

벼 부산물을 함유한 생분해성 육묘포트의 기계적 성질 및 분해 특성

한상익*[†] · 강항원* · 변대우** · 장기창* · 서우덕* · 나지은* · 김준영* · 최경진*

*국립식량과학원 기능성작물부, **㈜에버그린

Mechanical Properties and Degradability of Bio-degradable Agricultural Transplanting Pot Containing Rice By-product

Sang-ik Han*[†], Hang-won Kang*, Dae-woo Byun**, Ki Chang Jang*, Woo Duck Seo*, Ji-eun Ra*, Jun Young Kim*, and Kyung-jin Choi*

*Department of Functional Crop, National Institute of Crop Science, RDA, Milyang 627-803, Korea

**Evergreen Co. Siheung, Korea

ABSTRACT The bio-degradable transplanting pot containing rice by-product (rice-hull and rice-bran) were developed, and tested their ability for agronomic use. Rice by-products were crosslinked with biodegradable aliphatically aromatic copolyesters or urea resin for making transplanting pot. Mechanical properties and degradability of these pots were measured and compared to those of the Jiffy pot (commercially used bio-degradable pot). Mechanical strength was higher than that of Jiffy pot, and bio-degradability was excellent under the actual field condition. In addition, the pot could be degraded within 3 months under the ground. Our result indicated bio-degradable pot containing rice by-products has a great potential for such agronomic use.

Keywords : rice, by-product, bio-degradable, bio-pot

석유로부터 개발된 플라스틱과 필름이 우리 생활과 밀접한 관련을 맺으면서 그 사용량이 점차 증가하고 있다. 특히 농업분야에서 비닐하우스를 포함한 작물의 이식 재배를 위해서 필름 사용이 두드러지고 있는데 이것은 작물재배에 있어서 PE(polyethylene)로 만들어진 이식용 비닐포트의 이용은 초기의 안정적인 작물의 생육과 초기에 문제가 되고 있는 잡초의 방제효과가 두드러져 최근 급격하게 줄고 있는 농촌 인구와 고령화에 따른 노동력 문제를 해결할 수 있어 농촌에서 널리 사용되고 있다.(이준설, 2009; Hwang *et al.*, 1996; Kim and Hong, 1996). 그러나 농업용 비닐을 포함한 대부분의 경우 환경오염에 대한 관심이 커지면서 이들을 사

용하고 난 후의 처리가 심각한 문제로 대두되고 있다. 우리나라의 경우 2009년 한해 발생예정인 34만톤의 폐비닐 중 수거실적은 19만톤으로서 전체 발생량의 60%도 수거되지 않고 있는 실정이며 나머지는 토양중에 잔존하거나 농경지와 농경지 주변 환경에 버려지는 것으로 보고되고 있고, 각 지자체와 정부는 해마다 폐비닐 수거에 많은 노력과 비용을 지불하고 있는 실정이다(한국환경공단, 2010). 매립에 의한 환경호르몬 유출, 독성 다이옥신 발생 등의 위해성을 해결하기 위해 분해가 가능한 환경친화적이고 무해한 분해성 플라스틱에 대한 개발 요구가 증가하고 있으며, 특히나 유럽을 중심으로한 여러 국가에서는 쇼핑백과 일부 플라스틱에 생분해성 플라스틱 사용을 의무화하는 등의 제도를 실시하고 있다. 일반적으로 생분해성 소재는 분해되는 반응에 따라 생분괴성, 생분해성 플라스틱으로 구분된다(Doane, 1992). 생분괴성 플라스틱은 석유유래 폴리화합물인 폴리에틸렌(PE), 폴리프로필렌(PP), 그리고 폴리스티렌 등에 전분과 같은 미생물에 의해 분해가 가능한 물질을 일부 첨가하여 플라스틱이 붕괴하도록 하는 것이다(제갈종건, 2010). 생분괴성 플라스틱의 경우 함유하고 있는 전분의 분해에 의한 어느 정도의 붕괴는 가능하지만, 완전한 생분해성은 아니며, 조각난 플라스틱 자체의 분해가 완전히 이루어진 상태가 아니어서 토양에 존재하게 되는 단점을 가지고 있다. 반면 생분해성 플라스틱은 탄수화물을 미생물에 의해 구조변형하여 생산하거나 지방족 폴리에스테르의 구조변형에 의해 생산되는 바이오플라스틱으로서 바이오플라스틱 자체로도 이용이 가능하고, 생분해성 천연 고분자인 전분을 혼합하여 만들어진 플라스틱을 말한다. 천연고분자를 함유하는 바이오플라스틱의 경우 유기합성에 의한 생분해성 고분자

