

이글은 우리나라를 방문한 에너지와 환경문제의 전문가 「알빈슨」교수가 지난 7월 21일 중소기업 중앙회(여의도) 회의실에서 에너지 협의회 회원과 그밖에 관심이 있는 우리나라 청중을 위해 에너지와 환경 문제를 주제로 강연한 내용이다.

이날 강연은 영어로 이루어졌는데 그 내용을 요약, 우리말 번역으로 옮겨오는 것이며 진지한 질의 응답이 오갔으나 그것은 부득이 생략했다.

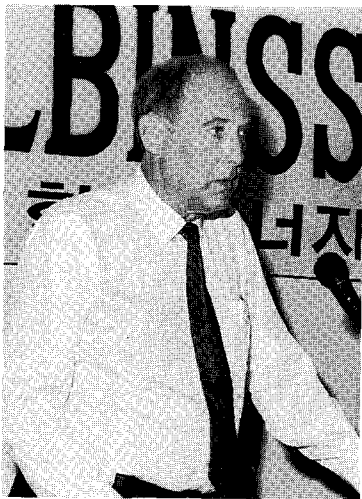
(43면기사 참조)

환경保全  
4개원칙

# 배출물질 희석, 정제과정 오염물질 농축, 폐기물회수, 폐기물 발생최소화

## 「알빈슨」교수

(Prof. H. Albinsson)  
스웨덴 상공회의소 위원  
WEC연구위원회 위원장



<韓電기술연구원 洪旭熹박사 번역>

### I. 서론

이 논문은 폐기물 관리에 따르는 환경과 에너지 측면에서의 문제점을 검토하는 WEC 연구위원회(WEC Study Committee on the Environmental and Energy aspects of Waste Handling)에 의해서 작성된 원 보고서의 행정보고용 요약문이다.

보고서 원문은 1992년 9월에 개최되는 WEC 제 15차 총회에 맞추어 출판하기 위해서 준비되었다. 따라서 이 요약문의 주요 내용들은 원 보고서에서 발췌되었으며, 보다 자세한 내용은 원문 보고서에서 찾아볼 수 있다(1).

이 탐구적인 조사 연구는 1990년 9월에 남미의 「리우데자네이루」에서 개최되었던 WEC의 국제 집행이사회에서 내리진 결정에 의한 것이다. 또한 그 결정은 제반 공업 공정에서의 에너지 소비를 검토하는 WEC 연구 위원회(WEC Study Committee on Energy Consumption in Industrial Processes)의 의장에 의해서 발의된 1988년 4월의 제안에 근거하였다(ECIP) (2, 3).

세계에너지회의(WEC)가 “에너지와 환경 지표의 사례집(Energy and Environmental Indicator References)”으로 명명될 수 있는 출판물의 발간을 목표로 하는 연구를 떠맡음으로 해서 전세계 대부분의 나라들을 포용하는 한 국제 조직에서 수집되는 제반 정보들을 분석하는 것이 가능하게 되었다. 이런 일은 WEC만이 수행할 수 있는 특징적인 임무라고 할 수 있다.

이제까지 폐기물 처리와 관련하여 에너지와 환경적인 측면에서의 심층적인 연구는 이미 여러 나라들과 많은 국제기구들에 의해서 수행된 바 있는데, 이러한 연구의 결과들은 특히 개발도상국가들의 특별한 흥미를 불러 일으킬 수 있을 것이다.

선진국과 개발도상국가들의 정보를 상호 비교하는 데에는 그 정보들이 동일한 방법론을 사용하여서 얻어진 비교가 능한 것이어야 한다는 전제가 수반되어야만 한다. 이렇게 함으로써만이 개발도상국가의 담당자들이 선진국에 비교하여 자신들이 수행한 활동의 성취도를 평가할 수 있을 것이다.

이러한 연구의 방법론에 관해서 세부적인 논의를 하기에 앞서서, 먼저 이 분야, 즉 「폐기물」(waste)과 「폐기물 관리」(waste management)에서 사용되는 기초적인 개념들을 조금 토의해보는 것이 유용할 것이다.

폐기물 관리에서 의미하는 폐기물의 개념과 종합적인 폐기물 관리(integrated waste management)의 개념을 어떻게 이해할 것인가 하는 문제는 사실상 광범위한 토론의 대상이 될 수 있다(4).

실령 좁은 의미에서 폐기물을 정의한다고 하더라도 폐기물 관리에는 고형 폐기물뿐만 아니라 액체 폐기물과 기체 폐기물이 포함된다.

이것은 도시 고형 폐기물과 산업 폐기물 등과 같은 폐기물을 다루는 데에서 쉽게 그 예를 찾아 볼 수 있다. 이러한 폐기물들을 처리하는 데에는 오늘날 세가지의 중요한 방법들이 채용되고 있는

## 세계적에너지 · 환경지표사례집발간 WEC같은 국제조직에서나 수행가능

데, 그것은 매립, 소각, 그리고 직접적인 생물학적 처리이다.

매립에서는 여러가지 휘발성 화학물질들로 오염된 여과수(걸러낸 물/leachate water)와 함께 생물가스(biogas; 혐기성 미생물이 작용하여 메탄가스가 생기는 것을 의미한다-역자 주)가 만들어진다. 소각을 할 경우에는 오염된 배가스뿐만 아니라 바닥재(bottom ash; 소각로 바닥에 남는 재-역자 주)가 발생한다. 만약 이 배출 가스를 처리하게 되면 고형 폐기물이 만들어지는데 때로는 액체 폐기물이 유출 되기도 한다. 직접적인 생물학적 처리에 있어서는 물과 함께 기체상 생성물이 발생한다.

참고적으로, 각각의 폐기물에 대해서 그것들의 일반적인 발생원이 어디인지, 그리고 그것들이 환경적으로 어떤 영향을 미칠 수 있는지에 대해서 앞으로 진지하게 연구가 진행되어야 할 필요가 있다는 것이 언급되어야만 할 것이다.

폐열(waste heat)과 바이오매스 고형 폐기물은 이미 여러 다른 보고서들에서 다루어진 바가 있으므로 본 연구에서는 제외되었다.

이 연구를 시작하면서 연구 대상의 우선 순위를 정함에 있어서는 다음과 같은 일반적인 폐기물 사이클을 고려하였다.

- ① 폐기물의 발생과 저장(Generation/Storage)
- ② 폐기물의 수집과 수송(Collection/Transportation)
- ③ 물질 회수(Material Recovery)
- ④ 처분(Disposal)
- ⑤ 처리(Treatment)
- ⑥ 파괴(Destruction)

이러한 일반적인 사이클은 이 연구의 제목에서 사용된 「폐기물 관리」(waste handling)라는 용어의 잠재력을 제대로 설명하고 있는데, 그 반면 「폐기물 처리와 재순환」(waste treatment and recycling processes)부분의 검토를 요구하는 분야에 있어서는 폐기물이라는 용어가 한정된 의미로 사용되고 있다.

이 연구에서 검토되는 대부분의 폐기물들에 대해서는 위의 첫번째와 두번째 항목에서의 조사가 제외될 수 있었으며, 폐기물 종류에 따라서는 특별한 항목에 한정하여 그 내용이 검토되기도 하였다.

이 연구에서는 에너지 사용과 절약의 관점에서 폐기물의 관리에 중점을 두어 다음과 같은 분야들이 검토되었다.

