

투수성을 개선시키기 위해 인공투수관 및 분말형 폴리머 VAE를 사용한 투수블록의 특성

Properties of Permeable Block using Artificial Permeable Pipe and Polymer Powder VAE to Improve Permeability

유 병 용¹

이 원 규²

편 수 정²

김 대 연²

이 상 수^{3*}

Yoo, Beong-Young¹ Lee, Won-Gyu² Pyeon, Su-Jeong² Kim, Dea-Yeon² Lee, Sang-Soo^{3*}

Representative Director, SAMI C&G, Chadong-ro, Sagok-myeon, Gongju, 32523, Korea¹

Master's Course, Department of Architectural Engineering, Hanbat National University, Yuseing-Gu, Daejeon, 34158, Korea²

Professor, Department of Architectural Engineering, Hanbat National University, Yuseing-Gu, Daejeon, 34158, Korea³

Abstract

Since 1960, Korea the town center was developed intensively due to rapid industrial development. As a result of the development, the population was concentrated in urban areas and the green area was decreased. Due to the decrease of the green area, the circulation system of the rainwater was changed, hence the rainwater was not introduced into the groundwater., On the other hand, the water on the surface of the road was changed into the water for flowing to the river and evaporation. The changes in the water flow cause many problems, and the depletion of the groundwater does not create an environment in which microorganisms and plants can live. in Korea, permeable pavement construction is increased to solve these problems, but existing pavement blocks have many problems. The pores of the permeable block are clogged due to the accumulation of dust or whitening phenomenon, and the permeability is lost. In this study, the solution of the problems of existing permeable block were suggested by using polymer and artificial permeable pipe, and strength, permeability and service life are increased, The relationship between the substitution rate of the polymer and the mixing ratio of the artificial permeable pipe was analyzed.

Keywords : permeable block, artificial permeable pipe, polymer-vae, underground water

1. 서 론

1.1 연구배경

최근 우리나라는 1960년대 이후 급격한 산업발달로 인해 도심지의 개발이 진행되었다. 그로인해 도심의 개발이 되고 인구가 도심지로 밀집하게 되었으며, 도심지의 인구 증가

및 주거공간의 고밀도화, 고층건물들의 면적은 증가하여 녹지 면적은 감소하게 되었다[1]. 녹지 면적의 감소로 인해 빗물의 순환구조가 변화되어 과거에는 지하수로 유입되거나 증발이 되는 빗물의 흐름이었지만, 현재는 지하수로 유입이 거의 되지 않고 도로의 표면에 고이거나 증발, 하천으로 유입 되는 흐름으로 변화되었다. 빗물의 흐름 변화는 많은 환경적 문제점을 초래하고 있다. 그 예로 우리나라의 연평균 강수량은 높지만 한 계절에 집중되고 수자원의 저장능력이 미흡하여 대부분의 빗물이 지하수로 유입되지 않고 바다나 하천으로 유입된다. 이러한 현상으로 현재 우리나라는 물 부족 국가로 분류되고 있는 실정이다. 지하수로 유입되지

Received : July 17, 2018

Revision received : August 8, 2018

Accepted : September 27, 2018

* Corresponding author : Lee, Sang-Soo

[Tel: 82-42-821-1118, E-mail: sslee111@hanbat.ac.kr]

©2018 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

않는 빗물로 인해 지하수가 고갈되는 현상이 발생하고 미생물과 식물들이 서식할 수 있는 환경이 조성되지 않고 있다 [2,3]. 녹지 면적 감소, 대기오염, 생태계 파괴, 열섬현상 등의 환경문제가 심각하게 대두되고 있으며, 환경보존을 위한 연구가 되고 있다[4].

