

대나무숯 액상코팅제의 제조 및 특성*¹

박상범*^{2†} · 이희영*² · 이상민*² · 박종영*²

Formulation of Liquid Coating Agent using Bamboo Charcoal and its Characteristics*¹

Sang-Bum Park*^{2†} · Hee-Young Lee*² · Sang-Min Lee*² · Jong-Young Park*²

요약

본 연구는 포름알데히드와 같은 유해화학물질을 저감하고, 인체에 무해한 친환경 건축 마감재를 개발하기 위하여 대나무숯분말, 편백추출수 및 바인더를 원료로 이용하여 실내 건축 마감재용 액상코팅제를 제조하였다. 편백추출수의 함유량에 따른 액상코팅제의 유해화학물질에 대한 탈취율, 원적외선방사율, 음이온방출량, 항균성 및 실제 소요량을 조사하였다. 액상코팅제의 포름알데히드 탈취율은 60.0~98.6%, 암모니아 탈취율은 76.7~86.2%였다. 편백추출수의 혼합량이 증가함에 따라 탈취율도 증가하는 경향을 보였다. 액상코팅제의 원적외선방사율은 91.7%, 음이온 방출량은 77개/cc 였으며, 세균감소율은 99.4%로 항균력이 우수하였으나, 편백추출수의 혼합량 증가에 따른 이들 값에는 차이가 인정되지 않았다. 액상코팅제의 소요량은 스프레이건을 사용할 경우 0.66 kg/m², 붓칠의 경우 0.94 kg/m²로 스프레이건을 이용할 경우가 더 효율적이었다.

ABSTRACT

This study was performed to develop environmentally-friendly finishing materials for construction. In order to abate formaldehyde and ammonia in indoor air, liquid coating agents for indoor finishing were formulated with bamboo charcoal powder, cypress extracted water, and water-borne acrylic binder. Deodorization rate, far-infrared ray emission rate, anions emission amount, and anti-bacterial effect were investigated. Deodorization rate was increased as cypress extracted water content increased. Deodorization rates of the coating agents were 60.0~98.6% on formaldehyde and 76.7~86.2% on ammonia. No differences on far-infrared ray emission rate,

*¹ 접수 2008년 7월 31일, 채택 2008년 8월 25일

*² 국립산림과학원 임산공학부, Department of Forest Products, Korea Forest Research Institute, Seoul, Korea

† 주저자(corresponding author) : 박상범(e-mail: parksb@forest.go.kr)

anions emission amount, and anti-bacterial effect were found depending on different formulations. A 91.7% of far-infrared ray emission rate, 77 ea/cc of anions emission amount, and 99.4% of anti-bacterial effect were detected for all formulations. More effective application method of the coating agents revealed was a spray-gun. A 0.66 kg/m² of coating agent with a spray-gun and 0.94 kg/m² of coating agent with a brush was consumed each.

Keywords: indoor air quality, bamboo charcoal, cypress extracted water, coating agent

1. 서 론

최근 신축주택에 거주하는 사람들이 집을 지을 때 사용되었던 여러 가지 건축재료들에 의해 두통, 알레르기 등의 증상을 보이는 새집증후군에 대한 사회적 관심이 급증되고 있고, 2004년 5월 환경부의 “다중이용시설 등의 실내공기질관리법”이 시행됨에 따라 목욕탕, PC방, 오락실, 도서관, 휴게실과 같이 일정 규모 이상을 지니며 일반대중이 이용하는 다중이용시설의 실내공기질 관리가 한층 강화되고 있다. 특히 환경부는 2006년 시행규칙의 개정으로 100세대 이상 공동주택에 대한 실내공기질 권고기준을 마련함으로써 시공자로 하여금 친환경 건축자재의 사용 등 유해물질 방출저감 노력을 유도하고 있다(환경부, 2004; 2006).

