

연속 주조용 내화물

선우 식
 조선내화(주)
 ssunwoo@chosunref.co.kr

1. 서 론

국가의 기간 산업인 제철 제강 공업의 발달은 내화재료의 발달과 궤를 같이 하고 있다. 우리나라도 포항 제철이 생기면서부터 본격적인 제철 제강 공업이 발달하여 현재는 세계적인 수준을 자랑하고 있다. 그와 더불어 내화물의 기술도 비약적인 발전을 하게 되었다. 그러나 현재의 상황은 전 세계적인 철강의 공급 과잉으로 어려움에 직면하여 그 타결책으로 강종의 고급화와 철강 생산 원가의 절감을 통한 경쟁력 확보를 추구하고 있다.

철강 생산 원가의 절감을 위해 내화물 업계는 내화물의 사용 수명 증대 및 업계 자체의 생산성 향상과 값싼 원료의 확보를 통해 내화물 가격 인하 노력을 하고 있다. 그래도 되지 않는 부분은 중국의 OEM 생산으로 가격을 맞추고 있는 실정이다.

강종의 고급화를 위하여 각 강종의 요구 특성에 맞는 내화물을 개발 납품하고 있으며 그 중에서도 강의 품질과 특별한 관계가 있는 연속 주조용 내화물은 전 세계의 우수한 내화물 회사가 중점을 두고 있는 부분이다. 전 세계적인 철강의 불황으로 내화물 업계의 생산량이 줄어들고 있지만 연속 주조용 내화물 부분만은 지속적인 증가세를 나타내고 있다.

내화물의 앞으로도 관심 부분인 연속 주조 내화물에 대해 간단하나마 개략과 그 제조 공정 그리고 주요 손모 원인등을 소개하고자 한다.

2. 연속 주조용 내화물의 제조와 적용

코로나 전기로 에서부터 래들(Ladle, L/D : 용강을 수

강 받는 그릇)을 통하여 운반된 용강(Molten Steel : 쇳물)이, 래들에서 턴디쉬, 턴디쉬에서 몰드에 걸쳐 강으로 제조되는 연속적인 강 제조 공정을 일컬어 연속 주조 공정이라 하며, 이러한 연속주조의 흐름을 Fig. 1 에서 개괄적으로 나타내었다.

연속 주조를 위해 사용되는 연속 주조용 내화물(이하 연주용 내화물)은 그 기능에 따라 크게 두 종류로 구분 지을 수 있는데 용강의 흐름을 제어하고 유량을 조절하는 역할을 하는 SN(Sliding Nozzle : Sliding gate valve) 연주용 내화물과, SN 연주용 내화물의 하부에 압착되어 래들과 턴디쉬 그리고 턴디쉬와 몰드간에 용강의 통로 역할을 하는 CCN(Continuous Casting Nozzle) 연주용 내화물로 연주용 내화물은 분류되어진다.

연주용 내화물은 그 재질의 구성에 있어서 주로 탄소 성분을 함유한 내화물의 하나로서, 일반적으로 사용되는 알루미늄-카본(이하 $Al_2O_3 \cdot C$)질과, 내식성, 내마모성, 내 열충격성 등의 모든 특성을 보다 향상시킨 알루미늄-지르코니아-카본질($Al_2O_3 \cdot ZrO_2 \cdot C$)로 대별되며,

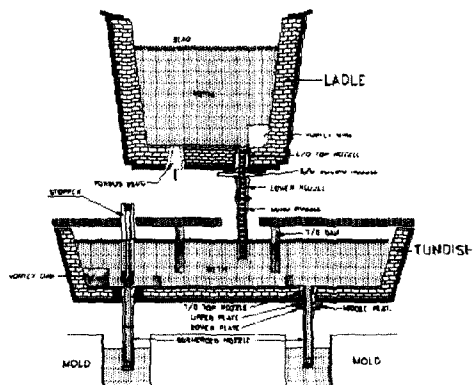


Fig. 1. 연속 주조 조업의 개괄도.

그 각각의 기능에 따라서, SN 연주용 내화물은 슬라이딩 게이트용 플레이트, 상·하부 노즐로 구분을 하며, CCN 연주용 내화물은 슈라우드 노즐, 침지 노즐 그리고 스토퍼로 구분을 한다.

연주용 내화물 각각의 종류와 기능 및 제조 공정 그리고 용손 패턴에 대해서 서술을 하고자 한다.

2.1 SN 연주용 내화물

래들을 통해서 고로나 전기로에서부터 이송된 용강은 주상(연주 조업이 진행되어지는 장소)에서 연주 조업을 진행한다. 이때 래들을 통과하여 턴디쉬로 공급하는 과정에서 가장 먼저 적용되는 연주용 내화물은 래들용 SN 연주용 내화물이며, SN 연주용 내화물에서는 용강의 흐름을 원활하게 함과 동시에 조업조건에 맞춰 유체의 양을 조절하는 역할을 한다. 래들용 SN 연주용 내화물을 통과한 용강은 노즐 형태의 CCN 연주용 내화물로 연결되어 턴디쉬로 운반된다. 턴디쉬 SN 연주용 내화물은 래들용 SN 연주용 내화물과 동일한 형태와 구조를 갖추고 있으며 턴디쉬에 수강된 용강은 턴디쉬 SN 연주용 내화물을 통하여 CCN 연주용 내화물로 이어져 운반된다.

SN 연주용 내화물은 슬라이딩 게이트용 플레이트(이하 플레이트)와 상·하부 노즐로 구분을 짓는다. 래들 및 턴디쉬로부터 용강의 공급을 조절하는 과정에서 상부(Top Nozzle) 및 하부 노즐(Lower Nozzle)은 래들 및 턴디쉬로부터 용강류의 원활한 유입과 플레이트로부터 용강류 배출을 용이하게 하는 덕트(duct)의 역할을 하며, 플레이트는 용강류의 흐름을 조업 조건과 상황에 맞게 조절을 하는 밸브(valve) 역할을 하는 내화물이다. 상부 및 하부 노즐 그리고 플레이트의 구성을 Fig. 2 에서 나타내었다.

