

볏짚재를 활용한 식생콘크리트 블록 개발 및 사면 적용성에 관한 실험적 연구

Experimental Study on Development of Plantable Concrete Block Using Rice Straw Ash and Application for Inclined Plane

성 찬 용* · 김 영 익**
Sung, Chan Yong · Kim, Young Ik

Abstract

This study was performed to develop the plantable concrete block using rice straw ash and apply for inclined plane. For the planting, plantable concrete block needs infiltration of water and air through void of block.

The materials used for plantable concrete block are cement, rice straw ash, and coarse aggregate (5-10, 10-20 mm). Plantable block size is $23 \times 23 \times 4$ cm, and species of planting are 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* are shown in 90%, 60%, 50%, and 40~50 cm, 90~120 cm, 60~75 cm, respectively.

Keywords: Plantable block, Rice straw ash, Planting, Neutralization, Tall fescue, *Lespedeza cyrtobotrya*, *Lespedeza cuneata*.

I. 서 론

국내외적으로 환경문제가 전분야에 걸쳐 크게 대두되면서 건설분야에서도 환경을 보호하기 위한 노력이 절실히 요구되고 있으며, 특히 콘크리트는 반

친환경적인 구조재료로 인식되고 있어 이를 전환하기 위한 노력이 시급히 요구된다.^{1,2)}

따라서, 최근에는 콘크리트 분야에서도 환경문제 해결을 위하여 콘크리트용 혼화재료로 산업폐기물 또는 부산물을 활용하기 위한 연구가 이루어지고 있으며,^{3),5),9)} 친환경적인 구조물을 개발하기 위한 방안으로 다공성 콘크리트의 공극을 이용하여 식물이 뿌리를 내리고, 보수성 충전재를 사용하여 수분과 영양분을 공급하고, 콘크리트의 상부에 개토를 하여 씨앗이 발아할 수 있도록 한 에코콘크리트에

* 충남대학교 농업생명과학대학
** 충남대학교 대학원
* Corresponding author. Tel.: +82-42-821-5798
fax: +82-42-823-8050
E-mail address: cysung@cnu.ac.kr

대한 연구가 많이 이루어지고 있다.^{4),6),7),8)}

한편, 산업의 발전으로 건설공사가 급진전됨에 따라 험준한 지형에서도 건설장비를 이용한 시공이 이루어져 대규모의 절토사면이 출현하게 되었고, 이러한 사면은 지반심부에 있는 암반으로 이루어진 경우가 많아 식물의 생육이 어려운 실정이다.

따라서, 본 연구는 농업부산물인 벚짚재를 혼화 재료로 활용한 다공성 블록을 제작하여 다양한 종류의 식물이 자랄수 있는 식생블록을 개발하고, 사면보호를 위한 현장 적용을 통해 식생 특성을 구명하는 데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 사용재료

가. 시멘트

시멘트는 KS F 5201에 규정된 국내 S사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트이며, 이의 물리적 성질 및 화학성분은 Table 1 및 2와 같다.

Table 1 Physical properties of normal Portland cement

Specific gravity	Setting time (h-m)		Compressive strength (kgf/cm ²)		
	Initial	Final	3days	7days	28days
3.15	5-7	7-20	194	216	323

Table 2 Chemical composition of normal Portland cement (Unit : %)

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

나. 골재

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

Table 3 Physical properties of aggregate

Item	Size (mm)	Specific gravity (20°C)	Absorption ratio (%)	Fineness modulus	Unit weight (kg/m ³)
Coarse aggregate	5~10	2.64	2.62	6.64	1,449
	10~20			7.28	

다. 벚짚재

벚짚재는 벚짚을 태워 분쇄기로 미세한 입자로 만들어 사용하였으며, 이의 물리적 성질과 화학성분은 Table 4, 5와 같다.

Table 4 Physical properties of rice straw ash

Specific gravity (20°C)	Unit weight (kg/m ³)	Blain (cm ² /g)	Grain size (μm)		
			90% pass	50% pass	10% pass
2.25	252	3,888	86.6	16.4	0.8

Table 5 Chemical composition of rice straw ash (Unit : %)

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

라. 고성능 감수제

다공성 콘크리트의 강도 증진과 유동성 확보를 위하여 음이온 계면 활성제인 나프탈렌 설폰산염을 주성분으로 하는 고성능 감수제를 사용하였으며, 이의 일반적 성질은 Table 6과 같다.

