

MOW의 산소-알칼리 첨가 과산화수소 표백

김승호 · 이 형 · 백기현[†]

(2002년 5월 25일 접수; 2002년 8월 5일 채택)

EoP Bleaching of Mixed Office Wastepaper

Seung-Ho Kim, Hyoung Lee and Ki-Hyon Paik[†]

(Received on May 25, 2002; Accepted on August 5, 2002)

ABSTRACT

To produce the raw material used for printing and writing paper or high quality tissue, MOWs that were consisted of white ledger, colored ledger and old newspaper were bleached with EoP and EoPY(FAS) method, the EoP bleaching process gave the improvement in brightness and a high color removal efficiency. Especially, MOW B(initial brightness: 59.1% ISO) that contained much old newspaper showed the higher bleaching efficiency than those of MOW A(initial brightness: 68.3%). After EoPY(FAS) bleaching, MOW's brightness was increased from 68.3% ISO to 84.3~84.0% ISO, and from 59.1% ISO to 78.7~79.2% ISO, respectively. Also the tensile and burst index of bleached pulps decreased by 10~30%. The tear index slightly decreased or halted at the same range as unbleached pulps.

Keywords: MOW, bleaching, EoP, EoPY(FAS), brightness, color, removal, strength

1. 서 론

인쇄 및 필기용지와 고급화장지의 수요가 증가함에 따라 사무실 고지(Mixed office waste:MOW)의 재이용이 증가되고 있다. 초기 MOW는 리그닌 함량이 거의 없고 색지도 극히 제한적으로 함유된 고급고지였으나, MOW의 수요가 늘어남에 따라 고지의 질도 점점 하락하여 최근의 MOW는 상당량의 신문고지와 소량의 골판지까지도 함유하고 있다. 또한 염료의 농도와 색상이 다양한 색지의 함유량이 증가하고 있다.

따라서 MOW로부터 고급 재생 펄프를 얻기 위해서

는 리그닌 제거와 색 제거의 두 효과를 지닌 표백 방법이 요구된다. 이러한 두 가지 효과를 지닌 표백 방법으로서 염소계 표백제가 널리 사용되어 왔으나, 환경적인 측면에서 오늘날은 그 사용이 극히 제한적이다. 비교적 친환경적인 산소계 표백제로 산소(O), 오존(O₃), 및 과산화수소(H₂O₂) 표백도 널리 이용되고 있으나, P 표백은 신문고지가 함유된 MOW에서는 백색도 증진과 색제거 능력이 충분하지 못하다.^{1,2)} 또한 Z 처리도 침엽수 기계펄프의 백색도를 자주 감소시키므로 침엽수 기계펄프가 함유된 MOW의 표백에서는 표백 효율이 낮다.^{3,4)} 한편 환원표백제인 Y와 FAS는 색 제거에만

• 고려대학교 생명환경과학대학 생태공학부 (Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea).

† 주저자(Corresponding author): e-mail: khpaik@korea.ac.kr

효과가 있고 리그닌 제거에는 효능이 없다.^{5, 6)} 따라서 리그닌 제거, 색 제거 및 환경적 측면에서 EoP 표백이 그 가능성을 지니고 있다. 최근 기계펄프가 함유된 사무실고지를 고온 EoP 표백을 실시하여 백색도 80% ISO 이상의 재생펄프를 생산할 수 있다고 보고^{7, 8)}된 후 이 분야의 연구에 관심이 집중되고 있다.

따라서 본 연구는 신문고지와 색지가 함유된 두 종류의 MOW(초기 백색도 : 68.3% ISO, 59.1% ISO)를 고온 EoP 단계로 표백할 경우 표백조건(약품 첨가량, 안정제 종류, 표백 시간 등)에 따른 백색도와 탈색의 효과 및 표백 펄프의 강도를 비교 검토하는데 그 목적을 두었다. 또한 고온 EoP 단계와 고온 P 단계 및 환원 표백(Y, FAS) 간의 표백 효율도 비교되었다.

2. 재료 및 방법

2.1 시료조제

본 연구에 사용한 시료는 수입 백상고지(초기 백색도 : 75.7% ISO), 색지(61.2% ISO) 및 신문고지(46.8% ISO)를 일정 비율로 혼합하여 두 종류의 시료(Sample A, B)를 조제하였다.

