



폐주물사의 재활용 활성화 방안에 관한 연구

김영준[†], 정명희*

가톨릭대학교 생명환경공학부 환경공학, 한국환경공단 생태하천복원기술지원센터*
(2010년 12월 8일 접수, 2010년 12월 17일 수정, 2010년 12월 19일 채택)

Study on the reuse and recycling of the used foundry sands

Young-Jun Kim[†], Myung-Hee Chung*

School of Biotechnology and Environmental Engineering, The Catholic University, Bucheon, Korea
Korean Environment Corporation, Incheon, Korea*

ABSTRACT

Foundry sands are made up of silica and some coking agents, such as bentonite or resin, and used as templates for the production of various casting products. Foundry sands, which are repeatedly used, were finally transformed into the waste materials by heat, losing their proper functions. The used foundry sands have been treated as general wastes according to the contents of coking agents used. Silica, however, can be recycled through the proper treatment due to its physical property not to be changed by heat. In this study, we have identified and investigated at the occurrence, treatment and recycling status of the used foundry sands, as well as for the regime and inhibitory factors of the recycling of them in domestic and foreign cases.

Keywords : Used Foundry Sands, Coking Agents, Recycling, Silica

초 록

주물사는 규사에 벤토나이트나 resin 등의 점결제를 첨가한 것으로서 주물제품의 생산을 위한 주형에 사용되고 있다. 주물업체에서 반복적으로 사용된 주물사는 결국 열에 의해 파쇄되어 그 기능을 상실하며 폐주물사로 전락된다. 폐주물사는 점결제의 성분 및 함량에 따라 지정 또는 일반폐기물로 처분되고 있지만 주물사의 주종을 이루는 규사는 열에 의해 변성되지 않는 성질로 인하여 적절한 처리를 통하여 재사용이 가능하다. 본 연구에서는 국내·외 폐주물사의 발생 및 처리, 재활용현황, 그리고 재활용에

[†]Corresponding author : yjunkim@catholic.ac.kr

관련된 제도 및 재활용을 저해하는 요인 등을 조사하여 문제점을 도출하고 폐주물사의 재활용 활성화 방안을 제시하였다.

핵심용어 : 폐주물사, 점결제, 재활용, 규사

1. 서론

주물제품은 주방용품에서부터 자동차, 기계, 항공, 선박 등 다양한 산업에 사용되고 있으며, 2005년도 국내 주물생산량은 1,899,200 톤으로 나타났다¹⁾. 특히 자동차 산업의 경우, 전체 자동차 생산량에서 중량대비 22%, 가격대비 10%가 주물 제품이다²⁾. 주물생산에 필요한 주형의 대부분은 모래로 제조되는데, 이를 주물사라고 한다. 주물사는 규사에 벤토나이트나 resin 등의 점결제를 첨가한 것으로, 한 번 사용된 주형은 주물 생산 후 현장에서 간단히 해체된다. 그러나 벤토나이트를 점결제로 사용하는 생형사의 경우, 해체한 다음에 자석으로 금속성분을 회수하고, 다시 새로운 주형으로 제조하여 주물제품에 따라 수차례에서 십여 차례까지 재사용한다. 이 과정에서 주물사가 열에 의해 그 크기가 230 μ m 이하로 파쇄 되면 주물사로서의 기능을 잃고 폐기된다.

폐기물관리법에 의해 폐주물사는 지정폐기물로 분류되어 있지만, 동법 시행규칙 별표 1에 규정된 물질이 기준치 이하로 포함되어 있으면 지정폐기물이 아니다³⁾. 즉, 특수강을 생산하는 경우, 화학물질을 점결사로 사용하기 때문에 유해물질을 일정량 포함하고 있어 지정폐기물로 분류되지만, 벤토나이트를 점결제로 사용하는 폐주물사는 일반폐기물로 분류된다.

