

주물공장 발생폐기물의 처리 및 재활용기술 동향

최창옥[†] · 길상철

한국과학기술정보연구원

The Trend of development Technology for Recycling and Re-use of Foundry Waste

Chang-Ock Choi[†] and San-Cheol Kil

Korea Institute of Science and Technology Information, KISTI

1. 서 론

우리나라의 주물생산량은 2008년에는 2,065,900톤으로 세계 10위권의 주물생산국가 이나 전 세계 주물생산량의 2.2%에 불과하다. 주물생산에 있어서 고사(폐주물사)를 비롯하여 분진, 슬래그, 폐내화물, 쇼트사 등 폐기물이 발생한다. 주물공장에서 발생하는 폐기물의 발생량은 주물생산량의 60~70%를 점유하고 있다. 이중 가장 많이 발생하는 폐기물은 고사로서 전체 폐기물 발생량의 약 70%정도이다. 주물공장에서 발생하는 폐기물은 사업장폐기물로서 환경법의 폐기물관리법시행령 제3조에 의한 폐기물로 분류하고 있다. 그 처리가 대단히 엄격하여 폐기물전문처리업체에 의뢰하여 처리하여야 한다. 그러므로 상당한 처리비용이 소요되어 주물의 제조원가 상승요인으로 작용하므로 폐기물의 감량화가 절실히 요구 되고 있다. 더욱이 주조산업을 녹색성장 산업으로 발전시키기 위해서는 Green Foundry로 만들어야 할 것이다. 이를 위해서는 주물공장에서 발생하는 폐기물의 감량화가 이루어져야하므로 국내외의 주물공장의 폐기물처리 및 활용기술에 대한 기술동향을 조사 분석 하여 이에 이바지 하고자 한다.

2. 폐기물의 종류 및 발생량

주물의 생산과정에서 발생하는 폐기물은 각 공장에 따라 다르나 폐기물 이외에 폐가스, 매연, 악취, 폐수 진동, 소음, 분진 등이 발생하여 환경을 오염시키고 공해문제로 발생 하므로 녹색성장산업으로 발전하기 위해서는 기업의 차별화가 추진되는 시대가 되었다.

이들 중 폐기물은 일반적으로 주물공장에서는 가장 큰 문제가 되는 점에서는 공통이다. 주물 1톤 생산에 있어서 재질별 폐기물 발생량에 대하여 일본에서 조사결과를 <Table 2-1>에 표시한다. 주물제품 1톤 생산에 있어서 폐기물 발생량은 재질별 평균은 0.64톤 이다. 주물재질별로 폐기물이 가장 적게 발생하는 것은 주철주물로서 0.50톤 이며 가장 많이 폐기물이 발생하는 것은 동합금주물로서 2.44톤 이다. 또한 주강주물은 0.92톤으로 폐기물이 많이 발생하는 재질이다.

주철주물공장의 공정별 폐기물발생량 조사결과에 의하면 <Table 2-2>와 같다.

<Table 2-2>에 나타난 바와 같이 발표기관에 따라 다소 차이는 있으나 폐기물이 가장 많이 발생하는 공정은 조형부문으로 65~75% 이며 용해는 20%정도이며 후처리공정은 10% 이하이다. 따라서 주물공장에서 발생하는 폐기물의 65%이상은 조형 공정에서 발생하는 고사 와 분진이다.

또한 주철주물공장의 폐기물종류별 발생량 조사에 의하면 <Table 2-3>과 같다.

한편 <Table 2-3>에 표시한 바와같이 주물공장서 발생하는 폐기물 중에서 가장 많이 발생하는 것은 고사 이며 다음은 분진, 쇼트분리사의 순으로 발생 한다. 발생하는 폐기물중에서 분진은 14.5%를 점유 한다. 이중 주물사 분진이 9.9%로 많고 쇼트분리 분진이 2.8% 이며 .또한 용해과정에 있어서도 용선로

Table 2-1. 주물공장재질별 폐기물발생량 (일본).

재 질 별	폐기물발생량 (톤/제품톤)	조사대상 공장수
주철주물	0.50	217
주강주물	0.92	40
동합금주물	2.44	22
알루미늄합금주물	0.64	12
평 균	0.64	291

Table 2-2. 주물생산 공정별 폐기물 발생량 비율.

공 정	자료 1(%)	자료2 (%)	비 고
용 해	17	25	슬래그, 분진, 내화물
조 형	75	65	주물사, 분진
후처리	8	10	기타
계	100	100	

비고)자료1:주조공학(일본주조공학회)69(1997)1, 자료2: CIATF Report(1997)

[†]E-mail : cochoi08@reseat.re.kr

Table 2-3. 주철주물생산 공정별 폐기물 발생량.

공정	발생량 (Kg)	내역	발생량 (Kg)	공정비율 (%)	전체비율 (%)
조형	382 (76%)	생형 고사	200	52.3	39.9
		자경 성형고사	90	23.6	17.9
		분진	50	13.1	9.9
		기타	42	11.0	8.3
용해	80 (16%)	용선로슬래그	35	43.3	7.0
		전기로슬래그	28	35.1	5.6
		용선로 분진	8	10.1	1.6
		폐내화물	8	9.7	1.6
		전기로 분진	1	1.8	0.2
후처리	39 (8%)	쇼트분리사	19	48.0	3.8
		쇼트분리분진	14	35.9	2.8
		페그라인딩	2	5.4	0.4
		기타	4	10.7	0.8

Table 2-4. 독일 철강주물공장폐기물발생량비율 (%).

폐기물의 종류	1994	1997
고사	71.2	67.3
분진	13.6	17.4
슬래그, 폐내화물	10.9	11.5
슬러지	2.4	2.1
기타 폐기물	1.9	1.7
합계	100	100
주물1톤당폐기물발생량(톤)	0.8	0.69

Table 2-5. 독일철강주물공장 고사발생량비율 (%).

