

廢自動車 破碎를 통한 主要構成物質의 分離 및 分析評價

*李華永 · 吳鐘基 · 金成奎

韓國科學技術研究院 金屬工程研究센터

Analysis and Separation of Constituent Materials of Old Car by Shredding Process

*Hwa-Young Lee, Jong-Kee Oh and Sung-Gyu Kim

*Metals Processing Research Center, Korea Institute of Science & Technology,
P. O. Box 131, Cheongryang, Seoul 130-650, Korea*

요 약

폐자동차 파쇄를 통한 주요구성물질의 분리 및 분석평가를 위한 현장실험을 수행하였다. 모제인 폐자동차 차피로는 국내 자동차 업체에서 제작한 Sonata II, Sephia 및 Prince의 3종을 선택하여 엔진부분과 타이어 및 문짝 등을 미리 제거하고 압축된 상태로 제공 받았다. 현장설비의 주요 공정은 pre- 및 main-shredder, 분급기, 자선기, 와류선별기 및 수작업 분리로 구성되어 있었다. shredder 산물의 현장 분리실험결과 철 스크랩이 전체의 60.1%를 차지하여 가장 비중이 높았으며, 알루미늄, 구리 및 아연 등의 비철금속류는 약 2% 정도인 것으로 나타났다. Light fluff는 fluff 전체 중량의 90% 정도를 차지하는 것으로 관찰되었으며, 5 cm undersize 가 70.5%로써 대부분이었고 나머지는 플라스틱, 섬유 및 스펀지 등으로 구성되어 있었다. heavy fluff의 경우에는 고무와 플라스틱이 주구성물질인 것으로 나타났으며, 발열량의 경우 플라스틱이 10,000 cal/gr을 상회하여 가장 높았고 가죽과 고무류가 각각 10.3 및 2.55 wt%의 비교적 높은 Cl함량을 보였다.

주제어: 폐자동차, 슈레딩, 자력선별, 와류선별, 플러프

ABSTRACT

Analysis and separation of constituent materials of old car have been performed by using the industrial shredding line. For this aim, three old cars made by domestic automobile manufacturers, Sonata II, Sephia and Prince were chosen and delivered in pressed form without engine, tires and doors, etc. Shredding line was substantially composed of pre- and main-shredder, cyclone, magnetic separation, eddy current separation and man-power separation. From the separation of shredder products, iron scrap was observed to be the major material of old car accounting for 60.1% of total weight and non-ferrous metals involving Al, Cu and Zn, etc. were about 2%. Light fluff, about 90% of total fluff product, was comprised with plastic, fiber and sponge, etc. and the fraction of 5 cm undersize in light fluff was 70.5%. In case of heavy fluff, however, rubber and plastic were found to be the major constituent materials of it. Among the constituent materials of fluff, plastic showed the highest calorific value, more than 10,000 cal/gr and leather and rubber showed relatively high chlorine content, 10.3 and 2.55 wt%, respectively.

Key words: old car, shredding, magnetic separation, eddy current separation, fluff

* 2002년 5월 13일 접수, 2002년 7월 4일 수리

* E-mail: hylee@kist.re.kr

1. 서 론

자동차는 철, 비철금속, 플라스틱, 고무 등의 다양한 재질로 제조한 각종 부품으로 구성되어 있으며, 대체로 10년 정도의 가용연한을 지나면 폐차하게 된다. 현재, 국내에는 약 200여개의 폐차업체가 가동중에 있으며, 일단 폐차장에 들어온 폐자동차는 타이어, 연료/윤활유, 엔진 및 문짝 등을 해체하고 press로 압축한 다음 shredder 업체로 이송한다. 폐자동차 차피의 파쇄 및 분리공정은 shredder 업체에 따라 다소의 차이는 있지만 국내에서는 magnetic separation(MS)과 eddy current separation(ECS)을 통한 철 및 비철금속류의 금속성분을 분리회수하고 이외에 수작업을 통하여 전선, motor 및 전자기판을 별도로 분리하는 공정으로 구성되어 있다.

