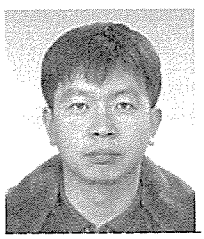
해외 유리병 재활용 기술 개발 동향

1. 서 론

1990년대 후반기에 들어서면서, 폐기물의 양은 국내는 물론 전 세계적으로 매년 급격히 증가하고 있는 추세이다. 특히, 자원 고갈의 심각성과 아울러 소각처리가 어려운 폐기물의 경우, 매립지의 한정이라는 국면을 맞이하면서 보다 근본적이고 적극적인 대책 수립이 요구되고, 이에 따라 폐기물의 자원으로서 효율적인 처리와 이용에 대한 관심이 증대하게 되었다.

이러한 배경 속에 그동안 국가적으로 폐철, 폐지, 폐플라스틱, 폐유, 폐타이어 등 많은 폐기물에 대한 재활용 기술에 대한 연구가 진행되어 왔으나, 상대적으로 유리제품에 대한 재활용 기술 수준 및 기술 개발은 국내에서는 그동안 소외시되면서 큰 진전을 보이지 못하고 있어 현재, 유리 재활용 기술이라 함은 유리병에 한해 신병 제조시 원료로 재활용하는 수준에서 크게 벗어나지 못하고 있는 실정이다.

결국, 건축 및 자동차용 판유리, TV 및 컴퓨터 모니터용 유리 등 유리병 이외의 유리제품에 대해서는 그 발생량이 대량이고 급격히 증가하고 있음에도 불구하고 아직까지 재활용 기술은 거의 전무한 상태이며, 그나마 유리제품 중 그동안 재활용이 원활히 이루어졌던 유리병에 있어서도 수입 유리병의 증가, 신병 제조시 원료로의 사용 한계성 등으로 향후 타용도로의 재활용 기술이 개발되지 않는 한 더 이상의 유리병 재활용 상승에는 그 한계를 보일 것이다.



김영각 기술연구원

• 전)한국유리공업협동조합 재활용사업부 기획팀장
• (주)현성리사이클링 기술연구원

그러나 판유리나 CRT, 모니터용 유리제품 등은 본 제품에 결합된 부품 상태이므로 재활용을 위해서는 본 제품의 회수 여건 및 현황, 회수 후 타 재질로부터의 분리 기술 등 유리 자체의 재활용 기술개발에 앞서 해결되어야 할 문제점들이 있기에, 여기에서는 우선적으로 국내에서 회수, 처리시스템이 활성화 되어 있고 일정 수준 이상 재활용이 이루어져 왔던 유리병의 재활용 한계를 극복하기 위한 다양한 타용도 재활용기술에 대하여 선진국의 동향 및 사례 등을 살펴보고 국내 적용성을 검토함으로서 향후 유리병 재활용 기술 활성화를 위한 방향을 제시하고자 한다.

2. 선진국의 폐유리병 관리 정책 및 시스템

산업화, 인구증가 등에 따른 생활폐기물의 급증으로

전 세계적으로 이들 생활폐기물 처리 문제가 큰 이슈로 대두되었으며, 이에 따라 각 국가에서는 생활폐기물중 그 비중이 큰 포장용기류의 재활용을 시작으로 생활폐기물의 관리 정책 정립 및 재활용 시스템 개발에 박차를 가하기 시작하였다.

여기에 폐유리 용기류는 대표적인 생활폐기물이면서 특히 불연폐기물이고 중량이나 부피가 크게 차지하고 있어 그 적정처리는 타 폐기물보다도 재활용의 의존도가 크다 할 수 있다. 이에 따라 폐유리병에 대해서는 재활용 정책 초기부터 관리되면서 가능한 재사용의 확대를 추구하면서, 지속적으로 재활용율 상승을 유도하는 등 많은 관심과 노력을 기울여 왔다.

가. 미 국

미국에서는 1976년 자원회수및재생법(RCRA)을 제정, 고형폐기물을 관리 및 재활용을 추진하였다. 특히 EPA는 2000년 폐유리 재활용목표치를 25%로 설정하여 지역별 대책을 요구하였으며, 이에 따라 각 주에서는 강제성의 재활용법을 제정하고 적극적인 재활용 기술 개발을 추진하여 왔다.

미국의 전반적인 유리용기 회수 시스템은 보증금프로그램(Deposits program), Buy-back or drop-off center, 도로변수집프로그램(Curbside collection program) 등 지역별 특성에 맞는 유리용기 회수 체계를 갖고 있다.

미국에서의 폐유리는 전체 고형생활폐기물의 6~8% 정도를 차지하고 있다. 또한 재활용되는 유리의 80%는 용기류에서 나오고 있으며, 나머지 20%는 갖가지 다른 제품들에서 나오고 있음을 보여주고 있다. 유리 용기의 재활용율 산출은 재활용되는 재사용병(반복사용병)을 포함하는지 혹은 제외하고 산출하는지에 따라 다양한데, 재사용병을 제외하면, 미국의 유리 재활용율은 약 30% 정도를 보이고 있다.

나. 일 본

일본은 용기포장재활용법에 따라 유리병의 재상품화에 대해서 사업자, 지자체, 소비자가 각각 재활용, 분별수집, 분별배출의 책임을 분담하고 있다. 이 법에서는 캔의 경우, 철과 알루미늄으로, 유리병의 경우 무색, 갈색, 기타 색으로 분별하여 배출하고, 지자체는 분별 후의 캔과 유리병에 대한 선별장치를 갖추는 것을 의무화하였다. 또한 1997년도부터 유리병 3종류(무색, 갈색, 기타 색)와 PET병은 사업자의 재상품화 의무 대상품목으로 지정되었는데, 유리병의 경우, 특정사업자는 소비자가 분별, 배출하고 지자체가 분별, 수집한 것에 대해 분별기준 적합물을 재상품화해야 하는 의무가 있고, 이 재상품화 의무는 특정분별 기준적합물로 그 제조량 또는 사용량에 따라 산출된 「재상품화 의무량」으로서 부과시키고 있다. 사업자의 폐유리병 재상품화 의무를 이행할 수 있는 방법은 ① 독자 경로, ② 자주회수 경로, ③ 지정법인 경로의 3가지가 있다.

