

# 철강용 폐내화물의 재활용

손건목·김장수·김시완·홍기곤\*·이훈하\*\*  
 POSCO 환경에너지실/RIST 고온내화재료연구팀\*/자원활용연구팀\*\*  
 gmsohn@posco.co.kr

## 1. 서 론

철강산업은 제품을 생산하기 위해 철광석, 원료탄, 석회석 등 많은 양의 자원과 에너지를 사용하는데, 제선, 제강, 압연, 표면처리 등의 생산공정을 경유하면서 다양한 종류의 부산물이 발생되어 그 양은 철강생산량의 약 60%에 달한다.<sup>1)</sup> 철강부산물은 쇳물을 생산할 때 철을 분리하고 남은 암석성분의 광물상으로 이루어진 슬래그가 발생량의 4분의 3을 차지하고, 배가스 집진공정에서 배출되는 더스트/슬러지와 화성부산물, 산화철, 폐내화물 등이 나머지를 구성하고 있다. Fig. 1에 일관제철소에서의 부산물 발생 점유율을 나타내었다.

철강부산물은 일반적으로 유용한 물질을 함유하고 있는 경우가 많고 우수한 품질의 자원으로서 활용도가 크기 때문에 환경, 자원보전의 관점에서 기술개발 방향을 명확히 설정하여 체계적이고 구체적인 리사이클링 기술을 확립하는 것이 중요하다

철강업계에서는 부산물의 재활용을 증대시키고 유용

한 용도로 활용키 위한 기술개발 활동을 지속적으로 전개해 왔는데, POSCO의 경우 2002년도 상반기의 부산물 재활용율은 98%에 이르고 있다. 이는 지난 1997년도에 재활용율이 77% 수준이었던 것에 비해 크게 향상된 실적이며, 매립량도 5년 전에 비하여 약 10분의 1 수준 이하로 저하되어 매립장의 수명을 대폭 연장시키는 성과를 거두고 있다. Fig. 2는 POSCO의 철강 부산물 자원화와 매립량 추이를 나타내고 있다.

대표적인 철강부산물이라 할 수 있는 슬래그는 현재 전량이 재활용 되고 있는데 파쇄, 선별과정을 거쳐 제철공정에 원료로써 재사용되는 것과 함께 시멘트원료나 비료, 도로 및 건축, 토목용 골재와 같은 유용한 자원으로써 널리 활용되고 있다. 특히 시멘트원료로 활용할 경우, 슬래그 1톤을 재활용하는 것에 의해 시멘트 원료인 석회석 사용을 1.2톤 줄이고 CO<sub>2</sub> 가스 발생을 840 kg 억제할 수 있는데, 2001년도 기준으로 연간 700만톤의 석회석 자원절약과 470만톤에 달하는 CO<sub>2</sub> 발생량을 감소시키는 효과가 있는 것으로 분석되고 있다. 즉 슬래그

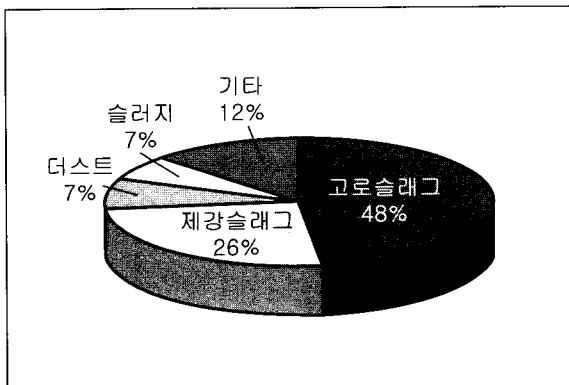


Fig. 1. POSCO의 부산물 발생 점유율.

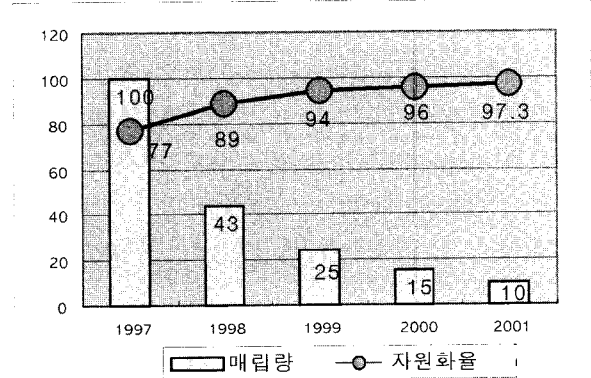


Fig. 2. POSCO의 부산물 자원화율 및 매립량 추이.

는 천연자원을 대체하여 자원을 절약하고 환경을 보전할 뿐 아니라 지구 온난화 방지에도 기여하는 친환경적 소재라고 할 수 있다.

또한 더스트/슬러지도 전처리 및 가공, 활용기술을 개발하여 제철공정 내에서 원료로 재사용하거나 시멘트원료 등으로 재활용 되는데 유효성분이 적은 일부분만이 미활용 되고 있다. 이와 같이 발생량이 많은 슬래그 및 더스트/슬러지의 재활용이 증가함에 따라 매립량은 크게 감소되고 있는 추세이다.

