콘크리트의 동해열화 메커니즘에 관한 실험적 연구

Experimental study on the frost deterioration mechanism of concrete

이승한* 이순환** 정해구** 한형섭**
Lee, Seung Han Lee, Soon Hwan Jung, Hae Gu Han, Hyung Sub

Abstract

It have been announced that concrete subjected to freezing and thawing cause deterioration by expanded inside water and contracted at thawing.

However, this study describe the deterioration mechanism of concrete by freezing and thawing test.

Embeded strain gauges were used to measure the inside restrict strain due to the temperature difference inside and outside the concrete test specimens.

Test results showed that using the air entrained admixture and expanded poly-styrene was developed durability of concrete by decreasing inside retrict strain ratio.

1. 서 론

콘크리트의 동해에 대한 열화는 콘크리트 속의 기포와 골재주변에 존재하는 모세관 공극에 공급된 물이 동결하여 용적팽창을 일으키고, 이로인한 미동결수의 이동과 팽창압이 발생하여 콘크리트 경화물의 조직을 파괴시켜 일어나는 것[1]으로 알려져 왔다. 팽창압완화방안으로 4%이상의 공기량[2,3]과 0.2mm이하의 기포간격계수를 요구[4]하고 있다.

그러나 동결융해를 받는 콘크리트는 표면의 온도변화가 중심에서 늦게 전달되기 때문에 온도차에 의한 내부구속변형이 일어나 동결수에 의한 팽창수축률과 합하여져 콘크리트의 열화가 진행된다고 지적[5]하고 있다

따라서 본 연구에서는 기중동결융해시험에 의하여 공시체 중심과 표면 10mm위치에 변형률게이지를 매입한 콘크리트의 팽창수축거동을 측정하여 콘크리트의 열화과정의 해명을 시도하였으며, 내부구

* 계명대학교 토목공학과 교수
** 계명대학교 토목공학과 석사과정

속변형률 완화방안으로 사용한 공기연행제와 소립형 발포폴리스틸렌비즈가 내부구속변형률을 완화시켜 콘크리트의 내구성을 증진시키는 것으로 사료된다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

실험에 사용한 시멘트는 S사의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 골재는 경북 성주산을 사용하였으며 이들의 물리적 성질을 표 1에 나타내었다. 또한 팽창압의 완화와 경량화를 목적으로 직경 2mm 이하의 발포폴리스틸렌비즈(EPS)를 골재로 치환 사용하였다.

표 1 골재의 물리적 성질

종류	비중	흡수율(%)	조립률
세사	2.50	2.32	2.81
왕사	2.54	1.97	3.94
석분	2.59	2.85	4.06

2.2 실험방법의 선정

정해진 온도를 반복하여 실험을 행하는 동결융해실험은 ASTM C666 및 KS F 2456에 의하여 규정되어 있으며, 이는 수중동결융해실험인 A법과, 기중동결 수중융해의 방법으로 실험하는 B법의 2가지로 나뉘어져 있다[6]. 본 연구에서는 B법인 기중동결 수중융해 채택하여 실험하였다. 공시체 중심온도를 3시간 간격으로 영상 4℃에서 영하 18℃까지 변화시켰으며 기계내부 및 공시체 중심온도의 변화를 그림 1에 나타내었다.

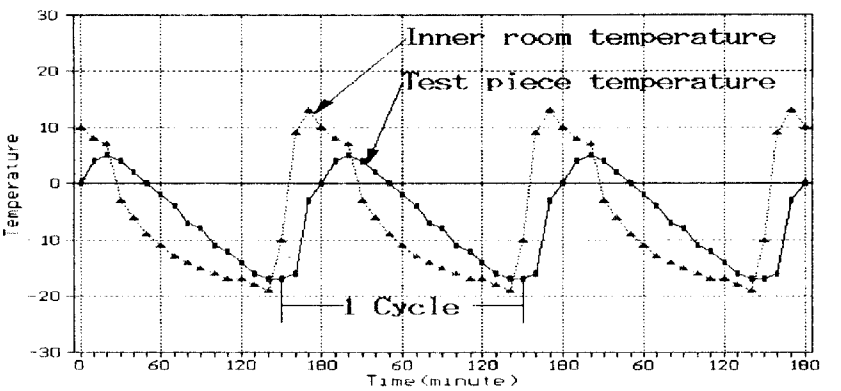


그림 1 동결융해를 받는 공시체 내·외부의 온도변화

2.3 공시체의 제작

동결융해 실험용 공시체는 공기량 2.0±5%, 4.0±5%, 5.0±5% 및 9.0±5%의 4종류와 EPS를 전용적의 30, 40, 50%치환 제작하였다.