새집증후군, 웰빙(well-being)상품에 대한 수요 증가, 관련법 제정 등으로 주택의 실내공기질과 관련하여 천연코팅제, 향균제 및 광촉매제 등 실내 건축 마감재가 큰 인기를 끌고 있다. 이러한 목적을 위해 건축마감재로 사용되는 대표적인 물질로 숯, 솔잎, 은, 옥, 황토, 맥반석, 일라이트, 산화티탄, 토르마린, 도로마이트, 모노자이트 등 식물성 또는 광물성 원료가 다양하게 이용되고 있다. 이들 가운데 숯은 고유한 원적외선, 음이온, 공기정화, 전자파차폐, 습도조절, 향균, 유해물질흡착 기능 등이 높은 것으로 알려져 벽지, 부직포, 페인트, 모르타르 등과 같이 실내 건축용 마감재에 사용할 수 있는 다양한 상품의 개발에 이용되고 있다(공개특허, 2003).

이 등(2007)은 시멘트, 모래, Sericite 등의 건축소재와 목탄(5~25%)을 혼합한 목탄 모르타르를 제조

하여 포름알데히드 흡착특성을 조사하였는데, 목탄 모르타르는 목탄을 함유하지 않은 시료들에 비해 약 3~4배 가량 높은 단위중량 당 포름알데히드 흡착량을 나타내며, 포름알데히드는 목탄의 흡착형 판능기와 화학적으로 결합하여 흡착되는 것으로 보고하였다. 이 등(2007)은 신축목조주택 내 마감재에 따른 휘발성유기화합물의 방산특성에 관한 연구를 통해 대나무숯패널을 이용한 유해화학물질의 저감 가능성에 대해 기술하였다. 그러나 대부분의 건축 관련 숯 제품은 숯의 혼합량이 적고, 숯의 흡착성만을 이용하고 있어 다양한 기능성을 요구하는 소비자의 기대에 부합되지 못하고 있는 실정이다.

한편, 편백, 삼나무 등 수목의 정유성분은 심신안정, 향균, 소취 등의 기능을 지니고 있으며, 특히 주거공간에 방산되는 포름알데히드를 제거하는데 효과적이라고 보고되고 있다(小林, 1999; 太平, 2000; 2003). 최근에는, 수목정유의 이러한 특성을 이용하여 향균활성, 탈취활성, 포름알데히드 제거활성 및 위생해충기피활성을 가진 정유 함유 수지펠렛이 제조되어 플라스틱 성형품의 성형, 수지섬유 및 수지 시트에 응용되고 있다(아이·제팬, 2006).

본 연구에서는 주거공간에서의 유해화학물질을 저감하고 인체에 무해한 건축마감용 액상코팅제를 개발하기 위하여 비표면적이 넓은 대나무숯(300~400 g/m²)과 편백정유의 추출과정에서 부산물로 얻어지는 편백추출수를 이용하여 대나무숯 액상코팅제의 최적 제조조건을 구명하는 한편, 편백추출수의 혼합에 따른 대나무숯 액상코팅제의 유해화학물질에 대한 탈취율, 원적외선방사율, 음이온, 향균성, 시공성 등을 조사하였다.

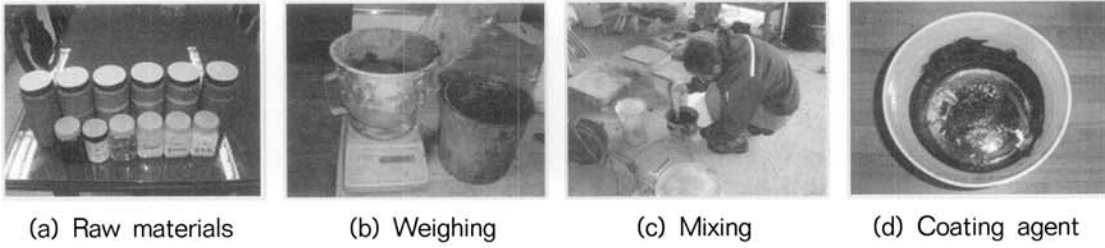


Fig. 1. Preparation process of the bamboo charcoal coating agents.

