

FRP선박의 재처리시스템과 활용성 연구

윤 구 영[†]

홍익대학교 과학기술대학 기계정보공학과

New Practical and Eco-friendly Recycling method of FRP Boats

Koo Young Yoon[†]

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

요 약

FRP선박의 친환경적 recycle에 있어서 현재 가장 선호되는 방법은 기계적 방법에 의한 파쇄와 분쇄를 거친 후 화학적 처리 또는 추가 첨가제 등을 활용하여 재활용 또는 재사용하는 방법이다. 재활용 방법 중에서는 콘크리트 제품의 잔골재 대용으로 사용하는 것이 주된 재활용 방법이다. 따라서 세계 각국에서는 FRP선박의 재활용(재자원화)을 위하여 실용성과 안정성을 지니는 많은 기계적 처리 및 활용방법에 대한 연구 개발을 진행하여왔다. 특히 국제적으로 파쇄된 FRP재료를 폴리머시멘트에 활용한 많은 연구가 진행되어 왔음에도 기계적 처리 방법의 환경적 문제(2차 오염)와 폴리머시멘트의 활용도의 한계가 FRP재활용 사업의 확대를 어렵게 하고 있다. 본 논문에서는 FRP선박을 친환경적으로 일괄처리 할 수 있는 재처리시스템과 그 결과물을 재활용한 콘크리트제품의 실용화 가능성을 실험하였다.

Abstract – Despite of environmental problems(safety hazards), mechanical recycling of FRP boats, which involves shredding and grinding of the scrap FRP in a new product. is one of the simpler and more technically proven methods than incineration or reclamation ones. Because FRP is made up of reinforced fiber glass, it is very difficult to break into pieces. It also occurs secondary problem such as air pollution and unacceptable shredding noise level. The another urgent problem which is a serious barrier to FRP recycling is very limited reusable applications. This study is to propose a new method which is efficient and environment friendly waste FRP regenerating system. And it also have shown the polymer cement and fiber-reinforced concrete applications with the waste FRP.

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

1. 서 론

FRP(fiber reinforced plastics, or fiberglass)재료는 그 재료의 고 특성(고강도, 내구성 및 내부식성 등)으로 인하여 레저보트 및 소형 어선과 건축재료 등에 FRP를 많이 이용하고 있다. 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(김용섭[2002], Bartholomew[2004], Shoji[2003], Fukada[2006], Shibata[2006], 윤구영[2006])들이 진행되어 왔다. 지금까지의 연구 결과(Nakagawa[1996, 1998], 황의환[2002], 윤

구영[2005])에 의하면 폐FRP를 미분쇄하여 경량, 고강도의 건축용 소재 및 여러 가지 용도의 충전제로 적용 할 수 있는 것으로 나타났다. 이 중에서 경제적인 측면과 현실성을 고려해 볼 때 콘크리트 제품에 골재를 폐FRP로 치환하는 방법이 연구 되어왔다. 지금까지의 연구 결과(이병기[1998], 황택성[2000], 황의환[2002])를 살펴보면 폐FRP로부터 재활용된 FRP 미분말 및 FRP 소성회는 콘크리트 골재로서 재활용(material recycle) 가능성이 있다는 결론을 얻은 바 있다. 또한 육조 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

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

연구와 여기에 사용하는 혼화제와 제조 기술에 따른 특성에 관한 연구 결과를 발표하였다. 하지만 지금까지의 연구는 폐FRP를 이용한 폴리머 시멘트의 기초 물성과 혼화제등에 초점을 맞추고 있다.

폐FRP를 재활용하여 시멘트 제품에 첨가를 할 경우 우선 폐FRP를 미분쇄 해야 한다. 지금까지의 FRP recycle을 크게 나누면 원래의 소재로 환원하는 material recycle과 소각 및 열 회수에 의해 에너지로 환원하는 thermal recycle, 그리고 화학처리를 하여 연료로 사용하는 chemical(fuel) recycle로 분류된다. 그러나 일반적으로 폐선에서 나오는 FRP의 경우 대부분이 매립이나 소각 후 매립에 의존하고 있다. 이 경우 2차적인 환경 문제가 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 최근까지 꾸준히 이루어지고 있는 FRP의 recycle에 관한 연구 중에 경제적인 측면과 현실성을 고려해 볼 때 콘크리트 제품의 골재를 폐FRP로 치환하는 연구(김용섭[2002], 윤구영[2005])가 진행되었다. 시멘트 제품이 원가가 매우 낮은 것을 감안한다면 폐FRP를 재활용하기 위한 1차 작업은 열악한 작업환경을 개선하면서 동시에 경제성을 극대화 할 수 있는 FRP 전용 파쇄기(윤구영[2005])를 이용하는 것이다 이는 복합재료의 파괴에너지 해석(직교 이방성과 복합적층 구조, 이지환[1993])을 이용하여 가장 효율적인 파쇄방법을 제시하였다.

