

펄프 몰드식 육묘포트의 성형조건 및 수분 흡수에 따른 굴곡 하중 특성 분석

송대빈¹ · 정준우 · 김철환^{2†} · 허무룡³
(2009년 8월 21일 접수: 2009년 10월 19일 채택)

Analysis of Flexural Strength of Seedling Pots Made by a Pulp-Molding Machine under Different Water Contents

D-B Song¹, J-W. Jeong, C-H Kim^{2†}, and M-R. Huh³
(Received Aug 15, 2009; Accepted Oct. 17, 2009)

ABSTRACT

Paper mill sludges are discharged around 870,000 M/T annually. Only 30% of the paper mill sludge have been recycled and the rest has been disposed by land fill, incineration, ocean abandonment and other ways. Because of overall prohibition of sludge disposal by London Dumping Convention in 2012, a urgent counter measure for paper mill sludge must be provided. In this paper, some basic experiments were carried out to develop a tray cell pot using paper mill sludge for increasing the recycling potential of the wasted sludge. To establish the manufacturing parameters, the tray cell pots were made with three types of materials including virgin pulp, old news paper and corrugated board mixed in a blend tank of a molding machine. The bending force and moisture content of the produced tray cell pots was measured to confirm the application capability. The tray cell pot could be manufactured under the condition of over 20% of virgin pulp, 40% of old news paper added. However, the corrugated board could not be used because of the glutinous substance included. The produced tray cell pot absorbed water very easily and the bending force decreased rapidly. The waterproof material must be used to applicate the produced tray

* This study was conducted by the Rural Development Administration (RDA).

1 Professor, KSAM member, Dept. of Bio-Industrial Machinery Engineering, IALS, Gyeongsang National University, Korea

2 Corresponding author: Associate Professor, Dept. of Forest Products, Gyeongsang National University, Jinju, 660-701, Korea

3 Professor, Dept. of Horticulture, IALS, Gyeongsang National University, Korea

† 교신저자(Corresponding author): e-mail: jameskim@gnu.ac.kr

cell pot in plant growing fields.

Keywords : Recycling, Paper mill sludge, Tray cell pot, Bending force, Pulp mold

1. 서론

제지 슬러지는 제지 공장에서 종이류 생산 후 발생한 슬러지로 그 발생량은 총 지류 생산량 870만 톤의 약 10%인 87만 톤 이상 발생하는 것으로 추정되고 있다. 발생한 제지 슬러지의 32.7%는 재활용, 10.0%는 매립, 38.0%는 해양투기, 그리고 19.3%는 소각으로 처리되고 있다.¹⁾

매립의 경우 높은 함수율로 인한 침출수의 과다 발생, 매립지 지반 약화를 초래하여 슬러지의 매립은 중간 처리 과정을 거쳐 처리하는 것이 바람직하며, 특히 2001년부터 제지 슬러지와 같은 유기성 슬러지의 직매립이 금지된 상황이다.²⁾ 소각은 높은 함수율로 인한 연소의 어려움이 있어 소각 비용이 매립비용의 2배 이상 소요되고 있다. 해양 투기는 매립 및 소각에 비해 처리 비용이 저렴하여 매년 해양투기 비율이 증가하고 있다. 그러나 해양 투기로 인하여 해양오염, 적조현상유발, 해저부 중금속 축적문제, 해양생물체 내 난분해성 유해물질 농축에 의한 국민 건강 위협 등의 문제점이 발생하여 런던협약에 의거 해양 투기 또한 조만간 금지될 예정이다.²⁾ 따라서 매립과 해양투기의 금지와 소각의 비용증가 등의 이유로 제지 슬러지 처리 방안에 대한 연구가 시급히 수행되어야 한다고 판단된다.

국내 원예 산업은 1990년 25,450 ha에서 2003년 52,149 ha로 급속하게 증가하였으며, 이에 따른 인공상토의 사용량 역시 급속히 증가하고 있다. 2006년 농협에서 농가에 공급한 상토는 수도용 410억 원, 원예용 40억 원으로 총 450억 원이었으며, 2007년에는 원예용 상토의 증가로 총 900억 원에 이를 것으로 전망된다.³⁾ 육묘용 포트 소요량은 2003년 시설채소 면적 65,340 ha⁴⁾를 기준으로 약 30-40억 주로 이를 금액으로 환산하면 약 600-900억 원에 이르며, 2007년에는 약 900억 원 이상으로 추정된다.

