반복작용을 받는 경우 경화체 내부에 존재하는 수분의 동결에 의한 팽창압이 발생하여 조직의 파괴가 시작되며, 이러한 내구성능의 저하는 적당한 공기연행제를 첨가하여 미세한 연행 기포로 수분의 동결에 의한 팽창압을 완화시켜 억제할 수 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 Mg^{2+} , Cl^- , $(SO_4)^{2-}$, Na^+ , K^+ 등의 이온이 존재하는 해수환경하에서는 이러한 용존 이온들이 콘크리트 경화체 내부로 침투하여 C_3A 및 시멘트 수화물과 반응하여 최종적으로 ettringite 가 생성되는 반응과정을 통하여 팽창을 일으키므로 경화체의 성능을 저하시키는 동시에 철근 콘크리트 구조물에서는 철근의 부동태를 파괴, 철근 부식에 의한 팽창을 유발시켜 구조물의 수명에 큰 영향을 끼친다고 알려져 있다.^(1,2,3)

따라서 해수 환경하의 시멘트 콘크리트 경화체의 동결 융해 저항성을 향상시키기 위해서는 공기 연행 이외에도 해수중 용존이온들의 침투를 억제하거나, 침투한 용존 이온과 시멘트수화물 사이의 반응을 억제시켜야 한다^(4,5). 이러한 방법의 하나로써 시멘트 수화시 생성되는 $Ca(OH)_2$ 를 플라이 애쉬, 슬래그, 실리카 흙등의 혼합재를 첨가하여 포졸란 반응에 의해 감소시키거나, 폴리머계 혼합재를 첨가하여 폴리머-시멘트 페이스트 co-matrix 내에 고립시켜 반응을 차단시키는 방법이 생각되고 있다^(6,7,8).

본 연구에서는 포졸란계 혼합재로서 플라이

애쉬, 슬래그, 실리카 흙과 폴리머계 혼합재로서 Ethylene Vinyl Acetate(이하 EVA라 함), Styrene-Butadiene Rubber(이하 SBR이라 함)를 사용하여 제조한 시멘트 콘크리트 경화체의 해수 환경하에서 동결 융해 저항성에 미치는 혼합재의 종류 및 첨가량의 영향, W/C 등의 영향을 밝힘을 그 목적으로 한다.

2. 실험계획

2.1 실험 재료

본 연구에서 사용한 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트로 시멘트의 화학적 성분과 물리적 성질을 Table 1과 Table 2에 나타냈다.

포졸란계 혼합재로는 플라이 애쉬, 슬래그 분말, 실리카 흙으로 플라이 애쉬(이하 FA라 함)는 강릉 영동 화력산, 슬래그(이하 BF라 함)는 포항 제철의 고로 수쇄 슬래그를 실험실에서 Blaine 비표면적 $5,000cm^2/g$ 까지 분쇄한 분말, 실리카 흙은 Elkem micro silica Co.의 bulk type 실리카 흙(이하 SF라 함)이었다. 사용한 혼합재의 화학적 성분은 Table 3, 비중과 비표면적은 Table 4에 나타냈다. 또한 폴리머계 혼합재인 EVA와 SBR의 비중과 고형분을 Table 5에 나타냈다.

본 연구의 골재는 조골재로 최대 크기 25mm 이하의 석회석계 채석(삼척 채석, 비중 2.78, 흡수율 0.3%), 세골재로 하천사(오십천사, 비중 2.61, 흡수율 1.2%, FM 2.9)를 사용하였다. 모든

Table 1. Chemical composition of Portland cement(%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	F.L	Ig.los
20.78	5.77	3.28	62.98	3.42	2.26	1.05	0.05	1.09	0.81

Table 2. Physical properties of Portland cement

specific surface area (Blaine app.)(cm ² /g)	setting time(hr : min)		autoclave soundness(%)	compressive strength(kgf/cm ²)		
	initial	final		3 days	7 days	28 days
3.105	3 : 02	5 : 21	0.33	158	231	331

Table 3. Chemical compositions of additives(%)

additive	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Ig.los
silica fume	93.48	0.01	2.89	0.51	1.08	-	0.96	0.35	2.15
fly ash	55.94	27.97	7.73	-	0.82	0.19	2.58	0.70	4.07
slag	34.54	13.74	0.41	43.04	6.75	-	0.05	0.10	0.68

Table 4. Specific gravity and surface area of additives.

additive	silica fume	fly ash	slag
specific gravity	2.24	2.27	2.93
surface area(cm ² /g)	180,200*	2206*	4922*

* result of BET surface area analyzer.

** results of Blaine air permeability apparatus.

Table 5. Specific gravity and solid content of polymer dispersions.

polymer dispersion	EVA	SBR
specific gravity	1.06	1.02
solid content(%)	55.0	50.0

골재는 실험전에 세척하여 점토분과 석분을 제거하였고 채가름후 표면 건조 포화 상태로 사용하였다. 사용한 화학 혼화제는 감수제(이하 WR이라 함), 공기연행제(이하 AEA라 함), 고성능 감수제(이하 HRWR이라 함), 소포제(이하 AFA라 함)로 목표 슬럼프와 공기량을 얻기 위하여 첨가량을 조정하여 사용하였다.