일반폐기물인 점토점결폐주물사는 대부분 전문처리업체로 위탁되어 복토용 또는 시멘트와 벽돌의 원료로 재활용되고 있다. 폐주물사의 발생량은 매년 증가하고 있는 추세로 2007년도 발생량은 약 174만여톤에 이르고 있으며 이중 상당량이 재활용되고 있는 것으로 조사되었으나 최근들어 재활용제품에 대한 유해성문제가 부각됨에 따

라 재활용률이 급격히 감소하는 추세를 나타냄에 따라 환경보호와 자원절약의 차원에서 폐주물사의 재활용률을 높일 수 있는 방안이 필요한 실정이다^{4),5)}.

본 연구에서는 폐주물사의 재활용 활성화방안을 제시하는 것을 목적으로 국내외 폐주물사의 발생 및 처리현황을 살펴보고 이들의 재활용현황 및 재활용과 관련된 법률 및 제도를 조사하는 한편 재활용을 가로막는 걸림돌은 무엇인지 현장 및 인터뷰조사 등을 통하여 파악함으로써 재활용 활성화대책을 수립하고자 하였다.

2. 국내 폐주물사 관리현황

2.1 폐주물사 발생 및 처리현황

폐주물사의 발생량은 주물생산량과 밀접한 관계가 있다. 주형의 종류에 따라 차이는 있으나 생산제품 1톤당 0.5톤 이상의 폐주물사가 생산된다. 2000년도부터 2005년도까지의 국내 폐주물사 발생량과 처리방법은 다음의 [Table 1]에서 볼 수 있다. 2001년도 폐주물사의 생산량은 전년도 생산량의 80%로 감소되었으나 이후부터는 점차 증가하는 추세이다. 주요 처리방법은 재활용으로 2001년도부터 80% 이상을 꾸준히 유지하는 반면, 매립되는 양은 감소하는 양상을 보이고 있다.

한국주물공업협동조합의 자료에 의하면 국내 주물업체의 수는 모두 260업체이고, 그 중의 219 업체가 인천, 경기, 경북, 부산과 경남에 분포되어 있다 [Table 2]. 그러나 조합에 등록하지 않은 업체들도 있기 때문에 실제의 업체수는 이보다 훨씬 많을 것으로 추측된다.

2.2 폐주물사의 특성

생형사에는 벤토나이트 외에 작업과정 중에 주형이 파쇄되는 것을 방지하기 위해 주물사의 강도를 높여 주는 Sea Coal 이 첨가된다. 국내에서 사용되는 주물사의 구성성분을 살펴보면, SiO₂가 가장 많이 함유되어 있고(84.24%~98.24%), 그 밖에 Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO와 MgO가 소량으로 함유되어 있다 [Table 3]. 마찬가지로 폐주물사에도 주성분인 규소를 포함하여 약간의 수분, 벤토

나이트와 sea coal, 그 밖에 미량의 유기성, 무기성 물질이 함유되어 있다. 이처럼 폐주물사는 규소를 주원료로 하고 있기 때문에 열에 의해 화학변화를 일으키지 않아 적절히 처리하면 광물자원으로 활용할 수 있다.

2.3 폐주물사 재활용 방법

현재 국내 폐주물사의 재활용방법은 매우 단순하다. 경기 인천지역에는 5개의 폐주물사 위

[Table 1] Status for the Occurrence and Treatment Methods for the Waste Foundry Sands*

		2000	2001	2002	2003	2004	2005
발생량		4249.1	3387.3	3,662.3	3,694.3	3,967.1	4,088.1
재활용	톤/일	2,943.0	2,716.5	3,096.1	3,051.5	3,403.5	3,406.3
	%	69.3	80.2	84.5	82.6	85.8	83.3
매립	톤/일	1,305.4	667.5	566.2	642.5	563.4	681.8
	%	30.7	19.7	15.5	17.4	14.2	16.7

