

염분환경하 콘크리트 경화체의 내구성에 미치는 혼합재의 영향
 II. 콘크리트의 동결융해저항성
 Effect of Blending Materials on the Durability of Concrete
 II. Freezing and thawing Resistance of Concrete

오정재¹ 동1 김원기² 정용³ 한기성⁴ 최상홀⁵
 J. D. Jaung W. K. Kim Y. Jeong K. S. Han S. H. Choi

ABSTRACT

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

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

1. 서론

콘크리트 경화체가 동결융해의 반복 작용을 받는 경우 경화체 내부에 존재하는 수분의 동결에 의한 팽창압이 발생하여 조직의 파괴가 시작되며 이러한 열화작용은 적당한 공기의 연행으로 팽창압을 완화시켜 억제할 수 있는 것으로 알려져 있다.

그러나 Mg^{2+} , Cl^{-} , $(SO_4)^{2-}$, Na^{+} , K^{+} 등의 이온이 존재하는 해수환경하에서는 이들이 콘크리트 내부로 침투하여 C_3A 및 시멘트 수화물과 반응하여 최종적으로 ettringite가 생성되는 반응 과정을 통하여 팽창을 일으켜 콘크리트를 열화시킴과 동시에 내부 철근의 부식을 유발시켜 콘크리트 구조물의 수명에 큰 영향을 끼칠 수도 있다[1-3].

따라서 해수 환경하의 콘크리트의 동결융해 저항성의 증대를 위해서는 공기연행 이외에도 해수중 용존 이온들의 침투를 억제하거나, 침투한 용존 이온과 시멘트 수화물 사이의 반응을 억제시켜야 한다[4,5].

이러한 방법의 하나로서 시멘트 수화반응시 생성되는 $Ca(OH)_2$ 를 포졸란계의 혼합재를 첨가하여 포졸란 반응에 의해 감소시키거나, 폴리머계 혼합재를 첨가하여 반응을 차단시키는 방법이 생각되고 있다[6-8].

본 연구는 포졸란계 혼합재로서 플라이 애쉬, 슬랙, 실리카 폼과 폴리머계 혼합재로서 Ethylene Vinyl Acetate(이하 EVA),

Styrene-Butadiene Rubber(이하 SBR)를 첨가하여 제조한 콘크리트의 해수 환경하 동결융해 저항성에 미치는 혼합재의 종류 및 첨가량, 물시멘트비등의 영향을 밝힘을 그 목적으로 한다.

2. 실험계획

2.1 사용 재료

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

사용 혼합재는 플라이 애쉬, 슬랙 분말, 실리카폼이며 플라이 애쉬(이하 FA)는 강릉 영동 화력산, 슬랙(이하 BF)은 포항 제철의 고로 수쇄 슬랙을 Blaine 비표면적 5,000 cm^2/g 으로 분쇄한 분말, 실리카 폼은 Elkem micro silica Co.의 bulk type 실리카 폼이며 사용한 혼합재의 화학적 성분과 비중 및 비표면적을 표3,4에 나타냈다.

또한 폴리머계 혼합재인 EVA와 SBR의 비중과 고형분을 표 5에 나타냈다.

사용 골재는 조골재로 최대 크기 25mm의 석회석계 쇄석(삼척산, 비중 2.73, 흡수율 0.3%), 세골재로 하천사(오십천사, 비중 2.61, 흡수율 1.2%, FM 2.9)이며 모든 골재는 실험전에 세척하여 점토분과 석분을 제거하였고 체가름후 표건상태로 사용하였다.

1 동양중앙연구소 연구실장 공박
 2 동 선임연구원
 3 동 주임연구원
 4 인하대학교 무기재료공학과 교수
 5 한양대학교 무기재료공학과 교수

또한 감수제(WR), 공기연행제(AEA), 고성능 감수제(HRWR), 소포제(AFA)등의 혼화제를 목표 슬럼프와 공기량을 얻기 위하여 적당량 첨가하여 사용하였다.

