

후란 주물사의 재생 및 그의 주물에 미치는 영향

백고길 · 최양진 · 황교현
대전산업대학교

Reclamation of Furan Sand and Its Effect on the Cast.

Ko-Kil Baek, Yang-Jin Choi and Kyo-Hyun Hwang.
Taejon University of Technology

요 약

최근 폐기물에 의한 환경오염이 큰 사회적인 문제로 대두되고 있으며, 특히 산업체에서 발생하는 폐기물에 큰 관심이 주어지고 있다. 본 연구에서는 주물업계에서 발생하는 폐주물사를 재활용하기 위한 효율적인 재생방법 및 주물에 미치는 영향을 조사하기 위해, 최근에 많이 사용하게 되어 다량으로 발생하는 폐자경성 후란주물사의 재생에 대해 연구하였다. 현재 산업체에서 사용하고 있는 기계적 방법 및 뉴메틱 방법의 여러가지 단점들을 개선하기 위하여, 연소방법중 가장 효과적인 유동층에서 후란 주물사를 연소법으로 재생하였다. 후란접결제와 경화제 등을 완전 연소시키기 위해서는 유동층의 온도가 약 650~700℃의 범위가 적절하였다. 주형을 제작하였을 때, 연소법에 의한 제형사가 뉴메틱법에 의한 것보다 표면 안정도와 강도가 각각 4% 및 7.2%로 크게 나타났다. 또한, 연소법의 순수 재생에너지 비용을 산출하면 주물사 톤당 약 1만원으로, 신사 구입의 비용인 약 5만원에 비하면 매우 저렴해서 산업화가 되면 주물사의 구입비가 절약되고 배립에 의한 환경오염 문제들을 해소할 수 있다. 따라서 효과적인 폐자원의 리사이클링으로 최근 침체되어가는 주물업계의 국제 경쟁력 제고와 청정기술의 산업화를 할 수 있는 자료들을 얻을 수 있었다.

ABSTRACT

Burning method in fluidized beds for the effective reclamation of furan foundry sand was used rather than mechanical or pneumatic methods, which are commonly used in foundry factories in Korea. In order to remove furans and hardners from foundry sand surfaces in the fluidized bed, the most effective temperature range was 600~700℃. Surface stability index and compressive strength of reclaimed sand recycled by the burning method were larger than those of reclaimed sand by the pneumatic method. The energy cost for the burning method was estimated at \$12 000/Ton of the reclaimed sand. The cost reduction in purchasing new sand as well as the prevention of environmental contamination could be benefited by using the reclamation of foundry sand recycled by the method developed in this study.

1. 序論

가정 및 산업에서 발생하는 폐기물들의 양은 계속적으로 증가하고 있다. 1990년에 유럽, 미국, 캐나다, 일본 및 호주 등의 선진국들에서 발생한 폐기물의 총량은 가정에서의 폐기물의 양이 4억 2천만톤, 생산 산업체에서는 15억톤이내 에

너지발생, 농업 및 광산등에서도 70억톤에 달하고 있는데 이는 1인당 연간 약 10톤에 달하는 막대한 양이다. 동시에 폐기물의 처리에 소요되는 비용은 점점 증가하고 있으며, 환경 관련 법규도 점점 강화되고 있는 실정이다.¹⁾

이차 세계대전 이후 경제발전이 가속화되고 산업화가 급진전하였다. 최근에는 자동차 산업 등의 급격한 성장과 기계

관련산업의 발전에 따라서 주물공업은 대형화 및 단지화되어 산업부문에서 중요한 위치를 점하고 있다. 우리나라의 경우 산업체의 폐기물로서 발생되는 막대한 폐주물사에 의한 환경 오염이 심각한 문제로 제기되고 있다. 따라서 자원절약 및 환경문제의 해결 측면 뿐만아니라 신사 구입비의 감소를 위한 폐주물사의 재생 및 재활용의 필요성이 절실하게 제기되고 있다.

우리나라 주물업체에서 연간 사용하는 주물사의 총량은 연간 약 380만톤에 달하며, 그 사용분야에 따라 생형법으로는 약 310만톤, CO₂공법으로는 19만톤, 후란방법으로는 49만톤 정도가 사용되고 있다. 그중에서 신사의 사용량은 총 50만톤으로, 생형법에서는 34.4%, CO₂법으로는 67.6%, 후란의 경우에는 18.0%의 신사가 필요한 실정이다.²⁾

주물사의 재활용 업체의 수는 경인지역에 2~3개, 부산과 진주지역에 2~3개 업체 정도이며 경인지역에 있는 한 주물사 처리업체의 경우에 95% 이상이 단순폐법에 의존하고 있는 실정이다. 폐주물사는 재활용할 수 있는 가용자원으로서 단순 폐기처리가 되어서 국가적인 손실이 되고 있는 것이 현실이다.

