J. of Korean Inst. of Resources Recycling
Vol. 20, No. 1, 2011, 28-36

≫ 研究論文 ≪

色相選別 技術을 利用한 高溫 熔融爐 耐火材의 再活用에 關한 硏究†

徐剛一 · 李惠熙 · ✞崔佑鎭* · 張靚熏** · 朴銀奎** · 吳龍吉**

서울科學技術大學校 에너지環境工學科, *水原大學校 環境에너지工學科, **(株)이오니아이엔티

Study on Recycling of Refractory Materials from High-Temperature Melting Furnace by Color Sorting Technology†

Kang Il Seo, Deok Hee Lee, ✞Woo Zin Choi*, Jung Hoon Jang, Eun Kyu Park** and Young Gil Oh****

Depart. of Environmental Energy Eng., Seoul National University of Science and Technology
**Depart. of Environmental and Energy Eng., The University of Suwon*
***IONIA E&T Co., LTD*

요 약

국내의 경우 내화재는 일정 기간이 지나면 대부분 폐기 처분되고 있으며, 폐기되는 내화재의 50% 이상이 탄화되지 않은 상태이다. 본 연구에서는 내화재를 색상인식 방법으로 선별하여 재활용 가능성을 검토하였다. 선별기 광원의 색온도가 자연광에 가까운 6,500K에서 순도 97.2%의 회수물을 얻었으며, 자연광에 가까울수록 주변 광원의 간섭이 적어 선별효율이 우수한 것으로 조사되었다. 실험결과 투입 컨베이어 벨트의 속도 800 mm/sec에서 순도 98.8%, 회수율 98.1%로 조사되었으며, 시료크기 20~30 mm에서 순도 및 회수율은 각각 98.2%, 98.4%로 조사되었다. 회수물의 순도 및 선별효율은 컨베이어 벨트의 속도가 느릴수록, 시료의 크기가 클수록 향상되는 것으로 조사되었다. 그러나, 본 색상 자동선별 시스템의 처리용량 및 폐내화재의 재활용성 등을 고려할 경우 최적의 선별조건은 색온도 6,500K, 컨베이어 벨트 속도 1,000 mm/sec, 시료 크기 20 mm이하인 것으로 판단된다. 카메라 해상도를 고정하고 인지 영역을 좁게 하여 시료 크기 -10 mm, 벨트컨베이어 속도 1,000 mm/sec에서 순도 97%이상, 회수율 및 선별효율이 각각 98%, 96%이상인 것으로 나타났으며, 동일해상도에서 인지영역이 좁을수록 순도 및 선별효율을 높일 수 있는 것으로 조사되었다.

주제어 : 색상선별, 색온도, 폐내화재, 재활용

Abstract

More than 50% of refractory materials generated from high-temperature melting furnace was not carbonized and could be recycled by adopting proper separation process. In the present work, the separation of refractory materials has studied by adopting color sorting technology to promote the recycling of waste refractory. Purity of the refractory materials was obtained with at 97.2%, color temperature of sorter light source 6,500K, which gives less interference of surrounding light source. Purity and separation efficiency were improved as size is setting bigger and lower conveyer belt speed. It is revealed that optimum conditions were color temperature 6,500K, conveyer belt speed 1,000 mm/sec, particle size -20 mm, etc. To improve purity and separation efficiency on below 10mm size, the resolution of should be fixed camera and it narrow recognition range. As a result of the study, color sorting technology could be used for separation of waste refractory materials and will contribute to promote the waste recycling.

Key words : Color sorting, Color temperature, Waste Refractory, Recycling

† 2010년 9월 8일 접수, 2010년 10월 11일 1차수정
2010년 12월 2일 2차수정, 2011년 1월 14일 수리
✞ E-mail: wzchoi@suwon.ac.kr

1. 서 론

내화재는 높은 온도에서 물리·화학적 영향에 변형되지 않는 물질로 주로 도가니, 소각로, 절연체, 화로 및 용광로를 만들 때 사용되며, 다양한 형태로 제조된다. 대표적인 내화재는 거푸집으로 만든 내화벽돌, 잘게 부순 날알 모양, 수분을 함유한 소성혼합물, 물과 혼합하여 거푸집에 부어 모양으로 만든 것, 내화벽돌을 쌓기 위한 회반죽과 시멘트 등이 여기에 속한다.

내화재는 고온에서 화학반응에 의하여 산성 내화재(규석, 반규석, 납석), 중성 내화재(산화알루미늄, 산화크로뮴), 염기성 내화재(산화마그네슘, 돌로마이트)의 세 종류로 나뉜다. 이들은 산화물과 규산염이지만, 탄소, 탄화물, 규화물 및 질화물 중에도 내화재료가 있으며, 염기성인 용융체에 접해도 쉽게 침식이 되지 않는 염기성 또는 중성의 것이 많다.

