

廢自動車 車皮破碎殘留物의 組成에 대한 分析評價研究

†吳鍾基 · 李華永 · 金成奎

韓國科學技術研究院, 金屬工程研究센터

Evaluation and Analysis of Composition of Shredder Residue from End-of-life Vehicle

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

Metals Processing Research Center, Korea Institute of Science & Technology,

P.O. Box 131, Cheongryang, Seoul, Korea

요 약

현재 전량매립 처분되고 있는 차피파쇄잔류물(shredder residue)의 연료로서의 활용 가능성을 모색하기 위한 분석평가시험을 실시하였다. 수집한 차피파쇄잔류물을 입도별 및 재질별 선별작업을 통해 분류하고 이들 시료에 대한 Cl, S, 회분 및 발열량에 대한 화학분석을 실시하였다. 플라스틱에 함유된 PVC의 영향으로 대상시료 3종류 중 1종류만을 제외하고는 시료의 평균 Cl 함량은 모두 4 wt%를 상회하였다. 반면, S 함량은 0.25~0.39 wt%로써 비교적 낮았다. 발열량의 경우 플라스틱이 10,000 kcal/kg 이상으로 가장 높았으며, 나무/종이 및 섬유류가 4,000 kcal/kg 정도로써 가장 낮게 나타났다. 차피파쇄잔류물 중의 금속성분은 Fe가 6~8.5 wt%인 것을 제외하고는 모두 미량인 것으로 확인되었으며, 유독성 중금속인 Hg와 Cr(VI)은 검출이 되지 않았고, Cd은 0.0004~0.0009 wt%로 극미량이 검출되었다.

주제어: 슈레더 더스트, 분류, 폐자동차, 발열량

ABSTRACT

A research was performed to evaluate a use of shredder residue to currently dispose of at landfills. Laboratory analyses were conducted to determine especially the fuel characteristics of shredder residue. For this aim, shredder residue was classified by the particle size as well as by the type of material and the content of Cl, S, ash, and calorific value were determined. Due to the chlorinated plastic content of shredder residue, mean concentration of Cl was found to exceed 4wt% except one sample while that of S was ranged from 0.25 to 0.39 wt%. As far as calorific value was concerned, plastic was observed to be more than 10,000 kcal/kg while wood/paper and fiber accounted for approximately 4,000 kcal/kg. Shredder residue was found to contain varying trace amounts of metal elements, including Fe of 6~8.5 wt%. Hg and Cr(VI) were not detected, however, while Cd was contained as small as 0.0004~0.0009 wt%.

Key words: Shredder residue, classification, old car, calorific value

1. 서 론

우리나라의 자동차 폐차대수는 자동차 보유대수가 급격하게 증가된 1988 전후부터 꾸준히 증가하여 1997년까지 연평균 20%의 증가율을 보여왔으나, 1997년 후반

부터 경기후퇴로 인하여 생산대수 급감에 따라 폐차대수 또한 일시적으로 감소하였다.¹⁾ 그러나, 국내 자동차 산업의 지속적인 팽창에 따라 장기적으로 폐자동차의 발생량은 점진적으로 증가할 것으로 예상되고 있다. 주지하는 바와 같이 폐자동차는 다양한 재질의 부품과 심지어는 오일 및 연료를 포함하여 여러 가지 액체물질까지 내재되어 있기 때문에 자원재활용의 측면에서 볼 때

† 2001년 7월 1일 접수, 2001년 7월 30일 수리

† E-mail: ohjoko@kist.re.kr

매우 중요한 가치를 지니고 있다고 할 수 있다. 현재, 우리나라는 1982년 처음 폐차제도를 도입하여 1984년부터 중고부품의 재활용이 도입되었으나, 아직까지 일부 부품에만 국한되어 있으며, 비공식적으로 해체단계에서 활용 가능한 부품이 유통되고 있는 것으로 알려져 있다.

해체가 완료된 폐자동차는 프레스로 압축하여 차피파쇄업체로 이송처리하게 되며, 이 과정에서 자력선별, 와류선별, 풍력선별 등의 방법^{2,3)}으로 철 및 비철금속을 분리한 다음 최종적으로 차피파쇄잔류물로 처분하게 된다. 따라서, 차피파쇄잔류물에는 자동차 부품에 사용한 플라스틱, 고무, 섬유류, 스펀지, 나무 등의 다양한 재질과 함께 일부 자력 및 와류선별과정에서 미분리된 금속파편이 혼입되어 있다. 차피파쇄산물(shredded products) 중 차피파쇄잔류물의 비율은 폐자동차 종류, 해체방법 및 차피파쇄업체의 조업조건 등에 따라 다소 차이는 있으나 대체로 1/3 정도인 것으로 알려져 있다.^{4,5)} 현재, 이들 차피파쇄잔류물의 처리방법은 별다른 해결책이 없어 소각 또는 전량매립방식으로 처분하고 있어 불가피하게 환경오염을 발생시키게 된다. 특히, 소각의 경우 PVC에 함유된 Cl이 염화수소 가스로 발생하는 문제점이 있다.²⁾ 따라서, 차피파쇄업체에서는 차피파쇄잔류물의 매립처분방식을 선호하나, 폐기물 관리법 규정과의 마찰이 빚어질 소지가 있는 등 여전히 문제가 남아있다.

