

벼짚재를 혼입한 다공성콘크리트 블록의 식생을 위한 공학적 특성

성찬용^{1)*} · 김영익²⁾

¹⁾ 충남대학교 농공학과 ²⁾ 충남대학교 농업과학연구소

(2003년 7월 23일 원고접수, 2004년 4월 15일 심사완료)

Engineering Properties for Planting of Porous Concrete Block Containing Rice Straw Ash

Chan-Yong Sung^{1)*} and Young-Ik Kim²⁾

¹⁾ Dept. of Agricultural Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea

²⁾ Institute of Agricultural Science and Technology, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea

(Received July 23, Accepted April 15 2004, 2004)

ABSTRACT

This study was performed to examine engineering properties for planting of porous concrete block containing rice straw ash. Tests for void ratio, compressive and flexural strength, pH by neutralization treatment time and curing method were performed. As results, the void ratio tends to decrease with increasing rice straw ash content. But, the compressive and flexural strength tends to increase with increasing rice straw ash content. When the neutralization was treated at the curing age 6 days, the greatest strength was showed. The pH of porous concrete without neutralization treatment in dry and water curing are shown in 10.32~10.55 and 9.41~9.59, respectively. The pH of porous concrete by neutralization treatment in dry and water curing were shown in 9.74~10.10 and 8.13~9.32, respectively. The porous concrete block size was 23×23×4 cm, and species of planting were Tall fescue, Lespedeza cyrtobotrya and Lespedeza cuneata. At the 6 months after seeding, germination ratio and grown-up length of Tall fescue, Lespedeza cyrtobotrya and Lespedeza cuneata were shown in 90, 60, 50 %, and 40~50, 90~110, 65~75 cm, respectively. These porous concrete block containing rice straw ash could be used for planting.

Keywords : porous concrete block, rice straw ash, void ratio, strength, pH

1. 서 론

환경문제가 사회적으로 대두되면서 오랫동안 토목, 건축 공사의 가장 대표적인 재료로 사용되어온 시멘트 콘크리트에 대해 환경친화적인 재료로 전환시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다¹⁾. 최근에는 환경문제 해결을 위하여 콘크리트용 혼화재료로 산업폐기물 또는 부산물을 활용하기 위한 연구가 이루어지고 있으며, 친환경적인 다공성콘크리트를 이용하여 식물의 생육이 가능한 식생콘크리트에 대한 연구가 진행되고 있다²⁾.

식생콘크리트는 다공성콘크리트의 공극을 이용하여 식물이 뿌리를 내리고, 보수성 충전재를 사용하여 수분과 영양분을 공급하며, 콘크리트의 상부에 객토를 실시하여 씨앗이 발아할 수 있도록 한 에코콘크리트를 말한다^{3,4)}.

한편, 농업부산물인 벼짚을 소각하여 만든 벼짚재는 주성분이 SiO₂로서 고강도 및 고내구성 콘크리트 제조를 위해 사용되고 있는 플라이애쉬 및 고로슬래그미분말 등과 같이 콘크리트용 혼화재료 활용하기 위한 연구가 진행되고 있다^{5,6)}.

따라서, 본 연구는 농업부산물인 벼짚재를 혼입한 다공성콘크리트를 개발하여, 그 다공성콘크리트 블록의 식생을 위한 공학적 특성에 관한 기초적 연구를 수행하였다.

2. 사용재료 및 시험방법

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

시멘트는 KS F 5201에 규정을 만족하는 국내 S사 제품의 보통포틀랜드시멘트이며, 그 물리적 성질과 화학성분은 Table 1 및 2와 같다.

* Corresponding author

Tel : 042-821-5798 Fax : 042-825-5791

E-mail : cysung@cnu.ac.kr

2.1.2 굵은골재

금강유역에서 채취한 천연골재를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 3과 같다.

2.1.3 벧짚재

벧짚재(rice straw ash=RSA)는 벧짚을 태워 분쇄기로 미세한 입자를 만든 후 사용하였으며, 이의 물리적 성질과 화학성분은 Table 4 및 5와 같다.

2.1.4 고성능감수제

다공성콘크리트의 강도 증진과 유동성 확보를 위하여 음이온 계면활성제인 나프탈렌설폰산염을 주성분으로 하는 고성능감수제를 사용하였다.

2.1.5 이인산암모늄

식생을 위한 다공성콘크리트의 알카리 용출을 억제하기 위한 중성화 처리제는 이인산암모늄[(NH₄)₂HPO₄, 순도 99.1%, pH 8.14]를 사용하였다.

2.2 배합 및 공시체 제작

2.2.1 배합

식생을 위한 배합은 충분한 뿌리를 내릴 수 있는 공극을 확보하고, 현장 적용시 원 지반 보호기능을 수행할 수 있는 강도를 나타낼 수 있도록 최소공극률 20% 및 재령 28일에서 압축강도 5.88~7.85 MPa를 동시에 만족하며, 제작시 시멘트 페이스트가 흘러 내려 공극을 폐쇄하지 않도록 슬럼프를 조정하여 배합비를 결정하였으며, 다공성 콘크리트 블록에 다양한 종류의 식생이 가능하도록 골재 크기의 범위를 5~20 mm로 하였고, 벧짚재를 시멘트 중량의 0%, 2%, 4%, 6%, 8% 사용하였다. 또한, 콘크리트의 강도증진과 유동성 확보를 위하여 고성능감수제를 결합재 중량의 1% 사용하였으며, 이의 배합설계는 Table 6과 같다.