각 고지의 혼합 비율, 재해섬 후의 백색도 및 kappa no.는 Table 1과 같다.

Table 1. Mixed ratio, brightness after repulping, and kappa no. of MOW A and MOW B

MOW	Mixed ratio(%)			Brightness after repulping (% ISO)	Kappa no.
	WL	Paper color	ONP		
A	75	20	5	68.3	6.8
B	50	35	15	59.1	13.1

2.2 고농도 펄퍼에서 해리 및 탈묵

450g의 고지시료(전건기준)에 물을 혼합하여 펄프 농도를 13%로 조절한 후 고농도 펄퍼에서 온도 45℃, 600rpm의 로터속도로 40분간 재해섬하였다. 전건펄프 기준 1.0% 가성소다와 0.2% 비이온성 계면활성제(DI-100)도 첨가하였다.

고농도 펄퍼로 완전 해리된 시료 140g을 부유부상셀 내에서 펄프농도 1%로 희석하고, CaCl₂(200ppm)을 첨가하여 40℃에서 7분간 탈묵을 실시하였다.

2.3 표백

과산화수소(P) 표백은 탈묵된 펄프를 이중 비닐 백에 넣고 일차적으로 실리카, DTPA, 가성소다를 넣고 잘 혼합시킨 후, 일정량의 과산화수소를 넣고 밀봉하여 85℃의 항온수조에서 90분간 반응시켰다. 반응을 균일하게 하기 위해 10분 간격으로 수작업으로 잘 혼합하며 표백을 실시하였다. P 표백은 70℃에서 실시하는 것이 일반적이지만 본 실험에서는 고온인 85℃에서 실시하였다.

FAS 표백은 펄프농도를 10%로 하여 비닐백에 넣은 후 질소를 충전시켜 산화를 방지하였고, P 표백과 마찬가지로 70℃ 항온수조에서 30분간 반응시켰다.

산소-알칼리 첨가 과산화수소표백(EoP)은 3l 크기의 autoclave에서 실시하였다. 반응기는 반응 중 펄프의 혼합을 위해 회전식으로 제작되었고 산소 가스를 주입하여 일정한 온도와 압력조건에서 추출 표백하였다. 이 경우도 특히 표백온도를 85℃로 높여서 실시하였다.

각 표백방법에 따른 표백 조건은 다음과 같다.

Table 2. Bleaching conditions of MOWs

	Time (min.)	Temp. (°C)	Chemical conc.
P	90	85	H ₂ O ₂ 10~25kg/t, NaOH 10kg/t, Na ₂ SiO ₃ 1.0%, DTPA 0.3%
FAS	30	70	FAS 5kg/t, NaOH 3kg/t
Y	30	70	Na ₂ S ₂ O ₄ (Y) 10kg/t
Eop	90	85	H ₂ O ₂ 10~20kg/t, NaOH 10~30kg/t, Na ₂ SiO ₃ 10kg/t, DTPA 3kg/t, MgSO ₄ 7.5kg/t, O ₂ 0.5MPa

Pulp consistency: 10%

2.4 수초지의 물리적·광학적 성질 측정

표백한 시료를 평량 50g/m²으로 초지하여 다음과 같은 기준에 의거 물리적·광학적 성질을 측정하였다.

Handsheets	: TAPPI Standard 205 om-88
Brightness, Lab	: TAPPI Standard T452 os-58
Tensile index	: TAPPI Standard T404 om-88
Tear index	: TAPPI Standard T414 om-88
Burst index	: TAPPI Standard T403 om-85

3. 결과 및 고찰

3.1 P 표백

고온 EoP 표백 효율을 비교하기 위하여 우선적으로 고온 P 표백을 실시하였다. 가성소다를 1.0%로 고정시키고 과산화수소 농도를 1.0~2.5% 범위로 변화시키면서 표백한 수초지의 백색도 변화는 Fig. 1과 같다.

