

제지공정 scum에서의 섬유상 원료 재이용성 평가

강광호 · 김형진[†]

접수일(2012년 12월 7일), 수정일(2012년 12월 19일), 채택일(2012년 12월 20일)

Evaluation of Recyclability of Fibrous Raw Materials from Scums in Papermaking Process

Kwang-Ho Kang and Hyoung-Jin Kim[†]

Received December 7, 2012; Received in revised form December 19, 2012; Accepted December 20, 2012

ABSTRACT

As the meaning of dictionary terminology, scum refers to a layer of impurities that accumulates at the surface of a liquid. In papermaking process, scum indicates the floated solid waste generated by a flotation process during the primary wastewater treatment. In this study, different kinds of stocks and scums collected from newspaper, liner, tissue and fine paper were analysed in details. The purpose of this study was firstly to demonstrate the composition characteristics of different sources of scum, secondly the analysis of environmental hazardous materials, and thirdly the evaluation of reutilization ability of fibrous materials from collected scum.

As mentioned the meaning of solid waste, scum was actually differ from the waste sludge in sources, compositions and recycling abilities. In the same manner of waste paper, the sludge which is generated within onsite of papermaking processes would be reused as a raw material. The general compositions of scum from waste water were mainly inorganic ash materials, fine fibre fractions, recycled fibre debris, and ink particles. If the scum is able to reuse as fibrous additives in papermaking process, it could contribute to the savings of running costs in both the subsidiaries of fibrous material and the solid waste treatment with even small quantity.

Keywords: Recovered paper, waste sludge, papermaking process, flotation, scum, recycling

• 국민대학교 임산생명공학과 (Department of Forest Products and Biotechnology, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea)

† 교신저자(Corresponding Author): E-mail: hyjikim@kookmin.ac.kr

1. 서론

최근 제지산업은 생산원가 절감 뿐 아니라 녹색환경 보호를 목적으로 폐지를 주원료로 많이 사용하고 있으며, 그 사용량 또한 급격히 증대되고 있다. 일반적으로 재활용 가능한 폐지는 종이 수집원에 따라 white ledger (office white wastes), MOW(mixed office waste), OCC(old corrugated container boxboard), ONP(old newspaper), OMG(old magazine grade) 등으로 구분하고 있다. 수집된 종이는 셀룰로오스계 섬유를 비롯하여 유기계 첨가제, 무기계 충전제, 스티키 물질 등과 같이 다양한 성상의 불균질 물질이 포함되어 있다. 특히 우리나라의 폐지 재활용률은 세계에서 최고 수준으로 제지산업 규모 상위 10개국 중 폐지회수율은 2011년 기준 8,827 metric ton으로서 94.5%로 가장 높다.¹⁾ 이는 국내 제지산업에서 큰 비중을 차지하고 있는 골판지 원지 및 판지 제조공정에서 공정원가 절감을 목적으로 주로 재활용 폐지를 사용하기 때문이다. 하지만 최근에는 이러한 폐지사용²⁻⁴⁾에 의한 원가절감 이외에도 공정 폐쇄화⁵⁻⁷⁾ 등을 통해 원가절감을 모색하고 있다.

재활용 공정은 물을 매개 수단으로 폐지에 물리적인 강력한 해리 작용을 가해 섬유 및 미세분의 형태로 분리하게 된다. 종이는 리사이클링 횡수를 반복함에 따라 각질화에 의해 셀룰로오스 섬유는 점차 열화되기 시작한다. 따라서 재활용 섬유는 천연펄프에 비해 리사이클링 과정에서 습윤, 건조 상태가 되풀이 되며 필연적으로 야기되는 섬유 세포벽 내의 미세 공극 폐쇄화로 이어지며 이로 인한 섬유의 강직화 또는 경화 현상이 야기되어 궁극적으로는 물리적 강도 저하의 주원인이 된다. 이와 같이 재활용 공정에서 섬유상 고형물질의 효과적인 재사용을 위해 폐지의 리사이클 시스템을 비롯한 다양한 연구⁸⁻¹⁷⁾가 수행되어 왔다. 특히 폐수처리 공정에서 발생한 슬러지⁸⁾로부터 섬유상 원료 물질을 재이용하려는 연구도 진행되어 왔다. 제지공정에서 용수 시스템을 폐쇄화 하면 할수록 슬러지의 구성 성분도 보다 복잡해진다. 제지공정에서 발생하는 폐기 슬러지의 성상은 섬유상 원료나 지료조성 공정의 리젝트, 폐수처리 공정의 scum, 소각 폐기물 등 단위공정의 구성 등에 따라 매우 다양하다.

사전적 용어의 의미⁹⁻¹⁰⁾로서 scum은 액체의 표면에 축적되어 있는 불순물 층을 지칭한다. 제지공정에서

의 scum은 다양한 형태의 슬러지 중 하나로서 제지산업의 각 공정에서 섬유나 그 외의 물질들이 백수로부터 분급되어 최종적으로 폐수처리 공정을 거치게 되는데, 이 때 폐수처리 공정의 1차 폭기조에서 부유물질들이 고분자 응집제로 응집되어 집수조 표면으로 찌꺼기 형태로 발생하는 부유 고형폐기물을 가리킨다. 이와 같이 고형 폐기물로서 scum은 원료 조성, 리사이클 가능성에 있어 폐 슬러지와는 근본적으로 다르다. 폐지 측면에서 살펴볼 때 제지공정 내에서 발생하는 scum은 원료로서 재이용 가능하다. 1차 폐수처리 공정에서 생성된 scum의 일반적인 성상은 무기계 회분, 섬유 미세분, 재활용 섬유 debries, 안료 또는 잉크 입자 등으로 구성되어 있다. 제지공정 scum에서 섬유상 원료를 재이용할 수 있다면 섬유상 주원료의 보조재로서 또는 고형 폐기물 처리 측면에서 다양하게 운전비용을 절감할 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 인쇄용지, 화장지, 신문용지 및 라이너지를 생산하는 제지공정으로부터 다양한 종류의 scum을 수집하여 각 지종의 공정 내에서 발생된 scum의 스크린 정선 효율, scum에서의 회분 함량 및 무기원소 조성 등의 특성 분석, scum 구성물질의 환경 위해요소 평가, 수집된 scum에서의 섬유상 물질 특성 등을 분석함으로써 제지공정에서 발생한 scum의 재이용 가능성을 평가하고자 하였다.