2.2.2 공시체 제작 및 양생

다공성 콘크리트의 제작은 KS F 2405 (콘크리트의 압축강도 시험방법)에 준하여 굵은골재와 시멘트 및 벧짚재를 30초간 건비빔을 실시한 후 물과 고성능감수제를 혼합

투입하여 1분간 혼합하였고, 몰드에 타설하면서 30초간 진동을 주어 충분한 다짐을 하였으며, 양생상자 (21 °C, 습도 96±2%)에서 24시간 정치 후 탈형하여 소정의 재령까지 수중양생(21 °C)과 기건양생을 하였다.

2.2.3 중성화 처리

식생을 위한 다공성콘크리트의 알카리 용출을 억제하기 위하여 이인산암모늄 10% 용액에 표면건조포화상태의공시체를 10분간 침지하여 중성화 처리를 하였으며, 중성화 처리 시점과 양생방법에 따른 pH와 강도 특성을 파악하기 위하여 중성화 처리 시점을 재령 1일, 6일, 13일, 20일 등 4가지로 하여 비교하였다.

Table 1 Physical properties of cement

Specific gravity (20°C)	Blaine (cm ² /g)	Setting time (h-min)		Compressive strength (MPa)		
		Initial	Final	3days	7days	28days
3.15	3,124	5-7	7-20	19.4	21.6	32.3

Table 2 Chemical composition of cement (%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
21.09	4.84	2.39	63.85	3.32	0.29	1.13	3.09

Table 3 Physical properties of coarse aggregate

Size (mm)	Specific gravity (20°C)	Absorption ratio (%)	Fineness modulus	Unit weight (kg/m ³)
5~20	2.64	2.62	7.28	1,449

Table 4 Physical properties of RSA

Specific gravity (20°C)	Unit weight (kg/m ³)	Blaine (cm ² /g)	Passing percent (%) in sieve (µm)		
			90 %	50 %	10 %
2.25	252	3,888	86.6	16.4	0.8

* RSA : Ratio for cement weight(%)

Table 5 Chemical composition of RSA

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	Ig.loss
54.8	21.9	8.21	5.95	1.06	1.92	1.82	0.6	2.5

Table 6 Mix design of porous concrete block for planting (kg/m³)

Mix type	RSA* (%)	Gravel size (mm)	W/B (%)	Cement (kg/m ³)	Natural gravel (kg/m ³)	RSA (kg/m ³)	Super plasticizer (kg/m ³)	Water (kg/m ³)
RPC 1	0	5~20	50	214	1,500	0	2	107
RPC 2	2		54	210	1,500	4	2	116
RPC 3	4		58	206	1,500	8	2	124
RPC 4	6		59	201	1,500	12	2	126
RPC 5	8		62	197	1,500	16	2	132

2.2.4 다공성 블록의 제작

식생블록은 식물이 뿌리를 내려 원 지반에 정착하는 동안 영양분을 공급하고, 뿌리를 내릴 수 있도록 충분한 공극을 형성하여, 식생이 진행되는 동안 균열에 의한 골재의 탈락 현상 등이 발생되지 않도록 하여야 하며, 현장 적용 시 운반과 설치가 용이하도록 크기와 모양이 설계되어야 한다. 따라서, 블록의 크기는 23×23×4 cm로 하였고, 현장 적용시 블록과 블록의 연결을 위하여 모서리에 2×2 cm 크기의 홈을 형성하였으며, 제작된 블록은 탈형하여 재령 6일에 중성화 처리를 실시하였다.

2.2.5 다공성콘크리트 블록에 식생 적용

중성화 처리된 다공성콘크리트 블록에 식생을 하기 위하여 23×23×10 cm 플라스틱 용기의 하단 2cm에 배수와 통기성을 위하여 자갈층을 형성하고, 블록을 통과한 식물의 뿌리가 영양분을 공급받을 수 있도록 배양토를 2cm 포설한 후 블록에 진동을 주어 배양토가 충전되게 하였으며, 블록 위에 1cm의 배양토를 다시 포설한 후 씨앗을 파종하고 1cm 가량 상토를 실시하였으며, 충분한 수분을 공급하기 위하여 살수를 하였다.

2.3 시험방법

2.3.1 공극률 시험

공극률 시험은 $\phi 10 \times 20$ cm인 시험체를 일본콘크리트공학협회 예코콘크리트 연구위원회의 포러스콘크리트의 공극률 시험방법(안) 중 용적법에 준하여 실시하였으며, 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 : 공시체의 수중중량(g)

W_2 : 24시간 방치 후 기건중량(g)

V : 시험체의 용적(cm^3)

2.3.2 강도시험

압축강도시험은 $\phi 10 \times 20$ cm, 휨강도 시험은 10×10×40 cm의 시험체를 제작하여 KS F 2405 (콘크리트의 압축강도 시험방법)와 KS F 2408 (콘크리트의 휨강도 시험방법)에 준하여 재령 28일에 실시하였다.

2.3.3 pH시험

식생을 위한 다공성 콘크리트의 공시체를 공시체 부피 5배의 증류수에 1일간 침지하여 밀봉한 후 pH를 측정하여 비교하였으며, pH 시험장치는 유리전극과 비교전극으로 구성된 것을 사용하였다.