우리나라에서 후란고사들을 재생하기 위하여 기계법 및 뉴메틱법을 이용하고 있다.³⁾ 그러나 이 방법들은, 주물사의 파괴에 의한 손실을 보전하기 위해 신사 사용이 필연적이다. 또한 고급주물의 생산을 위해서 지금까지는 문제가 되지 않았던 고사의 표면에 잔류하는 후란수지 및 경회제 등의 이물질 등으로 인한 Loss of Ignition의 증가, 질소가스에 의한 주물의 결함 및 가사시간 등의 증대로 인한 불량주조물 증가 문제점이 발생하고 있다.⁴⁾

따라서, 본 연구에서는 폐기되는 고사의 재생방법 중에서 연소방법을 적용함으로써, 위의 문제점들을 해결하기 위하여 연구에서는 연소효율이 높은 유동층의 장점⁵⁾을 활용하도록 하였으며, 이에 필요한 실험기들을 설계 제작하였다. 또 후란고사들을 연속적으로 재생하기 위해서 유용성 및 재생온도, 단위시간당의 재생량에 따른 잔류수지 등에 관한 자료들을 얻었으며, 산업화의 가능성을 도출하였다.

2. 研究 內容 및 方法

폐주물사의 재생에 관한 기술을 연구 개발하기 위해서는 주물에 관한 기본지식과 공정에 관한 지식을 가져야 한다. 일반적인 주물의 제조방법을 살펴보면 기계도면에 근거하여 주조방안을 작성하게 되고, 모형을 제작하게 된다. 모형 제작 후에 주물사 등의 주형재료들을 혼련하여 조형을 하게 된다. 주형에 용해된 용탕을 주입하고 일정한 시간이 지나면

주형을 해제하게 되는데 이과정에서의 주형 및 주형에 관련된 부분들을 살펴보면 다음과 같다.

첫째로, 주형의 종류를 보면 생형법, 반건조형법, 건조형법, 소성형, 열경화성 (Shell mold), 자경성(무기, 유기), 개스 경화형(무기, 유기), 기타 특수주형 등이 있다.

둘째로, 주물사를 이용하여 주형을 제작하는 과정에서 주물사에 수분을 가하고 혼련할 때 점결력을 부여하기 위하여 사용하는 점결재의 종류를 보면 목결검토, 밴도나이트, 유기 질 점결재, 규산 소오다, 후란 수지 등이 있으며 주물사의 점결력을 증가시키는 목적외에 첨가제로는 미립상의 석탄분, 흑연 및 특수한 경화제 등이 있다.

셋째로, 자경성 후란주형을 제작하기 위하여 첨가하는 각종 첨가제들이 주물을 해제하는 과정에서 주물사의 표면에 잔류하게 되어 폐기하는 것이 바람직하지만 재생하여 사용하고 있다. 그 방법에는 기계적방법, 뉴메틱법 및 연소법 등이 있다. 우리나라에서는 현재 기계적방법과 뉴메틱법을 이용하여 후란고사를 재생하여 사용하고 있으나 주물사의 파괴 및 주물사의 표면에 잔류하는 여러 가지의 이물질 등에 의해 재활용하는데에 문제점을 제기하고 있다.

넷째로, 가열 연소법을 사용하여 주물사에 존재하는 기연 물질들은 집진기에서 제거하고 소량의 회분만 남길 뿐 완전 연소하게 된다. 연소온도 범위는 보통 550~850℃ 이다 가열 연소 방법을 구분하면 로타리 킬른, 다단식 허스식, 유도상 연소로가 있다.⁶⁾

본 연구에서는 다양한 가열 연소식 중에서 연소효율이 가장 높은 유도상 연소로^{7,8)}를 이용하여 후란주물사의 재생장치를 설계 제작 및 시험운전을 통하여 유동층의 특성, 유동층의 온도와 재생량에 따른 유동특성 및 산업화에 필요한 경제성을 연구하였다.