우리나라의 도로, 인도는 불투수성 포장체와 투수성 포장체로 구분이 가능하며, 주로 불투수성 포장체를 사용하고 있다. 불투수성 포장체를 사용할 경우, 빗물이 지하수로 유입되지 못하고 폭우 시 하천으로 유입되어 도심형 홍수 피해를 초래할 수 있다. 또한, 도로 표면에 물이 고이게 되어 미끄럼저항성이 저하되어 교통사고의 문제도 제기되고 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위한 방법으로 투수성 포장체인 투수블록을 도로 및 보도에 설치하여 빗물이 자연스럽게 지하로 스며드는 효과를 기대할 수 있다. 그러나 시중의 투수블록 제품들은 보도, 주차장, 광장 등에서 경하중의 용도에서만 사용하고 있다[5,6]. 투수블록의 투수능력 상실되는 이유 중 먼저나 불순물들이 투수블록의 공극 사이에 끼어서 빠지지 않고 쌓이게 되어 투수능력을 상실하게 된다. 또 다른 이유는 빗물이 대기 중의 산성성분이 용해되어 산성수가 투수블록에 침투하여 시멘트 성분과 화학반응에 의해 백화현상이 발생하여 공극을 막아 투수능력을 상실시킨다[7]. 이에 대한 문제점들을 해결하기 위한 연구가 필요한 실정이다.

1.2 연구목적

본 연구에서는 인공투수관을 이용하여 먼저나 불순물들에 의해 공극이 막히는 것을 방지하며, 투수율을 향상시켜 빗물의 배출 능력을 향상시키고자 한다. 또한, 기존의 투수블록에서 가장 큰 문제로 지적되던 백화현상을 방지하기 위해 시멘트 사용량을 저감시킴에 따라 강도 저하를 고려하여 폴리머를 치환해 강도를 증진시킬 기대효과를 가진다. 폴리머를 치환하여 만든 투수블록은 밀도, 흡수율, 휨강도 및 압축강도, 공극률, 투수계수 시험 등을 통하여 폴리머-시멘트 비율과 인공투수관의 혼입율에 대한 관계를 분석하였다.

1.3 폴리머의 매커니즘

폴리머 시멘트 콘크리트 및 모르타르가 경화될 때는 시멘트의 수화와 폴리머 필름의 형성이 동시에 진행되어 폴리머의 망상구조를 포함한 일체화된 매트릭스 상, 즉 ‘유·무기 하이브리드 결합재 상’이 형성된다.

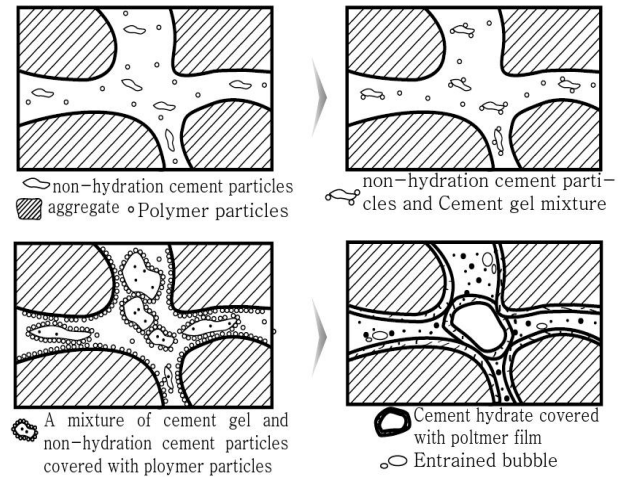


Figure 1. Polymer matrix

Figure 1은 형성 과정의 모델이다. 이러한 과정을 거쳐 골재가 강고하게 결합되면서 콘크리트 및 모르타르의 성질이 큰 폭으로 개선된다[8].

2. 실험계획

2.1 실험 I (폴리머 치환율에 따른 특성 검토)

2.1.1 실험계획

기존의 투수블록은 시멘트 기반으로 제작 되었었다. 본 실험에서는 시멘트 사용량을 줄이기 위해 시멘트 대신 분말형 폴리머 VAE(Vinyl Acetate-Ethylene)를 치환하여 사용한 투수블록의 특성을 확인하기 위해 실험을 진행하였다. VAE의 특성은 Table 1과 같다.

