

사업장 폐기물의 고부가 소재화

반 봉 찬

순천대학교 금속공학과

박 현 서

산업폐기물 소재화연구센터장

(주)삼성중공업 중앙연구소 수석연구원

1. 서론

환경분야는 크게 수질, 대기 및 폐기물 분야로 나누어지며, 이는 광범위하게 영역을 정할 경우 물리·화학적 상인 액체, 기체 및 고체의 분야라고 할 수 있다.

또한 재활용이란 일단 사용되어진 물질을 원상태와 유사하게 바꾸어 다시 사용하는 경우와 형태를 바꾸어(상의 변형 : 고체상태에서 기체상태 또는 액체상태등) 사용하는 모든 경우에 해당된다 하겠다.

특히 1993년 우리나라의 산업폐기물의 총 발생량은 57,290 천톤으로 이와같은 추세로 계속할 경우 2000년에는 77,447 천톤으로 예측된다. 1992년의 경우 54%(1990:약54.3%)를 재활용하고 33.3%를 매립하였으며 나머지 일부를 소각하였다. 그러나 산업 폐기물의 처리 및 매립에 있어서 적정처리의 시비로 어려움을 겪고 있는 실정이다. 이와 같은 심각성을 해결하기 위해 폐기물의 발생억제(source reduction), 재활용(recycling), 소각열회수(waste to energy incineration), 위생매립(sanitary landfill)을 폐기물 정책 순서로 취하고 있다. 현실적으로 산업폐기물처리 시스템에 관한연구는 체계적으로 접근되고 있으나 실제 기술적 접근은 산발적으로 각 전공에 따른 기존의 방법에 의한 것에 의존하고 있다. 산업폐기물 처리분야의 기술이란 금속, 무기물, 화학, 물리의 기술 및 전

기공학을 기초로 하고 있으며 미생물학, 금속, 세라믹 및 화학공학의 학문을 활용하는 종합기술인 만큼 각 전공자의 협력과 노력이 요구된다.

현재 보유하고 있는 우리의 폐기물처리 기술만으로는 날로 심화되고 있는 국내 산업폐기물 문제를 해결할 수 없을 뿐만 아니라 지구환경문제에 대처할 수 없을 것이며, 향후 예측되는 국가간의 무역문제에서 커다란 장애요인이 될 것으로 판단된다. 따라서 환경보호 및 자원의 재활용 측면에서 폐기물의 자원화 및 소재화 기술을 적극적으로 개발하는 것이 급선무이다. 특히 무기성 폐기물중의 막대한 양이 분진과 슬러지의 형태를 지니고, 폐기물 처리 이후에도 막대한 양의 슬러지가 발생하여 매립·폐기되고 있다. 산업폐기물중 분진과 슬러지는 에너지측면에서 볼때 제품생산중에 필연적으로 파생되는 높은 에너지를 지닌 물질이므로 이를 소재화시킴으로서 환경오염 방지 및 자원의 재활용과 첨단 소재개발이라는 3가지 측면이 있으므로 소극적 차원의 환경오염방지가 아닌 소재개발을 통해 경제성을 부여함으로써 적극적인 산업폐기물처리 방안이 되리라 생각된다. 고부가 소재화를 위한 기술의 발전은 기술의 총아로서 극대화시킬 수 있으며, 모든 분야의 기술의 결합으로 이루어 질 수 있다고 판단된다.

2 산업 폐기물 현황

표1은 16종류의 국내 주요 폐기물의 발생 및 회수율 현황(1992)을 나타내고 있다

표 1. 국내 폐기물의 발생 및 회수현황(1992년도) 천톤/년

종류	발생량(천톤/년)	재활용량(천톤/년)	재활용률(%)
제철 및 제강폐기물	13,063	9,952	76.0
고철	28,054	8,817	31.4
비철제련 폐기물	414.9	394.4	94.0
폐윤활유	922천드림	311천드림	33.8
폐비닐	78.9	41.5	52.6
폐플라스틱	1,860	160.0	9.1
고지	5,281	2,324	44.0
페타이어	9,747천개	3,941	40.0
석탄회	1,868	198	10.6
중유회	5.5	없음	-
폐건전지	17.6	없음	-
납축	2,560천개	2,500천개	98.0
폐차	252.8	252.8	100
폐가전제품	5,551천대	42.7천대	0.7
폐유리병	773	314	42.8
폐캔류	220	19	8.8

표2는 16개의 주요산업 폐기물중의 품목별로 분진과 슬러지의 형태로 발생된 것을 종합한 내용이다.

표3은 폐기물 처리 설비의 기종별 설치비중을 나타내는데 이것들 중 처리물질이나 이때 발생되는 잔재는 분진과 슬러지의 형태가 대부분이다.

또한 국내 환경설비 기술도입 추이를 보면 수질오염방지, 대기오염방지, 폐기물 처리 등의 모든 잔재는 폐기물 형태 중 대부분 분진과 슬러지 형태를 취해 매립되는 것이 지금까지 간과되고 있는 것이다.(표4참조)

1992년 생산기술연구원에서 조사한 공업기술수요조사 산업 현황 및 증기기술 예측보고서 환경기술분야에서 평가한 환경산업부분 핵심요소기술의 기술수준은 표5와 같다.

