

환경친화적 제지 슬러지 처리 기술

서영범

Environmentally Friendly Use of Paper Mill Sludge

Yung-Bum Seo

서론

본 보고서는 서울대학교 농과대학 농업과학 공동기기 센터(NICEM)에서 주관하는 IBRD 차관에 의한 해외 교육 훈련 계획에 의해 2개월간 미국에서 연구 및 조사한 결과를 요약한 것이다. 연구조사는 환경 관련 분야 중에서 제지 슬러지 처리 기술에 관해 이루어졌다.

제지 산업에 있어서 슬러지는 폐수 처리 과정의 결과로서 발생하며, 최종 고형분 폐기물로서 생물학적 분해가 일어나기는 하지만 그 양과 부피가 상당히 크기 때문에 환경 문제를 일으킬 수 있는 물질이다. 펄프에 비해 고지의 경우 슬러지의 발생량이 많아서 전체 원료의 20% 이상을 점유하게 되므로 고지를 특별히 많이 사용

하는 우리나라의 환경에서는 (1995 - 47%, 1996 - 50%, 1998 이후 55%. 제지에서의 고지 사용 목표) 그 영향이 막대할 수 밖에 없다. 펄프의 가격이 고지보다 상대적으로 비싼 현실에서는 외국에서 고지를 수입하게 됨으로 환경적인 점에서는 외국의 슬러지까지 국내 처리가 이루어지고 있는 셈이다. 이러한 슬러지가 현재는 거의 모두 매립지에 매립되고 있고, 약간만이 해양 투기, 소각 처리 및 특수 처리후 상품화가 시도되고 있는 실정이다. 미국의 경우도 제지에 있어서 고지의 사용량이 제지 산업 전체에 걸쳐 매년 증가하고 있다 (1988 - 30% 달성치, 1994 - 40% 달성치, 2000 - 50% 목표). 이러한 고지의 이용은 슬러지의 발생을 급격히 증가시킨다 (미국의 조사 결과, 표1, 표 2).

표1. 펄프 생산과 고지 처리시 슬러지 발생량 차이

공장	슬러지 발생량 (Kg/ton)	추가 발생량 (Kg/ton)
크라프트 펄프	58	
Sulfite 펄프	102	
고지 Deinking	234	
철사 노끈 협잡물		38

Miller, R. and others, In Focus 95 + Proceedings, TAPPI Press, Atlanta, 1991, p.343-362

표 2. 펄프와 고지 사용시 제지 과정에서의 슬러지 발생량 차이

종이의 종류	슬러지 발생량 (Kg/ton)		평균
	펄프	고지	
신문지	57	164	69
티슈	33	406	382
인쇄용지	62	187	165

From 'Progress in Paper Recycling 3(1): 64-70, 1993'

더구나 산업화가 진행됨에 따라 환경문제가 의식화되고 산업 전반에 중요한 고려 사항으로 크게 대두되기 시작했으며, 이제는 폐기물의 소각 (공기 오염), 하천 방류 (하천 오염), 및 매립 (매립지 부족) 이 모두 규제를 받는 상황에 이르렀다. 종이류의 소각은 다이옥신의 배출이 문제가 되고, 폐수 처리 후의 물의 오염이 안전 규정 이상을 유지해야 하며, 슬러지의 양과 부피는 매립지가 한없이 넓혀지지 않는 이상 규제를 받지 않을 수 없는 형편인 것이다. 이러한 상황에서 현재 대부분 매립지나 소각에 의존하고 있던 제지 슬러지의 처리를 다시 생각해 보지 않을 수 없는 형편이다. 슬러지 매립에 있어서 미국의 경우, 실제로 그 규제가 더욱 엄격하여 지고 매립 비용이 증가해온 상황을 표 3에서 볼 수 있으며 우리 나라의 상황도 그다지 다르지 않음을 짐작할 수 있다.

현재까지 각 공장들은 제지 슬러지 문제를 효과적으로 처리하기 위해서 자기 나름대로의 방식으로 노력을 해 왔다. 여기서는 이제까지 개발된 모든 슬러지 처리 방법들을 설명하고 최근에 개발된 기술들을 함께 소개함으로써 앞으로 각 공장들이 공장 사정에 맞는 기술 혹은 처리 방식을 개발하여 슬러지를 환경 친화적으로 처리하는 데 도움을 주려고 한다. 환경 친화적 처리가 아니고는 이제 하늘과 땅과 하천 어디에도 처리하는데 큰 부담으로 작용하게 될 것이다. 국가나 지방 자치 단체에서는 제지 슬러지의 처리에 관심을 갖고 환경 친화적으로 사용되도록 하는 연구에 투자를 아끼지 말아야 하겠다. 끝 부분에 슬러지의 환경 친화적 사용에 대한 환경 정책 및 규제의 완화 조치에 대한 미국의 예를 제시하고 제지 슬러지 처리에 대한 우리의 해결점들을 제시하려 한다.

