

펄프·제지산업의 환경적 특성과 대책

조준형

(2009년 6월 17일 접수: 2009년 8월 25일 채택)

Environmental Features and Actions of Pulp & Paper Industry

Jun-Hyung Cho

(Received June 17, 2009; Accepted August 25, 2009)

ABSTRACT

Pulp and paper industry is a typical plant industry which usually consume lots of water and energy. Recently, environmental issues have become more important due to climate changes around the world, and reinforcement in the regulatory content in transfer and management of chemical material and that in environmental regulations for waste water and air. Paper industry is a source material recycle industry which recycle or reuse waste paper, recyclable wood, planned plantation or lumber from thinning and waste wood. Hence it can be said that paper industry is the representative industry for earth environment and of 21th century.

key words: pulp & paper, waste water, waste air, recyclable wood, environment

1. 서론

최근 공업적으로 생산되고 있는 화학물질은 세계적으로 10만종에 이르고 있으며, 그 생산량, 종류 수는 매년 증가하고 있다. 우리 주변에는 화학물질을 사

용한 많은 제품이 사용되고 있다. 가정에서의 예를 들면 식품을 밀폐하고 보존하는 플라스틱용기, 식품을 포장하는 랩, 음료 페트병, 비닐포장지 등 식품을 포장, 보존하는 것뿐만이 아니라 용도에 대응한 다양한 플라스틱류가 사용되고 있다. 이처럼 일상생활에서의 편리성은 다종다양한 화학물질에 의해 대부분의

• 강원대학교 산림환경과학대학 제지공학과(Department of Paper Science & Engineering, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea) : jhcho@kangwon.ac.kr

존하고 있다고 하여도 과언이 아니다. 대표적인 용수 소비 산업으로 펄프제조 및 종이 생산에 깨끗한 물을 필요로 하며 사용된 물을 회수하여 재활용하는 노력이 절실히 필요한 펄프·제지산업은 펄프제조에서부터 종이를 제품으로 완성하는데 과정에서 다양한 종류의 화학약품이 사용되고 있다. 또한 펄프·제지산업은 대표적인 에너지 다소비 업종으로 공정에 사용하는 스팀 생산을 위해 중유, 유연탄, LNG 등의 화석연료와 폐지를 재활용하는 과정에서 발생하는 부산물인 폐합성수지 등을 연료로 사용함으로써 발생하는 대기오염물질인 황산화물(SO_x), 질소산화물(NO_x)을 제어하기 위해 대단위 시설투자가 지속적으로 필요한 환경산업이다. 또한 대규모 장치산업으로 사업장의 운전을 위해 다량의 전력을 사용하고 있다. 펄프·제지산업은 2007년 기준으로 국내 제조업 중 약 2% 정도의 에너지 소비비율을 차지하고 있는 것으로 조사되었다. 본 논문에서는 펄프·제지산업의 환경문제와 관련 내용을 서술하고 친환경사회에 기여할 수 있는 대책을 살펴보고자 한다.

2. 유해오염물질

화학물질에 의한 환경에서의 인간 건강 등의 영향을 방지하기 위해 지금까지 다양한 대책이 거론되어 왔다. 유해오염물질에 의한 건강리스크를 최소화하기 위해서 정부, 지방자치단체는 대기환경중의 농도를 감시함과 동시에 사업자등에 의한 대기 중으로의

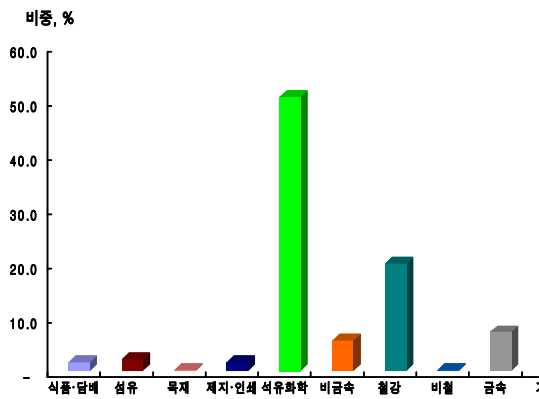


Fig. 1. Energy consumption depending on the type of manufacturing. 2007 (%)²⁾

대기오염물질배출을 제어하기 위해 대기환경농도의 환경기준을 설정할 필요가 있다.

유해한 대기오염물질은 일정 수준 이하에서는 건강에 영향을 미치지 않는 물질과 미량으로도 암을 발생시킬 수 있는 가능성 있는 물질로 구분되는데 환경기준의 설정에 맞게끔 이러한 성질에 대응하여 설정할 필요가 있다. 물질의 유해성에 관해서는 인간에 대해 영향을 일으키지 않는 최대량(최대무독성량)을 구해 그것에 기준하여 대기환경기준을 정할수가 있으며, 독성물질에 대해서는 리스크레벨을 설정하여 그 레벨에 상당하는 환경목표치를 정하는 것이 필요하다고 사료된다.

