Jour. Agri. Sci.
Chungnam Nat'l Univ., Korea
Vol.33(2): 167~177 (2006)

식생 적용을 위한 왕겨재와 순환골재를 활용한 포러스 콘크리트의 공극률 및 강도 특성

김영익[1]· 성찬용[2*]

Void ratio and Strength Properties of Porous Concrete Utilizing Rice Husk Ash and Recycled Aggregate for Planting

Young-Ik Kim[1]·Chan-Yong Sung[2*]

ABSTRACT

This study was performed to evaluate void ratio, compressive and flexural strength, and pH properties according to the admixture ratio of rice husk ash, aggregate size, and neutral treatment time of porous concrete with an admixture of rice husk ash produced as an agricultural by-product. The SEM results for cement mortar with a 5% rice husk ash admixture for the weight of cement formed more C-S-H hydrates due to the SiO_2 present in the applied rice husk ash. According to the results of the SEM test, the SiO_2 that was a major chemical element of rice husk ash generated a large amount of calcium hydroxide in the early stage of the hydration process of cement leading to the formation of ettringite. The void ratio of porous concrete with an admixture of rice husk ash decreased with increasing admixture ratio of rice husk ash. In addition, the void ratio of porous concrete with an admixture of rice husk ash decreased compared

[1] 충남대학교 농업과학연구소(Institute of Agricultural Science, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)
[2] 충남대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부(Division of Bio-Resources Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)
* 교신저자 : 성찬용(E-mail: cysung@cnu.ac.kr, Tel: 042-821-5798)

to porous concrete with no admixture of rice husk ash. The compressive and flexural strength of porous concrete with a 5% and 10% admixture ratio of rice husk ash slightly increased compared to concrete with no admixture of rice husk ash. The pH value of porous concrete rapidly decreased immediately after neutral treatment. Then, it gradually increased and decreased again after 14 days. Also, for neutral treatment, the pH value of porous concrete showed appropriate pH levels(less than 9.5) in all mixtures for planting at 28 curing days.

Key words : Rice husk ash, Porous concrete, Neutral treatment, SEM, Void ratio

Ⅰ. 서 론

국내외적으로 환경문제가 전분야에 걸쳐 크게 대두되면서 건설분야에서도 환경을 보호하기 위한 노력이 절실히 요구되고 있다. 최근에는 기존의 구조용 재료로 사용되어 온 콘크리트를 환경친화적인 재료로 개발하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 대표적인 예로서 Eco-concrete를 들 수 있는데, Eco-concrete는 일본 콘크리트공학 협회의 Eco 콘크리트 연구위원회가 처음으로 사용한 것으로 환경보존 및 생태계와의 조화를 도모한다는 의미에서 환경친화적인 콘크리트(Environmental friendly concrete)라 할 수 있다. Eco-concrete는 기존의 재료와 유사하게 강도 및 내구성을 발휘하고, 지구환경과 생태계와의 조화를 도모할 뿐만 아니라 사람들이 생활함에 쾌적함을 제공하는 특성을 포함하고 있다. 특히, Eco-concrete 중에서 다공성 콘크리트의 공극을 활용하여 식생을 적용한 식생콘크리트는 연속적인 공극을 이용하여 식물이 뿌리를 내리고, 보수성 충전재를 사용하여 수분과 영양분을 공급하고, 콘크리트의 상부에 객토를 실시하여 씨앗이 발아할 수 있도록 한 에코콘크리트를 말한다.[1,3)]

한편, 산업발전으로 건설공사가 급진전됨에 따라 험준한 지형에서도 건설장비를 이용한 시공이 이루어져 대규모의 절토사면이 출현하게 되었으며, 이러한 사면은 암반으로 이루어진 경우가 많아 식물생육에 적합한 표토가 거의 없어 자연환경이 악화되면 녹화되기 전에 사면의 침식과 붕괴가 선행되어 자연파괴가 발생하는 문제점을 가지고 있다. 이러한 사면을 보호하기 위한 공법은 60~70년대에는 주로 낙석방호공법이 많이 사용되었지만 생태적으로 문제점이 발생되어 80년대 초부터 법면보호에서 나아가 사람들이 자연에 가까워진 모습을 느낄 수 있게 하기 위한 경관조성 개념이 도입된 친환경적인 사면보호공법이 대두되고 있다.

한편, 벼 도정시 부산물로 생산되는 왕겨는 연간 약 90여만톤에 이르지만 단순히 농업의 부산물로 여겨질 정도이며, 왕겨는 내외피가 규소로 치밀하게 피복되어 있으므로 이를 적절하게 활용하여 농촌소득 증대에 기여할 수 있도록 고부가가치의 활용방안이 요구되어진다.