2.1.1 슬라이딩 게이트용 플레이트

2.1.1.1 슬라이딩 게이트용 플레이트의 적용

용강의 유량제어 있어서 과거에는 노즐, 스토퍼에 의한 방법이 주류를 이루었다. 그러나, 래들 내의 정련이나 연속 주조의 채움에 의해 래들 수강온도가 높고 래들 내의 용강 체류 시간이 길어지게 됨과 동시에 턴디쉬의 연속 주조 수(이하 연주수)의 증가 등 조업조건이 가혹

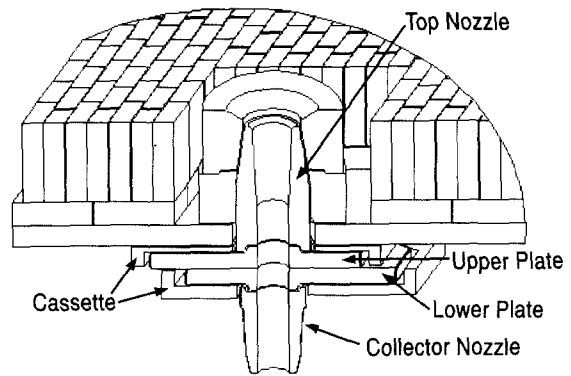


Fig. 2. SN 연주용 내화물의 구성.

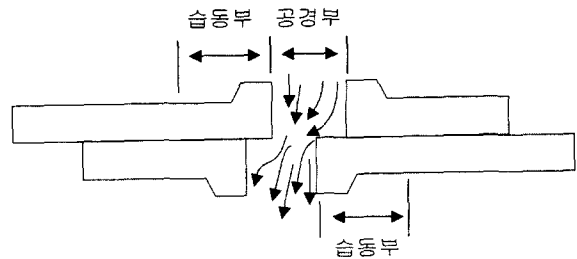


Fig. 3. 슬라이딩 게이트 플레이트 모식도.

화 조건에 대응하지 못하였으나 1960년대 후반에 피치 함침을 한 알루미늄 실리카계(이하 $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ 계)의 플레이트 벽돌이 개발되어 슬라이딩 게이트 시스템이 실용화되었다. 현재는 이 시스템이 거의 대부분의 제철소에서 사용되어지고 있다.

2.1.2 상부 및 하부 노즐

2.1.2.1 상부 및 하부 노즐의 적용

연속 주조 공정의 과정에서 용강의 유체가 가장 먼저 통과하여야 하는 상부 노즐과, 용강이 플레이트에서부터 CCN 연주용 내화물로 연결되어 흐르는 과정에서 실링(Sealing) 및 이음의 역할을 하는 하부 노즐은 내 스프링성 및 내 용손성을 갖추어야 한다. 조업의 조건에 부합된 재질의 선정을 위해서는 내 스프링성이 확보된 범위 내에서 내 용손성을 조절할 수 있다. 상·하부 노즐이 갖추어야 하는 특성은 아래와 같다.

- 특수 결합을 적용함으로써 상온 및 열간 강도가 높다.

- 내 스폴링성이 우수하다.
- 내식성이 우수하다.

2.1.2.2 상부 및 하부 노즐의 제조 공정

Fig. 2와 Fig. 3에서 나타내듯이 플레이트는 용강의 유량제어를 직접 진행하는 부품 내화물이기 때문에 주입 개시 시의 열충격에 대한 내 열충격성, 주입 중의 용강류에 의한 마모 및 화학적 침식에 대한 내식성 등이 요구된다. 이 요구에 대해서 $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ 계가 개발되어 보급되었지만, 그 후 강품질의 고급화, 제조 코스트의 삭감 등에 관한 요구조건이 매우 커져서 $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ 계 보다 특성이 우수한 $Al_2O_3 \cdot C$ 계가 주로 사용되어지게 되었다. 또한 작업 환경의 개선을 위해서 플레이트 작업 시 무 발연성의 제품이 개발되어 널리 사용되고 있다.

$Al_2O_3 \cdot C$ 계는 내식성과 내 열충격성이 향상된 특성을 갖고 있는데 이는 C(Graphite 및 Carbon)계가, 결정구조적인 측면에서 고려해 볼 때, 외부로부터 가해지는 기계적 및 열적인 응력을 잘 흡수하며, 더불어 화학적으로는 강과의 젖음성(Wettability)이 낮아 용강이 내화물 내로의 침투를 최소화 할 수 있다. 그러나 대기 중 또는 강 중의 산소에 의해 C계는 쉽게 산화되는 약점을 가지고 있기 때문에 산화의 억제나 방지를 위해서 조직의 개선과 함께 여러 가지 산화방지제를 첨가함으로써 보완을 한다. 또한 제조 과정 중, 원료단계에서 카본을 첨가할 뿐만 아니라, 소성 공정 후 Tar등의 탄소원(Carbon Source)을 제품 내에 함침(Impregnation)함으로써 제품

내에서의 C계 충전에 의해 제품의 질을 향상시켰다.

플레이트에 요구되어지는 특성은 아래와 같다.

- 용강 및 slag에 대한 내식성
- 내 열충격성
- 용강이 부착하기 어렵고 쉽게 떨어질 것
- 정밀한 치수 및 슬라이딩(Sliding)면의 평활도 유지

2.1.1.2 플레이트의 종류

플레이트에는 래들용과 턴디쉬용 2종류가 있으며 각각의 사용조건이 다르기 때문에 요구특성도 달라진다. 래들용 플레이트에서는 전로에서 래들에 용강을 수강하여 턴디쉬에 주입하는 주조 공정에 적용되며, 주조 공정 후 래들 내의 잔탕이나 slag 등을 배제한 후 플레이트를 산세(Oxygen Cleansing)함으로써 청소하는 등의 공정들을 포함하기 때문에 온도의 up-down에 대한 내 열충격성이 요구되는 재질이다. 이에 비해 턴디쉬용 플레이트는 고온에서 장시간 연속적으로 사용하는 제품이기 때문에 사용 중 온도 변화가 적어 내 열충격성은 크게 요구되지 않지만 내식성이 높은 재질이 요구된다. 일반적으로 저 실리카저 카본 함유재질이 내식성은 좋고, 내 열충격성이 낮은 것은 알려진 바이다. 내식성 및 내 열충격성은 상반되는 특성이 있기 때문에 양자를 완전히 만족시키는 것은 어렵지만, 타 원료에 비해 열팽창이 적은 실리카계 원료 및 열전도율이 큰 카본계 원료의 사용량을 조정하여 용도 및 사용조건에 맞게 조합하여 사용한다.

