숯과 황토 복합소재의 흡착성능

Vapor Sorption Property of Charcoal-based Loess Composites

이 원 희

한국가구학회지 제17권 제3호(2006. 8)

숯과 황토 복합소재의 흡착성능 I

이 원 희[*2]

Vapor Sorption Property of Charcoal-based Loess Composites[*1]

Won-Hee, Lee[*2]

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate the relationships between the mixing ratio and water vapor sorption property of charcoal-based loess composites for furniture & building materials with environmental friendly. Charcoal-based loess composite can be easily made by blending method with water. But the composites had much brittle fracture pattern with the increase of charcoal content. That is due to the lack of loess that takes linkage role of composites. In water vapor sorption properties, adsorption ability of charcoal was about six times higher than that of loess. Therefore, vapor sorption ability was maximum at the mixture ratio of charcoal 80% and loess 20%. It is considered that wood charcoal based inorganic composite materials can be used for various purposes as a building interior & exterior and furniture members.

keywords : charcoal, loess, composites, vapor sorption, mixture ratio, charcoal-based loess composites

---

*1. 논문접수: 2006. 6. 6.

*2. 경북대학교 농업생명공과대학 임산공학과 교수, Dept. Wood Sci. & Tech., Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

1. 서 론

목질계 탄화소재인 숯은 예전부터 실내의 탈취작용이나 습도조절용으로 사용되어져 왔으며, 최근 건강에 대한 관심이 높아지면서 생활용품 뿐만 아니라 주택이나 아파트 등과 같은 건축시장의 내장재로도 사용되어지고 있다. 특히 요즘 사회적인 관심이 커지고 있는 새집증후군 문제와 관련하여 목질 복합재료의 접착제나 다른 건축자재로부터 발생되는 포름알데히드와 같은 유해물질방출을 해결하기 위한 친환경적 복합소재의 개발이 요구되는 실정이다.

황토를 접착매체로 하여 숯을 마루바닥재, 벽장재 및 가구용 친환경 복합소재 로서 사용하고자 하는 본 연구과제는 무엇보다도 거주공간의 습도조절성능을 판별할 수 있는 수분흡착성능의 분석이 가장 중요하다고 할 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 숯의 탄화조건에 따른 물리화학적인 특성 및 황토 등의 무기물을 가교제로서 접착시켜 이들의 성형가능성과 각종 흡착실험을 통한 함수율에서의 수분 흡착성능을 비교하여 최적의 배합 비율을 조사하고 각종 기능성 소재 개발과 산업적 이용성을 검토하는 것을 목표로 하고 있다.

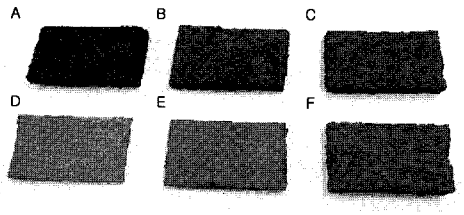
2. 재료 및 방법

2-1 원료

흡착실험을 위한 재료로서 숯(거여산업제공)은 건조후 파쇄기로 분쇄 후 200mesh로 조정하였고 황토(목포대 황혜주교수제공) 역시 건조 후 200mesh로 조정하였다. 다양한 상대습도를 조절하기 위해 포화염 수용액을 이용하였고, 정확한 함수율 측정을 위해 칭량병과 0.1mg정도의 디지털밸런스를 사용하였다.

2-2 공시재료

황토소재와 목탄소재를 배합하여 판상소재를 만들어 실험에 사용하였다. 제작방법으로는 미세분말 상태의 원료소재를 일정비율(총중량 100g,숯: 황토; 80:20, 60:40, 50:50, 40:60, 20:80, 0:100)로 혼합하여, 적당량의 물을 첨가 후 판상소재로 성형가능 하도록 조정하였다. 성형된 판상소재는 100℃의 건조기에서 24시간동안 급속 건조하여 전건상태로 만들어 시험체의 성상을 조사하였다 〈Fig. 1〉.