또한 76×101×412mm크기의 동결융해 실험용 공시체에는 변형게이지를 공시체의 중심과 표면 10mm의 위치에 각각 매입하여 2, 90, 180, 270사이클별로 온도변화에 따른 변형을 측정하였다. 또한, 압축강도 측정용으로 φ100×200mm원주형 공시체를 휨인장강도 측정용으로 40×40×160mm 각주형 공시체를 각각 제작하였다.

2.4 실험방법

배합된 반죽은 공기량과 슬럼프를 측정한 뒤 변형게이지가 미리 설치된 몰드에 타설하고 습기실 저장 48시간후에 탈형을 한다. 탈형된 공시체는 20±1℃로 유지되는 수조에서 재령 14일까지 수중양생한후 동결융해시험기에 장치한다. 이때 동탄성계수를 측정하고 길이와 중량 및 변형률을 측정하며 이를 실험의 기준시점으로 하고 이후 동결융해 30사이클마다 동일한 항목을 매회 측정한다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 공기량과 EPS의 치환량이 내구성에 미치는 영향

사용 콘크리트의 성질 및 동결융해 시험에 의한 내구성 실험결과를 표-2에 나타내었다. 이 표에서 콘크리트의 내동해성에 미치는 가장 큰 영향은 공기량[12,13]이며 EPS치환도 내구성지수가 90%이상으로 내동해성이 우수함을 나타내고 있다.

그림 2는 콘크리트에 연행된 공기량과 EPS의 함량에 따른 각 사이클별 상대동탄성계수를 나타낸 것이다.

표 2 사용 콘크리트의 성질과 내구성 실험결과

종 류	EPS (%)	Fresh concrete		Hardened concrete				Durability of concrete				
		Air (%)	Slump (cm)	표건 비중	강 도(kg/cm^2)			동탄성계수 (kg/cm^2)		최종 사이클 No.	상대동탄성계수 (%)	내구성지수 (%)
					압 축		휨인장					
					14일	28일	28일	최초	최종			
OPC-A2.0	0	2.0	6.5	2.3	300	327	53.3	304517	182524	250	60.0	50.0
OPC-A4.0	0	3.8	8.0	2.3	314	360	61.5	308127	285882	300	86.1	86.1
OPC-A5.0	0	5.4	12.0	2.2	309	355	45.5	295529	290711	300	96.8	96.8
OPC-A9.0	0	8.8	14.0	2.2	300	342	40.3	299036	307108	300	105.5	105.5
EPS30-A5.0	30	4.7	6.5	1.9	2.8	232	45.4	192622	185404	300	92.6	92.6
EPS30-A9.0	30	8.7	14.5	1.9	144	175	45.1	179643	174000	300	93.8	93.8
EPS40-A5.0	40	4.8	16.5	1.8	147	175	41.3	149772	143000	300	91.2	91.2
EPS40-A9.0	40	8.8	20.0	1.7	113	127	40.1	145659	142890	300	96.2	96.2
EPS50-A5.0	50	5.8	19.5	1.6	114	126	34.6	109915	106769	300	94.4	94.4

