

이온수지를 사용한 다공성 식생콘크리트 특성에 대한 실험연구

유승운¹, 주예², 김현기^{3*}

¹가톨릭관동대학교 토목공학과, ²가톨릭관동대학교 대학원, ³다스코(주) 기술연구소

An Experimental Study on the Properties of Porous Vegetation Concrete Using Ion Resin

Seung-Woon Yoo¹, Rui Zhu², Hyun-Gi Kim^{3*}

¹Department of Civil Engineering, Catholic Kwandong University

²Graduate Student, Catholic Kwandong University

³R&D Center, DASCO Co., Ltd.

요 약 콘크리트는 일반적으로 널리 사용되는 건설재료이나, 생태계 측면에서 식생이 불가능한 재료로 알려져 있다. 최근 생태계보존 및 복원을 위해 구조적 성능과 생태적 성능을 동시에 보유한 식생가능한 다공성 콘크리트의 필요성이 대두되고 있다. 본 연구는 다공성 식생콘크리트에 이온수지를 첨가하여, 기존 콘크리트가 가지고 있던 식생에 불리한 조건을 개선하는 것을 목적으로 수행되었다. 이온수지를 첨가율에 따른 구조적 성능 및 식물생육에 미치는 영향을 분석하기 위해 공극률, 투수계수, 압축 및 휨인장강도, 동결융해저항성 및 식물파종실험을 실시하였고 이를 분석하였다. 식물 식생에서 가장 중요한 요건 중에 하나인 알칼리성 개선을 위해 이온수지를 8~12% 정도까지 첨가하여도 콘크리트의 기본적인 성능 즉, 공극률, 투수계수, 동결융해저항성 및 강도에는 큰 영향이 없었다. 이온수지를 8~12% 정도 첨가시 콘크리트의 역학적 성능을 저해하지 않고 알칼리성을 현저히 낮추는 효과 있었다. 식생실험에서 이온수지를 첨가한 경우 비교 실험체에 비해 약 5% 정도의 식물길이 성장효과가 있었으나 다양한 식물종류, 환경조건 및 구조적 설계조건에 대한 추가적인 실험과 연구가 필요하다고 사료된다.

Abstract Concrete is a widely used construction material, but vegetation is not possible. Recently, for ecosystem conservation and restoration, the need for porous concrete suitable for vegetation with structural and ecological performance has emerged. This study was conducted to improve the unfavorable conditions of existing concrete for vegetation by adding an ion resin to porous vegetation concrete. The effects of the ion resin on structural performance and plant growth were examined according to the rate of addition, porosity, permeability coefficient, compression and flexural tensile strength, and freeze melting resistance. Plant sowing experiments were conducted. Adding up to 8%-12% ionic resin, one of the most important requirements in plant vegetation, to improve alkalinity did not significantly affect the basic performance of concrete, that is, porosity, permeability coefficient, freeze melting resistance, and strength. The addition of 8%-12% ionic resin significantly lowered the alkalinity without impairing the mechanical performance of concrete. In the vegetation experiment, the addition of ionic resin had a plant-length-growth effect of approximately 5% compared to the comparative experiment, but additional experiments and studies on various plant types, environmental conditions, and structural design conditions are considered necessary.

Keywords : Porous Concrete, Vegetation Concrete, Ion Resin, Porosity, Permeability, pH, Freeze-thaw

*Corresponding Author : Hyun-Gi Kim(DASCO Co., Ltd.)

email: khk2696@nate.com

Received May 23, 2024

Accepted August 2, 2024

Revised June 14, 2024

Published August 31, 2024

1. 서론

콘크리트 재료는 일반적으로 널리 사용되는 건설재료이나, 생태계 측면에서 식생이 불가능한 재료로 알려져 있다. 최근 생태계 보존 및 복원을 위해 구조적 성능과 생태적 성능을 동시에 보유한 식생 가능한 다공성 콘크리트의 필요성이 대두되고 있다. 이를 위해서는 식물의 성장과 영양공급, 공기순환 등이 원활하게 기능할 수 있어야 한다. 또한 콘크리트는 강알칼리성을 가지고 있으므로 식물 성장을 위해 알칼리성을 저하시킬 필요가 있다[1,2].

