

선진국의 타용도 폐유리병 재활용 기술의 종류 및 적용사례

자원재활용연구소

급격히 증가한 포장용기류 등의 생활폐기물에 대한 관리 방안이 이슈화 되면서, 그동안 국내에서는 발생량 저감대책과 함께 그 처리 방향을 기존 소각 및 매립에서 재활용으로 적극 전환하고 정책적, 사회적으로 재활용의 중요성이 강조됨에 따라 정부 및 민간의 꾸준한 재활용 노력과 재활용을 상승이라는 성과를 가져올 수 있었다.

그러나, 이러한 정책적, 사회적 재활용 부흥에도 불구하고 유리병 등 몇몇 폐기물에 대해서는 기존 재활용 방법에만의 의존, 일률적인 재활용 방법, 다양한 재활용 기술개발의 부재 등으로 최근 들어 그 재활용 상승에 한계를 보이고 있어, 여러 가지 재활용 기술개발 및 상용화야말로 향후 지속적인 재활용을 상승이라는 국내 재활용목표를 달성해 가는데 무엇보다 해결되어야 할 중요한 과제가 되었다.

이에 따라 여기에서는 폐유리병에 대한 재활용 방법을 유리제품 제조 원료로 활용하는 방법에만 의존하지 않고 다양한 타용도 재활용기술을 개발하고 이를 실용화, 상용화에 성공함으로써 재활용율의 적극적인 상승을 유도해온 미국과 일본의 재활용 기술 중 그 적용 방법이 독창적이면서도 유리 자체의 특성을 잘 이용한 응용기술을 선택하여 보다 심층적으로 다뤄보고자 한다.

1. 미국의 재활용 기술 사례

미국에서의 타용도 폐유리병 재활용 방법은 조경용, 수처리 여과재, 연마재, fused glass, 페인트 첨가제, roof coating, 시멘트 혼합제, 세라믹제품 골재 등 매우 다양한 방법으로 실용화 또는 연구, 개발되어졌다. 미국에서의 타용도 폐유리병 재활용 기술들을 살펴보면, 수처리용 여과재나 연마재로 활용되는 것과 같이 유리 자체를 적정 가공하여 직접 이용하는 방법에서부터 나아가 여러 타 재료의 혼합물이나 골재로 사용함으로써 유리의 장점을 최대한 활용한 응용제품 개발에 이르기까지 매우 폭넓은 폐유리 재활용 기술들을 볼 수 있다. 이러한 여러 기술들에 대해서는 전반적으로 앞서 언급 되었기에, 여기서는 몇몇 기술들에 대해 보다 자세히 살펴보겠다.

가. 유리연마제(Blasting Abrasive)

① 특징

기존의 실리카 모래는 Silicosis와 같은 폐질환을 일으킬 수 있는 자연 발생적 결정 실리카(crystalline silica)를 함유하고 있어 작업중 발생하는 먼지는 인체 건강에 위해할 수 있다는 문제점을 갖고 있다. 그러나,

우리는 비록 그 원료가 실리카 모래이지만, 제조과정에서 결정구조가 비결정질 상태로 전환되므로, 실험결과에 의하면 1% 미만의 결정질실리카를 함유하고 있다. 또한 연마재로의 사용을 위한 실리카모래와 유사한 물리적 특성으로 가공되어 질 수 있다. 그러나 까다로운 분류 조건과 청정하고 건조상태시 먼지 발생이 없어야 하는 등의 요구 때문에, 대부분의 기존 유리 가공시설은 파유리 연마재를 생산하기에는 어려움이 있다.

② 개발 동향 및 적용 사례

연마재로서의 파유리는 미국에서는 몇몇 상표명까지 갖고 개발, 판매되어 왔었다. 그러나 그동안 이들 제조업자들은 그들 자신만의 고유 자료로서 개발하여 왔기 때문에, 공공적인 정보가 한정되어 있었다. 이에 따라 CWC와 ReTAP에서는 파유리 연마재에 대한 공공 정보를 개발하기 위하여 실험실 및 현장 적용 실험을 지원하였다. 실험에서는 다양한 입경(12mesh 이하)의 파유리가 강철의 연마에 적합하다는 것을 보여주었다. 우리는 건조 연마재로 사용될 수도 있고, 슬러리 세척과 같은 공정에서 물과 혼합하여 사용될 수도 있다. 사업장 파유리와 소비후 파유리에 대한 실험 결과를 Table 1에서 보여주고 있는데, 16×35mesh의 실리카 모래와 비교하였을 때 보다 우수한 실험 결과를 보여주고 있다.

Table 1 연마재로서의 파유리 수행 능력(평균값)

Size	20×30mesh		30×50mesh	
	사업장 파유리	소비후 파유리	사업장 파유리	소비후 파유리
Breakdown Rate	65.4%	59.1%	57.4%	55.5%
Dust Generation	14.8%	11.1%	20.8%	13.8%
Cleaning Rate	1.137ft ² /min	1.340ft ² /min	1.128ft ² /min	1.408ft ² /min
Consumption Rate	10.666lbs/ft ²	7.375lbs/ft ²	9.917lbs/ft ²	8.000lbs/ft ²
Surface Profile	2.8mils	3.2mils	1.9mils	2.1mils
Embedment	1.27%	0.40%	0.07%	0.00%
Micro Hardness	540HK	542HK	Not tested	Not tested
Conductivity	114micro mho/cm	630micro mho/cm	200micro mho/cm	230micro mho/cm
Rust Back	0.03%(9)	0.01%(10)	0.03%(9)	0.03%(9)

나. 페인트 및 코팅제의 혼합물로의 이용 기술 (Elastomeric roof coating으로의 이용 기술)

① 특징

현재 산업제품의 혼합제로 사용되는 대부분의 광물 질(부식돌, 활석, 여러 가지 건조점토 등)은 Silicosis와 같은 폐질환을 일으킬 수 있는 자연 발생적 결정 실리카(crystalline silica)를 함유하고 있다.