표3. 매립지 수와 비용의 변천 (미국 뉴욕주)

년도	매립지 수	처리 비용 (\$)
1964	1600	자료 없음
1982	518	\$30/ton
1995	40	\$ 60 - 130/ton

기존의 처리방식

슬러지 문제를 최소화하기 위해서는 기본적으로 공장 내에서 슬러지의 발생을 최소화 하여야 한다. 회수해서 쓸 수 있는 섬유 자원은 최대한으로 회수해서 종이 제조에 쓰이도록 해야 한다. 이를 위해 최근 각종 섬유 선별 기술이 개발되고 있으며, 그 효과를 보는 공장들의 예가 등장하고 있다. 다시 말해 종래에 슬러지로 폐기 처분하던 일차 고형분 (생물학적 처리 슬러지 고형분이 아닌 탈수 슬러지) 를 다시 선별하여 상당한 양의 장섬유분을 회수하는 기술이 개발되어 산업화 되고 있다. 또 슬러지를 태움으로써 열을 회수하며 부피를 줄이고 그 열을 이용하는 기술이 널리 사용되고 있다. 이 때 매립량이 현저히 감소함으로써 매립지의 부족을 경감시킬 수 있게 된다. 또 소각재를 건축자재나 토지 개량제로 사용하는 방법도 있다. 이에 대해서는 다시 자세히 언급할 예정이다. 마지막으로 슬러지로 유용한 상품을 만들어 재사용하도록 하는 것이다. 각종 흡수재나 구조물 자재, 환경 오염 처리제 등으로 사용되고 있으며, 에탄올이나 기타 화학 약품을 제조하기도 한다. 이들에 대해서는 환경 친화적 슬러지 이용에서 다시 다루기로 한다.

슬러지의 효과적인 처리를 위해서는 먼저 슬러지의 농도를 높이는 작업이 필요한데 현재 공장에서는 그림 1과 같은 장치를 사용하여 처리하고 있다. 미국의 최근 최종 슬러지 처리 방식은 표 4와 같으며 아직도 매립이 슬러지 처리의 대부분을 차지하고 있다. 현재 우리 나라는 미국보다 매립지의 선택이 더 어려운 상황이다.

소각에의한 에너지 회수는 50-80%의 부피 감

소를 초래한다. 하지만 소각이 잘 되기 위해서는 고형분의 양이 상당히 많아야 한다. 미국 뉴욕주 의 경우 발열량이 4000 BTU/lb 이상되는 폐기 물만이 소각 및 열분해에 사용될 수 있도록 규정 하고 있다. 따라서 무기물(충전제 등)이 적은 슬 러지는 32% 이상의 고형분, 무기물이 20% 되는 슬러지는 45% 이상의 고형분, 무기물 50% 이상 되는 탈묵 슬러지는 70% 이상의 고형분이 있어야

self combustion 능력이 있다. 일반적으로 40 - 45% 이상의 고형분이 되어야 소각될 수 있다.

열분해 (Pyrolysis and Gasification) 와 Wet Air Oxidation 도 소각의 범주에 들며 실 제로 사용되고 있다. Wet Air Oxidation 은 높 은 압력의 공기를 사용하여 산화시키는 방법으 로서, 재로 남는 충전제를 재사용 할 수 있는 이점이 있다.

