자원순환의 관점에서 본 폐유리의 활용방안

Utilization of Waste Glass from the Viewpoint of Resource Recycling

송훈 Hun Song
한국세라믹기술원
책임연구원
E-mail : songhun@kicet.re.kr

1. 건설재료로서의 폐유리의 재활용

유리란 일반적으로 규사, 소다회, 탄산석회 등의 혼합물을 고온에서 녹인 후 냉각하여 생기는 투명도가 높은 물질을 말하며 경제성 있는 생산을 위해서는 대규모의 플랜트와 에너지가 필요하다. 유리는 제조시 고온을 사용하고 폐유리를 다시 녹여 균질화 할 수 있는 장점이 있어 재활용에 유리하며 활용분야도 다양하다. 유리는 사용 목적에 따라 판유리, 병유리, LCD유리, 형광등유리, 기타유리로 구분할 수 있다. 판유리와 병유리는 재활용이 용이하여 그 중 유리병은 회수율이 90% 이상으로 분별 작업을 통해 80% 이상이 재활용되며 등급별로 구분하여 원재료로 다시 사용이 가능하다. 그 외의 스마트유리, 자동차유리 등의 단독으로 활용되는 제품이 아닌 경우는 분별작업 등의 공정이 어려워 재활용이 수월치 않다. 또한 내열유리, 강화유리, 브라운관유리, 복층유리 등도 별도의 공정이 필요하므로 재활용에 어려움이 있다.

건설재료로서의 폐유리의 재활용은 수거된 유리제품을 미분으로 분쇄하여 도로포장, 콘크리트, 아스팔트, 보도블럭 등의 골재 대용으로 사용하거나, 고도화 공정을 통해 글라스울, 단열재, 재생유리, 발포유리, 유리질타일 등의 고부가가치 제품으로 생산이 가능하다. 섬유상의 유리를 활용한 글라스울의 경우 파유리로서 70% 이상이 산업현장에서 회수한 재활용 유리를 사용한다. 본고에서는 고부가가치 제품으로의 생산이 가능한

[표 1] 연도별 빈병 회수율 (백만 병)

항목	2012	2013	2014	2015
병 출고량	4836	4729	4874	5128
병 회수량	4542	4628	4668	4638
회수율(%)	93.9	97.9	95.8	90.5

[표 2] 연도별 유리 재활용 추이 (천 톤/년)

년도	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
생산량	808	749	749	728	671	660	716	703	650	660
재활용	577	531	533	529	485	495	534	529	491	511

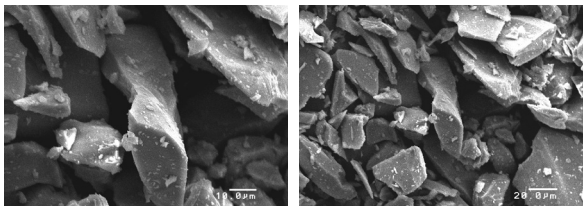


그림 1. 폐유리 분말의 SEM 사진

폐유리의 재활용 방안 중 글라스울과 단열재, 발포유리 및 응용제품에 대해 알아보고자 한다.

2. 글라스울, 단열재 및 응용제품

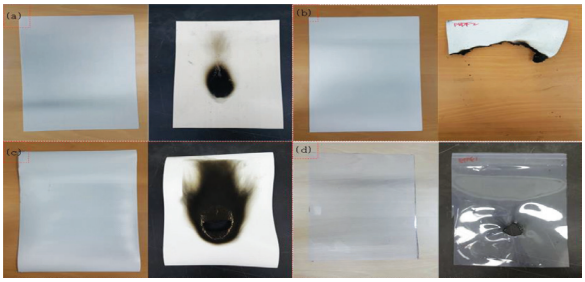
유리섬유는 무기섬유로 결정이 존재하지 않는 유리질의 규사, 알루미나 등을 원료로 열처리 공정을 거쳐 섬유상으로 제조하며 배합에 따라 물성이 달라진다. 유리섬유는 합성기술이 사용된 최초의 섬유로 1930년대 후반 상용화 되었으며 단열재로서 건축용으로는 울의 형태, 산업용으로는 매트나 직물의 형태로 사용된다. 유리섬유의 원재료는 일반적으로 이산화규소, 산화칼슘, 산화알루미늄, 산화붕소 등과 몇 가지 산화금속으로 다음과 같이 구분할 수 있다.