Table 6 General properties of superplasticizer

Specific gravity (20°C)	pH	Color	Freezing point (°C)	Principal ingredient	Unit weight (kg/m ³)
1.20	9±1	Dark brown liquid	-2	Naphthalene sulphonate	1,190

마. 이인산암모늄

식생을 위한 다공성 콘크리트의 알칼리 용출을

억제하기 위한 중성화 처리제는 이인산암모늄 [Ammonium phosphate dibasic $(\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4$, 순도 99.1%, pH 8.14]을 사용하였다.

2. 식생블록의 제작

가. 다공성 콘크리트 배합

식생블록 제작을 위한 다공성 콘크리트의 배합은 다양한 식물의 생육이 가능하도록 충분한 뿌리를 내릴 수 있는 공극을 확보하고, 사면보호 기능을 수행할 수 있는 강도를 나타낼 수 있도록 배합비를 결정하였으며, 공극율 및 강도를 만족시키는 최적의 배합비로 농업부산물인 벚짚재를 시멘트 중량의 6%를 사용하였으며,^{10),11)} 이의 배합설계는 Table 7과 같다.

Table 7 Mix design of porous concrete block for planting (Unit : kg/m^3)

Mix type	Gravel size (mm)	Cement	Natural gravel	Rice straw ash	Super plasticizer	W/B
PPC 1	5~10	201.4	1,500	12.1	2.0	59.3
PPC 2	10~20	201.4	1,500	12.1	2.0	57.7

나. 블록의 제작 및 양생

식생블록은 식물이 뿌리를 내려 원지반에 고착하는 동안 영양분을 공급하고, 뿌리를 내릴 수 있도록 충분한 공극을 형성하며, 식생이 진행되는 동안 균열에 의한 골재의 탈락 현상 등이 발생되지 않도록 하여야 하고, 사면 적용에 있어 운반과 설치가 용이하도록 크기와 모양이 설계되어야 한다.

따라서, 식생블록의 크기는 $23 \times 23 \times 4 \text{ cm}$ 로 하였으며, 식생블록의 사면적용시 미끄러짐이 발생하지 않도록 모서리에 $2 \times 2 \text{ cm}$ 크기의 홈을 형성하였고, 제작된 블록은 탈형하여 소정의 재령까지 수중양생($23 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$)을 하였다.

다. 중성화 처리

식생블록의 알카리 용출을 억제하기 위하여 가장

효과가 좋은 것으로 나타난 재령 13일에 이인산암모늄 10% 용액에 표면건조포화상태의 블록을 10분간 침지하여 중성화 처리를 하였다.¹⁰⁾

3. 식생 종류

가. 잔디 (Tall fescue)

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

나. 참싸리(Lespedeza cyrtobotrya)

척박하고 건조한 곳에서도 수세가 왕성하여 사방용으로 많이 이용되고, 초장이 90~100 cm 인 참싸리를 선택하였다.

다. 비수리(Lespedeza cuneata)

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

4. 다공성 블록에 식생의 적용

$23 \times 23 \times 10 \text{ cm}$ 플라스틱 몰드의 하단 2 cm에 배수와 통기성을 위하여 자갈층을 형성하고, 블록을 통과한 식물의 뿌리가 영양분을 공급받을 수 있도록 배양토를 2 cm 두께로 포설한 후 Photo. 1과 같이 240 rpm인 진동기 위에 몰드를 올려 놓은 상태로 60초간 진동을 주어 배양토를 블록내에 충전시켰으며, 충전된 블록을 Photo. 2와 같이 플라스틱 몰드내에 설치하였고, 블록 위에 1 cm의 배양토를 포설하여, Photo. 3과 같이 발아율 및 식생 후 성장을 고려하여 블록 1개당 잔디는 1.5 g, 비수리와 참싸리는 1.3g의 씨앗을 파종한 후 Photo. 4와 같이 1 cm 가량 상토를 실시하고 충분한 수분을 공급하기 위하여 살수를 하였다.

또한, 파종이 끝난 식생블록은 Photo. 5와 같이 온도와 습도가 적절하게 유지될 수 있도록 앵글을 조립하여 설치하였다.

5. 식생블록의 사면 적용

다공성 블록에 잔디, 참싸리, 비수리 등을 식생한 후 식물의 뿌리가 두께 4 cm의 블록을 통과하는 30일이 경과한 후 경사 30°인 사면에 적용하였다.

한편, 블록내 식물의 뿌리가 사면의 지반에 완전히 고착되는 동안 블록이 이탈되지 않도록 블록 모서리의 홈을 고정하였다.