2.1 대기

(1) 매연

- 연료, 기타 물질의 연소에 의해 발생하는 유황산화물
- 연료, 기타 물질의 연소 또는 열원으로서 전기의 사용에 따라 발생하는 매연
- 물질의 연소, 합성, 분해, 기타처리(기계적 처리는 제외)에 따라 발생하는 물질 중 카드뮴, 염소, 불화수소, 납, 기타 인간건강 또는 생활환경에 피해를 주는 유해물질

(2) 분진

(3) 특정물질·화학적 처리에 의해 인간의 건강과 생활환경에 피해를 주는 물질·다이옥신

① 다이옥신류¹⁾

폴리염화디벤조-파라디옥신(PCDD)과 폴리염화디벤조플란(PCDF) 및 코프레너PCB를 총칭해서 다이옥신류라 불리우고 있다. 다이옥신류는 두개의 벤젠고리가 두개 혹은 한 개의 산소원자(-O-)를 사이에 두고 결합하고 수소원자대신에 염소원자가 치환하고 있다. 염소 수, 위치에 따라 PCDD에는 75종류, PCDF에는 135종류의 이성체가 존재한다. 이들 이성체는 치환하는 염소수와 위치에 따라 각각 독성의 강도가 크게 다르며, PCDD 안에는 2,3,7,8 위치에 염소원자가 붙은 것이 (2,3,7,8-TCDD) 가장 독성이 강하며, PCDF 중에는 2,3,4,7,8 위치에 염소원자가 붙은

것이 독성이 가장 강하다.

② 다이옥신류의 생성⁵⁾

다이옥신류는 탄소, 수소, 염소를 포함한 것이 연소하는 공정에서 비의도적으로 생성된다. 주로 다이옥신류의 발생원은 주로 쓰레기 소각에 의해서 발생하며 그 외에도 금속정선 등에 따른 연소등의 열처리 공정, 펄프의 염소표백공정 등에 의한 것이다. 또한 다이옥신류는 자연계에서도 발생하며 예를 들어 삼림화염, 화산활동 등에서도 일어나며 담배 연기에도 미량이 함유되어 있다는 보고도 있다.

(4) 배기가스 처리

펄프·제지공장은 전형적인 장치산업이다. 목재칩화, 증해, 세정, 표백, 지료분산, 탈수, 건조 등의 공정을 거쳐 종이로 만들어진다. 각 공정에서는 유동, 전열, 혼합, 교반, 여과, 증발 등 단위조작을 거치며, 각 공장에서는 다량의 전기 및 열에너지를 소비한다. 이들 열에너지의 발생원로서는 회수보일러, 증유보일러, 석탄보일러 등이 있다. 또한 폐열을 회수가 가능한 시설로서는 석탄킬른, 폐기물연소로 등이 있으며, 이들 시설은 전부 대기오염물질 배출시설에 해당한다. 정부에서는 대기오염물질 배출시설에 TMS(자동측정기기)를 부착하여 실시간으로 농도를 감시하고 수도권 특별법을 통해 수도권의 대기질을 향상시키고자 수도권 관리권역내에 위치한 시설에서는 대기오염물질 총량을 제한하는 등 환경오염 방지에 최선의 노력을 해야만 한다.

① 회수보일러

회수보일러는 크라프트펄프의 증해공정에서 발생한 폐액을 연료로서 증해용 알칼리를 회수함과 동시에 발생한 증기로 터빈을 회전시켜 전기에너지로 변환시키는 펄프제지산업 특유의 약품회수 보일러이다. 표백펄프의 세정공정에서 펄프와 분리한 흑액 및 비염소계의 산소표백 배수등을 진공증발관에서 고형분 농도 70%정도까지 농축한다. 이것을 회수보일러 내에 직접분사하여 1200℃ 정도에서 환원 연소한다. 리그닌 등의 유기물은 연소로 내에서 연소하고, 무기물질은 스멜트라 불리는 용융탄산염으로 회수된다. 흑액을 연소할 때 흑액중의 유황, 질소가 산소와 반응하여 질소산화물과 유황산화물을 생성한다. 동시에 유황은 유황수소를 생성하여 악취발생원이

된다.