따라서 본 연구는 기존의 파쇄시스템을 개선한 일괄 처리 시스템개발과 폐FRP의 재활용을 위하여 단순 미분말이 아닌 폐FRP(유리섬유)를 콘크리트 제품의 잔골재 대응 가능성에 대하여 검토하고자 한다.

2. 본 론

2.1 기존 FRP 파쇄시스템

기존의 파쇄기(Fig. 1)는 호퍼(Hopper), 파쇄실 및 파쇄칼날, 프레임, 그리고, 감속기어부 및 전장품 등으로 구성되어 있으며 폐

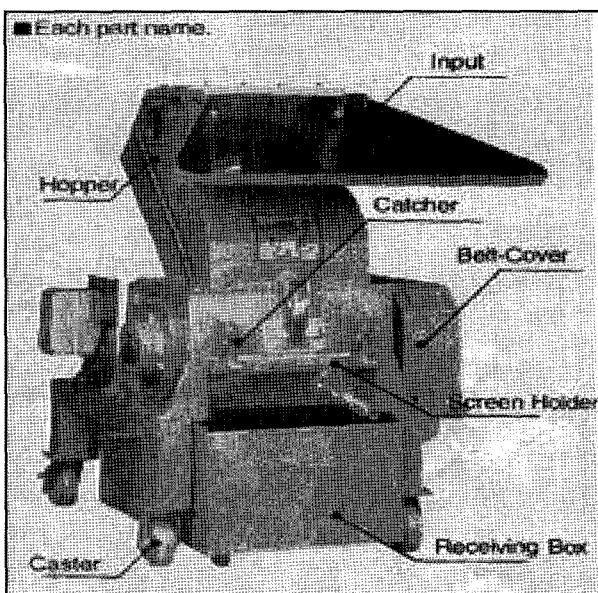


Fig. 1. Old crushing system.

FRP의 투입은 위에서 아래로 투입하는 방식이다.

기존의 방식은 파쇄물의 투입이 위쪽에서 자체의 하중에 의해 하강되어 파쇄 되는 형식이다. 따라서 불규칙 파쇄가 이루어져서 파쇄 입자의 크기에 균일도가 떨어지며 Blade의 회전운동에 의하여 파쇄물이 튀는 현상이 발생 하는 등의 안전상의 문제도 있다. 또한 파쇄물이 불규칙한 상하 운동을 하며 파쇄 되며 매우 큰 소음이 발생하였다. 이러한 문제점들을 정리하면 다음과 같다.

2.1.1 파쇄기의 비효율성

입구로 폐FRP가 투입될 때 특별한 제어 없이 자중만으로 투입이 된다. 이때 발생하는 문제점은 FRP가 쉽게 파쇄 되지 않기 때문에 날에 부딪혀 튀어 오르거나 슬라이딩 현상이 발생하는 것이다. 즉 FRP가 파쇄 되지 않고 기계만 공회전을 하는 현상이 발생하는 것이다. 이렇게 되면 기계의 효율이 저하 될 뿐만 아니라 가이드 사이로 파쇄 된 유리섬유와 수지가루가 역류하게 되어 파쇄 작업이 계속적으로 이루어지지 않는 문제점이 발생한다. 또한 기존 파쇄기의 경우 분진 비산 문제를 해결하기 위하여 투입구에 커버를 만들었다. 하지만 이 경우 근본적인 해결책이 되지 않으며 더욱이 커버로 인하여 연속적인 파쇄물의 투입이 용이하지 않게 되었다. 따라서 연속적인 파쇄물의 투입을 위해서는 어느 정도 정형화된 파쇄물의 투입 크기를 조정하는 사전작업과 함께 분진을 해결할 수 있는 근본적인 방안이 필요하다.