2.4 식생 종류

2.4.1 잔디(tall fescue)

잔디는 영년생으로써 북방형 목초이며, 4~6월초에 곧은 줄기를 내고 초장은 50~60 cm이며, 내한성과 내서성이 우수하여 광범위한 토양조건에 잘 적응하는 톨페스큐를 선택하였다.

2.4.2 참싸리(lespedeza cyrtobotrya)

적박하고 건조한 곳에서도 수세가 왕성하여 사방용으로 많이 이용되는 초장이 90~100 cm 인 참싸리를 선택하였다.

2.4.3 비수리(lespedeza cuneata)

산기슭이나 강가의 모래땅에서 자라는 다년초로서 줄기는 곧게 서며 높이 50~90 cm이고 털이 많으며, 개화기가 8~9월인 비수리를 선택하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 공극률

식생을 위한 다공성콘크리트는 식물의 뿌리가 원 지반에 쉽고 빠르게 정착할 수 있도록 다양한 공극과 연속된 공극을 형성하는 것이 중요하며, 씨앗이 발아해서 뿌리를 내리고 성장하기 위해서는 대체적으로 공극률이 20~30%가 필요하다.⁴⁾

또한, 식생을 위한 다공성콘크리트의 공극과 공극률은 콘크리트의 강도에 가장 큰 영향을 미치는 중요한 변수로 작용하기 때문에 적절한 공극을 확보할 수 있도록 하는 것이 무엇보다도 중요하다.

Table 7에서 보는 바와 같이 벧짚재를 혼입한 다공성 콘크리트의 공극률은 29.2~34.6%로써 식생에 적합한 공극률에 상응하는 값을 나타내었으며, 벧짚재의 혼입량이 증가할수록 공극률이 감소하는 경향을 나타내었다.

한편, 벧짚재를 혼입하지 않은 다공성콘크리트의 공극률 36.5%에 비해 벧짚재의 혼입량에 따라 5~20%의 공극률 감소를 나타내었는데 이것은 분말도가 시멘트에 비해 미세한 벧짚재가 시멘트페이스트를 형성하는 과정에서 점성을 증가시키고, 벧짚재를 시멘트에 대하여 중량 비로 치환하였기 때문에 단위용적 안에 차지하는 전체 부피의 증가에 의하여 골재의 피복두께를 증가시켰기 때문이라 생각된다.

3.2 압축강도

식생을 위한 다공성콘크리트의 압축강도는 공극의 크기뿐만 아니라 공극률과 밀접한 관계가 있으며, 동일한

Table 7 Test results of air void and strength of porous concrete containing rice straw ash

Mix type	Curing	Void ratio (%)	Time of neutralization treatment (days)									
			Compressive strength (Mpa)					Flexural strength (Mpa)				
			Untreat ment	1	6	13	20	Untreat ment	1	6	13	20
RPC 1	Water	36.5	5.67	6.75	7.15	6.57	6.30	0.63	0.64	0.70	0.69	0.69
	Dry		5.48	5.75	6.17	5.98	5.52	0.61	0.64	0.69	0.68	0.68
RPC 2	Water	34.6	6.84	7.55	8.08	7.76	7.50	1.01	1.02	1.06	1.06	1.05
	Dry		6.39	7.01	7.64	7.61	7.42	1.01	1.02	1.04	1.02	1.02
RPC 3	Water	32.9	7.24	7.77	8.61	8.31	8.01	1.07	1.10	1.20	1.18	1.16
	Dry		6.93	7.50	8.09	7.83	7.67	1.03	1.03	1.11	1.11	1.07
RPC 4	Water	30.3	9.07	9.56	10.05	10.01	9.81	1.19	1.26	1.29	1.27	1.27
	Dry		9.03	9.39	9.57	9.48	9.41	1.11	1.18	1.26	1.26	1.25
RPC 5	Water	29.2	9.08	9.37	9.92	9.68	9.41	1.14	1.25	1.28	1.27	1.23
	Dry		8.97	9.16	9.51	9.42	9.34	1.04	1.16	1.23	1.18	1.18

공극률인 경우 공극의 크기가 작을수록, 공극의 크기가 동일한 경우 공극률이 작을수록 강도가 크게 나타난다.

한편, 보통시멘트 콘크리트가 시멘트페이스트와 굵은골재 및 잔골재 간의 일체로 인하여 강도 발현을 하는 반면에, 식생을 위한 다공성콘크리트는 골재의 주위를 시멘트페이스트가 피복하여 굵은골재와 굵은골재와의 맞물림에 의하여 강도 발현을 하기 때문에 골재를 피복하는 시멘트페이스트의 피복 정도가 압축강도 발현에 큰 영향을 미칠 것으로 생각된다⁷⁾.