W/B비는 20%로 고정하였으며, 결합재는 일반 1종 보통 포틀랜드 시멘트와 폴리머 VAE를 사용하였다. 결합재와 골재의 비율은 1:5로 고정하였으며, VAE의 치환율은 10~20% 범위 내에서 2%씩 증가시켜 실험을 진행하였다. 양생조건은 항온항습양생(온도 20±2℃, 습도80 ±5%)으로 진행하였으며, 휨강도 및 압축강도는 각 KS F 4419 「보차도용 콘크리트 인터록킹 블록, KS L ISO 679 「시멘트의 강도 시험방법」에 의거하여 재령 3, 7, 28(일)에 측정하였다. 7일 재령 후에 밀도 및 흡수율, 공극률, 투수계수 시험은 KS F 4419에 의거하여 진행하였다. 이에 따른 기초실험의 요인 및 수준은 다음 Table 2와 같다[9,10].

Table 1. Properties of polymer VAE

Protective colloi	ash (%)	Bulk density(g/ml)	Solid content(%)	pH	Viscosity (cp,25°C, 10rpm)
Poly vibyl alcohol	10 ±2	0.5	99±1	7	4,000

Table 2. Experimental plan

Experimental factor	Experimental level	Remark
W/B	20 (wt.%)	1
Binder:aggregate	1 : 5	1
Binder	C ^{a)} , VAE ^{b)}	2
Replacement ratio of VAE	0, 10, 12, 14, 16, 18, 20 (%)	7
Curing condition	Constant temperature and humidity, (Temperature 20±2°C, Humidity 80±5%)	2
Assessment items	Density, Water absorption, Flexural strength, Compressive strength, Porosity, Permeability coefficient	6

a) C : Cement

b) VAE : Vinyl Acetate-Ethylene

2.1.2 실험결과 및 분석

1) 밀도 및 흡수율

Figure 2는 시멘트 기반 폴리머 치환율에 따른 시험체의 밀도 및 흡수율 특성을 나타낸 것이다. 밀도의 경우 폴리머의 치환율이 증가할수록 밀도는 감소하는 경향을 보이고 있다. 폴리머의 밀도는 약 0.5로 실험 재료 중 가장 낮기 때문에 치환율이 증가할수록 시험체의 밀도가 낮아지는 것으로 판단된다. 흡수율은 폴리머가 건조되면서 골재와 결합재 사이에 자체 필름이 형성되면서 방수효과가 커지면서 흡수율이 감소하는 것으로 판단된다[8].

2) 휨강도 및 압축강도

Figure 3 및 Figure 4는 시멘트 기반 폴리머 치환율에 따른 휨강도와 압축강도를 나타낸 것으로 휨강도 폴리머의 치환율이 증가할수록 강도가 증가하는 경향을 보인다. 치환율 16%에서 재령 28일에 가장 높은 값인 휨강도 5.66MPa로 측정되었다. 압축강도의 경우 일정 수준까지 증가하는 것 같지만 폴리머의 필름은 강도에 영향을 주지 않기 때문에 치환율에 따른 경향은 확실하지 않다.