2.1.2. 열악한 작업 환경

파쇄공정시 비산 분진문제는 작업 환경에도 영향을 미친다. 또한 수지성분 뿐만 아니라 유리 섬유 성분 역시 작업자의 건강에 위험한 요인임은 분명하다. 또한 기존 파쇄기의 경우 소음 발생은 50 cm떨어진 곳에서는 최저 98.7 dB에서 최고 100.5 dB이 나왔고, 100 cm떨어진 곳에서는 최저 92.3 dB에서 최고 96.6 dB이 나왔으므로 규정치 이상임을 알 수 있다. 따라서 이에 대한 대책이 요구된다. 또한 파쇄기 특성상 초기 파쇄 순간에는 더 큰 소음이 발생할 수 있다.

2.1.3. 비효율적인 분리 작업

파쇄된 폐FRP는 수지와 유리섬유가 혼합된 형태로 배출되어 나온다. 이때 콘크리트에 사용하고자 하는 유리섬유를 얻기 위해서는 이를 분리해주는 작업이 필요하며 기존의 파쇄기는 이를 모두 수작업을 통해서 실행하고 있다. 이는 분리의 정확성뿐만 아니라 작업시간의 문제와 작업자의 불편 등의 문제를 유발한다.

2.2 새로운 파쇄 시스템의 개발

2.2.1 파쇄효율을 극대화

새로운 파쇄 시스템의 효율을 극대화하기 위하여서는 파쇄물을 고정된 후 복합재료의 직교 이방성을 고려한 바리 절단 방식의 파쇄방식이 가장 이상적이다. 또한 파쇄 된 유리섬유의 크기의 균질성을 높고 파쇄물이 날에 튀기는 현상을 방지하기 위하여 워터펌프와 파이프를 이용한 강제 이송시스템을 채택하는 것이 바람직하다. 그리고 보다 높은 효율을 얻기 위하여 파쇄기 날의 크기를 기존보다 더 크게 하여 폐FRP가 바리절단이 가능하게 하여야 한다.

2.2.2 방음/방진 및 수지와 유리섬유의 분리

수지 성분과 유리섬유의 분리는 작업 환경의 개선과 효율적인 파쇄 시스템을 만드는 데 중요한 부분이다. 우선 파쇄시에 발생하는 분진 비산현상은 흡진기를 설치하고 파쇄 공정이 완전히 격리될 수 있도록 하여 외부로 분진이 유출되는 것을 막아야 한다. 이렇게 되면 소음도 크게 줄어들 것으로 예상된다. 하지만 완전한 해결을 위해서는 전체 공정의 무인 자동화를 이루는 것이 가장 이상적이다. 수지 성분과 유리 섬유 성분의 분리는 비중차를 이용하여 원심 분리기를 사용한다.

2.2.3 일괄 파쇄시스템

기존의 파쇄 시스템의 문제점인 작업 환경의 열악성을 해결하기 위해서는 일괄적인 파쇄 공정의 도입으로 무인화를 이루는 것이 이상적이다. 폐FRP를 파쇄한 후 유리섬유와 수지분말을 분류하는 공정은 위에서 언급한 바와 같이 흡진 설비를 도입한 후 원심분리의 기능을 추가한다. 파쇄와 후 처리공정을 모두 격리된 작업 공간에서 이루어지게 함으로써 방진뿐만 아니라 방음 효과도 달성할 수 있을 것이다. 또한 폐선의 해체 작업에서의 효율성을 증대시키기 위하여 선박 해체용 crusher를 이용한 해체 작업과 1차 파쇄 작업을 동시에 하는 일괄작업도 필요하다. 이는 선박 해체용 crusher를 이용하여 선박을 직접 해체하면서 동시에 1차적인 파쇄작업을 실행한다. Fig. 2는 폐FRP를 파쇄 하는 일괄파쇄공정도를 나타낸다.

