

폐차잔재물(ASR) 재활용 활성화를 위한 환경영향조사에 관한 연구

A Study on Environmental Impact Assessment for Recycling of ASR

최우진, 이영현, *백정렬

수원대학교 환경에너지공학과, *(주)오토에코

Woo Zin Choi, Young Hyun Lee, *Jung Yeol Beak

Dept. of Environmental Eng., The Univ. of Suwon, *Auto Eco Co. Ltd

폐차잔재물(ASR) 재활용 활성화를 위한 환경영향조사에 관한 연구

최우진, 이영현, *백정열
수원대학교 환경에너지공학과, *(주)오토에코

A Study on Environmental Impact Assessment for Recycling of ASR

Woo Zin Choi, Young Hyun Lee, *Jung Yeol Beak
Dept. of Environmental Eng., The Univ. of Suwon, *Auto Eco Co. Ltd

Abstract

The shredding of waste automobiles results in a mixture of ferrous metal, non-ferrous metal and shredder waste, called automotive shredder residue(ASR). ASR often contains hazardous substances, however, currently, most of ASR is landfilled. It is very important to recycle ASR from end-of-life vehicles(ELVs) into raw materials and to recover energy from the ASR. In the present work, the physical and chemical characteristics of ASR have been investigated to promote the ASR recycling. In the present study, the test results on the apparent density, physical-chemical compositions, calorific values, and leaching properties for ASR samples will be presented. Environmental impacts are also evaluated in case of incineration of ASR.

Keywords : ELV, ASR, Recycling, Physico-chemical property, Environmental impact

요약문

폐차잔재물(ASR:Automotive Shredder Residue)이란 폐자동차를 파쇄처리한 후 남은 철, 비철금속 및 기타 잔재물의 혼합물을 말한다. 현재 폐차잔재물(ASR)은 일부 소각처리에 의한 감량화 과정을 거쳐서 매립되고 있지만 대부분은 단순 매립되고 있어 주변 환경으로 유출될 시 2차 오염을 유발할 수 있다. EU에서는 폐차지령에 관하여 최종적인 재활용율을 95%로 규정하고 있고, 우리나라 역시 이에 맞게 2008년부터 시행중인 '전기전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한법률에 따라 폐기되는 자동차의 대당 중량 기준으로 재활용비율을 2014년까지 85%이상 그 이후는 95%이상을 필히 달성해야만 하는 상황이다. 또한, 폐자동차 해체 과정에서 발생하는 환경오염에 관한 규제 및 관리방안이 아직 미흡하여 이에 대한 대응도 시급하다. 본 연구에서는 폐차업체에서 발생하는 폐차잔재물의 물리·화학적 특성 분석을 통하여 소각·매립 시에 발생하는 오염물질의 발생량 등을 예측하여 환경영향조사의 기초자료로 활용하기 위하여 시행되었으며, ASR 시료에 대한 걸보기밀도, 물리적 조성, 삼성분, 화학적 원소조성, 발열량 및 중금속 분석을 폐기물 관리법의 규정에 따라 조사한 후 그 결과를 제시하였다.