그러나 폐내화물은 제철소 내에서 내화벽돌과 고철을 선별, 회수하여 재사용 또는 매각되고 있지만, 내화벽돌의 회수 증대에 의해 재활용을 높이는 것에는 한계가 있다. 발생량의 대부분을 점유하고 있는 부정형내화물의 분말과 잔류 슬래그의 혼합물은 일반적으로 폐기되고 있는데, 폐기물 zero화를 달성기 위해서 폐내화물의 재활용 기술개발은 매우 중요하고 긴급한 과제라고 할 수 있다.

이에 따라 본고에서는 국내외에서의 폐내화물 재활용 기술을 살펴보는 것과 함께, 각 노체(爐體)별로 발생하는 폐내화물의 특성분석을 실시하고 용도개발을 통해 재활용을 높인 결과에 대해 소개하고자 한다.

## 2. 내화물의 분류 및 생산

### 2.1. 내화물의 분류

내화물은 고온에서 용융되지 않는 비금속재료의 총칭으로, 1500°C 이상의 정형(定形)내화물 및 최고 사용온도가 800°C 이상의 부정형(不定形)내화물, 내화 모르타르 및 단열연화로 정의할 수 있다.<sup>2)</sup>

내화물의 분류는 형태에 의한 물리적분류와 조성에 의한 화학적 분류가 있다. 물리적분류는 크게 정형내화물(내화벽돌)과 케스타블과 같은 부정형내화물로 구분할 수 있으며, 화학적분류는 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 같은 산중성 내화물과 MgO와 같은 염기성내화물로 나눌 수 있다. 내화물의 개략적인 분류를 Table 1에 나타내었다.

### 2.2. 국내 내화물 생산현황

내화물의 국내 수요량은 철강산업의 발전에 따라 꾸준히 증가하여 제조업체의 수가 90년대 초에 70여개까지

Table. 1. 내화물의 분류

분류	종류	비고	
물리적분류	정형	내화벽돌 단열벽돌	제조방법: 소성, 불소성, 전주 저열전도도
	부정형	Mortar Castable Plastic	경화기구: 열경성, 기경성, 수경성 유입시공 가스성 부여, 저온 경화
		Gunning	Gunning Machine을 이용 스프레이 보수
		Ramming Patching Coating	Air Rammer로 시공 흡손시공 흡손시공
	Ceramic Fiber	Blanket, Felt, Module, Board, Rope 등	
화학적분류	산화물	산성(RO <sub>2</sub> )	SiO <sub>2</sub> , ZrO <sub>2</sub> , ---
		중성(R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , ---
		염기성(RO)	MgO, CaO, ---
	비산화물	C, SiC, Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> , ---	
복합물	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -C, MgO-C, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SiC-C, ---		

증가하였으나, 현재에는 조선내화, 포스텍, 동국산업, 경동, 한국내화 등 40여개사로 감소하였다.

내화물 생산량은 96년도에 67만톤의 최고기록을 달성한 이후 수입 내화물의 사용량 증가와 IMF체제 이후 도산업체의 정리 등으로 감소하기 시작하여, 2001년도에는 47만톤에 그치고 있는데, 내화벽돌등 정형내화물이 17만톤, 케스타블과 같은 부정형내화물이 30만톤으로 부정형내화의 생산점유율이 63%를 차지하고 있다. Fig. 3에 국내 조강생산량과 내화물생산량의 추이를 나타내었다.<sup>3)</sup>

내화물 출하구성비를 살펴보면 철강산업은 내화물의 절대적인 최대 수요처 자리를 점하고 있는데, 철강제조 부문에 대한 출하량이 76%인 35만톤을 차지하고 비철금속, 시멘트, 요업, 소각로, 수출 등이 각 3% 정도를 사용하고 있다.(Fig. 4) 이와 같은 철강부문의 내화물 사용 점유

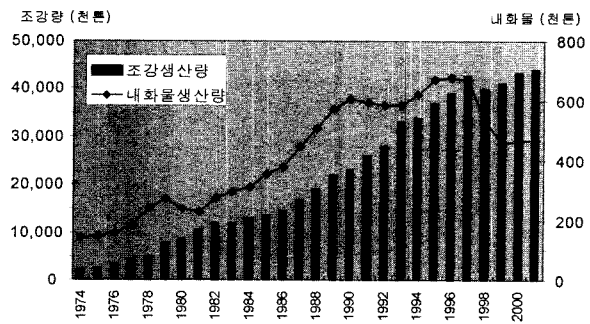


Fig. 3. 국내 조강량 및 내화물 생산량 추이.

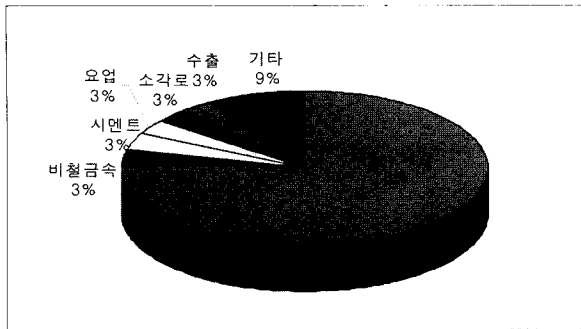


Fig. 4. 내화물의 수요처별 출하구성 비율.

