

FRP선박의 실용적 재활용 방법 연구

윤 구 영[†]

홍익대학교 과학기술대학 기계정보공학과

Developing Practical Recycling methods of FRP Boats

Koo Young Yoon[†]

Department of mechano-Infomatics and Design Engineering, Hongik University,
Jochiwon Chung-Nam 339-701, Korea

요 약

FRP선박의 recycle에 대한 현재의 연구방향은 여러 가지로 분류 할 수 있다, 그러나 현재의 기술적, 사회경제적 관점에서 가장 선호되는 방법은 '기계적 방법'으로 파쇄와 분쇄를 거친 후 화학적 처리 또는 추가 첨가제 등을 활용하여 재활용 또는 재사용하는 방법이다. 따라서 세계 각국에서는 FRP선박의 폐처리 또는 재활용(재자원화)을 위하여 실용성과 안정성을 지니는 많은 기계적 방법에 대한 연구 개발을 진행하여왔다. 그러나 많은 연구가 진행되어 왔음에도 기계적 처리 방법의 두 가지 문제, 즉 파쇄공정 중의 2차오염 및 재자원화 용도의 한계가 아직도 기계적 재활용의 확대를 어렵게 하고 있다. 본 논문에서는 이 두 문제에 대한 적극적 해결 방안으로서 FRP의 복합재료특성(직교 이방성과 복합적층 구조 등)을 응용한 파쇄 및 파쇄물의 친환경적 분류 처리 방안을 설명하고자 한다.

Abstract – Since 1990s, these many researchers have been fully involved in developing recycling methods for FRP boats. There are four basic classes of recycling covered in the literature. the first is “Mechanical recycling” which involves shredding and grinding of the scrap FRP in a new product. Despite of the safety hazards, mechanical recycling is one of the simpler and more technically proven methods. Recent researchers should be more interested in these methods. It is fact that most of FRP wastes are depended on incineration or reclamation. Because it is made up of reinforced fiber glass, it is very difficult to break into pieces. By the disposing of waste FRP this way, it also occurs secondary problem such as air pollution and unacceptable noise. This study is to propose a new method which is efficient and environment friendly waste FRP regenerating.

Keywords: FRP Recycle(FRP재활용), FRP Boats(FRP선박), Waste FRP Regenerating(폐FRP재자원화), Eco-friendly waste FRP recycling(친환경적 FRP재활용)

1. 서 론

레저 보트 및 소형 어선, 육상 pool등에 사용되는 FRP(fiber reinforced plastics, or fiberglass)는 그 재질의 우수성으로 인하여 국내외적으로 지난 50여 년간 제작되어 왔다. 2006년 해양수산통계연보에 의하면 우리나라 총어선(9만천여척)의 70% 이상이 FRP어선이며, 폐기 대상도 1만 6천 여척에 이르는 것으로 조사되었다. 반면에 FRP선박의 폐선 처리는 재질의 내구성과 재료에 포함된 열경화성 수지 등으로 인하여 폐처리가 매우 어려운 것으로 알려져 있으며, 지난 50년간 폐기된 FRP선박의 해상 환경오염 문제를 해결하기 위한 연구(Fukada[2006], Shoji[2003], 김용섭[2002])

는 꾸준히 이루어져 왔으나 아직도 경제적 관점에서의 실용적 방안은 확립되지 않고 있다.

최근의 모든 제조업에 있어서, 지속 가능한 재료(sustainable composites)의 사용은 전 세계적 추세이다. 반면, 재생 불가로 알려진 FRP는 일본과 유럽 등에서는 가장 심각한 기피 재질 군으로 분류되었다. 따라서 모든 생산업체에는 3R(Reduce, Reuse and Recycle)의 기술을 자체적으로 배양하도록 강제 되고 있다. 특히 유럽연합(EU)은 2004년 이후로 육상매립을 금지하고 또한 재사용 강제 규정인 “Green FRP Recycling Label”을 2005년부터 실시하고 있다(EuCIA[2005]). 1990년대 초부터 폐FRP 선박의 처리를 위하여, 파쇄, 소각, 열분해 또는 근해 어조 활용 등 많은 연구(김용섭[2002])를 시행하여 왔으나 FRP선박 재활용에 있어서 큰