2.2.4 개발된 일괄처리시스템

작업 환경의 열악성을 해결하기 위해서 폐FRP를 파쇄한 후 유리섬유와 수지분말을 분류하는 공정은 집진 설비를 도입한 후 원심분리 원리의 기능을 추가한다. 파쇄기와 후처리 공정을 모두 격리된 작업 공간에서 이루어지게 함으로써 방진뿐만 아니라 방음 효과도 달성할 수 있을 것이다. 기존 파쇄기를 사용 시 15마력의 동력을 사용하여 시간당 파쇄량이 30 Kg 정도이나 개발된 파쇄시스템은 동일한 동력을 사용하여 시간당 200 Kg 파쇄가 가능하였다.

Fig. 3은 일괄공정의 실물 사진이다. 파쇄시 발생하는 분진과 소음을 격리시키기 위하여 투입구의 개폐를 실행한다. 기존 파쇄기의 모든 열린 부분을 밀봉 형태로 설계 변경하여 분진과 소음이 밖으로 전달되지 않도록 하였다. 뿐만 아니라 블레이드 바로 아래에서는 물을 직접 투입하여 분진과 수분의 결합이 용이하게 되며

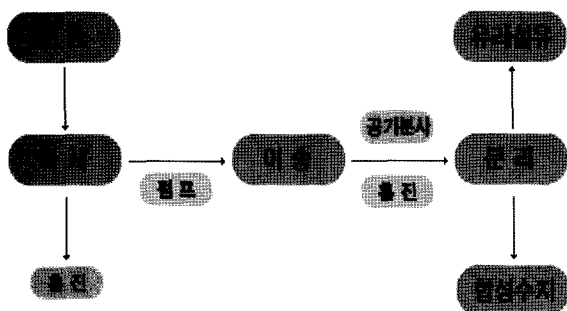


Fig. 2. Waste FRP total recycling system.

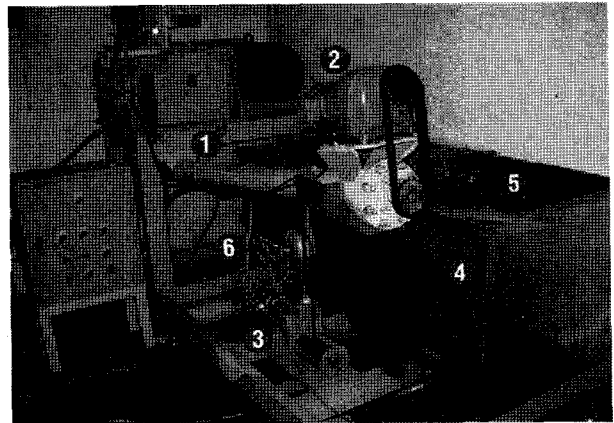


Fig. 3. New crushing system.

혼합공정으로 인한 공기 흡입을 통하여 분진이 외부로 배출되지 않도록 한다(Fig. 3-②). 혼합 파이프 안에서는 스크류가 회전하며 물과 유리섬유의 혼합 뿐 만 아니라 분진 가루의 비산 방지 및 유리섬유에 부착된 수지가루의 제거가 동시에 이루어진다(Fig. 3-③). 이것은 폴리머 시멘트를 제작하였을 때 가루 성분이 많으면 강도 저하의 원인이기 때문이다. 분리 장치의 원리는 수지와 유리섬유의 비중차를 이용하여 물속에서 분리하는데(Fig. 3-④,⑤), 분리조가 2개로 되어 있어서 비중이 작아 물위에 뜨는 수지 혹은 유리 가루는 물을 따라 제2 분리 조로 흘러가고 비중이 큰 유리 섬유는 제1 분리 조에 가라앉게 된다. 또한 공기 펌프를 이용하여 수조 상부와 하부에 공기를 분사하여 유체 흐름을 강제한다(Fig. 3-③,⑥).

2.3 새로운 FRP 파쇄시스템의 특성

복합재료의 파괴에너지 원리를 이용한 파쇄효율성의 증대로 인하여, 파쇄물의 조직(유리장섬유)이 파쇄공정 후에도 남아 있는 것을 전자현미경 사진으로 확인 할 수 있다(Fig. 4와 5). 결과는 길이 방향으로 cutting을 하였을 때 횡단방향의 cutting보다 많은 에너지를 소비하게 된다는것이다(23배이상). 따라서횡단방향으로 cutting을 하였을 때 더 효율적으로 파쇄할 수 있는 것이다.

횡단방향 절단방식을 이용한 FRP의 파쇄는 현미경 사진(Fig. 6, 7)



Fig. 4. The recycled FRP in old crushing system.