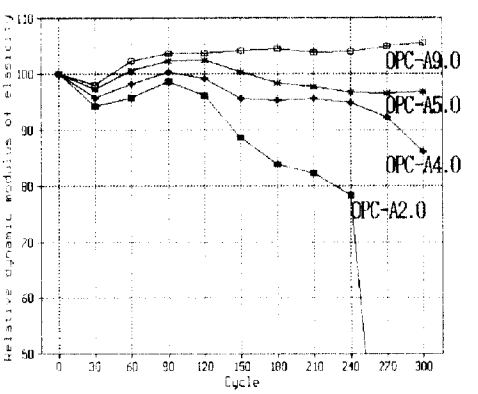


그림 2 공기량과 상대동탄성계수와의 관계

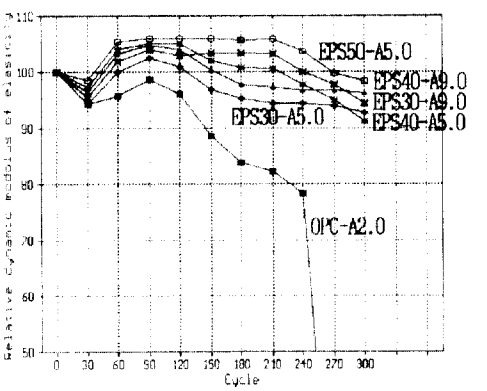


그림 3 EPS치환량과 상대동탄성계수와의 관계

이 그림에서 공기량2%의 공시체는 120사이클에서 내구성이 떨어지기 시작하여 240사이클 이후 급격한 변화를 보이고 있는 반면, 공기량이 4.0%이상인 공시체는 공기량이 증가할수록 높은 상대동탄성계수 값을 나타내고 있어, 연행공기에 의한 콘크리트 내부의 미세기포가 내구성 증대에 기여하고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 그림 3에 나타낸 EPS치환 콘크리트의 경우 300사이클에서도 높은 상대동탄성계수값을 나타내고 있으며 EPS함량이 많아질수록 내구성이 증가됨을 알 수 있다. 이는 EPS가 일반적인 골재와는 달리 흡수성이 거의 없어, 동결융해 저항성이 우수한 최대요인[7]으로 들 수 있으며 동결수의 팽창압이 EPS에 전달될 때 EPS가 쿠션작용을 하여 팽창압을 완화시키기 때문이라 사료된다.

3.2 동결융해작용을 받는 콘크리트 팽창수축거동

그림 4는 기중동결 수중융해 작용을 받는 공기량 5%인 공시체 내 · 외부의 팽창 수축 거동을 측정 사이클별로 나타낸 것이다.

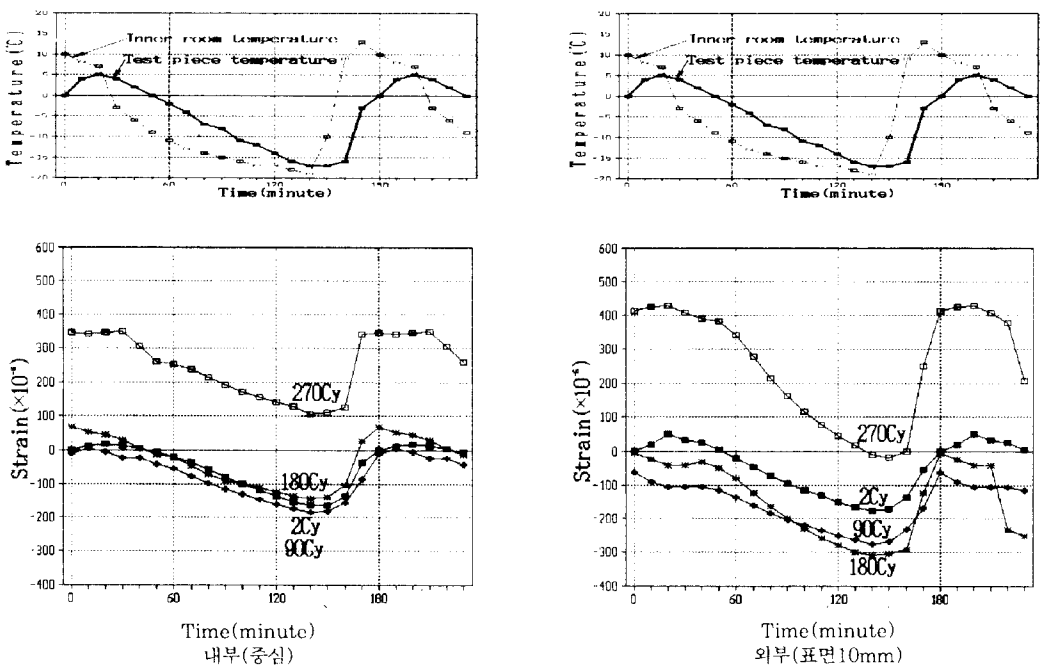


그림 4 콘크리트 내 · 외부의 팽창수축거동(OPC-A5.0)

이 그림은 융해에서 동결과정으로 되면 중심부의 변형은 수축하고 최저 온도에서 최대의 수축 변형률을 나타내고 있다. 한편 동결과정에서 융해과정으로 진행됨에 따라 공시체 중심부의 수축변형률은 서서히 줄어들기 시작한다. 동결상태에서의 공시체는 수축변형률을 나타내며 동결융해 반복횟수가 증가됨에 따라 상온에서 서서히 팽창변형을 나타내기 시작한다. 또한 이 온도차에 의한 내부구속변형률은 동결수에 의한 팽창변형률과 합하여져 변형률의 일부가 잔류변형으로 남아 동결융해의 반복에 따라 누적되어 콘크리트 표면으로부터 열화가 진행되는 것으로 사료된다.