이들 기술중 선진국의 기술개발의 모두가 환경처리후의 폐기물에 대한 연구를 최근에들어 시작하였다.

표 2. 주요 산업 폐기물(16종)중의 분진·슬러지의 발생

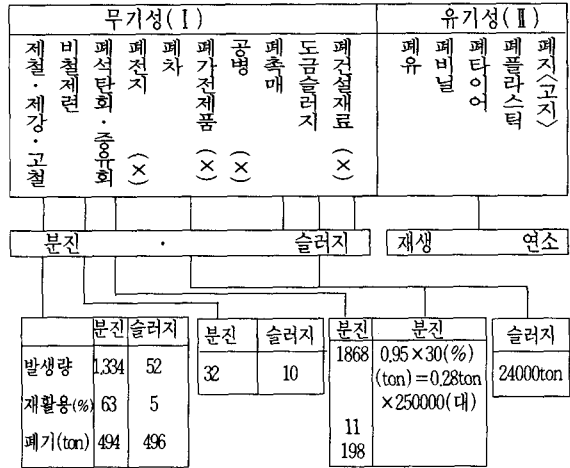


표 3. 폐기물 처리설비의 기종별 설치비중(단위 :%)

구분	종류	비중
반출입장치	이송장치(컨베이어, 이송계량)	17.6
파쇄압축장치	파쇄장치 압축장치	8.8
분리선별장치	기계식 선별장치등	10.3
건조장치	기류건조장치등	13.2
소각장치	유동연소식	38.1
	화격자연소식	9.5
	스토커연소식	23.8
	회전연소식	14.3
	상연소식	4.8
	기타(Ratch, 분무식등)	33.3
자원재이용장치	물질변환회수장치등	4.4
무해화처리장치	피복 중화장치등	2.9

자료: 산업연구원, 실태조사, 1992

주요 폐기물처리 기술 분야별 국내 기술개발 동향을 살펴 보면 표6과 같다.

3 분진과 슬러지의 소재화의 새로운 개념

분진과 슬러지의 특성은 미세한 분말 형태이며 주로 많은 산화물의 집합체이다. 대부분의 분진과 슬러지의 평균 입도가 20.µm이하로 대단히 미세하며 따라서 대단히 큰 표면적을 가지고 있다.

이러한 큰 표면적을 다른 환경과 큰 반응성을 지니고 있다.

표 4. 환경설비 기술도입 추이

수질오염방지	대기오염방지	폐기물 처리
폐수처리(미)	집진기(일)	소각로 열교환기 (캐나다)
HBC 공법(일)	집진기설계(일)	소각로촉매(일)
여과기(일)	Bag filter (미,일)	소각로(일,미)
혐기성 폐수처리(일)	습식진기집진기 (미,스위스)	도시쓰레기
RBC(생물접촉법, 일)	산업용 에어크리너(미)	소각로기술(미)
폐수폐액 처리장치(일)	전기집진기 애자 (스웨덴)	Zero Discharge 기술 (미)
전라이용부상법(일)	전기집진기:탈염설비(미)	산입폐기물처리
현수미생물 접촉법(일)	전기집진기:분진처리(미)	집계시스템(일)
폐수정화필터 장치(스웨덴)	전기집진기:탈염설비(미)	소각로 플랜트(덴)
순환수관계(일)	전기집진기:탈염설비(미)	쓰레기소각설비 (일)등
ABC 시스템(일)	전기집진기:탈염설비(미)	
상항류 연속여과법(스웨덴)	전기집진기:탈염설비(미)	
초심층폭기법(영)	전기집진기:탈염설비(미)	
하수고도 BAC.filter 시스템(프)	전기집진기:탈염설비(미)	
개질고화재 제조및	전기집진기:탈염설비(미)	
연속개질 고화처리장치(일)	전기집진기:탈염설비(미)	
미생물·폐수처리장치(일)	전기집진기:탈염설비(미)	
Aerator(미)	전기집진기:탈염설비(미)	
산업용 가정용수처리(일)	전기집진기:탈염설비(미)	
역삼투압공법(일)	전기집진기:탈염설비(미)	
오수정화시설설계, 시공기술(일)	전기집진기:탈염설비(미)	
합성세균의 고농도 폐수처리(일)	전기집진기:탈염설비(미)	
용제회수장치,상수처리설비(미)	전기집진기:탈염설비(미)	
폐수처리시스템(벨)	전기집진기:탈염설비(미)	
수용성 세척기(일)	전기집진기:탈염설비(미)	
수처리·폐수처리 시스템설비(필)등	전기집진기:탈염설비(미)	

표5. 환경 산업부분 핵심요소 기술 수준

핵심요소기술	기술수준 (최고기술보유국의 수준을 100으로 기준)	개발단계					
		미개발	개발중	도입기	정착기	성숙기	쇠퇴기
난분해성 수질오염물질 처리기술	미국	100			○		
	일본	100			○		
	EC	100			○		
오수 폐수 처리기술	한국	20	○				
	미국	100				○	
	일본	100				○	
	EC	100				○	
폐기물의 자원화 기술	한국	30		○			
	미국	80			○		
	일본	100			○		
	EC	100				○	
유해 폐기물 처리 기술	한국	10	○				
	미국	90				○	
	일본	90				○	
	EC	100				○	
소각설비기술	한국	20		○			
	미국	100				○	
	일본	80				○	
	EC	100				○	
폐기물 매립기술	한국	20		○			
	미국	100			○		
	일본	80			○		
	EC	100			○		
한국	30		○				

