

숯을 활용한 포장재 개발에 관한 연구

서영범, 전양, 이화형, 정태영
충남대학교 임산공학과

I. 서론

일반 숯과, 고온으로 제조한 숯, 활성탄과, 탄소섬유들을 사용하여 에틸렌 흡착기능이 우수한 농산물 포장용 숯 포장지를 제조하였으며, 숯의 크기와 종이에 적용방법, 첨가량에 따른 에틸렌 흡착성능을 측정 비교하였다. 또 전기 전도성 부여를 위해서 필요한 숯의 적용방법이 제시되었으며, 고온에서 제조된 숯을 첨가한 종이들이 고습도의 환경하에서 낮은 함수율을 유지하는 특징적인 현상을 소개하였다. 숯으로 코팅된 종이들이 다양하게 포장재로 적용될 수 있는 가능성을 보였다. 이러한 숯을 선도유지용 골판지상자에도 적용하여 특정 과일들을 보관 이동할 때 예상되는 과수의 부패를 예방 또는 감소시킬 수 있는 가능성이 있다. 또 특정 과수의 재배에 사용할 시에는 일반 봉지와 같이 병충해를 방지하는 효과가 있지만 숯을 이용한 과수봉지는 단순한 병충해 방지효과 뿐만 아니라, 수확 후에도 계속 과수 봉지 내에서 과수의 선도를 유지시키는 효과를 보일 것으로 판단된다.

II. 실험방법 및 결과

II.1 숯종이의 제조

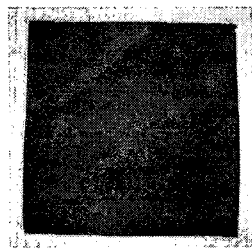
가스흡착작용이 효과적인 4 종류의 숯을 선별하였다. 즉 대나무 숯과 고온에서 제조된 Oak 숯, 시중에서 구입한 활성탄과 충남대학교 화공과에서 개발한 탄소섬유 실험 대상으로 하였다. 숯을 일반 종이에 전건섬유대비 80% 까지 효과적으로 첨가하였으며, 이를 위한 숯의 전처리 방식도 확립하였다. 종이에 숯을 첨가하는 방식은 다음의 세가지 방식을 취하였으며, 첨가량은 전건섬유 대비 30%, 50%, 80%를 첨가하였다. 경우에 따라서는 60% 첨가를 실시하였다.

- * Wet end에 숯 첨가로 single ply 제조 - 숯과 섬유의 floc 제조
- * 숯을 첨가한 종이를 middle ply 에 위치시킨 Multiply 제조
- * 숯을 400 mesh screen 에 통과시킨 후 종이에 코팅하는 방식.

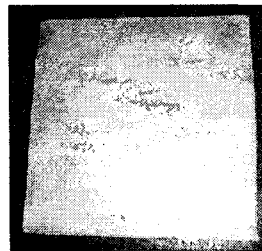
숯을 첨가한 종이는 다음의 네 가지 특성을 측정하였다.

- 숯을 첨가한 종이의 에틸렌가스 흡착정도를 측정하였으며 흡착능력이 매우 우수한 숯의 종류와 첨가 방식을 선별하였다.
- 숯을 첨가한 sheet의 전기 저항치를 측정하였으며 숯 첨가 농도에 따른 저항수치 변화도를 측정하였다.
- 습도에 따른 숯의 수분 흡착 정도를 측정하였다.
- 숯 종이를 사용한 골판지제조나 기타 강도가 필요한 종이의 제조를 위해서는 강도적 성질의 측정이 필요하였다.

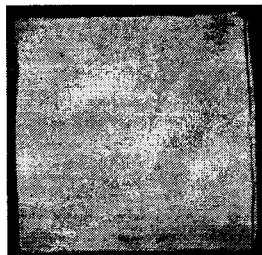
대나무 숯과 참나무 숯, 활성탄은 모두 100 mesh를 통과한 것을 사용하였으며, 코팅을 위해서는 400 mesh 통과분을 사용하였다. 숯이 들어간 원지는 검은 색을 띠게 된다. 검은색을 가리기 위해 얇은 섬유층을 더하여 Multiply 원지를 만들 수 있었다. 이들의 에틸렌가스 흡착 특성도 변이가 생길 것으로 판단되었다. 이들의 모습을 그림 1에서 보이고 있다.



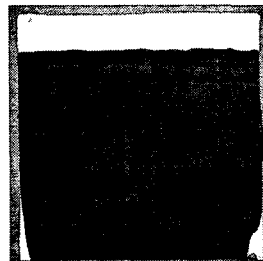
숯 80% 원지



숯 0% 일반 원지



숯 코팅 원지



숯 Multiply 원지

그림 1. 제조된 원지들의 종류

II.2. 에틸렌가스 흡착 실험

II.2.1. 실험재료

숯을 첨가하여 제작한 수초지, 에틸렌가스, 1000 ml 에틸렌가스 흡착용기 (그림 2), 주사기, 에틸렌가스 농도 측정기(가스 크로마토 그래프 DC-14B)를 사용하였다.



