

제지오니의 재활용

1. 제지오니의 발생 및 처리현황

제지공정은 제품 생산량 1톤 당 10톤 내지 30톤의 공정수를 사용하여 제품 당 공정수 사용량이 염색공정 다음으로 많다. 국내의 제지산업은 1인당 종이소비량이 연간 200kg을 넘어설 만큼 고도의 성장을 지속하고 있으며 폐수를 처리하는 과정에서 발생하는 제지오니 역시 매년 증가하는 추세로서 그 양은 연간 160만톤 내외로 추정되고 있다. 제지오니는 매립, 해양배출, 소각 등의 방법으로 처리하는 것이 일반적이지만 폐기물관리법 시행규칙의 개정에 따라 2003년 7월부터는 오니의 직매립이 금지되어 ①소각하거나, ②시멘트, 아스팔트 등의 화합물을 혼합하여 수분 15%이하로 조정하여 매립하거나, ③생물학적 방법으로 퇴비화하여 재활용하도록 하고 있다.

표1 에는 농림부 비료관리법 상의 부산물 공정규격 내의 퇴비로 사용가능한 원료에 대한 지정내역을 제시하였다. 제지공정 오니는 음식료 가공업 이외의 공정폐수처리 오니 중 유일하게 비료가치가 인정되고 인축 및 농작물에 유해한 물질이 포함되지 않았음이 입증된 배출업소별로 농업과학기술원장이 정하는 기준에 따라 퇴비로 사용가능한 원료로 지정되어 있음을 알 수 있다.

표2 는 한국제지공업연합회에서 회원사 25개 업체(38개 공장)을 대상으로 2003년 8월부터 9월에 걸쳐 조사한 것으로서 국내에서 발생하는 제지산업 폐기물의 80%이상이 집계된 것으로 보인다. 표2 로부터 알 수 있듯이 제지산업 폐기물 중 70%이상이 오니이며 발생원별 구분을 참고하면 폐기물 중 70%이상이 폐수처리부문에서 발생하므로 한국제지공업연합회에서 집계한 폐기물 중 오니는 폐수처리오니가 대부분이며 국내에서 발생하는 제지오니의 80%가량이 집계된 것으로 보아 국내 제지오니 발생량은 2002년 기준 약 160만톤으로 추정할 수 있다.

제지공정에서는 다량의 유무기계 고형폐기물이 발생한다. 유기계 폐기물로는 섬유, 펄프 찌꺼기, 스크린 찌꺼기, 클리너 찌꺼기 등을 들 수 있으며 제지용 충전제로 사용되는 Clay, CaCO₃, TiO₂ 등의 무기성분들도 함유되어 있다. 폐수처리공정에서 발생하는 오니는 1차처리의 Clarifier로부터 부유고형분을 제거하는 과정에서 분리되는 1차오니(Primary sludge), 폐수의 생물학적 처리공정에서 발생하는 생오니(Bio sludge) 및 탈묵공정에서 발생하는 탈묵오니(Deinking sludge)로 대별할 수 있다.