Table 1. Formulations of the bamboo charcoal coating agents (Unit: g)

Sample	Spec.	Bamboo charcoal powder	Cypress extracted water	Binder	Distilled water
No. 1		400	0	200	400
No. 2		400	50	200	200
No. 3		400	100	200	200
No. 4		400	200	200	150
No. 5		400	300	200	100
No. 6		400	400	200	0

2. 재료 및 방법

2.1. 대나무숯분말과 편백추출수

대나무숯분말은 식품첨가용으로 제조되어 잡미 제거와 미네랄 용출을 위해 소주의 정제공정에 사용되는 것으로, 정제공정을 거친 후 슬러리상으로 배출되는 대나무숯분말(320 ± 5 mesh)을 열풍 건조하여 사용하였다. 편백추출수는 편백 잎을 이용한 정유의 추출과정에서 부산물로 얻어지는 편백 고유의 향기를 지닌 투명한 추출수를 사용하였다. 대나무숯분말과 편백추출수는 각각 국내 생산 공장에서 분양 받았다. 대나무숯분말은 정제시 함께 사용된 규조토의 잔존으로 순수한 대나무숯(Si, 0.5%)보다 실리카의 함량이 증가(Si, 13.3%)하였다. 실리카의 존재로 흡착력 증진에 유리하게 작용할 것으로 생각된다. 편백 잎 1톤으로부터 정유 약 1~2리터와 편백추출수 약 200리터가 얻어진다. 편백추출수는 수용성이

며 pH는 4~5로 약산성을 나타내며, 보르네올, 카디놀 등의 테르펜류가 함유되어 있다(엔바이타, 2004).

2.2. 액상코팅제의 제조 및 물리적 성질

건조된 대나무숯분말 400 g, 편백추출수 0~400 g 또는 증류수 0~400 g을 주원료로 하고 수성 아크릴계수지(스티렌/아크릴산공중합체)를 바인더로 200 g을 혼합한 다음, 블렌딩하여 6종의 액상 코팅제를 제조하였다. 점도 조절을 위해 카르복시메틸셀룰로오스를 각각 1% 정도 혼합하였다.

Fig. 1에 실험실에서의 대나무숯 액상코팅제의 제조공정을 나타내었으며, 6종의 대나무숯 액상코팅제에 대한 배합비는 Table 1과 같다. 시료 1은 대나무숯, 바인더, 증류수로 구성되며, 시료 6은 대나무숯, 바인더, 편백추출수로 구성된다. 시료 1에서 시료 6은 대나무숯과 바인더의 함량은 동일하며 편백추출수의 함량에만 차이가 있다.

한편, 액상코팅제의 물리적 성질을 조사하기 위해, pH와 산화환원전위(ORP)는 pH Meter (Orinon 350, Korea)로, 점도는 Brookfield 점도계(DV-II + Viscometer, USA)로 측정하였다. 점도는 희석제의 사용 없이 스프레이건의 직접 분무에 적합하도록 100센티포이즈 정도로 임의 조절하였다. 건조정도는 지촉건조(指觸乾燥)로 판단하였다. 물리적 성질은 3회 반복 측정하여 평균값을 표시하였다.

2.3. 액상코팅제의 탈취시험

중밀도섬유판(MDF, 밀도 0.76)을 4 cm (가로) × 4 cm (세로) × 1 cm (두께)의 크기로 재단한 다음, 상기 6종의 액상코팅제를 전체 면에 3회 코팅하였다. 액상코팅제로 도포된 MDF 조각을 상온에서 24시간 건조시킨 다음 탈취율의 측정에 공시하였다. 포름알데히드 탈취시험은 5ℓ 용량의 데시케이터에 각 시료를 넣고 초기농도를 8 ppm으로 맞춘 다음 시간 경과에 따른 포름알데히드의 농도 변화를 조사하였다. 암모니아 탈취시험에서는 초기농도를 194 ppm으로 조절하였다. Blank는 MDF로 하였고 Blank농도의 변화 값과 시료농도의 변화 값으로부터 각각의 탈취율을 계산하였다. 3회 반복 측정하여 평균값을 표시하였다.

2.4. 액상코팅제의 원적외선방사율

원적외선방사율 측정방법은 흑체로의 온도가 40°C 일 때 원적외선의 양을 측정하였다. 원적외선방사율이 매우 낮은 아크릴판(4 cm × 4 cm × 0.2 cm)에 액상코팅제를 도포한 다음, 이 아크릴판을 가열로에 장착하고 아크릴판의 표면온도가 흑체로와 동일온도가 되었을 때 원적외선 양을 측정하여 방사율을 구하였다. 사용한 측정기기는 FT-IR (모델명: MIDAC M2410), 흑체로는 I.S.D. Corp. Model 563, 측정범위는 5~20 μm 이었다. 3회 반복 측정하여 평균값을 표시하였다.