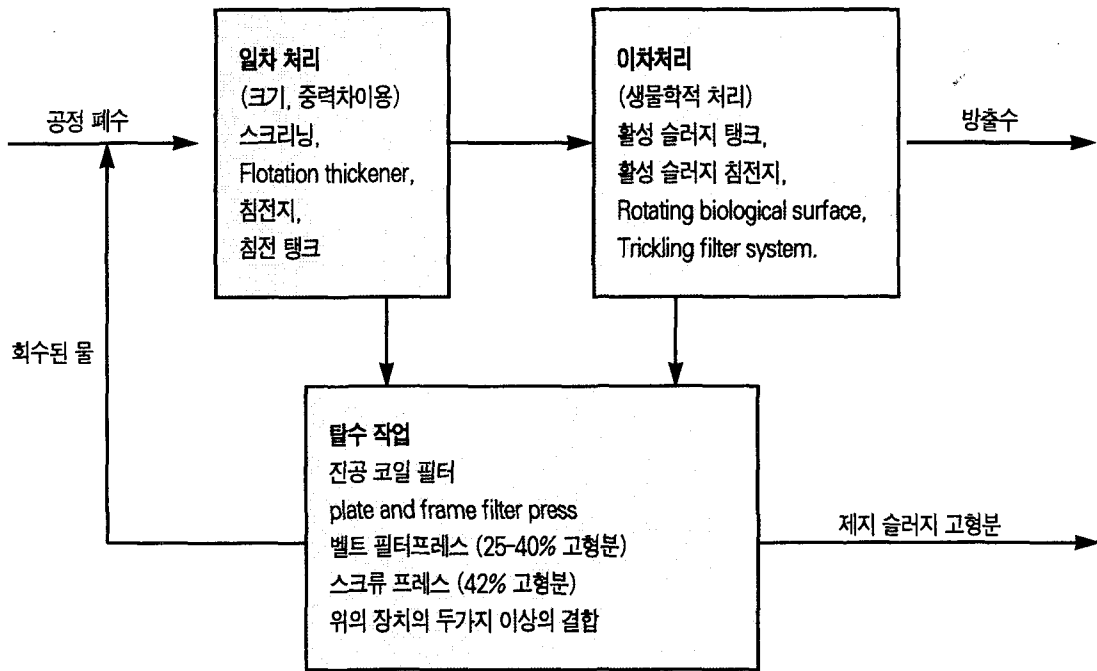


그림1. 폐수 처리 공정

표 4. 미국의 최종 슬러지 처리방법 (1993 현재)

처리 방법	공장들의 사용 빈도 (%)
매립	69
소각	27
지표면 처리	8
기타	8

From 'Progress in Paper Recycling 3(1): 64-70, 1993'

슬러지의 자원화에 의한 상품화

한국의 경우

한국도 제지 슬러지 처리를 위해 오래전 부터 제지 슬러지 이용 방법이 다각도로 연구되어 왔으나 계속적으로 또 대량으로 슬러지를 사용하는 방식은 아직까지 실용화 되지 못하고 있는 형편이다. 이것은 제지 슬러지 상품화의 가장 중요한 점인 소비자 존재를 경시한 탓이 아닌가 생각된다. 예로서 제지 슬러지의 비료 제조는 비료가 봄과 가을에만 주로 쓰인다는 점을 주의해야 하며, 제지 공장은 사계절 모두 슬러지를 방출한다는 점을 고려해야 한다. 따라서 생산된 비료를 안정되게 저장할 수 있는 특수 창고 비용도 비료 생산비에 포함되어야 할 것이다. 건축 내장재의 원료로 제지 슬러지가 쓰이는 경우에는 장기간 인체 접촉에 대한 영향이 검증되어야 할 것이다. 최근까지 국내에서 연구된 제지 슬러지의 활용을 정리하면 다음과 같다.

- * 紙 Pulp 공장의 폐섬유소의 자원화에 관한 연구 (1) - 산 가수분해 및 성분 분석, 펄프 제지 공학, 온 두언 외 2인, 16 (2), 1984
- * 紙 Pulp 공장의 폐섬유소의 자원화에 관한 연구 (2) - 슬러지의 산 가수분해, 펄프 제지 공학, 17 (1), 1985
- * 종이 Pulp 공장의 폐섬유소의 자원화에 관한 연구 (3) - 슬러지의 효소 가수분해, 펄프 제지 공학, 17 (2), 1985
- * 종이 Pulp 공장의 폐섬유소의 자원화에 관한 연구 (4) - 슬러지의 효소 가수분해에 대한 속도론, 펄프 제지 공학, 18 (1), 1986
- * 제지 슬러지 비료화 연구, 한순교, 이화형, 펄프 제지 공학, 19 (2), 1987
- * 제지 공장의 폐재인 슬러지로 부터 합성 보오드의 제조, 이병근, 목재 공학, 15 (2), 1987
- * 산업 폐기물의 활용에 관한 연구 - 제지 슬러지의 비료 자원화 및 토양 개량효과, 충남대학교, 과학 기술처 최종 보고서, 1989

- * 산업 폐기물의 미세 섬유소 처리에 관한 연구 - 제지 공장 슬러지의 가수분해와 메탄 발효 특성, 전병관, 김윤섭, 펄프 제지 공학, 24 (2), 1992
- * 제지 슬러지의 메탄 발효화에 관한 연구, 안세희, 펄프 제지 공학, 25 (2), 1993
- * 제지 슬러지 소각재를 재활용한 인공경량 골재 제조기술 개발, 한솔기술원 환경팀, 환경 산업, 74호, 1997

국내의 연구가 슬러지의 성분 분석 및 화학 약품, 비료, 건축재의 원료로의 활용에 집중되어 있으며, 새로운 자원 활용 방법의 개발이라기 보다는 기술의 국내 적용 및 실용화에 중점을 둔 연구로 판단된다. 물론 세계적으로도 새로운 이용 기술이 많이 개발되지는 못하였는데, 이렇게 기술 개발 및 적용 속도가 빠르지 못한 것의 큰 이유 중의 하나는 상품의 대량 소비자를 찾지 못했기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 차후의 기술 개발은 확실한 소비자를 얻을 수 있는 부분에 집중적으로 이루어져야 한다고 생각된다.