주물사의 종류	1994	1997
생형고사	73.3	72.5
유기자경성고사	9.3	9.8
후처리고사	5.6	6.6
기타고사	1.5	1.9
중자고사(주조후)	7.6	6.9
중자파손사(주조전)	2.7	2.3
합계	100	100
주물1톤당 고사 발생량(톤)	0.57	0.45

또는 전기로부터 분진이 1.8% 발생한다. 주물공장에서 발생하는 주물사 계통의 분진이나 용해과정에서 발생하는 분진은 모두 집진장치에 의하여 포집하고 있으나 일부는 대기중에 비산하므로 대기중의 분진농도를 50 mg/m²이하로 규정하고 있다. 주물공장에서 발생하는 슬래그는 용선로 슬래그와 전기로 슬래그가 있으며 슬래그의 발생량은 전 폐기물의 약 13%이며 이중 용선로의 슬래그는 56%이며 전기로 슬래그는 44%정도이다. 폐내화물은 용선로나 전기로 등 용해로에서 발생하는 폐내화물과 레들에서 발생하는 폐내화물이 있으며 발생량은 주물공장에서 발생하는 전 폐기물의 약 1.5%정도이다. 후처리과정에서 발생하는 폐기물은 쇼트분리사, 쇼트분리분진, 페그라인딩, 기타이며

Table 2-6. 재질별 제품 1 톤당 고사 발생량(일본).

재질	제품1톤당 고사발생량 (톤/제품톤)
주철주물	0.3
주강주물	0.5
동합금주물	1.04
알루미늄합금주물	0.38

Table 3-1. 고사재생법 분류.

재생법	재생원리	재생설비
고사재생법	건식법	충격식
		마찰식
		연마식
	습식법	회전형
		초음파진동형
		수분사형
소성법(배소법)	유동형	
	로타리형	

전체 약 8%정도 발생한다.

독일에서 발표한 자료에 의하면 2년간 철강주물공장에서 발생하는 폐기물의 종류별 발생비율조사결과는 <Table 2-4>와 같다. 고사의 발생량비율은 다소 감소 하였으나 분진의 발생량비율은 증가 하였으며 타 폐기물은 거의 유사하나 주물 1 톤당 폐기물방생량은 감소 한 것으로 조사 되었다.

또한 철강주물공장의 고사발생량비율은 <Table 2-5>같이 보고 하였다.

고사중에 가장 많이 발생하는 고사는 생형고사로서 전체 70% 이상이며 유기자경성주형고사는 약 10%정도이다. 후처리과정에서 발생한 고사는 약 6%정도이다. 주물제품 1톤당 발생하는 고사는 0.57톤에서 0.45톤으로 감소 하였다.

한편 주물의 재질별 발생하는 고사의 량은 <Table 2-6>와같이 발표 하였다. 고사발생량이 가장 많은 재질은 동합금주물이며, 주강주물, 알루미늄합금주물, 주철주물의 순으로 고사가 적게 발생 한다.

3. 고사의 재생 및 활용기술동향

산업의 고도성장에 따라서 주물품의 품질요구도가 높게 됨에 따라 주물품의 재질에 적합한 고품질의 주물사가 요구되고 있다. 그러므로 고품질을 구비한 원료사인 규사의 국내 산출량에 한계가 있어 수입규사에 대한 의존도가 높게 되므로 규사의 가격은 점차 증가 경향이 있다. 주물의 제조공정에서 발생하는 고사는 주물의 생산량 증가와 더불어 증가 추세에 있다. 그러므로 폐기물은 량의 증대로부터 환경문제로 발전하여 주물공장에서 발생하는 폐기물의 처리에 상당한 비용이 필요하게 된다. 주물공장에서 발생하는 폐기물을 극소화 하기 위하여 closed system화를 요구하므로 고사의 재생 활용이 필수 조건으로 되고 있다. 따라서 고사의 재생 및 활용은 가장 적절한 조건으로 여러 가지 형식의 재생기가 조형, 사처리공정라인 중이나 별도의 공정

Table 3-2. 건식고사재생법분류.

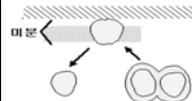
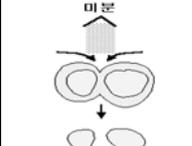
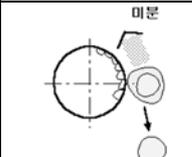
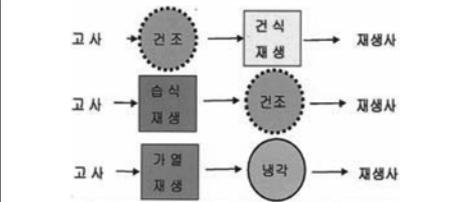
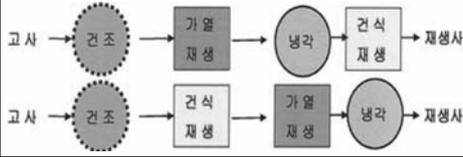
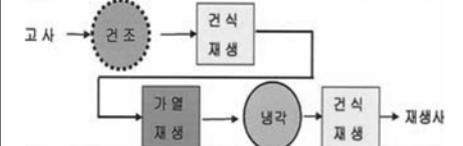
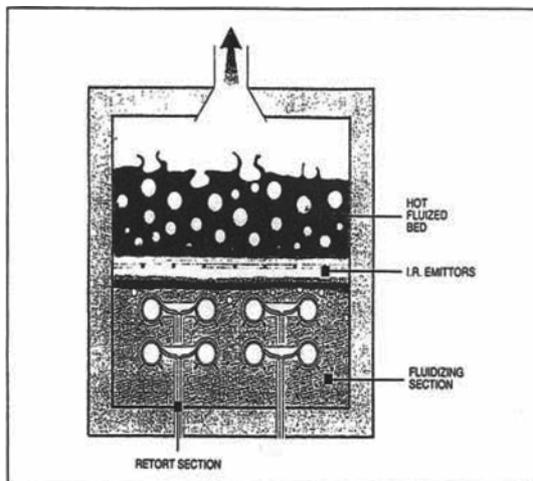
충격식	입자간 충돌 + 타기트와 충돌	① 원심력 충돌법 ② 분기류 충돌법	
마찰식	입자간 마찰	③ 교반 마찰법 ④ 원심력 마찰법	
연마식	사입 연마	⑤ 쇼트브라스트법 ⑥ 저석 연마법	