2.2 콘크리트의 배합

본 연구의 콘크리트 배합은 목표 슬럼프 8cm, 공기량 4%의 공기연행 콘크리트로서 보통강도콘크리트(단위결합재량 310Kg/m³)와 고강도 콘크리트(단위결합재량 385Kg/m³)의 2가지 배합 조건을 설정하였다. 배합결과는 Table 6과 Table 7에 나타내었다.

2.3 공시체 제작 및 양생방법

동결 용해 실험용 공시체는 100mm×100mm×400mm의 직육면체 몰드를 각 배치당 2개씩 제작하여 담수중과 인공 해수중에서 각각 동결용해 실험을 실시하였다. 압축강도 시험용 공시체는 100mm×200mm의 실린더몰드를 각 배치당 6개씩 제작하였다. 또한 미세 구조 관찰(SEM)을 위한 모르터 시편은 콘크리트에서 #4체로 wet sieving하여 얻은 모르터로 50×50×50mm의 몰드로 제작하였다.

콘크리트 및 모르터 공시체는 24시간후 탈형하였으며, 기준 시편과 혼합재 첨가 시편은 27일간 표준수중양생, Polymer 첨가 시편은 20일 수중양생후 폴리머 필름의 형성을 촉진하기 위하여 60℃ 오븐에서 7일간 건조양생시켰다.

2.4 실험 및 측정방법

동결용해실험은 KS F 2456의 시험방법 A에 준한 수중동결 수중용해법으로 실시하였으며, 동결용해 저항성의 측정을 위하여 매 30사이클마다 꺼내어 담수와 해수중의 무게 변화, 길이변화 및 공명진동식 동탄성계수측정기를 이용하여 동탄성 계수를 측정하였다. 또한 해수환경 시험을위하여 ASTM D 1141에 준한 인공해수를 사용하였다.

재령 7일, 28일에서 각 3개씩 실린더형 시편의

Table 6. Properties of fresh concrete with normal strength

	Cement	Additive(kg/m ³)			W/C	S/A	Admixture Dosage(%)			Slump	Air
	(kg/m ³)	SF	FA	BF	(%)	(%)	WR	HRWR	AEA	(cm)	(%)
1	310	-	-	-	69	52	-	-	-	8.0	1.5
2	310	-	-	-	60.3	51	0.4	-	0.023	6.0	4.3
3	279	-	31	-	60.3	51	0.4	-	0.023	8.0	4.2
4	248	-	62	-	60.3	51	0.4	-	0.025	12.0	4.0
5	248	-	-	62	60.3	51	0.4	-	0.025	9.0	4.8
6	186	-	-	124	60.3	51	0.4	-	0.023	8.0	4.4
7	124	-	-	186	60.3	51	0.4	-	0.025	8.0	3.8
8	294.5	15.5	-	-	60.3	51	0.4	-	0.025	4.5	3.8
9	279	31	-	-	60.3	51	0.4	0.5	0.028	3.0	3.0
10	248	62	-	-	60.3	51	0.4	2.0	0.05	8.5	2.8
11	217	93	-	-	60.3	51	0.4	3.0	0.08	5.0	2.6
	Cement	Additive(kg/m ³)		W/C	S/A	Admixture Dosage(%)			Slump	Air	
	(kg/m ³)	EVA	SBR	(%)	(%)	WR	HRWR	AEA	(cm)	(%)	
12	310	*15.5	-	55.3	51	0.4	-	0.15**	12.0	3.0	
13	310	*31.0	-	50.3	51	0.4	-	0.15**	4.5	4.0	
14	310	-	*15.5	55.3	51	0.4	3.0	0.030	1.0	3.0	
15	310	-	*31.0	55.3	51	0.4	3.0	0.060	15.0	4.1	

Table 7. Properties of fresh concrete with high strength

	Cement	Additive(kg/m ³)			W/C	S/A	Admixture Dosage(%)			Slump	Air
	(kg/m ³)	SF	FA	BF	(%)	(%)	WR	HRWR	AEA	(cm)	(%)
1	385	-	-	-	48.8	48	-	-	-	8.0	1.4
2	385	-	-	-	43.0	46	0.4	-	0.025	6.5	3.8
3	346.5	-	38.5	-	43.0	46	0.4	-	0.029	12.0	4.5
4	308	-	77	-	43.0	46	0.3	-	0.030	7.0	4.5
5	308	-	-	77	43.0	46	0.4	-	0.025	7.0	4.2
6	231	-	-	154	43.0	46	0.4	0.4	0.050	8.0	3.5
7	154	-	-	231	43.0	46	0.4	1.0	0.104	8.5	3.0
8	346.5	38.5	-	-	43.0	46	0.4	1.0	0.035	11.0	2.9
9	308	77	-	-	43.0	46	0.4	2.0	0.080	8.0	2.8
	Cement	Additive(kg/m ³)		W/C	S/A	Admixture Dosage(%)			Slump	Air	
	(kg/m ³)	EVA	SBR	(%)	(%)	WR	HRWR	AEA	(cm)	(%)	
10	385	*19.25	-	43.0	46	0.4	-	0.10**	12.0	3.8	
11	385	*38.5	-	43.0	46	0.4	-	0.12**	20.0	3.5	
12	385	-	*19.25	43.0	46	0.4	0.5	0.040	3.0	4.0	
13	385	-	*38.5	43.0	46	0.4	2.5	0.080	-***	3.7	