본 실험에 사용된 주물사는 대전지역에 위치하고 있는 한 회사의 후란고사를 사용하였다. 유동층 재생로를 설계 제작하여 시험운전을 하였으며 성공적인 유동특성을 얻었다. 유동층의 온도를 변화시켜 각 온도에서 후란 주물사를 연속적으로 재생하였는데 재생량에 따른 재생 특성을 실험적으로 규명하였다. 또한, 연소 배기가스의 성분을 조사하여 공해에 미치는 영향도 조사하였다. 각 온도별로 재생된 주물사들의 표면에 잔류한 이물질량을 조사 분석하였고, 연료비 및 운전비용들을 조사하여 총재생비용을 산출하였다.

3. 實驗裝置 및 實驗方法

3.1. 實驗裝置^{7,8)}

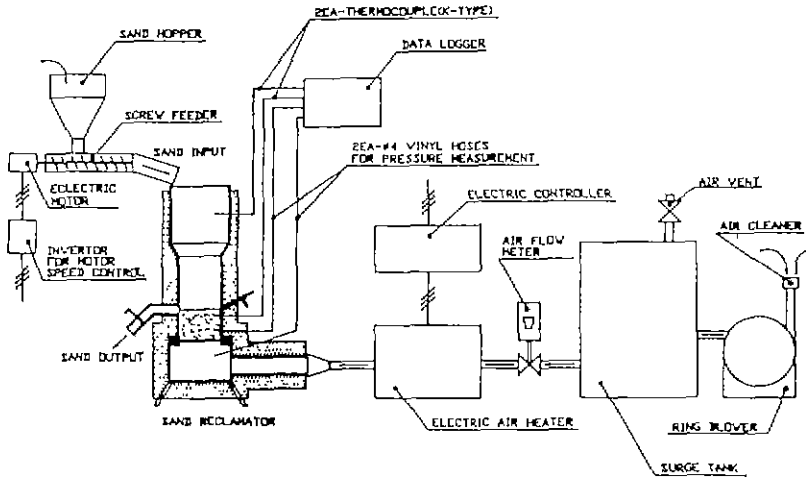


Fig 1. Schematic Diagram of Experimental Apparatus

실험장치의 개략도는 Fig 1과 같으며, 유동층 개스로는 공기를 가열하여 공급하였으며, 제생하고자 하는 후란주물사는 스크류 공급기로 공급량을 조절하였다. 또한, 유동층 가열 및 온도조절은 유동층 위에 설치된 개스버너를 이용하였다.

3.1.1. 流動層 實驗裝置

실험장치는 Fig.2와 같으며 단면도는 Fig 3에 나타나 있다 유동화에 필요한 공기는 전기가열기를 사용하여 가열해 Fig.2의 아래 우측으로 공급되어 Plenum chamber를 통하여 Distributor를 통하여 유동층에 공급되었다.

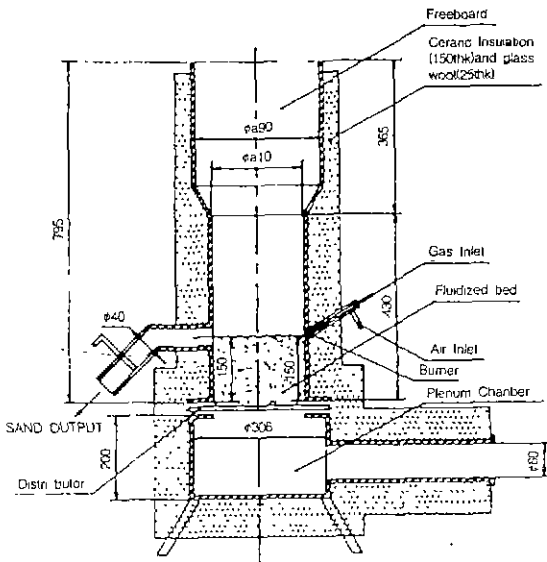


Fig 2. Fluidized Bed and Sand Feeder

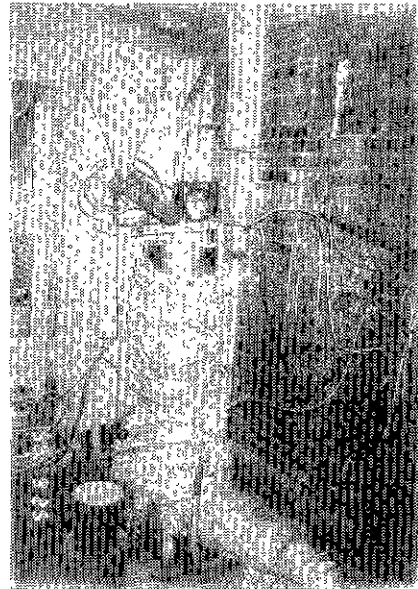


Fig 3. Sectional Drawing of Fluidized Bed

유동층 온도는 유동층 상부에 30° 경사로 설치된 2개의 40A-파이프에 프로판 가스를 연소시켜 연소가스를 유동층에 충돌시켜 조절하였다.