Table 7에서 보는 바와 같이 수중양생의 경우, 벚지재를 혼입하지 않은 다공성 콘크리트의 압축강도는 5.67~7.15 Mpa로 나타났고, 벚지재를 혼입한 다공성 콘크리트의 경우 6.84~10.05 Mpa로 나타났으며, 벚지재의 혼입량에 의해 약 21~41% 정도의 강도 증진을 나타냈고, 벚지재를 6% 혼입한 다공성콘크리트에서 압축강도가 가장 크게 나타났다. 기건양생의 경우, 벚지재를 혼입하지 않은 다공성 콘크리트의 압축강도는 5.48~6.17 Mpa로 나타났고, 벚지재를 혼입한 다공성콘크리트의 경우 6.39~9.57 Mpa로 나타나 벚지재의 혼입량에 의해 약 17~55% 정도의 강도 증진을 나타냈으며, 수중양생의 경우와 마찬가지로 벚지재를 6% 혼입한 다공성콘크리트에서 압축강도가 가장 크게 나타났다. 이것은 벚지재의 화학 성분이 주로 SiO₂와 Al₂O₃으로써 Al₂O₃의 영향으로 시멘트의 수화반응 초기에 에트링자이트를 형성하여 재령 28일 이전에 강도 발현을 크게 하였을 뿐만 아니라, SiO₂에 의하여 벚지재의 혼입에 따른 포졸란 반응의 활성화 및 벚지재에 의한 피복두께 증가로 골재와 골재의 부착성을 증가시켰기 때문인 것으로 생각된다.⁸⁾ 또한, Table 7 및 Fig. 1에서 보는 바와 같이 모든 배합에서 중성화 처리를 하지 않은 경우에 비하여 중성화 처리를 한 경우의 압축강도가 크게 나타났으며, 재령 6일에 중성화 처리를 한 경우의 압축강도가 가장 크게 나타났다.

이러한 결과는 다공성콘크리트는 단위시멘트량이 작아

서 재령 7일이면 재령 28일과 거의 같은 강도 특성을 나타내기 때문에 재령 6일에 중성화 처리를 할 경우 결합재에 의한 다공성 콘크리트의 강도발현이 이루어진 것으로 판단되며, 이 시점 이후에 중성화 처리시약인 이인산암모늄[(NH₄)₂HPO₄],의 중성화 처리에 의한 알칼리 성분의 용출을 억제하는 과정에서 골재 주변에 인산칼슘염 [Ca₂(PO₄)₃]의 피막을 형성하여 골재의 결합력을 증진시킨 것으로 사료된다.

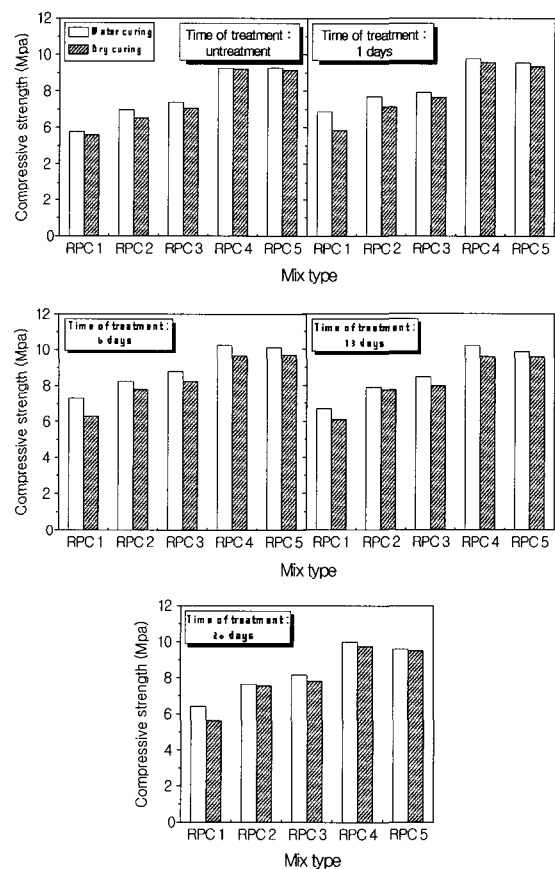


Fig. 1 Comparison of ompressive strength and mix type

3.3 휨강도

Table 7에서 보는 바와 같이 수중양생의 경우, 벚지재를 혼입하지 않은 다공성콘크리트의 휨강도는 0.63~0.70 Mpa로 나타났고, 벚지재를 혼입한 다공성콘크리트의 경우 1.01~1.29 Mpa로 나타나 벚지재의 혼입량에 의해 약 60~84% 정도의 강도 증진을 나타냈으며, 벚지재를 6% 혼입한 다공성콘크리트에서 휨강도가 가장 크게 나타났다.

기건양생의 경우, 벚지재를 혼입하지 않은 다공성 콘크리트의 휨강도는 0.61~0.69 Mpa로 나타났고, 벚지재를 혼입한 다공성콘크리트의 경우 1.01~1.26 Mpa로 나타나 벚지재의 혼입량에 의해 약 66~83% 정도의 강도 증진을 나타냈으며, 수중양생의 경우와 마찬가지로 벚지재를 6% 혼입한 다공성콘크리트에서 휨강도가 가장 크게 나타났다.

한편, Table 7 및 Fig. 2에서 보는 바와 같이 압축강도에서와 마찬가지로 모든 배합에서 중성화 처리를 하지 않은 경우에 비하여 중성화 처리를 한 경우의 휨강도가 크게 나타났으며, 재령 6일에 중성화 처리를 한 경우의 휨강도가 가장 크게 나타났다.