Fig. 5. The recycled FRP in new crushing system.

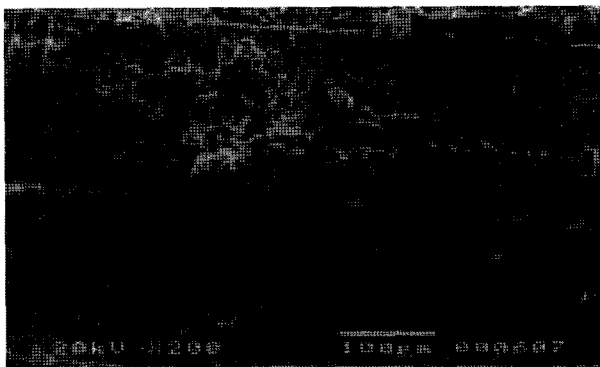


Fig. 6. The recycled FRP in old crushing system.

에서 보듯이 로빙(Roving cloth) 모양의 유리섬유와 주위의 플라스틱이 분리되는 것이 확연히 드러남을 알 수 있다. 여기서 분리된 분말은 불소용액을 통해 유리섬유를 용해시켜 수지로 재활용 한다.

그러므로 FRP 파쇄기의 설계에서 횡단방향으로 파쇄하기 위하여 cutter의 크기를 크게 하여 FRP와 만나는 면에서의 박리절단이 가능할 수 있게 하며, 한편으로 작업자의 안전을 고려하여 방음/방진 및 FRP파쇄로 발생하는 수지를 분리하는 작업이 함께 이루어지는 자동화된 파쇄기의 설계가 필요한 것이다.

Fig. 8은 기존의 파쇄기와 달리 압착 가이드와 홀더들을 설치하여 폐파쇄물이 항상 칼날과 일정각도(횡방향 및 박리절단)를 유지



Fig. 7. The recycled FRP in new crushing system.

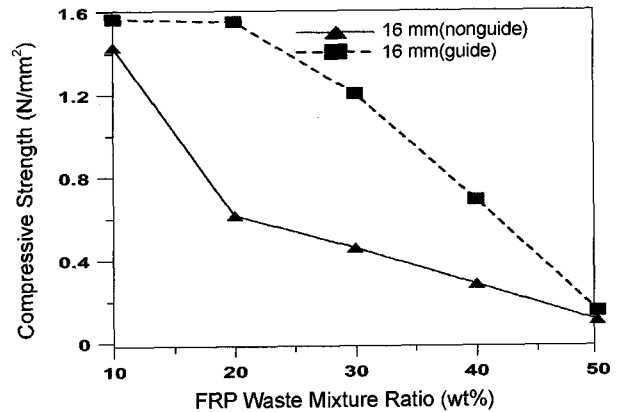


Fig. 8. The compressive stress with waste mixture rate.

하도록 한 경우와 압착 가이드가 없는 경우의 압축 강도를 비교한 것이다. FRP폐기물을 잔골재로 치환한 비율이 증가할수록 압축강도가 많이 떨어지고 가이드와 홀더를 설치한 경우의 압축강도가 가이드를 설치하지 않은 경우보다 높게 나타났음을 알 수 있다. 이것은 가이드가 설치된 경우 소요 동력이 작음은 물론이고 유리섬유와 수지가 잘 분리되어 시멘트와 잔골재의 결합이 잘 이루어진 것으로 볼 수 있다.

2.4 폐FRP의 재활용

FRP는 수지와 보강제인 유리섬유가 복합적층을 이루고 있는 복합 재료로서 유리섬유 부분의 재활용 연구는 폐FRP 재활용의 주된 과제이다. 유리섬유의 특성상 활용 가능성이 가장 많은 곳이 콘크리트 제품이라 할 수 있다.