[†]Corresponding author: (Phone) +82-55-350-1217
(E-mail) han0si@korea.kr <Received November 12, 2010>

보다 제조 방법이 간편하고, 기존의 가공 장치를 활용할 수 있다는 장점을 가지고 있다(Tuil, 2000; 김재현, 1994). 포트의 종류에는 종이포트, 플라스틱 포트, peat 포트, 캔 등이 사용되고 있고, 이중 친환경 소재를 이용한 육묘용 포트는 1950년대에 sphagnum moss peat를 이용한 지피포트가 개발되어 상용화되고 있다(김지문, 1980). 그러나 지피포트의 경우 일부 수입이 되어 가정용 및 원예용으로 사용이 되고 있으나, 가격이 비싸서 농가에 널리 보급되지는 않았다. 생분해성 수지를 이용한 생분해성 포트의 경우 화훼류 재배와 판매를 위해서 유럽에서는 그 사용이 점차 증가하고 있고, 점차 비분해성 바이오플라스틱의 사용 증가도 예상되고 있다(Candido, 2007; 지식경제부, 2010).

본 연구는 폐비닐에 의해 발생하는 문제를 해결하고 토양 이식 작업에서 모를 뽑아서 파종하기보다 포트와 같이 파종하기 위한 방편으로 벼 부산물로서 생산되는 천연고분자인 왕겨와 쌀겨를 주성분으로 하는 생분해가 가능한 이식 재배용 포트를 개발하여 그 이용 가능성을 검토하고자 수행하였다.

재료 및 방법

생분해성 포트 개발을 위해 사용할 벼 부산물로 왕겨와 쌀겨는 국립식량과학원 기능성작물부 시험 포장에서 수확한 것을 이용하였고, 크기별 분리를 위해 (주)새론휠러의 고속분쇄 및 자동분리기를 이용하여 크기별로 분리하였으며 밀봉 보관하면서 포트제조에 이용하였다.

생분해성 포트를 제조하기 위하여 크기별로 분쇄된 왕겨와 쌀겨를 이용하였고, 점착성의 증가를 위해 옥수수전분을 사용하였으며, 제품의 강도 조절과 형상 유지를 위해 이산화탄과 요소수지를 보충제로 사용하여 제품생산을 위한 재료를 혼합하여 포트를 제조하기 위한 원료를 준비하였다.

각 방법에 따라 분쇄 왕겨, 쌀겨, 전분, 요소, 이산화탄, 용매로서 물을 혼합기에 투입하고 10 분 ~ 20 분 동안 혼합 혼련하여 육묘 포트용 조성물을 생성하였다. 다음단계로 육묘 포트용 조성물을 주문제작한 가열 가압 성형기로 130℃ ~ 180℃ 온도 범위에서 10 ~ 40 kgf/cm²의 압력으로 1 ~ 5 분간 성형하여 육묘용 포트 제품을 제조하였다.