율은 미국의 50%,<sup>4)</sup> 일본의 70%<sup>3)</sup>에 비해 훨씬 큰 것이다.

내화물 생산량의 감소는 주로 저가의 중국산 수입 내화물의 사용확대와 대량 수요처인 철강업체의 사용기술 발전에 따른 것이다. 특히 국내 내화물의 최대 수요처로 연간 약 20만톤의 내화물을 사용하고 있는 POSCO의 경우, 조업기술 개선과 노체 lining profile설계기술의 발전에 의한 사용수명의 연장, 부정형 유입시공기술의 적용, 신 보수기술의 개발 등으로 내화물 사용원단위는 80년대 말 조강톤당 12kg 수준에서 크게 감소하여 2001년도에 조강 톤당 7.4kg 불과하다. 이와 같은 내화물 사용원단위는 일본의 11.9kg(1990), 독일 등 유럽의 15~20kg(1990),<sup>5)</sup> 미국의 17kg(1992)<sup>7)</sup>과 비교하면 매우 우수한 실적인 것을 알 수 있다.

### 3. 철강용 폐내화물의 발생

철강용 내화물은 제철공정에 있어서 고로(高爐), TLC(Torpedo Ladle Car), ladle, 전로(轉爐), RH 진공 탈가스로, 턴디쉬(tundish), 가열로 및 전기로 등 각종 노체의 조업특성에 맞추어 다양한 재질이 내장재 또는 보수재로 사용되고 있다. 일관제철소에서의 폐내화물 발생현황 개략도를 Fig. 5에 나타내었다.

철강용 내화물은 쇳물을 담아서 운반하거나 처리하는 제선, 제강공정에서 가장 많이 사용되며 주요 노체별 폐내화물의 발생현황을 살펴보면 다음과 같다.

#### 3.1. 고로(高爐, Blast Furnace) 및 노전(爐前, Cast House)내화물

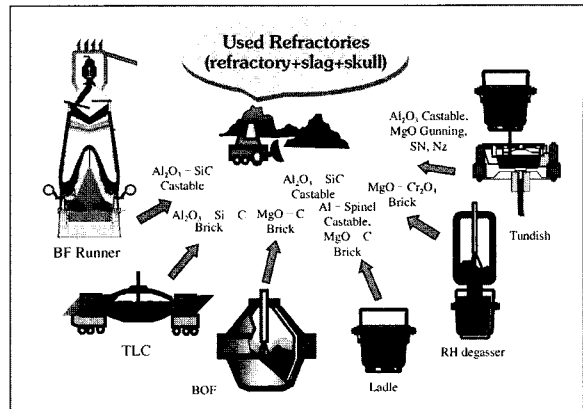


Fig. 5. 일관제철소에서의 폐내화물 발생현황.

고로는 철광석을 환원시켜 쇳물을 만들어 내는 설비로 고강도의 치밀한 사모트질 내화물과 내마모성이 우수한 고Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 질 내화벽돌이 사용되고 shaft하부에는 탄화규소질 내화벽돌이, 노 바닥부에는 미세기공의 대형 carbon block이 사용된다. 노수명은 10~15년에 이르고 있으며 내장내화물의 교체는 고로의 수명이 다하여 해체 후 새로 노를 축조하는 개수작업 시기에 이루어지기 때문에, 일상 조업 중에는 고로 본체에 대한 폐내화물 발생하지 않는다.

그러나 고로의 출선구(出銑口)로 부터 나온 쇳물이 흘러가는 탕도(湯道, runner)에는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC질 유입재 내화물이 다량 사용되며 폐내화물 발생량 또한 많다. 탕도 용내화물은 일반적으로 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함유량이 50%이상이지만 폐내화물에는 슬래그 등이 용착되어 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>성분은 줄고 SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>성분이 증가된다. 또한 사용중 소결된 과상의 폐내화물과 함께 해체작업시 형성된 분말류가 50%이상 혼재하여 내화물원료로서 재활용은 대개 곤란한 실정이다. 그렇지만 탕도재를 부분적으로 해체하여 비교적 손상이 적은 부분에 대해 내화원료나 제철소내에서 재사용하는 사례<sup>7)</sup>가 있으며, 내화물을 해체하지 않고 탕도내화물 표면의 변질층을 제거하고 덧붙임 시공하여 잔존을 재사용하는 기술이 적용되고 있다.

탕도 cover의 경우에는 슬래그의 혼입은 없으나 쇳물의 비산에 의해 내화물 표면에 변질층이 생성된다. 탕도 cover 내화물은 쇳물에 의한 직접적인 접촉이 없기에 상대적으로 사용조건이 덜 가혹하여 회수된 다른 폐



내화물을 적정한 크기로 파쇄한 후 케스타블에 혼합 시공하여 재사용하고 있다.