2.2 콘크리트의 배합

사용 콘크리트의 배합조건을 표 6에 나타내었으며 목표 슬럼프 8cm, 공기량 4%의 공기 연행 콘크리트로서 보통강도콘크리트(단위결합재량 310kg/m³)와 고강도 콘크리트(단위 결합재량 385kg/m³)의 2가지 배합 조건을 설정하였다.

2.3 공시체 제작 및 양생방법

동결융해 시험용 공시체의 크기는 100 X 100 X 400(mm)이며 각 배치당 2 개씩 제작하여 담수중과 인공 해수중에서 각각 동결융해 실험을 실시하였다. 압축강도시험용 공시체는 100 X 200(mm)의 실린더몰드를 각 배치당 6개씩 제작하였다.

각종의 공시체는 타설 24시간후 탈형하였으며 기준 시편과 혼합재 첨가 시편은 27일간의 표준수중양생, Polymer 첨가 시편은 20일 수중양생후 폴리머 필름의 형성을 촉진하기 위하여 60°C 오븐에서 7일간 건조양생시켰다.

2.4 실험 및 측정방법

동결융해 시험은 KS F 2456의 시험방법 A에 준한 수중동결수중융해법으로 실시하였으며 매 30사이클마다 담수와 해수중의 무게 변화, 길이 변화 및 공명진동식 동탄성 계수 측정기를 이용한 동탄성 계수를 측정하였다. 또한 해수환경 시험을 위하여 ASTM D 1141에 준한 인공해수를 사용하였다.

그리고 각 공시체는 재령 7일, 28일에서 압축 강도와 정탄성 계수를 측정하였다.

Table 1 시멘트의 화학 조성(x)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O	F.L	Ig. los
20.78	5.77	3.28	62.98	3.42	2.26	1.10	1.09	0.81

Table 2 시멘트의 물리적 성질

비표면적 (cm ² /g)	응결시간 (초)		안정도 (x)	압축강도(kgf/cm ²)		
	초결	종결		3일	7일	28일
3,105	3:02	5:21	0.33	158	231	331

Table 3 혼합재의 화학 조성(x)

종류	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O	Ig. los
SF	93.48	0.01	2.89	0.51	1.08	-	1.31	2.15
FA	55.94	27.97	7.73	-	0.82	0.19	3.28	4.07
BF	34.54	13.74	0.41	43.04	6.75	-	0.15	0.68

Table 4 혼합재의 비중과 비표면적

혼합재	SF	FA	BF
비 중	2.24	2.27	2.93
비표면적(cm ² /g)	180,200*	2206**	4922**

* BET 측정값
** Blaine 측정값

Table 5 폴리머 분산액의 비중과 고형분

polymer dispersion	EVA	SBR
비 중	1.06	1.02
고형분(x)	55.0	50.0

Table 6 콘크리트의 배합 조건

조 건	Plain 콘크리트		공기연행 콘크리트(혼합재 첨가 콘크리트)			
	310	385	310	385	310	385
단위 결합재량 (kg/m ³)	310	385	310	385	310	385
W/C (x)	69.0	48.8	60.3	43.0	60.3(55.3)	43.0
S/A (x)	52.0	48.0	51.0	46.0	51.0	46.0
목표슬럼프 8 cm		목표공기량 4 x				
사용혼합재	플라이애쉬(10, 20x), 슬랙 분말(20, 40, 60x), 실리카폼(5, 10, 20, 30x) EVA(5, 10 x), SBR(5, 10 x)					

3. 실험결과 및 고찰

3.1 경화전 콘크리트의 물성특성

실리카폼 사용 콘크리트는 실리카 폼의 비표면적이 매우 커서 작업성의 확보를 위하여 고성능 감수제의 사용이 필수적이었으며 공기량도 낮았다. 이것은 공기 연행제가 실리카 폼의 미립자에 공기연행제가 흡착되기 때문으로 생각되며 이 결과는 동결융해 저항성에 영향을 미칠 것으로 예상되었다.

EVA 첨가 콘크리트의 경우 EVA의 유화제로 첨가된 계면활성제에 의해 공기량이 과다하게 발현되는 현상이 관찰되어 소포제를 적당량 첨가하여 공기량을 조정하였다.

