

폐자동차 유리의 재활용 현황

윤진호 · 박경수 · 홍명환 · 박재량 · *이찬기

고등기술연구원 신소재공정센터

Overview and Recycling of Waste Automobile Glass

Jin-Ho Yoon, Myung Hwan Hong, Kyung-Soo Park, Jae Layng Park and *Chan Gi Lee

Institute for Advanced Engineering(IAE), Yongin, Korea

요 약

유리는 고대시대부터 현재에 이르기까지 지속적으로 사용되고 있으며, 최근에는 최첨단 기술이 추가된 스마트 유리산업이 성장하고 있다. 이러한 스마트 유리는 라이프 사이클이 기존 유리보다 빠르기 때문에 교체 주기에 발맞춰서 재활용을 위해 보다 근본적이고 핵심적인 기술 개발이 필요한 상황이다. 스마트 유리 중에서 재활용 기술 개발이 가장 시급한 분야는 자동차 분야이며 자동차 폐차 시에 폐기되는 스마트 유리의 양은 연간 약 23,000톤 이상인 것으로 보고되고 있다. 본 논문에서는 국내 자동차 유리의 현황을 살펴보고, 국내의 재활용 기술과 재활용 방안 등에 대해 소개하고자 한다.

주제어 : 폐자동차, 폐유리, 접합유리, 재활용, 폴리비닐부티랄

Abstract

The glass has been used continuously since ancient period up to the present day. The smart glass industry in which the advanced technology is added is developing. The life cycle of the smart glass is faster than traditional glass. Therefore, the basic and core technology development is needed for recycling of smart glass according to the replace period. Among the smart glass the recycling development of the automobile industry is the most needed areas. At the end of life of the automobile, the amount of the smart glass is expected to be over 23,000 tons per year. In this paper, the current status of domestic Korean automobile glass has been comprehensively investigated. Finally, Korean domestic smart glass recycling technology is also briefly introduced.

Key words : Waste automobile, Waste glass, laminated glass, Recycle, Polyvinyl Butyral

1. 서 론

21세기에 접어들면서 전 세계적으로 폐유리를 포함한 폐기물의 양이 급격히 증가하고 있으며 이에 따른 폐기

물의 소각과 매립에도 한계에 달하고 있어 근본적인 대책이 필요한 실정이다. 이러한 상황 속에 미국, 일본, EU를 중심으로 폐기물의 재활용에 대한 기술 연구가 꾸준히 진행되어 왔으며 도시 광산을 중심으로 일부의

· Received : January 14, 2015 · Revised : January 26, 2015 · Accepted : February 5, 2015

*Corresponding Author : Chan Gi Lee (E-mail : cglee@iae.re.kr)

Advanced Materials & Processing Center, Institute for Advanced Engineering, 175-28, 51Goan-ro, Baegam-myeon, Cheoin-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, 449-863 Korea
Tel : +82-31-330-7495 / Fax : +82-31-330-7111

©The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

재활용 기술들은 이미 상용화가 이루어진 경우도 있다. 하지만 폐유리의 경우는 재활용 분야가 다양하고 사용의 폭이 광범위 함에도 불구하고 다른 재활용이 가능한 폐기물에 비해서 경제성이 떨어지기 때문에 아직까지 그 기술 수준 및 연구가 미흡한 실정이다.

최근 활발한 연구가 진행되고 있는 스마트유리의 경우 판유리 또는 병 유리와 같이 단독으로 활용되는 단순 제품이 아닌 자동차, 전자, 디스플레이와 같은 부품의 소재로 활용되면서 고도의 기능성이 요구되고 있다. 따라서 이전보다 빠른 교체 주기에 발맞춰서 재활용을 위해 보다 근본적이고 핵심적인 기술 개발이 필요한 상황이다. 재활용 측면에서 전통유리인 병유리의 경우 음식료품류, 세제류, 주류, 의약품류 등에 사용된 유리병이 생산자책임재활용제도(Extended Product Responsibility, EPR) 대상 유리병이다. 2007년 기준 EPR 대상 유리병 출고량은 458,000여 톤이고, 재활용된 량은 360,000여 톤으로 80%정도의 재활용률을 보이고 있다. 반면 스마트유리 품목의 경우 폐유리 발생량 통계가 체계적으로 파악되지 않고 있는 실정이나, 추정치 등을 포함할 경우 전체 발생량은 연간 6만여 톤 정도일 것으로 판단할 수 있다¹⁾.