표 1. 부산물 공정규격 내의 퇴비로 사용가능한 원료

출처: 농림부 비료관리법

| 구분 | 지정원료 | 비고 |
|----------|--|---|
| 일반 지정 원료 | 1. 농림부산물(짚류, 왕겨, 미강, 녹비, 농작물, 낙엽, 수피, 톱밥, 부엽토, 야생초, 폐사료, 한약재찌꺼기, 이탄, 토탄, 깻묵류, 및 기타 유사물질 포함) | 가공된(화학처리) 폐목재 제외 |
| | 2. 수산부산물(어분, 어묵찌꺼기, 해초찌꺼기, 게껍질, 해산물 도매 및 소매장 부산물 포함) | 폐수처리오니 제외 |
| | 3. 인축분뇨 및 구비(인분뇨 처리잔사, 우분뇨, 돈분뇨, 계분, 기타 동물의 분뇨) | |
| | 4. 음식물 쓰레기 | 전체원료의 30%이내 사용 |
| | 5. 식료품제조업, 유통 또는 판매업에서 발생하는 동식물성 잔재물(도축 고기가공 및 저장, 낙농업, 과일 및 야채, 통조림 및 저장가공, 동식물유지, 빵제품 및 국수, 설탕 및 과자, 배합사료, 조미료, 두부 및 기타) | 폐수처리오니 및 공정오니 제외 |
| | 6. 음료수 및 담배 제조업에서 발생하는 동식물성 잔재물(주정, 소주인삼주, 증류주, 약주 및 탁주, 청주, 포도주, 맥주, 청량음료, 담배 제조업 및 기타) | 폐수처리오니 및 공정오니 제외 |
| 특별 지정 원료 | 1. 식료품 제조 및 판매업(수산포함)에서 발생하는 폐수처리오니 | * 비료가치가 인정되고 인축 및 농작물에 유해한 물질(중금속 및 유해화합물)이 포함되지 않음이 입증된 배출업소별로 농업과학기술원장이 정하는 기준에 따라 특별지정 |
| | 2. 음료수 및 담배제조업에서 발생하는 폐수처리오니 | |
| | 3. 종이제조업에서 발생하는 부산물 및 폐수처리오니 | |
| | 4. 읍면단위 농어촌 지역 생활폐수처리오니 | |
| | 5. 기타 조건부지정 해당물질 | |
| 사용 불가 원료 | 1. 산업용 화합물 제조업 및 기타 화학제품 제조업(제약포함) 부산물 및 폐수처리오니 | * 일반지정 및 조건부지정폐기물을 제외한 폐기물 * 지정폐기물 포함 |
| | 2. 고무제품 및 플라스틱제조업 부산물 및 폐수처리오니 | |
| | 3. 제1차금속 제조업 부산물 및 폐수처리오니 | |
| | 4. 조립금속제품, 기계 및 장비제조업 부산물 및 폐수처리오니 | |
| | 5. 석유제조 및 정제업 부산물 및 폐수처리오니 | |
| | 6. 가죽 및 모피제품 제조업 부산물 및 폐수처리오니 | |
| | 7. 비금속 광물제품 제조업 부산물 및 폐수처리오니 | |
| | 8. 육상운수 및 자동차 부산물 및 폐수처리오니 | |
| | 9. 수선업 및 세탁업 부산물 및 폐수처리오니 | |
| | 10. 인쇄, 출판 및 사진처리업 부산물 및 폐수처리오니 | |
| | 11. 전기업 부산물 및 폐수처리오니 | |
| | 12. 도시 및 공단지역 폐수처리오니 | |
| | 13. 기타 사용불가로 명시된 폐기물과 유사한 물질도 포함 | |

표 2. 폐기물 종류별 발생량

| 구분 종류별 | 2001 | | 2002 | | 비고 |
|-----------|-----------|--------|-----------|--------|----|
| | 발생량(톤) | 점유율(%) | 발생량(톤) | 점유율(%) | |
| 오니 | 1,250,312 | 71.2 | 1,280,454 | 72.4 | |
| 연소재 | 244,682 | 13.9 | 229,916 | 13.0 | |
| 폐합성수지류 | 199,715 | 11.3 | 194,591 | 11.0 | |
| 폐유 | 849 | 0.1 | 993 | 0.1 | |
| 분진 | 8,385 | 0.5 | 9,649 | 0.5 | |
| 금속류 | 10,351 | 0.6 | 9,881 | 0.6 | |
| 기타 | 41,954 | 2.4 | 42,194 | 2.4 | |
| 합계 | 1,756,248 | 100.0 | 1,767,678 | 100.0 | |

1차 오니의 경우 섬유분 함량이 높고 회분 함량이 낮아서 오니의 탈수가 비교적 용이하지만 생오니와 탈목오니 등은 탈수가 어렵다. 이와 같이 제지오니는 구성성분에 따라 발생량 및 물리화학적 특성을 달리하며 표 3에 제시한 바와 같이 지종에 따른 발생량도 다르게 된다.