키워드 : ELV, 폐차잔재물, 재활용, 물리·화학적 특성, 환경영향

1. 서론

현대 생활에서 자동차는 인간과 밀접한 관계를 맺고 있으며, 없어서는 안되는 중요한 역할을 담당하고 있다. 인류의 산업발달과 정보화로 인한 빠른 생활 흐름에 따라 자동차의 수요도 점점 증가하는 추세이다. 2012년말 기준 국내자동차 등록대수는 1,887만대를 넘고 있으며 이는 1987년 대비 약 11.7배 증가하였다. 또한, 자동차 보유대수 증가와 함께 폐차발생대수도 증가하여 연간 약 80만 대의 폐차가 발생되고 있다. 선진국에서는 폐차를 하나의 자원으로 인식하고 자동차 재활용 기술개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. EU에서는 폐차지령에 관하여 최종적인 재활용율을 95%로 규정하고 있고, 우리나라 역시 이에 맞게 2008년부터 시행중인 '전기전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한법률'에 따라 폐기되는 자동차의 대당 중량 기준으로 재활용비율을 2014년까지 85%이상 그 이후는 95%이상을 필히 달성해야만 하는 상황이다. 또한, 폐자동차 해체 과정에서 발생하는 환경오염에 관한 규제 및 관리방안 역시 아직 미흡하여 이에 대한 대응도 시급하다. 폐차잔재물(ASR)의 경우 현재 일부는 소각처리에 의한 감량화 과정을 거쳐서 매립되고 있지만 대부분은 단순 매립되고 있다. 소각처리 후 발생하는 대기오염물질인 다이옥신, SO_x, NO_x 등은 인체에 유해할 뿐만 아니라 주변 환경으로 유출되면서 2차 오염을 유발 할 수 있어 환경부하를 높인다. 또한, 폐자동차의 해체 및 처리과정에서 발생하는 폐오일, 각종 중금속등이 유출될 경우 침전 혹은 물리·화학적 과정을 통해 토양에 축적되고, 흡착 또는 침전된 중금속은 중요한 수자원의 하나인 지하수를 오염 시키게 되며, 다른 매체를 통해 이동 가능하여 오염지역의 확산을 가져올 수 있다. 이와 같이 폐자동차 해체 과정에서 발생하는 환경오염에 관한 규제 및 관리방안은 시급히 해결해야 할 중요한 과제라 사료된다. 본 연구조사의 목적은 폐차업체에서 발생하는 폐차잔재물의 물리·화학적 특성 분석을 통하여 소각·매립 시에 발생하는 오염물질의 발생량 등을 예측하여 환경영향조사의 기초자료로 활용하는데 있다.

2. 연구방법

2.1 물리·화학적 성상분석 방법

폐차업체에서 발생하는 폐차잔재물의 물리·화학적 성상분석방법을 Fig.1에 나타내었다. 본 연구에서는 ASR 시료에 대한 겉보기밀도, 물리적 조성, 삼성분, 화학적 원소조성, 발열량 및 중금속 분석을 폐기물 관리법의 규정에 따라 조사하였다.