Photo. 3 A view of sowing seed

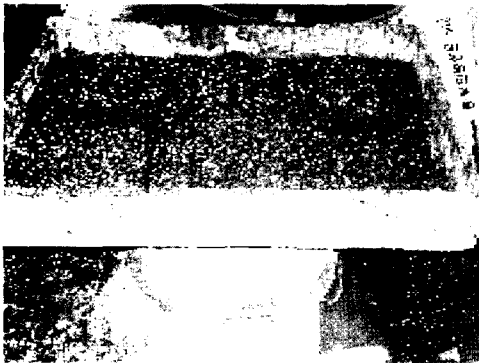


Photo. 1 Vibration



Photo. 4 Nursery soil

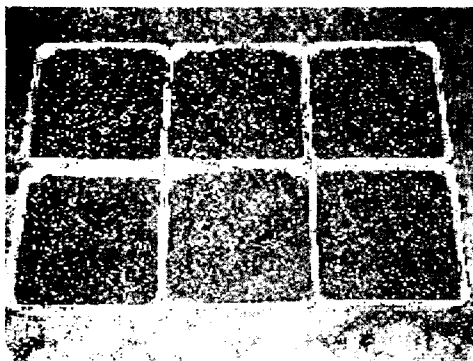


Photo. 2 Porous block

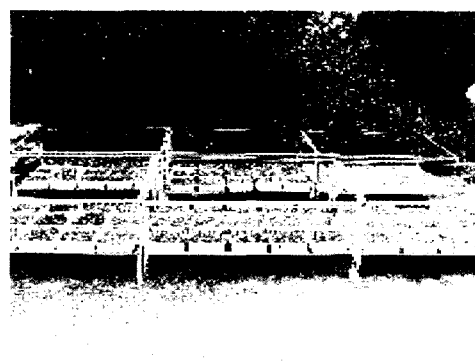


Photo. 5 A view after sowed seed

Table 8 Test results of planting for porous concrete block

Gravel size	Grown-up length (cm)					
	5~10 mm			10~20 mm		
Species of planting Time of measurement	Tall fescue	Lespedeza cyrtobotrya	Lespedeza cuneata	Tall fescue	Lespedeza cyrtobotrya	Lespedeza cuneata
4 days	Germination	-	-	Germination	-	-
7 days	1~2	Germination	-	1~3	Germination	-
14 days	4~5	0.8~1	Germination	5~6	0.8~1.2	Germination
21 days	8~10	3~4	0.5~0.7	9~11	4~5	0.5~1
1 month	14~16	8~10	1.5~2	15~17	9~11	2~2.5
2 month	30~35	30~40	15~25	35~40	40~50	15~25
3 month	40~45	60~70	30~40	40~50	70~90	30~40
6 month	40~45	90~100	60~70	40~50	90~120	65~75
Germination ratio (%)	90	60	50	90	60	50

Ⅲ. 결과 및 고찰

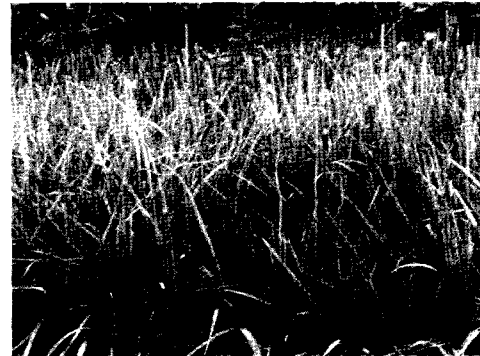
다공성 콘크리트 블록에 잔디, 참싸리 및 비수리를 식생한 후 각각의 재령에 따른 발아율 및 성장 결과는 Table 8과 같다.

1. 잔 디

잔디는 파종 후 4일에 발아를 시작하였고, 파종 후 일주일이 경과한 시점에서 골재 크기에 관계없이 발아율이 90% 이상을 나타내었으며, 참싸리와 비수리에 비하여 초기에 높은 발아율과 성장 속도를 나타내었다.

잔디의 성장 속도는 식생 후 30일이 경과한 후 식생블록의 골재 크기 5~10 mm와 10~20 mm에서 잔디의 성장길이는 각각 14~16 cm와 15~17 cm인 것으로 나타나 골재 크기에 따른 성장 속도의 차이는 거의 없는 것으로 나타났으며, 잔디의 뿌리가 4 cm 두께의 블록을 통과하여 사면에 적용할 수 있는 성장을 나타내었다.