3.4 양생 종류별 pH

식물의 생육에 적절한 pH는 식물의 종류에 따라 다르지만 일반적으로 pH가 5~8 (최대 9.5)의 범위가 가장 이

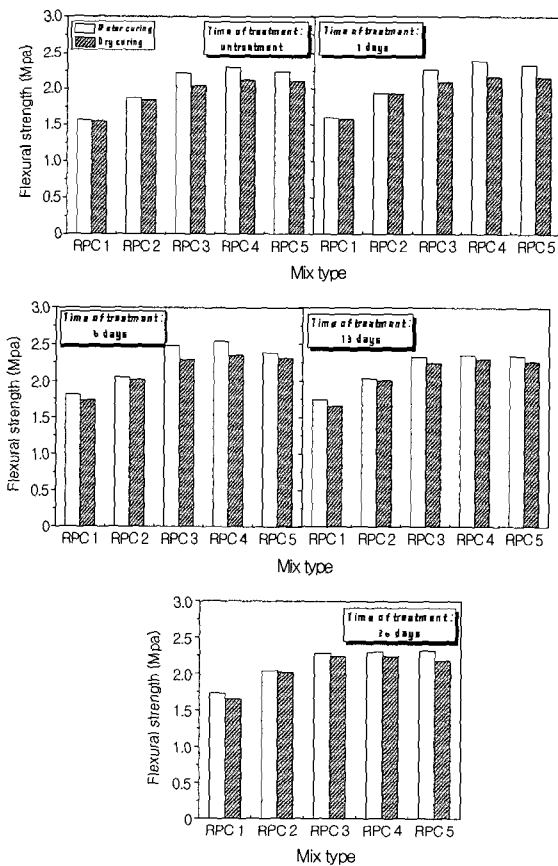


Fig. 2 Comparison of flexural strength and mix type

상적인 것으로 알려져 있기 때문에³⁾ 다공성콘크리트에 식생을 하기 위해서는 용출되는 알칼리 농도를 감소시키는 것이 식물의 생육초기에 발아율을 높이고 뿌리가 성장하는 데 중요한 요인이 된다.

한편, 다공성콘크리트의 경우 수화반응시 발생하는 수산화칼슘[Ca(OH)₂]의 수산이온에 의해 다거 염기를 형성하기 때문에 일반적으로 pH가 10~13 정도의 높은 값을 나타내며, 특별한 처리과정 없이 식생을 하는 경우 식물 생육의 저해 요인이 된다.

따라서, 다공성콘크리트의 pH를 저감시키기 위하여 이 인산암모늄을 사용하여 중성화 처리를 실시하였으며, 중성화 처리 시점과 양생방법에 따른 pH 변화의 시험결과는 Table 7과 같다.

3.4.1 기건양생한 경우의 pH

Fig. 3에서 보는 바와 같이 기건양생의 경우 중성화 처리를 하지 않은 다공성콘크리트의 재령 28일 pH는

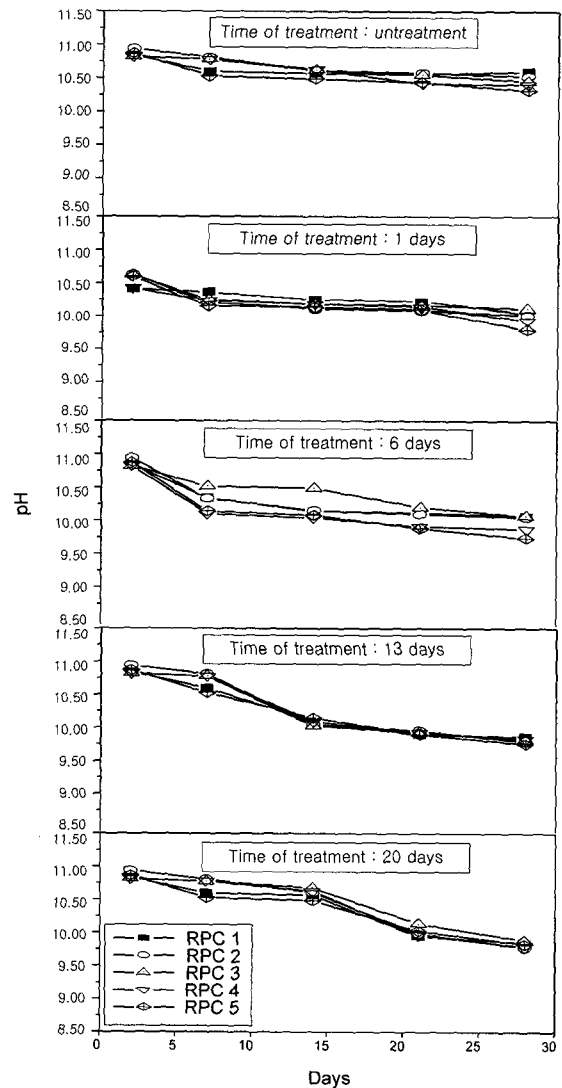


Fig. 3 pH Change by neutralization treatment time in air curing

10.32~10.56의 범위로 나타났으며, 재령 2일에 측정된 초기의 pH에 비하여 크게 감소되지 않는 것으로 나타났다.

한편, Fig. 3에서 보는 바와 같이 재령 1일, 6일, 13일, 20일에 중성화 처리를 한 경우, 재령 28일에 각각의 pH는 9.79~10.10, 9.74~10.07, 9.76~9.87, 9.78~9.89의 범위로서 중성화 처리 시점에 따른 pH 변화는 거의 없었으며, 중성화 처리를 하지 않은 다공성콘크리트 보다는 감소되었으나, 식생을 할 수 있을 정도의 pH 저감은 나타나지 않았다. 이것은 다공성콘크리트의 수화반응시 생성된 수산화칼슘의 알칼리 성분이 계속적으로 용출되어 밖으로 빠져나와야 pH가 감소되는 반면에, 기건양생의 경우 생성된 알칼리 성분이 다공성콘크리트 내에 계속적으로 잠재하고 있어 중성화 처리에 의하여 피막을 형성해도 pH 측정시 일시적으로 알칼리 성분이 용출되어 pH가 크게 나타난 것으로 생각된다.

