

<연구보고서 2012-04>

교과서 본문용지 개선 및
유해성 검증에 관한 연구

The Study on Quality Improvements and Risk
Assessments of Recycled Paper on Textbook

2012. 12

재단법인 한국 교과서 연구 재 단

이 연구는 2012년도 교육과학기술부의 국고보조금 지원으로 수행되었으며 이 연구에서 제시한 정책 대안이나 의견 등은 한국교과서연구재단의 공식 의견이 아니라 연구진의 견해를 밝히려 합니다.

<연구보고서 2012-04>

교과서 본문용지 개선 및
유해성 검증에 관한 연구

The Study on Quality Improvements and Risk
Assessments of Recycled Paper on Textbook

연구책임자 : 김창근 (강원대학교 산학협력단)

공동연구자 : 신혜승 (바이오메디앙(주))

류정용 (화학연구원)

하영백 (부경대학교)

이상주 ((사)한국검정교과서)

박성호 ((사)자원순환산업진흥협회)

임이균 ((재)한국교과서연구재단)

재단법인 한국교과서연구재단

차 례

List of Table

List of Figure

I. 서 론	1
1. 연구목적 및 필요성	1
2. 이전 연구 및 국내외 기술 현황	3
3. 관련 법규	7
가. 식품공전	7
(1) 정의	7
(2) 재질규격 (mg/kg)	7
(3) 용출규격 (mg/L)	7
나. 재생용지 기준 · 규격	8
(1) 정의	8
(2) 섬유조성(%)	8
(3) 품질	8

4. 국가별 교과서 색상.....	9
5. 종이의 탈묵공정.....	12
II. 본 론.....	46
1. 65g/m ² 신규 교과서 용지의 시험생산 및 물성 분석 결과.....	46
2. 인쇄물 품질.....	64
2.1 인쇄물의 색 농도.....	72
2.1.1 인쇄적성 시험에 의한 색 농도.....	72
2.1.2 실 인쇄 시험에 의한 색 농도.....	75
2.2 인쇄물의 뒤비침.....	78
2.2.1 인쇄적성 시험에 의한 뒤비침 현상.....	78
2.2.2 실 인쇄 시험에 의한 뒤비침 현상.....	81
2.3 잉크의 중첩성	82
2.4 망점 확대(Dot Gain).....	84
2.4.1 50%망점에서 망점 확대.....	84
3. 종이의 위해성분석.....	87
3.1 재료 및 방법.....	87
3.1.1 공시재료.....	87
3.1.1.1 도공지.....	87
3.1.2 금속시료의 분석 방법.....	87

3.1.3 형광물질의 분석방법.....	89
3.2 결과 및 고찰.....	90
3.2.1 위해성평가.....	90
3.2.2 중금속 분석결과.....	92
3.2.3 형광물질 분석결과.....	93
3.3 결론.....	95
4. 교과서 품질 평가 설문 결과.....	96
III. 결 론.....	107
1. 65 g/m ² 용지의 물성.....	107
2. 인쇄평가.....	108
3. 위해성 평가.....	109
4. 재생용지의 규격 결정.....	110
5. 최종 결론	110
참고 문헌.....	111

List of Table

<Table 1> 중금속의 오염원과 증독증상	6
<Table 2> OA(Office automation) Wastes and problems	35
<Table 3> The structure of some fatty acids normally found in deinking aids	42
<Table 4> General information about newsprint, magazine and fine paper (modified from Eklund and Lindström 1991)	45
<Table 5> 신규 친환경 교과 용지의 규격안	46
<Table 6> 3개 현장에서 시험 생산한 신규 친환경 교과서 용지의 물성 분석결과	50
<Table 7> 전형적인 도트게인(dot gain) 비율	68
<Table 8> 각 용지별 Black 잉크 색 농도	72
<Table 9> 실 인쇄 실험에 의한 각 용지별 오렌지색과 짙은 군청색 의 색 농도	76
<Table 10> 기기 조건	88
<Table 11> 중금속 시료 분석 결과	92
<Table 12> 형광물질 분석결과	94
<Table 13> 설문조사 대상	96

List of Figure

<Fig. 1> Pulper types: Drum pulper and batch pulper (source from Voith paper web site).....	13
<Fig. 2> Chemical additives in pulper.....	14
<Fig. 3> Particle size distribution and unit operation removal efficiency. Mc Cool 1987.....	15
<Fig. 4> Principle of screening and fine screens.....	16
<Fig. 5> Principle of cleaning and fine forward cleaner.....	17
<Fig. 6> Principle of flotation.....	18
<Fig. 7> Principle of washing and theoretical ink removal by conventional washing device.....	19
<Fig. 8> A conventional dissolved air flotation unit.....	19
<Fig. 9> A high speed disperser unit and Pressurized high intensity dispersion kneader.....	20

<Fig. 10> Impact of chemicals on different recycle fibers (Source: W. Eul, H.U. Suss and O. Helming, "fiber Fractionation and post-treatment of de-inked pulp", Pulp & Paper Canada Magazine, Vol. 90 no 10, 1989, p. T95-101).....	21
<Fig. 11> Impact of consistency, dosage and NaOH ratio on brightness.....	22
<Fig. 12> Dithionite bleaching efficiency dependent on temperature, reaction time and pH.....	23
<Fig. 13> Effect of temp., pH and dosage on FAS bleaching efficiency.....	24
<Fig. 14> Brightness variations versus amount of ink and impact of paper quality on dirt level in newsprint. (Source: M. Fairbank et al., Effects of Recovered Paper Quality and Deinking Process Parameters on Dirt Levels in Newsprint, 7th Research Forum on Recycling, 2004, 121-124).....	26
<Fig. 15> Basic flow-sheet diagram of a flotation deinking plant (production of DIP (De-inked pulp) for newsprint from sorted recovered papers).....	28
<Fig. 16> Basic flow-sheet diagram of a one loop deinking plant with dispersing and bleaching (production of DIP (De-inked pulp) for printing or packaging papers from sorted recovered papers).....	29
<Fig. 17> Schematic flow sheet diagram of a deinking plant with flotation post-deinking and washing post-deinking with reuse of washing water (after selective flotation) for dilution of washed pulp.....	30
<Fig. 18> Flow sheet for wood free DIP (De-inked pulp) proposed by Metso (2007).....	31
<Fig. 19> Pulp brightness for various amounts of flexoprinted newspaper.....	32
<Fig. 20> Summer effect: ERIC increase during summer.	33
<Fig. 21> Schematic layout of a deinking process for the production of deinked pulp for graphical grades showing possible addition places for deinking and bleaching chemicals.....	38
<Fig. 22> Schematic picture of surfactants.....	40
<Fig. 23> Release of ink from surface with the help of surfactants.....	41

<Fig. 24> a)Ethoxylated fatty acid, b)propoxylated fatty alcohol and c) EO-PO block polymer.....	43
<Fig. 25> 한솔제지 장항공장에서의 시험생산 광경.....	47
<Fig. 26> 전주페이퍼 전주공장에서의 시험생산 광경.....	48
<Fig. 27> 백색도 측정기(좌상)와 광택도 측정기(우상), micrometer (좌하)와 parker print surf(우하).....	49
<Fig. 28> 인쇄용지의 인장강도와 인열강도를 측정한 인장강도시험기(좌)와 인열강도시험기(우).....	50
<Fig. 29> 시험생산한 인쇄용지 3종의 두께 측정결과.....	51
<Fig. 30> 시험생산한 인쇄용지 3종의 기계방향 인장강도 측정결과...	54
<Fig. 31> 시험생산한 인쇄용지 3종의 기계폭방향 인열강도 측정결과...	55
<Fig. 32> 시험생산한 인쇄용지 3종의 표면 광택도 측정결과.....	56
<Fig. 33> 시험생산한 인쇄용지 3종의 이면 광택도 측정결과.....	56
<Fig. 34> 시험생산한 인쇄용지 3종의 ISO 백색도 측정결과.....	57
<Fig. 35> 시험생산한 인쇄용지 3종의 불투명도 측정결과.....	58
<Fig. 36> 시험생산한 인쇄용지 3종의 Hunter L*값 측정결과.....	59
<Fig. 37> 시험생산한 인쇄용지 3종의 Hunter a*값 측정결과.....	60
<Fig. 38> 시험생산한 인쇄용지 3종의 Hunter b*값 측정결과.....	60
<Fig. 39> 시험생산한 인쇄용지 3종의 표면 거칠음도 측정결과.....	61
<Fig. 40> 시험생산한 인쇄용지 3종의 이면 거칠음도 측정결과.....	61
<Fig. 41> 시험생산한 인쇄용지 3종의 형광지수 측정결과.....	62
<Fig. 42> 인쇄용지의 형광지수 측정조건 및 방법.....	62
<Fig. 43> 농도계의 측정 원리.....	65
<Fig. 44> 투묘효과.....	66
<Fig. 45> 잉크 증침성.....	67
<Fig. 46> 망점 확대(dot gain).....	68
<Fig. 47> 잉크의 침투 깊이와 종이의 표면.....	69
<Fig. 48> IGT Printability Tester.....	71
<Fig. 49> Black 잉크의 색 농도 값.....	73
<Fig. 50> 65 g/m ² 평량의 용지에 대한 잉크 색 농도 값.....	73
<Fig. 51> 75 g/m ² 평량의 재생필프를 포함한 용지에 대한 잉크 색 농도 값.....	74
<Fig. 52> 75 g/m ² 평량의 고급인쇄 용지에 대한 잉크 색 농도 값.....	74
<Fig. 53> Orange 색상의 농도 값.....	77
<Fig. 54> Ultramarine 색상의 농도 값.....	77
<Fig. 55> Black 잉크에 대한 각 용지별 뒤비침 결과.....	78
<Fig. 56> 65 g/m ² 평량의 용지에 대한 뒤비침 농도 값.....	79
<Fig. 57> 75 g/m ² 평량의 재생필프를 포함한 용지에 대한 뒤비침 농도 값.....	79
<Fig. 58> 75 g/m ² 평량의 고급인쇄 용지에 대한 뒤비침 농도 값.....	80
<Fig. 59> Ultramarine 색상에 대한 각 용지별 뒤비침 결과.....	82

<Fig. 60> Trapping 측정 방식.....	83
<Fig. 61> Orange 색상에 대한 트래핑 값.....	84
<Fig. 62> 50% 망점에서 망점확대.....	85
<Fig. 63> 75% 망점에서 망점확대.....	86
<Fig. 64> Preparation of heavy metals.....	88
<Fig. 65> 중금속 분석용 유도결합플라즈마 질량분석기.....	89
<Fig. 66> Preparation for fluorescence.....	89
<Fig. 67> 형광물질 분석을 위한 UV/VIS 분석기.....	90
<Fig. 68> 중금속 시료 분석 결과.....	93
<Fig. 69> 형광 표준 물질 분석 결과.....	94
<Fig. 70> 형광물질 분석결과.....	95

I. 서 론

1. 연구목적 및 필요성

종이는 인류가 가장 친근하고 쉽게 사용할 수 있는 자연친화적 정보전달 매체로 인류의 문화발달에 큰 역할을 해왔다. 그러나 최근 과학과 기술의 눈부신 발달로 인해 다양한 정보전달 매체가 개발되고 있으며 다양한 기능을 갖는 e-book이나 유연성을 갖는 플렉시블(flexible) 디스플레이 등 새로운 전자제품들이 속속 개발되면서 종이가 역할을 해오던 부분을 점점 점유해가고 있다.

최근 지구온난화에 따른 산림보호 경향이 심화되고 있어 폐지를 재활용한 친환경 종이에 대한 관심이 날로 더해지고 있다. 따라서 새로운 정보전달 매체의 도전과 치열한 경쟁 속에서 종이가 정보 전달매체로 생존하기 위해서는 종이가 갖는 장점을 더욱 부각시키며 종이의 친환경성을 강조하여 보다 친환경적인 재활용 종이의 개발 및 품질 차별화를 통해 소비자의 구매 욕구를 자극할 수 있는 전략이 필요할 것으로 판단된다.

인쇄용지는 일반 백상지에 비해 코팅이나 캘린더링 처리와 같은 후가공공정이 적용됨에 따라 제조 원가가 비싸지만, 고급의 인쇄 화상을 얻을 수 있는 장점이 있기 때문에 고가로 판매되며 수익률 또한 일반 백상지에 비해 훨씬 높다. 국내외 경쟁이 심화되고 있는 대다수 국내 제지 업체는 고품질의 신규 인쇄용 백상지를 생산하여 원가 대비 수익률의 극대화를 꾀하고 있는데, 그러한 사례 중 하나가 탈목재생펄프를 배합한 친환경 교과서 용지이다.

현재 탈목 재생펄프를 배합하여 친환경 교과서 용지를 생산할 때 기준 평량은 75 g/m²로서 만일 평량을 65 g/m²로 낮추는 경우 책이 가벼워지고

자원을 절약하는 이점이 있으나, 평량 저하로 두께가 얇아지고, 두께 손실을 보전하기 위하여 여러 가지 처리를 시행함에 따라 제품의 생산성 및 품질이 달라질 수 있다. 자칫 잘못하다간 원료를 아끼고 책을 얇게 만드려고 노력하다가 평량 감소에서 오는 여러 가지 공정 부하로 인해 뜻하지 않은 손실을 입어 제품의 인쇄용지의 가격 상승을 초래할 수도 있다. 이에 본 실험에서는 국내 주요 재생인쇄용지 제조사에서 신규 친환경 교과서 65 g/m² 용지를 시험생산하고 그 물성분석 결과를 검토하여 신규 친환경 교과서 용지의 규격을 확정하고 생산가능성을 탐색하고자 하였다.

2008년 교과서 본문용지를 재생용지로 적용한 이후 위해성에 대한 평가는 자연스레 해결되었다고 생각하지만 아직까지 초등용 국정교과서는 일반 고급용지를 사용하고 있다. 따라서 본 연구는 2008년에 이어 이번 연구에서도 65 g/m² 재생용지의 위해성에 대한 검증을 다시 반복 실시하였다.

또한 인쇄전문가에 의한 65 g/m²용지의 인쇄적성 평가를 실시하여 기존 75 g/m²용지의 인쇄적성과 비교하였다. 평량 저하에 따른 예상되는 불투명도 저하가 잉크뒤비침 등등의 현상을 실험실적 검증뿐만 아니라 실인쇄를 통해서 기존 3개사 75 g/m²용지와 이번 연구과제에서 생산한 3개사 65 g/m²용지와 동일한 조건에서 인쇄를 하여 객관적인 평가를 하였다.

아울러 위 실 인쇄를 통해 인쇄한 용지를 제본하여 기존의 교과서 같은 형태로 제작하여 초등학교, 중학교 학생들을 상대로 설문조사를 실시하여 실험실적 평가뿐만 아니라 최종 소비자인 초교, 중학교 학생들의 5감에 대한 평가를 받아 이를 정리하였다.

2. 이전 연구 및 국내외 기술 현황

종이의 광학적 특성을 향상시키려는 목적으로 형광증백제를 사용하게 되면서 형광증백제만이 가지는 고유한 특성과 관련된 다양한 연구가 진행되어져 왔다.

대부분의 국가에서 형광증백제를 식품 포장용지에 사용하지 못하도록 규제하는 것은 아직 형광증백제가 인체에 미치는 영향에 대해서 명확한 규명이 되지 못한 상태라 할지라도 형광증백제의 인체 접촉에 의한 주의를 요하고 있음을 간접적으로 보여주고 있는 것이다(Roy, 1994).

형광증백제의 경우 우리나라는 식품공전의 제 7장 기구 및 용기·포장의 기준·규격에 의하면 불검출의 기준을 가지고 있다.

하지만 Rosenthal(1990)은 환경독성에 관한 연구결과 형광물질이 유해하지 않다고 결론지은바 있다. 또한 종이 제조에 사용되는 형광증백제는 97%가 제품에 잔류하고 약 3% 미만이 공정상의 백수와 함께 정수장 또는 폐수장으로 유입되지만 유출된 소량의 형광물질이라도 자연광에 의해 대부분 수시간 내에 분해되므로 환경적으로 유해한 작용을 하지 않는다고 밝힌바 있다(Werthemann 등, 1995).

Dubreuil은 형광증백제가 태양광에 노출되었을 경우 태양광 안의 UV로 인해 변질되는데 이때의 저항성인 내광성과, 섬유상에서 용해될 때 내번짐성 등의 특징을 지니고 있으며, 일정량 이상의 형광증백제가 투입되면 더 이상 백색도가 증가하지 않는 포화 한계점인 녹화한계점이 발생하며, 다른 종류의 스펙트럼을 가지고 있지만 같은 색을 발현하는 광학적 이질성을 가지는 조건등색 현상이 발생한다고 보고하였다.

Crouse 와 Snow는 형광증백제의 화학적 구조를 밝히고, 형광증백제의 농도를 달리하여 각 파장별로 상대적 방사량에 차이가 있다는 사실에 착안하여 형광증백제의 농도와 형광발현성과의 관계를 연구하였다. 또한, 양성 고분자 투입 수준을 달리한 상태에서 형광증백제를 일정하게 투입하고

이때 반사된 백색도를 측정함으로써 양성 고분자를 투입한 경우 백색도가 감소하는 소광효과가 발생한다고 보고하였다.

Roick은 내첨용, 표면처리용, 코팅용 등 용도별로 사용된 형광증백제의 특징을 조사하였고, 형광증백제가 유입되어 각 공정을 거치는 동안 형광증백제의 양이 어떻게 변화하는지 조사하였으며, 특히 형광증백제의 인체에 대한 유해성 등 환경적 영향에 관해 보고하였다.

Rohringer와 Fletcher는 분광광도계를 사용하여 형광증백제의 농도를 달리할 때 서로 다른 파장별로 흡광도 또한 증가하는 결과를 토대로, 스펙트럼의 강도로 형광물질의 양을 정량하는 기틀을 마련하였다.

Bristow Karipidis는 형광물질을 판별하는데 있어 ISO 백색도와 CIE 백감도를 이용한 방법에 따른 차이점을 조사함으로써, 광원의 특성에 따라 형광물질량의 측정을 구별하려는 시도를 하였다.

Bourgoing 등은 미표백 기계펄프의 빛에 의해 유발되는 변색현상의 방지에 있어 형광증백제가 효과가 있으며, 이는 형광증백제의 숄폰기의 개수와 관련이 있다고 보고하였다.

Lee 등은 형광광도기, 분광광도기, 형광이미지복원현미경 등을 이용하여 형광증백제를 정량분석 하는 방법을 제안하였고, 형광방출량과 형광물질량과의 관계를 회귀식으로 표현하였다.

Hunke와 Roick은 섬유친화성이 낮은 헥사타입의 형광증백제를 대체할 수 있는 테트라타입 수준의 섬유친화성을 지니고 헥사타입 형광증백제 수준의 성능을 지닌 새로운 테트라타입의 형광증백제를 개발하였다고 보고하였다. 이러한 형광물질을 영향을 감소시키기 위해서 위한 방법으로 UV 흡수물질을 활용하여 형광물질을 감추는 방법이 소개된 이래 (Weible, 1986) 다양한 기술이 보고되었다. 특히 dicyandiamide와 imidazoline으로 만든 고분자로 재활용고지를 처리(Raspanti, 1980), dichlorisocyanuric acid 염으로 중성상태에서 30분간 교반하여 형광염료를 제거(Umekawa 등, 1979)하는 방법과 오존이나 하이포염소산을 사용하여 형광증백제를 산화 시키는 방법(Roy, 1994) 등이 효과적이라 보고된바 있다.

현재 형광증백제에 대한 최소규정은 그 값이 정해져 있지 않으며, 현재 그 독성에 관한 연구도 많이 이루어지지 않은 상태이다. (참고-식품용포장재의 안전성과 특정물질 이행에 관한 연구 장미란, 2005)

또한 자연계에는 약 65개 정도의 금속 원소들이 존재하며 중금속과 금속의 분류는 정확하게 이루어지지 않고 있으나 중금속(heavy metal)은 일반적으로 비중(density)이 5.0 이상(4.0 인 경우도 있음)인 group으로, 지각에 미량 함유(지각 내 함유량 0.1% 이내)되어 있는 원소들을 말한다. 미량원소 또는 미량 영양소라고 부른다.

중금속은 크게 연, 철, 구리 및 코발트 등과 같이 생물체가 정상적인 생리 기능을 유지하기 위해 꼭 필요로 하는 필수 원소와 수은, 납, 카드뮴, 크롬, 알루미늄, 비소, 시안 등과 같이 환경공해물질로서 생체에 해로운 영향을 미치는 유해중금속(비필수 원소)등으로 분류되고 있다. 중금속은 미량이라도 체내에 축적되어 잘 배설되지 않고 장기간에 걸쳐 부작용을 나타내며, 환경에 배출된 중금속은 분해나 자정작용을 받지 않고 생물권을 순환하면서 먹이연쇄 현상이 일어나는 이른바 생물 농축 현상을 일으킨다. 이는 먹이 피라미드 상위로 갈수록 오염물질의 체내 농축이 심해지는 생물 농축현상으로, 먹이 피라미드 제일 위에 있는 인간이 가장 심한 피해를 입는다.

이들의 분류는 정확히 이뤄지지 않고 있다. 그러나 최근 인구의 증가와 환경오염의 결과로 중금속의 위험도 증가되고 있다. 이러한 이유로 유럽의회에서는 식품의 포장재료로 사용되는 재생종이의 중금속 함량에 대한 기준을 정하였다. (참고: Council of Europe : Draft resolution on paper and board used in food contact applications, April 20 (1993))

본 연구에서는 중요 4대 중금속으로 크롬, 카드뮴, 비소, 납 등 모두 4가지 원소이다.

Table 1. 중금속의 오염원과 중독증상

원소	오염원	중독증상
카드뮴	카드뮴도금과 플라스틱, 제련소, 니코틴, 건전지 공장, 타이어 연소, 대기 농도 증가와 화학비료를 사용한 토양에서 재배된 작물을 섭취하였을 경우 중독되는 것으로 알려져 있다.	후각중추장애와 칼슘대사억제, 신장기능저하 증상 등이 나타난다. 또한 쉽게 피로를 느끼며, 체중감소와 피부염들을 유발하는 것으로 알려져 있으며, 심할 경우에는 목숨을 잃는 경우도 있다.
비소	비소는 오염된 바닷물에 사는 해산물, 새우, 굴, 홍합, 등을 통해 섭취될 수 있다. 또한 토양이나 살충제, 비소처리된 벽난로를 지필 때 노출될 수 있다.	비소의 경우 오염이 심하면 초기에는 구토, 설사, 복통, 신장장애 등과 같은 증상이 나타나며, 피부염, 탈모, 호흡기 자극 등의 증상도 나타난다.
납	자동차 배기가스, 매연, 페인트, 살충제, 화장품, 비료, 도자기, 금속광택제, 오염공기 등과 같은 여러 가지 환경요인과 제련소, 건전지 공장 전기도금, 납가스 산업장노출 및 식품에 노출되어 호흡기와 소화기로 흡수된 경우에 납축적의 원인으로 문제를 나타내고 있다.	피로와 어지럼증 또는 두통과 같은 현상이 나타나며, 관절통 등의 증상이 나타나기도 한다. 또한 심할 경우 기억력 상실과 의식저하 등의 증상이 나타나며, 납이 과다하게 축적될 경우 철의 흡수를 저해하기도 하는 것으로 알려져 있다.

3. 관련법규

가. ; 식품공전 제7. 기구 및 용기포장의 기준·규격

종이제 또는 가공지제

(1) 정의

- (1) 종 이 제 : 펄프를 주원료로 하여 제조한 것
- (2) 가공지제 : 종이제를 주원료로 하여 적절하게 처리한 것

(2) 재질규격 (mg/kg)

- (1) PCBs(Polychlorinated biphenyls) : 10 이하

(3) 용출규격 (mg/L)

- (1) 비소 : 0.1 이하
- (2) 중금속 : 1.0 이하(납으로서)
- (3) 중발잔류물 : 30 이하
- (4) 포름알데하이드 : 4.0 이하
- (5) 형광증백제 : 불검출

즉, 식품공전 외 어떠한 규정도 없는 현실이다. 특히, 아이들이 사용하는 교과서 용지에 대한 규정은 아직 정해진 것이 없어 그에 대한 대안을 제시하고자 본 연구를 진행하게 된 것이다. 이전 연구 결과는 재생펄프 30%를 함유하여 제조한 용지가 위해성에서 차이가 없음을 증명한바 있다. 아울러 재생펄프 함유하지 않은 고급교과서용지와 재생교과서용지 모두 위해성이 없음을 증명한바 있다.

나. 재생용지 기준·규격

재생용지에 대한 규정은 별도로 없으며 지식경제부 산하 기관인 (사)자원순환산업진흥협회, 일명 GR 협회에서 제정한 재생용지인 인쇄용지(GR M 7002)가 있다.

(1) 정의

이 규격은 서적, 잡지 등의 인쇄에 사용되는 종이로서 국내폐지를 탈묵처리한 재생펄프를 중량기준으로 원료의 30% 이상 사용한 종이에 대해서 규정한다.

(2) 섬유조성(%)

화학펄프 70% 미만, 국내폐지를 활용한 재생펄프 30% 이상,

(3) 품질

백색도 %	비인열도 (가로방향)	인장강도 (세로방향) N	신장률 (세로방향) %	이물질 (0.08mm 이상)
65 이상	392 이상	29.4 이상	0.7 이상	8개 이하/m ²

(4) 설비

공장내 탈묵설비 보유

4. 국가별 교과서 색상

1. 한국

과정	과목	L	a	b	CIE W	R457 C	R457 F	Yellow ness
전체	전체	92.79	-0.20	4.0	67.0	77.02	3.65	7.5

2. 미국

학년	과목	L	a	b	CIE W	R 457 C	R 457 F	Yellow ness
초등	수학	92.12	0.07	-0.60	82.77	62.03	0.34	-1.15
	국어	93.07	0.65	-1.93	96.69	85.78	3.71	-3.37
중등	역사	92.79	-0.04	-1.35	94.27	84.40	3.92	-3.02
	수학	91.11	1.00	-2.99	102.44	82.43	4.05	-5.37

3. 영국

학년	과목	L	a	b	CIE W	R 457 C	R 457 F	Yellow ness
중등	수학	94.45	0.48	-0.77	98.27	87.38	4.21	-1.14
고등	수학	93.64	1.09	-3.82	112.22	89.61	5.42	-6.88
	국어	93.92	1.43	-3.90	115.79	90.76	6.28	-6.89

4. 독일

학년	과목	L	a	b	CIE W	R 457 C	R 457 F	Yellow ness
초등	수학	91.35	-0.36	3.61	66.71	75.05	2.14	6.88
	독어	93.22	1.32	-1.50	100.99	85.74	6.56	-1.97
	국어	94.18	0.20	1.12	87.50	84.43	3.83	2.34
중등	수학	93.37	0.78	-1.86	105.61	86.26	6.25	-3.14

5. 프랑스

학년	과목	L	a	b	CIE W	R 457 C	R 457 F	Yellow ness
초등	국어	93.69	2.66	-6.88	137.73	94.60	12.17	-12.40
	수학	93.09	1.11	-1.39	97.57	85.29	5.41	-1.91
중등	수학	92.55	2.70	-6.98	132.99	91.10	10.88	-12.37
고등	국어	94.51	-0.14	0.22	93.53	86.21	4.13	0.48

6. 일본

학년	과목	L	a	b	CIE W	R 457 C	R 457 F	Yellow ness
중등	국어	92.85	-2.07	8.27	44.09	73.42	0.14	14.15
	수학	92.86	-1.76	7.65	47.19	73.51	1.61	13.22

위자료는 현재 한국교과서연구재단 장서실에 보관되어 있는 여러 나라의 교과서를 임의적으로 샘플링 하여 측정한 결과이다.

각국의 교과서 본문용지 색상은 색도(L, a, b), 백색도(R 457 C, brightness), 백감도(R 457 W, whiteness), 형광지수(R 457 F, Fluorescence Index)는 분광광도계(Elrepho 3300, Datacolor International, U.S.A.)를 사용하여 측정하였다.

측정결과 일본교과서 용지가 가장 노란 미색이었고, 그다음이 한국 교과서 본문용지였다. 하지만 그 외 미국, 영국, 독일, 프랑스 등은 모두 백색계열의 색상을 보였다.

이는 미색이 가독성과 눈의 피로도에 좋다는 근거로 제작된 것이지만 점정교과서의 연구용역 결과에 의하면 미색과 백색은 가독성과 눈 피로도에 영향이 없는 것으로 밝혀졌다.