2 재료 및 방법

2.1 공시재료

본 연구에서는 제지공정에서 발생하는 scum의 재이용 가능성을 평가하기 위하여 인쇄용지, 화장지, 신문용지, 라이너지를 생산하는 제지공정을 대상으로 섬유상 공정지료와 scum을 분양 받아 사용하였다. 4 종류의 지종 생산 공정에 사용된 지료와 scum은 각각 사용원료 및 단위공정의 레이아웃에 따라 시험시료의 채취 위치가 다르기 때문에 각 지종별 생산 담당자와 협의하여 지료 채취 지점을 선택하였다. 본 실험에서 분석 대상으로 선정한 각각의 지종에 대한 간단한 공정도 및 지료 채취 위치를 Figs. 1~4에 나타냈다. 분석에 사용한 공정지료는 화학첨가제가 첨가되지 않은 상태인 mixing chest 유입 직전의 배관에서 밸브를 열어 채

취하였다. Fig. 5에 나타난 바와 같이 scum은 1차 폐수 처리 공정 중 DAF(dissolved air flotation) 공정에서 채취하여 사용하였다.



Fig. 1. Simple block diagram of stock sampling point in fine paper mill.

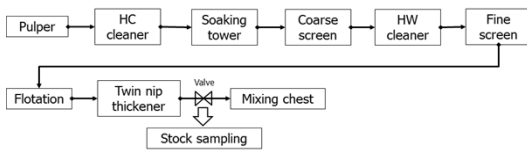


Fig. 2. Simple block diagram of stock sampling point in tissue paper mill.

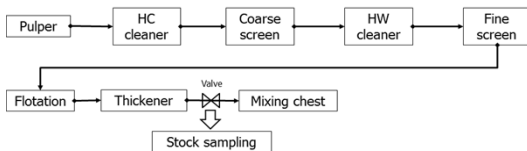


Fig. 3. Simple block diagram of stock sampling point in newsprint paper mill.

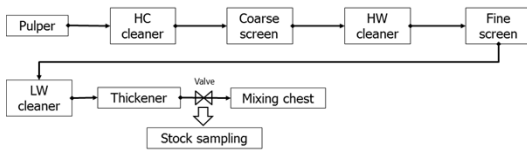


Fig. 4. Simple block diagram of stock sampling point in liner paper mill.

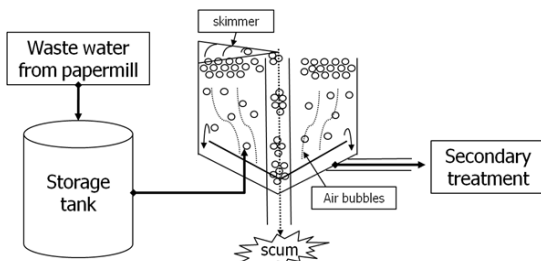


Fig. 5. Schematic diagram of scum generation in waste water treatment process.

2.2 실험방법

2.2.1 Scum의 성분 분석

(가) 회분함량 및 무기원소 분석

공시재료로 사용된 각각의 지종을 생산하는 공정의 폐수처리장에서 1차 처리를 행한 scum을 채취하여 KS M ISO 1762에 의거하여 525℃의 전기로에서 3 시간 동안 연소시켜 회분 함량을 측정하였다. 또한 scum을 연소시켜 얻은 회분을 이용하여 XRF (X-ray fluorescence spectrometry)에 의한 무기원소 성분을 분석하였다. Table 1에 XRF의 분석 조건을 나타냈다.

(나) 중금속 함량 분석

분석 대상 지종의 각 공정에서 채취한 4 종류의 공정 지료 및 scum을 폐기물처리공정 시험법에 따라 ICP-OES (Varian 710-ES)를 이용하여 납(Pb) 및 카드뮴(Cd) 함량을 분석하였다. 각 지종의 공정 지료와 scum 시료를 여과지로 여과시켜 얻은 패드를 105℃의 건조기로 건조 시켰다. 건조된 패드로부터 전건 중량 1.00 g을 채취하여 킬달 플라스크에 넣은 다음 질산 20 mL, 염산 3 mL, 과산화수소 3 mL를 첨가한 후 킬달 플라스크 분해 장치에서 산 용액이 약 5 mL가 남을 때까지 가열 분해를 실시하였다. 이 때 분해 시간에 의한 시료의 손실을 최소화하기 위하여 단 시간 내에 분해를 완료하였으며, 가열분해 과정에서 산류가 끓는점 이상으로 가열되어 갑자기 끓어 넘치는 돌비현상을 막기 위해 유리 비드 5~6 개를 함께 넣어 준 다음 산 분해를 실시하였다.

산 분해가 완료된 용액은 상온에서 방랭 후 부피 플라스크에 옮겨, 손실을 최소화하기 위해 초순수를 이

Table 1. Analysis conditions of X-ray fluorescence spectrometer

Measuring system	SEA 200
Tube Target Elem	Rh
Meas. Time (sec)	100
Live Time (sec)	90
Collimator (mm)	2
Tube Voltage (V)	50
Tube Current (μ A)	200
Filter	No filter
Mylar	Off

용하여 킬달 플라스크의 안쪽 벽면을 수차례 세척한 후 세척수와 희석수를 합해 100 mL가 될 때까지 시료를 희석하였다. 이 후 100 mL로 희석된 용액을 0.45 μ m 실린지 필터로 여과하여 잔존 유기물 및 이물질질을 제거하였다. 시료의 중금속 함량은 ICP-OES(Varian 710-ES)를 이용하여 정량 분석 하였으며, 검량선 작성은 납 및 카드뮴을 포함하는 표준 용액 0.1 ppm, 0.5 ppm, 1 ppm, 5 ppm으로 실시하였으며, 분석 원소의 측정 파장은 Pb 220,353 nm, Cd 226,502 nm로 설정하여 분석하였다.

또한 각 지종 별 섬유상 공정 지료와 scum의 Cr⁶⁺의 분석은 UV-vis spectroscopy를 이용하였으며, USEPA(United States Environmental Protection Agency) 3060A에 규정된 'Alkaline digestion for hexavalent chromium' 방법에 의거하여 전처리를 행하였으며, USEPA 7169A에 의거한 'Chromium, hexavalent (colorimetric)' 방법을 이용하여 정량분석 하였다. USEPA 분석방법에 따라 0.28M Na₂CO₃와 0.5M NaOH를 혼합한 알칼리 수용액을 이용하여 95~100°C에서 1 시간 동안 용출 조작을 실시한 후 질산을 이용하여 pH 7~8로 조절하고 diphenylcarbazide 용액을 첨가한 다음 pH 1~2의 조건에서 적자색으로 발색된 Cr⁶⁺의 농도를 UV-vis 540 nm 파장에서 분석하였다. 검량선 작성은 Cr⁶⁺을 포함하는 표준 용액 0.1~0.5 ppm으로 분석하였다.