다공성 콘크리트는 일반적인 콘크리트와 달리 잔골재 사용을 배제하여 공극을 확보하는 방법을 사용하므로 굵은골재의 원활한 결합이 필요하다. 이렇게 생성된 공극을 통해 식물 뿌리의 활착, 비료 등의 영양학적 성분 침투 및 토양에서와 같은 환경을 조성할 수 있다. 그러나 기존 콘크리트의 경우 강알칼리성을 가지고 있으므로 이를 저하시키기 위한 여러 방안들이 연구되고 있다[3-5].

국내에서 농수산 부산물 재료를 혼입한 다공성 콘크리트의 공학적 특성과 다공성 콘크리트의 식생특성에 관한 연구가 수행되어 공극률, 압축강도, 휨강도, 동결융해저항성 및 산성도 수치 등을 측정하는 연구가 수행되었다 [6,7]. 기존 식생 콘크리트의 생태성, 경제성, 환경성, 내구성에 대한 많은 연구가 수행되었으며 식물 식생이 가능한 생태적 측면이 가장 중요하다[8,9].

본 실험에서는 식물생육에 장애가 되는 알칼리성을 중화시키기 위해 이온수지를 첨가하고 첨가율에 따른 효과를 검토하고자 한다. 이를 위해 공극률, 투수계수, pH실험, 동결융해실험 및 식물을 직접 파종한 식물성장 모니터링 등의 실험을 수행하고 결과를 비교 분석하였다.

2. 실험계획

2.1 실험변수

이온수지는 알칼리성을 중화시키는 기능이 있으므로 이를 통해 식생콘크리트의 알칼리성을 낮추어 식물이 생존할 가능성을 증가시킨다. 콘크리트의 공극률, 투수계수, 동결융해 저항성 및 역학적 성능을 저하시키지 않고 식생콘크리트의 성능을 개선시킬 수 있다[10].

일반 콘크리트는 pH수치가 12~13의 강한 알칼리성을 가지므로 식물이 자랄 수 없는 조건을 이온수지를 첨가하여 개선시키고자 한다. 다양한 형태의 이온수지가

국내외에서 생산되고 있는데 본 연구에서는 국내 S사 제품을 사용했다. 시멘트는 국내 H사 보통포틀랜드시멘트를 사용하였고, 5~13mm 골재는 비중 2.6, 단위 용적 질량은 1,557Kg/m³, 실적률은 60%이고, 13~20mm 골재는 비중 2.6, 단위 용적질량은 1,640Kg/m³, 실적률은 63%이며, 고성능 감수제는 국내 K사 폴리카르보나테를 사용하였으며, 설계공극률은 25%이다.

기존 식생콘크리트에 대한 사례조사 및 분석을 통해 실험변수를 설정하였으며, 구체적인 실험배합변수는 Table 1과 같다.

Table 1. Experimental variables

No. of mix	unit : kg/m ³				unit : (%)	
	Cement	Water	Aggregate size(mm)		SP	Ion resin
			5~13	13~20		
No.1	328	82	2,125	-	0.35	0
No.2	328	82	2,125	-	0.35	1
No.3	328	82	2,125	-	0.35	2
No.4	328	82	2,125	-	0.35	3
No.5	370	92	-	2,048	0.35	0
No.6	370	92	-	2,048	0.35	2
No.7	370	92	-	2,048	0.35	4
No.8	370	92	-	2,048	0.35	6
No.9	370	92	-	2,048	0.35	8
No.10	370	92	-	2,048	0.35	12
No.11	370	92	-	2,048	0.35	16

2.2 실험방법

다공성 식생콘크리트는 식물의 성장과 영양, 수분공급에서 공극은 매우 중요한 요소이다. 공극의 정도를 나타내는 공극률과 식물의 생육 및 콘크리트강도는 역비례관계가 있다. 따라서 적절한 강도와 식물의 생육 사이에서 공극률을 결정하여야 한다. 본 연구에서는 다공성 식생 콘크리트 공극률의 골재 사용량에 따른 영향을 분석하였다. 공극률과 투수계수실험은 일반콘크리트 공학협회 에코콘크리트 연구위원회에서 제안한 시험법을 사용하였다[11].