최근 펄프플랜트의 대형화에 따라 회수보일러도 대형화되고 있다. 따라서 회수보일러의 매연배출량은 매우 크다. 매연에는 앞에서 설명했듯이 유황산화물, 질소산화물 등이 함유되어있다. 매연의 처리방법에 대해서는 전기집진기가 일반적이며 탈질방법으로는 촉매를 이용하는 방법과 연소로 내에 직접요소를 분사시켜 질소를 고정하는 방법 등이 행해지고 있다. 탈황방법으로는 알칼리를 이용한 습식법이 일반적이며 폐액은 증해 알칼리원으로서 회수되어진다.

② 증유보일러·석탄보일러

펄프·제지공장에서는 제품구성에 의해 다르나 회수보일러에 의한 에너지 자급율 50~70% 정도이다. 부족분은 증유보일러에 의해 충당된다. 그러나 최근 환경대책 방안으로 석탄보일러의 사용이 대두되고 있다. 석탄은 유황성분이 적음에 비해 질소성분이 많아서 증유 및 석탄보일러의 사용에 따른 NOx, SOx 대책이 필요하다.

펄프·제지산업에서는 사용하는 에너지원 중 가장 많은 부분은 증유보일러이며, 최근 들어 환경부하가 적은 LNG로의 연료전환 및 구매스팀, 폐기물에너지 활용 등 에너지원이 다양화되고 있으나 아직까지는 증유보일러가 차지하는 비중이 높은 편이다. 이들 산업용 보일러의 경우 NOx, SOx에 대한 기준이 엄격하게 적용되어야 하며, 향후 더욱 강화된 기준에 의해 배출가스가 엄격하게 관리가 되어야 할 것이다.

③ 폐기물 소각로⁶⁾

폐기물의 감량화와 안정화의 목적으로 펄프·제지공장에서는 폐기물 소각로를 설치하고 있다. 공장서 발생하는 폐기물중 발생량이 많고 소각처리 대상인 것은 폐수처리 공정에 의한 생물처리 및 응집침전 처리에 따른 폐수처리오니와 폐지펄프공장에서 배출되는 제지 슬러지이다. 이들 오니는 유기성분이 많으므로 다소의 화석연료에 의한 소각처리를 행한다. 소각로의 경우도 기타 보일러와 같이 NOx, SOx 대책이 필요하다.

최근 정부에서는 기후변화에 대응하기 위한 방편으로 신재생 에너지의 확대 및 보급에 대한 필요성을 강조하고 있다. 제지사업장에서는 폐지의 사용으로 인해 발생하는 폐합성수지 등을 이용하여 폐기물 소각로를 통해 스팀을 공급하고 있다. 발생량이 높은 폐

합성수지는 훌륭한 에너지원으로 사용되고 있으나 제지슬러지의 경우 발열량이 낮고 수분함유량이 높아 에너지회수에 어려움을 겪고 있다. 이런 소각로에서는 폐기물 소각으로 발생하는 오염물질인 NOx, SOx, 먼지, 다이옥신 등의 물질에 대한 방지시설을 운영하고 있다. 폐기물소각로는 단순한 폐기물처리를 넘어 폐열회수를 통해 에너지공급을 함으로써 화석에너지 사용량을 감소시키는 효과를 가져오게 되므로 온실가스 감축효과도 기대할 수 있다.

2.2 수질

(1) 폐수의 특징

펄프·제지공장에서 배출되는 폐수의 특성을 분류하면 다음과 같다.

① 펄프공장의 착색폐수⁸⁾

종이의 원료인 목재 주요성분은 셀룰로스, 헤미셀룰로스, 리그닌이다. 목재중의 리그닌 함유량은 20~30%이며, 목재를 구성하는 각 세포는 세포간층에 존재하는 리그닌에 의해 고정되어진다. 리그닌은 펄프·제지산업, 특히 크라프트 펄프 제조에 있어서 리그닌은 증해공정에서 80~90% 제거된다. 가성소다와 황화소다를 주성분으로하는 증해 약액 중에 용출된 리그닌은 세정공정에서 펄프섬유와 분리되어 흑액으로서 회수된다. 표백공정의 전 단계에서는 남은 리그닌의 대부분을 산소, 염소, 이산화염소등의 표백약품을 사용하여 제거한다. 산소 탈리그닌법의 수용에 의해 표백공정으로부터 계 외로 배출되는 오염물질은 대폭 경감되어진다. 펄프공정의 폐수는 증해, 세정공정과 표백공정 전(前)단계 폐수는 착색되어 일반적으로 BOD, COD의 오염부하가 높다. 따라서 폐수처리법으로는 생물처리법과 응집침전법 또는 양자를 조합한 처리가 널리 이용되고 있다.