2.5. 액상코팅제의 음이온방출량

음이온 측정기(KST-900, 神戸電波(주))를 사용하

여 액상코팅제를 도포한 시료에서 방출되는 대기 중의 음이온 농도(개수)를 측정하였다. 측정치 범위는 5~999,900 (개/CC), 측정기 최소분해능은 5 (개/CC), 측정입경은 약 0.002 μm 이하(이동도 0.4 cm²/V·sec 이상), 측정유량은 60 ℓ/min.이었다. 3회 반복 측정하여 평균값을 표시하였다.

2.6. 액상코팅제의 항균시험

KS M-0146 (한국표준협회, 2003)의 Shake Flask 법에 따라 시료 4 g을 300 ml 삼각플라스크에 넣고 살균 처리하여 희석된 균 배양액 1 ml와 Phosphate buffer (pH 7.0) 100 ml를 넣은 후, 37°C에서 24시간 진탕배양(120 rpm)하였으며, 시험균주로는 대장균(*Escherichia coli* ATCC 25922)과 녹농균(*Pseudomonas aeruginosa* ATCC 15442) 2종의 균주를 접종하였다. 시료를 첨가하지 않은 무처리군과 비교하여 항균활성을 나타내었다. 3회 반복 측정하여 평균값을 표시하였다.

2.7. 액상코팅제의 실제 소요량

실내 콘크리트 벽면에 대한 현장 시공 시 액상코팅제의 실제 소요량을 파악하기 위하여 스프레이건과 붓을 이용하여 일정 면적을 갖는 시멘트벽에 1회 시공하였다. 3회 반복 측정하여 평균값을 표시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 액상코팅제의 물리적 특성

대나무숯분말과 바인더에 편백추출수의 혼합비율을 달리하여 제조한 액상코팅제 6종에 대하여 물리적 성질을 3회 반복하여 조사한 결과를 Table 2에 정리하였다. pH는 10.1~10.2로 대나무숯 자체의 알칼리성을 나타내었으며, 편백추출수의 혼합에 따른 pH의 차이는 없었으며, 대나무숯 액상코팅제의 산화환원전위값은 167~175 mV로 산화력이 다소 높았다. 대나무숯 10 g을 증류수 1 ℓ에 용출시킨 대나무숯 용출수(10 g/1 ℓ)의 산화환원전위값(ORP)

Table 2. Physical properties of the bamboo charcoal coating agents

Sample \ Spec.	pH	Conductivity (mV)	Viscosity (cP)	Drying time (min)
No. 1	10.1	168.9	106	245
No. 2	10.2	173.1	107	246
No. 3	10.2	175.2	107	248
No. 4	10.2	167.4	108	248
No. 5	10.2	167.4	108	249
No. 6	10.1	167.4	108	250

Table 3. Deodorization rate of the bamboo charcoal coating agents on formaldehyde (Unit: %)

Sample \ Spec.	Time elapsed (min.)				
	0	30	60	90	120
No. 1	-	56.4	57.3	58.3	60.0
No. 2	-	79.5	82.7	84.7	85.7
No. 3	-	80.8	84.0	84.7	85.7
No. 4	-	80.8	84.0	86.1	87.1
No. 5	-	82.1	85.3	86.1	87.1
No. 6	-	93.6	96.0	97.2	98.6

을 측정 한 결과, -26 mV로 환원성을 나타내었다. 일반적으로 순수한 대나무숯은 알칼리성을 나타내는데, 편백추출수의 혼합량에 따른 알칼리도에 큰 차이는 없는 것으로 보아 바인더로 사용된 아크릴계수지의 영향인 것으로 판단되었다. 지촉(指觸)에 의한 건조시간은 2분 55초 정도로 편백추출수의 함량 변화에 의한 건조시간 지연은 인정되지 않았다.