폐 스마트유리 재활용 기술 개발이 가장 시급한 분야는 자동차 폐유리 분야이며 2012년 현재 국내 폐자동차 발생량은 약 77만대로 조사되었고, 폐자동차 내 유리의 비율이 약 3%이므로 2013년 자동차 폐유리 발생량은 약 23,000톤으로 추측되고 있다. 국내 자동차 시장은 완만한 성장세를 거듭하고 있으며, 2005년 이후 차량 등록대수는 연평균증가율 약 3%를 유지하여 2015년 기준으로 약 21,378 천대가 등록될 것으로 예상되고 있으며 자동차 등록대수가 포화상태에 이르면 폐자동차의 발생비율은 급격히 증가될 것으로 예상되고 있다²⁾. 본 고에서는 국내 자동차 유리의 현황을 살펴보고 국내의 재활용 기술과 재활용 방안 등에 대해 소개하고자 한다.

2. 자동차 유리 및 폐자동차 유리 발생현황

일반적으로 자동차에 사용되는 유리는 접합유리(laminated glass)와 강화유리(tempered glass)로 구분할 수 있으며, Fig. 1과 같이 자동차의 부위별로 앞유리는 접합유리, 옆유리 및 뒷유리는 강화유리로 구성되어있다. 2000년 이전까지 자동차 유리는 유리 본연의 역할에 충실한 기능을 가지고 있었지만 2000년 이후 자동차의 공기 역학화 및 전자기기화 등이 진행됨에 따라서

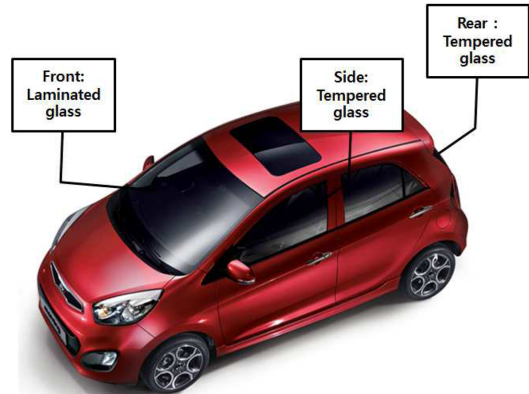


Fig. 1. Types of automobile glass.

자동차 유리의 중요성이 더욱 부각되고 있다. 접합유리는 안전유리라고도 불리고 있으며 판유리 사이에 고충격 저항을 갖는 합성수지(Polyvinyl Butyral, PVB) 필름을 삽입하여 판유리의 취약점을 역학적인 측면에서 보완하였으며, 자동차가 충돌하여 유리가 파손될 때 PVB 필름에 유리가 붙어있어서 유리가 비산되지 않아 탑승자의 피해를 극소화시켜주는 효과를 가지고 있다. 강화유리는 3~5 mm 두께를 가지는 판유리를 열처리 및 성형 가공한 제품으로 일반판유리보다 3~5배의 강도를 가지고 있으며 충격에 강하며 한계이상의 충격으로 파손되더라도 파편이 작고 날카롭지 않아 탑승자의 피해를 극소화 시켜준다. 또한 뒷유리의 경우는 강화유리 표면에 은을 주원료로 한 세라믹 페이스트를 코팅하고 열처리시켜서 전기를 연결하면 발열되는 열로 유리 표면의 서리나 결빙 현상을 제거하여 운전자의 시야를 안전하게 확보해준다.