최근 교과서의 다색증첩인쇄가 증가하면서 색상 재현성이 있어 미색이 백색용지보다 현저하게 떨어지는 것이 현실이다. 따라서 고급인쇄품질을 요구되는 상황에서 미색보다는 백색이 색 재현성과 인쇄품질을 향상시키게 될 것이라 판단된다.

따라서 본 연구에서는 노란색을 나타내는 b값을 일부 백색으로 조정하였다. 즉, 현재 b^* 규격이 노란색(미색)을 나타내는 3.5 ± 0.4 에서 백색에 가까운 1.5 ± 0.4 로 조정하였다.

여기서 미색에서 백색으로 변경할 때 불투명도 저하나 인쇄 뒤비침을 염려하였으나, 시산품에 대한 실험실적 인쇄적성 실험과 실인쇄 제품에 대한 인쇄적성 평가결과 이상이 없음을 확인할 수 있었다.

5. 종이의 탈묵공정

2012년 현재 종지와 판지는 전 세계적으로 연간 3억 7천만 ton 이상 생산되며 이중 절반 이상이 재활용되고 있다. 재활용되는 종지의 대부분은 판지 류의 생산에 사용되고 있으나, 최근 15~20년 사이 탈묵처리한 재생 펄프를 신문용지, 화장지, 마켓 펄프 등과 SC 및 LWC (Light weighted coated paper) 등의 원료로 사용하는 비율이 높아지고 있다. 재활용 종이 가 고백색 인쇄용지의 원료로 사용되기 위해서는 백색도의 저하를 일으키는 잉크 성분 및 기타 인쇄, 가공 공정 등에서 적용된 다양한 처리제들을 제거하는데, 이러한 측면에서 다양한 오염 물질들이 제거되는 탈묵공정의 중요성은 두말할 나위가 없다.

재생의 관점에서 다양한 종지의 생산 및 가공 공정에 적용된 각종 첨가제들은 오염물질로 간주된다. 이러한 오염물질로서 다양한 접착제, 플라스틱, 잉크, 바니시 및 충전제 등을 예로 들 수 있으며, 재활용 공정을 통해 이것들을 효과적으로 제거하기 위한 연구가 지속되어왔다. 폐지를 재생하여 재활용 종지를 생산하는 과정은 다음의 두 가지 주요 공정으로 구성된다.

◎ 재활용 원료를 이용한 재생 펄프의 생산 공정

◎ 재생 펄프 또는 재생 펄프와 다른 펄프를 혼합하여 종지를 생산하는 공정

일반적으로 폐지로부터 펄프를 생산하고 종지를 제조한다고 할 때 재생 기술은 다양한 처리들의 조합으로 이루어지는 바, 특히 인쇄용지의 재생에는 탈묵공정이라는 잉크를 제거하기 위한 특별한 공정이 꼭 필요하다.

탈묵 재활용의 주요 공정

● 해리 공정 (Repulping)

펄핑은 지료 조성의 첫 번째 공정으로, 펄핑 과정 중 인쇄 및 기타 가공 공정을 통해 종이에 부과되었던 다양한 첨가제들이 섬유로부터 분리된다. 펄핑 공정의 장비로는 저농도 펄퍼, 중농도 펄퍼 및 드럼과 같은 고농도 펄퍼가 사용되는데, 아래와 같은 고려 사항은 살펴 결정되고 있다.

- ◎ 해섬 동력을 최소화하는 펄퍼
- ◎ 오염 물질의 제거 효율을 고려하여 오염 물질의 미분화를 최소화하는 펄퍼.(디플레이커는 더 이상 탈묵공정에는 사용되지 않음)
- ◎ 효율적으로 잉크를 박리시키는 펄퍼

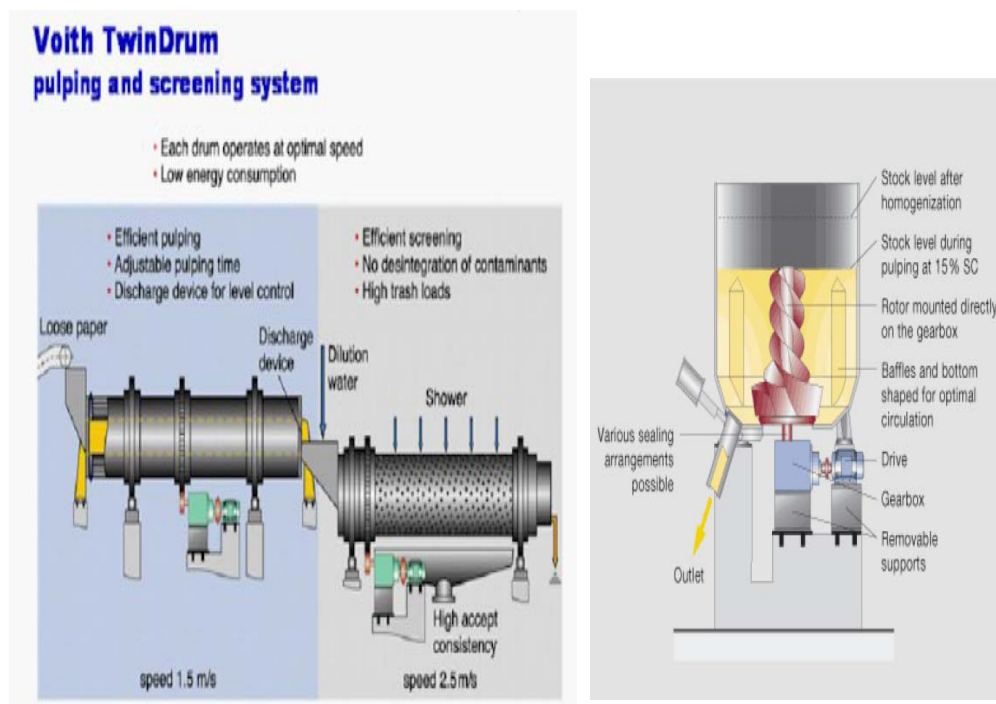


Fig. 1. Pulper types: Drum pulper and batch pulper (source from Voith paper web site).

가성소다와 규산소다, 지방산 및 표백 약품인 과산화수소 등의 약품이 섬유로부터 잉크의 박리, 해리 에너지 절감, 백색도 향상 등을 위해 펄핑 공정에 사용된다.

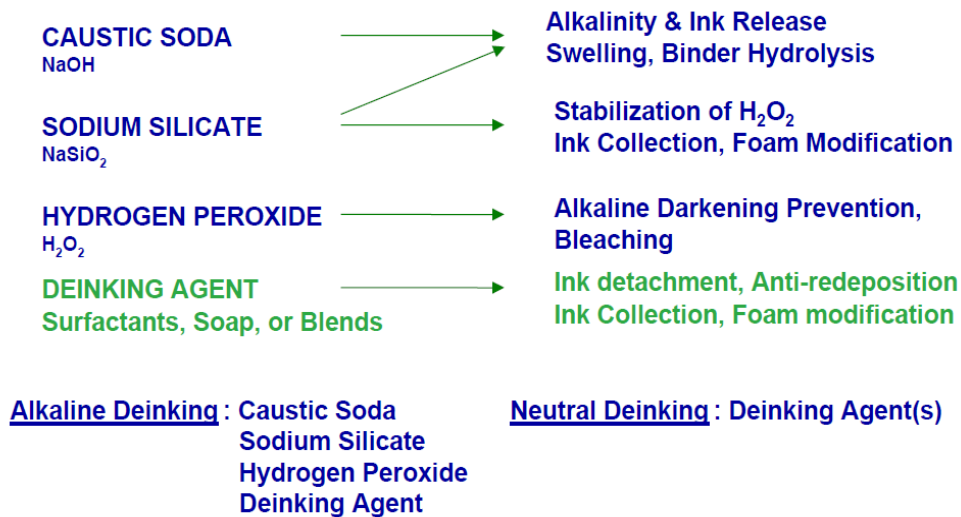


Fig. 2. Chemical additives in pulper.

● 오염물질의 제거

오염 물질의 제거는 아래와 같은 오염 물질의 다양한 특성을 고려한 정선 처리를 통해 이루어진다.

- ◎ 입자의 크기: 섬유 보다 작은 입자는 세척에 의해 제거되고 섬유 보다 큰 오염 물질 등은 스크린에 의해 제거 된다.
- ◎ 밀도의 차이: 크기가 충분히 크다면 입자의 밀도가 높아 1이상일 때 원심 클리너에 의해 제거된다. 리버스 클리너의 경우 오염물질의 밀도가 1미만일 때 오염 물질을 제거할 수 있다.
- ◎ 표면 화학적 특성: 소수성 입자는 부상부유에 의해 제거되며, 합성 계면활성제나 지방산 등과 같은 첨가제에 의해 잉크 입자가 포집되어 잉크 제거 효율을 향상 시킨다.

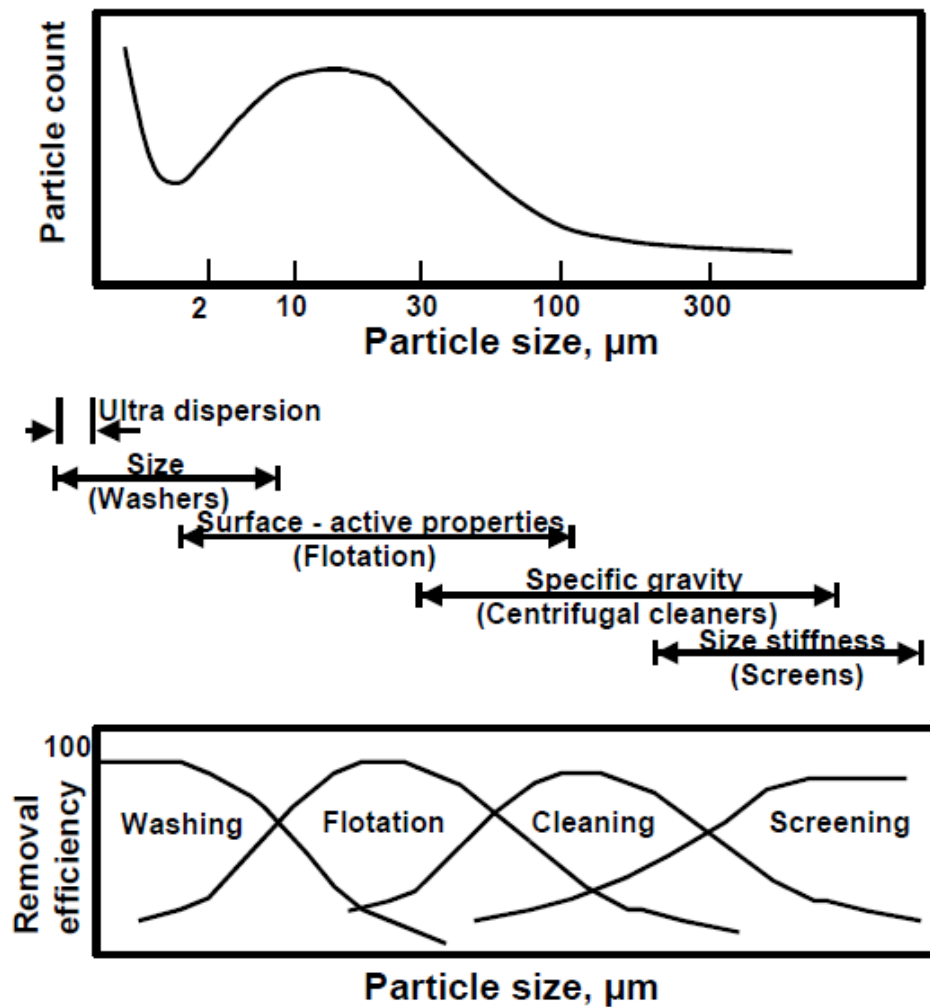


Fig. 3. Particle size distribution and unit operation removal efficiency. Mc Cool 1987.

Fig. 3은 McCool 1987년에 발표한 것으로 오염 물질의 크기에 따른 효율적인 제거 공정을 나타낸 것이다. 클리닝을 통한 오염물질의 제거가 용이하기 위해서는 오염물질의 크기가 크고 물과의 밀도 차가 커야하며, 부상부유 처리의 제거 효율성은 오염물질의 물리화학적 표면 특성에 의해 좌우된다.

- 스크린 처리

스크리닝은 개열된 슬롯이나 구멍으로 오염 물질을 거르도록 구성되어 있다. 초기 스크린은 개방형 진동 스크린이었고, 현재는 용량을 높이기 위해 폐쇄형 가압 스크린이 이용된다. 스크리닝에서는 플라스틱 필름, 샤이브 및 습강 처리된 종이 등과 같은 강직하고 입자의 크기가 큰 것이 제거된다.

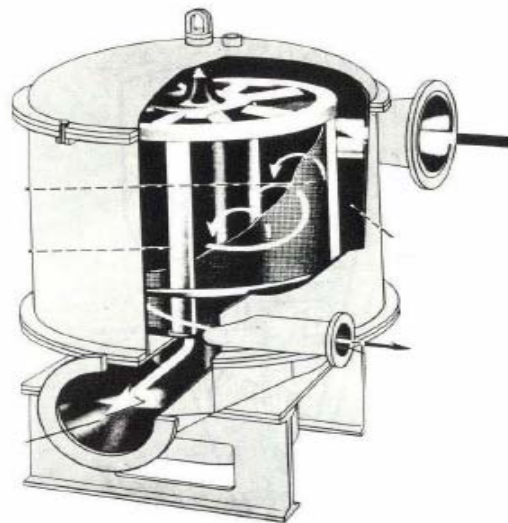
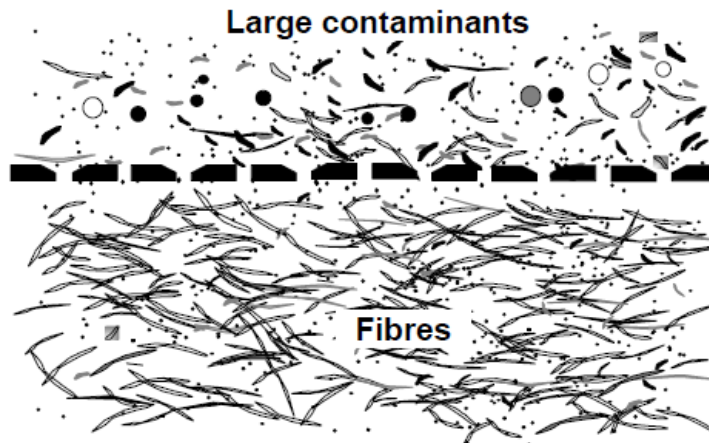


Fig. 4. Principle of screening and fine screens.

• 클리닝

클리닝은 원심 회전 시 비중 차에 따라 입자가 나뉘는 원리를 바탕으로 운전된다. Forward 클리너의 경우 원심 회전에 의해 발생된 힘에 의해 지료 보다 무거운 입자는 클리너의 하단으로 배출되고 가벼운 입자는 상부로 올라가게 된다. 고 밀도 클리너는 일반적으로 5% 정도의 고농도 지료에 적용되고 작은 용량의 일반 클리너는 회석된 펄프에 적용된다. 클리너는 무겁거나 가벼운 오염 물질을 제거하기 위해 사용된다. 클리닝에서 무거운 오염 물질이란 금속, 모래 및 바니시와 같은 입자를 말하는데 이 밖에, 응집된 잉크 입자의 제거 또한 가능하다. 클리닝에서 가벼운 오염 물질로 핫 멜트 접착제와 다양한 플라스틱 입자들이 제거 된다.

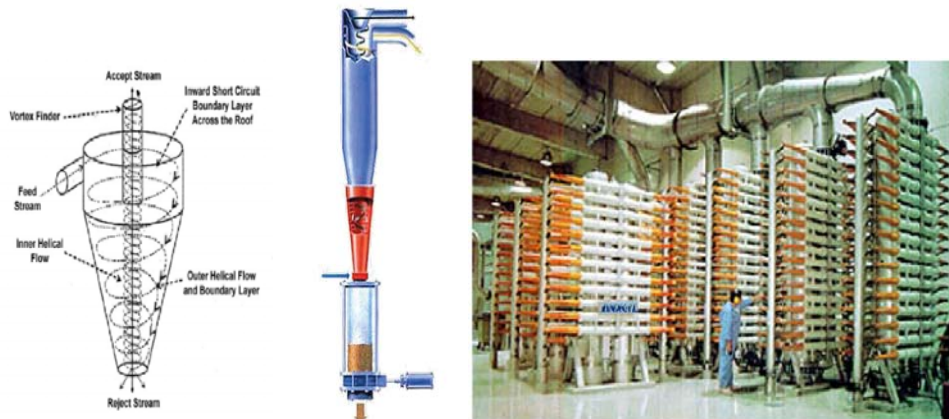


Fig. 5. Principle of cleaning and fine forward cleaner.

• 플로테이션 (부상부유)

플로테이션은 소수성 입자(대부분 잉크 입자)를 공기 방울에 흡착시켜 떠올린 다음 제거토록 구성되어 있다. 플로테이션의 효율은 공기 방울에 잉크 입자를 얼마나 효과적으로 흡착시키는가에 좌우된다. 초창기 탈묵설비는 광산에서의 설비와 유사하였으나, 현재 공기의 혼합과 기포의 제거 효율을 개선한 다양한 장비가 사용된다. 플로테이션 공정은 잉크(소수성 특징을 가진 오일 상 잉크 입자), 바니시, 무기안료 및 접착제 입자들이 제거된다.

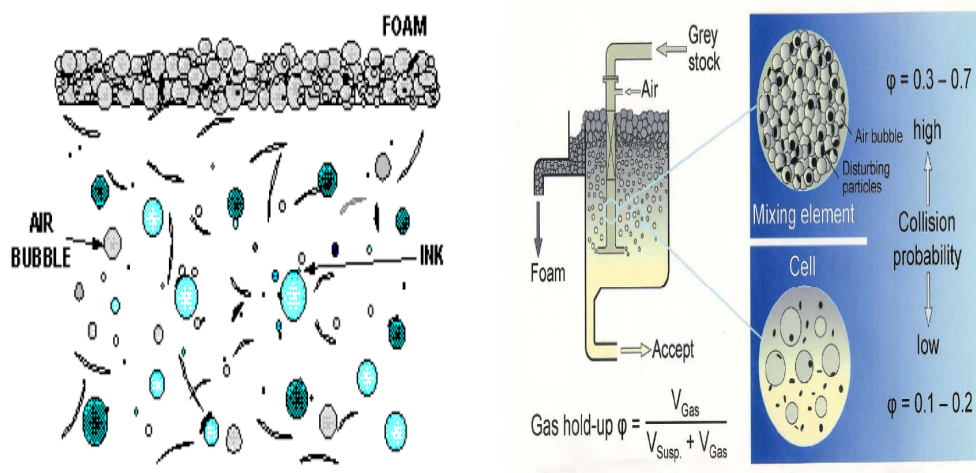
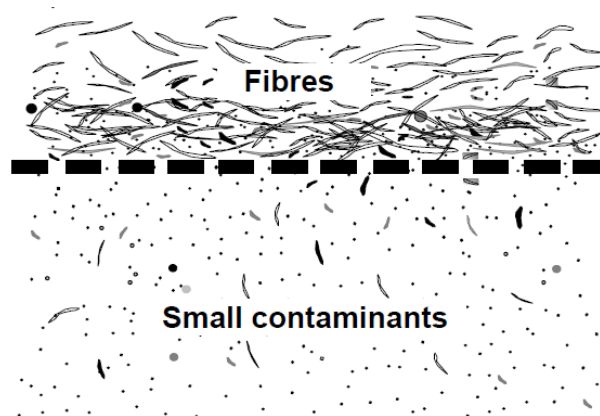


Fig. 6. Principle of flotation.

• 세척 공정

세척 공정은 물에 의해서 작은 입자를 제거하는 공정으로 섬유와 같은 큰 입자는 스크린에 남게 된다. 세척 공정은 농축 공정과 연계되어 있으며, 지료의 농도에 따라 효율이 좌우된다. 세척 공정에서는 충전제와 미세하게 분화된 잉크 입자 및 콜로이드 상 금속 등이 제거된다.



Washer	Consistency (%B.D.)		Dilution Factor	Dilution Water Req'd. (GAL/BDT)	Theoretical Ink Removal (%)		
	Inlet	Discharge			1 Stage	2 Stage	3 Stage
Sidehill Screen	0.8	3	124	29,735	74	93.2	98.2
Gravity Decker	0.8	5	124	29,735	84.7	97.7	99.6
Inclined Screw Extractor	3	10	32.3	7,750	72.1	92.2	97.8
Screw Press	4	28	24	5,750	89.3	98.9	99.9

Fig. 7. Principle of washing and theoretical ink removal by conventional washing device.

• **DAF (Dissolved air flotation)**

세척 공정 및 농축 공정으로부터 발생된 공정수 내에 포함된 잉크와 충전제 및 콜로이드 상 오염물질 등을 제거하기 위해 DAF가 이용된다.

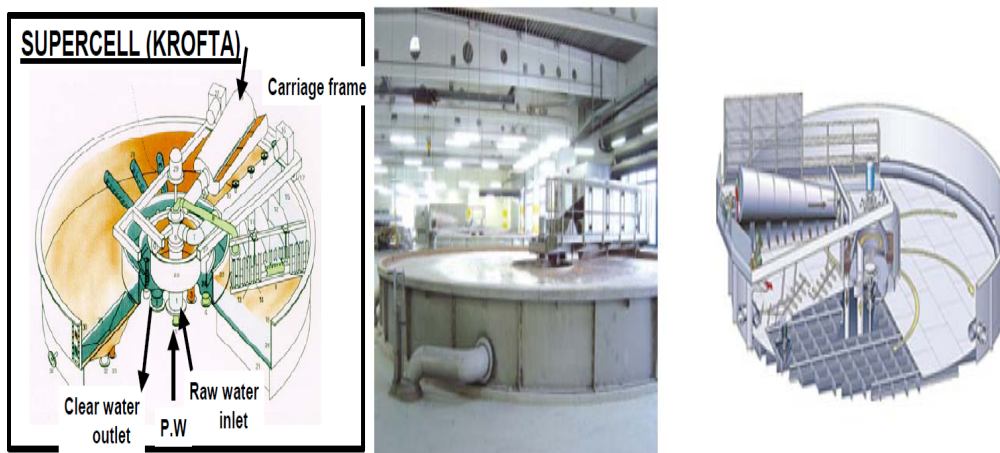


Fig. 8. A conventional dissolved air flotation unit.

● 잔류 오염 물질의 분산

Hot dispersing은 농축 공정 이후에 25 - 30% 농도의 지료를 저속 니더 또는 고속 디스퍼저로 처리하는 것을 말하며, 이를 통해 핫 멜트 접착제나 바니시, 잉크 토너로 인해 발생하는 반점들과 같은 잔류 오염 물질들이 분산된다. 허나 라벨이나 테이프 등에서 유래한 점착성 접착제 입자들은 낮은 분산성을 나타내기도 한다. 분산 처리는 과산화수소 표백과 함께 처리되기도 한다. 복수의 탈묵처리를 실시할 때, 포스트 탈묵 전 분산 처리는 잔류 잉크의 박리에 매우 효율적인 것으로 알려졌다.

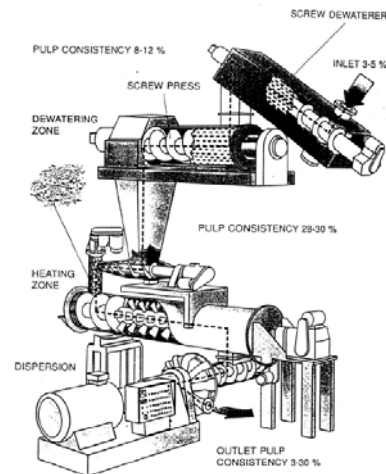
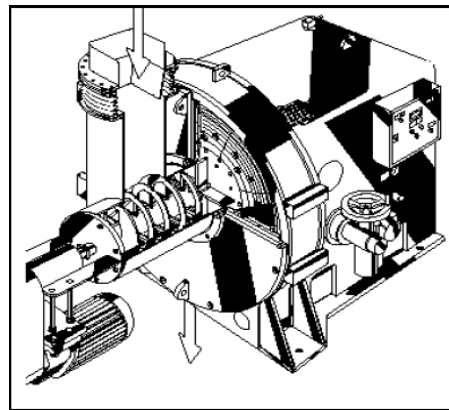


Fig. 9. A high speed disperser unit and Pressurized high intensity dispersion kneader.

● 탈묵 섬유의 개질 및 표백

탈묵 펄프의 성능을 개선하기 위해 적용되는 개질 공정에 대하여 살펴보면 일반적으로 탈묵 펄프는 강도 등 우수한 물리적 특성이 필요하지 않기 때문에 고해 처리를 적용하지 않는다. 다만 펄프 내 잔류 잉크 및 염료 등에 의해 탈묵 펄프의 주요 고려 인자인 백색도가 낮아지므로 표백 공정을 적용하고 있다. 과산화수소와 같은 산화 표백과 차아황산나트륨(또는 FAS)과 같은 환원 표백이 재생 펄프의 표백에 주로 사용된다. 기계 펄프가 포함되지 않은 탈묵 펄프의 백색도를 높이기 위해 산소 가압 하에 과산화수소 혹은 오존 등을 활용한 표백처리가 사용되기도 한다.

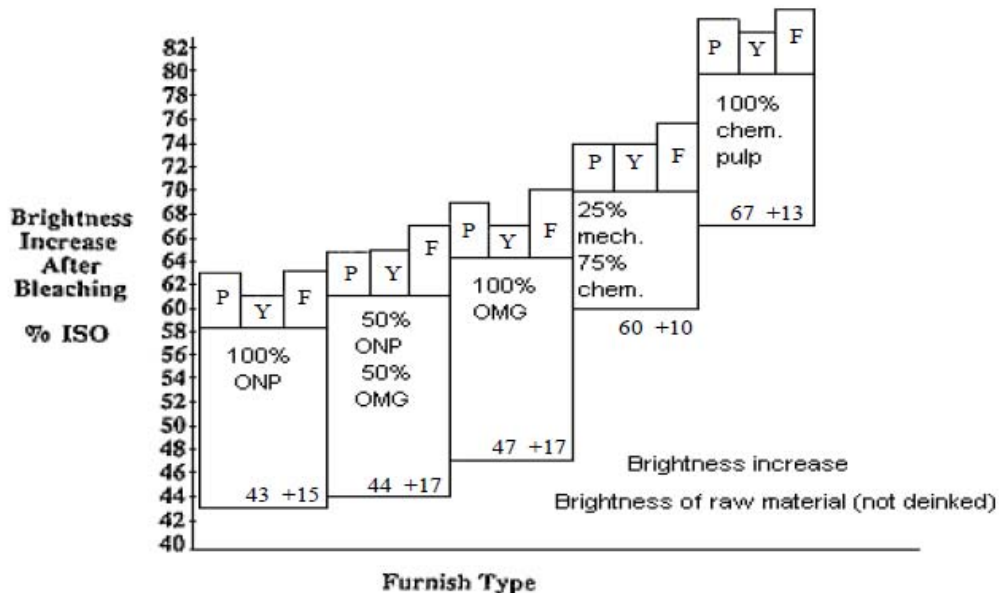
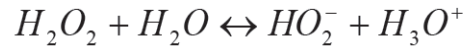


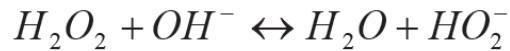
Fig. 10. Impact of chemicals on different recycle fibers (Source: W. Eul, H.U. Suss and O. Helming, "fiber Fractionation and post-treatment of de-inked pulp", Pulp & Paper Canada Magazine, Vol. 90 no 10, 1989, p. T95-101).

● Hydrogen peroxide 표백 (P)

수계상태에서 Peroxide가 변하여 만들어지는 표백용 active agent인 Perhydroxyl ion HOO^- 는 알칼리 조건에서 쉽게 형성되지만 과산화수소가 너무 높은 알칼리 조건, 높은 온도 조건하에 Mn, Fe, Cu, Co, Ni, Zn 과 같은 전이 금속이나 미생물 대사산물(catalase)에 노출되는 경우 충분히 형성되지 못하는 문제가 발생한다.



(Reaction in water)



(Reaction in alkaline condition)

상기한 이유로 과산화수소의 안정을 위해서 중금속을 제어하는 Sodium silicate나 킬레이팅 에이전트 등이 사용된다. 이 중 규산소다는 잉크의 분리와 제거에도 영향을 미친다. 과산화수소를 활용한 표백처리의 효율은 처리 농도, 과산화수소 사용량 및 가성 소다와 비율 등에 의해 결정된다.