- ① 연료처리(Fuel Treatment)
- ② 전통적인 폐기물과 원자력발전소 폐기물의 처리 및 처분(Conventional and Nuclear Power Plant Waste Treatment/Disposal)
- ③ 물질회수(Material Recovery)
- ④ 소각과 매립(Incineration and Landfill)

여기에서 선택된 각각의 폐기물 관리 활동에 대해서는 그것이 불필요하다고 여겨지는 경우를 제외하고는, 최근의 기술 동향에대한 설명과- 간단한 도해와 함께(생략)- 오염물질 배출 기준 등과 같이 환경과 인간의 건강에 미치는 고려 사항(factor)의 목록을 제시하였다.

국가에 따라서 각기 다른 기술들이 사용될 때에는 그 내용들을 개별적으로 설

표 1. 특정 기술에 대한 단위 부피의 폐기물에 대한 폐기물 관리 비교 지표 (Waste Handling Comparative Indices per Unit Volume of Waste for Particular Technology)

1. 에너지 소비율(Energy Consumption)
2. 에너지 생산율-전기와 난방용 증기의 생산 (Energy production-Electricity and steam for Heating System)
3. 물질 회수에 의한 에너지 절약율 (Energy Saving by Material Recovery)
4. 전체 비용(Total Cost)
5. 환경적 측면에서 소요되는 비용 (Environmental Aspects Cost)

명하고, 국가간 기술 수준의 비교를 보다 쉽게 하기 위해서 폐기물 관리 지표(Waste Handling Index)를 제시하였다. 이러한 상대적인 지표의 예가 표1에 제시되었다.

이러한 지표들은 폐기물의 종류와 환경과 인간 건강에 대한 인자들을 고려하여 개별적으로 작성되었다.

본 연구를 수행하는 도중에 연료처리(fuel treatment)분야의 일부는 수정되어서 천연가스와 석유에 대한 부분이 제외되었다. 광산과 처리 공장에서의 우라늄 취급은 제4절 원자력 산업 폐기물 처리 및 처분 항목에서 다루어졌으며, 광산에서의 석탄 관리는 본 보고서의 준항목 2.2에서 논의되었다.

## II. 연료 처리 (Fuel Treatment)

이 절(section)은 연료의 처리 문제를 다루고 있는데 특히 광산에서의 석탄 관리에 역점을 두었다. 광산과 처리 공장에서의 우라늄 취급은 「IV 원자력산업의 폐기물 처리 및 처분」에서 다루기로 한다.

석탄은 생산에서 최종 사용까지의 연료 사이클 각 단계에서 폐기물을 발생케 한다. 바람직한 폐기물 관리(good waste-management)의 요령은 폐기물이 지속적으로 축적되지 않게 하거나 또는 그것의 축적을 최소화할 수 있도록 하는 것을 목표로 삼는데, 석탄 산업에서의 폐기물 관리는 비단 주요 광물들의 회수뿐 아니라 다른 재사용 가능한 물질들을 모두 회수하는 것을 목표로 해야 한다.

광산에서 원료물질(raw materials)을 채광하는 과정에서는 주광물과 함께 부산물, 즉 동반 광물(accompanying minerals)이 채굴되며 광산 폐기물(mine waste)도 함께 얻어진다(그런데 많은 나라들에서는 동반 광물을 폐기물로 간주하지 않는 경향이 있다).

고형 석탄(hard coal)의 채굴과 정제 과정에서는 광산 폐기물과 공정 폐기물 뿐만 아니라 동반 광물과 농축물들도 형

성된다.

이러한 폐기물로서는 무엇보다도 먼 저 석탄 채굴시에 함께 캐내져서 광산 입구까지 수송되는 폐석(waste rock)을 꼽을 수 있으며, 또 기계적 처리 공정을 거치면서 석탄이 정제되는 과정에서 배출되는 폐석(돌맹이, 진흙, 나무가지 등)이 포함된다.

석탄 폐기물은 예를 들어서 폴란드에 서는 주로 미처 석탄화되지 못한 암석들, 특히 각종 성분들로 이루어진 사암과 함께 이암(泥岩/mudstone), 슬러리 등이 차지한다. 어떤 탄광에서는 메탄가스의 농도가 각기 다른 기체로 유출되므로 해

들이 현재 사용되고 있거나 제안되고 있는데, 이러한 방식들은 모두 채광 작업장에 투여하는 열수의 양과 그로부터 배출되는 양을 감소시키도록 되어 있다.

갈탄을 채광하는 데에는 아무런 폐기물의 발생이 없으며 다만 동반 광물만이 배출되는데, 이것은 폐기물로 간주되지 않는 것이 보통이다.

이러한 광물은 앞으로 그 용도가 매우 다양해질 것으로 기대되지만, 현재로서는 단지 소량만이 이용되고 있는데 불과하다(백색 도자기나 위생용품 산업, 건축용 도자기나 건축재료 산업 등에 이용된다).

은 땅에 묻었을 때 염분과 미량 원소들이 삼출(滲出)되기 때문이다.

환경에 미칠 수 있는 이러한 영향들은 적당한 방법을 취하면 대부분 경감시킬 수 있거나 또는 완전히 나타나지 않게 할 수도 있다. 화석연료의 연소에서 배출되는 잔유물들은 많은 경우에 있어서는 필수적인 원료물질(raw material)이 될 수 있고 따라서 자연에서 얻는 원료물질들을 대체할 수 있다.

결론적으로, 비산재, 아황산가스, 질소산화물 등에 관련해서 그것들을 정제(精製)할 수 있는 방법이 강구되지 않는다면 화석연료의 소비 증가는 결국 도저히 받아들일 수 없는 환경적인 악영향을 초래할 것이다.

잔유물의 처리 문제는 시간이 지남에 따라 결코 완화되지 않을 것이며, 오히려 그 반대로 석탄의 세계적인 소비 증가로 인해서 환경 개선을 위한 오염방지 시설의 요구도는 더욱 더 높아지게 될 것이다.

환경개선을 위해서 석탄화력 발전소에서 오염방지 설비를 운영하는 것은 결코 에너지의 소비라고 생각되지 않는다. 저NOx형 버너를 설치하는 데에는 심지어 에너지 이득도 예상할 수 있는데, 그것은 연소 조절을 통해서 얻어질 수 있다.

### IV. 원자력산업 폐기물의 처리와 처분

원자력 발전은 1990년 말 현재 세계 28개국에서 운전되는 423기의 상업용 원자로와 함께 전세계 발전량의 17%를 점유하고 있다.

이러한 전력 생산을 뒷받침하기 위해서 원자력 산업은 또한 핵연료 준비 과정에 해당하는 「전말단」(前末端/front-end)과정과 사용후 핵연료 관리 과정인 「후말단」(後末端/back-end)과정을 포함하는 핵연료 사이클의 제반 활동을 수행한다.

방사선 폐기물과 비방사선(非放射線) 폐기물은 모두 핵연료 사이클의 각 단계마다 발생한다. 이 章에서는 원자력 산업

서 그것들을 제거해야만 하기도 한다.

고체상 석탄층을 채굴하는 과정에서 는 여러가지 생태학적인 문제들이 발생하는데, 그 중에서 가장 심각한 것은 보통 염수(saline-water)라고 불리는 광물질을 다량 포함하는 물이 광산으로부터 지표로 유출되는 현상이다.

폴란드에서는 채광하는 심도가 깊어짐에 따라 광물화(mineralization)의 정도가 달라져서 작업장까지 도달하는 물은 광물질들이 포화 상태에 이를 정도로 높은 농도를 갖는 염수인 경우가 흔하다.

염분 농도의 증가로부터 하천을 보호하기 위해서는 수리학적 방법이 동원되고 있다.