한편, 꾸준히 폐유리병의 재사용 및 재활용 시스템 및 기술 개발에 노력을 기울인 결과, 반복사용병의 90% 이상 재사용율 향상은 물론, 일회용 유리병에 대해서도 신병 제조시 파유리의 재이용율 증가(약 70% 수준), 지속적인 건축자재 등 타용도로의 재활용 기술 개발 등을 통해 재활용율은 60% 내외로 증가하고 있다. 특히 일회용 유리병 재활용량 중 타용도로의 재활용이 약 10% 정도 차지하고 있으며, 현재, 이러한 타용도 재활용 기술 개발이 보다 활성화되고 있어 향후 재활용율은 지속적으로 향상될 수 있으리라 예상된다.

다. 유 럽

대부분의 유럽국가에서는 확대생산자책임제도(EPR)를 도입하여 유리병의 회수 · 처리 책임을 생산자가 부담케 하고 있다. 유럽 대부분의 국가들에서는 유리병의 수집시스템은 색상별로 Bottle banks를 이용하여 수집하고 있으며, 또한 생산자의 최종적인 회수 및 처리에 대한 의무 이행은 생산자 스스로 또는 생산자 책임 기구(PRO)를 통하여 달성할 수 있다.

아래 Table 2-1에서는 유럽 각국의 생활폐기물, 특히 유리병에 대한 회수 · 처리에 관련하여 법령 및 시스템을 간략히 보여주고 있는데, 각 국가별로 책임분담 방식, 목표율 등 세부적인 차이는 가지고 있지만, 대부분의 국가가 상기에서 언급한 EPR의 원리에 입각하여 운영되고 있음을 알 수 있다.

Table 2-1 유럽 각국의 폐유리병 관리 시스템

국가	용기포장폐기물 관련 법령및 지침		재활용목표	회수 · 처리	회수/처리 책임	폐유리병 수집
	명칭	시행일	(2001년기준)	비용 부담 주체	기구 (PRO)	시스템
영국	"Producer Responsibility Obligations" (Packaging Waste)	06.03.97	15% (50% global recovery)	제병업체, packers, retailers, importers	Local authorities, dealers, contractors	100% : bottle banks
독일	Draft Amendment of the Packaging Regulation		75%	Packers	Duales System Deutschland (DSD)	- 95% :bottle banks - 5% :ultimaterial collection
오스트리아	Packaging regulation	01.10.93 개정 01.12.96	93%	Packers	Austria Glass Recycling GmbH (AGR)	100%:bottle banks
프랑스	Draft Law on Consideration of the Environmental Requirements in the Design and Manufacture of Packag		75%	Packers	Eco-Emballages Adelphe	90%:bottle bank 10%:other systems
벨기에	Interregional Cooperation Agreement on Packaging Waste	05.03.97	- MIN. : 15% - 80% / 50%	Packers	Fost Plus Glass trade company Filglass	85% :bottle banks 15% :other systems
네델란드	1. Decree on Packaging and Packaging Waste 2. Covenant II	01.08.97 01.11.97	90%	Packers	Municipalities	95% :bottle banks 5% :other systems
스웨덴	Draft ordinance	06.05.97	70%	Packers	SGA	90% :bottle banks 10% :other systems
덴마크	Law No 582	24.06.96	80%	-	Private companies	50%:bottle banks 50%:other systems

대부분 유럽국가들에서의 유리병 재활용율은 이미 60% 이상을 넘어서고 있는데, 특히 독일, 오스트리아, 벨기에, 네델란드, 스웨덴, 스위스, 덴마크, 노르웨이 등 서유럽 및 북유럽 국가들의 재활용율은 매우 높은 수준을 보이고 있다.

폐기물 재활용 정책에 있어 독일이나 오스트리아의 경우 오랫동안, 매우 엄격한 체제를 유지하여 왔는데, 독일의 회수 · 처리 시스템에 대해서 간략히 살펴보면 다음과 같다.

독일에서는 우선 음료용기에 대하여 재사용용기 사용 비율을 72%의 할당을 규정하고 있다. 또한 아래와 같이 수집, 선별, 재활용에 대한 목표율을 설정하고 있는데 이 목표를 달성치 못하면, 음료에 강제 보증금을 부과시킴으로서 엄격한 재활용을 추진하고 있다.

구 분	수집 목표		선별 목표		기존 재활용목표		개정된 재활용목표	
	1993. 1.1	1995. 7.1	1993. 1.1	1995. 7.1	1993. 1.1	1995. 7.1	1996. 1.1	1998. 7.1
유리	60%	80%	70%	90%	42%	72%	70%	75%

또한 독일에서는 확대생산자책임제도의 도입과 함께 1990년 9월 28일 생산자의 재활용의무이행을 위한 회수 · 처리시스템으로, 현재 600개의 조직이 연결된 DSD GMBH를 설립하여 포괄적 회수 · 처리시스템을 운영하고 있다. 이 시스템의 주요 운영내용은 다음과 같다.

- 수집과 선별 목표율이 달성되면, 환경장관은 DSD 면제 허용.
- DSD는 수집, 선별, 재활용을 위해 관련 회사들과 폐기물 처리 계약 체결.
- 소비자는 용기포장 폐기물을 물질별로 분리배출.

– 종이와 유리 : 기존 방식 및 Container Points(drop-off systems)를 이용

– 철재와 알루미늄, 합성수지류 : 소비자에 의해 bin 이나 가정용 수거 봉투 이용

- 분리배출된 용기의 수집과 선별에 대하여 지역 단위로 책임
- 수집, 선별된 용기포장의 재활용을 위해서는, DSD에 인수 및 재활용에 대한 보증서 제시.
- 기금(DSD 운영 재원)

– Green Dot 마크를 통해(내용물생산자 및 수입업자), 수집, 선별 및 가공에 대한 재원 마련.