2.4.1 폐FRP 미분말을 사용한 콘크리트의 기초 특성 연구

FRP 파쇄과정에서 발생하는 폐FRP 미분말을 잔골재 대용으로 사용하여 시멘트 모르타르 및 다양한 폴리머 시멘트 모르타르를 제조하여 성능이 가장 우수하게 나타나는 폴리머 혼화제 및 최적 배합비가 보고되었다. 공시체는 KS(KS L 5109, KS L 5111, KS F 2410)에 규정한 방법에 따라 제작하였다. 강도시험은 만능 재료 시험기를 이용하여 실시하였다. 시험 결과, 중량변화에 FRP폐기물 세골재 치환율이 미치는 영향은 압축강도용 공시체의 경우 폐FRP 세골재가 치환되지 않은 경우 중량은 255 g이고 비중은 2.04이다. 폐FRP 미분말이 10% 치환된 경우 중량은 210 g이고 비중은 1.68이며 비중이 17.65% 감소하였다. 폐FRP 미분말이 20% 치환된 경우 중량은 173 g이고 비중은 1.384이며 비중이 32.35% 감소하였다. 폐FRP 미분말이 30% 치환된 경우 중량은 152g이고 비중은 1.216이며 비중이 40.39% 감소하였다. 따라서 경량 건축 재료로서 KS규정에 명시된 비중이 2.0이하로 되어 있으므로 비중만을 고려하면 FRP 세골재의 치환율은 10%만 되어도 충분한 것으로 나타났다. 잔골재는 폴리머 결합제와 점착성이 양호하도록 수분함량을 0.1%이하가 되도록 건조하여 사용한 실험에서는 불포화 폴리에스테르수지의 첨가량 증가에 따라 압축 및 휨강도 모두 월

등히 향상되는 것으로 보고되었으며, 페FRP 미분말의 치환량 증가에 따라서 강도가 감소됨이 보고되었다.

상기의 연구에서 알 수 있듯이 페FRP를 잔골재 대용으로 혼화제와 같이 사용하였을 경우 압축강도와 휨강도 모두 향상된다. 이는 국내외적으로 천연골재의 부족에 따른 골재난의 문제를 해결하기 위한 방안으로 충분한 조건을 가지고 있다고 할 수 있다. 따라서 페FRP를 골재대용으로 사용한다면 폐기물의 처리와 자원 부족 현상을 동시에 처리할 수 있을 것이다.

2.4.2 폴리머 시멘트의 문제점

앞서의 연구에서는 페FRP 미분말에 혼화제를 사용하여 연구한 결과 압축강도와 휨강도가 월등하게 향상되는 결과를 보이고 있다. 그러나 첨가제를 사용하면 생산비용이 높아지는 문제점과 유리섬유 미분말을 사용하였을 경우에 발생하는 환경적(유해한) 문제 등도 고려하여야 한다.

특히 FRP 미분말을 잔골재 대용으로 사용하였을 경우에 작업자에게 문제점을 야기할 수 있다. 물론 유리 섬유는 발암성 물질은 아니지만 유리섬유 분진과 피부 접촉은 기계적인 자극을 일으킬 수 있다. 따라서 FRP 미분말의 사용보다는 8~16 mm의 FRP 분쇄물을 사용하는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 또한 페FRP 미분말화 과정은 상당한 파쇄 비용을 유발하며 이는 결국 재활용에 있어서 추가비용 발생의 원인이 되고 있다.

FRP 미분말을 잔골재 대용으로 사용하여 충분한 압축 강도와 휨강도를 얻었다는 사실은 페FRP가 폴리머 시멘트의 이용에 가능하다는 것을 보여 주고 있다. 따라서 첨가제의 사용을 배제하고 페FRP의 유리섬유와 물 그리고 시멘트의 배합 비를 적절히 선정하여 성형기술을 개발한다면 압축강도의 큰 손실 없이 경제성 있는 폴리머 시멘트를 개발할 수 있으며 유리 섬유로 인한 휨강도의 증가는 FRP의 재활용 분야 확대에 큰 도움이 되리라 여겨진다.

2.4.3 페FRP 재활용제품의 상용화 연구

본 연구에서 개발한 FRP파쇄장치를 이용하여 추출된 유리장섬유를 현재 시판중인 수로관, 도로경계석등에 활용하기 위하여 아산시 소재 T사에서 실제 제품(도로경계석)과 동일하게 제조된 시제품을 사용하여 실험하였다. 실험한 결과는 다음과 같다. Table 1은 본 실험에 사용한 시제품 제작 조건을 나타낸 것이다.