현재 시설원예용으로 사용되는 육묘포트는 플라

스틱으로 제조된 것으로 무게가 가볍고, 수분침투에 따른 기계적 강도의 영향이 없고, 반복사용이 가능하고, 제조비용이 저렴한 장점이 있다. 그러나 사용 후 처리과정에서 난분해성으로 인해 환경오염을 일으키는 문제를 안고 있기 때문에 환경오염을 유발하지 않는 친환경 소재를 사용한 육묘포트의 개발이 필요하다.

따라서 이 연구에서는 폐기되는 제지 슬러지의 효과적 재활용 및 친환경 농업을 위한 제지 슬러지로 만든 육묘포트를 개발하고자 하였으며, 펄프 몰드 식 제조공정을 이용한 육묘포트의 성형조건 및 수분침투에 따른 육묘포트의 기계적 특성을 알아보고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 성형조건 분석

2.1.1 장치구성

일반적인 펄프 몰드 공정은 Fig. 1과 같이 구성된다. 펄핑 공정은 종이류를 물에 섞어 농도 약 2% 내외로 해리시켜 슬러지 현탁액을 만드는 공정으로 균질화 공정을 거쳐 저장탱크로 이송된다. 성형공정은 흡입성형, 압축건조, 표면마무리의 3단계로 구성된다. 흡입성형은 Fig. 3과 같은 하부금형에 Fig. 4와 같이 원료 현탁액을 공급시키고 공기를 이용하여 와류를 성형시키면 원료액 중의 고형분과 섬유소들이 금망 표면에 부착된다. 고형분과 섬유소가 표면에 충분히 부착되면 Fig. 5와 같이 하부금형이 위로 상승하면서 흡입팬에 의해 부착된 고형분 내의 수분을 제거시킨다. 수분이 제거된 고형분은 Fig. 6과 같이 상부 금형과 압착되어 제품형상이 만들어진 후 Fig. 7과 같이 상부금형이 상승하면서 하부금형 표면에서 상부금형으로 제품이 분리된다. 상부금형으로 분리된 제품은 이후 건조공정, 표면 마무리 공정을 거쳐 완제품이 된다. 일반적으로 펄프 몰드 방식으로 만들어지는 제

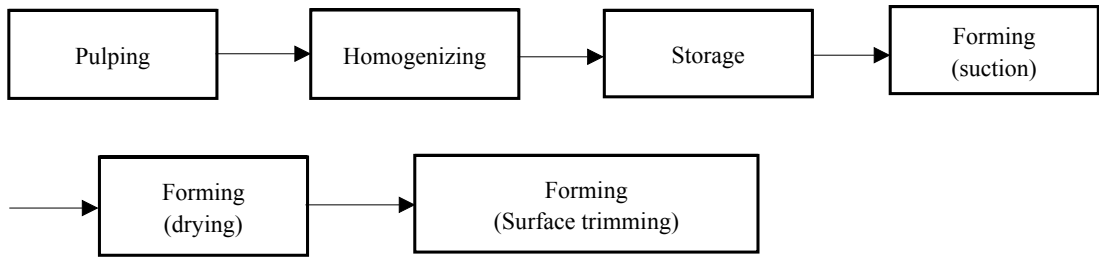


Fig. 1. Manufacturing process of a dry-type pulp mold.

폼의 대부분은 원료로 폐지를 사용하기 때문에 원료 액 중 섬유소의 금형 금망에 부착성, 흡입팬에 의한 탈수성 등이 양호해 제품 성형에 아무런 문제가 발생되지 않는다. 그러나 제지슬러지의 경우 구성 성분의 대부분이 탄산칼슘 같은 고형분이기 때문에 첨가되는 섬유소의 양에 따라 금망 표면에 부착되는 정도가 달라진다. 제품 성형의 가능여부의 첫 번째는 성형용 하부금형이 상승했을 때 금형표면에 부착된 고형분의 상태에서 결정된다. 제품 성형 가능여부의 두 번째는



Fig. 2. Photograph of the pulp mold machinery.