– 1994년 10월 1일 요금(수수료) 시스템에 대한 수정안 실효 ⇒ 물질과 무게 기준의 현행

수수료에 용적과 면적에 관련된 단위당 수수료 추가.

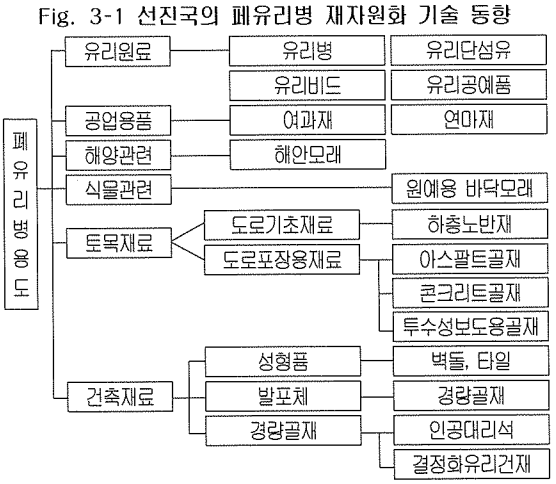
3. 선진국의 재활용 기술 현황 및 개발 동향

폐유리병의 재활용 방법을 크게 분류하면, 우선 세

척하여 재사용하는 방법, 신병의 제조원료로 사용하는 방법, 유리병 제조원료 외에 타용도로의 이용 방법의 세 가지로 크게 구분할 수 있다. 이중 재사용은 포장용기류 중 유리병만의 특성 중 하나로 폐기물 발생 저감 측면에서 가장 효율적인 방법이라 할 수 있으나, 재사용을 하기 위해서는 일정 수준 이상의 회수 여건(회수율, 회수경로 등)이 우선 충족되어져야 하므로, 현재로서는 주류 및 청량음료 중심의 일부 제품에 한정되어 이루어지고 있는 실정이다.

한편 일회용병의 경우에는 극히 일부에 한해서는 세척 재사용하는 경우도 있지만, 대부분은 신병제조 또는 토목, 건축자재 등과 같은 타용도의 제조원료로 재활용되는 것이 일반적이다. 이미 선진국에서는 유리병 파쇄물(Cullet)을 유리병 원료로서 재활용하는 수준을 넘어서 다양한 종류의 유리병을 재활용할 수 있는 타용도로의 기술보급이 개발, 확대되고 있다. 이에 따라 수집된 폐유리병의 선별 및 파쇄의 전처리 기술의 경우 골재 대용으로의 활용을 위해 입도 조절, 모래화기술(edgeless기술) 등 최종 용도에 맞게 발전되었으며, 타용도 재활용 기술에 있어서도 토목, 건축자재 등 유리 재활용제품의 실용화, 경쟁력 향상 등을 위하여 보다 고품질화, 고부가가치화가 추구되어 왔다. 선진국의 폐유리병 재자원화 기술개발 동향은 현재 아래 Fig. 3-1과 같이 유리원료, 공업용품, 건축재료 등 다양한 용도로 활용되고 있다.

Fig. 3-1 선진국의 폐유리병 재자원화 기술 동향



가. 미 국

이미 오래전부터 미국에서는 다른 재활용제품과 마찬가지로 폐유리병에 대한 재활용이 각 주별로 활발히 연구되어 왔으며, 특히 도로포장으로의 활용과 같이 폐유리병 재활용 기술에 대한 실제 적용이 매우 앞서있다. 미국의 유리병 재활용 기술은 파유리(cullet)를 신병 및 기타 유리제품(유리 단섬유, 유리비드, 유리공예품)의 원료로서 이용하는 수준을 넘어서, 이미 공업용품에서 건축 및 토목재료에 이르기까지 다양한 활용기술이 연구개발 되어 상용화 되고 있다.

1990년대 후반기에 들어서면서 폐유리를 포함한 폐기물의 근본적이고 적극적인 대책마련을 위해 미국 연방 도로국에서는 폐자원을 도로에 활용하는 방안을 적극 추진하였는데, 연방 도로국에서의 폐자원을 이용한 시공사례 중에서는 폐타이어와 관련된 사례가 가장 많았으며, 이외에도 폐유리, 슬래그, 폐주물사, 건물잔재, 하수슬러지 등의 다양한 사례가 있다.

폐유리를 도로에 활용하는 대표적인 방법은 아스팔트나 시멘트 콘크리트의 골재로서 활용하는 방법이 있는데, 폐유리를 활용한 아스팔트, 즉 Glassphalt는 매우 오래전부터 연구되고 실용화되었다. Glassphalt라는 것은 아스팔트 혼합물중 골재부분을 파유리로 대체한 것으로, 1958년 영국에서 처음으로 특허가 출원되었고, 이후 미국에서 급속히 실용화되었다. Glassphalt에 대해서는 미주리 주립대학에서 기본적인 연구가 행해졌으며, 1971년에 볼티모어시에서 「Glassphalt」라는 이름으로 최초의 아스팔트 포장이 실현되었다. 이후, 커네티컷주 교통국(Larsen, 1989), 캘리포니아 교통국 연구소(1990), 텍사스 기술대학 공과대학 등에서 아스팔트 도로건설에 있어 파유리의 사용에 대한 보다 많은 연구가 진행되었으며, 특히 워싱턴의 King County 도로국에서는 두 개의 다른 유형의 유리로 만들어진 Glassphalt에 대해 유리의 농도에 따른 특성을 보다 구체화하기 위하여 실험실 및 현장적용 연구를 수행하기도 하였다. 최근에는 뉴욕시내 전역의 도로를 시작으로 여러 도시에서 정식적으로 포장용 재료로서 사용, 고휘도의 유리 특성 때문에 많은 각광을 받고 있다.

