

자동차용 에어필터의 재생 처리법 개발 및 포장원지 제조

조 중 연 · 신 준 섭

용인송담대학 유통·상품포장전공

Developments of the Recycling Treatment Methods of Car Air Filter and Paper Making of Corrugating Medium for Packaging

Jung-Yeon Jo and Jun-Seop Shin

Dept. of Distribution & Packaging, Yong-In Songdam College

ABSTRACT

This study was carried out for effective utilization of recycling resources to investigate the repulping conditions of car air filter waste paper and to evaluate the application into corrugating medium papermaking by blending these repulped pulps. Car air filter waste paper was made of virgin BKP and it was dipped into phenol resin solution. It was well disintegrated by laboratory Valley beater with 10%(basis on oven-dried pulp weight) NaOH addition and defoamer usage. The optimal temperature, beating consistency and treatment time were mainly 40°C, 1% and 30~40 minutes, respectively. Handsheets were prepared with various blending ratios between air filter recycled pulp and KOCC. In the case of 10~20% substitution with air filter recycled pulp, physical properties reductions as compressive strength and burst strength of sheets were lower than others. These results showed more favour than the partial substitution of KOCC for corrugating medium even though some strength reduction of paper. It was also observed that the waste water of air filter recycling was not affective to environmental problems.

Keywords : disintegrating, car air filter, corrugating medium, phenol resin, beater, blending, compressive strength, KOCC

서 론

최근 자동차 배기가스 규제의 강화로 점차 대기의 오염원을 줄여가고 있으나 다양한 이유와 차내의 쾌적한 실내환경을 유지하기 위하여 외부에서 유입되는 공기 통로에 에어필터를 장착하고 있다. 일반 에어필터는 펄프 및 합성섬유와 같은 섬유 물질이 망상(網狀)으로 구성돼 입자가 큰

먼지나 분진 등을 여과하며, 대개 일반 세균을 살균하는 항균처리가 되어 있어 항균 에어필터라고도 한다. 그러나 인체에 해로운 배기가스나 산업공해 및 냄새 등은 성능의 한계로 완전히 여과를 못하는 단점이 있어 기존 필터구조에 활성 카본층을 넣어 삼중 구조로 만든 필터와, 1 μ m이하의 입자를 99.97%이상의 높은 효율로 여과 포집할 수 있는 고성능 에어필터(High Efficiency Particle Air Filter)도 등장하고 있다.

에어필터는 자동차 엔진에 공급되는 공기중의 먼지를 제거하는 역할을 한다. 흡기계의 중간에 상자가 있고, 그 안에 필터 엘리먼트가 들어있다. 사람이 깨끗하다고 생각하는 공기 중에도 미세한 먼지가 많이 있다. 먼지를 사람은 코나 목의 점

*Corresponding author : Jung-Yeon Jo and Jun-Seop Shin, Dept. of Distribution & Packaging, 571-1 Yong-In Songdam College, Mapyoung-Dong, Yongin-Si, Kyongki-Do, 449-710 Korea.
E-mail : <shinjs@ysc.ac.kr>

막이 제거하지만, 자동차는 에어필터가 제거한다.

자동차용 에어필터는 다양한 재료와 공정을 통하여 제조되나 수지(Resin)에 함침(含浸)하는 것이 공통적이다. 일반적으로 내열성(耐熱性), 내후성(耐侯性), 내수성(耐水性), 내약품성(耐藥品性), 전기절연성(電氣絶緣性), 접착성(接着性) 등의 기능을 부여하기 위해 함침 처리하는 수지로는 에폭시(Epoxy), 페놀(Phenol) 수지 등이 있으나 보통 페놀 수지가 대표적이다.

최근 자동차의 급격한 증가 및 이용과 더불어 자동차의 필수 소모품으로 여겨지고 있는 에어필터의 사용 및 그로 인한 폐기물 발생량도 급격히 증가하고 있다. 그 동안 발생된 에어필터 폐기물에 대해 폐기물 처리업자들은 단순히 자기(磁氣) 시스템을 이용하여 고철류와 비고철류로 분류하여 비고철류를 연소 또는 매립 처리하여 왔으나 비고철류의 대부분이 에어필터지로 이에 대한 고지로서의 리사이클링 가능성이 제기되어 왔다.

