

# 전동차의 폐 FRP 내장재 재활용 공정 개발

## Development of Recycling Process for the used FRP of Electric Motor Unit (EMU)

이형태\*, 이재영\*\*, 김용기\*\*\*, 이철규\*\*\*

Hyung-Tae Lee, Jae-Young Lee, Yong-Ki Kim and Cheul-Kyu Lee

---

### ABSTRACT

In recent, a great number of electric motor units (EMUs) have been disused in Korea according as its legal duration is 25 years. Generally, the disused EMUs are disposed by selling original form or scrapping for junk. Until now, any efficient disposal system for disused EMUs has not existed. The purpose of this study was to develop the recycling process for the FRP used as an interior panel of EMU. This process was to manufacture a product mixing binders, fillers and the powdered FRP. The characteristics of a product were changed with the mixing ratio of the powdered FRP. The optimal ratio of the powdered FRP was from 10 % to 15 % (w/w). In the future, the application of this process can enhance the efficiency of resource recycling and decrease the cost of waste treatment in the EMU industry.

---

### 1. 서론

에너지 및 자원 고갈은 미래사회의 해결해야할 중요한 환경 문제 중에 하나이다. 특히, 재활용 기술은 자원순환 시스템으로의 전환에 필수불가결한 요소이다. 최근 철도분야에서도 법정 내구연한의 경과에 따른 다량의 폐전동차 및 폐철도차량의 발생으로 이에 대한 처리 문제가 심각한 실정이다[1, 2]. 그러나 국내에서는 일반적으로 폐전동차를 원형 그대로 매각하여 카페나 관광 상품 등으로 활용하거나 해체 매각하여 고철처리하고 있다[2]. 이와 같이 폐전동차에 대한 체계적인 처리시스템이 부재하기 때문에 재활용이 가능한 부품이나 물질에 대해서도 그냥 폐기되는 사례가 많다. 본 연구에서는 전동차 내부에 설치되어 있는 FRP 판넬을 재활용할 수 있는 FAXCON(Frp Ash miX CONcrete) 공정을 개발하여 FRP 분말의 비율(w/w)에 따라 물성 변화 특성을 살펴보았다.

### 2. FAXCON 공정

먼저 폐 FRP는 분쇄 및 분말화 공정을 거쳐 원료탱크에서 재생수지, fly ash, 난연제 및 보강제와 동시에 배합되어 균질하게 혼합된다. 혼합된 원료는 압출부를 통한 용융과정 그리고 용융과정에서 발생된 가스의 제거를 위한 외부의 독립된 Y호퍼를 통과하고, 최종 사출 및 냉각과정을 통해 탈형되는 순서로 제품이 제조된다. 폐 FRP는 전동차 내부 판넬 생산업체인 (주)디아이켄사의 완제품을 확보하여 분쇄 및 분말화하였으며, 이를 이용한 복합성형체를 제조하기 위한 Binder로서 재생수지(PE 70 % , PP 30 %)를 사용하였다. 기능성 Filler로서는 내구성 과 강도 향상을 위한 fly ash가 사용되었으며, 난연성 확보를 위해 브롬계 난연제인 DBDPO의 친환경 대체품인 DBDPE와 무기계 난연제인 산화안티몬 및 탄산칼슘을 사용하였다. 또한 결합력의 증대와 강도 향상을 위해 fiberglass 4 mm 칩을 사용하였다.

---

\* 비회원, 더코 대표이사

\*\* 책임저자, 정회원, 한국철도기술연구원, 국토토목연구본부 환경화재연구팀

E-mail : iyoung@krri.re.kr

TEL : (031)460-5388 FAX : (031)460-5319

\*\*\* 한국철도기술연구원, 국토토목연구본부 환경화재연구팀

### 3. 실험결과

Fig. 1은 폐 FRP 함량에 따라 제조된 복합성형체의 표면 특성을 실제 현미경으로 조사한 결과이다. Binder와 Filler의 종류에 따라 차이는 있었지만 모든 성형체에 Filler의 충전율이 높을수록 분산 상태가 좋지 않았음을 확인하였다. 폐 FRP의 비중이 낮은 성질로 인해서 복합성형체의 표면 상태가 좋지 않았다. 이는 Filler가 비중이 낮은 경우에 분산상태가 더욱 좋지 않은 특성을 가지고 있기 때문이다. 또한 폐 FRP가 중량에 비해 많은 양이 첨가되어 넓은 비표면적이 형성됨으로써 이를 접착시킬 있는 Binder의 효과와 기능이 낮아지기 때문이다. 폐 FRP의 함량이 가장 낮은 A 복합성형체(폐 FRP 10 %)가 가장 우수한 표면 특성을 나타내었다. 이는 폐 FRP의 함량이 적을수록 Binder와의 접착력은 높아지고, Binder의 함량이 적을수록 Filler와의 결합력도 떨어지기 때문으로 제품의 기계적 강도 특성에도 많은 영향을 주었다. 그리고 C 복합성형체(폐 FRP 함량 20 %)는 용융 및 사출과정에서 다량의 가스와 Binder량의 감소로 최종 사출성형이 되지 않았다.