Fig. 1에서와 같이 MOW A의 경우 과산화수소 1.0%에서 백색도는 76.7% ISO 그리고 2.0% 첨가에서는 79.4% ISO를 나타내었다. 한편 MOW B는 과산화수소 1.0%와 2.0%에서 백색도가 각각 68.3% ISO 그리고 70.2% ISO 였다. 즉, MOW A와 B 모두 과산화수소를 1.0% 첨가할 경우 백색도가 급격히 증가하여 전자에서는 백색도가 8.4% ISO 그리고 후자에는 9.2% ISO가 증가하였다. 또한 과산화수소 첨가량을 2배로 증가시키에 따라 MOW A는 2.7% ISO 그리고 MOW B에서는 1.9% ISO의 백색도 만이 더 증가하였다. 가성소다의 첨가량을 고정시키고 과산화수소의 첨가량만을 증가시킬 경우 백색도 증가 효율이 낮았다. 즉 P 표백에서 표백효율을 최대로 증가시키기 위한 가성소다와 과산화수소 첨가량간에는 일정한 비율이 존재한다. 일반적으로 과산화수소 1%에서는 NaOH 1.2%, 그리고 과산화수소 2%에서는 1.5% NaOH가 최적으로 보고되고 있다.^{9,10)}

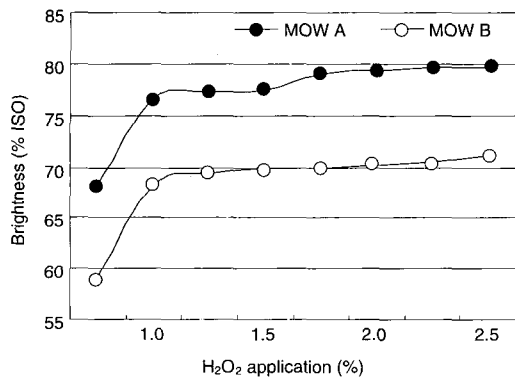


Fig. 1. Effect of H₂O₂ application on the brightness during P bleaching. (NaOH: 1.0%, bleaching time: 90 min).

3.2 EoP 표백

3.2.1 백색도

Fig. 2는 가성소다 1.0%와 산소압을 0.5 MPa로 고정시키고 60분간 고온 EoP 표백을 할 경우 과산화수소 첨가량에 따른 백색도의 변화를 나타내고 있다. Fig. 2에서와 같이 MOW A는 미표백 펄프의 백색도 68.3% ISO에서 과산화수소 첨가량을 1.0%에서 2.0%로 증가시키에 따라 백색도가 78.8% ISO에서 79.9% ISO로 증가하였다. 과산화수소 첨가량 1.0%에서 백색도 증가 효과가 뚜렷하며 2.0% 첨가에서는 백색도 증가가 미미하였다. 한편 MOW B도 과산화수소 첨가량을 1.0%에서 2.0%로 증가시키에 따라 59.1% ISO에서 69.0% ISO와 73.1% ISO로 각각 계속 증가하였다. 특히 MOW B에는 신문고지와 색지의 함유량이 높아 이에 따라 리그닌 함유량과 염료량도 더 함유된 관계로 MOW A 보다 EoP 표백 효과가 더 큰 것으로 사료된다.

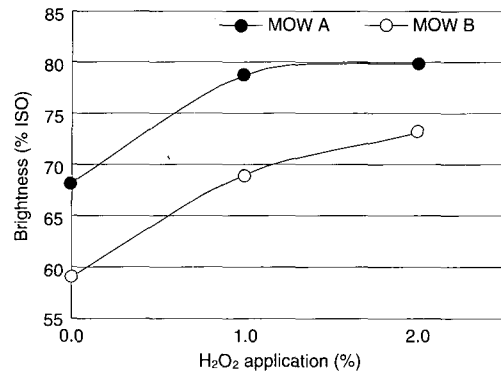


Fig. 2. Effect of H₂O₂ application on the brightness during EoP bleaching (NaOH: 1.0%, bleaching time: 60 min).