* weight of total solid content in polymer emulsions

** dosage of anti-foaming agent(silicon oil)

*** impossible to measure slump for stiffness

압축 강도와 정탄성 계수를 측정하였다. 모르터 시편은 재령 28일에서 파괴하여 동결 건조후 미세 구조 관찰(SEM)을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 굳지 않은 콘크리트의 배합 결과

실리카 흙 사용시에는 실리카 흙의 비표면적이

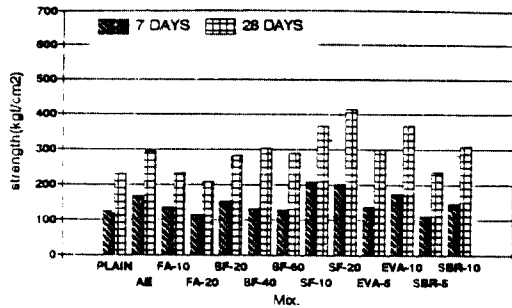
매우 커서 작업성의 확보를 위하여 고성능 감수제의 사용이 필수적이었으며 공기량도 낮았다. 이것은 공기 연행제가 실리카 흙의 미립자에 흡착되기 때문으로 생각되며 이 결과는 동결 융해 저항성에 영향을 미칠 것으로 예상되었다.

EVA 첨가 콘크리트의 경우 EVA 입자의 유화제로 첨가된 계면활성제에 의해 공기량이 과다하게 발현되는 현상이 관찰되어 소포제를 적당량 첨가하여 공기량을 조정하였다. SBR 첨가 콘크리트는 thixotropy를 나타내어 믹서에서 배출후 정지시에는 매우 딱딱한 성질을 보이므로 믹싱 과정에서 예상했던 슬럼프보다 낮은 경향을 나타내었으며 심한 경우 no slump 현상을 보였다.

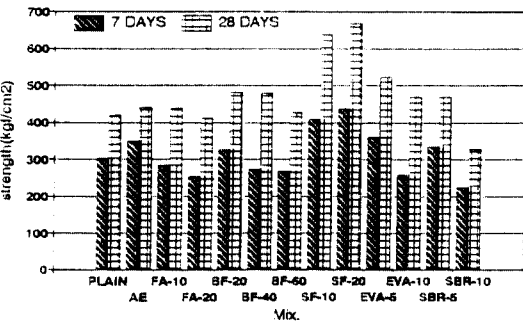
3.2 콘크리트 경화체의 물성

3.2.1 압축강도 및 미세구조 관찰

Fig. 1의 a) 와 b)는 보통강도 콘크리트(단위 결합재량 310Kg/m³)와 고강도 콘크리트(단위 결합재



a) Unit weight of binder=310Kg/m³



b) Unit weight of binder=385Kg/m³

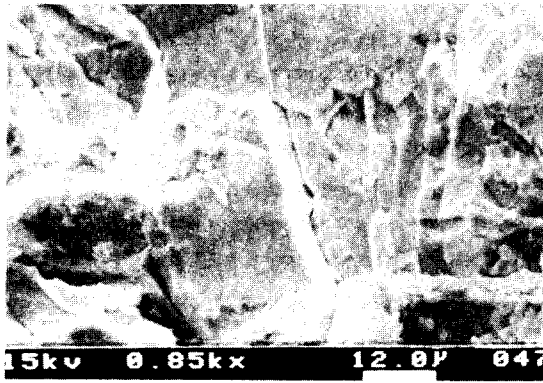
Fig. 1 Compressive strength of concretes with various additives

재량 385Kg/m³)의 재령 7일과 28일에서의 압축강도 결과를 나타낸 것이다. 보통강도와 고강도 콘크리트 둘 다 혼합제(플라이 애쉬, 슬래그, 실리카 흙)를 첨가한 경우 실리카 흙 첨가시 가장 높은 압축강도를 발현하였는데, 이것은 실리카흙이 플라이 애쉬나 슬래그보다 초기재령에서 포졸란 반응성이 높기 때문인 것으로 생각된다(6,7). 또한 폴리머(EVA, SBR)를 첨가한 경우에 있어서는 보통강도와 고강도 콘크리트 둘다 EVA 첨가시 더 높은 압축 강도가 발현되었다.

