

열화기간에 따른 잉크조성분과 탈묵약품이 신문지의 탈묵성에 미치는 영향

안 병 준 · 백 기 현[†]

고려대학교 산림자원학과
(1999년 4월 13일 접수, 1999년 5월 31일 채택)

The Effect of Ink Formulations and Deinking Chemicals on the Deinkability of Newspapers According to the Aging Time

Byoung-Jun Ahn and Ki-Hyon Paik[†]

Department of Forest Resources, Korea University, Seoul 136-701, Korea
(Received April 13, 1999; accepted May 31, 1999)

요약: 잉크조성분의 차이, 탈묵약품 및 열화기간에 따른 신문지의 탈묵성을 비교하였다. 잉크조성분으로 용제, 즉 대두유 30%(A), 대두유50%(B), 광물유 45%(C) 및 아마인유 42%(D)를 각각 넣어 잉크를 제조하고 신문용지에 인쇄하였다. 신문지를 6개월 동안 자연 열화시키면서 열화기간에 따른 탈묵성을 비교하였다. 또한 탈묵약품의 차이에 따른 동일시료의 탈묵성을 비교하였다. 신문지 탈묵펄프의 백색도는 잉크조성분, 열화기간과 탈묵약품에 따라 영향을 받았다. 즉 탈묵약품의 백색도는 열화기간의 연장에 따라 낮아지며, 광물유 잉크, 대두유 잉크(30%), 대두유 잉크(50%), 아마인유 잉크 순으로 낮아졌다. 또한 탈묵약품에 따라서는 주어진 수율에서 lipase, cellulase, 기존 화학약품 탈묵방법 순으로 백색도가 감소하였다. 주어진 백색도에서 탈묵 수율은 백색도 변화와 동일한 경향을 나타내었다. 탈묵펄프의 강도는 열화기간에 따라 1개월까지는 조금 증가하고 그 후에는 감소하거나 현상태를 유지하였다. 인쇄 잉크의 조합 즉, 광물유, 아마인유, 대두유 잉크 순으로 탈묵펄프의 제반 강도가 낮아졌다. 탈묵약품에 따라서는 lipase, 기존 화학약품, cellulase 순으로 탈묵펄프의 제반 강도가 낮아졌다.

Abstract: To investigate the deinkability according to the ink composition, deinking chemicals and aging time, newspaper was printed with different solvent types: 30% soy-based oil ink(A), 50% soy-based oil ink(B), 45% mineral oil ink(C) and 42% linseed oil ink(D). The newspapers were aged naturally for 15, 30, 90, 180 days, and were deinked with various deinking chemicals. The brightness of the deinked pulp of newspaper was affected by the ink composition, aging time and deinking chemicals, i.e., it was decreased with increasing aging time in the order of C, A, B and D. And the brightness also decreased in the order of lipase, cellulase and conventional chemical. The deinking yield showed the same tendency as the brightness variation at a given brightness. The strength of the deinked pulps increased until 30 days, but decreased or maintained after that time. And the strength decreased in the order of C, D, B and A, and also decreased in the order of lipase, conventional chemicals and cellulase.

Keywords: Deinking, Soy-based oil inks, Aging time, Brightness, Yield

1. 서 론

인쇄잉크는 안료, 비이클(vehicle, 전색제) 및 보조제로 구성되어 있으며, 색을 나타내기 위한 안료에 유동성과 건조성 등을 부여하기 위하여 용제, 가소제, 수지, 왁스 등으로 구성된 바니시 성분인 비이클에 섞고 특수기능을 보충할 목적으로 몇 가지 보조제를 첨가하여 제조된다[1]. 여기서 용제는 과거부터 목재기름이나 아마인유와 같은 식물성 기름이 주를 이루었으나 2차 세계대전 이후에 석유화학공업의 발전과 더불어 광물성 기름이 그 위치를 차지하게 되었다. 특히 광물유는 가격이 저렴하고 구입이 용이하여 널리 사용되고 있다. 한편 국내의 경우 최근에도 아마인유와 광물유를 혼합하여 사용하고 있다.