다양한 기후환경 조건에서 식생콘크리트는 동결과 융해가 반복되어 역학적 성능이 저하될 수 있으므로 동결융해저항성 실험을 통해 내구성능을 분석하였다. 다공성 콘크리트는 환경표시인증(EL 245) 또는 단체표시인증(SPS-KCIC0001-0703) 규정에서 100회 반복 융해를 동결한 후 압축강도를 측정하는 방법을 제시하였으므로 본 연구에서는 이 규정을 적용하여 실험을 실시하였다 [12,13].

콘크리트는 시멘트와 물의 수화 반응에서 다량의 수산화칼슘이 만들어지기 때문에 pH 11~12의 강알칼리성을 지니고 있으며, 이 산성도는 식물성장에 큰 영향을 미친다. 따라서 본 실험에서는 KS M 0011 수용액의 pH 측정 방법에 따라 압축강도 실험 후 파손된 공시체단면에 증류수를 살포하여 채집한 수용액을 이용하여 콘크리트의 pH수치를 측정하였다[14,15].

3. 실험결과 및 분석

3.1 공극률 실험

이온수지 첨가에 따른 공극률 시험결과는 Fig. 1과 같다. 시험결과를 보면 이온수지 첨가량에 따른 공극률의 큰 변화는 없는 것으로 판단된다. 공극률 실험 결과에 따르면 골재 크기가 5~13mm의 경우가 13~20mm의 경우보다 전체적으로 작게 나온다. 골재 크기 13~20mm의 경우에 이온수지를 첨가한 경우가 보다 우수한 결과를 보여주며 이에 따라 13~20mm 크기를 주 실험대상으로 하였다.

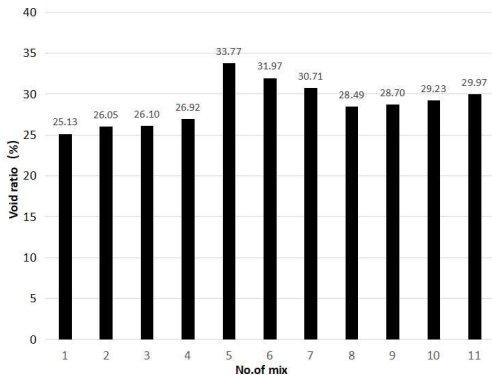


Fig. 1. Porosity according to the amount of ion resin added

3.2 투수계수 실험

다공성 식생콘크리트의 굵은 골재와 이온수지 첨가 여부에 대한 투수계수 시험 결과는 Fig. 2와 같다. 실험 결과를 보면, 투수계수 실험 결과와 공극률의 실험 결과의 추세가 유사한 것으로 판단된다. 골재 크기가 5~13mm 인 경우 13~20mm의 경우보다 작은 투수성을 나타내었다. 동일한 골재크기에서는 이온수지 첨가량이 투수계수

에 미치는 영향은 미미한 것으로 생각된다.

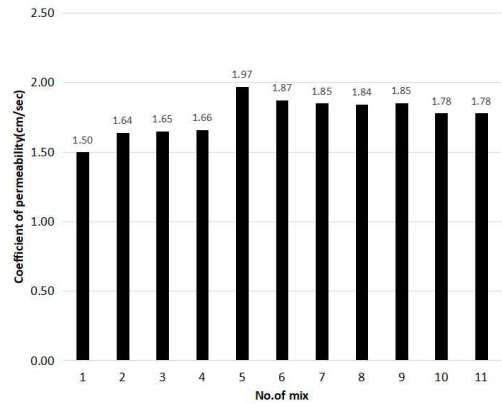


Fig. 2. Water permeability coefficient test results

3.3 압축강도 및 휨인장강도 실험

압축강도 및 휨인장강도 실험은 KS F 2405, KS F 2408에 따라 강도 실험을 수행하였다. 이온수지 첨가량에 따른 압축강도의 실험결과는 Fig. 3과 같다. 잔골재의 경우 투입량이 0%에서 3%까지 증가함에 따라 압축강도가 다소 증가하는 경향을 보여주고 있으며 굵은 골재의 경우 첨가량 4%까지는 일정하게 증가하는 경향을 보이나 6~12% 사이의 경우는 큰 변화가 없다.