육묘용 포트의 토양 분해와 강도변화를 확인하기 위해 친환경 포트와 지피포트(5 cm × 5 cm, 330 cm × 12 cm) 각각 5 cm × 5 cm 절편으로 절단한 다음 시험용 샘플 토양을 준비하여 토양 표면에서 5 cm 아래에 넣어 시간 경과에 따른 강도변화와 분해정도를 확인하였다. 강도 측정은 Texture analyser(model TAXT plus 영국 Stable micro systems 사)의 제품을 이용하였고, 강도측정에 사용된 probe는 직경 5

mm를 사용하여 측정하였다. 작물 재배를 통한 실질적 토양 중 분해도를 측정하기 위한 분해율 측정은 방법 1과 2로 생산된 제품과 지피포트 조각을 건조기 105℃에서 5시간 건조 후 데시케이터에서 냉각 후 건조 무게를 3회 반복 측정하고 기록하였으며, 지표로부터 5 cm 아래 토양 중에서 해당 지속 기간을 지낸 후 포트 조각을 회수하여 표면의 흙을 물로 수세하고 건조기에서 상기와 동일조건으로 건조 후 무게의 변화를 조사하였다. 분해율은 최초 무게에 대한 무게 감소 비율로 표시하였다. 분해율은 10 mesh 망사체를 이용하여 망사에 남는 양으로서 분해율을 계산하였다. 토양은 원예용 상토와 일반 전작물 재배용 토양을 재료로서 사용하였다. 유해성분에 대한 중금속 시험은 필름재료를 동결건조한 후 분쇄하여 측정시료를 용매를 사용하여 녹인 후 ICP (Inductively Coupled Plasma, PE5300-DV, Perkin Elmer, USA)를 사용하여 분석하였다. 그리고 실제 작물 재배를 통한 육묘용 포트의 재배 안정성을 파악하기 위해 콩을 이용하여 재배시험을 하였다. 재배에 사용된 콩은 대풍콩을 사용하였다.

결과 및 고찰

생분해성 육묘용 포트의 제작을 위해 왕겨와 쌀겨를 분쇄하여 사용하였다. 제품의 생산에 있어 육묘용 포트는 주성분으로서 왕겨, 쌀겨, 전분, 요소, 티타늄 분말 및 물을 이용하여 제품을 개발하였다. 왕겨의 분말의 입자크기는 50 ~ 120 메쉬 사이의 분말을 사용하였는데, 왕겨 분말의 크기가 50메쉬 이상으로 커질 경우 생산된 제품이 쉽게 부서졌으며, 제품 성형물의 표면이 거칠어서 상품성을 보유하지 못하여 포트 제작을 위한 입자의 크기는 50 메쉬 이상으로 결정하였다. 그리고 입자의 크기가 150 메쉬 이상은 분쇄하는데 시간이 많이 소요되고, 발열로 인해 왕겨 입자가 서로 영키는 결과를 얻어 경제성을 고려하여 가장 작은 입자의 크기는 120 메쉬로 결정을 하였다. 50 ~ 80메쉬의 왕겨분말과 80 ~ 120 메쉬 왕겨분말의 혼합비율은 50 ~ 80 메쉬만을 사용해서도 제품 생산은 가능하고 분해율과 강도를 조절하기 위해 80 ~ 120 메쉬의 분말도 1:1 혼합이 가능하였다.

제품생산을 위해 쌀겨분말도 사용이 되었는데, 쌀겨의 경우 제품의 연질성을 부여하기 위해 사용하였다. 쌀겨의 경우 왕겨보다 생산량도 적을 뿐만아니라 단가도 상대적으로 비싸 제품의 생산비를 올리는 원인이 되어 적정 함유 범위는 5 ~ 15%가 바람직할 것이다. 그리고 전분도 일정량 사용되었는데 전분은 요소 수지와 같이 제품에 사용된 입자의 물리적 결합을 증가시켜 제품의 강도를 높이는 역할을 한다. 전분의 경우 5 ~ 15%정도 혼합하여 제품을 생산하는

Table 1. Rice by-product contents and other materials combination for the development of bio-degradable transplanting pot followed by commercial use and massive production.

