

투수성 콘크리트의 동결융해 저항성에 관한 연구

A Study on the Freeze - Thaw Resistance of Water-permeable Concretes

은재기* 김완기** 소양섭***
Eun, Jae-Ki Kim, Wan-Ki Soh, Yang-Seob

Abstract

The purpose of this study is to examine the resistance of water-permeable concretes to freezing and thawing action. The water-permeable concretes with cement-aggregate ratio of 1:5.5(by weight) and two kinds of admixture content [SP : superplasticizer (0, 1.0%), HPAE : high performance air entraining agent(0.5, 1%)] used OPC(ordinary portland cement) as binder were prepared, and then tested for relative dynamic modulus of elasticity, mass change, length change and durability factor. It's been concluded from the test results that the superior relative dynamic modulus of elasticity and durability factor of water-permeable concretes were obtained at superplasticizer 1.0% after 300 cycles. The water-permeable concretes used superplasticizer 1.0% having relative durability factor of 88% after 300 cycles.

1. 서론

환경보전에 대한 인식이 전세계적으로 확산되어지고 있는 가운데 기존의 구조용 재료로서의 콘크리트에서 환경친화적인 재료로의 전환이 이루어지고 있다. 그 중에서 다공질의 투수성 콘크리트에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 가운데 투수성 콘크리트의 공극에 식물을 배양한 형태를 취하거나 호안정지 작업, 도로면 사면정지처리, 콘크리트 흡음벽, 해양양식용 인공어초, 수질 및 대기오염 정화블록 등에 이용되고 있다^{1), 2)}. 본 실험에 앞서서 현장적용 투수성 콘크리트를 제작하여 그 물성을 파악하였고 30kg/cm², 145kg/cm², 1.67cm/s의 휨강도, 압축강도, 투수계수를 가지는 배합비를 선정하여 동결융해시험을 실시하였다.³⁾

본 연구의 목적은 동결융해하에서 수분에 의한 팽창작용을 받는 투수성 콘크리트의 길이변화율, 중량 변화율, 동탄성계수를 측정하여 동결융해에 대한 저항성을 가지는 적정배합비를 제시하고자 하는데 그 목적이 있다.

2. 실험개요

2.1.1. 결합재

* 정회원, 전북대학교 건축공학과 석사과정
** 정회원, 전북대학교 건축공학과 강사, 공박, 공업기술연구소
*** 정회원, 전북대학교 건축·도시공학부 교수

결합재로는 국내산 보통포틀랜드시멘트(비중:3.16)를 사용하였다.

2.1.2. 골재

굵은 골재로서 쇄석을 사용하였으며 굵은 골재의 성질을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Properties of Coarse Aggregate

Size(mm)	Specific Gravity	Unit weight(kg/m ³)	Absorbption(%)	Void ratio(%)
13~19	2.6	1640	0.91	36.9

2.1.3. 혼화제

고성능 감수제와 고성능 AE감수제는 국내산 K사와 D사의 폴리칼본산계와 멜라민계통의 제품을 각각 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1. 공시체의 제작

보통포틀랜드 시멘트를 결합재로 사용하고 고성능 감수제 1%, 고성능 AE감수제를 0.5, 1%를 첨가하였다. 골재크기를 13~19mm를 사용하였고 시멘트대 골재비를 1:5.5로 하여 공시체를 제작하였다. 페이스트의 플로우값을 160±5mm조정하였고 일본콘크리트공학협회(JCI) 에코콘크리트 연구위원회의 「포러스콘크리트의 공시체 제작법」에 따라 시멘트 페이스트를 모르타르 믹서로 2분간 비빔을 실시한 후 조골재와 시멘트 페이스트를 강제비빔믹서를 이용하여 3분간 혼합하여 투수성 콘크리트를 제작하였다. 제작한 100×70×410mm몰드에 채워서 다져 성형한 후 2일 습윤양생(20℃, 80%R.H.), 26일 수중양생(20℃)을 실시하여 공시체를 제작하였다. Table 2에 투수성 콘크리트의 배합에 각배합에 있어서의 페이스트의 공기량 및 플로우 값을 나타내었다.