한편 대두유가 인쇄잉크의 새로운 전착제로 사용되기 시작한 데는 1, 2차 오일파동과 환경문제라는 두 가지 계기가 있었다. 오일파동으로 광물유의 가격이 인상됨에 따라 미국 신문사들은 큰 타격을 입었고, 미국 신문출판협회를 통하여 대두유 잉크 제조에 착

수하였다. 1980년부터 1986년에 걸쳐 2천가지 잉크 배합의 적용을 연구 개발하여 1987년에 신문인쇄에 최초로 대두유가 적용되었다. 또한 80년대 중반 이후 EPA(Environmental Protection Agency)에 의한 휘발성 유기화합물(VOCs, Volatile Organic Compounds)의 사용규제가 강화됨에 따라 VOCs 함량이 낮은 대두 잉크의 사용이 일반화되고 있다[2,3]. 1995년 현재 미국 신문사들의 절반 이상이 대두유 잉크를 인쇄잉크로 사용하고 있다. 국내에서도 1개 신문사에서 대두유 잉크를 사용하고 있다.

대두유 잉크는 여러 가지 장점을 지니고 있다. 첫째, 잉크의 VOCs 함량을 줄일 수 있다. 즉 반건성유인 대두유는 oleic acid(28%)와 linoleic acid(54%)가 주성분으로서 잉크 제조시 VOCs 함량이 6.5%이나, 아마인유는 건성유로서 oleic acid(22%)와 linoleic acid(17%), 그리고 linolenic acid(51%) 등으로 구성되어 있다. 광물유는 파라핀계, 나프타린계 및 아로마틱계의 탄화수소 화합물로 잉크 제조시 VOCs 함량은 15% 정도이다[4]. 둘째, 증발속도가 낮으므로 인쇄기상에서 오래 방치하여도 건조문제가 비산현상이 적다. 이 결과 신문인쇄에서 초기에 자주 발생되는 종이의 찢김현상이 적어 용지의 손실을 극소화할 수 있다. 한편 광물유는 페이스트상(반죽상)으로 변하는 경향이 있어 특히 고속에서 전이가 나쁘다. 셋째,

[†] 주 저자 (e-mail: khpaik@kucncx.korea.ac.kr)

Table 1. Offset Ink Formulations

Component	Type of Inks.			
	A	B	C	D
Soybean oil	30.0	50.0	-	-
Linseed oil	7.0	-	7.0	42.0
Mineral oil	15.0	-	45.0	10.0
Hydrocarbon resin	3.5	-	3.5	-
Environmental resin*	10.0	20.0	-	28.0
Rosin-modified phenolic resin	14.5	-	14.0	-
Gilsonite	-	-	10.5	-
CaCO ₃	-	10.0	-	-
Carbon black	20.0	20.0	20.0	20.0

* Environmental resin : brightness-color resin extracted by hexane from gilsonite

인쇄물에서 냄새가 나지 않으며 손에도 묻어나지 않는다. 넷째, 뛰어난 색 안정성을 보여주며 사진이 더욱 선명하게 인쇄된다[2,3].

그러나 대두유 잉크도 몇 가지 단점이 있다. 첫째, 낮은 휘발성으로 인하여 잉크 건조시간이 광물유 잉크보다 느리다. 둘째, 잉크 가격이 기존 잉크보다 약 30% 정도 높다[2,5,6]. 셋째, 인쇄프레스의 고무롤러가 수축되고 변형이 일어난다[3].

대두잉크로 인쇄된 종이의 탈묵에 대한 연구는 서로 상충되는 결과들이 보고되고 있다. 대두유 자체가 반건유이므로 대두 잉크로 인쇄된 종이는 탈묵이 어렵고 또한 문질렀을 때, 인쇄잉크가 잘 지워지지 않는다는 것은 섬유와 잉크가 견고하게 결합되어 있는 것이므로 탈묵이 어려운 것은 당연하다는 의견도 있으나, 현장에서 이와 반대되는 결과가 제시되고 있다[3]. Dunn과 Cathiel[7]는 대두유 잉크로 인쇄된 종이는 광물유 잉크 사용시보다 탈묵 후 펄프의 백색도가 높거나 비슷한 수준이라고 발표하였고, 이와 주[8]도 기존잉크와 대두유 잉크를 비교한 바, 대두유 잉크로 인쇄된 경우 탈묵 후 백색도가 높다고 보고하였다. 한편 Fuch 등[9]은 광물유 > 톨오일유 > 대두유 > 아마인유 순으로 탈묵펄프의 백색도 증진이 낮아진다고 보고한 바 있다. 또한 한[10]도 대두유 잉크 사용시 광물유보다 탈묵성이 낮다고 독일 문헌을 인용 발표하였다.