그림2. 에틸렌가스 흡착 용기

각 조건별로 제작한 수초지 4g을 에틸렌흡착 용기에 넣고 밀봉한 다음, 주사기를 이용하여 에틸렌가스 약 10 ppm을 주입한다. 일정시간 후에 주사기를 이용하여 용기 내 가스를 빼내어 농도를 측정한다. 에틸렌가스 주입 후 약간 흔들어 준 다음 가스를 빼내는데 이 때 바로 빼내는 에틸렌가스의 ppm을 초기 주입된 가스의 ppm으로 간주한다. 시간별로 빼낸 가스의 농도를 가스 농도측정기에 넣고 농도를 측정한다.

II.2.1 실험결과

초기 대나무 숯을 이용한 종이는 에틸렌가스를 거의 흡착하지 않았고 oak (참나무)를 이용한 종이는 에틸렌가스 주입 후 1시간 경과 뒤 초기 주입한 에틸렌가스의 1/2이 흡착되었으며 active carbon을 첨가한 종이는 에틸렌가스 주입 후 더 빠르게 흡착되었음을 개략적으로 알아보았다. 이것에 대한 실험결과는 아래 표 1 과 같다.

그림 3 이하는 이들을 각각 분석한 그래프들이다. 그림 4에서 참나무숯의 경우 그림 3의 대나무 숯보다 월등한 흡착효과를 보이고 있었다. 그림 5에서 200 mesh 통과분은 그림 4의 100 mesh 통과 참나무숯 보다 우수한 흡착효과를 보이고 있었다. 특히 그림 6에서 참나무숯 원지를 multiply 로 제조한 경우 에틸렌가스의 흡착량에 변화가 크지 않았다. 이로서 숯을 사용한 원지를 middleply로 사용하는 경우 에틸렌 흡착능력의 저하없이 그대로 사용할 수 있음을 밝혔다.

그림 7은 400 mesh 통과 참나무 숯을 표면에 코팅했을 경우를 보이고 있다. 이러한 경우 숯의 표면 공극에 접착제로 사용되는 전분이 채워지므로 에틸렌 흡착능력이 현저히 떨어지게 됨을 볼 수 있었다. 따라서 에틸렌 흡착능력이 중요시되는 원지에 있어서는 숯의 코팅사용은 비효율적인 방식임을 그림은 보이고 있다.

참나무숯을 이용하는 방식에 따라 얼마나 흡착능력이 변화하는지 그림 8에서 요약하여 보이고 있다. 200mesh 통과분을 첨가한 원지의 흡착량이 가장 높았고, multiply 를 만들거나 그냥 원지를 사용하거나 흡착량의 변화는 차이가 없음을 보이고 있다. 단 숯을 코팅하여 사용하는 경우 에틸렌 흡착능력은 기대하지 않는 것이 타당함을 그림은 보이고 있다.

그림 9와 10은 활성탄의 경우와 활성탄 원지를 multiply로 만든 경우를 보이고 있다. 역시 참나무숯의 경우와 마찬가지로 multiply 효과는 없다고 판단되었다. 탄소섬유는 매우 우수한 전기흐름을 보이는 섬유이지만 에틸렌 흡착능력도 상당히 우수함을 그림 11이 보이고 있다. 대부분 80% 의 숯을 첨가한 원지들의 흡착능력을 그림 12에서 통합 비교하였다. 대부분 우수하였으나 대나무의 경우 60% 함량도 적은 편이지만 다른 숯의 경우 50% 함량으로 80% 함량의 흡착능력을 보이고 있음을 고려할 때, 대체적으로 흡착능력이 매우 낮다고 판단된다.

sample	0	1	2	3	4	5	6	7	18	20	22	24
sample 없는병	10	9.523	9.442	9.437	9.368	9.366	9.411	9.401	9.388	9.437	9.441	9.127
숯0%(control)	10	9.083	9.023	9.018	8.653	8.535	8.420	8.440	8.259	8.229	8.321	8.300
대나무60%	10	6.929	7.022	6.327	6.470	5.830	5.688	5.554	5.393	4.493	4.794	4.144
oak 30%	10	5.699	5.341	4.816	4.389	4.940	4.987	4.924	5.055	4.808	4.855	4.355
oak 50%	10	4.272	3.572	3.924	3.547	3.278	3.296	3.526	3.407	2.911	3.243	3.334
oak 80%	10	3.773	3.517	3.281	2.766	2.951	2.950	2.947	3.121	2.847	2.976	2.935
oak 30%(m)	10	6.390	6.503	6.291	5.519	5.399	4.557	4.930	4.827	4.252	4.733	4.044
oak 50%(m)	10	5.869	5.557	4.766	4.490	4.281	4.315	4.231	4.316	4.318	3.966	3.289
oak 80%(m)	10	3.724	3.790	2.464	3.146	2.667	2.571	2.645	2.626	2.610	2.580	1.803
oak 200mesh 30%	10	5.122	4.531	4.443	4.151	4.104	4.013	3.737	3.822	3.818	3.199	1.860
oak 200mesh 50%	10	3.846	3.542	3.259	3.137	2.667	2.645	2.758	3.138	2.595	2.296	1.866
oak 200mesh 80%	10	2.448	2.164	2.233	2.102	1.828	1.906	1.907	2.115	1.740	1.983	2.081
oak 코팅 60%	10	7.036	7.124	7.060	7.054	6.651	6.910	6.528	6.344	5.765	5.664	5.750
oak 코팅 80%	10	8.818	8.108	7.744	7.534	7.474	6.403	6.515	6.705	5.871	5.355	4.376
ac 30%	10	4.580	4.944	4.609	3.658	4.012	3.873	4.209	4.290	3.981	4.190	3.225
ac 80%	10	2.988	2.741	3.095	3.039	2.743	2.710	2.170	2.774	2.287	2.471	2.552
ac 30%(m)	10	5.221	5.401	4.653	4.630	4.619	4.903	4.983	5.450	5.117	5.556	5.252
ac 80%(m)	10	3.130	3.058	3.109	2.237	2.848	2.843	2.808	2.775	2.893	3.028	2.964
acf 80%	10	4.438	3.788	3.969	3.377	3.778	3.774	3.932	3.976	3.855	3.628	3.527