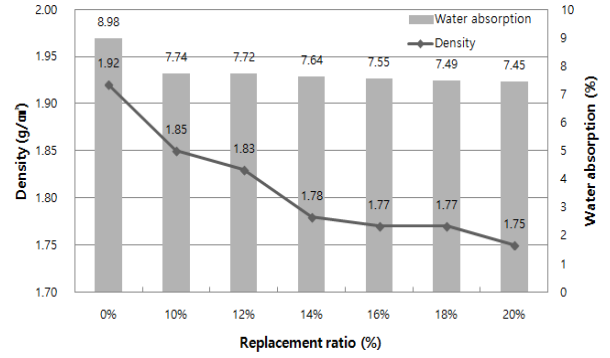


Figure 2. Density and water absorption according to of polymer replacement ratio

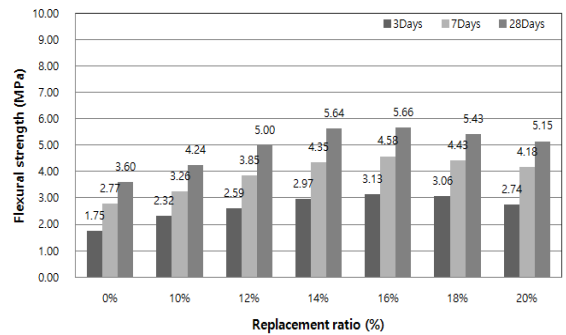


Figure 3 Flexural strength according to of polymer replacement ratio

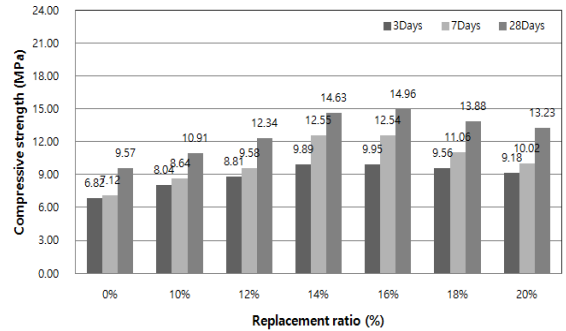


Figure 4. Compressive strength by polymer replacement ratio

이는 투수블록이나 포러스 콘크리트는 배합, 타설, 미장 등의 과정에서 개인차가 높게 나타나며, 실험하는 각 배합에서 동일한 실험하기에 어려움이 있다. 본 실험의 경우 폴리머의 사용으로 도막형성에 따른 강도보강과 피막형성에 따른 보습효과를 통한 압축강도 발현이 이루어진 것으로 사료된다[3]. 폴리머를 사용할 경우 10~15(%) 범위 내에서는

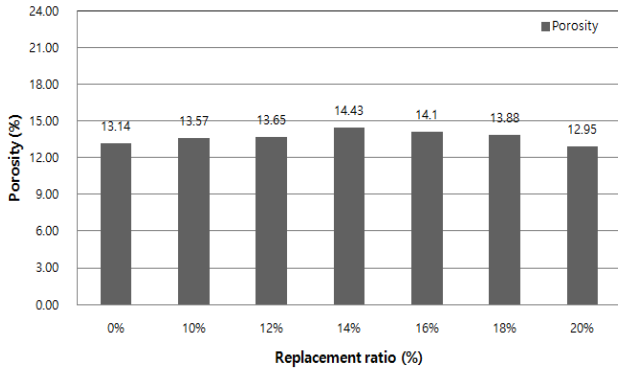


Figure 5. Porosity according to of polymer replacement ratio

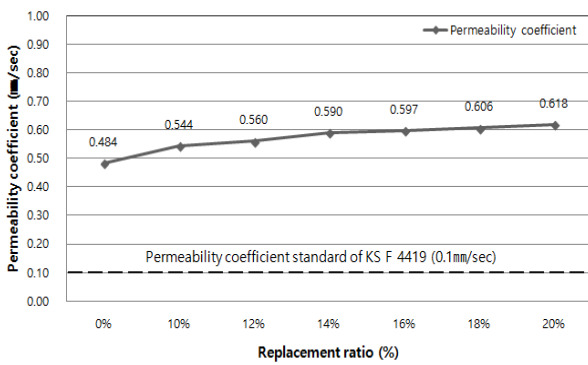


Figure 6. Permeability coefficient according to of polymer replacement ratio

가장 높은 강도를 가지고 20%이후부터는 강도가 저하되는 경향이 일반적이다[3,5].

3) 공극률 및 투수계수

Figure 5는 시멘트 기반 폴리머 치환율에 따른 공극률 특성을 나타낸 것이다. 폴리머 모르타르의 경우 폴리머를 구성하고 있는 유화제에 의하여 연행공기가 발생하여 공극률에 영향을 미친다. 그러나 투수블록의 특성상 시험체를 구성하는 골재의 사용량이 다르기 때문에 폴리머 치환율에 따른 경향이 뚜렷하지 않으며, 시험체의 공극률이 비슷한 값을 나타낸다. 공극률의 기준은 10% 이상으로 시험체 전체가 기준을 만족하였으며, 폴리머 치환율이 증가할수록 공극률이 비교적 감소하는 경향을 보이는 것으로 판단된다.