독일을 비롯한 선진외국의 경우 차피파쇄잔류물을 소각처리^{6,7)}하고 이로부터 발생하는 열을 이용해 발전을 하는 등의 활용이 이루어지고 있으나, 이를 위해서는 대기오염원인 PVC부품을 다른 재질로 대체하거나 혹은 선별과정에서 이를 사전에 분리할 필요가 있다. 국내에서도 차피파쇄잔류물을 시멘트 공장에서 열원으로 사용하기 위한 시도가 있기는 하나 궁극적으로는 Cl 함량이 높은 PVC 때문에 본격적으로 이루어지지 않는다고 있는 상태이다.

본 논문에서는 현재 담보상태에 있는 차피파쇄잔류물 재활용 문제와 관련하여 국내 차피파쇄업체에서 발생하는 차피파쇄잔류물의 성상 및 조성을 분석평가함으로써, 향후 이의 효율적인 처리에 다소나마 도움이 되기 위한 자료를 제공하고자 한다.

2. 실험방법

본 실험에 사용한 차피파쇄잔류물 시료는 국내 폐자

동차 차피파쇄업체 2 개소에서 채취한 3 종류의 시료를 대상으로 하였다. 차피파쇄업체 2 곳은 우선 중부지역의 A업체와 남부지역의 B업체를 직접 방문하여 채취를 하였으며, 이 중 B업체의 시료는 Shredder 후의 분리공정에서 배출되는 차피파쇄중잔류물(heavy shredder residue, 이하 '중파쇄잔류물'이라 칭함)과 차피파쇄경잔류물(light shredder residue, 이하 '경파쇄잔류물'이라 칭함)를 별도로 채취하여 2 종류로 구분하였다. B업체는 차피파쇄산물을 우선 cyclone으로 처리하여 경파쇄잔류를 제거하고, 철과 비철금속을 자선 및 와류선별공정을 거친 후 수선으로 비금속을 추가회수하며, 이때 최종 잔류물인 파쇄잔류를 중파쇄잔류물로 구분하여 배출한다.

채취된 3 종류의 차피파쇄잔류물은 수작업으로 금속 재질과 전선류를 우선 분리한 다음 각각 가로/세로 30, 12, 7 및 2 mm의 정사각형 개구공을 갖는 4 종류의 철스크린을 사용하여 입도별 분급을 실시하였다. 이와 같이 분리된 입도별 산물은 다시 plastic, wood/paper, fiber, rubber, foam/sponge, 기타의 6 종류 재질별로 수작업을 통해 분리하였다. 이때 7 mm 이하의 입도산물은 육안으로 재질을 선별하는데 정확도를 기하기 어렵기 때문에 재질별 분리를 실시하지 않았으며, 기타로 분류된 재질 역시 7 mm 이상 입도산물 중에서도 재질판별이 확실치 않은 부분을 의미한다.

입도분리 및 재질분리된 차피파쇄잔류물 시료의 화학분석은 Cl 및 S 함량, 발열량, 회분의 4개 항목에 대한 분석을 실시하였으며, 이때 분석시료의 균일성을 최대한 확보하기 위하여 2~3 단계의 size reduction 과 혼합과정을 반복하여 최종적으로 시료 1건당 30 gr 내외의 분석시료를 준비한 다음 100±5°C에서 충분히 건조하였다. 발열량 및 회분은 Parr Instruments Co.의 Iso Peribol Calorimeter(Model 1266-2A)를 이용한 공업시험법으로 측정하였으며, Cl 및 S 함량은 Oxygen Bomb를 이용하여 산소압력 25기압하에서 시료를 연소한 다음 연소가스를 Scrubbing하여 Ion Chromatography(DIONEX 300)로 분석하였다.

한편, 차피파쇄잔류물 미립부위에 함유된 중금속 성분을 확인하기 위하여 A업체 7/2 mm 및 -2 mm 시료와 B업체 -2 mm 시료를 대상으로 AA Spectrometry(Model: SpectraAA 55)와 ICP(Model: Plasmascan 710)를 이용하여 Fe를 비롯한 총 21 원소에 대하여 정량분석을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 차폐폐쇄잔류물 시료의 입도선별 및 성분분석

Table 1 및 2 는 A업체의 차폐폐쇄잔류물을 대상으로 입도선별 및 성분분석한 결과이다. A업체 시료의 입도 분포를 살펴 보면, +30 mm 이상의 조대부분이 39.4%로 가장 많고, -2 mm이하의 미립질은 14.0%인 것으로 나타나 비교적 입도가 큰 편이었다. 이중 금속 및 전선류는 2.5%를 차지하고 있어 차폐폐쇄산물의 자력선별 공정에서 대부분의 철이 회수되고, 와류선별과 수선공정에서 비철금속이 거의 분리회수되었음을 알 수 있었다. 일부 전선류가 분리되지 못한 것은 이들이 피복재로 쌓여 있기 때문이며, 이 결과를 볼 때 현재 A업체의 차폐폐쇄잔류물은 피복재로 덮여 있는 Cu의 회수효율 증대와 미립질 부분의 금속회수 관건이라 할 수 있다.