표 1. 시간별 에틸렌가스 흡착표 (단위 ppm. 초기 10 ppm).

대나무 - 대나무숯; oak - 참나무숯; oak (m) - 참나무숯 multiply
oak 200mesh - 참나무숯 200 mesh 통과분
oak 코팅 - 참나무숯 400 mesh 통과분으로 코팅
ac - 활성탄 ; acf - 탄소섬유

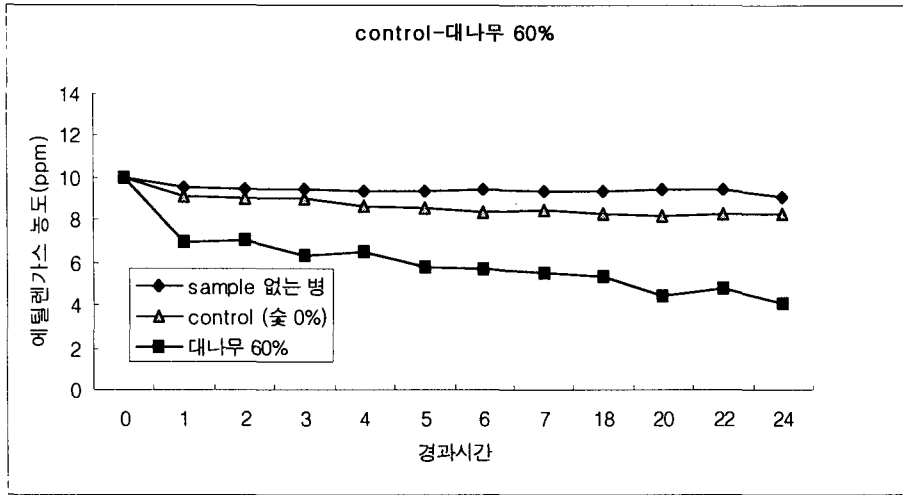


그림 3. 대나무 숯의 경우

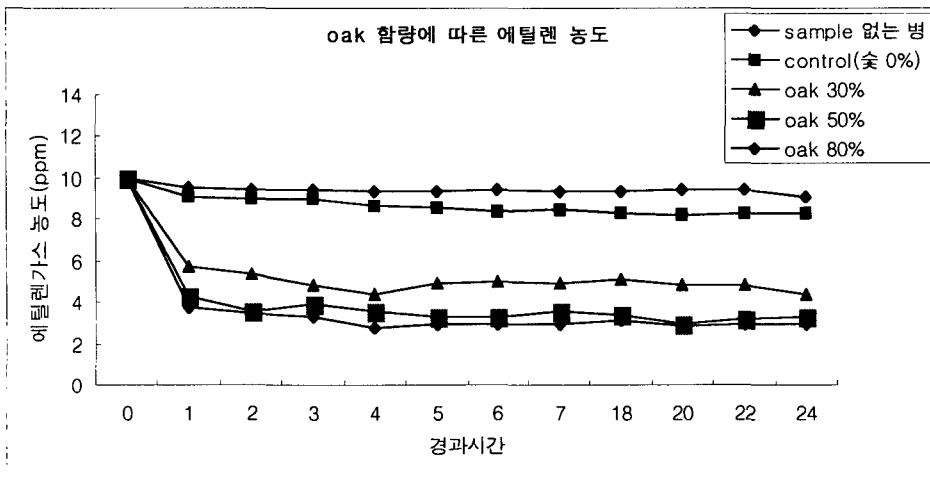


그림 4. 참나무숯의 경우

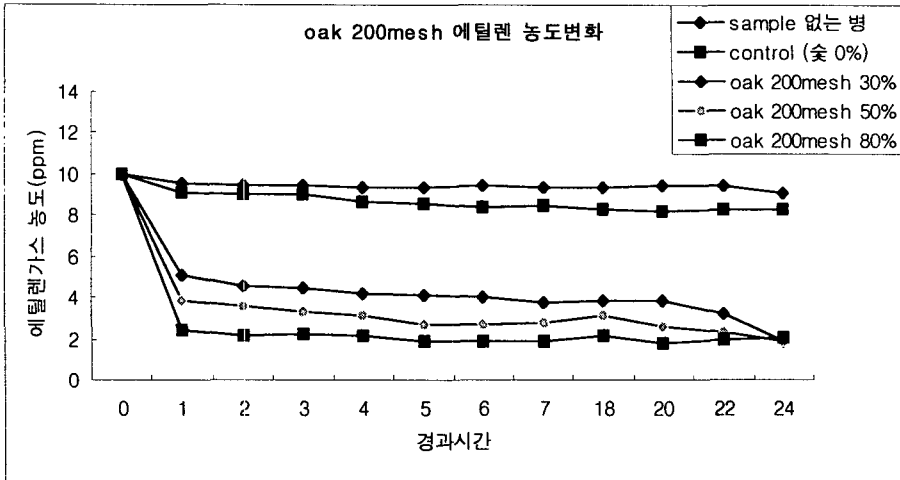


그림 5. 참나무숯 200 mesh 통과분의 경우

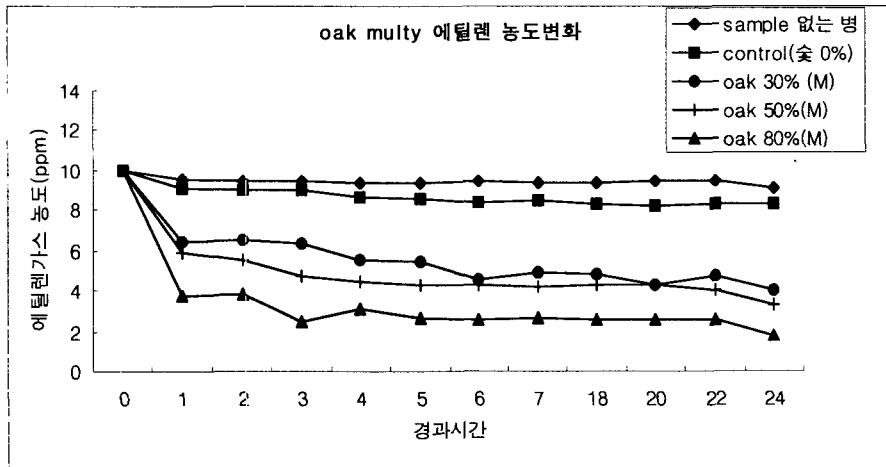


그림 6. 참나무숯 원지를 multiply로 만들었을 경우

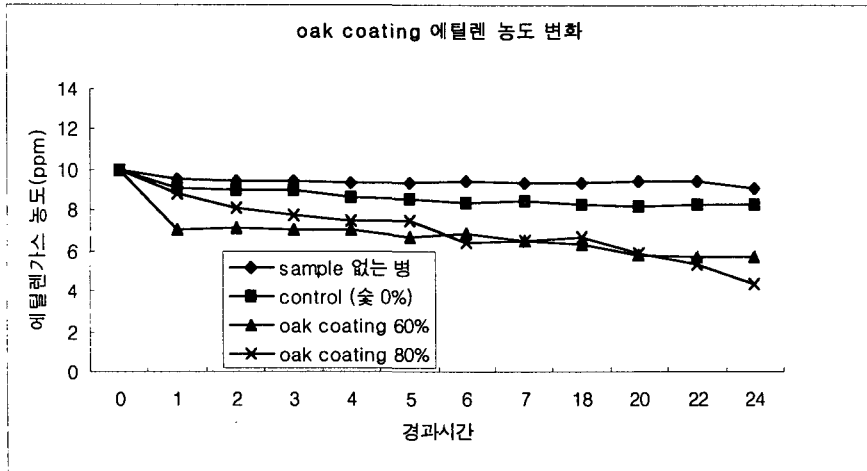


그림 7. 참나무숯을 400 mesh로 통과시켜 원지에 표면코팅한 경우

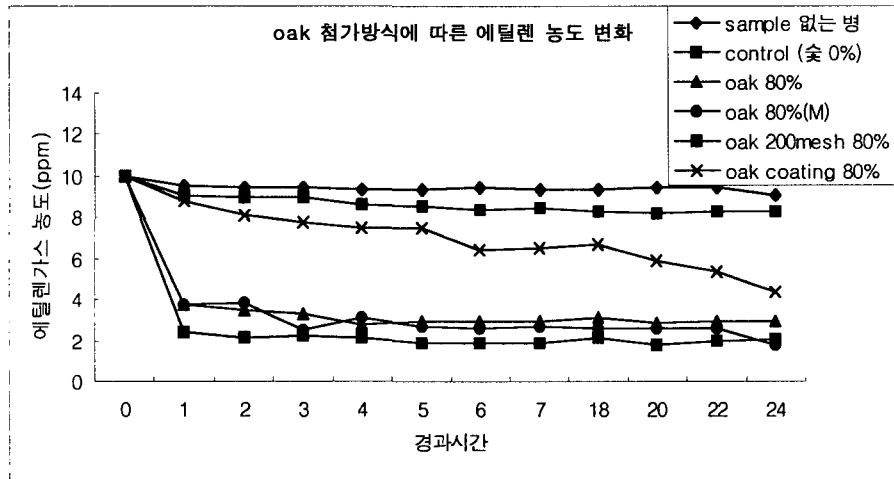


그림 8. 참나무 숯을 첨가한 방식에 따른 에틸렌 흡착정도

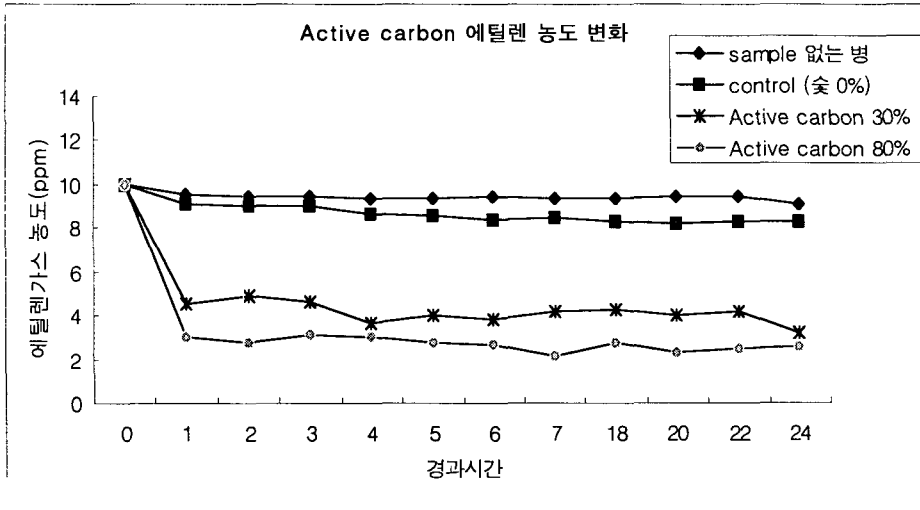


그림 9. 활성탄의 경우

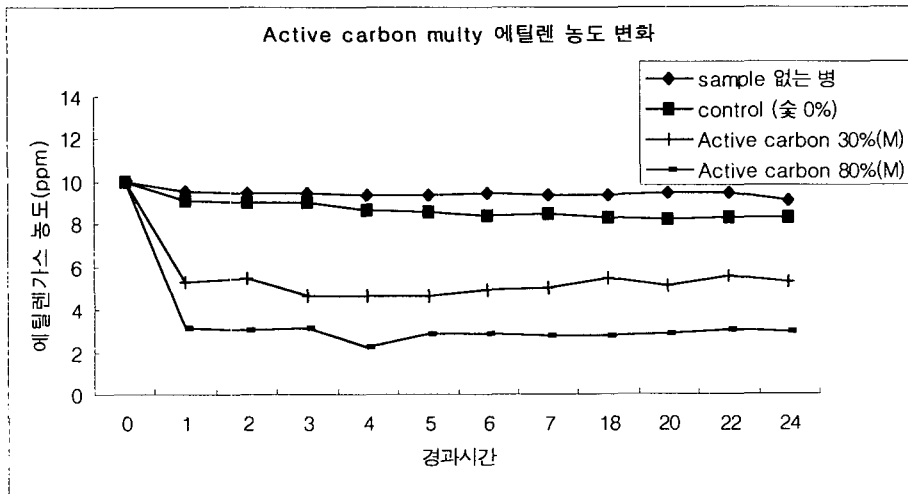