표 6. 폐기물처리의 기술 영향

대분류	중분류	기술개발동향
폐기물 처리기술	폐기물의 자원화기술	페타이어의 폐합성수지등 가연성 폐기물을 건류소각하여 열을 회수하는 기술을 부분적으로 개발하고 있으나 실용화에 필요한 연계 투입 시스템 부분은 계속 연구개발이 필요함
	유해물질 처리기술	액상 폐기물의 경우 물리 화학적 처리 방법인 침전, 흡착, 이온교환, 산화, 환원 등의 처리 기술을 도입하여 실용화 되었으나 신기술에 대한 연구는 매우 미흡하여 특히 생물학적 처리에 대해서는 전반적으로 연구가 부진함
	소각설비기술	Stoker식 설비는 여러대가 운전되고 있으나 대부분, 선진국으로 부터의 기술도입에 의해 설계및 설치가 이루어지고 있으며 핵심 부품도 국내 조달이 불가능한 형편임

또한 이러한 분말의 형태가 인위적으로 분쇄공정에 의해 생산된다면, 대단히 고가의 에너지가 분말의 표면 에너지 창출에 소요될 것이다. 반면 기존의 분진과 슬러지의 재활용 개념에 반하여 분진과 슬러지속의 산화물의 혼합체는 적극적으로 긍정적인 상으로 간주될 수 있다(그림 1).

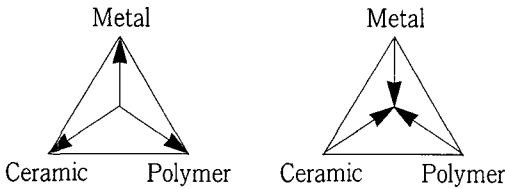


그림1. 서로 다른 공학자의 견해로 본 분진과 슬러지의 재활용 방향

예를 들면 분진과 슬러지내에 있는 탄소는 산화물 조성을 환원시키는데 필요하며 또 흑연의 상태로 남아 이용될 수도 있다. 복합 재료의 제조를 위한 금속과 세라믹의 기본 형태가 분말이다. 에너지 소비의 측면에서 보면 분진과 슬러지와 같은 이러한 분말형태를 사용하는 것이 좋다. 또한 분진과 슬러지의 이러한 형태는 선택적 환원공정을 통해 금속상과 산화물상의 효과적이고 정규의 분포를 갖는 매우 훌륭한 혼합효과를 보여준다. 소위 혼합된 금속상과 슬러지상을 갖는 인공적 복합 재료가 선택적 환원에 의해 제조될 수 있다. 다행히 복합재료의 발전 방향을 폐기물로부터의 혼합산화물의 조성고 같이 일어난다(그림 2).

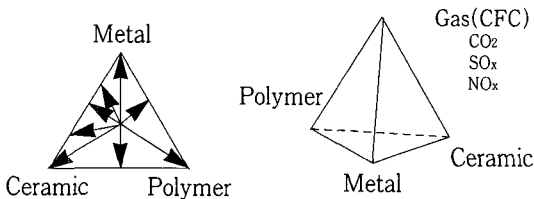


그림2. 폐기물로부터 새롭게 개발된 복합재료의 일치

보통 금속공학자들은 정련과 환원공정을 통해 금속상으로서 유가의 자원을 추출하려고 하는 반면에 요업공학자들은 그림3에서 보여지는 분진과 슬러지로부터 예를 들어 철산화

물의 순수한 상을 얻고자 한다. 이러한 종류의 두 공정에 관한 생각을 원광으로 부터 재료를 처리하는 것에 비해 많은 에너지가 들어가며 침출액과 가스발생 등과 같은 2차 환경오염 문제를 야기시킨다. 이것은 이들 재활용 공정과 개념이 경제적이 아니며 편리한 방법이 아니라는 사실을 말해준다. FeO, MgO, Al₂O₃, CaO 등과 같은 많은 종류의 산화물은 서로 다른 환원을 때문에 금속과 세라믹의 분말상태의 복합상을 제조하기가 쉽다. 분진과 슬러지의 이용의 새로운 개념을 그림3에 요약될 수 있다. 이러한 개념의 특별한 예로, 전로 슬러지로부터 환원 해면철의 제조가 가능하였다. 또한 스테인레스강 제조시 발생하는 칩으로부터 편상분말의 제조, 석회석 슬러지로부터 배연탈황용 슬러리원료 제조 및 아스콘 원료 제조의 연구의 개념이 이를 입증하고 있으며, 이러한 방향에 있어서의 연구가 본 연구자에 의해 대다수 진행되고 있다.