Contents	Range	Reason
Rice by-product range for production	30 ~ 60%	Prices and quality
Rice by-product particle size range by mesh size	50 ~ 120mesh	Product quality and stability
Combination ratio by rice-hull particle size (50 ~ 80 : 80 ~ 120 mesh)	1:1 ~ 4:1	Controlling the hardness
Starch	5 ~ 15%	Economics
Urea resin	5 ~ 10%	Bio-degradability

Table 2. Rice by-product contents and other materials combination for producing two types of transplanting pot.

	Rice hull(%)		Rice-bran(%)	Starch (%)	Urea resin (%)	TiO ₂ (%)	Water (%)
	80 ~ 120 mesh	50 ~ 80 mesh	50 ~ 100 mesh				
Method 1		40	10	10	7	3	30
Method 2	20	30	10	10	7	3	20

것이 경제성과 제품의 강도 조절에 용이하였으며 요소 수지의 경우 5 ~ 10% 정도의 함유가 제품의 생분해성을 고려하면 적절하였다. 광촉매로 주로 사용되는 이산화티탄의 경우 제품의 강도와 광택을 유지하는데 사용되는데 혼합되는 비율은 최소로 할 경우 1 ~ 3%의 범위에서 사용하는 것이 적절하였다. 최종적으로 생산된 제품의 물리적 특성과 생분해성 시험에 사용된 제품은 50 ~ 80 메쉬의 왕겨분말을 40% 사용한 제품과 50 ~ 80 메쉬의 왕겨분말 20% 그리고 80 ~ 120 메쉬 왕겨분말 30%를 사용해서 제조한 제품을 이용하여 수행하였다. 다른 성분의 함량은 표 2에 나와 있는 바와 같은 조성으로 폼트를 생산하였다.

토양 중에서 폼트의 생분해성을 측정하기 위한 시험에서 생산된 제품에 대한 강도를 비교하였다. 5 cm × 5 cm로 절단된 시료를 사용하여 초기 강도를 비교한 결과 제1방법에 의해 생산된 제품의 강도는 5.3 kg force였고, 제2방법에 의해 생산된 제품의 강도는 7.8 kg force로서 제2방법에 의해 생산된 제품의 강도가 강함을 보였다. 대조로 사용된 지피폼트의 강도는 3.4 kg으로서 제2방법으로 생산된 제품이 지피폼트에 비해 약 2배 이상 강함을 보였다. 그리고 토양 중에서 30일 경과 뒤의 제품의 강도를 비교해본 결과 제1방법에 의해 생산된 제품의 강도는 21.9 g 까지 줄어들었고, 제2방법에 의해 생산된 제품은 58.8 g 까지 강도가 줄어들었다. 반면 지피폼트의 경우 380 g의 강도를 보유하고 있었다(표 3). 그림 1은 40일 동안의 땅속에 폼트 조각을 보관하였을 경우 강도 변화를 나타낸 표이다. 원예용 상토에서의 강도변화를 보면 일반 토양에 비해 방법1과 2에 의해 생

Table 3. Hardness comparison of transplanting pot at initial state and after 30 days of the field test.

Products	Initial hardness (g force/φ 5 mm)	Hardness in 30 days (g force/φ 5 mm)
Method 1	5,300	21.9
Method 2	7,800	58.8
Jiffy pot	3,400	380