선진 외국의 경우 풍력선별 및 비중선별(중액선별) 등의 분리공정을 채택하여 재질별 분리도와 회수율을 높이는 경우도 있으나¹⁻⁴⁾ 국내에는 아직 도입이 되지 않고 있다. 국내에서도 최근 유럽지역을 중심으로 한 선진 외국의 갈수록 강화되고 있는 폐자동차 처리에 관한 관련법규 및 재활용을 제고지침⁵⁻⁶⁾에 따라 이와 관련한 새로운 기술개발의 필요성이 시급히 요구되고 있는 상황이다.

국내의 경우 현재까지 폐자동차 파쇄산물을 일부 혹은 특정부분만을 채취하여 이를 선별분리하고 성분분석 등을 통하여 재활용을 위한 연구자료를 제시한 경우⁷⁾는 있으나 폐자동차 차피를 직접 제공받아 이를 현장설비를 이용하여 실제 조업방법에 따라 재질선별을 실시하고 이 과정에서 나온 fluff에 대한 성장조사를 한 연구자료는 거의 없는 실정이다.

본 실험에서는 국내 자동차 3사에서 제작한 차종 1종류씩을 선택하여 이들 폐자동차 차피를 shredder 업체의 현장설비를 활용하여 파쇄 및 재질선별을 수행하고 Light Fluff, Heavy Fluff 및 토사류의 입도분급과 재질별 구성비율을 조사함과 동시에 플라스틱, 고무, 섬유 및 스폰지의 발열량과 염소함량을 측정하여 폐자동차의 리사이클링을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 실험 방법 및 시료

본 폐자동차 파쇄 및 재질분리시험에 사용한 폐차 차피로는 현대자동차의 Sonata II, 기아자동차의 Sepia 및 대우자동차의 Prince 이며, 이들 차피는 폐차장에서 타

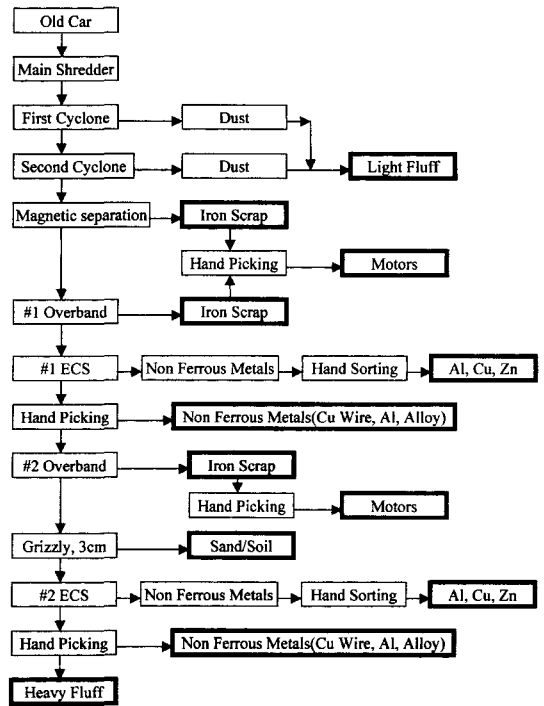


Fig. 1. Flowsheet of industrial shredding line used in the work.

이어, 엔진, 문짝 및 액체물질을 미리 제거하고 press로 압축한 상태였다. 차피 중량은 Sonata II 429 kg, Sephia 550 kg 및 Prince 780 kg 이었으며, 이들 차피를 경북지역의 Shredder 업체 현장으로 이송하여 파쇄 및 재질분리를 실시하였다. Fig. 1 은 본 실험의 현장 공정도를 도시한 것으로서, 그림에서 보는 바와 같이 차피 3종류를 차례로 shredder로 투입하고 cyclone을 거쳐 light fluff를 분리한 다음 magnetic separation과 eddy current separation을 통하여 철 및 비철금속을 분리하였다. 또한, 수작업으로 철 스크랩에 포함된 motor류를 별도로 분리하였으며, 비철금속 물질을 육안으로 판별하여 Al, Zn 및 Cu(brass 포함)로 구분 회수하였다. 한편, 보조자력선별 공정인 overband를 통하여 미처 분리가 안된 철 스크랩을 회수하고 입도분급기인 grizzly를 사용하여 토사류를 분리하였다.