이에 왕겨를 적정한 소각온도에서 태운 왕겨재는 주성분이 SiO_2로서 현재 콘크리트의 혼화재료로 사용되고 있는 실리카 흄과 유사한 점을 이용하여 이를 콘크리트용 혼화재료로 활용하여

강도 및 내구성이 우수한 고성능 콘크리트의 개발이 성(1997) 등에 의하여 이루어졌다.[2,5,9]

따라서, 본 연구는 결합재인 시멘트의 일부를 농업부산물인 왕겨재로 치환하고, 천연골재 및 쇄석을 순환골재로 대체한 환경친화형 다공성 콘크리트를 개발하여, 왕겨재의 혼입률 및 골재 크기에 따른 SEM, 공극률, 압축강도, 휨강도 및 pH 특성을 구명하였으며, 사면보호용 사면블럭 식생콘크리트에 활용하기 위한 실용적인 자료를 제시하는데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

2.1 사용재료

시멘트는 KS F 5201에 규정된 국내 S사 제품의 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 굵은 골재는 경기도 I사에서 제조된 1종 순환골재를 사용하였으며, 이의 모습은 Fig. 1과 같다. 왕겨재는 Fig.2에서 보는 바와 같이 왕겨를 태워 분쇄기로 미세한 입자를 만든 후 사용하였으며[11], 다공성 콘크리트의 강도 증진과 유동성 확보를 위하여 음이온 계면활성제인 나프탈렌 설폰산염을 주성분으로 하는 고성능감수제를 사용하였다. 또한, 식생을 위한 다공성 콘크리트의 알카리 용출을 억제하기 위한 중성화처리제는 이인산암모늄[$(NH_4)_2$ HPO_4, 순도 99.1%, pH 8.14]을 사용하였다. 이에 대한 각각의 물리, 화학적 특성은 Table 1,2,3 및 4와 같다.

2.2 콘크리트 배합 및 제작

식생콘크리트를 위한 다공성 콘크리트의 배합

Table 1. Chemical compositions of normal portland cement (unit : %)

SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3
21.09	4.84	63.85	3.32	3.09	1.13	0.29	2.39

Table 2. Physical properties of coarse aggregate

Item	Size (mm)	Unit weight (kgf/㎥)	Specific gravity(20℃)	Absorption ratio (%)	Fineness modulus
Coarse aggregate	5-10	1,514	2.62	2.31	6.12
	10-20	1,504	2.62	1.70	7.61

Table 3. Physical properties of rice husk ash

Specific gravity (20℃)	Unit weight (kgf/㎥)	Blain (cm^2/g)	Grain size (㎛)		
			90 % pass	50% pass	10% pass
2.32	412	3,888	88.3	17.9	0.9

Table 4. Chemical compositions of rice husk ash (unit : %)

SiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Al_2O_3	Fe_2O_3	SO_3	Ig.loss
82.50	0.90	0.50	1.40	0.10	0.20	0.10	0.10	9.20

(a) 5-10mm (b) 10-20mm

Fig. 1. Appearance of recycled coarse aggregate

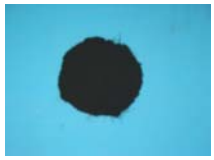


Fig. 2. Appearance of rice husk ash

은 다양한 식물의 생육이 가능할 수 있도록 충분한 뿌리를 내릴 수 있는 공극을 확보하고, 현장적용시 원지반 보호 기능을 수행할 수 있는 강도를 나타낼 수 있도록 재령 28일의 압축강도가 6~10MPa와 공극률이 25~40%가 되도록 배합비를 결정하였다. 한편, 단위결합재량은 230kgf/m^3으로 하였으며, 다공성 콘크리트 블록에 다양한 종류의 식생이 가능하도록 골재 크기의 범위를 5~10mm와 10~20 mm로 하였으며, 농업부산물의 활용에 의한 강도증진을 위해 왕겨재를 시멘트 중량의 0%, 5%, 10%, 15% 사용하였다. 또한, 콘크리트의 강도증진과 유동성 확보를 위하여 고성능감수제를 결합재 중량의 1~1.8% 사용하였으며, 이에 대한 배합설계는 Table 5와 같다.