그러나 첨가량이 16%의 경우에는 압축강도 감소 현상이 뚜렷하였다. 굵은 골재의 경우에는 반대로 미소하게 감소 현상이 발생하나 큰 변화를 보이지는 않았다. 이온수지 첨가량에 따른 휨인장강도의 실험결과는 Fig. 4와 같다. 잔골재의 경우 첨가량의 증가에 따라 휨인장강도가 다소 감소하였으나, 굵은 골재의 경우 첨가량의 증가에 따른 큰 변화는 없었다.

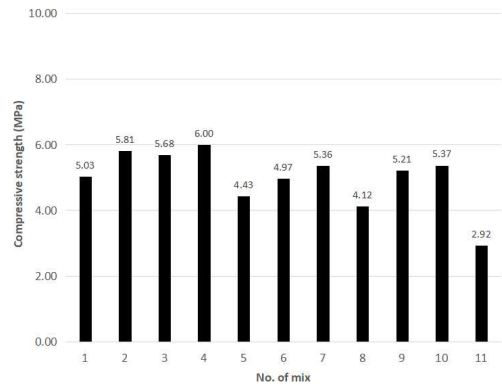


Fig. 3. Compression strength test results

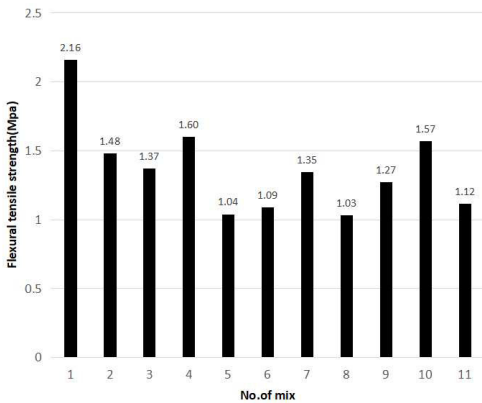


Fig. 4. Flexural tensile strength test results

공극률 실험, 투수계수 실험, 압축강도 실험 및 휨인장 실험결과 분석결과 잔골재 보다는 굵은 골재의 경우가 보다 양호한 결과를 보여주고 있으므로 추가 실험은 굵은 골재를 주 실험변수로 선정하여 실험하였다. 즉 13~20mm 골재를 사용한 경우에 대해 이온수지 첨가량을 변화시킨 실험변수 No. 5~11에 대해 실험을 진행하였다.

3.4 pH 실험

이온수지 첨가량 0%~16%에 따른 pH 시험결과는 Fig. 5와 같다. 이온수지를 첨가하지 않은 경우(No.5)에는 pH가 11로서 보통의 콘크리트와 같은 강알칼리성을 보여주고 있으나 첨가량이 증가함에 따라 점차 감소하는 경향을 보여주고 있으며 첨가량 16%에서는 9.03을 보여주고 있다.