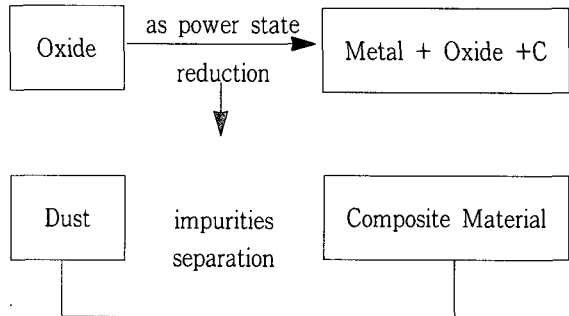


그림 3. 분진 리사이클링의 새로운 개념

4. 분진과 슬러지의 발생과 이용에

일반적으로 분진과 슬러지중 양적으로 대규모 발생되는 종류는 ①제철공정의 각종 분진과 슬러지, ②비철공업발생 슬러지와 분진, ③석탄회, ④폐차 슬러지(ASR), ⑤도금 슬러지, ⑥소각회, ⑦폐촉매등이 있다. 또한, 실제 산업체의 집진설비에 따른 종류를 분류하면 집진시설 종류와 공장의 종류에 따른 수십종류의 분진과 슬러지가 발생한다. :

1. 고로주상분진
2. 전로제강공장분진
3. 소결설비분진

4. 아연전로분진
5. 사이징 플랜트 분진
6. 코크스 노 배가스 분진
7. 코크스 노 가이드차 분진
8. 제강용 아크로 직접 흡입방식 분진
9. 제강용 아크로 분진
10. 제강용 아크로 (직인, 건물병용)
11. 합금철 개방형 아크로 분진
12. 합금철 폐쇄형 아크로 분진
13. 아연전로분진
14. 용융아연도금분진
15. 주물공장(모래처리, 에어브라스트, 쇼트브라스트) 분진
16. 주물사재생로분진
17. 아스팔트 플랜트분진
18. 시멘트크링커분진
19. 쇠석 플랜트분진
20. 제분공장분진
21. 비료공장분진
22. 제약공장분진
23. 농약공장분진
24. 카본 블랙제조용 분진
25. 스프레이 드라이어분진
26. 산소제조플랜트용 분진
27. 브레이크 라이닝연마 분진
28. 산소공장분진
29. 연분제조플랜트용 분진
30. 플즈마절단기 배연 분진
31. 고무정련용 밀폐식혼합기 분진
32. 콜드스카피 분진
33. 유리용융노건식 불소가스 제거 시스템
34. 보일러배기가스 분진
35. 신동공장분진
36. 큐폴라 분진
37. 저광조 분진
38. 자동차 슈레더 분진
39. 석유코크스 분진
40. 정전분체도장 회수
41. 석회석 소성로 분진

42. 저주파로 분진
 43. 알루미늄 전해로 분진
 44. 알루미늄 2차정련 분진
 45. 납용해정련재생조 분진
- 또한 이들 주요분진의 물성치는 다음과 같다.(표7)

표7. 각종 공업용 더스트의 물성

더스트발생원	평균입자경 (μ m)	분포(비중)(g/cc)		합진 농도 (g/Nm ³)	전기비저항 ($\Omega \cdot \text{cm}$)
		참	부피		
1. 미분탄보일러	~20	2.1	0.6	20~50	10 ¹¹ ($<100^\circ\text{C}$)
2. 증유보일러	~10	2.0	0.2	0.1~0.3	10 ⁴ ~10 ⁴
3. 소결로	5 ~ 10	3~4	1.0	0.5~2.5	10 ¹⁰ ~10 ¹²
4. 전 로	~0.2	5	0.7	20~70	10 ⁹ ~10 ¹¹
5. 전기로	~0.2 ~10	4.5	0.6~1.5	3~30	10 ⁹ ~10 ¹²
6. 큐폴라	~15	2.0	0.8	3~5	10 ⁸ ~10 ¹²
7.시멘트(킬른건조기)	~10 ~20	3	0.6	10~40	10 ¹¹ ~10 ¹⁸
8. 골재건조기	~20	2.5	1.1	50	10 ¹¹ ~10 ¹²
9. 흑연회수건조기	~0.2	3.1	0.13	~5	10 ⁹
10. 동정련	< 0.1	4~5	0.2	25~80	10 ⁸ ~10 ¹¹
11. 황동 용해	0.1 ~ 0.15	4~8	0.25~1.2	~10	-
12. 아연정련	~ 3	5	0.5	5~10	~10 ¹³
13. 납정련	<1	6		~5	10 ¹¹ ~10 ¹⁴
14. 납제정련	~0.5	~6	~1.2	10~30	10 ¹¹ ~10 ¹³
15. 알루미늄 2차정련	~0.1 ~2	3.0	0.3	~10	10 ¹⁰ ~10 ¹²
16. 쓰레기 조각	~10	~2.3	~0.35	1~5	10 ⁹ ~10 ¹⁰
17. 카 분	0.1 ~ 10	2	~0.3	~0.3	<10 ⁴
18. 주물사	0.1 ~ 15	2.7	~1	0.5~15	-

아래에 다량으로 발생하는 각종 대표적인 분진과 슬러지의 발생과 이용현황에 대하여 설명한다.