이상의 상이한 결과들에 관한 몇 가지 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 인쇄잉크를 직접 제조하고 잉크에 함유된 용제 종류와 탈묵방법에 따른 신문 인쇄용지의 탈묵성을 비교하였다.

2. 실험

2.1. 실험재료

2.1.1. 오프셋잉크 종류

잉크는 한국신문 인쇄잉크(주)에서 Table 1과 같이 오프셋잉크 조성분을 조합하여 만들었다.

2.1.2. 신문용지 및 인쇄용지

국내 H사의 신문용지를 오프셋 인쇄에 알맞게 재단하여 A, B, C 및 D 잉크로 각각 인쇄하였다. 인쇄는 소형 오프셋 인쇄기로 하였으며, 인쇄된 시료는 편의상 시료 A, B, C 및 D라고 표기하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 시료의 열화

인쇄된 신문을 시료별로 묶고, 직사광선이 들지 않는 실험실

내에서 줄에 매달아 자연 열화시키고, 열화의 조건을 균일하게 하기 위하여 시료의 방향을 일정 시간마다 바꾸어 주었다. 자연열화의 처리기간은 인쇄된 후 15, 30, 90 및 180일로 하였다.

2.2.2. 탈묵 방법

2.2.2.1. 기존 탈묵방법

전건시료 40 g을 펄프농도 3%, 40 °C에서 5분간 침적한 후, NaOH 1.5%, Na₂SiO₃ 2.0%, KFC사의 신문지 탈묵용 비이온성 계면활성제 0.1%를 첨가하여 표준해리기로 5분간 해리하였다. 부유 부상법에 의한 잉크 제거는 실험실에서 특수 제작한 5 L 용량의 부유부상셀을 사용하여 펄프농도 1%, CaCl₂(Ca⁺⁺ base) 200 ppm, pH 8.0~8.5, 35 °C 조건으로 3분간 실시하였다.

2.2.2.2. Cellulase 탈묵

전건시료 40 g을 sodium acetate buffer(0.05 M pH 5.0)로 펄프농도 3.0%, cellulase 최적활성온도인 50 °C에서 5분간 침적 후, 펄프를 기준으로 cellulase 0.05%, KFC사의 신문지 탈묵용 비이온성 계면활성제 0.1%를 첨가하여 표준해리기로 5분간 해리하였다. 부유부상법에 의한 잉크제거는 기존탈묵 후의 방법과 동일한 조건으로 실시하였다. Cellulase는 (주)태평양화학 연구소에서 분양받은 정제된 것이다. Carboxymethylcellulose(CMC)에 대한 역할은 sodium acetate buffer(0.05 M pH 5.0)에 적절히 희석한 효소 0.5 mL를 60 °C로 30분간 처리하고, glucose를 사용하여 표준곡선을 구한 후 DNS 방법에 의해 환원당을 측정하였다. Cellulase의 효소활성은 30000 units/g를 나타내었다.

2.2.2.3. Lipase 탈묵

전건시료 40 g을 sodium phosphate buffer(0.05 M pH 7.4)로 펄프농도 3.0%, lipase 최적 활성온도인 37 °C에서 5분간 침적 후, 펄프를 기준으로 lipase 0.05%, KFC사의 신문지 탈묵용 비이온성 계면활성제 0.1%를 첨가하여 표준해리기로 5분간 해리하였다. 부유부상법에 의한 잉크제거는 기존 탈묵 후의 방법과 동일한 조건으로 실시하였다. Lipase는 Sigma사의 시판제품을 사용하였으며, 9.5 units/mg solid, 9.8 units/mg protein의 효소활성을 나타내었다.

2.2.3. 초지 및 물리적·광학적 특성 측정

탈묵된 펄프는 표준해리기를 사용하여 평량 50~60 g/m²으로 초지하였으며, 초지된 종이를 20 °C, RH 65% 조건에서 24시간 이상 조습시켜 다음과 같은 방법으로 물리적·광학적 특성을 측정하여 계산하였다.

- 백 색 도 Tappi Standard 452 om-83
- 인장강도 Tappi Standard 494 om-81
- 인열강도 Tappi Standard 220 om-88
- 파열강도 Tappi Standard 403 om-91

3. 결과 및 고찰

3.1. 백색도와 수율

신문 인쇄 잉크조성분을 다르게 하여 인쇄한 신문용지의 열화기간과 탈묵방법에 따른 탈묵펄프의 백색도와 수율은 Figures 1, 2와 같다.

