

폴리머를 이용한 포러스 콘크리트의 동결융해저항성에 관한 연구

이 상 태

청주대학교 산업과학연구소

A Study on the Freeze-Thaw Resistance of Porous Concrete Using Polymer

Lee, Sang Tae

Industrial Science Research Institute, Chongju University.

ABSTRACT

To increase freeze-thaw resistance of porous concrete, this study examined physical properties of polymer by replacing paste used as a binding material with polymer, using unsaturated polyester and epoxy resin, and changing the mixing ratio of polymer.

According to the result of this study, when the mixing ratio of resin paste to aggregates was 11 to 16%, voids volume was 33 to 37% and unit weight was about 1620 to 1720kg/m³. In comparison with previous studies using cement paste, voids volume increased by about 7 to 16%, while unit weight decreased by about 100 to 300kg/m³. Compressive strength was 90 to 155kg/cm² at the age of 7 days, which was 5-40kg/cm² bigger than porous concrete using cement paste. From a viewpoint of freeze-thaw resistance, it was identified that pulse velocity fell by 0.23km/sec, about 7% of the original velocity, when the cycle of freeze-thaw was repeated 300 times. In spite of 300 repetitions of the cycle, relative dynamic modulus of elasticity was more than 60%, which suggested that its freeze-thaw resistance was more excellent compared with the result that relative dynamic modulus of elasticity of porous concrete using cement paste was 60 % or less under the condition of 80 repetitions of freeze-thaw cycle.

Key Words : *Revetment, Concrete for planting vegetation, Unsaturated polyester resin, Epoxy resin.*

Corresponding author : Lee, Sang Tae, Industrial Science Research Institute, Chongju University,
Tel : +82-43-229-8507, E-mail : lst4765@naver.com

Received : 4 April, 2006. **Accepted** : 14 May, 2006.

I. 서 론

우리나라 대부분의 하천은 홍수로 인한 피해의 경감과 경제 발전에 필요한 각종 용수의 확보 및 경제적인 토지활용의 목적으로 하천의 폭은 가능한 한 줄이고 수로는 직선화하여 여름철 집중호우시 유수를 신속히 배출할 수 있도록 공사가 이루어져 왔다(안영희·최경영, 2002). 그리고 하천 호안에는 강도와 내구성이 뛰어난 시멘트 및 콘크리트 재질의 호안블록 제품이 시공되어져 왔다.

그러나 이와 같은 시멘트 및 콘크리트 호안블록은 관리가 용이하고 구조적인 안정성이 뛰어나지만 호안블록위의 복토층과 원지반층이 단절되어 식물생육에 어려움이 존재하는 등 하천 주변의 자연생태계를 파괴하는 문제점이 발생하고 있어 하천의 자연환경을 효율적으로 복원할 수 있는 재료의 개발이 요구되고 있다(안영희·최경영, 2002).

한편, 최근에는 다양한 환경부하저감을 위하여 포러스 콘크리트에 대한 연구 및 적용사례가 증가하고 있다(김무한·김규용·백용관·김재환, 2000; 한천구·이상태, 2003; 日本コンクリート工學協會, 1998). 즉, 포러스 콘크리트는 내부에 연속 공극을 많이 포함하여 물이나 공기가 자유롭게 통과하거나 내부를 포함하는 넓은 표면을 가지고 있다. 이 때문에 투수성이 있고(高橋知生 外, 1992) 흡음성(松尾伸二 外, 1993) 및 수질정화기능이 있고, 인공지반녹화용으로 활용할 수 있으며(이상태·김진선·황정하·한천구, 2000; 한천구·오선교·김진선·이상태, 2001) 열특성이 일반 콘크리트와 다른 특징이 있다(박찬필·古川修文, 2004; 이상태·김진선, 2004; 堀口剛·梅干野他, 1991).

특히, 포러스 콘크리트를 이용한 식생블록과 관련해서는 김진춘(1996) 등에 의하여 다공성 콘크리트의 기초적인 특성과 녹화실험을 수행한 바 있고, 구분학·김용규(1999)는 포러스 콘크리트를 이용한 식생용 콘크리트로의 가능성을 확인하

기 위하여 물리화학적·역학적 특성을 고찰한 바 있다. 그리고 안영희·최경영(2002)은 녹화가 가능한 다공질 식재블록의 제작 및 녹화방안을 수립하기 위한 연구를 수행한 바 있으며, 일본의 콘크리트工學協會(1998)에서는 식생용 포러스 콘크리트의 개념과 구성, 물리적 특성 및 화학적 특성, 식물생육특성 등의 다양한 연구를 수행하였다.