그러나, 앞서도 언급하였지만 우리는 제조과정에서 결정구조가 비결정질 상태로 전환되어 재활용된 유리 용기는 1% 미만의 결정질실리카를 함유하고 있어, 작업자의 안전을 위해서는 우리는 훌륭한 대체물질이다. 또한 산업제품의 광물 충전제로의 사용은 새 유리용기로의 사용에 비하여 화학적으로 덜 민감하기 때문에 병 우리는 물론 판유리 또는 이들을 혼합하여 사용할 수 있다는 장점이 있다.

② 개발 동향 및 적용 사례(Elastomeric roof coating)

CWC에서는 유리분말을 Elastomeric roof coating 혼합물로서 사용하는 연구가 수행된 바 있다. Elastomeric roof coating은 기후의 영향을 최소화하기 위하여 지붕에 뿌리는 중합체와 충전제의 혼합물이다. 건조될 때, 코팅은 팽창하고 건축물과 접촉하여 튼튼하고, 내구적이며, 밀봉된 표면을 형성한다.

페인트나 코팅제에 사용되는 유리분말은 무엇보다도 유리용기내 남아있을 수 있는 유기물질을 완전히 제거해야하기 때문에 폐유리병의 세척공정이 필수적이다. 또한 대부분의 용도에서는 색선택이 중요하지 않지만, 몇몇 용도에서는 매우 깨끗한 무색의 유리가 요구되어 질 수 있다. Elastomeric roof coating에서는 일반적으로 열을 반사하기 위하여 주로 흰색 유리분말이 사용된다.

연구 결과, 유리를 사용한 두 개의 제품이 개발되었으며, 수 계절 동안의 기후 조건하에서 기존의 상용화된 제품과 비교한 결과, 한 제품이 기존 건물에 적용하기 위하여 선택되었다. 이 제품에는 안료(pigment), 교결제(binder), 보조용제(co-solvent), 분산제(dispersing agent), 강화제(thickener), 방부제(preservative), 거품방지제(de-foamer), 화재지연제

(fire retardant), 연화방지제(anti-fungal agent), 및 유리분말의 성분이 함유되어 있다. 이 연구 결과에서는 미세하게 분말화된 유리는 수용성 코팅제의 제조에 사용될 수 있다는 것을 보여주고 있다.

유리분말은 그 입경에 따라 달리 적용될 수 있는데, 먼저 150~200mesh의 입경분포인 경우에는 elastomeric 지붕코팅 또는 벽면코팅과 같이 두꺼운 코팅에 사용이 허용될 수 있으며, 325mesh의 유리분말은 실내용 flat latex paint와 같은 매우 큰 시장에 적용될 수 있을 것이다.

다. 폐유리 활용 아스팔트 도로(Glassphalt)

도로포장에 사용되는 아스팔트 콘크리트는 아스팔트 시멘트, 골재(자갈 및 모래), 기타 첨가제의 혼합물로서, Glassphalt라는 것은 이들 혼합물 중 골재부분을 파유리로 대체한 것이다.

폐유리를 도로포장용 재료로서 활용한 것은 1958년 영국에서 세계 처음으로 특허가 출원되었지만, 이후 미국에서 급속히 실시되었다. 미국에서의 파유리를 이용한 아스팔트 도로포장은 미주리 주립대학에서 기본적인 연구가 행해졌으며, 1971년에 볼티모어시에서 「Glassphalt」라는 이름으로 최초의 아스팔트 포장에 실현되었다. 최근에는 뉴욕시내 전역의 도로를 시작으로 여러 도시에서 정식으로 포장용 재료로서 사용될 수 있었다. 고휘도의 유리 특성 때문에, 가로등이나 기타 조명에 아름다운 영상을 연출하고 있어 많은 호평을 받고 있다.

한편, King County의 도로국에서는 두 개의 다른 유형의 유리로 만들어진 glassphalt에 대해 유리의 농도에 따른 특성을 보다 구체화하기 위하여 실험실 및 현장적용 연구를 수행하였다.

라. 세라믹 원료로서의 파유리 활용

① 특징

-점토제품은 가열시키는 것은 유리질 규산염

(vitreous silicate)을 생성시켜, 이 유리질 규산염이 용제(flux)로서 작용토록 하기 위함이다. 따라서 소다석회 유리는 이미 유리질 규산염인 상태이기 때문에 점토제품 제조시 폐유리병과 같은 소다석회 유리를 첨가하면 가열 온도를 감소시킬 수 있으며, 이에따라 에너지 절감 및 배출가스 저감의 효과를 가져올 수 있다. 즉, 점토에 소다석회 유리를 첨가하는 것은 점토 가열의 효율을 증가시킬 수 있고 이에따라 파유리 미세분말에 대한 고부가가치의 응용제품 제조 가능성을 보여주고 있다.