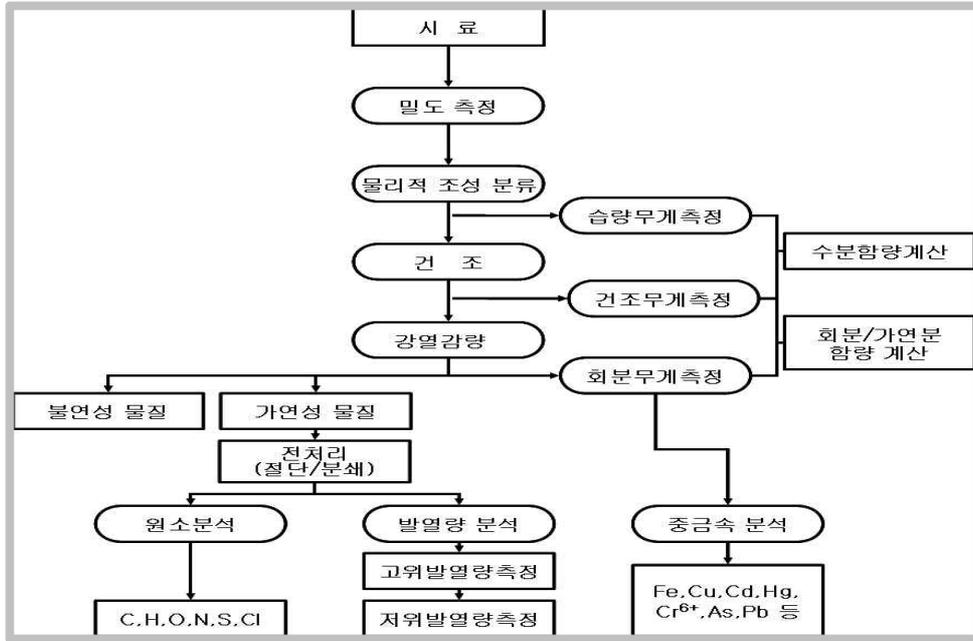


Fig. 1 폐차잔재물(ASR)의 물리·화학적 성상분석 공정도

2.2 소각 배출가스 성분 예측조사 방법

폐차잔재물(ASR) 처리에 대한 연속식 스토커형 소각로의 환경영향평가 검증의 기초자료를 얻기 위하여 시간당 소각용량 2톤 이상인 대형 사업장 폐기물 연속식 스토커형 소각시설 2곳(A-1(3.75(t/h) 및 A-2(90(t/d))을 선정하였다. 각각의 소각시설을 이용하여 소각처리 후 발생하는 대기오염 물질의 양이 방지시설에서 적정 처리 된 후 배출되는 대기오염물질이 주변 인근지역의 환경에 어느 정도 영향을 줄 것인가를 예측하였다(Fig. 2, Fig. 3 참조). A-1 시설의 경우 배출가스에 대한 시료는 공기에열기, 원심력 집진기 및 최종굴뚝에서 각각 채취하여 HCl, 다이옥신 등 6개 항목에 대한 평균농도를 측정하였다. 반면에 A-2 시설의 경우 폐열보일러, 싸이클론, 흡수탑 및 최종굴뚝에서 시료를 채취하였다.

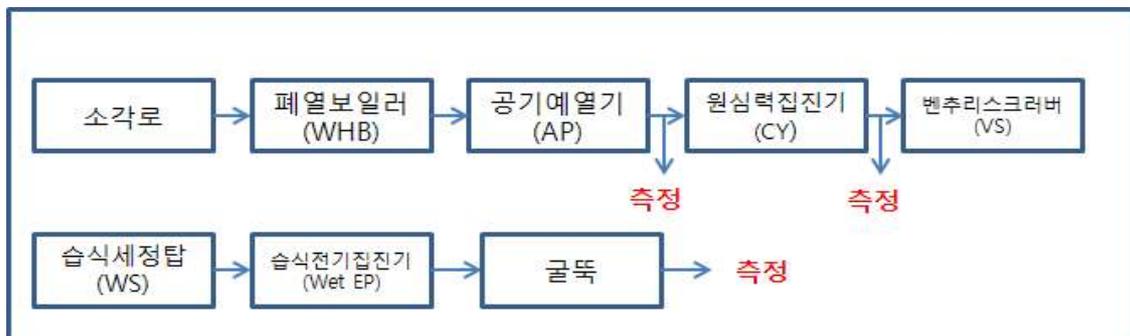


Fig. 2 오염물질 측정 (A-1 시설 공정도)

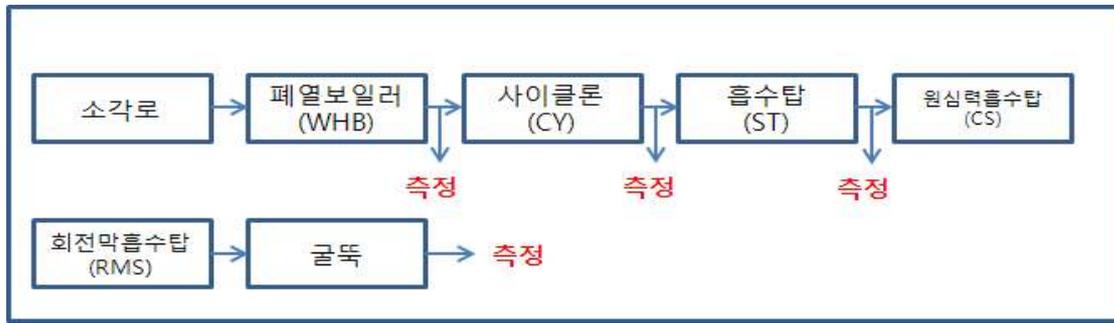


Fig. 3 오염물질 측정 (A-2 시설 공정도)