따라서 이러한 식생용 포러스 콘크리트를 하천호안에 사용할 경우는 식물의 뿌리가 블록을 뚫고 원지반에 정착함으로써 원활한 식물생육이 가능하여 하천의 생태계 보호 및 구조적인 안정성 확보에 보다 효과적일 것이다.

그런데 포러스 콘크리트는 연속공극을 다량 함유하고 있어 역학적인 측면에서 강도저하가 우려되고(柳橋邦生·池尾陽作·佐久間護·米澤敏男, 1993), 또한 내구성 측면에서 동결융해저항성이 기존의 연구결과 열악한 것으로 확인되었다(한천구·오선교·이상태·김진선, 2002).

특히, 하천호안과 같은 지역에 노출되어서는 물과 접하는 경우가 많고 때로는 침수되는 경우도 발생하여 겨울철 동결융해와 같은 피해의 발생이 우려된다. 따라서 이에 대한 대응방안으로 포러스 콘크리트 제조시 결합재로 쓰이는 페이스트를 시멘트가 아닌 폴리머로 대체할 경우 강도와 동결융해저항성을 향상시킬 수 있을 것이다(박응모·조영국·소양섭, 1998; 이윤수·주명기, 2002; 최재진·황의환, 2002).

그러므로 본 연구에서는 포러스 콘크리트의 동결융해저항성능을 향상시키고자 결합재로 쓰이는 페이스트를 폴리머로 대체하여 폴리머의 혼입율을 변화시켜 강도 및 동결융해저항성을 검토하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험 재료

1) 결합재

결합재는 국내에서 일반적으로 사용되는 폴리

며 콘크리트의 결합재인 불포화 폴리에스테르 수지 2종과 에폭시 수지 1종으로 하였다. 이때 불포화 폴리에스테르 수지는 국내 A사의 올소타입(Ortho type)으로서 코발트계 경화 촉진제가 첨가되어 있다. 또한 에폭시 수지는 접착성이 다른 수지에 비하여 월등히 높기에 불포화 폴리에스테르 수지와 비교하여 사용하였다. 각 재료의 물리적 성질은 표 1~2와 같다.

2) 충전재 및 골재

충전재는 무기질로서 흡수성이 작은 것을 사용하였다. 즉, 비교적 고가인 폴리머의 사용량을 줄일 목적으로 가격이 저렴하고 구입이 용이한

표 1. 불포화 폴리에스테르 수지의 물리적 성질.

수지 종류	비중 (25℃)	점도 (25℃, mPa·s)	산가	스틸렌 함유량 (%)
P-A	1.12	324	16.9	38.0
P-B	1.23	340	17.0	38.0

표 2. 에폭시 수지의 물리적 성질.

비중 (25℃)	점도 (25℃, poise)	염소량 (wt%)	에폭시 당량 (g/eq)	형태
1.15	1200	1.85	205	무색액상

표 3. 중질 탄산칼슘의 물리·화학적 성질.

물리적 성질						화학적 성질					
비중 (20℃)	흡수율 (%)	단위 수량비 (%)	pH	평균 입경(μm)	No. 325체 잔유율(%)	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Ig. loss
2.75	0.1	0.3	8.8	13	0.03	53.7	0.25	0.09	2.23	0.66	42.4

표 4. 골재의 물리적 성질.

골재 종류	비중	흡수율(%)	조립율	단위용적중량(kg/m ³)	입형판정실적율(%)	마모율(%)
20mm 쇄석	2.69	1.12	6.78	1,560	58.2	17.5

중질 탄산칼슘(Heavy calcium carbonate)을 함유율 0.1% 이하가 되도록 건조시켜 사용하였다. 또한, 골재는 일반적인 쇄석골재를 사용하였다. 각 재료의 물리적 성질은 표 3~4와 같다.