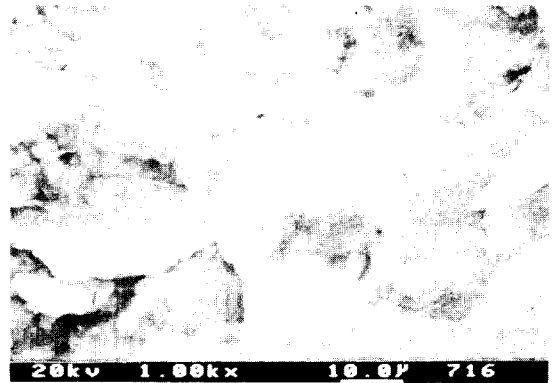
Fig. 2의 a)~f)는 고강도 콘크리트(단위 결합재량 385Kg/m³)에서 #4체를 사용하여 wet sieving 하여 제조한 모르터의 재령 28일에서의 SEM 측정 결과이다. Fig. 2의 a)는 혼화재료를 첨가하지 않은 기준 콘크리트로 혼화재료를 첨가한 Fig. 2의 b)~f)에 비하여 육각판상의 Ca(OH)₂가 확연히 보이고 있다. Fig. 2의 b)는 플라이 애쉬를 첨가한 경우로 구형의 플라이 애쉬 입자가 보이고 있는데, 이것은 플라이 애쉬가 초기 재령에서 슬래그나 실리카 흙보다 포졸란 반응성이 낮아서 미반응한 플라이 애쉬 입자가 보인 것으로 생각된다. 슬래그를 첨가한 Fig. 2의 c)의 경우 플라이 애쉬를 첨가한 경우보다 포졸란 반응성이 높아 육각판상의 수화물 사이에 침상의 C-S-H 수화물이 보였다. 실리카 흙을 첨가한 Fig. 2의 d)의 경우 초기재령에서 포졸란 반응성이 높아 Fig. 2의 a)~c)에 비하여 육각판상의 수화물을 거의 볼 수 없다. Fig. 2의 e), f)는 EVA와 SBR을 첨가한 경우로 EVA나 SBR의 film이 육각판상의 수화물상을 덮고 있는 것을 볼 수 있다.

3.2.2 동결융해 실험결과 고찰

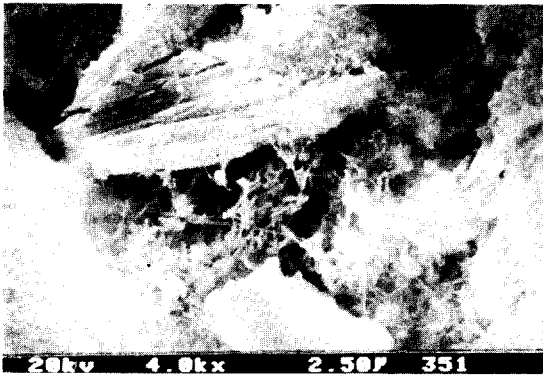
콘크리트 경화체가 동결융해 반복작용을 받는 경우 기공에 침투한 수분의 동결에 의한 팽창압에 의해 성능이 저하된다고 알려져 있다. 이러한 성능저하 과정은 팽창에 의한 길이의 증가와 스케일링에 의한 무게의 감소를 수반하며 따라서 동결 융해 사이클에 따라 동탄성 계수도 변화하게 된다. 상대 동탄성 계수란 동결 융해를 받기 전에 측정 한 동탄성 계수에 대한 어떤 동결 융해 사이클에서 측정한 동탄성 계수의 비를 말한다. 상대 동탄성 계수는 일반적으로 동결융해 사이클의 진행에



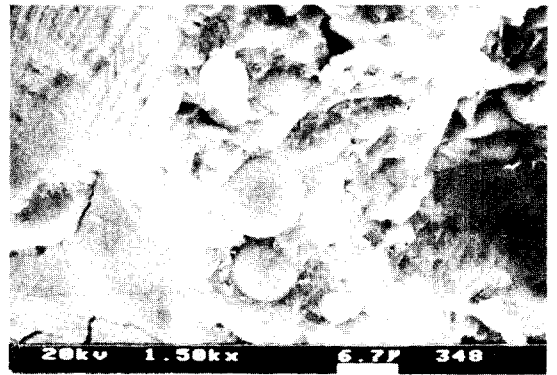
a) plain mortar(28 days)



