

폴리프로필렌섬유보강 경량 폴리머 시멘트

콘크리트의 내동해성에 관한 연구

A Study on the Resistance for Frost Damage of Polypropylene

Fiber Reinforced Light Weight Polymer Cement Concrete

○ 소형석* 소승영** 소양섭*** 박종호**** 탁재호*****

Soh, Hyong-Seok Soh, Seung-Young Soh, Yang-Seob Park, Jong-Hoo Tark, Jae-Ho

ABSTRACT

For the development of light weight cement concrete with high durability, this study used perlite and paper sludge ash by the light weight material, and polypropylene fiber by the reinforcement, and poly-acrylic ester emulsion by the matrix improvement.

According to the increasing mixture ratio of fiber and use of polymer, the light weight polypropylene fiber reinforced polymer cement concrete were showed high resistance for frost damage

1. 서론

동결기가 비교적 긴 지역에서의 한중 콘크리트 시공 및 한랭지 콘크리트 구조물에 있어서 콘크리트 동해는 구조물의 내구성을 저하시키는 가장 큰 요소 중의 하나이다¹⁾. 콘크리트 동해의 가장 큰 요인은 콘크리트 외부로부터 흡수된 수분과 온도 변화이며, 콘크리트 중의 수분이 동결융해의 반복 작용을 받음으로써 동해가 일어나는 것이 일반적이다. 만일 콘크리트가 기전상태를 유지한다면 동해는 매우 적을 것이다²⁾. 그러나 실제에 있어서 콘크리트 구조물은 우수, 해수, 유수 등에 의하여 계속적으로 수분을 공급받기 때문에 온도저하시 동결융해작용을 받게 되는 것은 불가피하다. 외기온이 빙점이하로 낮아지면 포수상태의 콘크리트는

모세관 공극에 존재하는 자유수가 냉각되어 표면으로 부터 동결이 시작되고, 수분 동결에 의한 체적증가와 빙피의 성장에 따른 물의 이동에 의해 팽창압을 발생시킨다^{3,4)}. 그러나 외기온이 상승하면, 온도의 상승에 따라 동결했던 자유수가 용해되고 팽창이 소실된다. 이러한 온도변화에 따라 콘크리트 중의 자유수는 동결융해작용에 의해 팽창·수축과정에서 콘크리트 중의 공극이 확대되어 콘크리트의 내구성이 저하하게 되며, 그 정도가 클 경우 콘크리트는 붕괴하게 된다²⁾.

특히, 골재 자체의 내부에 다량의 공극을 함유하고 있는 경량골재를 이용한 경량콘크리트의 경우 배합시 경량골재의 흡수특성에 의한 슬럼프 저하를 막기위해 사용수량을 증대시키게 되므로 콘크리트 내부에 동결할 수 있는 자유수를 증대시키게 된다. 또한 경량골재를 사용한 경량 콘크리트는 흡수율이 크기 때문에 내부에 동결 가능한 세공용적을 증대시킨다. 이러한 이유로 경량 콘크리트의 동결융해저항성은 보통 콘크리트에 비해 매우 작다.

* 정희원, 전북대 대학원 박사과정
** 정희원, 전북대 강사, 공박
*** 정희원, 전북대 교수, 공박
**** 정희원, 롯데건설기술연구소 연구원
***** 정희원, 롯데건설기술연구소 부장

따라서 본 연구는 콘크리트의 경량화를 위해 경량골재인 펄라이트와 산업부산물인 제지슬러지에 쉬를 이용한 경량 콘크리트의 내구성 향상을 위해 개선제인 PAE 폴리머와, 보강재인 폴리프로필렌 섬유를 이용하여 경량 콘크리트의 동결융해저항성을 향상시키고, 고내구성 경량 콘크리트를 개발하는 데 기초적 자료를 제공하고자 실시되었다.

2. 실험계획 및 방법

2-1. 사용재료

① 결합재 : 보통포틀랜드 시멘트

본 연구에 사용된 결합재는 보통포틀랜드 시멘트였으며, KS L 5201 규격품으로서 그 화학적 성질은 Table 1과 같다.

Table 1. Chemical and physical properties of ordinary portland cement

Chemical component	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	lgloss	C ₂ S	C ₃ S	C ₄ A	C ₄ F
Component ratio (%)	21	6	62.1	2.8	3.4	2.0	1.2	1.7	43.1	27.9	11.2	8.5

② 치환재 : 제지슬러지 애쉬 (Paper sludge ash)

결합재의 치환재로 전북지역의 제지공장에서 발생하는 제지폐수처리 슬러지의 소각재인 제지슬러지 애쉬를 사용하였으며, 그 화학적 성질은 Table 2와 같다.

