

흡음재 폐기물의 재활용 방안

홍영호^{1*}

¹해전대학교 소방안전관리과

Recycling of Sound Insulation Headliner Waste Material

Young-Ho Hong^{1*}

¹Department of Fire Safety Management, Hyejeon College

요 약 흡음재로 널리 사용되는 헤드라이너는 발포성 폴리우레탄(PU foam)과 유리섬유(Glass Fiber,GF) 로 구성된 복합재료로, 제품의 생산 공정을 거치는 동안 부산물 형태의 폐기물이 발생한다. 헤드라이너 폐기물에 대한 효과적인 재활용을 위해 헤드라이너 구성성분에 대한 분리공정이 중요한 문제점이다.

헤드라이너에 대한 열분석결과에 의하면 중량의 감량 비율은 400℃까지의 온도범위에서는 발포성 폴리우레탄 > 비발포성 폴리우레탄 > 부직포 > 1st layer > 유리섬유의 순으로 감량이 증가하는 결과를 보이고 있다. HDPE, LLDPE, PP 그리고 Master Batch 에 첨가제 형태로 폐 스크랩 첨가하여 sheet를 제작한 후 DSC 특성을 분석한 결과 PP를 제외한 다른 물질들에서는 결정화에 따른 발열전이가 나타나지 않는 것을 확인 하였다.

Abstract The headliner was made of polyurethane(PU) and glass fiber(GF) composite materials are widely used as a sound insulation material. A large amount of waste materials occurs as a by-product in the headliner manufacturing process. In order to efficiently reuse the headliner waste materials, separation process of the components are very necessary.

According to the results of thermal analysis, weight loss showed increase in the order polyurethane foam> non-foaming polyurethane> non-woven fabric> 1st layer> glass fiber in the range of up to 400 ℃. Analysis of the DSC characteristics, HDPE, LLDPE, PP, and Master Batch by adding additives the wasted scrap. As a result, except for the PP, there was no exothermic transition due to the crystallization.

Key Words : Headliner Scrap, Recycling, Separation Characteristics

1. 서론

환경오염 유발물질의 발생에 관한 문제는 생산 공정에서 발생하는 부산물의 처리등과 같은 폐기물 저감공정에도 큰 영향을 미친다. 정숙성을 확보하기 위하여 사용되는 흡음재는 소음의 저감 및 연비의 향상을 위하여 흡음율의 향상과 경량화라는 2가지 요구 조건을 만족할 수 있는 재료로 개발되고 있다. 이러한 여러 가지 특성들이 고려되어 발포성 폴리우레탄(PU form)과 유리섬유를 주성분으로 하는 복합형태의 유기성 재료로 만들어진 헤드라이너(Headliner)가 차량용 흡음재로 널리 사용되고 있다

[1].

헤드라이너는 다층형 복합재료로 성형공정을 거쳐서 제품의 커팅 공정을 거치는 동안 다량의 폐기성 물질이 발생하게 된다. 헤드라이너의 중요한 원료인 발포성 폴리우레탄은 우수한 흡음특성 외에도 몰드성형이 용이하고 일체발포성형이 가능하여 생산성이 우수하고 경량화가 가능하다는 장점 때문에 다른 흡음재에 비하여 적용성이 확대되고 있다. 헤드라이너의 제조공정에서 발생하는 스크랩의 재활용 방안은 발포성 폴리우레탄과 유리섬유로 구성된 복합재료의 재활용 기술이라 할 수 있다. 따라서 다양한 형태의 재활용 공정에 관한 연구가 진행되어 난

본 논문은 2012년도 해전대학교 교내연구비 지원과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Young-Ho Hong(Hyejeon College)

Tel: +82-16-466-5190 email: yhhong@hj.ac.kr

Received March 6, 2013 Revised (1st April 5, 2013, 2nd May 2, 2013, 3rd May 23, 2013) Accepted June 7, 2013

연성을 향상시키는 연구[2] 와 더불어 촉매를 활용한 폴리우레탄 폼의 재활용 기술[3] 및 스크랩 형태로 가공하여 재활용 하는 연구가 진행되기도 하였고[4], 폴리우레탄을 수지와 블렌딩(blending) 하는 연구 등이 진행되기도 하였다[5].