Fig. 3은 가성소다 첨가량에 따른 백색도 변화를 나타내고 있다. 가성소다 첨가량을 2.0%까지 증가시킬 경우 백색도는 증가하였으나 가성소다를 3.0% 첨가하면 백색도가 오히려 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 초기 백색도가 낮은 MOW B에서 더욱 뚜렷하게 나타났었다. 그 이유는 과산화수소 첨가량에 비하여 가성소다를 과량 첨가할 경우에 황갈색화 현상이 일어나기 때문이다.⁹⁾ 표백말기에 과산화수소량은

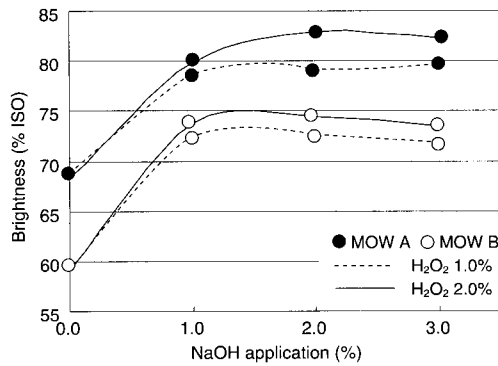


Fig. 3. Effect of NaOH application on the brightness during EoP bleaching (bleaching time: 60 min.).

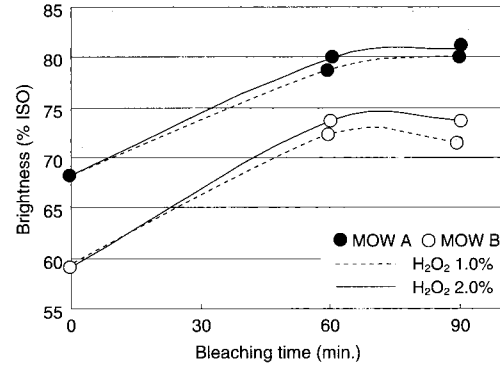


Fig. 4. Effect of bleaching time on the brightness during EoP bleaching (NaOH: 1.0%).

고갈되고 가성소다가 과잉으로 존재하면 신문지와 같은 기계펄프에 함유된 리그닌과 가성소다가 작용하여 펄프의 황변화를 촉진시킨다.

Fig. 4는 표백시간에 따른 백색도를 나타내고 있다. 초기 백색도가 높은 MOW A의 경우는 표백 시간을 90분까지 연장하여도 백색도가 미미하게나마 증가하였으나 MOW B의 경우는 표백시간 60분 이상에서는 백색도가 감소하거나 더 이상 증가하지 않았다. 즉 Fig. 3의 가성소다를 3.0% 첨가할 경우와 유사한 결과를 나타내었다. 이러한 결과는 표백 시간이 길어지면 과산화수소는 거의 완전히 소비되었으나 가성소다

는 표백계 중에 상당량이 잔존하기 때문에 표백 펄프의 황갈색화가 일어난다는 것을 의미한다.

Fig. 5는 고온 P 표백단계와 고온 EoP 표백단계의 백색도 증가 효과를 비교한 것이다. P와 EoP 표백단계의 차이는 후자의 경우 산소를 0.5 MPa로 주입한 것 이외에는 모든 조건이 동일하였다. 모든 조건에서 EoP 표백에서 P 표백보다 백색도 증가효과가 높았다. MOW A는 과산화수소를 1.0% 첨가할 경우 EoP가 P보다 백색도가 3.4% ISO 그리고 과산화수소 2.0%에서는 1.5% ISO 높았다. 또한 MOW B에서는 백색도가 각각 3.3% ISO, 3.5% ISO 높았다. 이렇게 EoP 표백이 P 표백보다 백색도 증가 효과가 높았는데 이는 EoP 표백에서 산소 첨가로서 산소-알칼리에 의해 신문고지에 함유된 리그닌의 탈리그닌화가 촉진된 것에

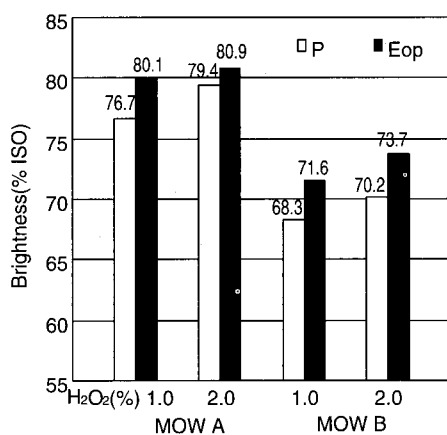


Fig. 5. Effect of oxygen on the brightness during EoP bleaching (NaOH:1.0%, bleaching time: 90min. oxygen:0.5MPa at 85 °C).