한편, Photo. 6(b)에서 보는 바와 같이 파종 후 90일이 경과한 후 식생블록의 골재 크기 5~10



(a) 2 months after planting



(b) 3 months after planting

Photo. 6 Tall fescue

mm와 10~20 mm에서 잔디의 성장길이는 각각 40~45 cm와 40~50 cm로서 골재크기에 관계없이 거의 유사한 것으로 나타났으며, 파종 후 90일 이후에는 잔디의 끝 부분이 구부러지면서 서로 엉킴이 발생하여 성장이 억제되거나 잎이 마르는 현상이 나타나 5 cm 정도로 깎아주었으며, 이후 파종 180일이 경과한 시점에서는 다시 각각 40~45 cm와 40~50 cm로 성장하여 90일이면 최종 성장 길이가 되는 것으로 나타났다.

한편, 잔디는 성장 속도와 발아율이 우수하기 때문에 너무 많은 씨앗을 파종할 경우 성장이 지속되면서 잔디간의 엉킴 등에 의하여 고사하는 경우가 발생할 수 있기 때문에 초기의 성장과 발아율 보다는 성장 후 잔디 상태를 고려한 파종이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

2. 참싸리

참싸리는 파종 후 7일에 발아를 시작하였으며, 파종 후 14일이 경과한 시점에서 골재 크기에 관계없이 발아율이 60% 정도를 나타내어, 잔디에 비하여 발아 시점이 늦고, 발아율 또한 낮은 것으로 나타났다.

참싸리의 성장 속도는 파종 후 초기 30일 이내에서는 잔디에 비하여 서서히 진행하였으나, 30일 이후에는 성장 속도가 크게 증가하는 것으로 나타났으며, 발아율이 60% 정도로 초기에는 식생 블록의 면적에 비하여 작은 공간을 차지했지만, 성장이 진행되면서 참싸리의 줄기와 잎이 식생 블록의 전 면적을 차지하였다.

또한, 파종 후 30일에서 성장길이가 8~11 cm로 잔디와 마찬가지로 뿌리의 길이가 식생블록의 두께 4 cm를 통과하여 사면에 적용시 쉽게 지반에 고착될 수 있을 것으로 판단되어 식생블록을 플라스틱 몰드에서 분리하여 사면에 적용하였다.

한편, Photo. 7(b)에서 보는 바와 같이 파종 후 90일이 경과한 후 식생 블록의 골재 크기 5~10

mm와 10~20 mm에서 참싸리의 성장길이는 각각 60~70 cm와 70~90 cm로서 골재 크기가 큰 식생블록에서의 성장 속도가 크게 나타났으며, 파종 후 180일이 경과한 시점에서는 각각 90~100 cm와 90~120 cm로서 골재크기 10~20 mm의 블록에서 성장이 매우 우수한 것으로 나타났다.

이러한 결과는 참싸리는 성장이 진행되면서 줄기가 굵어져 뿌리에서 줄기가 시작되는 부분의 블록 내 공극의 크기가 이것을 통과시킬 정도가 되어야 줄기가 계속적으로 성장할 수 있는 반면에, 골재크기 5~10 mm의 식생 블록의 공극이 골재크기 10~20 mm의 식생블록에 비하여 작기 때문에 참싸리의 줄기가 계속적으로 성장하는 데 제약이 된 것으로 생각되며, 식생에 있어서 공극의 크기에 따른



(a) 2 months after seeding



(b) 3 months after seeding

Photo. 7 *Lespedeza cyrtobotrya*

식생 종류의 선정이 중요한 요인이 될 것으로 판단된다.

3. 비수리

비수리는 파종 후 14일에 발아를 시작하였으며, 파종 후 21일이 경과한 시점에서 골재 크기에 관계없이 발아율이 50% 정도를 나타내어, 잔디와 참싸리에 비하여 발아 시점이 늦고, 발아율 또한 낮은 것으로 나타났다.

비수리의 성장 속도는 참싸리와 마찬가지로 파종 후 초기 30일 이내에서는 잔디에 비하여 서서히 진행되었으나, 30일 이후에는 성장 속도가 크게 증가하는 것으로 나타났으며, 발아율이 50% 정도로 참싸리와는 달리 성장이 진행되어도 줄기가 가늘고 잎이 크지 않기 때문에 파종시에 발아율을 고려하여 충분한 파종이 이루어져야 사면 적용시 최종 성장에 따른 고른 분포가 이루어져 사면 보호 효과를 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

또한, 파종 후 30일에 성장길이가 1.5~2.5 cm로 잔디와 참싸리에 비하여 성장길이는 작지만 뿌리의 길이는 사면의 원지반과 충분히 정착이 이루어질 정도로 성장하여 잔디나 참싸리와 같이 파종 후 30일에 사면에 적용하였다.