Table 2. Mixing Design of Water-Permeable Concrete and Air Content of Paste

Aggregate Size(mm)	Cement: Aggregate	Type	Cement Paste				Unit Weight(kg/m ³)			
			Admixture Content(%)	W/C (%)	Flow (mm)	Air content (%)	Cement	Aggregate	Water	Admixture
13~19	1 : 5.5	Plain	0	30	158	2.23	298.2	1640	89.5	0
13~19	1 : 5.5	SP*-1	1	23	163	5.67	298.2	1640	68.6	2.98
13~19	1 : 5.5	HPAE**-0.5	0.5	27	156	5.00	298.2	1640	80.5	1.49
13~19	1 : 5.5	HPAE**-1.0	1	22.7	153	7.5	298.2	1640	67.7	2.98

* : Superplasticizer , ** : High Performance Air Entraining Agent

2.2.2. 페이스트의 공기량 시험(질량방법)

KS L 3136(수경성 시멘트 모르타르의 공기량 측정방법)에 따라 시멘트 페이스트의 공기량을 측정한다.

2.2.3 동결융해 시험

ASTM C 666-92 (Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing) 및 KS F 2456-93(급속동결융해에 대한 콘크리트의 저항시험 방법)에 의한 B법(기중에 있어서 급속동결융해)에 의하여 -17.8℃에서 4.4℃의 온도범위에서 공시체의 동결융해시험을 실시한다. KS F 2437(공명진동에 의한 콘크리트의 동탄성계수 및 포아송비의 시험방법)에 따라 상대동탄성계수를 다음식에 의해 산출한다.

$$\text{상대동탄성계수}(\%) = f_o^2/f_n^2 \times 100$$

여기서, f_n : 동결융해 n사이클 후의 가로 1차 진동 주파수(Hz)

f_o : 동결융해 o사이클 후의 가로 1차 진동 주파수(Hz)

동결융해 n사이클에 있어서 공시체의 질량변화율과 길이변화율은 다음식에 의해 구한다.

$$\text{질량 변화율}(\%) = [(W_o - W_n)/W_o] \times 100$$

여기서, W_n : 동결융해 n사이클에 있어서 공시체의 질량(g)

W_o : 동결융해 o사이클에 있어서 공시체의 질량(g)

$$\text{길이변화율}(\%) = \frac{(X_{o1} - X_{o2}) - (X_{n1} - X_{n2})}{L_o} \times 100$$

여기서, L_o : 기준길이

X_{o1}, X_{o2} : 각각 기준으로 한 시점에서의 측정치

X_{n1}, X_{n2} : 각각 시점 I에서의 측정치

그리고 ASTM C 666-92 및 KS F 2456에 규정되어 있는 급속동결융해시험에 대한 내구성지수를 다음 식에 의해 구하여 내구성을 판단한다.

$$\text{내구성지수(DF)} = \frac{P \times N}{M}$$

P : 동결융해 N 사이클에 있어서의 공시체의 상대동탄성계수(%)

N : 상대동탄성계수가 60%에 달하였을 때의 동결융해사이클수 또는 동결융해 사이클수 까지 상대동탄성계수가 60%로 되지 않을 때는 그때의 동결융해 사이클수

M : 동결융해시험을 종료하는 소정의 동결융해 사이클수

3. 실험 결과 및 고찰

3.1. 상대동탄성계수

Figure 1은 혼화제의 종류 및 첨가량을 변화시켜 제작한 투수성 콘크리트의 동결융해 사이클수와 상대동탄성계수와의 관계를 나타낸 것이다. 전체적으로 동결융해사이클수가 증가함에 따라 시멘트페이스트내의 자유수의 동결에 의한 체적팽창에 의해 골재 부착면에서의 열화로 인해 상대동탄성계수가 감

소하였다. Plain의 경우 210사이클까지는 거의 동등한 상대동탄성계수를 나타내지만 그 이후로는 고성능감수제 1.0%와 고성능 AE감수제를 1.0%를 혼화한 경우보다 감소하는 경향을 보이고 있다. 아래의 상대동탄성계수값은 기중급결 동결융해법에 의해 측정되었다. 따라서 콘크리트 내부의 공극은 동결시 얼음에 의한 팽창압을 받지 않고 또한 고성능 감수제 1.0%와 고성능AE감수제를 0.5%, 1.0% 혼화한 경우 23%, 27%, 22.7%의 낮은 물시멘트비로 인해 페이스트중의 수분이 적게 존재하기 때문에 상대동탄성계수가 60%가 되는 점이 200사이클 이상으로서 일반콘크리트에 비해 동결융해 저항성이 크게 나타났다. 고성능 감수제를 1.0% 첨가한 투수성 콘크리트의 상대 동탄성계수는 동결융해 300사이클까지 88%로써 가장 큰 값을 나타냈으며 이때의 페이스트의 공기량은 5.7%로써 고성능 AE감수제를 1.0%첨가했을 때의 공기량 7.5%보다 작지만 비슷한 물시멘트비에서는 5~6%정도의 적당한 페이스트의 공기량이 골재와의 부착면의 동결융해 저항성을 향상시키는 것으로 사료된다.³⁴⁾