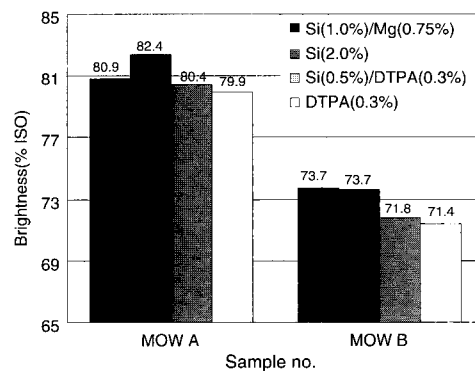


Fig. 6. Effect of the catalyst concentration on the brightness during EoP bleaching (H₂O₂2.0% NaOH 2.0%, 90 min.).

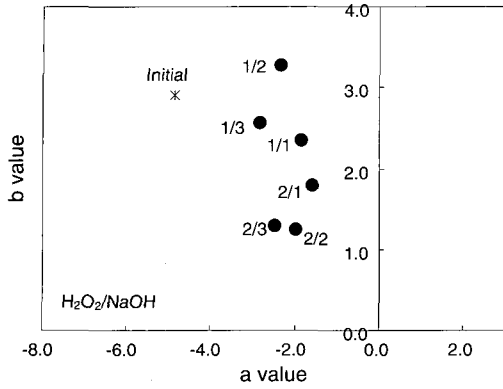


Fig. 7. Transition tendency of a and b values (MOW A).

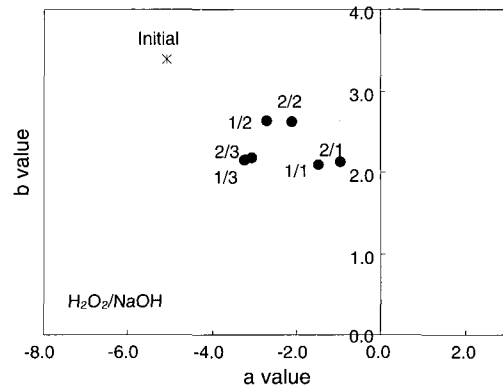


Fig. 8. Transition tendency of a and b values (MOW B).

기인한다고 사료된다.

EoP 표백에서 표백펄프에 함유된 중금속의 안정제 종류에 따른 백색도의 변화는 Fig. 6과 같다. MOW A와 B 모두 실리카 2.0% 또는 실리카 1.0%와 황산마그네슘 0.75%를 혼용하여 첨가할 경우 백색도 증진효과가 높았다. 그러나 DTPA를 0.03% 첨가한 표백펄프의 백색도가 가장 낮았다. EoP 표백에서 중금속 안정제로 황산마그네슘을 첨가할 경우 백색도가 1~2% ISO 더 증가한다는 보고가 있으나,¹¹⁾ 본 연구에서는 초기 백색도가 낮은 MOW B에서만 이러한 사실이 증명되었다. MOW A의 경우는 오히려 실리카를 첨가할 경우 백색도가 더욱 우수하였다. 그러나 실리카의 과용은 공해 문제 야기 및 스케일 생성으로 펄프공정

상에 문제를 야기시킬 수 있다.¹²⁾

3.2.2 탈색 효과

Fig. 7과 8은 고온 EoP 표백에 따른 MOW A와 B의 a*와 b* 값을 나타내고 있다. 여기서 a* 값이 감소할수록 녹색을 그리고 증가할수록 적색을 띤다. 한편 b* 값은 낮을수록 청색, 높을수록 황색을 나타낸다. MOW A와 B 모두 EoP 표백으로 a* 값은 증가하여 0 쪽으로 옮겨졌으며 b* 값도 낮아졌다. 특히 MOW A는 가성소다 첨가량에 관계없이 과산화수소 첨가량을 증가시킬수록 a* 값은 증가하고 b* 값은 감소하였다. 그러나 MOW B에서는 과산화수소 및 가성소다 첨가량에 따른 일정한 경향을 나타내지 않았다. Granfeldt 등⁹⁾은 MOW(초기 백색도 67.3% ISO)에 EoP 표백을 실시한 바 b* 값이 8.4에서 4.8로 감소하였으며 과산화수소 첨가량과 표백시간이 연장될수록 b* 값이 크게 감소한다고 보고하였다. 그러나 본 실험에서는 b* 값의 감소폭이 적는데 이는 본 시료 고지 자체 내에 청색이 많아 b* 값이 본래 낮고 또한 고지 내에 색중에서는 청색이 먼저 탈색되고 황색이 상대적으로 늦게 탈색되기 때문이다.