이와 같이 1차 분리된 철 스크랩, 비철금속, motor, light fluff, heavy fluff 및 토사를 각각 중량한 다음 light fluff를 5 cm를 기준으로 분급하고 5 cm oversize를 스폰지, 플라스틱, 섬유, 가죽, 고무, 금속, 전선의 7종으로 분류하였다. heavy fluff의 경우에는 스폰지, 섬

유, 플라스틱, 고무, 유리, 전선류 및 기타의 7종으로 분류하고, 토사는 +25, 25/15, 15/7, -7 mm의 크기로 분급하고 각 산물을 중량하였다. 또한, 고무, 플라스틱, 스폰지, 섬유와 같은 가연성 물질에 대하여 각각의 발열량을 측정하고 S, Cl 및 회분함량을 분석하였다.⁷⁾

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 차피 파쇄산물의 재질별 구성

Table 1 은 현장 시험을 통하여 얻은 차피 파쇄산물의 재질별 구성 및 분포특성을 나타낸 것이다. 파쇄산물의 총중량을 합산한 결과 모재인 차피중량 1,759 kg에서 손실분 63 kg을 제외한 1,696 kg으로 나타났으며, 여기에서 손실분 63 kg은 shredder 내부 및 conveyor 등의 이송부에 잔류된 것으로 보인다.

재질구성을 살펴 보면 우선 철 스크랩이 1,019.8 kg으로써 60.1%를 차지하여 가장 많은 것으로 나타났으며, Fig. 2 에서 보는 바와 같이 비철금속류가 motor 및 전선류까지 포함하여 약 2% 정도가 산출되었다. 그러나, magnetic separation 과 eddy current separation 으로 미처 분리되지 못한 철 및 비철금속이 fluff 부분으로 혼입된 양이 있기 때문에 실제로는 금속류가 이보다 상회할 것으로 예상되고 있으며, 특히 일부 부품

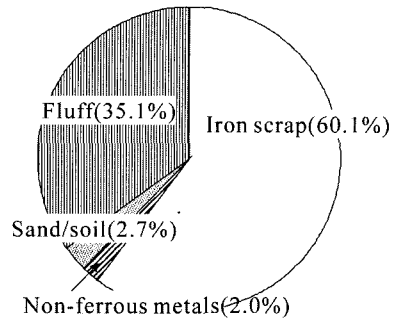


Fig. 2. Distribution of constituent materials from shredder product.

의 재질은 금속과 비금속이 복합재료 형태로 쓰이는 것이 상당히 있기 때문에 이의 완전 분리는 곤란할 것으로 생각되었다. shredder 산물 가운데 현재 전량 폐기되고 있는 토사류와 fluff의 경우 표에서 보는 것처럼 각각 2.7% 및 35.1%를 차지하는 것으로 나타나 자원 재활용 차원에서 이들의 효율적 활용이 매우 중요한 것으로 판단되고 있다. 특히, 토사류의 경우 Table 2 에서 보는 바와 같이 입도분급을 할 경우 -7 mm 부분을 제외하면 대부분 플라스틱, 고무, 섬유 및 전선으로 구성되어 있는 것으로 관찰되고 있어 fluff의 구성과 매우 유사한 것으로 확인되었다. 따라서, 토사류를 별도로 폐

Table 1. Distribution of shredding products from old cars

(unit : kg)

	Iron scrap	Al	Zn	Cu & Alloy	Motor	Wire	Sand/ Soil	Fluff	Total	Fraction, %
shredder iron scrap	980								980	57.8
#1ECS product		8.2	3.8	3.8				1.0	16.8	1.0
#1ECS hand picking		0.4				8.6		2.8	11.8	0.7
#1 overband product	38	0.8	0.2		1.6		5.5	5.2	51.3	3.0
motor hand picking					3.8	2.0		4.8	10.6	0.6
#2 overband product	1.8						2.2	0.8	4.8	0.3
#2 sand/soil							37.8		37.8	2.2
#2ECS product		0.1							0.1	0.0
#2ECS hand picking						1.8			1.8	0.1
#2 heavy fluff								48.2	48.2	2.8
light fluff								532.8	532.8	31.4
Total	1,019.8	9.5	4.0	3.8	5.4	12.4	45.5	595.6	1,696	100
Fraction, %	60.1	0.6	0.2	0.2	0.3	0.7	2.7	35.1	100	

Total weight of old cars : 1,759 kg, Loss : 63 kg

Table 2. Size classification of sand/soil from old car shredding product

Size	Weight, kg	% Fraction	Constituent material
+25 mm	7	15.9	plastic, rubber, fiber, wire
25/15 mm	8.6	19.6	"
15/7 mm	11.9	27.1	"
-7 mm	16.4	37.4	glass, soil & sand
Total	43.9	100.0	

기하기보다는 입도선별을 실시하고 oversize 산물을 fluff와 혼합하여 처리하는 것이 바람직할 것으로 사료되었다.