제생을 위한 후란 주물사는 유동층의 Freeboard에 자연낙하 방식으로 공급하고, 제생된 주물사는 유동층의 높이와 같은 40A-파이프의 출구를 통하여 토출되었다.

3.1.2. 空氣의 供給

주물사를 유동화 하기 위한 공기의 공급은 Ring blower에서 500mm H₂O압력 공기를 Surge 탱크에 저장한 뒤 벨브로

공기량을 조절하였다. 벨브와 유동층 노 사이에 10Kw의 공기 가열기를 설치하여 유동층으로 들어가는 공기온도를 조절하였다.

3.1.3. 排氣裝置

유동층 상부에 후드 및 가요관들을 설치하여, 이들을 통하여 연소가스와 분진을 외부로 토출하였다

3.1.4. 流動層 加熱裝置

유동층 가열 및 온도조절을 하기 위하여 유동층의 상부에 30° 기울기로 설치된 2개의 증압 프로판가스 버너를 설치하고, 프로판가스 및 인소공기 양을 조절하였다.

3.1.5. 廢鏽物砂의 供給

폐주물사의 공급은 Fig.3에 나타난 것과 같은 Screw feeder를 이용하였고, Inverter를 통하여 Screw motor의 회전수를 조절하여 공급량을 조절하였으며 주물사는 유동층 위로 자유낙하하게 하였다

3.1.6. 溫度 및 壓力測定

온도 측정은 유동층과 출구에 K-type 열전대들을 설치하여 측정하였고, 압력은 유동층 밑과 Plenum chamber내에 압력탭을 설치하고, 압력변환기를 통하여 Data logger를 이용하여 측정 기록하였다.

3.2. 實驗方法

3.2.1 후란 鏽物砂³⁾

본 실험에서 사용된 주물사는 대전에 있는 한 주물공장에서 후란주형에 사용한 후의 폐주물사를 사용하였으며, 그 입도와 성분을 Table 1과 Table 2에 나타냈다. 이 입자들은 Geldart "B" Group⁴⁾, $D_p > 600 \mu m$, 밀도 $\rho_s > 2,000 \text{ Kg/m}^3$ 이었다.

3.2.2. 再生溫度 및 再生量

유동층의 온도를 각각 550℃, 600℃, 650℃ 및 700℃로 유지하면서 후란 폐주물사의 공급량을 조절하여 Table 3과 같이 주물사의 재생량 (재생후 무게 : Kg/Hr)을 조절하였다.

3.2.3. 排氣가스의 成分分析

SENSONIC-5100 (Austria제)을 이용하여, 재생노 내의 온도별(550℃, 600℃, 650℃ 및 700℃) 배기가스의 성분을 검사하였다

Table 1. Particle size distribution of foundry sand.

Partucle size(μm)	Weight(g)	Weight(%)
-250	8.67	1.43
250~355	55.29	9.10
355~420	216.15	35.60
420~500	152.28	25.08
500~600	140.72	23.18
600~710	32.05	5.28
710~850	2.00	0.33
Total	617.16	100.00

Table 2. Chemical composition of foundry sand.

Component.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	L.O.I
Assay(wt%)	93.03	4.82	0.44	< 0.01	0.34	0.36

Table 3. Reclamation rate (Kg/Hr) at different temperatures in fluidized bed

No	Temp.	550℃	600℃	650℃	700℃
1		12.2	18.0	16.7	10.6
2		17.6	19.3	20.5	18.0
3		31.3	31.3	31.3	31.3

4. 實驗結果 및 考察

4.1. 實驗結果

4.1.1 流動層 溫度變化

후란 주물사를 유동층 내에 연속적으로 공급할때 600℃의 경우 공급량에 따른 대표적 유동층 온도변화를 Fig.4에 나타냈다

4.1.2 鏽物砂의 腐蝕

원료사, 후란고사의 뉴메틱법 및 연소법에 의해 재생된 사들의 단면을 주사현미경을 통하여 Fig.5에 나타냈다.