*Cited from Korea Foundry Cooperative Association

[Table 2] Current Status on the Number of Domestic Foundry Factories*

인 천	경 기	경 북	부 산	경 남	기타지역	계
41	35	51	35	57	41	219

*Cited from Korea Foundry Cooperative Association

[Table 3] Chemical Properties of Foundry Sands in Various Places*

	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	기타(%)
독섬 A	86.24	4.62	2.68	0.44	2.2	3.82
독섬 B	85.5	6.68	1.84	0.24	0.9	4.84
염창 A	84.24	5.09	2.41	0.24	1.22	6.8
염창 B	92.42	0.41	2.41	0.02	1.02	3.72
금 포	89.6	3.54	2.28	0.78	0.4	3.4
동 면	90.02	0.18	2.54	0.9	2.42	3.94
팔달로	88.82	4.07	1.03	0.06	0.98	5.04
영도 A	87.48	3.59	2.55	0.88	0.21	5.29
울 산	87.48	2.93	1.69	1.38	0.39	6.13
자은도	94.72	0.62	0.32	0.14	0.82	3.38

* Cited from Korea Institute for Science and Technology Information

탁처리업체가 있는데 이중 한 업체는 중자사를 재생하는 업체이며 생형사를 처리하는 업체는 4개 업체이다. 이들 업체들은 주로 폐주물사와 건설폐기물을 비롯한 다른 무기성폐기물을 함께 취급하고 있으며, 폐주물사를 순환골재와 혼합하여 성토재로 재활용하거나 콘크리트, 아스팔트, 레미콘, 벽돌 또는 블록을 생산하기 위한 재료의 일부로 사용하는 정도인데, 이러한 현상은 전국적으로 비슷하다. 폐주물사를 재활용할 수 있는 방법으로는, 별도의 공정이 필요 없이 단순히 성토재나 벽돌, 콘크리트 등과 같은 건축자재의 일부로 활용하는 것에서부터 새로운 모래의 성질과 유사한 성질을 갖도록 재생하는 신사화에 이르기 까지 다음과 같이 여러 종류의 재활용 방법이 있다.

- 성토재, 채움재
- 콘크리트용 모래 대체재
- 콘크리트 2차제품 : 시멘트벽돌, 시멘트블럭
- 시멘트 원료 : 포틀랜드시멘트의 킬른용 원료
- 레미콘용 골재
- 아스팔트용 골재 및 아스팔트 석분대체재
- 원예재료
- 유리 원료
- 유리질화 : 유해폐기물의 용융화를 위한 원료
- 신사화 : 재생사 생산

3. 국외의 폐주물사 관리현황

3.1 일본

2001년도 일본에서는 3,628천 톤의 주물이 생산되었고, 주물생산 공정에서 발생된 폐주물사는 1,361천 톤이다. 그 중에서 자사 공장에서 재활용된 양은 46.8%에 해당하는 637천 톤이고, 다른 사업에서 재활용된 양이 329천 톤으로

24.2%를 보였다. 따라서 모두 977천 톤이 재활용됨으로써 71%의 재활용률을 나타냈으며, 나머지는 매립되었다. 그러나 산업폐기물의 발생량 감량화 및 Zero Emission 등으로 폐기물관리를 강화하는 한편, 산업폐기물 매립지의 고갈과 처리비용 및 주물사 원료가격 상승으로 폐주물사의 재활용률은 증가하는 추세이다.

3.1.1 건축자재로의 재활용

폐주물사는 시멘트 원료로 가장 많이 재활용되고 있으며, 노반재로의 사용이 그 뒤를 잇는다. 그 밖에 아스팔트 원료, 연와, 타일, 콘크리트 2차 제품, 채움재 등으로 재활용된다. 폐주물사를 시멘트원료로 재활용하기 위한 관리기준이 정해져 있기는 하지만, 반입가능여부는 주물회사와 시멘트회사와의 개별협의로 결정한다. 시멘트 원료로 사용하기 위한 폐주물사의 기준은 다음의 [Table 4]에 나타나 있다.

3.1.2 신사화

폐주물사에 부착된 점결제 등을 제거하여 다시 주물사로 이용하는 신사화 방법도 있는데, 이러한 신사화방법으로 인하여 2004년도의 폐주물사 재활용량은 1,045천 톤에 달한다. 신사화에 의해 생산된 주물사를 해당 작업장에서 사용할 경우, 폐기물이 작업장 밖으로 배출되지 않는다는 장점이 있다.