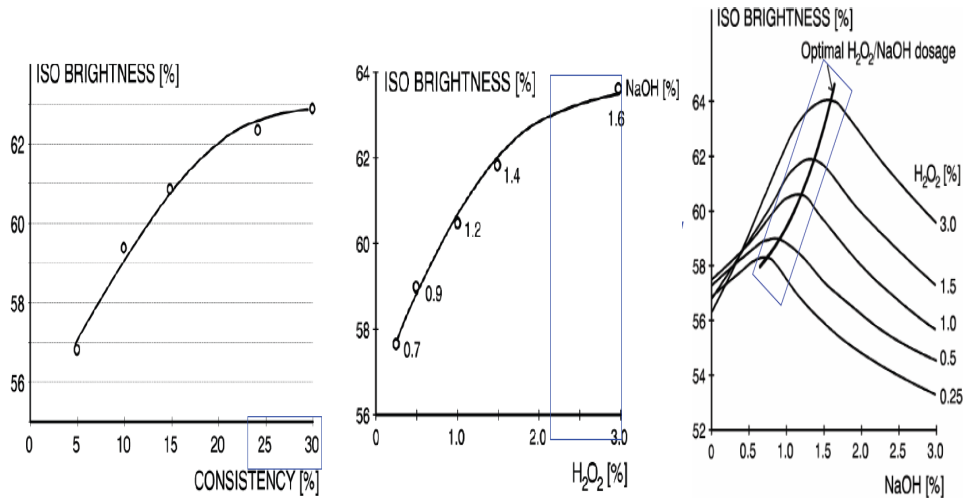


Fig. 11. Impact of consistency, dosage and NaOH ratio on brightness.

● 디티온산나트륨/ 하이드로설파이트 (Sodium Dithionite-Y)

Bleaching agent인 sulfoxylic acid sodium salt는 수계상태에서 형성되며, 알칼리 조건에서 강한 환원 표백제로 작용한다. 디티온산 나트륨은 염색된 종이의 표백, 낮은 COD 발생, 중성 pH, 짧은 반응시간, 산소와 반응, 독립된 운전 가능 등의 특징을 가진다.



(Reaction in water)

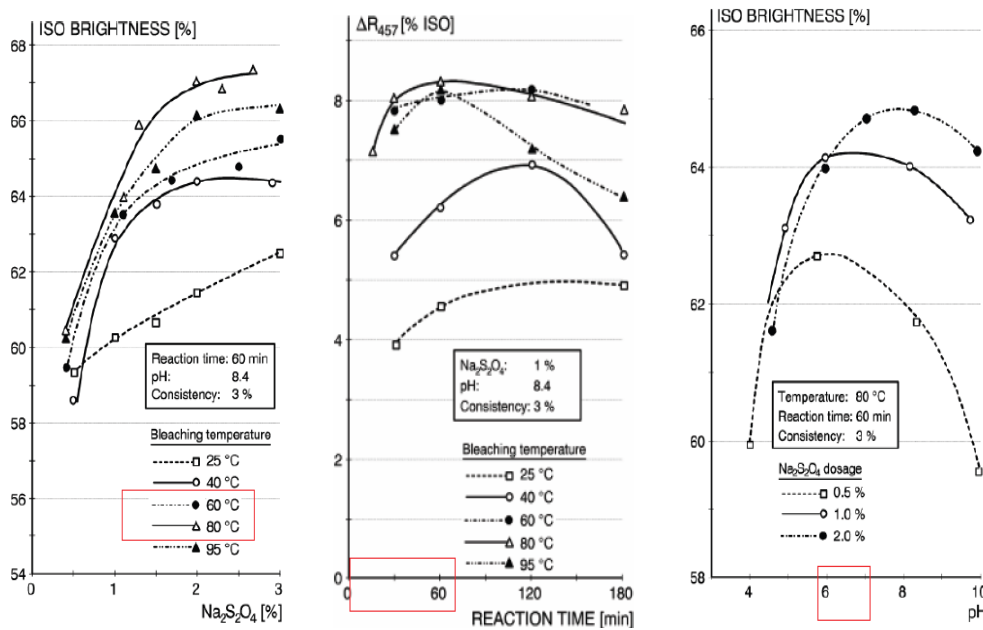


Fig. 12. Dithionite bleaching efficiency dependent on temperature, reaction time and pH.

● FAS (Formanidine Sulfinic acid)

FAS는 1980년대에 소개된 새로운 펄프 표백약품으로 차아염소산염을 대체할 수 있는 표백제로 추천되었다. FAS는 알칼리 조건에서는 높은 용해성을 가지나 분해 또한 매우 빠른 특성을 가지는 것으로 나타났다. 가성소다 대신 규산소다를 킬레이트제로 사용하는 경우 FAS의 성능을 높

이는 것으로 알려져 있다. Sulfinate anion (SO_2^-)은 알칼리 조건에서 형성되며 표백제로 작용한다.



(Reaction in alkaline water)

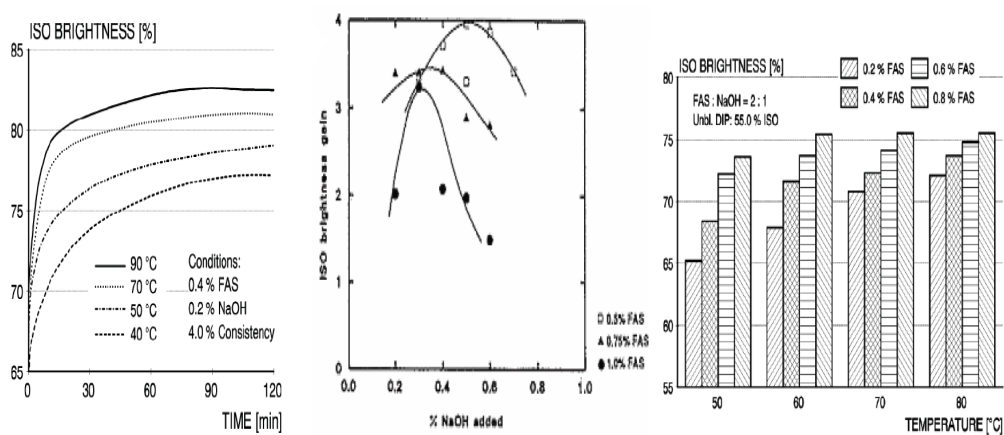


Fig. 13. Effect of temp. pH and dosage on FAS bleaching efficiency.

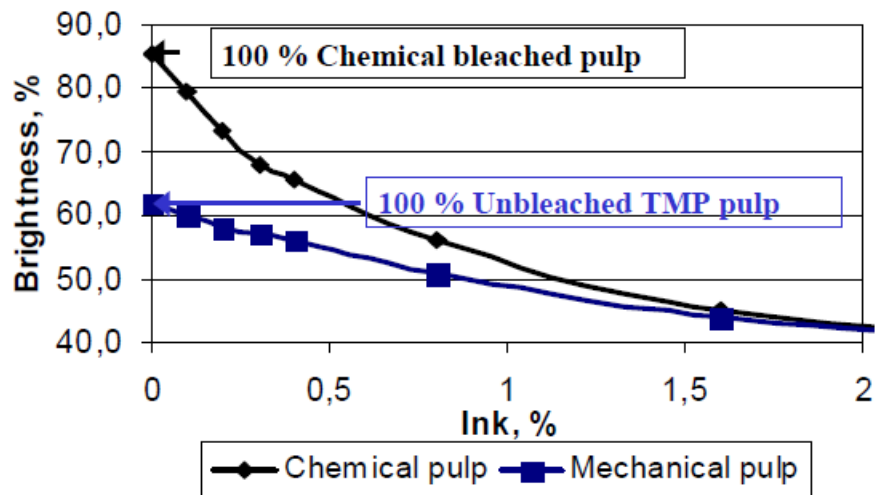
● 포스트 탈묵

고품질의 탈묵 펄프 또는 재생지를 제조하기 위해서는 다단 탈묵이 요구된다. 후단-탈묵공정은 분산 및 표백 공정 이후에 적용되며, 원리는 일차 탈묵공정과 같다 (탈묵, 세척, 클리닝, 스크리닝, 표백, 분산).

- 탈묵공정

탈묵공정은 다양한 공정들로 이루어지며, 탈묵공정의 단계는 원료의 품

질 및 최종 펄프에 요구되는 품질 수준에 따라 달라진다. 탈묵은 잉크를 제거하는 것으로, 그림에서 나타난 것처럼 잉크의 함량 및 펄프의 원료에 따라 탈묵 펄프의 백색도는 달라진다.



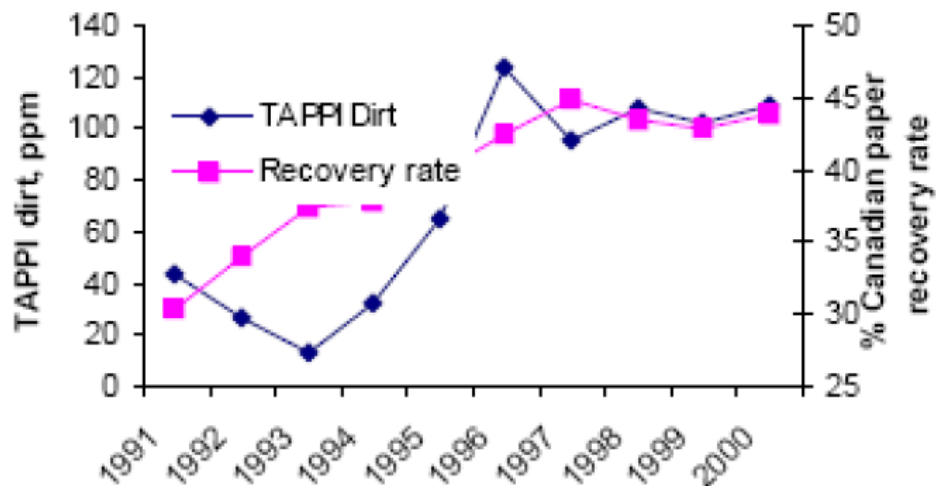


Fig. 14. Brightness variations versus amount of ink and impact of paper quality on dirt level in newsprint. (Source: M. Fairbank et al., Effects of Recovered Paper Quality and Deinking Process Parameters on Dirt Levels in Newsprint, 7th Research Forum on Recycling, 2004, 121-124).

일단 탈묵공정을 운영하는 경우 탈묵 펄프의 품질을 높이는데 처리설비의 한계가 있기에 폐지를 품질별로 분류하여 사용해야하는 제한을 있지만, 최근 들어 저급의 원료를 바탕으로 고품질의 탈묵 펄프를 생산하기 위해 다단 탈묵공정이 운용되면서, 다양한 다단 탈묵공정이 채택되어 운전되고 있다.

전 세계적으로 지역적인 특색이 있는 다양한 다단탈묵 공정이 운전되고 있는데, 유럽의 경우 탈묵 재생 펄프에 대한 활용 의식이 높아 낮은 백색도와 높은 반점의 펄프가 용인되는 탈묵공정이 주를 이룬다면, 일본은 기록용지의 관점에서 반점에 대해 매우 민감하여 반점을 줄일 수 있는 탈묵공정이 주를 이루고 있다. 북미의 소비자는 천연 펄프와 대등한 수준의 백색도를 탈묵 펄프에 요구하고 있기 때문에 그러한 수요자의 측면이 고려된 탈묵공정이 주로 운전되고 있다.

유럽의 경우 단속식 고농도 펄퍼나 드럼 펄퍼가 이용되며, 니더 또는 디스퍼저가 탈묵공정의 가장 마지막에 배치되는 것이 일반적이었으나 최근에는 후단 탈묵 전에 위치하여 운용되고 있다. 일본의 경우 소킹 타워와 니더의 운영에 특징적인 기술을 가지고 있다. 소킹 타워의 경우 전력 소비와 소음을 줄이기 위해서 운용되며, 충분한 침지 시간이 주어지는 경우, 알칼리 조건에서 섬유 해섬 및 잉크와 플라스틱의 분리가 촉진된다. 니더는 잉크의 박리를 개선하기 위해 탈묵공정의 시작 또는 중간 단계에 적용되며 플로테이션과 워싱 공정에서 잉크 제거가 최대화가 되도록 잉크 입자의 크기가 조절 된다. 북미의 경우, 초기의 재생 공정은 세척 기술에 기초 하였으며, 부유부상과 탈묵공정이 유럽에서 소개된 이후, 유럽과 일본의 기술이 복합된 다단 탈묵공정이 운용되고 있다.

● 싱글 스테이지 플로테이션 탈묵

일반적인 싱글-loop 탈묵 라인

단일 탈묵 라인은 신문 용지나 다접 판지의 이면층을 구성하는 탈묵 펄프를 생산하기 위해 활용되는데, 이와 같은 단일 공정은 20년 전의 공정으로 현재 신문용지 공장들은 2단 탈묵공정을 운용하고 있다.

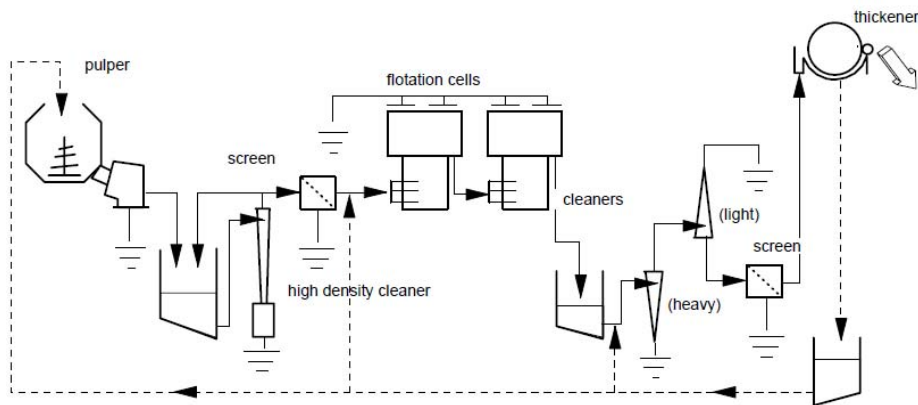


Fig. 15. Basic flow-sheet diagram of a flotation deinking plant (production of DIP (De-inked pulp) for newsprint from sorted recovered papers).

재활용 폐지는 15~18%의 고농도 펄퍼에서 해리되고, 회석된 후 스크린을 거쳐 큰 입자의 플라스틱 필름과 미해리 습강지 등이 제거된다. 고밀도 클리너에서 모래와 같은 무거운 오염물질 등이 제거된다. 홀 및 슬롯 스크린은 4%의 중농도에서 이루어지며, 이후 펄프는 1~1.4%정도로 회석되어 부유부상공정에 이송된다. 지료 내에 2% 정도의 잉크가 잔존하는 경우 부유 부상에 의해서 75%정도의 잉크가 제거되어야 신문용지에 요구되는 백색도의 탈묵 펄프를 얻을 수 있다.

클리닝 공정은 부유 부상 공정이후에 0.7% 농도로 운전되며, 미세 슬롯 스크린은 클리닝 공정 이후에 위치하여 운전되며, 이후에 디스크 필터와 같은 농축 공정을 거치게 된다. 각 공정에서 사용된 공정수는 회석을 위해 각각의 공정에서 사용된다. 농축된 펄프는 초지에 사용된다.

싱글루프 탈묵: 부유부상+디스퍼징+표백

그림은 신문용지용 DIP (De-inked pulp)를 생산하기 위한 탈묵공정을 나타낸 것으로, 필터를 이용한 농축 공정 이후에, 농도를 30% 까지 높이기 위해 스크루 프레스가 이용되며, 이후 펄프는 hot-dispersing과 과산화

수소 표백 공정을 거치게 된다.

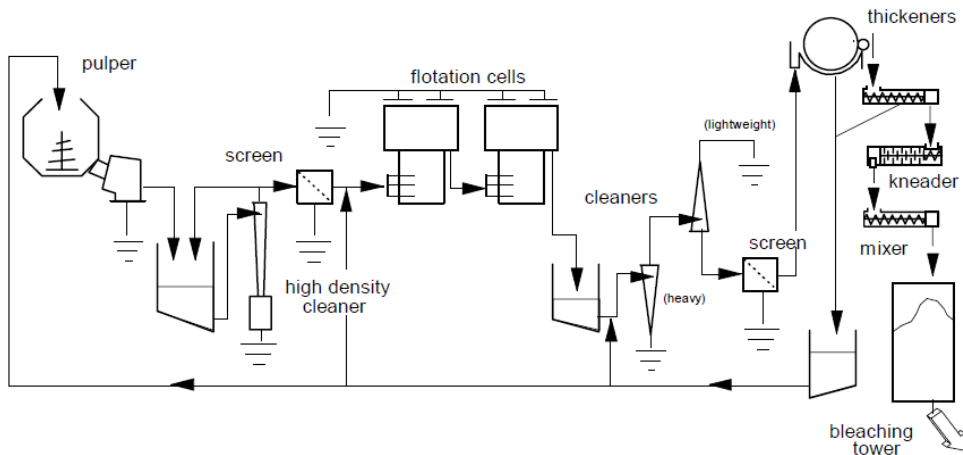


Fig. 16. Basic flow-sheet diagram of a one loop deinking plant with dispersing and bleaching (production of DIP (De-inked pulp) for printing or packaging papers from sorted recovered papers).

인쇄용지용 고품질 탈묵 펄프를 생산하기 위한 다단 탈묵공정

탈묵 전후에 점착성 이물질 등의 제거 효율을 높이기 위해 이단 공정이 처음으로 개발되었고, 이후 반점이 없는 고백색도의 탈묵 펄프를 생산하기 위해 전 세계적으로 사용되고 있다. 이단 탈묵공정은: 이단 부상부유 공정(Ortner and Fisher 1989, Link et al, 1989, Johanssn and Steffner 1989) 또는 부상부유와 세척 공정을 결합한 예(Gallabd et al 1989)가 있다. 분산과 표백 처리는 잔류 잉크의 박리에 매우 효과적이며 일반적으로 이단 탈묵 루프의 중간에 위치한다. 그림에 이단 탈묵 및 탈묵과 세척의 이단 탈묵공정을 나타내었다.

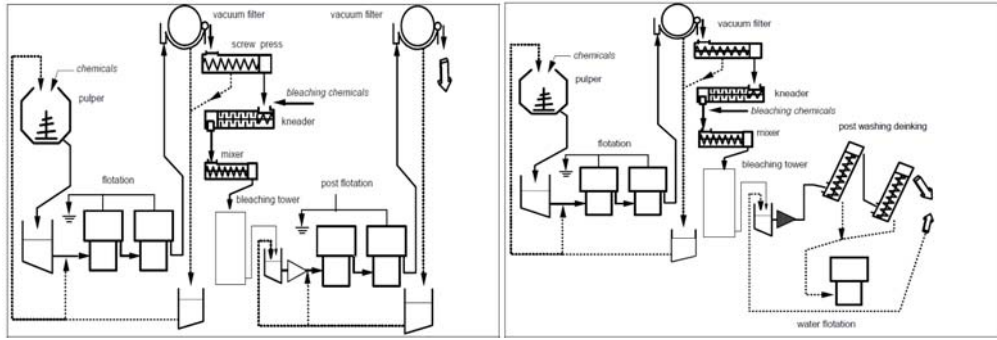


Fig. 17. Schematic flow sheet diagram of a deinking plant with flotation post-deinking and washing post-deinking with reuse of washing water (after selective flotation) for dilution of washed pulp.

SC (Supercalendered paper)와 LWC (Light weight coated paper), 백상지 및 시장용 펄프(높은 백색도, 낮은 반점 및 스티키 함량)를 생산하기 위해서는 2단 또는 3단 공정이 필요하다. 근래에 최근 신문용지용 DIP (De-inked pulp) 생산에도 다단 공정이 운용되고 있으며, 고품질의 탈묵 펄프를 생산하기 위해 단수를 늘리는 추세에 있었으나, 높은 운전비용 때문에 최근 공정 유닛을 줄이는 쪽으로 설비가 개선되고 있다.

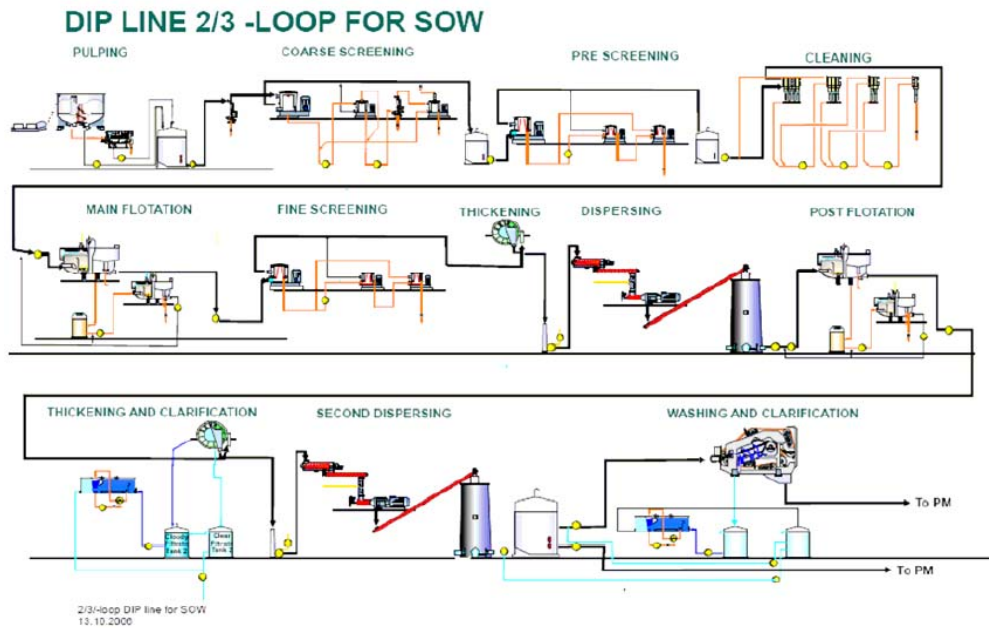


Fig. 18. Flow sheet for wood free DIP (De-inked pulp) proposed by Metso (2007).

탈묵의 문제점

● 주요 문제

· 불충분한 백색도, 회색 필프

펄프가 회색을 나타내는 원인은 작게 분화된 잉크 입자가 펄프 내 잔존하는 경우이다. 다양한 인자(매우 긴 펄핑 시간 등)가 잉크 입자의 크기를 작게 만들고 작은 크기의 잉크 입자는 부상부유에 의한 제거 효율이 낮다. 또한 친수성 잉크를 사용한 종이도 원료로 사용되는 경우에도 재생 펄프의 백색도가 감소하게 된다. 플렉소 잉크를 사용한 신문용지가 증가함에 따라 펄프의 백색도는 급격히 감소하는데 이것은 수성 잉크젯 인쇄에 의해서 나타나는 문제와 유사하다. 이 경우 부상부유에 의해서 잉크

입자가 제거되지 않으며, 물리적인 세척과 농축에 의해서만 제거가 이루어지는 것을 알 수 있다.

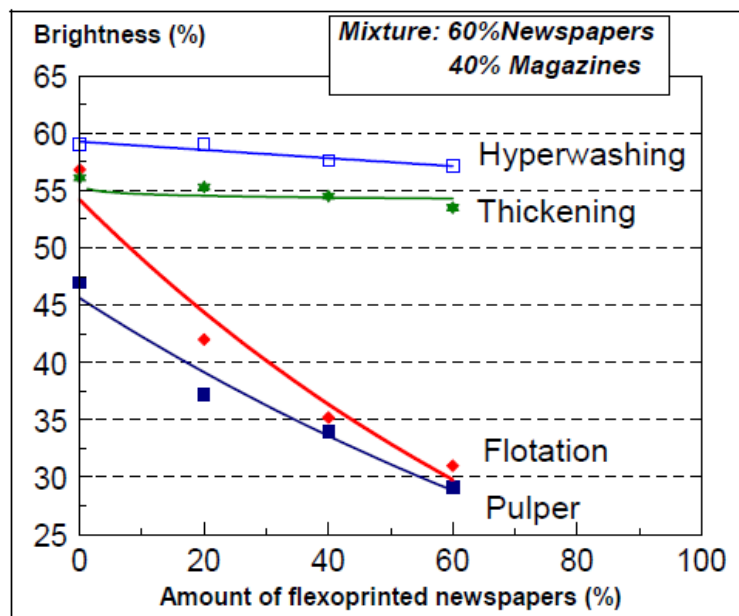


Fig. 19. Pulp brightness for various amounts of flexoprinted newspaper.

• 오염된 펄프

잉크 입자가 섬유 표면에 잔존하여 탈묵 과정에서 제거되지 않은 경우 펄프는 오염된 것처럼 보이게 되는데, 이는 잉크에 의해 펄프 섬유의 표면이 덮여있기 때문이다. 이 같은 결점은 오래된 오프셋 신문용지나 미코팅 핫셋 프린트지에서 나타나며, 이는 접착제의 건조 시 산화와 시간이 지남에 따라 잉크 필름이 가교 결합하여 섬유에 강하게 결합하기 때문이다. 오래된 전화번호부나 간지나 광고용으로 이용되는 핫셋 프린트된 SC지 경우 매우 심한 오염의 탈묵 펄프를 만들게 된다. 이 같은 영향은 여름철 고온의 영향으로 특히 두드러지게 나타나며 온도가 산화 반응의 촉매 역할을 하기 때문이다.

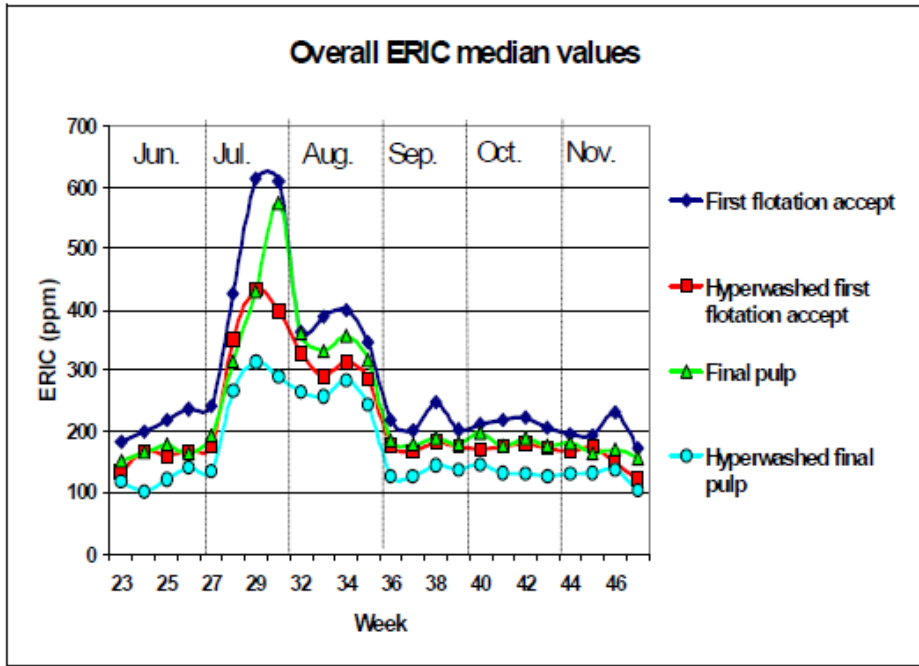


Fig. 20. Summer effect: ERIC increase during summer.

• 착색된 펄프

탈묵 펄프 내에 붉은색 또는 녹색의 착색된 잔사물을 포함하기도 한다. 이와 같은 색상은 잉크의 조제 시 포함되는 용해성이 있는 염료를 사용하기 때문이다. 로다민 염료를 포함하는 적색 요판인쇄의 경우 과산화수소나 차아황산염으로 분해되지 않는다. 또한 수성 잉크젯 잉크 내에도 다량의 염료가 존재 한다.

이 같은 염료를 제거하는 유일한 방법은 표백 처리이고, 환원 표백인 차아황산염이나 FAS 또는 산화표백인 과산화수소 처리에 의해서 잔류 색상의 제거가 가능하기도 하지만, 몇몇 염료는 제거되지 않는다.

• 반점/더트

반점은 검정 또는 착색된 입자를 말한다. 탈묵 펄프 내에 펄핑 공정에서 육안으로 식별되지 않을 정도로 작게 부서지지 않은 잉크 입자가 존재

할 때 나타난다. 이 같은 반점의 크기는 40에서 60 마이크로미터 정도이다.