이에 본 연구는 생활수준의 향상으로 인하여 대량 발생되고 있는 자동차용 에어필터지 처리를 그 동안 대부분 연소 및 매립에 의존하여 왔으나, 제지원료로 리사이클링하기 위한 방법중 하나로 회수된 에어필터지의 해리 특성과 처리된 원료의 골심지로의 이용가능성을 타진하였다.

재료 및 방법

1. 에어필터

본 연구에서 사용한 에어필터는 용제형 페놀 수지에 함침한 일반 자동차용 에어필터이며, 이를 기계적으로 분쇄하여 철제류와 비철제류로 강제 분류된 것중에서 비철제류에 혼합되어 있는 섬유상물질(이하 에어필터 고지라고 함)을 분리하였다.

2. 해리 및 고해

에어필터 고지 샘플 100g(전건무게)을 채취하여 농도 1%에서 고해하였다. 이 때 에어필터에 함침되어 있는 수지를 처리하기 위한 두 가지 방안을 생각하였다. 첫째는, 수지를 용해하는 것이고 둘째는, 수지를 분쇄, 분산하는 것이다. 첫 번째 방법으로 황산 등을 이용하였는데 초지적성, 백수의 색도, 폐수처리 등을 감안할 때 적합치

않은 것으로 판단되었다. 따라서 두 번째 방법으로 가성소다 처리를 이용하였는데 이는 가성소다에 의해 에어필터지의 팽윤을 촉진시켜 고해기에서 분쇄, 분산을 시키는 방법이다. 분쇄, 분산된 페놀수지는 용해성이 없어 환경에는 영향을 미치지 않을 것으로 보았다.

이에 따라 NaOH를 농도 5%용액으로 만들어 고해시 0~20%까지 첨가하였다. 실험실용 고해기(Valley beater)를 이용한 고해처리는 초기 일정 시간 동안은 추를 걸지 않고 행하는 무부하 고해였으며, 일정 시간 경과 후 추를 걸고 하는 부하 고해 하였다. 또한 고해시 고해시간 및 용수의 온도 변화에 따른 영향도 측정, 분석하였다. 고해처리후 쇼퍼-리글러 고해도 측정기(Schopper-Riegler Wettness Tester)를 이용하여 고해도를 측정하였다.

3. 수초지

TAPPI Standard T 205 om-88에 의거하여, 인영 리사이클링(주)에서 제공받은 에어필터고지와 신대양제지(주)로부터 제공받은 KOCC(Korea Old Corrugated Container)를 일정 비율로 혼합하여 평량 $145 \pm 1g/cm^2$ 의 골판지용 라이너(Liner)가 되도록 사각수초지기로 수초지 한 후 압착기(Press)로 $3.5kgf/cm^2$ 에서 5분간 압착하고, 실린더 드라이어(Cylinder Dryer)를 이용하여 약 $140^\circ C$ 의 롤 님(Roll Nip)을 3회 통과시켰다.

4. 물리적 성질 측정

제조된 수초 라이너지를 항온항습실에서 48시간 조습처리한 후 평량, 인장강도, 파열강도 및 압축강도를 각각 측정하였다.

5. 발생 폐수의 환경 영향 실험

에어필터 해리 펄프와 KOCC를 일정 비율별로 혼합한 지료를 실제 공정 적용시에 발생하는 폐수의 환경에 주는 영향을 평가하기 위해 KOCC만으로 제조된 것과 에어필터 해리 펄프만으로 제조된 지료 두 종류에 대한 실험을 하였다.

이때의 운전조건은 반응기내 MLSS가 $500mg/L$ 을 유지하도록 하였으며, 온도는 $30^\circ C$ 를 유지하였다. 한편, 유기물의 농도 측정은 HACH COD Cr법을 적용하였다.

결과 및 고찰

1. 가성소다(NaOH) 첨가량에 의한 해리 특성

전술한 바와 같이 자동차용 에어필터지에는 고분자 수지 물질이 함침 처리되어 있으며 이의 해리를 위해 황산 등 다양한 화학물질 첨가를 실시하였으나 그 중 가성소다에 의한 분쇄·분산법이 가장 양호하게 나타났다.