SBR 첨가 콘크리트는 배출 직후부터 작업성능이 매우 나쁘며 심한 경우 no slump 현상을 보였다.

3.2 콘크리트 경화체의 물성

3.2.1 압축강도

그림 1(a)-(b)는 보통강도 콘크리트와 고강도 콘크리트의 재령 7일과 28일에서 측정된 압축강도 결과를 나타낸 것이다.

혼합재를 첨가한 경우 실리카폼 첨가시 가장 높은 압축강도를 발현하였으며, 이것은 실리카 폼이 플라이 애쉬나 슬랙보다 초기재령에서 포졸란 반응성이 높은 때문인 것으로 생각된다[6, 7].

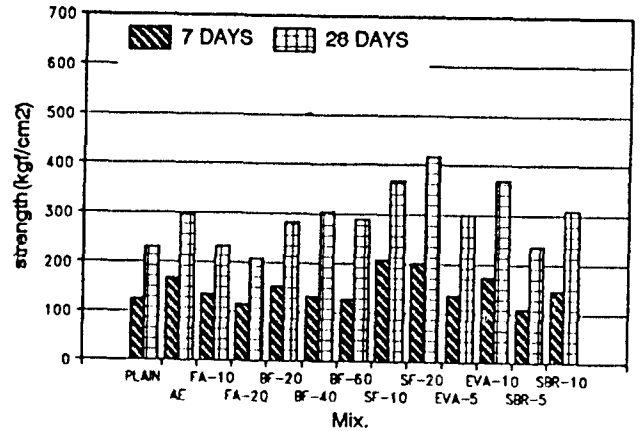
또한 폴리머를 첨가한 경우에 있어서는 SBR 보다 EVA 첨가시 더 높은 압축 강도가 발현되었다.

3.2.2 동결융해 실험결과 고찰

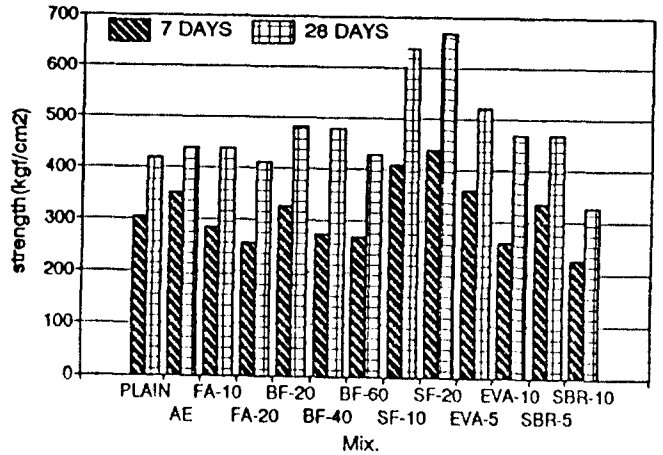
그림 2와 3의 (a)-(f)는 각각 보통 강도 콘크리트(단위결합재량 310Kgf/m³)와 고강도 콘크리트(단위결합재량 385Kgf/m³)에 대하여 동결융해 cycle에 따른 상대 동탄성계수의 변화를 나타낸 것이다.

전체적으로, 동결융해시험의 진행에 따른 조직의 이완으로 길이가 증가하고 무게는 감소하였으며 상대 동탄성 계수도 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 보통 강도 콘크리트에서 더욱 현저하며 이것은 콘크리트의 배합조건이 동결융해 저항성에 큰 영향을 미침을 시사하고 있다[2, 9].

그림 2와 3의 (a)는 담수와 해수에서 혼화재료를 첨가하지 않은 plain 콘크리트와



a) Unit weight of binder = 310 kg/m³



b) Unit weight of binder = 385 kg/m³

Fig. 1 각종 혼합재 사용 콘크리트의 압축강도

공기연행 콘크리트의 상대 동탄성계수 변화를 나타낸 것이다.

plain 콘크리트의 경우, 담수와 해수 둘 다 30cycle에서 급격히 열화하였다. 이것은 모세관수의 동결에 의한 팽창압의 발생에 의한 것이며 반면에 공기연행 콘크리트는 그 팽창압을 도입된 연행공기가 흡수하여 plain 콘크리트보다 더 좋은 동결융해 저항성을 보이고 있다. 따라서 동결융해 저항성 증대를 위해서는 적절한 공기 연행이 필수적인 것으로 생각된다.