내화재의 주요 구성은 과연소된 마그네사이트 혹은 마그네시아이다. 이러한 성분은 염기성 산소 용광로의 개발과 더 높은 용광로 온도의 요구는 1960년대 중반 마그네시아 기반의 내화재의 급속한 성장의 원동력을 제공해 주었다.[1-3] 따라서, 고온 용융로에 사용되는 내화재는 열전도율이 낮으며, 기계적 강도가 높아 내마모성이 우수하여 반응기를 고온으로부터 보호함과 동시에 용융슬래그의 침식에 대한 저항성이 우수해야 한다.[4-5] 일반적으로 내화재는 그 동안 일정기간이 지나면 탄화되어 사용하지 못하고 폐기처분 하였다.[6] 그러나, 폐기되는 내화재의 약 50%이상이 재사용이 가능한 탄화되지 않은 상태이기 때문에 재활용이 가능한 상태로 폐기되고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 제철소의 고온 용융로에서 사용 후 폐기 처분되는 내화재의 재활용 가능성을 검토하기 위해 색상인식 선별기술을 적용하였다. 즉, 색상선별 실험에서는 시료의 색온도, 시료 크기 및 컨베이어 속도에 따른 선별효율 및 순도 등을 검토하였다.

2. 실험조건 및 방법

고온 용융로에서 사용하는 내화재의 색상인식 알고리즘은 3자극 측정 방식을 적용하였으며, 본 방식은 시료의 조건이 균일하지 않을 경우, 즉 시료의 상태가 완전 일치가 불가능할 경우 및 시료에 대하여 일정한 품질관리(생산관리)가 요구될 때 사용된다. 빛, 조명, 빛깔 및 색공간을 관장하는 국제조명위원회(CIE, Commission Internationale on Illumination)의 RGB 색공간 등색함수(Color matching function) r(λ), g(λ), b(λ)이 특정 부분에서 음의 값을 갖는 문제점을 보완하여 제안된 등색함수 x(λ):색상, y(λ):명도, z(λ):채도를 사용한다. RGB 색공간이란 빛의 삼원색(RED, GREEN, BLUE)의 광원을 이용하여 색을 혼합하며, 색을 섞을수록 밝아지기 때문에 '가산혼합'이라도 한다. 따라서, 보완된 등색함수 x(λ), y(λ), z(λ)는 가시광선 영역의 모든 파장 대역에서 항상 양의 값을 가지며, r(λ), g(λ), b(λ)와 x(λ), y(λ), z(λ) 사이에는 상호변환이 가능하다. 3자극치 XYZ는 Fig. 1에서 보는 것과 같이 조명광원의 특성(β(λ))과 물체의 반사특성(d(λ))이 결합된 물체의 분광방사율과 등색함수 x(λ), y(λ), z(λ)로부터 식 (1)~(3)과 같이 계산된다.

$$X=\int_{380}^{780}\beta(\lambda)\delta(\lambda)\chi(\lambda)d\lambda \quad (1)$$

$$Y=\int_{380}^{780}\beta(\lambda)\delta(\lambda)y(\lambda)d\lambda \quad (2)$$

$$X=\int_{380}^{780}\beta(\lambda)\delta(\lambda)\chi(\lambda)d\lambda \quad (3)$$

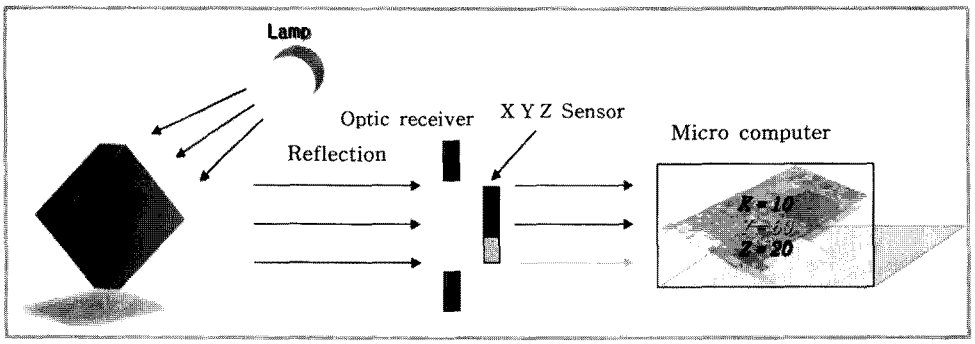


Fig. 1. Three stimulations measurement way.