Table 2는 페FRP를 첨가하면 압축강도는 감소하지만 휨강도에

Table 1. The condition of sample test

	case1	case2	case3(기존제품)
모래	18 kg	18 kg	18 kg
석분	12 kg	12 kg	12 kg
시멘트	3.3 kg	3.3 kg	3.3 kg
유리섬유	0.5 kg	0.5 kg	0
물	1.1 kg	1.1 kg	1 kg
물/시멘트 비	33.3%	33.3%	30.3%
개수	6개	6개	6개

case1: 시멘트비로 8 mm의 FRP를 15% 넣은 것.
 case2: 시멘트비로 16 mm의 FRP를 15% 넣은 것

Table 2. The result of sample test

시료 NO	휨강도(MPa)			압축강도(MPa)			흡수율 (%)	증량 (kg)
	4일	14일	18일	4일	14일	18일		
case1	28.68	34.57	44.43	16.3	61.23	65.66	4.9	1.97
case2	21.28	31.91	42.38	12.3	48.6	54.85	6.8	2
case3	25.36	32.91	44.23	17.3	79.22	88.19	4.6	2.06

는 거의 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다. 따라서 휨강도를 중요시하는 경계석과 기본적 압축강도가 요구되는 보도용 벽돌 등에 활용할 수 있을 것이다. 자세히 살펴보면, 휨강도의 경우는 정상 제품과 거의 차이가 나지 않으므로 실제 휨강도를 중요시 하는 인터록킹 블록에 페FRP를 재활용한 제품 생산이 가능할 것이다. 압축 강도의 경우는 기본 압축강도 기준인 8 MPa(C중 2급)를 훨씬 넘는 결과가 나왔고, 그 두 배인 16 MPa(C중 1급)에도 적용이 가능 할 것으로 예상되어 내력용 또는 비내력용등 콘크리트 벽돌에 광범위 하게 사용할 수 있을 것이다. 또한 정상 제품과 비교하여 무게가 적다는 특징은, 생산량 증대 및 운송료 절감이라는 측면에서 볼 때 상당한 경제적 이익이 발생 할 것으로 기대된다. 또한 흡수율도 최대 7%미만으로 실제 상용화에도 문제가 없을 것이다.

3. 결 론

유리섬유와 수지의 복합재료인 FRP는 여러 산업의 분야에서 유용하게 쓰이고 있다. 페FRP 선박의 재활용은 이미 선진국에서 많은 연구가 진행되어왔으며, 우리나라에서도 많은 연구가 진행 중이다. 지금까지의 연구 결과로는 FRP를 미분쇄하여 유리섬유 성분과 수지 성분을 각각 재활용하는 것이 가장 실용적인 방법 중에 하나로 소개되었다. 하지만 아직도 FRP는 재활용사업의 경제성 부족으로 인해 대부분이 땅에 그대로 매립되거나 소각 되고있다. 따라서 페FRP를 재처리하여 천연골재 대용으로 사용할 수 있다면 환경에 도움이 될 뿐만 아니라 경제적면에 있어서도 장점이 예상된다. 본 연구는 지금까지 축적된 분쇄 기술과 FRP의 특성, 작업 환경과 효율성 등을 고려한 FRP전용 파쇄 시스템을 실제적으로 설계하였다. 이것은 FRP 재활용을 위한 파쇄 작업이 경제적이고 효율적으로 이루어 질 수 있게 할 뿐만 아니라 작업 환경까지 고려한 실용적인 산업모델이라 할 수 있다. 환경 친화적 FRP 폐선처리시스템 개발에 대한 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 개발된 폐선처리 방법은 경제성이 높고 환경 친화적인 처리 기술로서 FRP 파쇄분말을 세골재로 활용하는 방안으로 부가가치가 높고 효과적이다.
2. FRP를 파쇄 할 때는 횡단방향으로 박리파쇄 하는 것이 가장 효율적이며 이로 인해 보다 많은 양의 수지를 recycling할 수가 있게 되었다. 파쇄된 페FRP는 현미경의 사진을 통해 섬유와 수지의 분리 여부를 판별할 수가 있었다.
3. 파쇄용 칼날은 어긋나게 배열하여 하나의 동력 축에 두 개의 보조 축으로 구성하는 것이 소음과 진동이 적고 파쇄 효율이 높았다.