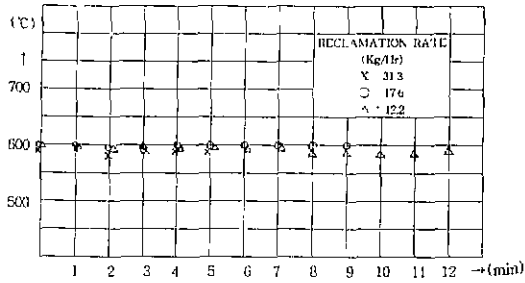
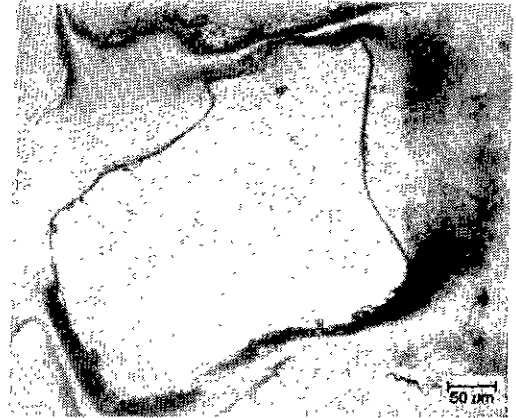


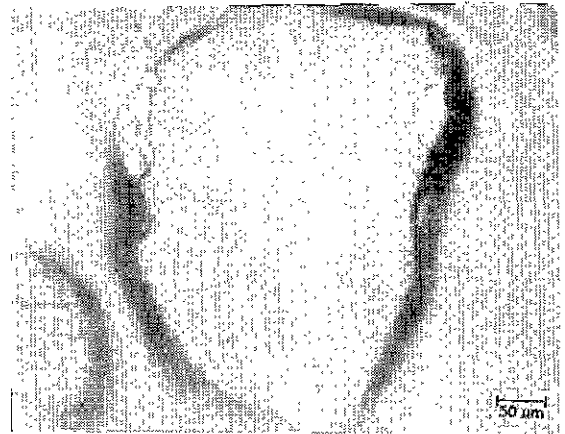
Fig.4 Temperature variation in fluidized bed during reclamation of furan sand at 600°C



b) Reclaimed sand by pneumatic method (200X).



a) New sand (200X).



c) Reclaimed sand by combustion method (200X).

Fig 5. Particles of various foundry sand (200X)

4.1.2 鑄物砂의 鑄質

원료사, 후란고사의 뉴매틱법 및 연소법에 의해 재생된 사들의 단면을 주사현미경을 통하여 Fig 5에 나타냈다

4.1.3. 灼熱減量 (Loss of Ignition)

재생하기 전의 후란주물사와 실험결과에 따라서 재생한 주물사의 작열감량을 MAC-400 EMULATION 시험기를 이용하여 얻은 결과를 Figs.6~9에 나타냈다.

라. 排氣가스의 成分分析

배기가스의 분석은 SENSONIC-5100 (Austria제)을 이용하여 각 실험온도에서 가스의 성분분석을 측정하였는데 그 결과는 Table 4와 같다

Table 4. Chemical composition of exhaust gas (ppm)

Temp. / Comp	550°C	600°C	650°C	700°C
CO	0.0	0.0	0.0	0.0
CO ₂	0.0	0.0	0.0	0.0
NO	12.0	6.0	6.0	9.0
NO ₂	0.0	0.0	0.0	0.0
NO _x	12.0	6.0	6.0	9.0
SO _x	0.0	0.0	0.0	0.0