Table 2. Chemical and physical properties of ashes

Chemical component	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Mg	lgloss	Total
Component ratio (%)	25.6	51.6	6.3	6	7.99	99.62

③ 보강재 : 폴리프로필렌섬유

매트릭스의 보강재는 국내시판 제품으로 유기섬유인 폴리프로필렌섬유를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 3과 같다.

Table 3. Physical properties of polypropylene fiber

Length(mm)	Diameter(μm)	Specific gravity	Melting point (°C)	Tensile strength (kg/cm ²)
19	0.6~0.8	0.91	160	5.278

④ 개선제 : PAE (Poly-Acrylic Ester Emulsion)

사용섬유의 분산 및 매트릭스(Matrix)의 개선을 목적으로 사용된 혼화제는 아크릴계 폴리머인 PAE 폴리머였으며, 그 물리적 성질은 Table 4와 같다.

Table 4. Physical properties of PAE polymer

State	Color tone	Solid powder(%)	PH	Viscosity (cp,20°C)	Specific gravity
Liquid	White	47	8	34.6	1.054

⑤ 골재 : 펄라이트 (Perlite)

콘크리트의 경량화를 위해 사용된 경량골재는 국내시판 제품으로 화산석인 원석(진주석)을 1,200°C로 소성·팽창시켜 분쇄한 펄라이트였으며, 그 화학적·물리적 성질은 Table 5와 같다.

Table 5. Chemical and physical properties of perlite

Chemical component	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO
Component ratio (%)	71.75	12.5	0.5	0.5	4.5	2.9	0.1

State	Softing point (°C)	Melting point (°C)	pH	Specific gravity	Refractive index
Solid	870~1090	1200~1340	6.6~8.0	0.2	1.5

2-2. 시험방법

제작된 경량콘크리트의 내동해성을 평가하기 위한 동결융해시험은 ASTM C 666-80 및 KS F 2456에 준하여 자동동결융해 시험기기를 이용한 수중 급속 동결융해시험으로 7일간 기중양생한 공시체를 대상으로 실시하였다. 동결융해 횟수(cycle)는 공시체 내부의 온도범위 -18°C~4°C로 자동조절 하였으며, 1 cycle당 소요되는 시간은 약 2시간 30분으로 1일에 9.6 cycle이었고, 최대 300 cycle까지 혹은 상대동탄성계수의 값이 60% 이하가 될 때까지 계속 실시하여 매 30 cycle 마다 내동해성 평가항목으로 동탄성계수, 길이변화, 중량변화 등을 측정하였다.

2-3. 공시체 제작 및 양생

각 공시체의 배합은 애쉬를 시멘트 중량의 50%로 치환하고, 인공경량골재인 펄라이트(perlite)를 공시체 체적에 대해 70%가 되도록 사용하였으며, 섬유는 혼입량은 공시체 체적에 대한 체적비로 0, 1, 2%를 사용하였다. 개선제인 PAE 폴리머는 고형분량으로 시멘트 중량의 10% 첨가하였고, 공시체의 크기는 80×100×400(mm)였다. 비빔은 모르타 믹서에 의한 기계비빔으로 이루어 졌으며, 비빔방법은 건비빔(cement+ash+perlite) 1분 후 물과 폴리머를 넣고 2분, 섬유를 넣고 2분으로 총 5분간 실시하였다. 이때 균일한 시공성을 유지하기 위해 Flow치 180±5mm를 목표로 단위수량을 결정하였다. 그 배합은 Table 6과 같다.

Table 6. Mix proportion

Symbol	Ash (wt.%, by cement)	Perlite (vol.%, by composite)	PAE (wt.%, by cement)	Ari- foaming agent(%)	P-F (vol.%, by composite)	W/C (%)	Flow (mm)
UM-0*					0	75.4	175
-1			0	0	1.0	79.7	177
-2	50	70			2.0	85.8	175
M-0			10	2	0	41.9	185
-1					1.0	44.2	180
-2					2.0	47.9	175

* UM : Un-modified
M : Polymer modified
P.F : Polypropylene fiber content

공시체의 제작은 항온항습실(20±2℃, RH50±5%)에서 이루어 졌으며, 7일간 기중양생(20±2℃, RH50±5%) 하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 경량 콘크리트의 길이변화 특성