이 방법은 수 100만 입방미터의 용량을 갖는 대형 저수조에 염수를 저장하였다가 강물의 수위가 높아졌을 때 조금씩 방류시킴으로써 해서 하천의 염분 농도가 허용치를 초과하지 않도록 하는 방식이다. 그러나 최근에는 염수의 용량이 엄청나게 증가하고 있기 때문에 이 방법은 더 이상 효과적이지 못한 실정이다. 폴란드에서는 광산수에 포함된 염분의 양이 하천의 허용 염분도로 결정되는 하천의 최대 흡수 능력을 초과하고 있다.

이러한 문제를 경감시키기 위해서 다 른 대안적인 채광법과 수리학적인 방법

### III. 재래식 발전소 배출 폐기물의 처리와 처분

석탄과 다른 화석연료의 연소는 열과 전기 외에도 많은 부산물들을 양산한다. 그러한 부산물의 예를 들면 다음과 같다.

- ① 석탄의 광물질 성분들을 대부분 함유하고 있는 슬래그(slag)와 비산재(fly ash)
- ② 아황산가스, 질소산화물과 기타 성분을 포함하는 배연가스
- ③ 연소되지 않은 유기화합물

마지막으로, 화석연료의 연소는 이산화탄소를 생성하는데, 이것은 온실효과로 인해서 지구의 온도 균형을 헤치는 존재로 최근 지대한 중요성을 보여주고 있다.

만약 비산재나 아황산가스, 질소산화물 등을 정제(purification)할 수 있는 조치가 취해지지 않는다면, 증가일로에 있는 전세계적인 화석연료의 소비는 앞으로 환경에 엄청난 영향을 미치게 될 것이다.

이러한 정제 공정에서 배출되는 폐생성물(waste products)만 하더라도 그것만으로도 환경에 커다란 영향을 미칠 것인 바, 그것은 부분적으로는 처리해야만 하는 양이 너무 많기 때문이며, 또 부분적으로는 그러한 폐기물의 어떤 것들

에서 방사선 폐기물의 관리(처리 및 처분)에 관련된 환경적, 에너지적 및 경제적인 측면을 검토한다.

비방사선 폐기물의 관리는 원자력 산업에 있어서나 다른 산업에 있어서나 거의 비슷하므로 이 장에서는 고려되지 않았다.

방사선 폐기물의 관리를 개략적으로 다루는 것에 부가해서, 이번 연구에서는 사용후 핵연료의 관리에도 특별한 주의를 기울였다.

전력을 생산하는 원자로에서는 연료 사용에 따르는 부산물을 폐기물로 간주할 수 있으리라. 그러나 역사적으로는 사용후 핵연료(spent fuel)가 자원으로 간주되어 왔으며, 그 속에 포함된 우라늄과 플루토늄의 상당 부분이 재순환 되었다(재처리).

그러나 최근에는 우라늄이 풍부해졌기 때문에 몇몇 나라들은 사용후 핵연료를 폐기물로 간주하는 경향이 있고, 따라서 그것을 직접 처리할 수 있는 기술의 개발을 시작하고 있다.

방사능은 환경과 인간의 건강에 매우 큰 영향을 미칠 수 있다. 인간은 원자력 산업에서 무수히 많은 경로를 통해서 방사능에 노출 될 수 있는데, 다음과 같은 노출 경로를 예로 들 수 있다.

표 2. 영국에서의 방사성 노출원

노출원	인구 1인당 연간 평균 방사선 노출량(microSv)	
우주선 복사 (cosmic radiation)	250	자연 방사능 에의 노출
육상의 감마선 (terrestrial gamma rays)	350	
내부 照射 (internal irradiation)	300	
라돈 분해 산물 (radon decay products)	1,200	
토론 분해 산물 (thoron decay products)	100	
의학적 照射 (medical irradiation)	300	인위적 방사능 노출원
핵무기 낙진 (weapon fallout)	10	
기타 (miscellaneous)	5	
직업적 노출 (occupational exposure)	< 1	
원자로 배출 (discharges)	5	
체르노빌 낙진 (Chernobyl fallout)	5	
합 계(개략)	2,500	

① 오염된 공기의 흡입 ② 오염된 공기, 토양, 물, 또는 퇴적물에 의한 외부로부터의 방사능 노출(external radiation)

③ 오염된 식료품이나 물의 섭취  
내부적 방사능 노출(internal radiation)에 의해서 영향을 받은 인체 내장 기관(organs)은 부분적으로는 노출된 방사성 핵종의 종류에 따라서 결정된다. 예를 들면 요오드는 갑상선(thyroid gland)에 선택적으로 축적되고 스트론튬과 라듐은 뼈에 선택적으로 고정된다.

국제 방사선보호 위원회(ICRP : The International Commission on Radiological Protection)는 원자력설

필요성이 크게 감소될 것이다. 그러면 결과적으로 우라늄을 추출하는 과정에서 발생하는 폐기물의 양과 그것에 수반되는 환경에의 악영향 또한 크게 감축될 것이다.

일반적으로 폐기물을 직접적으로 처분하는 일과 사용후 핵연료를 재사용하는 데에 따르는 환경에 대한 악영향은 정부의 규제 기관에서 설정한 제한 법규에 의해서 아주 엄격히 통제되어야만 한다.

결론적으로 원자력 발전에서 발생하는 폐기물의 부피는 다른 전력 사업에서 배출되는 폐기물의 양에 비해서 상대적

## 폴란드 석탄층에 대량의 소금물 河川보호 문제돼

비로부터 인위적으로 수행되는 방사능 핵종의 방출 관례에 의해서 노출되는 일반 대중 그룹 중에서 방사선에 가장 취약한 집단의 노출 정도가 연간 1000 microSv를 넘지 않아야 한다고 권고하고 있다.

일반 대중에 대해서 방사선 노출량을 규제하는 일은 그들이 원자력 발전산업에서 발생하는 폐기물에 노출되는 것을 전제로 하는 것이 아니라 다른 형태의 방사선에 노출되는 것을 전제로 해서 이루어진다.

표 2는 영국에서의 다양한 방사선 노출원을 보여주고 있다.

우라늄의 채굴과 분쇄 과정에서 배출되는 폐기물, 그리고 그것을 전환, 농축, 핵연료로 가공하는 과정에서 발생하는 폐기물 처리에 소요되는 에너지 소비는 거의 무시할 수 있을 정도로 적다.

이 일을 수행하는 데에는 원자력 발전소에서 생산되는 전기의 약 5%정도가 사용될 따름이다. 이 전기의 대부분은 냉매순환 시스템에서 소비된다. 원자력 발전소에서 배출되는 폐기물의 관리에는 그 발전소에서 생산하는 전기가 최대 5%정도 사용될 것으로 조사되었다.

만약에 사용후 핵연료가 재사용된다면 천연 우라늄 자원을 추출해야 하는

으로 매우 적다고 할 수 있다. 원자력발전 산업에서 야기되는 방사선 방출로 인한 환경에의 악영향은 매우 제한적인데, 특히 자연 방사능원으로부터 방출되는 방사능의 정도에 비교할 때 그러하다.

핵연료의 재처리(reprocessing)는 만약 궁극적으로 고속증식로(fast breeder reactor)가 도입된다면 최대 50배 이상 우라늄 자원의 이용률을 증가시킬 수 있을 것이다. 현재의 풍부한 우라늄 자원과 낮은 핵연료 가격의 추세에서는 핵연료의 재처리가 발전 단가를 어느 정도 증가시킬 것이다. 결과적으로 일부 국가들에서는 현재 사용후 핵연료의 직접 처분 방법이 검토되고 있다.