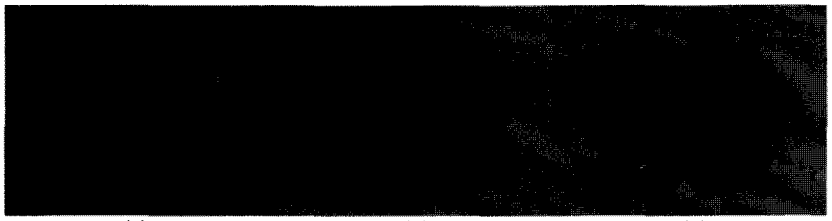


Fig. 2. Color of waste refractory materials((a)White, (b)Grey, (c)Black).

일반적으로 고온의 용융로에서 사용 후 폐기되는 내화재는 거의 대부분 원형 상태를 유지하고 있어 크기가 크고, 규격화 되지 않아 전체적인 색상을 인식하기가 어렵다. 본 연구에서는 포스코에서 사용 후 폐기되는 내화벽돌을 사용하였다. 내화벽돌을 잘게 파쇄 할수록 탄화되어 버려지는 내화재의 양을 줄일 수 있으나, 5 mm 이하로 잘게 파쇄 할 경우에는 기계선별이 어려운 문제점을 가지고 있다. 따라서, 내화재의 선별 및 파쇄과정에서 탄화되지 않은 내화재의 손실을 최소화하기 위하여 일정한 크기(Ø30 mm 이하)로 파쇄하였으며, 체가름을 하지 않고 파쇄된 내화재를 무작위로 벨트 컨베이어에 투입하여 실험을 진행하였다.

Fig. 2에서 보는 것과 같이 선별 실험을 위하여 내화재를 사전에 육안으로 백색, 회색, 검정 등 3가지 색상으로 구별하였으며, 내화재 중 탄화가 되지 않은 내화재만을 선택하여 선별 실험에 사용하였다. 내화재의 색상별로 백색은 재활용이 가능한 내화재, 회색은 탄화되어 가는 과정의 내화재, 검정색은 거의 탄화가 된 내화재이다. 본 실험에서 재활용을 위해 선별·회수하는 시료는 백색의 내화재이며, 회색의 경우에는 탄화정도에 따라 재활용이 불가능한 경우도 있으며, 검정색은 대부분이 재활용이 불가능한 상태이다.

Fig. 3에서 Fig. 5는 내화재의 색상을 256bit 히스토그램으로 분석한 결과로서 조도의 균등을 위해 고휘도 LED를 이용하여 최적 값을 도출하였으며, 히스토그램에서 알 수 있듯이 여러 가지 색상이 혼재된 상태에서는 각 레벨별 카운터 값이 각각 상이함을 알 수 있다. 그림에서와 같이 내화재의 히스토그램을 분석하여 이용할 경우 색상선별이 가능하다.

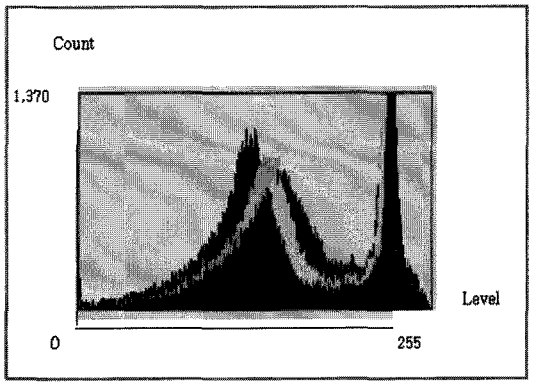


Fig. 4. Histogram of waste refractory material(Grey).

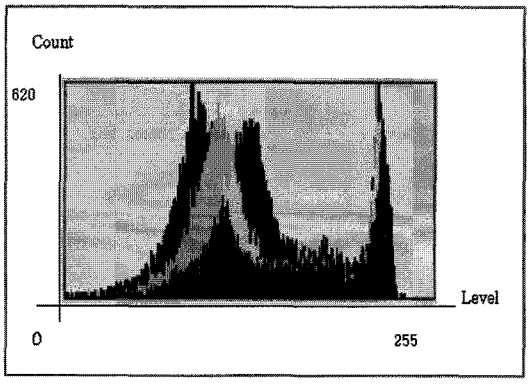


Fig. 3. Histogram of waste refractory material(White).

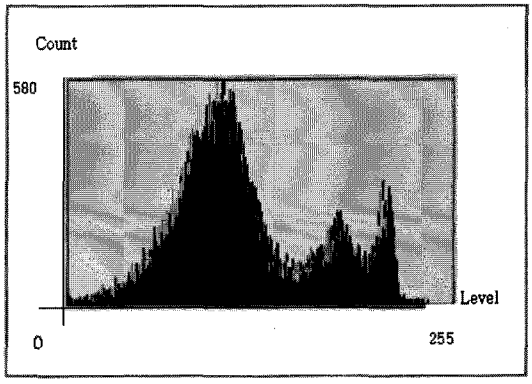


Fig. 5. Histogram of waste refractory material(Black).