3.2 유럽

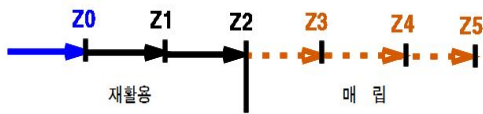
유럽연합에서는 사람의 건강이나 환경에 영향을 주지 않는 범위 내에서 농업과 생태계 개선에 도움이 되는 폐기물의 토양살포를 재활용의 한 방법으로 규정하고 있다. 유럽연합국가에서 발생되는 무기성폐기물의 양이 연간 3천만 톤이고,

[Table 4] Standard of Foundry Sands to Use as Law Material for Cement Production⁶⁾

구분	SiO ₂ (%)	총크롬(ppm)	총염소(ppm)	성상
허용한계	≥70	≤500	≤1,000	이물질 혼입이 없을 것. 비산분진 등이 없도록 할 것

그 중에서 토양으로 재활용되는 양은 백오십만 톤 정도이지만, 매립제한과 매립비용, 소각비용에 비해 토양살포 비용이 저렴하기 때문에 토양으로 재활용되는 산업폐기물의 양과 종류는 점점 증가되고 있다. 제강공장에서 발생하는 슬래그, 정수 슬러지, 준설토, 폐석회 등 다양한 산업폐기물이나 부산물이 농업, 산림지, 토지간척의 용도로 토양에 재활용되고 있다.

독일의 경우, 철 구조제품을 생산할 때에는 생산량의 20~50%에 해당하는 폐주물사가 발생되고, 알루미늄 구조물의 경우에는 100~200%의 폐주물사가 발생된다⁷⁾. 철 주물공장과 알루미늄 주물공장에서 발생하는 폐주물사에 함유된 물질의 양은 무기성폐기물의 재활용을 위한 지침인 'LAGA 20'의 등급 Z2의 기준치를 초과하지 않기 때문에 폐주물사는 시멘트와 벽돌 및 아스팔트의 재료, 도로공사현장과 암염광산의 채움재로 사용된다 [Fig. 1].



[Fig. 1] The grade of inorganic wastes by LAGA 20⁸⁾.

일본의 경우와 마찬가지로 독일에서도 재생사를 생산한다. 재생공정을 통과하면 검은 색이 사라지고 원래 모래의 색이 나타난다.

4. 폐주물사 재활용의 어려움

4.1 제한된 재활용용도와 재활용제품에 대한 불신감

현재 폐주물사의 재활용용도는 성토용으로 사용되고 있는 정도이다. 매우 적은 양이 벽돌, 블럭, 콘크리트, 레미콘에 혼합되어 재활용되기는 하지만 폐주물사의 검은 색으로 인하여 제약을 받고 있는 실정이다. 그리고 시멘트 공장이 강원도에 편재해 있기 때문에 인천지역에서 발생하는 폐주물사를 시멘트원료로 사용하기에는 운반비용

제가 따른다.

독일이나 일본에서는 폐주물사에 열처리를 가해 재생사를 생산하지만, 우리나라의 경우에는 주물사입자가 파쇄되어 더 이상 주물사로 사용할 수 없을 때 폐기하기 때문에 재생사를 생산한다 하더라도 주물사로 사용할 수 없다. 더구나 재생사의 가격이 신사의 가격보다 높을 뿐만 아니라 아직은 재활용제품에 대한 불신감 때문에 주물사로 재활용하기 위한 신사화방법은 국내의 실정에 적합하지 않다. 그러나 자동차생산량이 많은 우리나라에서 주물생산량은 계속 증가할 것이므로 폐주물사를 대량으로 재활용할 수 있는 방안을 적극적으로 찾아보아야 한다.