반점의 주요 발생 원인은 아래와 같다:

- ◎ 재생 폐지로 가정용 수집물인 경우: 인쇄 후 표면 처리된 종이 (주로 UV 경화제). 고팡택 잡지의 경우
- ◎ 업무용 고지의 경우: 토너 인쇄된 종이 (레이저 프린트 종이 또는 사진 인쇄지)로 토너가 종이 표면에 용해되는 과정에서 섬유 표면에 용해됨

코팅된 인쇄용지의 경우 건조에 의해서 안료와 코팅 재료 간에 결합이 발생하여 반점이 발생된다. 재생지 중 이 같은 반점을 발생하는 종이는 팡택이 있는 잡지류이다. 인쇄용지 중 일반적이지 않은 UV 경화 인쇄 또는 디지털 인쇄의 경우 반점 형성을 유도하기도 한다.

· 스티키 (점착성 이물질)

스티키에 대한 명확한 정의는 없으나, 스티키가 가지는 광범위한 의미는 초지 공정, 최종 제품의 손상 및 품질의 저하를 야기하는 여러 가지 물질을 통칭한다. 스티키에는 재생용지의 순환 사이클(생산, 가공, 인쇄 등)내에 존재하는 다양한 점착성 물질들이 포함되며, 스티키 입자(특정한 조건에서 점성을 나타내는 물질)들은 지료 조성, wet-end, 건조 및 가공 공정에서 다양한 형태로 존재하며 문제를 야기 시킨다.

· Flexo 인쇄고지의 탈묵

잉크의 구성성분은 pigments, binders, vehicles, additives들로 이루어져 있으며, 일반 oil based ink는 vehicle로 mineral oil을 사용한다. 이에 반해 Flexo ink는 water based ink로 binder로 acrylic resin acid 사용하므로 알칼리 soluble 물질로써 기존 알칼리 탈묵공정에서 인쇄잉크가 용해되어 공정수가 먹물과 같이 변하며 분산 잉크 입자는 매우 미세한 크기와

친수성을 띠므로 기포에 포집되지 않아 기존 부상 탈묵 방법으로는 제거 불가능하게 된다. 때문에 flexo ink로 인쇄된 고지의 경우는 acid 조건 하에서 해리 후 acid-flotation하고 다시 alkali-flotation으로 잉크제거를 하는 2단 acid-alkali flotation system이 제시된 바 있으나 주로 washing과 같은 물리적 처리에 의해 flexo ink는 제거되고 있다.

• M.O.W.(Mixed Office Wastepaper)의 탈묵

Photocopy 및 Laser printers의 급속한 보급에 따라 toner inks 인쇄고지의 혼입율이 증가하고 종이 제품에 큰 잉크 입자 specks가 발생하는 등 품질 저하가 발생하고 있다. Toner ink는 oil vehicle이 없고 carbon black pigment와 thermoplastic resin binder로 구성되어 있어 인쇄 시 고착되는 열융착형태로 섬유에 고정되기에 섬유로부터 완전 박리가 어렵고 잉크 입자 크기가 flotation 제거영역의 범위를 초과하여 사실상 제거가 어렵다고 알려져 있다. 실제 탈묵공정의 원료는 여러 가지 폐지가 혼재되어 있는 혼합형태(toner ink와 같은 hard성 잉크, 일반 soft성 혼재)의 폐지이며 폐지의 혼합고지 중 MOW가 많아짐에 따라 탈묵이 어려워진다.

Table 2. OA(Office automation) Wastes and problems

종류	문제점
PPC	토너 잉크가 약품으로 박리하기 힘들고 잔류 잉크가 많이 남음
감열지, 감압지	코팅에 의해 해리가 어렵고, 열에 의해 발색하여 백색도 저하를 가져옴
열전사지	코팅에 의해 해리가 어려움
정전 기록 용지	해리가 어렵고 입자 모양의 잔류 잉크가 많이 남음

● PPC: plain paper copiers (일명 복사지)

• **Toner 인쇄고지의 탈묵 처리 공정**

토너잉크는 표면에너지가 낮음, 즉 소수성이 큼

- Washing/Flotation: alkali pulping 처리에서 박리된 잉크 입자를 washing 공정에서 제거하고 큰 입자 및 미박리 잉크를 dispersion을 통해 재 분산 처리 후 flotation하는 system
- Two stage flotation: 2번 flotation하는 system으로 중간에 잉크를 dispersion하는 system
- Adsorption: 1.5% C-18 primary alcohol과 1% polystyrene foam prills를 넣고 160°F에서 soaking 처리하면, alcohol 이 잉크 입자를 prills에 부착시켜 screen에서 제거하는 system
- Agglomeration: PP 및 Betz 등에서 개발된 응집형 탈묵제로 잉크입자의 연화점을 낮춰주고 tacky한 성질을 부여하여 잉크 입자들을 응집시켜 제거하는 system

탈묵공정 설계에 있어서 제거 불가능한 이물질 사전 배제, 이물질은 크기가 큰 상태에서 제거, 섬유로부터 잉크 입자 등 이물질 완전한 박리, 시스템으로부터 잔류 이물질 제거, Bleaching 또는 color striping의 요구 및 제거된 이물질의 재 혼입 금지 등을 고려해야 한다.

탈묵용 첨가제

폐지는 일반적으로 섬유, 충전제, 미세물질 및 잉크로 구성되어 있으며, 이중 잉크의 함량은 2-5%를 차지하고 있다. 잉크를 포함하고 있는 폐지 재생의 일차적인 목적은 폐지 내에 존재하는 잉크를 선택적으로 제거하는 것이다. 이론적으로 종이 내 2-5%를 차지하는 잉크만이 제거된 경우 탈묵 펄프의 수율은 95-98%이나, 일반적인 탈묵 펄프의 수율은 60-90%로 원료 물질 및 탈묵공정에 따라 다양하다.

사용되는 재활용 폐지와 요구되는 최종 탈묵 펄프의 품질에 따라 다양한 탈묵공정이 적용되며, 선택적 탈묵이 가능하여 높은 수율을 나타내는 부상부유법이 세척법보다 많이 이용된다. 부상부유 공정과 세척공정은 물리화학적으로 다른 기작을 가짐에 따라 효과적인 탈묵을 위해 서로 다른 화학 약품을 필요로 한다.

세척에 의한 탈묵의 경우 분리된 일정한 크기의 잉크 입자가 세척에 의해 섬유 매트를 통과하여 제거되는 공정이기 때문에 친수성 계면활성제를 첨가하여야 섬유 표면의 잉크 입자의 분리 및 분리된 잉크 입자의 분산성을 향상시켜야 세척에 의한 탈묵 성능을 개선시킬 수 있다.

부상부유에 의한 탈묵공정의 경우 잉크 입자가 섬유 표면에서 쉽게 분리되어야 하고, 분리된 잉크 입자는 재 흡착이 일어나지 않아야 한다. 탈묵공정에서 잉크 입자의 제거 가능성은 입자의 크기와 표면에너지에 좌우된다. 부유부상에 의한 탈묵이 이루어지기 위해서는 적당한 크기의 잉크 입자의 응집이 필요하며 적절한 잉크 입자의 응집은 50-150 μm 이다. 적절한 크기의 잉크 입자의 효과적인 부유 부상 탈묵을 위해서 공기 입자에 안정적으로 흡착하고 이동하기 위한 표면 에너지 특성이 요구된다.

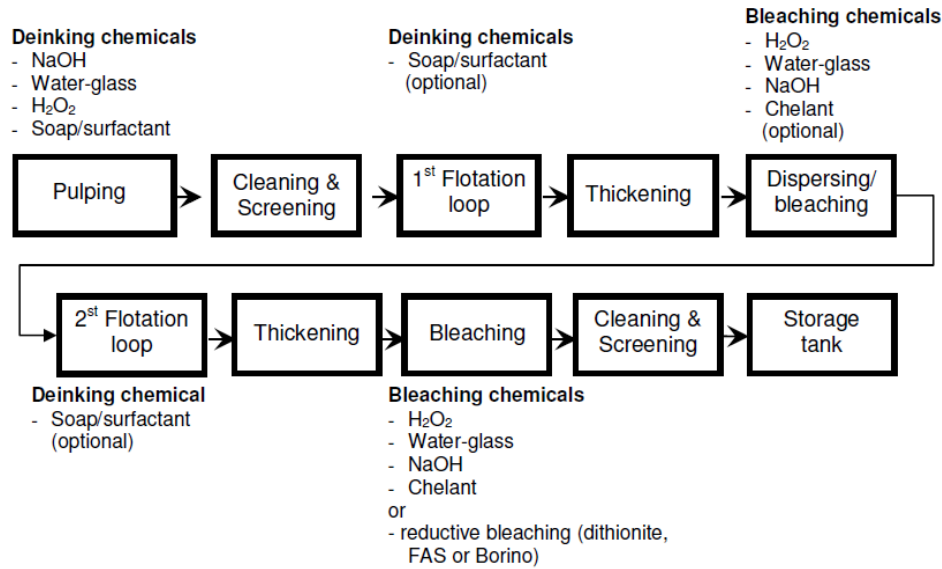


Fig. 21. Schematic layout of a deinking process for the production of deinked pulp for graphical grades showing possible addition places for deinking and bleaching chemicals.

일반적인 알칼리 탈묵제들은 지방산 또는 비이온성 계면활성제로 이루어져 있다. 수산화나트륨은 잉크의 분리와 분산을 위해 함께 사용되는데, 수산화나트륨에 의한 섬유 팽윤 효과와 기질과 잉크 간 화학적 결합의 가수분해 효과에 의해 잉크의 분리가 향상된다고 한다. 신문용지나 잡지 류의 원료를 탈묵하는 경우 펄퍼의 pH는 일반적으로 8.5-10.5가 된다. 지방산을 포함한 탈묵제를 사용하는 경우 물의 경도가 매우 중요하다. 공정 내에 존재하는 칼슘 이온은 부상부유 공정에서 잉크의 포집을 위한 지방산의 변형에 매우 주요한 역할을 하기 때문이다. 적정 칼슘 이온의 농도는 100~200ppm이 된다.

일반적인 알칼리 펄핑 공정에서 섬유는 알칼리에 의해 황변이 일어난다. 섬유의 황변과 백색도 손실을 제어하기 위해 과산화수소가 펄퍼에 투입된다. 금속염에 의한 과산화물의 분해를 막고 과산화수소의 표백 효율성을 높이기 위해서 금속염을 제어하기 위한 킬레이트제가 투입되는데,

일반적으로 규산소다가 이용된다. 규산소다는 펄퍼에 투입되어 금속이온의 제어와 pH 버퍼 역할을 하며, 박리된 잉크 입자를 안정화시켜 섬유로의 재 흡착을 방지하고, 잉크 입자를 응집시켜 부유부상 효율을 증가시킨다.

펄퍼에서 과산화수소의 표백 효과는 일반적으로 제한적이기 때문에, 표백은 탈묵공정 이후에 중점적으로 적용된다. 산화 표백제로는 과산화수소가 있으며, 환원 표백제로는 하이드로설파이트가 주로 사용된다. 그 밖의 환원표백제로는 FAS 및 Borino가 있다. 환원 표백제는 중성 pH에서 작용한다.

폐신문 및 잡지의 탈묵 조건으로 비용 절감과 환경 문제 등을 고려하여 알칼리 탈묵이 아닌 중성 탈묵(pH 6.8-7.2) 및 저알칼리 탈묵 (pH 7.2-8.8) 방법 등이 대두되고 있다. 완전한 중성 탈묵의 경우 합성 혼합 계면활성제를 펄퍼에 적용하는 것이 바람직하다(Rosencrance et al. 2005). 저알칼리 탈묵의 경우 탈묵제와 규산소다가 함께 이용된다. 중성 탈묵의 경우 알칼리 탈묵에 비해 낮은 백색도를 나타내는데 이는 비록 최적화된 중성 탈묵제 도입하여 알칼리 조건과 유사한 잉크 제거 성능을 나타내더라도 표백제인 과산화수소를 펄퍼에 투입하지 않기 때문이다.

계면활성제

계면활성제는 화학적으로 친수 및 소수의 양쪽성을 가진 독특한 물질로, 친수성 및 소수성 부분을 모두 가진 구조를 하고 있다. 수계상태에서 계면활성제의 친수성 부분은 상대적으로 극성을 가지며, 소수성 부분은 상대적으로 비극성을 나타낸다. 계면활성제는 비극성, 음이온 및 양이온으로 나눌 수 있다. 음이온 및 양이온 계면활성제는 일반적으로 소수성 부분에 탄화수소 체인($-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$)을 가지며, 친수성 부분은 아민기($-\text{NH}_3$), 카르복실기 ($-\text{COOH}$), 술포네이트기 ($-\text{SO}_3$) 또는 설파이트기 ($-\text{SO}_4$)등과 같은 다양한 화학적 작용기를 가진다. 비이온성 합성 계면활성제는 다양한 알콕시레이트가 중간에 포함된 구조를 가지며, 일반적으로

에틸렌이나 프로필렌 옥사이드의 유도체이다.

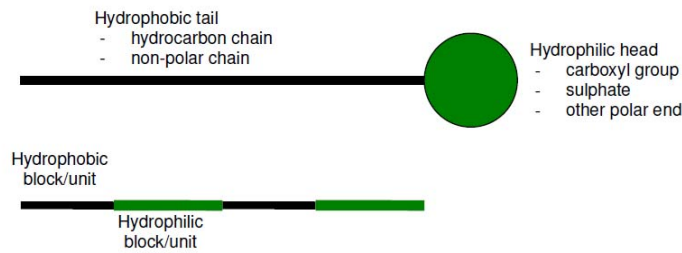


Fig. 22. Schematic picture of surfactants.

이 같은 계면 활성제의 독특한 화학 구조와 열역학적 특성에 의해 수계 상태에서 존재하는 입자의 표면에너지를 최소화하게 된다. 그림에서 나타내는 바와 같이 잉크 및 섬유와 잉크 간 표면의 에너지를 변화 시켜 수계 상태서의 잉크 박리 및 분산이 용이하게 된다.

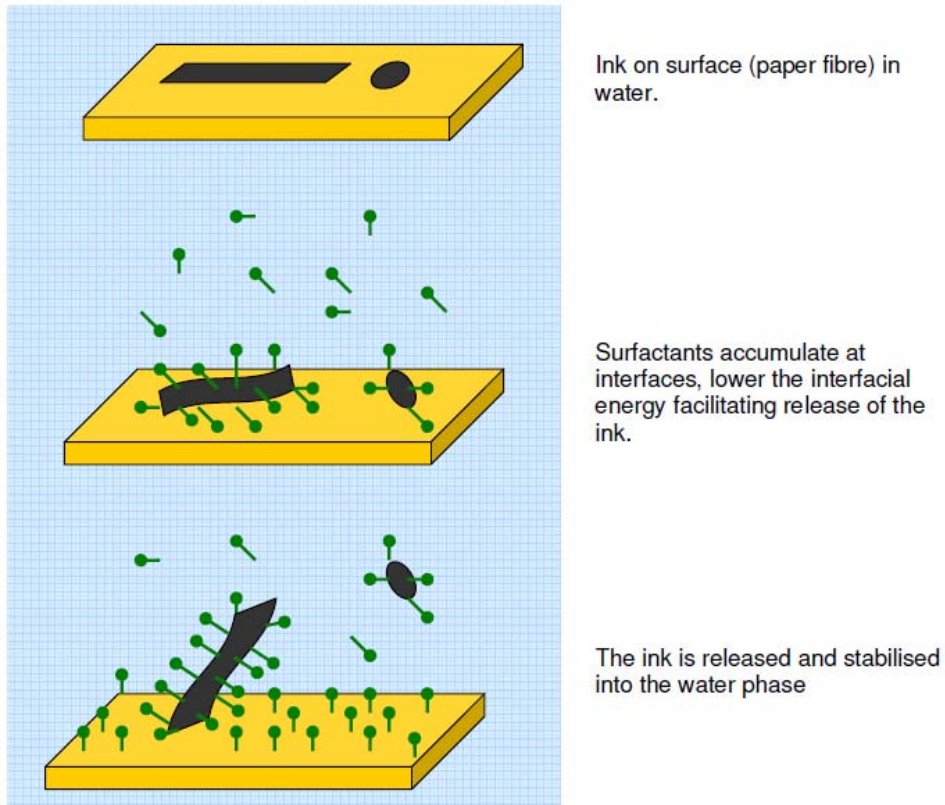


Fig. 23. Release of ink from surface with the help of surfactants.

수계상태에서의 계면활성제는 물의 표면장력을 낮추어 기포의 발생 및 유지가 가능하게 한다.

지방산

지방산은 지방산염을 만들기 위해 오래전부터 사용되어 왔고, 지방산염은 서로 다른 면의 오염을 제거하기 위해 사용되었다. 지방산은 긴 탄화수소 체인 ($-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$)의 말단기에 카르복실 그룹을 가진 구조로 되어 있다. 이 탄화수소 체인은 지방산의 종류에 따라 포화되거나 포화되지 (이중 결합을 가진 경우) 않는다. 스테아릭 산(탄소수 18개) 또는 팔미틱

산 (탄소수 16개) 같은 포화된 지방산은 상온에서 고체 상태로 존재하며, 리놀레익 산 (탄소수 18개 9번과 12번 탄소에 이중결합을 가짐)과 같은 불포화 지방산의 경우 상온에서 액체 상태를 띤다.

지방산 제품들은 일반적으로 몇 가지 다른 구조를 가진 지방산 혼합물이다. 식물성 지방산은 일반적으로 많은 부분이 불포화 지방산(올레익, 리놀레익과 리놀레닉 산) 으로 이루어진 혼합물이고 동물성 지방산의 경우 다양한 포화(스테아릭, 팔미틱 산) 및 불포화(올레익 산) 지방산의 혼합물이다.

Table 3. The structure of some fatty acids normally found in deinking aids

Fatty acid	Structure	Short name	Melting point
Palmitic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{CO}_2\text{H}$	C16:0	63 °C
Stearic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{CO}_2\text{H}$	C18:0	69 °C
Palmitoleic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$	C16:1	0 °C
Oleic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$	C18:1	13 °C
Linoleic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$	C18:2	-5 °C
Linolenic acid	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$	C18:3	-11 °C

지방산은 카르복실산의 음이온 염의 형태로, pH와 용액 내의 다양한 이온의 종류에 따라 특성이 영향을 받게 된다. 산의 형태에서, 지방산은 물에 거의 불용성이지만 pH증가를 위해 알칼리를 첨가함에 따라 지방산은 물에 용융되는 지방산 염의 상태로 전환된다. 칼슘이온이 존재하면, 지방산 염은 상대적으로 물에 불용성인 칼슘 지방산 염을 형성한다. 칼슘염은 탈묵공정의 부유부상 셀에서 우수한 잉크 콜렉터 역할을 하는데, 이는 칼슘염이 잉크 응집체의 표면 에너지와 크기에 영향을 미치기 때문이다. 지방산 염이 펄핑 공정에 투입되기 전에 알칼리 조건에 의해 지방산 염을 형성하기도 하는데 이 경우 원하지 않는 응집에 따른 펄핑과 초지공정에서의 오염문제를 유발하기도 한다. 일반적으로 펄퍼에서의 지방산 첨가수준은 3-7kg/ton이고 부유부상 셀에서는 2-4kg/ton이 된다.

다량의 신문폐지를 사용하는 미국의 경우 지방산 단독 보다는 합성 계면활성제나 지방산과 계면활성제의 혼합물을 사용하는 추세이다. 합성 계면활성제가 포집력이 더 우수하고 잉크 박리와 잉크 분산에 있어서 필요한 표면 특성 개질에 보다 효과적이기 때문이다.

합성 계면활성제

일반적으로 비이온성 합성 계면활성제가 직접 사용되거나 복합 탈묵제의 한 성분 또는 혼합물로 사용된다. 탈묵제에 있어서 일반적인 합성 계면활성제는 에톡실레이트 (EO)와 프로폭실레이트(PO) 지방산 또는 지방알콜들이다. EO 및 PO 단위의 분포와 수에 따라 계면활성제의 특성이 달라진다.

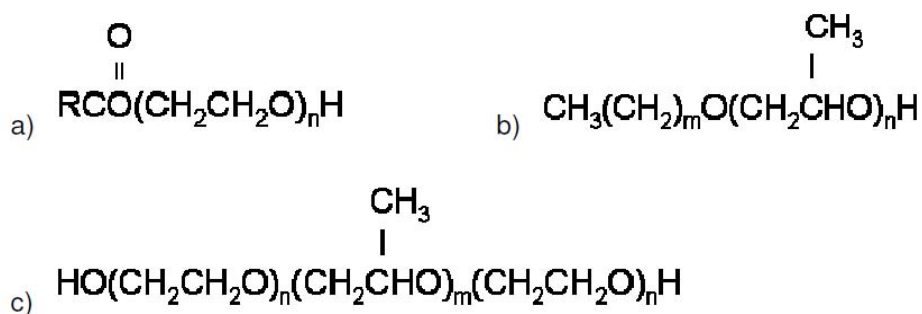


Fig. 24. a)Ethoxylated fatty acid, b)propoxylated fatty alcohol and c) EO-PO block polymer.

탈묵제로서 합성 계면활성제 사용 시 고려사항은 사용하고자 하는 재생 고지의 타입에 따른 HLB (Hydrophile lipophile balance-계면활성제 1분자 내의 친수기와 친유기의 비율) 값과 공정 온도이며, 이 인자들은 계면활성제의 특성과 적용 범위를 결정하는 일차적인 인자이다. 온도는 계면활성제의 미셀형성과 같은 담점(cloud point)에 관여하여 계면활성제의 계내 분포에 영향하게 때문이다.

혼합형

모든 공정과 조건에 맞는 한 가지 계면활성제는 존재하지 않으며, 이는 펄퍼 및 부유부상 셀에서 탈묵을 위해 요구되는 역할이 다르기 때문이다. 펄퍼의 경우 잉크의 박리와 잉크의 분산이 주요 인자이며, 부유부상 셀에서는 잉크의 소수화, 응집과 포집 및 기포의 발생이 중요한 인자이다. 지방산-계면활성제 복합체는 요구되는 특성에 따라 지방산 과 계면활성제의 비율을 달리할 수 있는 장점을 가진다. 일반적으로 1-3kg/ton이 사용된다.

무기 개질 입자

부유부상 셀에서 잉크 포집성을 개선하기 위해 (Rosencrance, 2007), 펄퍼에 소수화된 무기 입자를 투입하는 기술이 개발되었다. 이 입자는 잉크와 같은 소수성 입자를 포집하고 선택적으로 부유부상 탈묵을 선택적으로 개선하면서 잉크의 재 흡착을 감소시키는 것으로 나타났다.

효소

섬유 표면의 잉크 입자를 효소를 이용하여 박리시키는 방법 또한 사용되고 있다. 셀룰라아제와 헤미셀룰라아제는 섬유 표면을 개질하여 잉크의 박리를 개선시킨다. 리파아제의 경우 목재에서 기인한 지방산과 레진 상의 물질 또는 잉크에서 기인한 캐리어 등을 공격한다고 알려져 있으며, 락카아제의 경우 섬유 표면의 리그닌을 개질하는 것으로 알려져 있다.

효소의 경우 환경적인 측면에서는 매우 좋은 탈묵제이나 온도와 pH에 매우 민감하기 때문에 상업적 사용에는 제한적이다. 효소의 탈묵제로서의 이용에서 효소에 의한 섬유 개질 및 미세분의 제거에 의해 제품의 강도 향상 및 탈수성 개선과 같은 부파적인 효과를 나타내기도 한다.

탈묵제 선택에 있어서 주요 고려사항

재활용의 원료가 되는 종이의 특성과 사용된 인쇄의 종류에 따라 탈묵성이 달라지기 때문에 폐지의 특성이 탈묵제 및 탈묵공정의 선택에 있어서 매우 중요한 인자이다.

아래 표에서 나타낸 바와 같이 재활용 원료인 폐지는 사용 용도에 따라 펄프 및 제조 방식이 다르고, 인쇄 방식이 다르기에 이에 따라 탈묵의 방식도 달라야 한다.

Table 4. General information about newsprint, magazine and fine paper (modified from Eklund and Lindström 1991)

Raw material	Fibre type	Filler content (%) [*]	Printing method	Deinking method	DIP end-use
Newspaper	100% MP or RCF	0-15 ^{RCF}	Offset, flexo	Flotation	News
Magazine					
-SC	50% MP, 25%BKP (SW)	0-40 ^{CC, k}	Offset, roto	Flotation	News
-LWC	50% MP, 50%BKP (SW)	20-45 ^{CC, k, Ti}	Offset, roto	Flotation	News, Magazine
Fine paper	85% BKP (HW&SW)	12-45 ^{CC, k, Ti}	Offset, electro, ink-jet	Flotation, washing	Tissue

^{*}Total filler amount, i.e. base paper + coating filler content (% of final paper)

SC= supercalandered, LWC= light-weight coated

RCF= recycled fibre, MP=mechanical pulp, BKP=bleached kraft pulp (chemical pulp), UBKP= unbleached kraft pulp, SW=softwood, HW=hardwood,

^{RCF}= filler from RCF up to 12%, ^k= kaolin, ^{CC}=calcium carbonate, ^{Ti}=TiO₂

II. 본 론

1. 65g/m² 신규 교과서 용지의 시험생산 및 물성분석 결과

Table 5에 나타낸 바와 같이 기존 평량 75g/m² 친환경 교과서 용지의 규격을 참고하여 신규 친환경 교과서 용지 (65g/m²)의 1차 규격안을 마련하고 한솔제지 장항공장, 전주페이퍼 전주공장 및 대한제지에서 시험생산을 실시하였다. Fig. 28, 29에는 각각 한솔제지 장항공장과 전주페이퍼 전주공장에서의 시험생산 광경을 나타내었다.

Table 5. 신규 친환경 교과 용지의 규격안

항목	평량	두께	인장 (MD)	인열 (CD)	광택도		백색 도	불투 명도	색상			거칠음도		FI 지수	재생 필프
					T	B						T	B		
단위	gsm	um	kN/m	mN	%		%	%	L	a	b	um		-	%
현행	75 ±3%	72 ±3	3.2↑	200↑	23 ±3	23 ±3	78 ±2	90↑	93 ±0.7	0 ±0.4	3.5 ±0.4	2.5 ±0.5	2.5 ±0.5	4↓	30↑
1차 안	65 ±3%	68 ±3	2.7↑	200↑	15 ±3	15 ±3	78 ±2	90↑	92 ±0.7	0 ±0.4	1.5 ±0.4	3.5 ±0.5	3.5 ±0.5	5↓	30↑



한 솔

Fig. 25. 한솔제지 장항공장에서의 시험생산 환경.



전주

Fig. 26. 전주페이퍼 전주공장에서의 시험생산 광경.

인쇄용지의 광학적 특성을 측정한 백색도 측정기와 광택도 측정기와 인쇄용지의 두께와 표면 거칠음을 측정하는데 사용한 micrometer와 parker print surf를 Fig. 30에 나타내었으며 Fig. 31에는 인쇄용지의 인장강도와 인열강도를 측정한 인장강도시험기와 인열강도시험기를 나타내었다.



Fig. 27. 백색도 측정기(좌상)와 광택도 측정기(우상), micrometer(좌하)와 parker print surf(우하).



Fig. 28. 인쇄용지의 인장강도와 인열강도를 측정한 인장강도시험기(좌)와 인열강도시험기(우).

Table 6에는 한솔제지와 대한제지, 전주페이퍼의 3개사에서 시험생산한 신규 친환경 교과서 용지(65g/m^2)의 물성 분석결과를 나타내었다.

Table 6. 3개 제지사 시험생산 신규 친환경 교과서 용지 물성 분석결과

제조사	평량 (gsm)	두께 (μm)	인장 (MD, kN/m)	인열 (CD, mN)	광택도(%)		백색도 (%)	불투 명도 (%)	색상			거칠음도 (μm)		FI지수
					Top	Bottom			L	a	b	Top	Bottom	
한솔제지	67.3	67	3.65	280	17	16	77.63	91.12	92.2	0.06	2.92	3.7	3.6	1.36
대한제지	66.5	71.9	3.04	480	15.7	15.4	77.25	90.91	91.65	0.34	1.96	4.0	3.6	3.28
전주페이퍼	67.2	73.4	2.88	287	18.4	17.3	76.69	90.55	90.86	0.33	1.67	3.7	3.2	0.46

시험생산한 인쇄용지 3종의 두께를 살펴보면 Fig. 29에 나타낸 바와 같이 대한제지와 전주페이퍼의 시생산품이 다소 두꺼운 경향을 보였다. 이

처럼 종이의 두께가 다소 두꺼움에도 불구하고 Fig. 39와 40에 나타난 바와 같이 표면 거칠음도가 양호한 점을 감안하면 신규 친환경 교과서 용지 (65g/m²)의 규격안으로 두께를 $68 \pm 3 \mu\text{m}$ 로 정하는데 별 무리가 없을 것으로 판단된다.