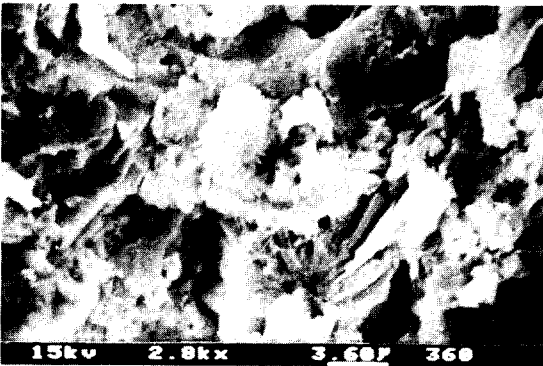
b) fly ash 10%



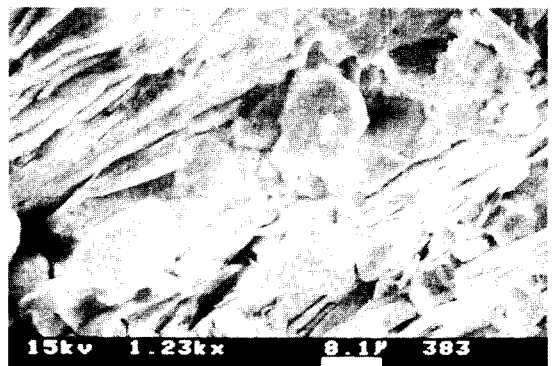
c) Slag powder 60%



d) silica fume 10%



e) EVA 10%



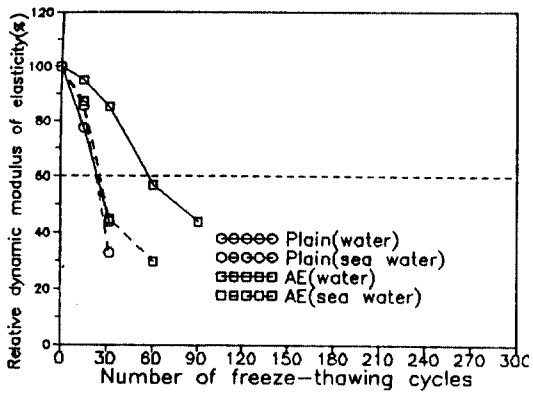
f) SBR 5%

Fig. 2 SEM photographs of mortars after 28 days

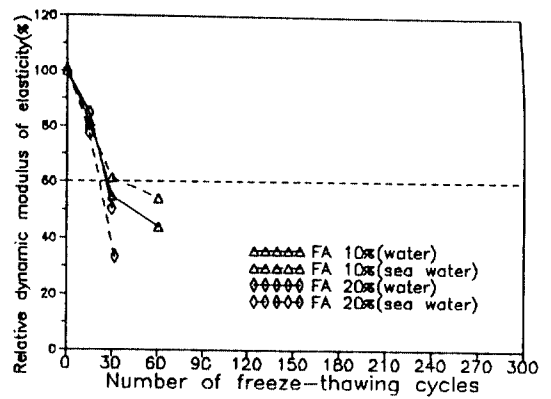
따라 감소하는 경향을 나타낸다.

Fig. 3과 4의 a)~f)는 각각 보통 강도 콘크리트(단위결합재량 310Kg/m³)와 고강도 콘크리트(단위결합재량 385Kg/m³)에 대하여 동결융해 사이클의

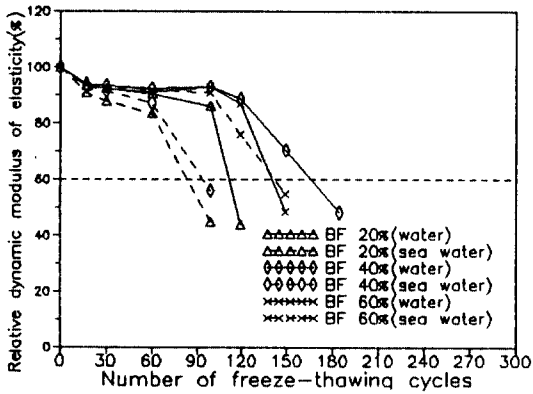
수에 따른 상대 동탄성계수의 변화를 나타낸 것이다. 전체적으로 사이클이 진행됨에 따라 수분의 침투로 인한 조직의 이완으로 길이는 증가하나, 무게는 표면이 떨어져 나가 감소하였다. 따라서



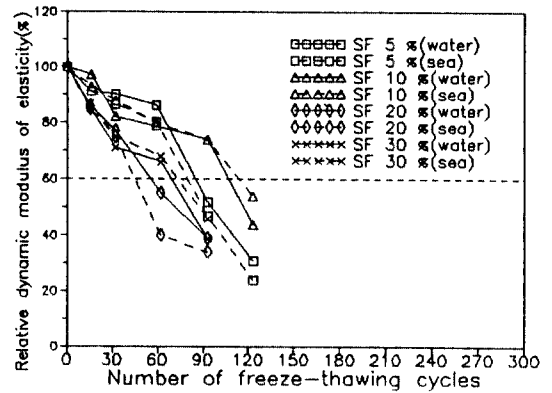
a) control(plain, AE concrete)