이에 가성소다의 적정량을 검토하기 위해 재생 에어필터지의 전건무게를 기준하여 0~20%까지 변화시켜 첨가한 후 해리성과 종이의 형성된 상태(지합)를 분석하였다. 그 결과 가성소다 첨가량의 증가에 따라 해리성은 조금씩 상승하였으며 지합도 양호해졌다. 그러나 가성소다 20% 첨가는 공정상 무리가 있어 약 10%정도가 적절한 것으로 생각된다.

가성소다의 첨가량이 증가할수록 고해도는 상승하는 경향을 보였다. 고해도가 증가할수록 종이의 강도는 증가하나 초지시 탈수성은 저하된다. 고해도가 60. SR을 초과하면 초지시 탈수성에 나쁜 영향을 줄 것으로 판단되어 가성소다 첨가량은 10%가 넘지 않아야 될 것으로 생각된다.

그리고 가성소다 첨가량 20%시에는 강알칼리에 의한 원료 성상의 변화 가능성과 기계장치 등의 부식 등이 발생할 우려가 있으므로 약 10% 정도의 첨가량이 적당한 것으로 판단된다.

2. 고해시간에 따른 해리 특성

예비 실험을 통하여 얻어진 결과를 바탕으로 적정 고해농도를 1%로, 적정 가성소다 첨가량을 10%로 각각 고정한 후 고해시간을 10분에서부터 60분까지 변화시켜 그에 따른 고해도의 변화를 Table 1에 나타내었다.

Table 1의 괄호 안의 숫자는 고해시간을 의미하며, 앞의 숫자는 실험실용 Valley Beater에 추를 걸지않고 행하는 무부하 고해시간이고 뒤의 숫자는 추를 걸고 행하는 부하 고해 시간을 의미한다. 예를 들어, 40분 고해한 경우 10분 무부하 고해한 후 30분 부하고해 처리했음을 나타낸다.

Table 1 및 Fig. 1에서 알 수 있는 바와 같이 해리 및 고해시간이 길어질수록 고해도는 증가한

Table 1. Changes of beating degree by repulping and beating times.

Beating time (Unload /Load, min)	10 (10 /0)	20 (10 /10)	30 (10 /20)	40 (10 /30)	50 (10 /40)	60 (10 /50)
Beating degree, °SR	4.0	11.5	25.4	41.2	50.9	60.0

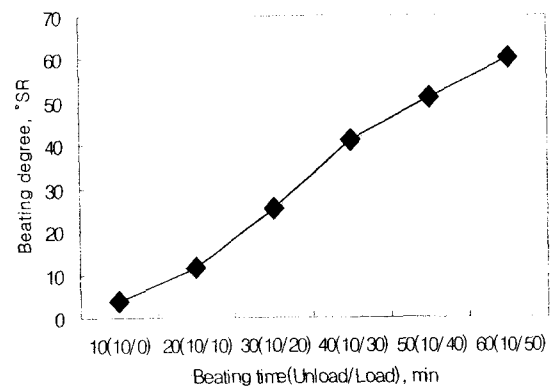


Fig. 1. Changes of beating degree by repulping and beating times.

다. 일반적으로 부하 고해시간이 너무 길어지면 에어필터지를 구성하고 있는 섬유 절단(Cutting)이 발생하여 오히려 종이의 강도 저하가 일어나거나 초지공정 시 와이어상에서 탈수 불량 원인이 되기도 한다.

일반적인 골판지 원지를 제조하는 제지공장에서 고해도를 약 40°SR전후가 되도록 조절함에 따라 본 연구에서의 에어필터 고지의 적정 고해시간은 약 10분동안 무부하 고해한 후 약 30분간 부하고해를(실제 고해시간) 하는 것이 해리 및 고해 소요동력의 절감에 유리하며 초지적성에 적합할 것으로 생각된다.

결국, 에어필터지 재생처리시 고해농도는 1%, NaOH 첨가량은 약 10%, 실제 고해시간은 약 30분 정도가 적정한 조건인 것으로 판단되나 약 40분정도까지도 가능하리라 생각된다.

3. 고해온도에 따른 해리 특성

한편, 고해처리 시 용수의 온도는 고해의 용이성, 소요동력 및 제조된 종이의 여러 물리적 특

성에 영향을 미치는 인자라고 알려져 있다.

이에 본 연구에서도 고해 시 온도를 20~60℃로 변화시켰을 때 고해도에 어떠한 영향을 끼치는가에 대해 살펴보았다.