한편, 콜롬비아 대학에서는 폐유리를 새로운 용도로

사용하는 방안을 연구, 그 연구의 하나로 폐유리를 골재 대용으로 사용하는 그라스콘크리트 개발이 진행되었다. 이 연구에 참여하고 있는 Meyer교수에 따르면, Glasscreat는 도로에 사용되는 Glassphalt만큼 좋은 성능을 갖고 있으며, 다음 단계로 공인된 건축가와 도로건설자에게 이 제품을 사용하게 한 후에 Glasscreat의 처리과정 특허를 획득할 계획을 갖고 있다.

현재, 미국에서는 폐유리병의 처리방안으로 Glassphalt와 더불어 시멘트에 유리를 혼합한 Glasscreat의 개발이 활발히 진행되고 있다. 또한 Glasscreat의 활용에 있어서도 도로포장 이외에 지자체별로 다양한 제품으로의 활용방안이 연구되고 있다. 일례로 워싱턴 Thurston County의 경우, 타 지역과 마찬가지로 성공적인 재활용 프로그램 추진의 시급성을 인식, 폐유리에 대해서도 재활용을 위한 방안마련이 모색되기 시작하였다. 이에 따라 1997년 지방정부 관계자와 제조공정 관련자간의 논의가 있었으며, 이를 통하여 참석자 가운데 Thurston County의 생활쓰레기 수집, 운반회사인 Pacific Disposal의 Earl Campbell 등은 폐유리 파쇄물을 골재 대용으로 사용한 Glasscreat 연구를 시작하였다. 그러나 초기에 이 제품이 전망은 있었으나, 노동집약적이라는 약점을 가지고 있어 이후, 이러한 점을 보완하기 위하여 보다 고부가가치의 제품개발에 노력함으로서 그 결과, 유리가 혼합되지 않은 기존 제품에 비하여 품질면에서 뒤지지 않은데다 표면이 부드럽고 광택이 있어 내 · 외장재는 물론 정원 장식용 벽돌, 가정용 탁자나 식물재배용 등 다양한 Glasscreat 제품이 개발되어 생산, 판매되고 있다.

한편, CWC(Clean Washington Center)가 주관, ReTAP(Recycling Technology Assistance Partnership)에서는 다음과 같은 기술들을 중심으로 약 25개의 폐유리 재활용 기술 ITEM에 대한 적용성 연구를 수행하였거나 현재 진행중에 있다.

- Glass Fusing Kit로의 사용 기술연구(1998. 12)
- Elastomeric Roof Coating으로의 폐유리 활용 기술연구
- Well Packing 진단물질로서의 Sand 대체 기술연구
- 완속 및 고속 모래여과공정에서의 모래 대체 기술연구(1997~1998)
- 폐수처리공정에서 여과재(Filter medium)로 사용 기술연구
- 재활용 유리분말을 연마재(Sand Blast)로 사용기술연구
- Glassphalt로의 응용
- 건축용 골재로의 활용 : 1991년부터 1996년까지 건축골재로의 폐유리 재활용 연구에 대한 다단계적 평가 수행
- 보도포장 벽돌로의 응용
- 세라믹 원료로서의 파유리 활용

나. 일 본

일본에서는 이미 수년전부터 폐유리의 재자원화 기술개발에 대해 국가적인 차원에서의 추진은 물론, 민간기업에서의 적극적인 기술개발을 통하여, 현재 이들 기술의 축적을 통한 실용화를 활발히 추진하고 있다.

일본의 유리병 재활용 기술은 파유리(cullet)를 신병 및 기타 유리제품(유리 단섬유, 유리비드, 유리공예품)의 원료로 재활용하는 방법 외에, 공업용품에서 토목 및 건축자재로의 활용에 이르기까지 다양한 응용기술이 개발되고 있다.

1997년 4월부터 용기포장재활용법의 시행을 계기로 폐유리병의 재활용 방법 및 기술도 다양화 되면서, 우선적으로 회수된 폐유리병을 각 재활용방법에 맞도록 선별하고 파쇄하는 전처리(원료화) 기술이 병행하여 발전하였다. 즉, 기존처럼 신병제조 원료로 용융처리 될 경우에는 일정 입도 범위 내 파유리(Cullet)로 제조하면 되었지만, 그 용도가 공업용품이나 토목 및 건축자재의 골재로 확대됨에 따라 파유리에 대한 엄격한 품질 요구, 입도 범위의 축소, 파유리 표면상 날카로움을 제거하는 모래화(edgeless) 기술 등이 요구되었다.

한편, 이들 파유리는 그동안 많은 업체나 연구기관에 의해 여러 가지 재활용 기술이 개발 또는 연구, 평가되어 왔는데 그 내용을 간략히 살펴보면 다음과 같다.

- 「Nihon Funen사」의 폐유리 활용 절연보드 개발 및 특허 출원
- 신일철화학(新日鐵化學)에서는 유리폐재를 이용

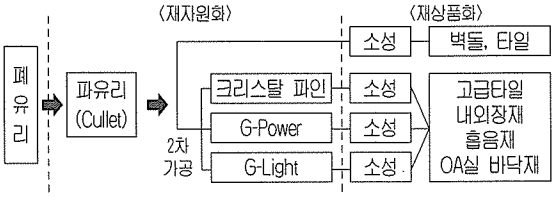
한 경질 흡음판(상품명 : 에스뮤트) 개발

- 「(사)일본기계공업연합회」와「유리병재활용추진연합」이 주관하여 파유리(cullet)의 도로용 골재로의 적용성에 관한 연구 및 평가 수행, 大阪部 등 30여 곳에 시공
- 「(사)Clean Japan Center」에서는 1996년에 폐유리병의 세골재화에 대한 검토 연구를 수행
- 「주식회사 SUNLIGHT」에서는 폐유리 파쇄물의 입경에 따른 활용 기술 개발 및 연구 ⇒ G-POWDER(유리분말), G-SAND(유리모래), G-LIGHT(초경량골재)