2. 실험 방법

1) 실험요인 및 수준

수지의 종류는 불포화 폴리에스테르 제품 2종(이하 P-A, P-B라 칭함) 및 에폭시의 3개 수준으로 하였고, 골재에 대한 수지의 혼입율(P/G)을 중량비로 11, 13, 16%의 3수준으로 하였다. 표 5는 수지 페이스트의 배합 및 포러스 콘크리트의 배합사항으로 수지의 경화를 위한 경화제와 점성유지를 위하여 중질 탄산칼슘을 혼합하는 것으로 하였다.

2) 실험 방법

골재의 물리적 시험으로 비중과 흡수율은 KS F 2503의 방법으로, 공극율 및 단위용적중량은 각각 KS F 2506 및 KS F 2502의 표준적인 방법으로 실시하였다.

콘크리트의 혼합은 20±3℃의 실험실에서 시멘트 모르타 혼합기를 이용하였으며, 재료투입순서는 골재와 충전재를 투입한 후 저속으로 1분간 건비빔을 행하였고, 다음 폴리머를 넣고 저속으로 1분간 혼합한 후, 고속으로 1분간 비빔하므로

표 5. 폴리머를 이용한 포러스 콘크리트의 배합사항.

기 호	수지 혼입율(%)	경화제 첨가율(%)	목표 공극율(%)	절대용적배합(ℓ/m ³)			중량배합(kg/m ³)		
				수지	탄산칼슘	골재	수지	탄산칼슘	골재
P-A-11	11%	0.5	35	49	40	561	55	111	1,508
P-B-11				45	40	565	56	111	1,518
E-11		30		48	40	562	55	111	1,511
P-A-13	13%	0.5		57	46	547	64	127	1,471
P-B-13				52	47	551	64	128	1,482
E-13		30		56	46	548	64	128	1,474
P-A-16	16%	0.5		68	55	527	76	151	1,419
P-B-16				62	56	532	76	153	1,432
E-16		30		66	55	529	76	152	1,423

※ 기호의 맨 앞 P와 E는 각각 불포화 폴리에스테르와 에폭시를 의미하며, P의 경우 중간의 A와 B는 제조사를 의미하고, 맨 끝의 숫자는 골재에 대한 수지의 혼입율을 의미함.

써 혼합을 완료하고 배출하였다.

단위용적중량 및 공극율 시험은 경화 콘크리트 상태의 공시체를 이용하여 체적과 중량을 측정하여 KS F 2505에 준하여 시험하였다.

경화수축 시험은 Ohama-Demura 방법에 의해 실시하였다. 즉, 시험체의 크기는 7×7×32cm이고, 정밀도 0.005mm인 변위센서(LVDT)를 제작된 실험체 양끝에 각각 설치하였으며, 변위값은 스트레인 게이지(strain gage)를 공시체에 부착하여 데이터 로거(data logger)를 통하여 측정하였다. 타설후 매 10분 단위로 24시간 측정하였고, 측정시 온도는 25±3℃이며 습도는 60±5%를 나타내었다.

압축강도 시험은 Φ10×20cm인 원추형 공시체를 제작하여 KS F 2481에 규정된 방법에 따라 실시하였다. 이때 측정재령은 수지의 경화가 시멘트 페이스트보다 빠르고 일정시간 이후의 강도 증진이 없으므로 1일, 3일, 7일로 하였다.

동결융해시험은 KS F 2456(급속 동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법)에서 정하고 있는 방법에 따랐다. 즉, 공시체를 제작하고 공기중에서 14일간 양생시킨 후 시험을 실시하였는데,

시험은 공시체의 온도를 동결 완료시 -18±2℃, 융해 완료시 5±2℃가 되도록 하였고, 동결융해의 1사이클을 3시간으로 하였다. 시험동안 매 50 사이클 간격으로 동결융해저항성을 측정하였으며, 동결융해의 반복이 300사이클이 되었을 때 시험을 완료하였다.

각 실험항목에서의 데이터는 공시체를 3개씩 제작하여 그 측정치의 평균값을 구하여 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 공극율 및 단위용적중량

그림 1은 폴리머를 이용한 포러스 콘크리트의 수지 혼입율 변화에 따른 공극율을 수지의 종류별로 나타낸 그래프이다.