② 흑액농축공정으로부터의 악취폐수

크라프트법에서는 증해 중에 리그닌안의 메토키실기와 증해약액 중의 NaSH가 반응하여 황화수소(H₂S), CH₃SH, (CH₃)₂S, (CH₃)₂S₂ 4종류의 유황계 악취물질을 생성한다.

H₂S와 CH₃SH는 상온에서 기체이며 (CH₃)₂S, (CH₃)₂S₂는 저비점의 휘발성액체이다. 목재중의 리그닌은 희석흑액으로서 회수되어 농축후, 회수보일러

에서 연소되어 열, 기체에너지로 변환되어 제조공정에 이용된다. 한편 가성소다를 주성분으로하는 증해 약액은 회수보일러 내에서 탄산소다로 회수된다. 탄산소다는 소석회와 반응하여 재차 가성소다를 주성분으로 하는 증해 약액으로 환원된다. 희석흑액의 농축에는 다중 효율의 진공증발관이 사용된다. 흑액중에 남은 악취가스는 증발관 중에서 대부분이 분리되어 일부는 가스로, 일부는 증발관으로부터 배출되어진 응축액 상태로 배출된다.

③ 초지·도공 공정에서의 폐수

상질지 제조공정에서의 폐수는 미세 섬유 외에 전분, 클레이 등 충전재를 포함하고 있다. 도공공정에서는 백색도가 높은 광물질(카오린, 클레이, 이산화티탄, 탄산칼슘, 사틴화이트, 탈크등)의 분말과 접착제(카제인, 전분, 라텍스등)등을 혼합하여 원지 상에도 포함한다. 발생한 폐수처리는 응집침전, 가압부상이 일반적으로 이용되고 있다.

(2) 종말처리

종말처리는 제조공정으로부터 오염물질을 포함한 폐수를 단독으로 또는 모아서 처리하는 방법이다. 펄프·제지공장의 폐수는 일반적으로 BOD, COD, SS 농도가 높으며 색도도 높은 것이 특징이다. 펄프폐수는 리그닌에 기인하는 착색이 문제가 되므로 생물처리 후, 응집 침전 등에 의한 탈색과 SS제거를 병용하여 하는 공장이 많다. 통상 펄프공장 초지, 도공지 공정폐수는 수질이 다르기 때문에 따로 처리하고 있다. 펄프폐수에 있어서는 pH조정후, BOD, COD를 제거하기 위해 활성오니법등 생물처리법이 널리 사용되고 있다. 종래 생물처리는 공기폭기법이 압도적으로 많았으나 현재는 산소폭기법이 다시 주목을 받고 있다. 그 이유로서는 산소폭기는 공기폭기에 비해 용적부하를 크게 할 수 있는 이점이 있으며 폭기층을 작게 할 수 있는 외에 백수의 리사이클에 의해 폐수량이 감소하고 있으며 비용면에 있어 유리한 점을 들 수가 있다.

(3) 비염소 표백

① 표백기술의 변천

미표백 펄프는 목재중의 리그닌, 불순물에 의해 갈색을 띠고 있다. 최근 종이의 백색도는 저하하는 방향

으로 인쇄용지, 정보용지는 기본적으로는 미표백 상태로 사용하는 수가 없다. 표백은 펄프제조공정의 중요한 부분이다. 목재섬유를 손상시키지 않고 고표백 펄프를 만드는 기술은 지금까지 진행되어 왔다. 크라프트 펄프에 따른 표백기술의 진보는 표백약품의 발전에 의한 것이라 말할 수 있다. 최근에는 환경대책에 의해 표백기술의 발전을 후퇴시키고 있다. 크라프트 펄프용 표백약품은 염소 및 차아염소산나트륨이 주류이다. 1940, 50년대부터 이산화염소가 KP표백에 본격적으로 사용되어왔으며 고백색도가 얻어졌다. 그리고 80년대 후반부터는 과산화수소가 표백약품으로 사용하였다. 근년에 와서는 BKP공장은 산소 탈리그닌법을 채용하고 증해도의 안정, 세정 강화, 폐수 처리의 강화 등의 대책을 행함으로서 폐수중의 AOX(Adsorbable Organic Halogen: 흡착성 유기할로겐화합물)를 저감시키고 있다.

3. 종이 리사이클

2008년 우리나라의 폐지재활용률(회수율)은 83.3%로 연간 약 790만 톤의 국산폐지를 재활용한 것으로 집계되었다. 이는 정부의 2007년 이용 목표율인 70%를 크게 초과 달성한 것이다. 이렇게 폐지재활용률이 80% 이상인 국가는 우리나라를 비롯하여 2개국에 불과하며 특히, 제지산업 규모가 세계 10위권 이내 국가 중에서는 우리나라가 유일하다(800만 톤 재활용으로 약 1.7조원 상당의 재활용 효과).