3.4.2 수중양생한 경우의 pH

Fig. 4에서 보는 바와 같이 수중양생의 경우 중성화 처리를 하지 않은 다공성콘크리트의 재령 28일 pH는 9.41~9.59의 범위로 나타났으며, 재령 2일에 측정된 초기의 pH에 비하여 크게 감소한 것으로 나타났다.

이러한 결과는 수중양생하는 경우, 수화반응시 생성되는 수산화칼슘의 알칼리이온이 물분자에 의해 분해되면서 용출되어 계속적으로 밖으로 빠져나가기 때문에 pH가 저감된 것으로 생각된다. 또한, 중성화 처리를 실시하고 기건양생하는 경우보다 오히려 중성화 처리 없이 수중양생을 실시하는 경우가 pH 저감에 더 큰 효과가 있는 것으로 나타났다.

한편, Fig. 4에서 보는 바와 같이 수중양생을 하면서 재령 1일, 6일, 13일, 20일에 중성화 처리를 한 경우 재령 28일에 각각의 pH는 8.93~9.24, 8.88~9.28, 8.13~9.32, 8.83~9.29의 범위로서 중성화 처리 시점에 관계 없이 9.5 이하로 감소되어 식생이 가능한 정도의 pH 값을 나타내었다. 또한, 중성화 처리를 재령 1일에 하는 경우 재령이 경과할수록 pH가 계속적으로 크게 감소하는 것으로 나타났고, 수중양생을 진행하다가 중성화 처리를 하는 경우에는 중성화 처리 직후에 pH가 급격히 감소되었다가 점차 증가한 후 약 14일을 전후로 다시 감소하는 것으로 나타났으며, 재령 28일이 경과된 시점에서는 중성화 처리 시점에 관계없이 거의 유사한 값을 나타내었다. 한편, 중성화 처리를 재령 1일에 실시한 경우 재령 14일의 pH가 약 9.5 정도로 나타나 다공성콘크리트 제작 초기에 식생이 가능할 것으로 생각되며, 수중양생과 중성화 처리를 병행할 경우 중성화 처리 시점에 관계없이 모든 배합에서 재령 28일 이후에는 식생이 가능할 것으로 판단된다.

따라서, 이러한 결과는 다공성콘크리트에 식생을 실시할 수 있는 가능 시기를 판단할 수 있는 자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

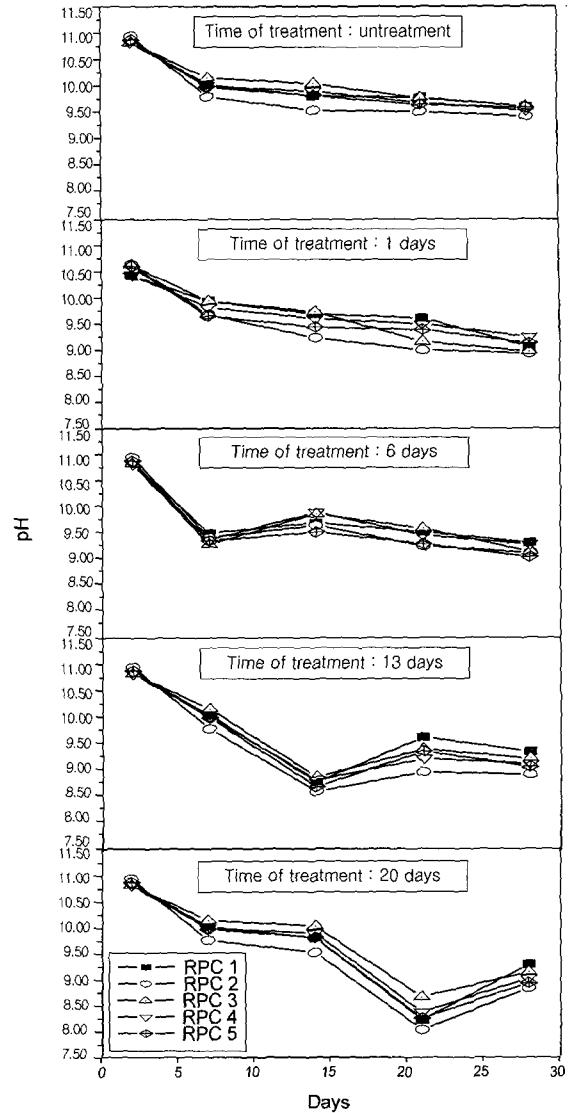


Fig. 4 pH change by neutralization treatment time in water curing

3.5 식생특성

다공성콘크리트의 실험결과 벧짚재를 6% 혼입한 경우, 강도와 공극률에서 가장 우수한 성능을 나타내어 최적 배합모델로 선정하여 다공성 블록을 제작하였고, 재령 6일에 중성화 처리를 실시하여 잔디, 참싸리 및 비수리를 각각 파종하였다.