[†]Corresponding author: kyyoon@hongik.ac.kr

진전을 보이지 못하고 있다. 미주 대륙의 경우는 캐나다에서는 적극적 생산 억제로서, 남미 대륙에서는 유럽의 추세를 따르고 있으며 미국에서는 옥상 매립을 아직도 실시하고 있다(Bartholomew[2004]). 따라서 현재의 FRP선박의 폐처리 현황은 일본과 유럽연합 등의 환경 선진국에서는 적극적 금지로 법적 재활용을 생산자에게 강제 하고 있다. 우리나라를 포함한 대부분의 국가에서는 법적 금지 기반을 만들어 가고 있는 현실로서 빠른 시간 안에 모든 국가에서 FRP 폐선 처리는 법적으로 불가능 하여지고 재활용 또는 재사용의 강제성이 생산자에게 강제될 것으로 예상된다. 그러므로 FRP 폐선의 현실성(경제성) 있는 재활용기술의 정립은 전 세계적 바람이 되고 있다. FRP선박의 recycle에 대한 현재의 연구방향은 크게 4가지로 분류 할 수 있다(윤구영, [2006]), 첫째는 '기계적 방법'으로 파쇄와 분쇄를 거친 후 화학적 처리 또는 추가 첨가제 등을 활용하여 재활용 또는 재사용하는 방법, 두 번째는 '열분해방법'으로서 소각을 통한 열에너지 활용 또는 건류 가스 자원화 방법, 세 번째는 '화학적 처리 방법'으로써 FRP를 화학적 방법으로 재분해하여 부가가치를 지닌 2차 물질로 개발하는 방법, 마지막 방법으로는 앞서의 방법들을 공정 단계별로 융합하는 방안으로서 현재 아이디어 차원의 연구가 진행되고 있는 실정이다. 폐FRP를 1차 파쇄를 통하여 적정한 크기를 만든 후 소각을 통한 열에너지 활용과 비소각을 통한 건류 자원화 기술도 일본 등에서 매우 활발하다. 이 방법의 가장 큰 단점은 소각 또는 건류 가스 자원화 시 발생하는 2차 오염 물질의 제어에 있어 많은 경제적, 기술적 비용을 발생하므로 산업현장에서 해당 기술의 정착이 어려움을 받고 있다(김용섭[2002]). Shibata[2006]은 용해성을 높이기 위하여 FRP에 사용되는 수지를 열경화성(Thermoset)에서 열가소성(Thermoplastics) 수지를 사용할 것을 제안 하였으며 이 방안은 재사용율이 강화되고 있는 유럽에서 가장 많이 쓰이고 있다(Defosse[2003]). 본 논문에서는 세계 각국의 FRP선박의 폐처리 현황과 현재의 기술 여건에서 가장 실용성과 안정성을 지닌 방법으로 기계적 방법에 대한 새로운 방법으로 재료의 이방성과 복합적응구조를 고려한 파쇄시스템과 파쇄 결과물인 유리섬유와 수지분말의 효율적 수분해 시스템을 설명 하고자한다.

FRP(fiber reinforced plastics, or fiberglass)재료는 그 재료의 고특성(고강도, 내구성 및 내부식성 등)으로 인하여 여러 분야의 핵심 구조재료로, 널리 쓰이고 있는 소재이다. 이와 같이 수많은 분야에서 FRP재료가 각광받고 있으나 그 재료의 장점인 내구성 등으로 인하여 폐재료 처리에 있어서 매우 큰 어려움에 직면하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 최근에 FRP의 recycle에 대한 많은 연구(윤구영, [2007])들이 진행되어 왔다. 지금까지의 연구 결과에 의하면 폐FRP를 미분쇄하여 경량, 고강도의 건축용 소재 및 여러 가지 용도의 충전제로 적용 할 수 있는 것으로 나타났다(황의환, [2002]). 이 중에서 경제적인 측면과 현실성을 고려해 볼 때 콘크리트 제품에 골재를 폐FRP로 치환하는 방법이 연구되어 왔다. 지금까지의 연구 결과를 살펴보면 폐FRP로부터 재조된 FRP 미분말과 FRP유리섬유를 콘크리트에 첨가재로서 사용하였을 경

우 콘크리트 골재로서 재활용(material recycle) 가능성이 있다는 결론을 얻은 바 있다. 국내의 연구 결과로는 옥조 생산 시 발생하는 FRP 폐기물을 분쇄하여 석분과 일정 비율로 혼합하여 충전한 계면 강화 복합재료를 제조하고 기계적 물성을 실험한 결과 물리 화학적으로 안정한 결합을 이루고 있으며 pull out 현상이 발생하지 않음을 확인하였다. 그 밖에도 폐FRP를 이용한 폴리머 시멘트의 기초 물성 연구와 여기에 사용하는 혼화제와 제조 기술에 따른 특성에 관한 연구결과도 발표되었다(윤구영[2007], 황의환[2002]).