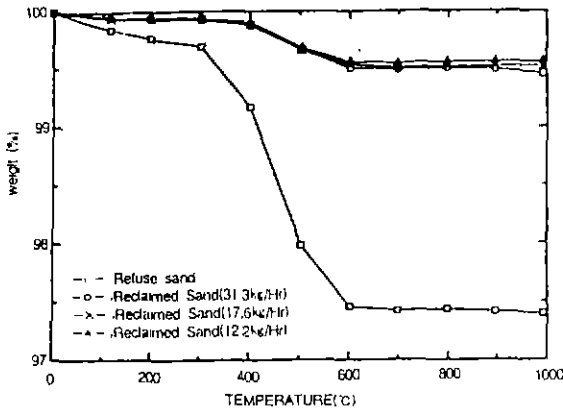


Fig 6. L.O.I. of Furan refused and reclaimed sands at 550°C

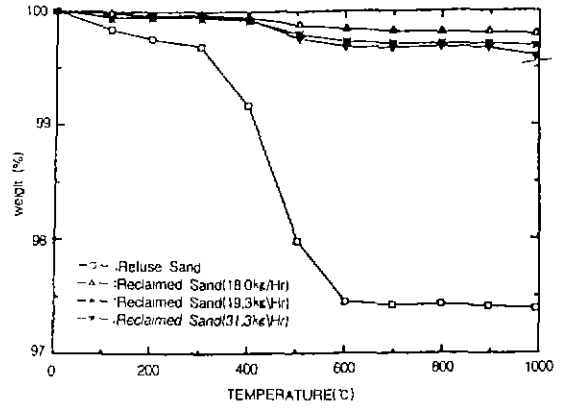


Fig 7. L.O.I. of Furan refused and reclaimed sands at 600°C.

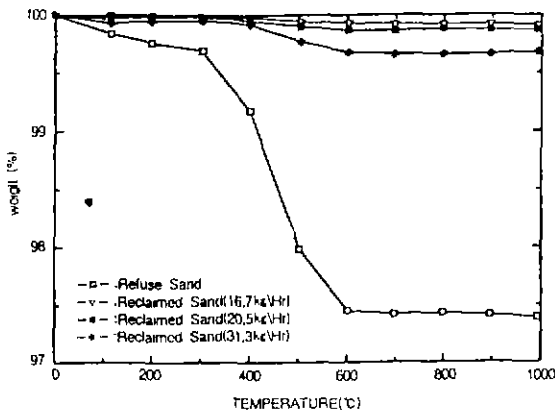


Fig 8. L.O.I. of Furan refused and reclaimed sands at 650°C

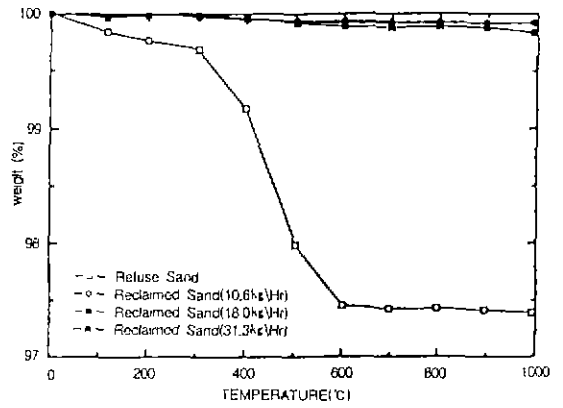


Fig 9. L.O.I. of Furan refused and reclaimed sands at 700°C

4.1.5. 후란鑛物砂의 再生費用.

유동층을 이용한 후란주물사의 재생비용으로는 재생 장치의 구입비, 감가상각비, 연료비, 인건비 및 유지보수비등 많이 있지만, 본 실험에서는 연료비와 전력비 만을 고려하여 각 온도에서 재생한 양들 가지고 계산하였는데 그 결과를 Table 5에 나타 냈다.

유동층에서 재생시에 발생하는 재생사의 잡열을 주물사의 예열 및 냉각수의 가열 등에 사용하면 캐스비용을 약 20~30% 절약 할 수 있을 것으로 예측된다.

4.1.6 再生鑛物砂의 特性

4.1.6.1. 表面安定度(Surface Stability Index)

본 유동층을 이용한 후란주물사의 재생한 주물사와 뉴베 턱법으로 재생한 주물사의 표면안정도를 비교한 것이 Table 6.에 나타냈다.

Table 5. Reclamation cost of Furan sand

Furnace Temp (°C)	Reclamation Rate (Kg/Hr)	Cost of Gas (Won/Ton)	Cost of Electricity (Won/Ton)	Total (Won/Ton)
550	12.2	13,500	3,120	16,620
	17.6	7,500	3,120	10,620
	31.3	3,377	3,120	6,497
600	15.0	14,700	3,120	17,820
	19.3	7,050	3,120	10,170
	31.3	4,208	3,120	7,328
650	16.7	15,200	3,120	18,320
	20.5	6,080	3,120	9,200
	31.3	4,954	3,120	8,074
700	10.6	16,900	3,120	20,020
	18.0	7,050	3,120	10,170
	31.3	5,068	3,120	8,188

Table 6. Comparison of Surface Stability Index between reclaimed sands by combustion and Pneumatic methods.