국내 자동차 등록대수는 Fig. 2와 같이 외환위기를 겪었던 1998년에 급격히 감소한 후, 서서히 증가세를 회복하다가 2003년에 다시 증가세가 감소하였는데 경기침체로 인한 민간소비지출의 감소, 가계부채 증가와 고유가로 인한 구매심리 위축 등이 감소의 원인이 되었으며, 2005년 이후부터는 평균 증가율이 2.9%로 국내 자동차 시장이 완만한 성장세인 성숙단계로 들어선 것으로 판단되고 있다. 승용차의 급증으로 자동차 등록대수의 양은 증가하는 반면 폐차 발생량은 큰 변화가 없는데 이는 제도적으로 폐차되는 양을 정확하게 집계하지 못한 부분과 폐차대신 해외로 재판매하거나 부품별 판매량의 증가가 그 원인으로 생각된다. 국내 자동차 1대의 평균 운행기간은 13.6년이고, 자동차 등록대수 대

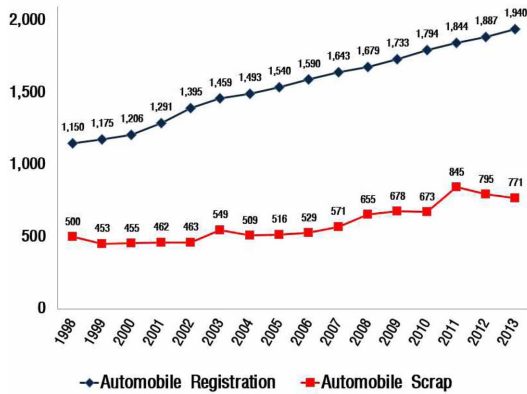


Fig. 2. Number of national annual automobile registration and scrap.

비 폐차발생 비율은 3.5%로 높은 수치는 아니며, 향후 자동차 등록대수가 포화상태에 이르면 폐자동차의 발생 비율이 높아질 것으로 예상되고 있다. 자동차는 철 68%, 플라스틱 11%가 주요 성분이며, 유리의 경우 자동차 중량의 약 3%를 차지하고 있으므로 승용차의 경우는 평균적으로 30 kg 내외의 유리가 포함되어 있는데, 2013년 폐차 기준으로 볼 때, 연간 폐유리 발생량은 23,000 톤이 발생되는 것으로 추산되고 있다³⁾.

3. 폐자동차 유리의 재활용 현황

자동차에는 각종 금속 및 비금속 자원을 많이 포함하고 있기 때문에 전 세계적으로 수년전부터 이에 대한 재활용 및 자원순환에 관심이 급증하고 있으며 국가가

좁은 유럽 및 일본지역을 중심으로 폐자동차 폐기물의 매립을 최소화하고 매립 시 인체독성 측면에서 무해한 매립물로만 규제하는 방식을 통해 관련업계의 기술개발과 정부의 정책방향을 유도하고 있다⁴⁾. 자동차의 앞유리와 뒷유리는 내부 공간의 밀폐를 위해 유리를 차체에 접착하여 부착하기 때문에 차체로부터 유리를 분리하기가 어렵다는 단점이 있어서 해외 자동차 제조업체에서는 해체 분리가 용이하도록 제품의 설계부터 폐차 단계까지를 고려하여 친환경 제품설계 연구를 진행하고 있다.

접합유리인 앞유리는 유리 중간에 부착되어있는 PVB 필름을, 뒷유리는 세라믹 페이스트를 분리해야 하는 어려움이 있어, 이를 효과적으로 처리하기 위한 전처리 및 고순도화 기술개발이 필요한 실정이다. 현재 자동차 폐유리는 효과적으로 재활용 할 수 있는 기술의 부재 및 낮은 경제성으로 인해 ASR 형태로 파쇄 되어 소각 및 매립하고 있으며, 일부 자동차 제조업체를 중심으로 재활용에 대한 연구개발이 이루어지고 있다.

자동차 폐유리의 재활용은 국내보다는 해외에서 많이 이루어지고 있으며 특히, 독일에서는 1986년부터 재활용 개념을 법률상으로 도입하여 자국에서 발생하는 폐기물에서 연료 및 산업적으로 활용이 가능한 자원을 회수하는 시스템을 본격적으로 구축해 왔으며, 2001년에 폐기물 발생 분야별 재생 가능한 물질을 수집, 분리 및 재이용 계획을 확립하였다.