② 개발 동향 및 적용 사례

1970년대 초기, 미국 내무성 광업국에서는 점토 벽돌의 용제로서 유리 사용의 가능성에 대해 관심을 가지기 시작하였다. 광업국의 연구에 의하면, 붉은 벽돌 제조시 점토의 1/2을 유리로 대체할 경우 화염온도는 500F 감소(2120F에서 1650F로)되었으며, 생산에 있어 30%의 증가 가능성을 보여주었다. 이 연구는 미국의 1차 에너지 파동에 따라 수행되었다.

1998년 1월, Seattle Pottery Supply는 미국 NIST(Institute for Standards and Technology)에서 재정 지원되고, CWC(Clean Washinton Center)에서 관리 운영되는 기술 유효화 승인(Technology Validation grant)을 획득, 점토제품의 용제로서 재활용 유리의 기능에 대한 일반화된 정보를 개발하기 위한 프로젝트를 수행하였다. 이 실험에서는 Seattle Pottery Supply에서 판매되는 여섯 개의 표준 점토 혼합물이 선정되었다.

2. 일본의 재활용 기술 사례

일본의 폐유리병 타용도 재활용 기술은 최근들어 급속히 발전하여 있기에, 미국과 함께 우리가 선진 기술로서 연구하고 활용하기엔 좋은 기술들을 살펴볼 수 있다. 특히, 오래전 미국 등에서 개발된 도로포장으로의 폐유리 활용이 활발히 이루어 질 뿐 아니라, 세라믹 제품으로의 파유리 활용 기술은 가치 세계적인 수준이라 할 수 있다.

따라서, 여기에서는 비록 앞에서 약간은 언급되었지만, 폐유리를 도로포장으로 활용하는 재활용 기술과 건축자재, 세라믹제품 원료로서 활용하는 기술에 대해서 기술 특징, 적용 사례 등을 면밀히 살펴 봄으로써, 국내로의 도입 적용 검토에 기초 자료를 제공하고자 한다.

가. 유리재생원료(파유리 및 유리분말) 제조 기술

일본에서는 폐유리병을 신병 제조원료로 사용하기 위해서는 품질에 매우 엄격한 기준을 적용하고 있기 때문에, 폐유리병 수집에서부터 가공에 이르기까지 철저한 품질관리가 요구되어지고 있다.

일본에서는 지자체로부터 발생하는 파유리 수집시 Table 2와 같은 품질기준이 설정되어 있어 1997년 4월 법 시행 이후부터는 이 기준을 준수해야 한다. 또한 파유리에 대한 품질 규격도 이와 함께 나타내고 있어, 파유리업자로부터 유리병 공장에 원료로서 반입될 경우, 이 규격을 목표로 품질 검사가 실시되기도 하지만, 유리병 공장이 단독적으로 보다 엄격한 규격을 설정하는 경우도 있다.

Table 2 재생 파유리의 품질기준 및 제품 파유리의 품질규격

이물질의 구분	이물질의 명칭	수집기준(ppm) ¹⁾	품질기준(ppm) ²⁾
금속류	철, 강	50	3
	알루미늄	50	2.0
	기타(구리, 납 등)	50	10
도자기	도기, 자기	100	30
광물, 돌류	돌, 콘크리트 등	100	30
	크로마이트 등의 광석류	0	0
	내화물	0	0
이물 유리	결정화유리 등	0	0
유기물	목재, 플라스틱 등	200	100

주1) 재생 파유리 수집기준 : 지자체→파유리업자로의 파유리 수입규격
 주2) 제품 파유리 품질규격 : 파유리업자→유리병공장으로의 파유리 반입규격

한편, 파유리의 타용도 개발 연구가 보다 활발히 추진되면서 타용도 재활용 제품의 원료로서 요구되어지는 파유리 품질, 형상, 입경분포도 유리병 원료로 가공되었을 때와는 다를 뿐 아니라 그 용도별로도 차이를 보이기 때문에 전국 각지에 다종 다양한 유리병 파쇄설

비가 설치되고, 이러한 파쇄기에서 제조되는 파유리의 형상, 색구분, 입도분포 등도 다양하다

나. 유리섬유(マグ社)

① 제조방법

유리섬유는 면상태의 섬유로서, 섬유화는 보통 유리 원료를 고온의 노(1,500~1,600℃)에서 용융하여 이를 섬유화 장치에서 섬유로 만든다. 대표적 섬유화 방법으로 원심법과 화법이 있다. 원심법은 용융 유리를 고속 회전하는 원심기에 흘려넣어 원심력에 의해 원심기의 측면 벽 세공을 통하여 날려보내는 방법이다. 화 법은 노즐로부터 나오는 용융유리를 냉각하여 연속적으로 매우 가는 섬사(filament)로 뽑아내면서 여기에 고속의 연소가스를 불어 날려 보냄으로서 섬유를 만드는 방법이다. 다음의 Fig. 1에서는 유리섬유의 제조 공정을 전체적으로 보여주고 있다.

Fig. 1 일본 마그의 유리섬유 제조(원심법) 공정도



② 특징 및 적용

유리섬유의 특징은 단열성, 흡음성, 불연성이 우수하고 부패가 발생되지 않으며, 또한 가볍기 때문에 운송이나 시공이 용이하다는 이점이 있다. 따라서 유리섬유의 용도는 토목, 건축 분야는 물론 설비, 가정용품,

음향제품, 스포츠·레저용품, 선박, 자동차, 각종 산업 기기의 보온, 단열, 흡음, 방진재료 등 다양하게 사용되어질 수 있다.