입도별 시료에 대한 Cl, S, 회분 및 발열량 분석결과를 보면, Cl 함량은 +30 mm 이상 시료에 대하여 7.98 wt%로 가장 높았으며, -2 mm 이하 시료가 0.17 wt%로 가장 낮게 나타났다. 이것은 조대부분으로 갈수록 PVC 플라스틱 및 고무류가 많이 혼입되었기 때문으로 판단된다. 특히, PVC 플라스틱을 제외하고도 고무류에서도 Cl 성분이 많이 검출된다는 사실이 주목된다. S 함량은 모든 입도에서 큰 차이가 없이 평균 0.25 wt%의 수치를 보이고 있고, 발열량과 회분은 역비례 관계를 보여 주고 있으며, 조대부분으로 갈수록 발열량은 증가하고 회분은 감소하고 있다. 즉, 7 mm 이상 시료의 경우 발열량은 6,600~7,800 kcal/kg 의 수치를 보이고 회분은 20% 내외로 나타나나 7 mm 이하 시료의 경우 발열량이 크게 떨어져 4,000 kcal/kg 미만인 반면 회분은 40~75%로 매우 높았다.

Table 1. Classification and analysis of shredder residue from company A

Size (mm)	weight distribution and concentration (wt%, kcal/kg)				
	Distribution	Cl	S	Calorific value	Ash content
+30	39.4	7.98	0.28	6,644	18.1
30/12	19.9	2.53	0.21	6,600	21.1
12/7	9.5	0.78	0.21	7,824	21.9
7/2	17.2	2.08	0.21	3,900	42.4
-2	14.0	0.17	0.28	2,500	75.3
Total	100	4.10	0.25	5,695	31.2

*metals & wire : 2.5 wt%

재질별 입도분포 및 성분분석 결과를 살펴 보면, Table 2-1, 2-2 및 2-3 에서 보는 바와 같이 플라스틱의 경우 전 입도에서 함량이 가장 높아 차폐폐쇄잔류물의 주종이 플라스틱임을 알 수 있으며, 그 다음이 섬유류

Table 2-1. Material Classification and analysis of shredder residue from company A (Size +30 mm)
(Unit : wt%, kcal/kg)

Material	Distribution	Cl	S	Calorific value	Ash content
Plastics	27.8	17.8	-	11,400	10.6
Wood/paper	5.8	0.24	0.38	4,700	11.6
Fiber	20.4	0.37	0.35	3,700	35.7
Rubber	12.0	11.0	0.84	4,800	16.3
Foam/sponge	26.8	0.09	0.30	4,700	18.3
Others	7.2	22.3	0.14	8,500	4.82
Total	100	7.98	0.28	6,644	18.1

Table 2-2. Material Classification and analysis of shredder residue from company A (Size 30/12 mm)
(Unit : wt%, kcal/kg)

Material	Distribution	Cl	S	Calorific value	Ash content
Plastics	29.0	0.04	-	9,800	3.28
Wood/paper	5.7	0.15	0.15	4,000	4.96
Fiber	40.4	0.37	0.38	4,500	32.7
Rubber	6.7	0.10	0.17	7,800	53.4
Foam/sponge	9.8	0.51	0.27	5,200	21.1
Others	8.4	27.4	0.13	8,100	12.5
Total	100	2.53	0.21	6,600	21.1

Table 2-3. Material Classification and analysis of shredder residue from company A (Size 12/7 mm)
(Unit : wt%, kcal/kg)

Material	Distribution	Cl	S	Calorific value	Ash content
Plastics	45.3	0.05	0.14	11,300	11.1
Wood/paper	4.9	0.37	0.20	4,600	14.3
Fiber	32.1	0.34	0.23	4,600	37.7
Rubber	2.6	0.45	0.73	8,400	19.2
Foam/sponge	5.1	0.90	0.47	5,000	29.3
Others	10.0	5.76	0.18	5,300	21.1
Total	100	0.78	0.21	7,824	21.0

Table 3. Classification and analysis of heavy shredder residue from company B

Size (mm)	weight distribution and concentration(wt%, kcal/kg)				
	Distribution	Cl	S	Calorific value	Ash content
+30	80.2	5.74	0.37	6,935	32.3
30/12	16.8	1.37	0.51	8,459	11.2
12/7	1.5	2.47	0.30	6,873	16.2
-7	1.5	0.53	0.40	4,800	39.2
Total	100	4.88	0.39	7,158	28.6