독일의 자동차 폐기물 재활용 및 자원회수율은 각각 82.9%와 86.7%에 달하며, 2009년 폐차 발생량인 178만대 (약 1,600천 톤)로부터 금속을 제외한 자동차 부품별 폐기물 활용 실태는 다음 Table 1과 같다. 자동차

Table 1. Utilization of German automobile nonmetallic waste parts in 2009 (unit: ton)

Division	Recycling	Recovery of energy	Total recycling	Disposal
Battery	5,604	0	5,604	43
Waste Liquors	5,251	1,693	6,944	1,892
Oil filter	0	65	65	3
Waste from pollution prevention facilities	0	95	95	7
Catalyst	514	0	514	4
Tire	23,330	0	23,330	442
Plastic	1,384	0	1,384	2
Glass	2,292	0	2,292	18
Product from waste sorting process	0	1,546	1,546	6
Total	38,376	3,398	41,773	2,416

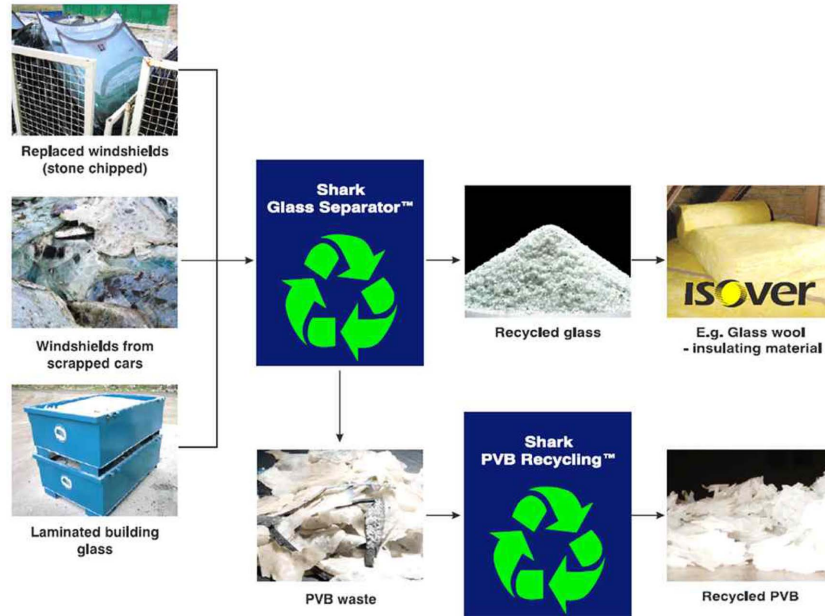


Fig. 3. Separation of glass and PVB from laminated glass of automobile.

의 폐유리는 대부분 재활용되며, 폐기되는 양이 1% 미만인 것으로 나타났다⁵⁾. 덴마크의 SHARK Solutions사에서는 Fig. 3과 같이 유리와 PVB를 분리하는 공정을 개발하여 자동차 접합유리에 사용되는 PVB 수지를 재생/정제하여 양산 운영하고 있다. 또한 중국 최대 PVB 필름 생산업체인 HJ PVB에서는 SHARK사의 공정을 도입하여 재활용된 유리를 중국 최대 유리기업인 Fu Yao Gruop과 Pilkington에, PVB는 Dupont에 OEM 공급하고 있는 상황이다⁶⁾.

국내의 경우 환경부에서는 「폐자동차 자원순환체계 선진화 시범사업」을 통해서 폐자동차를 재활용하는 연구를 진행하고 있지만 금속 및 플라스틱에 국한되어 있으며 폐유리의 경제적 재활용에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 또한 자동차 폐유리로 발생되는 접합유리의 경우는 분쇄기로 작은 입자로 분쇄한 후 흡착분리법으로 PVB 수지와 정제된 유리로 분류하여 포집하며, 강화유리는 강도가 높아 분쇄 공정 시 많은 에너지 소모 및 분쇄 장치의 마모가 심하고 유리 표면에 각종 이물질이 코팅되어 있어 이를 제거하는 추가 공정이 요구되고 있다. 이와 함께 ‘전기·전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법률’에 따른 폐자동차 재활용은 업체에서 폐자동차를 수거 및 유해물질 폐기 후 이를 한국환경공단에게 보고하는 형식으로 진행되며 2015년 전까지 폐자동차

Table 2. Benefits of recycled glass production from 300 tons of waste automobile glass per month

Division		amount(won)
Production Costs		197,278
Revenue	Internal revenue (cost of waste treatment)	40,000
	External revenue (sales of recycled glass)	15,402
Total sales		-141,876