① 유리섬유 A : 유리조직 및 알칼리 성분을 함유(고알칼리용)
② 유리섬유 AR : 내알칼리성으로 시멘트 보강용으로 사용
③ 유리섬유 C : 유리조직이 포함되어 있어 내화학성 우수(화학용)
④ 유리섬유 E(이하 E-glass) : 일반적인 용도로 사용되며 제전성이 우수(저알칼리용)
⑤ 유리섬유 HS : 마그네슘-산화알루미늄-산화규소가 포함(강도 우수)
⑥ 유리섬유 S : 유리섬유 HS와 비슷한 조성으로 구성

국내에서는 특허권리가 만료된 E-glass 제품만이 생산과 판매되고 있으며, E-Glass를 이용한 섬유상의 제품은 글라스울로도 불리며 건축용 단열재, 전기절연 단열

글라스울 단열재 | 유리섬유 직포를 이용한 내화 스크린셔터 | 유리섬유 직포를 이용한 건축용 PTFE 막재

그림 2. 글라스울, 단열재 및 응용제품



(a) : PTFE 막재, (b) : PVDF 막재, (c) : PVF 막재, (d) : ETFE 막재

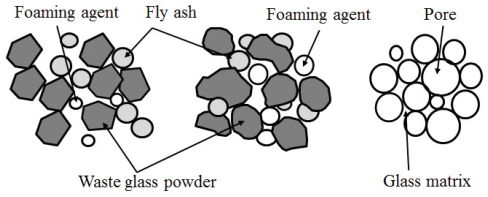
그림 3. 유리섬유 직포를 이용한 PTFE 막재의 난연성능 비교

방음재료, 천으로 짠 내화직물 등의 용도로 널리 쓰인다. 또한 섬유강화플라스틱(FRP; Fiber reinforced plastic)이나 다른 복합재료에 널리 사용되고 있다. 글라스울은 보통의 Glass와 크게 다르지 않으며, 미세한 직경의 노즐을 통하여 융해상태의 유리를 그대로 급격히 잡아 뽑아 순간적으로 결정화되지 않도록 급랭, 고화하는 공정을 거쳐 생산된다.

3. 발포유리 및 응용제품

발포유리 및 응용제품은 폐유리분말을 원료로 하여 플라이애시 등의 혼합물에 발포제를 섞어 고온에서 발포시켜 소성한다. 유리는 비교적 발포제에 의해 기공제어가 다른 소재에 비해 수월하기 때문에 발포소재의 메트릭스를 구성하는 재료로 널리 사용된다. 또한 발포제는 규산나트륨, 탄산칼슘과 그라파이트 등을 고온에서 반응시켜 기포를 형성한다. 탄산칼슘은 약 820 ℃ 전후의 열분해와 그라파이트는 O_2와의 반응에서 발생하는 CO_2 가스에 의한 발포를 기

그림 4. 발포유리 및 응용제품



$C + O_2 \rightarrow CO_2$

$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$

그림 5. 발포유리 제조의 기본 메커니즘

본 메커니즘으로 한다.

최근 건축물의 에너지절약 설계기준 강화로 외단열 공법의 적용이 보편화되고 도심형 생활주택이나 다세대주택 등에 사용된 가연성 단열재의 시공불량으로 인한 화재의 확산과 소방관의 상해 등이 반복적으로 일어나고 있다. 건축용 단열재인 글라스울은 특성상 수분에 취약하고 뭉침 및 처짐현상이 발생하여 단열효과가 떨어지며, 유기계 소재인 폴리스티렌폼이나 우레탄폼 등은 화재에 취약하고 일산화탄소 발생으로 인한 가스유해성 등으로 적용에 한계를 갖고 있다. 따라서 무기계인 발포유리 제품은 이에 대한 강점을 가지며 제조에 대한 기술의 발전으로 예전의 무기계 패널제품이 구현한 단열성능에 비해 월등히 높은 단열성능(열전도율 : 약 0.042 W/mK)을 구현할 수 있다.

또한 내화모르타르 분야에도 발포유리 및 응용제품을 이용할 수 있다. 내화모르타르는 경량이며 고온에서 안정하며 열전도율이 낮아야만 구조체 보호에 유리하다. 국내에서 사용하는 단열소재 중 경량골재는 대부분 수입에 의존하며 수입가격도 톤당 약 15~20만 원 전후이다. 또한 국내에서도 하수나 정수슬러지와 플라이애시 등을 혼합하여 경량골재로 제조하기 위해 연구가 진행되고 있으나 1,100 ℃ 이상의 고온에서 소성해야 하는 단점이 있고 고가일수 밖에 없다. 그러므로 소성온도가 낮고, 단열특성 등 물리적 특성이 우수한 발포유리 및 응용제품이 개발되고 생산될 경우 내화모르타르 시장창출은 충분히 가능하며 새로운 영역으로의 응용도 가능하다.

4. 맺음말

건설재료로서의 폐유리의 손쉬운 재활용은 건축물의 분별해체를 통한 폐유리의 수집과 가공을 거쳐 유리제품의 원료로 재사용하거나 단순하게 분쇄하여 콘크리트 구조물의 혼합재로 사용하거나 발포제 등을 혼입하여 발포유리 제품으로 사용하는 것이다. 하지만 글라스울이나 골재 대용품으로의 사용은 폐유리의 자원순환의 측면에서 가장 효과적이지만 고도화 공정을 통한 유리의 특성에 부합하는 고부가가치 제품의 생산에도 주목해야 한다. 아직까지는 유리의 가공 및 재활용 기술이 유럽, 미국 및 일본 등의 선진국과는 분명한 차이를 보이지만 관심을 가지고 접근한다면 충분히 기술력의 격차를 해소할 수 있을 것이며 건설재료로서 폐유리의 활용과 고부가가치 제품의 생산도 가능할 것이다.

담당 편집위원 : 박희곤(두산건설(주)품질/기술연구소)