Fig. 29. 시험생산한 인쇄용지 3종의 두께 측정결과.

Fig. 30과 31에는 시험생산한 인쇄용지 3종의 기계방향 인장강도와 기계폭방향 인열강도 측정결과를 나타내었다. 초지와 인쇄시의 지절은 생산성 또는 운전성의 저하를 야기하므로 최소화해야 한다. 초지 시 섬유 특성, 미세분의 종류 및 함량에 따른 인장 특성 및 파괴 특성에 관한 연구에 따르면 Sw-BKP의 경우 섬유의 파괴가 유도되고, Hw-BKP의 경우 결합면의 파괴가 유도되는 것으로 나타났으며, 미세분 특성에 따른 시험결과 섬유 간 실제적 결합이 유도되는 경우 파괴 인성이 향상되는 것으로 나타났다.

초지와 인쇄, 가공공정 중의 운전성(runnability)은 항상 제지산업의 관

심사항이었다. 지절은 상당히 하찮은 원인으로부터 비롯되기도 하는데 롤지의 경우 기본적으로 운반과 취급 시에 손상을 입어 지절이 유발될 수 있다. 또한 물과 직접 접촉하거나 급격한 온도변화에 의해 용축수에 직접 접촉하여 손상을 입는 경우도 지절이 일어날 수 있고 스프라이싱(splicing) 중에 테이프가 잘못 접착되는 경우도 지절이 일어난다. 그러한 많은 원인들은 제지공장을 깨끗하게 하고 작업장 바닥을 청소하고 정리하면 극복할 수 있으며 이에 따라 운전성의 향상도 가능하다. 아울러 종이가 이송되고 운송되는 경로를 따라 점검하고 규정을 세워 지키는 노력이 필요한데, 운송하는 컨테이너 바닥에 자갈을 피하고, 트럭에서 종이를 묶는 조임압력(clamping pressure)을 적절히 조절해 주어야 한다. 그러나 아무리 조심해도 지필에 손상된 부분이 있거나 약한 지점이 항상 있다. 따라서 지필에 가하는 인장하중 조건에서 지절발생이 예측되는지 분석할 수 있는 고려가 필요하다. 종이의 운전성을 향상시키기 위해서는 종이의 인장강도, 인열강도 또는 파괴인성을 증가시키면 될 것이라는 가정 하에서 본 사업에서는 인장강도와 인열강도를 측정 비교하였다. 측정결과 3개 시험생산 시료 모두 강도 규격안을 만족시키는 것으로 나타났다. 재생펄프를 배합하는 경우 종이의 강도가 저하되기 마련인데 이처럼 규격안을 모두 만족시키는 데에는 다음과 같은 해석이 가능하다.

종이의 많은 특성은 섬유간의 결합특성에 좌우된다. 최근 들어 기자재의 발달과 함께 섬유간의 결합에 대한 이해가 향상되었다. 섬유간의 접촉형성, 섬유-섬유간의 결합형성, 분자적 접촉(molecular contact), 섬유-섬유간의 표면결합 메카니즘, 결합부분의 특성, 결합강도와 종이강도의 상호관계 등에 대한 이해를 바탕으로 종이의 강도를 해석할 수 있다.

종이의 건조 강도를 단순화시켜 이해한다면 섬유강도와 길이, 섬유 결합(fiber bond)의 강도(즉 specific bond strength(SBS)와 상대결합면적(RBA)), 지합, 응력 분포 - 잔여 응력(residual stresses)과 같은 영향인자에 의해 결정된다고 볼 수 있다.

종이의 강도 개선을 위하여 첨가제를 활용하기도 하는데 일반적으로 시

판되는 건조지력 증강제의 첨가효과는 섬유의 고해효과보다 작다. 따라서 건조지력 증강제를 평가할 때는 지합, 미세분 보류도, 습윤압착을 일정하게 유지하는 데에 유의해야만 한다. 지합은 강도에 큰 영향을 끼치므로 주의해야 하는데, 많은 건조지력 증강제가 양성(cationic)을 띠고 있어서 보류가 변하고, 또 그에 따라 지합이 악화되기 때문이다.

약한 결합(weak bond)의 경우 섬유와 섬유의 인터페이스에서 섬유표면에 손상을 입히지 않고 파괴된다고 하며 강한 결합(strong bond)의 경우 한쪽 또는 양쪽 섬유표면에서 마이크로 피브릴이 뜯겨져 나오면서 파괴된다고 한다. 가장 강한 결합의 경우에는 한쪽 또는 양쪽 섬유의 표면에서 S1-S2 인터페이스에서 파괴가 일어나며, S1층에 상당한 전단(shearing)이 일어난다고 한다.

건조지력 증강제가 섬유벽 내(act internally in the cell wall of fibers)에서 작용을 하는 것인지, 섬유표면에서 흡착을 돕는 것인지 아주 명확치는 않지만, 일반적인 현상(고분자량의 건조지력 증강제의 강도향상 효과가 더 큼, 용액내로 더 뺏어나간 저전하밀도의 PAM가 고전하밀도의 PAM보다 효과가 큼)을 관찰해 볼 때, 표면 흡착(surface adhesion) 메카니즘으로 추정된다.

비결합강도(specific bond strength)는 향상시키나 상대결합면적(RBA)을 증가시키지 않는 지력증강제는 두께가 유지되나, 상대결합면적을 증대시키는 지력증강제는 밀도가 증가한다. 고해처리에 의하면 밀도가 상승하므로, 불투명도와 두께가 중요한 지종에서는 오히려 비결합강도를 향상시키는 지력증강제가 유리한 경우가 있다.

건조지력 증강제는 섬유의 유연성에는 영향을 끼치지 않으며, 결합강도와 습지형성(consolidation)에 영향을 끼친다. 어떤 지력증강제는 건조공정 중에 응력집중 현상을 감소시키는 효과가 관찰되므로 건조지력 증강제 작용에는 최소한 습지형성(consolidation)과 비결합강도의 향상, 종이 내에서의 응력집중 감소 효과 등의 3가지 메카니즘이 있다고 추정된다.

건조지력 증강제 개발에 최고의 목표는 고해공정의 완전한 대체이다.

그러면 CD방향의 지필수축이 감소되고, 종이 모서리 품질 향상, 표면 평활도 향상, 치수안정성 향상 등의 결과가 나타나게 된다. 섬유의 고해는 섬유팽윤의 증가가 야기되므로 습윤압착에 근본적인 저해가 된다. 고해공정을 지력증강제로 대체한다면 습윤압착 시 지필의 고형분 농도가 상승하고, 건조능력 한계의 초지기에 있어 생산성을 급격히 향상시킬 수 있다.

상기한 이유로 적절한 첨가제의 사용 등을 통해서 재생펄프의 약점을 보완할 수 있다고 판단된다.

Fig. 30. 시험생산한 인쇄용지 3종 기계방향 인장강도 측정결과.

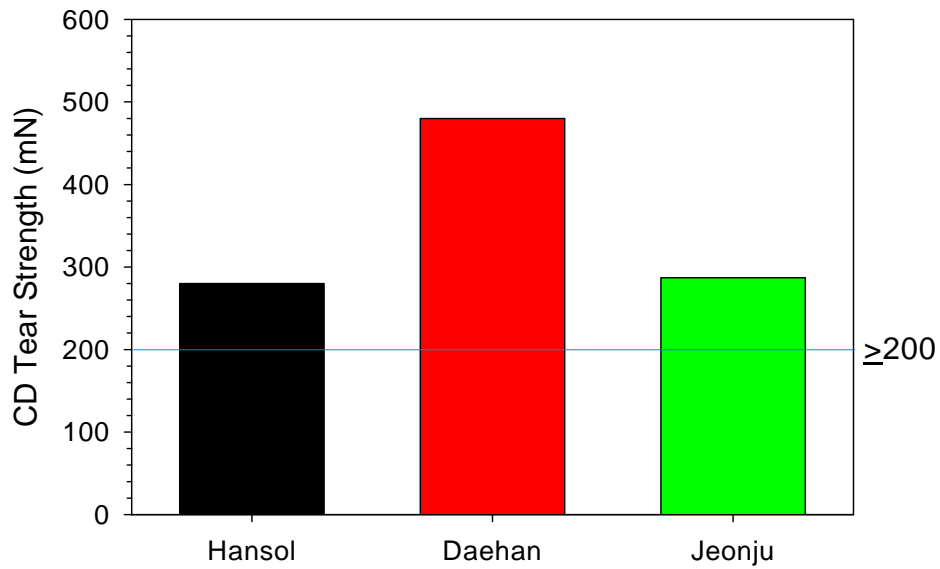


Fig. 31. 시험생산한 인쇄용지 3종 기계폭방향 인열강도 측정결과.

Fig. 32와 33은 시험생산한 인쇄용지 3종의 표면 및 이면 광택도를 측정한 결과이다. 그림에 나타난 바와 같이 신규 친환경 교과서 용지 (65g/m^2)의 규격안으로서 광택도를 $15\pm 3\%$ 로 정하는데 별 무리가 없을 것으로 판단된다.

Fig. 32. 시험생산한 인쇄용지 3종의 표면 광택도 측정결과.

Fig. 33. 시험생산한 인쇄용지 3종의 이면 광택도 측정결과.

Fig. 34와 35는 시험생산한 인쇄용지 3종의 백색도와 불투명도를 측정
한 결과이다. 그림에 나타난 바와 같이 신규 친환경 교과서 용지(65g/m^2)
의 규격안으로서 백색도를 $78\pm 2\%$ 로, 불투명도를 90% 이상으로 정하는
데 별 무리가 없을 것으로 판단된다.

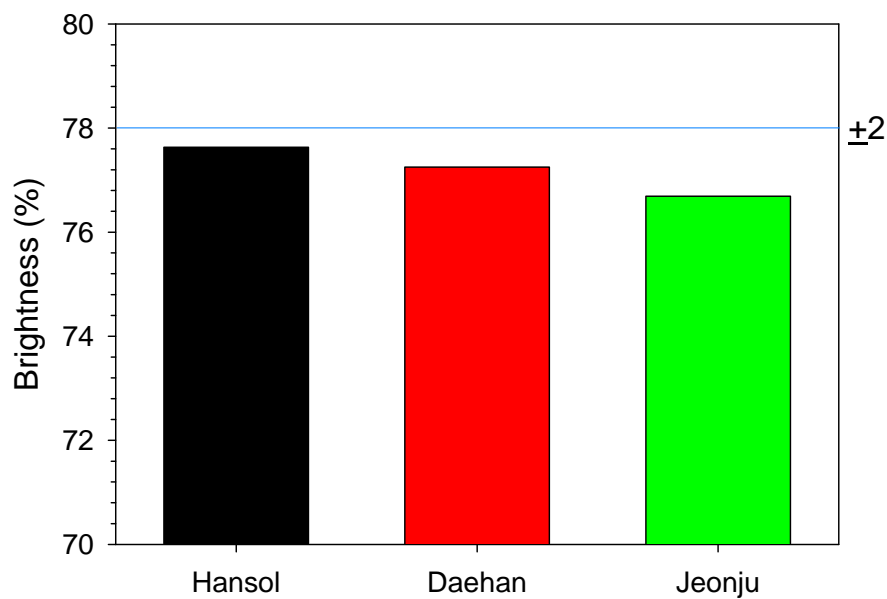


Fig. 34. 시험생산한 인쇄용지 3종의 ISO 백색도 측정결과.

Fig. 35. 시험생산한 인쇄용지 3종의 불투명도 측정결과.

Fig. 36~38은 시험생산한 인쇄용지 3종의 Hunter L*, a*, b* 값을 측정한 결과이다. 그림에 나타난 바와 같이 신규 친환경 교과서 용지 (65g/m^2)의 규격안으로서 Hunter L*, a*, b* 값을 Table 2와 같이 정하는데 별 무리가 없을 것으로 판단된다. 한솔제지 시산품의 경우 Hunter b* 값이 다소 높게 나타났으나 현장 작업자의 실수로 염료를 투입함에 따른 결과로 실제 생산 시 문제는 없을 것으로 여겨진다.

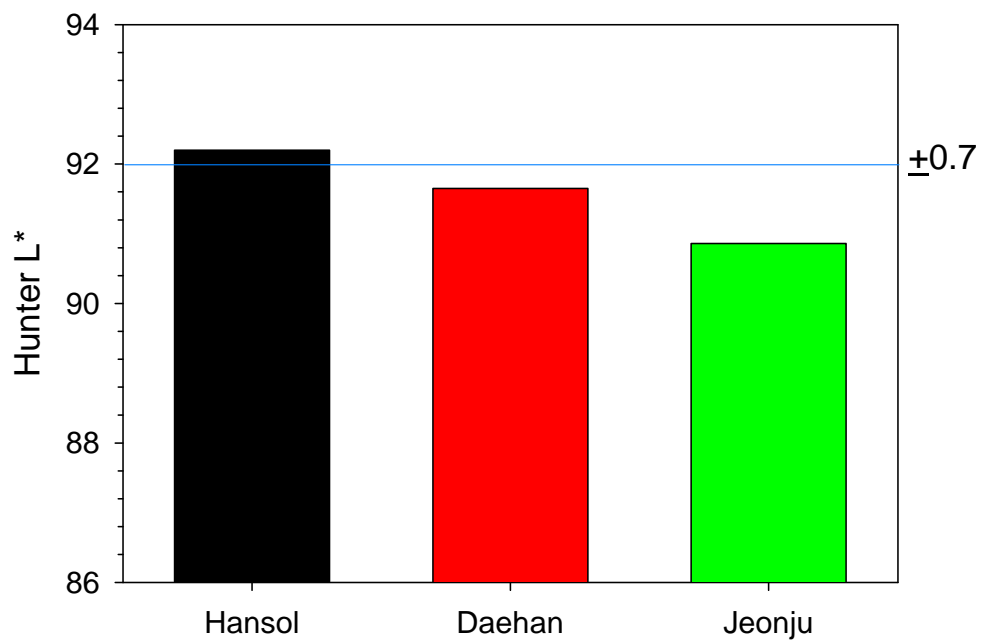


Fig. 36. 시험생산한 인쇄용지 3종의 Hunter L*값 측정결과.

Fig. 37. 시험생산한 인쇄용지 3종의 Hunter a*값 측정결과.

Fig. 38. 시험생산한 인쇄용지 3종의 Hunter b*값 측정결과.

Fig. 39. 시험생산한 인쇄용지 3종의 표면 거칠음도 측정결과.

Fig. 40. 시험생산한 인쇄용지 3종의 이면 거칠음도 측정결과.

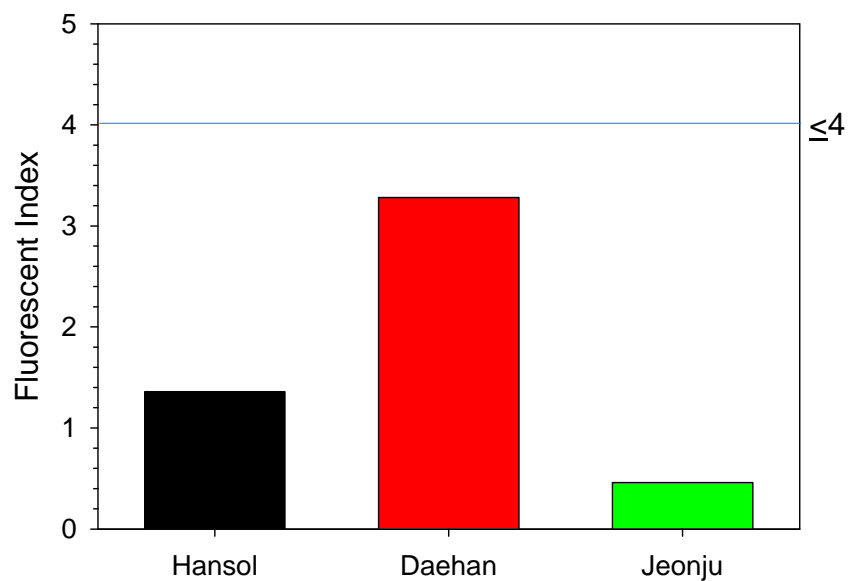


Fig. 41. 시험생산한 인쇄용지 3종의 형광지수 측정결과.

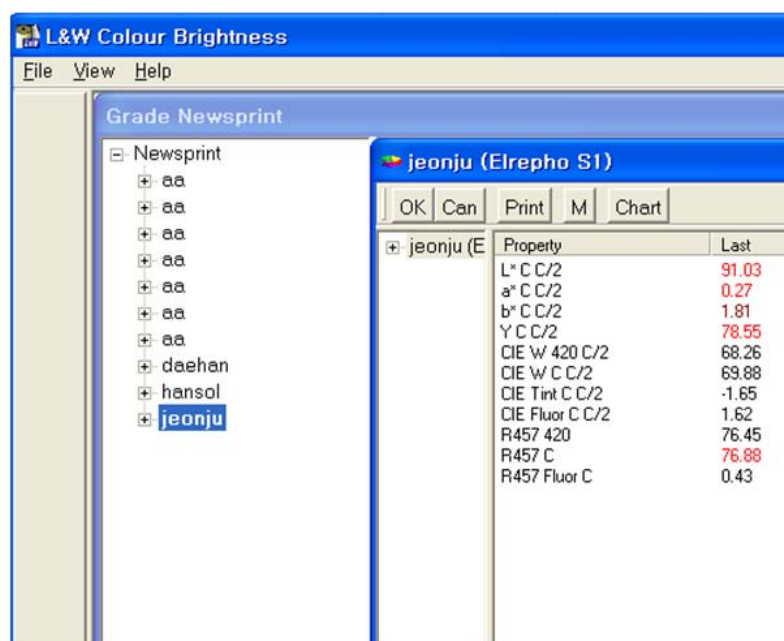


Fig. 42. 인쇄용지의 형광지수 측정조건 및 방법.

Fig. 41은 시험생산한 인쇄용지 3종의 형광지수를 측정한 결과이다. 그림에 나타난 바와 같이 신규 친환경 교과서 용지(65g/m^2)의 규격안으로서 형광지수를 4미만으로 정하는데 별 무리가 없을 것으로 판단된다. Fig. 42에는 인쇄용지의 형광지수 측정조건 및 방법을 나타내었는데 R 457 C값에서 R 457 420 값을 빼서 R 457 Fluor C를 구하는 것으로 확정하였다.

상기한 바와 같이 시산품들은 대부분의 규격안을 충족시키는 것으로 나타났다.

2. 인쇄물 품질

인쇄물의 품질 평가는 인쇄물의 품질(print quality)을 평가하는 방법은 각자의 기준에 의해 판단한 주관적인 방법과 계측기를 통한 객관적인 방법으로 평가 법을 구분하였다.

우선 주관적인 평가 방법은 연구자에 따라서 인쇄물의 품질 평가 기준은 다르다. 예를 들어 Rogers는 최종 인쇄물의 사용용도가 어디인가에 따라 그 평가 기준이 달라져야 한다고 정의하였으며, 다른 연구자들은 대부분 원고에 대한 복제물의 충실성, 교정쇄에 대한 충실성, 망점 재현력, 색상 균일성과 광택, 선예성과 뒤비침 등 다양한 관점에서의 접근이 시도되었다. 그러므로 인쇄적성 역시 어디에 기준을 두고 적성을 볼 것인가를 생각해야 한다. 이와 같은 인쇄물의 주관적 평가 방법을 행하는 이유는 관찰자의 판단 기준에 따라서 평가의 기준에 많은 차이를 보이기 때문이다. 주관적 평가의 결과는 실제로 인쇄물의 상품 가치를 결정하는 중요한 요소가 되는 반면에, 기계에 의한 평가 방법은 인쇄물의 품질 특성의 객관적 평가 요인이 되는 것이다.

객관적 평가 기준은 주로 미시각적인 대상을 평가하는 경우가 많다. 현재 많이 사용되는 것으로는 다음과 같은 방법들이 있다. 이와 같은 방법들을 인쇄 적성에서는 하나의 분야로 놓고 연구한다.

1. Densitometry : 반사, 투과형 농도계 및 필터 등을 이용하여 연구하는 방법
2. Micrometry : 광학 현미경, 전자 현미경 등을 이용하여 연구하는 방법
3. Colorimetry : 색채학적인 방법에 의해 연구하는 방법
4. Image analysis : 컴퓨터에 의한 화상 분석 방법

인쇄물의 품질은 일반적으로 객관적인 방법에 의한 평가가 실시되어진다. 인쇄기를 작동시키는 작업자의 기술도 중요하지만, 고객의 요구를 적

절한 수치로 표현하기 위해서는 단순히 작업자의 육안이나 작업자의 기술에 치우쳐서는 안 될 것이다. 따라서 이러한 인쇄물의 품질 평가를 가장 쉽고 가장 객관적인 방법으로 행할 수 있는 것이 농도계에 의한 농도법(densitometry)이다.

인쇄물의 농도는 인쇄된 면에서의 확산하는 빛을 측정하여, 그 반사율에 의한 값으로 정의하고 있다.

$$\text{농도(Density)} = \log_{10} 1/R \text{ (where } R = \text{Reflectance)}$$

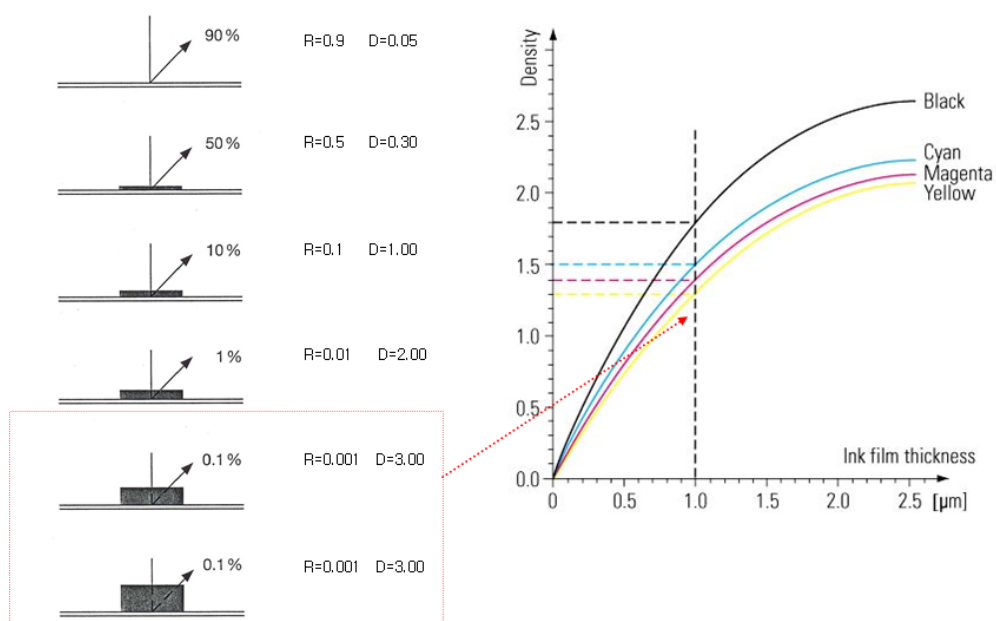


Fig. 43. 농도계의 측정 원리.

인쇄물의 뒤비침(print through)은 인쇄된 인쇄물의 이면에서 측정된 반사율 값으로 표시하며, 투묘효과와 관련 있다. 투묘효과란 다공성 재료에 침투되는 잉크 중의 비이클은 다공성 재료(종이)의 두께 및 횡 방향으로 일정한 부분까지 침투되어 정지, 정지한 위치에 따라서 인쇄물의 품질이 달라 질 수 있으며, 이러한 현상으로 다음과 같은 특성들이 나타난다.

1. 투묘효과(anchor effect) : 기계적인 방법에 의한 잉크 고착
2. 투묘점(anchor point) : 잉크의 침투에 의한 최대 깊이
3. 뒤비침(print through) : 잉크의 침투에 의한 뒷면의 비침 현상
4. 묻어남(rub off) : 인쇄물의 접촉과 마찰에 의한 내구적 강도
5. 뒤묻음(set off) : 인쇄된 화선이 적층된 인쇄물의 이면에 묻는 현상

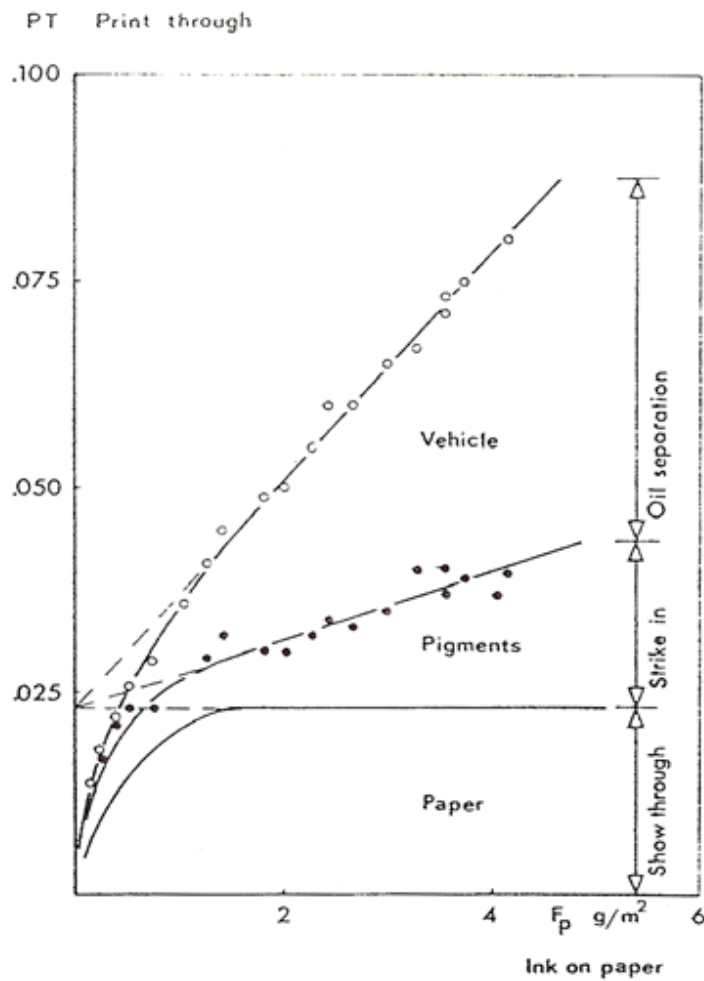


Fig. 44. 투묘효과.

잉크의 중첩특성(trapping)은 다색 인쇄에서 한 가지 색의 위에 다른 색을, 또는 한 잉크 필름 위에 다른 잉크 필름이 전이되어 서로 결합 되는 것을 말한다.

농도법에 의해 트래핑은 제1색의 인쇄물에 제2색을 중첩 인쇄한 것으로 색의 농도나 광택에 의해서 농도계로 측정하여 광학적으로 트래핑을 표현한다. 잉크 트래핑은 민판 영역에서 각각의 색상에 대한 민판 농도로 부터 계산된다.

일반적인 2색 또는 3색 중첩 인쇄에서 트래핑은 컨트롤 스트립에 중첩된 상태를 보고, 그 부분에서 잴 수 있으며, 척도는 첫 번째 잉크 위에 두 번째 잉크가 얼마나 중첩되는지의 %를 가지고 계산한다. 그 식은 다음과 같다.

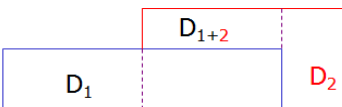
$$\text{Trapping} = \{(D_{1+2} - D_1) / D_2\} \times 100 (\%)$$


Fig. 45. 잉크 중첩성

망점 인쇄부의 확대(dot gain)는 민판 농도와 하프톤 농도 값을 측정한 것으로부터 인쇄물의 망점 확대(dot gain)와 콘트라스트를 계산할 수 있다. 단, 측정기는 항상 영점 보정을 해야 한다.

민판 인쇄의 농도를 D_s (solid의 농도란 뜻임), 하프톤의 농도를 D_H (half-tone의 농도라는 뜻임)라고 하고, 그 두 농도 값이 구해지면, 인쇄물에서 하프톤값 (halftone value), HVP는 Murray- Davies의 식에 의해 계산하면 다음과 같다.

$$HV_P (\%) = \{(1 - 10^{-D_H}) / (1 - 10^{-D_S})\} \cdot 100$$

그리고, dot gain DG(%)는 인쇄물에서 HV_P 값과 이미 알고 있는 HV_0 값의 차가 된다.

$$DG = HV_P - HV_0$$

각 컬러에 대하여 25%, 50%, 75%의 망점으로 재현된 영역에 대하여 측정함으로써 톤의 재생 품질을 확인 할 수 있다.