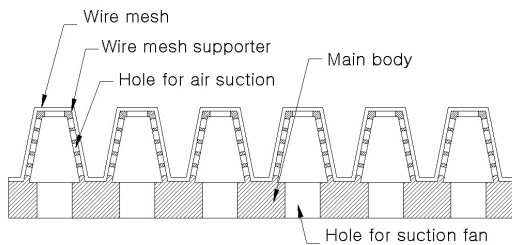


Fig. 3. Schematic structure of a forming mold.

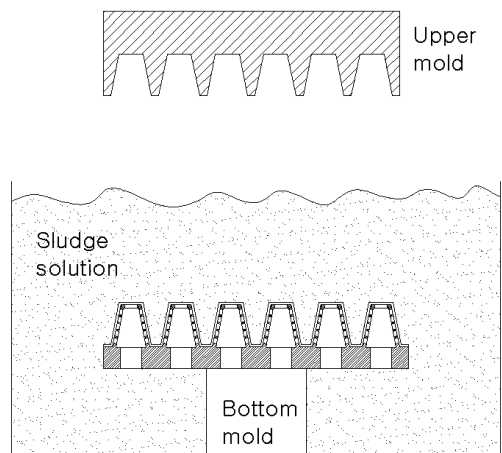


Fig. 4. Bottom mold submerged for collecting solids from the fluids.

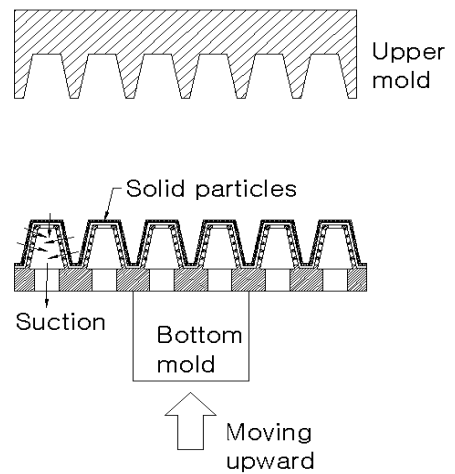


Fig. 5. Moving upward of the bottom mold for forming.

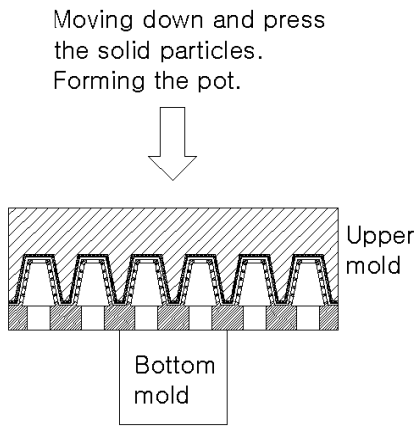


Fig. 6. Compression and water removal process during forming.

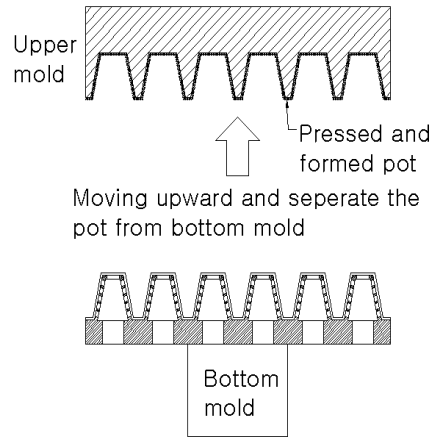


Fig. 7. Separation of the formed pot from the bottom mold.

상부금형에 의한 고형분 압축 후 상부금형 상승시 제품이 하부금형에서 상부금형으로 원활하게 분리되는가 하는 것이다. 원료액의 농도가 지나치게 높아서 하부금형 금망에 부착된 고형분이 많거나 첨가물의 구성성분 중 점착성이 큰 물질이 존재하는 경우에는 압축 후 제품이 상부금형으로부터 분리되지 않는다.

이 실험에서는 현재 육묘재배 시 사용되는 72구용 육묘트레이 형상과 동일한 금형을 Fig. 3과 같이 제작하여, Fig. 2의 펄프 몰드 방식의 제조설비를 사용하여 육묘포트를 제작하였다.