Table 1. SN 연주용 내화물의 제품 종류에 따른 물성

사용조건		플레이트		
		턴디쉬용	중공경	래들용
공경		소공경	중공경	대공경
화학성분(%)	Al2O3	75~90	70~80	65~75
	SiO2	0~3	1~5	1~6
	ZrO2	0~12	0~12	6~12
	F.C.	3~12	5~12	8~15
부피 비중(g/cm)		3.0~3.3	3.0~3.3	2.9~3.2
겉보기 기공율(Vol. %)		~8	~5	~5
압축강도(MPa)		~20	~25	~25
열팽창율(%) at 1,500°C		~1.3	~1.0	~1.0
내열충격성		저 → 중 → 고		
내식성		고 ← 중 ← 저		

2.1.1.3 플레이트 제조 공정

Al₂O₃·C계 플레이트는 알루미늄, 지르코니아, 몰라이트, 흑연, 피치 등을 배합하며, 배합물 내의 결합재로서의 수지를 적당량 첨가한 후 혼련, 성형, 건조, 소성하여 제조하는 것이 일반적이다.

혼련·성형방법에 있어서 피치 등의 카본 원을 첨가해서 가열혼련, 열간성형하는 방법에 의해 저기공율, 고강도가 얻어지지만 설비 상, 작업환경 상의 많은 문제점을 야기할 수 있다. 일반적인 혼련 및 성형 공정은 대부분은 페늘수지를 이용하여 상온에서 진행한다.

소성과정에서 제품 내에 함유된 카본의 산화를 방지하기 위해서는 소성 중에 제품을 대기로부터 차단하여야 하며, 또한 성형 및 건조 공정 후의 제품을 적재할 시에 코크스를 충전시킴으로서 대기 중의 산소 성분과 접촉되지 않게 함과 동시에 비산화분위기에서 소성한다. 소성온도는 일반적으로 800~1400°C 영역이다.

그러나 최근에는 조업 과정 중에서 탄화물 및 질화물의 생성과 동시에, 질화물에서 탄화물로의 변화를 이용함으로써 탄소의 산화방지 및 강도의 증가에 기여시키는 것을 목적으로하여 첨가제로서는 금속원료를 첨가하

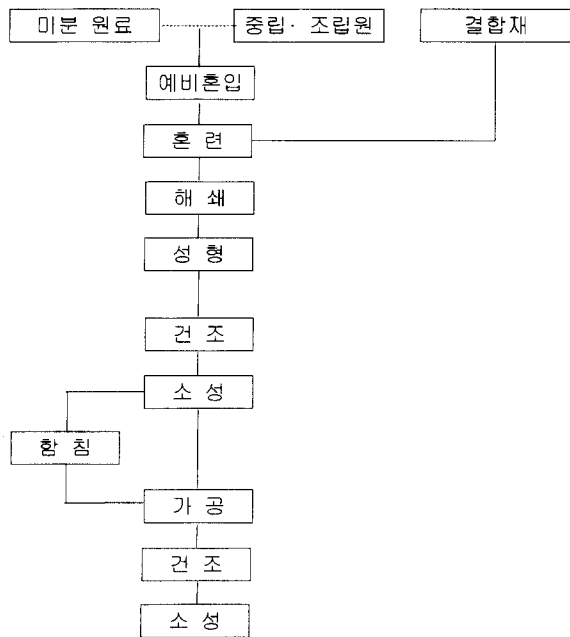


Fig. 4. SN 연주용 내화물의 제조 공정도.

며 저온에서 소성하여 제조가능한 제품들이 개발되었다. 플레이트의 제조 공정은 Fig. 4 에서 나타내었다.

2.1.2 상부 및 하부 노즐

2.1.2.1 상부 및 하부 노즐의 적용

연속 주조 공정의 과정에서 용강의 유체가 가장 먼저 통과하여야 하는 상부 노즐과, 용강이 플레이트에서부터 CCN 연주용 내화물로 연결되어 흐르는 과정에서 실링(Sealing) 및 이음의 역할을 하는 하부 노즐은 내 스프링성 및 내 용손성을 갖추어야 한다. 조업의 조건에 부합된 재질의 선정을 위해서는 내 스프링성이 확보된 범위 내에서 내 용손성을 조절할 수 있다. 상·하부 노즐이 갖추어야 하는 특성은 아래와 같다.

- 특수 결합을 적용함으로써 상온 및 열간 강도가 높다.
- 내 스프링성이 우수하다.
- 내식성이 우수하다.

2.1.2.2 상부 및 하부 노즐의 제조 공정

상부 및 하부 노즐의 제조 공정은 일반 소성 공정에 의한 제조와는 달리 결합제의 경화를 이용한 특수 결합에 의한 강도를 발현을 내는 공정으로 제조한다. 즉, 기존의 제품에서 소성 과정 중 소결 결합(Sintering Bonding)에 의한 제품의 강도 및 물성을 확보하는 것과 달리 일정 온도영역에서 결합제와 원료간의 반응에 의해 제품의 강도 및 물성을 발현하는 불소성의 공정에 따라 제조한다. 상부 노즐 및 하부 노즐의 제조 공정은 Fig. 5 에서 나타내고 있다.

2.2 CCN 연주용 내화물

제강조업의 다연주화 및 고급강 생산 추세에 부응하는 고수명 연주내화물이 요구됨에 따라 강품질의 중요한 역할을 담당하고 있는 연주내화물의 개선 개발이 주요 과제가 되고 있다. 특히 CCN 연주용 내화물은 래들 및 턴디쉬에서의 용강류의 흐름을 턴디쉬나 볼드어로 직접적으로 연결을 시켜주는 노즐 형태의 내화물로서 용강의 산화방지 및 유체의 흐름을 원활하게 하는 등의 역할을 하며 사용 중에 발생하는 Trouble은 제강조업 전체에 큰 손상(Damage)을 입힐 수 있다. 따라서, 적용

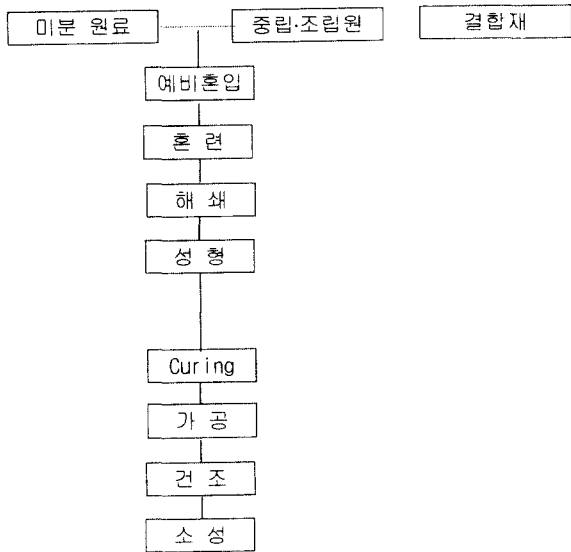


Fig. 5. 상부 노즐 및 하부 노즐 내화물의 제조 공정도.