그림 10. 활성탄 원지를 multiply로 만든 경우

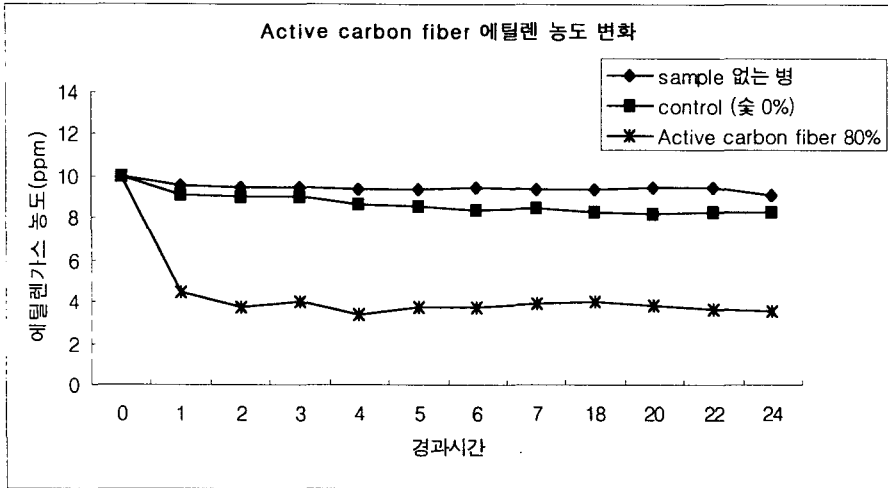


그림 11. 탄소섬유를 첨가한 경우

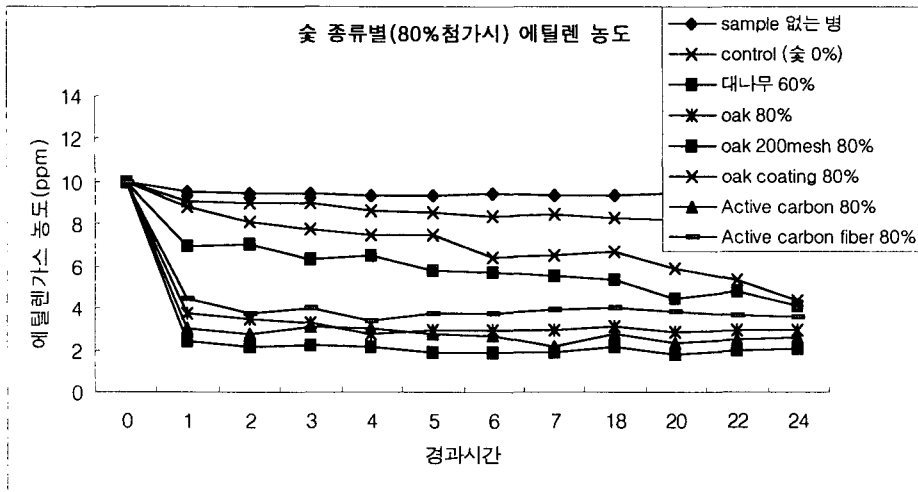


그림 12. 숯 종류별 에틸렌가스 흡착량 변화

참나무숯 첨가 원지들은 매우 우수한 에틸렌 흡착능력을 보였으며, 표면의 미적효과를 위해 시도한 multiply 는 에틸렌 흡착능력에 크게 영향을 주지 않았다. 따라서 필요한 경우 에틸렌 흡착능력이 우수한 백지를 만들 수 있는 능력을 갖추게 되었다. 특히 200 mesh 스크린 통과분이 흡착능력이 우수하였으며, 숯 50%함량으로도 숯 80%함량의 원지와 같은 능력을 보이고 있음을 알 수 있었다. 따라서 앞으로는 에틸렌 흡착효과를 위해서는 숯 50% 함량을 최대 함량으로 결정하여 실험을 실시할 예정이다. 대나무 숯은 상대적으로 에틸렌 흡착능력이 우수하지 않았으며, 활성탄의 경우 참나무숯 전도의 흡착능력을 보이고 있었다. 탄소섬유도 우수한 에틸렌 흡착효과를 보였지만 가격적인 점으로 보아서 앞으로는 전지에 관련된 물질에 사용되는 것이 더 효율적인 것으로 판단되었다. 숯을 넣지 않은 원지는 약간의 에틸렌 흡착능력을 보이고 있었지만 중요시될 만큼은 되지 못하였다.

II.3 수분 흡착실험