수지 종류별 공극율은 불포화 폴리에스테르 B가 가장 작고, 에폭시 수지가 그 다음이며, 불포화 폴리에스테르 A가 가장 크게 나타났는데, 약 33~37%의 범위로 확인되었다. 또한, 수지 혼입율 1% 증가에 따른 콘크리트의 공극율은 수지의 종류에 관계없이 약 0.6~0.8% 감소하는 것으로 분석되었다.

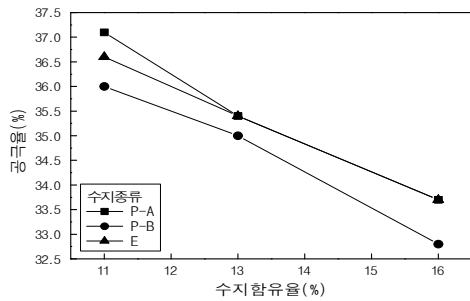


그림 1. 수지 혼입율 변화에 따른 공극율.

그림 2는 공극율의 분석과 동일한 요령으로 단위용적중량을 나타낸 그래프이다.

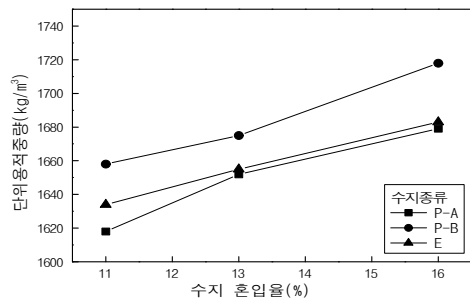


그림 2. 수지 혼입율 변화에 따른 단위용적중량.

수지 종류별 단위용적중량은 수지의 비중차에 기인하여 불포화 폴리에스테르 B가 약 1660~1720kg/m³로 가장 크고, 그 다음이 에폭시 수지로 약 1630~1680kg/m³이며, 불포화 폴리에스테르 A가 약 1620~1680kg/m³로 가장 작게 나타났다. 또한, 수지 혼입율 1% 증가시 단위용적중량의 변화 경향을 분석하면 수지의 종류에 관계없이 평균적으로 약 10kg/m³정도 증가하는 것으로 분석되었다.

한편, 시멘트 페이스트를 이용한 포러스 콘크리트의 기존연구(이상태·김진선·황정하·한천구, 2000)에서는 페이스트 골재비가 20~40%의 범위일 때 공극율은 약 17~30%, 단위용적중량은 약 1700~2000kg/m³ 정도로 확인된 바 있다. 따라서 이와 비교하여 볼 때 본 연구에서 공극율은 약 7~16% 크게 나타났고, 단위용적중량은

약 100~300kg/m³ 정도 작게 확인되었다.

2. 압축강도

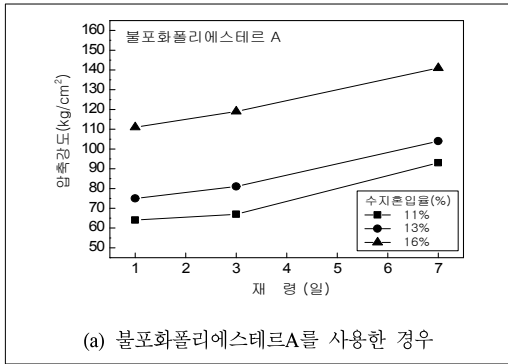
그림 3은 포러스 콘크리트의 수지 혼입율별 재령경과에 따른 압축강도의 변화경향을 꺾은선 그래프로 나타낸 것이다.

전반적인 경향으로 불포화 폴리에스테르 A를 사용한 경우는 재령경과 및 수지 혼입율의 증가에 비례하여 압축강도가 증가하는 것으로 나타났는데, 재령경과에 따른 증가경향은 비교적 일정한 것으로 분석되나 수지의 혼입율 변화에 따라서는 16%에서 급격한 압축강도의 증가를 나타내었다. 또한, 7일에서의 압축강도는 수지 혼입율 11~13%의 경우 90~100kg/cm²를 발휘하고 있으며, 수지 혼입율 16%에서는 약 140kg/cm² 정도를 발휘하였다.