4.2 폐주물사에 대한 관심 부족

점토점결주물사인 생형사에서 유래한 폐주물사는 폐기물관리법 시행규칙 별표 1에 규정된 물질을 기준치보다 적게 함유하고 있어 재활용이 가능하지만 동법에서는 폐주물사를 지정폐기물로 분류했을 뿐, 더 이상의 언급이 없다. 그리고 유리, 폐지, 음식물류폐기물, 플라스틱 등의 물질은 재활용가능 대상 품목으로 여러 보고서에서 자주 언급되고 있으며 단일 품목으로도 연구보고서가 많은 편이다. 이러한 현상은 폐주물사에 대한 관심이 부족하고, 따라서 이 분야에 대한 연구가 본격적으로 실행되지 않고 있음을 잘 보여 준다.

폐주물사를 콘크리트 제품과 같은 건축자재로 활용하기 위한 연구도 일부 관심 있는 사람들에게 의해 이루어지고 있는 실정이다. 1990년대 중반 이후부터 폐주물사를 콘크리트처럼 건설자재로서의 적합성에 관한 연구가 시작되어서 현재까지 계속되고 있다. 초기의 연구와 현재 연구의 차이점이라 한다면, 초기에는 모래의 일부분으로 주물사만 대체하는 것이었고, 현재는 폐주물사와 하수슬러지 또는 폐주물사와 플라이애쉬를 혼합하여 모래의 일정부분으로 대신하는 것이다. 그러나 실험의 내용은 이들 물질의 함유량을 달리했을 경우의 강도와 밀도의 차이점을 규명하는 것으로 과거와 비슷하고, 그것마저도 연구실적물이 매우 저조하다는 것이 과거와 현재의 공통점이다.

5. 폐주물사의 재활용활성화를 위한 방안제시

5.1 배출된 상태 그대로 재활용하는 방안

폐주물사는 앞에서도 언급했듯이 우리나라에서는 입자가 파쇄되어 주물사로 사용할 수 없을 때 폐기하기 때문에 주물사로 재활용하는 것은 어렵다. 그러나 입자가 미세하기 때문에 콘크리트나 벽돌의 재료로 사용했을 경우, 폐주물사가 혼합되지 않은 것보다 강도가 더 강하다는 실험보고들이 있다⁹⁾. 따라서 아스팔트에 사용할 경우에도 강도가 더욱 강해질 것으로 사료된다. 아스팔트의 색깔과 폐주물사의 색깔이 유사하기 때문에 벽돌이나 콘크리트에 사용할 때에 걸림돌이 되었던 검은 색은 아무런 문제가 되지 않을 것이다. 그리고 방음벽의 재료로 사용하고 방음벽에 담쟁이덩굴과 같은 식물을 이용해도 무방할 것이다. 따라서 폐주물사를 아스팔트와 방음벽의 재료로 사용하는 방안을 제안하는 바이다.

5.2 재생사로 재활용하는 방안

폐주물사를 가열하면 검은 색이 사라지고 모래 본연의 색으로 돌아온다. 폐주물사를 혼합하면 벽돌과 콘크리트의 강도가 높아지기 때문에 재생사를 천연모래의 대체품으로 사용해도 안전성에 문제를 일으키지는 않는다. 모래는 그 양이 제한되어 있는 광물자원이고, 우리나라에서는 양질의 모래가 거의 고갈되어 중국, 베트남 등에서 수입하고 있는 실정이다¹⁰⁾. 따라서 재생사를 천연사의 대체품으로 사용하는 것은 자원의 보호와 직결된다. 그러나 현재 재생사의 가격이 천연사의 가격보다 높은 것이 단점이다. 하지만 수입사의 가격은 유가의 상승과 그에 따르는 물류비의 상승, 그 밖에 관련된 다른 여러 가지 물가의 상승을 고려한다면 머지않아 재생사의 가격보다 높아질 것은 당연하다. 뿐만 아니라 모래를 수출하는 국가에서도 모래가 자원임을 인식하여 수출을 금지하고 있고, 이러한 국가의 수가 점점 늘어가고 있기 때문에 재생사를 생산할 수 있는 기술과 시설을 갖추어야 할 때이다. 따라서, 폐주물사를

재생사로 생산하여 천연모래의 대체품으로 사용하는 방안을 제안하는 바이다.