일반적으로 동결융해를 반복하여 받은 콘크리트는 동결시 내부 자유수의 팽창과 융해시 팽창 소실의 반복과정에서 잔류팽창이 발생하게 되고, 이러한 잔류팽창은 식 1과 같이 凍伸度 D.E.F(the Degree of Expansion by Frost)로서 나타낼 수 있다. 그 결과는 그림 1과 같다.

$$D.E.F = \frac{L_n - L_0}{L_0} \quad \text{----- (1)}$$

여기서, L_0 : 동결융해를 받기 전(0 cycle) 공시체의 길이

L_n : n cycle의 동결융해 반복작용을 받은 공시체의 길이

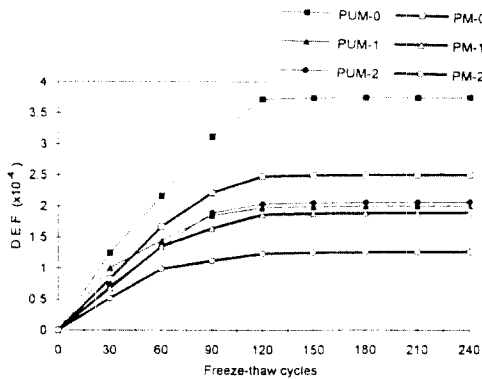


Fig 1. Relationship between length change and number of freezing and thawing cycle

그림 1에서 보는 바와 같이 각 공시체의 동신도는 동결융해 횟수 240 cycle에서 개선제와 보강재를 사용하지 않은 UM-0에 비해 UM-1의 경우

1.87배, UM-2의 경우 1.82배, M-0의 경우 1.5배, M-1의 경우 1.98배, M-2의 경우 2.98배 정도의 잔류팽창 억제효과를 보였다. 이는 개선제로 사용된 PAE 폴리머의 섬유분산효과, W/C 감소효과, 흡수율 저감효과, 강도의 증진과 섬유의 혼입에 의한 인성증진 및 균열억제성능 등에 기인된 것으로 판단된다.

3-2. 경량 콘크리트의 중량변화 특성

콘크리트가 동결융해를 받으면 조직의 이완으로 내부균열(crack) 뿐아니라 표면박리(surface scaling)가 동시에 나타난다. 따라서 동결융해에 따른 표면박리의 정도를 알아보기 위해 각 공시체의 중량 변화량을 측정하였고, 그 결과는 그림 2와 같다.

그림 2에서 보는 바와 같이 개선제인 PAE 폴리머를 사용하지 않은 UM type에 비해 PAE 폴리머를 사용한 M type의 경우가 훨씬 적은 중량변화량을 보였고, 섬유혼입량이 증가함에 따라 점차 작게 나타나 PAE 폴리머 사용에 따른 매트릭스(Matrix) 개선효과와 섬유의 균열억제성능 등을 확인 하였다⁵⁾.

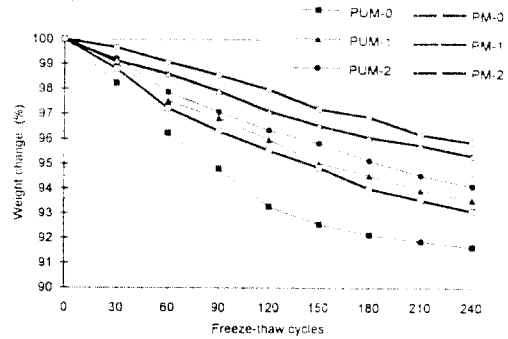


Fig 2. Relationship between weight change and number of freezing and thawing cycle

3-3. 경량콘크리트의 상대동탄성계수

각 공시체의 동결융해 cycle에 따른 노화상태를 평가하기 위하여 30 cycle 마다 공시체의 공명진동주파수를 측정하여 식 2에 의한 상대동탄성계수(P_n)로 나타내었으며, 그 결과는 그림 3과 같다.

$$P_n = \left(\frac{f_n}{f_0} \right)^2 \times 100 \quad \text{----- (2)}$$

여기서, f_n : 동결융해를 받기 전 공시체(0 cycle)의 가로 1차 진동주파수

f_0 : n cycle의 동결융해를 반복적으로 받은 공시체의 가로 1차 진동주파수

그림 3에서 보는 바와 같이 각 공시체의 상대동탄성계수는 PAE 폴리머와 섬유 사용에 관계없이 동결융해 cycle의 증가에 따라 전체적으로 감소하고 있는데, 이는 동결융해가 진행됨에 따라 수분의 침투 및 공시체 내부 자유수의 동결에 기인된 팽창등에 의하여 조직이 이완되므로써 공명진동 주파수가 낮아졌기 때문인 것으로 판단된다²⁾. 또한 PAE 폴리머를 사용한 M Type은 PAE 폴리머를 사용하지 않은 UM Type에 비해 훨씬 우수한 동결융해저항성을 보였고, 섬유혼입율이 증가함에 따라 우수하게 나타났다.