Figure 1에서와 같이 열화기간이 증가함에 따라 탈묵펄프의 백색도는 감소하였다. 이러한 현상은 열화기간이 연장됨에 따라 잉크의 산화 및 잉크와 대기 중의 산소와의 비가역적인 가교결합이 진행되어 섬유와 잉크간의 결합이 견고하고 치밀해져서 탈묵이 어려

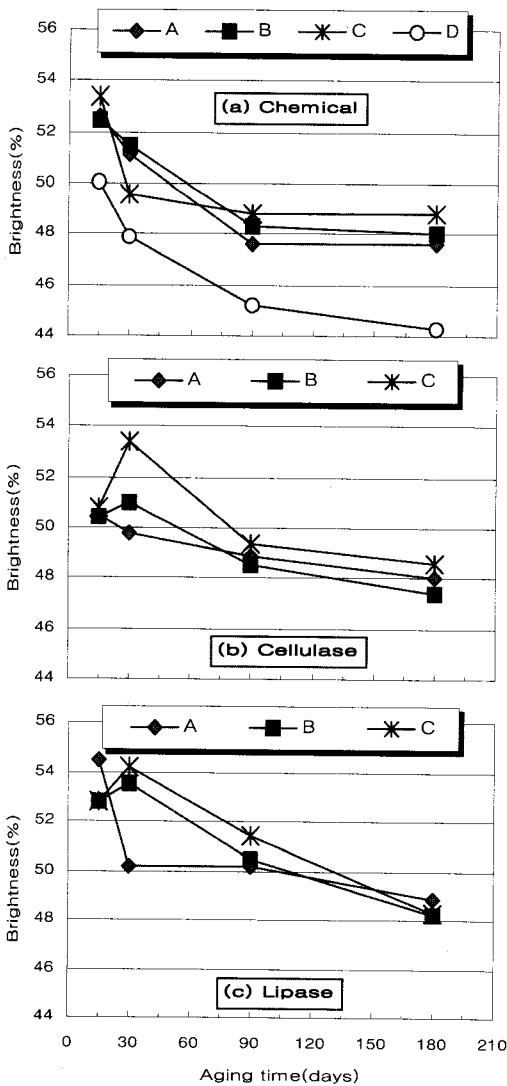


Figure 1. Effect of ink formulations, deinking chemicals and aging time on brightness(type of inks refers to Table 1).

워지는데 기인한다[11].

일정한 인쇄 잉크성분에서 탈묵 방법간의 백색도 변화를 보면 기존 약품 탈묵보다도 효소를 사용할 경우 탈묵 필프의 백색도가 높았다. 즉 열화기간 90일에서 lipase 탈묵은 cellulase보다 약 1.0%, 그리고 기존 약품에 의한 탈묵보다는 2.5% 정도 백색도가 각 각 높았다. 그러나 열화가 계속되면서 탈묵 약품에 따른 백색도의 변화는 거의 미미해졌다.

잉크 조성에 따른 영향을 보면, 세 종류의 탈묵 약품 모두에서 광물유 잉크(C)로 인쇄된 신문지가 대두유 잉크(A, B)와 아마인유 잉크(D)로 인쇄된 신문지보다 탈묵이 쉽고 백색도가 높았다. 열화기간 90일에서 기존 약품에 의한 탈묵 결과를 비교하면, 잉크 A는 백색도가 47.6%, B는 48.3%, C는 48.8%, D는 45.2%로서 광물유 잉크(C)가 가장 높은 백색도를 나타냈으며 아마인유 잉크(D)에서 백색도가 가장 낮았다. 열화기간 180일 후에도 잉크 C는 B보다 0.8%, 그리고 D보다는 심지어 4.5%나 백색도가 높았다. 효소 탈묵에서도 잉크 A, B, C간의 차이는 약품 탈묵결과와 동일한 경향을 나타내었다.