시의 제품 관리 및 제조 시의 품질관리가 철저히 요구되며 제품 자체의 높은 신뢰성을 갖지 않으면 안 된다. 한편, 스토퍼는 플레이트와 더불어 턴디쉬의 용강 유량을 조절하는 부품 내화물로서 유량제어의 신뢰성, 턴디쉬 slag의 혼입방지를 위해서 단독 또는 병행 사용되고 있다. 스토퍼는 내식성, 내 열충격성, 내마모성이 요구되기 때문에 스토퍼 Head 부분과 그와 접촉되는 침지 노즐 접촉부의 재질을 별도로 설계하여 사용되는 경우가 많다.

2.2.1 CCN 연주용 내화물의 적용

래들용 SN 연주용 내화물을 통해서 래들로부터 공급된 용강은 쉬라우드 노즐을 통과하여 턴디쉬로 운반된다. 쉬라우드 노즐은 래들의 SN 연주용 내화물에서부터 턴디쉬로 용강을 운반하는 과정에서 용강의 산화방지 및 용강류 흐름을 보호하는 역할을 한다. 쉬라우드 노즐은 상대적으로 높은 온도(래들의 용강 온도 : 1,570~1,630°C, 턴디쉬의 용강온도는 1,500~1,550°C)의 용강을 운반하는 노즐형 내화물로서 용강류에 의한 용손이나 균열(Crack)에 의한 절손에 대해 높은 저항성을 지닌 재질 및 형상이 요구된다.

침지 노즐은 쉬라우드 노즐과 유사한 형태의 노즐형 내화물로서 턴디쉬 SN 연주용 내화물을 통해 흘러 내려오는 용강을 몰드 용탕내로 유입시키는 역할을 하며 연

주 조업의 최종 공정에서 사용되는 연주용 내화물로 분류된다. 한편, 침지 노즐로부터 용강이 배출될 때에 쉬라우드 노즐의 경우보다 다소 안정된 용탕 상태가 요구되므로 용탕 계면(slag line) 직 하부에 적절한 각도를 유지한 토출구가 조성되어 쉬라우드 노즐과는 달리 침지 노즐은 토출구를 통하여 용강이 배출된다. 또한 몰드의 용탕 계면(Slag Line)부에는 몰드 조업을 용이하게 하고 자함과 동시에 강의 청정화를 위하여 염기도(CaO/SiO₂)가 높은 몰드 powder를 다량 투여한다. 따라서, 침지 노즐에서는 노즐 대부분을 차지하는 몸통부 재질이 Al₂O₃·C(AG)계의 재질인데 반하여 용탕계면과 접한 부위에서는 ZrO₂·C(ZG)계의 재질을 국부적으로 적용한다.

플레이트와 더불어 턴디쉬의 용강 유량을 조절에 적용되는 스토퍼는 플레이트와는 달리 노즐부위와의 실링(Sealing)성이 양호하며 주조 말기에 발생하는 Voltex(용탕 회오리 현상)이 발생하지 않는다. 따라서, 안정된 주변품질이나 고정정강 제조에 주로 사용되는 부품 내화물이다.

Fig. 6 에서는 CCN 연주용 내화물의 개괄도를 나타내었다.

2.2.2 CCN 연주용 내화물의 재질 특성 및 조건

쉬라우드 노즐 및 침지 노즐은 연조 조업에 있어서 우

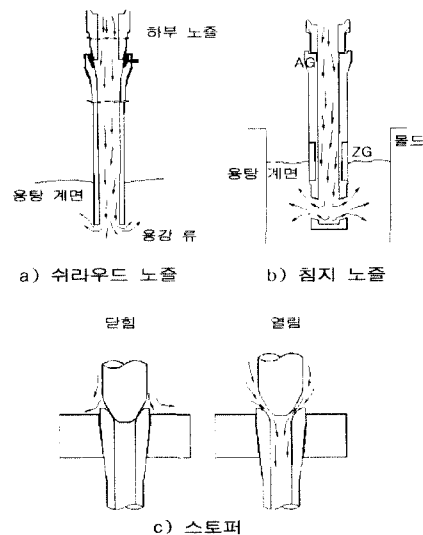


Fig. 6. CCN 연주용 내화물의 개괄도.

수한 품질의 강을 생산하기 위해 중요한 역할을 담당하고 있다. 이들 제품의 사용상 Trouble은 매우 중요하며 특히 피해가 큰 것은 용강을 받을 때의 온도와 노즐 본체온도와와의 차에 의해서 발생하는 응력에 의해서 깨지는 것이며 사고가 발생하면 즉시 조업이 중지된다. 따라서 이들 노즐 재질에서 가장 요구되어지는 특성은 높은 내 열충격성이다. 다음으로는 내식성에 관한 특성으로서 용강 및 slag에 대한 화학적으로 안정할 것, 용강에 잘 젖지 않을 것, 용강의 침투, 부착이 없을 것, 물리적 마모에 강할 것 등이 요구된다.

연속 주조기술이 도입될 당시 쉬라우드 노즐이나 침지노즐 재질의 주류는 용융실리카질이었다. 그 후 연연 준비의 향상, 연속 주조대상 강종의 다양화에 따른 노즐의 고수명화를 위해서 새로운 재질로서 $Al_2O_3 \cdot C(AG)$ 질이 개발되었다. 또한 용강의 산화 방지 및 몰드와 윤활을 주목적으로 사용되는 몰드 powder와 접촉하는 부위는 $ZrO_2 \cdot C(ZG)$ 질을 적용함으로써 다양한 강종이나 조업조건에 대응하게 되었다.