Table 2. Changes of beating degree by repulping and beating temperatures

Treatment	Beating Temp., °C	NaOH, %	pH	Beating degree, ° SR*
W1	20	10	11.9	63
W2	30	10	11.8	69
W3	40	10	11.9	59
W4	50	10	11.7	48

* 이때의 고해시간은 60분(10분 무부하고해/50분 부하고해)한 것임.

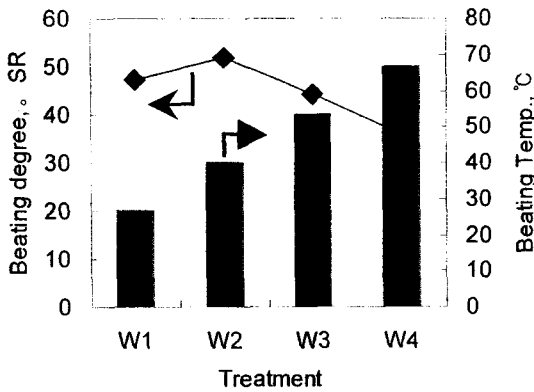


Fig. 2. Changes of beating degree by beating temperatures.

Table 2 및 그림 2에서 알 수 있는 바와 같이 에어필터 고지의 고해온도가 증가함에 따라 고해도는 감소하는 경향을 보였다.

제지공장의 백수는 여름철의 경우 약 40℃ 전후, 겨울철의 경우 약 20℃ 전후를 유지하고 있는데, 본 연구의 실험범위에서는 고해도가 너무 높게 나타났다. 이 정도에서는 탈수성과 초지성에 문제가 발생할 가능성이 있으나, 그 원인이 지나친 고해시간(부하고해시간 50분)에 있는 것으로 판단되는 바 고해시간을 줄이면 현장 적용 시 문제가 없을 것으로 생각된다.

그러나, 이론적으로 45℃ 이상에서는 고해가 불

가능하다고 알려져 있으므로 자동차용 에어필터지를 재생하고자 해리 및 고해할 때, 에어필터지는 농도 1%, 온도 20~40℃에서 가성소다를 에어필터지의 전건무게 기준 약 10% 첨가한 후 약 30~40분 정도 고해처리를 하는 것이 초지적성 등에 비교적 적절한 조건인 것으로 판단된다.

4. 에어필터 지료 고해시 거품의 발생

한편, 에어필터 고지를 실험실용 고해기로 해리 및 고해할 때에 다량의 거품이 발생하는 것을 알 수 있었다. 지료중에 거품이 발생하면 고해기의 날(고정자)과 날(회전자) 사이를 통과할 때 기계적 힘을 잘 받지 못해 수지의 분쇄·분산이 어렵게 된다.

이에 송강산업(주)의 탈기제(Deaerator & Defoamer, HT-3000)를 에어필터 고지의 전건무게 기준으로 0.1% 첨가한 결과 발생한 거품이 거의 제거되었다. 사용한 탈기제의 주성분은 Aliphatic Hydroxy Compound로써 pH가 11.0±0.5이며 점도는 약 1500 cPs(B형 점도계, 60rpm)인 유백색의 에멀션이다.

따라서, 에어필터지의 해리공정에는 반드시 탈기제나 소포제 등의 사용이 반드시 필요하며, 이에 따른 수지의 분쇄 및 분산 효과가 증대될 것이다.

5. 원료 혼합에 따른 물성 평가

재생된 에어필터 지료를 골판지용 골심지에의 적용 가능성을 살펴보기 위해 Table 3과 같은 혼합비로 원료를 혼합하여 수초지한 후 여러 물리적 특성을 평가하였다.

Table 3에 있어서 에어필터 지료의 혼합 함량이 증가함에 따라 pH는 약간 저하하다가 상승하는 경향을 보이고 있는데 그 이유에 대해서는 향후 정밀한 분석이 이루어져야 할 것으로 생각된다. 그리고 혼합률이 증가함에 따라 고해도도 상승함을 알 수 있었으며, 에어필터 지료 혼합률이 30%일 때까지는 탈수 등 초지적성이 양호하나 40% 이상에서는 문제가 발생할 것으로 본다.