### 3.2. TLC(Torpedo Ladle Car) 내화물

TLC는 고로에서 나온 용선을 전로까지 운반하는 설비로 노 내부에 고내식성의  $Al_2O_3$ -SiC-C질 내화벽돌이 사용되고 노구(爐口)부에는 고  $Al_2O_3$ 질 케스타블을 적용하고 있다. TLC에서는 탈규(脫珪), 탈류(脫硫), 탈인(脫磷) 등의 용선에비처리작업이 이루어지기 때문에 노체의 내부에는 다량의 플럭스(flux)가 노벽에 부착되어 잔류되는 경우가 많다. 노내에 잔류된 플럭스는 내화물의 해체작업시 분말형태로 폐내화물로서 함께 발생되게 된다.  $Al_2O_3$ -SiC-C질 폐내화벽돌은 먼지발생 방지를 위해 뿌린 물에 의해 잔류된 플럭스가 표면에 부착되었을 경우 제거가 곤란하여 내화물원료로서 재활용되지 못하고 있다. 일본의 경우  $Al_2O_3$ -SiC-C질 폐내화물은 별도 회수하여 분쇄 후 조골재로서 cover 등의 부정형내화물에 재활용되고 있다.

### 3.3. 전로(轉爐, BOF)내화물

전로는 용선에 산소를 취입하여 불순물을 제거하고 성분을 조정하는 정련설비로서 내장내화물에 대형의 고내식성 MgO-C질 불소성 내화벽돌이 사용된다. 전로수명은 보수기술의 개발과 노체관리시스템의 확립 등과 같은 노력에 따라 비약적으로 향상되었다.<sup>8)</sup> POSCO의 노체수명은 전로용 내화물의 품질향상, lining 설계, 작업 및 열간 보수기술의 개선, 철판 냉각설비의 보완 등으로 크게 연장되어 7,000회를 상회하고 있다. 폐 MgO-C내화벽돌은 전로 내화물의 슬래그 코팅용으로 일부 활용되거나, 전량이 회수되어 MgO clinker로 가공처리 후 내화물원료에 재활용되고 있다.

### 3.4. Ladle내화물

ladle은 전로로부터 나온 용강을 이차정련처리를 거쳐 주조설비까지 운반하는 용기로 ladle내화물은 벽체와 바닥에 주로 고  $Al_2O_3$ 계의 내화벽돌이나  $Al_2O_3$ -spinel질의 유입재가 시공되고 slag line부위에는 MgO-C질 내화벽돌이 사용된다. ladle 내장내화물의 침식은 부위별

로 차이가 있으며 수리시점에 따라 폐내화물의 종류가 다르게 발생된다. 폐내화물에는 ladle에 부착된 지금(地金)이나 슬래그가 함께 혼합되지만, 회수가 용이한 slag line부위의 MgO-C질 내화벽돌과 함께 벽체의 케스타블 유입재 또는 내화벽돌도 회수, 선별되어 내화물원료로 재활용되고 있다.

### 3.5. 이차정련용(Secondary Refining) 내화물

전로에서 정련된 용강은 성분, 온도 등을 미세 조정하기 위해 이차정련처리를 실시한다. 이차정련설비인 진공탈가스로는 상부조, 하부조에 Mg-Cr질 내화벽돌을 채용하고 있으며 ladle로부터 용강이 상승, 하강되는 침적관(snorkel)의 내부에는 Mg-Cr질 내화벽돌이, 외부에는  $Al_2O_3$ 질 케스타블이 시공되고 있다. Mg-Cr질 내화벽돌은 전기로와 같은 저급용 Mg-Cr 내화벽돌 원료로 재활용하거나 제강공정의 성분조정제로 재이용할 수 있다.

### 3.6. 연주(連鑪) 턴디쉬(Tundish) 내화물

턴디쉬는 일반적으로 ladle에 비해 수강온도가 낮고 열외되어 있기 때문에 열충격등의 사용조건은 완만하지만 턴디쉬 내화물의 손상은 작업성의 저하 뿐 아니라 주변 의 개재물로 작용하여 강품질에 직접적인 영향을 미친다.

턴디쉬 내화물은 내장재로 고  $Al_2O_3$ 질의 벽돌이나 케스타블 유입재가 사용되고 가동면에는 MgO질의 gunning재가 시공된다. 용강의 청정도 향상과 개재물 유입을 막기 위한 댐에는 고  $Al_2O_3$ 질의 프리캐스트 블록이 적용되고 있다.

턴디쉬 폐내화물은 대수리 시에 발생하는 유입재나 내화벽돌은 회수하여 재활용이 가능하지만 대수리를 제외한 수리작업 시에는 폐 MgO gunning재와 슬래그, 보온재 등이 혼합되어 재활용이 곤란하다.

용강의 유량조절에 사용되는 각종 노즐 내화물은 stopper나 sliding nozzle 등이 있는데 공정간의 원활한 연결과 생산성 및 설비안정성 등의 측면에서 그 중요성이 더욱 강조되고 있으며, 특히 강품질 면에서 내화물의 품질 및 사용방법에 대한 요구는 엄격해지고 있다. ladle로부터 턴디쉬로 용강이 주입되는 shroud 노즐이나 턴디쉬로부터 주조몰드로 용강이 주입되는 침적노즐



(SEN)은 지금, 개재물의 부착등으로 재활용되지 않고 있다. Sliding nozzle plate는 회수되어 텀디쉬 용강 낙하부에 침식방지용으로 사용되기도 하며 일본에서는 침식부위 만을 재생하여 사용하기도 한다.