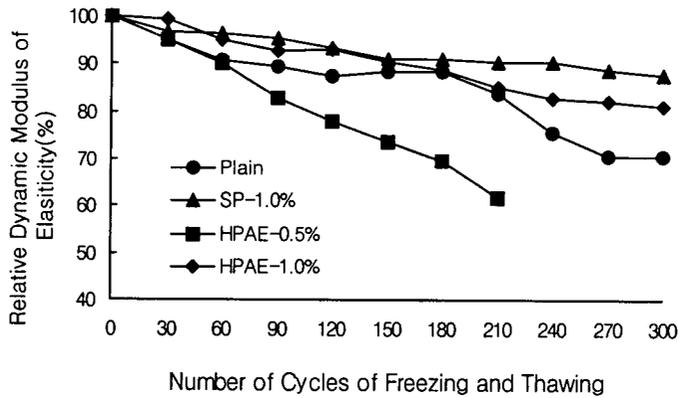


Figure 1. Relative Dynamic Modulus of Elasticity According to Content of Admixture

3.2 질량변화율과 길이변화율

Figure 2는 혼화제의 종류 및 첨가량을 변화시켜 제작한 투수성 콘크리트의 동결융해 사이클수와 질량변화율과의 관계를 나타낸 것이다. 전체적으로 골재와의 부착면 사이의 페이스트 내부의 얼음에 의한 팽창압에 의한 열화로 인해 동결융해 사이클수가 증가함에 따라 전체질량이 감소하고 있는 경향을 보여주고 있다. 투수성 콘크리트의 질량손실은 동결융해 90사이클에서 전체적으로 커지는 경향을 나타내고 있으며 고성능 AE감수제 0.5%를 혼화했을때의 210사이클에서 상대동탄성계수가 60%가 되었을때 질량감소율은 1.33%로 나타났지만 고성능 감수제 1.0%와 고성능 AE감수제 1.0% 배합에서는 300사이클에서 있어서도 상대동탄성계수가 80%이상으로 나타났다. 이는 동결융해 사이클이 진행됨에 따라 상대동탄성계수와 질량은 감소하는 경향은 나타내지만 상대동탄성계수와 질량감소율은 비례적으로 나타나지는 않은 것을 보여주고 있다.

Figure 3은 혼화제의 종류 및 첨가량을 변화시켜 제작한 투수성 콘크리트의 동결융해 사이클수와 길이변화율과의 관계를 나타낸 것이다. 전체적으로 동결융해 사이클이 진행됨에 따라 얼음에 의한 시멘트 페이스트의 체적팽창에 의한 비회복성의 체적증가로 길이변화율이 증가하는 경향을 보이고 있다.⁵⁾

또한 상대동탄성계수와 길이변화율의 관계는 고성능AE감수제 0.5%를 혼입했을 때 상대동탄성계수가

60%가 되었을 때의 길이변화율이 1.39%로서 가장 크게 증가하였고 상대동탄성계수가 300사이클에서 70%이상인 Plain, 고성능감수제 1.0%, 고성능AE감수제 1.0%를 혼입한 배합에서는 길이변화율이 1.13, 1.03, 0.78%로서 적게 나타났다. 이는 상대동탄성계수의 감소에 따라 길이변화율은 커지는 경향의 관계를 보여주고 있다.