Fig. 6은 본 연구에서 사용한 색상 선별 시스템으로 컨베이어벨트의 속도는 최대 1,100 mm/sec이며, 색상을 감지하고 컨베이어벨트 후단부에서 압축 공기에 의해 자동으로 선별되는 시스템이다. 본 시스템은 내화재를 컨베이어 벨트로 이송하면서 Line CCD 카메라를 이용하여 영상을 캡처한 후, 컴퓨터에 입력하여 색상인식 프로그램으로 Color histogram을 분석하고 적합성 여부를 판정하여 적합할 경우, 컨베이어벨트 상단부에 부착된 압축공기 밸브에서 선택된 영역에만 압축공기를 분사하여 선별하는 방식이다. 또한, 카메라 부분에 색온도 조절을 위한 색온도 조명장치(LED base lamp), 선택적 선별이 가능한 제어장치, 제어 신호 입력 후 20 ms 이내로 동작하는 솔레노이드 밸브 및 7bar 이상의 공기압을 배출하는 공기압축기를 사용하였다.

본 실험에 사용한 CCD 카메라의 사양은 Table 1과 같으며, 카메라가 인식하는 아날로그 신호를 디지털화로 고속 전환 및 처리가 가능하다. 또한, 카메라의 해상도, 분해능 등이 폐 내화재의 재활용을 위한 색상선별 장치에 가장 적합한 것으로 나타났다.

색상인식 선별 시스템의 선별효율은 색상인식 선별 시스템 설계의 중요한 인자이며, 선별 시스템의 색상별 회수율, 선별효율 및 순도는 식 (1)~(4)와 같이 Worrell의 제안식을 이용하여 평가하였다.[7]

$$\text{회수율}(R_n)=\frac{R_c}{R_i}\times 100 \quad (1)$$

$$\text{기타 폐기물의 통과율}(W_n)=\frac{W_o}{W_i}\times 100 \quad (2)$$

$$\text{선별효율}(E)=R_n\times W_n=\frac{R_c}{R_i}\times\frac{W_o}{W_i}\times 100 \quad (3)$$

$$\text{순도}=\frac{R_c}{R_c+W_c}\times 100 \quad (4)$$

여기서, Rc : 선별 분리된 회수대상 폐기물
Ri : 선별장치로 들어오는 회수대상 폐기물
Wo : 선별장치에서 나가는 기타 폐기물
Wi : 선별장치로 들어오는 기타 폐기물
Wc : 선별 분리된 회수 기타 폐기물

Fig. 6. Color sorting system for waste fireproof material.

Table 1. Specification of color sorting system with CCD camera

Item	Contents	Remark
Camera Type	Camera Link interface(Base)	
Resolution	4,080 Pixel size (Linear CCD)	
Pixel Size	10 μm×5 μm	
Frame Grabber	- High speed camera link acquisition board - Base configuration (24bits 85MHz) - Asynchronous reset and exposure control - 32MB onboard memory - 64bit, 66MHz PCI form factor	

Table 2. White color coordinates

C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7	
CCT 10,000~13,300		CCT 8,000~10,000		CCT 7,000~8,000		CCT 6.500~7,000		CCT 5,600~6,500		CCT 5,000~5,600		CCT 4,500~5,000	
x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
0.280	0.245	0.292	0.266	0.301	0.282	0.311	0.295	0.319	0.306	0.330	0.325	0.348	0.365
0.272	0.270	0.282	0.287	0.293	0.305	0.305	0.329	0.316	0.350	0.330	0.380	0.348	0.412
0.282	0.287	0.293	0.305	0.305	0.329	0.316	0.350	0.330	0.380	0.348	0.412	0.374	0.465
0.292	0.266	0.301	0.282	0.311	0.295	0.319	0.306	0.330	0.325	0.348	0.365	0.374	0.413

3. 결과 및 고찰

본 실험에 사용한 시료는 포스코에서 사용 후 폐기되는 내화벽돌을 Ø30 mm 이하로 파쇄하여 사용하였다. 각 영역의 x, y 값을 변화시키면서 색온도 최적 값을 도출하여 Table 2에 제시하였다. 광원의 연속성 및 색온도(Color temperature)의 측정 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 실험 결과 C7 영역의 4,500K에서 C5 영역의 6,500K의 색온도 범위를 가지는 것으로 조사되었으며, C7 영역의 4,500K보다 C5 영역의 6,500K에서 자연광에 가까운 결과를 얻었다.