다. 도로포장용 파유리 활용기술

① 특징

유리병의 타용도 활용 중에서 주목받고 있는 것은 토목, 건축 분야에서 대량으로 사용되는 모래의 대체로서의 파유리 이용이다. 특히, 도로포장으로의 활용은 무한한 수요가 예측되는 부문이다.

② 아스팔트포장용 파유리 활용기술 적용 사례

이미 아스팔트 포장은 새로운 도로의 시공이나 경도를 크게 요구하는 공사 등에 활용되고 있다. 아스팔트 포장에 파유리를 사용할 경우 주간에는 태양광에 의해, 야간에는 자동차 헤드라이트에 의해 도로 조도를 향상시킬 수 있어 운전자의 시야를 넓힐 수 있다는 장점이 있으며, 더욱이 유리병을 회수, 재자원화하는 지역에서 사용된다면, 운송비도 경감시킬 수 있어 경제적으로도 좋은 용도가 된다.

통상 아스팔트포장의 구조는 표층, 기층, 노반, 노상으로 이루어져 있으며, 표층과 기층이 아스팔트콘크리트로 되어 있고, 이 아스팔트콘크리트는 쇄석, 모래, 아스팔트의 혼합물이지만 현재 일본에서는 쇄석과 모래의 일부를 최대 15%까지 파유리로 대체하는 것이 가능하다. 쇄석 또는 모래의 대체품으로서 사용되는 아스팔트 포장용 파유리는 유리병 원료용 파유리에 요구되는 품질보다도 낮은 품질로서 사용되어질 수 있다. 파유리는 세정할 필요도 없이 금속류의 혼입에 특히 유의한다면 큰 문제는 없는 것으로 보고되고 있다. 단, 파유리의 형상이 천연모래와 유사한 형상으로 분쇄, 예리한 각을 없애야 안전하게 사용될 수 있기 때문에 이에 맞는 폐유리병 가공 기술을 요하게 된다.

파유리의 도로포장용 재료로서의 활용은 1993년 大阪府 枚方市の 도로(약 600m²)를 시작으로 북해도에

이르기까지 여러 구간에서 시공되어 왔는데, 최근 까지 약 40만m² 이상 포장된 것으로 알려지고 있다. 또한 그동안의 수차례 시험 및 현장 적용 등을 통해 파유리의 배합비율이 10%까지는 정상적으로 완전히 문제가 없음을 보여주고 있다. 한편 파유리 활용 아스팔트도로에서의 가장 중요한 기능인 광반사특성은 혼입 파유리의 입경에 크게 좌우되는데, 2.36mm를 경계로반사특성에 큰 변화가 있음을 보여주었다. 따라서 광반사 특성을 높이기 위해서는 2.5mm이상의 파유리를 10% 사용하는 것이 가장 적정하다고 판단하고 있다. 다음의 <Fig. 2>와 <Fig. 3>에서는 일본 千葉縣내 국도 456호

<Fig. 2> 파유리 활용 도로 포장 시공 과정

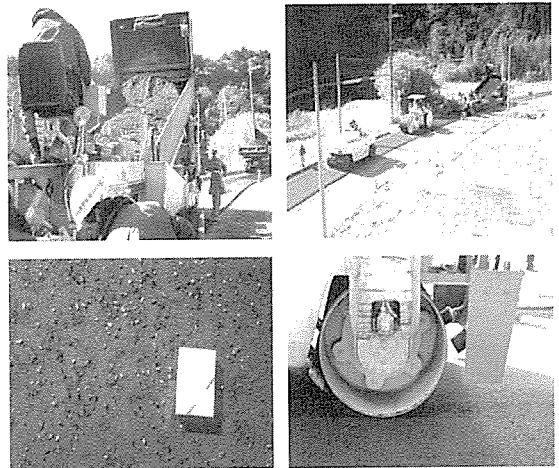
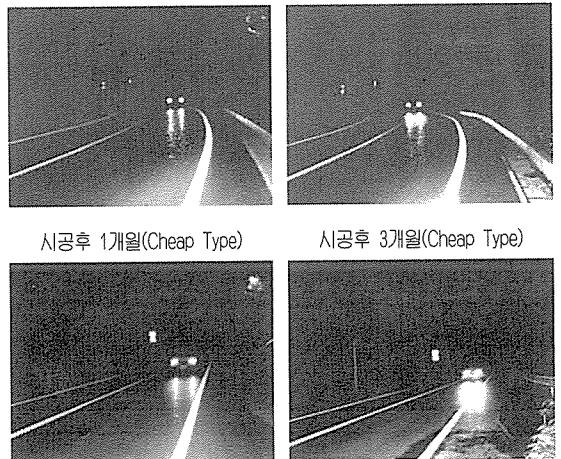


Fig. 3 파유리 활용 아스팔트 포장 시공 후 야간 노면 반사 효과
시공후 1개월(Mix Type) 시공후 3개월(Mix Type)



선에 대한 파유리 활용 도로포장공사 시공 과정 및 빛 반사 효과의 사례를 보여주고 있다.

금후 일본에서는 지금까지의 실적에 의한 시공방법의 통일화를 도모하고 나아가 분쇄 파유리의 제조, 공급처를 확대시킴으로서 충실하게 본 제도를 완성시키는 것을 목표로 하고 있다.