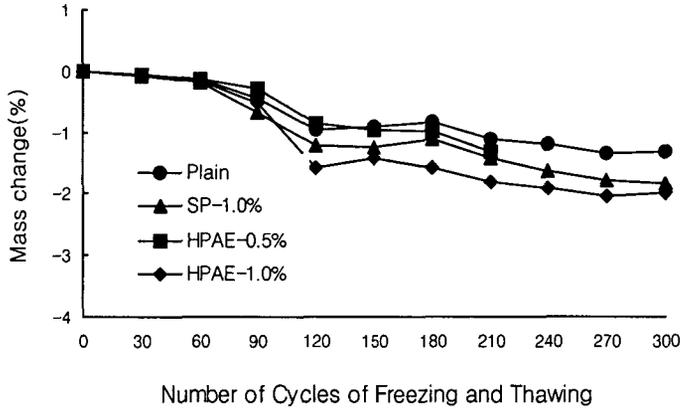


Figure 2. Mass Change According to Content of Admixture

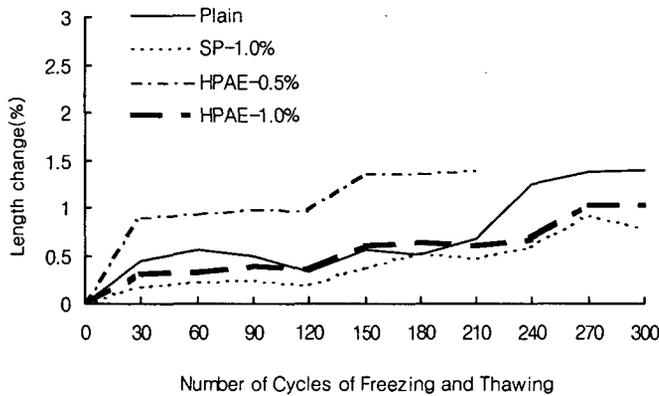


Figure 3. Length Change According to Content of Admixture

3.3 내구성지수

Figure 4는 혼화제의 종류 및 첨가량을 변화시켜 제작한 투수성 콘크리트의 내구성지수를 나타낸 것이다. 4종류의 배합중 고성능감수제를 1.0% 혼입한 배합에서 동결융해시험을 종료하는 300사이클에서 88%높은 값을 나타냈으며 내구성 지수가 고성능AE감수제를 0.5% 혼입한 배합을 제외하고는 내구성 지수의 판단 기준인 60%보다 높게 나타났다.

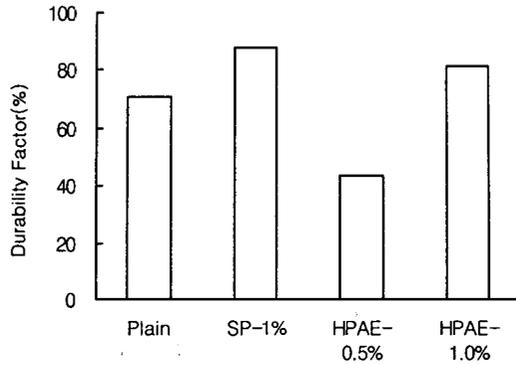


Figure 4. Length Change According to Content of Admixture

4. 결론

고성능감수제와 고성능AE감수제를 혼입하여 제작한 투수성 콘크리트의 상대동탄성계수, 질량변화율, 길이변화율을 측정된 결과는 다음과 같다.

(1) 고성능감수제 1.0%를 첨가한 투수성 콘크리트의 상대동탄성계수는 동결융해 300사이클에서 88%로써 가장 크게 나타났으며 전체적으로 일반콘크리트에 비해 동결융해에 대한 저항성이 큰 것으로 나타났다.

(2) 투수성 콘크리트에 대한 동결융해작용이 진행됨에 따라 전체질량이 감소하였으며 전체길이는 증가하였다. 고성능감수제 1%혼입시 질량감소율 1.83%, 길이변화율 0.78로써 가장 적은 변화량을 나타내었다.

(3) 내구성지수는 300사이클을 완료했을 때 Plain, 고성능감수제1.0%, 고성능감수제 0.5%와 1.0%를 혼입한 투수성 콘크리트에서 각각 70%, 88%, 43%, 81%를 나타내었다.

(4) 투수성 콘크리트의 동결융해에 대한 저항성은 시멘트 페이스트의 적정량의 공기량과 물시멘트비의 저감을 통해 개선을 할수 있으리라 사료된다.

[감사의글]

본 논문은 (주) 자연과 환경의 협력과 지원에 의하여 이루어진 것으로 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 건설교통부, 도로포장 설계시공지침, 1992.
2. 최룡, 김진춘, 신기능콘크리트 - 식생 콘크리트, 콘크리트 학회지, V. 10, N. 6, 1998. 12, pp.11~21
3. 소양섭 외, 현장적용 투수성 콘크리트의 배합조건결정에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트 봄 학술 발표회 논문집, 제 12권 1호, 1999, 5, pp.130~135
3. 한국콘크리트학회, 콘크리트 혼화재료, 기문당, 1997, pp.31-36
4. 한국콘크리트학회, 최신 콘크리트 공학, 기문당, 1997, pp.470-472
5. 포틀랜드시멘트 및 콘크리트, 세진사, 1997, pp.207-213