본 결과는 광물성 잉크(C), 대두유 30% 잉크(A), 대두유 50%

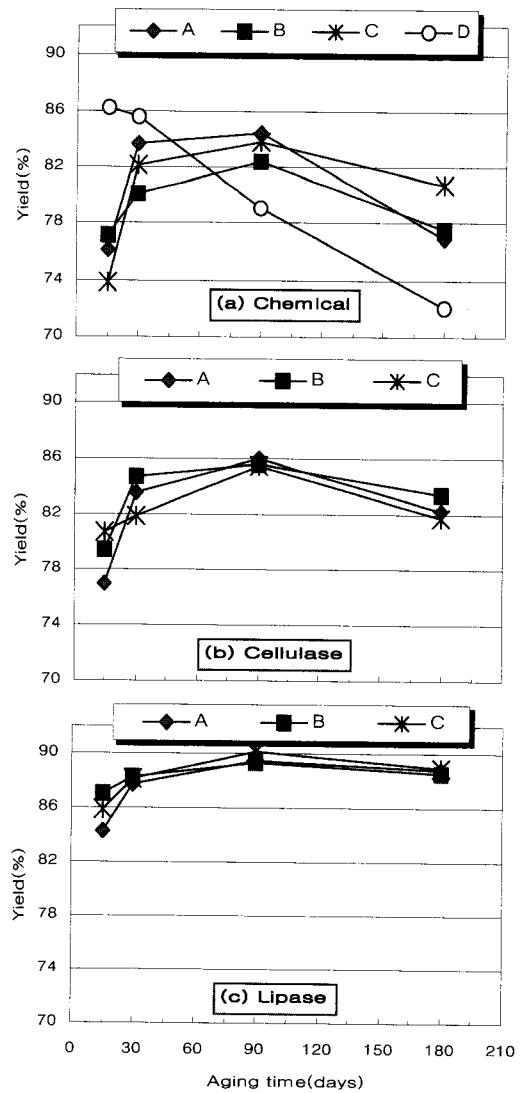


Figure 2. Effect of ink formulations, deinking chemicals and aging time on yield.

잉크(B), 아마인유 잉크(D) 순으로 탈묵이 점점 어려워지는 것으로 나타났다. 한편 이와 주[8]는 석유계 잉크와 대두유 잉크로 인쇄된 시판 일간 신문지를 24시간 동안 105 °C에서 인공 열화시킨 후 탈묵시키면 전자는 백색도가 42.8%, 그리고 후자는 44.3%로서 대두유 잉크 사용이 탈묵에 유리하다고 보고한 바 있다. 그러나 이러한 국내 석유계 잉크의 경우 가격이 저렴한 아마인유와 길소나이트가 상당량 함유된 상태이므로 그 결과를 광물성 잉크로 직접 비교하기는 어렵다고 본다. 또한 Dunn과 Cathiel[7]도 대두유 잉크와 광물유 잉크의 탈묵성을 비교하기 위하여 신문지(70%)/잡지(30%)를 3개월간 자연 열화시킨 후 탈묵시킨 바, 기존 잉크로 인쇄된 경우는 백색도가 56.9%였으나 대두유 잉크는 신문지와 잡지 종류에 따라 백색도가 61.3%와 58.2%로 나타났다고 발표하였다.

한편 Fuch 등[9]의 연구결과는 본 실험실 결과와 거의 비슷하였다. 즉 여러 가지 잉크 종류로 인쇄된 신문지를 3개월 동안 자연 열화시킨 후 탈묵시킨 결과, 광물유 잉크로 인쇄한 용지의 탈묵 후 백색도는 51.8%, 톨오일 잉크는 50.3%, 아마인유 잉크는 48.8%, 그리고 대두유 잉크는 49.2%로 나타났다. 이와 같이 대두유 잉크와 아마인유 잉크의 탈묵 후의 백색도가 낮은 이유로, 대두유는 반건