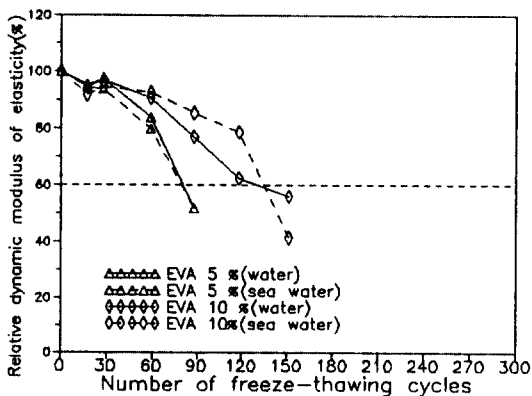
b) fly ash 10, 20%



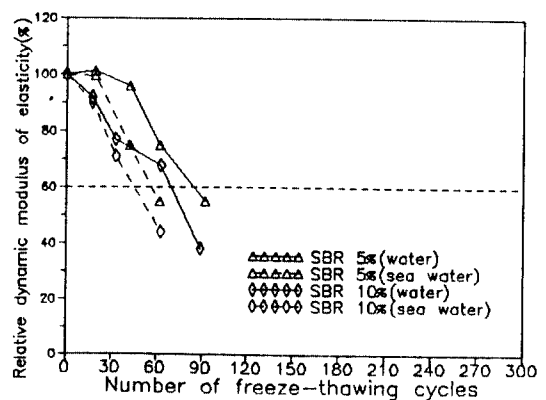
c) slag powder 20, 40, 60%



d) silica fume 5, 10, 20, 30%

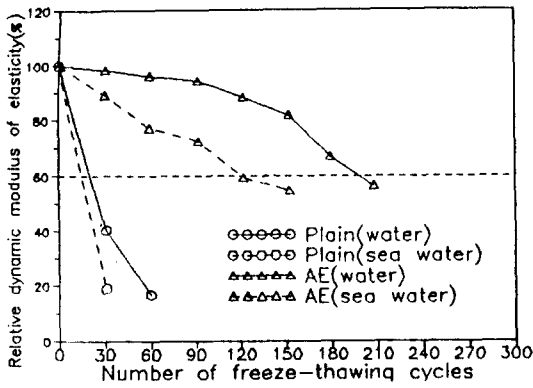


e) EVA 5, 10%

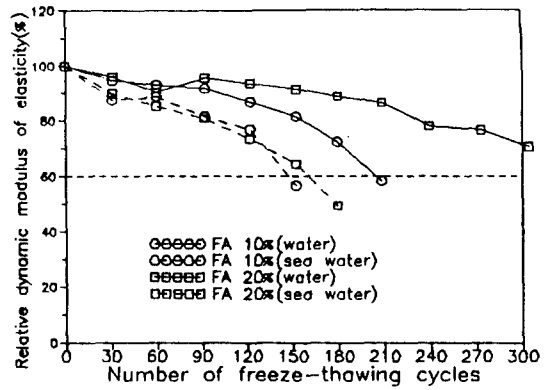


f) SBR 5, 10%

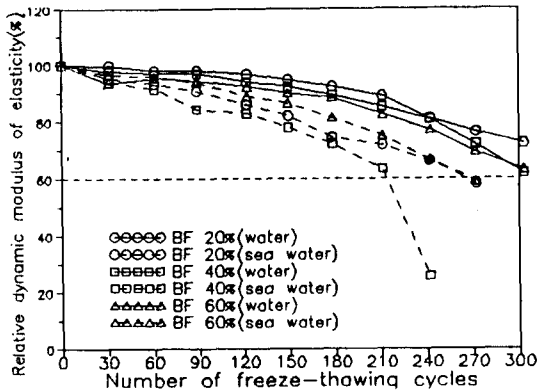
Fig. 3 Freezing and thawing cycles versus relative dynamic modulus of elasticity(310Kg / m³)



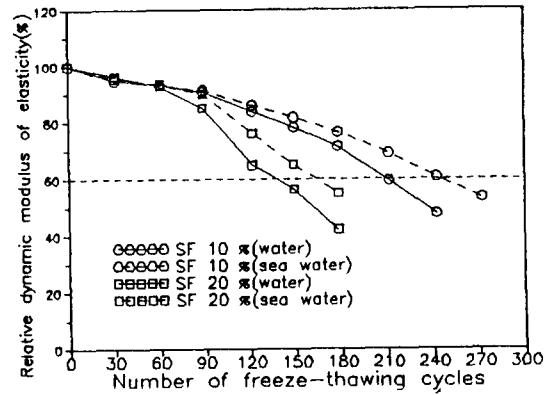
a) control(plain, AE concrete)



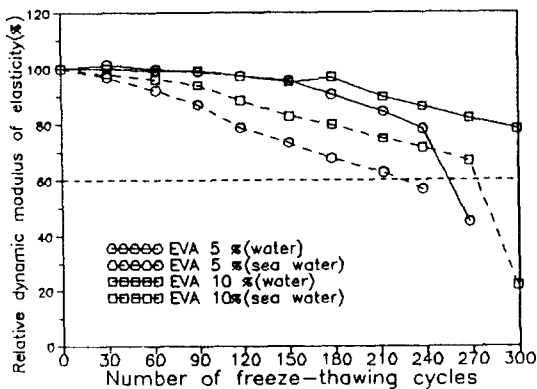
b) fly ash 10, 20%



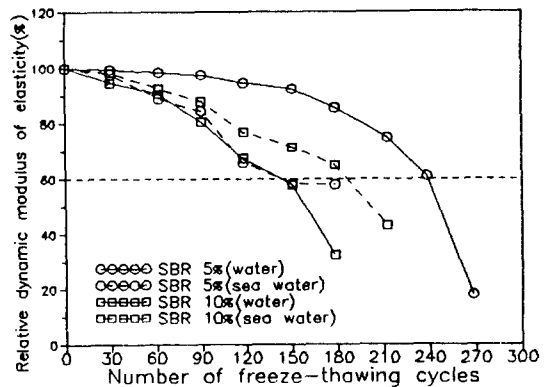
c) slag powder 20, 40, 60%



d) silica fume 5, 10, 20, 30%



e) EVA 5, 10%



f) SBR 5, 10%

Fig. 4 Freezing and thawing cycles versus relative dynamic modulus of elasticity(385Kg/m³)