2.3 토양분석 방법

환경부에서 운영 중인 전국 토양오염 측정망 현황 및 대기 모델링 자료를 활용하여 폐차잔재물 (ASR)의 소각처리 후 토양환경보전법에서 제시한 토양오염물질 및 기준에 따라 인근 주변지역 3개 지점에 대한 추가오염 가능성 여부를 평가하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1.1 폐차잔재물(ASR)의 물리적 조성

폐차업체 K사에서 발생하는 폐차잔재물(ASR)의 물리적 정상조사는 Table 2와 같이 조사되었다. 물리적조성 분석은 수선별이 가능한 소각용 시료와 수선별 전 파쇄시료를 각각 이용하였다. 실험결과 두 시료 모두 가연분의 비중이 높게 조사되었으며, 가연분에서는 플라스틱의 비중이 34,95% (소각용시료), 33,92%(파쇄시료)로 가장 높게 나타났다. 비가연분의 비중은 25,7%(소각용시료), 30,17(파쇄시료)로 조사되었으며, Dust류가 가장 높은 비율로 나타났다.

Table 2. 폐차잔재물(ASR)의 물리적 조성

구분	소각용 시료	수선별전 파쇄시료	비고
가연분	플라스틱류	34.95	33.92
	스폰지류	6.20	1.83
	형겔(성유)류	15.89	15.76
	폐전선류	6.69	8.07
	고무류	10.57	10.25
	소계	74.40	69.83
비가연분	Dust류	12.12	26.62
	비금속류	2.58	3.55
	소계	25.70	30.17
합계	100	100	

3.1.2 폐차잔재물(ASR)의 삼성분 분석

삼성분의 측정결과는 폐기물의 재활용 방법 모색과 처리 방법 결정에 주요 지표가 될 수 있다.

K사에서 발생하는 폐차잔재물(ASR) 시료의 삼성분을 살펴보면 수분의 경우 수선별 전 파쇄시료가 12.1%로 가장 높았으며, 회분의 경우는 매립용 시료가 39.5%로 가장 높은 것으로 조사되었다 (Table 3 참조).

Table 3. 폐차잔재물(ASR)의 삼성분 조성

구 분	수분량(%)	회분(%)	가연분(%)	계	비 고
매립용 시료	8.3	39.5	52.3	100	
소각용 시료	10.6	32.7	56.7	100	
수선별 전 파쇄시료	12.1	30.5	57.4	100	

3.1.3 화학적 원소조성 분석

Table 4 에는 폐차잔재물(ASR) 대상 시료별 화학적 조성을 나타내었다. 화학조성 중 Cl(염소) 함량이 다른 시료에 비해 수선별 전 파쇄시료에서 다소 높게 나타나는 것으로 조사되었다. 이는 소각용 시료와 매립용 시료는 수선별을 통하여 폐전선류를 포함한 Cl(염소) 발생가능 재질을 사전에 선별하였기 때문이라 판단된다.

Table 4. 폐차잔재물(ASR)의 화학적 원소 조성

(단위: wet basis wt%)

구 분	원 소 조 성							합 계
	C	H	N	S	O	Cl	Ash	
매립용 시료	43.48	6.77	1.22	0.25	7.96	0.82	39.50	100
소각용 시료	47.83	7.11	1.65	0.45	9.50	0.76	32.70	100
수선별 전 파쇄시료	50.85	7.13	1.48	0.38	8.34	1.32	30.50	100