일반적으로 국내에서는 폐선에서 나오는 FRP의 경우 대부분이 매립이나 소각 후 매립에 의존하고 있다. 이 경우 2차적으로 심각한 환경 문제가 발생하게 된다. 이 문제를 해결하기 위하여 폐FRP 선박전용 파쇄기 설계에 관한 연구가 진행되었다(윤구영[2005]). 또한 현재 국내에서 유일한 재활용용도인 시멘트 제품의 경우, 원가가 매우 낮은 것을 감안한다면 폐FRP를 재활용하기 위한 선결 과제는 파쇄공정의 비용을 최소화 할 수 있는 FRP 전용 파쇄기를 이용하는 것이 가장 효율적인 방법이다. 또한 기존의 재활용사업체의 경우 작업 환경이 매우 열악(무작위 파쇄로 인하여 과도한 소음 및 분진 등)하며 파쇄물의 재료적 혼재(유리장섬유, 수지분말, 유리섬유분말 등)로 인한 재활용성 저하 등의 문제를 갖고 있어, 이를 해결할 수 있는 일괄 처리 system의 개발이 요구되고 있다. 따라서 본 연구는 기존의 파쇄기의 파쇄효율을 크게 개선한 새로운 일괄 처리 system개발과 효과적이며 친환경적인 파쇄물 분류 시스템을 제안하고자 한다. 이 방법의 기본 구조는 이미 특허를 출원 하였다(윤구영, [2005]).

2. 본 론

우선 본 논문에서 다루는 FRP선박의 FRP종류는 hand lay up 방식에 의한 제조 기법으로 만들어진 종류를 칭한다. FRP는 생산 방법에 따라 그 구조가 달라지므로 폐처리(재활용) 방법도 달라져야 하므로 여기서는 선박 제조(옥상pool 포함)에 쓰이는 FRP를 한정하여 그 재활용 방법에 대하여 설명하고자 한다. 1990년대 이후 개발된 폐FRP 선박의 recycle에 대한 현재의 연구방향은 크게 4가지로 분류 할 수 있다(Bartholomew[2004]). 개발된 방법 중 가장 현실적 방법은 소위 '기계적 방법'으로써 마이크로 단위의 초미립자(3 μm)에서부터 수십 mm 단위의 판상파편까지 파쇄와 분쇄를 거친 후 화학적 처리 또는 추가 첨가제 등을 활용하여 재활용 또는 재사용하는 방법(황의환[2002], Shoji[2003])으로서 파쇄과정 중 소음과 분진 유발 등의 단점이 있다. 세계 각국의 FRP선박의 폐처리 현황(윤구영[2006])과 현재의 기술 여건에서 가장 실용성과 안정성을 지닌 방법으로 여겨지는 기계적 방법에 대한 심도 있는 연구(윤구영[2005])가 진행되어왔다. 현재 사용되는 기계적 처리방법의 구체적 내용은 다음과 같다.

2.1 기계적 처리방법

기계적 방법이란 건축 구조물의 철거와 같은 process를 통하여

Table 1. The noise level of crushing waste FRP

횃수	측정위치	
	50 cm	1 m
1	98.7 dB	93.4 dB
2	99.4 dB	94.8 dB
3	100.5 dB	96.6 dB
4	99.3 dB	92.3 dB
평균	99.5 dB	94.3 dB

전처리단계(선박을 1차 파쇄 하여 취급 가능한 크기를 만드는 것), 파쇄단계(수십 mm 정도의 크기로 파쇄 하는 것) 그리고 마지막 단계로서 분쇄를 실시하는 데 최종 목표크기는 극성을 부여하여 반도체 재료로 활용하기 위한 초미립자(3 μm) 크기에서부터 콘크리트의 잔골재 대체용으로 쓰이는 수 mm 또 콘크리트의 섬유강화재 대용으로 쓰이는 수 cm 까지 매우 다양하다(윤규영, 2005). 재활용된 재료의 사용 방법은 Table 2에 자세히 설명되어 있다. 기계적 방법의 장점은 가장 간단하며, 실용적(기술적측면)으로 여겨지고 있다 (Bartholomew[2004]). 이 방법의 연구는 일본의 경우 지난 90년대 이후로 매우 심도 있게 진행되어 왔으나 재활용 용처 (처리비용과 처리 용량 관점에서)의 부족으로 산업 현장에서 크게 활용되지 못하고 있는 현실이다. 또한 국내의 경우는 파쇄시 발생하는 3가지 난관(소음, 분진, 유리섬유와 수지의 혼합)에 직면하여 전국적으로 폐 FRP선박의 해상투기가 이루어지고 있다(김용섭[2002]).

2.2 기계적 처리방법의 문제

2.2.1 과도한 파쇄 에너지

FRP는 복합재료의 특성으로 재질의 고강도, 고내구성 및 내부식성 등의 특성을 지니고 있는 소재이다. 그러므로 FRP를 효율적으로 파쇄 하는 작업은 매우 어려운 일인 것이다. 기존 파쇄시스템의 두 가지 문제점은, 첫째 복합재료의 고내구성에 기인한 과도한 파쇄에너지(과도한 전력 소모)문제로 이로 인하여 재활용업체의 운영비용 증가 및 고출력 파쇄장치 구동으로 인한 다량의 비산 분진 및 소음발생 등의 문제이다. 국내 작업장의 비산분진(유리분말과 수지분말이 혼재된)에 대한 처리시설 구비는 매우 미비한 실정이며, 상대적으로 관리가 소홀한 구동 소음의 경우는 작업자에게는 한도를 넘어서고 있는 현실이다.