그러나 CCN 연주용 내화물은 C계를 다량 포함함에 따라 조업 상에서 다음과 같은 문제점이 대두될 수 있다. ㉔ CCN 연주용 내화물이 다량을 흑연을 함유하기 때문에 450°C 전후부터 산화가 진행된다. ㉕ 일반적으로 내열충격성이 우수한 재질이지만 1500°C이상의 용강을 받기 위해서는 800~1200°C정도의 예열이 필요하다. 이에 대한 해결책으로서, ㉔에 대해서는 노즐 내 외부에 산

화방지재를 코팅하여 산화에 대한 문제점을 극복하였다. ㉕의 경우에는, 일반적으로 쉬라우드 노즐은 텀디쉬를 예열할 때 동시에 예열하는 경우가 많다. 침지 노즐은 텀디쉬 예열 시의 열을 이용하는 방법과 침지 노즐 전용의 예열로를 사용하는 방법 등이 행해지고 있다. 그러나 최근에 텀디쉬 조업에 도입된 장시간 연속 사용 및 열간 재사용 조업에서는, 텀디쉬의 예열을 이용하여 쉬라우드 노즐을 예열하는 것이 조업 상 곤란하게 되어 무예열로 사용가능한 재질의 개발이 필요하게 되었다.

CCN연주용 내화물의 구비 조건은 다음과 같다.

- 사용중 내 스펀링(Spilling)성이 우수할 것
- 용강 및 slag, 몰드 powder 등에 대한 내식성이 우수할 것
- 용강류에 의한 마모 용손에 견딜 것
- 노즐에 부착물의 부착(Clogging) 현상이 적을 것
- 열간 강도가 높을 것

2.2.3 CCN 연주용 내화물의 제조 공정

쉬라우드 노즐 및 침지 노즐용 $Al_2O_3 \cdot C$ 질 제품에서는 알루미늄, 흑연, 용융실리카와 그 외에 원료의 결합체로서 분말상 또는 액상의 타르피치, 페놀수지 등을 적당량 첨가한 후 혼련, 성형, 소성공정을 거쳐서 제조한다. 우수한 특성을 갖는 제품을 제조하기 위해서는 먼저, 혼련 과정 중 각종 원료를 균일하게 분산시키고 결합체

Table 2. CCN 연주용 내화물의 제품 물성

		침지노즐 본체부 쉬라우드 노즐 S/L부 등	침지노즐 본체부 쉬라우드 노즐 본체부 등	침지노즐본체부 무예열쉬라우드 노즐본체부 등
대응 강종		고산소강	보통강	보통강
화학성분	Al_2O_3	45~70	40~60	35~45
	SiO_2	~10	10~20	20~30
	ZrO_2	~10	~10	~5
	C + SiC	20~35	20~30	25~35
부피비중(g/cm ³)		3.0~3.3	3.0~3.3	2.9~3.2
겉보기 기공율(Vol.%)		13~19	13~19	13~19
압축강도(MPa)		~15	~15	~15
열팽창율(%) at 1,000°C		~0.5	~0.5	~0.5
내열충격성			저 → 중 → 고	
내식성			고 ← 중 ← 저	

와의 혼합이 잘 이루어 질 수 있도록 갖추어진 혼련 설비를 사용하는 것이 필수적인 사항이다. 특히 인상흑연은 결합체에 대해서 잘 젖지 않기 때문에 혼련 시 결합재가 충분히 퍼지는지를 확인할 필요가 있다. 쉬라우드 노즐 및 침지 노즐은 원통형의 긴 형상이기 때문에 성형에는 이런 형상이라도 균일한 물성치를 얻을 수 있는 C.I.P.(Cold Isostatic Press)가 사용된다.

소성 과정 중에서 제품 내에 함유된 흑연이 산화되는 현상을 방지하기 위해서 제품을 비산화성 분위기 하에서 소성한다. 소성공정에서는 결합재로 첨가한 페놀 수지 등이 탄화되어 카본결합이 형성되어 제품의 특성에 영향을 주지만, 무엇보다도 분위기, 승온속도, 유지시간 등의 조건이 제품의 강도, 열팽창율 등의 물리적 특성치에 결정적인 영향을 미친다고 볼 수 있다. 제품의 검사에 있어서는 일반적으로 X선에 의한 비파괴 내부검사를 하고 있다. 일반적으로 제조공정은 Fig. 7 과 같다.

3. 연속 주조용 내화물의 손모 기구

내화물이나 사용 로의 종류에 따라 내화물의 손모 현상은 크게 영향을 받으며, 사용 조건에 따른 손상 또한 다양하게 발생한다. 연속 주조(이하 연주) 조업의 온도가 상승함에 따라 용강에 의한 내화물 손상은 증가하며,

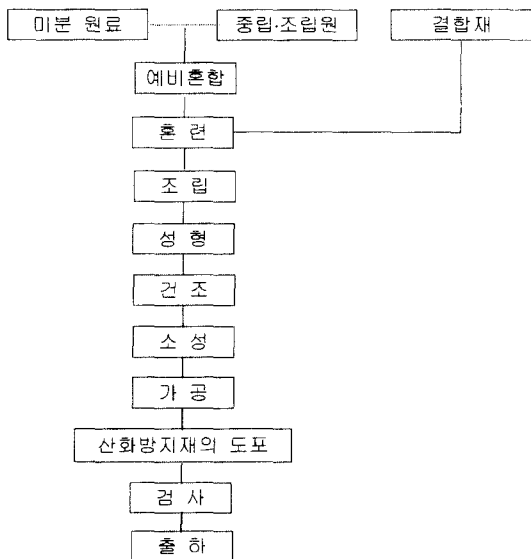


Fig. 7. CCN 연주용 내화물의 제조 공정도.

더욱이 연주 조업을 통하여 제조하고자 하는 강종에 따른 내화물의 손상은 극명한 차이가 있으므로 강종에 따른 내화물의 선택 및 개선은 연주 조업에서 중요한 요소로 작용을 한다. 또한, 연주 조업에서 조업 패턴(Pattern)에 맞추어서 주조 속도를 조절할 때 용강 유체 유속 증가에 따른 내화물의 손상은 피할 수 없는 것이다. 내화물 손상에 기여하는 그 외 다른 여러 인자들 중, 제강 조업에 사용되는 slag(CaO · SiO₂) 성분에서 오는 내화물의 이상 손상 또한 흔히 볼 수 있는 현상이다.

내화물의 손모 특성은 그 적용 조건에서 기타 다른 세라믹 재료와는 다소 차이가 있다. 일반적으로 내화물 제품들은 그 조업 과정이 고온(1,450~1,700°C)에서 진행되어지며, 높은 하중을 받음과 동시에 용강류에 직접적으로 노출되어 있다. 더욱이, 연주용 내화물의 경우 고속 연주 조업이 진행되어지는 공정에 적용되어지는 내화물로서 그 손모특성에 대한 평가가 한층 더 중요하게 인식되어진다.