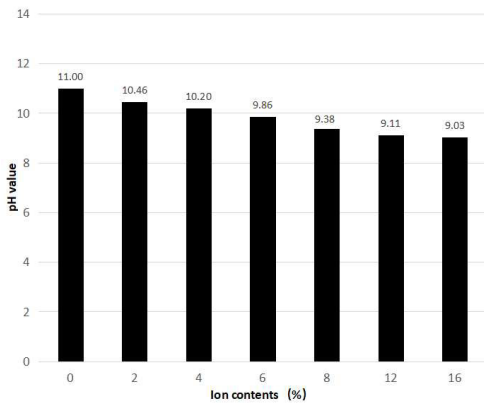


Fig. 5. pH test results according to ion resin addition ratio

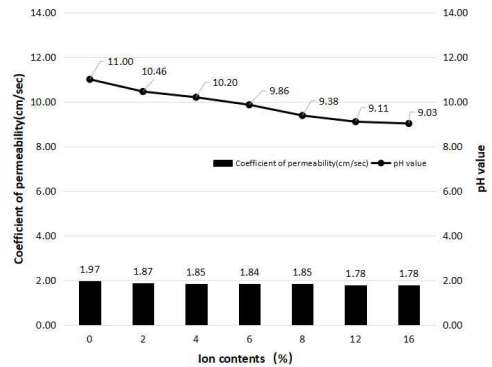


Fig. 6. Relationship between pH and permeability coefficient

앞에서 언급한 공극률, 투수계수, 압축강도 및 휨인장 강도 실험결과 8~12%까지는 역학적 물성에 크게 영향을 미치지 않으므로 첨가량 12%정도가 사용 최대치로 판단된다. pH와 투수계수 사이의 관계는 Fig. 6과 같으며, 이온수지의 첨가율이 증가하면서 투수계수의 큰 변화 없이 1.78~1.97을 유지하였다.

3.5 동결융해 실험

이온수지 첨가량에 따른 동결융해저항성 시험결과는 Fig. 7과 같다. 실험결과를 살펴보면 동결융해저항성은 이온수지 첨가량에 따라 큰 변화를 보여주지는 않았다. 이는 동결융해 저항성이 콘크리트의 강도와 밀접한 관계를 가지고 있는데 앞에서 기술한 압축강도 및 휨 인장강도의 실험결과에서도 같은 경향을 보여주고 있다.

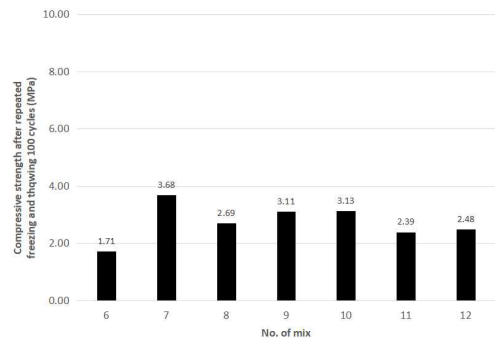


Fig. 7. Freeze-thaw test results according to no. of mix

이온 수치 투입량에 따른 동결융해저항성 및 pH와의 관계는 Fig. 8과 같으며, pH의 감소변화에 비해 동결융해저항성의 변화는 크지 않았다.

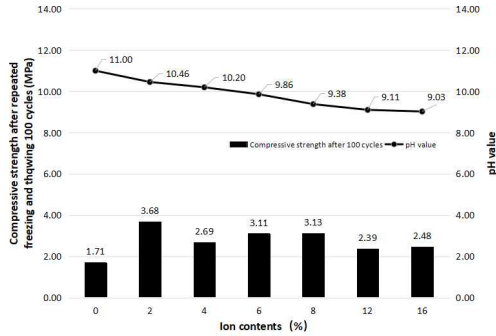


Fig. 8. Relationship between freeze-thaw and pH value

3.6 식생 실험

식생콘크리트의 경우 구조적 안정성, 공극률, 투수계수 및 동결융해 저항성등의 평가도 중요하지만 식생을 위한 생존환경에 대한 실증실험이 가장 중요하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 실험변수를 줄이기 위해 다공성 식생콘크리트에서 공극률은 25%, 골재의 크기는 13~20mm, 이온수치 첨가하지 않은 경우를 기준배합으로 하였다. 앞에서 분석한 결과를 바탕으로 이온수치 첨가량 8%를 비교실험변수로 선정하여 식생 실험을 실시하였다. 다공성 식생콘크리트의 식생능력을 분석하기 위하여 Fig. 9와 같은 450×100×100mm의 식생실험 상자를 이용하였고 사용한 식물은 툴페스큐(tall fescue) 페레니얼(perennial)으로 두 식물 모두 생명력이 강한 것으로 알려져 있다.



Fig. 9. Vegetation experiment box and plants(tall fescue and perennial)

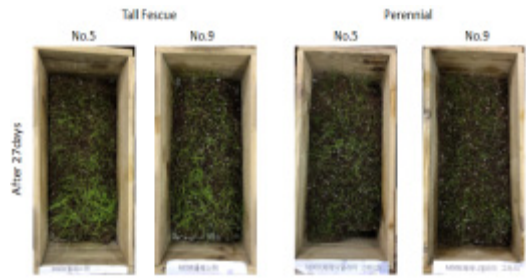


Fig. 10. Photos of plant growth according to time

다공성 식생콘크리트의 식생성능을 위해 실험상자에 15g씩 식물 씨앗을 파종하고 관측하였다. 실험실 실내온도는 22~30℃ 범위이며 평균습도는 49%이었다. 파종 후 26일 때의 식물성장 모습은 Fig. 10과 같다.