Fig. 9는 백색도 증가에 따른 b* 값의 변화를 나타내고 있다. MOW A와 B 모두 백색도가 증가함에 따라 b* 값은 감소하였다. MOW A와 B 모두 b* 값의 감소 폭은 백색도가 높은 MOW A에서 MOW B보다 조금 더 컸다. MOW A에서는 전술한 바와 같이 과산화수소와 가성소다 첨가량이 증가함에 따라 b* 값이 급격히 감소하였으나 MOW B에서는 약품 첨가량에 따른 b* 값의 변화를 인지할 수 없었다.

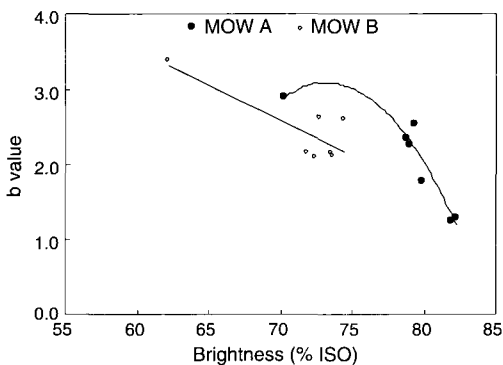


Fig. 9. Color removal selectivity for EoP bleaching of MOW A and B (H₂O₂:1.0~2.0%, NaOH:1.0~3.0%, bleaching time:60~90min.)

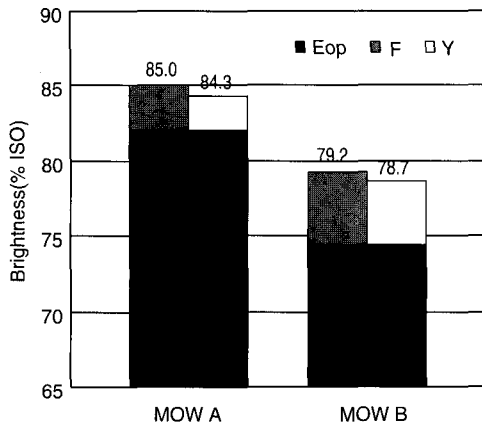


Fig. 10. Effect of two stage bleaching (FAS, Y) based on one stage bleaching (EoP) on the brightness (Eop bleaching condition : H₂O₂ 2.0%, NaOH 2.0%, 60 min.)

3.3 EoPY(FAS) 표백

고온 EoP 표백 후 2단 표백으로 Y 또는 FAS 단계를 이용하여 환원 표백을 실시한 백색도 결과는 Fig. 10과 같다. 초기 백색도 68.3% ISO의 MOW A를 Y 또는 FAS로 2단 표백을 실시함에 따라 백색도를 약 85.0% ISO 까지 증가시킬 수 있어서 백상지 제조용으로 충분한 재생 표백 펄프를 생산할 수 있다고 본다. 즉, EoP 표백 후 FAS 표백으로 백색도 3.0% ISO 그리고 Y 표백으로 2.3% ISO가 더 증가하였다. 즉 EoPFAS 표백에서 백색도가 85.0% ISO로 증가하였다. 한편 MOW B에서도 FAS 표백과 Y 표백에서 백색도가 4.8% ISO 그리고 4.3% ISO로 각각 더 증가하였다. 결국 환원 표백으로 약 79.2% ISO 백색도를 지닌 재생 표백 펄프가 생산되었다. 일반적으로 Y 표백보다도 FAS 표백에서 백색도 증진효과가 조금 높았다. 그러나 본 실험의 경우 FAS를 0.5% 그리고 Y를 1.0% 사용하였으나 가격 면에서 FAS가 Y보다 2.5배 비싼 것을 고려한다면 백색도 증진효과는 거의 비슷한 수준이다. Sharpe²⁾와 Szczucki 와 Kilganon¹³⁾도 MOW를 산화표백 후 환원표백을 할 경우 Y보다도 FAS 표백에서 백색도가 약 1~2% ISO 높다고 보고하였지만, 이 경우는 대부분 표백 약품 가격을 고려하지 않고 백색도 수치만을 비교한 결과들이다.