*metals & wire : 8.6 wt%

및 스폰지인 것으로 나타났다. 특이한 점은 플라스틱 가운데 +30 mm 부분에서 Cl 함량이 17.8 wt%로 높게 나타난 반면, -30 mm 부분에서는 Cl 함량이 0.04~0.05 wt%로 매우 낮아지고 있어, PVC 플라스틱이 조대부분으로 몰려 있음을 알 수 있었다. S의 경우 고무류의 함량이 가장 높게 나타나고 있는데 이는 가교제인 유황이 첨가되었기 때문으로 풀이된다. 발열량의 경우 플라스틱이 10,000 kcal/kg을 상회하여 가장 높았으며, 고무류는 대체로 7,000~8,000 kcal/kg 정도인 것으로 나타났다. 나머지 나무/종이, 섬유 및 스폰지는 5,000 kcal/kg 미만의 발열량을 보여 상대적으로 낮았다. 플라스틱의 발열량이 가장 높은 이유는 다른 재질에 비하여 상대적으로 무기성 첨가제나 혼합물 함량이 낮기 때문인 것으로 사료된다.

Table 3, 4, 5 및 6은 B업체 시료 중파쇄잔류물과 경파쇄잔류물 2종류를 대상으로 입도분급 및 성분분석한 결과를 나타낸 것이다. 중파쇄잔류물은 +30 mm 시료가 전체의 80.2%를 차지해 주종을 이루었으며, 평균 발열량은 7,158 kcal/kg 로써 A업체의 5,695 kcal/kg 보다 높은 것으로 나타났다. 이 역시 발열량이 비교적 높은 플라스틱이 중파쇄잔류물로 몰린 이유 때문으로 풀이된다. 평균 Cl 함량은 4.88 wt%로 A업체 시료와 유사하였다. 그러나, 경파쇄잔류물은 평균 발열량이 6,412 kcal/kg으로 중파쇄잔류물에 비하여 다소 낮았으며, 평균 Cl 함량은 1.78 wt%로 중파쇄잔류물에 비해 PVC플라스틱이 상대적으로 적음을 알 수 있다.

B업체 시료의 재질별 분리결과를 살펴 보면 중파쇄잔류물에서는 플라스틱이 가장 많고, 그 다음이 고무류인 것으로 나타났으나 경파쇄잔류물에서는 플라스틱 다음이 섬유류인 것으로 나타나 차파쇄잔류물 선별과정

Table 4-1. Material Classification and analysis of heavy shredder residue from company B (Size +30 mm)
(Unit : wt%, kcal/kg)

Material	Distribution	Cl	S	Calorific value	Ash content
Plastics	34.6	15.0	0.04	9,800	13.1
Wood/paper	2.4	0.08	0.25	5,300	2.56
Fiber	7.6	0.43	0.31	5,200	21.7
Rubber	47.6	0.04	0.67	5,200	53.3
Foam/sponge	3.7	0.07	0.08	7,800	9.93
Others	4.1	12.1	0.11	6,300	7.48
Total	100	5.74	0.37	6,935	32.3

Table 4-2. Material Classification and analysis of heavy shredder residue from company B (Size 30/12 mm)
(Unit : wt%, kcal/kg)

Material	Distribution	Cl	S	Calorific value	Ash content
Plastics	40.9	0.06	0.04	10,300	1.38
Wood/paper	5.3	0.18	0.11	5,100	6.47
Fiber	13.0	0.25	0.35	5,600	12.8
Rubber	25.2	0.07	1.65	8,600	13.8
Foam/sponge	6.5	0.26	0.24	7,100	34.0
Others	9.1	13.9	0.17	6,800	32.4
Total	100	1.37	0.51	8,459	11.2

Table 4-3. Material Classification and analysis of heavy shredder residue from company B (Size 12/7 mm)
(Unit : wt%, kcal/kg)

Material	Distribution	Cl	S	Calorific value	Ash content
Plastics	27.5	0.10	0.05	10,200	8.11
Wood/paper	13.7	0.32	0.29	5,100	4.10
Fiber	15.7	0.45	0.37	5,600	18.6
Rubber	15.7	13.8	0.68	6,000	18.6
Foam/sponge	13.7	0.63	0.19	6,200	15.8
Others	13.7	0.53	0.40	5,100	39.2
Total	100	2.47	0.30	6,873	16.2

에서 고무류와 조대부분의 플라스틱은 비교적 비중이 다소 크고 조립이 많기 때문에 중파쇄잔류물로 몰리고, 섬유류 및 스폰지 등은 비중이 작아 경파쇄잔류물로 몰리는 한편 소립파쇄물도 경파쇄잔류물로 몰리는 것을 알

Table 5. Classification and analysis of light shredder residue from company B

Size (mm)	weight distribution and concentration(wt%, kcal/kg)				
	Distribution	Cl	S	Calorific value	Ash content
+30	49.0	2.21	0.26	7,748	11.1
30/12	25.8	2.25	0.44	5,587	15.4
12/7	4.0	0.84	0.47	6,550	17.3
-7	21.2	0.40	0.43	4,300	50.0
Total	100	1.78	0.35	6,412	20.7