기존 파쇄기의 구동시 발생하는 소음은 Table 1에 나타낸 것처럼 50 cm 떨어진 곳에서는 최저 98.7 db에서 최고 100.5 dB이 나왔고, 100 cm 떨어진 곳에서는 최저 92.3 dB에서 최고 96.6 dB이 나왔으므로 규정치 이상임을 알 수 있다. 따라서 이에 대한 대책이 절실하다.

두 번째 문제점으로 현재의 파쇄 시스템은 파쇄물의 상당부분을 차지하고 있는 유리장섬유를 제외한 분말의 경우, 효과적 재활용을 위하여 필요한 공정인 수지분말과 유리섬유 분말을 분리해 내는 문제이다.

파쇄한 입자의 크기가 커진다고 하여도 수지와 유리섬유 분말이 혼합된 미분말은 여전히 재활용하기 어려운 파쇄물로 남아있다. 또한 그 중 유리섬유분말(유리단섬유)은 발암 의심 물질로 보고되고 있어 특별한 관리가 필요하다(IARC, [1988]). 집진 설비 장치에 원심분리 기능을 추가하여 유리섬유분말과 수지분말을 분리하는 것이 가장 효율적인 방법이라고 할 수 있다. 또한 유리섬유 분말이 제거된 수지 분말은 연료용 재료와 같은 또 다른 용도로 재활용될 수 있다.

2.3 복합 재료의 응력 및 파괴에너지 해석

2.3.1 응력해석

복합재료의 역학적 분석은 분산상과 매트리스상의 성질이 다르기 때문에 엄밀히는 균질재가 아니지만 분산상의 상태가 균질하다고 가정하여 균질 직교 이방성체라고 생각하여 취급한다. 만일 직사각형 좌표계의 직교하는 두 방향을 L, T라 하고 이 방향이 복합재료 특성의 대칭축 방향이라 하며, T방향에서 θ만큼 기울어진 방향에 x축, 이것에 직각을 y축이라 하면, 응력과 변형률의 관계는 다음 식 1, 2와 같다.

$$\epsilon_L = \frac{\sigma_L}{E_L} - \nu_{TL} \frac{\sigma_T}{E_T} \tag{1}$$

$$\epsilon_T = -\nu_{TL} \frac{\sigma_L}{E_L} + \frac{\sigma_T}{E_T}, \gamma_{LT} = \frac{\tau_{LT}}{G_{LT}} \tag{2}$$

2.3.2 파괴에너지 해석

복합재료의 파괴에너지를 계산하려면 포위 법에 의한 탄성계수의 상한과 하한을 정의하면서 구해야 한다. 먼저 탄성계수의 상한

Table 2. Mechanical Recycling for FRP boats

구분	주요처리방법	연구책임자 혹은 기관	연도	연구내용 요약
국내	폴리머시멘트	이병기 외	1998	육상에서 발생한 폐 FRP를 분쇄하여 시멘트 모르타르를 만들고 압축강도 등의 물성을 측정
국내	시멘트 원료화	노재성	1999	폐FRP의 재활용을 위하여 시멘트 소성원료화 기술을 개발
국내	폴리머시멘트	황택성 외	2000	육조 생산 시 발생하는 FRP와 석재 가공공장에서 발생하는 석분 슬러지를 재활용하기 위하여 불포화 에스테르 매트릭스 수지에 분말을 충전하여 복합재료를 제조하고 기계적 물성과 계면을 관찰
국외	폴리머시멘트	中川宗男	1996 1998	폐FRP를 세골재로 사용할 경우 대체비율이 슬럼프 특성, 리이딩 특성, 응결성 그리고 압축강도에 미치는 영향에 대하여 연구
국외	경량 도전성 재료화	아사오카	2001	FRP에서 얻은 미립자로 특수하게 처리하여 무전해 금속을 도금 하여 도전성 경량재료로 개발

은 「어떤 경계 조건을 만족하는 변위로부터 얻어지고, 전 체적에 대해서 적분한 변형 에너지는 진변위 분포에 대한 것이 최소로 된다.」에 의해 구할 수 있는데 만약 x축 방향으로 일정하게 인장된 경우 그 변형 성분은 다음 식 3과 같다.

$$\epsilon_x = \epsilon, \epsilon_y = \epsilon_z = -\nu\epsilon, \gamma_{xy} = \gamma_{yz} = \gamma_{zx} = 0 \tag{3}$$

따라서 이 변형에 대한 매트릭스상과 분산상에 대해서 응력성분을 구한 후 복합재료 전체에 대한 진탄성계수를 E라 할 때, 파괴에너지, U는 다음 식 4와 같다(이지환, [1993]).

$$U = \left(\frac{1}{2}\right)E\epsilon^2V = \left(\frac{1}{2E}\right)\sigma^2V \tag{4}$$