2.3 Scum 첨가 비율을 조절한 수초지 제조 및 물리적 특성 평가

2.3.1 수초지 제조

각 분석 대상 지종별 공정에서 채취한 공정 지료에 일정량의 scum을 첨가하여 수초지를 제조하였다. Scum은 초지하기 전에 실험실용 섬머빌 스크린을 사용하여 정선 처리하였으며, scum의 정선 수율을 측정하였다. 또한 분석 대상 지종의 폐수처리 공정에서 채취하여 정선한 scum을 각 공정에서 채취한 섬유상 지료에 0%, 1%, 5%, 10% 비율로 첨가한 다음 KS M ISO 5269-1에 따라 평량 80 gsm의 수초지를 제조하였다.

2.3.2 수초지의 광학현미경 이미지 특성 분석

각각의 지종별 공정에서 채취한 섬유상 지료에 정선한 scum을 첨가하여 제조한 수초지의 고정밀 광학현

미경(Nikon, Eclipse LV100)에 의한 이미지 분석(Image-pro Plus) 및 전자현미경(Scanning Electron Microscope, Jeol, JSM-5910LV, Japan)에 의한 수초지의 표면구조 특성을 상대 비교평가 하였다.

2.3.3 수초지의 물리적 특성 분석

각 분석 대상 지종별 공정에서 채취한 공정 지료에 일정량의 정선 처리한 scum을 첨가하여 제조한 수초지의 물리적 특성 변화를 분석하기 위하여 인장강도, 인열강도, 파열강도, 내절도를 측정하였다. 인장강도(L&W, tensile strength tester)는 KS M ISO 1924-2, 인열강도(Frank, tear strength tester)는 KS M ISO 1974, 파열강도(L&W, bursting strength tester)는 KS M ISO 2758, 내절도(Tinius Olsen, MIT-folding tester) 변화는 KS M ISO 5626에 의거하여 측정하였으며, 모든 물리적 강도측정은 각 시료마다 10회 이상 반복하였고, 평균값을 취하여 나타냈다.

2.3.4 수초지의 광학적 특성분석

각각의 지종별 공정에서 채취한 섬유상 지료에 정선 처리한 scum을 첨가하여 제조한 수초지의 광학적 특성을 분석하기 위하여 L*, a*, b* 값 및 백색도를 측정하였다. L*, a*, b* 값 및 백색도는 KS M ISO 7026 및 KS M ISO 6588-1에 의거하여 Elrepho spectrophotometer(L&W)를 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 각 지종 scum의 스크린 정선 효율

Fig. 6은 실험실용 섬머빌 스크린을 이용하여 정선 처리한 scum의 정선 효율을 나타낸 결과이다. 인쇄용지 공정에서의 scum 정선 효율은 71.75%로 가장 높게 나타났으며, 화장지 공정은 62.79%, 신문용지 공정은 10.83%, 라이너 공정은 32.88%로 나타났다. 각 지종별 공정에서의 scum을 공정 원료로 재활용하기 위해 각 공정에 투입할 경우, scum의 정선 효율은 지료 정선 공정에서의 공정 부하에 직접적으로 영향을 미치게 된다. 즉 scum의 정선효율이 낮으면, 그 만큼 지료 정선 공정 중 클리너 혹은 스크린에서의 처리 부하를 높이는 직접적인 원인이 된다. 따라서 scum의 정선효율이 가

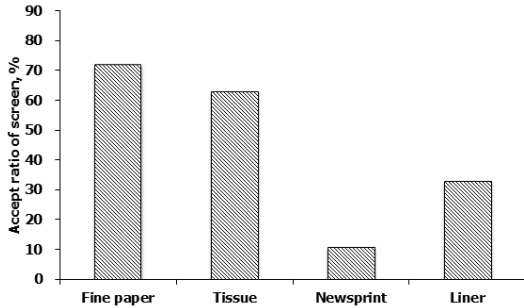


Fig. 6. Accept ratio of scum obtained from different paper mills.

장 낮게 나타난 신문용지 생산 공정의 scum을 공정 원료로 재활용한다면, 공정 지료의 정선 시스템에 부하를 높여 생산성 저하 또는 정선 에너지 소비 증가 등과 같은 문제점을 야기할 가능성이 있을 것으로 판단된다.

특히 테스트 라이너나 골심지를 생산하는 공정의 경우 섬유상 주원료로서 OCC를 전량 사용하고 있지만 지료 정선공정이 타 지종에 비해 보다 체계적인 시스템을 갖추고 있기 때문에 비록 scum의 정선 효율이 32.88%로 다소 낮다 하더라도 재활용에는 큰 문제가 되지 않을 것으로 사료된다.

3.2 각 지종 scum의 회분 함량

Fig. 7는 각 분석 대상 지종의 폐수처리장에서 채취한 scum에서의 회분 함량을 분석한 결과이다. 인쇄용지 및 화장지 공정에서 발생된 scum의 회분 함량은 각각 61.16%, 77.81%로서 scum 중에 회분이 상당히 많이 포함되어 있음을 알 수 있었다. 또한 Fig. 6에서 나타난 scum의 스크린 정선효율과 비교하였을 때, scum 중 회분 유발 물질 상당량이 공정 스크린에 의해 분리 및 제거되지 못하고 공정에 혼입되는 것으로 나타났다. 따라서 인쇄용지 및 화장지를 생산하는 공정에서 발생된 scum을 재이용할 경우 각 공정에서 회분 유발 물질에 의한 다양한 문제점이 발생할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 신문용지를 생산하는 공정에서 발생된 scum의 회분 함량은 64.04%로서 높았지만 Fig. 6의 결과에서와 같이 공정 스크린에 의해 회분 유발 물질이 다량 제거됨을 알 수 있었다. 라이너지를 생산하는 공정에서 발생된 scum의 회분 함량은 23.90%로 타 지종에 비해 scum의 회분 함량은 낮았지만 Fig. 6의 결과에서와

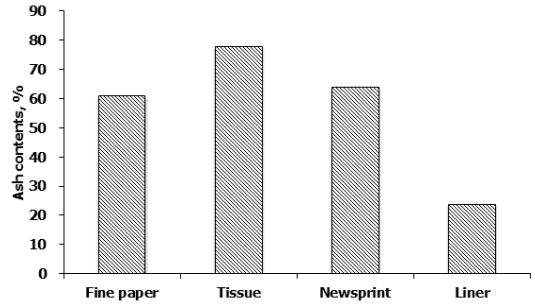


Fig. 7. Ash contents of scum obtained from different paper mills.