〈Fig.1〉 Appearance of composites with various mixture ratio of charcoal and loess.
(note) 80:20(A), 60:40(B), 50:50(C), 0:100(D), 20:80(E), 40:60(F)

2-3 실험방법

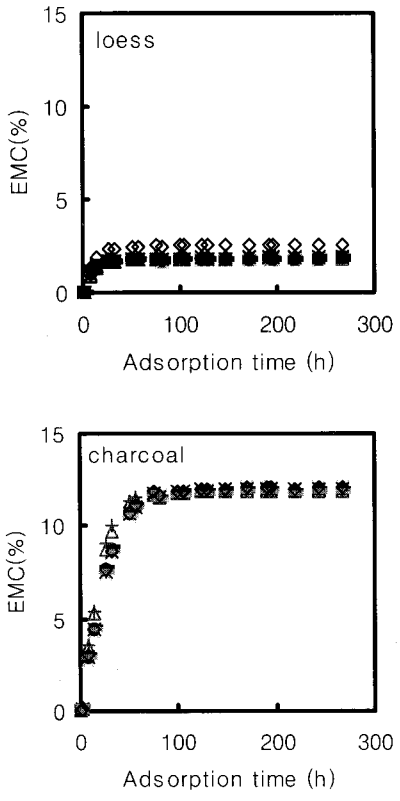
실험에 앞서 숯과 황토소재 각각의 전건시료를 칭량병을 이용하여 항온항습실(20℃, 50%RH)내에 방치하여 약 270시간동안 흡착평형함수율의 경시변화를 측정하였다.

판상소재의 건조 전후의 밀도 변화를 측정하여 분석하고 성형 후 판상소재의 표면을 조사하여 숯과 황토 비율에 따른 할렬의 정도를 파악하여 성형성을 알아보았다. 그리고 건조기에서 꺼낸 복합소재를 3 × 1.5cm로 각각 절단하여 칭량병에 넣어 0.1mg정도의 디지털밸런스로 전건중량을 측정한 후 각기 다른 포화염수용액(10, 33, 54, 85, 95%의 상대습도)으로 조정한 데시케이터에 넣어서 일정한 시간 간격으로 칭량병의 질량변화를 측정하여 각기 다른 상대습도 하에서의 흡착성능을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1 복합소재의 제조특성

숯이 많이 들어갈수록 제조된 복합소재는 쉽게 부서지는, 이른바 취성파괴의 경향을 나타냈다. 이는 숯과 황토의 접착에는 많은 양의 황토가 가교제 역할을 담당하며, 황토가 적고 숯이 많은 경우에는 숯 상호간에 접착되지 않은 상태로 소재내에 남아 부서지기 쉬운 성향을 나타나게 한 것으로 생각된다. 그리고 미세분말재료이기 때문에 제조된 소재의 표면은 깨끗하였다. 또한, 전술한 바와 같이 고온급속건조와 습윤반복실험에 의해서도 표면 할렬은 발생하지 않았으며, 이 현상은 황토와 목탄의 다양한 혼합조건에서도 변함이 없었다.



〈Fig.2〉 Equilibrium moisture content(EMC) charcoal and loess raw materials(20℃, 50%RH)

3-2 숯과 황토 원료의 흡작 성능 비교

황토의 평형함수율을 측정한 결과, 약 1.9%(±0.1) 였으며, 목탄의 경우는 12.0%(±0.1)였다. 시트카 스프루스[1]에 의한 평형함수율 실험치 회귀값이 약 9.2%인 것을 생각할 때, 황토만의 재료인 경우에는 평형치의 20.6% 수준에 불과하며 수분흡착이 거의 이루어지지 않았음을 알 수 있다.

또한 목탄의 경우에는 평형에 이를 것으로 예상되는 함수율값 보다도 약 3%나 높은 값을 나타냄으로서 흡착성능이 황토의 6배 이상이나 됨을 알 수 있었다. 따라서 이들 각 원료소재의 배합비율을 달리함에 따라 복합체의 밀도변화는 원료구성상태에 따라 다양하게 조절될 수 있고, 수분흡착성능을 다양하게 조정할 수 있음을 알 수 있었다.

3-3 배합 비율에 따른 복합소재의 밀도 변화

이와 같이 황토소재는 수분흡습성이 거의 없었고, 숯이 흡습에 관여하는 이유로 황토비율이 클수록 복합소재 제조직후의 밀도는 작지만 〈Table 1〉, 건조 후에는 황토가 숯보다 밀도가 큰 탓에 숯이 많이 들어간 복합소재에 비하여 높은 값을 나타내었다 〈Table 2〉.

이 결과로부터 황토는 수분흡착력이 거의 없는 반면, 숯의 수분흡착력이 매우 큰 것을 알 수 있다. 온돌방에 바닥재 원료로서 시공할 경우, 바닥열의 증감에 따라 할렬이 생겨 문제가 되는 것으로 알려져 있어, 본 연구에서는 황토와 숯을 혼합한 재료의 할렬 특성에 대해서도 검토하였다. 그 결과, 복합재 제조직후 100℃의 고온건조기속에서 급속건조를 되풀이하여도 표면에는 인장응력에 의한 할렬은 전혀 나타나지 않았다. 이 결과는 황토와 숯의 비율이 다른 6가지 전체 제품에서 같은 결과를 나타내어, 황토-숯 복합소재가 건축 내외장 미장재나 가구용 친환경 복합소재로서 활용할 수 있음을 시사하는 것이라 할 수 있겠다.