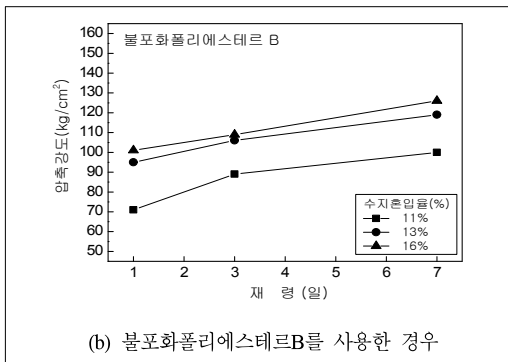
불포화 폴리에스테르 B를 사용한 경우는 불포화 폴리에스테르 A의 경우와 마찬가지로 재령경과 및 수지 혼입율의 증가에 비례하여 증가하는 것으로 나타났는데, 재령경과에 따른 압축강도의 증가경향은 비교적 일정한 것으로 분석되나 수지의 혼입율 변화에 따라서는 13%까지 급격한 강도증가를 나타내었고 그 이후의 혼입율에서는 강도증진이 작은 것으로 나타났다. 7일에서의 압축강도는 수지 혼입율 11%의 경우 95kg/cm² 정도를 발휘하고 있으며, 수지 혼입율 13~16%에서는 약 120kg/cm² 정도를 발휘하였다.

에폭시를 사용한 경우는 수지 혼입율별로 뚜렷한 강도차이를 보였는데, 7일 압축강도는 혼입율 11%에서 105kg/cm² 정도, 13%에서는 130kg/cm² 정도, 16%에서는 155kg/cm² 정도를 발휘하였다.

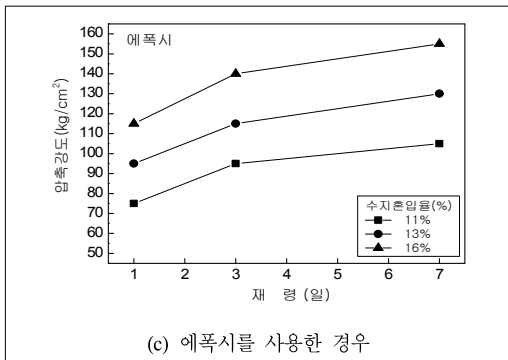
한편, 기존의 시멘트 페이스트를 이용한 연구에서 안영희·최경영(2002)은 압축강도가 84~127kg/cm² 로 확인된 바 있다. 또한, 이상태·김진선·황정하·한천구(2000) 등에서는 압축강도가 약 50~150kg/cm² 정도로 나타난 바 있어 본 연구결과가 약 5~40kg/cm² 정도 크게 나타났음을 알 수 있었다.



(a) 불포화폴리에스테르A를 사용한 경우



(b) 불포화폴리에스테르B를 사용한 경우



(c) 에폭시를 사용한 경우

그림 3. 수지 혼입률별 재령경과에 따른 압축강도.

3. 경화수축

그림 4는 포러스 콘크리트의 경화과정에서 경과시간에 따라 발생하는 경화수축을 꺾은선 그래프로 나타낸 것이다. 단, 측정은 불포화 폴리에스테르 A에 대하여만 실시하였다.

전반적인 경향으로 수지의 혼입률이 클수록 경화수축도 큰 것으로 나타났고, 1일 경과후의 경화수축량은 약 5×10^{-4} 정도로 확인되었다.

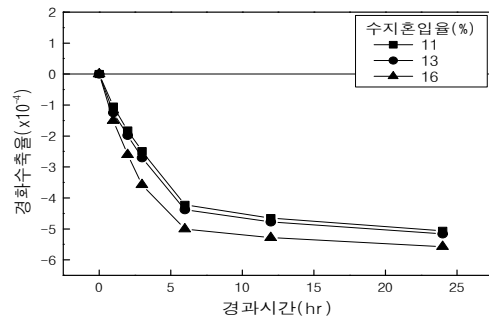


그림 4. 경과시간에 따른 경화수축률.

4. 동결융해 저항성

1) 초음파 전파속도

그림 5는 동결융해의 반복에 따른 포러스 콘크리트의 초음파 전파속도를 수지의 종류 및 혼입률별로 구분하여 꺾은선 그래프로 나타낸 것이다.