같이 정선 효율이 낮은 것은 scum 성분 중 미해리 섬유분이나 스티키 등과 같은 이물질이 다량 존재하고 있기 때문으로 사료된다.

3.3 각 지종별 scum 회분에서의 무기원소 분석

Fig. 8은 분석 대상 지종을 생산하는 공정의 폐수처리장에서 채취한 scum을 525°C 에서 3 시간 동안 연소시켜 얻은 회분을 이용하여 XRF에 의한 무기원소 분석 결과를 나타낸 것이다. 인쇄용지, 화장지, 라이너지를 생산하는 공정에서 발생된 scum에서의 무기원소 성분은 Ca과 Fe이 대부분이었으며, 신문용지를 생산하는 공정에서 발생된 scum은 Ca이 주요 구성을 나타냄을 알 수 있었다. 각 지종의 scum 중 Ca 성분을 나타내는 무기원소는 충전제로 사용된 탄산칼슘(CaCO_3) 등과 같은 무기물이 지필에 보류되지 않고 폐수로 유입되었거나, 혹은 폐지를 재활용하는 과정에서 cleaner나 screen에 의해 제거된 탄산칼슘이 폐수 공정으로 유입되어 발생한 결과로 사료된다.

3.4 각 지종별 scum에서의 중금속 물질 분석

최근 국제적으로 지류 제품에서의 중금속 함량에 대한 규제가 지속적으로 강화되고 있어 현재에는 지류포장재의 경우 4대 중금속(Pb, Cd, Cr^{6+} , Hg) 함량의 총량을 100 ppm으로 제한하고 있다. 인쇄용지, 화장지, 신문용지, 라이너 생산 공정에서 각 지종의 공정 지료에 화학 첨가제가 첨가되지 않은 상태인 mixing chest로 유입되기 직전의 배관에서 채취한 지료와 폐수 1차 처리공정에서 발생된 scum을 사용하여 중금속 함량을 정량 분석하였으며, 그 결과를 Table 1에 나타냈다.

각 지종별 scum의 중금속 함량을 측정된 결과 6가

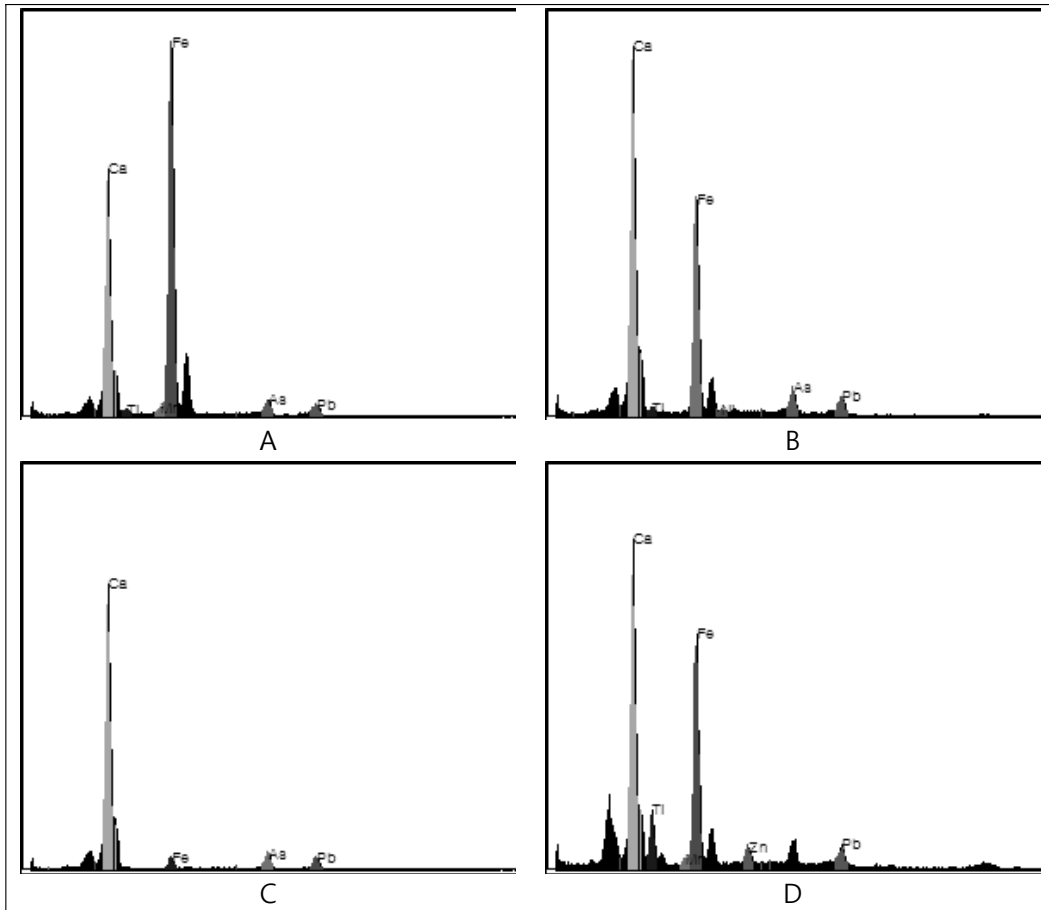


Fig. 8. Mineral elements of scum obtained from different kinds of paper mills; A: Fine paper mill, B: Tissue mill, C: Newsprint mill, D: Liner mill.

크롬(Cr^{6+})은 전혀 검출되지 않았다. 카드뮴(Cd)은 인쇄용지 공정 scum에서 7.33 ppm, 신문용지 공정 scum에서 1.93 ppm, 라이너 공정 scum에서는 14.07 ppm 정도가 검출되었으며, 각 지종의 공정 지료에서는 전혀 검출되지 않았다. 또한 납(Pb)의 경우 인쇄용지, 화장지, 라이너를 생산하는 공정 지료에서는 전혀 검출

되지 않았으나, 신문용지 생산 공정 지료에서는 약 4.02 ppm 정도가 검출되었고, 이와 같은 결과는 탈묵 처리 공정에서 제거되지 않은 미분화된 잉크 입자에 잔존하는 납 성분이 지료에 잔류되어 나타난 결과로 사료된다. 또한 화장지 공정을 제외한 각 지종 scum에서는 거의 모두 납 성분이 검출되었으며, 그 중 라이너를 생

Table. 2 Heavy metal contents of stocks and scum obtained from different paper mills.