3.3 공시체의 깊이방향의 변형률 분포

그림 5는 각 사이클별 온도변화에 따른 내 · 외부의 변형률차이를 나타낸 것이다. 이들 그림에서 동

결상태에서 내 · 외부의 변형률차이가 가장 크고, 융해상태에서 변형률차이가 가장 작은것으로 나타나 있다.

이러한 부등변형의 반복이 내부구속응력을 일으켜콘크리트의 동해열화를 촉진하는 것으로 사료된다.

또한 OPC-A2.0공시체의 최대변형률차이는 2사이클에서 80×10^{-6}, 180사이클에서 220×10^{-6}로 나타나있다.

이에비해 동일 사이클에서 공기량이 5%인 OPC-A5.0은 20×10^{-6}, 160×10^{-6}, EPS를 치환한EPS40-A5.0은 15×10^{-6}, 130×10^{-6}으로 각각 나타나 공기량이 2%인 공시체에 비하여 훨씬 작은 변형률차이를 나타내고 있다.

따라서 공기연행제와 소립형 발포스틸렌비즈는 내부구속 변형률 완화에 효과적이며 이를 사용한 콘크리트는 동결융해 저항성이 우수함을 나타내고 있다.

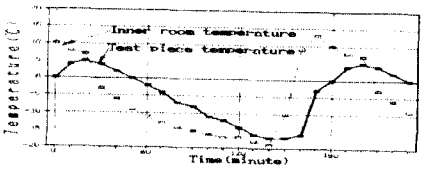
3.4 EPS의 치환량에 따른 강도 및 비중의 변화

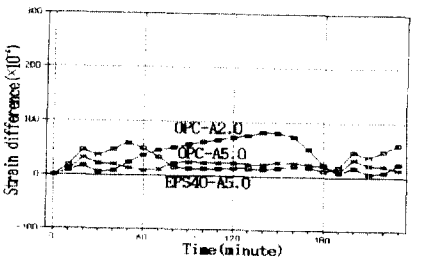
그림-6은 EPS의 함량에 따른 강도의 변화를 표시한것이다.

이 그림에서 EPS의 치환량이 증가함에 따라 압축강도는 거의 비례적으로 감소되어 50%치환시는 치환전의 약1/3수준인 126kg/cm²까지 떨어지고 있다.

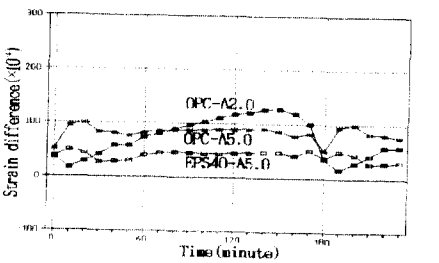
그러나, 휨인장강도는 치환량 30%에서 45.4kg/cm²로 치환하지 않은 OPC-A5.0와 동일하며 40%치환시 41.3kg/cm², 50%치환시 34.6kg/cm²로 크게 떨어지지않고 있다.

또한, EPS치환에 따른 비중의 변화는 그림 7에 나타낸 것과 같이 무치환시 2.3인 것이 30%치환으로1.9로 떨어지고, 50%치환시에는 1.6으로 나타나 추후압축강도의 보완이 이루어진다면 콘크리트 경량화의 방법으로 제시될 수 있을 것으로 생각된다.