3.5.1 잔디

잔디는 파종 후 4일에 발아를 하였으며, 파종 후 일주일 이 경과한 시점에서 발아율 90% 이상을 나타내었다. 파종 후 30일이 경과한 후 잔디의 성장길이는 15~17cm로 자랐으며, 잔디의 뿌리가 4cm 두께의 블록을 통과하여 사면에 적용할 수 있는 성장을 나타내었다. 한편, Table 8에서 보는 바와 같이 파종 후 90일이 경과한 후

식생블록에서 잔디의 성장길이는 40~50cm로 나타났고, 파종 후 90일 이후에는 잔디의 끝 부분이 구부러지면서 서로 엉킴이 발생하여 성장이 억제되거나 잎이 마르는 현상이 나타나 5cm정도로 깎아주었으며, 이후 Photo 1에서 보는 바와 같이 파종 180일이 경과한 시점에서는 다시 40~50cm로 성장하여 90일이면 최종 성장 길이가 되는 것으로 나타났다. 한편, 잔디는 성장 속도와 발아율이 우수하기 때문에 너무 많은 씨앗을 파종할 경우 성장이 지속되면서 잔디간의 엉킴에 의하여 고사하는 경우가 발생할 수 있기 때문에 초기의 성장과 발아율보다는 성장 후 잔디 상태를 고려한 파종이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

3.5.2 참싸리

참싸리는 파종 후 7일에 발아를 하였으며, 파종 후 14일이 경과한 시점에서 발아율 60% 정도를 나타내었다.

참싸리의 성장속도는 파종 후 30일 이내에서는 잔디에 비하여 서서히 진행하였으나, 30일 이후에는 성장 속도가 크게 증가하는 것으로 나타났으며, 초기에는 식생블록의 면적에 비하여 작은 공간을 차지했지만, 성장이 진행되면서 참싸리의 줄기와 잎이 식생블록의 전 면적을 차지하였다. 또한, 파종 후 30일에 Photo 2에서 보는 바와 같이 성장길이가 9~11cm로 잔디와 마찬가지로 뿌리의 길이가 식생블록 두께 4cm를 통과하여 현장에 적용시 쉽게 지반에 정착될 수 있을 것으로 판단되어 식생블록을 플라스틱 상자에서 분리하여 사면에 적용하였다.

한편, Table 8에서 보는 바와 같이 파종 후 90일이 경과한 시점에서 참싸리의 성장길이는 70~90cm로서 성장 속도가 크게 나타났으며, Photo 3에서 보는 바와 같이 식생 후 180일이 경과한 시점에서는 90~110cm로서 성장이 매우 우수한 것으로 나타났다.

3.5.3 비수리

비수리는 파종 후 14일에 발아를 시작하였으며, 파종 후 21일이 경과한 시점에서 발아율 50% 정도를 나타내었다.

Table 8 Test results of planting by porous concrete block

Time of measurement	Type	Grown-up length (cm)		
	Species of planting	Tall fescue	Lespedeza cyrtobotrya	Lespedeza cuneata
4 days	Germination	-	-	-
7 days	1~2	Germination	-	-
14 days	5~6	0.8~1.2	Germination	-
21 days	9~11	4~5	0.5~1	Germination
1 month	15~17	9~11	2.0~2.5	-
2 months	35~40	40~50	15~25	-
3 months	40~50	70~90	30~40	-
6 months	40~50	90~110	65~75	-
Germination ratio (%)		90	60	50

파종 후 30일 이내에서는 잔디에 비하여 서서히 진행되었으나, 30일 이후에는 성장속도가 크게 증가하는 것으로 나타났으며, 발아율이 50% 정도로 참싸리와는 달리 성장이 진행되어도 줄기가 가늘고 잎이 크지 않기 때문에 파종시에 발아율을 고려하여 충분한 파종이 이루어져야 현장 적용시 최종성장에 따른 고른 분포가 이루어져 사면 보호효과를 기대할 수 있을 것으로 생각된다. 또한, 파종 후 30일에 성장길이가 2.0~2.5cm로 잔디와 참싸리에 비하여 성장길이는 작지만 뿌리의 길이는 사면의 원 지반과 충분히 정착이 이루어질 정도로 성장하여 잔디나 참싸리와 같이 파종 후 30일에 사면에 적용하였다. Table 8에서 보는 바와 같이 파종 후 90일에 식생블록에서 비수리의



Photo 1 Growth appearance of Tall fescue (6 months after seeding)



Photo 2 Appearance of Lespedeza cyrtobotrya (30 days after seeding)



Photo 3 Growth appearance of Lespedeza cyrtobotrya (6 months after seeding)

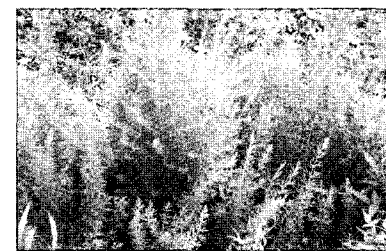


Photo 4 Growth appearance of Lespedeza cuneata (6 months after seeding)

성장길이는 30~40 cm를 나타내었으나, Photo 4에서 보는 바와 같이 파종 후 180일이 경과한 시점에서는 65~75 cm로 나타났다. 한편, 비수리는 초기 발아시점과 성장속도가 늦기 때문에 초기 사면보호효과를 높이기 위해서는 잔디와 같이 발아율과 초기성장속도가 큰 식물과 병행하여 식생하는 것이 바람직 할 것으로 생각된다.