식생을 위한 다공성 콘크리트의 제작은 KS F 2405 (콘크리트의 압축강도 시험방법)에 준하여 굵은골재를 넣고 시멘트와 왕겨재를 투입하여 건비빔을 30초간 실시한 후 물과 고성능감수제를 혼합 투입하여 1분간 혼합하였고, 몰드에 타설하면서 30초간 진동을 주어 충분한 다짐을 하였으며, 양생상자 (21℃, 습도 96±2%)에서 24시간 정치 후 탈형하여 소정의 재령까지 수중양생(21℃)을 하였다. 또한, 다공성 콘크리트의 알카리 용출을 억제하기 위하여, 이인산암모늄 10% 용액에 표면건조포화상태의 시험체를 10분간 침지하여 중성화처리를 하였으며, 중성화처리 시점에 따른 pH 변화를 측정하기 위하여 중성화처리 시점을 재령 1일, 6일, 13일, 20일 등 4가지로 하였다.

Table 5. Mix design of porous concrete utilizing rice husk ash and recycled aggregate

(unit : kgf/m^3)

Series	Mix type	Coarse aggregate size(mm)	Cement	Recycled aggregate	Rice husk ash	W	Water/ Binder (%)	Water reducing agent
Series I-1	CR0	5-10	230.0	1,495	0.0	46.0	20	2.30
	CR5		218.5	1,495	11.5	46.0	20	2.53
	CR10		207.0	1,495	23.0	48.3	22	2.99
	CR15		195.5	1495	34.5	55.2	24	3.45
Series I-2	CR0	10-20	230.0	1,495	0.0	46.0	20	2.30
	CR5		218.5	1,495	11.5	46.0	20	2.53
	CR10		207.0	1,495	23.0	48.3	22	2.99
	CR15		195.5	1495	34.5	55.2	24	3.45

2.3 시험방법

SEM(scaning electronic microscope)은 전자빔을 시료 표면에 주사시켜 시료 표면에서 발생하는 다양한 신호를 검출하여 물질의 형태 및 구조 등의 정보를 얻을 수 있는 분석기기로서, 왕겨재의 혼입률에 따른 수화반응 특성을 분석하기 위하여 모르타르를 제작한 후 재령 28일에 시편을 절취하여 5,000배로 측정하였다. 공극률 시험은 ø10 ×20cm인 시험체를 일본콘크리트공학협회 에코콘크리트 연구위원회의 포러스 콘크리트의 공극률 시험방법(안) 중 용적법에 준하여 재령 28일에 다음 식으로 산출하였다.

$$P_0 = \left\{1 - \frac{W_2 - W_1}{V}\right\} \times 100$$

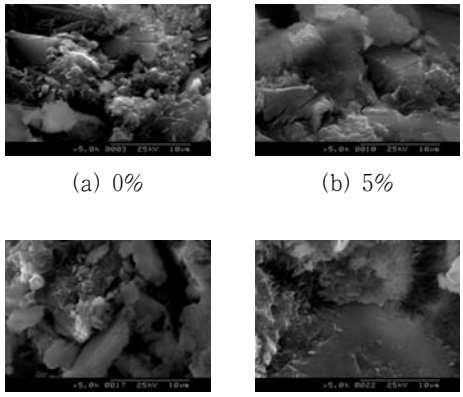
여기서, P_0 = 콘크리트의 공극률(%)
W_1 = 시험체의 수중중량(g)
W_2 = 24시간 방치 후 기건중량(g)
V = 시험체의 용적 (㎤)

압축강도시험은 ø7.5×15 cm의 시험체를 제작하여 KS F 2405 (콘크리트의 압축강도 시험방법)에 준하여 재령 7일 및 28일에 측정하였으며, 휨강도시험은 6×6×24 cm의 시험체를 제작하여 KS F 2408 (콘크리트의 휨강도 시험방법)에 준하여 재령 7일 및 28일에 측정하였다. pH 시험은 5×5×5cm 시험체를 시험체 부피 5배의 증류수에 1일간 침지하여 밀봉한 후 pH를 측정하여 비교하였고, pH 시험장치는 유리전극과 비교전극으로 구성된 것을 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1 SEM에 의한 미세구조 분석