Table 3-3. 고사재생방법별 공정분류.

1 stage	
2 stage	
3 stage	



IMF's thermal reclaimer employs high-intensity infra-red heat as its energy source. The infra-red emitters, immersed in the sand, can generate temperatures up to 2,200°C

Fig. 3-2. 소성유동형재생기 예.

으로 설치되어 자원절약, 에너지절약의 일익을 담당하고 있다.

고사의 재생은 사용하고 있는 점결제와 첨가제의 종류에 따라 여러 가지 방법으로 재생기가 개발되어 사용되고 있으며 현

재까지 발표된 재생법을 분류하면 <Table 3-1>과 같다.

현재 실용화되고 있는 고사의 재생법은 재생원리에 의하여 건식법, 습식법 및 소성법으로 분류하며 이들 재생법에 의하여 여러 가지 형식의 재생기가 개발 사용되고 있다. 건식재생법의 재생원리를 <Table 3-2>에 표시 한다.

<Fig. 3-1>는 각종건식재생기의 예를 표시하며 <Fig. 3-2>는 소성유동재생기를 나타낸다.

고사의 재생에 있어서 재생법의 선택은 사용한 점결제의 종류와 고사의 상태에 따라서 결정하며 재생기는 단독 또는 조합하여 사용한다. 현재까지 발표되고 있는 재생기의 재생방법별 공정을 <Table 3-3>에 표시한다.

<Table 3-3>에 표시한 바와 같이 재생공정에서 사용하는 재생기는 하나의 재생기를 사용하는 1단(1stage)의 경우와 2종의 재생기를 복합 사용하는 2단(2stage)의 경우 또는 3종의 재생기를 사용하는 3단(3stage)의 경우로 열거 할 수 있다.

실제 2단재생법에 의한 전 공정도예를 나타내면 <Fig. 3-3>과 같다. 이는 1차 유동배소장치(Fluid bed calciner)에 의하여 소성

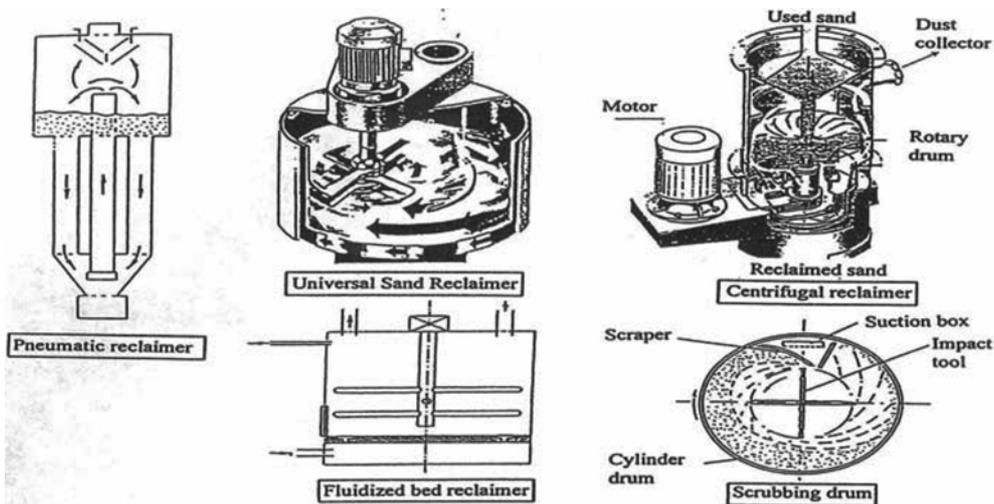


Fig. 3-1. 각종 건식 재생기에.

한 후 2차 Rotary Reclaimer에 의하여 건식재생을 하는 공정을 나타내었다. 이와 같은 경우는 단일 점결제로 된 고사 보다 2종 이상의 다른 점결제 즉 점토질점결제인 벤토나이트를 사용한 주형사와 중자의 점결제로 셀헝등 유기점결제를 사용하는 경우에 활용되고 있다.

재생공장운영에 있어서 주물공장 단독으로 재생 설비를 설치하여 운영하는 경우와 여러 주물공장이 공동으로 운영하는 경우는 전문 재생공장에서 여러 주물공장의 고사를 회수 재생하여 공급하는 중앙재생공장 등으로 구분 할 수 있다.

국제주물기술위원회(CIATF, 현 WFO)에서 조사한 주요국 주물공장의 고사 재생방법에 대하여 <Table 3-4>에 표시한다.

국내에서는 후관자경성주형을 사용하는 공장에서는 건식재생법에 의하여 재생을 하고 있으며 대부분의 생형 또는 셀헝을 사용하는 공장에서는 고사를 외부 전문업체에 의뢰하여 폐기처분하고 있다.