이러한 폐지 재활용은 자원재활용을 통해 부족한 산림자원의 한계를 극복하고 생산능력 기준 세계 8위권으로 성장할 수 있었으며, 최근 국제적으로 핫이슈가 되고 있는 지구온난화 문제와 관련하여 온실가스 저감 및 산림보호에도 크게 기여하고 있기 때문이다.

3.1 폐지 이용률

폐지의 리사이클은 다음의 3가지 사항의 관점에서 지구환경 개선에 공헌하고 있다.

- ① 목재자원의 확보
- ② 종이 쓰레기 감소
- ③ CO₂ 배출량 감소

폐지의 이용률은 2008년 약83.3%이며 판지의 경우는 90% 이상이 재활용되고 있으며 용도에 따라서는 100% 재생판지 등이 생산되고 있다. 한편 종이는 판지에 비해 성장율이 그다지 크지 않다. 펄프와 폐지의 사용량은 80년대 중반에 폐지의 사용량이 펄프 사용량을 상회하였으며 근년에 와서는 차가 확대되고 있다. 최근 10년간의 종이생산량은 폐지 이용율의 상승에 의해 이루어지고 있다고 해도 과언이 아니다.

3.2 재생지

① 재생지의 정의는 구입폐지(한번 사용한 후, 회수하여 제지회사에 의해 구입한 것)가 사용된 것을 지칭한다. 폐지종류는 일반적으로 골판지, 신문지, 잡지, 상질지 등으로 분류한다. 그리고 통상 폐지는 종이 판지 제품의 원료로 사용되고 있다. 예를 들어 골판지 폐지는 골판지에, 신문지 폐지는 신문지에 사용된다.

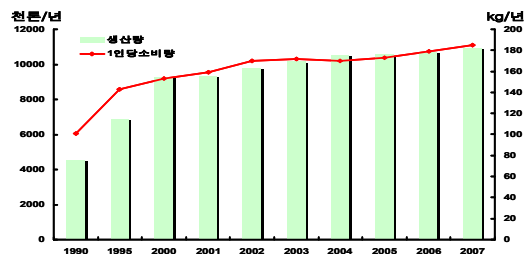


Fig. 2. Domestic paper/board production and consumption per capita³⁾

Table 1. Recycling rate in selected countries(2006)

	한국	일본	중국	대만	홍콩	미국	캐나다	독일	영국	프랑스
회수율 (%)	75.4 (’08년 83.3)	72	34	68	80	52	68	75	65	64

출처 : RISI(Resource Information System Incorporated)

다. 그리고 상질지 폐지는 골판지 원료로 사용되거나 골판지 폐지는 상질지 원료로 사용하지는 않는다.

재생지 원료가 되는 폐지 펄프의 제법은 폐지의 종류와 용도에 따라 해리 처리법과 탈잉크처리법으로 구분한다. 해리 처리법에서는 일반적으로 신문, 잡지, 골판지 폐지가 처리되어 골판지 및 백판지등의 판지계의 원료가 된다. 탈잉크 처리법은 신문지폐지, 상질지폐지가 탈잉크처리되어 주로 신문용지, 인쇄용지 등의 원료로 사용되며 화학펄프의 대체원료로서 사용되고 있다.

폐지처리 공정에서는 이물질 제거와 탈묵, 탈잉크가 폐지 펄프의 제품을 결정한다. 그리고 필요에 따라서는 표백 처리시설을 하여 재생지의 품질이 요구하는 폐지 펄프를 제조한다. 폐지 원료의 선별과정에 가장 중요한 것은, 어떻게 하면 이물질 제거의 효율을 높이는 것이다. 사무실, 가정으로부터 배출되는 폐지 중에는 다양한 이물질이 포함되어 있다. 폐지처리공정에서 일반적으로 제거 가능한 이물질은 그다지 문제가 되지 않으나 제거가 곤란한 물질, 소량이지만 혼입한 나중공정의 효율 및 재생지 품질에 중대한 영향을 미치는 물질은 금지품목으로 정해져 있다. 또한 폐지에 포함된 이물질 선별작업은 시간적, 경제적으로 커다란 영향을 미치므로 폐지 중에 혼입되지 않도록 관계 기관 등의 사전교육이 절실히 필요하다.

② 폐지 재활용에는 품질 면에서 한계가 있다. 종이는 사용단계에서는 열, 습도 및 빛의 영향을 받으며 재생과정에서 섬유는 고해, 가열, 건조 등의 스트레스를 받는다. 다시 말하면 초지제조 시에는 약품으로, 기계적인 압력을 가하여 섬유의 노화를 가져온다. 따라서 재생을 반복함에 따라 강도가 저하되어 처음의 세기를 보존하기가 어렵게 되며 섬유원료로서 한계를 점차 가져오게 된다.