왕겨재의 혼입률에 따른 수화반응 특성을 분석하기 위하여 왕겨재를 시멘트 중량비로 0%, 5%, 10%, 15% 혼입한 시멘트 모르타르의 재령 28일에서의 내부변화를 SEM에 의하여 관찰하였다. Photo 1(a)는 왕겨재를 혼입하지 않은 시멘트 모르타르의 수화반응 결과 다량의 에트링자이트와 C-S-H 수화물을 형성하고, 수화반응이 진행중인 수산화칼슘이 존재하고 있는 것을 알 수 있다. Photo 1(b)는 왕겨재를 시멘트 중량비로 5% 혼입한 시멘트 모르타르의 수화반응 결과 왕겨재의 SiO_2의 영향으로 보다 많은 C-S-H 수화물 및 에트링자이트를 형성하고, 일부는 시멘트 페이스트와의 수화반응이 진행되지 않은 상태로 있는 것을 알 수 있다. Photo 1(c)는 왕겨재를 시멘트 중량비로 10% 혼입한 시멘트 모르타르의 수화반응 결과 왕겨재의 SiO_2의 영향으로 왕겨재를 혼입하지 않은 시멘트 모르타르에 비하여 보다 많은 C-S-H 수화물 및 에트링자이트를 형성하였으며, 일부는 물-시멘트비의 증가로 인하여 약간의 공극과 수화반응이 진행되지 않은 상태로 있는 것을 알 수 있다. Photo 1(d)는 왕겨재를 시멘트 중량비로 15% 혼입한 시멘트 모르타르의 수화반응 결과 다량의 왕겨재로 인한 C-S-H 수화물 및 에트링자이트와 수화반응이 이루어지지 않은 시멘트 및 물-시멘트비의 증가로 인한 내부의 공극 등이 복합적으로 이루어진 것을 알 수 있다.[7,8]



(a) 0% (b) 5%

(c) 10% (d) 20%

Photo 1. Microstructure of mortar with content ratio of rice husk ash by SEM

3.2 공극률

식생콘크리트의 가장 중요한 변수로 작용하는 것은 식물의 뿌리가 원지반에 빠르게 정착할 수 있도록 연속된 공극을 형성하는 것이다. 식생을 위한 공극은 식물이 어느 위치에서든지 뿌리를 내릴 수 있도록 다양하게 분포되어야 하며, 뿌리가 일직선상으로 자리잡을 수 있도록 연속적으로 형성되는 것이 중요하고, 다양한 종류의 식물이 발아하고 성장할 수 있도록 적당한 크기의 공극과 공극률을 가져야 한다. 또한, 식생콘크리트의 공극 크기와 공극률은 콘크리트의 강도에 가장 큰 영향을 미치는 중요한 변수로 작용하기 때문에 사용되어질 환경에 적합한 공극률을 확보할 수 있도록 하는 것이 무엇보다도 중요하다.[10)]

Fig. 3은 왕겨재의 혼입률 및 골재 크기에 따른 공극률을 나타낸다. 골재 크기 5~10mm에서, 왕겨재를 혼입한 다공성 콘크리트의 공극률은 31.5~35.9%로 왕겨재의 혼입률이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었으며, 왕겨재를 혼입하지 않은 다공성 콘크리트의 공극률 36.4%보다 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 분말도가 시멘트에 비해 높은 왕겨재가 시멘트 페이스트를 형성하는 과정에서 왕겨재의 혼입률이 증가함에 따라 페이스트의 점성이 크게 증가되어 골재의 피복 두께를 증가시켰기 때문이라 생각된다. 그러나 왕겨재를 혼입한 모든 배합에서 식생콘크리트 적용을 위한 목표공극률을 상회하는 것으로 나타나 식생을 통한 식물의 성장에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

골재 크기 10~20mm에서 왕겨재를 혼입한 다공성 콘크리트의 공극률은 36.4~39.4%로 왕겨재의 혼입률이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었으며, 왕겨재를 혼입하지 않은 다공성 콘크리트의 공극률 40 .2%보다 감소하는 것으로 나타났다.

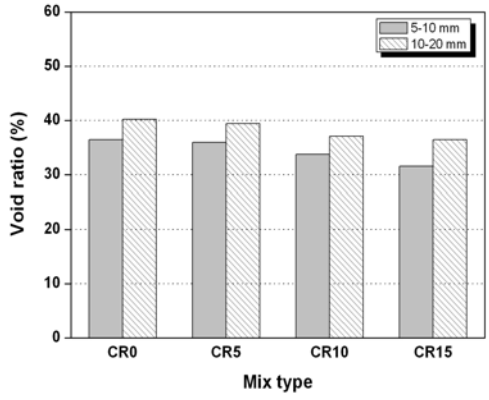


Fig. 3. Void ratio for rice husk ash content

3.3 압축강도

다공성 콘크리트의 압축강도는 공극의 크기뿐 만 아니라 공극률과 밀접한 관계가 있으며, 동일한 공극률인 경우 공극의 크기가 작을수록,

공극의 크기가 동일한 경우 공극률이 적을수록 강도 면에서 유리하다. 또한, 공극의 크기와 공극률은 골재의 크기 및 입도 분포와 밀접한 관계가 있어 골재의 크기가 작을수록 공극의 크기는 작고, 골재의 입도분포가 양호할수록 공극률이 적어져서 압축강도가 크게 된다. 한편, 보통 시멘트콘크리트가 시멘트 페이스트와 굵은골재 및 잔골재간의 일체로 인하여 강도발현을 하는 반면에, 다공성 콘크리트는 골재의 주위를 시멘트 페이스트가 피복하여 굵은골재와 굵은골재와의 맞물림에 의하여 강도발현을 하기 때문에, 골재를 피복하는 시멘트 페이스트의 피복과 맞물림 정도가 압축강도 발현에 큰 영향을 미칠 것으로 생각된다.