〈Table 1〉 Density of charcoal-based loess composites immediately after the preparation.

Blending (charcoal:loess)		80:20	60:40	50:50	40:60	20:80	0:100
Average thickness (cm)		0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5
Density (g/cm^3)	No.1	1.20	1.26	1.15	1.18	1.77	1.75
	No.2	1.16	1.01	1.23	1.36	1.65	1.69
	No.3	1.23	1.19	1.19	1.20	1.77	1.47
Mean(S.D.)		1.197 (0.033)	1.154 (0.129)	1.189 (0.041)	1.245 (0.099)	1.728 (0.071)	1.636 (0.149)

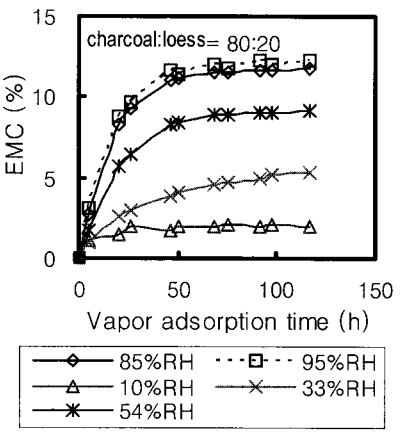
〈Table 2〉 Oven-dry density in charcoal-based loess composites.

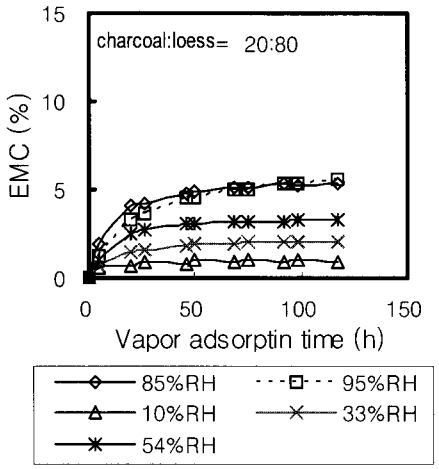
Blending (charcoal:loess)		80:20	60:40	50:50	40:60	20:80	0:100
Average thickness (cm)		0.700	0.633	0.567	0.617	0.517	0.400
Density (g/cm^3)	No.1	0.629	0.867	0.757	0.915	1.216	1.586
	No.2	0.611	0.723	0.805	1.060	1.110	1.542
	No.3	0.654	0.833	0.852	1.131	1.124	1.347
Mean(S.D.)		0.631 (0.022)	0.808 (0.075)	0.805 (0.048)	1.035 (0.110)	1.150 (0.058)	1.492 (0.127)
Density difference*		0.566	0.346	0.384	0.210	0.578	0.144

* Difference between immediately after forming and oven-dried conditions of composites.

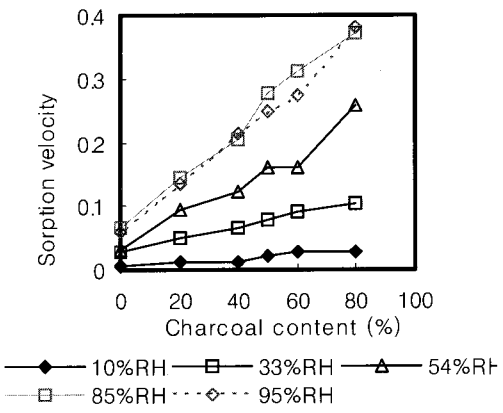
3-4 혼합 비율별 복합소재의 각 상대습도조건에서의 평형함수율 변화

숯과 황토의 혼합에 의한 복합소재의 상대습도조건별 평형함수율 결과를 정리하여 그림3에 나타내었다. 황토의 비율이 높을수록 흡습양은 적었으며, 황토와 숯을 20:80의 비율로 혼합시킨 경우에는 평형함수율의 이론값의 약 1/2값을 나타내었다. 또한 황토와 숯을 80:20 비율로 혼합한 소재의 흡착량은 20:80의 배합소재에 비해 같은 상대습도 조건하에서 약 2배 이상의 값을 나타내었다. 다만 숯만으로는 접착제 없이 판상재료제조가 불가하여 여기서는 실험하지 못하였지만, 숯 한가지만으로 된 제품이라면 이론적 평형함수율에 가까운 값을 나타낼 것으로 생각되었다.