산된 제품에서 강도의 감소가 두드러져서 2주가 지났을 때의 강도는 방법 1이 161 g 이었고 방법 2가 214 g 이었으며 지피폼트는 708g이었다. 반면 일반 밭 토양 중에 있었던 폼트의 조각은 방법 1이 325 g 이었고 방법 2가 564 g 그리고 지피폼트가 472 g으로서 방법2에 의해 제작된 폼트가 지피폼트보다 강도가 우수함을 보이고 있었다. 35일이 지났을 때의 원예용 상토에 처리한 폼트 조각의 강도는 방법1과 2가 0 g인 반면 지피폼트는 570 g의 강도를 보유하고 있었다. 일반 토양에 처리한 경우는 방법 1이 0 g의 강도였고, 방법 2가 52 g, 그리고 지피폼트가 440 g의 강도를 보유하고 있었다. 원예용 상토의 경우 토양이 부드럽고 공기의 순환이 어느정도 가능한 관계로 토양 분해 세균에 의한 생분해성 폼트의 분해작용이 활발하여 육묘용 폼트의 경우 분해가 빨리 일어난 것으로 사료되고, 일반 밭 토양의 경우 척박하게 다져진 형태로서 상대적으로 분해가 늦게 일어난 것으로 사료된다. 반면 지피폼트의 경우 일반토양에서의 강도 감소가 원예용 상토에서보다 더 빨리 진행된 것으로 조사되었다.

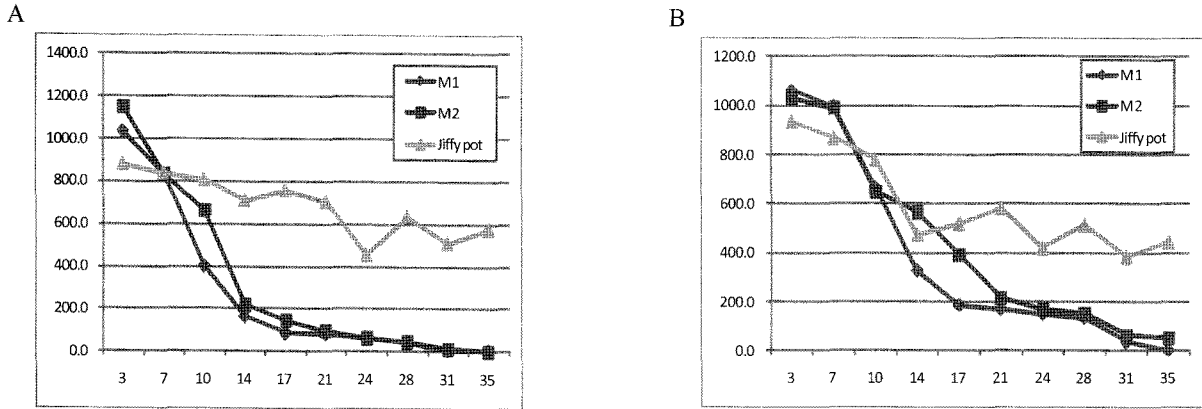


Fig. 1. Hardness change of transplanting pot under the two kinds of soil conditions within 40 days. A: vermiculite soil, B: normal upland soil.