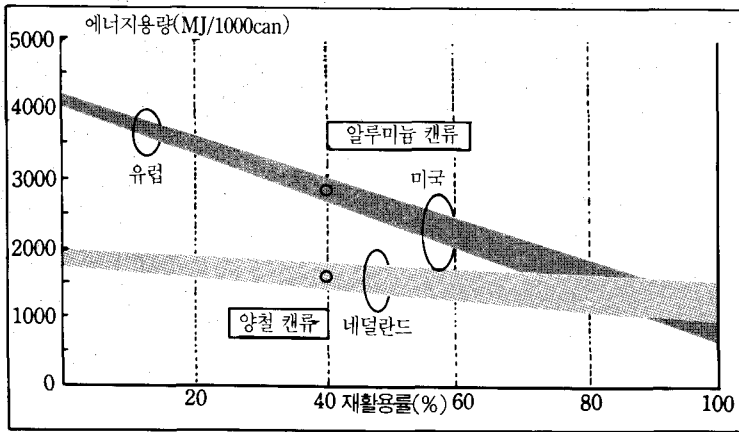
## V. 물질 회수 (Material Recovery)

### 1. 유리 재활용

유리제조 산업은 전세계 산업용 에너지 수요자 목록에서 제 6위의 자리를 차지하고 있다. 연료 구입에 사용되는 비용은 유리 공장의 전체 소요 비용의 약 15~20%를 점유하는 것이 보통이다.

폐유리(cullet)는 규사(실리카/silica sand), 석회석(limestone), 백운석(dolomite)등과 같이 보다 용해시키기 어려운 재료의 용융을 도와주는 필수적

그림1 : 음료용 「캔」의 제조에서 재활용의 비율 및 사용에너지 소비량과의 관계



인 원료물질이다.

유리 공장에서 만들어지는 모든 폐유리는 로(炉/furnace)로 되돌려지는데, 이것은 유리 원자재에서 폐유리가 15~20%의 적정수준을 유지하도록 한다.

1990년도 한 해 동안 유럽공동체(EC)에서 용기로 사용된 유리의 거의 42%가 재활용되었다. 어떤 유리 공장에서는 원료의 100%가 폐유리로 충당되고 있다.

유리제조 공정에서 배출되는 폐가스의 관점에서 보면, 이산화탄소와 아황산가스 배출량은 원료물질 중에서 폐유리(cullet)의 양이 증가할수록 감소하는 경향을 나타낸다. 그러한 감소는 유리 용해로에 주입하는 탄산염(carbonate)과 황산염(sulphate)이 포함된 원자재를 적게 사용하고 또 연료를 적게 사용함으로써 얻어진다.

유럽공동체에서는 1990년에 5백만 톤의 폐유리를 재사용했는데 그 결과 얻어진 이산화탄소 배출량 감소는 228만 톤에 달했다. 그런데 이러한 감축량은 유럽공동체의 전체 산업에서 배출되는 이산화탄소량의 0.3%에 이르는 막대한 양이다.

유리의 재활용은 유리를 녹이고 일차적 원자재를 생산하는 두가지 중요한 영역에서 에너지 절약에 가져온다. 넓은 관점에서 바라보면 유리 용해로에 투입되는 재활용 유리의 비율이 10% 증가하면 유리를 녹이는데 사용되는 연료는 2~2.5%가 감축되어 그만큼 에너지 절약이 이루어진다.

## 2. 종이의 재활용

선진 공업국들에서는 발생하는 폐지(waste paper)가 자국내 종이 산업체에 의해서 재순환되거나 수출되거나 또는 소각내지는 매립되는 등 여러 가지 다양한 방법을 통해서 처분된다.

대부분의 나라에서 폐지의 처리에 사용되는 가장 중요한 방법은 전통적인 수단, 즉 매립하는 방법이다(즉 땅에 묻는다). 모든 종이 폐기물의 63%가 매립으로 최후를 맞는다. 그러나 대부분의 선진국들에서는 매립지가 갈수록 희귀해지고 있으며 그것을 운영하는 비용도 증가하는 추세에 있다(5).

폐지를 처분하는 두번째 중요한 방법은 그 나라의 종이업계가 그것을 재활용하는 것인데, 선진공업국에서는 폐지의 27~48%가 이러한 방식으로 처리된다.

폐지 소각은 특별한 환경적인 차원을 갖는다. 이미 사용된 종이제품은 대부분 다 자원으로 간주되어야만 하며, 따라서 우선적으로 수집되어 새 종지와 마분지 생산에 사용되어야 한다.

만약 여러가지 이유로 이런 일이 가능하지 않다면, 그 폐기물은 에너지원으로 간주될 수도 있다. 폐종이는 환경에 아무런 나쁜 영향을 유발하지 않으면서 현대적인 소각설비에서 태울 수 있는 아주 뛰어난 바이오 연료(bio-fuel)이다.

스웨덴 펄프 및 제지산업 연합회(Swedish Pulp and Paper Association)에 의해서 수행된 연구에 의하면 1톤의 종이를 소각할 때 약 12 GJ의 열

에너지가 방출된다고 한다(6).

따라서 그 만큼의 에너지가 화석연료로부터 얻는 에너지를 대체할 수 있는 것이다. 만약 그 만큼의 「바이오 연료 에너지」가 석유 에너지를 대체한다면 대기 중에 방출되는 이산화탄소 양은 약 770 kg가량 감소될 것이다. 증기생산용 석탄 대신에 폐종이를 사용한다면 이산화탄소 방출량을 986kg 감소시킬 수 있다.

따라서 경제적인 이윤이나 환경적인 이윤으로 폐지를 재활용할 수 없을 때에는 그것을 소각시킬 수 있는데, 그럼으로써 이산화탄소 방출이 감소될 수 있다. 이와 동시에 폐기물 관리 문제의 일부가 해소되는 것은 물론이다.

이산화탄소 방출량 계산에 있어서는 종이가 소각되는 동안 방출되는 이산화탄소가 다시 삼림에 의해서 흡수되는 것을 가정한다. 종이를 만들기 위해서 벌목된 숲은 재조림(reforestation)에 의해서 재생된다.

## 3. 플라스틱의 재활용

도시 고형 폐기물(MSW;municipal solid waste)에서 플라스틱이 차지하는 비율이 너무 커져서 폐기물 소각설비에서 많은 문제를 발생시키고 있다는 사실이 1970년대와 1980년대에 많은 나라에서 발견되었다.

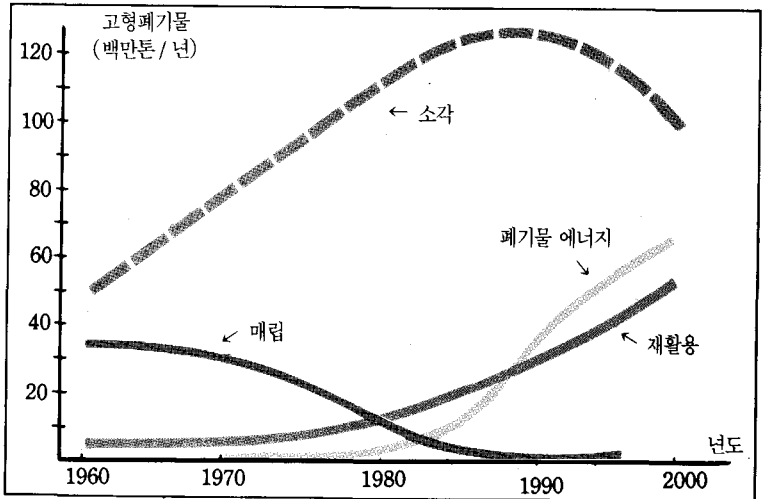
그런데 플라스틱 폐기물의 발생을 줄여줄 수 있는 것이 밝혀졌으므로 그 대신 플라스틱 산업계는 폐기물 관리의 상황을 개선하기 위해서 무엇을 할 수 있는지를 입증해 보여야만 하였다.