종이는 종이 원료로서 우선적으로 이용하는 것이 타당하나 위와 같은 이유로 원료로서 재이용이 품질면, 비용면에서 불가능한 경우는 열원으로 재활용하는 것이 바람직하다. 이와 같은 재활용은 폐지를 폐기물로 취급하기보단 연료로서 에너지를 취하고 감용화한 소각잔사를 매립하는 것이 폐기물로서 안정도가 증가할 뿐 아니라 최종처분장의 연명 등 일석삼조의 효과가 있다.

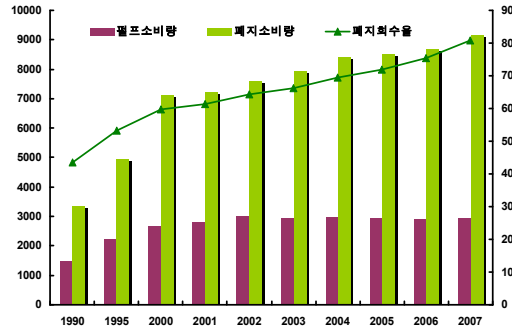


Fig. 3. Domestic pulp/wastepaper consumption and recycling ratio.³⁾

3.3 바이오매스 에너지⁹⁾

온실효과 가스배출의 대부분은 에너지 사용에 기인하고 있으며 CO₂ 온실효과에 영향은 IPCC의 제2차 평가보고서에 의하면 64%를 점하고 있다. 특히, 대부분의 국가는 CO₂의 90% 이상이 에너지의 사용에 의한 것이다. 이중 펄프·제지산업은 제조업 중에서 화학, 철강, 시멘트 다음으로 4위의 에너지 다소비형 산업의 위치에 있다.

한편, 펄프·제지산업의 에너지 소비의 특징은 크라프트 펄프의 증해폐액이 중요한 연료인 점이다. 그 양은 업계전체에서 29.2%에 달하고 있다. 그러므로 필요한 에너지 중 29.2%를 화석연료에 한정하지 않고 목재로부터의 바이오매스 에너지에 의해 충당하고 있다.

또한 제조공정에서는 증기와 전력 사용량이 많기 때문에 효율이 좋은 배압터빈에 의해 자가 발전을 하며 자가발전에 의한 전력 공급량은 76.1%에 달하고 있다.

펄프·제지산업은 제지원료를 재생 가능한 목재, 계획적인 대규모 식림목 및 저질재·폐재를 포함한 사용 가능한 폐지를 재이용하는 원료 리사이클을 행해 목재중의 종이가 되지 않는 부분은 에너지원으로서 활용하는 지구환경 및 21세기 대표적인 산업이라 말할 수 있다.

3.4 증해폐액으로부터 바이오매스 에너지 회수

펄프·제지산업에 따른 지구환경대책의 3주체는 식

목, 폐지 재이용에 뒤따른 바이오매스 에너지 활용이다. 목재 조성성분 중에서 종이의 주요성분이 되는 전체 셀룰로스는 수중에 따라 차이가 나며 대략 50~60%이다. 상질지의 원료펄프로서 정제도가 높은 크라프트펄프가 일반적으로 사용되고 있다. 펄프 수율은 크라프트펄프의 경우, 50% 전후이며 목재성분의 약 반 정도는 증해약액 중에서 용출한다. 크라프트법의 특징은 여러 가지가 있으나 에너지 면에서는 증해폐액을 회수하는 시스템이 완성되어 있다.

크라프트법의 경우, 증해약액 중에 용출된 리그닌, 헤미셀룰로스등의 유기물은 펄프세정공정에서 흑액으로서 펄프와 분리된다. 최근 각 공장에서 채택 사용하고 있는 산소탈리그닌 공정의 폐수도 위와 같이 회수된다. 표백공정에서는 염소계 표백약품을 사용하고 있기 때문에 표백폐수의 회수는 불가능하나 장래 완전비염소표백법(Total Chlorine Free)이 수용되는 경우 크라프트펄프 공정의 배출액은 거의 전량회수 가능하리라 생각된다. 증해흑액 및 산소 탈리그닌 공정에 따른 폐수는 진공증발관에 있어서 흑액고형분농도 70%정도까지 농축되어 소다회수보일러에서 연소된다.

회수보일러는 펄프공장 특유의 설비로서 다음과 같은 기능을 갖고 있다.