Method	Weight before Experiment(g)	Weight after Experiment(g)	Loss (g)	Percentage of Loss(%)	Surface Stability Index(%)
Combustion	90	84	6	6.66	93.3
	90	82	8	8.88	
	95	89	6	6.66	
	75	68	7	9.33	
	92	86	6	6.52	
Pneumatic	87	78	9	10.34	89.2
	89	79	10	11.23	
	91	80	9	9.89	
	86	76	10	11.60	
	88	78	10	11.36	

4.1.6.2. 再生鑄物砂의 強度

본 유동층 연소 재생실험에서 재생한 재생사와 뉴메틱법으로 재생한 재생사에 경화제 및 후란수지를 첨가 혼련을 거쳐서 경화시간에 따른 주물사의 강도실험 결과를 Table 7에 나타냈다

Table 7. Compressive strength of Furan foundry sand mold reclaimed sands recycled by the combustion and Pneumatic methods.

Method of	Compressive Strength of Mold(Kg/cm ²)			
	1 Hr	2 Hrs	3 Hrs	4 Hrs
Combustion	5.20	12.13	16.10	19.13
Pneumatic	5.00	11.00	15.00	18.00

4.2. 實驗結果의 考察

4.2.1. 流動層의 溫度變化

Fig 4는 후란주물사의 연속재생시 유동층의 시간에 따른 온도의 변화가 25℃ 이내로 큰 변화가 없음을 보여주었다.

4.2.2. 后란鑄物砂

Fig.5는 유동층 연소법에 의한 재생사는 신사와 후란고사보다는 외부모양이 날카롭고 뾰족한 부분이 마모되어 둥근 입자 모양을 나타냄을 보여 주고 있다.

4.2.3. 灼熱減量

Figs. 6 ~ 9에서 나타낸 작열감량은 재생에 따라서 약간 다르지만, 이들을 평균하여 종합해 보면 Fig.10과 같다 그

주물사 표면에 붙어있는 후란사, 경화제등의 모든 점결제 등은 600℃ 이상에서 모두 연소하여 그 이상의 감량은 없음을 알 수 있다. 또한 재생하지 않은 후란고사의 감량은 약 2.5% 이고, 재생시 유동층의 온도가 550℃에서 0.5%, 600℃에서 0.3%이며, 650℃에서는 0.2%이며, 700℃에서는 0.1%의 감량을 갖는 것을 알 수 있다.

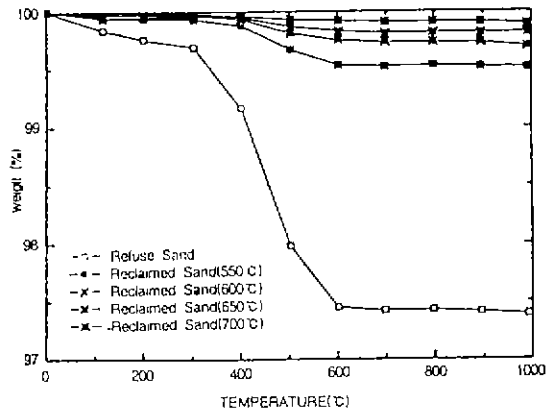


Fig 10. L.O.I. of Furan refused and reclaimed Sands at 550℃, 600℃, 650℃ and 700℃

4.2.4. 排氣가스의 成分

Table 4에서 보는 바와 같이, 배기가스의 성분중 CO, CO₂, SO₂ 등은 거의 검출되지 않았고, NO_x 만이 12ppm 발생하여 유동층내 연소법으로 후란주물사를 재생할 경우 공해 환경 기준을 넘지 않는 것을 알 수 있다.

4.2.5 再生費用

Fig.11에 유동층에서의 연소에 의한 재생량과 재생비를 평균하여 나타냈다. 유동층 온도가 높을수록 재생비는 증가하나, 500Kg/일의 경우에는 거의 비슷함을 알 수 있다 이 경우에 후란 주물사 1톤의 재생비가 약 10,000원이 되어 신사의 구입비의 20~30%가 된다 물론 국가적으로는 매립비용, 물류비용 및 취급비용 등을 배제할 수 있어서 후란사의 경우에만 신사의 구입을 약 10만톤을 절약할 수 있다 물론 유동층으로부터의 폐열을 최우하게 되면 재생비가 약 8,000원 정도로 예측할 수 있다