현재 우리나라의 헤드라이너 생산 공정에서 발생하는 스크랩의 양은 질량비로 약 18% 정도에 이르고 있으며, 재활용 하지 못하고 단순하게 소각처리하고 있어 폐기물의 발생량의 저감과 같은 근본적인 해결책이 되지 못하고 있다.

관련 연구로는 단열재로 사용된 페 우레탄을 이용한 흡음재의 제작에 관한 연구와 자동차 내장재의 새로운 재질에 관한 연구를 통하여 다양한 형태의 재질로 내장재를 개발하기 위한 연구가 진행되기도 하였다[6,7]. 또한 최근에는 제품의 설계 단계에서 재사용성을 고려한 기술의 개발이 진행되기도 하였으며[8], 자동차에 사용되는 내장재 전반적인 분야에 대한 재활용 기술에 관한 연구가 진행되기도 하였다[9].

이를 고려하여 이번 연구에서는 페 스크랩을 기존의 소각 처리가 아닌 자원으로 재활용을 위한 기초 연구로 진행되었다.

본 연구의 대상인 다층으로 구성된 복합성 재료의 재활용 공정에서 가장 중요한 문제는 각 구성성분의 분리성이라고 할 수 있다. 따라서 현재 제조된 제품의 각성분별 분리성에 대한 진단을 통하여 분리특성에 대한 평가와 각 구성성분간의 상용성과 같은 화학적인 문제에 대한 접근을 통하여 재활용에 관한 기초적인 연구를 실시하였다.

2. 실험

현재 생산되고 있는 흡음재의 성분별 조성치는 Table 1 에서 보는바와 같다. 기지재료로 사용된 발포성 폴리우레탄이 전체의 38% 이상을 차지하고 보강 재료인 유리 섬유가 약 32%로 이 2가지 재료가 전체 조성비의 70%를 차지하고 있다. 그러나 재활용을 위해서는 이 2가지 물질 보다는 조성비로 13% 정도를 차지하는 Fabric 과 약 8% 정도를 차지하는 glue가 중요하다고 할 수 있다.

[Table 1] Composition of Headliner

구성 성분	Glass firer	PU form	Fabric	Glue	Film	Cloth	PP	Total
wt %	31.8	38.5	12.5	7.7	5.8	2.9	0.8	100

이러한 조성비를 지닌 헤드라이너 스크랩에 대한 상용성 및 용해 특성에 대한 분석을 실시하여 조성별 분리특성을 활용한 재활용 방안에 대한 검토를 진행 하였다. 연구 수행시 페스크랩을 수지에 블렌딩한 조건은 3%, 7%, 9%, 10%, 14%, 17%, 24% 로 페스크랩의 첨가율이 증가할수록 혼합특성이 저하되는데, 본 연구에서는 페스크랩을 재가공하지 않고 단지 분쇄 처리하여 수지에 블렌딩하여 재활용 하는 방법에 관한 기초 연구이므로 본 연구 목적에 부합하기 위해 비교적 혼합특성이 저하되기 시작하는 조건인 첨가율 10%를 기준으로 하여 재활용 특성을 분석 하였다.

흡음재의 재활용을 위하여 기초물성 분석을 열적 특성과 구성 성분별에 대한 분석을 중심으로 하여 TGA 분석과 DSC 분석을 실시하였다. 재활용 특성이 구성성분의 열적인 특성에 많이 좌우된다고 할 수 있으므로 열적 특성에 관한 분석을 주로 실시하였다.

2.1 TGA 분석

TGA(TA Instruments TGA 2050)를 이용하여 시료를 가열할 때, 온도 변화에 따른 시료의 무게변화를 측정하여 열분해등과 같은 특성분석을 통하여 열적거동분석을 실시하였다.

2.2 DSC 분석

DSC는 측정물질 및 기준물질의 온도를 변화시키면서 측정물질의 기준물질에 대한 에너지 입력차(ΔH)를 온도의 함수로 측정하는 방법으로 본 연구에서는 TA Instruments DSC 2910을 사용하여 시료에 대한 열적흐름(Heat flux)을 측정하였다.

2.3 기타 물성 분석

헤드라이너 페 스크랩을 유기물과 혼합하여 재활용하기 위하여 고밀도 폴리에틸렌(HDPE), 저밀도 폴리에틸렌(LLDPE), 그리고 폴리프로필렌(PP)과 블렌딩 하여 페스크랩의 혼합에 따른 평가를 위하여 만능재료시험기(UTM, Instron 4466)를 이용하여 strength, modulus, 그리고 toughness 등의 물성분석을 실시하였다.