숯을 첨가한 종지와 숯을 첨가하지 않은 원지의 주변 습도에 따른 수분 흡착의 정도를 실험하였다. 실험은 식물생장계(VS-91G 09M-1300)를 사용하여 20℃ 30%, 20℃ 50%, 20℃ 80% 3가지 조건에 종지를 1일 방치한 후 무게를 측정하였다. 측정한 숯 종지의 함수율 data는 아래 표들과 같다.

표2. 온도 20℃, 습도 40%의 경우. (참나무숯, 활성탄, 탄소섬유 모두 80% 숯 함량)

	식물생장계 방치후	건조후	수분	함수율(%)	ave.(%)
원지 1	0.87	0.83	0.04	4.97	5.37
원지 2	0.88	0.83	0.05	5.76	
참나무숯 1	0.92	0.90	0.03	2.90	3.14
참나무숯 2	0.89	0.86	0.03	3.37	
활성탄 1	0.89	0.85	0.03	3.63	3.85
활성탄 2	0.90	0.86	0.04	4.07	
탄소섬유 1	0.87	0.84	0.03	3.34	3.08
탄소섬유 2	0.84	0.82	0.02	2.82	

표 3. 온도 20℃, 습도 60%의 경우. (참나무숯, 활성탄, 탄소섬유 모두 80% 숯 함량)

	식물생장계 방치후	건조후	수분	함수율(%)	ave.(%)
원지 1	0.89	0.83	0.07	8.36	10.60
원지 2	0.94	0.83	0.11	12.85	
참나무숯 1	0.98	0.90	0.08	9.25	9.28
참나무숯 2	0.94	0.86	0.08	9.30	
활성탄 1	1.06	0.85	0.21	24.24	23.86