위에서 유도한 에너지식과 기존의 물성치를 가지고 이제까지 실험한 FRP분쇄에 대한 에너지의 효율성을 계산하였다. FRP는 위에서 알아본 것처럼 적층 판의 특성상 L 방향과 T방향으로 나누어 계산하여야 한다. FRP물성치(유리/에폭시 일반 강화재)와 식 4를 이용하면 다음 식 5, 6과 같은 결과를 얻을 수 있다. 단 체적 V는 일정하다고 가정한다.

$$U_L = \left(\frac{1}{2E_L}\right)\sigma_L^2V = 23.33V \tag{5}$$

$$U_T = \left(\frac{1}{2E_T}\right)\sigma_T^2V = V \tag{6}$$

이 결과는 횡단방향으로 cutting을 하였을 때 매우 적은 에너지 (1/23)로서 파쇄 할 수 있다는 것을 보여준다. 또한 FRP는 복합적층 구조로서, 특히 20여년이 지난 폐FRP 선박의 경우는 강도용이 아닌 형상구성용으로 사용된 매트층(chopped strand glass mat)은 수지를 많이 함유하고 있으므로 로빙층(roving cloth)에 비하여 상당 수준 재료의 변질(degrading)이 진행되어 강도 특성이 매우 취약한 상태이므로 적층분리와 횡단방향 절단을 응용한 파쇄시스템을 구상하게 되었다.

2.4 새로운 파쇄 mechanism

새로운 파쇄mechanism은 파쇄물의 투입방식의 최적화(파쇄면

및 파쇄각도 일정)(Fig. 1)를 통한 파쇄물의 크기 조절을 가능(8 mm 또는 16 mm 등 일정 크기 유지)하게 하였다. 또한 파괴에너지 감소로 인하여 구동 전력의 절감 및 분진 발생 감소 및 소음 절감 등의 효과를 얻게 되어 재활용 사업의 경제성을 제고시켜 주리라 여겨진다. 또한 소음, 분진 절감(밀폐 구조 및 개선된 파쇄mechanism) 등의 작업 환경의 개선으로 2차 환경오염을 방지하게 되었다.

2.4.1 새로운 FRP 파쇄 System의 구동 개요

다음그림(Fig. 1)은 파쇄시스템의 구동개요를 설명한 것이다.

그림(a): 1, 2번 피스톤 모두 수축된 상태로 투입구가 열린 상태로 파쇄 대기상태.

그림(b): 측면 투입구를 통하여 FRP를 투입함.

그림(c): 1번 피스톤이 FRP를 밀어서 블레이드에 대하여 정확한 파쇄 각을 유지.

그림(d): 투입구는 닫히고 2번 피스톤이 FRP를 홀딩하면서 파쇄 시작.

그림(e): 파쇄가 완전히 끝나면 2번 피스톤이 상승하면서 1번 피스톤이 수축하고 투입구는 다시 열리게 된다.

2.4.2 새로운 파쇄물 일괄 분류 장치

기존의 파쇄기 시스템의 문제점인 열악한 작업 환경의 문제를 해결하기 위해서는 일괄적인 파쇄 공정의 도입이 필요하다. 또한 폐 FRP를 파쇄한 후 유리섬유분말과 수지분말을 분류하는 공정은 집진 설비를 도입한 후 원심분리의 기능을 추가한다. 파쇄기와 후처리 공정을 모두 격리된 작업 공간에서 이루어지게 함으로써 방진뿐만 아니라 방음 효과도 달성할 수 있게 되었다. Fig. 2는 일괄공정의 개략도를 보여주고 있다.

파쇄시 발생하는 분진과 소음을 격리시키기 위하여 투입구의 개폐를 실행한다. 기존 파쇄기의 모든 열린 접합 부분을 밀봉형태로 설계 변경하여 분진과 소음이 밖으로 전달되지 않도록 하였다. 뿐만 아니라 블레이드 바로 아래에서는 물을 직접 투입하여 분진과 수분의 결합이 용이하게 되며 혼합공정으로 인한 공기 흡입을 통하여 분진이 외부로 배출되지 않도록 한다.

유리 섬유에 붙어 있는 모든 수지가루(혹은 유리섬유의 가루 분말)를 제거한다. 이것은 폴리머 시멘트를 제작하였을 때 가루 성분이 많으면 강도가 저하하기 때문이다. 분리 장치의 원리는 수지