라. 칼라도로포장용 파유리 활용 기술

① 특징

일반 도로포장에서의 파유리 활용은 파유리의 가격, 가공 비용 등의 증가로 경제성 문제 등이 발생하면서, 최근 일본에서는 기능성과 부가가치성을 한층 향상시킬 수 있는 칼라도로 포장으로의 파유리 활용이 급격히 각광을 받고 있다. 박층칼라수지몰타르 포장은 일반적으로는 자연석, 인공칼라골재나 고무튜브 등과 수지를 혼합하여 포장하는 공법이다. 이에 파유리(Cullet)를 지금까지 박층칼라수지몰타르에 사용되었던 자연석이나 인공칼라골재 등의 친화재로서의 사용되는 것인데, 특히 파유리 이용의 촉진을 도모하기 위해서 골재로서 전량 파유리만을 사용하였고, 뿐만 아니라 유리병의 색과 입경에 따른 색의 변화를 이용함으로써 다양한 칼라화를 행하고 있다는 점이 특징이다. 그러나 골재로서 파유리를 사용할 경우, 파유리의 흡수율이 적고, 수지와

의 친화력도 나쁘기 때문에 수지의 주재료 및 경화제 개발에 주력하였으며, 수지와의 혼합전에 첨가제를 가하여 파유리와 수지와의 친화력을 향상시킴으로서 기술을 발전시켜 왔다.

② 기술 적용 사례

이 공법은 유리의 색을 살려 아름다운 경관을 연출할 수 있어 공원의 보도나 육교 등으로의 시공에 적합하다. 또한 강도 향상, 미끄럼 방지와 적당한 투수성을 가지고 있어 표면에 수분이 고이는 것을 방지할 수 있는 장점을 가지고 있어 일본에서는 지금까지, 파유리를 사용한 박층칼라수지몰타르 포장은 보도, 육교, 공원도로 외에도 하천호안의 하천명 표시판이나 터널 입구의 디자인 판넬 등에 시공되어 왔다. 칼라도로포장용 에폭시계수지몰타르 제조에 있어서 고려되어야 할 몇가지 사항을 보면 아래 Table 3과 같다.

1998년 일본 히로시마현 후쿠야마시에서는 육교 포장 공사에 칼라도로포장용 에폭시수지몰타르의 배합 설계에 대한 실험 및 시공을 실시한 바 있는데, 여기서 파유리의 각 입도비율 및 교결제 양을 변화시켜 각종 시험을 실시하여 최적의 배합을 선정하였다. 시험에 이용된 배합 종류는, 먼저 입도에 대해서는 일반적인 박층수지몰타르 배합을 근거로 변화시킨 것(A~D)과 힘에 대응함과 동시에 우수한 투수성을 적게하기 위한 것(E)

Table 3 칼라도로포장용 에폭시계수지몰타르 제조시 고려 사항

구분	고려할 내용
폐유리병 파유리(cullet) 제조	<ul style="list-style-type: none"> 보행자가 다니는 도로포장, 경관포장 등에서는 사람이 직접적으로 접촉하기 때문에 차도포장보다도 특히 형상이나 색구분에 주의 파유리의 날카로운 파쇄면은 확실히 제거하지 않으면 안되며, 또한 병의 색을 살리는 칼라포장이어서 색선별이 필요한 경우가 많음. 포장체의 내구성, 미끄러짐에 대한 저항성, 활특성 등을 고려하여 배합설계가 이루어지므로 파유리의 입도분포가 필요. 즉, 보행자용 도로포장이나 경관 포장 등에 광범위하게 사용되기 위해서는 병의 라벨, 뚜껑 등 이물질들을 완전히 제거하는 동시에 입날카로운 파쇄면이 없는 형상, 입도의 정확한 구분이 필수적임. 더욱이 파유리의 입경에 따라 색이 변화(세립자일수록 옅은색)하며, 갈색, 적색 등의 도자기 파쇄물을 함께 사용함으로써 다양한 배색이 가능.
교결제(Binder)의 선정	사용되는 교결제는 에폭시계수지(2액혼합형)로, 철강재판의 힘에 대응하기 위해 주재료는 활성질이 있는 것을, 경화제는 몰타르의 힘을 크게 함과 동시에 저온시 신장율도 안정시키는 재료를 선정한다.
첨가제의 선정	파유리와 교결제의 친화력을 향상시키기 위해 전처리제로서 첨가제를 가한다.
Top Coating제의 선정	교결제로서 사용하는 에폭시수지는 내구성에서는 우수하지만, 내후성에는 다소 우려가 있어, 몰타르 경화 후 Top Coating제로서 우레탄계수지를 표면에 살포하여 내후성을 향상시킨다.

Table 4 수지 몰타르의 배합비율

재료명	배합	A	B	C	D	E
파유리	5mm	33.9	33.3	32.7	33.6	40.7
	2mm	50.9	50.0	49.1	50.4	40.7
	0.6mm	8.4	8.9	8.2	8.9	10.2
교결제(주재료/경화제)		3.4/3.4	4.2/4.2	5.0/5.0	3.8/3.8	4.2/4.2
첨가		전처리(파유리의 0.8%)				