특히, 1993년 일본 유리병제품 주요 생산자, 수집업체, 원료이용업체 등이 공동출자하여 폐유리의 재활용을 통한 자원순환형 리싸이클사회 구축을 목표로 (주)크리스탈크레이사를 창립하였다. 이에 따라 (주)크리스탈크레이사에서는 Fig. 3-2와 같이 초기에는 유리병을 중심으로 각종 회수된 폐유리 파쇄품(Cullet)을 원료로 한 벽돌 및 타일을 제조, 판매하였으며 이후 품질향상 및 시장 경쟁력 상승을 위하여 파유리를 다시 2차 가공하여 크리스탈파인, G-Powder, G-Light라는 상품의 원료를 각각 제조하여 기존 벽돌 및 타일의 품질을 향상시키고, 건축자재 등으로의 그 사용 용도를 확대하였다. 특히 G-Light는 파유리를 미분화하여 발포시킨 완전 무기질의 소성체로서 초경량다공질세라믹으로 내열성, 내구성, 내알카리성, 저흡수성에 우수한 독립기포를 무수히 내장한 HoneyComb구조체이다. 더욱이 시멘트, 수지, 점토, 복합판 등에 적용시킴으로서 다양한 용도의 제품으로 제조, 판매되고 있다.

최근 들어서 폐유리를 원료로서 활용하는 기술 중에서도 보다 고도 처리화 할 수 있는 기술의 개발을 목표로, 통산성 공업기술원은 1998년부터 「신규재활용 제품 등 관련 기술 개발 사업」을 추진중에 있으며, 폐유리 고도 이용시스템 관련 후보 테마로는 「CO_2 배출 억제형 폐유리 고도 이용시스템의 연구개발」이 선정되었다. 이 연구개발에서는 재생상품의 원료로서 폐유리에 요구되는 품질 중에서도 중요한 「입자조성」을 조절하는 기술을 확립하고 또한 저가격으로의 공급, 소비에너지 및 CO_2 배출량이 적은 공급시스템의 개발과 함께 파쇄 및 파유리의 용도개발에 관해서도 함께 실시하고자 하였다. 결국 이에 대한 위탁 연구가 2000년까지 (주)크리스탈크레이사에서 실시된바 있는데, 이 연구 결과로서 폐유리를 각종 유리제품 또는 세라믹제품에 활용시킴으로서 기존 제품 생산에 비하여 CO_2 배출량을 46%까지 저감시킬 수 있음을 보여주고 있다.

Fig. 3-2 (주)크리스탈크레이사의 폐유리병 재자원화 과정



다. 유 럽

유럽의 여러 선진국에서는 오래전부터 용기포장 폐기물을 비롯한 생활폐기물의 재활용을 위한 시스템 및 기술개발에 노력해왔다. 특히, 독일, 네델란드를 비롯한 서유럽의 많은 국가들이 유리 재활용면에서 성공적인 사례를 남기고 있는데, 네델란드의 경우 폐유리의 재활용량을 초기에 10,000톤/년에서 최근에는 300,000 톤/년까지 유리 재활용량을 증가시켜 왔다.

독일, 스위스, 네델란드 등의 국가들이 병유리의 재활용율 상승에 성공한 것은 정부의 정책 및 제도, 회수시스템, 기술개발의 조화가 잘 이루어지고 있기 때문이다. 무엇보다도 이들 국가들은 폐유리병의 재활용율 향상을 위해서는 보다 고품질의 파유리 생산이 필요함을 인식하고, 분리수거 및 효율적 회수시스템의 운영과 더불어 폐유리병의 이물질제거, 색선별, 파유리(cullet)의 입경별 선별기술 등 전처리기술 및 이의 자동화 기술개발에 많은 노력을 기울여왔다. 즉, 유럽 대부분의 국가에서는 폐유리병 재활용율을 상승시키기 위해서 타용도로의 활용 기술개발에 앞서 고도의 전처리기술을 기반으로 한 유리제조 원료로의 사용 최대화를 위한 투자와 기술개발에 충실하고 있다.

그 사례로서 네델란드의 경우를 살펴볼 수 있는데, 네델란드는 정부와 유리제조업체간의 자발적 협정을 통하여 유리제조원료로의 폐유리병 재자원화에 크게

성공하였다. 네델란드에서 발생되는 유리병은 대략적으로 백색 40%, 녹색 45%, 청색 및 기타가 15%를 차지하고 있다. 그러나 폐유리병이 혼합되어 파쇄될 경우에는 녹색 유리병 생산에 사용할 수밖에 없기 때문에 최대 재활용될 수 있는 양은 전체 유리병 생산의 45%밖에는 되지 않을 것이다. 따라서 나머지 파유리 시장을 충족시키기 위해서는 폐유리병의 분리수거 및 색선별이 필수적이며 이에 따라 네델란드정부와 유리병생산업체간 자발적 협약을 통하여 폐유리병의 전처리기술 개발 및 원료로의 재활용 기술개발에 많은 연구와 투자를 실시하였으며, 그 결과 신병 제조시 폐유리병의 이용율을 매우 높은 수준으로 상승시킬 수 있었다.