2.1.2 실험재료

실험에 사용된 제지슬러지는 M사에서 탈수 처리가 된 케이크(cake)형 슬러지를 수거하여 포트 제조에 이용하였다. 사용된 제지슬러지의 성분은 Table 1과 같다. 제지슬러지는 셀룰로오스 함유가 40-50%를 차지하고 나머지는 무기물들로 이루어진 고형분이기 때문에 펄프 몰드 방식으로 육묘포트를 성형하기 위해서는 고형분을 적절하게 포집할 수 있는 섬유질



Fig. 8. Pulp mold with 72 holes.

을 첨가해 주어야 한다. 슬러지 현탁액에 포함된 고형분을 1차 성형공정의 금망표면에 포집하기 위해 사용한 성형 보조제로는 국내산 신문지 고지, 국내산 골판지 고지, 국내산 활엽수 크라프트 펄프를 사용하였다. 국내산 신문지 고지는 펄프 몰드 제조 과정에서 사용되는 방법으로 탈묵 없이 그대로 해리하여 사용하였다.

2.1.3 실험방법

육묘포트 성형조건 분석을 위해 첨가물 3종류별 첨가량에 따른 제품 성형여부를 확인하였다. 성형 1차 공정에서 제품 분리 여부, 2차 공정으로의 제품이

Table 1. Physico-chemical properties of paper sludge

pH (1:5)	Ash (%)	TKN (%)	Element contents (%)				C/N ratio
			C	H	N	S	
7.80	61.79	1.29	22.21	2.58	1.37	0.16	16.18

Table 2. Stock formulation for seedling pot production

Added materials	Weight percentage of added material(%)*	Concentration of paper suspension(%)
Virgin pulp	10, 20, 30, 40, 50	0.5
Old news paper	10, 20, 30, 40, 50	0.5
Corrugated board	10, 20, 30, 40, 50	0.5

* Based on an oven-dried weight of paper sludge

송 여부, 최종 제품의 상태를 육안으로 관찰하여 성형 여부를 판정하였다. 상세한 첨가물 종류별, 농도별 실험 조건은 Table 2와 같다.

2.2. 수분 흡습에 따른 굴곡하중 특성

2.2.1 실험장치

수분침투에 따른 육묘포트의 굴곡 하중은 Fig 9와 같은 만능 물성측정기(TA-XT2i, Stable Micro System, England) 및 고정 장치를 사용하여 하중 부하 속도 30 mm/min., 접촉 후 변형 5 mm로 하여 측정하였다.

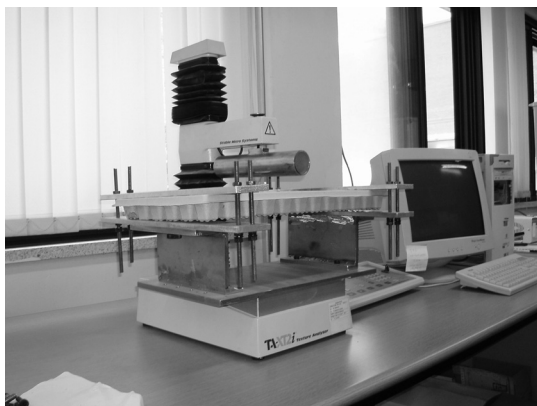


Fig. 9. The measuring machine for measuring a bending force of the cell pot.

2.2.2 실험재료

성형이 가능한 조건에서 제조된 육묘포트를 사용하였으며, 육묘포트 충전에 사용된 상토는 현재 육묘

재배에 사용되는 상토를 구입하여 사용하였다.

2.2.3 실험방법

제작된 육묘포트 4종류 및 상부를 라텍스로 코팅한 육묘포트 총 5종류의 육묘포트를 사용하여 수분 흡습 후 시간에 따른 수분량 및 굴곡 하중 변화를 측정하였다.

첫 번째는 육묘포트를 물속에 담가 충분히 수분을 침투시킨 후 침투 직후, 1, 5, 10, 24 시간 간격으로 굴곡 하중을 측정하였다.

두 번째는 종묘장에서 사용되는 조건과 동일하게 육묘포트에 상토를 충전시킨 후 스프레이로 물을 충분히 공급하고 수분공급 직후, 1, 2, 3, 4, 5, 6 시간 간격으로 육묘포트의 함수율과 굴곡 하중을 측정하였다.