Figure 6은 시멘트 기반 폴리머 치환율에 따른 투수계수 특성을 나타낸 것으로 폴리머의 치환율이 증가할수록 투수계수가 증가하는 경향을 보인다. 시멘트의 입자크기보다 폴

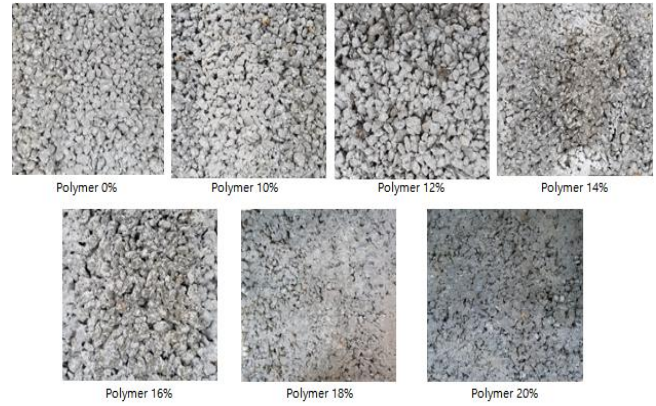


Figure 7. Comparison of efflorescence

리머의 입자가 작고 접착력이 우수하여 시험체의 공극이 증가하는 것으로 판단된다.

KS F 4419의 기준은 0.1mm/sec로 규정되어 있지만, 본 연구에서의 투수계수는 전체적으로 기준을 상회하는 값을 나타내고 있다. Figure 6의 경우 공극률이 16%이후 감소하지만 투수계수는 증가하는 결과 값을 보인다. 폴리머의 사용량이 많아지면서 골재사이에 폴리머 필름이 형성되면서 방수효과가 커지면서 투수계수에 영향을 미치는 것으로 판단되며, 폴리머에 의한 투수계수 증가는 한계가 있기 때문에 공극률 및 투수계수를 추가적으로 향상시키기 위해서 특수 설비나 특수 골재를 넣지 않는 이상 투수율을 높이는 것은 어렵다고 판단된다[8].

4) 백화현상 발생비교

Figure 7은 시멘트 기반 폴리머 치환율에 따른 백화현상의 비교를 위한 사진이다. 백화를 비교 분석하는 방법은 규정되어 있지 않아 시각적으로 확인을 위해 백화를 발생시켰다. 백화를 발생시키기 위하여 24시간 수중양생을 시킨 후, 중성화 챔버에 7일간 넣어 인위적으로 CO₂에 노출시켰다.

그 결과 치환율 0%에서 전체적으로 백화현상이 발생하였으며, 폴리머의 치환율이 증가할수록 백화현상의 발생 빈도가 줄어드는 것을 확인하였다.

2.2 실험 II (인공투수관 혼입율에 따른 폴리머 투수블록의 특성 검토)

2.2.1 실험계획

본 실험에서는 기초실험에서 도출된 최적의 폴리머 치환

율을 기반으로 하여 인공투수관 혼입율에 따른 특성을 확인하기 위한 실험을 진행하였다. W/B와 골재:결합재비는 기초실험과 동일한 조건으로 고정하였으며, 폴리머 VAE 치환율은 10~20(%) 범위 내에서 강도의 차이는 크지 않아 경제성을 고려하여 치환율 14%로 선정하였다. 인공투수관은 혼입율 1, 2, 3(%) 세 가지 수준으로 실험을 진행하였으며, 양생조건은 기초실험과 동일하다. 시험항목은 밀도, 휨강도, 압축강도, 공극률 및 투수계수를 측정하였다.

Table 3. Experimental factor and level

Experimental factor	Experimental level	Remark
W/B	20 (wt.%)	1
Binder:aggregate	1 : 5	1
Binder	C ^{a)} , VAE ^{b)}	2
Replacement ratio of VAE	14 (%)	1
Artificial permeable pipe mixing ratio	1.0, 2.0, 3.0 (%)	3
Curing condition	Constant temperature and humidity, (Temperature 20±2 °C, Humidity 80±5%)	2
Assessment items	Density, Flexural strength, Compressive strength, Porosity, Permeability coefficient	5

a) C : Cement

b) VAE : Vinyl Acetate-Ethylene

본 연구에서 사용된 인공투수관은 원기둥형상의 외주연에 빗물이나 우수의 배수를 위한 나선홈이 형성된 투수관을 혼합골재 개념으로 활용하였다. Figure 8은 일반 투수블록에 인공투수관을 혼입하여 제작한 제품의 형상이며, 플라스틱 재질로 제작하였다.