고사의 재생에 의한 재생사는 주물사의 원료사로 사용하는 이외에 일부는 타용도로 사용하거나 재생과정에서 발생한 폐기물에 대한 처리도 고려 하여야 한다. 따라서 고사를 회수 재생에 의한 용도의 예를 <Fig. 3-4>에 표시 하였다. 한편 고사 이외에 분진과 쇼트사를 분리하여 재활용과 슬래그 및 폐내화물

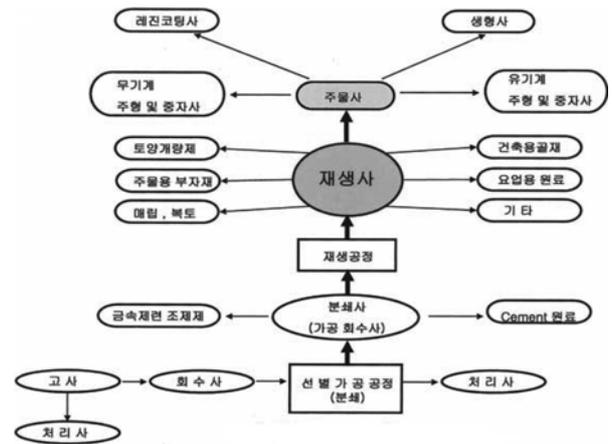


Fig. 3-4. 고사의 재생에 의한 활용도 예.

의 재활용에 대한 기술개발도 필요로 하고 있다.

<Table 3-5>는 국제주물기술위원회에서 보고한 고사를 재생하여 주물사의 원료로 사용하는 이외에 타용도로 사용하는 예를 나타내었다. 타용도를 보면 시멘트원료, 아스팔트, 블록, 벽돌, 콘크리트, 방음막, Glass Wool, 유동보일러, 주물공장 필터,

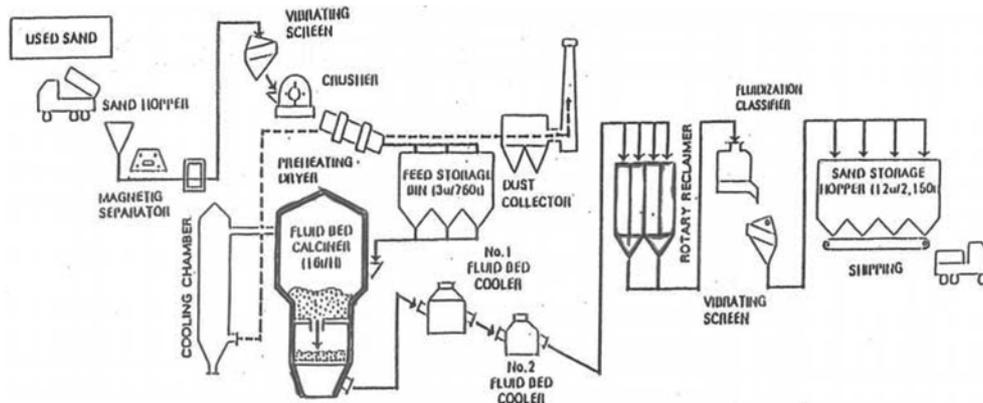


Fig. 3-3. 고사 2단재생법의 전공정도 예.

Table 3-4. 세계각국의 고사재생방법 및 적용기업체 현황.

재 생 법		회 사 명	재 질
단독	건식법	Globe(Weert, 네덜란드) Valmet(스웨덴)	주철 공장 주철 공장
	소성법 + (건식법)	Suncab (스웨덴) TEKSID (이탈리아) Triplex Al. Castings(영국) KAMAZ(러시아) Globe(Belfed, 네덜란드) ACK(한국)	알루미늄공장 주철공장 알루미늄공장 주강,비철공장 주철공장 알루미늄공장
공동	건식법 + 소성법	SAFOND(이탈리아) Lage GmbH (독일) Halberger Hutte GmbH(독일) RSA Recycling GmbH(독일) Nippon Chuzo(일본) Technosilica(일본) Hepworth(독일) Silkeborg Kvartssand (덴마크)	40개 주물공장 중앙재생공장 재생공장 이동재생 중앙재생 공장 중앙재생 공장 유기점결제 재생 유기, 무기점결제사

자료: CIATF Recycling of Waste in Foundries 보고서 (1997)

Table 3-5. 세계각국 폐주물사 활용 용도별 기업체 현황.

용도	회사명	재질
시멘트원료	Claas Guss, Saulgan(독일)	주철 공장 주철 공장 주철 공장 주철 공장
	Volvo(스웨덴)	
	Ford Motors, Cleveland(미국)	
	GM Saturn(미국)	
	Ahlstrom Pumps Corp.(핀란드)	
아스팔트	TEKSID(이탈리아)	주철 공장
	Viking Pump Inc(미국)	
아스팔트	Ahlstrom(핀란드)	주강 공장 주철 공장
	Claas Guss, Bielefeld(독일)	
	Ahlstrom Pumps Corp.(핀란드)	
불력	Randers(덴마크)	주철 공장 주철 공장
	Ulldahis(덴마크)	
벽돌	Resource Recovery Corp., Michigan(미국)	주철, 주강, 비철
	Resource Recovery Corp., Pennsylvania(미국)	
	KAMAZ Inc. Tatarstan(러시아)	
	Ahlstrom Pumps Corp.(핀란드)	
방음막	Valmet(스웨덴)	주철 공장 주철 공장 주철 공장 주철 공장
	Volvo(스웨덴)	
	Claas Guss, Gustersich(독일)	
	Georg Fisher, Mettmann(독일)	
	Georg Fisher, Mettmann(독일)	
Glass Wool	Ahlstrom Pumps Corp.(핀란드)	
유동보일러	Ahlstrom Pumps Corp.(핀란드)	
주물공장필터	KAMAZ Inc, Tatarstan(러시아)	주강, 주철, 비철
광산매립	TEKSIDE(이탈리아)	주철 공장
매립	Viking Pump Inc(미국)	

Table 3-6. 독일 주물공장의 폐기물 유효이용률 현황.