내화물의 손모 종류는 아래의 사항들로 분류할 수 있다.

A. 마모(Abrasion)

B. 스포링(Spalling)

- ① 열적 스포링(Thermal Spalling)
- ② 구조적 스포링(Structural Spalling)
- ③ 기계적 스포링(Mechanical Spalling)

C. 침식(Erosion)

- ① 용해(Solution)에 의한 침식
- ② 반응(Reaction)에 의한 침식
- ③ 침투(Infiltration)에 의한 침식

3.1 내화물 손모 기구의 종류

3.1.1 마모(Abrasion)

마모는 기계적 마찰에 의해 닳는 현상으로서 내화물에서는 장입 공정 중이나 고온 기체(Gas)중의 분체에 의해 발생한다. 마모 저항성은 외부의 응력과 비례하며, 이는 제품 재질의 곡강도와는 비례적임을 알 수 있다. 마모의 지수를 측정하는 시험 방법

으로서는 회전 원반 시험(Rattling Disk Test)과 충돌 마모(Sand Blast Test) 두 가지 방법이 있다.

3.1.2 스펠링(Spalling)

고체 내부에서 발생된 응력에 의해 균열이 발생되어 종국에는 박락을 일으키는 현상을 스펠링(Spalling)이라 한다.

① 열적 스펠링(Thermal Spalling)

금속과 비교하여 세라믹 재료는 열전도율이 상대적으로 크게 낮다. 이러한 낮은 열전도율을 갖는 내화물에서 외부의 용강과 접하는 경우 낮은 열전도율에 의해 표면과 내부는 큰 온도 구배가 발생한다. 이러한 온도구배는 내화물 내의 열응력을 유발시켜 궁극적으로 스펠링을 쉽게 발생시킨다.

② 구조적 스펠링(Structural Spalling)

조업을 진행하는 과정 중에서 내화물과 유체와의 접촉 내지는 가동의 과정에서 내화물의 조직 변질에 따른 응력 생성에 의해 구조적 스펠링이 발생한다. 이러한 현상은 균열이나 박락과 같은 층상의 형태로 주로 나타나며, 그 발생의 이면에는 내화물재의 표면에 과열에 따른 소결층 생성이나 과 침식층의 생성이 그 원인으로 추정될 수 있다.

③ 기계적 스펠링(Mechanical Spalling)

움직이는 구조체에서나 고정된 내화물의 일부 부위에서 용강 유체 압력이나 기타의 외압에 의해 응력이 한 부분에 집중됨으로서 발생하는 스펠링을 말한다. 기계적 스펠링은 재질의 취약성 보다는 설계상의 문제점에 의해 발생하는 경우가 많다.

3.1.3 침식(Erosion)

① 용해(Solution)에 의한 침식

상태도 상에서 고려했을 때 내화물의 성분인 산화물과 용강이 저융물을 생성시키는 반응이 진행됨에 따라 발생하는 내화물의 침식 현상이다.

② 반응(Reaction)에 의한 침식

다른 물질과의 반응과 동일하게 내화물에서도 고상간, 고상-액상, 고상-기상 간의 반응이 있다. 고상간의 반응은 물질이 고체내의 계면(Grain Boundary), 입내(Intra-

granular), 결함(Defects)등의 통로(Path)를 통하여 확산되어가는 현상으로서 고상간의 반응을 통한 침식은 반응에 걸리는 시간이 길므로 내화물에서는 통상 고려하지 않는 침식반응이다. 그러나, 내화물과 용강 유체간의 반응이 일반적인 현상임을 볼 때 고상-액상 및 고상-기상의 침식 반응이 내화물에서는 주된 고려사항이라 볼 수 있다.

③ 침투(Infiltration)에 의한 침식

내화물내에는 상당량의 기공이 존재하기 때문에 용강과 접촉한 부위에서 용강이 내부로 침투를 한다. 이러한 침투에 의한 침식은 모세관 현상(Capillary Force), 계면에너지(Surface Energy), 접촉성(Wettability)등에 따라 설명되어진다.

3.2 SN 연주용 내화물의 손모 양상 및 대책

3.2.1 플레이트의 손모

- ① 크랙
- ② 떨어져 나감
- ③ 박리
- ④ 확대 및 용손
- ⑤ 황폐화
- ⑥ 용강 침투

연주 조업 과정에서 플레이트는 조업에 패턴에 결정적인 영향을 미치는 내화물 중의 하나이며, 제품 사용과정 중에서 수명과 밀접적인 관련이 있는 손모의 양상에 대해서 깊은 이해가 필요하다. 플레이트의 손모 양상의

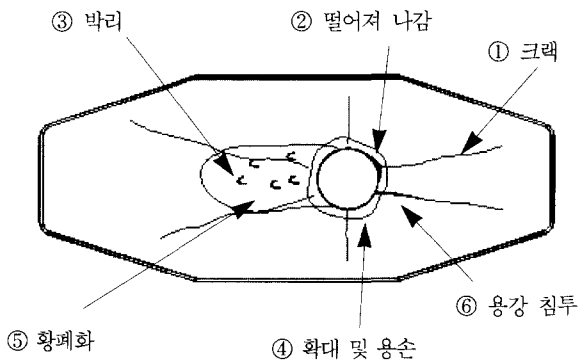


Fig. 8. 플레이트의 손모 양상.

종류를 Fig. 8 에서 나타내고 있다.

<현상에 대한 개요>

- ① 용강 유체와 직접적으로 접하는 공경 부위에서의 크랙(Crack) 발생
- ② 공경의 끝단(Edge)부의 떨어져 나감(Break-away)
- ③ 상·하부 플레이트에서 공경이 가동되는 습동면(Operational Area) 표면부가 일어남(박리: Peeling)
- ④ 공경 크기의 확대 및 용손(Erosion)
- ⑤ 습동면부의 황폐화(Devastation)
- ⑥ 용강의 침투(Infiltration)

Fig. 8 에서 설명된 플레이트 손모 양상은 특정한 한 원인에 의해 발생할 수도 있으나 대부분 복합적인 원인에 의해 발생하는 경우가 많다. Fig. 8 에서 나타낸 손모의 원인들을 정리하면 아래와 같다.