표 3. 지종별 오니 발생량

| 지종별 | 오니발생량(kg/ton) |
|-----------------|---------------|
| 화학펄프(저충전) | 10 - 40 |
| 화학펄프(고충전) | 20 - 70 |
| 쇄목펄프(신문용지 및 기타) | 10 - 50 |
| 반화학펄프(골심지) | 10 - 30 |
| 탈목(인쇄용지 및 화장지) | 40 - 150 |
| 비일관(인쇄용지) | 10 - 40 |
| 재생판지 | 0 - 30 |

2. 제지오니의 처리기술과 재활용 동향

제지공정에서 발생하는 오니는 일반적인 폐수오니와 유사하게 농축, 안정화, 기계적 탈수 및 건조과정을 거친 후 재활용하거나 목적에 맞게 최종처리하게 된다.

Clarifier에서 침전시킨 오니의 고형분 농도는 평균 3% 미만이지만 이를 10%까지 농축하기 위하여 중력농축기를 사용한다. 중력농축기 외에도 부유농축기, 원심농축기 혹은 라군 등을 사용하기도 한다. 생오니의 경우에는 농축 후에도 여전히 생분해가 진행되어 악취발생, 부패 등의 문제가 발생하므로 생분해를 중지 혹은 저감시키기 위하여 석회를 첨가하거나 혐기성 발효, 가열 등의 방법에 의해 안정화 처리를 한다. 안정화시킨 오니는 여과, 원심탈수, 압착 등의 방법으로 기계적 탈수를 하여 수분함량 80%내외의 여과케이크로 생산

한다.

전처리가 끝난 오니는 매립, 소각, 해양배출 등의 최종처리를 하거나 재활용하게 된다. 표 4 는 제지오니의 종류별 재활용 방안을 정리한 것이다.

표 4. 제지오니의 종류별 재활용 방안

| 오니의 종류 | | 재활용 방안 |
|--------|------|--|
| 탈수 오니 | 섬유오니 | 퇴비, 사료, 에탄올 원료, 흡수제, 흡유제 |
| | 무기오니 | 벽체용 소재, 프레스 보드 원료, 건축보드 원료 |
| 소각오니 | 소각회 | 고무충전재, 토양안정제, 경량골재, 인공골재, 제지용 충전재, 시멘트 증량제 |
| | 탄화오니 | 내한성 그슬림 기와 제조, 제철용 보온재료, 활성탄제조, 아스팔트 루핑지 |