공정	폐기물의 종류	처분방법 (%)			명세
		재생	타이용	매립처분	
중차	중차고사		1.9		초차공장
	집진분진		8.2		노반재
조형	고사		45.3		노반재
	기타		12.1		탄광매립, 방음재
집진분진			3.5		정련공장
	슬래그		20.2		노반재, 내화벽돌
용해	내화재			100	매립
	집진분진		8.8		노반재
계		0	100	100	

또한 독일의 주물공장 폐기물 유효이용률 조사 결과를 <Table 3-6>에 나타내었다. 가장 많이 사용하는것은 고사이며 다음은 분진, 슬래그 이며 노반재로 사용되고 있다. 내화재는 전량 매립하는 것으로 되어 있다.

한편 일본의 경우 <Table 3-7>에 나타낸바와 같이 조형공정에서 발생한 폐기물에 대하여 유효이용은 71%이며 나머지 29.0%는 최종처분을 하고 있다. 유효이용량에 대하여 자체공장에서 46.8%를 이용하며 나머지 24.2%는 타사업에서 이용하고 있다. 또한 발생하는 고사에 대해서는 유효이용은 40.7%이

Table 3-7. 조형공정의 유효이용 및 최종처분량(일본).

산업폐기물발생량 (100%)	유효이용량 (71.0%)	자체공장에서 재이용 (46.8%)
		타사업에서재이용 (24.2%)
		상품화량(미량)
최종처분량(29.0%)		

Table 3-8. 고사의 용도별 유효이용 현황(일본).

고사발생량 100%	유효이용 40.7%	유효이용 100%	사회사 69.1%
			매립 59.3%
			노반재 8.1%
			중간처리 5.2%

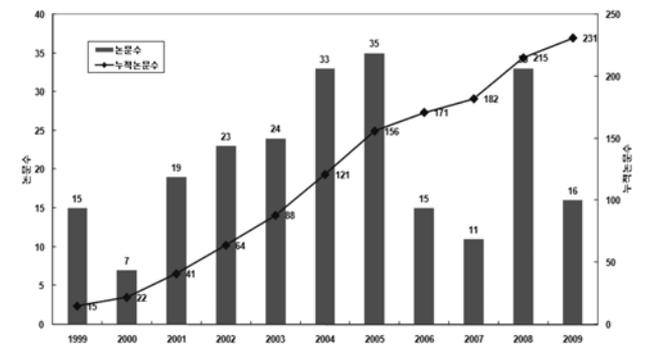


Fig. 4-1. 연도별 발표논문수.

며 매립이 59.3%를 매립하고 있다. 유효이용 중에서 주물사로 사용이 69.1% 이며 시멘트 17.6%, 노반재 8.1% 중간처리 5.2%로 사용하고 있다.

국내에서도 고사를 시멘트원료, 금속제련 조제제등으로 사용이 알려지고 있으나 시멘트공장의 거리가 주물공장으로부터 멀리 있어 운반비의 문제로 용이하지는 못하고 있다. 따라서 타 용도로 개발하여 활용할 수 있는 사업이 수행 되어야 하며 또한 이를 사용할 수 있는 법적근거도 마련하여야 할 것으로 사료된다.

4. 폐기물처리 및 활용기술정보분석

1999년부터 2009년까지 11년간 주물공장의 폐기물처리 및 활용기술에 관하여 전문잡지에 발표한 논문에 대하여 연도별 조사 결과를 나타내면 <Table 4-1>와 같다 2005년까지는 매년 발표논문이 증가 하였으나 2006년 부터는 감소하였다 2008년에는 다시 증가하는 경향을 나타내었다. 2009년도는 7월 조사시점까지 논문수로서 2009년까지의 누적 총 논문수는 231건으로 연평균 21건을 발표하였다.

11년간 발표논문에 대하여 폐기물종류별로 나타내면 <Fig. 4-2>와 같다. 가장 많이 발표된 논문은 고사로서 전체 48.48%이며 다음 슬래그 24.24%, 분진은 21.21% 폐내회물은 6.06%로서 주물공장에서 발생하는 폐기물의 양과 관계가 있는 듯 하였다.

연도별 폐기물종류별 발표논문수를 나타내면 <Fig. 4-3>과

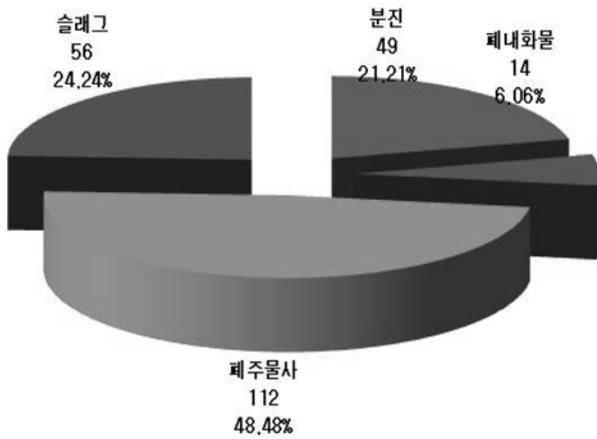


Fig. 4-2. 폐기물종류별 발표논문수.

같다. 발표논문수가 가장 많은 고사는 2005년 까지는 매년 증가 하였으나 그 후는 감소경향을 나타내며 슬래그에 대해서는 매년 6편정도 발표 되었으나 2008년에는 15편을 발표하였다. 분진에 대해서는 5편정도 발표를 하였으나 폐내화물은 매년 2편 정도 발표를 하였다.