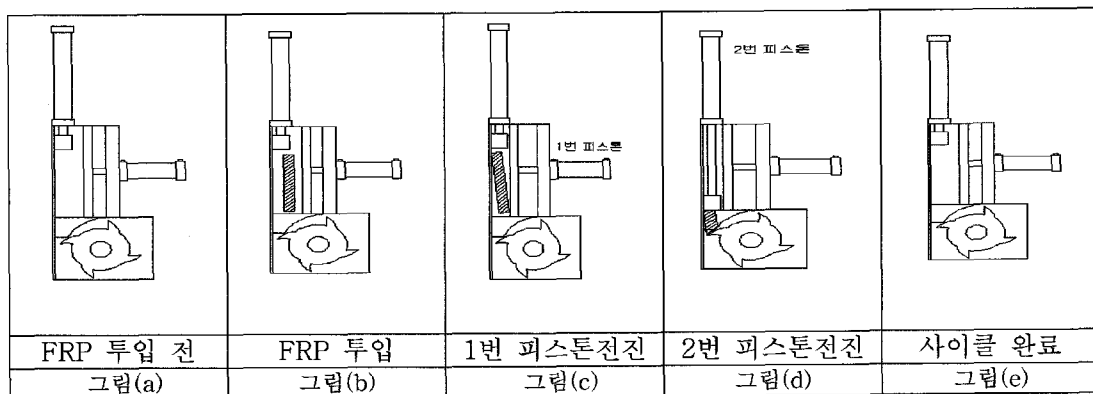


Fig. 1. New FRP crushing system.

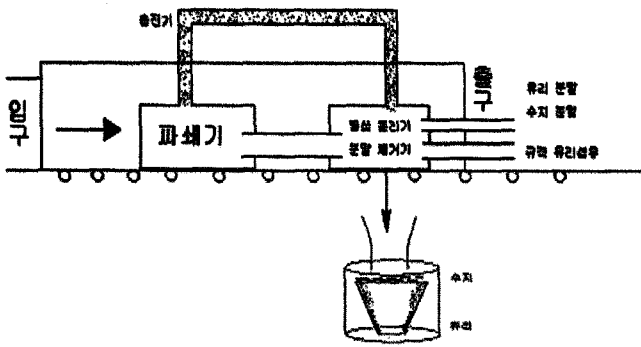


Fig. 2. Total FRP recycling system.

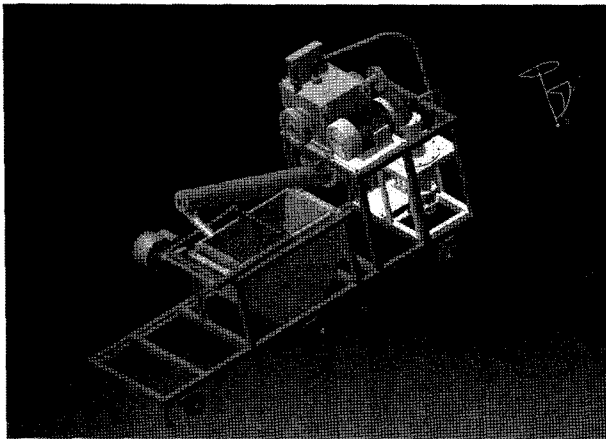


Fig. 3. Total recycling system with Catia 3D.

와 유리섬유의 비중차를 이용하여 물속에서 분리하는데, 분리조가 2개로 되어 있어서 비중이 작아 물위에 뜨는 수지 혹은 유리 가루는 물을 따라 제2 분리조로 흘러가고 비중이 큰 유리섬유는 제1 분리조에 가라앉게 된다.

혼합파이프 안에서는 스쿠루가 회전하며 물과 유리섬유의 혼합뿐만 아니라 분진 가루의 비산 방지 및 유리섬유에 부착된 수지 가루의 제거가 동시에 이루어진다. Fig. 3은 일괄처리시스템의 3D 모델을 보여준다. 파쇄물 1차 분류 장치(수지와 유리섬유 분리)와 이프에서 나온 후 첫 번째 통)는 모터에 의하여 인출된 파쇄 혼합물(주로 장방형 유리섬유와 수지 및 유리섬유 가루)을 와류가 발생하는 수조 탱크에 투입하여 일정 크기(8 mm와 16 mm)의 유리섬유 만이 분리되도록 한다. 파쇄기에서 파쇄된 FRP폐기물은 모델의 앞쪽에 있는 가로로 된 관속에 설치된 스쿠루 이송장치에 의하여 분리조로 이송되는데, 이 과정에 압축 공기를 동시에 공급하여 파쇄된 폐기물의 운동을 활발히 하여 유리섬유와 수지를 쉽게 분리할 수 있는 역할을 겸하게 하였다. 이송장치를 통하여 물이 채워진 제1 분리조에 들어온 폐기물은 유리 섬유와 수지가 분리되는데, 그 원리는 수지의 비중이 유리섬유보다 작은 점을 이용하였는데, 물 위에 뜬 수지는 제1 분리조에서 제2 분리조로 넘쳐흐르는 물에 의하여 제2 분리조로 넘어가고 가라앉은 유리섬유는 제1 분리조에 남게 된다.

3. 새로운 FRP 재활용시스템의 활용

3.1 현재의 국내의 FRP선박 폐기 처리에 대한 문제점

국내의 현황은 현실적 방안인 토양 매립과 완전 소각의 방법을 선택 하고 있으나 다음과 같은 문제점을 갖고 있다.