Table 4 및 Fig. 3에서 알 수 있는 바와 같이 KOCC에 재생 에어필터 지료 혼합비를 증가시켰을 때 인장강도를 비롯한 강도적 성질은 저하한다. 지료 혼합에 의한 골심지의 강도가 혼합하지 않은 골심지 강도의 80% 정도에 이르러도 큰 영향이

Table 3. Beating degree and pH changes of paper stock by pulp blending.

Treatment	Blending ratio (KOCC:AF*)	pH	Beating degree(°SR)
M0	100 : 0	11.0	44
M1	90 : 10	7.80	54
M2	80 : 20	7.80	54
M3	70 : 30	8.03	50
M4	60 : 40	8.33	61
M5	50 : 50	9.67	60

*AF는 해리된 에어필터(Air Filter) 지료를 의미함

없다고 판단되며, 인장 및 파열강도의 경우 KOCC대 에어필터지의 적정 지료 혼합비는 약 80대 20정도이며 압축강도의 경우 약 90:10정도로 생각된다. 즉, 압축강도가 중요한 골판지 상자 제조시 에어필터 지료를 골심지 제조시 약 10% 정도 대체 혼합하여도 될 것으로 여겨진다.

즉, 강도의 큰 저하 없이 골판지용 골심지 원료인 KOCC에 대해 약 10~20%까지 대체 가능함을 알 수 있어 자원 리사이클링 측면에서 매우 의미 있는 결과라고 여겨진다.

6. 에어필터 혼합지료의 지합특성

여러 비율로 혼합한 지료를 이용하여 수초한 골심지의 표면을 스캐너로 스캔하여 지합과 반점 발생을 평가하였다. Fig. 4~9으로 부터 에어필터

Table 4. Physical properties of corrugating mediums by pulp blending.

Treatment	Blending ratio (KOCC:AF)	Basis weight (g/m ²)	Tensile strength (kgf)	Burst strength (kg/cm ²)	Compressive strength (kgf)
M0	100:0	145.5	5.9	3.7	13.0
M1	90:10	145.3	4.9	3.1	9.7
M2	80:20	144.3	4.8	3.0	9.0
M3	70:30	145.1	4.0	2.7	8.7
M4	60:40	144.9	3.8	2.6	5.9
M5	50:50	145.2	3.5	2.5	5.9

지료의 혼합비가 증가할수록 지합이 다소 저하되며 반점이 발생하는 것을 알 수 있다.

이는 에어필터 지료가 분쇄, 분산이 되었다 하더라도 KOCC에 비해 이물질이 많이 존재하며, 실험실 수초지기에는 정선(精選) 장치가 설치되어 있지않아 지료중의 이물질 제거가 거의 불가능하였기 때문이다. 그러나 실제 제조 공정에서는 클리너(Cleaner)와 같은 이물질 분리 장치가 있으므로 별 문제가 되지 않으나 정선공정 이용시 이에 대한 세심한 주의가 요구된다.

7. 발생폐수의 활성도 평가

호기성 활성오니를 사용하는 대부분의 제지폐수 처리장의 사례로 볼 때, 두 종류의 지료 모두 산소 소모율이 매우 낮은 것으로 볼 수 있다.