<Fig. 4-4>는 주요 연구기관별 발표논문수를 나타내며 가장

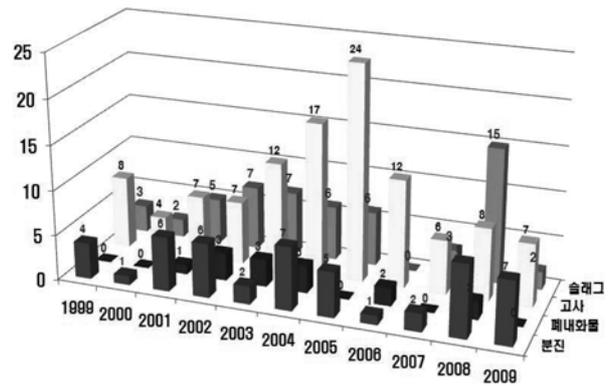


Fig. 4-3. 연도별 폐기물종류별 발표논문수.

많이 발표한 기관은 MMK로서 5편이며 3편을 발표한 기관이 7개기관이며 2편을 발표한기관은 16개기관으로 조사 되었다.

<Fig. 4-5>은 주요기관별 3편이상 발표한 기관의 폐기물 종류별 발표논문수를 나타 내었다. 가장 많이 논문을 발표한 MMK는 5편으로 이중 슬래그 3편과 분진2편을 발표하였으며 3편을 발표한 기관중에는 고사만을 발표한 기관이 2개 기관이 있었다.

주요 15개국의 국가별 주물공장 폐기물종류별 발표결과를 나타내면 <Table 4-1>과 같다. 가장 많이 논문을 발표한 국가는

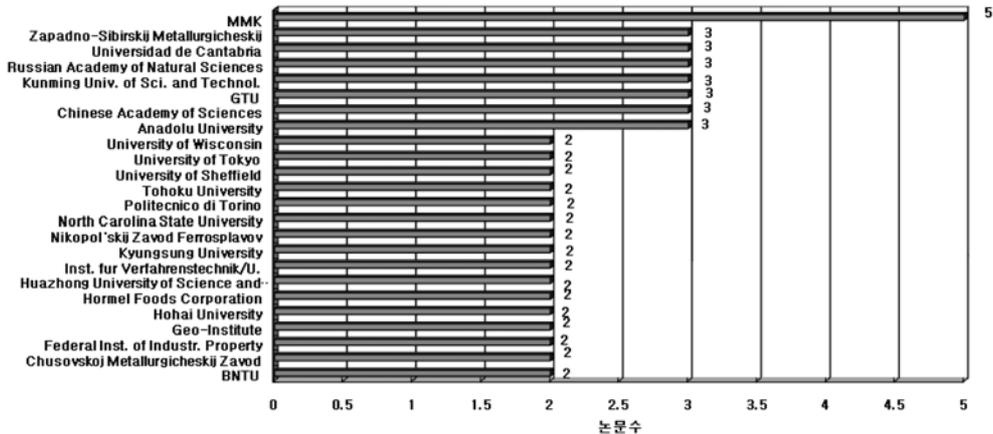


Fig. 4-4. 연구기관별 발표논문수.

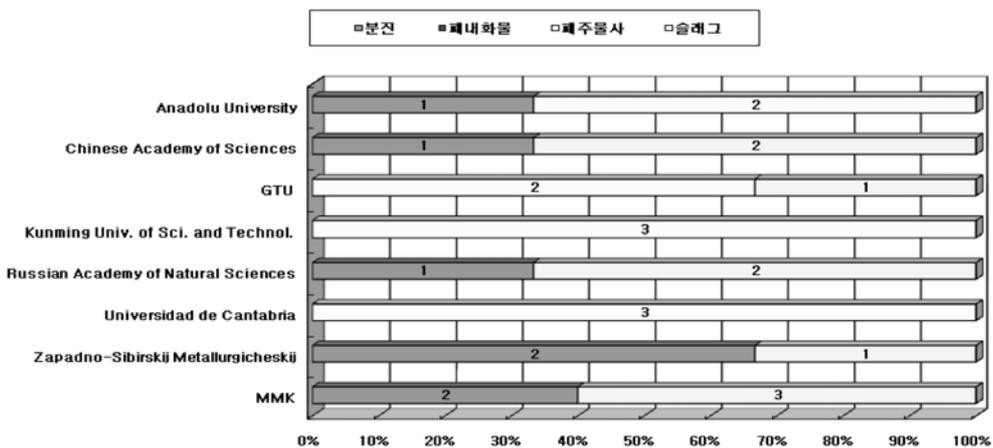


Fig. 4-5. 주요기관별 폐기물종류별 발표논문수.

Table 4-1. 국가별 폐기물종류별 발표논문수.

국가명	분진	폐내화물	고사	슬래그	계
러시아	8	7	7	18	40
미국	3		19	3	25
중국	7		11	5	23
일본	7		2	2	11
독일	2	1	5	1	9
이탈리아	1	1	4	1	7
스페인	1		4		5
터키	3		2		5
인도	1		2	1	4
한국			4		4
멕시코			2	2	4
폴란드			3	1	4
스웨덴			2	2	4
우크라이나	2			2	4
영국		1	1	2	4

러시아이며 미국, 중국, 일본, 독일 순으로 논문을 많이 발표하였다. 러시아는 슬래그에 대한 논문이 가장 많았으며 미국, 중국, 독일, 이탈리아, 스페인은 고사에 대한 논문이 많고 일본은 분진에 관한 논문이 많으며 한국은 4편중 고사에 대한 논문이다.