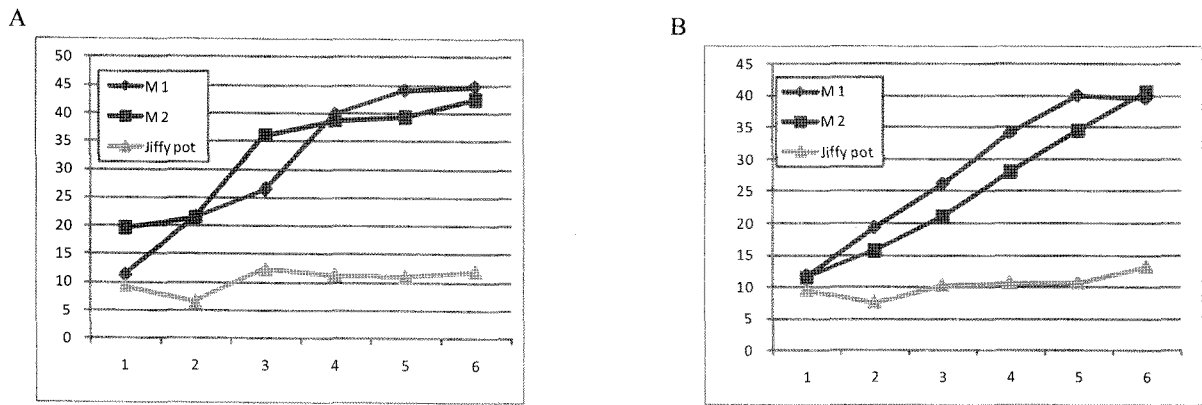


Fig. 2. Degradability change of transplanting pot under the two kinds of soil conditions within 6 weeks. A: vermiculite soil, B: normal upland soil.

육묘용 풋트의 분해정도를 실제 토양을 이용해서 확인하기 위한 시험에서 1주가 경과한 후의 결과는 방법1에 의해 생산된 풋트는 11% 가량이 10메쉬의 체를 통과할 정도로 분해가 일어났고, 방법2에 의해 생산된 풋트는 약 20%가 분해가 되었을 때 지피풋트는 9%의 분해율을 보였다. 6주간의 분해율 측정 결과 그림 2에서 보는바와 같이 지피풋트는 분해율에서 최대 13%를 보여 전체 기간동안 분해가 별로 진행이 되지 않은 것으로 조사되었고, 방법 1과 2에 의해 생산된 풋트의 경우는 지속적으로 분해가 진행되어 6주가 지났을 때 원예용 상토 토양에서는 방법 1과 2가 각각 45%와 43%의 분해율을 보였고, 일반 밭토양에서는 40%와 41%로서 비슷한 정도의 분해율을 보였다.

토양에서의 분해율 검정시험에서 사용된 육묘용 풋트의 외관상 변화를 관찰한 결과는 그림 3과 4에서 보는바와 같이 30일이 지났을 때 조직이 많이 갈라지고 성글어 졌으면 색도 어두운 색으로 변했음을 확인할 수 있었다. 제조 방법

에 따른 비교에서도 방법 1에 의해 생산된 제품에서 2에 비해 균열이 크고 많이 발생함을 확인할 수 있었다.

생분해성 육묘용 풋트의 유해성분 분석 결과는 표 4에서 보는 바와 같이 비소와 납 등의 7종에서는 해당성분이 검출되지 않았고, 미량으로 아연에서 검출되었으나, 81 mg/kg으로 우리나라 허용 기준치인 500 mg/kg 보다 매우 작게 함유되어 있어 8종의 유해성분 허용 기준(한국산업규격과 US EPA method 3050B, 3052의 유해성분 함량 규정)에 모두 충족하는 결과를 얻었다.

실제 작물을 이용한 토양 재배시험에서는 작물의 외형적인 생육과 뿌리의 발달을 관찰하였다. 그림 5에서 보는바와 같이 콩의 외형적인 지상부 생육은 정상적으로 발육함이 관찰되었고, 뿌리의 발육은 육묘용 풋트의 경우에서 더욱 왕성하게 자람을 확인할 수 있었다. 지피풋트의 경우 뿌리가 풋트내로 한정되어 자라고 있었음을 확인하였고, 육묘용 풋트의 경우는 풋트가 거의다 부서짐을 확인하였다.