국외의 경우

1. 지표면에 직접 접촉되는 사용법

- * 지표면에 뿌리거나 땅속에 주입시키는 방법으로서 비료 또는 토지 개량제로서의 역할을 하게 된다. 토양의 중요 특성으로는 Cationic exchange capacity(CEC, 토양 표면의 영양분 유지 능력), Organic matter (Soil fertility, 영양분), Available soil moisture (ASM, 중력을 이기는 습기에서 식물이 마르는 습기를 뺀 양)이 있으며, 이러한 점을 고려하여 슬러지를 처리 하여야 한다.

슬러지가 식물 성장에 도움을 주려면, C : N 이 30:1 보다 커야 한다. 30:1 보다 크면 질소의 이동이 어렵게 된다. 일차 슬러지 고품분은 보통 C : N 이 30보다 훨씬 크다. 모래에 섞을 때, CEC 와 ASM 이 개선되지만 나무의 성장에 기

여하지 않는다. 단 여기에 비료를 더 첨가할 때, 비료 자체만으로 보다 훨씬 잘 성장한다. 이차 고형분은 보통 C:N 이 30보다 작다 (약 7.5). 질소량이 너무 많아서 질산염을 형성하여 토양을 산성화 시킬 염려도 있다. 일차와 이차 슬러지 고형분을 혼합하는 경우 비료 자체만으로 보다 훨씬 성장이 좋게 된다. 이러한 혼합물은 골프장, 공원, 잔디 구장에 쓰이면 바람직하다. 또한 이 슬러지 혼합물에 슬러지 소각재를 적당히 섞는 경우 더욱 효과가 좋다고 한다. 이 때 Ca : Mg 가 6:1 보다 커야 좋으며 그렇지 않을 때에는 석회를 섞는 것이 좋다. 이러한 슬러지 토양에서는 중금속이 큰 문제가 되지 않는다는 연구 결과가 있다.

- * 폐 탄광 지역의 지질 회복에 쓰일 수 있다. 폐 광산촌에 홍수가 지면 중금속이 방출되고, 또 강산이 형성되어 토양을 산성화 시킨다. 광산촌 근처는 침식이 잘 일어나며, 토사의 유입으로 근처의 물줄기를 막을 염려가 있다. 이러한 지역에 지질 회복의 해결책으로서 슬러지를 사용할 수 있다. 1994년 미국의 제지 회사인 Mead Cooperation 이 이러한 방식의 슬러지 처리에 성공을 거두었고 1992년 미국의 Superior Recycled Fiber Industry가 사업화에 성공하였으며, Willamette Industries 가 사업화 계획을 세우고 있는 상태이다.
- * 이제까지 경사지에 잔디를 입히기 위해 쓰이던 신문 고지를 슬러지로 대신하는 방법이 쓰일 수 있으며 실험 결과 문제점이 없었다. ConCover 회사는 고분자에 슬러지 (혹은 고지) 와 물을 섞으면 일정한 두께의 막을 형성하는 제품을 개발하였다. 이것을 매립지에 일과후 사용할 때 쓰레기가 바람에 날리는 일, 냄새, 유기화합물의 방출, 새나 쥐의 침입, 재나 먼지의 날림, 불을 방지할 수 있음을 보였다. 또 이 물질은 생분해가 일어나며 불연 물질이어서 매우 유리하다. 미국에서의 실험 결과, 스프레이가 가능함으로 흙으로 덮기보다 운영비가 적게 든다는 결과가 나왔다.