MSW에 포함된 플라스틱 중에서 재활용이 가능한 부분은 여러가지 형태로 버려지는 MSW 플라스틱의 극히 일부에 불과하다. 이것은 폐기물의 조성이 균일함과 동시에 깨끗해야만 회수 효율이 높는데 반해서 MSW에 포함된 플라스틱류는 그렇지 못하기 때문이다.

예를 들어서 일본에서는 재활용되는 플라스틱류가 주로 산업폐기물로부터 얻어지고, 대신 모든 MSW의 74%까지가 소각 설비에서 처리되고 있다.

유럽에서는 MSW를 소각할 수 있는

그림 2 : 1960년~2000년까지 도시의 고형폐기물 처분방법의 선호추세(미국)



미국에서의 도시 폐기물 처분 경향을 보여주고 있다.

나라가 그리 많지 않다.

대부분 국가들에서는 MSW 소각설비가 엄격한 대기오염 방지법의 규제하에서 운전되고 있다. 아황산가스 방출에 대한 규제는 점점 더 많은 나라에서 적용되고 있는데, 배출가스 중에서 염화수소의 농도에 대한 규제도 마찬가지로 엄격해지고 있다.

#### 4. 음료용 캔의 재활용 (Beverage Can Recycling)

캔의 라이프 사이클(life-cycle)에 있어서는 원료 물질 단계에서, 제반 생산 공정에서, 소비자에게 분배되는 과정에서, 그리고 마지막으로 폐기물로서 처리되는 과정의 각 단계에서 에너지가 소비되고 있다.

지난 20여년 동안 캔의 제조기술은 원재료의 양을 줄이는 방향으로 계속 발달하였다. 그래서 양철캔(steel can)의 중량은 1975년 이후 33%나 감소되었다.

1000개의 양철에 음료캔과 알루미늄제 음료캔을 재활용하는 것이 전혀없이 제조한다고 할 경우, 이 때에 소요되는 에너지는 각각 1755 MJ과 4041 MJ에 달한다.

캔의 재활용 시도는 주로 경제적인 이점 때문에 세계적으로 채택되었다.

폐알루미늄으로부터 2차 알루미늄을 생산하는데 소요되는 투자비는 보오크 사이크 원광에서 알루미늄을 생산하는데 투자되는 비용의 10%에 불과하고, 에너지 소비량도 상당히 낮다(약 5%정도이다).

1000개의 양철제 음료캔과 알루미늄제 음료캔을 100% 재활용하여 제조할 때에 필요한 에너지량은 각각 936 MJ과 658 MJ에 불과하다.

물론 재활용률 100%라는 것은 실제로는 달성할 수 없는 이론적인 수치이다. 60%의 재활용을 가정할 때 1000개의 알루미늄 캔을 생산하는데에는 약 2200 MJ의 에너지가 필요하다.

알루미늄제 캔과 양철제 캔 재활용율의 함수로서 에너지 소비량을 그림1에 나타내었다.

### VI. 고형폐기물 소각설비

소각(incineration)의 현대적인 정의는 환경적으로 안전한 방법으로 폐기물의 부피, 독성, 그리고 그에 따르는 재해를 감소시키기 위해서 밀폐된 설비 속에서 폐기물을 조절 산화시키는 것이다.

일찌기 많은 소각설비들은 처리하고자 하는 폐기물의 깨끗하고 안전한 감축을 위해서 반드시 요구되는 적절한 통제 없이 운영되곤 하였다. 그러나 현재는 안전하고 무독하게 다양한 형태의 폐기물들을 소각할 수 있는 기술이 잘 개발되어 있다.

소각은 폐기물에 포함된 물질들이 기본적인 원소와 화합물의 형태로 복귀된다는 의미에서 재활용의 한 형태로 간주된다.

매립(landfilling)은 전통적으로 소각에 대한 대안으로서 인정되고 있다. 그러나 매립장에서의 지하수 오염과 온실가스 발생으로 인해서 소각이 좀 더 선호되고 있다.

소각은 물에 녹아서 유출되지 않는 재(non-leachable ash)와 이산화탄소 및 물을 배출하는데 이것들은 환경에 특별한 악영향을 미치지 않는다. 이용가능한 유용한 물질을 회수하는 효과적인 재활용 방법에 병행해서 소각은 폐기물 관리에 있어서 고도 기술적인 환경오염을 최소화시키는 좋은 방안이다.

그림 2는 1960년부터 20세기 말까지

환경 보전에서의 1차적인 관심은 기체상, 고체상, 액체상의 유출물이다.

그런데 분진(particulate)의 방출은 중금속과 미연소 유독 유기화학물질을 포함할 수 있다. 따라서 분진을 처리하기 위해서 매립장을 적절히 설계하고 그에 따라서 건설하면 환경오염의 가능성이 낮아질 수 있다.

그러나 다른 한 궁극적인 해결책은 그러한 구성 성분들이 유출될 수 없도록 아예 불용성의 재(ash) 형태로 배출시키는 것이다.

여러가지 대기오염 방지 설비와 열 교환기들로부터 방출되는 공정수(process water)는 항상 그 산도(pH)를 감시해야만 하며, 또 그 속에 포함된 여러 유독 물질 농도를 수시로 분석해야만 한다.

폐기물을 소각, 연소 또는 급속 산화시키는 방법은 에너지를 회수할 수 있거나 말거나 다양한 폐기물 종류와 양을 처리할 수 있는, 잘 확립된 고도 기술이다.

### VII. 폐기물 매립장

종합적인 폐기물 관리 전략에 있어서 매립은 항상 나타나게 마련인, 각종 폐기물 처리 공정에서 처리할 수 없는 부분과 그런 공정에서 남겨지는 잔유물들을 궁극적으로 처분할 수 있는 유일무이한

## <특별논단 II>

대안으로 간주된다.

해양 처분(sea disposal)은 최근까지 일부 슬러지(sludge)에 대해서만 처분 수단으로 받아들여지고 있는데, 현재는 실제적인 방법으로 인정받지 못하고 있으며 많은 종류의 슬러지들과 그것을 소각해서 얻는 잔유물들은 점점 더 많이 땅에 매립하는 방법으로 처분되고 있다.

따라서 매립은 어떤 폐기물 관리 전략에 있어서든지 매우 중대하고 필수적인 부분으로 간주되고 있다.

매립지는 그것을 확보하여 본격적으로 사용하기 이전에 먼저 상세한 계획을 수립하여 모든 고려가능한 입지에 대해서 성실한 평가를 수행해서 그 중에서 최적지를 선택하여야 한다.

입지에 대한 평가(site evaluation)는 환경에 미칠 수 있는 잠재적인 악영향을 추정할 수 있도록 국지적인 지질 조사와 수리학적 조사를 포함해야 하며 환경 오염을 방지하기 위해서 필요한 엔지니어링 측면에서의 대책이 마련되어야 한다.

이러한 평가에는 또한 현재의 토지이용 현황과 매립장으로서의 사용완료 이후의 사용 계획을 포함해서 소음, 시각 공해(visual intrusion), 교통 문제와 같은

또 다른 환경 영향에 대한 분석도 수행되어야 한다.