1) 제철 더스트와 슬러지

제철공정에서 발생하는 더스트와 슬러지의 구성성분은 발생원별로 차이는 있으나 대부분은 자체에서 재활용이 가능한 철, 탄소, 석회석 등과 같은 유가자원을 함유하고 있으며 합철, 석회 및 기타 더스트 및 슬러지로 구분할 수 있다. 표 8은 포항제철의 더스트와 슬러지 발생 현황을 나타냈다. 전기로 공정에서는 강톤당 12~18kg의 더스트가 발생하고 있으며 국내 전기로 공장의 더스트 발생 현황은 현재 약 12만 ton 이다.

제철공정에서 발생하는 대부분의 더스트는 재활용을 위한

많은 기술개발과 연구로 상당량이 재활용되고 있으나 슬러지는 수분이나 오일성분등의 문제로 재활용에 제한을 받고 있다. oily sludge와 bio sludge와 같은 폐기물은 현재까지 대부분 소각하거나 매립되고 있는 실정으로 매립시 안정화 또는 도로용 콘크리트 첨가제 등으로 사용하기 위한 고형화 기술이 연구 개발되고 있다. oily sludge의 경우는 오일함량이 높아 매립에도 문제가 있기 때문에 소각되어 소각회를 소결원료로 사용하고 있으나 최근 토지개량용이나 퇴비화를 위한 연구개발이 진행되고 있다.

표 8. 포항제철 발생 분진과 슬러지 발생 및 재활용 현황 (1992)

(단위 : 천톤/년)

구분	발생	활용	활용			
			%	자체재활용	판매	
더스트	합철더스트	1,187	24	74	722	155
	석회더스트	25	877	96	12	12
	기타더스트	11	11	100	11	-
	소계	1,223	912	75	745	167
슬러지	합철더스트	32	20	62	17	3
	석회더스트	185	-	-	-	-
	기타더스트	118	-	-	-	-
	소계	335	20	6	17	3
총계	1,558	932	60	762	170	

주)합철판매분은 시멘트용 가철제, 석회더스트는 전로탈황제 및 수처리제로 사용

*소재화 예)

- ◎ 석회석 슬러지
 1. Ascon Filler
 2. 배연탈황용 석회석 분말
- ◎ 합철 더스트
 1. 마찰재용 원료
- ◎ 스테인레스강 Swarf
 1. 편상분말 제조
 2. 정전기방지용

2) 비철공업 분진과 슬러지

표9는 비철제련 3사의 대표적 폐기물 발생현황이다.

표9. 제련3사의 폐기물 발생 현황

력키금성	제련 슬러	250,000톤
	제련 더스트	3,940톤
	Cu cement	720톤
	석고 슬러지	4,000톤
고려아연	분철(수산화철)	50,000톤
	폐석고	6,840톤
	폐수처리 슬러지	300톤
	광재	600톤
	Fly ash	14,400톤
(주)영풍	분철(산화철)	80,000톤
	폐수처리 슬러지	3,000톤
	중화 cake	100톤

*소재화 예) sand blast 용

3) 석탄회

우리나라의 석탄회의 주발생처는 석탄을 사용하는 화력발전소들이며 그 발생량은 석탄의 소비량에 따라 비례하며 석탄회의 발생율은 석탄량의 약 20~25%정도이다. 표10은 우리나라에서 발생하는 석탄회의 발생량으로 1988년에 200만톤으로 최고치를 보였고 1992년에는 약190만톤이 발생하였다. 그러나 태안, 당진 그리고 하동에 3개의 새로운 발전소 건설 및 보령, 삼천포 등 기존발전소의 증설에 따라 2001년에는 그 양이 약 420만톤에 이를 것으로 추정된다.

표 10. 우리나라의 석탄회 재활용 현황

항목	년도				
	1984	1985	1986	1987	
석탄소비량(천톤)	6,175	7,921	7,942	7,206	
석탄회 발생율(%)	26.7	23.8	22.1	22.8	
석탄회 발생량(천톤)	1,648	1,887	1,752	1,643	
석탄회 재활용량(천톤)	141	110	86	174	
석탄회 재활용율(%)	8.6	5.8	5.0	10.6	
재활용 현황 (천톤)	시멘트 원료	82.4	81.0	41.5	53.0
	콘크리트용혼화제	8.7	6.7	23.6	89.0
	벽돌 기와 스테이트	16.5	20.4	17.7	28.2
	크랭크 판매	1.5	1.6	3.3	3.5
	기 타	32.3			

*예) Zeolite

표 11. 석탄화 이용 기술

시멘트분야	제조용 원료, 시멘트 혼화재, 생크리트 혼화재, 시멘트밀크, 신경화재
골재분야	골재, 인공경량골재, 공공중량골재
건축분야	세라믹스제품, 단열재, 콘크리트제품
토목분야	아스팔트충진재, 포장재, 노반재, 충진재, 지반안정재
농업분야	비료, 토양개선펜, 농토조성, 조원
기 타	유가물의 회수, 수처리재, 고화재, 산화방지제, 오츠

4) 중유회

중유회는 중유를 원료로 사용하는 보일러에서 모두 발생하기는 하지만 소형의 보일러의 경우는 그 발생량이 미미하여 그 발생량을 파악할 수 없으며 한국전력의 중유 화력발전소에서 발생하는 중유회가 그 주종을 이루고 있다. 우리나라의 중유회 발생량은 1988년 이후 급격히 증가하고 있으며 1992년에는 약 5,500톤에 이르고 있다. 그렇지만 2000년에 이르르면 중유화력발전소의 감소에 따라 그 발생량도 약간 감소할 것으로 예상된다.