3.2. Fluff의 재질별 분류

Table 1에서 fluff의 발생장소를 살펴보면 전체 fluff 발생량 595.6 kg 가운데 shredder 공정을 거쳐 cyclone을 통해 분리된 light fluff가 약 532 kg으로써 거의 대부분을 차지하는 것으로 나타났으며, #2 ECS 과정에서 분리된 heavy fluff가 약 48 kg을 차지하고 있다. 이들 fluff의 성상을 살펴보면 우선 fluff의 대부분을 차지하는 light fluff의 경우 size가 큰 것부터 매우 작은 먼지까지 다양하게 분포되어 있었으며, 재질로는 스펀지와 섬유류가 상당히 많은 것으로 관찰되었다. 즉, shredder 산물 가운데 부피가 크고 비중이 작은 물질은 거의 light fluff로 분리되어 산출되었으며, 이 가운데 일부 금속 스프링 및 철사류도 함께 혼입되어 나오는 것이 관찰되었다. 또한, shredder 작업중 열이 발생하는 것을 억제하기 위하여 약간의 냉각수를 살수함에 따라 light fluff 산물, 특히 스펀지 및 섬유류에 일부 수분이 포함되어 있을 것으로 예상되었다.

본 실험에서는 light fluff의 재질별 분리에 앞서 육안으로 판별이 곤란한 작은 입자를 5 cm 체질을 통하여 미리 분류한 다음 5 cm oversize 만을 대상으로 수작업으로 분류하였다. Table 3은 light fluff의 재질별 분포를 나타낸 것으로서, 5 cm undersize가 전체의 70% 이상을 차지하고 있었으며 5 cm oversize 산물중 가장 많은 것은 플라스틱이었고 섬유, 스펀지 및 고무의 순서로 함량이 많았다. 또한, 5 cm undersize 산물을 육안으로 관찰한 결과 대체로 스펀지와 섬유류가 많았으며 특히 길이가 긴 섬유가 다른 재질과 서로 엉긴 상태로 잔류하고 있었다. 특히, 분급과정에서 미립의 먼지가 상당히 많이 비산하였는데 이들 먼지의 주성분은 플라스틱이나 고무가 아닌 폐자동차 내부의 섬유에서 발생한 것으로 추정되었다.

light fluff와는 달리 heavy fluff는 미립질 먼지나 서로 엉긴 부분이 없이 비교적 깨끗한 상태로 산출되었으며, 수작업에 의한 재질별 분류가 매우 용이하였다. Table 4는 heavy fluff를 고무, 플라스틱, 유리, 스펀지, 섬유류, 전선류 및 기타의 7종으로 수작업을 통하여 분리한 결과를 나타낸 것이다.

Table 4에서 보면 heavy fluff 가운데 플라스틱과 고무가 각각 40.7% 및 40.2%로써 대부분을 차지하는 것으로 관찰되었으며, 유리가 약 8%로 제법 많은 양이 혼입되어 있었다. 이는 폐자동차 shredder 산물 가운데 비교적 부피에 비해 무거운 비금속 물질이 heavy fluff로 산출되기 때문으로 풀이되고 있으며, 따라서 light fluff에 많은 섬유와 스펀지는 각각 2% 정도로 매우 적은 양만이 혼입되어 있는 것으로 나타났다.