매립장에서 매일마다 또는 매립이 종료된 후 그 표면을 덮을 수 있는 방안에 대해서도 그 필요성과 유용성이 적절한 방법을 통해서 평가되어야 한다. 또한 그 매립장의 잠재적인 이용 가능성에 대한 평가도 필요하다.

매립지에서 추출되는 가스의 이용에 대해서는 1970년대 초엽 최초의 상업적 이용 프로젝트가 '캘리포니아'주에서 시작된 이래로 계속 실현되고 있다.

현재 이러한 프로젝트가 수행되고 있는 장소는 300여개소에 이르는데 해마다

## 1. 종합 결론

환경의 질에 대한 일반 대중들의 관심이 고조됨으로써 폐기물 관리에 있어서 커다란 변화의 여지가 마련되었다.

관리 대상의 폐기물 양이 크게 증가하고 관련 기술이 고도화된다는 것은 폐기물 관리가 이제 거대한 산업으로 발전하고 있음을 의미하는 것이다.

폐기물 관리에 소요되는 비용은, 일부 국가들에 있어서나 또는 어느 한 나라에 있어서 일부 지역에서는 매립장 입지가 점점 더 귀해짐으로써 소요 비용이 증가하고 있다. 이에 맞물려서 환경에 대한 규제가 더욱 엄격해지고 또한 일반 대중

## 유럽공업 에너지값, 가동총비용의 20%까지도

새로운 나라들이 이러한 프로젝트에 참여함으로써 그 수효는 매년 늘어나고 있다.

매립장에서 배출되는 가스의 적절한 이용은 대기 중으로의 온실효과 가스 방출을 감소시키는데 공헌하기도 한다.

들의 기대치가 증가함으로써 그 비용은 상승일로에 있다.

이러한 결과로 고객들은 앞으로는 폐기물 처리를 위해서 더 많은 비용을 부담하게 될 것이다.

그리고 이러한 경향은 폐기물 관리 산업계(waste management industry)에서 규모가 큰 회사들이 작은 규모의 회사들을 흡수하고 국제적인 합병이 일반화되는 추세를 보일 것이다 (7).

표 3은 인구 1인당 연간 배출되는 폐기물의 양과 그 중에서 얼마만큼이 재활용되는지를 보여주는데, 이표에서 우리들은 폐기물 처리 문제의 심각성을 엿볼 수 있다.

여러가지 폐기물들의 재순환율은 현재

## VIII. 결 론

표 3. 인구 1인당 연간 배출되는 폐기물의 양과 재활용의 비율

	지 역	배출량, kg/인/년	재활용률%
중 이	서부 유럽	170-180	40-45(20-65의 범위)
	〈경향〉 1970년대와 80년대에는 급속히 증가했음. 현재는 평균화 되었으며 이탈리아와 영국에서는 감소하는 추세임.		
	일 본	170	50
미 국	〈경향〉 1975년에 39%, 1985년에 49% 달성 이후 평균화되었음.		
	미 국	270	25
	〈경향〉 1975년의 19%에서 이후 상승하고 있음.		
알 루 미 늄	서부 유럽	18-20	30
	〈경향〉 1984년 이후 평균화되었음.		
	일 본	22	40
유 리	〈경향〉 1986년 이후 평균화되었음.		
	미 국	10	32
	〈경향〉 1975년의 9%에서 이후 상승하고 있음.		
플 라 스틱	서부 유럽	25	30(8-63의 범위)
	〈경향〉 1980년대에는 상승하였다가 이제는 평균화되었음.		
	일 본	7	55
미 국	〈경향〉 1980년 이후 상승 추세.		
	미 국	50	12
	〈경향〉 1975년의 3%에서 상승추세.		
미 국	서부 유럽	17	5
	〈경향〉 소비량과 재활용율이 급속히 상승하고 있음.(美·日도 비슷)		
	일 본	25	0
	미 국	55	1

자료제공: OECD, 미국 환경청

- 이 표의 재활용율에는 소각에 의한 것은 포함되지 않았음.
- 소비자의 손을 거친 이후에 수집된 것은 포함되지 않음.

표 4. 금속류의 재활용율 (프랑스 1988)

금 속	재활용율(%)
알루미늄	26
은	35
크롬	10
구리	28
주석	42
철	37
니켈	18
백금	67
납	58
텅스텐	30
바나듐	31
아연	29

자료제공: Environnement et

Electricite, DOPEE 85, Avon, France, 1990.

료의 가격, 폐기물 회수 비용 및 처리 비용 등에 따라서 달라진다. 표 4는 1988년에 프랑스에서 조사된 금속류의 재활용률을 보여준다.

최근에는 포장업계(packaging industry)가 보다 무게가 가벼운 용기를 생산하고 있다(표 5 참조). 이렇게 함으로써 수송비와 연료비가 절감되고, 또한 매립장에서 점유하는 공간이 줄어드는 효과를 가져왔다(5).

공장에서 생산되는 제품을 구성하는 여러 물질들의 조성비도 앞에서 설명한 것과 같은 이유로 세월의 흐름에 따라서 변화한다.

라이프 사이클 분석(LCA)은—때로는 생태학적인 검토(Eco-Profiling)라고 불리는데—어떤 제품이나 공정 또는 어떤 활동이 전체 라이프 사이클의 과정에서 환경에 미치는 영향을 평가하기 위해 사용되는 방법이다.

이 방법은 지난 몇년 동안 점점 더 많은 관심을 끌고 있는데, 이 보고서의 논의내용에 잘 들어 맞다고 할 수 있다.

미래의 산업계에서는 환경 문제 해결에 있어서 전통적인 "최말단 부분에서의 해결책(end-of-pipe solution)"이 신뢰성을 상실함에 따라서 환경보전의 의미가 제품생산 과정인 점원 오염원(point source

는 점을 강조하는 것이 중요하다. 따라서 LCA에 대한 주된 비판은 그것이 목록작성의 한 형태에 불과하며, 환경에 미치는 영향이 직접적으로 반영되지 않음으로써 결과적으로 잠재적인 환경에의 악영향이 제대로 고려되지 않는다는 데에 모아지고 있다.

원료 물질의 소비와 부산물의 방출이 환경에 미치는 영향을 제대로 평가하기 위해서는 전문가에 의한 판단이 반드시 요구된다. 이러한 전문가의 평가는 제반 환경 문제의 여러 다른 유형들이 갖는 상대적인 중요성을 판단하는데 아주 요긴하다.

생태학적인 검토 모델(Eco-Profiling Models)형태로서의 현존하는 LCA 방법들은 제품에 대한 환경 영향 평가와 마찬가지로의 결과를 산출하도록 고안되었다.

그러나 이미 앞에서 언급한 바와 같이 그것이 환경 영향을 아주 정확히 묘사하지는 않는다.

생태학적인 검토 모델들은 두부분으로 구성된다. 그 첫번째 부분은 생산되는 제품의 라이프 사이클을 통해서 물질과 에너지의 흐름을 명시한다. 두번째 부분은 시스템으로의 이러한 물질과 에너지 유입 및 유출을 정량화하는 부분이다. 그러나 이러한 평가 분석을 완결시키는데 있어서 요긴한 세번째 부분이 빠져 있는데, 그것은 제품에 대한 환경 영향 평가(EIA : Environmental Impact Assessment)이다.

LCA의 구조와 정의는 아직까지 충분히 정리되어 있지 못하다.