3.2. 액상코팅제의 탈취력

일정량의 대나무숯분말에 편백추출수를 혼합비율을 달리하여 제조한 시료 6종에 대하여 포름알데히드 탈취율을 3회 반복하여 조사한 결과, Table 3에서와 같이 편백추출수의 혼합에 따른 포름알데히드의 감소효과가 나타났다. 편백추출수를 혼합하지 않고 증류수만을 사용한 시료 1에서는 120분 경과 후

탈취율이 60%를 나타내었는데, 이는 단순한 대나무숯의 효과에 기인한 것으로 사료된다. 편백추출수의 혼합량이 50 g (시료 No. 2)에서 400 g (시료 No. 6)으로 늘어남에 따라 탈취율은 85.7%에서 98.6%로 향상되었다. 따라서 대나무숯 액상코팅제의 제조 시 물을 대신하여 편백추출수를 사용한다면 포름알데히드 탈취능력이 탁월하여 새집증후군 예방을 위한 실내 건축마감재료의 개발이 유망할 것으로 판단되었다.

상기 6종의 시료에 대하여 암모니아가스의 탈취율을 조사한 결과, Table 4에서와 같이 편백추출수의 혼합에 따른 암모니아가스의 감소효과가 인정되었다. 편백추출수를 혼합하지 않은 시료 1에서는 탈취율이 76.7%를 나타내었는데, 이는 대나무숯의 효과에 기인한 것으로 사료된다. 편백추출수의 혼합량이 50 g (시료 No. 2)에서 400 g (시료 No. 6)으로

Table 4. Deodorization rate of the bamboo charcoal coating agents on ammonia gas (Unit: %)

Sample	Spec.	Time elapsed (min.)				
		0	30	60	90	120
No. 1	-		72.7	75.6	76.3	76.7
No. 2	-		73.7	76.9	77.9	78.4
No. 3	-		75.3	78.3	80.2	81.0
No. 4	-		78.9	82.2	84.7	85.3
No. 5	-		79.4	82.9	84.8	85.3
No. 6	-		79.4	83.6	85.5	86.2

Table 5. Far-infrared ray emission, anions emission and anti-bacterial effects of the bamboo charcoal coating agents

Sample	Item.	Far-infrared ray emission (at 40°C)		Anions emission (Ions/cc)	Anti-bacterial effect (%)	
		Emissivity (5~20 μm) (%)	Emission power (W/m ² ·μm)		<i>Escherichia coli</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
No. 1		91.7	3.70 × 10 ²	77	99.4	99.4
No. 2		91.7	3.70 × 10 ²	77	99.4	99.4
No. 3		91.7	3.70 × 10 ²	77	99.4	99.4
No. 4		91.7	3.70 × 10 ²	77	99.4	99.4
No. 5		91.7	3.70 × 10 ²	77	99.4	99.4
No. 6		91.7	3.70 × 10 ²	77	99.4	99.4

늘어남에 따라 탈취율은 78.4%에서 86.2%로 향상되었으나, 암모니아가스에 대한 탈취율은 포름알데히드에 비해 효과가 다소 낮았다.

井本 稔 등(1965)은 피넨, *d*-리모넨, 캠펜, 세도렌, 미르센, 디펜텐 등 테르펜계 물질이 산의 존재 하에서 포름알데히드와 반응하여 저분자량의 축합물 또는 수지상 물질을 생성하는 것으로 보고한 바 있는데, 편백추출수 내에 존재하는 이러한 테르펜 성분이 포름알데히드나 암모니아와 반응하여 다른 화합물로 변화되었을 것으로 생각된다.

방사율을 3회 반복하여 조사한 결과(Table 5), 편백추출수의 혼합에 따른 원적외선방사율의 변화는 관찰되지 않았다. 6종의 모든 시료에서 원적외선방사율은 91.7% (5~20 μm), 방사에너지는 3.69 × 10² (W/m²)로 동일한 값을 나타내었다. 이는 대나무숯이 원적외선방사율에 영향을 미치는 인자이며, 액상의 편백추출수는 원적외선방사율에 미치는 영향은 없는 것으로 판단되었다. 박 등(2001)이 보고한 대나무숯 자체의 원적외선방사율은 92.5%, 방사에너지는 3.74 × 10² (W/m²)였다.