Heavy metal	Fine paper		Tissue		Newsprint paper		Test liner	
	Stock	Scum	Stock	Scum	Stock	Scum	Stock	Scum
Cr^{6+}	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Cd	n.d.	7.33	n.d.	n.d.	n.d.	1.93	n.d.	14.07
Pb	n.d.	21.76	n.d.	n.d.	4.02	18.96	n.d.	45.16

n.d. : ≤ 1 ppm

산하는 공정에서 발생된 scum에서 납 성분 함량이 45.16 ppm로 가장 높았다. 그러나 라이너 공정의 scum을 재이용할 경우 OCC 용도의 정선설비를 잘 갖추고 있기 때문에 재활용 공정과정에 야기될 수 있는 중금속 축적 문제를 해결할 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 인쇄용지를 생산하는 공정에서는 OCC 정선설비와 같은 다양한 이물질을 제어할 수 있는 정선설비가 미흡하기 때문에 scum을 재이용 한다면 공정 내에서 중금속 물질을 제어할 수 있는 설비 검토가 필요할 것으로 판단된다.

3.5 각 지종에서 scum 첨가에 따른 수초지 이미지 분석

Figs. 9 및 10은 각 지종의 mixing chest로 유입되는 배관에서 채취한 지료에 실험실용 스크린으로 정선한 scum 1%, 5%, 10%를 각각 첨가하여 제조한 수초지의 표면 특성을 광학현미경 및 전자현미경(SEM)으로 분석한 결과이다.

각 지종의 지료를 이용하여 초지한 수초지는 정선 scum의 첨가량을 높일수록 scum에 의한 이물질의 양이 증가함을 관찰할 수 있었다. 인쇄용지 공정에서 채

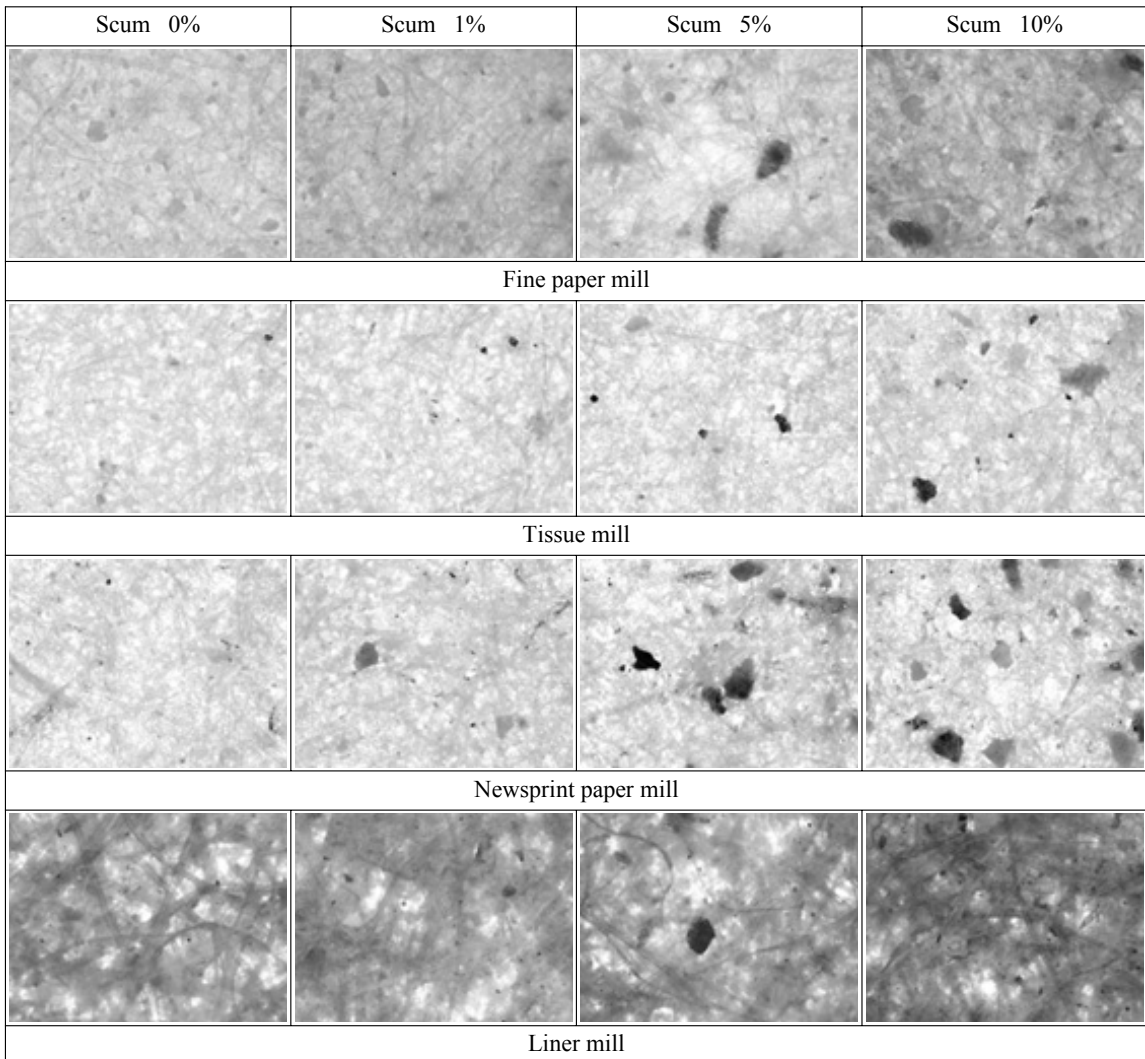


Fig. 9. Optical microscopic images of handsheets by adding different dosage of scum.