한편, Photo. 8(b)에서 보는 바와 같이 파종 후 90일이 경과한 후 식생블록의 골재 크기 5~10 mm와 10~20 mm에서 비수리의 성장길이는 모두 30~40 cm로서 골재크기에 관계없이 동일한 성장 속도를 나타내었으나, 파종 후 180일이 경과한 시점에서는 각각 60~70 cm와 65~75 cm로서 골재크기 10~20 mm의 블록에서의 성장이 약간 우수한 것으로 나타났다.

한편, 비수리는 초기 발아시점과 성장 속도가 늦기 때문에 초기에 사면 보호의 효과를 높이기 위해서는 잔디와 같이 발아율과 초기 성장 속도가 큰 식물과 병행하여 식생하는 것이 바람직 할 것으로 생각된다.



(a) 2 months after seeding



(b) 3 months after seeding

Photo. 8 *Lespedeza cuneata*

IV. 결 론

이 연구는 농업부산물인 볏짚재를 활용한 식생블록을 개발하여 골재의 크기와 식물의 종류에 따른 식물의 성장 특성을 구명한 것으로서, 이 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 잔디의 발아율은 90%를 나타내었으며, 초기 성장 속도가 우수한 것으로 나타났고, 파종 후 90일에 40~50 cm의 성장 길이를 나타내었다.
2. 참싸리의 발아율은 60%를 나타내었으며, 초기에는 식생블록의 골재크기에 관계없이 성장 속도가 비슷하였으나, 시간이 경과함에 따라 골재 크기가 큰 식생블록에서 성장 속도가 우수한 것으로 나

타났고, 파종 후 180일에 90~120 cm의 성장 길이를 나타내었다.

3. 비수리의 발아율은 50%를 나타내었으며, 잔디와 참싸리에 비하여 초기 성장 속도가 늦은 것으로 나타났고, 파종 후 180일에 60~75 cm의 성장 길이를 나타내었다.

4. 잔디, 참싸리 및 비수리는 파종 후 30일에 다 같이 뿌리가 사면의 원지반에 고착할 수 있을 정도로 성장하였으며, 경사 30°의 사면에도 적용이 가능하였다.

5. 개발된 식생블록에 다양한 식물의 식생이 가능하였고, 식생블록내 식물의 장기적 성장을 통한 식생블록을 사면에 적용할 경우 사면의 원지반과의 고착이 용이하여 사면 보호 효과를 기대할 수 있을 것으로 생각되며, 다양한 식생블록의 개발이 이루어질 것으로 기대된다.

본 논문은 2002년도 농림기술개발사업에 의하여 수행된 연구결과의 일부임

References

1. Brandt, A. M., 1995, *Cement-based Composites : Materials, Mechanical Properties and Performance*. London : E & FN Spon.
2. Bilodeau, A., V. Sivasundaram, K. E. Painter and V. M. Malhotra, 1994, Durability of concrete incorporating high volumes of fly ash from sources in the U. S., *ACI Materials Journal* 91(1) : 3~12.
3. Carette, G., Bilodeau, A., Chevrier, R. L. and Malhotra, V. M., 1993, Mechanical properties of concrete incorporating high volumes of fly ash from sources in the U. S., *ACI Materials Journal* 90(6) : 535~544.
4. Choi, L. and J. C. Kim, 1998, Eco-concrete, *Magazine of the Korea Concrete Institute* 10(6) : 11~21. (in Korean)
5. Georgescu, Maria and Badanoiu, Alina., 1997, Hydration process in 3CaO. SiO₂-silica fume mixtures, *Cement & Concrete Composites* 19 (4) : 295~300.
6. Japan Concrete Institute, 1995, Eco-concrete research committee report, *Japan Concrete Institute*.
7. Lee, S. H. and E. K. Kim, 2000, A review of environment conscious concrete, *Magazine of the Korea Concrete Institute* 12(5) : 17~22. (in Korean)
8. Neville, A. M., 1995, *Properties of concrete*, 4rd Ed., Longman, London, pp. 666~674
9. Sung, C. Y. and Y. I. Kim, 1998, Physical and mechanical properties of rice straw ash concrete, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 40(4) : 103~108. (in Korean)
10. Sung, C. Y. and Y. I. Kim, 2002, Experimental study on pH reduction by neutralization treatment and curing methods of porous concrete for planting, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 44(2) : 99~106. (in Korean)
11. Sung, C. Y. and Y. I. Kim, 2002, Experimental study on physical and mechanical properties of Eco-concrete using rice straw ash, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 44(5) : 79~87. (in Korean)