2.2.2 실험결과 및 분석

1) 밀도

Figure 9는 인공투수관 혼입율에 따른 밀도 특성을 나타낸 것으로 인공투수관의 혼입율이 증가함에 따라 밀도는 감소하는 경향을 보이고 있다. 혼입율 1.0%와 3.0% 비교할 경우 최대 5.5%의 밀도가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과 값은 인공투수관이 약 0.8 정도의 낮은 밀도를 가지고 있지만 부피가 골재의 크기와 비슷하기 때문에 인공투수관의 혼입율이 증가할수록 시험체의 밀도가 감소하는 것으로 판단된다.



Figure 8. Artificial permeable pipe model

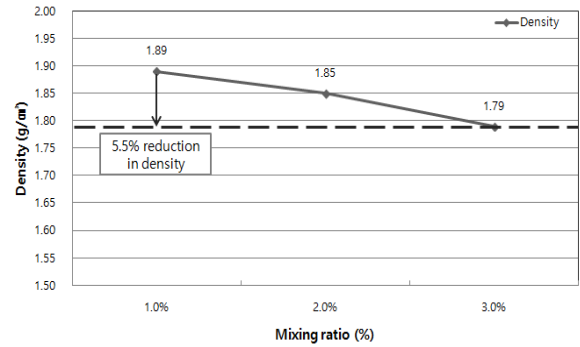


Figure 9. Density according to of mixing ratio artificial permeable pipe

2) 휨강도 및 압축강도

Figure 10 및 Figure 11은 인공투수관 혼입율에 따른 휨강도 및 압축강도를 나타낸 것이며, 휨강도의 경우 인공투수관의 혼입율이 증가할수록 강도가 감소하는 경향을 보이고 있다.

압축강도의 경우에도 휨강도와 마찬가지로 인공투수관의 혼입율이 증가할수록 강도가 감소하는 경향을 보이고 있다. 강도가 감소하는 이유는 인공투수관이 어떠한 재료와도 반응을 하지 않으며, 낮은 밀도와 휨강도에 약한 재료이기 때문에 강도에 영향을 주는 것으로 판단되고, 인공투수관이 그대로 블록에 혼입됨에 따라 강도를 저하시킨 것으로 보인다.

3) 공극률 및 투수계수

Figure 12는 인공투수관 혼입율에 따른 공극률 및 투수계수 특성을 나타낸 것으로 공극률의 경우 인공투수관의 혼입율이 증가함에 따라 공극률이 증가하는 경향을 보이고 있다. Figure 9의 인공투수관의 형태에 의해 투수블록 내에 자리를 잡으면서 골재만 사용하였을 때보다 블록 내부의 공극이 증가하여 공극률이 증가하는 것으로 판단된다.

투수계수는 인공투수관의 혼입율이 증가할수록 증가하는

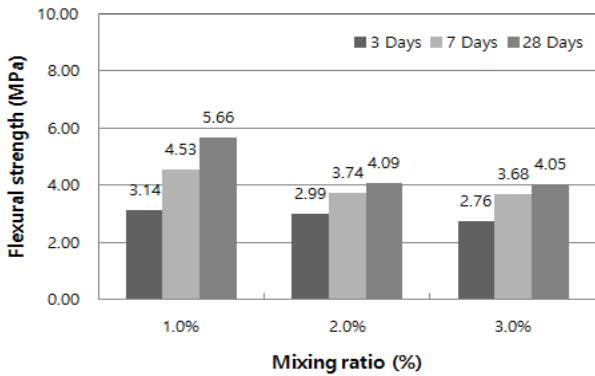


Figure 10. Flexural strength according to of mixing ratio artificial permeable pipe