3. 실험 결과

헤드라이너 페 스크랩은 다층 구조를 지닌 복합재료가므로 재활용을 위하여 적절한 형태의 분쇄공정이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 분쇄에 따른 특성을 확인하여

향후 재활용 공정에서 분쇄 공정을 선택하기 위한 연구를 실시하였다.

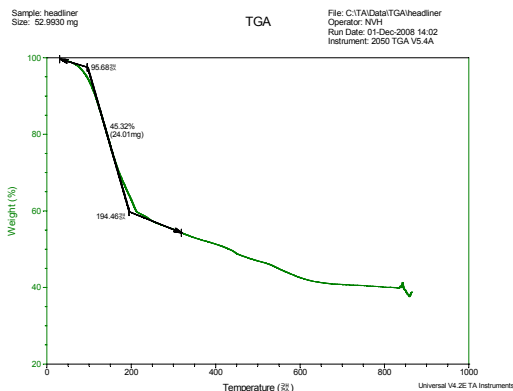
폐 스크랩의 재활용을 위한 전처리는 경제적인 측면에서 분다면 전처리 공정을 최소화 하는 것이 가장 좋은 방법으로 현재 스크랩의 기초 물성을 크게 벗어나지 않는 범위에 전처리를 진행 하고자 한다.

3.1 분쇄특성

기초적인 전처리로 분쇄를 통한 분급 효율을 향상시키기 위해 볼밀을 이용한 분쇄 와 회전식 커팅기를 이용한 커팅을 이용하여 분쇄효율을 비교하였다. 볼밀을 사용하여 분쇄 하는 경우 스크랩에 부착되어 있는 필름 층은 분리되나, 전체적인 분쇄 효율은 극히 저조하다고 할 수 있다.

발포성 폴리우레탄과 유리섬유(GF) 그리고 부직포로 구성된 헤드라이너를 재활용 하는 방법의 하나로 filler화 시키거나 분말화 시켜서 첨가제로 재활용 하는 방법을 고려할 수 있다. 이를 위하여 헤드라이너를 분쇄기를 사용하여 분쇄 하는 방법과 더불어 열을 이용하여 분리하는 방법이 고려될 수 있다. 헤드라이너의 열적 거동을 확인하기 위하여 TGA를 사용하여 그 결과를 Fig. 1에 나타내었다.

TGA 분석결과에 의하면 96℃부근에서 1차 열분해가 시작되어 195℃까지 약 45%의 질량 변화가 보이며, 이후 330℃까지는 약 46%의 질량의 변화를 보이고 있다. 이러한 결과에 의하면 헤드라이너는 200℃부근에서 유기성 물질에 대한 1차 열분해가 종결되며, 330℃ 부근에서 2차 열분해가 종결되어 진다고 할 수 있다.



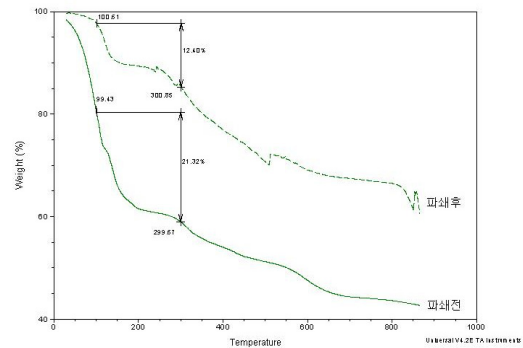
[Fig. 1] TGA characteristics of the headliner.

헤드라이너의 주 구성 성분인 발포성 폴리우레탄의 분쇄전과 분쇄후의 특성 분석을 위하여 헤드라이너에서 폴리우레탄 성분을 분리하여 1차 절단 한 후에 폴리우레탄

(PU) 성분을 분리하여 2차 분쇄 하여 TGA 분석을 실시하여 그 결과를 Fig. 2 에 나타내었다. 분쇄한 발포성 폴리우레탄 분쇄물은 체분석을 통하여 평균 입도 크기가 0.61mm이하의 것을 실험에 사용하였다.