의 재활용률을 85%, 2015년 이후에는 95%까지 올리는 것을 목표로 하고 있기 때문에 폐자동차에서 나오는 유리의 재활용은 꼭 필요한 상황이다. 서울대와 LG CNS가 발표한 자동차용 폐유리의 재활용에 대한 경제성 분석 결과를 Table 2에 나타내었는데 월 300톤의 재활용 유리의 생산을 위해 기본적으로 필요한 유틸리티를 부지 500평, 건평 60평, 분쇄기(30톤/일) 1대, 지게차 및 운반차량 각 1대, 작업원 4명으로 선정하였으며 월 300톤의 재생유리 생산 시 생산 비용은 141,876원으로 계산되었으며, 폐유리 재활용 사업을 진행할 경우 55,402원의 이익이 발생하여 전체 매출은 -141,876원이 되기 때문에 경제성이 없는 것으로 나타났다⁷⁾.

4. 폐유리를 이용한 재활용 방안

일반적으로 재활용 공정으로 정제된 유리는 도로포장용, 콘크리트용, 아스팔트용, 보도블럭용 등의 골재 대용으로 사용하거나 고순도화 공정을 통해서 재생유리, 발포유리, 다공성세라믹, 유리질타일, 인조대리석 등의 상대적인 고부가가치 제품으로 생산이 가능하다. 하지만 현재 자동차 폐유리는 단순 분쇄하여 낮은 가격으로 병유리 제조에 일부 사용되고 있으며 폐 PVB는 재활용 기술의 부재로 인해 전량 폐기처리 되고 있다. 따라서 자동차 폐유리의 재활용을 통해서 고부가가치 제품으로 적용이 가능한 제품을 몇 가지 소개하고자 한다.

4.1. 글라스울

글라스울의 주요 원재료는 파유리로서 70% 이상이 산업현장에서 회수한 재활용 유리를 사용하고 있다. 원료가 되는 유리를 고열로 액화시켜 고속 회전 원심공법으로 만든 무기질 섬유를 글라스울이라고 부르고 있다. 불연성과 단열성이 뛰어나 에너지 절약은 물론 화재예방에도 효과적인 건축자재로서 보온, 단열재, 천장용 충전재로 사용되고 있으며 우수한 단열 성능과 에너지 절약, 친환경성, 안정성, 내구성을 모두 갖춘 제품으로 평가받고 있다⁸⁾. 국내 대표적인 글라스울 제조업 회사로는 (주)벽산, (주)KCC, 하니스 등이 있으며, 단열재, 천장재 등의 용도로 사용 중에 있다.

4.2. 점토벽돌

점토벽돌은 황토, 점토, 고령토, 도석, 장식 등을 섞어 1,200°C 이상에서 구워낸 친환경 벽돌을 말하며 점토벽돌이 가진 온·습도 조절능력, 빗물을 땅속으로 저장하는 투수성, 흡음성, 친환경성 등으로 인해 지속적인 시장 성장이 기대되고 있다. 점토벽돌의 2010년 기준 국내시장 규모는 3,000억 정도를 형성했으며 지속적인 성장이 전망되고 있다. 점토벽돌을 생산하는 국내업체는 공간세라믹, 삼한C1, 중앙벽돌, 우성세라믹 등이 있으며, 일반적으로 점토벽돌은 시멘트벽돌 대비 2~3배 정도 고가이다. 최근 해외에서 폐유리를 벽돌에 적용하는 사례가 있었으며 국내의 경우 CRT cullet을 점토벽돌에 적용한 사례가 있으나 연구단계이고 상용화되지 않았다⁸⁾.

4.3. 인조 대리석

인조 대리석은 천연 대리석과 유사한 질감과 패턴을

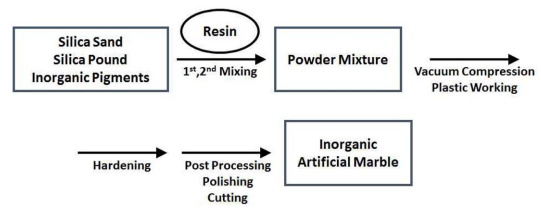


Fig. 4. Production process of inorganic artificial marble.