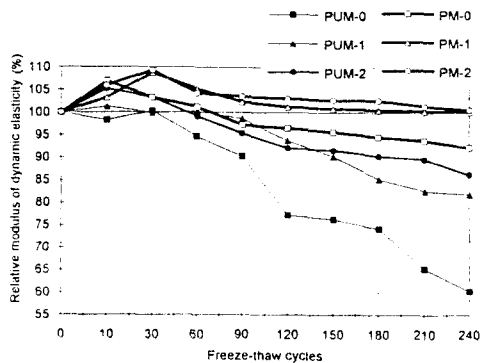


Fig 3. Relationship between relative modulus of dynamic elasticity and freezing and thawing cycle

3-4. 경량 콘크리트의 내구성 지수

이상의 동결융해시험 결과로 부터 식 3에 의해 각 공시체들의 내구성을 평가하면 그림 4와 같다.

$$DF = \frac{P \cdot N}{M} \quad \text{----- (3)}$$

여기서, P : 동결융해 n cycle 에서의 상대동탄성 계수(%)

N : P가 60% 이하가 될때의 동결융해 cycle 수 혹은 P가 시험종료(예를들어 300, 200, 100 cycle)까지에도 60% 이하로 되지 않을 때는 그 cycle 수

M : 시험종료로서 미리 정해놓은 동결융해 cycle 수(본 연구에서는 300 cycle)

그림 4에서 알수 있는 바와 같이 PAE 폴리머의 사용과 섬유혼입율에 따른 각 공시체 Type별 내구성지수 특성을 살펴보면, UM-0 Type에 비해 UM-1의 경우 1.36배, UM-2의 경우 1.43배, M-0의 경우 1.53배, M-1의 경우 1.66배, M-2의 경우 1.67

배 정도로 나타나 섬유혼입율의 증가와 PAE 폴리머의 사용에 따른 동결융해저항성 증대효과를 확인 하였다.

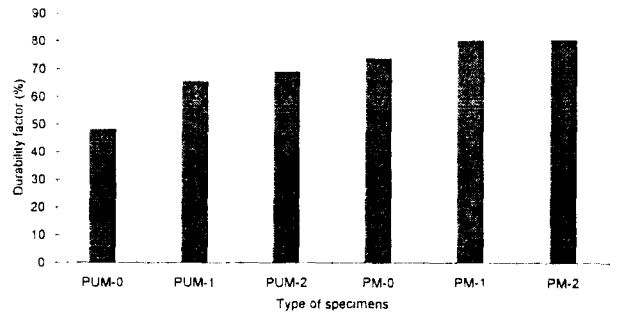


Fig. 4 The durability factor of specimens

4. 결 론

① 본 연구에서 제작된 경량 콘크리트는 재료 자체의 내부에 공극을 다량 함유한 퍼라이트와 각종 애쉬를 사용함에 따라 보통 콘크리트에 비해 동해에 의한 손상정도가 크게 나타나고 있지만, 보강재인 섬유와 개선제인 PAE 폴리머를 사용함에 따라 동결융해저항성을 증진시킬 수 있었다.

② 각 공시체의 동결융해저항성은 동결융해 cycle 증가에 따라 점차 감소되었으며, 보강재인 섬유혼입율이 1% 증가됨에 평가항목에 관계없이 UM-0에 비해 약 1.5배 정도의 개선성능을 보였다.

③ 또한 PAE 폴리머를 사용한 M Type은 섬유혼입율에 관계없이 UM-0에 비해 약 1.8배 이상의 개선효과를 보였고, PAE 폴리머를 사용함에 따라 섬유보강효과가 증대됨을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 岡田 清, 西林新藏 外, 콘크리트의 耐久性, 1986, pp.17-47.
2. 소양섭, 동해를 입은 AE콘크리트에 관한 연구, 전북대학교, 박사학위논문, 1986.
3. 鎌田英治, 凍結作用お受けたコンクリートの舉動と細孔構造, セメント 콘クリート, No.480, June. 1985, pp.28-35.
4. 鎌田英治, セメント硬化體の微細構造とコンクリートの凍害, 콘크리트工学, V.19, No.11, 1981, pp.36-42.
5. 소형석, 합성 아크릴계 폴리머를 이용한 폴리머 콘크리트 개발에 관한 연구, 전북대학교, 석사학위논문, 1994.