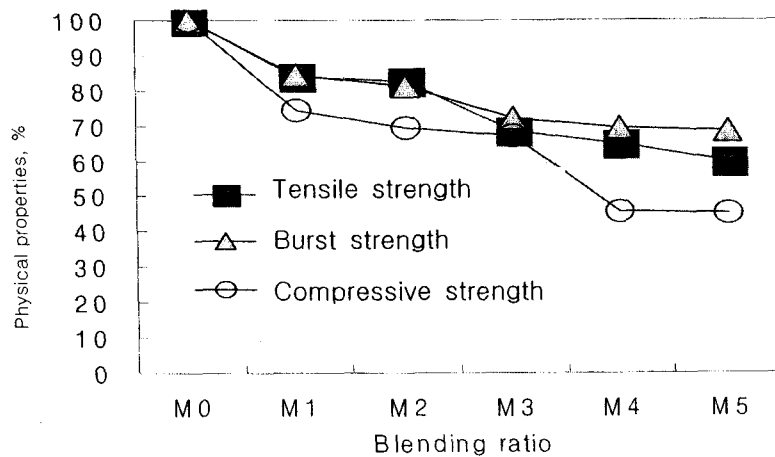


Fig. 3. Physical proerties of corrugating mediums by pulp blending

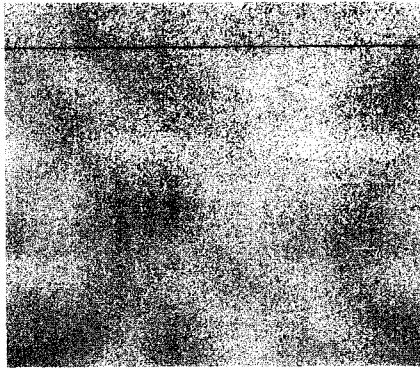


Fig. 4. Photograph of sheet surface manufactured by KOCC 100%(M0).

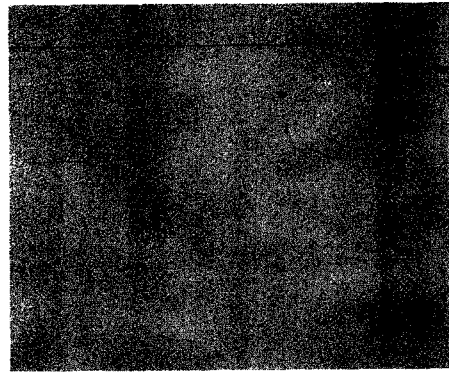


Fig. 7. Photograph of sheet surface manufactured by blending between AF pulp(70%) and KOCC(30%)(M3).

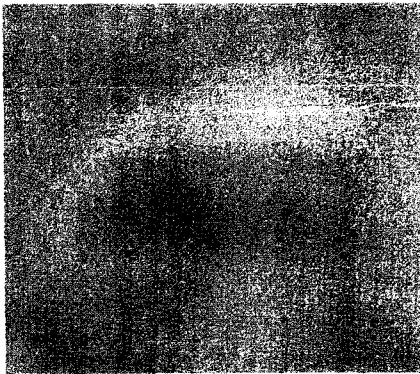


Fig. 5. Photograph of sheet surface manufactured by blending between AF pulp(90%) and KOCC(10%)(M1).



Fig. 8. Photograph of sheet surface manufactured by blending between AF pulp(60%) and KOCC(40%)(M4).



Fig. 6. Photograph of sheet surface manufactured by blending between AF pulp(80%) and KOCC(20%)(M2).