Table 5 수지몰타르의 시험결과

시험항목	시험방법·시험조건	A	B	C	D	E	규격
밀도(kg/cm)	노기스법	1.77	1.78	1.78	1.77	1.77	1.50이상
압축강도(kgf/cm)	JIS R 5201 측정조건 : 23±2°C 양생조건 : 실온 7일	160	175	170	180	165	40 이상
	JIS R 5201 측정조건 : 23±2°C 양생조건 : 실온 7일	102	110	108	105	98	40 이상
뒤틀림(×10 ⁻³)		4.3 (1.8)	6.0 (2.4)	5.0 (2.2)	4.8 (2.0)	6.0 (2.4)	(1.5)이상
마모(mg)	JIS K 6902 마모기 : CS-17 하중 : 500kgf 회전수 : 1,000회	80	47	8	56	-	200 이하
내후성(축진)	JIS A 1415	300h 이상없음	300h 이상없음	300h 이상없음	300h 이상없음	300h 이상없음	-
미끄럼저항치	휴대용 Tester 측정	68	67	66	67	69	40이상

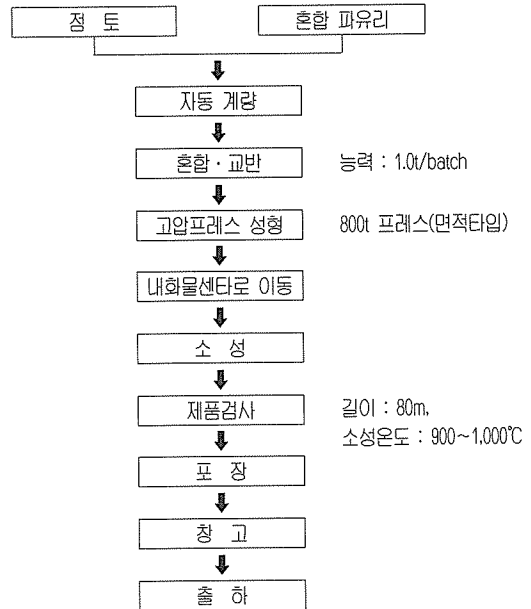
의 5종류를 선정하였다. 한편 교결제에 대해서는 과거의 실적 등으로부터 각 입도에 적합하다고 판단되는 양을 설정하였으며, 첨가제는 전처리용으로 전 배합에 대하여 파유리의 0.8%(중량비)로 설정하였다. 이들 5종류의 배합 및 시험 결과는 다음 Table 4와 5에서 각각 보여주고 있다.

이 실험 결과로부터 압축강도, 곡률강도, 미끄럼저항치 모두 규격을 만족시키고 있으며, 각 배합간에 큰 차이는 나타나지 않았다. 마모실험에서도 어느 배합물도 상한치를 크게 하회하고 있어 만족스럽게 나타났다. 따라서 전체 배합물에 대하여 내구성에 있어서는 문제는 없다고 판단되었다. 그러나 뒤틀림 측정결과에서는 배합 B와 E의 값이 높아 육교(보도교)의 교면포장용으로서 적합하고, 특히 불투수성 및 시공성 측면에서 배합 E가 적합하다고 판단되었다. 또한 내후성 확인을 위해 축진내후성실험을 실시하였는데, 모두 색변화 등의 이상은 확인되지 않았다. 최종적으로 본 공사에 사용된 수지몰타르는 배합 E로 선정하였다.

Fig. 4 일본의 유리재생 칼라수지포장도로 시공 사례



Fig. 5 일본 유리재생타일의 제조 공정도 (크리스탈크레이사)



한편, Fig. 4에서는 일본 여러지역에서 폐유리와 천연석을 특수 에폭시수지로 경화시켜, 8~10mm의 두께로 시공한 칼라수지포장도로 사례를 보여주고 있는데, 청색, 녹색, 갈색 등 폐유리병의 다양한 색상을 이용한 경관포장의 일례라 할 수 있다.

마. 유리재생타일

① 제조방법

다음 Fig. 5에서는 일본의 유리재생타일의 일반적인 제조 공정을 보여주고 있다. 우선 폐유리 파쇄품은 세정공정을 경유하고, 다시 분쇄되어 분말유리가 된다. 이 분말유리와 점토, 결합제를 배합해서 혼합, 조립하

면 배토(성형할 수 있는 흙)가 된다.

기존의 일반 자기질타일에는 골격이 되는 규석(비가 소성원료), 성형성을 부여하는 점토(가소성원료), 소결 재료로서의 역할을 하는 장석(매용원료)의 3요소가 필수적이다. 장석은 고온에서 용융해서 점착성이 있는 액체가 되어 성형체와 입자사이에 충만하여 큰입자를 안고, 작은 입자를 녹여 넣어서 냉각하면, 고형화하고 입자와 입자를 확고하게 결합시키는 역할을 한다. 반면, 페유리 재자원화 타일에서는 유리가 골격이 됨과 동시에 소결재료로서의 역할을 한다.

타일 원료를 조제할 때에 특히 중요한 것은 입도분포이다. 타일소지를 소성한다는 것은 소지를 구성하고 있는 입자를 반응시켜서 필요한 결정이나 유리질상을 생성시키는 데 있으며, 소성에 의해서 바라는 강도와 형상을 유지하는 것이다. 이 때문에 타일원료 조제에 있어서 분쇄는 단순히 입자를 작게하는 것만이 아니고 요구에 맞는 입도분포로 할 필요가 있는 것이다. 일반 자기질타일의 소성후의 성질은 골격이 되는 규석의 입도에 의해서 크게 영향받기 때문에 만일 규석이 필요 이상으로 미분쇄되면 소성후의 물성, 수축율 등도 변화된다. 페유리 재자원화타일에서는 페유리분말의 입도를 조절해서 원하는 특성을 가진 타일을 만들고 있다.