① 매립 시 문제점

- 매립장 확보에 대한 어려움과 국토 이용의 효율적 측면 상 문제.
- 매립한 경우 FRP가 자연분해 되어 토양이 원 상태로 회복하는데 소요 되는 기간이 거의 무한대로서 국토의 효과적 활용 측면에 있어서 현실적 난관.

② 소각 처리 시 문제점

- FRP는 열경화성 수지로 제조되어 있기 때문에 현재와 같은 일반폐기물 소각로에서 소각할 경우 소각률이 매우 낮고, 소각 시 환경을 오염시키는 다량의 유해물질을 배출하게 된다.
- 열분해와 같은 방법을 채택할 경우는 설비 투자비의 과다로 인하여 경제성이 낮고 2차환경 오염 또한 여전히 문제점으로 남게 된다.

3.2 처리 비용 절감을 통한 재활용 처리 방안

FRP를 분말로 파쇄 하여 모래와 함께 골재로 활용하는 방법으로서 FRP를 분말 형태로 파쇄 하여 시멘트 모르타르에 잔골재로 활용하는 방법이 제시되고 있다. 처리 방법이 간단하기는 하지만 골재가격에 비하여 처리 비용이 너무 많이 들고 FRP 분말을 잔골재로 사용할 경우 시멘트 모르타르의 강도가 떨어지므로 강도 보강을 위하여 혼화제를 첨가하여야 하기 때문에 추가 비용이 발생하는 등 경제적 문제로 인하여 현재 널리 활용되지 않고 있다. 따라서 새로운 파쇄시스템은 파쇄효율을 극대화하며 동시에 소음 및 분진의 문제를 해결하는 방안을 제시하게 되었다.

3.3 고부가가치의 제품 생산으로 재활용의 경제성을 높이는 방안

현재 콘크리트의 강도를 높이고 균열을 방지하기 위하여 섬유강화재를 사용한 섬유강화 콘크리트(FRC)가 개발되어 사용 중이며, 섬유강화재가 수입품의 경우 톤당 500~600만 원 정도이다. 따라서 이 섬유강화재를 대체할 수 있는 물질을 폐 FRP로부터 추출하여 환경 친화적이고 고부가 가치의 제품으로 재자원화 하기 위한 상용화 기술이 소개되었다(김용섭, [2002]).

FRP 폐기물을 섬유강화 콘크리트(FRC-Fiber Reinforced Concrete)의 섬유강화재로 재활용한 사례(윤구영[2007])는 새로운 기술 중 하나이다. 현재 FRC용 섬유 보강재는 합성수지와 금속 등 다양한 소재로 제조 되고 있으나 FRP폐기물을 재자원화 한 기술이 최초로 소개되었으며 또한 이 방법은 FRP 파쇄물의 잔골재화 기술과 더불어 사용함으로써 FRP의 재활용률을 크게 향상시킬 것으로 예상 되어진다.

앞서의 많은 연구가 지난 20여 년간 심도 있게 진행 되어 왔으며 환경오염 방지라는 사회적 당위성에 의한 법적 지원 등, FRP 재처리 산업의 기반은 매우 우호적이다. 그러나 아직도 모든 국가에서 해당산업의 활성화가 매우 미미 하며, 각국의 정책이 Reduce

정책과 생산 기피로 그 대응을 하는 이유는 재처리된 FRP와 천연 FRP의 경제성의 차이 때문이다. 따라서 현재 FRP처리의 핵심은 본 논문에서 제시한 방법을 이용하여 폐처리비용의 획기적 절감이나, 재처리된 재료의 고부가가치화를 달성할 때, 해당 산업의 활성화와 이미 제조된 수천만 톤의 폐 FRP 선박을 환경 친화적, 산업 친화적으로 처리 할 수 있는 대안이 될 것이다.

4. 결 론

현대 산업 사회에서는 가공성이 우수하고 여러 가지 장점을 가지고 있는 복합재료들을 널리 사용하고 있다. 이 중에서도 FRP는 우수한 성형성과 내구성 때문에 여러 분야에서 사용하고 있다. 하지만 활용도에 비하여 그 폐기물의 처리는 대단히 초보적인 단계에 머물러 있다. 또한 환경에 대한 관심이 높아지고 있는 친환경적 FRP 폐기물 처리는 그 연구의 필요성이 매우 커졌다. 그러므로 여러 방면에서 폐FRP의 재활용을 연구한 결과들이 발표되고 있으며, 실현 가능성이 증대된 방법도 소개되었다. 하지만 아직도 이론적인 혹은 실험실단계의 방법으로서 현실적으로는 산업생산화 기술이 미흡한 상태이다. 지금까지의 연구 결과들 중에서 가장 실용적인 재활용 방안으로 보고 된 것이 바로 FRP를 미분쇄하여 유리섬유 성분과 수지 성분을 각각 재활용하는 것이 이다. 따라서 본 논문에서 소개된 파쇄 시스템은 파쇄효율의 극대화와 작업 환경과 효율성 등을 고려한 FRP전용 파쇄 System이라 할 수 있다. FRP의 사용 범위가 늘어남에 따라 FRP 폐기물의 처리에 관한 연구는 선진 여러 나라들에서 지속적으로 시행되어 왔으며, 국내의 경우 좁은 국토와 환경을 고려할 때 현실적인 재활용 기술의 확보가 시급한 상황이다. 따라서 본 시스템의 실제적 산업화는 매우 큰 의미를 갖게 될 것이다. 또한 앞으로도 FRP의 보다 효율적인 재활용을 위한 경제적인 파쇄 System의 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