세 번째로 육묘포트에 상토를 충전시킨 후 스프레이로 물을 공급하고 수분공급 직후, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 24 시간 간격으로 육묘포트의 함수율을 측정하였다.

각 실험에서 육묘포트의 함수율은 육묘포트의 초기 중량을 기준으로 각 시간대별 중량을 측정하여 환산하였다. 육묘포트 종류별 5개의 시료를 사용하여 실험을 행하였으며 측정값의 최대값과 최소값을 배제시킨 3개 측정값의 평균치를 굴곡 하중과 함수율로 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 성형조건 분석

Table 3은 첨가물 3 종류, 첨가량 5 수준에서 펄프 몰드 방식으로 육묘포트를 제조한 경우 육묘포트 성형가능 여부를 나타낸 것이다. 천연펄프의 경우에는 슬러지 전건 중량 대비 첨가량 20% 이상에서 제품 성형이 가능하였다. 천연펄프의 경우 섬유질의 양과 상태가 양호하여 1차 성형 공정시 슬러지 고형분의 흡착성이 우수하고 하부금형 상승 시 팬 흡입에 의한 수분 배출성 역시 뛰어났다. 다만 천연 펄프 첨가량 10%에서는 슬러지 고형분이 하부금형 표면에 부착되지 않아 성형불량이 발생되었다.

신문지 고지를 사용한 경우에는 슬러지 전건 중량 대비 신문지 고지 40% 이상에서 제품 성형이 가능하

였고, 30% 이하에서는 불가능하였다. 20% 이하에서는 하부금형 표면에 고형분 부착이 거의 이루어지지 않았고, 30%에서는 제품 모서리 부분에 고형분이 부착하지 않는 현상과 부착량이 너무 작아 상부금형 압착 후 상부금형 쪽으로 제품분리가 되지 않는 현상이 발생했다. 신문지 고지의 경우 쉽게 구할 수 있고 가격이 비교적 저렴하고 잔류하는 섬유소 성분 역시 비교적 양호하기 때문에 제지슬러지를 이용한 육묘포트 제조용 부원료로 가장 적합한 것으로 판단된다.

골판지 고지를 보조제로 사용한 경우에는 첨가량에 관계없이 제품 성형이 불가능하였다. 그 이유는 골판지 제작 시 사용되는 전분류 접착제 때문에 1차 성형공정의 하부금형에 부착되는 고형분의 양이 너무 많아 흡입에 의한 수분 배출이 되지 않고 상부금형 압착에 의한 제품 성형시 상부금형으로 제품이 전혀 분리되지 않는 현상이 발생하였다. 골판지 고지는 신문지 고지와 같이 쉽게 구할 수 있어 제지슬러지를 이용한 육묘포트 제조에 성형 보조제로는 적합할 것으로 예상하였으나 실험결과 제품성형이 불가능한 것으

로 확인되었다.

Figs. 10, 11, 12는 성형 보조제로 신문지 고지 100, 50, 40%를 사용한 경우 제작된 72구용 육묘포트 제품이고, Fig. 13은 첨가물로 천연펄프 20%를 사용하여 제조한 제품 사진이다.

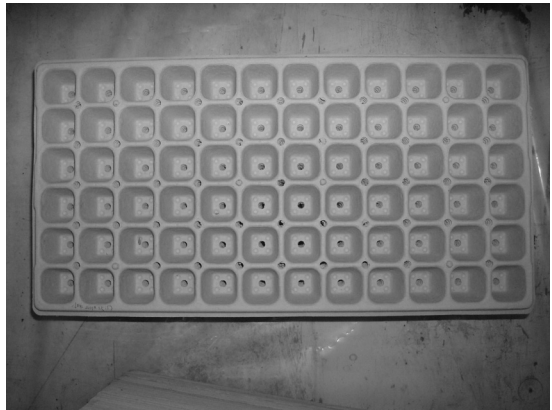


Fig. 11. Photograph of the pot (ONP = 50%).



Fig. 10. Photograph of the pot (ONP = 100%).