*metals & wire : 5.5 wt%

수 있다. 실제로 수작업으로 선별하는 과정에서 고무류는 잘게 파쇄된 상태가 아니고 중간중간 끊기기는 하였으나 길게 늘어진 상태로 존재하는 경우를 많이 볼 수 있었다. 발열량에 있어서는 A업체와 마찬가지로 플라스틱이 10,000 kcal/kg을 상회하여 가장 높았으며, 나무/종이, 섬유류 및 스펀지는 대체로 5,000 kcal/kg 내외인 것으로 나타났다. 특히, 중파쇄잔류물 플라스틱의 Cl 함량이 높게 나타나고 있어 PVC플라스틱이 많이 함유되었음을 반증해 주고 있다. S는 A업체 시료와 마찬가지로 가교제가 함유된 고무류가 가장 높았다.

이와 같이 A업체와 B업체의 차폐파쇄잔류물 분급과 성분분석을 실시한 결과 대체적으로 재질별 특성은 A업체와 B업체가 유사하게 나타났으며, 다만 입도별 분포 및 재질분포에 있어서 다소 차이가 나는 것으로 나타났다. 이것은 A업체와 B업체 모두 국산 폐자동차를 처리하였기 때문에 유사한 재질별 특성을 보이는 것이며, 다만 Shredder 조업 방식이나 조건이 업체에 따라 차이가 나기 때문에 입도면에 있어서 다르게 나타날 수 있다는 것을 보여준다.

3.2. 재질별 구성비율 및 성분분석

Fig. 1은 7 mm 이상 입도를 대상으로 A업체와 B업체 시료의 재질별 분포를 종합적으로 나타낸 것으로서, A업체의 경우 플라스틱이 30.6%로 가장 많았으며, 그 다음으로 섬유, 스펀지 등의 순서로 나타났다. 반면, B업체의 중파쇄잔류물에서는 고무류가 43.3%로 가장 많은 비율을 차지하였고, 플라스틱이 35.6%로 그 다음을 차지하고 있다. 그리고 B업체의 경파쇄잔류물 중에는 플라스틱이 27%로 가장 많고 그 다음으로 나무/종이 및 섬유류이며, 고무류가 가장 낮았다. 이와 같이 업체

Table 6-1. Material Classification and analysis of light shredder residue from company B (Size +30 mm) (Unit : wt%, kcal/kg)

Material	Distribution	Cl	S	Calorific value	Ash content
Plastics	30.5	0.14	0.08	11,800	2.45
Wood/paper	6.9	1.50	0.10	4,900	1.40
Fiber	23.1	0.53	0.50	4,700	24.2
Rubber	9.1	1.50	0.86	8,100	13.3
Foam/sponge	18.7	0.24	0.16	6,000	8.86
Others	11.7	15.0	0.08	7,400	15.0
Total	100	2.21	0.26	7,748	11.1

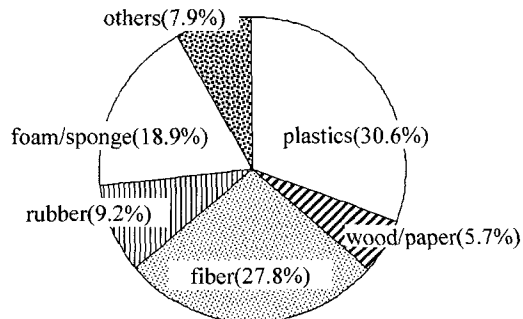
Table 6-2. Material Classification and analysis of light shredder residue from company B (Size 30/12 mm) (Unit : wt%, kcal/kg)

Material	Distribution	Cl	S	Calorific value	Ash content
Plastics	20.4	2.94	0.08	6,500	2.88
Wood/paper	8.1	0.17	0.24	5,000	9.14
Fiber	27.8	0.41	0.71	4,600	22.0
Rubber	13.5	4.59	0.21	3,400	29.3
Foam/sponge	16.4	0.57	0.21	6,100	12.4
Others	13.8	5.86	1.05	8,100	14.3
Total	100	2.25	0.44	5,587	15.4

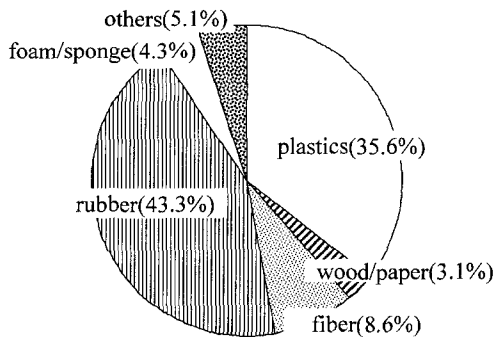
Table 6-3. Material Classification and analysis of light shredder residue from company B (Size 12/7 mm) (Unit : wt%, kcal/kg)