#### 4. 폐내화물의 재활용 현황

철강용내화물은 일반적으로 내화물 사용량의 약 50~70%가 조업과정에서 손모되며 내화벽돌은 전량 재활용이 되는 경우도 있으나 잔존부분의 30~40%가 재활용되는 것으로 추정되고 있다. 폐내화물의 재활용은 3D 문제, 인건비 상승, 해외원료의 상대적 cost 저하 등으로 원료로서의 경제성은 크게 감소하고 있는데, 제철소 내에서는 폐내화물을 회수하여 주로 부정형재와 병용한 보수재로 재활용하고 있으며 재활용 증대를 위해 설비 투자를 하는 경우도 있다.

미국은 연간 300만톤 이상의 내화물이 생산되는데<sup>9)</sup> 정확한 통계는 이루어지지 않고 있으나 2~3%인 약 4만5천톤만이 재활용되며 대부분의 폐내화물은 폐기되고 있다. 미국에서 폐내화물의 재활용율이 이와 같이 낮은 이유는 폐기물을 줄이려는 목적보다 주로 경제적인 이유와 법률 때문에 재활용을 하고 있기 때문이다. 미국의 제철소에서는 상대적으로 저렴한 매립비용때문에 재활용을 촉진할 수 있는 새로운 노체 lining 해체방법이나 내화물 분리방법을 모색하는 것을 꺼리고 있다.<sup>10)</sup> 유럽은 미국보다 자원이 적고 땅을 훨씬 효율적으로 사용해야 하기 때문에 정부가 재활용을 권장하여 왔는데,<sup>11)</sup> 독일은 재활용 가능한 내화물의 15~20%가 재활용되고 있다.<sup>3)</sup>

일본의 폐내화물에 대한 내화원료 재활용 비율은 2001년도 기준 생산량 대비 약 6.2%로 정형 내화벽돌의 사용량 감소에 따라 재활용 비율은 계속 감소 추세에 있다. 연간 일본에서 회수 재활용되는 물량은 약 8만톤으로 출하되는 물량 127만톤을 감안하면 대부분 손모

되거나 폐기되고 있는 것으로 보인다. 일본의 폐내화물 재활용 추이를 Table 2에 나타내었다.<sup>3,12)</sup>

국내에서 발생하는 철강용 폐내화물은 대부분 재활용되고 있는 것으로 보고<sup>13)</sup>되고 있으나 주로 외부 재활용 업체에 위탁 처리하는 물량이나 회수된 내화벽돌을 기준으로 한 것으로 실제 내화벽돌을 회수하여 내화원료로 활용하는 물량은 제한되고 있는 것으로 추정된다. POSCO의 경우 폐내화물 중 내화원료로 회수되어 재활용되는 물량은 사용물량 대비 5~6%에 해당한다. 국내의 폐내화물 재활용업체들은 폐내화물을 수거해서 표면의 불순물을 제거한 후 내화물원료등으로 판매하고 있는데 저가의 내화물원료 수입물량의 증가로 재활용 여건은 더욱 나빠지고 있는 실정이다.

선별된 폐내화벽돌이나 괴상의 캐스타블은 그 조성을 파악할 수 있기 때문에 내화물 원료등으로의 재활용이 가능하지만, 슬래그의 침윤이나 첨가금속, 흑연 등의 산화에 의해 불순물의 혼입, 증가로 내열성이 저하되고 취약해지기 쉬워 중저급품으로 적용되고 있다.

폐내화물의 내화물 원료로의 재활용은 주로 동일재질의 내화벽돌이나 괴상의 부정형내화물을 대상으로 하고 있는 경우가 많으며, 사용하기 용이하게 회수한 후 기계적 또는 화학적으로 처리한다. 일본의 경우 폐내화물은 분쇄업체에 분쇄를 의뢰하거나 자체 공장내에서 jaw crusher나 plate mill 등으로 직접 분쇄하고 있다. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 점토질의 폐내화벽돌은 grade별로 구분하여 정형내화물에 30~50% 혼합 사용하고 있으며, TLC의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC-C질 내화벽돌은 파쇄하여 slag 탕도나 splash cover에 사용하고 있다. MgO-C 폐내화물은 수처리에 의해 내화물 중의 산화방지제를 제거한 후 전로 cone부위용, ladle slag line용, 전기로 내장용 등의 MgO-C내화물원료로 사용하고 있다. MgO 폐내화벽돌은 별도 처리없이 파쇄하여 전기로 spray재 등으로 사용한다. Mg-Cr 폐내화벽돌도 파쇄후 입도 분리하여 처리없이 5~10% 원료로 혼합하여 활용하는데 주로 시멘트 kiln용으로 활용된다. 이와 같은 재활용 내화원료는 품질관리가 중요하기 때문에 혼련, 성형, 열처리후 균열시험을 실시하여 합격 여부를 결정하고 있다.

