

경량 폴리머 콘크리트의 동결융해 저항성

Freezing and Thawing Resistance of Lightweight Polymer Concrete

이 윤 수^{*} 채 경 희^{**} 연 규 석^{***} 주 명 기^{****} 성 찬 용^{*****}
Lee, Youn Su Chae, Kyung Hee Yeon, Kyu Seok Joo, Myung Ki Sung, Chan Yong

ABSTRACT

The effects of binder content and silica sand content on the freezing and thawing resistance of lightweight polymer concrete are examined. As a result, the mass loss and pulse velocity of lightweight polymer concrete decrease with increasing binder content and silica sand content. The relative dynamic modulus and durability factor of lightweight polymer concrete reaches minimum at a silica sand content of 50% and a binder content of 28%, and is inclined to increase with increasing binder content and silica sand content.

1. 서 론

콘크리트의 내구성이란 동결융해, 건조수축 등이 반복하여 작용하는 기상 작용과 화학 물질에 의한 침식작용, 중성화, 철근의 부식 등에 저항하여 오랜 기간 동안 구조물이 건널 수 있는 성질이라고 할 수 있으며, 콘크리트는 다른 건설재료에 비하여 내구성이 우수한 것으로 알려져 있다. 그렇지만, 시멘트 콘크리트는 다른 재료와 비교할 때 중량에 비해 비강도가 작다는 큰 결점을 가지고 있다. 따라서 구조물이 거대화, 고층화로 되어 감에 따라 경량이면서 고강도를 갖는 콘크리트를 개발할 필요성이 높아지고 있다. 구조재료의 경량화에 따르는 기대효과로는 자중의 경감, 작업성, 경제성 및 높은 생산성 등 부가가치를 창출 할 수 있다는 장점을 가지고 있다¹⁾.

일반적으로 콘크리트의 결합재인 시멘트를 액상수지로 대체하여 제조되는 폴리머 콘크리트는 시멘트 콘크리트와 비교할 때 초기에 고강도를 발현할 뿐 아니라 접착성, 수밀성, 내약품성, 내동결융해성 등에 우수한 고성능 건설재료로서 그 용도가 확대되고 있다.

본 연구에서는 경량과 고강도를 동시에 만족시킬 수 있는 새로운 건설재료의 개발을 목적으로 인공 경량골재와 불포화 폴리에스터 수지를 결합재로 사용한 경량 폴리머 콘크리트를 개발하고 결합재량 및 잔골재로 규사와 경량골재를 변화시켜 내동결융해성에 미치는 배합요인의 영향을 실험적으로 구명하였다.

* 정회원, 주성대학 건설재료공학과 전임강사
** 정회원, 우송공업대학 건축설비과 교수
*** 정회원, 강원대학교 농공학과 교수
**** 정회원, 강원대학교 석재복합신소재제품연구센터 박사후연구원
***** 정회원, 충남대학교 농공학과 교수

2. 사용재료

2.1 결합재

결합재로서는 액상 불포화 폴리에스터 수지(UP)에 희석제로 스티렌 모노머(St)를, 촉진제로 옥탄산 코발트 8% mineral turpentine 용액(CoOC), 촉매제로서 methyl ethyl peroxide (MEKPO)를 사용하였다. 사용된 액상수지의 성질은 표 1과 같다.

표 1. 불포화 폴리에스터 수지의 특성

Specific gravity (20℃)	Viscosity (20℃, mPa·s)	Styrene content (%)	Acid value
1.13	325	38.0	16.9

2.2 충전재 및 경량골재

충전재는 중질탄산칼슘(CaCO₃), 골재는 규사 및 국내에서 생산되는 인공경량골재 2종류를 사용하였다. 충전재 및 경량골재의 함수율은 0.1% 이하로 하였으며, 그 성질은 표 2와 같다.