3.1.4 폐차잔재물(ASR)의 발열량 분석

Table 5 에는 폐차잔재물 시료에 대해 Bomb Calorimeter를 이용하여 측정된 건조고위발열량을 습윤고위발열량과 습윤저위발열량으로 산출한 값을 제시하였다. Bomb Calorimeter를 이용하여 측정된 시료별 습윤저위발열량을 살펴보면 매립용 시료가 4101.0kg/kcal, 소각용 시료 4526.5kg/kcal, 수선별 전 파쇄시료 4640.6kg/kcal로 조사되었다. 참고적인 비교값으로 발열량 추정식을 이용하여 Dulong식을 이용한 습윤고위발열량과 습윤저위발열량 값을 Bomb Calorimeter를 이용하여 측정된 발열량과 비교하여 나타내었다.

Table 5. 폐차잔재물(ASR)시료별 발열량 측정

(단위 :Kcal/kg)

구 분	Bomb Calorimeter*		Dulong**	
	습윤고위발열량	습윤저위발열량	습윤고위발열량	습윤저위발열량
매립용 시료	4466.1	4101.7	4744.1	4378.7
소각용 시료	4913.8	4526.5	4968.0	4580.7
수선별 전 파쇄시료	5031.3	4640.6	5120.0	4728.9

3.1.5 폐차잔재물(ASR)의 중금속 분석

폐차잔재물(ASR)에 대한 중금속 함량시험 결과 매립용 시료의 경우 철(Fe) 50,160mg/ℓ로 가장 높게 나타났다. 구리(Cu) 7,412mg/ℓ, 납(Pb) 5,540mg/ℓ, 비소(AS) 11.79mg/ℓ, 수은(Hg) 3.20mg/ℓ, 6가 크롬(Cr⁶⁺) 3.2mg/ℓ, 카드뮴(Cd) 0.87mg/ℓ 순으로 함유되어 있는 것으로 조사되었다 (Table 6). Table 7에는 대상시료에 대한 중금속 용출시험 결과를 보여주고 있으며, 용출시험 결과는 배출허용 기준치를 크게 밑도는 것으로 나타났다.

Table 6. 폐차잔재물(ASR)의 중금속 함량시험 결과

(단위: mg/ℓ)

구 분	항 목						
	Fe	Cu	As	Cd	Hg	Pb	Cr ⁶⁺
매립용 시료	50,160.0	7,412.0	11.79	4.22	3.20	5,540.0	3.20
소각용 시료	92,440.0	16,516.0	12.02	0.40	2.64	2,485.6	2.00
수선별 전 파쇄시료	45,800.0	61,720.0	26.05	0.87	2.49	27,536.0	3.20

Table 7. 폐차잔재물(ASR)의 중금속 용출시험 결과

(단위: mg/ℓ)

구 분	항 목						
	Fe	Cu	As	Cd	Hg	Pb	Cr ⁶⁺
	·	3미만	1.5미만	0.3미만	0.005미만	3미만	1.5미만
매립용 시료	10.310	0.0124	0.0127	0.0011	0.0013	0.1685	0.6095
소각용 시료	6.938	0.0241	0.0071	0.0012	0.0007	0.0110	0.8015
수선별 전 파쇄시료	14.120	0.0147	0.0170	0.0004	0.0002	2.7990	0.0755

3.2 폐차잔재물(ASR)의 소각 배출가스 성분 예측조사 결과

앞서 언급하였듯이 폐차잔재물(ASR)의 소각처리를 위해 A-1(3.75(t/h)) 및 A-2(90(t/d))을 선정하여 소각 처리하였다. 소각처리 후 발생하는 대기오염 물질의 양이 방지시설에서 적정 처리된 후 배출되는 대기오염물질에 대한 주변 인근지역의 환경영향을 조사한 결과, ASR을 소각하는 상기 2곳의 소각설비의 규제치는 A-2시설의 먼지 농도 이외의 다른 대기오염물질의 배출허용기준을

만족하고 있음을 알 수 있었다. 따라서, 소각시설의 최적가용기술 및 최적환경관리방안을 적용한 ASR 소각처리시설의 대기오염물질 방지시설 구성은 배출허용기준에 근접하는 것으로 나타났다. 특히 A-2시료에 대한 소각 후 발생하는 대기오염물질 중 먼지농도는 56 mg/Sm³ 로 나타내어 배출허용기준 30 mg/Sm³ 보다 다소 높게 나타났다.