Material	Distribution	Cl	S	Calorific value	Ash content
Plastics	28.9	0.01	0.17	9,300	8.29
Wood/paper	7.7	0.55	0.20	4,600	11.7
Fiber	34.6	0.67	0.72	4,700	25.0
Rubber	9.6	0.04	1.11	8,400	18.8
Foam/sponge	9.6	0.29	0.17	6,600	16.8
Others	9.6	5.56	0.30	4,600	19.9
Total	100	0.84	0.47	6,550	17.3

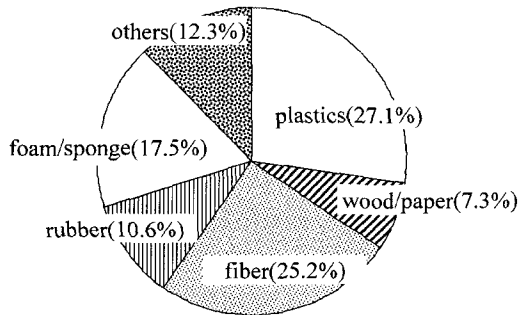
별로 차이가 나는 이유는 앞에서 언급한 바와 같이 각 업체의 차폐파쇄 운전 방식이나 조건이 다소 다르기 때문인 것으로 풀이되고 있다. 특히, B업체의 중파쇄잔류물과 경파쇄잔류물에서 특히하게 고무류의 비율이 차이



(A) Company A



(b) Company B (Heavy shredder residue)

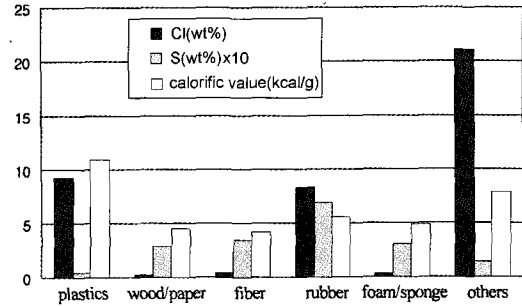


(c) Company B (light shredder residue)

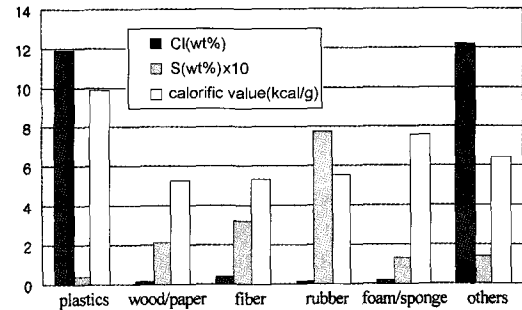
Fig. 1. Material distribution of shredder residue (+7 mm size).

가 나는 이유는 다른 재질에 비해 차피파쇄기에 의한 고무류의 파쇄가 용이하지 않아 조대하며 또 비중이 비교적 크기때문에 차피파쇄산물의 분급과정에서 고무류가 중파쇄잔류물로 많이 몰리고 있으며, 플라스틱이 경파쇄잔류물에 상당량 존재하는 것은 차피파쇄공정에서 상당한 부분이 세립으로 되기 때문으로 생각된다.

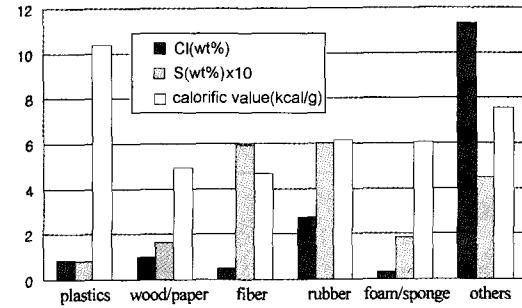
Fig. 2는 재질별 CI 및 S 함량 그리고 발열량을 종합하여 막대그래프로 나타낸 것으로써, A업체의 경우



(A) Company A



(B) Company B (oversize)



(C) Company B (undersize)

Fig. 2. Analysis results depending on material in shredder residue.

기타재질에서 CI함량이 20 wt% 이상으로 상당히 높음을 알 수 있었다. 이것은 선별작업시 단일 품목으로 구분이 어려운 복합재질 중에 PVC가 상당량 함유되어 있기 때문인 것으로 판단되며, 이러한 경향은 B업체의 시료에서도 마찬가지로 나타나고 있다. 또한, 플라스틱이나 고무류를 제외한 다른 재질에서는 CI이 매우 낮은 수준으로 존재하고 있다. 다만, B업체 경파쇄잔류물의 경우 모든 재질에서 다른 시료에 비해 CI이 높게 나타나고 있는데, 이것은 선별과정에서 PVC 부스러기가 각 입도에 많이 혼입되었기 때문인 것으로 사료된다.

한편, 발열량에 있어서는 플라스틱이 약 10,000 kcal/kg으로 제일 높았으며, 나무/종이 및 섬유류가 4,000 kcal/kg를 약간 상회하여 비교적 낮았다.