그림 2와 3의 b)~d)는 담수와 해수중에서 공기연행제와 혼합재를 첨가한 콘크리트의 상대 동탄성계수의 변화를 나타낸 것이다. 이것은 적절한 공기연행과 포졸란 반응성 혼합재를 첨가하여 Ca(OH)₂를 포졸란 반응

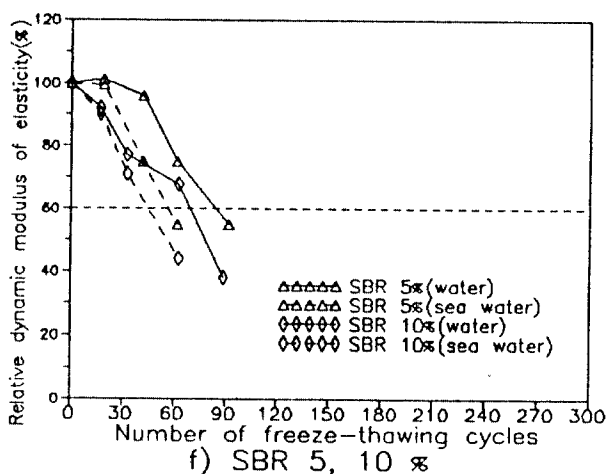
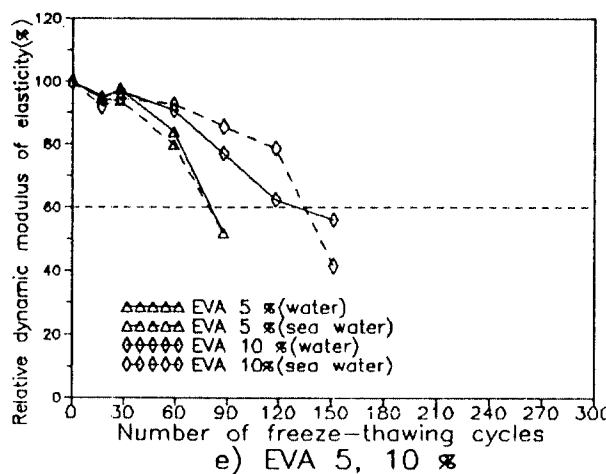
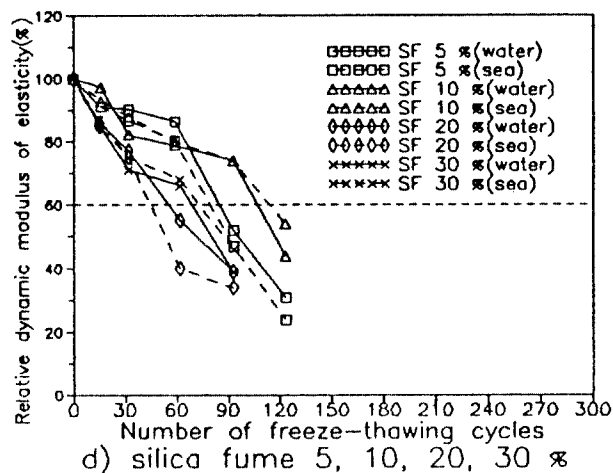