실험에서는 시료의 크기 -30 mm, 벨트컨베이어 속도 1,100 mm/sec로 고정하고, 색온도(Color temperature)에 따른 색상인식으로 선별 · 회수된 폐내화재의 순도 및 회수율을 측정하여 그 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 색온도가 낮은 4,500K에서 회수물의 순도는 약 86.7%, 회수율은 90.1%로 나타났으며, 색온도가 5,000K, 5,600K, 6,500K로 증가할수록 순도는 각각 89.5%, 94.0%, 97.2%, 회수율은 각각 91.7%, 94.8%, 98.2%로 높아지는 것으로 조사되었다. 또한, 선별효율의 경우 색온도 4,500K에서 86.8%, 5,000K 89.2%, 5,600K 95.4%, 6,500K 96.0%로 색온도가 증가할수록 선별효율이 향상되는 것으로 조사되었다. 이는 색온도가 낮은 4,500K의 경우 White balance에서의 색상 오류로 인한 것으로 사료된다. 색상인식의 오류는 주변 광원의 영향, 무기질 시료에 의한 광원의 난반사 및 색도 값 변화 등의 원인으로 판단되며, 색온도가 높은 6,500K에서는 자연광에 근접한 색온도로 주변 광원의 영향을 받지 않는 것으로 분석되었다.

Fig. 9에는 시료의 크기 30 mm 이하, 색온도 6,500K일 때 투입 컨베이어 벨트의 속도 변화에 따라 회수된 내화재의 순도 및 선별효율을 제시하였다. 컨베이어 벨

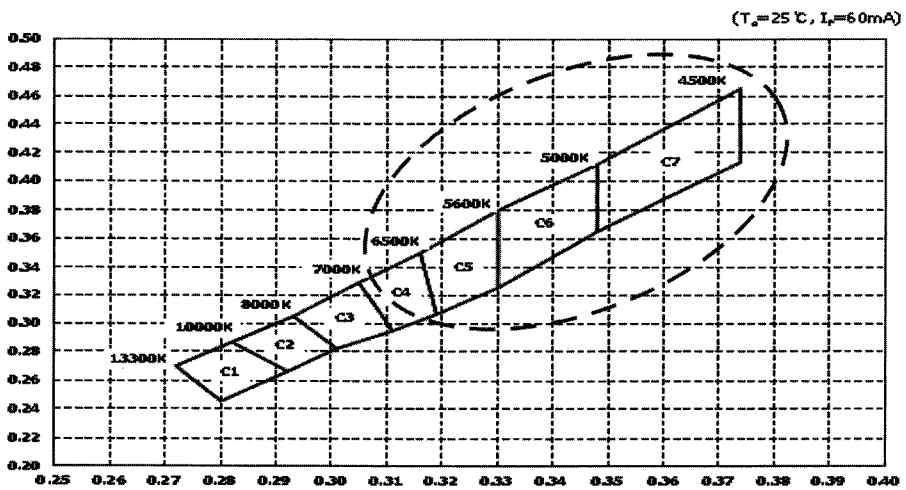


Fig. 7. CIE Chromaticity Diagram.

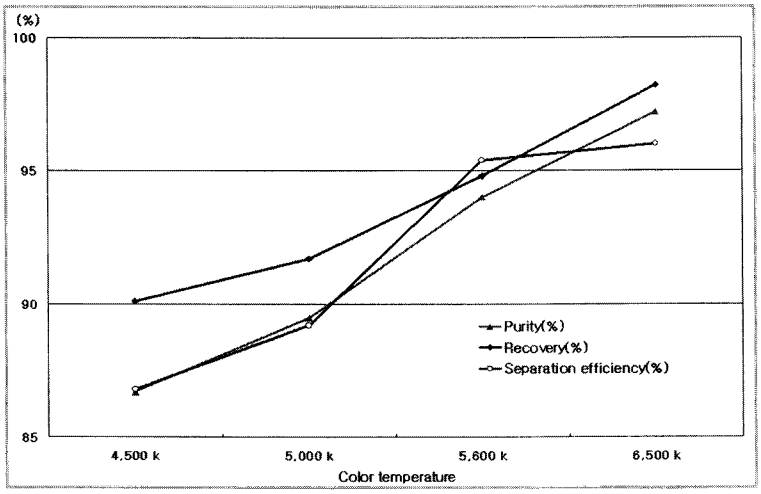


Fig. 8. Result of color sorting tests as a function of color temperature (Sample size;-30 mm, Belt conveyor speed;1,100 mm/sec).