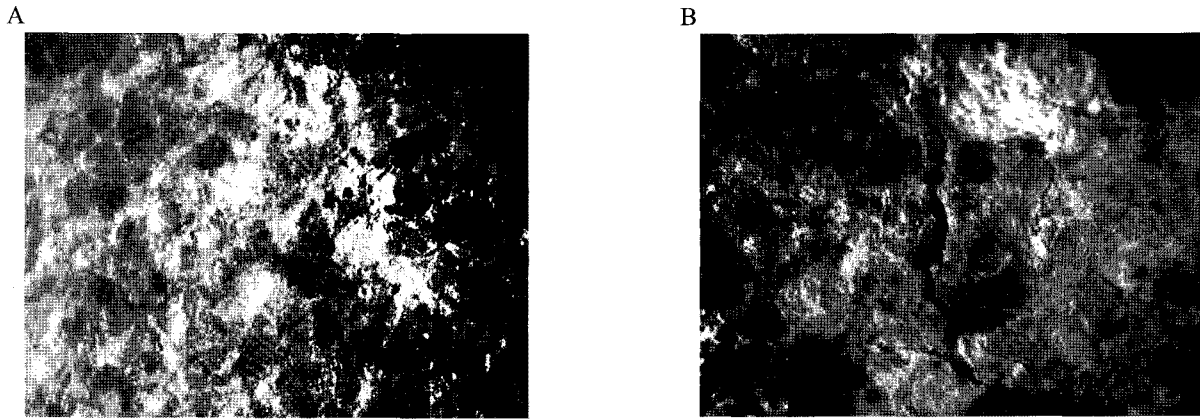


Fig. 3. Stereo-microscopes of produced good by Method 1 at initial state and after 30days treatment under ground. A: Initial state, B: 30days after treatment under-ground condition.

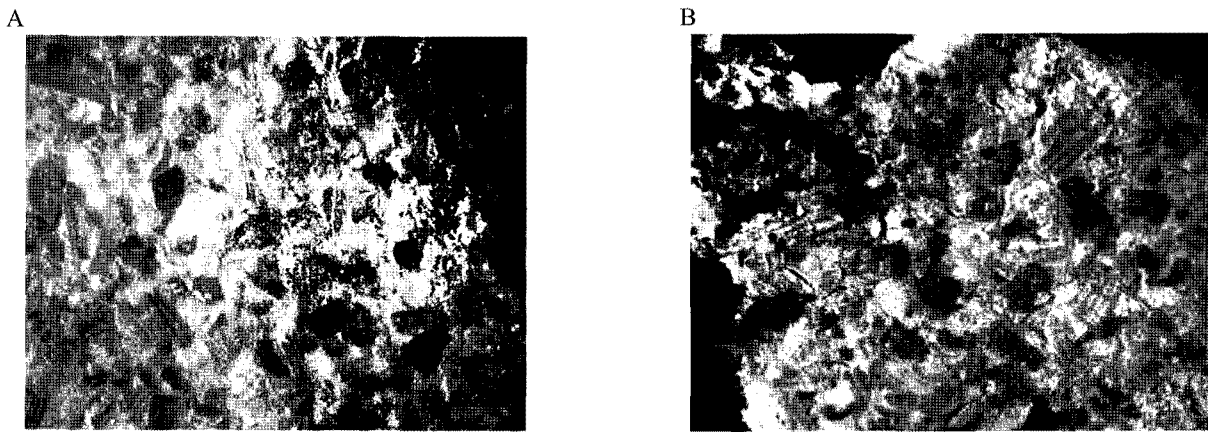


Fig. 4. Stereo-microscopes of produced good by Method 2 at initial state and after 30days treatment under ground. A: initial state, B: 30days after treatment under-ground condition.

Table 4. The heavy metal contents of transplanting pot and there permissible level under the Korean standard

Materials	As	Pb	Cd	Hg	Cr	Cu	Ni	Zn
Results (mg/kg)	-	-	-	-	-	-	-	81
Permission level by US EPA	25>	50>	0.5>	0.5>	150>	200>	25>	500>

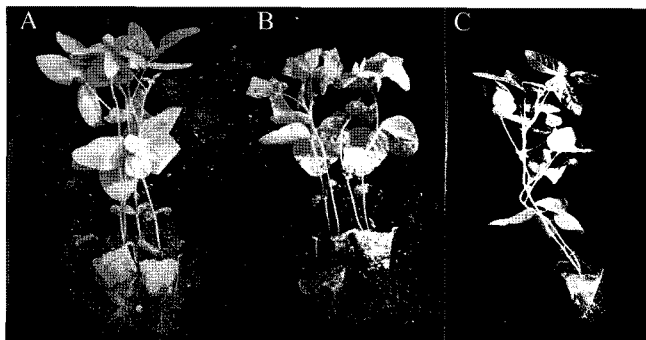


Fig. 5. Field test results of transplanting pot for identifying root growth and degradability in soybean. A: Method 1, B: Method 2, C: Jiffy pot.