3.3. 차피파쇄잔류물의 금속성분

앞에서 살펴본 바와 같이 차피파쇄잔류물 시료의 입도 분급 후 재질분석을 한 결과, 우선 금속 및 전선류를 수작업으로 분리하여 비율을 측정하였을 때 A업체 시료는 2.5%, B업체 중파쇄잔류물이 8.6%, 경파쇄잔류물이 5.5%로써 전체 차피파쇄잔류물에서 차지하는 비율이 비교적 낮으나 차피파쇄산물에 비철금속이 4~5%인 점을 감안한다면 매우 높은 편이다. 이들 대부분이 고분자 레진인 피복재로 둘러싸인 전선류이기 때문에 구리 이외의 금속성분은 매우 적은 것으로 나타나고 있다. 입도분급 과정에서 금속 및 전선류를 미리 분리하게 되면 금속성

분이 함유되어 있을 가능성이 있는 시료는 미립질(-7 mm 이하) 뿐이 없기 때문에 본 연구에서는 3종류(A업체 7/2 mm, A업체 -2 mm, B업체 -2 mm) 시료를 대상으로 금속성분 함량을 측정하였다. Table 7 에서 보면 이들 시료 모두에서 Si를 제외하고는 Fe 함량이 6~8.5 wt%로 가장 높았으며, 나머지 금속원소는 대부분 함량치가 매우 낮게 나타나고 있다. 이는 앞에서 언급한 바와 같이 Shredder products 의 자력 및 와류선별/수선공정에서 매우 효율적으로 금속성분이 분리되었음을 말해주며 따라서 차피파쇄잔류물 중의 금속은 양적인 면에서 매우 적게 나타나는 것으로 평가된다. Si의 경우 6.2~13 wt%로 비교적 높게 나타나는 이유는 자동차 의 구성물질에서 유래한 것이 아니고 폐차의 관리 및 해체과정에서 흙 등이 혼입되거나 또는 차피파쇄잔류물을 야적하는 과정에서 야적장의 흙이나 모래가 혼입되었기 때문이다. 독일에서는 이러한 오염을 피하기 위해서 폐차의 보관을 보관선반을 설치하여 보관관리하고 있으며, 해체공장의 대부분을 포장하여 흙 등이 혼입되지 않도록 해체 및 차피파쇄작업을 하고 있었다. 한편, 차피파쇄잔류물의 분석결과에 의하면 유독성 중금속인 Hg 와 6가 크롬은 검출한계 이하로 나타났으며, Cd은 0.0004~0.0009 wt%로 극히 낮았다. 이 성분을 포함하여 납 등 4개 중금속 성분은 유럽에서는 2003년부터 규제할 예정이다.

이와 같이 국내 차피파쇄업체에서 발생하는 차피파쇄잔류물 3개 시료를 대상으로 그 중의 총 금속함량과 금속원소별 함량치를 정량한 결과 차피파쇄잔류물에 함유된 금속함량 자체가 매우 적은 것은 자력선별 및 와류선별/수선공정에 의한 세밀한 금속성분의 분리가 있었기 때문이다. 이 공정에서 금속회수공정을 개선하여 수선비 저감을 기하고 특히, PVC가 많은 레진으로 피복된 전선류를 분리하는 것은 구리의 회수외에도 염소성분을 나추는 효과를 가져올 수 있어 차피파쇄잔류물의 에너지 원료화에 매우 긴요한 과제라 할 수 있다.

따라서 현재의 차피파쇄운전 상태에서는 차피파쇄잔류물 중의 동함유 전선 회수 및 기타 염소성분이 많은 PVC의 제거가 관건이며, 이중 전선분리는 기술적으로 가능한 방법을 강구하여 경제성제고를 위한 연구가 필요하다고 사료된다. 아울러 차피파쇄잔류물은 단순한 플라스틱의 혼합물이 아니라 고무류, 스폰지류, 나무/종이는 물론 섬유류 등이 복합적으로 어우러져 있어 염소성분이 많은 PVC를 효과적으로 분리하기란 매우 어려울 것으로 판단된다. 이러한 점들을 고려하고 또 유럽이나 일본 등에서 앞으로 자동차의 최종처리공정에서 2005년부터는 적어도 85%이상을 그리고 2015년부터는 95% 이상을 리사이클링하도록 규제하고 있다. 이에 더하여

Table 7. Metal content in the fine fraction with minus 7 mm of the shredder residues (unit : wt%)

Sample element	Company A (7/2 mm)	Company A (-2 mm)	Company B (-2 mm)
Fe	6.1	6.3	8.49
Pb	0.25	0.30	0.65
Cu	0.08	1.2	0.14
Na	0.2	0.08	3.70
Zn	0.8	0.9	1.10
Ca	1.8	2.0	4.28
Al	1.5	0.7	2.07
K	0.07	0.08	0.55
Ni	0.02	0.02	0.022
Si	6.2	13.0	12.0
Mg	0.2	0.2	0.22
Mn	0.06	0.07	0.089
Sn	0.02	0.02	0.024
Ti	0.02	0.02	0.042
Ag	0.001	0.001	0.002
Sr	0.03	0.03	0.025
Cr	0.02	0.02	0.023
Ba	0.2	0.1	0.12
Hg	ND	ND	ND
Cd	0.0004	0.0004	0.0009
Cr(VI)	ND	ND	ND