Table 6은 왕겨재의 혼입률에 따른 압축강도 결과를 나타낸다.

골재 크기 5~10mm에서, 왕겨재를 혼입한 다공성 콘크리트의 재령 7일에서의 압축강도는 3.9~5.9MPa로 왕겨재를 혼입하지 않은 다공성 콘크리트의 압축강도 5.0MPa에 비하여 왕겨재 혼입률 5%와 10%에서는 다소 증가하는 경향을 나타내었다.

또한, 왕겨재를 혼입한 다공성 콘크리트의 재령 28일에서의 압축강도는 6.0~7.8MPa로 왕겨재를 혼입하지 않은 다공성 콘크리트의 압축강도 6.9MPa에 비하여 재령 7일에서의 압축강도와 마찬가지로 왕겨재 혼입률 5%와 10%에서는 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 왕겨재의 화학성분이 주로 SiO_2로써 XRD 및 SEM 시험결과에서 보는 바와 같이 시멘트의 수화반응 초기에 다량의 수산화칼슘을 생성해 에트링자이트를 형성하여 강도발현이 크게 나타났으며, Fig. 2에서 보는 바와 같이 분말도가 높은 미세립의 왕겨재가 시멘트 페이스트의 형성과정에서 점성을 증가시켜 골재의 피복두께 증가로 인한 골재와 골재의 부착성을 증가시켰기 때문이라 생각된다.[6,12)]

골재 크기 10~20mm에서 왕겨재를 혼입한 다공성 콘크리트의 재령 7일에서의 압축강도는 2.0~4.3MPa로 왕겨재를 혼입하지 않은 다공성 콘크리트의 압축강도 3.0MPa에 비하여 왕겨재 혼입률 5%와 10%에서는 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 왕겨재를 혼입한 다공성 콘크리트의 재령 28일에서의 압축강도는 4.0~6.9MPa로 왕겨재를 혼입하지 않은 다공성 콘크리트의 압축강도 5.4MPa에 비하여 재령 7일에서의 압축강도와 마찬가지로 왕겨재 혼입률 5%와 10%에서는 다소 증가하는 경향을 나타내었다.

한편, 다공성 콘크리트의 골재 크기는 공극의 크기와 공극률을 좌우하기 때문에 식생하고자 하는 식물을 결정하는데 중요한 요소가 되고, 골재의 크기가 작고 공극이 작은 5~10mm의 경우, 식물의 뿌리가 가늘고 많은 잔디와 같은 식물의 식생에 적합할 것으로 생각된다.

또한, 사용되는 골재의 크기가 크기 때문에 동일 공극률에 대해 공극이 크게 형성되는 10~20mm의 다공성 콘크리트는 뿌리와 줄기가 굵은 식물에 적합할 것으로 생각된다.

3.4 휨강도

Table 6은 왕겨재의 혼입률에 따른 휨강도 결과를 나타낸다.

골재 크기 5~10mm에서, 왕겨재를 혼입한 다공성 콘크리트의 재령 7일에서의 휨강도는 1.1~1.5MPa로 왕겨재를 혼입하지 않은 다공성 콘크리트의 휨강도 1.4MPa에 비하여 왕겨재 혼입률 5%와 10%에서는 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 또한, 재령 28일에서의 휨강도는

Table 6. Strength properties of porous concrete utilizing rice husk ash

Series	Mix type	Compressive strength(MPa)		Flexural strength(MPa)	
		7 days	28 days	7 days	28 days
Series Ⅰ-1	CR0	5.0	6.9	1.4	1.6
	CR5	5.9	7.8	1.5	1.8
	CR10	5.2	7.1	1.5	1.8
	CR15	3.9	6.0	1.1	1.4
Series Ⅰ-2	CR0	3.0	5.4	0.5	0.6
	CR5	4.3	6.9	0.7	1.0
	CR10	3.2	6.4	0.6	0.8
	CR15	2.0	4.0	0.3	0.5

1.4~1.8MPa로 왕겨재를 혼입하지 않은 다공성 콘크리트의 휨강도 1.6MPa에 비하여 재령 7일에서의 휨강도와 마찬가지로 왕겨재 혼입률 5%와 10%에서는 다소 증가하는 경향을 나타내었으며, 왕겨재를 5% 혼입한 다공성 콘크리트에서 가장 크게 나타났다.