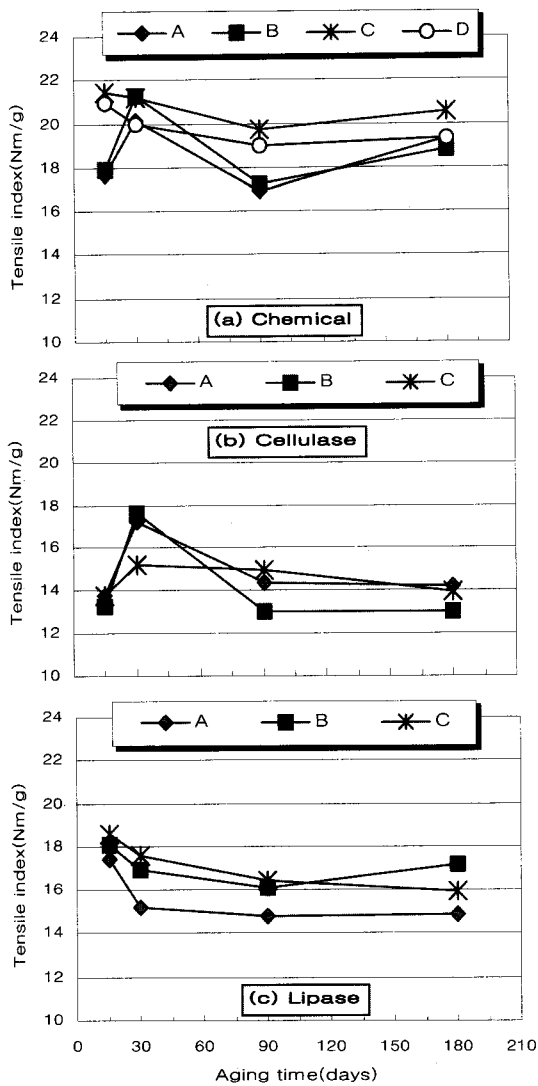


Figure 3. Effect of ink formulations, deinking chemicals and aging time on tensile index.

성유로 건조가 느리고 아마인유 잉크는 건조용유로서 쉽게 건조하지만 잉크의 산화반응과 가교결합이 촉진되므로 신문지의 열화가 진행됨에 따라 탈묵이 어려워지기 때문이라고 보고하였다.

본 결과와 Fuchs 등[9]의 결과로 미루어 볼 때, 대두유 잉크의 탈묵성은 광물유 잉크에 비하여 낮다. 특히, 식물성유 잉크의 경우 아마인유 잉크는 탈묵에 어려운 점이 많다. Cathie 등[6]이 언급한 바와 같이 이러한 상이한 결과들은 잉크에 적용된 식물성유의 종류와 비율, 첨가된 레진의 종류와 양, 안료의 종류 등의 잉크 조합 인자들에 의하여 좌우된다고 사료된다.

Figure 2에서와 같이 탈묵 펄프의 수율은 탈묵 약품에 관계없이 열화초기에는 현저히 낮았으며, 그 후 열화기간 90일까지는 계속 증가하였다. 이러한 수율 증가는 1개월 이내의 열화초기에 뚜렷하였다. 그러나 열화기간 90일 이후부터는 탈묵 펄프의 수율이 다시 감소하였다. 인쇄 잉크 중에 용제로서 대두유(A, B)와 광물유(C) 잉크에서는 탈묵 수율 변화가 동일한 경향을 나타내었으나, 아마인유가 다량 함유된 잉크(D)에서는 열화 초기부터 수율이 계속 감소하였다.

이러한 경향들은 인쇄초기에는 잉크와 신문용지의 섬유간에 결합이 약하고, 잉크 자체 내의 산화반응도 적게 일어난 상태이므로

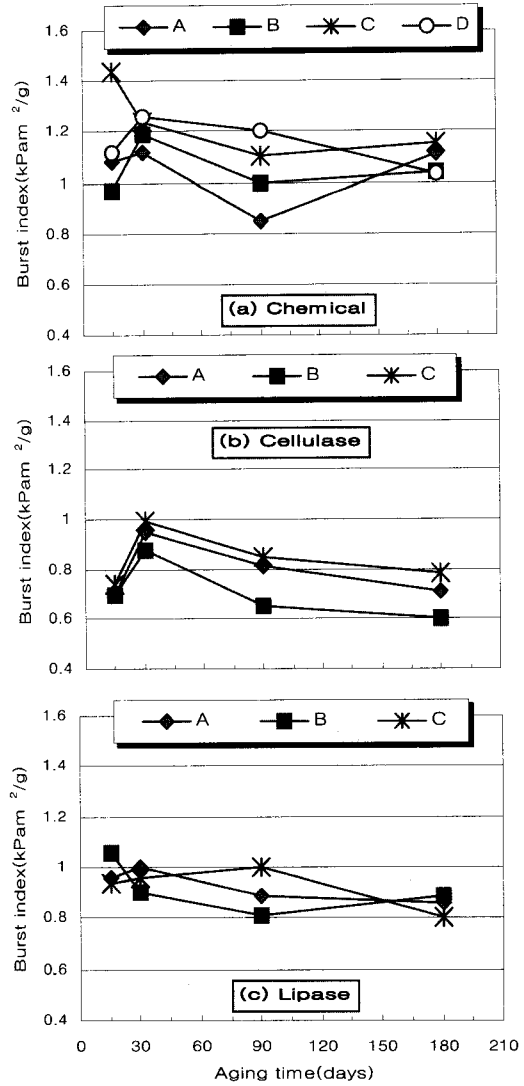


Figure 4. Effect of ink formulations, deinking chemicals and aging time on burst index.