툴페스큐의 경우 시간 경과에 따른 식물 성장길이는 Fig. 11과 같다. 파종 후 12일 경과 때의 식물길이는 2.2~2.3cm의 정도이나 15일 경과 시 기준변수에 비해 8% 이온수치를 첨가한 실험체에서 보다 나은 식물성장 길이를 보여주고 있음을 알 수 있다. 페레니얼의 식생모니터링 9일째 식물 초장 길이가 0.5~0.7cm를 보여주고 있으며, 15일 후부터 이온수치를 넣은 식생길이가 기준 배합보다 높은 결과가 나타나고 있다.

역학적 기능을 저하시키지 않는 범위에서 이온수치를 첨가하는 경우 산성도를 낮추어 식물 성장에 유리하다고 판단할 수 있다. 시간에 따른 첨가율 및 식물종류에 따른 식물생육 결과는 Fig. 11, Fig. 12와 같다.

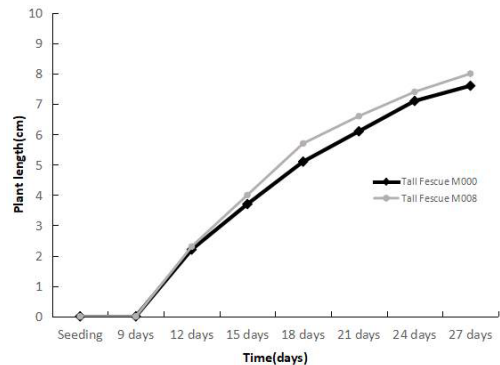


Fig. 11. Vegetation monitoring results (tall fescue)

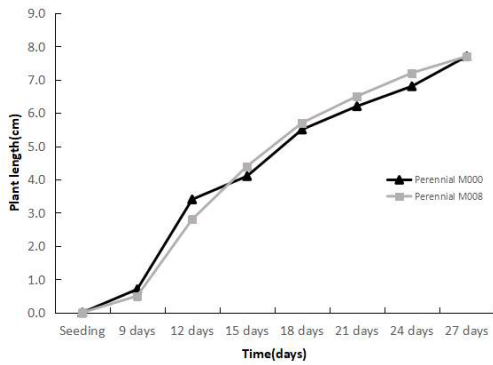


Fig. 12. Vegetation monitoring results (perennial)

4. 결론

본 연구는 다공성 식생콘크리트에 이온수지를 첨가하여 성능을 개선하는 것을 목적으로 수행되었다. 이온수지를 첨가율에 따른 구조적 성능 및 식물생육에 미치는 영향을 분석하기 위해 공극률, 투수계수, 압축강도, 휨인장강도, pH, 동결융해저항성 및 식물파종실험을 실시하였다. 본 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 알칼리성 개선을 위해 이온수지를 8~12%정도까지 첨가하여도 콘크리트의 기본적인 성능 즉, 압축강도, 휨인장강도, 공극률, 투수계수 및 동결융해저항성에는 큰 영향이 없었다.
2. 이온수지를 8~12%정도 첨가시 콘크리트의 역학적 성능을 저해하지 않고 알칼리성을 현저히 낮추는 효과가 있었다.
3. 본 연구의 식생실험에서 이온수지를 첨가한 경우 비교 실험체에 비해 약 5%정도의 식물길이 성장효과가 있었으나 다양한 식물 및 환경에 대한 추가적인 실험과 연구가 필요하다고 사료된다.