골재 크기 10-20mm에서, 왕겨재를 혼입한 다공성 콘크리트의 재령 7일에서의 휨강도는 0.3~0.7MPa로 왕겨재를 혼입하지 않은 다공성 콘크리트의 휨강도 0.5MPa에 비하여 왕겨재 혼입률 5%와 10%에서는 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 또한, 재령 28일에서의 휨강도는 0.5~1.0MPa로 왕겨재를 혼입하지 않은 다공성 콘크리트의 휨강도 0.6MPa에 비하여 재령 7일에서의 휨강도와 마찬가지로 왕겨재 혼입률 5%와 10%에서는 다소 증가하는 경향을 나타내었다.

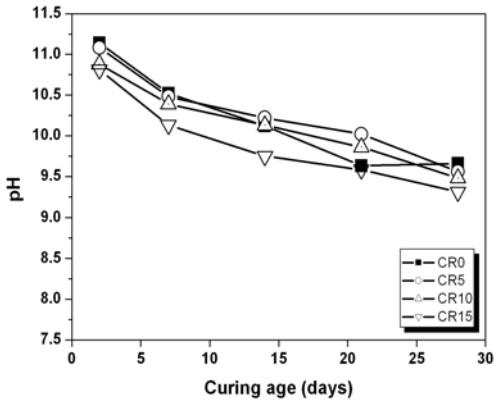
3.5 pH

식물의 생육에 적정한 pH는 식물의 종류에 따라 다르지만 일반적으로 pH가 5~8(최대 9.5)의 범위가 적절한 것으로 알려져 있다. 식생을 하기 위해서는 용출되는 알카리 농도를 감소시키는 것이 식물 생육초기에 발아율을 높이고 뿌리가 성장하는 데 중요한 요인이 된다. 한편, 다공성 콘크리트의 경우 수화반응시 발생되는 수산화칼슘[$Ca(OH)_2$]의 수소 이온에 의해 다가염기를 형성하기 때문에 일반적으로 pH가 10~13정도의 높은 값을 나타내며, 특별한 처리 과정 없이 식생을 하는 경우 식물의 생육에 저해요인이 된다. 따라서 식생콘크리트의 pH를 저감시키기 위하여 이인산암모늄을 사용하여 중성화처리를 하였다.[4)]

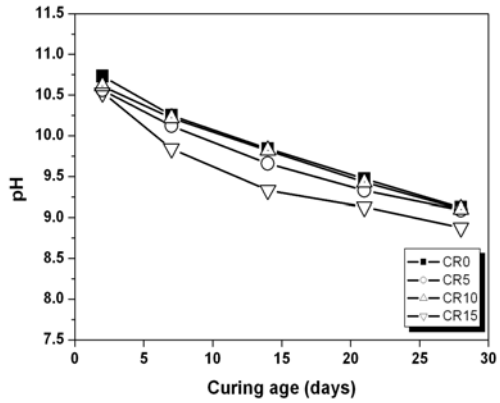
Fig. 4는 중성화처리 시점에 따른 pH 변화를 나타낸다.

골재 크기 5~10mm에서, 중성화처리를 하지 않은 다공성 콘크리트의 재령 28일에서의 pH는 왕겨재를 혼입한 경우 9.31~9.56의 범위로 나타났으며, 왕겨재를 혼입하지 않은 경우 9.66으로 나타나 왕겨재의 혼입에 따른 pH의 변화는 미미한 것으로 나타났다.

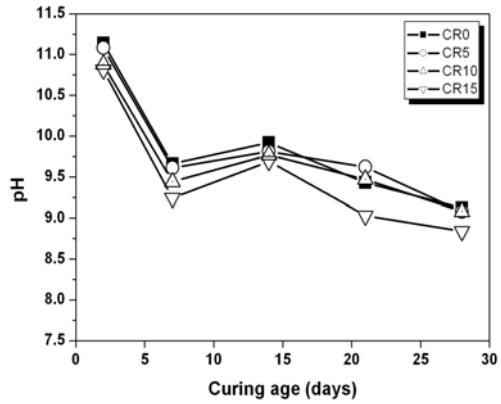
이러한 결과는 수중양생을 하는 경우 수화반응시 생성되는 수산화칼슘의 알카리 이온이 물분자에 의해 분해되면서 용출되어 계속적으로 밖으로 빠져나오기 때문에 중성화처리를 실시하지 않아도 pH가 계속적으로 저감되는 것으로 생각된다. 또한, 왕겨재 자체의 pH는 7~7.5 정