한편 사용후의 물품을 가공하여 손상부를 새로운 부

Table 2. 일본의 폐내화물 원료활용 추이

	'87	'92	'97	'00	'01
내화물 생산량(천톤)	1,663	1,552	1,548	1,327	1,269
부정형비율(%)	45	50	57	59	60
폐내화원료 사용량(천톤)	173	127	108	82	79
사용비율(%)	10.4	8.2	7.0	6.2	6.2

재로 교환하여 재생하는 경우도 있는데 연주의 sliding nozzle plate는 사용 후 회수하여, crack 발생품을 제외한 것에 대해 습동면을 연마하고 hole부위는 drilling으로 제거후 ring을 삽입하여 다시 제철소에 저렴한 가격으로 납품하고 있다.<sup>14)</sup>

전기로 및 LF용 플럭스 와 같은 제강 정련용 부원료로의 활용은 주로 마그네시아, 돌로마이트질과 같은 염기성 폐내화물류가 대상이 되고 있다.<sup>15)</sup>

### 5. 폐내화물의 특성분석과 용도개발

철강용내화물은 부정형내화물의 사용비율이 약 65%로 회수가 용이한 내화벽들의 양이 그리 많지 않고, 노체별로 다양한 재질이 슬래그, 플럭스 등의 이물질과 혼합 발생되어 재활용이 어렵다. 내화벽들이나 scrap은 대부분 회수되거나 소량, 소형의 폐내화벽들이나 슬래그에 함유된 케스타블은 슬래그, 플럭스 등이 혼합되어 대부분 매립 처리되는 것이 일반적이다.

폐내화물의 자원화 증대를 위해서는 회수 가능한 폐내화벽들 또는 괴상의 케스타블의 양을 늘리는 것과 함께 미활용 폐기되는 분말류에 대해 특성을 파악하여 용도를 개발하는 것이 필요하다. 이에 따라 노체수리장별로 발생하는 폐내화물 중에서 재활용 되지 않고 매립되고 있는 분말류를 대상으로 특성조사를 실시하였다.

먼저 선별장으로 반입되는 각 노체별 폐내화물 중에서 집게형 포크레인 및 마그네트를 통하여 대형지금(地金)과 자석에 붙는 철성분 물질을 제거한 후, 폐내화물의 sampling을 위하여 대표성을 나타낼 수 있는 정도(포크레인 3회)의 량을 채취하여 40mm 체거름으로 +40mm와 -40mm를 분리한 후, 양분된 시료의 량을 정량화하였다. -40mm를 통과한 시료에 대한 입도분포의 측정은 통과한 시료의 일부를 입도분포를 측정 후 전체의 량으로 환산한 값으로 40mm 이하의 입도에 대한 입도분포 값으로 환산하였다.

폐내화물의 입도분포 결과는 40mm를 통과한 구성비가 평균 약 60% 정도를 나타내었으며, 12.5mm를 통과한 세립골재는 약 40% 정도를 점하고 있었다. 또한 40mm를 통과한 시료에 대한 bulked density는 1.4~1.9

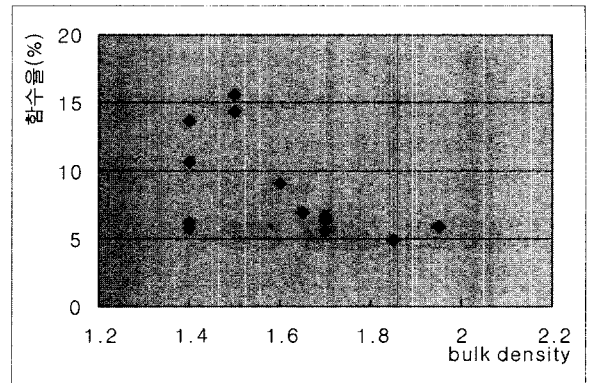


Fig. 6. 각 노체수리장별 폐내화물(<40mm)의 비중 및 함수율.

범위이며, 이들의 함수율은 폐내화물 발생개소에서 비산먼지 발생 억제를 위한 살수로 인하여 5~15%의 범위를 나타내었다. Fig. 6에 각 노체수리장별 폐내화물(<40mm)의 비중과 함수율을 나타내었다.

또한 각 노체수리장별 폐내화물의 화학조성과 광물상 분석을 실시하였다. 노체에 내장된 내화물은 고온의 용강이나 슬래그 및 부식성 가스 등과의 접촉에 의해 침식, 손상되어 일정횟수 또는 기간이 경과한 후에 새 내화물로 교체작업을 실시하게 되는데, 사용이 완료된 내화물은 브레이커 등을 통해 노체로부터 해체되며 다양한 형상과 재질의 내화물이 노체에 부착, 잔류된 슬래그, 지금(地金) 등과 혼합되어 폐내화물로 함께 발생되고 있다. 화학조성과 광물상 분석결과 대부분의 폐내화물 분말류에는 사용내화물과 슬래그 등이 혼재되어 있는 것을 확인할 수 있었다.