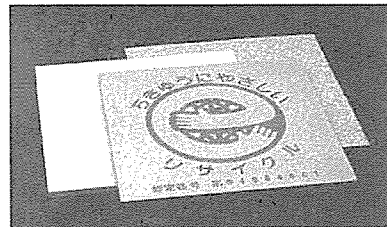
위의 과정을 통하여 만들어진 배토는 함수율, 유동성을 조절하여, 이를 건식 압력기로 바라는 치수의 금형에 균일 충전한 후, 가압성형한다. 성형된 타일을 내화물 setter에 옮겨 싣고 Roller Heater Kiln에서 소성한다. 소성온도는 900~1,000℃이다.

② 특징 및 적용 사례

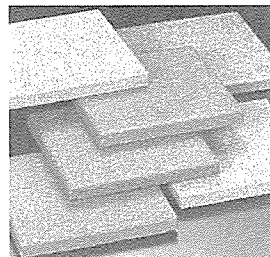
크리스탈크레이(주)에서 개발한 유리재생 벽돌 및 타일은 기존 타일제품과 비교하여 그 품질이 동등하거나 우위성을 보이고 있는데, 그 물성 비교를 Table 6 에서 보여주고 있다.

크리스탈크레이(주)에 의하면 유리재생타일은 물질 재활용 타일이며, 천연자원의 대체에 따른 자연환경적 타일이고 흡수성, 미끄러움저항, 내약품성, 동결융해성 등 물성이 우수하고, 동시에 경관재료로서 미장성도 함께 가지고 있을 뿐 아니라, 종래, 1,350℃의 소성온도를 900~1,000℃까지로 낮출수 있어 에너지자원의 절약과 CO2 배출량을 26%까지 저감할 수 있어 대기오염물질 배출 저감에도 큰 역할을 한다는 특징을 갖고 있다. 이 상과 같은 특징을 갖고있는 크리스탈크레이사의 타일

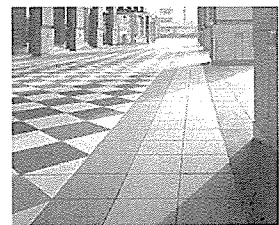
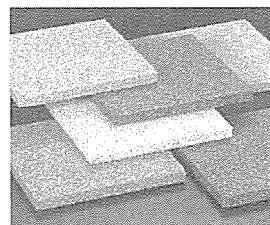
Fig. 6 크리스탈크레이(주)의 유리재생타일 종류 및 시공 사례



● 에코미크 타일



● FT series(바닥용 프레스성형품)



● FK series(바닥용 프레스성형품)

Table 6 기존 벽돌, 타일 제품과 크리스탈크레이(주)의 유리재생타일의 물성비교

구분	붉은벽돌	자기질타일	석질 타일	크리스탈크레이
부피비중	1.7~2.0	2.2~2.40	2.1~2.3	2.32
흡수성	10~15%	1%	5%	1.5%
휨강도		200kg/cm	150kg/cm	210kg/cm
마모강도		0.04~0.08g	0.04~0.09g	0.04g
미끄러움저항	40~70BPN	35~60BPN	45~70BPN	77~97BPN
열전도율	0.6~0.8	1.1~1.3	0.8~1.1	0.6
내약품성		산·알칼리 3%시 이상없음	좌동	좌동
동결융해성		10회시 이상없음	10회시 이상없음	300회시 이상없음

은 Fig. 6에서 보듯이 恵比壽가든플레이스타워 및 市川市立中央圖書館 등 공원, 보도, 광장, 공공지역 등의 바닥 포장재, 건축 실내의 바닥면, 실내, 외벽 등에 다양하게 사용되고 있다.

바. 경량유리재생골재

① 제조방법

일본에서는 기존 파유리 자재를 시멘트나 세라믹 제품 골재로 이용하던 기술에서 탈피, 파유리를 보다 기능화, 고품질화, 고부가가치화하기 위한 기술개발의 일환으로 파유리를 분말화 하여 이를 발포시켜 골재활한 초경량유리재생골재를 개발하고 이를 다양한 용도의 제품에 적용시키고자 노력하여 왔다.

초경량유리재생골재의 일반적인 제조공정은 Fig. 7에서 보여주고 있는데, 먼저 폐유리는 원칙적으로 30mm이하의 혼합 파유리로 들어오게 되며, 이는 알맞은 입도로 2차 분쇄된다. 여기에서, 함수율이 큰 파유리나 금속, 도자기 등의 이물질은 분쇄효율을 저하시킴과 동시에, 골재 입자 구조 결합의 원인이 되기 때문에 철저히 제거되어야 한다. 건조시킨 유리분말, 점결재, 발포제의 각 원료 탱크로부터 소정량을 계량하여 조립기에 주입, 일정 입경 범위를 가진 치밀한 구형 패렛으로 입자화 한다. 구형 패렛트는 건조기에서 건조시킨 후 로터리킬른에서 소성, 발포시킨다. 최종적으로 서냉 후 발포입자는 입경별로 제품 탱크에 저장하고 포장하여 출하한다.