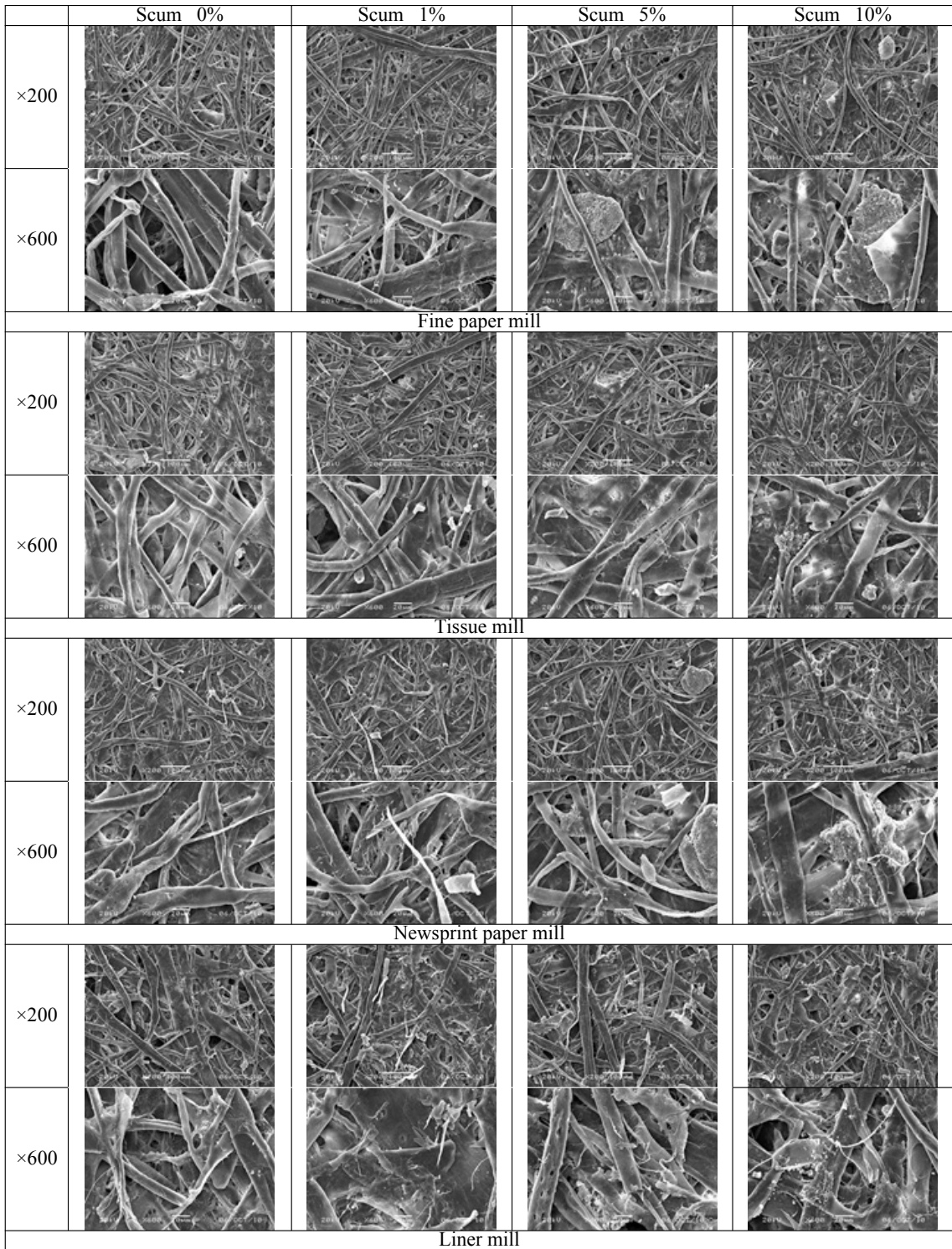


Fig. 10. SEM images of handsheets by adding different dosage of scum.

취한 정선 scum은 다소 황색을 띠어 scum 첨가에 따라 수초지 색도 변색되었으며, 종이 표면에는 무기충전제 유래의 미세 입자를 관찰할 수 있었다. 또한 화장지 및 신문용지를 생산하는 공정에서는 정선 scum 첨가 시 scum 내에 잔존하고 있던 무기계 안료 입자가 다량 포함되어 시트의 품질저하 원인을 알 수 있었다. 그러나 라이너를 생산하는 공정 지료의 경우 지료 자체에 이물질이 다량 포함된 것과 같은 이미지였으나, 정선 scum을 10% 첨가한 경우에는 수초지에 이물질이 다량 잔존하게 됨을 관찰할 수 있었지만 1~5% 첨가한 수초지에서는 이물질의 양이 거의 차이가 없음을 알 수 있었다.

따라서 인쇄용지, 화장지, 신문용지를 생산하는 공정의 섬유상 지료 원료에 scum을 재활용하여 첨가하면 scum에 존재하는 스티키 물질이나 미세 고분자 합성물질, 무기계 안료나 충전제 등의 이물질들이 시트 내의 섬유 층간에 잔류하여 궁극적으로 시트의 섬유 간 결합력 저하 및 다양한 색상의 반점들이 시트 표면에 나타나 품질 저하의 주요 원인이 될 것으로 사료된다. 그러나 라이너를 생산하는 공정에서는 타 지종에 비해

scum 투입에 따른 품질 저하는 상대적으로 높지 않을 것으로 사료된다.

3.6 Scum 혼합에 따른 수초지의 물리적, 광학적 특성

Figs. 11과 12는 각 지종의 mixing chest로 유입되는 배관에서 채취 지료를 실험실용 스크린으로 정선한 scum 1%, 5%, 10%를 각각 첨가하여 제조한 수초지의 내절도, 인장지수, 인열지수, 파열지수 등의 물리적 특성 및 L, a, b value, 백색도 등의 광학적 특성을 나타낸 결과이다.