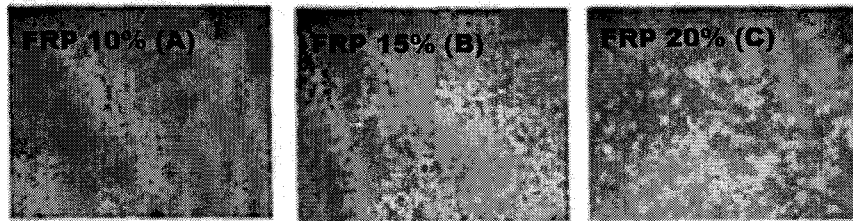


Fig. 1 폐 FRP의 함량에 따른 표면 특성

A 복합성형체와 B 복합성형체(폐 FRP 함량 15 %)의 기계적 강도 특성을 고찰하기 위해 굴곡강도, 충격강도, 그리고 완제품에 대한 파괴강도를 시험하였다. 폐 FRP의 함량이 증가할수록 굴곡강도는 약간 증가 추세를 보였으나 큰 변화는 없었으며, 충격강도는 감소하는 특성을 나타내었다. 이는 폐 FRP의 함량이 증가할수록 Binder의 함량이 감소함으로써 계면접착력이 상대적으로 감소하여 강도가 다소 저하된 것이라 할 수 있다. KS M 3015의 난연성 시험 결과는 모두 난연성으로 나타났으며, 난연제의 재질과 보조 난연제의 개선을 통해 폐 FRP 분말의 원료적 단점을 보완하면서 낮은 인체유해성과 친환경적인 특성을 가진 난연제에 대한 추가 연구가 요구된다. 한편 철도 규격품의 기준인 KSF 2271 가스유해성 시험에서는 마우스의 행동 정지시간이 14분 17초와 14분 29초로 기준 성능(9분 이상)을 각각 만족하였다. Table 1에서 볼 수 있듯이 철도용품으로 규격화 되어 있는 트로프의 제작규격(조달98-09-30호)을 기준으로 하여 현재 철도관련 케이블 보호용 관로용품으로 제작 공급되고 있는 파스콘 제품과 본 복합성형체의 성능을 비교한 결과, 모든 기능과 성능 면에서 기준을 충족하였다. 이는 공공기관의 시설재료 품질을 인정받을 수 있으며, 일반 건설용 자재로서의 개발과 적용이 가능함을 의미한다.

Table 1. 표준 규격대비 복합성형체의 성능 비교

시험명	시험방법	기준치	파스콘	A	B
충격 강도	KS M 3015	1.1 kJ/m <sup>2</sup>	2.3 kJ/m <sup>2</sup>	1.9 kJ/m <sup>2</sup>	1.6 kJ/m <sup>2</sup>
내 연 성	KS M 3015	난연성이상	난연성	난연성	난연성
가스 유해성	KS M 3015	9분이상	15:01	14:17	14:29
파괴강도	KS F 4011	7 kN 이상	13.5 kN	11.9 kN	8.63 kN
내약품성	KT43003-00-01	이상 없음	이상 없음	이상 없음	이상 없음
하중변형온도	KS M 3065	90℃	129℃	122℃	125℃

### 4. 결론

매년 발생되고 있는 폐전동차의 처리방안 및 재활용 기술의 개발은 효율적인 철도 분야의 자원순환 시스템 구축을 위해 필요하다. 본 연구에서는 전동차 내부에 다량으로 사용되는 있는 FRP 판넬을 재활용할 수 있는 FAXCON 공정을 개발하였다. FRP 판넬을 기계적으로 분쇄·분말화하여 재생수지, 난연제,

보강제, fly ash와 혼합하여 제품을 성형하였다. 복합성형체의 기본적인 물성 확보가 가능한 범위에서 분말화된 FRP 판넬은 15 %까지 혼합하여 사용할 수 있었다. 이를 통해 향후 자원절약 및 폐기물 처리 비용 절감의 경제적 효과도 창출할 수 있다. 또한 FRP 판넬의 분쇄·분말화 공정을 개선하는 추가 연구를 통해 개발된 기술의 상용화에 대한 타당성을 향상시킬 수 있다.

## 5. 감사의 글

본 연구는 건설교통부의 미래철도기술개발사업인 '전동차 전과정평가 시스템 개발'의 일환으로 수행되었음에 이에 감사드립니다.

## 6. 참고문헌

- (1) 한국철도기술연구원, 전동차 전과정평가 시스템 개발 최종보고서, 2007
- (2) 김용기 외, 전동차 폐차처리 실태, 한국철도학회 춘계 학술발표대회, 2005