동일한 온도 범위인 100℃에서 300℃까지의 200℃의 온도 범위에서 헤드라이너에서 분리한 폴리우레탄의 경우에는 약 21.3 %의 질량 감소가 발생하였으나, 분쇄한 경우에는 질량 감소율이 12.4 %로 분쇄하기 전에 비하여 질량 감소율 21.3에서 12.4 로 약 41% 정도가 감소되는 현상을 보여주고 있다. 이러한 특성은 폴리우레탄의 분쇄 과정에서 열의 흡수로 인하여 비점이 낮은 물질이 일부 휘발하여 중량의 감소가 이루어진 것으로 사료된다. 재활용 공정에서 재료의 이러한 특성 변화가 영향을 미칠 수 있으므로 이런 특성을 고려하여 야 할 것이다.

각 구성성분에 대한 물리적인 특성파악을 위하여 다층 구조를 지닌 헤드라이너의 구성성분별 분리 특성을 검토하기 위하여 각 구성성분별 분쇄전후의 열적 거동을 확인 하였다. Fig. 3 의 열분석결과에 의하면 헤드라이너의 주 구성성분인 폴리우레탄, 부직포 그리고 유리섬유를 비교한 결과 온도에 따른 중량의 감량 비율은 400℃까지의 온도범위에서는 발포성 폴리우레탄 > 비발포성 폴리우레탄 > 부직포 > 1st layer > 유리섬유의 순으로 감량이 증가하는 결과를 보이고 있다.



[Fig. 2] TGA characteristics of the PU in the crushing.

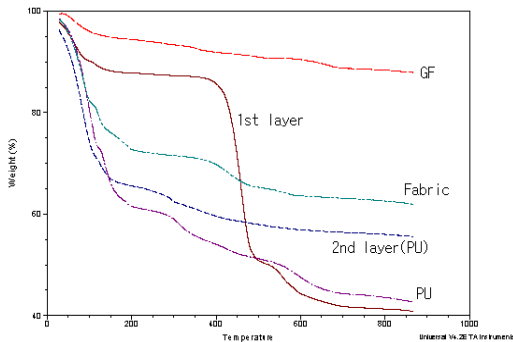
400℃ 부터는 앞선 결과와 다른 경향을 보여 헤드라이너의 1st layer의 중량 감소율이 현저하게 증가하는 경향을 보이고 있다.

헤드라이너의 1st layer의 분쇄전후의 열적 특성을 살펴본 결과에 의하면 400℃ 까지는 분쇄 전 성분의 중량 감소율이 10.0% 이고, 분쇄 후 성분의 중량 감소율이 8.1% 정도로 그리 큰 차이를 보이고 있지 않았다.

3.2 유기성 수지의 첨가제로의 재활용

유기성 수지를 바탕으로 하여 재활용 하는 공정에서 기초적으로 모재(Matrix)성분과 첨가물간의 상용성 및 용융특성 그리고 시편제작에서의 혼합특성과 같은 몇 가지 기초 물성분석이 요구되어 진다. 이를 위해 본 연구에서는 시편 제조시 혼합특성 및 용융특성에 대한 검토를 우선적으로 진행 하였다.

헤드라이너 페 스크랩의 주성분이 유기성 물질이므로 이것을 제품 제조공정에서 첨가물로 활용하기 위한 방안 에 대한 연구를 위해 페 스크랩을 제품의 제작에서 첨가제 또는 신재와 혼합하여 제품의 제조에 활용 하는 방안 에 대하여 검토를 진행 하였다.



[Fig. 3] TGA characteristics according to the composition.

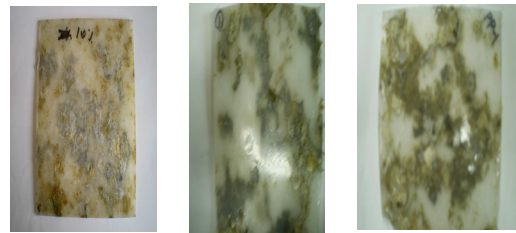
헤드라이너 페 스크랩을 유기물과 혼합하여 재활용하기 위한 기초 연구로 고밀도 폴리에틸렌(HDPE), 저밀도 폴리에틸렌(LLDPE), 그리고 폴리프로필렌(PP)와 블렌딩 하여 페스크랩의 혼합 비율에 따른 혼합 정도에 대한 실험을 실시하였다.

3.2.1 혼합특성

HDPE, LLDPE, PP에 페 스크랩을 질량비로 10% 정도 첨가하여 200°C에서 가압 용융 하였을 때 혼합 정도에 따른 특성을 확인 하였다. 이를 위하여 HOT PRESS를 사용하여 시편을 제작하여 그 결과는 Fig. 4 에서 보는 바와 같다.