5. 국내외 기술개발 동향 및 전망

주조산업을 녹색성장산업으로 발전하기 위해서는 주물공장에서 발생하는 폐기물의 저감과 자원절약을 위한 폐기물의 처리 및 재이용이 절실히 요구되고 있다. 주물공장의 폐기물 중에서 가장 많은 양은 고사로서 고사의 재생 및 재활용이 대단히 중요하며 또한 반드시 수행 되어야 할 문제이다.

고사의 재이용을 최초로 제안한 것은 미국의 W.A.Jansen이 1922년에 발표한 것으로 이후 주물사 회수 재생에 대한 보고는 그리 많지 않았으나 1940년대에 와서 많은 발표가 있었던 것으로 조사 되었다. 1941년 H. Mason은 습식법, 1943년 D. L. Kongueville 및 W.L.Hartley는 소성법을 보고 하였다. 1952년에는 C. E. Weninger는 AFS Transaction에 Pneumatic법에 의한 회수재생법이 보고되어 현장에서 응용되었다. 1953년에 미국에서 주물사 회수재생에 대한 회의가 개최되어 고사의 회수 재생에 관한 기초가 확립 되었으며 이는 Pneumatic scrubber에 의한 방법과 유기 및 무기점결제의 혼합된 주물사의 회수재생법으로 습식-소성 2단 복합방법 등이 보고 되었다. 소성-건식 2단복합방법이 1972년에 H. W. Zimnawoda에 의하여 AFS Transactions 및 British Foundryman지에 발표됨으로서 여러 가지방법의 조합된 회수재생설비가 계속 개발되어 왔다. 유럽에서는 고사회수재생에 대한 개발이 늦어 1970년 이후 영국, 독일에서 처음으로 검토되었다. 유럽의 특징은 주물사중의 불순물 한계량을 수치화 하였으며 독일에서 개발된 회수재생법의 일종으로 건식소성-건식 3단 복합공정으로 구성된 방법이 실용화되

Table 4-2. 폐주물사 회수 재생 및 활용기술 개발 연혁.

연도	내용	비고
1922	W.A. Jansen-AFA Trans.	주물사재생
1941	H.Mason-AFA Trans. (49)	습식법
1943	D.Longueville- AFA Trans.(51) W.L.Hartley-AFA Trans.(51)	소성법 소성법
1952	C.E.WenInger-AFS Trans. (National Engineering Co.)	Pneumatic
1953	H.W.Meyer-AFS Trans.(61) GH.Curits-AFS Trans.(61)	Pneumatic scrubber 습식-소성 2단복합
1970	일본 주물(42)	건식법
1972	강원산업(주) Dical 주형	건식법
1972	H.W.Zimnawoda FSTrans.(80), British Foundryman	소성-건식 2단복합
1978	화천금속(주) -Dical 주형, 후란주형	건식법
1981	러시아 KAMAZ 주조공장	소성법
1991	AFS International Sand Reclamation Conference	주물사재생
1991	W.Stuzman-CastingPlant Techno.	건식-소성-건식 3단
1991	E.Weller-CastingPlantTechno.	재생법
1992	일본주물협회-강연회	폐기물처리 및 이용
1995	C.McCombe-The Foundryman	재생설비
1996	C.McCombe-BCIRA conference	재생설비
1996	The Castings Development Centre	Wast Not Want Not
1997	M.R.Stancliffe-The Foundryman	유기점결제 재생
1997	CIATF Commission 4	재생 및 활용
2000	한국주조공학회-추계강연회	생형사재생 및 이용

고 있다.

일본에서는 오래전부터 고사를 회수 이용하였으나 실제 재생을 고려한 것은 1970년 이후부터로 알려지고 있으며 생형사의 경우 건식-소성 2단복합공정의 방법이 개발 사용되고 있다. 한편 레진사(RCS)를 제조 판매하는 기업체에서는 주물공장에서 사용한 셸고사를 수거하여 이를 소성 재생하여 레진사의 제조에 이용을 하였다. 우리나라에서는 생형 고사를 단순히 회수 사용하였으나 1970년대 이후 규산소다제자경성주형법이 도입되면서 건식재생법이 이용되었으며 이후 1980년대 후란자경성주형법의 도입으로 후란형고사의 재생에 관심을 갖고 건식재생법을 사용하게 되었다.

세계 여러나라에서 주물공장의 발생폐기물 처리 및 활용에 관한 많은 관심을 갖고 연구결과를 발표하고 있으며 이중 미국에서는 1991년 International Sand Reclamation Conference와 영국에서는 1996년 Waste Not-Want Not Conference를 개최하는 등 고사의 재생처리 및 이용과 주물공장의 발생폐기물의 이용에 관한 많은 연구개발을 수행하고 있다.

<Table 4-2>는 1922년부터 고사의 재생 및 활용기술에 관한 개발연혁을 나타내었다.

고사의 재생은 주물사의 원료사로서 사용 이외에 타 용도로 사용하기 위한 용도개발이 꾸준히 이루어지고 있다.

한편 고사 이외의 폐기물도 폐기처리보다는 타용도로 활용할 수있는 제품의 개발이 현재 이루어지고 있으므로 감량화가 이루어져 주조산업도 녹색성장산업으로 발전이 이루어 질것으로 기대한다.

6. 결 론

주물의 생산 과정에서 발생하는 폐기물은 고사(폐주물사), 분진, 슬래그, 폐내화물, 쇼트사 등 많은 양의 폐기물이 발생하여 환경을 오염시키고 제조원가를 상승시키는 요인이 된다. 따라서 공장내에서 재생처리, 재활용, 유효이용, 등 자원화 하는 폐기물의 감량화가 절실히 요구 되고 있다.