3.3. 액상코팅제의 원적외선방사율

대나무숯의 첨가량은 동일하며 편백추출수의 혼합비율이 서로 다른 6종의 시료에 대하여 원적외선

3.4. 액상코팅제의 음이온방출량

대나무숯의 첨가량은 동일하며 편백추출수의 혼합비율이 서로 다른 6종의 시료에 대하여 음이온 방

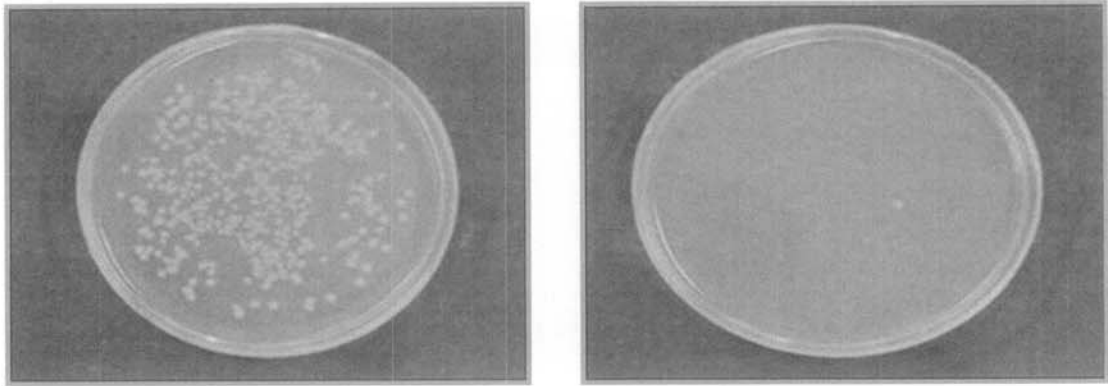


Fig. 2. Anti-bacterial activity of the bamboo charcoal coating agents on *E. coli*; control (Left), treated (Right).

Table 6. Consumption of the bamboo charcoal coating agents per 1 square meter of cement wall

Spreader	Amount spreaded (kg)	Total area covered (m ²)	Consumption (kg/m ²)
Spray-gun	20	3037	0.66
Brush	20	21.29	0.94

출 개수를 3회 반복하여 조사한 결과(Table 5), 편백 추출수의 혼합에 따른 음이온 방출 개수의 변화는 관찰되지 않았다. 모든 시료에서 음이온 방출수는 77개/cc였다. 원적외선방사율에서와 같이 대나무숯이 음이온 방출에 영향을 미치는 인자이며, 액상의 편백추출수는 음이온 방출과 무관한 것으로 판단되었다. 박 등(2001)이 보고한 대나무숯 자체의 음이온 개수는 1 cc당 167개였다.

3.5. 액상코팅제의 항균성

상기 6종의 시료에 대하여 대장균과 녹농균에 대한 항균시험을 3회 반복하여 실시한 결과(Table 5, Fig. 2), Fig. 2에서 보듯이 무처리구에서는 균의 대량 생육이 관찰되었으나 대나무숯분말이 함유된 모든 시료에서는 균의 생육이 거의 관찰되지 않았으며 24시간 후 세균감소율은 99.4%로 항균력이 매우 우수하였다. 박 등(2001)이 보고한 대나무숯 자체의 대장균과 녹농균에 대한 세균감소율은 각각 96.1%

와 97.2%였다. 한편, 편백 잎 정유는 목재부후균, 수목병원균 및 기타 세균에 대해서도 높은 항균활성을 나타내었으며(이 등, 2002), sesquiterpene류인 bornyl acetate, α -terpinyl acetate 및 elemol의 함량이 다른 침엽수재에 비해 상대적으로 높아 항균활성에 기여하는 것으로 보고되고 있다(강 등, 1993). 실제로 정유 추출과정에서 유래된 편백추출물도 유사한 성분으로 구성되어 있으므로 높은 항균활성을 나타낸 것으로 추정된다. 그러나 편백추출수의 첨가량에 따른 항균활성의 차이는 알기 어려웠다.