조직의 이완과 무게의 감소로 콘크리트의 성능이 저하되어 공명진동 주파수가 낮아져 전체적으로 상대 동탄성 계수가 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 보통 강도 콘크리트이거나, 해수 환경하에서 더욱 현저한데 이것은 동결 융해 저항성의 증대를 위해서 단위시멘트량이 높고 W/C가 낮은 고강도 콘크리트를 사용하고 적당한 혼합재를 사용해야 한다는 것을 시사하고 있다(2.9).

Fig. 3과 4의 a)는 담수와 해수에서 혼화재료를 전혀 첨가하지 않은 plain 콘크리트와 혼합재를 첨가하지 않고 공기연행만 시킨 공기연행 콘크리트의 상대 동탄성계수의 변화를 나타낸 것이다. plain 콘크리트의 경우, 담수와 해수에서 모두 30사이클에서 급격히 성능이 저하되었다. 공기연행 콘크리트의 경우 담수에서는 도입된 연행공기가 동결에 의한 수분의 팽창압을 흡수해 주었기 때문에 plain 콘크리트보다 더 좋은 동결융해 저항성을 보이고 있다. 그러나 해수에서는 plain 콘크리트와 유사한 경향을 보이고 있으므로 해수중에서 동결 융해 저항성 증대를 위해서는 적절한 공기연행외에도 혼합재의 사용이 필수적인 것으로 생각된다.

Fig. 3과 4의 b)~d)는 담수와 해수에서 공기연행가 혼합재(플라이 애쉬, 슬래그, 실리카 흙)를 첨가한 콘크리트의 상대 동탄성계수의 변화를 나타낸 것이다. 이것은 적절한 공기연행과 포졸란 반응성 혼합재를 첨가하여 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 를 포졸란 반응에 의해 감소시킴과 동시에 조직의 치밀화로 plain 콘크리트나 공기연행만 시킨 콘크리트보다 더 좋은 동결융해 저항성을 보이고 있다. 특히 해수중에서는 동결융해 작용이외에도 해수중 용존이온이 콘크리트 내부로 침투하여 C_3A 및 시멘트 수화물과 반응하여 최종적으로 ettringite가 생성되는 반응과정을 통하여 팽창을 일으켜 콘크리트의 성능이 저하되므로 이 침투한 용존이온과 시멘트 수화물 사이의 반응을 억제시키는 방법으로 포졸란 반응성물질인 플라이 애쉬, 슬래그, 실리카 흙을 첨가하여 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 를 포졸란 반응에 의해 감소시킴과 동시에 조직의 치밀화로 동결융해 저항성이 증대한 것으로 생각된다. 따라서 해수중에서의 동결융해 저항성 증대를 위해서 혼합재의

사용이 효과적이며, 본 연구에서 사용한 포졸란 반응성 혼합재중에서는 슬래그 사용이 동결융해 저항성이 가장 우수하였다(2.7).

Fig. 3과 4의 e)~f)는 담수와 해수에서 폴리머계 혼합재인 EVA와 SBR을 첨가한 콘크리트의 상대 동탄성계수의 변화를 나타낸 것이다. 이 폴리머계 혼합재인 EVA와 SBR을 첨가한 콘크리트의 양생은 시멘트의 수화반응을 조장하기 위하여 21일간 수중 양생을 하였으며, 이후 콘크리트에 혼합한 폴리머의 film형성을 위하여 60°C 오븐에서 7일간 열처리하여 최종적으로 시멘트의 수화물상과 폴리머 film상과의 co-matrix 상을 형성하도록 하였다. EVA와 SBR을 첨가한 콘크리트는 plain 콘크리트와 공기연행만 시킨 콘크리트보다 담수와 해수 둘 다에서 우수한 동결융해 저항성을 보이고 있다. 특히 해수에서는 동결융해 작용이외에도 콘크리트 내부로 침투한 해수중의 용존이온과 시멘트 수화물 사이의 반응으로 콘크리트의 성능저하가 가속되는데, 첨가한 폴리머에 의한 폴리머 film이 시멘트 수화물을 덮고 있어서 침투

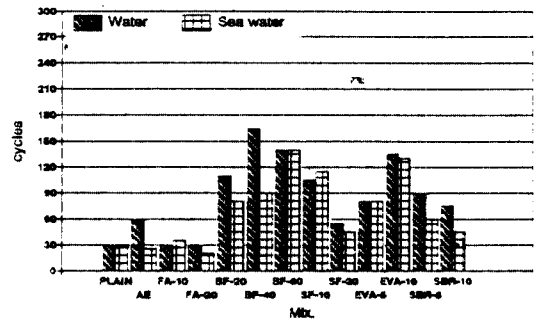


Fig. 5 Freezing and thawing cycles of each specimen at 60% of relative DME(310Kg/m³)