인쇄용지 및 화장지 생산 공정지료에 정선 scum을 혼합한 수초지의 경우 scum 첨가에 따라 내절도는 약간 상승하는 특성을 보였으나 인장강도, 인열강도, 파열강도 특성은 거의 변화가 없었다. 내절도 상승 원인은 1차 폐수처리 공정에서 부유고형분 물질을 제거하기 위하여 양이온 PAM과 같은 응집제를 첨가한 scum에 의한 것으로 사료된다. 그러나 인쇄용지 생산 공정 지료에 scum 1%, 5%, 10%를 첨가하여 수초지를 제조한 경우 공정지료만을 사용하여 초지한 수초지에 비해

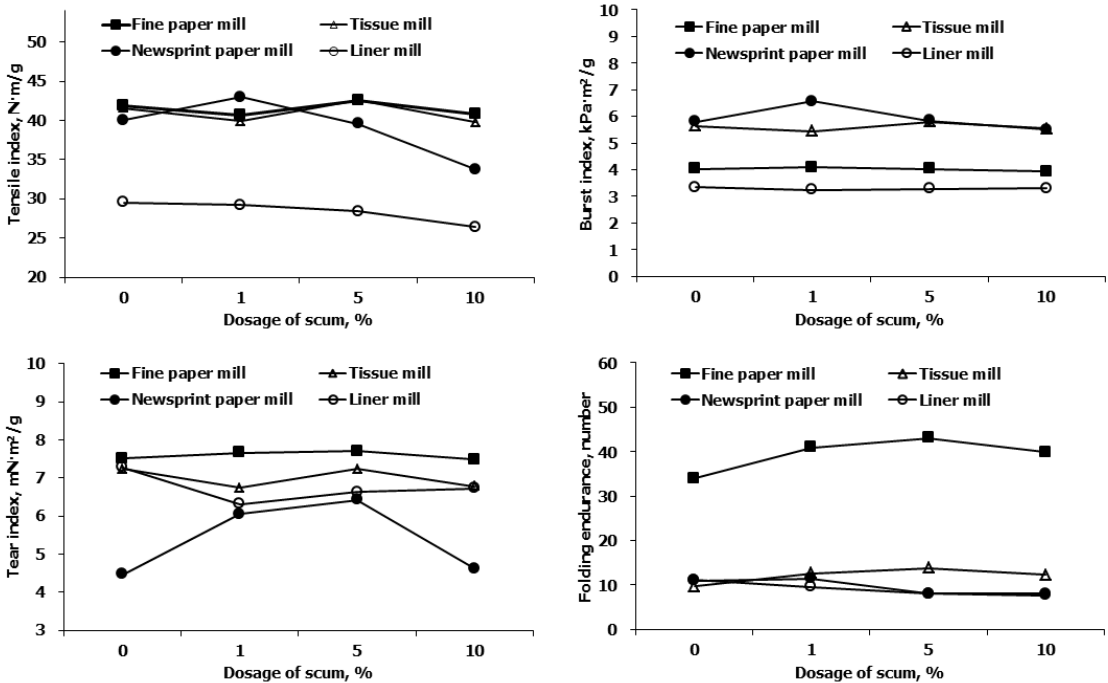


Fig. 11. Changes in physical properties of handsheets by adding different dosage of scum.

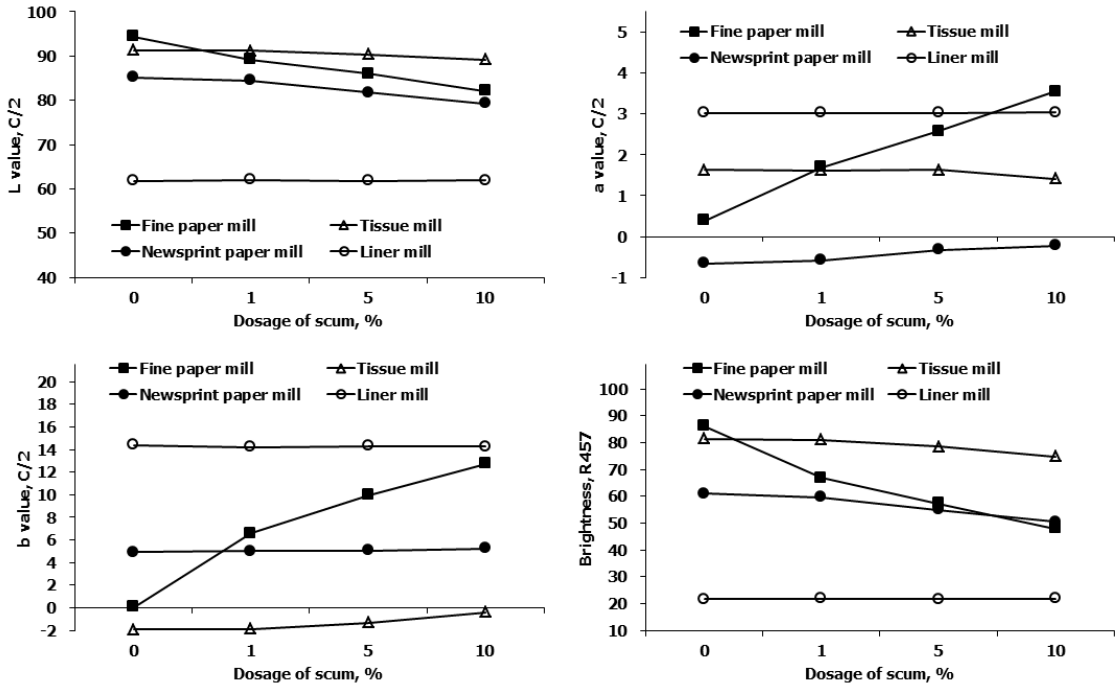


Fig. 12. Changes in optical properties of handsheets by adding different dosage of scum.

백색도는 각각 22.25%, 33.47%, 44.21% 정도 감소하여 백색도 특성이 중요한 인쇄용지에 scum을 재활용하기 위해 혼입하기에는 어려움이 있을 것으로 사료된다. 이와 같은 결과는 Fig. 9의 광학현미경 이미지에서와 같이 scum이 갈색을 띠어 나타난 결과로 판단된다. 또한 화장지 생산 공정지료에 scum 1%, 5%, 10%를 첨가하여 수초지를 제조한 경우 공정지료만을 사용하여 초지한 수초지에 비해 백색도는 각각 0.59%, 3.52%, 8.11% 정도 낮아져 화장지에서 품질 저하 원인이 될 것으로 판단된다.

신문용지 생산 공정지료에 정선 scum을 첨가하여 수초지를 제조한 경우 scum 1%를 첨가하였을 때 내절도, 인장강도, 인열강도, 파열강도는 scum에 포함된 양이온 폴리머에 의해 약간 상승하는 결과를 나타냈으며, 5% 이상 첨가하였을 경우 Fig. 9 및 10에 나타낸 바와 같이 잉크 입자 등의 이물질 혼입으로 인한 강도 저하 현상이 나타났다. 또한 Fig. 12의 광학적 특성 결과에서도 scum의 첨가량을 늘릴수록 백색도가 낮아져 품질 저하의 원인이 될 것으로 판단된다.