4. 국내 폐유리병 관리 정책 및 재활용 현황

1980년대까지 국내의 폐기물 처리는 주로 매립과 소각에 의존하여 왔다. 그러나 1990년대 들면서 매립지 확보의 어려움, 소각처리시 2차 오염물질의 문제 등 이들 처리시설에 대한 기술적, 사회적 문제점 및 제한 요인들이 커지면서 폐기물의 적정처리에 대한 관심과 중요성이 크게 부각되고 특히 폐기물의 원천 감량 및 재활용이 일차적인 폐기물 관리 방안으로 대두되었다. 즉, 종전까지 주로 매립과 소각에 의존하던 폐기물 정책은 폐기물의 감량화 및 재활용 활성화로 그 방향을 돌리면서 1991년 분리수거 실시, 1995년 쓰레기 종량제 실시 등 보다 적극적인 폐기물 관리 자세를 보여주었다. 특히 1991년 폐기물관리법이 개정된 이후 폐기물의 재활용과 관련하여 1993년부터 폐기물 관리법 내에 폐기물 회수 · 처리 예치금제도가 도입되었다. 그러나 폐기물의 적정처리 및 효율적 처리가 강조되면서 폐기물의 재활용에 대한 보다 적극적인 대책마련을 위해 1992년에 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률을 제정, 재활용의 활성화를 도모하고자 하였으며, 특히 폐기물에 대한 예치금/부담금제도의 실시를 통하여 생산자에게 폐기물의 처리책임을 부여함으로서 제조 단계에서부터 폐기에 이르기까지 환경성 및 재활용성을 고려한 시스템을 구현하고자 하였다.

폐기물의 감량화 및 자원의 유효 이용을 목적으로 설립된 '자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률(이하 재활용 촉진법)' 은 특히 포장폐기물을 중심으로 그 규제 근거를 마련하였고 그 근간이 되는 예치금 및 부담금 제도를 규정하였는데, 유리병의 경우 공병보증금병을 제외한 주류, 음식료 품목의 일회용유리병은 재활용 대상으로 지정, 예치금제도에 의해 관리되어왔다. 그러나 정부 주도의 예치금 제도에 대한 문제점 및 한계성이 드러나면서 생산자가 직접적이고 보다 적극적으로 재활용에 참여, 재활용율을 향상시키기 위한 제도 개선 및 보완이 이루어지기 시작하였다. 그 일차적인 단계로서 2001년에 시범적으로 정부는 유리병을 포함한 일부 재활용 품목에 대하여 정부와 생산자 및 재활용 단체간 재활용에 관한 자발적 협약을 체결함으로서 예치금제도와 생산자의 자발적 재활용 목표이행의 두 가지 제도가 병행되었다. 이후 2003년부터 그동안의 예치금제도를 폐지하고 유리병 등 재활용품목에 대해서는 생산자가 직접 또는 재활용공제조합을 통하여 재활용의무를 이행하도록 하는 EPR제도 (생산자책임재활용제도)가 도입, 이에 따라 관리되어지고 있다. 또한 유리병의 재활용 대상 품목에 있어서 기존 주류 및 식음료품 뿐만 아니라 의약품이 추가 지정됨으로서 그 재활용 의무량 역시 크게 상승되었다.

가. 유리병 발생 및 처리 동향

국내 유리병 제조산업의 변화 추이를 살펴보면 60년대 1차 산업의 수동제병위주 산업구조에서 80년대 들어 점차 기계화, 산업화와 국민생활수준의 향상에 의한 대량생산 및 대량소비의 경제구조로 변화함에 따라, 포장용기업계도 소비패턴의 급격한 향상으로 수많은 종류의 제품과 질 좋은 용기로 발전을 거듭하였다. 유리병의 경우 70~80년대 유리병 파동으로 한때 호황기를 맞이하는 시기도 있었고 이후 지나친 시설 및 설비확장과 이로 인한 공급과잉으로 어려움을 겪은 때도 있었다. 더욱이 유리제품의 비탄력적 수요공급 성향은 수급관리에 어려움으로 지적되면서 가격변동과 원료조달문제 등의 난관에 부딪치기도 했었다. 80년대 후반은 우리경제의 활성화 조짐과 소비기호의 패턴이 대량화, 간편화로 바뀌면서 신제품의 개발과 보급 및 기능성 용기

로의 판로확대를 유지하게 되어 매년 생산량의 증가를 보이기도 했다. 그러나 90년대 들어 점차 편리성과 간편성을 추구하는 소비패턴의 변화에 따라 종이팩, PET, 캔 등 1회용 용기가 보급, 확산됨에 따라 그 생산량 증가 속도는 크게 둔화되었으며, 2002년도 이후 심각한 경기침체로 인하여 생산량은 감소추세를 보일 것으로 예상되어 진다.

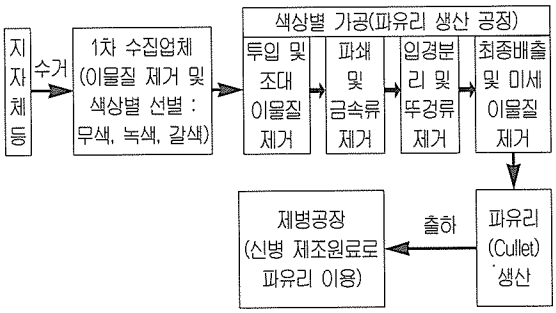
소비 후 발생된 폐유리병중 주류병, 청량음료병 등의 보증금병은 90% 내외가 역루트로 회수되어 재사용되고 있다. 또한 일회용병은 지자체 등에서 수거한 유리병을 민간수집상의 가공(선별, 파쇄)을 통해 제병공장에서 원료로 재자원화 하고 있다. 1992년 이후 정책적으로 「자원절약과재활용촉진에관한법」이 시행되고 이후 민간 재활용사업자단체에 의한 회수·처리의 체계화가 이루어지면서 재활용율은 매년 큰 폭으로 상승을 보이고 있어, 2003년도 재활용율은 대략 65% 내외 정도로 예상되어지고 있다. 그러나 아직까지 국내 일회용유리병 재활용 방법이 유리병 제조공장에 크게 의존하고 있는 실정이라, 국내 유리공장 가동률에 따라 많은 재활용율의 변화가 발생할 수 있으며, 더욱이 최근 들어 그 가동률이 줄고, 대신 중국 등으로부터의 유리병 유입이 증가되고 있어 향후 다양한 재활용기술이 개발되지 않는다면 재활용율은 현 상태에서 큰 진전을 기대하기는 어려울 것이다.