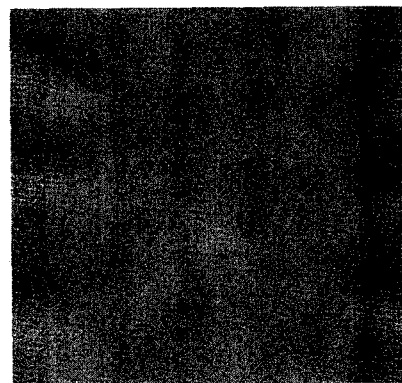
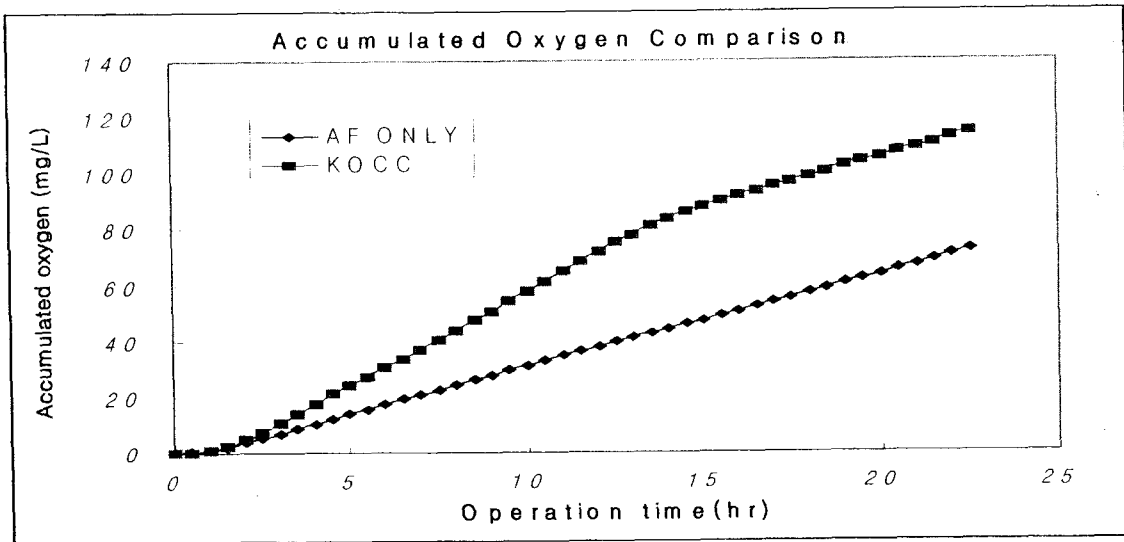
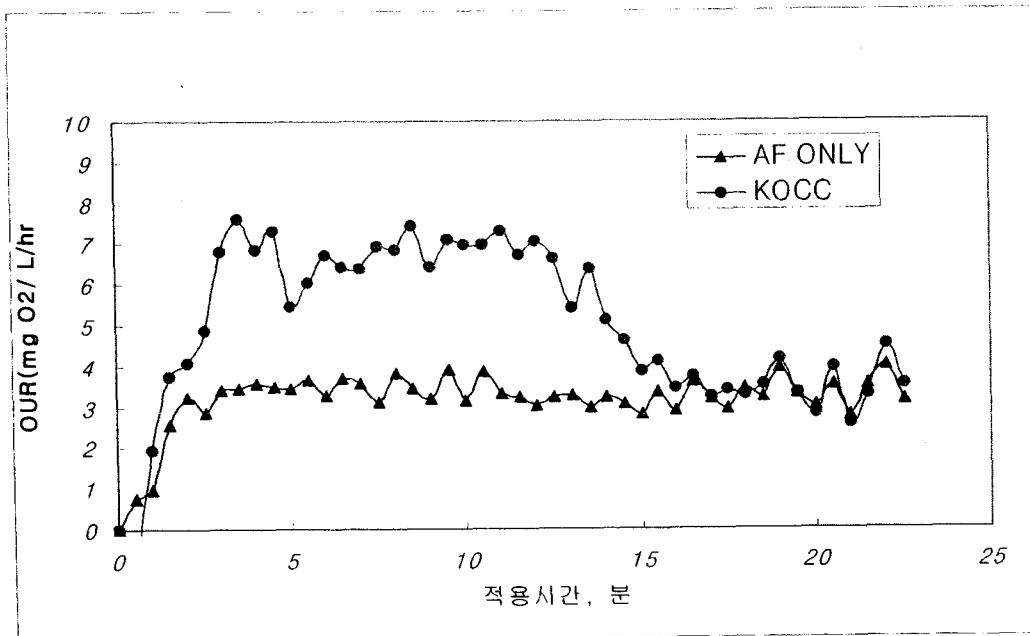


Fig. 9. Photograph of sheet surface manufactured by blending between AF pulp(50%) and KOCC(50%)(M5).



*AF only는 에어필터 해리 펄프 단독을 의미하며, KOCC는 한국산 골판지 고지를 의미함.

Fig. 10. Comparison of accumulated oxygen in AF recycled pulps and KOCC.



Sample	Before reaction TCOD Cr(mg/l)	After reaction SCOD Cr(mg/l)
AF ONLY	650	440
KOCC	3700	1925

Fig. 11. Comparison of organic compound consistency in AF recycled pulps and KOCC.

반응시간 16시간 정도에서 KOCC폐수의 활성이 저하되면서 내생호흡상태(먹이가 없어 미생물이 자기 자신을 먹는 상태)로 전이되는 것을 볼 수 있으며, 에어필터 해리 펄프 폐수의 활성이 KOCC 폐수와 비교시 전반적으로 산소호흡율이 낮게 유지되는 것으로 확인되었다(Fig. 10 참조).

Fig. 11에서 알 수 있는 바와 같이, 폐수의 독성이 있거나 혹은 BOD 성분이 낮아서 발생하는 경우로 생각할 수 있다. 이런 상태가 사실이라면 방류되는 폐수의 상태를 어느 정도는 나쁘게 할 가능성도 있으며, 실제 폐수처리장에 미치는 영향을 정밀하게 보기 위해서는 독성도 분석과 Batch Test가 검토되어야 할 것으로 보인다.