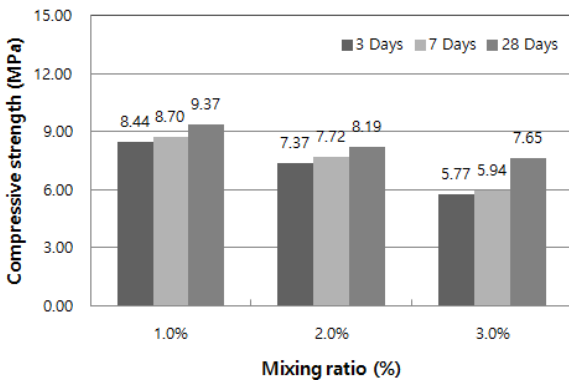


Figure 11. Compressive strength according to of mixing ratio artificial permeable pipe

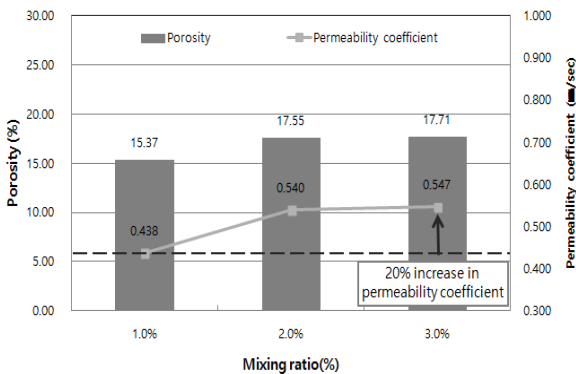


Figure 12. Porosity and permeability coefficient by artificial permeable pipe mixing ratio

경향을 보인다. 1.0%와 3.0%를 비교할 경우 약 20%의 투수 계수가 증가하는 결과 값을 확인할 수 있다. 인공투수관의 특수한 형태로 인해 기존 투수블록보다 투수성이 개선되는 것으로 판단된다.

3. 결 론

본 연구는 폴리머 치환 및 인공투수관을 활용한 폴리머 투수블록의 특성 평가에 대한 것이다. 폴리머와 시멘트의 적정 혼입비율을 확인하기 위해 폴리머의 치환율에 대한 기초실험을 진행하였으며, 인공투수관을 혼입함으로써 이에 대한 성능을 확인하고자 하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

3.1 폴리머의 치환율에 따른 특성

- 1) 폴리머의 치환율이 증가함에 따라 밀도 및 흡수율은 감소하는 경향을 나타내었다.
- 2) 폴리머의 치환율이 증가함에 따라 휨강도 및 압축강도는 증가하는 경향을 보이지만, 치환율 18%이후부터는 강도가 감소하는 경향을 보인다. 치환율 16%에서 휨강도 5.66MPa, 압축강도 17.22MPa로 가장 높은 값을 나타내었다.
- 3) 공극률은 폴리머 치환율 14%에서 가장 높은 14.43%의 결과 값을 나타내었으며, 치환율 20%에서 12.95%로 최저값이 나타났다.
- 4) 투수계수는 폴리머의 치환율이 증가함에 따라 투수계수는 증가하는 것으로 나타났으며, 전체적으로 투수블록의 투수계수 KS F 4419 「보차도용 콘크리트 인터록킹 블록」 기준보다 높은 것으로 측정되었다.

3.2 인공투수관 혼입율에 따른 폴리머 투수블록의 특성

- 1) 인공투수관의 혼입율이 증가할수록 밀도는 감소하는 것으로 나타났으며, 1.0%와 3.0%를 비교하여 약 5.5%의 값이 감소하는 것으로 나타났다.
- 2) 인공투수관의 혼입율이 증가할수록 휨강도 및 압축강도는 비교적 낮은 폭으로 감소하는 경향을 보인다.
- 3) 인공투수관의 혼입율이 증가할수록 공극률은 증가하는 것으로 나타났다. 이에 따라 투수계수도 증가하는 경향을 보이고 있으며, 혼입율 1.0%와 3.0%를 비교할 경우 최대 20%까지 투수성이 향상되는 것으로 나타났다.