탈묵이 비교적 쉽고 이에 따라 수율도 낮아진다. 그러나 열화기간이 연장됨에 따라 잉크와 섬유간의 결합이 강해지고 또한 잉크의 산화반응도 진전하여 탈묵이 어려워지므로 수율이 다시 증가한다. 그러나 열화기간이 90일 이상으로 연장되면 섬유와 잉크간의 결합이 너무 견고하므로 펄핑시에 건조된 섬유와 잉크가 함께 해리되어 부서지면서 미세섬유가 다량 발생된다. 이러한 미세섬유는 탈묵시에 잉크와 함께 제거되므로 탈묵 수율이 다시 낮아진다. 그러나 잉크 D의 경우는 아마인유를 다량 함유하고 있으므로 섬유와 잉크 그리고 아마인유 자체의 가교결합이 다른 용제보다도 더 빨리 그리고 더욱 견고하게 일어나므로[11], 열화 초기부터 계속 탈묵펄프 수율이 낮아졌다고 사료된다.

탈묵약품에 따라서도 주어진 백색도에서 수율에 차이가 있었다. 열화기간 90일에서 비교하면, lipase를 사용하여 탈묵할 경우 수율이 cellulase 탈묵보다는 약 4%, 그리고 기존 방법보다는 약 8%나 높았다. 효소로 탈묵할 경우는 잉크 종류에 따른 탈묵 수율은 동일한 열화기간에서는 큰 차이가 없었다. 그러나 기존 탈묵약품에서는 잉크 간에 차이가 있었으며, 특히 잉크 D의 경우는 열화기간에 따른 수율 감소가 급격하게 일어났다.

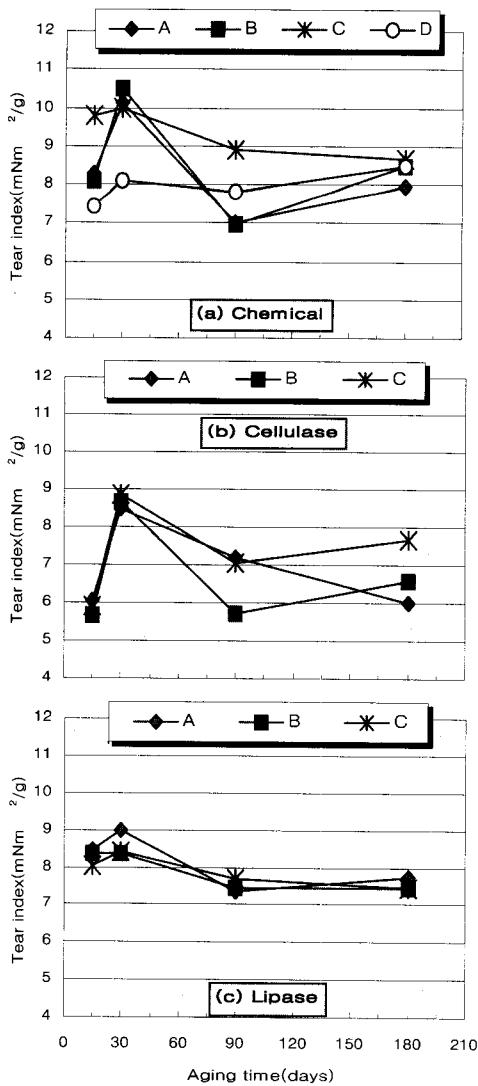


Figure 5. Effect of ink formulations, deinking chemicals and aging time on tear index.

3.2. 기계적 특성

탈묵 펄프의 기계적 특성은 Figure 3~5와 같다.

Figure 3에서와 같이 인장지수는 열화기간에 따라 초기에는 상승하지만 1개월 이후에는 다시 감소하거나 또는 현 상태를 유지하였다. 그러나 lipase로 탈묵할 경우에는 전체적으로 초기에 약간 감소하고 그 이후에는 변화가 없었다. 잉크 성분에 따라서는 대두유 잉크(A, B)에서 인장지수가 가장 낮으며, 아미노유 잉크(D), 광물유 잉크(C) 순으로 높았다. 탈묵 약품에 따라서는 기존 약품으로 탈묵 할 경우 전반적으로 다른 탈묵 약품보다 높은 인장지수의 탈묵 펄프를 얻을 수 있었고, cellulase로 탈묵 할 경우 인장지수가 가장 낮은 펄프가 생산되었다.