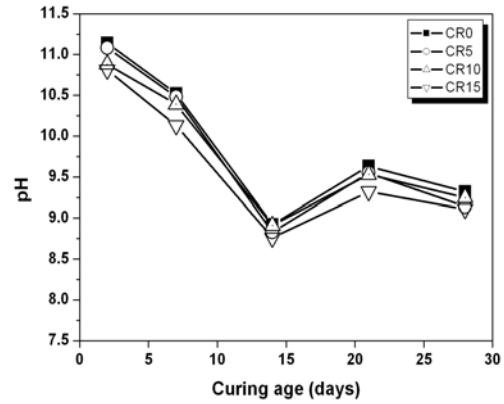
(a) Non-treatment



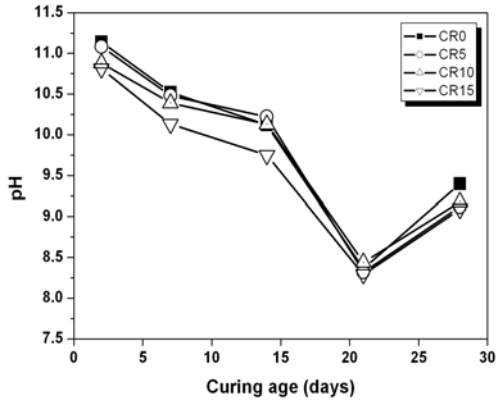
(b) 1 days



(c) 6 days



(d) 13 days



(e) 20 days

Fig. 4. pH change for neutralization treatment time

도의 범위로 일반적인 시멘트의 pH 12.5~13.5에 비하여 낮지만 시멘트 페이스트의 경화시 시멘트와의 수화반응이 활발하여 다량의 수산화칼슘을 형성하기 때문에 사용된 시멘트량의 감소에도 불구하고 pH 감소가 크지 않은 것으로 판단된다.

한편, 중성화처리 시점 1일, 6일, 13일 및 20일에 따른 왕겨재를 혼입한 다공성 콘크리트의 재령 28일에서의 pH는 각각 8.88~9.10, 8.84~9.08, 9.11~9.25 및 9.09~9.18의 범위로 나타났으며, 왕겨재를 혼입하지 않은 식생콘크리트의 중성화 처리 시점에 따른 pH는 각각 9.12, 9.12, 9.32 및 9.40으로 나타나 왕겨재를 혼입한 식생콘크리트의 pH가 약간 감소하는 경향을 나타내었다. 또한, 중성화처리 시점 및 왕겨재의 혼입률에 관계없이 pH가 9.5 이하로 감소되어 식생이 가능한 정도의 pH 값을 나타내었다. 한편, 중성화처리를 재령 1일에 하는 경우, 재령이 경과할수록 pH가 계속적으로 크게 감소하는 것으로 나타났고, 중성화처리 직후에 pH가 급격히 감소되었다가 점차 증가한 후 약 14일을 전후로 다시 감소하는 것으로 나타났으며, 재령 28일이 경과된 시점에서는 중성화처리 시점에 관계없이 거의 유사한 값을 나타내었다. 따라서, 이러한 결과는 식생콘크리트에 식생을 실시할 수 있는 가능 시기를 판단할 수 있는 자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