매립 처리되고 있는 폐내화물의 용도개발을 위해서는 기본적으로 일괄 처리하는 것이 효과적이다. 폐내화물의 종류가 다양하고 슬래그 등이 혼합되어 있기 때문에 파쇄와 입도선별을 통한 노반재, 성토재, 복토재 등 건축, 토목용 골재로의 활용성을 검토하였다. 폐내화물에는 슬래그가 다량 포함되어 있는데 폐내화물을 슬래그에 일정 양외삽으로 혼합하여 고온 팽창성과 일축압축강도를 측정하였다. 도로용 노반재로의 활용성 파악을 위한 시험결과 KS F 2535에 규정하는 기층 및 보조기층용 팽창안정성 규정을 만족하였고 일축압축강도는 수경성 입도조정슬래그와 동등이상의 값을 나타내는 결과를 나타내었다.

이와 같은 시험결과에 따라 POSCO에서는 2002년 하반기에 폐내화물의 파쇄, 선별을 위한 재활용설비를 설

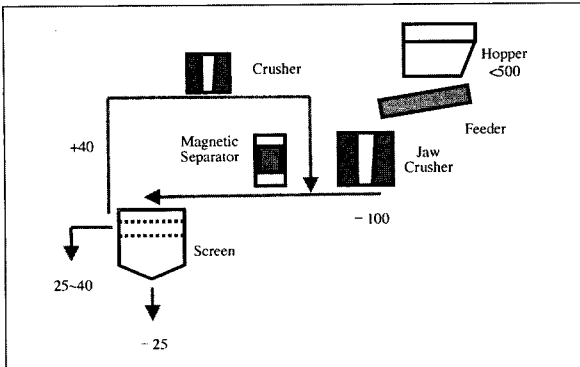


Fig. 7. 폐내화물 파쇄, 선별 flow.

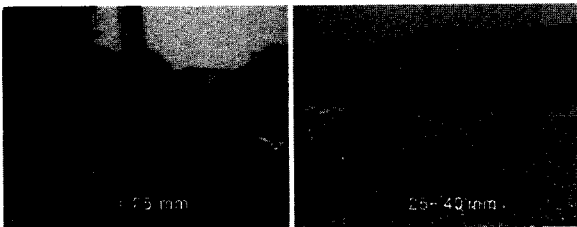


Fig. 8. 폐내화물 파쇄, 선별 상태.

치하였다. 폐내화물 재활용설비는 파쇄, 자선 및 입도선별을 통해 토목용골재의 생산이 가능한데, Fig. 7에 폐내화물의 파쇄, 선별 flow를 Fig. 8에 파쇄, 선별 상태를 나타내었다. 폐내화물의 특성분석과 함께 재활용설비를 설치함에 따라 폐내화물에 대한 파쇄, 선별작업을 통해 다양한 용도개발을 추진하는 것이 가능하게 되었다.

## 6. 결 론

철강산업은 국내 내화물 생산량의 76%를 사용하고 있으며 내화물의 제조 및 사용기술은 제철, 제강기술과 더불어 꾸준히 발전해 왔다. 철강업체에서는 안정적인 조업을 위하여 내화물 제조업체와 함께 최적의 내화물을 개발, 적용하고 품질향상, 설계, 보수기술의 개발, 축로기술의 기계화 및 자동화 등을 추진하여 process의 효율을 높이고 작업환경을 개선시켜 왔다.

환경의 시대라고 말해지는 21세기에는 환경과 조화하고 지구환경을 보전하는 것에 대해 인류의 관심과 노력은 더욱 증대될 것으로 전망되며, 지속적인 발전과 순환형 사회구축을 위하여 기업은 환경보전과 자원보호에 대응한 기술개발을 조기 추진하여 생산기술과 일체화

시키는 것이 필요하다. 이러한 관점에서 폐기물의 자원화 활용기술은 기업의 생산 process에 요구되는 가장 중요한 기술의 하나라고 할 수 있다.

폐내화물의 자원화 활용 증대는 철강부산물 중 발생량이 많은 슬래그와 더스트/슬러지의 유효활용이 증대됨에 따라 폐기물 최소화를 위한 필수적인 과제가 되었다. 그러나 폐내화물은 노체별로 재질이 상이하고 부정형 재질의 사용이 많으며 슬래그 등이 혼입되어 내화벽돌과 괴상의 캐스티블 외에는 내화원료로 회수 재사용하는 것에 한계가 있다.

POSCO에서는 폐내화물의 회수 증대와 함께 내화물의 사용수명의 향상, 이물질의 혼입방지를 통해 폐내화물의 발생량을 감소시키고, 재활용 부가가치가 높은 재활용 증대 노력을 지속적으로 전개해 왔다. 또한 내화벽돌등을 선별, 회수한 후 매립되던 잔류물에 대해 특성분석을 실시하고 재활용설비를 설치하여 파쇄 및 선별공정을 통한 건설, 토목용골재, 제강정련용 부원료 등의 용도개발로 매립 최소화와 환경보호에 기여하고 있다.