지니면서도 뛰어난 가공성과 함께 내오염성, 내구성 등이 천연대리석보다 우수한 물성을 지니고 있어, 수요가 증가하고 있다. 인조대리석은 플라스틱 수지에 무기물 질과 안료 등을 혼합해서 생산하며, 충전재로 첨가되는 물질이 대리석의 무늬와 질감을 나타내고, 치수안정성을 높이고 있다. 인조대리석은 유기계와 무기계 인조대리석으로 나눌수 있으며 유기계 인조대리석은 MMA 수지와 같은 유기물에 ATH (Aluminium Trihydrate)와 같은 충전제와 표면처리제, 가교제, 경화제, 분산제, 착색제 등의 첨가제를 넣은 후 열가소성 아크릴계 수지로 경화시킨 후 압축하여 판상으로 제조한다. 그리고 연마, 절단 등의 후가공 과정을 거쳐 다양한 질감과 디자인을 지닌 제품을 만들어낸다.

무기계 인조대리석은 Fig. 4와 같이 실리카, 불포화폴리에스테르수지, 무기질 안료 등의 혼합물을 진공 압축 성형한 후 제품 표면을 광택 연마 또는 블라스트 처리를 하여 만들고 있다. 실리카와 같은 무기물의 함량이 높은 무기계 인조대리석은 외관이 자연석과 더 흡사하고 강도도 높은 편이지만 가격이 상대적으로 비싸서 아직까지 국내 생산 비중이 크지 않은 편이다. 무기계 인조대리석 시장은 2006년 기준 약 300억 원 규모로 전체 인조 대리석 시장의 약 20% 이상을 차지한 것으로 나타났으며, 고급 소재 부문에서의 수요 증가에 힘입어 2012년 까지 연평균 20%이상의 성장세를 보이며 40%의 시장 점유율을 보일 것으로 예상되고 있다. 현재 무기계 인조대리석의 원재료로 사용되는 실리카 샌드의 가격이 비싸기 때문에 이를 대신하여 폐유리 분말을 이용하는 연구가 진행 중에 있다³⁾.

4.4. PVB 필름 재활용

PVB는 폴리비닐알코올과 부틸알데히드에서 만들어지는 백색 비수용성인 폴리비닐아세탈의 일종으로 주로 안전유리의 중간막으로 사용되어 주로 자동차 및 건축유리에 이용되고 있다. PVB는 뛰어난 수지내 결합력과 소재 표면과의 뛰어난 부착력을 가지고 있으며 유연성



Fig. 5. Recycled PVB products of Shark solutions company.

을 가진 뛰어난 강인성과 광학적 투명성이 우수하다. 유럽에서는 매년 폐자동차로부터 48만 톤의 접합유리가 발생하고 있으며 폐기물 발생량이 과약되지 않고 있는 건축용 폐 접합유리는 자동차용에 비해 더 많을 것으로 예상되고 있다. 접합유리로부터 PVB 필름을 재활용하면 약 750원/kg 정도의 경제적 이익이 발생할 것으로 기대되고 있으며, 덴마크의 Shark solutions사는 자동차용 유리에 사용된 PVB를 회수/재생하여 제품화하고 있다. 재활용된 PVB는 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 고유의 특성을 이용하여 수성 바인더와 혼합하거나 자체로 페인트 또는 잉크의 바인더로 사용되고 있다. 듀폰사는 접합유리의 필름으로 100% 재활용된 PVB를 이용하여 만든 Dupont™ Butacite® G 제품 생산 공장을 건립하였으나, 이는 생산 공정 중에 발생하는 스크랩을 이용한 것으로서 실질적인 폐유리 재활용으로는 보기 어려운 상황이다. Shark solutions 및 듀폰사 외에 EI Waste solutions Ltd (영국), Datam Manufacturing (미국), Greenway Polymers Ltd (영국) 등의 소규모 회사에서 바람막이 유리, 창유리 등으로부터 PVB 재활용 사업을 하고 있다.