- 가. ①,②,③: 용강에 의한 급속 가열 및 초기 연주 조업이 시작할 때 플레이트 개공 시의 열충격
- 나. ④,⑤: 용강 내에 포함되어 있는 slag에 의한 화학적 침식이나 용강류의 마모
- 다. ⑤: 연주 조업 과정 중 연속 가열에 의한 균열(Crack) 발달 및 조직의 변화
- 라. ⑤,⑥: 용강에 대한 젖음성

위에서 정리하였듯이 연주 조업과정 중 발생하는 다양한 플레이트의 손모 양상들이 복합적인 원인에 기인하여 발생함을 알 수 있다. 한편, 이러한 손모의 양상들이 조업과정 중 심화되는 경우 조업 사고에까지 미친다. 따라서, 제품의 적용 과정 중 반복적으로 발생하는 손모 양상이거나 반복적인 손모의 현상이 아니더라도 손모의 정도가 위험한 수위라 판단되어질 경우 손모의 원인에 근거하여 대책 및 개선을 수립하여야한다. 대책 수립의 내용으로서,

가의 경우, 열충격에 의한 손모 현상이 발생한 경우로서 내 스프링성을 개선하기 위해서는 입도구성 조절에 의한 조직 개선과 더불어 팽창을 향상의 방향으로 배합을 조정, 개선한다.

나의 경우, 용강이나 slag에 의한 화학적 침식 및 용강 유체에 의한 물리적 침식에 의해 발생한 손모의 양상으

로서, 강종에 적합한 적정 화학조성을 선택함으로써 화학적 내 침식성을 향상시키며 물리적으로는 조직을 치밀하게 구성함으로써 물리적 내 침식성이나 내마모성을 향상시킨다.

다의 경우, 정상적으로 조업진행한 후의 플레이트에서 관찰되는 일반적인 현상이지만, 균열(Crack)의 과도한 성장이나 조직의 변질층이 두드러진 경우에는 제품의 팽창을 조절에 따른 내 스프링성 및 내 산화제 첨가에 따라 내 산화성을 개선한다.

라의 경우, 상대적으로 취약한 조직 내부로나 화학적으로 용강과 젖음성이 상대적으로 높은 부위로의 용강이 침투한 상황으로서, Tar 함침을 개선하는 등, 조직내의 기공을 최소화함으로써 용강의 침투를 저지시키고 동시에 강도를 보강함으로써 조업 중에 플레이트 재질 자체의 열화에 의한 용강의 침투 가능성을 최소화 할 수 있다.

이상과 같이 플레이트에서 발생할 수 있는 여러 손모 양상에 대한 원인과 그에 따른 대책을 열거하였다. 그러나, 한 문제점에 대한 극단적인 조치는 부가적인 다른 문제점을 초래할 수 있기에 특정 조업에 적용되는 플레이트 재질에 대해서 요구되는 물성치나 특성치를 고수하는 범위에서 문제점에 대한 개선 및 대책을 진행하는 것이 중요하다.

3.2.2 상·하부 노즐의 손모

상·하부 노즐의 손모 양상은 플레이트의 그것과는 다소 다르다. 플레이트는 금속재 구조물인 메카에 구속되어 구동을 하면서 용강류와 직접적으로 접촉된 상태에서 적용됨에 비하여 상부노즐은 Well block에 삽입 및 고정되어, 하부 노즐은 CCN 연주용 내화물에 연결, 고착하여 각각 사용한다. 상·하부 노즐의 손모 양상은 크게 균열(Crack)과 용손 두 가지의 형태로 주로 나타난다. 그 원인으로서의 형상 불균형, 산소 세척의 과정에서의 불확실성 그리고 가장 크게는 모르타르(Mortar)로 셋팅을 하는 과정에서 실링(Sealing)성 등을 들 수 있다. 상·하부 노즐의 개선에 있어서는 재질적인 측면보다도 형상에 따른 개선이 많이 이루어지고 있고 무엇보다도 모르타르 작업성 개선을 통한 실링(Sealing)성 개선을

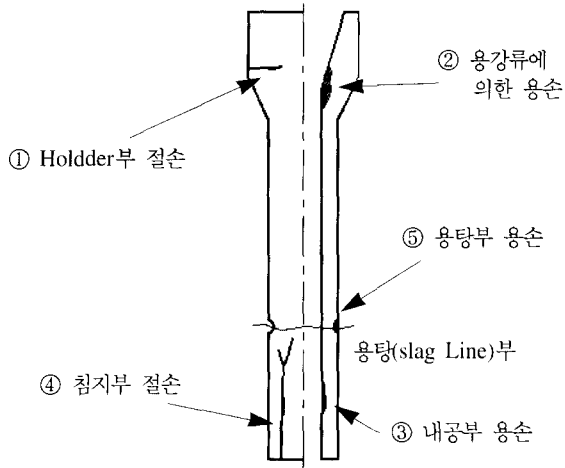


Fig. 9. 쉬라우드 노즐의 손모 양상.

중요시하고 있다.

3.3 CCN 연주용 내화물의 손모 양상 및 대책

3.3.1 쉬라우드 노즐의 손모

쉬라우드 노즐은 래들의 SN 연주용 내화물로부터 유입된 용강을 턴디쉬로 유입하는 노즐형 내화물로서 용강온도의 보호와 산화방지의 역할을 한다. 쉬라우드 노즐의 손모의 양상은 Fig. 9 와 같다.

< 현상에 대한 개요 >

- ① Holder부위 절손
- ② 용강류의 부딪침에 의한 용손
- ③ 침지 내공부 용손
- ④ 침지부 절손
- ⑤ 용탕(Slag Line)부 용손

Fig. 9 에서 설명된 쉬라우드 노즐의 손모 발생은 제강 조업에 큰 영향을 미치므로 손모 원인에 대한 평가와 그와 따른 제조 공정 변수들을 파악하여 개선하는 것이 급선무라 하겠다. Fig. 9 에서 나타낸 손모의 원인들을 정리하면 아래와 같다.

- 가. ① : 기계적 및 열적 충격 내지는 Holder로 노즐을 기울이거나 운반할 때 발생하는 응력
- 나. ② : 실링(Sealing)성이 불량하여 발생한 용강의

편류나 생성된 균열(Crack)을 통해 유입된 공기에 의한 용손

다. ③ : 용강류의 낙하 시 용강에 의해 열화된 노즐 재질의 마모

라. ④ : 상대적으로 취약한 부위나 두께나 밀도등의 편차에 의해 발생한 응력

위에서 언급된 쉬라우드 노즐의 손모 양상은 상부에서부터 하부 전반에 걸쳐 발생하는 용손이나 크랙에 의한 절손으로 나누어지며 이에 대한 대책으로서는 모르타르 작업의 개선, 예열조건 준수 그리고 제조 과정 중에서의 배토물 관리나 성형 방법의 개선 등을 예로 들 수 있다.