이와 같은 본 실험의 fluff 성상과 재질별 분리를 통해 shredder 산물의 35% 이상을 차지하고 현재 전량 폐기되고 있는 fluff 중 light fluff는 섬유와 스펀지 같은 가벼운 물질이 대부분을 차지하는데 반하여 heavy fluff는 고

Table 3. Classification of materials in light fluff

	Sponge	Plastic	Fiber	Rubber	Leather	Metal	Wire	-5 cm	Total
Weight, kg	28.4	56.5	36.7	21.4	3.7	4.7	5.8	375.6	532.8
% Fraction	5.3	10.6	6.9	4.0	0.7	0.9	1.1	70.5	100.0

Table 4. Classification of materials in heavy fluff

	Rubber	Plastic	Glass	Sponge	Fiber	Wire	Others	Total
Weight, kg	16.0	16.2	3.2	1.1	0.8	0.6	1.9	39.8
% Fraction	40.2	40.7	8.0	2.8	2.0	1.5	4.8	100.0

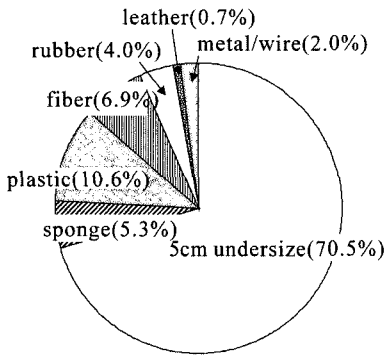


Fig. 3. Distribution of materials in light fluff.

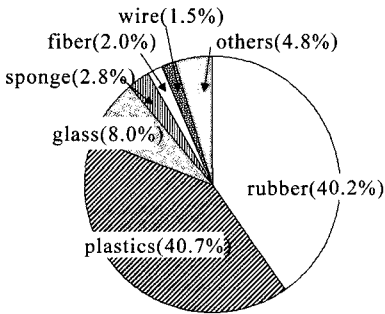


Fig. 4. Distribution of materials in heavy fluff.

무, 플라스틱 및 유리가 주구성 성분임을 확인할 수 있었다(Fig. 3 및 Fig. 4 참조). 또한, light fluff는 size가 큰 것부터 미립 분말까지 각기 다른 재질이 서로 엉겨 있는 상태로써 재질별 분리가 곤란하였으며, heavy fluff의 경우에는 수작업에 의한 재질 분류가 용이하였다.

3.3. Fluff의 특성분석

Table 5는 light fluff와 heavy fluff 가운데 연소가

가능한 재질을 대상으로 각각의 발열량, S, Cl함량 및 회분함량을 분석조사한 결과를 나타낸 것으로써, 발열량의 경우 예상한 대로 플라스틱이 10,000 cal/gr을 상회하여 가장 높은 것을 알 수 있었다. 플라스틱 다음으로는 섬유류가 발열량 7,850 cal/gr으로 비교적 높았으나, 스펀지, 가죽, 고무류는 모두 7,000 cal/gr 미만으로 나타났고, 같은 재질의 경우 heavy fluff와 light fluff간의 분석치는 일부 항목에 있어서 차이가 있었다. S함량에 있어서는 light fluff와 heavy fluff의 고무류가 1.7 및 1.1 wt% 인 것을 제외하고 대부분 0.3 wt% 미만으로 나타나 연소 혹은 소각시 큰 문제를 야기시키지 않을 것으로 사료되었으나 Cl함량은 light fluff의 가죽과 고무에서 각각 10.3 및 2.55 wt%를 함유한 것으로 나타나고 있고 그외의 재질에서도 대체로 0.5 wt% 내외의 Cl이 존재하는 것으로 관찰되었다. 가죽에서 Cl함량이 상당히 높게 나온 것은 의외의 결과로써, 이는 자동차 내장재로 사용되는 가죽이 대부분 합성가죽 혹은 복합재질로 이들 가죽의 제조공정시 염소함유 물질을 많이 첨가하기 때문으로 풀이되고 있다. 현재 폐자동차 shredder residue의 처리에 가장 큰 애로요인으로 작용하는 연소 혹은 소각시 폐가스중의 HCl 혼입문제는 이와 같이 fluff에 함유된 염소성분으로 알려져 있으며, 따라서 fluff의 열에너지로써의 재활용을 위해서는 염소성분의 사전제거 혹은 연소가스의 완벽한 처리가 선행되어야만 할 것으로 생각된다.

한편, 회분함량의 경우 light fluff 및 heavy fluff 고무류가 각각 24.1 및 32.8 wt%로 매우 높게 나타났는데 이것은 고무 제조공정의 각종 무기질 첨가제 때문으로 풀이되며 고무류를 제외한 다른 재질의 회분은 대체로 10 wt% 내외인 것으로 관찰되었다.