요 약

인공투수관을 혼입한 폴리머 투수블록은 폴리머를 치환할 경우 강도, 공극률, 투수계수 등의 'KS F 4419'(보차도용

콘크리트 인터록킹 블록)의 기준보다 높은 결과 값이 측정되었으며, 제품의 경량화가 가능할 것으로 판단된다. 폴리머 재료의 단가 문제로 인해 경제성을 고려하여 시멘트와의 치환율을 14%로 선정하는 것이 효과적이라고 판단된다.

또한, 인공투수관의 혼입율의 3가지 수준 중 2.0%가 가장 적당하다고 판단되며, 3가지 수준에 대한 측정 값이 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 공극률과 투수계수의 경우 2%에서 개선된 값이 측정되었기 때문에 인공투수관 혼입율 2%의가 효과적일 것으로 판단된다.

투수블록 제품화를 하기 위해선 경제성을 고려해야 하며, 본 연구에서 사용된 폴리머 VAE 경제성이 떨어지기 때문에 다른 폴리머의 재료와 비교 실험을 진행하여 문제점을 개선한다면 투수블록 제품화가 가능할 것이라 판단된다. 본 연구의 결과는 추후 폴리머 및 인공투수관을 활용한 연구의 기초적인 자료로 사용 가능 할 경우 효율적인 데이터로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

키워드 : 투수블록, 인공투수관, 폴리머-vae, 지하수

Acknowledgement

This research was carried out by the Small and Medium Business Administration's research and development project support fund in 2017. (Assignment number 201703990001)

References

1. Jun SM, Park JH, Kim YD. Quantitative analysis of the permeability of water permeable block. Proceeding of Korean Society of Civil Engineers; 2012 Oct 21; Incheon, Korea. Seoul (Korea): Korean Society of Civil Engineers; 2012. p. 224-7.
2. Choi KH, Sho BC, Joo MK, Lee BK. An experimental study on performance in elevation of porous polymer concrete. Proceeding of Korea Concrete Institute; 2008 May 12; Yongpyong, Korea. Seoul (Korea): Korea Concrete Institute; 2008. p. 953-6.
3. Chae CU, Min BY, Shim JW. An experimental study on the physical properties of porous cement concrete using polymer as an admixture. Journal of the Korea Concrete Institute. 2000 Oct;12(5):131-9.
4. Ko KH, A study on the porous concrete of nature friendly type

- [master's thesis]. [Daejeon (Korea)]: Daejeon university; 2005. 105 p.
5. Choi JJ, Choi DS. Influence of the types and grading of aggregate on the properties of porous concrete. Journal of the Korean Society of Civil Engineers. 2007 May;27(3A):393-400.
6. Lee YS, Joo MK, Yeon KS. Development of water-permeable polymer concrete for pavement. Proceeding of Korea Concrete Institute; 2001 Nov 9-10; Hanyang university, Korea. Seoul (Korea): Korea Concrete Institute; 2001. p. 147-52.
7. Choi SM, Kaug EG, Shin HC, Cho SH, Choi SJ, Kim JM. An experimental study on the surface stability of concrete tile. Proceeding of Architectural Institute of Korea; 2004 Oct 29-30; Kyungding university, Korea. Seoul (Korea): Architectural Institute of Korea; 2004. p. 387-90.
8. Korea Concrete Institute. Production and construction of polymer concrete composites. Seoul (Korea): Kimoodang; 2013. Chapter 1, Polymer Concrete Composite; p. 11-7.
9. Yu BY, Lee WG, Kim TH, Lee SS. Basic properties of polymer permeable sidewalk paver using artificial permeable pipe. proceeding of Korea Concrete Institute; 2017 Nov 1-3; Andong Grand Hotel, Korea. Seoul (Korea): Korea Concrete Institute; 2017. p. 729-30.
10. Yu BY. Performance evaluation of polymer block using artificial permeable pipe [master's thesis]. [Daejeon (Korea)]: Hanbat national university; 2017. 69 p.