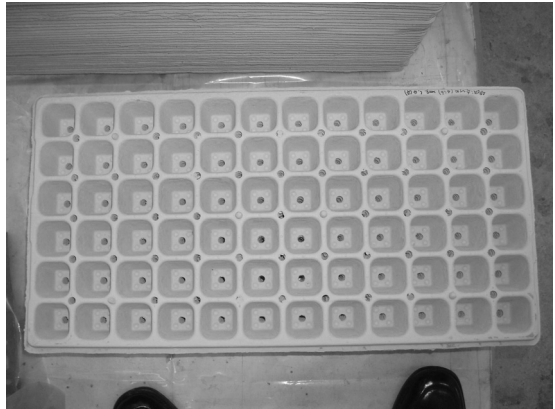


Fig. 12. Photograph of the pot (ONP = 40%).

Table 3. Experimental conditions for pot formation

Added materials	Weight percentage of added material(%)				
	10	20	30	40	50
Virgin pulp	Impossible	Possible	Possible	Possible	Possible
Old news paper	Impossible	Impossible	Impossible	Possible	Possible
Corrugated board	Impossible	Impossible	Impossible	Impossible	Impossible

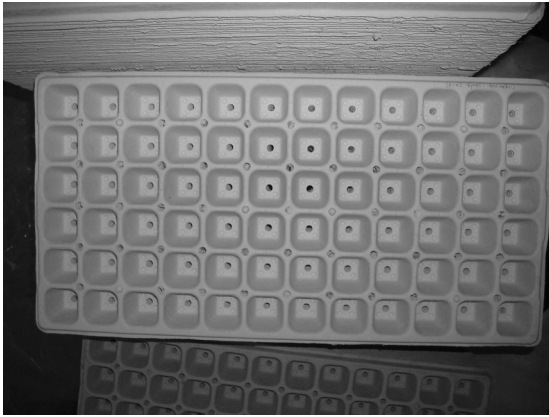


Fig. 13. Photograph of the pot (virgin pulp = 20%).

3.2. 수분 흡수에 따른 압축하중 특성

Fig. 14는 제지슬러지를 이용하여 제작된 육묘포트의 구성 성분별 수분에 대한 기계적 강도를 알아보고자 제작된 육묘포트 4종류와 신문지 고지 40%를 첨가한 육묘포트 상부를 라텍스로 코팅한 총 5종류의 육묘포트를 물속에 완전 침투 시킨 후 침투 직후, 1, 5, 10, 24 시간 경과 후 물성분석기를 사용하여 굴곡 하중을 측정된 결과이다. Fig. 14에서 보는 바와 같이 수분 침투 초기에는 구성 성분별로 굴곡 하중에 차이를 나타내지만 1시간 이 후 부터는 라텍스 코팅을 한 경우를 제외하고는 급격하게 굴곡 하중이 감소되는 것을 알 수 있다. 특히 신문지 고지 100%로 제조된 육묘포트의 경우는 수분침투 후 1시간이 경과하면 포트

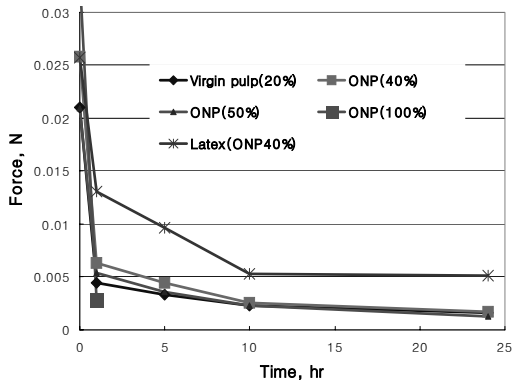


Fig. 14. Bending force of the pots according to soaking time.

조각이 완전히 붕괴되어 제품 형상이 유지되지 않았다. 10 시간 이후부터는 모든 경우에서 굴곡 하중이 일정하게 유지되는 것을 알 수 있다. 이는 10 시간이 지나면 조직 내부가 수분으로 포화되어 더 이상 수분 침투가 일어나지 않음을 의미한다. 라텍스 코팅을 한 경우는 다른 육묘포트와 달리 코팅부위에 수분 침투가 되지 않아 굴곡 하중이 다소 높게 나타났다.

이상의 결과 슬러지와 신문지 고지를 사용한 육묘포트의 경우 수분 침투에 따라 기계적 강도가 급격하게 저하되기 때문에 이를 방지하기 위한 적절한 방수처리가 필요할 것으로 판단된다.