활성탄 2	1.06	0.86	0.20	23.49	
탄소섬유 1	1.17	0.84	0.33	39.45	39.49
탄소섬유 2	1.14	0.82	0.32	39.53	

표4. 온도 20℃, 습도 80%의 경우. (참나무숯, 활성탄, 탄소섬유 모두 80% 숯 함량)

	식물생장계 방치후	건조후	수분	함수율(%)	ave.(%)
원지 1	1.14	0.83	0.32	38.18	34.52
원지 2	1.09	0.83	0.26	30.85	
참나무숯 1	1.05	0.90	0.16	17.28	15.44
참나무숯 2	0.98	0.86	0.12	13.60	
활성탄 1	1.16	0.85	0.31	35.95	33.32
활성탄 2	1.12	0.86	0.26	30.70	
탄소섬유 1	1.21	0.84	0.37	44.34	49.34
탄소섬유 2	1.26	0.82	0.44	54.35	

위 표들에서 보면 40% 조건에서는 숯을 첨가한 종이의 함수율이 숯을 첨가하지 않은 종이의 함수율 보다 낮은 수치가 나왔으나 60% 조건에서는 참나무숯을 제외한 숯을 첨가한 종이의 함수율이 2배 이상 높을 것을 알 수 있다. 80% 조건에서는 참나무숯을 제외한 3가지 경우의 함수율이 비슷한 정도로 높을 것을 알 수 있다. 참나무숯을 첨가한 종이의 경우 수분에 따른 함수율이 다른 종이에 비해 그 변화량이 적으므로 함수율 변화가 적어야 하는 경우에 사용하기에 적합할 것으로 보인다.