References

- [1] C. Y. Sung and Y. I. Kim, "Engineering characteristics for vegetation of porous concrete blocks mixed with rice straw ash", *Journal of The Korea Concrete Institute*, Vol.16, No.3, pp.311-318, Jun. 2004. DOI: <https://doi.org/10.4334/jkci.2004.16.3.311>
- [2] A. Yukari, *Development of Pervious Concrete*, Ph.D dissertation, University of Technology, Sydney, Australia, 2009.
- [3] S. B. Park, B. C. Lee, J. H. Kim and D. Y. Yun, "Planting-Ability Valuation of Porous Concrete Using Industrial By-Products", *Journal of The Korea Concrete Institute*, Vol.14, No.4, pp.623-629, Aug. 2002. DOI: <https://doi.org/10.4334/jkci.2002.14.4.623>
- [4] M. W. Ahn, *Development of an Environment Friendly Fish Raceway for Eco-Restoration of Streams*, Ph.D dissertation, Kunkook University, Korea, 2008.
- [5] H. H. Kim, *Design and Performance Evaluation of Porous Vegetation Concrete using Industrial By-Products*, Ph.D dissertation, Kongju National University, Korea, 2015.
- [6] H. H. Kim, C. S. Kim, J. H. Jun and C. G. Park, "Void Ratio, Compressive Strength and Freezing and Thawing Resistance of Natural Jute Fiber Reinforced Non-Sintering Inorganic Binder Porous Concrete", *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineering*, Vol.57, No.2, pp.67-73, Mar. 2015. DOI: <https://doi.org/10.5389/KSAE.2015.57.2.067>
- [7] H. H. Kim, C. S. Kim, J. H. Jun and C. G. Park, "Physical, Mechanical Properties and Freezing and Thawing Resistance of Non-Cement Porous Vegetation Concrete Using Non-Sintering Inorganic Binder", *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineering*, Vol.56, No.5, pp.37-44, Sep. 2014. DOI: <http://doi.org/10.5389/KSAE.2014.56.5.037>
- [8] J. H. Lee, C. G. Park and J. S. Park, "effect of reinforcing fiber on the mechanical properties and chemical resistance of porous vegetated concrete containing red clay", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.31, No.2A, pp.105-113, Apr. 2011. DOI: <https://doi.org/10.12652/Ksce.2011.31.2A.105>
- [9] P. D. Tennis, M. L. Leming and D. J. Akers, *Pervious Concrete Pavements*, Technical Report, Portland Cement Association, Skokie, and National Ready Mixed Concrete Associated, Silver Spring, 2004.
- [10] J. S. Park, *A Study of the Water Purification Performance Evaluation of Porous Concrete using Bacillus Subtilis and Pumice*, Ph.D dissertation, Kyungpook National University, Korea, 2016.
- [11] Ministry of Environment, Eco-label certification, (EL245) Pervious Concrete Products, Technical Report, Korea Environmental Industry and Technology Institute, 2015.
- [12] Korean Standards Association, Test method for concrete resistance to rapid freezing and thawing, KS F 2456, 2013.
- [13] F. Montes, S. Valavala, L. M. Haselbach, "New Test Method for Porosity Measurements of Porous Concrete", *Journal of ASTM International*, Vol.2, No.1, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1520/A112931>
- [14] A. R. Bhutta, K. Tsuruta and J. Mirza, "Evaluation of high-performance porous concrete properties", *Journal of Construction and Building Materials*, Vol.31, pp.67-73, Jun. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.024>
- [15] Korean Standards Association, Method of measuring pH of aqueous solution", KS M 0011, 2013.

유 승 운(Seung-Woon Yoo)

[종신회원]



- 1985년 2월 : 연세대학교 공과대학 (공학사)
- 1991년 2월 : KAIST 건설환경공학과 (공학박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 가톨릭관동대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

공공인프라구조, 인프라구조유지관리

주 예(Rui Zhu)

[정회원]



- 2019년 2월 : 가톨릭관동대학교 공과대학 (공학사)
- 2021년 2월 : 가톨릭관동대학교 토목공학과 대학원 (공학석사)

<관심분야>

공공인프라구조, 인프라구조유지관리

김 현 기(Hyun-Gi Kim)

[정회원]



- 2013년 9월 : 건국대학교 대학원 사회환경시스템공학과 (공학박사)
- 2005년 10월 ~ 2012년 11월 : ㈜동호 기술연구소 부장
- 2016년 3월 ~ 2019년 8월 : 가톨릭관동대학교 에너지플랜트공학과 교수
- 2019년 9월 ~ 현재 : 다스코(주) 기술연구소 상무

<관심분야>

구조공학, 해상풍력발전, BIM