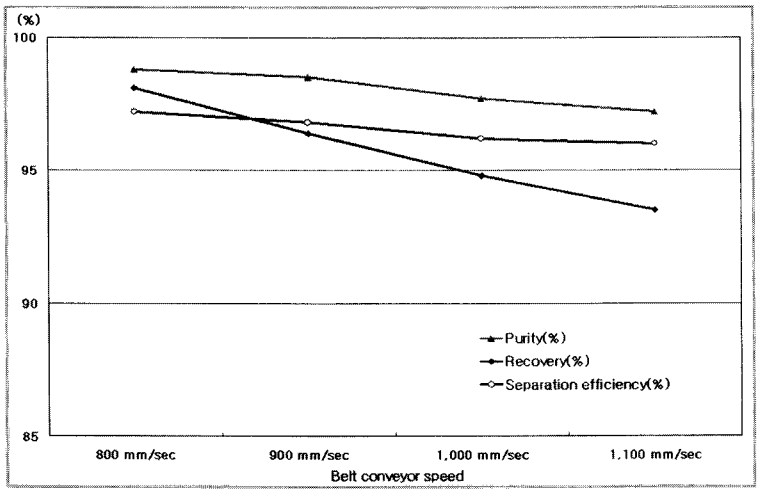


Fig. 9. Result of color sorting tests as a function of belt conveyor speed (Color temperature 6,500K, Sample size;-30 mm).

트의 속도가 가장 빠른 1,100 mm/sec일 경우 회수된 내화재의 순도, 회수율 및 선별효율은 각각 97.2%, 93.5%, 96.0%로 나타났으며, 컨베이어 벨트의 속도 800 mm/sec에서 순도 98.8%, 회수율 98.1%, 선별효율 97.2%로 조사되었다. 즉, 선별 컨베이어 벨트의 속도가 느릴수록 순도와 선별효율은 향상되어 고순도의 내화재를 회수할 수 있는 것으로 조사되었으나, 처리용량을 감안할 경우 최적의 컨베이어 벨트 속도는 1,000 mm/sec인 것으로 판단된다.

Fig. 10에는 내화재 입도분포에 제시하였으며, 파쇄된 내화재의 입도는 5 mm 이하 약 3.1%, 5~10 mm 약 11.0%, 10~20 mm 약 41.7%, 20~30 mm 약 44.2%로 조사되었다.

Fig. 11에는 투입 컨베이어 벨트 속도를 1,000 mm/sec로 고정하고 색온도 6,500K에서 투입되는 시료의 크기에 따라 회수된 내화재의 순도 및 선별효율 측정 결과를 제시하였다. 회수된 내화재의 순도는 <5 mm 입자의 경우 90.1%, 5~10 mm 93.5%, 10~20 mm 97.7%, 20~30 mm 98.2%로 나타났으며, 20~30 mm의 크기를 가지는 시료가 회수율 및 선별효율이 각각 98.4%, 97.1%로 가장 높고 시료의 크기가 작아질수록 선별효율이 낮아지는 것으로 조사되었다. 실험 결과 20~30 mm의 크기를 가지는 시료가 순도, 회수율 및 선별효율이 가장 우수하

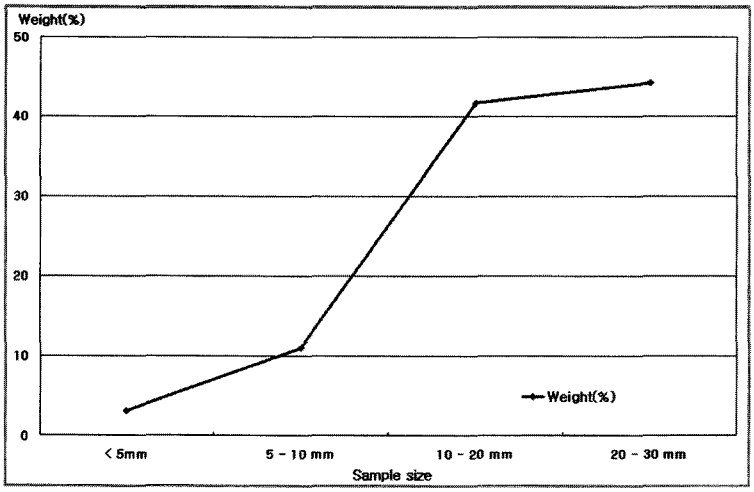


Fig. 10. Particle size distribution of refractory materials.