2. 지면과 간접적인 접촉을 하는 사용법

- * 합성 토양을 만드는 방법으로서 일차와 이차 슬러지 고형분의 혼합물, 모래, 나무 껍질, 나무재, 석회 등을 최종 사용처의 용도에 맞게 잘 배합하여 제품을 제조한다. 이 합성 토양은 화분등에 쓰일 수 있다.
- * 매립지가 차게 되면 매립지를 폐쇄하여야 한다. 이 때 매립지의 영구 덮개로서 보통 진흙을 사용하지만 슬러지를 사용함으로써 보다 유용한 결과를 얻을 수 있었다. 미국에서 진행된 실험과 실제 적용 예를 살펴보면 다음과 같다. 매립지의 영구 덮개의 우수성은 빗물의 침투 저항성으로 비교할 수 있는데, 이 침투성이 $1.0 \times 10E-6$ cm/sec되면 덮개로 사용할 수 있다고 한다. 두 군데의 매립지를 전형적인 방법으로 막고, 두 군데의 매립지를 슬러지로 막은 결과, 4년 후에는 슬러지로 막은 매립지의 빗물 침투 저항성이 훨씬 우수했으며, 시간이 갈수록 진흙의 경우 침투 저항성이 떨어지는데 비해 슬러지는 계속 더 우수한 성능을 발휘하였다. 침투성은 기준보다 훨씬 낮은 수치를 기록하였다 ($2 - 7 \times 10E-7$ cm/sec). 미국의 Erving Paper Co. 는 이러한 방식으로 슬러지를 처리하고 있다.
- * 생 분해 (호기성과 혐기성)에 의한 비료의 제조의 가장 큰 문제점은 생산품의 사용이 계절적이라는 데 있다. 또한 다이옥신이나 퓨란 종류가 농산품에서 검출이 되는 경우 책임의 한계를 그을 수 없어서 개발 및 사용이 둔화되고 있다. 생 분해된 슬러지는 통기성, 수분 보지력 등이 일반 슬러지 보다 우수하다. 미국의 Browning-Ferris Industries/Organics(BFI)는 생활 슬러지와 제지 슬러지, 나무재와 톱밥을 섞어서 반응기에서 생 분해를 실시하여 제품을 생산하고 있으며 제지 슬러지는 근처 공장에서 \$16/ton 의 가격을 받아서 처리하고 있다. Nippon Paper Industry는 Rotary kiln ash와 제지 슬러지를 생 분해하여 합성 토양을 만들어 골프장이나 공원에 공급하고 있다. 매립지는 사실상 혐기성 생 분해가 일어나는 장소이며, 알맞는 조건에서

는 고지 슬러지의 유기성분의 60%가 메탄 가스로 변할 수 있다고 한다.

3. 지면 집착과 관계없는 사용 방법들

- * 오래전부터 (1973) 기름이나 화학약품을 제거하는 슬러지를 이용한 흡수제 혹은 흡유제 (Absorbent products) 제품이 제조, 사용되어 왔다. 슬러지 absorbent는 플라스틱 제품의 absorbent보다 사용 후 소각 처리하는데 매우 유리하며, 폴리 프로필렌을 이용한 absorbent보다 2-3배 우수한 absorption 성질을 갖도록 만들 수 있다. 일반적으로 clay가 많이 함유된 absorbent는 자체 무게보다 2배 정도 흡수하나, clay가 적게 함유된 absorbent는 자체 무게의 5배까지 흡수하는 성질이 있다. 미국의 Absorption Corporation은 일차 슬러지를 사용하여 폴리 프로필렌 보다 2-3배, clay보다 14배 더 흡수 능력이 있으며, 소각시 전체 무게의 1% 밖에 재를 남기지 않는 제품을 생산하여 시판하고 있다. 따라서 오래 전부터 제조되어오는 제품이지만 우수한 흡수력과 소각 성질의 개선으로 새로운 제품을 개발할 수 있는 여지는 많이 있다고 판단된다.
- * 사육장에서의 깔개로의 이용은 사실상 absorbent의 제조와 많은 상관관계가 있다. Absorbent는 약 80% 이상의 고품분이 필요하지만 사육장에서의 이용은 슬러지를 충분히 탈수한 후 바로 사용될 수 있다. 또 이러한 물질은 고양이를 분뇨 박스에도 잘 사용될 수 있다.
- * 사료로의 이용은 많은 연구가 있었고 염소나 소의 먹이로 사용된 바 있다. 셀룰로오스의 함량이 많을수록 좋고 리그닌의 함량이 적을수록 좋다는 사실이 밝혀지기는 하였지만 아직까지는 이러한 먹이로 자란 가축의 고기에 대한 위생적인 문제가 염려되므로 산업화되지 못하고 있다. 이것은 그 고기에 비위생적인 물질이 함유되어 있기 때문이라기 보다는 소비자들의 불안한 의식 때문에 시장 형성이 어렵다는 판단 때문이다.
- * 미국의 Envirotech System Corporation

(Vancouver, B.C., Canada)은 35%의 고품분이 있는 슬러지를 90%의 고품분으로 만드는 효율적인 건조기 (Radiant Plate Dryer, RPD)를 생산 판매하는데, 슬러지를 90%까지 경제적으로 건조할 수 있다면 그로부터 많은 새로운 제품들을 생산할 수 있는 가능성이 있다. 건조 비용은 \$100/dry ton이다.