Figure 4의 파열지수와 Figure 5의 인열지수의 변화도 인장지수와 동일한 경향을 나타내었다. 즉 잉크 조성분에 따라 C, D, A, B 순으로 강도가 감소하였다. 탈묵 약품과 열화기간에 따른 변화도 인장지수 변화와 동일한 경향을 나타내었다.

탈묵 화학펄프는 탈묵 전 원지와 비교하여 각질화로 인하여 부

서지기 쉽기 때문에 인장지수와 파열지수는 감소하고, 인열지수는 증가한다는 것이 일반적인 이론이지만[12-14], 기계펄프의 경우는 탈묵 펄프의 강도가 오히려 높거나 거의 비슷한 수준이다[14-16]. 본 연구에서도 탈묵 펄프의 강도는 버진 펄프와 비슷한 수준이었으며, 열화기간이 연장됨에 따라 제반강도가 감소 또는 현 상태로 유지하고 있었다. 그리고 잉크 성분에 따라서는 대두유 잉크(B)와 광물유 잉크(C) 간에만 강도 차이가 있었다. 특히 cellulase로 탈묵할 경우 탈묵 펄프의 강도가 다른 탈묵 약품에 비하여 낮는데 이것은 효소에 의한 섬유 분해에 기인한다고 본다. 그러나 lipase를 사용할 경우에는 이러한 현상이 없는 것은 lipase가 잉크 성분 중 일부만 분해하고 섬유 분해에는 관여하지 않기 때문으로 사료된다.

4. 결론

본 실험에서 얻어진 결론은 아래와 같다.

- 1) 신문용지 탈묵 펄프의 백색도는 잉크 조성분, 탈묵 약품 및 열화기간에 따라 영향을 받았다. 즉 탈묵 펄프의 백색도는 열화기간의 연장에 따라 감소되었으며, 광물유 잉크, 대두유 잉크(30%), 대두유 잉크(50%), 아미노유 잉크 순으로 낮게 나타났다. 또한 탈묵 약품에 따라서는 주어진 수율에서 lipase, cellulase, 기존 화학약품 탈묵 방법 순으로 백색도가 낮아졌다. 주어진 백색도에서 탈묵 수율은 백색도 변화와 동일한 경향을 나타냈다.
- 2) 탈묵 펄프의 강도는 열화기간에 따라 1개월까지는 조금 증가하고 그 후에는 감소하거나 현 상태를 유지하였다. 인쇄 잉크의 조합 즉, 광물유, 아미노유, 대두유 잉크 순으로 탈묵 펄프의 제반 강도가 감소하였다. 탈묵 약품에 따라서는 lipase, 기존 화학약품, cellulase 순으로 탈묵 펄프의 제반 강도가 감소하였다.

참고 문헌

1. 옥영건, "잉크공학", 부산공업대학 출판부, 부산, 20(1991).
2. 임종학, 인쇄계, 9, 84(1994).
3. R. Leysen, 인쇄계, 9, 166(1994).
4. 지성환, 인쇄계, 9, 170(1994).
5. C. G. Thompson, "Recycled papers - soybean inks -", MIT Press, 118(1992).
6. K. Cathie, G. Moore and N. Pearson, Paper Recycling Conf., 8, 11(1994).
7. R. Dunn and K. Cathie, Pira report, 32/PB/88/8. Oct.(1990).
8. 이하래, 주성범, 제지계, 288, 15(1996).
9. B. Fuchs, U. Lindquist and E. Wallstrom, TAGA Conference, Rochester, New York, 433 (1991).
10. 한신호, 한국펄프·종이공학회, 35(1992).
11. 김용석, 백기현, 펄프·종이 기술, 28, 16(1996).
12. M. N. Mousa and P. Laszlo, Tappi J., 77, 171(1994).
13. R. C. McKee, Paper Trade J., 155, 34(1971).
14. R. C. Howard and W. Bichard, CPPA Recycling Forum, 81 (1991).
15. L. D. Ferguson, Wochenblatt für Papierfabrikation, 4, 132 (1994).
16. A. Chatterjee, J. Lee, D. N. Roy and P. Whiting, International Paper Physics Conference, 129(1991).