3.3.2 침지 노즐의 손모

침지 노즐은 턴디쉬 SN 연주용 내화물로부터 유입된 용강을 몰드로 유입하는 쉬라우드 노즐과 유사한 형태의 노즐형 내화물로서 침지 노즐의 손모 양상은 Fig. 10 과 같다.

Fig. 1에서 설명된 침지 노즐의 손모 발생은 쉬라우드 노즐과 유사한 손모의 양상들을 나타내지만 강 품질의 관리를 위하여 몰드 powder등을 적용하는 가혹한 조업 이기에 그에 따른 손모의 양상들이 두드러지게 나타난다. Fig.10 에서 나타낸 손모의 원인들을 정리하면 아래와 같다.

가. ① : 용탕부에서 미세 crack을 통하여 침투한 분순물들과의 반응 및 열팽창

나. ② : ZG부의 위치가 불량하여 AG가 노출되거나 ZG부의 두께편차에 의해 두께가 얇은 부위에서 AG노출

다. ③ : 예열 시간이 길어서 산화되거나 재질상 용강류의 의해 쉽게 씻겨져 나가는 성분이 많이 함유되었을 때, 또는 강종이 조직의 열화를 가속화 시키는 성분일 때

라. ④ : 용강내의 Al성분이 조직내의 산화물과 반응하여 Al₂O₃가 생성 및 성장하여 노즐의 토출구를 막음

< 현상에 대한 개요 >

- ① 스폐링(Spalling)

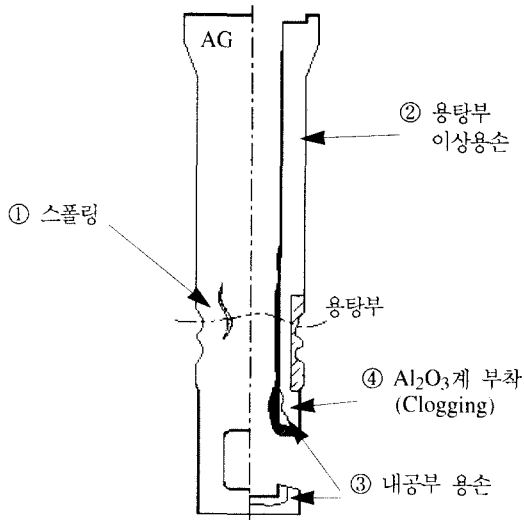


Fig. 10. 침지 노즐의 손모 양상.

- ② 용탕부의 이상 용손
- ③ 침지 내공부의 용손

위에선 언급된 침지 노즐의 손모 양상은 쉬라우드 노즐의 그것과 유사한 양상을 나타내지만, 염기도 (CaO/SiO₂)가 높은 몰드 powder를 적용함에 따른 손모의 요인들이 주요하게 나타남을 알 수 있다. 침지 노즐에서의 손모 원인들에 대한 대책으로는 예열온도를 적정화함과 동시에, ZG부에서의 치수 및 성분관리 그리고 토출부에서 발생하는 Al₂O₃ 성분의 부착(Clogging)발생을 최소화하기 위한 재질의 검토가 요구되어진다.

3.3.3 스톱퍼(Stopper)의 손모

스톱퍼는 SN 연주용 내화물과 더불어 텀디쉬에서 용강류의 제어에 사용되어지고 있다. Fig. 11 에서는 스톱퍼의 손모 양상을 보여주고 있다.

< 현상에 대한 개요 >

- ① Holder부위 절손
- ② 용탕(Slag Line)부의 용손

Fig. 11 에서는 스톱퍼의 용손 양상에 대해 설명을 하고 있다. 스톱퍼의 경우는 침식에 의한 용손이 그 손모 양상의 주를 이루고 있다. 따라서 그 용손의 원인은 재질적인 면이 가장 우세한 것으로 판단되며, 연주 공정에

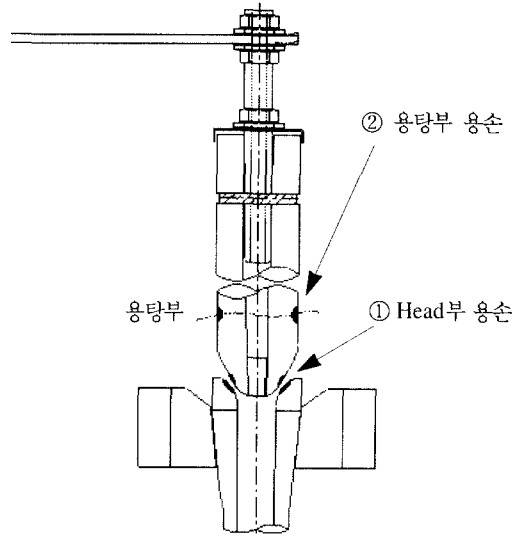


Fig. 11. 스톱퍼의 손모 양상.

서 적용되는 강종의 종류나 기타 요구특성에 따라 재질을 변경함으로써 개선할 수 있다.

4. 결 론

최근의 내화물의 연구에 있어서나 특히 출원의 빈도수로 보더라도 연속 주조용 내화물이 차지하고 있는 부분이 반을 훨씬 넘고 있다. 일반 정형 내화물이나 부정형 내화물의 경우에는 거의 가격 경쟁력을 높이는 면에만 주력되고 있으나 연속 주조용 내화물은 아직도 재질적인 면의 연구 개발이 계속되고 있다. 지금까지는 재질의 주종이 카본 성분을 이용한 알루미늄-카본, 마그네시아-카본, 알루미늄-스피넬-카본, 지르코니아-카본, 알루미늄-지르코니아-카본 그리고 카본의 산화 방지를 위한 연구 등이 주로 연구되어 왔다. 산화물-카본계의 연구가 이제는 거의 포화에 이른 상태에서 이를 극복하기 위해 비산화물계의 연구가 되어 지고 있다. 그러나 원료 가격적인 면과 생산 공정의 다른 공정 채용이 연구의 큰 부담으로 남아 있다. 그러나 내화물 업계에서 외국의 유수한 업체와 경쟁하기 위해서는 연속주조용 내화물을 연구하지 않으면 안된다.