3.6. 액상코팅제의 실제 소요량

대나무숯 액상코팅제로 현장 시공 시 그 소요량을 알아보기 위하여 스프레이건과 붓을 이용하여 일정 면적을 갖는 시멘트벽에 1회 시공하였다. 3회 동일하게 반복하여 평균값을 산출하였다. Table 6에서와 같이 스프레이건을 사용할 경우, 평방미터 당 0.66 kg, 붓칠의 경우 0.94 kg의 대나무숯 액상코팅제가

소요되었다. 현장 시공 시 스프레이건을 이용하는 것이 경제적인 것으로 판단되었다.

4. 결 론

본 연구는 새집증후군의 원인물질로 알려진 포름알데히드와 같은 유해화학물질을 저감하고, 인체에 무해한 친환경 건축마감재를 개발하기 위하여 대나무숯분말, 편백추출수 및 바인더를 이용하여 액상코팅제를 제조하고, 건축마감재로서의 몇가지 특성을 구명하기 위해 수행되었다. 편백추출수의 함유량에 따른 액상코팅제의 유해화학물질에 대한 탈취율, 원적외선방사율, 음이온방출량, 항균성 및 실제 소요량을 조사하였다.

얻어진 결과를 종합해 본 결과, 대나무숯의 첨가량이 동일한 액상코팅제를 제조할 경우, 물 대신 편백추출수를 사용하는 것이 포름알데히드와 암모니아의 탈취에 유효하게 작용하였다. 대나무숯 액상코팅제의 원적외선방사율, 음이온방출량, 세균감소율은 모든 시료에서 동일하였는데, 이는 대나무숯의 첨가에 기인한 것이며 편백추출수와는 무관한 것으로 판단되었다. 액상코팅제의 실내 콘크리트 벽면 적용시 평방미터 당 0.7~1 kg 이하가 소요되며 스프레이건을 사용하는 것이 경제적이었다.

본 연구를 통해 얻어진 편백추출수가 함유된 대나무숯 액상코팅제는 특허 등록 및 산업체 기술이전을 통해 현재 상품으로 개발되어 시판되고 있다. 금후 실내공기질 개선을 위한 친환경 실내 건축마감재로서의 개발이 기대된다.

참 고 문 헌

1. 강하영, 이성숙, 최인규. 1993. 침엽수 수엽정유의 항균성에 관한 연구. 임산에너지. 13(2): 17~77.
2. 박상범, 권수덕. 2001. 대나무 신용도 개발(V) -대나무숯의 특수성능-. 산림과학논문집 제64호 pp. 108~114.
3. 엔바이타(주). 2004. 편백추출수 성분분석표. 개인자료.
4. 이성숙, 강하영, 최인규. 2002. 수목정유의 생리활성에 관한 연구(I) -침엽수 잎 정유의 항균활성-. 목재공학. 30(1): 48~55.
5. 이오규, 최준원, 조태수, 백기현. 2007. 목탄계 건축자재에 의한 포름알데히드 흡착. 목재공학. 35(3): 61~69.
6. 이희영, 박상범, 박종영, 이상민. 2007. 신축목조주택 내 마감자재에 따른 휘발성유기화합물(VOCs)의 방산특성. 목재공학. 35(6): 83~90.
7. 특허청. 2003. 숯페인트 조성물 및 제조방법. 공개특허특2003-0039622
8. 한국표준협회. 2003. KS M-0146 진탕플라스크법(shake flask method).
9. 환경부. 2004. 실내공기질관리 업무편람. p. 157.
10. 환경부. 2006. 다중이용시설 등의 실내공기질관리법.
11. 大平辰朗. 2000. 樹木抽出性分等の利用による機能性木質系内装材料の開発. 森林總合研究所所報 No. 145.
12. 大平辰朗. 2003. 木材の効用一抽出性分の機能性一, 木材工業 58(11): 537~541.
13. 小林健郎. 1999. 居住空間に漂うホルムアルデヒドのテルペン類による低減方法. 特開平11-169446.
14. (有)アイ・ジャパン. 2006. 精油含有樹脂ペレット. 特開 2006-96718.
15. 井本 稔, 垣内 弘, 黄 慶雲. 1965.ホルムアルデヒド. 朝倉書店. p. 734.