페스크랩을 분쇄하여 이를 Matrix에 혼합하여 열 용융 형태로 시편을 제조한 결과에 의하면 페스크랩의 함유량이 10% 정도의 경우에는 기재내에 충분한 혼합이 이루어지지 않는 것으로 볼 수 있다. 이러한 결과에 의하면 향후 고분자 수지에 첨가제로 활용할 경우에는 혼합특성에 대한 특성 분석을 행한 후에 재활용 방안 에 대한 검토를 진행 하여야 할 것이다. 이러한 혼합특성은 모재에도

영향을 받아 그림에서 보는바와 같이 HDPE와 Master Batch의 경우에는 혼합특성이 차이를 보였다.

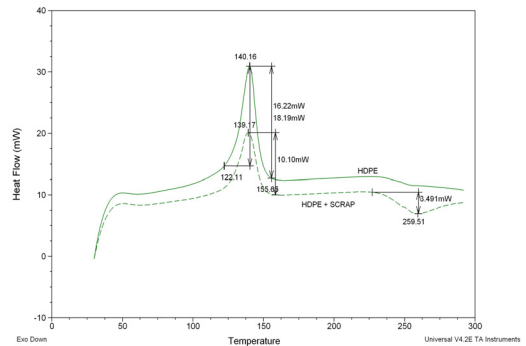


(1)HDPE (2)LLDPE (3)PP

[Fig. 4] Matrix + Waste Scrap 10 wt %.

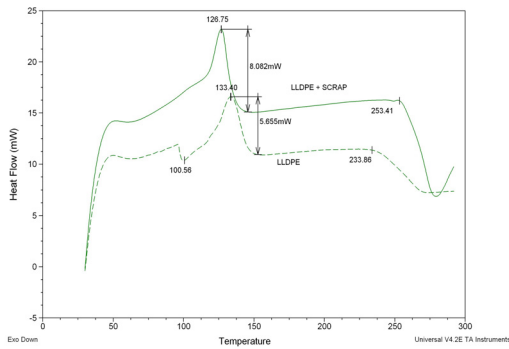
3.2.2 DSC 분석

유기성 물질에 페 스크랩을 첨가제 형태로 재활용하기 위한 방안 에 대한 일환으로 제조된 시편에 대한 특성 분석을 위하여 유기성 Matrix에 페스크랩이 첨가된 시편에 대해 DSC 특성 분석을 실시하였다.

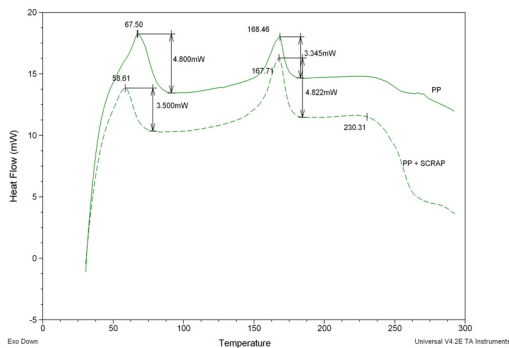


[Fig. 5] DSC characteristics of HDPE added 10% waste scrap.

분쇄한 페스크랩을 첨가하여 제작한 시편에 대한 DSC 분석 결과는 Fig. 5 에서 7 까지 에서 보는 바와 같다. 먼저 Fig. 5 에서 보는바와 같이 결정화 때문에 나타나는 발열전이가 HDPE는 140.2°C이며, 페스크랩을 10% 첨가한 경우에도 거의 비슷한 139.2°C를 보이고 있다. 페스크랩을 첨가한 경우 259.5°C에서 흡열 녹음 전이 현상이 나타남을 확인 하였다. LLDPE의 경우 결정화 때문에 나타나는 발열전이가 126.8°C에서 페 스크랩을 10% 첨가한 경우 133.4°C로 전이 되었으며, 페 스크랩을 첨가한 경우 280°C 부근에서 흡열 녹음 전이 현상이 나타났으며, 10 0°C부근에서는 유리전이 현상이 나타나고 있다.



[Fig. 6] DSC characteristics of LLDPE added 10% waste scrap.



[Fig. 7] DSC characteristics of PP added 10% waste scrap.