골판지의 주요 구성성분인 라이너지는 특별히 수분에 약하다. 상대습도가 80% 일 때, 일반원지의 함수율이 34.5% 에 이르렀으나 참나무숯을 첨가한 원지는 15.44% 에 불과하였다. 따라서 참나무 숯은 수분에 의해 강도가 큰 영향을 받는 라이너지에 매우 적합한 원지인 것을 발견하였다.

II.4 숯 첨가원지의 파열강도실험

라이너지의 KS 규격은 특급은 $220\text{g}/\text{cm}^2$ 이하 평량의 경우 파열지수가 3.3, A급은 3.0, C급은 각각 2.7 이상이 된다. 단 수분함량은 $7.5 \pm 1.5\%$ 일 경우다. 평량이 $260\text{g}/\text{cm}^2$ 을 넘는 원지들은 $220\text{g}/\text{cm}^2$ 의 파열지수보다 0.2 point 정도 낮다. 본 연구에 사용된 원지는 파열지수가 4.0 으로서 특급라이너 원지에 속한다. 본 실험에 사용된 원지들의 파열지수를 표5 와 그림 13 에 나타내었다.

예상한대로 숯을 첨가한 원지들은 파열지수가 크게 떨어졌다. 특별히 참나무숯의 경우 숯 30%와 50% 첨가한 원지들의 에틸렌가스 흡착능력이 80% 첨가 원지의 흡착 능력에 크게 뒤떨어지지 않음을 볼 때 (참고 그림 4 와 그림 5), 30% 나 50% 첨가 원지를 에틸렌가스 흡착원지로 사용해도 됨을 알 수 있었다. 하지만 그림 14의 경우 참나무숯의 코팅은 파열지수를 높여주었다. 즉 표면에 첨가된 전분이 숯 원지의 파열강도를 높여주었다.

sample	파열강도(kgf/cm ²)			평균	파열지수
숯 0%	3.20	3.30	3.30	3.27	4.000
Oak 30%	1.40	1.40	1.40	1.40	1.760
Oak 50%	0.90	0.90	0.90	0.90	1.080
Oak 80%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Oak 30% M	3.50	3.40	3.50	3.47	2.450
Oak 50% M	3.20	3.20	3.20	3.20	2.250
Oak 80% M	2.50	2.40	2.60	2.50	1.760
AC 30%	1.00	1.10	1.00	1.03	1.270
Ac 80%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
AC 30% M	3.10	3.20	3.30	3.20	2.250
Ac 80% M	1.90	1.90	1.90	1.90	1.370
Oak 200mesh 60%	0.30	0.40	0.50	0.40	0.490
Oak 200mesh 80%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Oak Coating 60%	4.50	4.90	4.80	4.73	4.610
Oak Coating 80%	4.70	4.90	4.80	4.80	4.700