표 2. 충전재 및 경량골재의 특성

Type of filler and aggregate		Size (mm)	Specific gravity (20℃)	Water content (%)	Organic impurities
Filler	Heavy calcium carbonate (CaCO ₃)	<2.5×10 ⁻³	2.70	<0.1	Nil
Fine Agg.	Silica sand	0.23 ~ 0.27	2.61	<0.1	Nil
	Perlite type	<2.5	0.12	<0.1	Nil
Coarse Agg.	Expanded shale	< 10	1.30	<0.1	Nil

3. 시험방법

3.1 시험체 제작

시험체는 KS F 2419 (폴리에스터 래진 콘크리트의 강도시험용 공시체 제작방법)에 의하여 제작하였으며, 배합비는 표 3과 같다. 또한 콘크리트의 양생은 항온항습실 [25℃, 60% (RH)]에서 7일간 양생시킨 후 시험에 사용하였으며, 동결융해시험용 공시체는 10×10×40cm 크기의 공시체를 사용하였다.

3.2 동결융해시험

동결융해시험은 동결융해시험용 공시체를 대상으로 KS F 2456 (급속동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법)에 준하여 수중 급속 동결융해시험을 하였으며, 이때 공시체의 온도는 동결시 -18℃, 융해시 4℃가 되게 하였고, 동결융해의 1사이클은 2시간 40분이 소요되었다. 시험동안 매 50사이클 간격으로 측정하였으며, 동결융해의 반복이 300사이클이 되었을 때 시험을 완료하였다. 이때의 중량감소, 초음파진동속도, 상대 동탄성 계수 및 내구성 지수는 다음 식으로 산출하였다.

표 3. 경량 폴리머 콘크리트의 배합비 (Unit : vol%)

Binder		Filler	Aggregate		
UP	SRA		Expanded shale	Perlite	Silica sand
23.4	2.6	7.0	16.75	35.18	15.07
				25.13	25.12
				15.07	35.18
25.2	2.8	7.0	16.25	34.13	14.62
				24.38	24.37
				14.62	34.12
27.0	3.0	7.0	15.75	33.08	14.17
				23.63	23.62
				14.17	33.08

Notes, UP : Unsaturated polyester resin. SRA : Shrinkage-reducing agent.

3.2.1 중량감소시험

중량감소시험은 동결융해 매 50사이클 간격으로 중량을 측정하여 다음 식으로 산출하였다.

$$W = \frac{(W_0 - W_1)}{W_0} \times 100$$

여기서, W = 동결융해 C 사이클 후의 중량감소율 (%)

W₀ = 동결융해 0 사이클에서의 중량 (g)

W₁ = 동결융해 C 사이클에서의 중량 (g)

3.2.2 초음파진동속도시험

초음파진동속도는 10×10×40cm의 공시체에 PUNDIT를 사용하여 BS 4408 (콘크리트의 초음파진동속도 측정방법)에 준하여 측정된 후 다음 식으로 산출하였다.

$$P \cdot V = \frac{L}{D \times 10^{-6}}$$

여기서, P·V = 초음파진동속도(m/s),

D = 측정치(s),

L = 공시체 길이(m)

3.2.3 상대 동탄성 계수 시험

동탄성 계수는 10×10×40cm인 공시체의 길이방향 양면 중앙에 종진동에 의한 공명진동을 측정하여 BS 1881 (콘크리트의 동탄성 계수 측정방법)에 준하여 측정하였으며, 상대 동탄성 계수는 다음 식으로 산출하였다.

$$P_c = (n_1^2/n^2) \times 100$$

여기서, P_c = 동결융해 C 사이클 후의 상대 동탄성 계수 (%)

n = 동결융해 0 사이클에서의 가로 1차 진동 주파수

n₁ = 동결융해 C 사이클 후의 가로 1차 진동 주파수

3.2.4 내구성 지수

내구성 지수는 동결융해의 반복이 300 사이클 (KS F 2456 급속 동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법)로 완료되었을 때 다음 식으로 산출하였다.