* 소재화 예) 발열제(충진재 및 active carbon 대체용)

5) 폐차슬러지(ASR)

폐차는 해체 후에 슈레더처리되며 이때 발생하는 슈레더분진의 성분은 그림 4와 같다. 그러나 실제로 슈레더분진을 가까이 보면 플라스틱계의 쓰레기이다.

대표적인 보통차로 시험 산정해 보면, 완성차량의 각 부품에 대한 각각의 재료별 체적비율은 그림 5와 같다. 약간의 보정으로써 슈레더 처리시에 증발하는 액체류, 토사 등의 생성을 추가하였다. 이 결과로 해체처리 및 슈레더 후에 선별 제거되는 것을 제외하면 그림 5와 같은 분진의 감량화, 재자원화를 고려한 우선부품을 결정하는 유력한 요인이 되는 것은 그림 5에 나타난 대표 부품이다.

자동차 전중량의 25%를 차지하는 폐차 더스트는 산업폐기물로서 매립하고 있다. 그 양은 년 25만대의 폐차로 6만톤에 달한다. 인근 매립지는 부족하여 원격지로 운송하는 경우, 평균 매립비용이 15,000엔/대(현재 일본)로 해체처리업자의 경비를 증가시키고 있다.

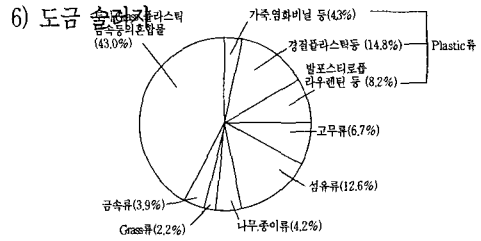


그림4. 슈레더분진 성분별 분석

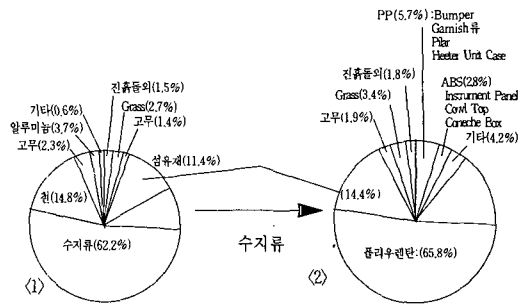


그림5. <1>보통차의 재료 체적비율 <2>분진성분 체적비율

도금 슬러지는 도금 폐수처리 공정에 수반되어 생성된다. 현재 국내에는 19개협동단지에서 217개 업체가 도금작업을 하고 있으며 이들 19개 단지는 공동으로 폐수처리장을 운영하고 있다. 또한 이들 외에 300여개, 독립업체가 환경부의 관리하에 조업중이다. 이들 도금업소들은 연간 약 200만 M³의 도금폐수를 발생하며 이의 처리에 의해 월평균 2,000톤의 슬러지가 생성되며 이는 전량 매립 처리되고 있는 것으로 추산된다.

도금 슬러지 중에는 리사이클링의 가치가 있는 유가금속이 다량 포함되어 있다. 일본의 경우 도금 폐액은 금속 종류별로 분리 수집하여 처리하므로 처리기술상의 어려움도 없고 따라서 리사이클링도 쉽게 이루어 질 수 있다. 국내의 경우는 도금폐수의 수거를 산화계, 환원계, 혼합계로만 분리 처리하므로써 금속원소별 분리가 이루어지지 않고 있고, 처리 목적에 리사이클의 개념이 없으며, 단지 최종방류수를 법적 기준에 맞추는 것만을 목적으로 처리하고 있다.

7) 폐촉매

대부분의 촉매는 정유, 고분자, 석유산업에 사용되어 거의 수입에 의존하고 국내 생산량은 수요의 0.1%로 극미한 실정이다. 석유화학공업의 발달로 촉매의 수요량이 급증(1983년 2,200만 달러, 1990년 8,800만 달러, 1995년에는 2억 달러)할 것이다. 촉매수요의 56.8%를 차지하는 비소모성촉매에는 V, Ni, Co, Mo 등을 5-10% 함유하는 회유금속류와 Pt, Rh, Pd 등을 1%정도 함유하는 귀금속류가 있다.

특히 1년 이하의 촉매수명을 갖는 비소모성 촉매가 47%를 점유하고 있으므로 리사이클링에 대한 필요성이 높다.