자원의 재활용은 부족한 국내자원의 절약과 함께 환경과 국내 산업분야에 복합적인 효용창출을 가져올 뿐 아니라 지구차원의 환경보전 활동이다. 근본적으로 폐기물의 발생을 줄이고 자원으로의 유효활용을 높이려는 노력과 함께 발생된 부산물에 대해서는 그 특성을 살려 가장 가치 있고 효율적인 활용이 이루어지도록 해야 한다. 이와 함께 부산물의 재활용은 재활용되는 제품의 품질 뿐 아니라 환경에 연계되어 있기 때문에, 재활용을 위한 각종 가이드라인의 정립과 제도 구축이 뒷받침될 수 있도록 산학연이 협력하여 체계적인 기술개발 활동을 추진해 나가야 할 것이다.

## 참고 문헌

1. 김장수, 성기웅, 손건목, "Status and Prospects of Slag Recycling (철강슬래그의 활용동향 및 전망)", POSCO Forum 발표집, 1-19, 한국콘크리트학회 (2000.11).
2. Refractories Handbook (耐火物手帳 '99), pp.2, 耐火物技術協會編.
3. 내화물공업현황, pp.83, 대한내화물공업협동조합 (2002.8).
4. James P.Bennett(The U.S. Bureau of Mines), "Recy-



cling and Disposal of Refractories”, The American Ceramic Society Bulletin Volume 74, No.12, 71-77 (Dec. 1995).

5. 大石 泉, “The Role of Refractory in Iron and Steelmaking Process (철강업에 있어서 내화물의 역할)”, 제145회 西山기념강좌-철강업에 있어서 내화물 기술의 전망, 1-27, 일본철강협회 (1992.11).
6. Chales E.Semler, “Minimizing refractories problem in steelmaking”, Steelmaking Conference Proceedings, 473-481 (1994).
7. Koichi Shunohara, “Reduction in Specific Consumptions of Runner Material and Mud for BFs (고로 용통재, 머드재 원단위의 저감)”, 耐火物 41- No.7, 373-375 (1989).
8. Yukio Kiryu, Hideo Yaoi, Mitsru Kondo, Akihiko Narita, “Prolongation of Converter Refractory Life by Optimum Repair Techniques (전로수명연장기술-최적보수기술 및 노체관리시스템의 확립)”, 耐火物 38-No.9, 598-600 (1985).
9. J.S.Bennett and J.K.Kwong(U.S. Department of Energy) “Recycling/Alternative Use of Spent Refractories”, I&SM, 23-27 (Jan. 1997).
10. Robert T. Oxnard(Maryland Refractories Co.) “The future of refractory materials recycling”, Ceramic Industry, 41~44 (Feb. 1997).
11. Robert T. Oxnard(Maryland Refractories Co.) “Refractory Recycling”, American Ceramic Society Bulletin

Volume 73, No.10, 46-49 (Oct. 1994).

12. Shigetoshi Ohta, Toru Honda, Yushiki Tsuchiya, “Reusing of Spent Refractories (사용후 내화물의 처리와 리사이클)”, 세라믹스 34 No.5, 354-356 (1999).
13. “철강업 환경교류회”, pp59-83, 한국철강협회 (2000.3).
14. Tohru Tateishi, “Development of Used-refractory Recycle Technology in Melting Shop (제강사용내화물 리사이클기술의 개발)”, ふえらむ vol.1 No.5, 367-370 (1996).
15. Hajime Takahashi, Masahide Tsuno and Masakazu Hayaishi, “Used-refractories Recycle Technology in Melting Shop (제강폐연와의 리사이클)”, 耐火物 52[4] 178-184 (2000).

### 손건목



- 1988년 연세대 세라믹공학과(공학사)
- 1988년 POSCO 입사
- 1998년 연세대 세라믹공학과(공학석사)
- 2002년 POSCO 환경에너지실
- 현재 환경기획팀

### 김장수



- 1976년 전북대 화공과(공학사)
- 1978년 POSCO 입사
- 2000년 순천대 재료금속공학과(공학석사)
- 현재 POSCO 환경에너지실장
- (사)한국세라믹학회 환경세라믹스부회 회장
- (사)한국자원리사이클링 학회 이사

### 김시완



- 1985년 성균관대 기계과(공학사)
- 1985년 POSCO 입사
- 1993년 미주리주립대 기계과(공학석사)
- 현재 POSCO 환경에너지실 환경기획팀장

### 홍기곤



- 1984년 연세대 세라믹공학과(공학사)
- 1986년 연세대 세라믹공학과(공학석사)
- 1990년 연세대 세라믹공학과(공학박사)
- 1990년 RIST 입사
- 1999년 New York State College of Ceramics at Alfred University 교환연구원
- 현재 RIST 고온내화재료연구팀 책임연구원

### 이훈하



- 1993년 부산대 무기재료공학과(공학사)
- 1994년 RIST 입사
- 1995년 부산대 무기재료공학과(공학석사)
- 현재 RIST 자원활용연구팀 선임연구원
- 포항공대 신소재공학과(박사과정)