앞서 소개된 기계적 파쇄시스템은 파쇄시 소음과 분진의 문제를 해결하면서도 재처리된 재료 처리율의 증대 등으로 인하여 재활용기술의 예상 파급효과는 현재 처리 방식보다 토질과 공기에 대한 2차 환경오염이 발생하지 않는 환경 친화적인 처리 기술이다. 이 기술이 기존폐기물 처리 업계에 보급되면 폐 FRP선 처리비가 부담이 되어 해상에 방치해 두고 있거나, 불법 투기한 선박에 의하여 발생하는 해양오염을 막아 해양환경을 복원시키는 효과도 기대된다. 또한 FRP 건축폐기물의 부적절한 매립 처리에 의한 토양 오염과 수질오염의 예방에도 도움이 될 것으로 예상된다. 또한 해당 기술의 상용화에 따른 관련 재활용산업분야의 경제적 이윤발생과 고용 창출이 활발해질 것으로 예상된다. 본 논문에서 제안된 새로운 FRP파쇄시스템은 산업화 과정을 통하여 재자원화 기술(고부가 가치화)과 연계한 심도 있는 연구가 앞으로도 계속 진행되어야 할 것이다.

후 기

본 연구는 2005년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음을 밝힙니다.

참고문헌

- [1] 김용섭, 정충훈, 김백현, 2001, "열가소성 물질의 효과적인 연소제어 기수 개발", 한국해양연구원 연구보고서.
- [2] 김용섭, 윤구영, 2002, "환경친화적 FRP폐선 처리 기술 개발" 한국해양수산개발원 연구보고서.
- [3] 이지환, 문창권, 박상보, 1993, "복합재료", 원창출판사.
- [4] 윤구영, 2005, "폐FRP로부터 친환경적 유리섬유 추출 공정 개발", 결과보고서, 중기청 산학연 공동기술개발 컨소시엄사업.
- [5] 윤구영, 김용섭, 2005, "폐섬유강화 플라스틱의 파쇄장치", 실용신안 제0381047호.
- [6] 윤구영, 김용섭, 2005, "섬유강화 플라스틱의 파쇄물 분리장치", 실용신안 제0381048호.
- [7] 윤구영, 김용섭, 이승희, 2006, "FRP선박의 재활용 처리에 관한 실용적 연구 개발 동향", 한국해양환경공학회 추계학술대회, Vol. 1. pp 330-334.
- [8] 윤구영, 김용섭, 이승희, 2007, "폐 FRP 선박의 로빙층에서 분리한 유리섬유의 재활용 I: 섬유강화 모르타르의 물성에 관한 연구", 한국해양환경공학회지, Vol. 10, No. 2. pp 102-106.
- [9] 황의환, 한천구, 최재진, 이병기, 2002, "Physical Properties of Polymer Modified Mortar Containing FRP Wastes Fine Powder", J. of the Korea Concrete Institute 190-198.
- [10] Bartholomew, K., 2004, "Fiberglass Reinforced Plastics Recycling", Dec. report, MnTAP(Minnesota Technical Assistance Program).
- [11] Defosse, M, 2003, "Composites: European industry hunts for recycling solutions under new EOL-V laws", Modern Plastics, Vol.80, No.6 73.
- [12] EuCIA(European Composites Industry Association) Gener Annual Assembly, 2005 EuCIA Press Release 2005-1.
- [13] Fukada, T., Zairyo, K., 2006, "Engaging into natural resources recyclable pool through use of FRP", Engineering materials, Vol. 54, No. 4, 68-73.
- [14] IARC(International Association of Research on Cancer), 1988, Man-made mineral fiber and rsdon.
- [15] Kamata, S., Kudo, M., Shibayama, A, Qiu, J., 2003, "Study on the Strength Properties for the Recyclables Plastic Alloy Materials", J. of the Mining and Materials Processing Institute of japan, Vol. 119, no. 12, 747-754.
- [16] Shibata, K., Zairyo, K., 2006, "Desired environmental response from FRP/FRTP-FRP recycle technology using atmospheric pressure dissolution method-", Engineering materials, Vol. 54, no. 4, 58-61.
- [17] Shoji, Y., 2003, "Recycling waste FRP - From pure research to practical use-", J of the Japan Society for Composite materials, Vol. 29, no. 6, 210-216.

2007년 7월 14일 원고접수

2007년 8월 16일 수정본 채택