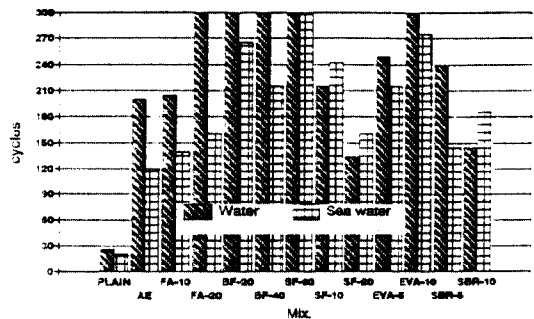


Fig. 6 Freezing and thawing cycles of each specimen at 60% of relative DME(385Kg/m³)

한 해수중의 용존이온과 시멘트 수화물사이의 반응을 억제시켰기 때문에 동결융해 저항성이 우수한 것으로 생각된다. 본 연구에서는 SBR보다 EVA가 더 우수한 동결융해 저항성을 나타내었다.

Fig. 5는 보통강도 콘크리트(단위결합재량 310Kg/m³), Fig. 6은 고강도 콘크리트(단위결합재량 385Kg/m³)에 대하여 상대 동탄성계수 60%에서 각 공시체의 동결융해 사이클수를 나타낸 것이다. 혼화재료를 전혀 첨가하지 않은 plain 콘크리트의 경우 보통강도 콘크리트와 고강도 콘크리트에서 모두 낮은 동결융해 저항성을 보였다. 해수중에서는 공기연행만 시킨 콘크리트도 낮은 동결융해 저항성을 보였다. 따라서 해수에서 콘크리트의 우수한 동결융해 저항성을 위해서는 적절한 공기연행과 혼합재의 사용, W/C비가 낮은 고강도 콘크리트를 사용하는 것이 효과적인 것으로 생각된다⁽⁹⁾.

4. 결 론

W/C=60.3%, 43%의 두가지 배합의 공기연행 콘크리트에 플라이 애쉬, 슬래그 분말, 실리카흙, EVA, SBR을 혼합재로 첨가하여 담수 및 해수중에서 동결 융해 저항성을 측정된 결과 본 연구의 범위에서 결론은 다음과 같다.

- 1) plain 콘크리트는 W/C에 상관없이 담수 및 해수중에서 동결 융해 저항성이 낮아 30사이클 이내에서 급격히 성능저하하는 현상을 나타내었다.
- 2) 담수중에서 콘크리트의 동결 융해 저항성을 향상시키기 위해서는 공기연행이 필수적이며, 공기연행시킨 경우 단위시멘트량이 높고 W/C가 낮은 고강도 콘크리트일수록 동결 융해 저항성이 우수하였다.
- 3) 해수중에서 동결 융해 저항성을 증대시키기 위해서는 콘크리트의 고강도화, 적절한 공기연행외에도 혼합재를 사용하는 것이 효과적이었다.

- 4) 사용한 포졸란계 혼합재에서 동결 융해 저항성 증대 효과는 슬래그 분말 사용시가 가장 우수하였으며, 폴리머계 혼합재에서는 EVA가 SBR보다 우수한 결과를 나타내었다.

끝으로 본 연구는 동양중앙연구소와 한양대학교, 인하대학교의 공동연구로 수행했던 연구의 일부임을 밝힙니다.

참 고 문 헌

1. H.T. Cao et al. Corrosion of steel in concrete with and without silica fume, *Cem. Conc. Res.*, Vol.21, 1991, pp.316-324.
2. M.L. Conjeaud, Mechanism of sea water attack on cement mortar, "Performance of concrete in marine environment", ACI Publication SP-65, 1980, pp.22-39.
3. M. Regourd, Physico-chemical studies of cement pastes, mortars, and concrete exposed to sea water, *ibid.*, pp.40-63.
4. P.K. Mehta, Durability of concrete in marine environment-A Review, *ibid.*, pp.1-20.
5. P.K. Mehta, Durability of concrete exposed to marine environment-A Fresh Look, "Concrete in marine environment", ACI publication SP-119, 1988, pp.1-30.
6. R.F. Feldman et al., Resistance of mortars containing silica fume to attack by a solution containing chlorides, *Cem. Conc. Res.*, Vol.15, 1985, pp.411-420.
7. L. Fernandez et al. Mechanical properties, abrasion resistance, and chloride permeability of concrete incorporating granulated blast-furnace slag, *Cem. Conc. Aggr.*, 1990, pp.87-100.
8. Y. Ohama et al., Properties of polymer-modified mortars using Styrene-Butyl Acrylate latexes with various monomer ratios, *ACI Material Journal*, Title No. 88-M8, 1991, pp.56-61.
9. V.E. Pentalla, Effects of micro-porosity on the compression strength and freezing durability of high strength concrete, *Mag. Conc. Res.*, Vol. 41, No.148, 1989, pp.171-181.

(접수일자 : 1992. 8. 4)