이론적으로 LCA를 연구하는데에는 제품의 라이프 사이클을 연구하는 시스템적인 접근 방식이 요구된다. 이러한 접근 방식은 환경 보전의 목적 뿐만 아니라 여러가지 다른 목적을 위해서도 수행될 수 있다.

환경보전을 위한 대안들이 때로는 생태학적, 경제적, 기술적인 고려들보다 더 비중있게 다루어진다는 사실에 비추어 볼 때 라이프 사이클 분석(Life-Cycle Analysis)은 다음과 같은 세가지 유형으로 나누어서 수행되는 것이 바람직하다

## 종이의 63% 매립방식으로 폐기돼 버려

표 5. 영국에서 몇가지 포장용기의 무게 비교

용기의 종류	조사 년도	평균무게 (그램)
졸임공 통조림 용기	1950	90
	1960	75
	1970	68.9
	1980	58.4
	1990	56.6
우유병	1939년 이전	538
	1950	397
	1960	340
	1990	245
맥주캔	1950	91
	1985	20
	1990	17
1.5ℓ용 PET병 (비대재 포함)	1983	66
	1990	42
요구르트 용기	1965	12
	1984	7
	1990	5

자료제공 : The Industry Council for Packaging and Environment

그 좋은 예를 자동차 제조에서 찾아 볼 수 있는데, 여기에서는 철을 비롯한 금속재의 사용 비율이 급격히 떨어지고 있는 반면 알루미늄과 플라스틱의 사용 비율은 증가하고 있다. 이러한 재료들은 자동차의 안정성과 안락성, 연료 사용의 경제성 등을 증진시키기 위해서 채택되었다.

## 2. 라이프 사이클 분석 (Life-Cycle Analysis)

pollution)의 범주를 벗어나서 그 이외의 영역에까지 확장되어야만 할 것이다.

생산품의 라이프 사이클을 통해서—원료 물질에서 시작해서 폐기물 배출에 이르기까지—그 전체 과정에서 환경에 미치는 악영향을 전반적으로 검토하는 노력이 필요하다.

현재 사용하고 있는 LCA 모델의 구조와 기능에 대해서는 최근에 문헌 조사를 통해서 제반 사항이 검토되고 평가되었다. 참고문헌 8번은 그러한 문헌 검토에서 얻어진 결과를 탁월하게 설명하고 있다.

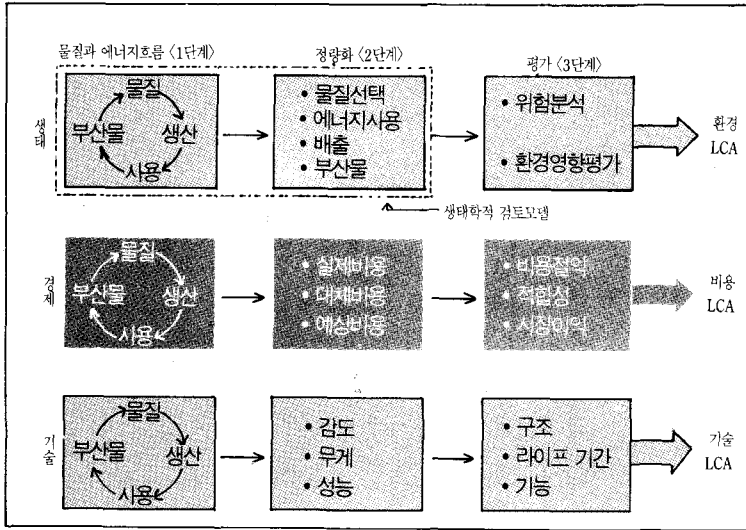
본 연구 위원회의 특별한 관심을 끌었던 LCA의 가장 중요한 특징은 그것이 기체상, 액체상, 고체상의 폐기물 관점에서뿐만 아니라 원료 물질과 에너지 소비의 관점에서 제품의 라이프 사이클 전반에서 각각의 투입량과 산출량에 대해서 그 장단점을 명확히 보여준다는 점이다.

그러한 분석 과정은 조사하고자 하는 제품들과 시스템들의 독특한 특징들을 상호비교할 수 있도록 하며, 또한 환경 관리의 차원에서 그러한 특징들이 독립적으로 사용될 수 있도록 도와 준다.

그러나 LCA는 그것이 제공하는 데이터가 적법하게 해석되고 이용되는 방법에 있어서 명백한 한계를 가질 수 있다



그림3 : 라이프 사이클 분석(Life Cycle Analysis) 구조유형



고 생각된다.

- ① 환경을 고려한 라이프 사이클 분석 (Environmental Life-Cycle Analysis; ELCA)
- ② 비용을 고려한 라이프 사이클 분석 (Cost Life-Cycle Analysis; CLCA)
- ③ 기술을 고려한 라이프 사이클 분석 (Technical Life-Cycle Analysis; TLCA)

LCA에서 기대할 수 있는 여러가지 장점들 중의 하나는 환경 문제의 본질이 산업체로부터 가까운 국지적인 장소에 미치는 영향으로부터 점차 확대되어 여러 다양한 오염원으로부터 대량으로 오염물질이 배출되어 지역적 그리고 범지구적인 영향으로 나타나게 되었을 때 산업계가 취할 수 있는 대책을 생각할 수 있게 해 준다는 점이다.

이러한 환경 오염 방지의 대안은 여러 가지 형태를 가질 수 있는데, 그 예로서 배출물질의 희석(emission dilution), 정제 과정을 통한 오염물 농축(pollutant concentration), 폐기물의 회수(waste recovery), 그리고 원료물질 사용과 폐기물 발생의 최소화(minimization of raw material use and waste generation) 등이다.

LCA 방법의 한가지 응용 예는 제품설계에 있어서의 환경우선 전략(EPs; Environmental Priority Strategies) 시스템에서 찾아볼 수 있다.

이 시스템은 스웨덴 상공회의소, 스웨덴 환경연구원(Swedish Environmental Research Institute : IVL), 그리고 볼보 자동차회사 등에 의해서 제품이 환경에 미치는 영향을 평가하기 위해서 개발되었다. 이 분석 시스템은 공장에서 제품을 만들기 위해서 각 부분품들이 모아지고 그것들에 대한 최종적인 평가를 내리기에 앞서, 원재료와 에너지의 소비 및 오염물질의 배출이 다양한 매개를 통해서 환경에 미칠 수 있는 영향을 종합적으로 평가할 수 있는 기회를 제공한다.

EPS 시스템의 목적은 또한 전반적인 검토와 분석을 통해서 제품 생산의 공정과 생산물에 대한 모든 사항을 완벽하게 제공하는데 있다. 이러한 종합적인 검토는 시스템 분석 기법에 의한 수치화와 기술(description)에 의해서 그 시스템의 모든 구성 요소들을 가시화시킴으로써 달성될 수 있다.

이러한 요소들은 환경에 미치는 영향의 유형과 정도를 고려한 환경적 피해 및 그러한 환경에의 악영향을 완화시킬 수 있는 가능한 대안을 포함한다. 여기에서의 종합적인 검토는 여러 다른 요소들을 한데 묶어서 검토하는 것을 의미한다.

중고 자동차의 재활용 방법은 여러 자동차 제조회사들에 의해서 활발히 연구되고 있다. 예를 들어서 지난 봄에 개최된 "GLOBE '92 Conference"에서는 도요다 회사와 닛산 회사가 자신들의 중고차

동차 재활용 프로그램을 제출한 바 있다(10). 이러한 최근의 노력들은 폐기된 자동차로부터 재활용 물질들을 회수하고 재활용이 보다 용이한 자동차를 설계하는데에 초점이 맞춰져 있다.