Fig. 15는 실제 육묘작업 시 수분 흡수에 의한 육묘포트의 굴곡 하중변화를 알아보기 위해 제작된 육묘포트 4종류와 신문지 고지 40%를 첨가한 육묘포트 상부를 라텍스로 코팅한 총 5종류의 육묘포트에 상토를 충전하고 스프레이로 물을 충분히 공급한 후 1, 2, 3, 4, 5, 6 시간 경과 했을 때 시간별로 함수율과 굴곡 하중을 측정된 결과이다. Fig. 15에서 천연펄프와 신문지 고지를 50%로 배합한 육묘포트의 경우는 시간이 경과함에 따라 굴곡 하중이 점차 감소하는 것을 보여주는 반면, 신문지 고지만을 사용한 경우는 점차 증가하고 신문지 고지를 40% 첨가한 경우는 시간에 따라 굴곡 하중의 변화가 거의 없는 것을 보여준다. 라텍스 코팅을 한 경우는 초기 굴곡 하중이 급격하게 감소했다가 점차 증가하고 나중엔 다시 급격하게 감소하는 특이한 경향을 나타냈다. 천연펄프와 신문지 고지 50%를 배합한 경우는 초기 흡수된 수분이 시간이 지

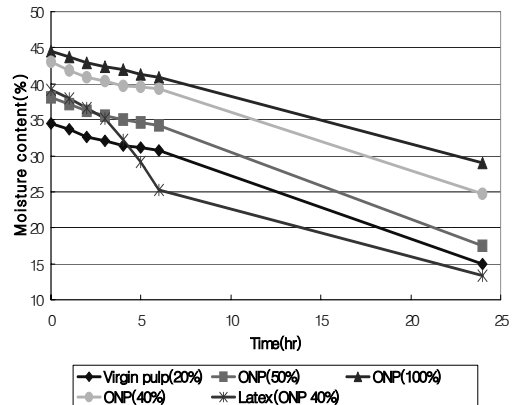


Fig. 15. Moisture content of the pots depending on (according to) water soaking(absorption).

나도 밖으로 배출되지 않아 굴곡 하중이 감소하는 것이고, 신문지 고지를 40% 배합한 경우와 100% 배합한 경우는 초기에 흡수된 수분이 시간이 지남에 따라 외부로 배출되기 때문에 굴곡 하중이 점차 증가하는 경향을 보였다. 라텍스 코팅을 한 경우는 코팅 부위에 수분흡습이 되지 않아 비교적 높은 굴곡 하중을 나타내다가 시간이 경과하여 코팅부위에 수분이 침투하여 굴곡 하중이 급격하게 감소되는 경향을 나타냈다. 따라서 라텍스 코팅은 초기엔 방습성능을 유지하지만 시간이 지나면 방습성능이 저하되는 것을 알 수 있어 발수제로는 적합하지 않은 것으로 판단된다.

Fig. 16은 육묘장에서 수분을 공급하는 환경에 따른 제지슬러지 발수 특성을 알아보기 위해 제작된 육묘포트 4종류와 신문지 고지 40%를 첨가한 육묘포트 상부를 라텍스로 코팅한 총 5종류의 육묘포트에 상토를 충전하고 스프레이로 물을 충분히 공급한 후 1, 2, 3, 4, 5, 6, 24 경과 된 시간별로 함수율을 측정한 결과이다. Fig. 16에서 보는 바와 같이 함수율은 시간 경과에 따라 감소되는 것을 알 수 있으며, 수분 보유율은 신문지 고지 100%, 신문지 고지 40%, 신문지 고지 50%, 천연펄프 20%, 라텍스 코팅의 순으로 높게 나타났다. 수분 보유율은 육묘포트에 수분이 공급된 후 시간이 지남에 따라 수분이 외부로 얼마나 배출되는지를 의미 하는 것으로, 슬러지를 이용한 육묘포트의 경우 수분흡습에 따라 굴곡 하중이 급격하게 작아져서 실제 육묘장에서 사용이 불가능하기 때문에 수분 공

급 후 시간이 경과함에 따라 함수율의 감소로 굴곡 하중을 회복할 수 있는가를 알아보고자 수행되었다. 실험 결과 라텍스 코팅을 한 경우가 가장 유리할 것으로 나타났으나, 육묘포트 형상을 유지할 정도로 굴곡 하중이 복원되었는지 여부는 육묘장에서의 실험결과를 바탕으로 논의되어야 할 것으로 판단된다. 실제 육묘장에서는 하루에 평균 2회 정도 수분을 공급하기 때문에 수분공급 후 6시간 동안 육묘포트의 함수율 변화를 관찰하는 것이 중요할 것으로 판단된다. 그림에서 수분 분무후 6시간 동안 육묘포트의 함수율은 라텍스 코팅을 한 경우를 제외하고는 초기 함수율에 비해 크게 줄어들지 않는 것을 알 수 있다.