- * 몰딩 제품 및 건축자재의 원료로서 사용될 수 있다. 계란판이나 화분 등은 현재 상품화되어 잘 사용되고 있다. 탈수된 슬러지를 시멘트와 섞어서 경화시키면 시멘트 제품의 강도가 증가하고, 시멘트 할열이 감소되며, 상당한 변형에도 잘 견디는 우수한 제품을 생산할 수 있다. 이 제품은 일반 못질이나 스크류 못질에 매우 유리하고, 톱으로도 잘 잘라지므로 가공에도 매우 유리하다. 또 흡음 효과도 잘 알려진 바이다. 하지만 슬러지의 섬유들이 서로 엉겨있어서 분산의 어려움이 있는데, 이러한 기술적인 어려움은 탈수전에 시멘트를 잘 섞어서 함께 탈수시킴으로 해결될 수 있다. 시멘트와 모래의 구성보다 시멘트와 슬러지의 구성이 강도적인 면에서 매우 유리하다고 한다. 현재는 미국의 위생 관련 부처에서 이러한 시멘트 제품이 건축재로서 사용될 때 방안의 공기에 미치는 영향을 파악하고 있는 단계이다.
- * ash가 많이 함유된 슬러지는 시멘트 제품의 혼합물로서 시멘트로에 함께 태워져서 그 재가 시멘트와 합하여져서 우수한 성능의 시멘트를 형성한다.
- * Wet -Air Oxidation 기법이 더 개발되어져서 이제는 섭씨 250도에서 저압으로 이루어질 수 있으며 이러한 기술이 영국의 UMIST에서 파일럿 스케일로 진행되고 있다. 이 기술을 이용할 때, 충전제가 많이 함유된 슬러지에서 유기물을 소각으로 제거시키고, 충전제를 회수시켜 사용할 수 있게 된다.
- * 슬러지를 각종 무기물과 섞은후 탈수시키고 각종 모양의 pellet (작은 덩어리) 을 만들어 rotary kiln과 이차 kiln 에 넣어 열 경화시킨 물질 (Light weight aggregate. LWA)을 만들 수

있다. 이러한 물질은 비중이 작고 강도가 좋으므로 건축에 사용시 철근을 줄일 수 있는 장점이 있다. 또 각종 자갈이 필요한 장소에 일정 크기로 만들어 사용 가능하다. 열전달이 매우 낮기 때문에 열 차단 재료로서 유리하게 사용될 수 있다.

* 화학 제품의 제조에 쓰일 수 있다. 발효나 화학적 변형, 효소 분해를 이용하여 각종 화학 제품을 생산할 수 있다. Ethanol 생산은 많이 연구되어 왔으며, 약산이나 강산 또는 효소 분해를 사용하여 실시하고 있으나 각각의 방법이 장단점이 있어서 주변 환경과 시장에 따라서 여러 방법으로 실시될 수 있다. 이 방법을 이용하여 최근 미국에서는 하루 200 톤 이상의 슬러지를 처리할 수 있는 공장이 계획 중에 있으며, 그 파일럿 공장이 건설 중에 있다. Levulinic acid는 여러가지 유용한 물질을 만드는 유용한 물질로서 미국의 Biofine Inc.에서 대량생산 체계를 위해 pilot plant를 건설하고 있다. Calcium Magnesium Acetate (CMA) : 빙판길을 녹이는 물질로 사용되며 일반 소금과 달리 부식성이 없으므로 차나 다리, 각종 철 구조물의 부식을 방지할 수 있다. CMA의 생산비는 \$700/ton이며 일반적으로 빙판에 사용되는 소금의 가격은 \$25 - 50/ton이다. 하지만 미국 Energy Authority가 조사한 바로는 부식에 의한 비용 증가를 고려할 때 일반 소금의 가격은 \$1450/ton 으로서, CMA의 2배가 된다고 한다.

슬러지의 활용에 대한 규제

슬러지를 단순히 폐기시키는 경우 발생하는 매립지 문제와 그 비용을 절감시키고, 오히려 슬러지에서 유용한 생산품을 생산해내는 일은 환경적으로, 자원적으로, 경제적으로 매우 중요한, 유익한 일임에 틀림없다. 따라서 정부나 지방 자치 단체에서는 이러한 사업과 연구 개발에 적극적인 도움을 주어야 할 것이다. 하지만 엄격한 환경 규제에 예외 규정을 만들어 넣는 일은 쉬운 일이 아니다. 많은 조사와 철저한 관

리를 통해서 국민 건강과 국토 보전에 악 영향을 끼치지 않는 범위 안에서 슬러지의 활용이 극대화 되도록 각종 법률과 규제가 이루어져야 하겠다.

현재 미국에서 이루어지고 있고 또 이루어진 몇 가지 법률 개정에 관해 알아보도록 하자.