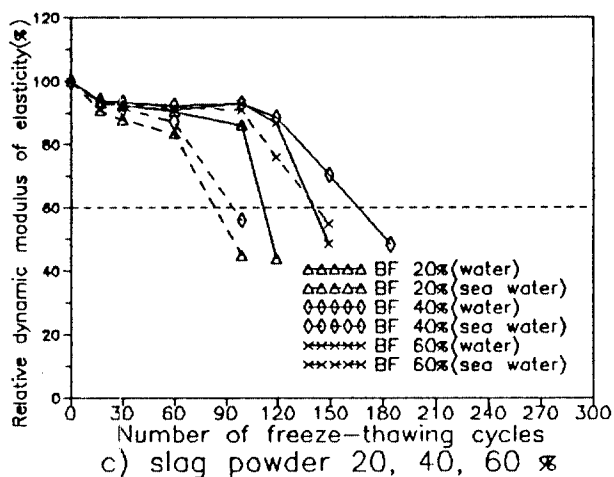
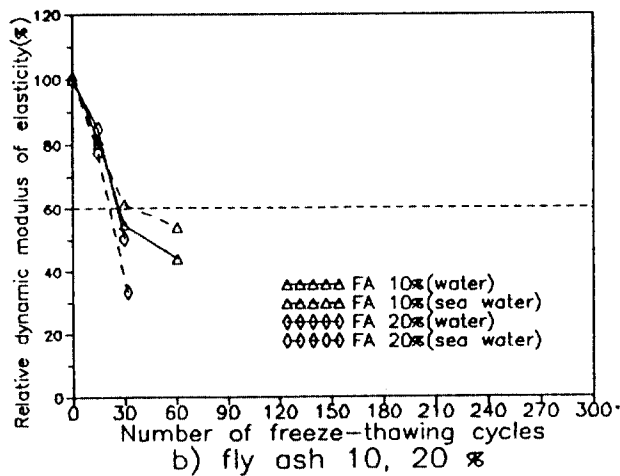
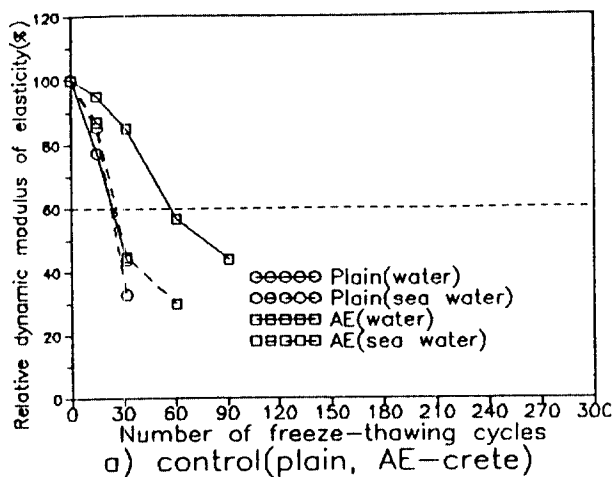
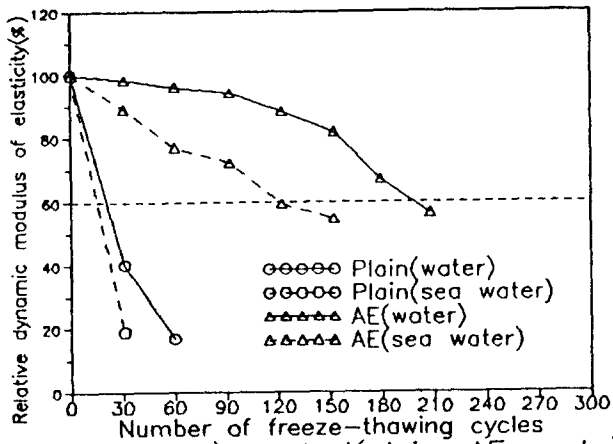
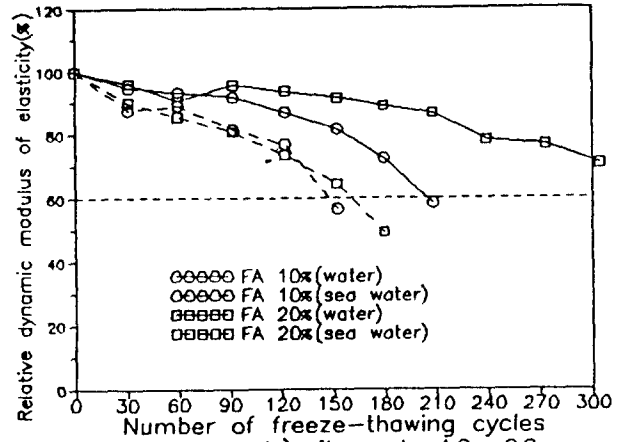