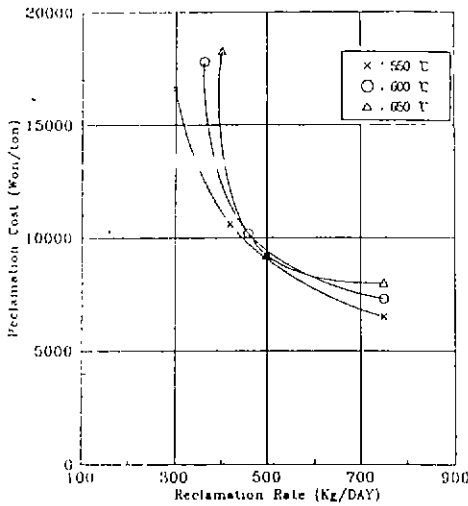


Fig 11. Reclamation cost of Furan refused sand

4.2.6. 再生鑄物砂의 特性.

유동층 연소법에 의한 재생사의 표면안정도는 93.3%로서, 뉴매틱법에 의한 재생사의 표면안정도 89.2% 보다는 약 4% 정도 높다

또한, 각 재생사로 후란주형을 만들 경우에 주물사의 강도 시험 결과를 고찰하여 보면, 유동층 연소에 의한 재생사의 강도는 뉴매틱법에 의한 재생사에 비하여 압축강도가 4~11% 이상 크게 나타나게 된다. 이는 주물사 표면에 잔류하는 점결제 및 미분들의 제거효과가 연소법에서 우수함을 보여주는 것이다. 더우기 연소법에 의한 주물사 표면이 등글게 되어 후란주형을 제조할 경우 후란과 경화제의 소비량이 작게됨을 예상할 수 있다.

5. 結論

상온자경성 후란주물사를 이용한 주형에서 주물을 제작한 후, 발생하는 후란 폐주물사를 연속재생하기 위하여 유동층에서 후란과 경화제를 연소하여 재생한 결과는 다음과 같다.

- 1 후란 및 잔류물들을 제거하기 위하여는 유동층 온도가 600°C 이상이 되어야 한다.
- 2 잔류 후란량 및 미분들의 잔류량에 따라 유동층은 600~700°C 온도의 범위에서 재생하여야 한다
- 3 유동층내 연소방법으로 연속적인 재생을 할 경우에 재생사의 비용은 신사의 구입비용보다 크게 작아질 것으로 예상된다.

- 4 연소법에 의한 재생사의 경우 표면안정도와 강도가 뉴매틱법에 의한 재생사보다는 각각 4% 및 7.2% 만큼 크게 된다.
- 5 배기가스를 분석한 결과 환경에 미치는 영향은 거의 없다.

본 실험에서 얻은 결과들을 소형 실험유동층에서의 후란 주물사 연속재생에 따른 예비적인 실험에 불과하며, 재생사가 갖고 있는 열을 이용하여 폐주물사를 예열 및 폐열 회수 방안을 실제 유동층노에 설계 및 제작을 하여 운전하게 된다 면 주물업계와 환경측면에서 많은 이익을 얻을 것이다.

후기

이 논문은 1994년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. Nasserzadeh et al, "Three-dimensional Modelling of the Coventry MSW Incinerator using Computational Fluid Dynamics and Experimental Data," Trans IChemE. pp. 269-279, Vol.71, Part B (1993)
2. Hee-Duk Shin, "Overview of the Spent Foundry Sand Recycling in Korea," pp.78-85, 3rd Symposium on the East Asian Resources Recycling Tech. (1995)
- 3 한국기계연구소, 주물연구부, 주물기술총서(II), "후란주형법," pp 1-60.
4. Howard J.R., "Fluidized Bed Combustion and Application," Applied Science Pub., London and New York pp.2-34 (1983)
- 5 Kunii D and Levenspiel O., "Fluidization Engineering," John Wiley, N.Y., pp. 1-70, (1969)
6. George E. Good, "Turning a Liability into a Asset (The Reclamation of Clay Bonded Line Refuse Sand)," Ford Motor Co., Michigan.
7. 백고길, "폐주물사의 재생에 관한 연구(I)," 대전공업대학 논문집. 제9권 2집, pp 9-23 (1992)
- 8 백고길, "폐주물사의 재생에 관한 연구(II)," 대전공업대학 논문집 제10권 2집, pp 51-57 (1993)