수지 종류별 초음파 전파속도는 에폭시 수지가 가장 크고 불포화 폴리에스테르 A가 그 다음이며 불포화 폴리에스테르 B가 가장 작은 것으로 나타났다. 또한, 동결융해를 시작하기 전에는 수지의 혼입률이 큰 경우 초음파 전파속도는 빠른 것으로 나타났으며, 동결융해의 반복에 따라서는 감소하는 것으로 나타났는데, 수지의 혼입률이 증가할수록 약간의 차이는 있지만 약간 크게 감소하는 것으로 나타났다.

이의 원인으로 동결융해의 반복에 따라 수지 페이스트 자체는 흡수성이 거의 없어 동결융해의 피해를 입지 않을 것으로 사료되나 포러스 콘크리트의 구조상 연속공극에 포함된 물이 동결융해의 과정에서 팽창 수축을 반복하면서 골재계면을 연결하고 있는 폴리머도 압축과 인장 응력을 반복적으로 받게 되어 폴리머 자체의 구조가 이완되어 초음파 전파속도가 늦어지는 것으로 분석되었다.

수지의 구분없이 고찰할 때 동결융해 사이클 300회를 반복할 경우 동결융해를 받지 않은 상태에서의 초음파속도에 비하여 약 7%에 해당하는 0.23km/sec정도가 저하하는 것으로 분석되었다.

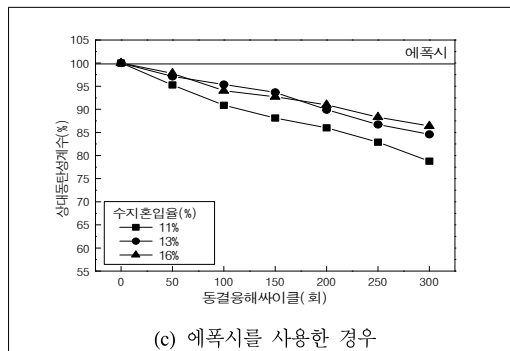
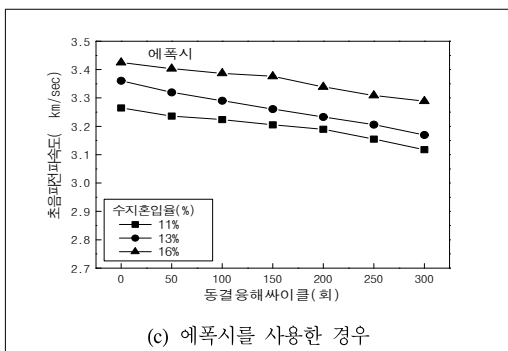
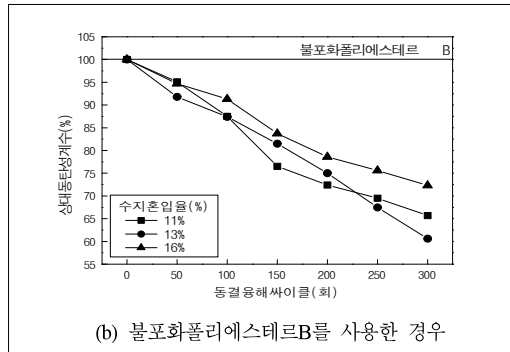
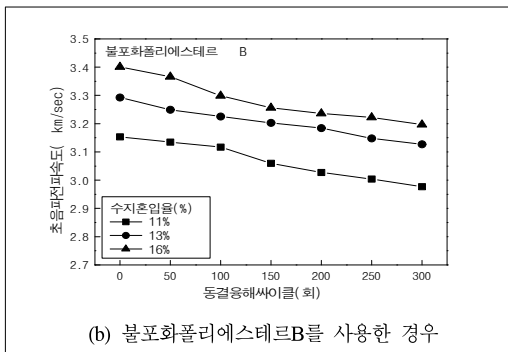
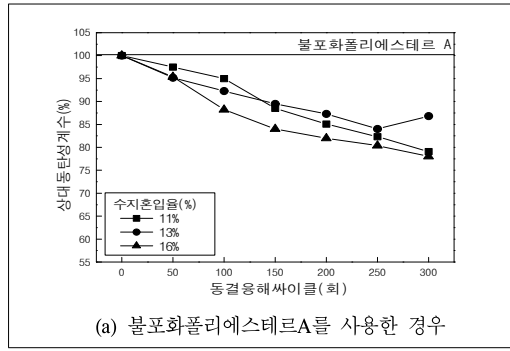
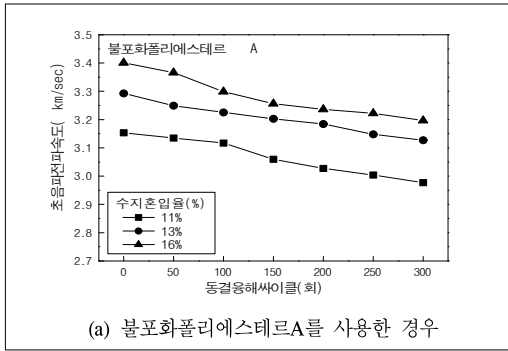