- ① 연소잔사로서의 알칼리분을 회수한다. → NaOH와 Na₂S를 주성분으로하는 증해약액으로 재생
- ② 황산나트륨(Na₂SO₄)을 황산소다(Na₂S)로 환원한다. → NaOH와 Na₂S를 주성분으로하는 증해약액으로 재생
- ③ 연소열로부터 증기를 발생한다. → 증기터빈으로 발전을 행함

이와 같이 회수보일러는 증해약품의 회수와 에너지 회수를 동시에 행하며, 펄프·제지산업의 고유보일러이다.

3.5 종이 폐기물로부터 바이오에탄올 생산기술

석유자원의 절약과 지구온난화방지 관점에서, 재생 가능한 자원으로 바이오매스를 원료로한 바이오에탄올 및 바이오디젤 등의 연료유 정제기술이 주목받고 있다. 그러나 현재는 옥수수 및 채종을 원료로 하고 있기 때문에 식용작물로의 공급에 있어 문제시 되고 있어 금후 식용작물로서 경합을 하지 않는 채종 바이오매스를 원료로 하는 기술 개발이 기대되고 있다. 여기에서는 양이 풍부하고 구하기 쉬운 바이오매스 폐기물을 원료로 한 에탄올 생산 기술의 개발동향과 종이 슬러지로부터의 에탄올 생산기술 등을 기술한다.

① 바이오에탄올에 대해서

브라질에서는 시판 가솔린은 전부 에탄올을 혼합한 것이며, 미국에서는 가솔린에 에탄올을 10%이하 혼합한 저농도 성분과 85%까지 혼합한 고농도의 에탄올이 있다. 이처럼 일부 국가에서는 연료용 에탄올이 도입되고 있으며, 현재 바이오에탄올은 사탕수수와 옥수수등 식료로 판매되고 있는 것을 원료로 하고 있기 때문에 바이오에탄올의 이용자체에 문제가 발생하고 있다. 바이오연료의 원료로서는 당 및 전분을 원료로 한 것은 전체에서 아주 적은 비율을 차지하고 있으며, 주로 벧짚, 보릿짚 등의 초목계, 간벌재 등의 목질계, 자원작물인 비식용식물이 바이오매스가 원료로서 상정되고 있다.

② 바이오에탄올 생산기술¹⁰⁾

에탄올 생산이라고 하는 것은 주류(酒類)용도의 에탄올생산을 말하며, 발효에 의한 생산공정을 지칭한다. 옥수수와 감자등 전분질의 경우에는 우선 아밀라제(당화효소)와 누룩곰팡이에 의해 당화라고 하는 전처리를 거쳐 당질로 변환하고 에탄올 발효를 행한다. 그리고 사탕수수와 당밀(꿀)등 당질을 원료로 하는 경우에는 당화 필요가 없으므로 그대로 에탄올 발효를 행한다. 이것들의 경우에는 에탄올 발효에 앞서

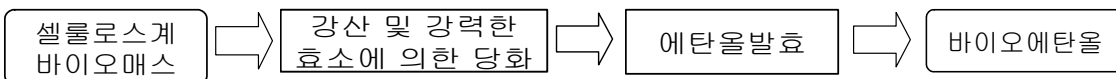


Fig. 4 Producing process of bio-ethanol from cellulosic bio-mass⁴⁾

전처리가 불필요, 또는 아밀라제에 의해 쉽게 당화가 가능한 이점이 있다.

한편 식료와 경합하지 않는 바이오에탄올 원료로 주목받고 있는 셀룰로스계 바이오매스는 분자량도 크고 결정질이므로 전분질처럼 아밀라제에 의해 쉽게 당화하는 것은 어렵다.

그 때문에 Fig. 4에 나타난 것처럼 강산과 강력한 효소를 이용한 당화공정이 필요하다.

다시 말해 이 당화공정을 효율 좋고 경제적으로 행할 수 있는가가 실용화하기 위한 중요한 포인트이다. 셀룰로스계 바이오매스를 에탄올발효 하기위해 전처리 당화법으로서 황산을 사용하는 산당화법이 있다. 첫 번째는 180~190℃, 1 wt%이하의 희석황산 수용액 중에서 헤미셀룰로스를 가수분해한 후 잔사중 셀룰로스를 25℃ 이상, 1 wt% 정도의 희석황산 수용액 중에서 가수분해하고 당화하는 방법이다.