나. 회수, 처리 및 재활용 기술 현황

국내의 폐유리병 재활용 방법은 일부 재사용을 제외하면 아직까지는 대부분 신병제조 원료로서의 이용에 의존하고 있으며, 일부 타용도로 재활용되고는 있으나, 사용되는 폐유리의 종류나 품질에 제한을 받고 있으며, 기술성, 경제성 등의 문제로 그 실용화 실적은 거의 전무한 상태이다.

국내 폐유리병은 지자체 또는 수집업체를 통하여 수거된 후, 중간처리업체에서 이를 매입하여 이물질 제거, 색상별 분류 및 세척 등의 공정을 거쳐 대부분 유리병 제조의 원료인 파유리(Cullet) 형태로 파쇄, 스크린에서 입경별로 분리되어 제병업체로 납품된다. 폐유리병의 회수, 처리 계통도를 Fig. 4-1에서 보여주고 있는데, 각 단계별 기술 수준 및 개선점에 대하여 간략히 살펴보면 아래와 같다.

Fig. 4-1 폐유리병 회수, 처리 계통도



① 선별 기술

선진국이나 국내 모두 폐유리병의 최종 처리는 신병 제조시 원료로 이용되는 것이 주류이며, 이때 폐유리병은 동일 색상의 신병 제조에만 이용될 수 있다. 또한 신병 제조 원료로의 이용 이외 타용도 재활용 방법이 모색되어지는 것은 색상별 선별 과정에서 미처 선별되지 못한 혼색유리나 색상별로 신병 제조업체에서 처리 못하는 부분이 발생하기 때문에 신병 제조에만 의존할 경우 나타날 수 있는 재활용의 한계성을 극복하고자 하기 때문이라 볼 수 있다.

이에 따라 수거된 폐유리병을 재활용하기 위해서는 가장 먼저 3색(무색, 녹색, 갈색)으로 색상별 선별이 이루어져야 한다. 즉 민간 수집, 재활용업체에서 집하된 폐유리병은 일차적으로 색상별 분류가 이루어지며 이 과정에서 혼입된 이물질이 일차적으로 제거된다.

색선별의 경우, 일본, 독일 등 선진국에서는 자동(무인) 색선별기가 개발되어 실용화되는 추세이지만, 아직까지는 색선별의 저해물질(라벨, 부착이물질 등)에 대한 영향, 유사 색상에 대한 선별 오차 등 기술적으로 완전하지 못한 상태이어서 아직까지는 대부분 수작업에 의해 색상별 선별이 이루어지고 있다. 특히 국내의 경우 상기 색선별 기계제품 도입 문제에 대해서는 국산화에 대한 기술개발이 전무한 상태이며, 외국 제품을 도입할 시 수입가격이 현 국내 인건비에 비하여 상당히 고가이어서 대부분의 폐유리병 처리업체에서는 색선별기의 국내 도입에 대해서는 현 실정에 맞지 않는 것으

로 보고 있다. 그러나 선진국의 계속적인 기술적 보완이 이루어지고 국내 인건비 상승의 여지가 충분하리라 예상되기 때문에 장기적인 측면에서의 색선별기 국산화를 위한 기술개발도 함께 검토되어져야 할 것이다.

② 파쇄 등 가공(전처리) 기술

폐유리병에 혼입된 이물질의 제거 기술 또는 파쇄되었을 때 파유리 형상이나 입경분포 등 가공 기술에 따라 신병 제조시 원료로의 이용율 상승이나 타용도 재활용 제품의 품질 향상에 큰 영향을 미치기 때문에 색선별이 이루어진 폐유리병에 대한 가공 기술은 재활용 기술 개발 못지않게 중요한 부분이다.

아직까지는 국내 폐유리병 가공 과정에는 대부분 인력에 의한 수선별이 도입되고 있는 실정이다. 투입호퍼에서 최종 배출까지 가공라인 상 이물질 제거는 자력에 의한 철금속성분 제거와 풍력에 의한 병뚜껑, 종이, 라벨 등 저비중물질 제거를 제외하면 모두 수작업에 의해 이루어지고 있다. 특히, 신병 제조시 치명적이라 할 수 있는 돌, 세라믹류, 금속류 등에 대한 선별은 자동 선별 기술이 도입되지 않아 사람의 육안 검사에만 의존하고 있는 실정이다. 일본, 독일 등 선진국에서는 세라믹 자동선별기나 금속류(비철금속 포함) 자동선별기가 이미 개발되어 일부 적용되고 있어, 향후 이에 대한 조사 및 연구를 통해 국내 기술 개발이 이루어져야 할 것이다.

국내 파쇄기술 수준은 대부분의 파유리가 유리병 원료로서의 사용(용해)되기 때문에 일정 형상이나 입도에 구애받지 않고 단순 파유리 형태로 파쇄한다. 즉, 현재 국내 중간가공업체의 파쇄기술 수준은 Jaw crusher나 Hammer mill과 같은 일반적인 파쇄기를 이용한 1차 파쇄 수준에 그치고 있다. 따라서 파유리를 유리병 원료 이외의 타용도로의 활용을 위해서는 우선적으로 파유리의 모래화, 분말화기술, 입경조절 및 edgeless 기술 등이 필요하다.

③ 폐유리병의 타용도 재자원화 기술

국내 폐유리병의 재활용은 수집, 가공(Cullet 생산)된 후, 앞서 언급하였듯이 대부분이 신병 제조공장에서 원료로 투입되어 최종 처리되어지고 있는 실정이다.