4색 인쇄에서 3개의 프로세스 컬러, Cyan, Magenta, Yellow 사이의 도트 게인 밸런스는 그레이 밸런스와 함께 피부색, 풀잎 색, 하늘색과 같은 오버 프린트 컬러 유지에 매우 중요하게 작용한다. 예를 들어 과도한 마젠타 도트 게인은 피부색을 붉게 함으로 마젠타 잉크 농도를 줄이면 레드 색 차와 매치가 되지 않으며, 검정색이 많이 분포하는 로 키(low-key)에서 도트 게인이 지나치면 정밀한 표현이 어렵게 된다. 또한 하이라이트에서 도트 게인이 과도하면, 파스텔 색조로 나타난다.

다음은 전형적인 도트 게인 값을 나타내고 있으며, 국내의 경우 50%에서 통상 16~18%의 도트 게인 값을 많이 사용한다.

Table 7. 전형적인 도트게인(dot gain) 비율

	Bk	Cyan	Magenta	Yellow
Sheet-fed, Offset	22%	20%	20%	18%
Web-Offset, Magazine	26%	22%	22%	20%
Non-Heat set Web, Newspaper	32%	30%	30%	28%

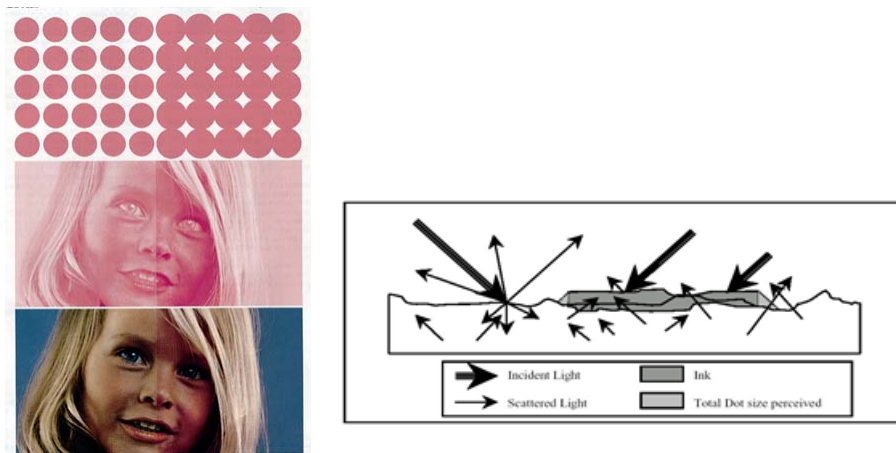


Fig. 46. 망점 확대(dot gain).

인쇄물의 품질 평가와 문제점 분석 및 인쇄 적성을 관찰하기 위한 방법 중, 인쇄물의 상태를 현미경이나 확대경으로 확대하여 연구하는 방법을 Micrometry(측미법)이라고 한다.

이 방법은 잉크와 용지, 인쇄 기계 및 인쇄판 등의 적성을 분석학적으로 연구하는데 대단히 유효하다. 현재 현미경의 종류와 기능이 대단히 많고, 또 그 가격도 저렴해졌기 때문에 인쇄 적성의 연구에 점차 사용의 빈도가 확대되고 있는 실정에 있다.

Micrometry는 투과형과 반사형의 두 가지로 나눌 수 있으며, 다음과 같은 방법이 많이 사용된다.

1. 확대경(10 - 50배 정도)에 의한 인쇄 상태의 관찰
2. 현미경(100 - 2000배 정도)에 의한 망점의 변형 상태를 관찰하는 방법
3. 전자 현미경(3000 - 수십만배 이상)에 의한 재료의 구성 입자들 간의 상태를 관찰하는 방법이다.

잉크 중의 안료가 종이의 어느 부분까지 침투해 있는지, 혹은 종이의 섬유소와 첨가된 첨가제를 확인하는 데에 유용하게 사용된다.

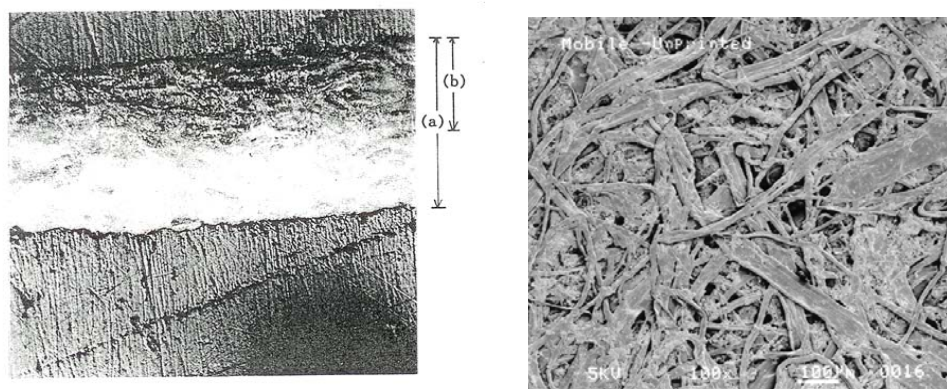


Fig. 47. 잉크의 침투 깊이와 종이의 표면

인쇄된 면의 잉크 농도는 재현작업이나 인쇄공정에서 민판인쇄물의 색 농도(density), 뒤비침(print through), 잉크의 중첩특성(Tripping), 망점부

의 확대(dot gain) 등으로 관리하거나, 인쇄물의 객관적인 평가를 실시하고 있으며, 현재 가장 많이 사용되고 있는 방법이다. 따라서 본 연구에서도 이와 같은 농도법을 이용한 객관적인 평가방법을 수행하였다.

본 연구에서 인쇄 적성 시험기는 IGT printability tester (model C1, Netherlands)를 사용하였다. IGT printability tester는 다른 testing system 보다 인쇄 속도, 인쇄 압력, 잉크 량을 동일 조건하에서 실험할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

IGT의 인쇄적성 실험 조건은, 실제 인쇄기에서 판의 역할을 하는 35 mm 넓이의 rubber disc로 시료 전면에 solid 인쇄하였다. 인쇄 속도는 1 m/sec, 압력은 200 N으로 하였으며, 인쇄 환경은 22.7 °C, 습도 50.7 %로 고정하였다.





Fig. 48. IGT Printability Tester.

친환경 인쇄용지를 제조하기 위해서는 재생펄프의 사용이 필수적일 것이다. 이러한 재생펄프를 사용한 대표적인 제품이 바로 신문용지로서, 소비자가 생각하는 백색도가 높고, 백감도가 우수한 좋은 종이의 개념에서 상당히 멀어진다. 하지만 너무 밝고, 하얀 종이의 경우 종이 자체의 광택에 의한 눈부심과 같은 광학적인 특성으로 인하여 오히려 가독성이 떨어지는 경우도 발생한다. 또한 인쇄된 면에도 영향을 주어 화선주변이 실제와 다르게 다소 커져 보이는 광학적 망점확대와 같은 사고를 야기하기도 한다. 따라서 꼭 재생펄프를 사용하는 인쇄용지가 질이 떨어질 것이라는 견해가 있을 수 있으므로, 이러한 부분에 대하여 기존의 인쇄용지와 비교 검증이 되어야 할 것이다.

그러므로 기존용지와 재생 펄프를 포함한 친환경 용지에 대하여 인쇄물의 색 농도, 트래핑, 뒤비침 그리고 망점확대와 같은 인쇄물 품질에 대하여 평가한 결과를 기술한다. 다만 여기서는 모든 품질항목을 포괄하지는

않는다. 더욱이 인쇄품질은 종이 이외에도 잉크, 습수, 사용된 인쇄기계와 같은 여러 인쇄조건에 영향을 받기 때문에 절대적으로 용지에 의한 차이는 아니라는 것을 염두에 두어야 한다.

2.1 인쇄물의 색 농도

2.1.1 인쇄적성 시험에 의한 색 농도

인쇄물의 색 농도는 Black 잉크에 대한 평가를 실시하였다. 동일한 잉크 량(0.5 cc)을 공급하였을 때, 나타나는 빛의 반사율을 측정하여 그 값을 역대수 함수로 나타낸 값이 인쇄물의 색 농도이다. Table 8에 본 실험에 의한 잉크 색 농도 결과 값을 표시하였다.

Black 잉크에 대한 색 농도 값을 Fig. 49에 나타내었다. 친환경 용지의 인쇄물 색 농도 값이 기존용지에 비하여 조금 낮게 나타난 경향을 보여주고 있다. 재생펄프를 포함하지 않은 고급인쇄용지의 경우, 같은 평량으로 만들어진 용지에서도 다소 우의를 나타내고 있지만 육안에 의한 구분은 거의 유사한 것으로 나타났다. D-65의 경우에서 다소 높은 농도 값을 나타내고 있다. 이것은 용지내부로 잉크가 침투되는 량이 상대적으로 적어 표면에 많은 잉크가 잔류하였거나, 공급된 잉크 량이 상대적으로 많았기 때문으로 판단된다.

Table 8. 각 용지별 Black 잉크 색 농도

Sample	Black
H-65	1.981
J-65	1.991
D-65	2.156
RA-75	1.988
RB-75	1.983
RC-75	2.110
HQ-A-75	2.022
HQ-B-75	1.900
HQ-C-75	2.240

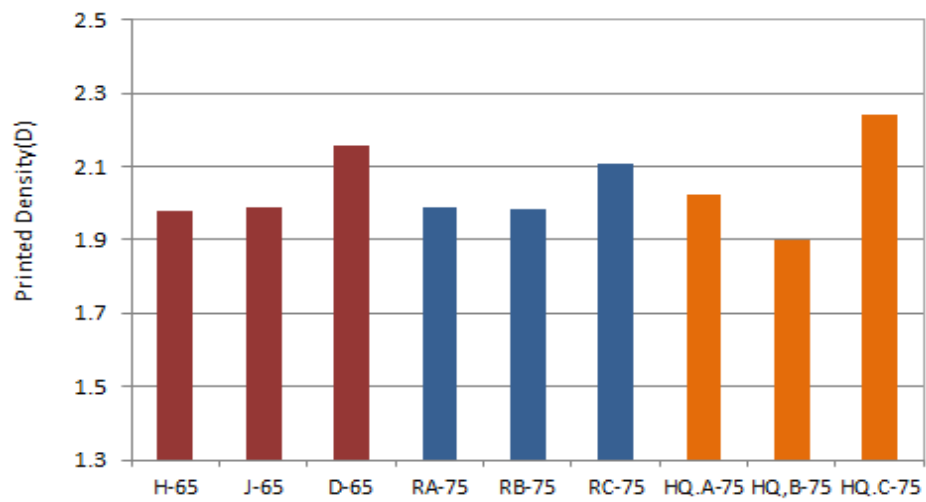


Fig. 49. Black 잉크의 색 농도 값.

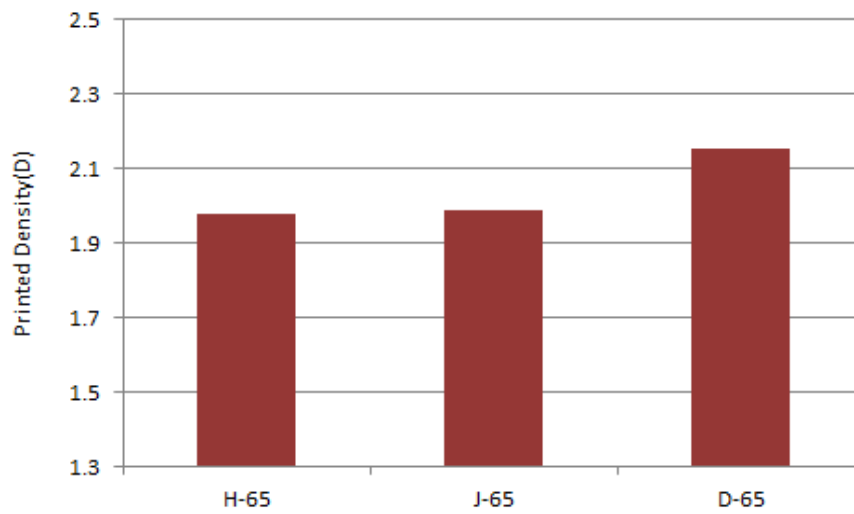


Fig. 50. 65 g/m² 평량의 용지에 대한 잉크 색 농도 값.

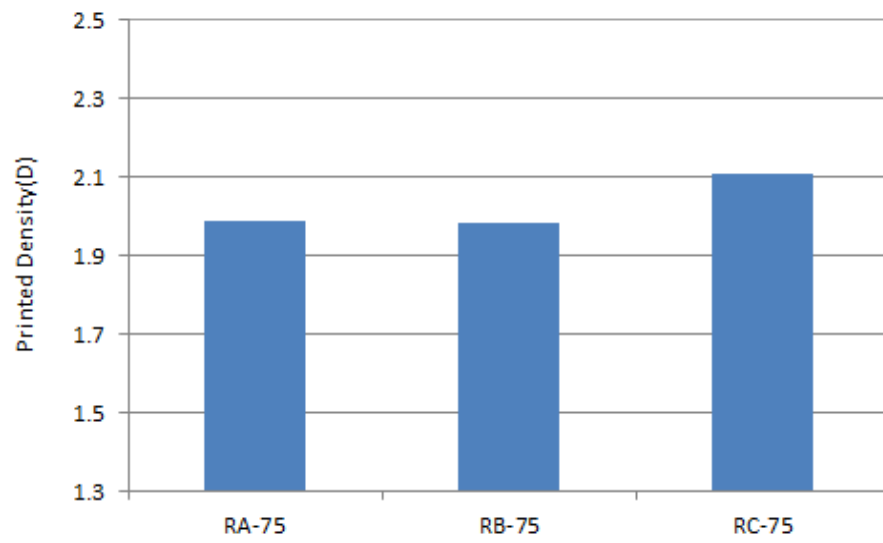


Fig. 51. 75 g/m² 평량의 재생펄프를 포함한 용지에 대한 잉크 색 농도 값.

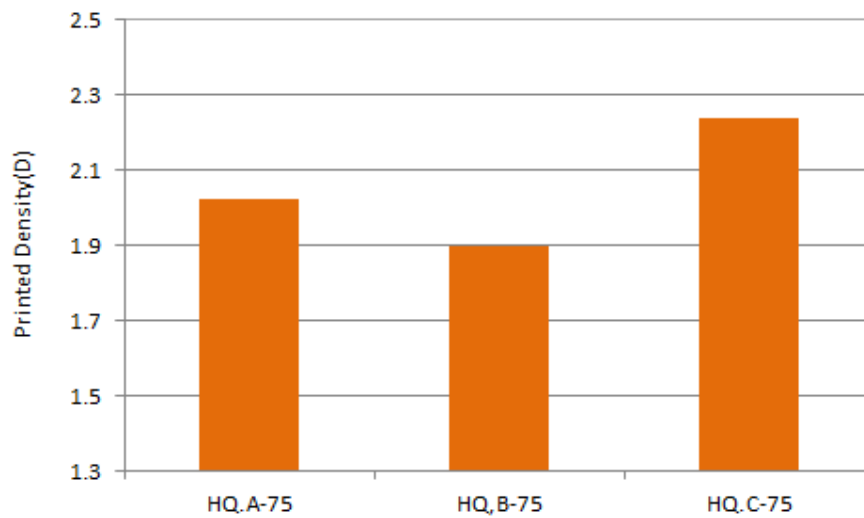


Fig. 52. 75 g/m² 평량의 고급인쇄 용지에 대한 잉크 색 농도 값.

Fig. 50은 재생펄프를 포함하며 평량이 65 g/m²인 용지에 대한 잉크 색 농도 값을 나타낸 것으로, D-65가 다소 높게 나타났다. 이것은 공급된 잉크에 대하여 전이량이 많아졌기 때문으로 다양한 종이의 특성에 따라 기인한 것으로 판단된다. 하지만 육안에 의한 평가에서는 그 차이를 느끼지 못하였다. Fig. 50과 Fig. 51에서 나타낸 것과 같이 잉크 색 농도 값은 유사한 경향을 보여주고 있다. 하지만 Fig. 52에서와 같이 고급인쇄 용지의 경우 HQ-B-75 시료에서 다소 낮은 값을 나타내고 있지만, 이것은 ΔE 의 오차가 0.1 이내로 육안 관측 시 큰 차이가 없음을 나타내고 있다. 따라서 시험 인쇄에 의한 결과 값을 비교해 본 결과 친환경 용지에서 Black 잉크의 농도 값이 다소 낮은 값을 나타내고는 있지만, 기존 용지에 비하여 상이한 차이를 가지지 않는 것으로 나타났다.

2.1.2 실 인쇄 시험에 의한 색 농도

재생펄프를 포함한 제조사별 다른 평량의 시료에 대한 실 인쇄 실험 결과 값을 Table 9에 나타내었다. 기존의 평량 75 g/m²으로 제조된 시료에서 잉크의 색 농도 값이 다소 적게 나타남을 알 수 있었다. D사의 75 g/m²의 경우에서 반대의 경향을 나타내고 있다. 이와 같이 다른 시료에 비하여 다소 높은 농도 값을 나타내고 있는 이유는 제조사의 비목재 성분 첨가에 따른 차이로 판단된다. 하지만 평량 65 g/m²과 75 g/m²의 색 농도 차이는 상이하게 큰 차이를 나타내고 있지 않다는 것을 알 수 있다. 더욱이 육안 구분에 의한 색 농도 차이는 거의 느끼지 못하기 때문에 65 g/m²의 제조에 따른 인쇄물의 색 농도 편차는 심하지 않을 것으로 생각되어진다.

Table 9. 실 인쇄 실험에 의한 각 용지별 오렌지색과 짙은 군청색의 색 농도

Sample	Orange	Ultramarine
H-65	0.512	1.342
J-65	0.498	1.362
D-65	0.503	1.342
H-75	0.493	1.298
J-75	0.478	1.317
D-75	0.525	1.435

아래의 Fig. 53은 실 인쇄 시험에 대한 각 시료들의 Orange 색상에 대한 농도 값을 나타내고 있다. 평량이 65 g/m²로 상대적으로 낮은 교과서 용지에서 색 농도가 균일하게 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 서로 다른 두 평량을 가진 용지의 평균값을 비교해 보면 0.006 정도의 편차를 나타내고 있으며, 그 값으로 미루어 볼 때, 상호간의 색 농도 오차는 거의 나타나지 않는 것으로 판단된다. 또한 제조사가 다른 것을 감안해 볼 때 용지에 투입된 첨가제의 종류에 영향을 받은 것으로 판단되며, 상호 간의 색 농도 값은 상이하지 않음을 알 수 있었다.

Fig. 54에 Ultramarine 색상의 색 농도 값을 비교해 보았다. D-75 시료에서 가장 높은 농도 값을 나타내고 있으며, 65 g/m²의 평량을 가진 재생 용지에서는 색상 농도 값의 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 평량이 서로 다른 용지 사이의 평균 색상 오차 값은 0.002로 거의 동일한 값을 보여주고 있다. Orange 색상과 비교해 볼 때 거의 동일한 색상 농도 값 본포를 각각의 시료들에서 나타내고 있음을 알 수 있었으며, D-75에서의 영향은 Orange에서 나타난 이유와 동일할 것으로 판단되며, 만약 과잉의 잉크 공급에 따른 결과라면 뒤비침과 같은 문제가 발생할 수 있는 요자가 많을 것으로 판단된다. 하지만 짙은 색의 경우에는 색상이 옅은 것에

비하여 그 편차를 육안으로 확인할 수 있는 확률이 떨어진다는 점을 감안할 때, 각기 다른 평량을 가지는 교과서 용지 상호간의 편차는 거의 없는 것으로 판단해도 무방하다.

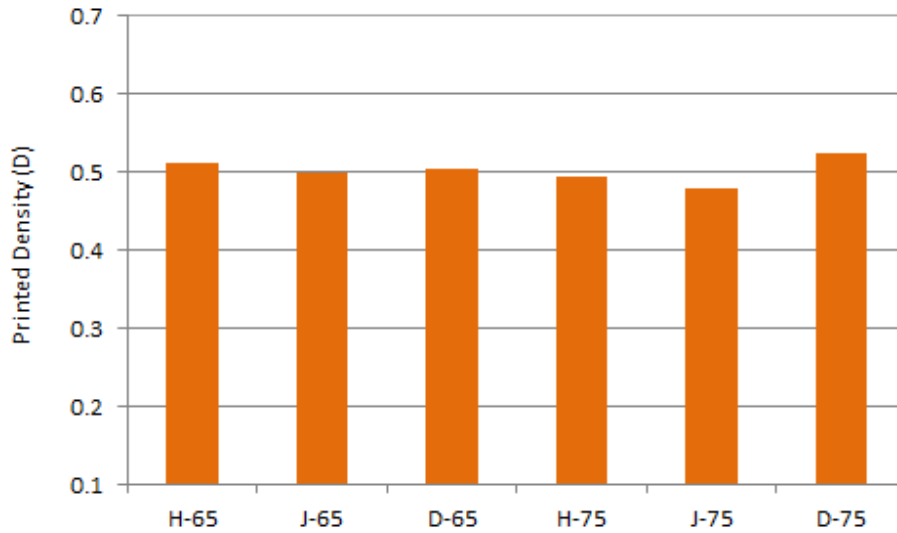


Fig. 53. Orange 색상의 농도 값.

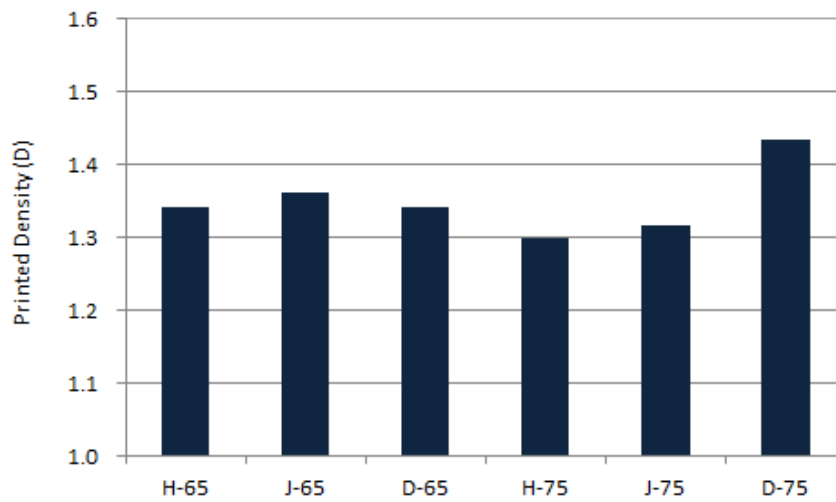


Fig. 54. Ultramarine 색상의 농도 값.

2.2 인쇄물의 뒤비침

2.2.1 인쇄적성 시험에 의한 뒤비침 현상

전면에 인쇄된 화선이 이면에서 비쳐 보이거나, 잉크가 베어 나와 보이는 현상을 뒤비침(Print Through)이라고 한다. 이면에서 비쳐 보이는 현상을 광학적인 뒤비침이라 하며, 잉크가 베어 나와 이면에 뚜렷한 화선을 형성하는 경우를 기계적인 뒤비침이라 부른다. 광학적인 뒤비침 현상이 많이 나타날 경우 가독성을 저해하여 정보전달의 혼란을 가져올 수 있으며, 기계적인 뒤비침이 발생하면 잉크가 베어 나와 뒤문음과 같은 인쇄사고를 발생 시켜 양면 인쇄가 곤란해지는 경우가 발생한다. Fig. 55에 동일한 량의 잉크를 공급하여 시험 인쇄를 한 경우에 나타난 뒤비침 현상을 농도계로 측정한 값을 표시하였다. 친환경 재생펄프를 함유하고, 평량이 낮은 용지에서 평균 0.012 정도 뒤비침 값이 높게 나타났다. 하지만 뒤비침 편차를 비교해 보면 친환경 재생펄프를 포함한 평량 65 g/m²는 0.016이고, 재생펄프를 포함한 평량 75 g/m²는 0.025, 고급교과서 용지는 0.023으로 그 차이가 오히려 65 g/m²보다 아주 조금 높게 나타났다. 이러한 이유는 제조사별로 첨가된 첨가제의 차이나, 첨가량 때문으로 판단된다.

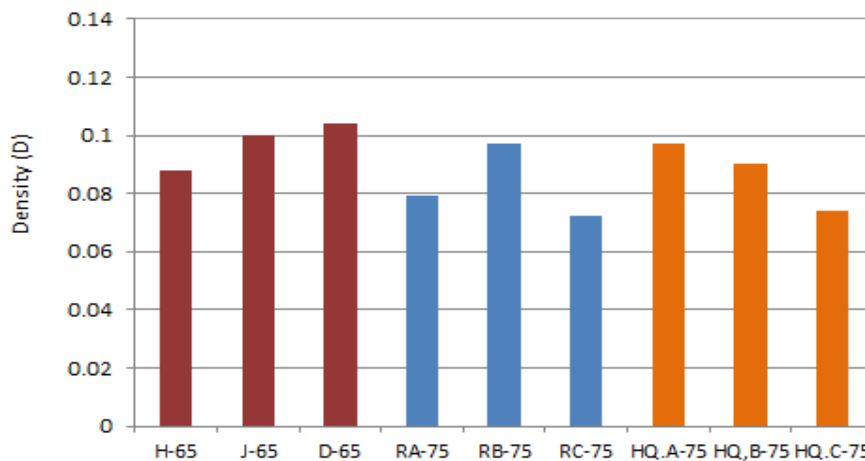


Fig. 55. Black 잉크에 대한 각 용지별 뒤비침 결과.

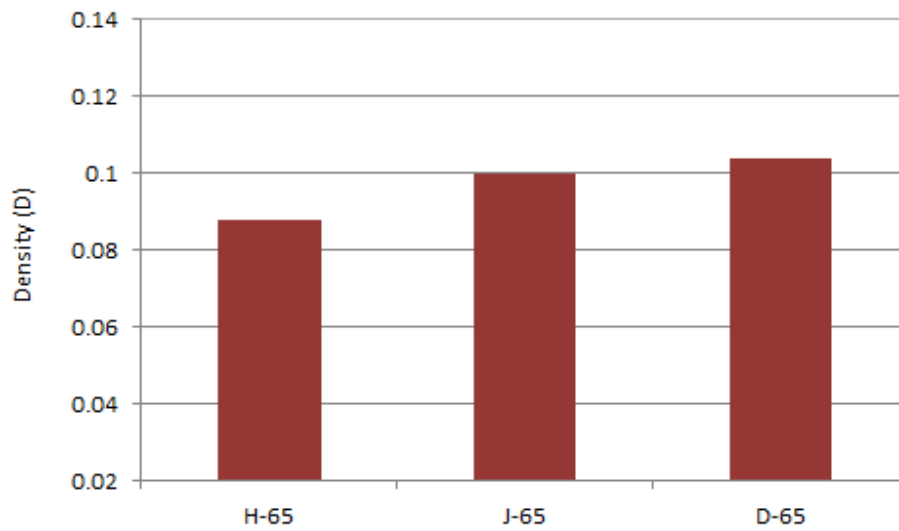


Fig. 56. 65 g/m² 평량의 용지에 대한 뒤비침 농도 값.

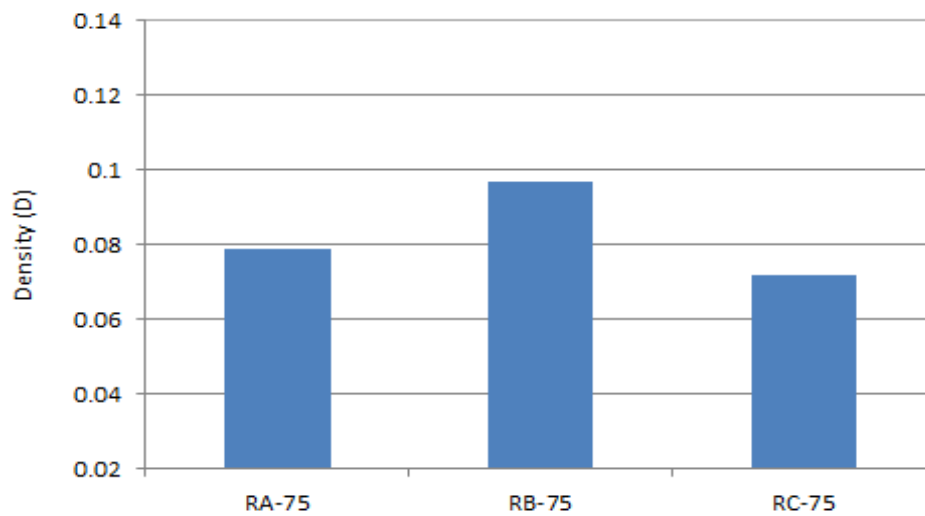


Fig. 57. 75 g/m² 평량의 재생펄프를 포함한 용지에 대한 뒤비침 농도 값.