4. 폐FRP 파쇄장치는 소요 동력을 최소화하고 소음을 줄이기 위하여 피파쇄물이 칼날과 수평을 유지하도록 하기 위한 장치(압착 및 홀드가이드)를 부착 하였다. 그 효과는 파쇄분말 중에서 유리섬유와 수지의 분리를 용이 하게 하여 폴리머 시멘트 강도를 향상시키는 장점을 나타냈다.

5. 작업 환경을 개선하고 소요 경비를 줄이기 위하여 장치의 일체 시스템화를 구상하였고 유리 섬유와 수지분말은 서로 비중이 다르므로 원심분리기를 이용하여 분리하여 파쇄분진이 없도록 하였다.

6. 파쇄기 투입구에 문을 설치하고 이를 적절히 제어함으로써 소음과 분진의 외부 유출을 방지할 수 있었고 에어실린더를 이용하여 피파쇄물이 파쇄 칼날과 항상 일정한 각도를 유지할 수 있도록 함으로써 같은 동력에 비하여 7배 이상의 파쇄 효과를 높일 수 있었다.

7. 스크루 컨베이어와 이중 수조 분리장치를 이용하여 수지와 유리 섬유, 미분말 등을 효과적으로 분리함으로써 폴리머시멘트 모르타르의 압축강도 및 굽힘 강도를 향상시킬 수 있었다.

8. 폐FRP 미분말에 혼화제를 사용하여 연구 한 결과 압축강도와 휨강도가 월등하게 향상되는 결과를 보이고 있다. 그러나 첨가제를 사용하면 생산비용이 높아지는 문제점과 유리섬유 미분말을 사용하였을 경우에 발생하는 환경적 문제 등도 나타나게 된다. 따라서 FRP 미분말의 사용보다는 8~16 mm의 FRP 분쇄물을 사용하는 것이 바람직하다고 할 수 있겠다.

9. 실용화를 위하여 도로경계석의 시제품을 통하여 상용화 가능성을 실험하였다.

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. 이런 시점에서 실제적인 생산 기술에 관한 새로운 파쇄시스템의 제작은 매우 큰 의미를 갖는다. 앞으로도 FRP의 효율적인 재활용을 위한 보다 경제적인 파쇄시스템의 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

후 기

본 연구는 2007년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음을 밝힙니다.

참고문헌

[1] 김용섭, 윤구영, 2002, "환경친화적 FRP폐선 처리 기술 개발", 한국해양수산개발원 연구보고서.

- [2] 이병기, 이범재, 황의환, 노재성, 1998, "폴리머-시멘트 모르타르에서 FRP 폐기물의 재활용에 관한 연구", J. of Korea Solid Wastes Engineering Society 9-17.
- [3] 이지환, 문창권, 박상보, 1993, "복합재료", 원창출판사.
- [4] 윤구영, 2005, "폐FRP로부터 친환경적 유리섬유 추출 공정 개발", 중기청 산학연 공동기술개발 컨소시엄사업 결과보고서.
- [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] 황의환, 길덕수, 이병기, 이범재, 2002, "폐FRP 미분말을 재활용한 폴리머 모르타르의 물성", J. Korea Society of Wastes Management, 553-560.
- [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] 황의환, 길덕수, 노재성, 이병기, 2002, "폐FRP 미분말을 재활용한 PAF 폴리머 시멘트 모르타르의 물성", J. Korea Society of Wastes Management, 275-282.
- [11] 황택성, 박지원, 이철호, 2000, "폐FRP/석분슬러지 충전 복합재의 제조 및 기계적 물성에 관한 연구", Polymer 829-836.
- [12] Bartholomew, K. 2004, "Fiberglass Reinforced Plastics Recycling", Dec. report, MnTAP(Minnesota Technical Assistance Program).
- [13] Fukada, T., Zairyu, K., 2006, "Engaging into natural resources recyclable pool through use of FRP", Engineering materials, Vol. 54, no. 4, 68-73.
- [14] Nakagawa Muneo, 1996, "폐FRP 미분말을 사용한 콘크리트의 기초 물성 연구", 대한건축학회 학술논문집 633-636.
- [15] Nakagawa Muneo, 1998, "A Study on Properties of Concrete used Powder and Fabric Type Scrapped FRP as Fine aggregate", 대한건축학회 학술논문집 961-964.
- [16] Shibata, K., Zairyu, 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 18일 원고접수

2007년 8월 20일 수정본 채택