4. 결론

제지 공정 후 대량으로 발생되어 폐기되는 제지슬러지의 재활용을 목적으로 제지슬러지를 사용한 육묘 포트를 펄프 몰드 방식으로 제조하고 수분 흡습에 따른 육묘 포트의 기계적 특성을 굴곡 하중 측정으로 알아보았다. 실험 결과는 다음과 같았다.

- (가) 제지슬러지에 천연펄프, 신문지 고지, 골판지를 첨가하여 펄프 몰드 방식으로 육묘포트를 제조한 결과 천연펄프는 첨가량 20% 이상, 신문지 고지는 40% 이상에서 제품 제조가 가능하였다. 다만 골판지를 사용한 경우는 골판지에 들어있는 전분의 영향으로 첨가량에 관계없이 제품 제조가 불가능하였다.
- (나) 천연펄프 20%, 신문지 고지 40%, 50%, 100%를 첨가하여 제조된 육묘포트 및 라텍스 코팅을 한 육묘포트의 수분 흡습에 따른 굴곡 하중을 측정 한 결과 라텍스 코팅을 한 경우를 제외하고 수분 흡습 후 1시간이 지나면 굴곡 하중이 급격하게 감소되었다. 라텍스 코팅을 한 경우도 10 시간 이후에는 압축 하중이 크게 감소되었다.
- (다) 제조된 육묘포트에 상토를 충전하고 수분을 공급한 후 시간에 따른 압축 하중을 측정한 결과 신문지 고지 40%, 50%를 첨가한 경우는 압축 하중의 변화가 크지 않았으며, 신문지 고지 100%를 사용한 경우는 수분 방출로 인해 압축 하중이 증가하였고, 천연펄프 20%와 라텍스 코팅을 한 경

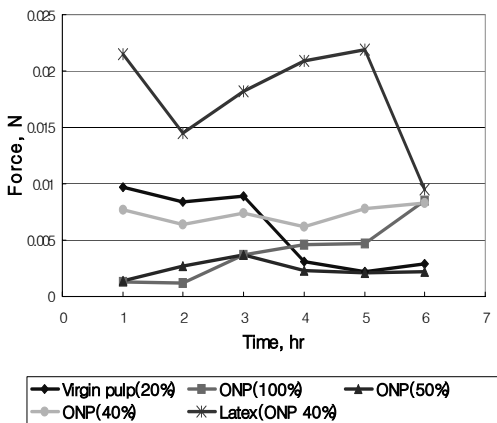


Fig. 16. Bending force of the pots after water soaking(absorption).

우는 압축 하중이 비교적 크게 감소하였다.

(라) 실제 육묘장에서 적용 가능성을 알아보기 위해 제조된 육묘포트에 상토를 충전하고 수분을 공급한 후 시간에 따른 함수율을 측정하 결과 수분 공급 후 24시간 경과 후 모든 육묘포트의 함수율이 크게 감소하였으나, 6 시간 경과 후 함수율은 크게 줄어들지 않았다.

(마) 육묘포트 별 수분 흡습에 따른 압축 하중 및 함수율 실험 결과 슬러지와 신문지 고지를 사용한 육묘포트의 경우를 실용화하기 위해서는 수분 침투에 따른 기계적 강도의 저하를 방지하기 위한

적절한 방수처리가 반드시 필요한 것으로 판단되었다.

참고문헌

1. 이철호, 재지오니의 재활용. 자원재활용 신소재 연구회, 화학공학연구정보센터(2003).
2. Jarnefeld, J., E-Fuel: Beneficial Use of Paper Mill Sludge, Energy Research and Development Authority (1998)
3. 농민 신문, 농협중앙회 상토사용 실적(2006).
4. Agricultural Machinery Yearbook, KAMIC & KSAM, Seoul, Korea (2005).