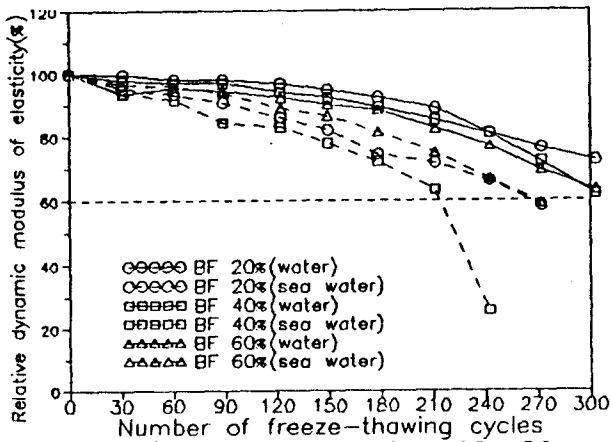
Fig. 2 동결융해반복에 따른 상대동탄성계수의 변화
(단위결합재량 ; 310kg/m³)



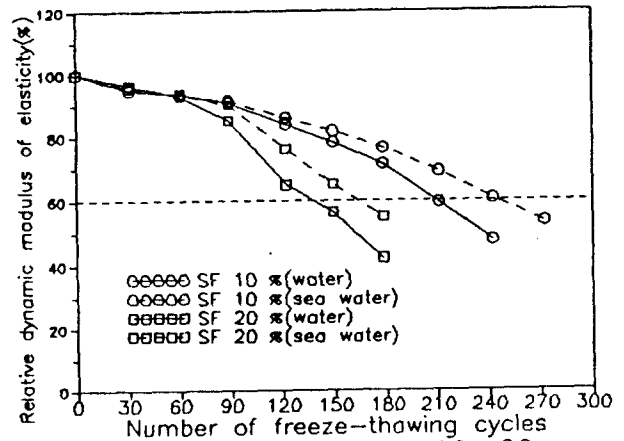
a) control(plain, AE-crete)



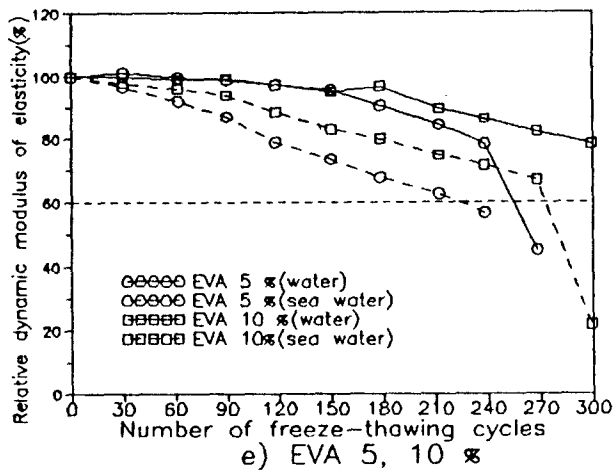
b) fly ash 10, 20 %



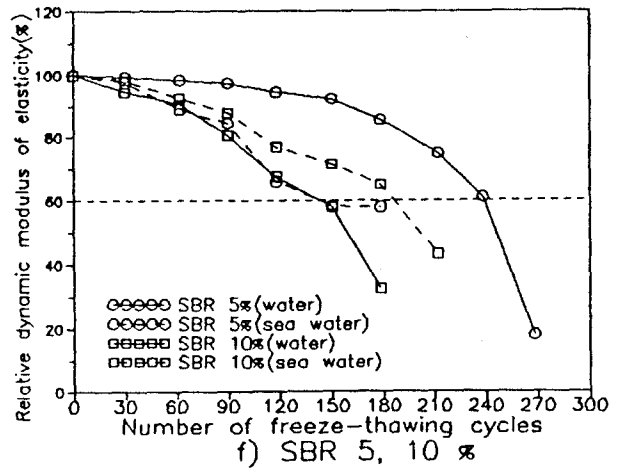
c) slag powder 20, 40, 60 %



d) silica fume 10, 20 %



e) EVA 5, 10 %



f) SBR 5, 10 %

Fig. 3 동결융해반복에 따른 상대동탄성계수의 변화
(단위결합재량 ; 385kg/m³)

에 의해 감소시킴과 동시에 조직의 치밀화로 plain 콘크리트나 공기연행만 시킨 콘크리트보다 더 좋은 동결융해 저항성을 보이고 있다.