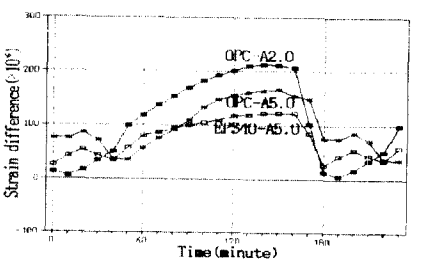




(a) 2Cycle



(b) 90Cycle



(c) 180Cycle

그림 5 각 사이클별 내 · 외부의 변형률 차이

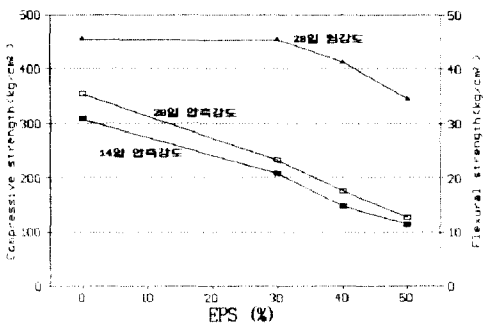


그림 6 EPS치환량에 따른 콘크리트 강도변화

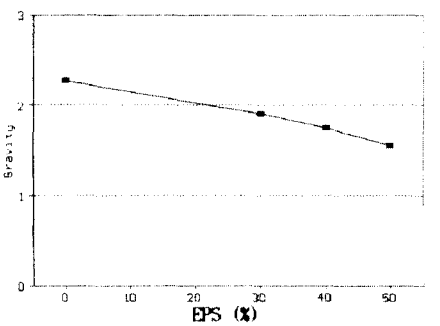


그림 7 EPS치환량에 따른 콘크리트 비중변화

4. 결 론

연행공기와 EPS치환이 콘크리트의 동해열화에 미치는 영향과 공시체 내 · 외부의 온도분포에 의한 팽창수축변형률을 분석하여 콘크리트의 동해열화 메커니즘을 규명하고자한 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 콘크리트의 동해열화는 동결수의 팽창변형률과 온도차에 의한 내부구속변형률로 인하여 일어난다.
2. 공기연행제와 소립형 발포스틸렌비즈(EPS)는 공시체 내 · 외부의 변형률 차이를 작게하여 내부구속변형률 완화에 효과적이므로 이를 사용한 콘크리트는 동결융해저항성이 우수하다.
3. 동결융해 초기에서의 공시체는 수축변형률을 일으키며 동결융해 반복횟수가 증가됨에 따라 융해시 팽창변형률이 나타나기 시작하여 이들 잔류변형이 누적되어 공시체 전체가 팽창변형으로 전환되어 콘크리트의 열화가 진행된다.
4. 발포폴리스틸렌비즈(EPS)의 사용은 흡수성을 가지지 않고 신축성이 있어 내부팽창압을 완화하고 콘크리트 내 · 외부의 부등변형량이 일반골재 콘크리트보다 작아 내구성을 향상시킬수 있다.
5. 발포폴리스틸렌비즈(EPS)의 사용은 그 치환량에 따라 압축강도는 상당량 떨어지지만 50%치환시까지는 휨압축강도의 저하가 크지 않아 추후 연구가 진행된다면 우수한 내구성을 가지는 경량콘크리트의 개발이 가능할 것으로 사료된다.

● 참고문헌 ●

1. Powers, T.C.,"A Working Hypothesis for Further Studies of Forst Resistance of Concrete", ACI Journal, Proceedings Vol.41, No.4, 1945, pp.245~272.
2. 三浦律彦, 芳賀孝成, 中根淳, "空氣量, 氣泡分布, 細孔分布が高強度コンクリートの耐凍結融解性に及ぼす影響", コンクリート工學年次論文報告集, 제12-1, 1990. pp.679~684.
3. 오병환, "공기량 및 물-시멘트비에 따른 콘크리트의 동결융해 특성에 관한 실험적 연구", 콘크리트 학회 논문집, 제5권, 2호, 1993. 11. pp.91~96.
4. 김생빈, "高强度 콘크리트의 凍結融解抵抗性에 미치는 氣泡組織의 影響", 콘크리트학회 논문집, 제4권, 1호, 1992.3. pp.89~96.
5. 渡 宏, 堺 孝司 : 凍結融解試驗におけるコンクリートの劣化過程, セメント · コンクリート論文集, セメント協會, Vol. 44, 1990, pp. 406~411
6. KS총람 : KS F 2456 급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험 방법, 사단법인 한국공업 표준협회
7. 山崎順二, 三村誠二, 外,"EPSを骨材として用いたコンクリートの凍結融解抵抗特性, コンクリート工學年次論文報告集, Vol. 17-1, 1995. pp.421~426.