그림 5. 동결융해의 반복에 따른 초음파전파속도.

그림 6. 동결융해의 반복에 따른 상대동탄성계수.

2) 상대동탄성계수

그림 6은 동결융해의 반복에 따른 포러스 콘크리트의 상대동탄성계수를 수지의 종류 및 혼입율 별로 구분하여 꺾은선 그래프로 나타낸 것이다.

전반적인 경향으로 동결융해의 반복에 따른 상대동탄성계수는 비례적으로 저하하는 것으로 나타났고, 수지 혼입율별로는 약간의 차이가 있으나 전체적으로는 수지의 혼입율이 클수록 상대동탄성계수의 저하가 작은 것으로 나타났다. 수

지 종류별로는 300회의 동결융해가 끝난 경우 에폭시의 경우가 평균 83% 정도로 가장 우수하고, 불포화 폴리에스테르 A가 81% 정도, 불포화 폴리에스테르 B가 66% 정도로 나타났다.

특히, 기존의 시멘트 페이스트를 이용한 포러스 콘크리트의 연구(한천구 · 오선교 · 이상태 · 김진선, 2002)에서 시멘트 페이스트 골재비를 30%로 한 경우 동결융해 사이클 80회에서 상대동탄성계수가 60% 이하로 떨어지는 것에 비하여

본 폴리머를 이용한 포러스 콘크리트의 동결융해에 대한 저항성은 월등히 우수한 수준으로 평가되었다.

IV. 결 론

본 연구에서는 포러스 콘크리트의 동결융해저항성능을 향상시키고자 결합재를 폴리머로 대체하는 것에 착안하여 수지의 종류를 불포화 폴리에스테르 2종 및 에폭시 수지의 3종으로, 골재에 대한 폴리머의 혼입율을 변화시켜 강도 및 동결융해저항성 등을 검토하였다.

1. 폴리머를 이용한 포러스 콘크리트는 수지 혼입율 11~16%에서 공극율은 약 33~37%의 범위로 나타났으며, 단위용적중량은 약 1620~1720kg/m³로 나타났다. 이는 시멘트 페이스트를 이용한 기존연구와 비교할 때 공극율은 약 7~16% 크게, 단위용적중량은 약 100~300kg/m³ 정도 작게 나타남을 알 수 있었다.

2. 압축강도는 재령경과 및 수지 혼입율의 증가에 비례하여 증가하는 것으로 나타났는데, 7일 재령에서 90~155kg/cm²를 발휘하고 있어 시멘트 페이스트를 이용한 포러스 콘크리트보다 약 5~40kg/cm² 정도 큰 것으로 확인되었다.

3. 경화수축은 수지 혼입율에 비례하는 것으로 나타났는데, 본 연구조건의 범위에서 1일 경과후의 경화수축량은 약 5×10⁻⁴정도로 확인되었다.

4. 동결융해저항성 측면에서 폴리머를 이용한 포러스 콘크리트의 초음파 전파속도는 동결융해 사이클 300회를 반복할 경우 약 7%에 해당하는 0.23km/sec정도가 저하하는 것으로 확인되었다.