5.3 재활용제품에 대한 홍보

폐주물사의 적극적인 재활용을 위해서 폐주물사 재생업체와 정부지자체의 적극적인 홍보가 필요하다. 외국의 경우처럼 관련부처의 홈페이지를 통하여 품질인증된 제품의 리스트를 공개하거나 수요자가 재활용제품에 대한 정보를 쉽게 얻을 수 있도록 해야 할 것이다. 또한 재활용제품을 활용한 사례를 통하여 재활용제품의 품질과 경제성을 수요자 스스로 판단할 수 있는 기회를 제공해야 할 것이다. 한편, 폐주물사의 제품에 대한 홍보는 우선적으로 재생사를 생산한 후 이루어져야 올바른 홍보효과를 볼 것으로 기대된다.

6. 결론

자동차생산량이 많은 우리나라에서 주물생산량은 계속 증가할 것이므로 폐주물사를 대량으로 재활용할 수 있는 방안을 적극적으로 찾아보아야 한다. 폐주물사는 자체의 검은 색과 재활용제품에 대한 불신감 때문에 재활용 용도가 제한되어 있을 뿐만 아니라, 관심이 부족하여 그의 재활용과 관련된 연구 실적물도 매우 적다. 그러나 폐주물사는 미세한 크기로 인하여 벽돌, 시멘트, 콘크리트, 아스팔트 등에 혼합했을 경우, 그 강도가 더 강해진다는 연구 논문들이 있다. 따라서 가공하지 않은 폐주물사는 색깔이 비슷한 아스팔트용으로, 재생사는 신사의 대체품으로 사용하는 양을 늘려야 한다. 모래는 양이 제한되어 있는 광물자원이고, 우리나라에서는 양질의 모래가 거의 고갈되어 중국, 베트남 등에서 수입하고 있는 실정이다. 따라서 재생사를 천연사의 대체품으로 사용하는 것은 자원의 보호와 직결되지만 현재는 재생사의 가격이 천연사의 가격보다 높은 것이 단점이다. 그러나 유가 상승과 그에 따르는 물류비의 상승, 그 밖에 관련된 다른 여러 가지 물가의 상승을 고려한다면 머지않아 수입사의 가격은 재생사의 가격보다 높아질 것은 당연하다. 뿐만

아니라 모래를 수출하는 국가에서도 모래가 자원임을 인식하여 수출을 금지하고 있고, 이러한 국가의 수가 점점 늘어가고 있기 때문에 재생사를 생산할 수 있는 기술과 시설에도 관심을 가져야 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2009년도 인천지역 환경기술센터 연구개발사업지원에 의한 것임.

참고문헌

1. 최창욱, “산업폐기물 폐주물사의 재활용이 필요하다”, 사이언스 타임즈, 6월호, (2007).
2. 테크타임즈, “주조기술-첨단기술의 융합”, 9월호, (2006)
3. 환경부, “2007년 전국 폐기물 발생 및 처리현황”, (2007)
4. Rafat, S., Geert de, S. and Albert, N., “Effect of used foundry sand on the mechanical

properties of concrete, Construction and Building Materials”, Vol. 23, pp. 976~980 (2009).

5. 이승희, 최효현, “폐주물사/하수슬러지를 이용한 환형 담체 제조에서 첨가제 영향에 대한 연구”, 한국폐기물자원순환학회지, 27(1), pp. 10~18 (2010).
6. 국립환경과학원, “무기성폐기물의 재활용 및 적정처리방법에 관한 연구(1)”, p. 25 (2006).
7. Handbuch Abfall, “Untersuchung von Eisen- und NE-Metallgieserrien”, Baden-Wuerttemberg, p. 49 (1996).
8. LAGA 20, “Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen”, Laenderarbeitsgemeinschaft Abfall, p. 14 (2003).
9. 한국자원재생공사, “재활용제품의 재생원료 사용비율의 합리적 설정에 관한 연구”, pp. 228~229 (1999).
10. 최재선 외 2인, “모래수입물류 효율화방안, 한국해양수산개발원”, pp. 119~120 (2005). 