결론적으로 말하면, 이 실험이 간접적인 방법이라는 하나 현재 제지공장에서 많이 이용하는 생물학적 처리 방법인 활성오니법에서의 오니 생존에는 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

결 론

폐자원인 자동차용 에어필터지의 유효 이용을 위해 그 해리 특성을 파악하고 골심지에의 대체 적용에 대해 연구한 결과는 다음과 같다. 미지의 시료가 제지 원료로써 사용 가능한지의 여부 즉, 초지(抄紙)가능성은 구성 섬유와 해리성과 해리된 섬유의 매트형성(networking) 능력에 있다. 실험실용 고해기를 사용하여 해리하고, 부호너 깔때기를 이용하여 패드(pad)를 제작하여 섬유의 매트 형성 능력 등을 평가한 결과 양호한 결과가 얻어졌다.

첫째, 펄프의 해리에 일반적으로 이용되는 펄퍼에서는 가능한 모든 방법(약품 투입 등)에서 해리가 불가능하였으나, 지료의 고해에 이용되는 실험실용 고해기를 이용한 바 적절한 분쇄·분산이 일어났다. 따라서 현장 적용시에는 DDR등의 고해기나 디플레이커(Deflaker)를 사용한다면 실험실에서보다 더 좋은 결과가 나타날 것으로 본다.

둘째, 자동차용 에어필터지는 폐놀수지 등에 함침하여 제조하는데, 이러한 수지는 통상의 물에서는 해리가 불가능하다. 다양한 수지 용해제와 해리제를 이용하여 필터지의 해리성을 평가한 바, 수지의 용해 방법은 적절치 않았으며 가성소다를 이용한 수지의 분쇄·분산 방법이 가장 적합하였다.

셋째, 가성소다의 첨가량이 증가할수록 고해기

의 기계적 힘에 의한 해리가 용이하였으며, 일정량의 가성소다 첨가시 고해시간이 증가할수록 해리가 잘 되었다. 고해농도 및 온도 등을 조합하였을 때 최적의 해리조건으로는 고해농도 1%에서 첨가하는 NaOH의 양이 에어필터지의 전건무게 기준으로 10%이고, 고해온도 40°C, 고해시간 30~40분인 것으로 나타났다.

넷째, 에어필터지를 상기의 조건에서 해리 및 고해할 때 상당량의 거품이 발생한 바 실제 공정상에서의 효과적인 처리를 위해서는 탈기제의 적용을 검토해야 한다.

다섯째, 골심지 제조용 KOCC에 에어필터 해리 펄프를 0~50%까지 대체 혼합하였을 때 압축강도를 비롯하여 파열강도, 인장강도 등의 저하가 일어나나 골심지의 경우 골판지의 내부로 들어가며 골판지 강도의 주 영향인자는 라이너의 강도와 접착제의 성상과 그 양, 골 짜임새이므로 큰 강도의 저하 없이 에어필터 지료를 혼합 사용하기 위해서는 인장 및 파열강도의 경우 약 20%정도, 그리고 압축강도의 경우 약 10%정도가 적정하다.

지료를 혼합하는 경우 에어필터 지료에 의한 지합의 저하와 이물질에 의한 반점이 발생하는데 이는 정선장치의 사용으로 방지할 수 있으며 정선공정 시 세심한 주의가 필요하다.

여섯째, 골판지용 골심지 제조 공정에서 재생 에어필터지를 일부 사용하는 경우에는 활성오니 등의 생물학적 폐수처리에는 영향을 거의 미치지 않을 것으로 본다. 그러나 방류 폐수의 품질에는 약간은 부정적인 영향을 줄 것으로는 생각되나 그 영향은 크지 않을 것이라 판단되며, 이 부분에 관해서는 정밀한 실험이 요구된다.

이상과 같이 해리조건, 탈수성 및 초지적성, 그리고 골심지로서의 강도적 성질 및 환경에의 영향 등을 종합적으로 평가할 때 자동차용 에어필터지는 각종 재생 처리에 따라 라이너지 등의 산업용 종이제품 제조에 어느 정도 적용이 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. TAPPI Test Standard, TAPPI Press, 1995.
2. 最新 紙加工便覽, テックタイムス, 1988.
3. 古紙 리사이클링, 신동소, 서울대 출판부, 1995.