리싸이클링율에서 에너지 회수 이용율은 2005년에는 5%이하로 그리고 2015년부터는 10%이하로 제한하고 있어 대부분의 폐차를 재질별로 이용하여야 한다. 이에 부응하기 위해서는 현재와 같은 내장재를 포함한 대부분의 재질을 모두 파쇄하는 공정으로는 곤란하며, 조립 공정에서부터 재질의 선택 및 해체용이설계기술 개발 등 많은 부분의 기술개발과 연구투자가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

4. 결 론

국내 2개 업체의 차피파쇄잔류물을 대상으로 입도 및 재질선별을 실시하고 이의 CI 및 S 함량, 발열량, 회분 그리고 금속성분에 대한 화학분석을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 차피파쇄잔류물 중의 철 및 비철금속 편은 자력선별, 와류선별 및 수선공정에서 대부분 분리회수되었고, 구리가 함유된 전선류가 시료별로 각각 2.5, 8.6 및 5.5%로 나타났으며, 이 전선들은 피복재 때문에 분리가 안되고 차피파쇄잔류물로 혼입되는 것으로 조사되었다.
2. A업체 시료의 경우 CI 함량은 +30 mm 이상시료에 대하여 7.98 wt%로 가장 높고 조대부분으로 갈수록 PVC플라스틱 및 고무류가 많은 비중을 차지함을 알 수 있었고, S 함량은 모든 입도에서 큰 차이 없이 평균 0.25 wt%의 수치를 보였으며, 발열량과 회분은 역비례 관계를 보여 조대부분으로 갈수록 발열량은 증가하고 회분은 감소하였다.
3. B업체 시료의 경우 중파쇄잔류물의 평균 발열량은 7,158 kcal/kg로써 A업체의 5,695 kcal/kg 보다 높은 것으로 나타나 발열량이 비교적 높은 플라스틱이 중파쇄잔류물로 몰린 것이 확인되었으며, 평균 CI 함량은 4.88 wt%로 A업체 시료와 비슷하였다.
4. 재질별 분류에 있어서, A업체의 경우 플라스틱이 30.6%로 가장 많았으며, 그 다음으로 섬유, 스폰지 등의 순서로 나타난 반면, B 업체의 중파쇄잔류물에서는 고무류가 43.3%로 가장 많은 비율을 차지하였고, 플라스틱이 35.6%로 그 다음을 차지하였다. 발열량은 플라스틱이 약 10,000 kcal/kg으로

가장 높고, 나무/종이 및 섬유류가 4,000 kcal/kg를 약간 상회하여 비교적 낮았다.

5. 차피파쇄잔류물 중 7 mm 이하인 미립부분의 금속성분을 조사한 결과, 모든 시료에서 Si를 제외하고는 Fe 함량이 6~8.5 wt%로 가장 높았으며, 나머지 금속원소는 대부분 함량치가 매우 낮았고, 유독성 중금속인 Hg 와 6가 크롬은 검출한계 이하로 나타났으며, Cd은 0.0004~0.0009 wt%로 극히 낮았다.
6. 현재 발생되고 있는 차피파쇄잔류물의 레진이 피복된 전선류의 분리 및 염소성분이 많은 PVC의 회수가 관건이며, 이들을 용이하게 분리회수하거나 제거할 수 있으면, 차피파쇄잔류물을 에너지원으로 활용할 수 있지만 현재 PVC의 분리는 용이하지 않아 원천적인 분리를 위해 해체용이설계 적용, 조립공정 및 부품의 교체, 완전해체공정 도입 등이 강구되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 강정호 : 우리나라 폐차산업의 동향과 과제, 제5회 폐기물 처리 및 재활용 워크샵, 한국지질자원연구원, 2001. 6. 1., pp.123-137 (2001).
2. 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).
3. H. Spoel : The Current Status of Scrap Metal Recycling, JOM, April, pp.38-41 (1990).
4. A. Accetta and J. M. Vergnaud : Rubber Recycling-Upgrading of Scrap Rubber Powder by Vulcanization, Rubber Chemistry and Technology, vol.55, pp.961-966 (1982).
5. B. J. Jody et al. : Recycling of Plastics in Automobile Shredder Residue, U.S DOE Report, DE90-011110, pp. 1-5 (1990).
6. U. S. Patent, 4,517,016 (1985).
7. I. Numajiri : Current Situation and Tasks of Disposal of End-of-Life Vehicles, 資源と素材, vol.116, pp. 879-888 (2000).

吳 鍾 基

- 현재 한국과학기술연구원 금속공정연구센터 책임연구원
- 本 學會志 第9卷 第2號 參照

李 華 永

- 현재 한국과학기술연구원 금속공정연구센터 책임연구원
- 本 學會志 第9卷 第2號 參照

金 成 奎

- 현재 한국과학기술연구원 금속공정연구센터 책임연구원
- 本 學會志 第9卷 第2號 參照