Ⅳ. 결 론

이 연구는 농업부산물인 왕겨재를 혼입한 다공성 콘크리트를 개발하여, 왕겨재의 혼입률 및 골재의 크기에 따른 SEM, 공극률, 압축강도, 휨강도 및 중성화처리 시점에 따른 pH 등의 특성을 구명하였으며, 이 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 수화반응 시험결과 왕겨재를 시멘트 중량비로 5% 혼입한 시멘트 모르타르의 SEM 시험에서는 왕겨재의 SiO_2 영향으로 보다 많은 C-S-H 수화물을 형성하는 것으로 나타났으며, 왕겨재를 시멘트 중량비로 15% 혼입한 시멘트 모르타르의 수화반응 결과 다량의 왕겨재로 인한 C-S-H 수화물 및 에트링자이트와 수화반응이 이루어지지 않은 시멘트 및 물-시멘트비의 증가로 인한 내부의 공극 등이 복합적으로 형성되었다.
2. 골재 크기 5~10mm 및 10~20mm에서, 왕겨재를 혼입한 다공성 콘크리트의 공극률은 각각 31.5~35.9% 및 36.4~39.4%로 왕겨재의 혼입률이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었으며, 왕겨재를 혼입하지 않은 다공성 콘크리트의 공극률 36.4% 및 30.2% 보다 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 왕겨재를 혼입한 모든 배합에서 식생콘크리트의 목표공극률을 상회하는 것으로 나타나 식생을 통한 식물의 성장에는 문제가 없을 것으로 판단된다.
3. 압축강도는 골재 크기 및 왕겨재의 혼입률에 따라 재령 7일과 28일에 각각 3.9~5.9MPa 와 2.0~4.3MPa 및 6.0~7.8MPa와 4.0~6.9MPa로 나타났으며, 왕겨재 혼입률 5%와 10%에서는 왕겨재를 혼입하지 않은 다공성 콘크리트에 비하여 다소 증가하는 경향을 나타내었다.
4. 휨강도는 골재의 크기 및 왕겨재의 혼입률에 따라 재령 7일과 28일에 각각 1.1~1.5MPa 와 0.3~0.7MPa 및 1.4~1.8MPa와 0.5~1.0MPa로 나타났으며, 압축강도에서 마찬가지로 왕

겨재 혼입률 5%와 10%에서는 왕겨재를 혼입하지 않은 다공성 콘크리트에 비하여 다소 증가하는 경향을 나타내었다.

5. pH는 중성화처리 시점 및 왕겨재의 혼입률에 따라 재령 28일에서 각각 8.88~9.10, 8.84~9.08, 9.11~9.25 및 9.09~9.18로 나타났으며, 왕겨재를 혼입하지 않은 다공성 콘크리트의 중성화 처리 시점에 따른 pH는 각각 9.12, 9.12, 9.32 및 9.40으로 나타나 왕겨재를 혼입한 다공성 콘크리트의 pH가 약간 감소하는 경향을 나타내었다. 또한, pH는 왕겨재의 혼입률에 관계없이 중성화처리를 한 경우에는 재령 28일에 모든 배합에서 9.5이하로 감소되어 식생을 위한 적정의 pH를 나타내었다.
6. 왕겨재와 순환골재를 활용한 포러스 콘크리트에 잔디, 참싸리 및 비수리 등의 식생을 통한 사면보호용 식생콘크리트 블럭에 적용할 경우, 환경친화적인 사면 보호 공법으로 활용되어질 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 김진춘 외 3인. 1996. 다공성 콘크리트의 기초적 특성과 녹화실험. 한국콘크리트학회 학술발표회 눈문집 8(1):153-159.
2. 성찬용. 1997. 왕겨재 콘크리트의 개발 및 그 공학적 성능에 관한 실험적 연구. 한국농공학회지 39(5):55-63.
3. 성찬용, 김영익. 2002. 식생을 위한 다공성 콘크리트의 중성화 처리 및 양생방법에 따른 pH 저감에 관한 실험적 연구. 한국농공학회지 44(2):99-106.
4. Benz, D. P. and E. J. Garboczi. 1992. Modelling the leaching of calcium hydroxide from cement paste : effects on pore space percolation and diffusivity. Materials and Structures 25:523-533.
5. Boateng, A. A and D. A. Skeete. 1990. Incineration of rice hull for use as a cementitious material : The Guyana Experience, Cement and Concrete Research 20(5):795-802.
6. Brandt, A. M. 1995. Cement-based composites : materials, mechanical properties and performance. E & FN Spon : 66.
7. Georgescu, Maria and Badanoiu, Alina. 1997. Hydration process in 3CaO. SiO_2-silica fume mixtures. Cement & Concrete Composites 19(4):295-300.
8. Isaia, G. C., A. L. G. Gastaldini., and R. Morases. 2003. Physical and pozzolanic action of mineral additions on the mechanical strength of high-performance concrete, Cement & Concrete Composites 25:69-76.
9. Julian Salas, Marina Alvarez and Janer Veras. 1986. Lightweight insulating concretes with rice husk. The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete 8(3):171-180.
10. Malhotra, V. M. 1976. No-fines concrete-its properties and applications. state of art report. ACI Journal 73(11):628-644.
11. Mehta, P. K and K. J. Folliard. 1992. Rice-husk-ash. a uniques supplementary cementing material. advances in concrete technology. CANMET Publication :407-432.
12. Moayad N, Alkhalaf and Hana A. Yousift. 1984. Use of rice husk ash in concrete. The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete 6(4):263-275.