Table 8. 굴뚝배출가스 중 대기오염물질 평균농도

시설구분	HCl (ppm)	CO (ppm)	NOx (ppm)	SOx (ppm)	다이옥신 (ng-TEQ/Nm ³)	먼지 (mg/Sm ³)
배출허용 기준	30이하	500이하	800이하	300이하	1.00이하	300이하
A-1	11.3	43.5	67.3	0.0	0.688	20
A-2	13.6	0.9	65.9	11.3	0.902	56

3.3 폐차잔재물(ASR)의 토양분석 방법

환경부에서 운영 중인 전국 토양오염 측정망 현황 및 대기 모델링 자료를 활용하여 폐차잔재물(ASR)의 소각처리 후 인근 주변 3개 지점에 대한 토양의 추가오염 가능성을 검토한 결과 폐차잔재물(ASR) 소각 후 회수되는 소각재(바닥재, 비산재 등)에는 구리, 납 등 중금속의 농도가 매우 높은 것으로 조사되었다. 따라서, 폐차잔재물의 소각 전 시료로부터 금속이 함유된 물질의 사전 제거가 요망되고 있다.

(1) UN-89지점(소각위치로부터 북쪽으로 500m에 위치)

복토 전 구리(Cu), 비소(As), 납(Pb)의 값은 토양오염 우려기준치를 초과하였다. 복토 후 비소(As) 농도는 급격히 줄었으나, 구리(Cu)와 납(Pb)의 경우는 복토 전과 유사한 수준의 농도 값을 보이고 있다. 폐차잔재물(ASR) 소각 후에는 구리, 납 등 중금속의 농도가 높은 것이 일반적이므로 UN-89 지점은 토양오염 대책기준에는 미치지 못하나 소각 후 추가적인 오염 가능성은 있을 것으로 간주된다(Table 9 참조).

Table 9. UN-89지점 토양분석

	Cd	Cu	As	Hg	Pb	Cr ⁶⁺	Zn	Ni	유기인	CN	pH
토양오염 우려 법적 기준치	1.5	50	6	4	100	4	300	40	10	2	-
복토 후	0.14	47.25	0.033	0.045	50	N.D	18.35	14.18	-	-	6.3
복토 전	1.15	47.9	10.88	0.091	73.41	0.00	-	-	0.00	0.00	6.1

(2) UN-91지점(소각위치로부터 남쪽 500m 거리에 위치)

UN-89지점과 마찬가지로 복토 후 비소(AS) 농도는 급격히 줄었으나, 구리(Cu)와 납(Pb)의 경우는 복토 전과 유사한 수준의 농도 값을 보이고 있어, 폐차잔재물(ASR) 소각 후에 따른 추가 토양오염의 가능성을 보이고 있다(Table 10 참조).

Table 10. UN-91지점 토양분석

	Cd	Cu	As	Hg	Pb	Cr ⁺⁶	Zn	Ni	유기인	CN	pH
토양오염 우려 법적 기준치	1.5	50	6	4	100	4	300	40	10	2	-
복토 후	0.55	49.5	0.1008	0.054	60.5	N.D	23.34	12.44	-	-	-
복토 전	0.76	69.46	6.953	0.039	159.03	0.00	-	-	0.00	0.00	6.2

(3)US-06지점(소각위치 인근의 논으로 사용지역)

이 지점은 다른 두 지점에서 비소(As) 및 구리(Cu)등을 포함한 중금속이 함유되어 있으나, 토양 오염우려기준에는 크게 미치지 못하고 있다. 다만 pH가 다른 두 지역에 비해 낮아 향후 중금속이 용출될 가능성을 가지고 있음을 나타내었다(Table 11 참조).