$$DF = PN / M$$

여기서, DF = 내구성 지수

P = N 사이클에서의 상대 동탄성 계수 (%)

N = 동결융해의 노출이 끝나게 되는 순간의 사이클 수

M = 동결융해의 노출이 끝날 때의 사이클 수

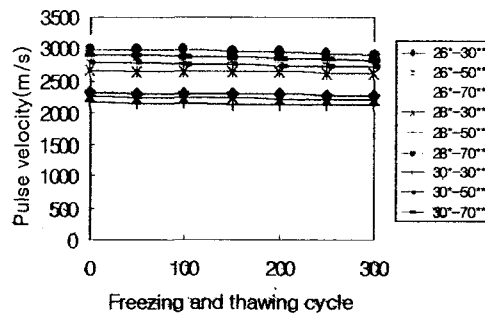
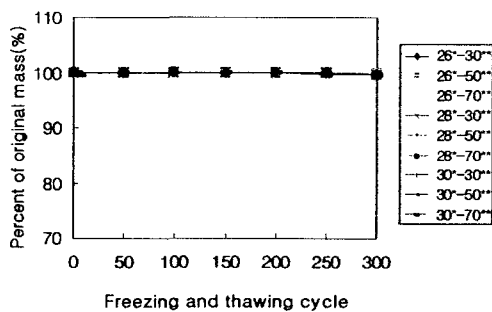
4. 결과 및 고찰

4.1 중량감소

그림 1에는 결합재 첨가량과 잔골재 치환율에 따른 경량 폴리머 콘크리트의 중량감소율과 동결융해 사이클과의 관계를 나타내었다. 경량 폴리머 콘크리트의 중량 감소율은 결합재 첨가량 및 잔골재 치환율의 증가에 따라 감소하는 경향을 나타냈으나 결합재 첨가량 및 잔골재 치환율의 차이에 따른 변화는 0.3%정도로 거의 나타나지 않았다. 이것은 불포화 폴리에스터수지의 접착성이 우수하기 때문에 골재와 결합재의 사이에 균열이 일어나지 않아 동결융해진행동안 물의 침투를 억제하는 것에 기인된다고 판단된다. 또한 동결융해 시험 진행 동안 공시체의 표면 탈락 현상은 나타나지 않았다.

4.2 초음파진동속도

그림 2에는 결합재 첨가량과 잔골재 치환율에 따른 경량 폴리머 콘크리트의 초음파진동속도 감소율과 동결융해 사이클과의 관계를 나타내었다. 결합재 첨가량에 관계없이 잔골재 치환율이 30%, 50%, 70%인 경량 폴리머 콘크리트의 초음파진동속도 감소율은 1.7~3.1%로 보통 시멘트 콘크리트의 감소



을 11.3%보다 낮았고, 잔골재를 50% 치환한 경량 폴리머 콘크리트에서 가장 낮은 감소율을 나타냈다. 이것은 불포화에스터 수지의 접착성에 의해 경량 폴리머 콘크리트의 내부조직을 치밀하게 되어 공시체에 물의 침투를 억제하여 내부에서의 동결과 융해의 반복작용을 감소시켰기 때문이라 판단된다. 또한, 잔골재 치환율에 관계없이 경량 폴리머 콘크리트의 초음파진동속도 감소율은 결합재 첨가량의 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내었고 결합재 첨가량 28%에서 가장 낮은 감소율을 나타내었다.

4.3 상대 동탄성 계수

그림 3에는 결합재 첨가량과 잔골재 치환율에 따른 경량 폴리머 콘크리트의 동탄성 계수와 동결융해 사이클과의 관계를 나타내었다. 결합재 첨가량에 관계없이 잔골재 치환율이 30%, 50%, 70%인 경량 폴리머 콘크리트의 상대 동탄성 계수는 90~95%로 보통 시멘트 콘크리트의 상대 동탄성 계수 85.21%보다 높았고, 잔골재를 50% 치환한 경량 폴리머 콘크리트에서 가장 높은 상대 동탄성 계수를 나타냈다. 이것은 잔골재가 경량 폴리머 콘크리트의 내부의 공극을 채워 충전에 의한 강도 증진과 조직이 치밀하게 되었기 때문이라 판단된다. 또한, 잔골재 치환율에 관계없이 경량 폴리머 콘크리트의 상대 동탄성 계수는 결합재 첨가량의 증가에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 이것은 결합재 첨가량의 증가에 따라 유동성이 향상되어 보다 치밀한 조직이 형성되었기 때문이라 생각된다.