Table 5. Analysis of fluffs separated from shredder line of old car

Fluff	Material	Caloric value (cal/gr)	S (wt%)	Cl (wt%)	Ash content (wt%)
Light	Fiber	7,850	<0.3	0.48	10.3
	Sponge	5,940	<0.3	0.67	9.79
	Leather	5,160	<0.3	10.3	14.3
	Rubber	5,560	1.7	2.55	24.1
	Plastic	10,500	<0.3	0.59	1.90
Heavy	Sponge	6,410	<0.3	0.52	6.55
	Rubber	4,300	1.1	0.49	32.8

4. 결 론

국내 자동차 3사에서 제작한 폐자동차 차피의 파쇄 및 재질선별을 위한 현장시험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 파쇄산물의 총중량은 모재인 차피중량 1,759 kg에서 손실분 63 kg을 제외한 1,696 kg으로 나타났으며, 이 가운데 철 스크랩은 1,019.8 kg으로 전체의 60.1%를 차지하였고 비철금속이 motor 및 전선류를 포함하여 약 2% 정도가 산출되었다.
2. 토사류의 경우 입도분급을 할 경우 -7 mm 부분을 제외하면 대부분 플라스틱, 고무, 섬유 및 전선으로 구성되어 있어 fluff의 구성과 매우 유사함을 알 수 있었으며, 따라서 토사류를 별도로 폐기하기 보다는 입도선별을 실시하고 oversize 산물을 fluff와 혼합하여 처리하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.
3. 파쇄산물중 fluff의 비율은 35.1%이었으며, 이 가운데 light fluff가 약 90%로 대부분을 차지하였고 heavy fluff의 비율은 8% 이었다. fluff의 성상을 살펴보면 light fluff의 경우 size가 큰 것부터 매우 작은 먼지까지 다양한 물질로 구성되어 있었으며, heavy fluff의 경우에는 비교적 깨끗한 상태로 산출되어 수작업에 의한 재질분리가 용이하였다.
4. fluff의 재질별 분포를 조사한 결과 light fluff에는 섬유와 스폰지 같은 가벼운 물질이 대부분을 차지하였고, heavy fluff는 고무, 플라스틱 및 유리가 주구성 성분을 확인할 수 있었다.
5. fluff 구성물질 가운데 플라스틱의 발열량이 10,000

cal/gr 이상으로 가장 높았으며, S 함량에 있어서는 고무류를 제외하고는 대부분 0.3 wt% 미만으로 나타났다. CI함량의 경우 가죽 10.3 wt%, 고무 2.55 wt%를 비롯하여 모든 재질에서 0.5 wt% 내외로 검출되었다.

참고문헌

1. I. Numajiri : "Current situation and tasks of disposal of end-of-life vehicles", 資源 と 素材, v. 116, pp. 879-888 (2000).
2. B. J. Jody et al. : "Recycling of plastics in automobile shredder residue", U.S. DOE Report, DE90-011110, pp. 1-5 (1990).
3. W. S. Hubble, I. G. Most and M. R. Wolman : "Investigation of the energy value of automobile shredder residue", U.S. DOE Report, DE87-013645, pp. 7-14 (1987).
4. U. S. Patent, 4,517,016 (1985).
5. 前田邦夫 : "自動車 리사이클링의 現狀과 課題", 合成樹脂, v. 41, pp. 46-50 (1995).
6. 스웨덴 자동차 제조 및 판매협회 : "폐차에 대한 생산자의 의무", 스웨덴 환경보호국 보고서, 스웨덴 (1998).
7. 오종기, 이화영, 김성규 : "폐자동차 차피파쇄잔류물의 조성에 대한 분석평가연구", 자원리사이클링학회지, v. 10, pp. 34-41 (2001).

李 華 永

- 현재 한국과학기술연구원 금속공정연구센터 책임연구원
- 본 학회지 제9권 2호, 제10권 4호 참조

吳 鐘 基

- 현재 한국과학기술연구원 금속공정연구센터 책임연구원
- 본 학회지 제9권 2호, 제10권 4호 참조

金 成 奎

- 현재 한국과학기술연구원 금속공정연구센터 책임연구원
- 본 학회지 제9권 2호, 제10권 4호 참조