또한 해수중에서는 용존된 이온이 콘크리트 내부로 침투하여 C_3A 및 시멘트 수화물과 반응하여 ettringite가 생성되어 팽창을 일으켜 콘크리트가 열화되므로 포졸란계 혼합재인 플라이 애쉬, 슬랙, 실리카 폼을 첨가하여 $Ca(OH)_2$ 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 혼합재 중에서는 슬랙 분말의 동결융해 저항성이 가장 우수하였다[2, 7].

그림 2와 3의 (e)-(f)는 담수와 해수중에서 폴리머계 혼합재인 EVA와 SBR을 첨가한 콘크리트의 상대 동탄성계수 변화를 나타낸 것이다.

EVA와 SBR을 첨가한 콘크리트는 plain 콘크리트나 공기연행만 시킨 콘크리트보다 담수와 해수 둘다 우수한 동결융해 저항성을 보이고 있다. 특히 해수에서는 첨가된 폴리머가 콘크리트 내부로 침투한 해수중의 용존이온과 시멘트 수화물 사이의 반응을 억제시켰기 때문에 동결융해 저항성이 우수한 것으로 생각된다. 본 실험에서는 SBR보다 EVA가 더 우수한 동결융해 저항성을 나타내었다.

혼화재료를 전혀 첨가하지 않은 plain 콘크리트의 경우 보통강도, 고강도 둘다 동결융해 저항성이 좋지 않으나, 공기연행을 시켰거나 공기연행과 혼합재를 첨가한 경우에는 보통강도의 콘크리트보다 고강도 콘크리트가 훨씬 우수한 동결융해 저항성 나타내고 있다.

따라서 콘크리트의 동결융해 저항성 증대를 위해서는 적절한 공기연행과 혼합재의 첨가 이외에도 W/C 비가 낮은 고강도 콘크리트를 사용하는 것이 효과적인 것으로 사료된다[9].

4. 결 론

W/C=60.3%, 43%의 두가지 배합의 공기 연행 콘크리트에 플라이 애쉬, 슬랙 분말, 실리카 폼, EVA, SBR을 혼합재로 첨가하여 담수 및 해수중에서 동결융해 저항성을 시험한 결론은 다음과 같다.

1. plain 콘크리트는 W/C 비에 상관없이 담수 및 해수중에서 동결융해 저항성이 낮아 30 cycle 이내에서 급격히 열화하는 현상을 나타내었다.
2. 콘크리트의 동결융해 저항성을 위해서는 공기연행이 필수적이며, 공기연행 시킨 경우 W/C 비가 낮을수록 동결융해 저항성이 우수하였다.
3. 해수중에서의 동결융해 저항성은 슬랙 분말을 첨가할때 가장 우수하였으며, 폴리머계 혼합재에서는 EVA가 SBR 보다 우수한 결과를 나타내었다.
4. 해수 환경하에서 콘크리트의 동결융해 저항성을 위해서는 적절한 혼합재의 사용이 효과적이다.

References

1. Cao et al., Cem. Conc. Res., Vol.21, pp. 316-324 (1991)
2. Conjeaud, ACI Publication SP-65, pp. 22-39(1980)
3. Regourd, ibid, pp.40-63
4. Mehta, ibid, pp. 1-20.
5. Mehta, ACI publication SP-119, pp.1-30(1988)
6. Feldman et al., Cem. Conc. Res., Vol.15, pp.411-420(1985)
7. Fernandez et al., Cem. Conc. Aggr., pp.87-100(1990)
8. Ohama et al., ACI Material Journal, Title No. 88-M8, pp.56-61 (1991)
9. Pentalla, Mag. Conc. Res., Vol.41, No.148, pp.171-181(1989), etc.