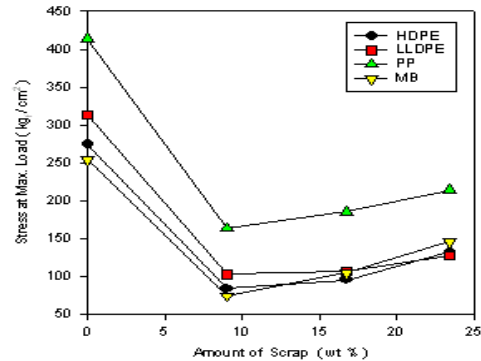
Fig. 7 에 의하면 PP의 경우 유리전이 온도가 67.5°C에서 폐 스크랩이 첨가된 경우 58.6°C로 낮아졌으며, 결정화 때문에 나타나는 발열전이가 168.5°C에서 폐 스크랩을 10% 첨가한 경우 167.7°C로 거의 비슷한 특성을 보이고 있다. 또한 폐 스크랩을 첨가한 경우 230°C 부근에서 흡열 녹음 전이 현상이 시작되는 것을 확인할 수 있었다.

유기성 물질에 첨가제 형태로 폐 스크랩 첨가하여 sheet를 제작한 후에 수지(resin)의 종류에 따른 DSC 특성을 분석한 결과 전체적으로 폐스크랩이 혼합된 경우 PP를 제외한 다른 물질들에서는 결정화에 따른 발열 전이가 나타나지 않는 특성을 보여주고 있다.

3.2.3 재생에 따른 기초 물성 변화

유기성 물질에 첨가제 형태로 폐 스크랩 분쇄물을 재활용하기 위하여 다양한 형태의 레진에 폐 스크랩 분쇄물을 혼합하여 물성을 분석 하였다. 각 수지별로 스크랩의 혼합비율에 따른 Maximum Stress 를 분석한 결과에

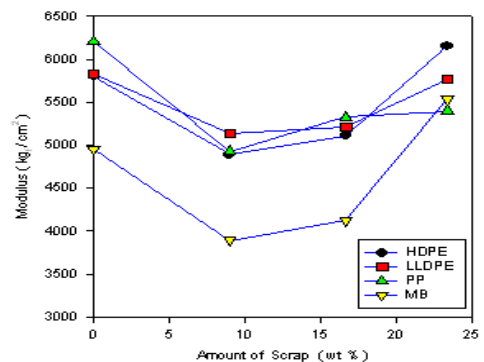
의하면 PP가 가장 높은 값을 보이고 있으며, Master Batch가 가장 낮은 값을 보이고 있다.



[Fig. 8] Distribution of strength by resin type.

Fig. 8 에서 살펴보면 전체적으로 strength는 신재에 비하여 떨어지며, 혼합비율에 따라 약간씩 차이를 보이고 있다. 특히 PP의 경우는 다른 재료에 비하여 강도가 우수한 것으로 나타나 PP를 주재료로 하는 제품의 제조공정에 일정량의 스크랩을 혼합하여 재활용 하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

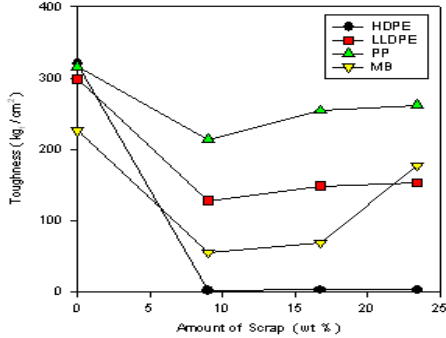
Fig. 9 에 의하면 각 수지별로 스크랩의 혼합비율에 따른 Modulus의 경우에는, Master Batch를 제외한 PP, PE의 경우 유사한 경향을 보이고 있다. 탄성강도를 의미하는 modulus는 PP나 PE의 경우 신재와 큰 차이를 보이지 않고 있으며, 스크랩의 혼합 비율이 증가할수록 증가하여 신재와 거의 일정한 값을 보이고 있다. 이러한 관점에서 스크랩의 재활용에서 modulus는 문제가 되지 않을 것으로 판단된다.



[Fig. 9] Distribution of modulus by resin type.

각 수지별로 스크랩의 혼합비율에 따른 Toughness를

측정하여 그 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 실험 결과에 의하면 HDPE가 가장 낮은 값을 보이며, PP가 가장 높은 값을 보이고 있다.