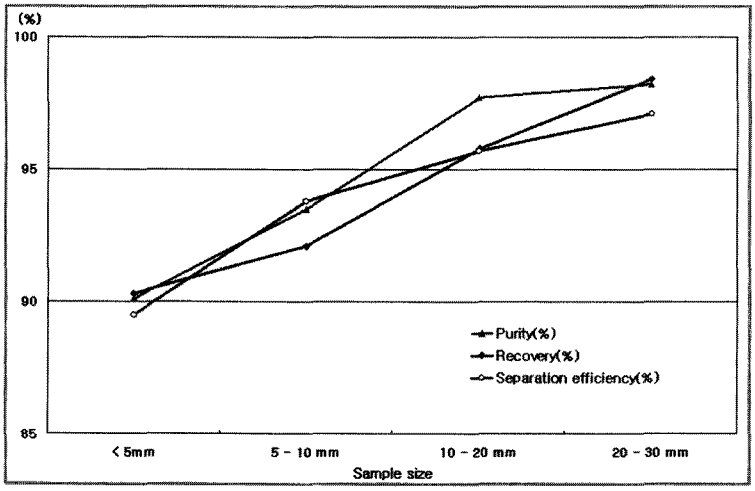


Fig. 11. Result of color sorting tests as a function of size (Color temperature;6,500K, Belt conveyor speed;1,000 mm/sec).

였으며, 재활용이 가장 용이할 것으로 나타났다. 그러나, 폐내화재 파쇄 후 20~30 mm의 크기를 가지는 시료의 선별 및 20 mm이하 크기 시료의 처리 등의 문제가 발생하며, 30 mm로 폐내화재를 파쇄 하였을 경우 탄화되지 않은 부분과 탄화된 부분이 혼합되어 재활용이 가능한 내화재의 회수량이 적은 것으로 조사되었다. 따라서, 색상 선별기술을 이용하여 재활용이 가능한 폐내화재의 최대 회수 및 재활용을 위한 폐내화재의 최적 선별입자는 20 mm 이하로 판단된다.

투입되는 시료의 입자가 작은 -10 mm일 경우 카메라의 해상도를 높이면 순도 97% 이상의 회수물을 얻을 수 있을 것으로 예상되어 카메라의 해상도를 고정하고 감지하는 영역을 축소하여 실험한 결과를 Fig. 12에 나타내었다. 시료의 크기 -10 mm, 벨트 컨베이어 속도 1,000 mm/sec에서 선별한 결과 회수물의 순도는 97%이상, 회수율 98%이상, 선별효율은 96%이상인 것으로 나타났으며, 카메라의 동일 해상도에서 인지영역이 좁을수록 회수물의 순도 및 선별효율은 높은 것으로 조사되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 일정기간 사용 후 폐기 처분되는 내화

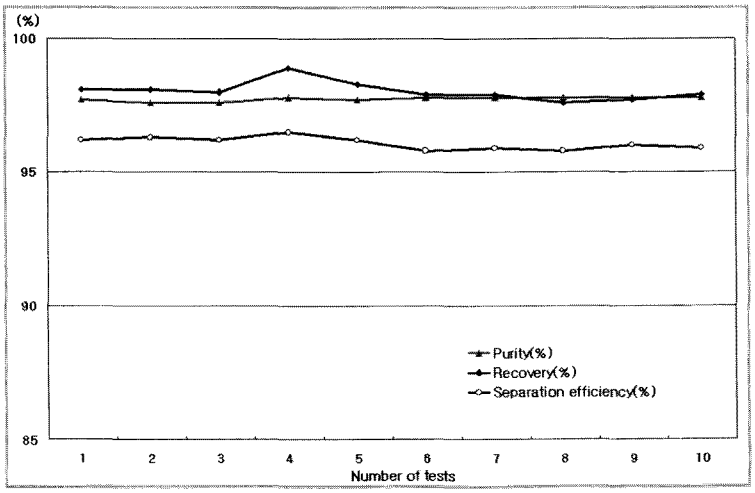


Fig. 12. Result of color sorting tests(Size;-10 mm, Belt conveyor speed;1,000 mm/sec).

재를 색상인식 방법으로 선별하여 재활용 가능성을 검토하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 색상인식 선별을 위하여 광원의 연속성 및 색온도를 측정한 결과 광원의 색온도가 4,500K보다 6,500K에서 자연광에 가까운 것으로 나타났으며, 색온도 4,500K에서 회수물의 순도, 회수율 및 선별효율은 각각 86.7%, 90.1%, 86.8%로 조사되었다. 자연광에 가까운 6,500K에서의 회수물 순도는 97.2%, 회수율 98.2%, 선별효율 96.0%로 높게 나타났으며, 자연광에 가까운 색온도일수록 외부 광원의 영향을 받지 않고 고순도의 회수물을 효과적으로 선별하는 것으로 조사되었다.