〈Fig.3〉 Variation of water vapor sorption in different relative humidity(RH) of charcoal-based loess composites with time.



〈Fig.4〉 Vapor adsorption velocity of charcoal based loess composites in various relative humidity.

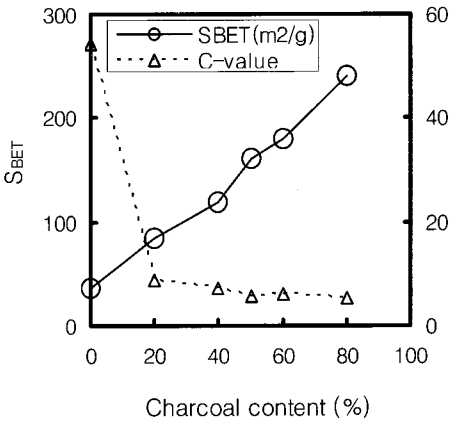
따라서 숯의 수분흡착성능이 뛰어난 점을 고려하여 친환경 소재별 재료특성에 맞추어 숯 재료와 황토원료를 적절하게 배합한다면 다양한 소재로서 적용할 수 있음을 알 수 있었다.

3-5 숯과 황토 혼합비율별 복합소재의 흡착속도와 비표면적

〈Fig. 3〉 의 결과로부터 각 복합소재의 숯이 첨가된혼합비율별 수분 흡착속도(%/h)를 정리하여 〈Fig. 4〉 에 나타내었다. 그림으로부터 흡착속도는 각 배합소재별 동일한 상대습도에서 숯의 함량비율이 높아질수록 직선적으로 증가하는 경향을 나타냈다. 또한 숯의 함량비율이 같은 상태에서는 각 배합소재별로 상대습도의 고저에 의해 수분흡착량에 차이가 있었으며, 그 차이는 숯의 함량비율이 낮은 때보다 숯이 많이 함유된 복합재료일수록 흡착량의 증가와 더불어 그 차이도 크게 나타났다. 따라서 숯의 함량비율이 흡착량 증가의 결정적인 인자이지만, 수분 흡착에 대한 영향도는 상대습도가 고습도일때 현저하게 나타남을 알 수 있었다.

〈Fig. 5〉와 〈Table 3〉에는 숯과 황토의 혼합비율별 복합소재의 단분자층 흡착량을 BET식에 의거하여 구하고, 이 결과로부터 복합소재가 수분흡착에 관여하는 비표면적의 크기가 얼마인지를 산출하였다.

계산범위는 상대수증기압 0.54까지였으며, 직선회귀하여 기울기와 절편으로부터 흡착열에 관여하는 상수 C값과 단분자층 흡착량 Vm을 구하여 아래 표3에 정리하였다.



〈Fig.5〉 Change of specific surface area of charcoal based loess composites as mixture rate of charcoal.

〈Fig. 5〉로부터 비표면적 SBET값은 숯의 함량 비율이 높아질수록 거의 직선적으로 증가하는 경향을 나타냈으며, 80% 숯의 함량비인 복합소재의 비표면적은 0%인 경우에 비하여 약 5배 크기의 비표면적이 존재함을 알 수 있었다.

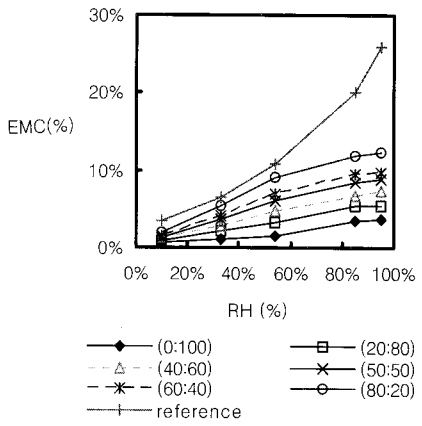
이것은 앞의 실험결과인 흡착속도와 연관시켜 생각할 수 있으며, 숯의 양이 많아짐으로서 수분흡착에 관여하는 내부 표면적이 많아짐으로써 수분의 조절성능이 우수함을 나타내는 것으로 판단되어진다.

한편, 수분흡착시 일어나는 열반응의 관련상수인 C값은 목재의 세포 실질부와 수분흡착층 제1층의 열의 발생량의 관계를 나타내는 값이며, 클수록 열발생량이 많은 것을 의미한다. 복합소재의 숯의 함량비율이 20%가 되었을 때 C값은 급격히 저하하여 그후 숯함량이 많아지면서 점차적으로 감소하지만 급격한 감소현상은 일어나지 않았다.