② 특징 및 용도

유리재생 벽돌 및 타일 등 그동안 파유리를 활용한 세라믹제품 개발을 주도해온 크리스탈크레이(주)에서는 G-라이트(G-Light)라는 초경량유리재생골재(초경량 다공질세라믹)를 개발하였다. G-Light는 폐유리병을 주 원료로한 완전 무기질의 소성체로서 표면에는 알루미늄의 미분말이 코팅되어 있다. 따라서 높은 내열성을 가지며, 내구성, 내알카리성, 저흡수성의 우수한 물성

Fig. 7 초경량유리재생골재 제조공정 개략도

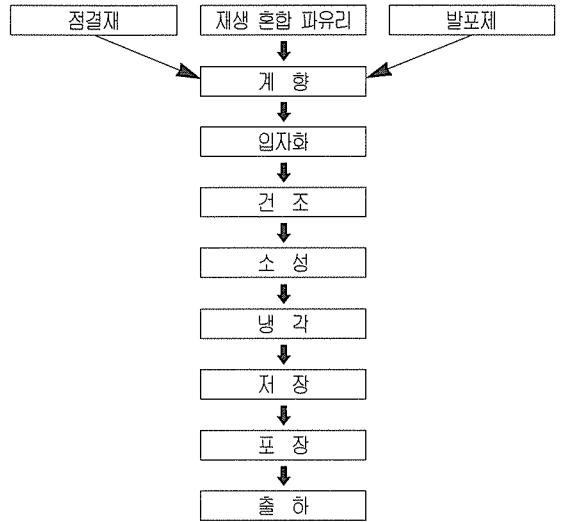
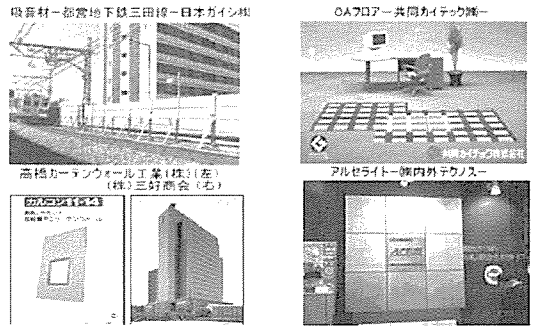


Fig. 8 초경량유리재생골재 용도 사례



을 가지고 있다. 또한 미세한 독립 기포를 무수히 내장한 발포구조체로서, 경량이면서 단열성에 우수하며, 특히 독립기포로 인한 돔구조의 응력분산효과에 의해 매우 뛰어난 내압축강도를 발휘한다. G-Light의 우수한 특성과 다양한 기능성으로 인해, 아래 Fig. 8에서 보여지듯이 그 용도도 시멘트나 세라믹제품의 골재로 활용되어 제품의 경량화를 가져옴은 물론, 흡음재, 복합판(바닥판넬, OA마루 등), 수지제품, 기타 건물 내·외장재 등의 다양한 용도로 활용되고 있다.

3. 결론

최근 경기침체의 심화로 유리병 제조 산업 역시 그

생산량이 감소하고 있으며, 몇 년 전부터 중국등의 현지 공장으로부터 유리병이 국내로 유입되면서, 폐유리병을 수거하여 재생원료(Cullet)로 가공한 양에 비하여, 그 재생원료를 유리병 생산에 이용하는 양은 급격히 줄어들고 있어 폐유리병의 적체와 유리 재활용업체의 어려움은 그 어느 때보다도 심각하다 할 수 있다.

이러한 상황에서 폐유리병의 또다른 재활용 수요처는 보다 절실할 것이다. 일부 재활용업체에서 자체적으

로 타용도 재활용 기술을 개발하는 노력도 보이고 있지만, 이들 만의 노력으로는 한계가 있을 것이라 예상되므로 국가적인 차원에서의 적극적 장려책이 마련되어야 할 것이다.

지금까지 살펴본 선진국의 기술 사례가 조금이나마 향후 국내 폐유리 재활용 기술 개발 활성화의 계기로 이용될 수 있기를 바라며, 본 특집 기사를 맺고자 한다.

참고문헌

1. "Recycling in the USA", Recycling international, April 1999
2. "Aggregate, Recycled Glass" <http://www.netrokc.gov/procure/green/glass.htm>
3. "Recycled Cullet, Roads Division" <http://www.metrokc.gov/procure/green/rdsags.htm>
4. Clean Washinton Center, "CWC Technology Brief", <http://www.cwc.org/briefs/glass.html>
5. 山本 達, "ガラスカレットの骨材への利用", 콘크리트工学, Vol.34, No.7, 일본, 1996.7
6. 白石 康彦 등, "破碎ガラスのア스팔트舗装への適用性について" 月刊建設 97-1, 일본, 1997
7. 内山 喬之 등, "ガラス入りア스팔트舗装の長期供用性", ?裝 33-10, 일본, 1998
8. 難波 徹 등, "廢ガラスびんカレットお使用した薄層カラー樹脂モルタル?裝", ?裝 33-6, 일본, 1998
9. 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
10. (社)日本機械工業聯合會, "カレットの用途擴大事業報告書-カレットの道路用骨材としての適用性に関する評價", 일본, 1996
11. 高槻市 環境衛生部, "ガラスびん再資源化に関する調査", 일본, 1996. 3
12. (財)クリン・ジャパン・ハイセンター "廢棄物の高度再資源化處理技術等の調査・検討報告書 -廢ガラスびんの再生利用", 일본, 1997. 3
13. The Glass Recycling Committee of Japan "ガラス再資源化商品のリスト", <http://www.grcj.jp>
14. CRYSTAL CLAY Corp. "ア스팔트混合物用砂として", <http://www.crystalclay.co.jp>
15. CRYSTAL CLAY Corp. "Gライトの特徴, 製造工程", <http://www.crystalclay.co.jp>
16. 산업자원부, "폐유리병 재자원화 활성화 방안에 관한 연구", 1999