Table 11. US-06지점 토양분석

	Cd	Cu	As	Hg	Pb	Cr ⁺⁶	Zn	Ni	유기인	CN	pH
토양오염 우려 법적 기준치	1.5	50	6	4	100	4	300	40	10	2	-
복토 후	N.D	4.45	0.0108	0.095	11.45	N.D	2.695	1.58	-	-	-
복토 전	0.3065	45.515	15.62	0.020	59.55	0.00	-	-	N.D	N.D	5.3

5. 결론

본 연구는 폐차업체에서 발생하는 폐차잔재물의 물리·화학적 특성, 소각 후 배출가스의 성분 및 토양 분석을 통하여 소각·매립시에 발생하는 오염물질의 발생량 등을 예측하여 환경영향조사의 기초자료로 활용하는데 있다. 본 연구의 주요결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 폐차잔재물(ASR)은 금속을 다량으로 함유하고 있으나 폐기물공정시험법(KSLP법)에 의한 용출시험을 실시한 결과 구리(Cu)와 납(Pb)이 각각 0.024mg/l, 0.013mg/l로 폐기물 관리법상의 용출 기준치 이하로 현저히 낮게 조사되었다. 비소(As), 카드뮴(Cd), 수은(Hg)의 경우도 용출기준보다 낮게 조사되었다.
2. 폐차잔재물(ASR)은 높은 발열량과 다량의 금속이 함유되어 있으나, 현재 국내에서 발생되는 폐차잔재물(ASR)의 대부분이 매립되어 토양이나 지하수 오염 가능성이 우려되므로 소각을 통한 에너지 회수와 소각 전 및 소각 후의 잔재물 중 유가금속이 함유된 재질 등에 대한 추가적인 회수 및 안정화 처리가 가장 현실적인 대안이다.
3. 폐차잔재물(ASR)의 소각처리 시 대기오염물질에 대한 방지시설의 구성을 기존 대형 산업폐기물의 방지시설 구성보다 한층 강화하여 배출허용 기준치는 물론이고, 소각 처리 후 대기오염물질 농도를 충분히 만족시켜야 될 것으로 판단된다.

4. 폐차잔재물(ASR)의 소각 후 회수되는 소각재(비산재, 바닥재 등)에는 구리, 납 등 중금속의 농도가 매우 높은 것으로 조사되었으며, 소각재 배출로 인한 인근 지역의 추가적인 토양오염 방지를 위해서는 폐차잔재물 중 유용금속의 사전회수 및 재활용이 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 최우진 외, 폐차잔재물(ASR)처리에 따른 환경영향조사, 최종보고서, 2006.7.
2. 환경부, 토양환경보전법, 개정판, 2010.
3. Wilson, 미국의 폐자동차재활용 현황, 2012 유용자원재활용 국제 심포지움, 2012. 11. 15.
4. 이성훈, 폐자동차 환경규제동향 및 대응방안, 2012 유용자원재활용 국제 심포지움, 2012. 11.15.
5. 김우현 외, ASR의 열적처리방식에 의한 자원화, 2008 친환경자동차 리사이클링기술 국제 심포지움, 2008. 9. 25-26.
6. 최우진 외, Environmental Impact Assessment on Recycling of ASR, Earth 2013, Nov. 3~7, Zhangjiajie, Hunan, China, 2013, (will be presented).
7. Ciacci, etc., A Comparison among different automotive shredder residue treatment processes, Int. J. Life Cycle Assess (2010) 15, pp 896-906.
8. 최우진, 폐차잔재물(ASR)의 물리적·화학적 특성조사, 수원대학교 논문집(제31권), 2013