4. 결 론

벗짚재를 혼입한 다공성콘크리트를 개발하여 공극률, 양생방법 및 중성화 처리시점에 따른 강도 및 pH를 측정하고, 식생블록 내에서의 식생 특성을 연구하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 공극률은 벗짚재의 혼입량에 따라 29.2~34.6%로 나타났으며, 벗짚재의 혼입량이 증가할수록 공극률은 감소하는 것으로 나타났다.
- 2) 압축강도는 수중양생에서는 벗짚재의 혼입량에 따라 6.84~10.05 Mpa로 나타났고, 기건양생에서는 6.39~9.57 Mpa로 나타났으며, 벗짚재를 6% 혼입한 다공성 콘크리트에서 가장 크게 나타났다.
- 3) 휨강도는 수중양생에서는 벗짚재의 혼입량에 따라 1.01~1.29 Mpa로 나타났고, 기건양생에서는 1.01~1.26 Mpa로 나타났으며, 벗짚재를 6% 혼입한 다공성 콘크리트에서 가장 크게 나타났다.
- 4) 중성화 처리 시점에 따른 압축강도 및 휨강도는 모든 배합에서 재령 6일에 중성화 처리를 한 경우가 가장 크게 나타났으며, 중성화 처리 시점에 관계없이 중성화 처리를 하지 않은 경우보다 강도가 우수한 것으로 나타났다.
- 5) 중성화 처리를 하지 않은 기건 및 수중양생의 경우 pH는 재령 28일에 각각 10.32~10.55와 9.41~9.59의 범위로 나타나 수중양생이 pH 감소가 큰 것으로 나타났다.
- 6) 중성화 처리를 한 기건 및 수중양생의 경우 pH는 재령 28일에 각각 9.74~10.10과 8.13~9.32의 범위로 나타나 중성화 처리와 수중양생을 병용하는 것이 가장 효과적인 것으로 나타났다.
- 7) 잔디의 발아율은 90%를 나타내었으며, 초기성장속도가 우수한 것으로 나타났고, 파종 후 180일에 40~50 cm의 성장길이를 나타내었다.

- 8) 참싸리의 발아율은 60%를 나타내었으며, 초기에는 성장속도가 늦었으나 시간이 경과함에 따라 성장속도가 우수한 것으로 나타났고, 파종 후 180일에 90~110 cm의 성장길이를 나타내었다.
- 9) 비수리의 발아율은 50%를 나타내었으며, 잔디와 참싸리에 비하여 초기성장속도가 늦은 것으로 나타났고, 파종 후 180일에 65~75 cm의 성장길이를 나타내었다.
- 10) 개발된 다공성 블록에 식생이 가능하였고, 식생블록내 식물의 장기적 성장이 우수하여 식물의 정착이 요구되는 곳에 적용할 경우 매우 효과적인 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2002년도 농림기술개발사업 지원으로 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 이승한, 김은겸, "환경친화콘크리트의 현황," 콘크리트 학회지, 12권 5호, 2000, pp.17~22.
2. Brandt, A. M., "Cement-Based Composites: Materials, Mechanical Properties and Performance," E & FN Spon, 1995, pp.66.
3. 김진춘, 김기수, 최광일, 오희갑, "다공성 콘크리트의 기초적 특성과 녹화실험," 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 8권 1호, 1996, pp.153~159.
4. Japan Concrete Institute, "Eco-concrete Research Committee," JCI, 1995, pp.5~30.
5. 성찬용, 김영익, "벗짚재 콘크리트의 물리·역학적 특성," 한국농공학회지, 40권 4호, 1998, pp.103~108.
6. 성찬용, 김영익, "벗짚재 콘크리트의 동결융해저항성에 관한 실험적 연구," 한국농공학회지, 41권 3호, 1999, pp.66~72.
7. Neville, A. M., "Properties of Concrete," 4rd Ed., Longman Malaysia, London, 2001, pp.711~713.
8. Georgescu, Maria and Badanoiu, Alina., "Hydration Process in 3CaO.SiO₂-Silica Fume Mixtures," Cement & Concrete Composites, Vol.19, No.4, 1997, pp.295~300.

요 약

농업부산물인 벗짚재를 혼입한 다공성콘크리트 블록의 공학적 특성과 다공성 블록내 식생 특성을 평가하기 위하여 수행되었으며, 공극률과 중성화 처리 시점 및 양생방법에 따른 다공성콘크리트의 압축강도, 휨강도 및 pH 등을 측정하였고, 개발된 다공성 블록내 잔디, 참싸리, 비수리를 파종하여 식생 특성에 대한 연구를 수행하였다. 연구결과, 벗짚재의 혼입량이 증가함에 따라 공극률은 감소하였고, 강도는 혼입량이 증가함에 따라 증가하였으며, 재령 6일에 중성화 처리를 한 경우의 강도가 가장 크게 나타났다. pH는 기건양생보다는 수중양생한 경우 저감효과가 우수하였으며, 수중양생과 중성화 처리를 병행할 경우 중성화 처리 시점에 관계없이 높은 pH 저감 효과를 나타내었다. 개발된 다공성 블록에 잔디, 참싸리, 비수리를 식생한 결과 잔디의 성장속도가 가장 우수하였으며, 참싸리와 비수리는 초기성장속도는 늦었으나, 장기적으로 성장이 우수하여 일반적인 토양에서와 비슷한 성장길이를 나타내어 블록내 식생이 가능한 것으로 나타났다. 또한, 시멘트의 일부로 벗짚재를 혼입한 다공성 콘크리트 블록을 개발하였으며, 다공성 블록내 식생이 가능하여 식생블록에 대한 현장 적용이 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 다공성콘크리트 블록, 벗짚재, 공극률, 강도, pH