5. 상대동탄성계수는 동결융해 300사이클의 반복에도 불구하고 모두 60%를 상회하였다. 이는 기존 시멘트 페이스트를 이용한 포러스 콘크리트가 동결융해 사이클 80회에서 상대동탄성계수가 60% 이하로 나타난 것에 비하여 우수한 동결융해저항성이 발휘됨을 확인하였다.

6. 본 연구는 포러스 콘크리트의 물리적 특성

을 실험실 내에서 제한된 조건으로 수행한 점과 식물생육 측면이나 현장적용과 관련된 부분에 한계를 지니고 있다. 따라서 향후의 연구로는 식물생육에 대한 실험실 및 현장적용 실험이 필요하고, 또한 실무현장으로의 도입과 관련하여 현장적용성, 경제성 및 시공성 등에 대한 후속 연구가 진행되어야 할 것이다.

인 용 문 헌

- 구본학 · 김용규. 1999. 다공질 콘크리트를 이용한 식생용 콘크리트 특성 - 다공질 콘크리트의 물리화학적 특성을 중심으로-. 한국환경복원녹화기술학회지 2(2) : 62-69.
- 김무한 · 김규용 · 백용관 · 김재환. 2000. 포러스 콘크리트의 배합요인 및 골재 혼합비율이 강도 및 투수성능에 미치는 영향. 콘크리트학회논문집 12(6) : 91-98.
- 김진춘 · 김기수 · 최광일 · 오희갑. 1996. 다공성 콘크리트의 기초적 특성과 녹화실험. 한국콘크리트학회 학술발표논문집 8(1) : 153-159.
- 박응모 · 조영국 · 소양섭. 1998. 투수성 폴리머 콘크리트의 물성과 투수성능에 관한 연구. 콘크리트학회지 10(6) : 213-222.
- 박찬필 · 古川修文. 2004. 옥상녹화에 따른 콘크리트 건축물의 열환경 개선효과 - 일사차폐 블록과 잔디를 대상으로-. 한국환경복원녹화기술학회지 7(3) : 1-9.
- 안영희 · 최경영. 2002. 녹화용 다공질 식재 블록의 개발. 한국환경복원녹화기술학회지 5(4) : 1-9.
- 이윤수 · 주명기. 2002. 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 기공적 성질. 콘크리트학회논문집 14(3) : 402-408.
- 이상태 · 김진선. 2004. 잔디(*Zoysia japonica* Steud) 식재블럭에 의한 옥상녹화지에서의 실내외 온도변화. 한국환경복원녹화기술학회지 7(6) : 54-60.

- 이상태 · 김진선 · 황정하 · 한천구. 2000. 건물옥상 식재용 콘크리트 공법의 개발. 한국조경학회지 28(5) : 48-57.
- 최재진 · 황의환. 2002. 투수성 폴리머 콘크리트의 물리적 성질. 콘크리트학회논문집 14(1) : 41-48.
- 한천구 · 오선교 · 김진선 · 이상태. 2001. 재생골재를 이용한 건물옥상 식재용 콘크리트공법의 개발. 대한건축학회논문집 17(1) : 91-98.
- 한천구 · 오선교 · 이상태 · 김진선. 2002. 재생골재를 이용한 식재용 콘크리트의 물리적 특성. 콘크리트학회논문집 14(1) : 16-23.
- 한천구 · 이상태. 2003. 재생골재를 이용한 포러스 콘크리트. 콘크리트학회지 15(2) : 46-51.
- 堀口剛 · 梅干野他. 1991. 屋上芝生植栽の熱的特性に関する實驗研究. 日本建築學會大會學術講演梗概集 : 927-928.
- 高橋知生 外. 1992. 透水性コンクリートの開發. コンクリト工學年次論文報告集 14 : 351-356.
- 柳橋邦生 · 池尾陽作 · 佐久問護 · 米澤敏男. 1993. 綠化コンクリートの研究-連續空隙硬化体の壓縮強度,空隙率およびアルカリ溶出量の評價. 日本建築學會大會學術講演梗概集 : 933-934.
- 松尾伸二 外. 1993. 透水コンクリートの透水・透濕・吸音特性. 콘크리트工學年次論文報告集 15 : 525-530.
- 日本コンクリト工學協會. 1998. エココンクリト特輯. 콘크리트工學 36(3) : 6-62.