### 3. 에너지 회계 (Energy Accounting)

제반 공업 공정에서의 에너지 소비를 검토하는 WEC 연구 위원회(WEC Study Committee on Energy Consumption in Industrial Processes; ECIP)는 1986년 WEC 총회에서 철과 알루미늄 생산에서의 에너지 요구량에 대해 보고한 바 있다(2).

철의 제조에 관한 연구에서는 소위 "IFIAS(International Federation of Institute for Advanced Study)"라고 불리는 방법을 사용하여 제 공정에서의 에너지 사용이 자세히 조사되었다.

ECIP의 연구를 위해서 사용되었던 방법이 철과 알루미늄판의 제조에 관한 본 위원회의 연구에서도 적용되었다.

여기에서는 에너지라는 용어가 경제적인 의미가 아닌, 물리학적인 의미로 사용되었다는 점을 강조하고자 하는데, 그것은 에너지 비용이 국가와 지역적 환경에 따라서 크게 달라질 수 있기 때문이다.

똑같은 이유에서 일차 알루미늄을 생산하기 위해서 사용된 수력 발전으로 얻어진 전기량은 화석연료를 사용해서 얻은 전기와 마찬가지로 MJ로서 표시되었다.

만약 철과 알루미늄의 폐품들이 부차적인 재료로 사용되었다면, 예를 들어서 음료용 캔을 생산한다고 할 때 1차 원재료만을 사용해서 그것들을 생산하는 것 보다는 훨씬 적게 에너지가 소비될 것이다. 음료용 캔의 생산에서 재활용율과 에너지 소비량과의 관계는 그림 1에 제시된 바 있다.

### 4. 특별한 재활용의 문제들 (Special Recycling Problems)

환경 보전을 위해서 할 수 있는 일들 중에서도 폐기물의 재사용은 소비자들의 열렬한 호응을 이끌어 낼 수 있는 가장 손쉬운 방법의 하나이다.

# 再活用이미 살리는 길, 原料절약과 폐기물 감소

많은 나라에서 쓰레기를 분리하고 그 분리된 것을 적당한 장소로 옮기는데 가까이 협력하는 사람들을 찾아볼 수 있다. 그들은 색깔이 다른 병들을 따로 분리하기도 한다.

그런데 이처럼 물건을 재활용하지는 압력은 주로 정부 당국과 일반 유권자들로부터 비롯되는 것이 산업계에서 나오는 것은 아니다.

재활용을 유도하는 동기는 주로 다음과 같이 두가지로 구분할 수 있는데, 이들은 자주 혼동되곤 한다.

그 하나는 원료물질(raw material)을 절약하고자 하는 것이다. 종이의 재생을 강조하는 도식은 벌목되는 나무의 수요를 줄이자는 것이며, 알루미늄 캔의 재활용은 보오크사이트 원광과 에너지의 절약을 위해서이다.

다른 하나의 동기는 폐기물의 양을 감소시켜야 하는 필요성이다. 쓰레기의 처리 비용은 점점 더 증가하고 있다. 비재생 폐기물을 매립장에 묻는 일은 비용이 더욱 비싸지고 있는데, 그것은 부분적으로는 새로운 매립지를 개발하는 것이 정치적으로 더욱 어려워지고 있기 때문이며, 또 부분적으로는 매립장을 운영하는 비용 또한 증가하고 있기 때문이다.

일부 국가들에서 보여지다시피 이 문제는 심각하게 법적 강제력에 귀속될 수도 있다.

폐기물을 수집하는데도 물론 비용이 수반되는데, 그럼으로써 처리하고자 하는 폐기물의 부피가 감소하는 효과를 낳기도 한다.

그런데 재활용의 경제성과 관련하여 고려해야 하는 한가지 중요한 요소는 수집된 재활용품을 위한 시장의 조성이다. 알루미늄과 같이 경제적 가치가 높은 생산품은 수집에 소요되는 비용을 지불할 수가 있는 반면 목은 신문용지와 같은 제품은 그 비용을 지불하기가 곤란하다.

이상적으로는 중고 물질(second-hand material)이 새 물질로 대체되어야만 물질

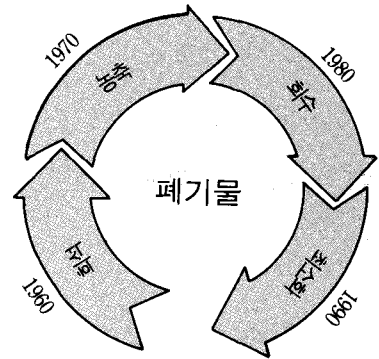
순환의 사이클이 제대로 이루어진다. 이렇게 되어야만 재활용을 위한 시장이 조성되는데, 예를 들어서 맥주의 수요가 증가하면 버려지는 맥주병의 수가 증가하고 그러면 유리의 재활용의 기회도 증가한다.

그러나 문제점은 여전히 존재하는데, 종이와 판지 생산업계에서 그러한 문제를 찾아볼 수 있다. 종이의 재생에는 인쇄 잉크와 분해섬유, 기타 폐지들을 세척하는 과정에서 발생하는 오염물질 때문에 끈죽(sludge)이 발생한다. 1 톤의 폐지가 재생되는 데에는 마땅히 처리해야만 하는 슬러지가 약 50~300kg 정도 배출되는 것으로 알려져 있다.

종이 제품의 생산에 있어서는 그 품질이 균일해야 한다는 것이 매우 중요하다. 원리적으로는 100% 재생섬유만을 사용하더라도 1급 제품을 만들 수 있다.

그러나 한가지 제약은 폐지 섬유(waste paper fibre)는 무한정 재생될 수 없다는 것인데, 그것은 매번 재생될 때마다 섬유의 일부가 분해되기 때문이다. 따라서 제품의 품질 저하를 방지하기 위해서는 한번도 사용되지 않은 섬유 물질을 일부 포함시켜야만 한다.

앞의 V-2에서 언급한 바와 같이 종이는 탄소 순환에서 한 역할을 담당할 수 있다. 여러 다른 이유로 인해서 종이 재활용될 수 없을 때에는 태우는 것이 바람직하다.



desalination. World Energy Conference Monograph, WEC, London, 1989.

- ④ Frostell B, Policies and strategies for integrated waste management. UN/ECE task force report, 1991.
- ⑤ Recycling. The Economist, April 13, 1991.
- ⑥ Jirvall N, The paper products in the carbon cycle. The Swedish Pulp and Paper Association, 1991.
- ⑦ Environnement et electricite. Les procedes electriques de traitement des rejets industriels. DOPEE 85, Avon, France, 1990.
- ⑧ Ryding SO, From cradle to grave. From "Environmentally Sound Product Development", part of Chapter 5.5(The Industry Approach) of the Environmental Management Handbook-IOS Press, CRC Press, 1992.
- ⑨ Ryding SO, Environmental Priority strategies in product design(EPS). Integrated Environmental Management, No. 4, November 1991.
- ⑩ Konno M, putting environmental management into practice. GLOBE '92 Conference, Vancouver, 1992.

## REFERENCES

- ① WEC Publication, Committee Report 1992 on Environmental and Energy Aspects of Waste Handling
- ② Energy Consumption in industrial Processes : aluminium, cement, glass, pulp and paper, steel sugar. World Energy Conference Monograph, WEC, London, 1987.
- ③ Energy consumption in industrial processes : bricks, copper, textile fabrics, palm oil, polyethylene & polypropylene, water