1. 섬유 슬러지의 운반에 관한 법률

일반적으로 슬러지는 폐기물로 분류되어 매립장까지 가려면 까다로운 폐기물 처리 및 운반에 관한 법률의 적용을 받아왔다. 이 법률이 슬러지를 유용하게 사용하기 위해 다른 공장으로 운반될 때에도 같은 법의 적용을 받아왔다. 생산을 위한 원료로 구분될 필요성을 감지하고, 정부에서는 슬러지가 유용한 상품 제조를 위해 운반되는 경우에 한하여, 일반 원료 운반에 대한 법률을 적용하도록 법을 개정하였다. 이러한 법률 개정에 의하여, 슬러지의 재사용을 위한 운반 처리가 손쉬워지고, 운반 비용의 절감도 달성할 수 있었다.

2. 슬러지의 매립지 덮개로의 사용에 대한 법률

슬러지의 매립지의 임시적인 혹은 영구적인 덮개로의 사용은 정부의 허가를 받아야만 하였지만 1993년부터는 모두 허용되었다. 따라서 매립지의 폐기 과정에 슬러지가 정식 사용되기에 이르렀다. 이것은 그동안 정부 연구기관과 제지 공장 연구소들의 오랜 연구의 성과라고 볼 수 있다.

3. 아직도 문제가 되고 있는 규제 부분들

* 지면에 접촉되는 슬러지에 대한 문제점

어떠한 물질도 지면에 접촉, 사용되기 위해서는 매우 까다로운 법률의 적용을 받아야 한다. 그 접촉되는 물질에서 스며나오는 물질에 대한 독성 테스트가 일단 필요하며, 스며나오는 물질에 문제가 되는 화학물질이 일반 지하수에서의 농도보다 높은 경우, 일체 지면에 사용될 수 없다는 것이 미국 뉴욕주의 법이다. 일반적으로 제지 공장 슬러지에는 철 이온이 허용범위 이상을 차지하는 것이 보통이다. 이러한 규정은 일부 지하수 자체의 성분도 불합격을 시키는 규정이며, 비료나 채석장 폐기물도 허

용범위를 훨씬 웃도는 규정이다. 슬러지 재사용의 환경적 중요성을 인식한 미국의 환경 관련 정부 부처는 이러한 문제점을 인식하고, 슬러지 재사용을 위한 연구개발 프로젝트들을 허용하고 있으며, 법률적인 고려가 진행중이다. 예를 들면, 비료로 사용되는 슬러지의 독성은 일반 비료와 그 독성이 비교되어야 한다는 것이다.

* 슬러지 재활용 규정의 개별적, 선별적 적용에 대한 문제점

정부기관은 슬러지 활용에 대한 계획을 허가함에 있어서 개별 공장마다 개별적인 허가를 해왔다. 만일 다른 공장에서 비슷한 슬러지로 비슷한 상품을 제조하는 경우 모든 독성 시험과 기타 환경 영향에 대한 조사를 처음부터 다시 시작하는 것이 규정이었다. 이에 대한 문제점으로 슬러지 재활용을 위한 기술의 확산을 저해하고, 추가 비용문제의 발생 및 기술의 빠른 적용에 장애로 작용하였다. 정부 기관은 문제점을 인식하고 개선하려 하고 있다.

* 새로운 슬러지 활용 기술 적용에의 어려움

슬러지 활용은 폐기물 처리와 관련되므로 많은 법률의 적용을 받게되어 새로운 기술의 개발 및 적용에 많은 제약점이 되고 있다. 기술의 개발과 법률의 개선은 같은 속도로 병행되기 쉽지 않으므로 기술의 개발은 추진력을 잃고있다. 정부 기관은 슬러지 활용에 대한 전문가를 육성하고 연구에 직접 참여함으로써 법률 제정의 시기 적절함을 도울 수 있을 것으로 예상된다.

결론 및 제언

한국은 1995년도 약 770만톤의 종이 및 판지를 생산하였다. 고지를 원료의 약 50% 정도 사용하였다고 가정할 때, 최소 연간 약 10% (전건 무게 77만톤)의 제지 슬러지를 예상할 수 있다. 이 슬러지 중 약 70%가 매립된다고 볼 때, 약 53만톤의 건조 슬러지가 매립지에 묻히게 된다. 슬러지의 고형분을 40%로 보면 132.5만톤이 된다. 매년 이러한 슬

러지의 양은 약 10 - 15%이상씩 증가할 것으로 보인다 (1996년 제지 생산량 증가율 11%와 고지 사용 퍼센트의 지속적인 증가). 이에 대한 대책을 시급히 강구하지 않을 때, 제지 산업은 또 하나의 큰 장애물을 만나게 될 것이다.