그러나 라이너 생산 공정지료에 정선 scum을 첨가

하여 수초지를 제조한 경우 내절도와 파열강도는 차이가 거의 없었으나 인장강도는 scum 1% 첨가 시 미세한 강도 감소의 원인이 되었다. 그러나 라이너 제조공정의 scum 발생량을 분석한 결과 지료원료의 약 2.5%로 측정되었으며, 따라서 scum을 2.5% 정도 첨가 시 물리적, 강도적 특성의 저하 뿐 아니라 시트의 색 변화에도 거의 영향을 미치지 않아 scum의 재활용이 가능할 것으로 사료되며 공정 에너지 절감 및 고형분 폐기처리 비용의 절감을 모색할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구는 인쇄용지, 화장지, 신문용지, 라이너지 생산공정으로부터 다양한 종류의 공정지료 및 scum을 분양받아 scum의 스크린 효율, 섬유상 원료로서의 구성, 보조적인 섬유 혼합재료로서의 특성 또는 고형 폐기물 사용에 의한 문제점 발생 가능성 등을 종합적으로 검토하고자 하였으며, 또한 각 지종으로부터 생성된 scum의 조성, 환경 위해요소의 조명, scum의 섬유상 물질 재이용 특성 평가 등을 목적으로 수행하였다.

Scum 정선 효율은 인쇄용지 공정에서 가장 높았으며, 그 다음으로 화장지, 라이너, 신문용지 공정 순으로 나타났다. 특히 각 지종생산 공정에서 scum을 공정 자료원료로 재활용할 경우 scum의 정선 효율은 각 지종의 생산공정에서의 정선 부하와 서로 밀접한 관련을 갖게 될 것으로 판단된다. 또한 인쇄용지 및 화장지 공정에서의 scum은 회분 함량이 높았으며 재이용 시에는 각 공정에서의 회분 유발 물질에 의해 다양한 문제점이 나타날 것으로 판단되었다.

인쇄용지, 화장지, 라이너 공정에서의 scum의 무기원소 성분은 주로 Ca과 Fe 이었으며, 신문용지 공정에서의 scum의 무기원소 성분은 Ca이었다. 또한 지종별 scum에서의 중금속 함량 중 6가 크롬은 전 지종에서 검출되지 않았으며, 카드뮴은 인쇄용지, 신문용지, 라이너 공정 scum에서 미량 검출되었으며, 또한 모든 지종의 공정 지료에서는 전혀 검출되지 않았다. 또한 인쇄용지, 화장지, 라이너 공정 지료에서 납 성분은 전혀 검출되지 않았지만, 신문용지를 생산하는 공정 지료에서는 미량 검출되었다.

라이너 생산공정에서의 정선 scum의 혼입은 내절도, 파열강도에는 영향을 미치지 않았으나 인강강도는 미세한 강도 감소의 원인이 되었다. 그러나 2.5% 정도의 scum 혼입은 물리적 특성에 영향을 미치지 않을 것으로 판단되며 재활용 시 공정 에너지 절감 및 고품분 폐기처리 비용의 절감 효과가 가능할 것으로 판단되었다.

사 사

본 논문은 국민대학교 2010 교내연구비지원에 의하여 수행되었습니다.

인용문헌

1. 한국제지공업연합회 통계연보, 한국제지공업연합회, (2012).
2. Rubio, J., Souza, M.L., Smith, R.W., Overview of flotation as a wastewater treatment technique, *Minerals Engineering* 15:139 - 155 (2002).
3. Krigstin, S., Sain, M., Characterization and potential utilization of recycled paper mill sludge. Paper presented at the PAPTAC 91st Annual Meeting (2005).
4. Rosazlin, A., Wan Rasidah, K., Kartini, A. B., Hamidah, D. & Rozita, A., Characteristics of paper mill sludge and its potential as planting media. Paper presented at the Seminar on Advances in Soil, Plant and Fertilizer Analysis, 3-5 August (2005).
5. Pokhrel, D., Viraraghavan, T., Treatment of pulp and paper mill wastewater — a review, *Science of the Total Environment* 333:37 - 58 (2004).
6. Thompson, G., Swain, J., Kay, M., Forster, C.F., The treatment of pulp and paper mill effluent: a review, *Bioresource Technology* 77:275-286 (2001).
7. Gogate, P.R., Pandit, A.B., A review of imperative technologies for wastewater treatment I: oxidation technologies at ambient conditions, *Advances in Environmental Research* 8:501 - 551 (2004).
8. Cho, J.H., Choi, Y.S., Park K.H., Studies on the recycling of sludge originated from a copy paper mill by calcination, *Journal of Korea TAPPI*, 42(1):1-6 (2010).
9. Smook G.A. Handbook for pulp & paper Technologists, pp. 381-397, (2002).
10. 강광호, 김형진, 폭기공정에서 발생하는 scum의 분석 및 재활용에 따른 시트의 물성 변화, 한국펄프종이공학회 2005 춘계학술발표논문집, 한국펄프종이공학회, pp. 48-54 (2005).
11. Seifert, J.A. Selecting Thickeners and Clarifiers, *Chemical Engineering* 94(14):111-118 (1987).
12. Weeks, B. Oleszkiewicz, J.A. Shock Loading Lagoons and Activated Sludge Treating Bleached Kraft Mill Wastewater, *Pulp and Paper Canada* 95(8):T295-298 (1995).
13. Swaney, J.M. Rapid Infiltration Effluent Color Removal System Becomes Operation at Skookumchuck. *Pup and Paper Canada*, 86(2):T47 (1985).
14. Dorica, J.G. et al., Sludge Dewatering Practices at Canadian Pulp and Paper Mills, *Pup and Paper Canada*, 100(5):19 (1999).
15. Amberg, H.R., Sludge dewatering and disposal in the pulp and paper industry, *Journal WPCF*, 56(8):962-969 (1984).
16. Wan, Rasidah, K., Mahmudin, S., Wan Asma, I. and Rosazlin, A., Properties of sludge from paper mill processing recycle paper. pp.53-58 in Zhou X. *et al.*

- (Eds.) *Proceedings of the 7th Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium*, Volume II, 31 October - 2 November 2004, Nanjing, China. (2004).
17. Wan Rasidah, K., Rosazlin, A. and Rozita, A., Compostability of biologically treated paper mill sludge. pp. 246-249 in Nor Azman H. *et al.* (Eds.) *Prosiding Seminar Hasil Kajian IRPA RMK-8 2004 FRIM*, 1-3 February 2005, Melaka. Forest Research Institute Malaysia (2005).