퇴비로서의 이용은 오니를 함수율 80% 이내로 조절하고 질소와 인산 등을 첨가하여 C/N 비를 조절한 다음 미생물발효에 의하여 제조한다. 사료로서의 재활용을 위하여는 셀룰로오스의 함량이 높고 리그닌 함량이 낮을 수록 좋다. 현재로서는 오니사료를 먹고 자란 가축의 고기에 대한 위생문제에 대한 우려 때문에 산업화되지는 못하고 있으나 식품공장 오니 등과 배합하여 지렁이 사료로 활용되고 있다. 발효나 화학적 변형, 효소분해 등을 이용하여 오니로부터 에탄올을 생산하는 공정은 외국의 경우 이미 많은 연구가 이루어져 있으며 미국에서는 하루 200톤 이상의 오니를 처리할 수 있는 파일럿 공장이 건설되었다. 기름이나 화학약품을 제거하기 위한 흡착재로서 일반적으로 합성수지 제품이 사용되고 있으나 제지오니는 플라스틱제품의 흡착재에 비하여 사용 후 소각처리하기에 유리하며 폴리프로필렌계 흡착재에 비하여 두 배 이상의 흡착력을 보인다. 한편, 탈수오니를 예비건조하여 수분을 50% 이내로 조절한 후, 소각로에서 건조하여 입자상으로 제조하여 벽체용 재료로 이용할 수 있으며 양질의 펄프를 사용하는 공장에서 배출되는 오니를 폐지와 배합하여 프레스 보드의 원료로 사용할 수 있다. 미세섬유가 많이 함유될 경우에는 여수성과 제품의 품질이 악화되므로 침엽수재 펄프를 많이 사용하는 공장의 오니가 비교적 널리 이용되고 있다. 탄화오니를 그슬림 기와 제조시 점토에 약 10% 정도 혼합하여 내한성이 우수한 제품을 만들 수 있다. 오니를 탄화시켜 얻은 탄소는 다공성을 갖게 되므로 저온 성능이 우수하게 된다. 제철소에서 용해된 금속표면을 덮어서 냉각 및 산화를 방지하기 위한 재료로 사용한다. 함수율 60% 가량이 되도록 탈수한 오니를 소각로에서 입자상으로 가공한 후 탄소가 어느 정도 잔류하도록 소각하여 사용한다. 하급고무용 충전제로 탄소함량이 낮은 소각회를 사용한다. 오니를 시멘트 증량제로 이용하기 위하여 크라프트 펄프 및 크라프트지를 주로 사용하는 공장에서 배출하는 알루미나를 많이 함유한 소각회를 활용하는 방법이지만 소각회의 첨가량이 늘면 물사용량도 늘어나 하는 문제가 있으며 단가가 높은 문제로 아직 실용화에는 이르지 못하고 있다.

표 5. 제지폐기물의 처리방법

| | 2001년도 | | 2002년도 | |
|------|-----------|--------|-----------|--------|
| | 처리량(톤) | 점유율(%) | 처리량(톤) | 점유율(%) |
| 합계 | 1,756,248 | 100.0 | 1,767,678 | 100.0 |
| 자체소각 | 977,792 | 55.7 | 988,175 | 55.8 |
| 자체매립 | 3,850 | 0.2 | 2,787 | 0.2 |
| 위탁처리 | 766,471 | 43.6 | 768,570 | 43.5 |
| 재활용 | 8,135 | 0.5 | 8,146 | 0.5 |

표5 및 표6 은 각각 제지폐기물의 처리방법별 처리량과 위탁처리 비용을 집계한 것이다. 표에서 보듯이 제지오니의 재활용 비율은 0.5%에 불과하여 거의 재활용되지 못하고 있다. 표2와 이 표들을 비교하여 보면 발생오니의 36.6%가 위탁처리 되고 있음을 알 수 있으며 이는 폐기물 전체 위탁처리율인 43.6%보다 적은 값이므로 연소재, 폐합성수지 등 여타 폐기물의 위탁처리비율이 오니류에 비하여 높은 것을 알 수 있다. 위탁처리 되는 오니류는 주로 해양배출되고 있으며 지령이 사료 등으로 재활용되기 위하여 위탁처리 되는 비율은 10%내외에 불과하다.

표 6. 제지폐기물의 위탁처리비용

| | 2001년도 | | 2002년도 | |
|--------|---------|-----------|---------|-----------|
| | 처리량(톤) | 처리단가(원/톤) | 처리량(톤) | 처리단가(원/톤) |
| 합계 | 766,471 | 27,280 | 768,570 | 26,822 |
| 오니 | 457,096 | 23,412 | 469,527 | 23,167 |
| 연소재 | 243,228 | 21,792 | 228,667 | 20,665 |
| 폐합성수지류 | 32,391 | 122,708 | 32,175 | 122,335 |
| 폐유 | 650 | 71,605 | 574 | 56,638 |
| 분진 | 8,347 | 31,351 | 9,606 | 32,032 |
| 금속류 | 5,914 | - | 5,399 | - |
| 기타 | 18,845 | 33,148 | 22,622 | 32,501 |