5. 맺음말

자동차의 수요는 국가 경제력이 커짐에 따라 지속적으로 증가될 것으로 보이며, 그에 따라 폐차 및 자동차 폐유리의 발생량도 비례하여 증가될 것으로 예상되고 있다. 현재 국내 자원순환법에서는 폐유리 항목에 대해 명시되어 있지 않아, 폐자동차 유리가 따로 분리되지 않고 처리되고 있는 실정이다. 2015년 국내 자동차 재활

용율 범정부목표가 95% 이상으로 상향조정되기 때문에 재활용율 증대를 위한 일환 중 하나로, 폐유리의 재활용 가능성을 검토해 볼 필요가 있는데, 지금까지 자동차 폐유리는 대부분 ASR에 포함되어 소각 및 매립되고 있으며 일부 재활용업체를 통해서 유리분말로 제조되고 있는 것으로 확인되었다. 또한 자동차 폐유리를 이용하여 건축용 자재로 재활용하는 기술개발은 이미 이루어졌으나, 널리 상용화되지 못하고 있으며 일부 유리 회사에서는 코팅 되어있지 않거나 필름이 삽입되어 있지 않은 측면유리를 회수해서 재활용하기도 하지만 범용되어 재활용되고 있지 않다.

자동차 폐유리를 재활용하기 위해서는 자동차 해체 작업 시 유용부품을 제외한 ASR 형태로 부터 분리하거나 폐차에서 직접적으로 유리 부분만 따로 분리해야 하는 추가 공정이 필요하며 자동차에 사용되는 접합유리의 경우, 유리와 유리 사이에 들어있는 PVB를 제거하는 공정이 수반되어야 한다. 재활용되는 폐유리는 현재 저가로 판매되고 있어서 경제적 이익이 별로 없지만 최근에는 재활용 유리의 고순도화를 통해서 상대적인 고부가가치 제품으로 생산하고자하는 연구가 진행되고 있다. 또한 폐 PVB는 재활용 기술의 부재로 인해 전량 폐기처리 되고 있지만, 앞으로는 관련 기술 개발을 통해서 재활용해야 할 것으로 생각된다. 이러한 자동차 폐유리 재활용 연구는 경제성이 부족하기 때문에 기업에서 주도적으로 연구하는 것은 어렵기 때문에 자원회수와 환경보호 측면에서 국가적인 지원이 필요할 것으로 전망된다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 지원을 받는 글로벌 탑 환경기술 개발사업의 일환으로 수행되었기에 감사드립니다. (과제 번호: 2014001170002).

References

1. Resource Recycling R&D Center, The Korean Institute of Resources Recycling 2009 : Recycling ear book, Chung Moon Gak.
2. Hyun Seon Hong et al., 2013 : *Overview and Future Concerns for Recycling Glass Wastes*, Journal of Korean Institute of Resources Recycling, 22(4), pp. 22-32.
3. Hyun Tae Joung et al., 2006 : *Properties of automobile Waste Glass and a Study of Manufacturing Technique of*

Artificial Marble, Journal of Korea Society of Waste Management, 23(5), pp. 359-365.

4. The national academy of engineering of Korea, 2009 : Policy proposal of engineers for leading Korea, pp 68-81.
5. Korea Environmental Industry & Technology Institute, 2011 : Report on environmental issues in Europe, 78.
6. Shark Solution: <http://www.shark-solutions.com/>
7. Miyeon Ryu et al., 2004 : *Study on Reverse Supply Chain of End of Life Vehicle For the Enhanced Recycle Performance*, Korean Institute of Industrial Engineers, pp. 339-342.
8. Korea Fire-rating Building Material Association: <http://www.kfbma.org/>
9. Jang-Su Lee et al., 2013 : *A Study on Clay Brick Manufacturing with Powders of CRT Glass Waste*, Journal of Korea Society of Waste Management, 30(1), pp. 86-93.



윤진호

- 서울시립대학교 신소재공학과 공학박사
- 현재 고등기술연구원 신소재공정센터 선임연구원



박경수

- 고려대학교 신소재공학과 공학박사
- 현재 고등기술연구원 신소재공정센터 선임연구원



홍명환

- 한양대학교 신소재공학과 공학석사
- 현재 고등기술연구원 신소재공정센터 연구원



박재량

- 충남대학교 정밀공업화학공학과 공학석사
- 현재 고등기술연구원 신소재공정센터 선임연구원



이찬기

- 일본 큐슈대 물질이공학과 공학박사
- 현재 고등기술연구원 신소재공정센터 수석연구원