산당화이외의 전(前)처리법으로서, 셀룰로스에 의한 효소당화에 관한 연구개발도 활발히 진행되고 있다. 효소당화는 30~35℃의 저온에서 행해지므로 생성물의 글루코스 과분해가 일어나지 않게 하기위해 에탄올 수율이 높다는 이점이 있다. 이때 효소당화를 보다 쉽고·신속히 하기위해서 효소당화를 위한 전처리가 필요하게 된다. 현재 이 전처리로서 아임계수(물의 임계온도인 374℃ 이하, 포화수증기압 이상의 고온온도 물)를 이용하는 방법이 주목받고 있다. 이 방법에서는 용매로 물만을 사용하고 있기 때문에 황산을 사용하는 전처리에 비해 폐액처리가 필요 없는 이점이 있다. 그러나 아임계수에 의해 셀룰로스계 바이오매스를 처리한 경우, 글루코스 과분해에 의해 후루프랄 및 유기산등이 생성된다. 이들 부생성물은 뒤의 에탄올발효의 저해물질인 관계로 이들 부생성물을 아주 생성하지 않는 셀룰로스 전처리기술, 발효저해물질에 의해 얻어진 에탄올 발효효소의 개발이 필요하다. 또한, 벧짚과 벼 껍질을 원료로 한 바이오에탄올의 생산기술 개발도 진행 중에 있다. 여기에서는 아임계수에 의한 전처리+효소당화+에탄올발효공정의 조합에 의해 바이오에탄올 제조를 행하고 있다.

종래법과 다른 것은 지금까지 따로따로 공정을 행했던 효소당화와 에탄올발효를 동시에 행하는 「슈퍼효모」를 개발한 점이다. 분쇄한 벧짚과 보리짚을 아임계수로 처리하여 가용화시킨 후, 가용화물을 슈

퍼효모와 접촉시켜 에탄올을 생성한다고 보고되고 있다. 그 외에도 마를 원료로 한 바이오에탄올 제조에 성공한 예가 있으며, 다양한 바이오매스폐기물을 원료로 한 바이오에탄올의 제조기술 개발이 착착 진행되고 있다. 결론적으로 볼 때 바이오매스 폐기물을 원료로 한 바이오에탄올 생산법은 식료와 경합하지 않는다는 점에서 볼 때 개발이 절실히 요망되고 있는 기술이며 비용경쟁이 금후 과제이다. 세제조치 및 바이오매스 폐기물의 수집·운반 방법 등의 과제 해결과 함께 값싸고 고효율인 생산프로세스의 개발이 우선이라고 말할 수 있다.

4. 결론

종이제품의 제조, 사용, 폐기과정에서 인간의 건강, 생태계에 악영향을 미치는 화학물질이 환경에 배출되어 환경으로 확산, 축적됨에 의해 환경오염을 일으키는 것이 사실이다. 그 배경에는 편리성을 추구하는 다종다양한 화학물질을 대량으로 생산, 소비, 폐기하는 사회경제활동 및 생산양식을 받아들여야 하는 사실에 기인하여 금후, 안전하며 안심할 수 있는 생활환경을 확보해 가는 것이 무엇보다도 커다란 과제이다.

특히, 펄프·제지산업은 지구온난화 문제에 대응하기 위해 세계적인 문제로 대두되고 있는 에너지 절약과 화학연료의 절감을 위한 대책으로 다음과 같은 방안을 들 수가 있다.

첫째로, 고효율설비 및 폐열회수 재사용 도입이 절실히 필요하며 둘째로, 펄프폐액 및 제지슬러지를 재생 가능한 바이오매스 연료로 재생산하는 기술을 조속히 확립하는 것이 필요하다.

참고문헌

1. 펄프제지 폐수처리, 강원대학교 출판부(2007)
2. 에너지소비통계, 에너지관리공단(2008)
3. 제지산업통계연보, 한국제지공업연합회(2008)
4. 바이오에너지·고효율 전환기술개발/셀룰로스계 바이오매스를 원료로하는 신규발효기술등에 의한 연료용 에탄올 제조 기술개발, NEDO(2004)
5. 박찬수, 다이옥신 생성 메카니즘에 관한 연구, 전북대

- 환경공학과 석사학위논문(1994)
6. 양상현·강윤석, 제지폐수처리장 슬러지의 소각처분에 관한 연구, 도시 및 환경연구7(92.12) pp.23-31(1992)
 7. 최근 중국의 폐지 이용 증가와 세계에 미치는 영향, 한국제지공업연합회 학술지(제지계) 제429호(2008)
 8. 윤성일, 펄프폐수에 존재하는 리그닌과 염화 과이아콜의 메탄생성 억제작용과 혐기성 처리, 충남대학교 환경공학과 박사학위논문(2002)
 9. 김경연 출처, 대체 에너지원으로 급부상하는 바이오연료, LG경제연구(2001)
 10. 박찬우, 바이오 에탄올 생성 및 시장상황, 바이오 에탄올 혼합 연료 도입현황, GREEN SAMSUNG(2005)