2. 시료의 크기 30 mm 이하, 색온도 6,500K 및 컨베이어 벨트 속도 1,100 mm/sec에서 회수된 내화재의 순도, 회수율 및 선별효율은 각각 97.2%, 93.5%, 96.0%로 나타났으며, 컨베이어 벨트 속도 800 mm/sec에서 회수물의 순도는 98.8%, 회수율 98.1%, 선별효율 97.2%로 조사되었다. 즉, 벨트 컨베이어의 속도가 느릴수록 순도와 선별효율은 향상되어 고순도의 내화재를 회수할 수 있는 것으로 조사되었으나, 처리용량을 감안할 경우 최적의 컨베이어 벨트 속도는 1,000 mm/sec인 것으로 판단된다.

3. 컨베이어 벨트 속도 1,000 mm/sec, 색온도 6,500K에서 투입되는 시료의 크기에 따라 회수된 내화재 시료의 크기 20~30 mm에서 순도, 회수율 및 선별효율은 각각 98.2%, 98.4%, 97.1%로 높게 나타났으며, 시료의 크기가 작아질수록 순도 및 선별효율은 낮아지는 것으로 조사되었다. 그러나, 탄화되지 않은 부분과 탄화된 부분이 혼합되어 폐내화재로부터 재활용이 가능한 내화재의 최대 회수 및 재활용을 위한 폐내화재의 최적 선별입자는 20 mm 이하로 판단된다.

4. 카메라의 해상도를 고정하고 인지영역을 좁게 하여 시료의 크기 -10 mm, 벨트 컨베이어 속도 1,000 mm/sec에서 실험한 결과 회수물의 순도는 평균 97%이상, 회수율 98%이상, 선별효율 96%이상인 것으로 나타났으며, 카메라의 동일 해상도에서 인지영역이 좁을수록 회수물의 순도, 회수율 및 선별효율은 높은 것으로 조사되었다.

5. 본 연구에 적용한 색상인식 선별 방법을 적용할 경우 폐기 처분되는 내화재 중 고순도의 재활용이 가능한 내화재 회수가 가능하여 폐기되는 내화재의 양을 최소화 할 수 있으며, 재활용율을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

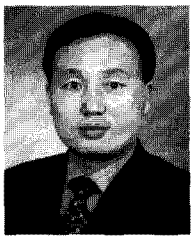
사 사

본 연구는 환경부의 차세대 핵심환경기술개발사업(2009~2011)의 연구과제로 수행되었으며, 본 연구를 지원해주신 모든 관계자 여러분께 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

1. A.Yamaguchi, 1986: Effects of Oxygen and Nitrogen Partial Pressures on the Stabilities of Metals/Carbides/Nitrides for Refractory Containing Carbon, Taikabutsu,

Vol. 38, No. 4, pp. 2-11.
2. M.Sakaguchi, H.Isii, K.Aratani and Y. Oguchi, 1991: Effect other Size of Graphite on the Properties of MgO-C Brick, Taikabutsu, Vol. 43, No. 8, pp. 411-412.
3. I.Tanaka, H.Shikano, H.Yamamoto and T.Sugura, 1991: Confluence of Carbon Content on Corrosion of MgO-C Bricks, Taikabutsu, Vol. 43, No. 8, pp. 409-410.
4. J. Bonar, C. Kennedy, R. Swaroop, 1980: Coal ash slag attack and corrosion on the refractories, American Ceramic Society Bulletin, Vol. 59, No. 4, pp. 473-478.
5. I.C. Lewis, 1982: Chemistry of Carbonization, Carbon, Vol. 20, No. 6, pp. 519.
6. J.P Bennett, K.S. Kwong, and C. Powell, 2004: Preliminary results from field testing an improved refractory material for slagging coal gasifiers, Proceedings of the 21st Pittsburgh Coal Conference.
7. 정재춘 외 14인공저, 2001: 제1부 일반폐기물, 제4장 물질의 회수, 폐기물처리, pp. 138-139, 동화기술.



徐 剛 一

- 2011년 서울과학기술대학교 에너지환경공학과 공학박사
- (주)이오니아E&T 대표이사

崔 佑 鎭

- 현재 수원대학교 환경에너지공학과 교수
- 한국자원리싸이클링학회장
- 당 학회지 제9권 1호 참조

李 憙 熙

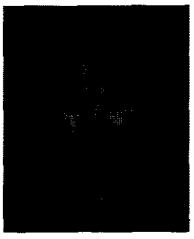
- 서울과학기술대학교 환경공학과 석사과정
- 현재 (주)이오니아E&T 환경사업본부장

張 靚 熏

- 2010년 서울디지털대학교 인터넷정보학과 졸업
- 현재 (주)이오니아E&T 제어기술부 이사

朴 銀 奎

- 2010년 수원대학교 환경공학과 공학박사
- 현재 (주)이오니아E&T 에너지환경기술연구소 소장



吳 龍 吉

- 서울과학기술대학교 컴퓨터공학과 석사과정
- (주)이오니아E&T 제어기술부