1990년대 중반 들어 폐유리의 재활용에 대한 관심이 증가하고 잉여의 폐유리를 유가화시키려는 노력 속에서 일부 업체에서는 건축재, 실내용 장식재(바닥재 등)와 캐나다에서 도입된 폐유리를 활용한 매립지차수막 등과 같이 타용도 재활용 기술이 개발된 바 있다. 그러나 이들 폐유리 타용도 재활용 기술들은 기존 제품과의 경쟁력 약화와 관련 업체의 영세성으로 인한 품질개발 미흡 등으로 상용화에 실패했거나, 또는 매립지 차수막과 같이 수요 및 사용범위가 국한되어 있어 상용화가 이루어졌다 해도 그 사용은 간헐적 또는 단기적인 양상을 보여왔다. 물론 신병 제조 이외에 폐유리 재활용 제품으로서 유리섬유 및 그라스비드 등은 국내에서도 오랫동안 생산, 개발되어지고 있다. 그러나 이들 제품은 색상, 성분, 가격 등의 이유로 폐유리병 보다는 판유리의 공장파유리가 사용되고 있어 폐유리병의 재활용 기술로는 볼 수 없다.

하지만 최근 일부 연구소 및 대학을 중심으로 유리의 특성을 최대한 살린 폐유리병 재활용 건축자재 개발에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있는데, 비록 아직까지는 연구단계이지만 실용화, 상용화를 목표로 실용성, 경제성을 최대한 고려한 고품질, 기능성, 고부가가치성에 초점을 맞춘 기술개발이 이루어지고 있어 국내 폐유리병 재활용 기술을 한단계 발전시키는 계기가 될 것으로 보인다. 아울러 향후 국내 폐유리병의 재활용을 활성화시키기 위해서는 다양하고 새로운 재활용 기술 개발도 중요하지만, 현재의 선진기술과 국내 기술수준을 조화시켜 기존의 기술이 보다 경쟁력과 시장성을 가질 수 있도록 제품 향상과 다양한 분야로의 응용 기술 개발이 함께 이루어져야 할 것이다.

4. 결 론

지금까지 유리제품 중 폐유리병에 대한 선진국 및 국내의 제도, 회수 및 처리현황, 재활용 기술이나 방법 등을 전반적으로 살펴보았다.

국내에서 유리용기를 포함한 생활폐기물의 감량 및 재활용을 보다 활성화시키기 위해서는 우선적으로 현재 폐기물 재활용 관리의 근간이라 할 수 있는 확대생

산자재활용책임제도가 시행 초기인 만큼 이에 대한 개선 및 보완이 시급히 완료되어 안정적 정착을 이룩함으로서 사회적으로 재활용의 필요성에 대한 인식을 확대하고, 정부, 지자체 및 생산자를 비롯한 민간 재활용 주체들의 협력과 재활용 참여가 보다 적극적으로 이루어지도록 해야 할 것이다.

나아가 이러한 제도적, 사회적 기반 속에서 회수체계의 확립, 재활용 기술의 연구개발이 활성화되어져야 하며, 소비자의 재활용제품에 대한 인식전환이 수반되어야 할 것이다. 특히 재활용 기술 개발에 있어서는 앞서 본 바와 같이 선진국에 비하여 국내 수준은 아직까지는 상당히 미흡할 수 있기 때문에, 선진국의 재활용 기술에 대한 면밀한 조사, 검토 및 연구를 바탕으로 국내 관련 산업 현황 등의 현실을 고려하고 최종적으로 기술성과 경제성을 반영한 국내 적용 가능성을 판단함으로서 국내에 가장 적합하고 효율적인 재활용 기술을 모색하여 국내 여건에 맞게 단기, 중 · 장기적 계획으로 구분하여 응용 개발되어야 할 것이다. 결국, 제도적, 사회적, 기술적으로 재활용 여건이 조화되어 완성될 때 비로써 순환형사회(Zero emission) 구축이라는 국가의 궁극적 폐기물 관리 목표도 달성될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. "START-UP CREATES LOCAL LOOP FOR RECYCLED GLASS", BIOCYCLE, Vol. 39, No. 3, Page 54-57, 1998
2. Container Recycling Institute-Washington DC, "BEVERAGE CONTAINER DEPOSIT SYSTEM in the United States", 미국, 1996. 12
3. Container Recycling Institute-Arlington, Virginia, "BEVERAGE CONTAINER REUSE AND RECYCLING IN CANADA", 미국, 1998. 11
4. Dr Richard Tock, "THE GLASS CULLET PROJECT" http://www.utexas.edu/ftp/depts/ ctr/recycle/cullet.html
5. "COLORED CULLET MAKES PRODUCTS SPARKLE", BIOCYCLE Vol.39 No.9, pp. 68-69, 1998.
6. "일본용기포장법"
7. (財)クリ・ン・ジャパン・センタ´ "リサイクル・知ってとく讀本"´ 일본, 1996
8. 通商産業省, "新しい時代の新しい法律ができました", 일본, 1997
9. (財)クリ・ン・ジャパン・センタ´ "リサイクル ジャパン"´ 일본, 1998
10. "カレット使用のアスファルト道路コユーヨワデはに本格化" Gob. 3월호, pp 5-9, 일본, 1996
11. 村田德治, "ガラスのリイクリル(そのこ)"´廢棄物, Vol. 22, No. 9, pp 84-87, 1996
12. 村田德治, "ガラスのリイクリル(そのこ)", 廢棄物, Vol. 22 No. 260 , pp 84-88, 1996
13. 秋田勝彦 등, "廢ガラスリサイクルによるタイル再生技術" ECO INDUSTRY, Vol. 3, No. 7, 일본, 1998
14. "유럽 EPR제도 관련 자료"
15. "독일 법"
16. "오스트리아 법"
17. A Somogyi and G Robyns, "Legislative Challenges Facing the EC Container Sector" GLASS, pp. 307-308, 1993. 8.
18. W. L. Dalmijn and J A van Houwelingen, "Glass Recycling in the Netherlands", GLASS, pp.137-139, 1996. 4.
19. 환경부, "자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률", 2003
20. 산업자원부, "폐유리병 재자원화 활성화 방안에 관한 연구", 1999
21. 유병승 · 김동진, "미국의 폐식음료용기의 처리 및 실태", 식품공업, No. 134, pp. 7-16, 1996
22. 박태순 · 이관호, "미국연방도로국의 폐자원(Waste Material) 활용 실태" 대한토목학지, 45(7), pp. 76-86, 1997