[Fig. 10] Distribution of toughness by resin type.

HDPE를 주재료로 하는 경우 스크랩을 혼합하면 toughness가 급격히 감소하는 경향을 보이고 있다. 따라서 HDPE는 toughness를 목적으로 하는 제품의 제조공정에 적합하지 않다는 것을 보여주고 있다. toughness를 향상시켜야 하는 제조공정에서는 PP 계열의 원료에 혼합하여 재활용 하여야 한다.

4. 결론

흡음재의 제조 공정에서 발생하는 폐스크랩을 재활용하기 위한 연구로 폐스크랩에 대한 기초 물성분석을 실시하고, 폐스크랩을 분쇄하여 PP, HDPE, LLDPE, 등과 혼합하여 재활용 가능성에 대한 검토를 위해 물성 분석을 실시하여 다음과 같은 몇 가지 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 열분석결과에 의하면 헤드라이너의 주 구성성분인 폴리우레탄, 부직포 그리고 유리섬유를 비교한 결과 온도에 따른 중량의 감량 비율은 400℃까지의 온도범위에서는 발포성 폴리우레탄 > 비발포성 폴리우레탄 > 부직포 > 1st layer > 유리섬유의 순으로 감량이 증가하는 결과를 보이고 있다.
- (2) HDPE, LLDPE, PP 등에 폐 스크랩을 첨가하여 sheet를 제작한 후에 resin의 종류에 따른 DSC 특성을 분석한 결과 폐스크랩이 혼합된 경우 PP를 제외한 다른 물질들에서는 결정화에 따른 발열 전이 나타나지 않았다.

- (3) HDPE, LLDPE, PP 그리고 Master Batch에 폐 스크랩 분쇄물을 혼합하여 Maximum Stress, modulus, toughness 등을 분석한 결과 PP 계열의 resin에 혼합하는 경우 신재와 물성치가 크게 변화하지 않는 것을 확인 하였다.

References

- [1] S. Vasile, L. V. Langenhove, "Automotive Industry A High Potential Market for Nonwovens Sound Insulation", *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, Vol. 3(4), pp. 1-5, 2004.
- [2] K. C. Jung, J. H. Song, "Flame Retardancy and Mechanical Properties of Mixed Waste Plastic/Mg(OH)₂ Composites Reinforced with PUB Powder", *Journal of the KOSOS*, Vol. 21(1), pp. 65-71, 2006.
- [3] C. R. Park, Y. C. Kim, N. C. Park, "Recycling on the Glycolysis of Waste Polyurethane Foam Automotive Seats", *J. Korea Ind. Eng. Chem.*, Vol. 11(1), pp. 105-112, 2000.
- [4] H. K. Lee, H. S. Kim, "A Study on the Recycling of Waste Polyurethane Foam", *J. Korea Ind. Eng. Chem.*, Vol. 14(5), pp. 622-628, 2003.
- [5] Y. H. Lee, B. K. Kang, H. J. Yoo, J. S. Kim, Y. J. Jung, D. J. Lee, and H. D. Kim, "Preparation and Properties of EPDM/Thermoplastics Polyurethane Scrap Blends", *Clean Technology*, Vol. 15(3), pp. 172-179, 2009.
- [6] N. B. Powell, "The Development of New Materials in Automotive Interiors", *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, Vol. 3(4), pp. 1-19, 2004.
- [7] D. V. Parikh, Y. Chen, and L. Sun, "Reducing Automotive Interior Noise with Natural Fiber Nonwoven Floor Covering Systems", *Textile Research Journal*, Vol. 76(11), pp. 813-820, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/0040517506063393>
- [8] A. A. Lashlem, D. A. Wahab, S. A. Abdullah and C. H. C. Haron, "Design Assessment for Reusability of an Automotive Safety Beam", *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, Vol. 5(11), pp. 167-175, 2011.
- [9] K. Fukumori, M. Matsushita, "Material Recycling Technology of Crosslinked Rubber Waste", *R & D Review of Toyota CRDL*, Vol. 38(1), pp. 39-47, 2003.

홍 영 호(Young-Ho Hong)

[정회원]



- 1987년 8월 : 단국대학교 일반대학원 화학공학과 (공학석사)
- 1994년 8월 : 단국대학교 일반대학원 화학공학과 (공학박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 혜전대학교 소방안전관리과 교수

<관심분야>

소방약제학, 유변학적 특성