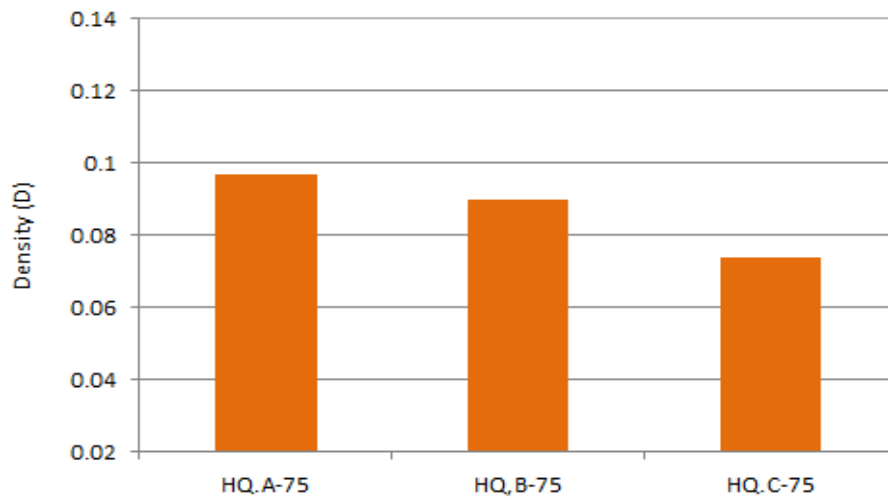


Fig. 58. 75 g/m² 평량의 고급인쇄 용지에 대한 뒤비침 농도 값.

Fig. 56은 65 g/m² 평량의 각 시료에 대한 뒤비침만을 비교한 결과이다. D-65 시료에서 가장 많은 뒤비침 값을 나타내고 있는데, 2.1 결과에서 보는 것과 같이 색 농도 값을 비교해 보면 다른 시료에 비하여 높은 농도 값을 나타내고 있다. 따라서 D-65로 전이된 잉크는 시험 인쇄 시에 다른 용지에 비하여 많이 량의 전이가 일어났을 것으로 판단된다. H-65의 경우에는 농도 값은 J-65와 거의 비슷한 수준을 나타내고 있지만, 뒤비침 값은 가장 낮게 나타났다. H-65의 경우 시험 인쇄 시에 공급한 잉크량이 다른 시료들에 비하여 다소 적었기 때문으로 판단된다. 하지만 J-65는 잉크 색 농도는 H-65와 비슷하지만 뒤비침은 상대적으로 다소 많이 발생한 것으로 나타났다. 이러한 사실을 미루어 볼 때, J-65 용지의 투기도나 용지 내부 구조에 따른 영향으로 미세 공극을 많이 가지고 있는 용지의 경우 잉크 침투 속도가 증가하여 농도는 낮아지고 뒤비침은 다소 많이 발생한 것으로 판단된다. 하지만 뒤비침의 육안 관측 결과 그 차이를 확인할 수 없을 정도로 미비하다는 사실을 확인하였다. 따라서 실 인쇄용 교과서 본문 용지로 사용이 가능할 것으로 판단된다.

Fig. 57과 Fig. 58은 기존의 시료에 대한 뒤비침을 비교한 결과를 나타내고 있다. RC-75의 경우 잉크 색 농도 값은 높게 나타났지만, 뒤비침 현상은 오히려 낮게 나타났다. 이러한 관점에서 판단해 보면, 결국 제조사별로 첨가되는 충진제의 차이가 다소 있는 것으로 판단된다. 하지만 그 차이는 극히 적은 수치를 나타내고 있다. 따라서 뒤비침의 영향은 적다는 사실을 확인할 수 있었다.

Fig. 58은 고급 교과서 본문용지의 뒤비침 값을 농도계로 측정한 값을 나타내었다. HQ.C-75의 경우 잉크 색농도 값이 가장 높게 나타난 시료로서 뒤비침 또한 많이 발생했을 것으로 판단했으나, 결과를 비교해 보면 가장 낮은 뒤비침 값을 나타내고 있다. 이와 같은 현상은 표면에 잔류하는 잉크가 많아서 잉크 색 농도는 높게 나타났으며, 표면에 잔류하는 잉크가 많았기 때문에 종이 내부로 침투하는 잉크의 양이 상대적으로 적어 이와 같은 결과가 나타난 것으로 판단된다.

2.2.2 실 인쇄 시험에 의한 뒤비침 현상

실제 윤전인쇄기를 사용하여 인쇄한 인쇄물의 뒤비침 농도 값을 Fig. 59에 나타내었다. 시험인쇄에서의 결과와 마찬가지로 65 g/m² 평량의 용지에서 다소 높은 뒤비침 농도 값을 나타내고 있다. 65 g/m² 평량의 용지 중 J-65의 경우는 시험 인쇄보다 다소 높은 뒤비침 농도 값을 나타내고 있다. 이와 같은 현상은 두 가지의 잉크가 중첩되면서 모세관 현상이 더욱 많이 일어났기 때문으로 판단된다. D-65에서는 시험 인쇄보다 적은 값을 나타내고 있는데, Fig. 54에서 나타난 것과 같이 잉크의 색 농도 값이 J-65보다 적게 나타났으므로 공급된 잉크 양의 영향으로 판단된다. 결과만을 비교해 보면 전체적인 경향은 시험인쇄의 결과와 비슷한 수준을 나타내고 있으며, 뒤비침 농도 편차는 65 g/m² 평량의 시료가 평균 0.111, 75 g/m² 평량의 시료들 평균이 0.092로 그 차이는 0.018정도로 극히 차이가 나타나지 않음을 알 수 있다. 따라서 65 g/m² 평량의 교과서용 본문 용지 또한 뒤비침의 영향을 적게 받는다는 사실을 확인할 수 있었다.

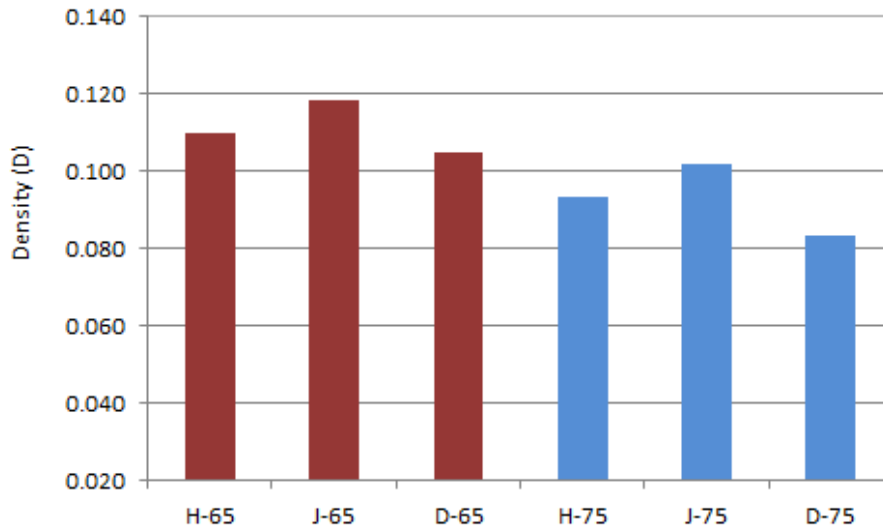


Fig. 59. Ultramarine 색상에 대한 각 용지별 뒤비침 결과.

2.3 잉크의 중첩성

일반적으로 인쇄물의 색은 잉크에 의해 재현되어 진다. 잉크에 의한 재현 방식은 감색 혼합이지만, 망점을 이용한 재현에 있어서는 여러 색의 망점이 빛의 반사로 합쳐져서 중간색으로 표현된다. 이러한 색의 표현을 잉크의 중첩성 혹은 트래핑(Trapping)이라 부른다. 트래핑은 다색 인쇄에서 한 가지 색 위에 다른 색을 또는 한 가지 잉크 위에 다른 잉크 필름이 전이되어 서로 결합되는 것을 의미한다. 농도법에 의한 트래핑은 첫 번째 인쇄된 색의 인쇄물에 두 번째 혹은 세 번째 색을 중첩 인쇄한 것으로 색의 농도나 광택에 의하여 측정되며, 측정 방식은 첫 번째 잉크 위에 두 번째 잉크가 얼마나 중첩되어 혼합 색을 나타내는 지를 %로 나타내며 다음의 Fig. 60과 같은 식에 의해 측정된다.

$$\text{Trapping} = \{(D_{1+2} - D_1) / D_2\} \times 100 (\%)$$

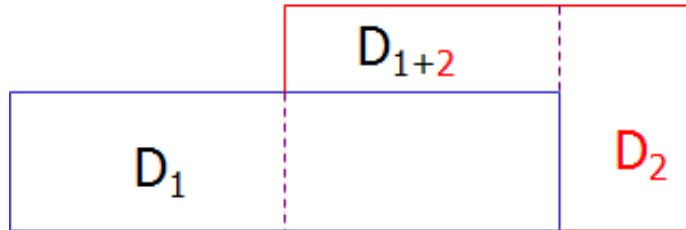


Fig. 60. Trapping 측정 방식.

Fig. 61.에 Orange 색상에 대하여 측정된 트래핑 값을 그래프로 나타내었다. 트래핑 값이 높게 나타났다는 것은 그 만큼 첫 번째 인쇄된 잉크 위에 두 번째 인쇄된 잉크가 잘 부착되었다는 의미이다. 하지만 본 실험 인쇄 결과에서는 Orange 색상에 대한 것으로, Magenta 잉크 위에 Yellow 잉크를 올린 것이다. 따라서 다른 색상에 비하여 다소 낮은 트래핑 값을 나타내고 있다. 이것으로 미루어 볼 때 첫 번째 인쇄 잉크의 사용이 거의 없는, 즉 Yellow에 가까운 Orange 색상을 나타내고 있음을 알 수 있다. 결과 값을 비교해 보면 D회사의 제품에서 65 g/m² 평량의 용지나 75 g/m² 평량의 용지가 다소 높게 나타남을 알 수 있다. 하지만 전반적인 경향은 거의 동일한 값을 나타내고 있다. 이러한 비슷한 경향이 나타난 이유는 두 번째 올라가는 Yellow 색상 잉크가 많았기 때문에 첫 번째 인쇄된 Magenta 잉크에 의한 트래핑 영향이 상대적으로 적게 받았기 때문으로 판단된다. 따라서 중첩된 부분의 색상에 의한 색 오차는 거의 없는 판단되며, 65 g/m² 평량의 교과서 본문용지의 사용도 가능할 것으로 판단된다.

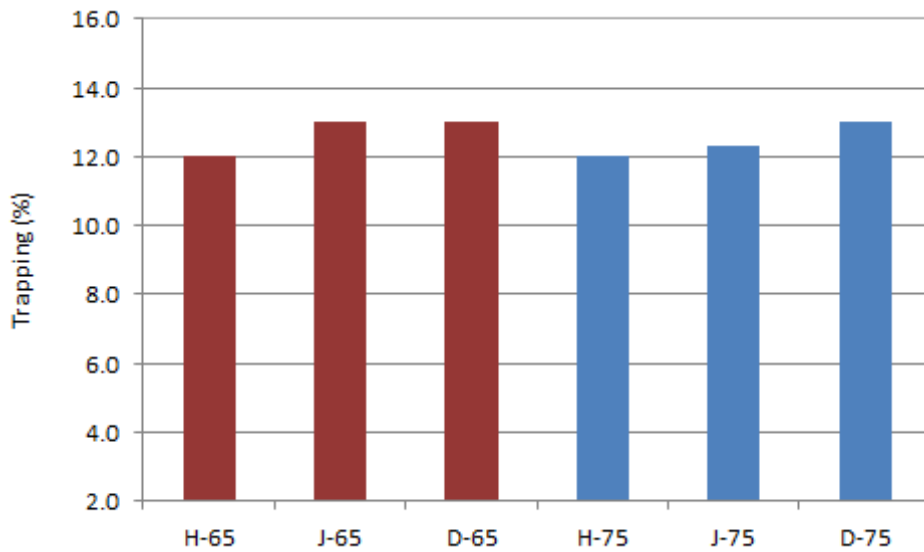


Fig. 61. Orange 색상에 대한 트래핑 값.

2.4 망점 확대(Dot Gain)

망점에 의한 인쇄는 인쇄 시 압력에 의한 영향으로 망점이 커지는 경우가 발생한다. 물론 소비되는 잉크 량에 따라 반대의 현상도 존재하지만, 거의 대부분은 망점이 커지는 망점확대(Dot gain)가 일어난다. 각 컬러에 대한 망점확대의 측정은 Halftone(50% 망점)에서 가장 크게 일어난다. 4색 인쇄에서 3개의 프로세스 컬러, Cyan, Magenta, Yellow 잉크 사이의 도트게인 밸런스는 그레이밸런스과 함께 피부 색, 풀잎 색, 하늘색과 같은 오버프린트 색상 유지에 매우 중요하게 작용한다. 예를 들어 과도한 Magenta 색상의 망점확대로 피부색이 붉게 표현되는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 화선의 정확함과 색상 재현의 정확성을 높이기 위해서는 인쇄 시 망점확대의 영향을 가능하면 줄이는 것이 좋다.

2.4.1 50%망점에서의 망점확대

Ultramarine 색상에 대한 각 용지별 50% 망점에서의 망점확대 결과 값을 Fig. 62에 나타내었다. 65 g/m² 평량의 시료들에서 H-65가 46.67%로 다

소 높게 나타났으며, 75 g/m² 평량의 시료들에서는 D-75의 시료가 가장 높게 나타났다. D-75의 경우 그림 6에서와 같이 잉크 색 농도 값이 높게 나타난 것으로 미루어 볼 때 잔류하는 잉크가 많아 표면의 잉크 층이 두꺼워져서 압력에 의한 망점확대가 많이 발생한 것으로 판단된다. 하지만 다른 두 시료 H-75와 J-75는 평량 65 g/m²의 시료들 보다 낮게 나타난 것을 알 수 있었다. 하지만 평균 편차를 비교해 보면 65 g/m² 평량의 시료들은 1.66, 75 g/m² 평량의 시료들은 4.66으로, 65 g/m² 평량의 시료들에서 낮은 편차 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이러한 편차가 적은 이유는 평량이 낮아졌기 때문에 종이 제조 시 사용되는 비목재 성분(충전제)의 사용이 많아져, 이에 따른 영향을 받은 것 때문으로 판단된다.

그러므로 망점 확대의 경우에서도 65 g/m² 평량의 시료들과 75 g/m² 평량의 시료들 사이의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

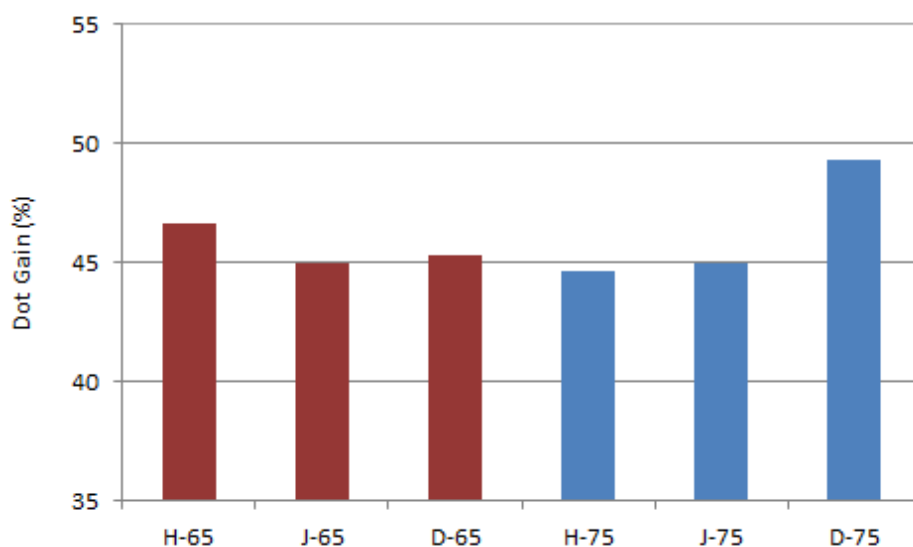


Fig. 62. 50% 망점에서의 망점확대.

Fig. 63은 Ultramarine 색상의 75% 망점에서의 망점확대 결과를 보여주는 그래프이다. 65 g/m² 평량의 시료들 평균에 비하여 75 g/m² 평량의 시료들 평

균이 15.11%로 높게 나타났는데, 그림에서 보는 것과 같이 D-75의 영향 때문이다. 하지만 H-75와 J-75 시료들은 14.00%의 적은 망점확대율을 보여주고 있으며, 65 g/m² 평량의 시료들 평균 14.00과 같은 값을 나타내고 있다. 각 시료들 간의 편차 값을 비교해 보면, 65 g/m² 평량의 시료들은 1.34, 75 g/m² 평량의 시료들은 3.33으로 약 2% 정도의 근사한 증가 값을 나타내고 있다.

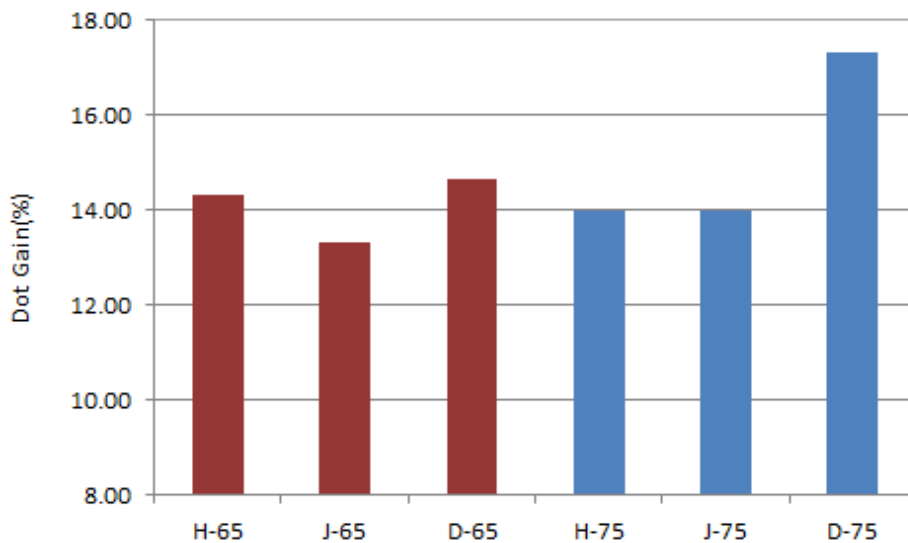


Fig. 63. 75% 망점에서의 망점확대.

하지만 이러한 결과를 미루어 볼 때 어두운 색상에서의 망점 확대율은 65 g/m² 평량의 시료들과 75 g/m² 평량의 시료들 차이가 없을 수 있었다. D-75의 경우는 앞에서 언급한 것과 같이 공급된 잉크량이 많아져서 인쇄 시 압력에 의한 확대 현상이 나타난 것으로 판단된다.

따라서 결과에 의하면 재생펄프를 함유한 65 g/m² 평량의 친환경 용지와 75 g/m² 평량의 시료들의 망점확대 현상은 큰 오차 범위를 가지지 않는 것으로 판단되며, 65 g/m² 평량의 용지의 사용이 가능 할 것으로 생각되어 진다.

3. 종이의 위해성분석

3.1 재료 및 방법

3.1.1 공시재료

3.1.1.1 도공지

분석재료로는 한솔제지(주) 와 대한제지(주)에서 제공받은 종이를 사용하였다. 각각의 시료는 총 8종이었으며, 각각의 시료는 분석 전까지 시료를 밀봉하였다. 최대한의 오염과 시료의 손실을 막기 위하여 시료를 폴리에틸렌 병에 넣고 잘게 잘라 정확히 무게를 달아 측정하였다.

이 때 사용한 재료로는 다음과 같다.

- FALCON 사의 폴리에틸렌 50mL 과 15mL 폴리에틸렌 tube
- Mettler PB403-S 정밀 저울
- 3차 초순수 제조장치 Milli-Q plus 증류수기
- WAT 200510 0.45 μ m/PVDF Syringe Filter
- Agilent 8453 UV Detector
- 원심분리기 UNION 55R (3500rpm/30min/30min)
- 유도결합플라즈마 / 질량분석기 Agilent ICP/MS-7500

3.1.2 금속시료의 분석 방법

크롬과 비소, 납, 카드뮴 등 4가지의 중금속을 분석하기 위하여 3차 정제된 증류수와 3% 질산용액을 이용하여 1시간 용출한 후 유도결합플라즈마/질량분석기를 이용하여 분석하였다.



Fig. 64. Preparation of heavy metals.

Table 10. 기기 조건

RF frequency	Free-running type, 40MHz
RF power	1.2 KW
Nebulizer flow (Ar)	1.05 l/min
Auxiliary gas flow (Ar)	1.5 l/min
Coolant gas flow (Ar)	7 l/min
Sample uptake flow	1.0 ml/min
Torch	Demountable
Nebulizer	Concentric type
Interface cones	Platinum
Spray chamber	Cychronic type
Quadrupole chamber	3×10^{-6} torr
Dwell time	500 ms



Fig. 65. 중금속 분석용 유도결합플라즈마 질량분석기.

3.1.3 형광물질의 분석방법

시료에 포함된 형광물질을 분석하기 위하여 시료에 잔류하고 있는 물질을 추출하여 분석하였다.

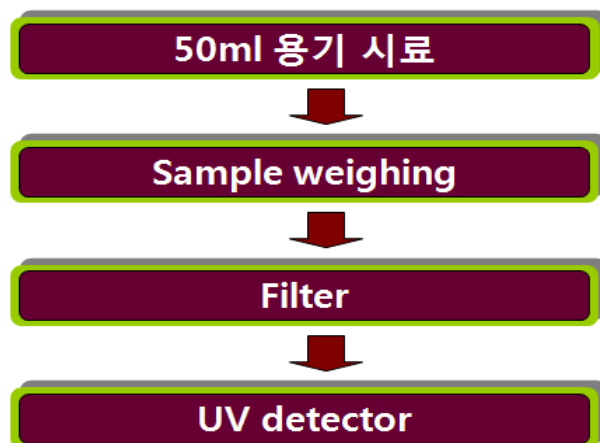


Fig. 66. Preparation for fluorescence.

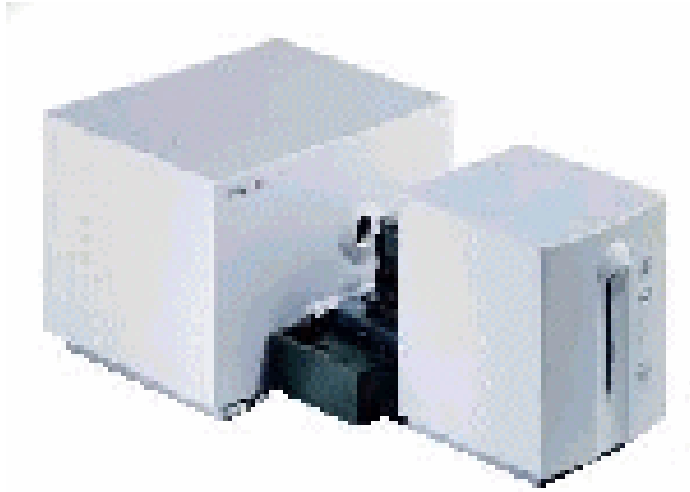


Fig. 67. 형광물질 분석을 위한 UV/VIS 분석기.

3.2 결과 및 고찰

3.2.1 위해성평가 - 독성학 출처

- 위해성 평가란 (Risk assessment) : 대상 연구집단이나 조직에 발생 가능한 조직에 발생 가능한 위해를 계산하는 과정으로 연관된 불확실성을 규명하고 대상물질에 관한 노출과 표적 장기에 대한 대상물질의 고유 특성 등을 규명하는 것이다.
- 다음은 위해성 평가에 적용되는 용어를 정리한 것이다.

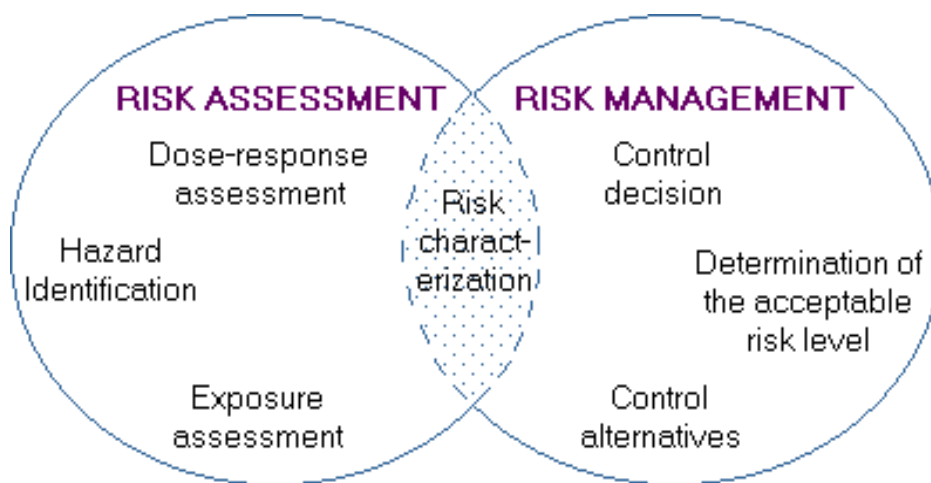
유해성(Hazard) : 유해작용을 야기하는 물질의 능력(capability)

위해성(Risk) : 특정 노출 조건하에서 발생할 수 있는 유해확률(probability)

위해성 평가 (Risk Assessment) : 유해성, 노출 및 위해성이 결정되는 과정

위해성 관리 (Risk Management) : 정책변화를 심사숙고하고 위해성 평가와 사회적, 경제적, 정치적 고려에 의한 결과를 근거로 하여 가장 적절한 규제방안을 선택하는 과정

- 위해성 관리는 위해성 평가에서 결정된 위해성의 확인 및 정량 등에 의해 결정된다. 규제 과정동안 위해성 관리자는 위해성 관리 결정을 정당화하기 위하여 추가적인 위해성평가를 요구할 수 있다. 아래 그림에서 제시한 바와 같이 위해성 평가와 위해성 관리는 밀접하게 관계되어 있다.



3.2.2 중금속 분석결과

본 연구에서 실시한 중금속은 크롬(Cr) 비소 (As) 카드뮴(Cd) 그리고 납 (Pb) 등 모두 4 종으로 체내 흡수가 되었을 때, 큰 독성을 나타내는 것을 주로 검출하였다. 총 시료 8종을 각각 3번 씩 분석 측정하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

Table 11. 중금속 시료 분석 결과

시료	최종농도 (ppm)			
	Cr	As	Cd	Pb
hansol-green65	0.912	0.304	LOQ 이하	1.216
recycle-65A	1.258	0.314	LOQ 이하	1.258
recycle-65b	1.262	0.315	LOQ 이하	0.946
recycle-65Ac	0.993	0.331	LOQ 이하	1.325
lux-65A	0.932	0.311	LOQ 이하	0.932
lux-65b	0.901	LOQ 이하	LOQ 이하	0.901
lux-65c	0.896	0.299	LOQ 이하	0.896
Daehan65	0.935	0.312	LOQ 이하	1.246
no name	0.926	LOQ 이하	LOQ 이하	1.235

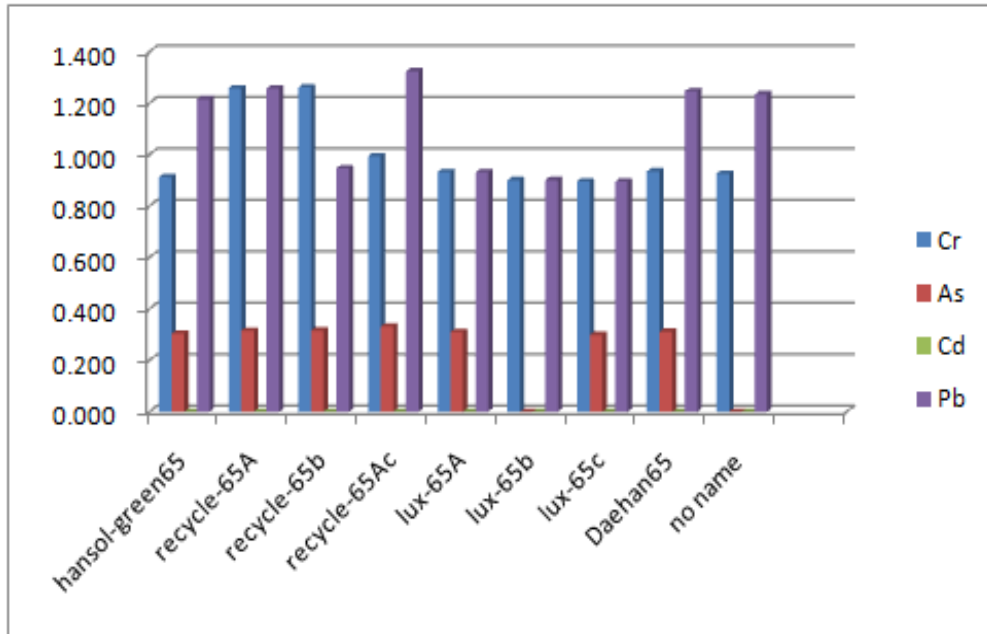


Fig. 68. 중금속 시료 분석 결과.