4.4 내구성 지수

그림 4에는 결합재 첨가량에 따른 경량 폴리머 콘크리트의 내구성 지수와 잔골재 치환율과의 관계를 나타내었다. 결합재 첨가량에 관계없이 경량 폴리머 콘크리트의 내구성 지수는 잔골재 치환율 50%에서 가장 높은 내구성 지수 값을 나타내었다. 또한, 잔골재 치환율에 관계없이 경량 폴리머 콘크리트의 내구성 지수는 결합재 첨가량의 증가에 따라 높은 값을 나타내었다.

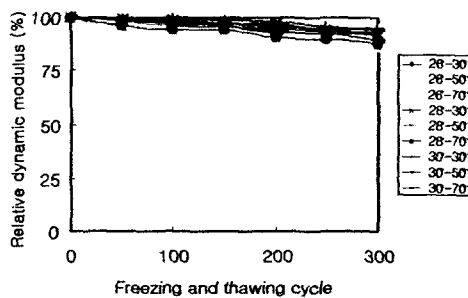


그림 3 경량 폴리머 콘크리트의 상대 동탄성 계수와 동결융해 사이클과의 관계
Notes, *Binder content **Silica sand content

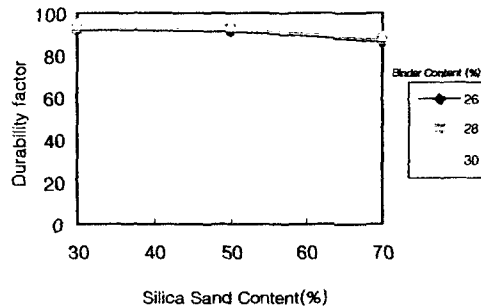


그림 4 경량 폴리머 콘크리트의 내구성 지수와 동결융해 사이클과의 관계
Notes, *Binder content **Silica sand content

5. 결 론

본 연구는 경량 폴리머 콘크리트의 동결융해 저항성에 관하여 실험적으로 구명한 것으로 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 동결융해실험결과 경량 폴리머 콘크리트의 중량감소율은 0.3% 이내로 시멘트 콘크리트에 비해 매우 낮은 값을 나타내었다.
2. 경량 폴리머 콘크리트의 초음파진동속도의 감소율은 잔골재를 50% 치환한 경량 폴리머 콘크리트에서 가장 낮은 감소율을 나타냈다. 또한, 잔골재 치환율에 관계없이 경량 폴리머 콘크리트의 초음파진동속도 감소율은 결합재 첨가량 28%에서 가장 낮은 감소율을 나타내었다.
3. 결합재 첨가량에 관계없이 잔골재를 50% 치환한 경량 폴리머 콘크리트에서 가장 높은 상대 동탄성 계수를 나타냈다.
4. 결합재 첨가량에 관계없이 경량 폴리머 콘크리트의 내구성 지수는 잔골재 치환율 50%에서 가장 높은 내구성 지수 값을 나타내었다. 또한, 잔골재 치환율에 관계없이 경량 폴리머 콘크리트의 내구성 지수는 결합재 첨가량의 증가에 따라 높은 값을 나타내었다.

감사의 글

본 논문은 강원대학교 「석재복합신소재제품연구센터」의 연구비 지원에 의하여 이루어진 것으로 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 1) 李侖洙, “輕量 ポリエステルモルタルの性質と調合設計” 日本大學博士學位論文, 1998