3.4 표백 펄프의 기계적 성질

Fig. 11은 표백방법에 따른 표백 펄프의 기계적 성질을 나타내고 있다. MOW A의 경우 P 표백으로 인장지수와 파열지수는 감소하였고 인열지수는 증가 또는 미표백 상태의 강도지수를 유지하였다. Howard와 Bichard¹⁴⁾도 재생화학펄프의 경우 P 표백으로 인장지수는 감소하나 인열지수는 증가한다고 보고한 바 있다.

EoP와 EoPFAS(Y) 표백으로 세 종류의 펄프강도가 모두 감소하였다. 2단 표백에서 인장지수와 파열지수의 감소가 뚜렷하였으나 인열지수는 상대적으로 적게 감소하였다. EoP 단계에서 인장지수의 급격한 감소는 Suss¹⁵⁾가 지적한 바와 같이 셀룰로오스 체인이 산소-알칼리에 의하여 peeling off 반응으로 분해되고 이에 따라 펄프의 점도가 감소되었기 때문이다. 또한 MOW의 산화-환원 표백의 경우 Kogan 등¹⁶⁾은 인장과 파열지수는 증가하나 인열지수는 변화되지 않는다고 발표하였으나 본 실험에서는 3종류의 강도가 전부 감소하였다. 감소된 이들의 강도를 비교하면 인열지수는 EoPY에서 그리고 파열과 인열지수는 EoPFAS에서 높았다. 한편 MOW B의 경우는 P 표백 후의 인장지수가 미표백보다 높은 것을 제외하고는 거의 동일한 경향을 나타내었다. 특히 EoP 단계가 적용된 표백펄프에서 모든 강도가 가장 낮았다.

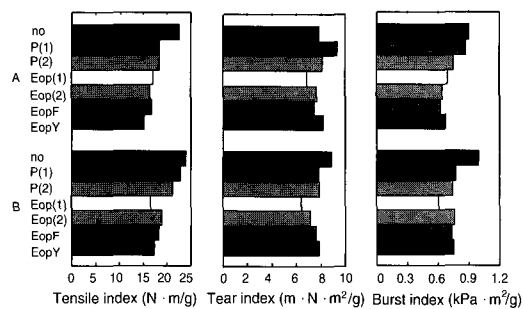


Fig. 11. Physical properties of bleached pulps.
 ※P(1): H₂O₂/NaOH = 1.0/1.0% of pulp, P(2) : H₂O₂/NaOH = 2.0/1.0%
 EoP(1): H₂O₂/NaOH = 1.0/1.0% , 60 min.,
 Eop(1): H₂O₂/NaOH = 2.0/2.0% , 60 min.
 EoPY and EoPFAS : See Fig. 1 and Fig. 10.

4. 결론

본 연구에서 얻어진 결론은 아래와 같다. MOW의 고온 EoP 표백에서 산소(0.5 mm)와 표백 온도(85°C)를 고정시키고 반응 조건을 구명한 바 가성소다 첨가량은 2.0%, 과산화수소 첨가량 2.0%, 표백시간 60 min, 그리고 안정제로는 실리카 2.0% 또는 실리카 1.0%와 황산마그네슘 0.7%를 혼합 첨가 시에 백색도가 가장 높은 표백 펄프를 생산하였으며 이 경우 MOW A(초기 백색도 : 68.3% ISO)와 MOW B(초기 백색도 59.1% ISO)의 백색도가 각각 82.9% ISO와 74.4% ISO로 증가하였다. 고온 EoP 표백으로 탈색 효과의 지표인 a* 값은 증가하고 b* 값은 감소하였다. 표백 펄프의 과산화수소와 가성소다의 첨가량이 증가할수록 백색도의 증가 또는 b* 값이 뚜렷이 감소하였다.