현재 우리나라는 슬러지 처리에 대한 정확한 통계가 마련되어 있지 않다. 이유로는 슬러지의 구성 성분과 양이 제지 회사의 내부 사정을 짐작하게 해주며, 환경적으로 문제가 되는 사실들이 주민이나 공공 단체에 알려지는 것이 회사 측에 이롭지 않은 기 때문일 것이다. 하지만 머지않아 슬러지의 처리가 공장에 매우 심각한 문제가 될 수 있으며, 국가적 재난으로 번져나갈 우려가 있기 때문에 계획을 세워 처리해야만 될 문제인 것이다. 국가에서 사태를 정확히 파악하고 사회적, 법률적, 재정적 지원을 제지 회사, 환경 연구 단체, 슬러지 처리 업체 등에 해주어서 사전에 문제의 해결점을 찾아 나가야 할 것이다. 무엇보다도 국내 제지 업체들의 슬러지 생산량과 그 처리 방법들에 대한 조사가 우선 되어야 하겠으며, 보다 환경 친화적인 처리를 위해 슬러지에 대한 우수 처리 기술의 조사 및 선택, 처리 설비에 대한 투자 지원, 처리 기술의 연구 개발 및 개선 지원, 법률적 지원 체계의 확립 등이 뒤따라야 하겠다. 국내 펄프 제지 공장들에 대한 신뢰성 높은 조사가 하루빨리 이루어져서 효과적인 제지 슬러지 정책 및 처리 기술 보급이 이루어지기를 기대한다.

참고 문헌

1. Beneficial uses of paper mill residuals, R. Coburn, G. Dolan, J. Jarnefeld, The New York State Energy Research and Development Authority, 1995
2. 紙 Pulp 공장의 폐섬유소의 자원화에 관한 연구 (1) - 산 가수분해 및 성분 분석, 펄프 제지 공학, 온 두언 외 2인, 16 (2), 1984
3. 紙 Pulp 공장의 폐섬유소의 자원화에 관한 연구 (2) - 슬러지의 산 가수분해, 펄프 제지 공학, 17 (1), 1985

4. 종이 Pulp 공장의 폐섬유소의 자원화에 관한 연구 (3) - 슬러지의 효소 가수분해, 펄프 제지 공학, 17 (2), 1985
5. 종이 Pulp 공장의 폐섬유소의 자원화에 관한 연구 (4) - 슬러지의 효소 가수분해에 대한 속도론, 펄프 제지 공학, 18 (1), 1986
6. 제지 슬러지 비료화 연구, 한순교, 이화형, 펄프 제지 공학, 19 (2), 1987
7. 제지 공장의 폐재인 슬러지로 부터 합성 보오드의 제조, 이 병근, 목재 공학, 15 (2), 1987
8. 산업 폐기물의 활용에 관한 연구 - 제지 슬러지의 비료 자원화 및 토양 개량효과, 충남 대학교, 과학 기술처 최종 보고서, 1989
9. 산업 폐기물의 미세 섬유소 처리에 관한 연구 - 제지 공장 슬러지의 가수분해와 메탄 발효 특성, 전병관, 김윤섭, 펄프 제지 공학, 24 (2), 1992
10. 제지 슬러지의 메탄 발효화에 관한 연구, 안 세희, 펄프 제지 공학, 25 (2), 1993
11. 제지 슬러지 조각재를 재활용한 인공경량 골재 제조기술 개발, 한솔기술원 환경팀, 환경 산업, 74호, 1997
12. Methods for pulp and paper sludge utilization and disposal, T.R. Aspitarte, EPA, May 1973
13. Converting paper, paper mill sludge and other industrial waste into pellet fuel, P. David, Finishing and Converting Conference, 1994, p83
14. Sludge Characteristics and disposal alternatives for the pulp and paper industry, G. Scott, A. Smith, International Environmental Conference proceedings, 1995, p.269
15. Landfill closure by capping with dewater treatment solids, S. McGee, M. Taylor, International Environmental Conference & Exhibits, 1997, p.87
16. Handling methods and cost model for pulp and paper industry sludges, K. Jaakkola, M. Karlsson, J. Paatero, A. Gronroos, S. Isannainen, Finnish Report.
17. Conclusion of long term field scale study of the use of paper industry residuals as hydraulic barrier material in landfill cover systems, V. Maltby, L. Eppstein, International Environmental Conference & Exhibits, 1996, p. 77
18. Use of secondary fiber rejects as fuel for a coal-fired stoker boiler, J. Doraiswamy, G. Massey, M. Doshi, International Environmental Conference Proceedings, 1995, p.527
19. Sludge mat filtration : A novel process for removal of effluent suspended solids, P. Ramamurthy, J. Dorica, R. Harland, S. Prahacs, International Environmental Conference Proceedings, 1995, p.519
20. CPPA-International Review of pulp and paper activated sludge dewatering practices, International Environmental Conference Proceedings, 1995, p. 555
21. All the NCASI (National Council for Air and Stream Improvement, 미국) Technical Bulletins