우리나라 주물생산량을 2008년 2,065,900 톤으로서 발생하는 폐기물은 1,450,000톤이며 이중 고사는 65%정도이므로 고사의 발생량은 1,015,000 톤으로 추정하고 있다.

고사의 재생법은 건식법, 습식법, 및 소성법이 있으며 이에 대한 설비는 계속 개발되어 보급되고 있다. 그러므로 경제적으로 우수한 품질의 주물사를 재생하여 주물사의 원료사로서 사용 이외에 타 용도의 제품으로 개발이 필요 하다. 또한 고사 이외의 폐기물도 타 용도로 유효 이용할 수 있는 제품을 개발 하므로 폐기처리하는 폐기물의 감량화가 가능 할 것이다. 한편 타용도로 개발한 제품을 판매 할 수있는 환경법의 허용도 필요하다.

주물공장에서 발생하는 폐기물의 유효이용은 주조산업을 녹색 성장산업으로 발전 할 수 있는 지름길이 될것이다.

감사의 글

본문(Review article)은 한국과학기술정보연구원(KISTI)이 수행하고 있는 교육과학기술부의 과학기술진흥기금출연사업인 “고경력과학기술인을 활용한 지원사업(Reseat Program)에 의하여 수행한 일부로서 지원에 깊은 감사를 드린다.

참고문헌

[1] 조사연구보고서 No.548 “주물폐사재이용조사연구보고서” 재단법인 소형재센터, 2000
 [2] 기술강습회 “주물공장에 있어서 산업폐기물의 처리와 이용” 일본주물협회, 1992
 [3] 기술강습회 “주조공장에 있어서 작업환경대책과 폐기물의 감소책” 일본주조공학회, 1997
 [4] 기술강습회 “주조공장에 있어서 환경대책과 리사이클링기술의 현상” 일본주조공학회관서지부 외, 2000
 [5] 연구조사보고서No.415 “주조공장의 산업폐기물에 관한 조사연구

보고서(1)” 재단법인 소형재센터, 1992
 [6] 연구조사보고서 No.461 “주조공장의 산업폐기물의 유효이용에 대한 조사연구보고서” 재단법인 소형재센터, 1994
 [7] 연구조사보고서 No.561 “소형재기업의 환경경영” 재단법인 소형재센터, 2001
 [8] John R. Wright “Take a New Look At Sand Reclamation” Foundry Management and Technology, 129(3), (2001) 22~24
 [9] Matti Haarala “Environmental System applied at the Karhula Foundry, Waste Not-Want Not Conference, October, (1996) 12b:1~ 12b:5
 [10] Johannes Vierimaa, “Recycling Projects at the Karhula Foundry, Waste Not-Want Not Conference, October, (1996) 12a:1~12a:7
 [11] Glyn Morley: “Foundry Waste Streams” Waste Not-Want Not Conference, October, (1996) 1:1~1:9
 [12] W. Stuzmann, V. Godderidge, “Plant design and operating results for modularly constricted single and multi-stage sand reclamation plants, Casting Plant and Technology, 3, (1991) 12~24
 [13] 竹内純 “주물사재생에 관한 고찰” JACT NEWS, 3, (1992) 23~27
 [14] 青木貞, “주물사리사이클링의현상에 대하여”. JACT NEWS, 2, (1993) 29~39
 [15] E. Welter, Possibilities and limits in the reclamation of used foundry sands, Casting Plant and Technology, 3, (1991) 26~39
 [16] H. Wolff, “독일에서의 주물공장에 대한 환경규제 및 이에 대한 대책,” 한국과학기술원, 1997
 [17] 최창욱 외 “주물사의재생기술개발현황과 활용전망” 한국주조공학회 춘계 학술발표대회 기술강연, 1998
 [18] 동아대학교, “규산소다계주형 폐주물사재생 및 활용기술개발연구” 보고서, 산업자원부, 2000
 [19] 최창욱 외 “주물공장의 생형고사의 발생실태와 재생기술개발연구” 한국지원리사이클링학회 추계학술발표대회 기술강연, 2005
 [20] T. Naik, “Beneficial Re-use of Foundry Wastes: an overview of the Possibilities,” Waste Not-Want Not Conference, 1996
 [21] W. Tilch “GIFA2003:Moulding and Coremaking” Casting Plant and Technology International, 20(1). (2004) 8~23
 [22] 주형조형법 “사재생” 사단법인 주조기술보급협회, 2000
 [23] T. J. Snyder, A. Braham, H. U. Bahia, P. J. Tikalsky “The Use of Blended Recycled Foundry Sand in Hot Mix Asphalt, AFS Transaction, 111, Paper03-028(04), (2003) 1~15
 [24] T. Hattori, “순환형사회구축에 기여하는 환경경영목표” 주조공학, 60(6), (2008) 343~348
 [25] T. Mizuno, M. Inagaki, H. Yonetani, “주물공장의 조형공정, 용해공정, 주탕공정, 냉각라인, 주형해체공정에 있어서 환경개선” 주조공학, 60(6) (2008) 355~360
 [26] CIATF, “Recycling of Waste in Foundries” 보고서, 1997
 [27] R. L. Naro, “Influence of Chemical Binder Core Sand Contamination on Green Sand Molding Properties-25 years of Controversy,” AFS Transaction 112, (2004) 527~545
 [28] M. D. Malone, J. Roth, S. K. Trikha, “Thermal Reclamation of EsterCured Phenolic-Bonded Sands:A Case History, AFS Transactions 105, (1197) 119~126
 [29] (재) 소형재 센터 “주형의 생산 기술” 제2판, (2002) 86~107
 [30] (사)일본주조협회 “폐기물리사이클링에 관한 과제와 대응” 2009년도 추계대회 강연 회요지집, (2009) 91~99