촉매의 성분은 귀금속류와 전이금속이 각각 25.8%, 34.3%로 구성되어 있어 재활용 가능성이 높고 특히 국내에서는 생산되지 않는 금속들이 포함되어 있다. 배기가스 정화용 촉매 전환기의 장착을 의무화하였기 때문에 아직 자동차 폐촉매의 발생이 없으며 자동차의 평균 수명을 7-8년으로 계산하였을 때 앞으로 2-3년 후면 국내에서도 자동차 폐촉매의 대량 발생이 일어날 것으로 예상되며 그 양은 현재 등록된 자동차수로 부터 예측할 수 있다. 세계적으로 사용되고 있는 촉매재의 대부분이 미국, 독일, 일본 등 몇개국에서 개발한 촉매이고, 이들 촉매를 사용하는 다른나라들에서는 석유화학 생산 시설을 들여올 때 이들 촉매도 필수품으로 같이 수입해 들여와 사용하기 때문에 사용촉매에 대한 사용이 성능만 확인할 수 있고 그 성분이나 제조법등은 잘 모르는 실정이다. 국내에서도 전량을 수입에 의존하고 있으므로 석유화학 폐촉매의 재활용을 위한 연구도 이들 촉매 생산국들에 비해서 불리한 여건에 있는 것이 사실이다. 촉매의 성능이 떨어져서 촉매를 decarburization 등의 방법으로 재생하여 다시 사용하나 촉매수명이 경과하면 촉매가 재생불능이 되어 폐촉매로 회수되나 대부분은 폐기물 처리로 매립된다. 석유화학 폐촉매 재활용에 있어서 가장 중요한 문제라고 할 수 있는 사용공정별 재활용 가능한 폐촉매의 종류와 특성 및 발생량 등에 대한 체계적인 연구발표도 없다.

- * FCC촉매 : 소재화 예) 1. plastic 충전재
 2. 아스콘 충전재
 3. 토질 개량제
 4. 정수 처리제
 5. 지속성 비료
 6. 철강 보온재

8) 소각회

정부에서는 2천년까지 매립장 확보가 곤란한 대도시를 중심으로 적극적으로 소각로를 설치 예정이며 이에 따른 소각비용을 현재의 2%수준에서 27%로 올릴 예정이다. 따라서 쓰레기 톤당 250~300kg슬래그, 20~35kg의 노의 회분과 필터분진 15~40kg 등 약 275~375kg의 소각후의 고체생성물이 발생한다. 따라서 92년 현재의 쓰레기 발생량을 고려하면 3400만톤의 쓰레기 처리시 3400만톤×0.375의 양이 소각잔재로 발생해 이를 처리하는 것이 큰 문제로 등장하게 된다(표 12참조). 소각재의 경우 대부분 미세한 분말 형태로 되어 있어 2차 공해를 일으키기 때문에 주의할 필요가 있다. 그러나 현재 국내 쓰레기 처리방식은 소각으로 바뀐지가 얼마되지 않아 소각기술 자체도 거의 외국의 기술을 도입한 것이며, 더우기 소각회 처리에 대한 의식과 기술이 전무하다. 따라서 막대한 양의 2차 고체폐기물을 처리하여 재활용하거나 소재화시킬 수 있는 기술의 개발 혹은 축적이 대단히 시급한 실정에 있다.

표12. 소각재 및 분진의 처리비용

년 도	1994년	1997년	2000년이후
전기로 분진	120	160	250
소각재	140	800	2,000

300 ton/day급 소각로 : 22,000 ton Ash 발생
 200 ton/day급 소각로 : 15,000 ton Ash 발생
 100 ton/day급 소각로 : 7,500 ton Ash 발생

-Ash처리 비용

년 도	1994년	1997년	2000년이후
Ash	400억	1,760억	3,200억
분진	840억	370억	840억

5. 과상폐기물의 소재화

과상 형태의 산업폐기물중 가장 많은 양이 발생하는 곳이 금속재련·건설폐기물도 큰 몫을 차지한다. 대부분 이들 과상 폐기물의 소재화 과정은 용도창출을 위해 분상화 과정을 겪는데 이는 고에너지 부가의 공정으로 많은 공정이 투입된다.

1) 제철 슬래그

제철산업의 전로슬래그 분쇄나 고로수재 슬래그의 제조, 고로 괴재슬래그의 분쇄 등이 이에 속하며 이들은 이 과정에서 또다른 부산물이 산출되는데 이들의 용도를 재창출하는 것이 과상폐기물의 소재화의 가장 기본적 연구대상이다.

표13은 철강 과상 폐기물의 발생과 처리현황이며, 그림6은 철강슬래그의 제품이용 분야이다. 고로수재의 경우 대부분의 용도가 시멘트제조용이며, 괴재의 경우 도로 노반재, 암면제조용, 제강슬래그의 경우, 별다른 용도를 찾지 못하고 있다.

* 소재화 예) 마찰재용 유리섬유

2) 굴폐각류

현재 남해안 근방에서 연간 약 17만ton 발생하고 있는 굴폐각류의 경우 연안오염방지, 환경보전, 수

질원보전을 위해 재활용 공장이 가동되고 있으나 채물용 또는 단순 폐각석회석비료로 이용되어 있으나, 현재 다양한 연구 결과가 도출되어 용도를 넓히고 있다.