고온 EoP 표백의 경우 고온 P 표백보다 백색도가 MOW A에는 1.5% ISO 그리고 MOW B에서는 3.5% ISO 높다. 고온 EoP 표백 후 2단으로 Y와 FAS를 적용하면 MOW A에서 2.3~3.0% ISO 그리고 MOW B에서 4.3~4.8% ISO의 백색도가 더 증가하였다. Y 표백보다는 FAS 표백에서 백색도 증진 효과가 크다. 표백 후 펄프의 인장지수와 파열지수는 10~30% 감소하였으나 인열지수는 10% 이내로 적게 감소하였다. 특히 신문용지가 많이 함유된 MOW B에서 펄프의 강도가 낮았다.

감사

본 연구는 통상산업부에서 시행한 청정생산기술사업(한국생산기술원)의 지원에 의한 것입니다.

인용문헌

- Gehr, V., Untersuchungen zur Bleiche unterschiedlicher Altpapierstoffe für die Herstellung hochwertiger Druck- und Presspapier, Dissertation, University Hamburg, pp. 43-46(1994).
- Sharpe, P. E., TCF bleaching of mixed office waste compositions. 1995 Recycling Symposium, New Orleans, LA, USA, 20-23 Feb. pp. 157-187(1995).
- Van Lierop, B., Liebergott, N., Bleaching of secondary fibre pulps, J. Pulp & Paper Sci. 20(7):206-210(1994).
- Kappel, J., Matzke, W., Chlorine-free bleaching chemicals for secondary fibres, TAPPI Proc., 1994 Research Forum on Recycling, pp. 31-235(1994).
- Marchildon, L., Daneault, C., Leduc, C., Sain, M. M., Deinking condition for yellow directory using formamide sulfonic acid as a repulping chemical. Cellul. Chem. Technol. 30(5): 473-482(1996).
- Ahn, B. J., Paik, K. H., Chlorine-free bleaching of mixed office wastepaper, J. Korean Ind Eng. Chem. 12(7):724-729(2001).
- Granfeldt, T., Grundstrom, P., Lary, E., High brightness bleaching of mixed office waste. Pulp & Paper Canada. 98(1): 62-67(1997).
- Lunabba, P., Granfeldt, T., Grundstrom, P., Lary, E., Top quality deinked pulp from mixed office waste by high temperature peroxide bleaching. Pulp & Paper Canada. 99(10): 36-39(1998).
- Kappel, J., Sbaschnigg, J., Bleaching of groundwood pulp at temperatures up to 95°C, Pulp & Paper Canada. 92(9): 229-233(1991).
- Helmling, O., SuSS, H. U., EUL, W., Upgrading of waste paper with hydrogen peroxide, Tappi pulping Conf.(Toronto), Proc., pp. 407-417(1986).
- Jaschinski, T., Odermatt, J., Patt, R., Bachus, H., Kordsachia, O., Use of high temperature resistant chelants in peroxide bleaching of kraft pulps. Pulp & Paper Canada. 99(8): 52-56(1998).
- Kyriacou, P., Jong, E. D., Johansson, C. I., Chandra, R. P., Saddler, J. N., Bleaching of western red cedar and Douglas-fir mechanical pulps. Tappi J. 81(6): 188-195.
- Szczucki, C. L., Kilgannon, R. R., Peroxide-reductive bleaching of mixed office waste to high brightness. 1996 TAPPI Recycling Symposium, New Orleans, LA, USA, 3-6 Mar. pp. 57-62(1996).
- Howard, R. C., Bichard, W., The effects of recycling on pulp properties. Journal of Pulp and Paper Sci. 18(4): J151-J159(1990).
- Suss, H. U., Nimmerfroeh, N. F., Kronis, J. D., The naked truth on hot peroxide bleaching. Pulp & Paper Canada. 99(4): 63-66(1998).
- Kogan, J., Perkins, A., Muguet, M., Bleaching deinked pulp with ozone-based, reductive-oxidative sequences. 1995 TAAPI Recycling Symposium, New Orleans, LA, USA, 20-23 Feb. pp. 139-148(1995).