이 사실로부터 알 수 있는 사실은, 흡착층제 1층의 흡착열이 발생한 이후로 제2층 이상의 동종의 물분자간에는 흡착열 발생이 크게 일어나지 않음을 추정할 수 있겠다.

3-6 숯과 황토 원료혼합비율별 복합소재의 흡착등온선

〈Fig. 6〉에는 이들 복합소재의 주요원료인 숯과 황토의 혼합비율에 따른 각 상대습도영역에 있어서의 흡착량을 나타내었다. 그림중의 참고치는 목재소재의 값을 나타낸 것이다. 이들 그림으로부터 상대습도 54%까지 직선으로 나타났으며, 그 이후에도 직선적인 분포를 나타내어, 이 상대습도 영역에서 변곡점이 생기는 모양을 띄고 있음을 알 수 있다. 그러나 전체적으로는 직선적으로 각 복합소재 모두 숯의 함량비율이 증가할수록 평형함수율은 직선적으로 증가하는 경향을 나타내고 있슴을 알 수 있다. 다만 목재의 경우는 고습도영역에서 모세관 응축현상을 나타내는 반면에 이들 복합소재에서는 이런 현상이 일어나지 않고 수분이 모두 흡수되어 응축되는 현상은 일어나지 않는 것으로서 수분제어 친환경소재로서 다양하게 활용할 수 있음을 알 수 있었다.



〈Fig. 6〉 Vapor sorption isotherm of composites the mixture of charcoal and loess.

〈Table 3〉 Variation of sorption amount of monomolecular layer(Vm) and specific surface area(SBET) and sorption heat(C) and moisture content(MC) of monomolecular layer in the mixture rate of raw materials.

charcoal :loess(%)	0:100	20:80	40:60	50:50	60:40	80:20
Vm(g/g)	0.0075	0.0168	0.0241	0.0322	0.0364	0.0486
$S_{BET}(m^2/g)$	37.2	83.2	119.4	159.7	180.2	241.0
C-value	54.4	8.8	7.2	5.8	6.0	5.3
MC(%)	0.8	1.7	2.4	3.2	3.6	4.9

4. 결 론

목질계 탄화소재인 숯과 무기계 소재인 황토를 가교제로 하여 만든 복합소재의 수분흡착 성능 및 성형가능성과 그 배합비를 조사하였다. 그 결과 숯과 황토를 원료로 한 복합소재는 성형가능한 것으로 판단되었다. 그러나 숯의 비율이 높을수록 가교역할을 하는 황토의 부족으로 쉽게 부서러지는 형태를 나타냈다. 다양한 조건의 상대습도범위에서 수분흡착 성능은 숯과 황토의 혼합비율이 80:20일때 가장 높은 흡착효과를 나타냈다. 따라서 습기에 대한 저항성은 황토가 강한 반면에 습도 제어 효과는 목탄이 효과적인 것으로 판단되었다. 흡착성능 및 흡착속도 그리고 비표면적 변화를 분석한 결과에 의하면, 숯의 비율이 높은 복합재일수록 수분에 대한 조절능력이 큰 사실을 발견할 수 있었다.

따라서 이러한 일련의 결과들로부터, 황토를 접착제 대용으로 하여 만든 무기계 목탄 복합소재는 그 용도에 맞추어 건축 내외장의 미장재 및 바닥재, 목재와의 혼용 등에 의한 친환경 가구용 소재 등, 다용도로 활용 가능함을 알 수 있었다.

5. 참고문헌

1. 이화형 외 공저. 목재물리 및 역학, p.51, 향문사
2. 공석우, 김병로. 2002. 국산 주요 수종 및 목질재료 탄화물의 흡착특성. 목재공학 30(4):33-40.
3. 이원희. 2005. 숯과 황토 복합소재의 건조특성. 학국목재공학회 2005 학술발표논문집. 125-128.
4. 박종영, 조재성. 1997. 목질판재료 및 목질마루판의 특성 평가. 한국목재공학회 1997년 학술발표논문집 pp. 63-73.
5. Y.Saito, T.Arima, 2002. Growth of cone-shaped carbon material inside the cell lumen by heat treatment of wood charcoal. J Wood Sci.,V.48 p.451-454.
6. M.Mori, Y.Saito, S.Shida, T.Arima. 2000. Adsorption Properties of Charcoals from Wood- Based Materials. Mokuzai Gakkaishi V.46(4) p.355-362.

사 사

본 연구는 농림부 시행 농림기술개발사업 (2030099-3) "미세다공성 흡착소재에 의한 기능성 목탄소재 활용기술 개발연구비 지원에 의해 수행되었음.