적 요

작물의 이식재배에 활용이 가능한 생분해성 육묘용 포트의 개발과 이용가능성을 검토하고자 수행한 결과는 다음과 같다.

1. 천연물을 이용한 생분해가 가능한 포트의 제조를 위해 버 부산물인 왕겨와 쌀겨를 이용하여 생분해성 농자재로 육묘용 포트를 제조하였다.
2. 생분해성 육묘용 포트의 기계적인 특성은 기존 생분해

성 포트르 활용되고 있는 지피포트와 비교해서 제품의 초기 강도는 강하고 토양중에 처리하였을 경우 시간이 지남에 따라 제품의 강도가 급속히 감소하는 특성을 보였다.

3. 토양중 분해율을 간접 측정한 방법에서 거의 분해가 일어나지 않은 지피포트에 비해 생분해성 포트의 경우 작은 조각으로 떨어져 나가서 6주가 경과하였을 경우 45% 이상이 10 mesh 이하의 작은 조각으로 분해됨을 관찰하였다.
4. 생분해성 필름에 대한 유해성분 용출시험에서 중금속 등이 검출되지 않았고, 국내 친환경 인증 기준이 정하는 생분해성 수지의 함량기준에 충족하였다.
5. 작물을 이용한 토양중 작물생육과 더불어 판단한 실질 분해력 시험에서도 지피포트에 비해 왕성한 분해력을 보여 일반 농업 현장에 적용이 가능할 것으로 사료된다.

인용문헌

Candido, V., Miccolis, V., Castronuovo, D., Manera, C. 2007. Poinsettia (*Euphorbia pulcherrima*) Cultivation in Biodegradable Pots: Mechanical and Agronomical Behaviour of Pots and

Plants Traits. ISHS Acta Horticulturae, Greensys 2007.
 Doane, W. M. 1992. USDA research on starch-based biodegradable plastics. *Starch*, 44: 292-295.
 Hwang, H. J., J. W. Suh, I. J. Ha, and Y. W. Ryu. 1996. Effects of planting time and mulching material on growth and seed yield for seed production culture in onion. *RDA. J. Agri. Sci.* 38(1): 640-647.
 Kim, H. K., and B. H. Hong. 1996. Effects of mulching materials on physical properties of soil and grain yield of sesame. *Korean J. Crop Sci.* 31(3): 260-269.
 Tuil, R. V., F. Paul, M. Lawther, C. J. Weber. 2000. Properties of biobased packaging materials. 13-44.
 Witt, U., Einig, T., Yamamoto, M., Kleeberg, I., Deckwer, W.-D, and Muller, R.-J. 2001. Biodegradation of aliphatic-aromatic copolyesters: evaluation of the final biodegradability and ecotoxicological impact of degradation intermediates. *Chemosphere* 44: 289-299.
 김지문, 이화형, 권기원, 송호경. 1980. 이식용 pot의 제조 및 그 효과에 관한 연구. *한국임학회지* 46: 1-9.
 이준설, 정광호, 김학신, 김정주, 송연상, 방진기. 2009. 생분해성 멀칭필름을 이용한 고구마 재배. *한작지*. 54(2): 135-142.
 지식경제부. 2010. 바이오제품 시장 및 바이오기술개발 동향. 제갈종건. 2010. 바이오플라스틱 기술 및 시장 동향. *Bioin*. 15
 한국환경공단. 2010. 영농폐기물 수거처리 현황.