표 5. 숯 처리 원지들의 파열지수

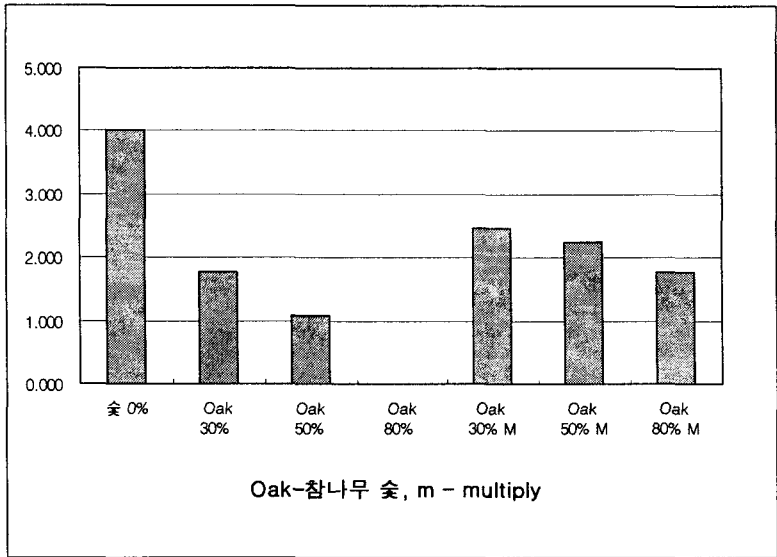


그림 13. 참나무 숯 원지의 파열지수

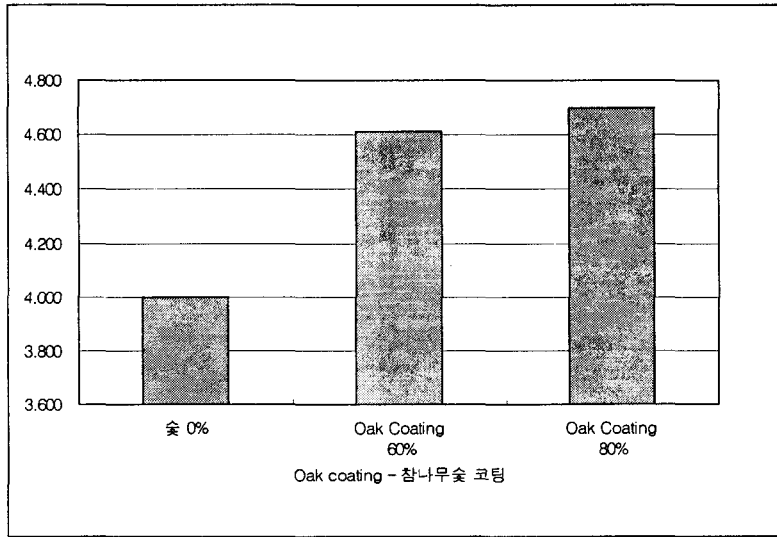


그림 14. 참나무숯 코팅 원지의 경우

II.5 숯첨가 수초지의 전기저항 측정 - 면저항

초기에 대나무 숯을 첨가한 종이는 숯을 첨가하지 않은 종이처럼 전류가 흐르지 않았으나 참나무 숯과 active carbon, active carbon fiber를 첨가한 종이는 전류가 통하였다. 본 실험에서는 길이 10cm 폭 1cm의 샘플들을 사용하였으며, 면저항을 측정하였다. 면저항의 측정방식은 다음과 같다.

$$\text{면적저항 } (\Omega/\text{cm}^2) = \text{측정 저항치}(\Omega)/\text{면적 (이 경우 } 10\text{cm}^2)$$

sample	단위: Ω/cm^2		
	1	2	3
숯 0%	∞	∞	∞
대나무 60%	∞	∞	∞
oak 30%	∞	∞	∞
oak 50%	∞	∞	∞
oak 80%	2×10^6	4×10^6	4×10^6
oak 200mesh 30%	∞	∞	∞
oak 200mesh 50%	∞	∞	∞
oak 200mesh 80%	5×10^5	7×10^5	6×10^5
oak 코팅 60%	7×10^4	7×10^4	7×10^4
oak 코팅 80%	12×10^4	12×10^4	12×10^4
ac 30%	∞	∞	∞
acf	700	700	700

표 6. 각 숯 첨가원지의 면적 저항치

대나무 - 대나무숯; oak - 참나무숯; oak (m) - 참나무숯 multiply
 oak 200mesh - 참나무숯 200 mesh 통과분
 oak 코팅 - 참나무숯 400 mesh 통과분으로 코팅
 ac - 활성탄 ; acf - 탄소섬유

표 6에서 숯은 적어도 80% 함량이 되어야 전기적 저항을 가질 수 있음을 보이고 있다. 탄소섬유는 매우 낮은 전기저항을 보이고 있으므로 이러한 용도에 많이 쓰일 수 있다. 하지만 참나무숯을 80% 내부 첨가한 원지들은 그렇게 높은 함량에서도 우수한 저항치를 보이지 못하였다. 단 표면코팅을 실시한 경우에는 매우 우수한 전기저항치를

보였다. 즉 참나무숯을 원지 표면에 코팅하는 경우 에틸렌 흡착능력은 매우 저조하지만 전기저항치가 낮으므로 이러한 종이들은 정전기가 문제시되는 종류의 포장에 쓰일 수 있음을 보이고 있었다.

III. 결론 요약

숯 첨가원지를 골판지 포장재로 사용하는 목적은 숯의 에틸렌 흡착능력과 전기저항치를 낮출 수 있는 기능이 있기 때문이다. 골판지 포장재의 중요한 특성중의 하나는 강도적 성질이다. 골판지의 강도적 성질은 골판지의 함수율에 매우 민감하며, 숯과 같은 섬유간 결합을 방해하는 물질들의 존재에 민감하다. 본 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 참나무 숯을 첨가한 원지는 첨가하지 않은 원지보다 높은 상대습도하에서 50% 정도 낮은 함수율을 보였다. 이는 높은 상대습도하에서 참나무 숯을 첨가한 골판지가 훨씬 높은 강도를 가질 수 있다는 것을 뜻한다.
- 에틸렌 흡착능력의 경우 200 mesh를 통과한 참나무 숯이 매우 우수하였다. 하지만 30% 의 원지대비 첨가량도 80% 첨가에 비해 흡착능력이 크게 뒤떨어지지 않음을 볼 때, 앞으로 30-50% 의 첨가량이 에틸렌 흡착에 유용함을 알 수 있었다.
- 원지의 강도적 성질을 유지하기 위해서는 참나무숯의 첨가가 필요하며, 숯의 첨가량을 최소화하는 것이 필요하다. 역시 위의 결론과 같이 30-50% 의 숯 첨가량이 적당하다고 판단된다.
- 숯 첨가 원지의 색을 바꾸기 위해 multiply를 만들었으나 흡착능력의 변화는 없었다. 따라서 필요에 따라 얼마든지 표면색의 변화를 유도할 수 있는 가능성을 얻었다.
- 전기저항성의 경우 탄소섬유가 월등히 우수하였으며, 다른 숯의 경우는 모두 80% 함량 이상의 숯 첨가가 필요하였다. 단 숯으로 표면에 코팅하는 경우에는 우수한 전기적 성능을 발휘하였다. 하지만 숯 코팅은 에틸렌 흡착능력이 매우 저조하였다.