* 소재화 예) 편상석회석을 이용한 마찰재 제조

표 13. 철강 폐기물의 발생 및 처리현황(1992년)

(단위):천톤/년

구분	발생	재활용	%	폐기	비고
총계	13,063	9,952	76	3,111	
슬래그	11,205	9,084	81	2,121	
고로슬래그	7,269	7,269	100	0	
전로슬래그	3,002	1,425	47	1,557	
전기슬래그	934	390	42	544	
더스트	1,334	840	63	494	
슬러지	524	28	5	496	

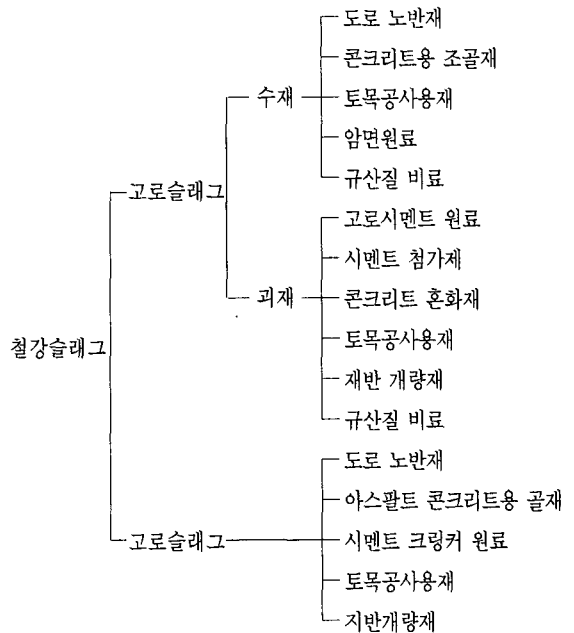


그림 6. 철강 슬래그 제품 이용분야

6. 분진및 슬러지 재활용의 문제점및 대안

각종 산업현장에서 발생하는 더스트와 슬러지는 광재에 비해 재활용율이 상당히 낮으며 특히 슬러지는 매우 낮은 수준을 유지하고 있다. 재활용을 위한 문제점을 열거하면 다음과 같다 :

- ① 슬러지의 수분 때문에 취급상의 어려움과 수분저감을 위한 처리비용의 증가
- ② 더스트나 슬러지는 유해성분을 함유하고 있어 매립시의 비유해화를 위한 처리비용의 상승
- ③ 더스트 처리시 2차공해유발에 따른 취급기피
- ④ 자체재활용이나 재활용 용도 개발을 위한 연구나 투자의 부족
- ⑤ 재활용 처리설비의 투자비 과다
- ⑥ 재활용품의 제조비용 고가 및 수요가의 구매기피

위와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 정부, 산업계 및 소비자 모두가 매립이나 소각되는 폐기물 재활용을 통하여 자연환경을 보존하는 동시에 부존자원의 수명을 연장시키고 저렴한 가격으로 재활용 제품을 이용할 수 있도록 다음과 같이 적극 대처해 나가야 할 것이다 :

- ① 영세한 재활용 처리설비나 가공회사에 대한 금융, 세제상의 지원
- ② 재활용처리업체에 대한 규제 일변도에서 폐자원의 재활용면과 환경보전 측면에서 그 용도 개발에 적극 지원
- ③ 재활용품에 대한 공공기관의 의무사용 비율 반영으로 재활용품의 수요확대
- ④ 더스트와 슬러지의 재활용품 개발시 공인이나 규격화 추진

향후 더스트와 슬러지는 발생한 곳에서 처리하는 최대한의 자체 재활용을 추진하고 자체 재활용이 불가능하거나 부가가치가 높은 폐기물은 재활용 용도를 개발하여 매립이나 소각되는 폐기물의 양을 최소화하여야 한다. 또한 자원화 및 소재화 연구 측면에서 연구의 바람직한 연구 개발 및 내용은 다음과 같다.

- 각종 소재의 용도개발 : 광재, 분진 및 슬러지등의 고가의 용도개발
- 각종 신소재 제조기술 개발 : 이를 통한 신소재 개발 기술의 축적
- 각종 대체재료 제조기술 개발 : 기존 고가의 소재로 제조되던 소재를 분진이나 슬러지등의 폐기물을 이용할 수 있는 대체기술 확립

(1) 단기

- 산업폐기물중 광재, 분진, 슬러지
- 각종 분진, 슬러지 광재의 조성 및 물성 연구
- 각종 분진 슬러지, 광재 등의 산업폐기물 처리기술에 관한 특허 조사 및 체계화

(2) 중기

- 분진, 슬러지, 광재 등의 산업폐기물을 사용한 각종 대체재료 제조 가능성 타진
- 여러가지 산업폐기물 처리 기술의 재검토 및 차후 개발에 필요한 기술의 체계화

(3) 장기

- 분진, 슬러지, 광재 등의 폐기물 재활용 제조기술 재검약
- 국외 개발현황 재검토
- 신뢰성, 재현성 확인
- 양산기술 확보를 위한 공법들의 검토

참 고 문 헌

1. 환경보전을 위한 폐기물 처리 시스템 고도화 기술 개발 전략 세미나 요약, 생산기술연구원 (1994. 6)
2. 중소기업형 환경설비 국산화 사업 도출을 위한 연구 기획 보고서, 과학기술처, 과학기술정책관 리연구소 (1994.3)
3. 산업계의 재활용 활성화 방안, 한국자원리싸이클링학회 (1993.12)
4. 환경보전을 위한 폐기물처리 시스템 고도화 기술개발 전략, 상공자원부 (1994.6)
5. 분체공학의 최근 동향과 환경공학적 응용. 월간폐기물 (1995.6)