3.2.3 형광물질 분석결과

형광물질 분석결과 다음과 같은 표준 물질의 그래프를 얻어 농도를 측정하였다.

아래 결과로 형광물질의 검출 결과, 시료의 종류에 따라 약간 다른 값으로 검출되었으나, 유의 수준에서 벗어나는 결과를 보이진 않았다. 형광물질의 경우 0.105~0.156 ppm 정도로 검출되었으며, 개체간의 오차는 거의 없었다. 다음 그래프에 8가지의 결과는 나타내었다.

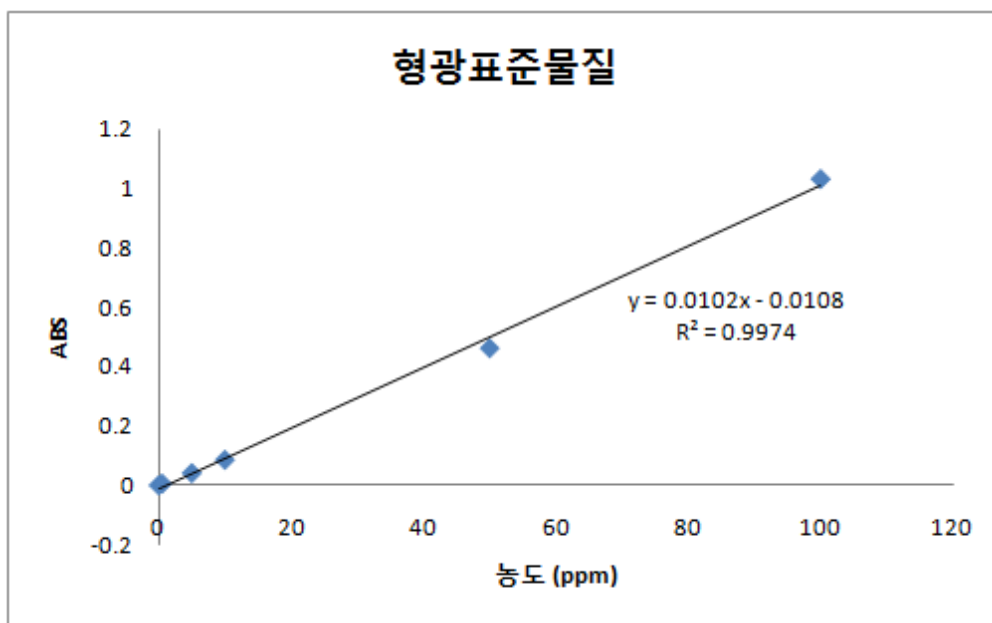


Fig. 69. 형광 표준 물질 분석 결과.

Table 12. 형광물질 분석결과

시료명	ppm
hansol-green65	0.105
recycle-65A	0.147
recycle-65b	0.149
recycle-65Ac	0.146
lux-65A	0.117
lux-65b	0.120
lux-65c	0.120
Daehan65	0.156
no name	0.133

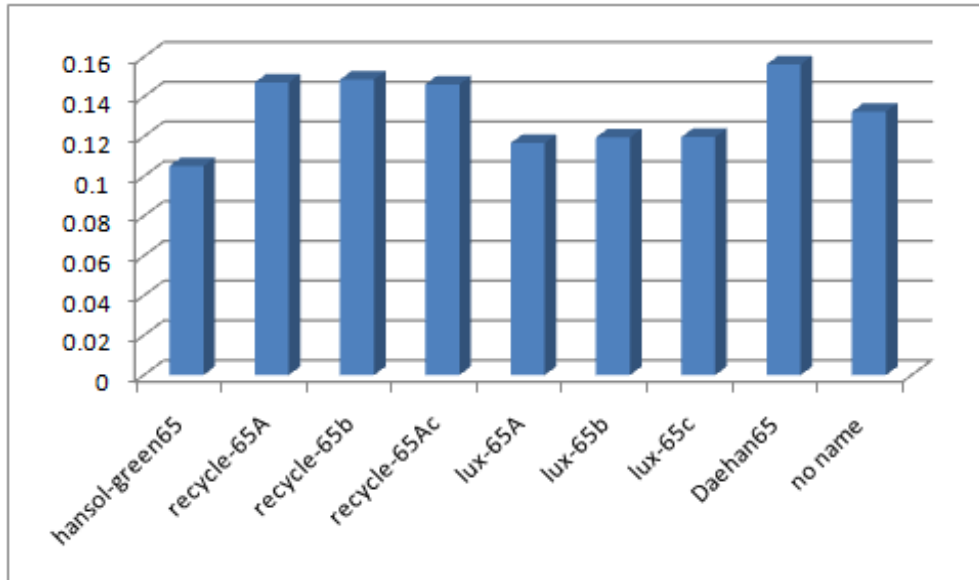


Fig. 70. 형광물질 분석결과.

3.3 결론

위의 결과로 미루어 보아, 시료 중에 있는 중금속의 경우 체내에 영향을 미치는 수준은 아닌 것으로 나타났으며, 이러한 결과로 보아 유해한 수준은 아닌 것으로 나타났다. 또한 형광물질의 경우 일반적인 생활에서 검출되는 수준으로 나타났다. 이로 미루어보아 현재 실험에 검사한 모든 용지를 사용하는 것은 아무 문제가 없을 것으로 보이며, 인체에 유해한 성분은 위해 수준이 거의 나타나지 않았다.

4. 교과서 품질 평가 설문 결과

Table 13. 설문조사 대상

설문 대상	설문자 수
초등학생	54명
중학생	72명
총	126명

초등학생 부분 : 총 54명

1. 귀하는 어디에 해당하십니까?

① 학생 ② 학부모 ③ 교사

항목	①	②	③
결과(명)	54	0	0

2. 현행 교과서는 70% 천연펄프와 30% 재생펄프로 만들어지고 있습니다. 이에 대한 만족도는?

① 매우 만족한다 ② 만족한다 ③ 보통이다 ④ 불만족한다 ⑤ 매우 불만족한다

항목	①	②	③	④	⑤
결과(명)	18	20	10	5	1

3. **현행 교과서의 어떤 부분에 불만족 하십니까? (2번 설문에서 불만족 하는 경우에만 답하시오.)**

① 무겁다 ② 종이질이 거칠고 뻣뻣하다 ③ 필기감이 떨어지고 잘 지워진다 ④ 너무 밝아 눈이 부신다 ⑤ 뒷면의 인쇄가 비쳐 보인다 ⑥ 미색보다는 옅은 백색이 좋다.

항목	①	②	③	④	⑤	⑥
결과(명)	5	1	0	0	1	0

4. (견본도서를 보시고) **현행 교과서와 신규 교과서를 각각 구별할 수 있습니까?**

① 구별할 수 있다 ② 구별하기 어렵다

항목	①	②
결과(명)	45	9

5. (견본도서를 보시고) **현행 교과서와 신규 교과서의 종이품질에 대하여 어떻게 생각하십니까?**

① 현행 교과서가 우수하다 ② 신규교과서가 우수하다 ③ 모두 우수하다

항목	①	②	③
결과(명)	6	42	6

6. 신규 교과서가 현행 교과서 보다 어떤 부분에서 좋지 못하다고 생각하십니까? (5번 설문에서 현행 교과서가 우수하다고 한 경우에만 답하시오.)

① 종이 색상 ② 종이 질감 ③ 깨끗함 ④ 필기감 ⑤ 친밀감 ⑥ 기타

항목	①	②	③	④	⑤	⑥
결과(명)	0	4	0	3	0	1

(기타 : 종이의 두께)

7. (견본도서를 보시고) 현행 교과서와 신규 교과서의 인쇄품질에 대하여 어떻게 생각하십니까?

① 현행 교과서가 우수하다 ② 신규 교과서가 우수하다 ③ 모두 우수하여 별 차이가 없다

항목	①	②	③
결과(명)	5	23	23

8. 신규 교과서를 어떤 부분에서 좋지 못하다고 생각하십니까? (7번 설문에서 현행 교과서가 우수하다고 한 경우에만 답하시오.)

① 인쇄면 질감 ② 인쇄 색상 ③ 뒷면의 인쇄가 비쳐 보임 ④ 기타

항목	①	②	③	④
결과(명)	0	0	0	4

(기타 : 책을 넘길 때 얇아서 찢어질 것 같다, 손에 베이기 쉽다, 잉크가 잘 지워진다, 조금 연해서 잘 안보일 수 있다.)

9. 신규 교과서를 사용하는 경우 장점은?

- ① 환경보호와 자원절약에 대한 교육적인 효과가 클 것이다
- ② 자원 재활용에 따른 국가 경제적인 효과가 클 것이다
- ③ 친환경 제품 사용에 따른 친밀감과 자부심이 클 것이다
- ④ 교과서 무게가 감소하여 책가방 무게가 줄어든 것이다
- ⑤ 잘 모르겠다

항목	①	②	③	④	⑤
결과(명)	15	14	3	34	2

10. 교과서 무게를 줄이기 위해 새로 만든 신규교과서에 대한 장점은?

- ① 환경과 자원 재활용에 도움이 될 것 같다
- ② 용지의 색상이 백색이라 인쇄물이 선명하다
- ③ 현행 교과서보다 가볍다
- ④ 잘 모르겠다

항목	①	②	③	④
결과(명)	19	14	38	1

11. 전체 교과서를 신규교과서와 같이 만드는 것에 대하여 어떻게 생각하십니까?

① 적극 찬성한다 ② 찬성한다 ③ 반대한다 ④ 적극 반대한다 ⑤ 잘 모르겠다

항목	①	②	③	④	⑤
결과(명)	34	15	2	0	3

12. 신규 교과서를 어느 학년 교과서부터 만드는 것이 좋다고 보십니까?

- ① 초·중·고의 모든 교과서를 한꺼번에 만들어 보급한다
 ② 고등학교 교과서를 먼저 해 보고 중학교와 초등학교 교과서를 연차적으로 확대한다
 ③ 중학교와 고등학교 교과서를 먼저 해 보고 초등학교 교과서를 연차적으로 확대한다

항목	①	②	③
결과(명)	38	8	8

13. 신규 교과서를 어느 과목 교과서부터 만드는 것이 좋다고 보십니까?

- ① 모든 과목 교과서를 한꺼번에 만들어 보급한다

- ② 국어와 같은 칼라 인쇄가 적은 교과서를 먼저 해 보고 연차적으로 확대한다
- ③ 중학교와 고등학교 교과서를 먼저 해 보고 초등학교 교과서를 연차적으로 확대한다

항목	①	②	③
결과(명)	25	26	3

중학생 부분 : 총 72명

1. 귀하는 어디에 해당하십니까?

- ① 학생 ② 학부모 ③ 교사

항목	①	②	③
결과(명)	72	0	0

2. 현행 교과서는 70% 천연펄프와 30% 재생펄프로 만들어지고 있습니다. 이에 대한 만족도는?

- ① 매우 만족한다 ② 만족한다 ③ 보통이다 ④ 불만족한다 ⑤ 매우 불만족한다

항목	①	②	③	④	⑤
결과(명)	7	32	20	13	0

3. **현행 교과서의 어떤 부분에 불만족 하십니까? (2번 설문에서 불만족 하는 경우에만 답하시오.)**

- ① 무겁다 ② 종이질이 거칠고 뻣뻣하다 ③ 필기감이 떨어지고 잘 지워진다
④ 너무 밝아 눈이 부신다 ⑤ 뒷면의 인쇄가 비쳐 보인다 ⑥ 미색보다는
열은 백색이 좋다.

항목	①	②	③	④	⑤	⑥
결과(명)	8	6	3	0	2	0

4. **(견본도서를 보시고) 현행 교과서와 신규 교과서를 각각 구별할 수 있습니까?**

- ① 구별할 수 있다 ② 구별하기 어렵다

항목	①	②
결과(명)	65	7

5. (견본도서를 보시고) **현행 교과서와 신규 교과서의 종이품질에 대하여 어떻게 생각하십니까?**

① 현행 교과서가 우수하다 ② 신규교과서가 우수하다 ③ 모두 우수하다

항목	①	②	③
결과(명)	10	43	19

6. 신규 교과서가 현행 교과서 보다 어떤 부분에서 좋지 못하다고 생각하십니까? (5번 설문에서 현행 교과서가 우수하다고 한 경우에만 답하시오.)

① 종이 색상 ② 종이 질감 ③ 깨끗함 ④ 필기감 ⑤ 친밀감 ⑥ 기타

항목	①	②	③	④	⑤	⑥
결과(명)	1	6	0	2	1	0

7. (견본도서를 보시고) **현행 교과서와 신규 교과서의 인쇄품질에 대하여 어떻게 생각하십니까?**

① 현행 교과서가 우수하다 ② 신규 교과서가 우수하다 ③ 모두 우수하여 별 차이가 없다

항목	①	②	③
결과(명)	18	22	32

8. 신규 교과서를 어떤 부분에서 좋지 못하다고 생각하십니까? (7번 설문에서 현행 교과서가 우수하다고 한 경우에만 답하십시오.)

① 인쇄면 질감 ② 인쇄 색감 ③ 뒷면의 인쇄가 비쳐 보임 ④ 기타

항목	①	②	③	④
결과(명)	2	11	6	0

9. 신규 교과서를 사용하는 경우 장점은?

- ① 환경보호와 자원절약에 대한 교육적인 효과가 클 것이다
- ② 자원 재활용에 따른 국가 경제적인 효과가 클 것이다
- ③ 친환경 제품 사용에 따른 친밀감과 자부심이 클 것이다
- ④ 교과서 무게가 감소하여 책가방 무게가 줄어든 것이다
- ⑤ 잘 모르겠다

항목	①	②	③	④	⑤
결과(명)	11	14	11	46	7

10. 교과서 무게를 줄이기 위해 새로 만든 신규교과서에 대한 장점은?

- ① 환경과 자원 재활용에 도움이 될 것 같다
- ② 용지의 색상이 백색이라 인쇄물이 선명하다
- ③ 현행 교과서보다 가볍다
- ④ 잘 모르겠다

항목	①	②	③	④
결과(명)	18	3	52	5

11. 전체 교과서를 신규교과서와 같이 만드는 것에 대하여 어떻게 생각하십니까?

- ① 적극 찬성한다 ② 찬성한다 ③ 반대한다 ④ 적극 반대한다 ⑤ 잘 모르겠다

항목	①	②	③	④	⑤
결과(명)	35	25	1	1	10

12. 신규 교과서를 어느 학년 교과서부터 만드는 것이 좋다고 보십니까?

- ① 초·중·고의 모든 교과서를 한꺼번에 만들어 보급한다
- ② 고등학교 교과서를 먼저 해 보고 중학교와 초등학교 교과서를 연차적으로 확대한다
- ③ 중학교와 고등학교 교과서를 먼저 해 보고 초등학교 교과서를 연차적으로 확대한다

항목	①	②	③
결과(명)	21	23	28

13. 신규 교과서를 어느 과목 교과서부터 만드는 것이 좋다고 보십니까?

- ① 모든 과목 교과서를 한꺼번에 만들어 보급한다
- ② 국어와 같은 칼라 인쇄가 적은 교과서를 먼저 해 보고 연차적으로 확대한다
- ③ 중학교와 고등학교 교과서를 먼저 해 보고 초등학교 교과서를 연차적으로 확대한다

항목	①	②	③
결과(명)	29	24	19

설문지 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

- 위 종이물성 및 인쇄적성 결과와 일치한 결과를 보였다.
- 인쇄뒤비침, 종이두께 등 일반적인 문제점이 없었다.
- 거의 95% 이상 책이 가볍다는 긍정적인 결과를 보였다.
- 내년부터 단계적으로 중등과 고등과정중 칼라인쇄가 적은 국어와 같은 언어과목, 사회과목 등부터 단계적으로 실시하는 것이 바람직하다고 판단됨.

IV. 결 론

위 연구를 토대로 한 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 65 g/m² 용지 물성

기존의 평량 75g/m² 친환경 교과서 용지의 규격을 참고하여 신규 친환경 교과서 용지 (65g/m²)의 1차 규격안을 마련하고 한솔제지 장항공장, 전주페이퍼 전주공장 및 대한제지에서 시험생산을 실시하였다.

제조사	평량 (gsm)	두께 (μ m)	인장 (MD, kN/m)	인열 (CD, mN)	광택도(%)		백색도 (%)	불투명 도 (%)	색상			거칠음도(μ m)		FI지수
					Top	Bottom			L	a	b	Top	Bottom	
현행	75 $\pm 3\%$	72 ± 3	3.2 \uparrow	200 \uparrow	23 ± 3	23 ± 3	78 ± 2	90 \uparrow	93 ± 0.7	0 ± 0.4	3.5 ± 0.4	2.5 ± 0.5	2.5 ± 0.5	4 \downarrow
1차 안	65 $\pm 3\%$	68 ± 3	2.7 \uparrow	200 \uparrow	15 ± 3	15 ± 3	78 ± 2	90 \uparrow	92 ± 0.7	0 ± 0.4	1.5 ± 0.4	3.5 ± 0.5	3.5 ± 0.5	5 \downarrow
한솔제지	67.3	67	3.65	280	17	16	77.63	91.12	92.2	0.06	2.92	3.7	3.6	1.36
대한제지	66.5	71.9	3.04	480	15.7	15.4	77.25	90.91	91.65	0.34	1.96	4	3.6	3.28
전주 페이퍼	67.2	73.4	2.88	287	18.4	17.3	76.69	90.55	90.86	0.33	1.67	3.7	3.2	0.46

상기한 바와 같이 시산품들은 대부분의 규격안을 충족시키는 것으로 나타났다.

2. 인쇄평가

재생필프를 포함한 평량 65 g/m²인 교과서용지와 재생필프를 포함하지 않은 평량 75 g/m²의 고급 교과서용지의 인쇄적성을 분석해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

인쇄물 농도는 친환경 용지의 인쇄물 색 농도 값이 기존의 고급 교과서용지에 비하여 조금 낮게 나타난 경향을 보여주고 있으나, 육안에 의한 구분은 거의 동일한 경향을 보여주고 있음을 알 수 있다. 같은 평량을 가진 시료에서 농도 값의 차이가 나타난 것은 용지내부로의 침투가 상대적으로 적어 표면에 잔류하는 잉크량이 많았거나, 공급된 잉크량이 상대적으로 많았기 때문으로 판단되며, 이와 같은 결과는 오차범위 0.1 이내로 상이한 차이를 나타내고 있지 않다고 판단된다.

뒤비침은 평량이 상대적으로 낮은 65 g/m²인 교과서용지에서 다소 높게 나타났지만, 그 편차를 비교해 보면 친환경 재생필프를 포함한 평량 65 g/m²는 0.016이고, 재생필프를 포함한 평량 75 g/m²는 0.025, 고급교과서 용지는 0.023으로 상대적으로 그 차이가 65 g/m²보다 아주 조금 높게 나타난 경향을 보여주고 있는데, 이것은 제지사별로 사용한 첨가제의 차이나, 첨가량 때문으로 판단되며, 이러한 내부구조의 변화에 의한 미세한 차이로 판단된다. 하지만 그 차이는 극히 적은 수치를 나타내고 있다. 따라서 뒤비침의 영향은 매우 적었다.

잉크 중첩성의 영향을 비교해 보면, 거의 동일한 수치를 나타내고 있으며, 제지사 간의 오차가 다소 있음을 알 수 있다. 하지만 육안 분석에 의하면 그 차이는 거의 없는 것으로 판단되며, 따라서 중첩된 부분의 색상에 의한 차이는 없는 것으로 간주된다. 그러므로 65 g/m² 평량의 교과서 본문용지의 사용도 가능할 것으로 판단된다.

인쇄물 망점의 확대율을 비교해 본 결과에서도 평균 편차를 비교해 보면 65 g/m² 평량의 시료들은 1.66, 75 g/m² 평량의 시료들은 4.66으로, 65 g/m² 평량의 시료들에서 낮은 편차 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이러한 편차가 적은 이유는 평량이 낮아졌기 때문에 종이 제조 시 사용되는 비목재 성분(충전제)의 사용이 많아져, 이에 따른 영향을 받은 것 때문으로 판단된다. 더욱이 어두운 부분(shadow part)에서 망점확대율은 차이가 거의 없이 나타난 것을 알 수 있었다. 특별히 높은 값을 나타내었던 평량 75 g/m²의 고급 교과서 용지는 인쇄물의 색 농도에서와 같이 표면에 잔류하는 잉크량이 상대적으로 많았기 때문에 인쇄 시 압력에 의한 영향으로 망점확대율이 커진 것으로 사료되며, 이러한 현상이 한 시료에서만 나타났기 때문에 인쇄물의 색 농도에서 판단내린 결과와 동일한 결과를 보여주고 있음을 알 수 있었다. 그러므로 재생펄프를 포함한 65 g/m² 평량의 시료와 75 g/m² 시료 간의 편차가 거의 없었다.

따라서 재생펄프를 포함한 평량 65 g/m²의 인쇄용지를 교과서 본문 용지에 사용해도 무방할 것으로 판단된다.

3. 위해성 평가

시료 중에 있는 중금속의 경우 체내에 영향을 미치는 수준은 아닌 것으로 나타났으며, 이러한 결과로 보아 유해한 수준은 아닌 것으로 나타났다. 또한 형광물질의 경우 일반적인 생활에서 검출되는 수준으로 나타났다. 이로 미루어보아 현재 실험에 검사한 모든 용지를 사용하는 것은 아무 문제가 없을 것으로 보이며, 인체에 유해한 성분은 위해 수준이 거의 나타나지 않았다.

4. 재생용지의 규격 결정

	평량 (gsm)	두께 (μm)	인장 (MD, kN/m)	인열 (CD, mN)	광택도(%)		백색도 (%)	불투 명도 (%)	색상			거칠음도(μm)		FI 지수
					Top	Bottom			L	a	b	Top	Bottom	
65g 신규 용지	65 $\pm 3\%$	68 ± 3	2.7 \uparrow	200 \uparrow	15 ± 3	15 ± 3	78 ± 2	90 \uparrow	92 ± 0.7	0 ± 0.4	1.5 ± 0.4	3.5 ± 0.5	3.5 ± 0.5	5 \downarrow

5. 최종 결론

- 65 g/m² 용지는 교과서 본문용지 적용가능
- 65 g/m² 용지는 잉크 뒤비침과 같은 인쇄품질 문제없음
- 위해성 검증결과 재생용지와 고급인쇄용지 모두 같은 결과를 보였고, 인체에 유해한 성분이 위해 수준 아님
- 학생들 설문조사는 95% 만족도

6. 기대효과

- 기존 75 g/m²을 65 g/m²로 대체하면 재료 13.5% 절감
- 국정, 검정용지 : 총 약 50,000톤, 6500톤 펄프자원 절감
- 용지가격 약 10% 하락, 작년 톤당 1,050,000만원
- 연간 50억 예산 절감
- 교과서용지, EBS 수능교재, 참고서 등 모든 용지 적용하면 약 20,000톤 펄프자원 절감, 30년생 소나무 40만 그루 이상 보존
- 이산화탄소, 에너지 절감 등등 매우 친환경적

< 참고 문헌 >

1. 이지영, 임형우, 윤혜정, 이학래 (2005). 형광염료의 정량분석법에 대한 연구. 한국펄프·종이공학회 2005 춘계학술발표논문집, 4, pp233-239
2. 이지영, 손창만, 서동준 (2006). 형광염료의 효율적인 적용방안에 대한 연구. 한국펄프·종이공학회 2006 추계학술발표논문집, 10, pp. 123-123
3. 엄보영 (2004). 식품용 종이포장재 중에 오염물질 함량 및 식품으로의 이행량 측정. 미출판 박사학위 논문. 세종대학교 대학원, 서울.
4. 장미란 (2005). 식품용 종이포장재의 안전성과 특정물질 이행에 관한 연구. 미출판 석사학위 논문. 부경대학교 대학원, 부산.
5. 전대훈 (2007). 국내 식품용기포장재의 안전관리 현황. 한국펄프·종이공학회 2007 추계학술발표논문집, pp123-131
6. 기술표준원장 (2008). GR M 7002 인쇄용지 품질규격. 과천: 기술표준원.
7. 소비자안전센터 생활안전팀 (2006). 업소용 위생용품 안전성 실태조사. 서울: 식약청.
8. 서울대학교(2006). 유해물질제거 및 유용물질회수 공정기술; 위생용지의 형광물질 함량 저감을 위한 원질 및 초지공정수 처리 기술개발. 환경부.

9. Ji Young Lee, Hak Lae Lee, Hye Jung Youn, Hyung Woo Lim (2006). A Study on the Removal of Fluorescent Whitening Agents from Recycled Fibers. 2006 PAN PACIFIC CONFERENCE Proceedings Vol. 1. pp. 117-121
10. Sarkar. A. K. (1971). Fluorescent Whitening agents. Merrow publishing.
11. Wickerstrom, W. A. (1969). Tappi 58(2) :222
12. Wickerstrom, W. A. (1972). Tappi 60(11) :158
13. Esa Lehtinen (2000). Pigment Coating and Surface Sizing of Paper. Finland. Tappi Press.
14. Bourgoing, S., Leclerc, E, Martin, P. and Robert, S., (2001) Use of fluorescent whitening agents to inhibit-induced colour reversion of unbleached mechanical pulp, J. Pulp & Paper Sci. 27(7):240.
15. Kulter, J., Thorsheim, H., Gholson, A. and Vincent, F., (1996) The use of recovered fiber in food contact grade, 1996 TAPPI Recycling Symposium Proceedings, TAPPI PRESS.
16. 하영백, 국산신문용지의 최대전이점에서 뒤비침과 뒷물음에 관한 연구, 부경대학교, 부산, (1998).
17. 하영백, 국산신문용지의 인쇄적성과 잉크 표면장력에 관한 연구, 부경대학교, 부산, (2005).
18. 윤종태, 인쇄과학개론, 부경대학교, 부산, (2001).

19. 윤종태, 인쇄적성개론, 부경대학교, 부산, (2002).
20. 宮田 泰充, 新聞 用紙の技術 動向, Japan Printer, April, 39~41, (1997).
21. 市川家康, インキ受容性, わかり やすい 紙 ・ インキ ・ 印刷の科學, 印刷局朝陽會, 東京, pp.51~54, (1975).
22. 片山賢二, 印刷インキ關するトラフル 對策, 上手に使いこなす印刷インキ, 日本印刷新聞社, 東京, 89, (1993).
23. 三上 敦敏, オフセット印刷技術のトラフル解決法, 日本印刷技術協會, 東京, pp.37~38, (1991).

공동연구원 및 Task Force 팀

이름	소속	이메일	기타
박형수 주무관	교과부	phs1215@mest.go.kr	연구협력관
김창근 교수	강원대학교	kck8848@kangwon.ac.kr	연구책임자
신혜승 연구소장	(주)바이오메디앙	clarashin@paran.com	공동연구원
하영백 박사	부경대학교	jackyha@hanmail.net	공동연구원
류정용 책임연구원	화학연구원	jyryu@krict.re.kr	공동연구원
이상주 과장	한국검정교과서	tashiterei@hanmail.net	공동연구원
박성호 팀장	자원순환산업 진흥협회	webmaster@gr.or.kr	공동연구원
임이균 과장	한국교과서 연구재단	kotri@hanmail.net	공동연구원
용환복 차장	대한제지	hbyong@daehanpaper.com	-
김세환 팀장	무림페이퍼	zooshin@hanmail.net	무림 P&P
주종훈 소장	전주페이퍼	haejin@jeonjupaper.com	-
윤동호 팀장	한국제지	dongho@miilkpaper.co.kr	-
서동준 수석연구원	한솔제지	djseo@hansol.com	아트원제지
최도침	강원대 제지공학과	chim@kangwon.ac.kr	연구보조원