

턴디쉬용 코팅재에 의한 강중 개재물 저감효과

조문규 · 이석근

포항산업과학연구원 소재연구부문 내화재료연구팀
(1997년 12월 5일 접수)

The Removal of Inclusions in Molten Steel by Coating Materials for Tundish

Mun-Kyu Cho and Seok-Keun Lee

Department of Materials Research and Refractory Research Team

(Received December 5, 1997)

요 약

턴디쉬용 MgO-CaO계 코팅재에 의한 강중 개재물 저감 효과를 알아보기 위하여 저탄강에 대한 연주 조업 시험을 행 하였다. 턴디쉬의 탕유부, strand, 그리고 mold에서 용강 시편을 채취하여 화학 성분과 함유된 개재물의 함량을 분석하였다. 턴디쉬의 strand 측에 코팅재를 시공할 경우 코팅재의 재질에 따른 용강 성분이나 함유된 개재물의 함량 변화는 관찰되지 않았다. 반면에 유도 용해로를 이용하여 코팅재와 용강간의 계면 반응을 조사한 결과, MgO계에 비해 MgO-CaO계 코팅재에서 용강중 전산소량의 증가가 낮음을 확인하였다. 턴디쉬용 코팅재와 용강간의 계면 반응은 턴디쉬의 strand 측에서는 활발하지 않으나, 용강의 난류성 흐름이 강하게 일어나는 탕유부 측에서는 활발하게 진행됨을 알 수 있었다.

ABSTRACT

A MgO-CaO-based coating material for ferrous melt refining is applied to the tundish operation for molten steel having low carbon. The changes in the total oxygen content, insoluble aluminum content, and the content of inclusions in molten steel during tundish operation were measured at the pouring part, strand of tundish and mold. On the basis of the experimental results, the interfacial reaction occurring between the coating materials and the molten steel in tundish was discussed and compared with the theoretical consideration. It is concluded that interfacial reaction is not active at the strand part of tundish, but is active at the pouring part because of the turbulent flow in the molten steel.

Key words : Steelmaking, Continuous casting, Coating material, Tundish, Inclusion

1. 서 론

턴디쉬(tundish)는 전로에서 출강된 용강을 연주주상으로 이동하는 래들(ladle)로부터 수강하여 침지 노즐(submerged entry nozzle)을 통해 몰드(mold)에 주입하는 역할을 하는 주조설비이다. 턴디쉬의 내장 내화물로는 고알루미나계 혹은 $Al_2O_3-SiO_2$ 계 유입재가 사용되고 있으나, 내장 내화물이 용강에 직접 노출되면 열손실 증가에 따른 용강의 온도 저하, 조업후 부착된 지금 제거시 기계적인 충격에 의한 내장 내화물의 손상등이 심하다. 또한, 내장 내화물의 손모에 의해 Al_2O_3 계 비금속 개재물들이 용강중으로 혼입되어 주변 결함의 원인이

된다. 따라서 주변의 품질 확보, 내장 내화물의 수명 향상, 그리고 조업부하의 경감을 목적으로 내장 내화물의 표면에 코팅재를 시공하고 있다. 일반적으로 사용되고 있는 턴디쉬용 코팅재는 MgO계로써, 열간에서의 팽창 및 수축율이 내장 내화물보다 커서 조업중에 내장 내화물과의 부착이 적고 해체성이 양호하여 지금 제거 작업이 용이하다. 또한 용강중으로 Al_2O_3 , SiO_2 등의 혼입이 적어 주변 품질의 확보가 용이하다.¹⁾

턴디쉬에 수강되는 용강내에는 래들에서의 Al 탈산조업에 의해 생성된 Al_2O_3 계 개재물들이 존재하게 되는데, 이러한 개재물의 제거는 강의 청정도 향상과 침지 노즐에서의 막힘 저감에 따른 조업 안정화 측면에서 중요한

과제이다. 텀디쉬에서 강중 개재물들을 제거하기 위한 방안으로는 세라믹 필터댐(ceramic filter dam), Ar(g) 취입댐(bubbling dam) 및 CaO계 텀디쉬용 flux 등이 적용되고 있다.²⁻⁴⁾ 용강의 대량 생산 조업에 적합한 세라믹 필터댐은 댐의 두께 방향으로 여과 구멍이 형성된 관통형 필터댐(tube-type filter dam)으로, 구조적으로는 댐의 하단부에 구멍이 형성된 형태와 댐의 전면부 전체에 구멍이 형성된 형태로 구분된다. 관통형 필터댐에 의한 강중 개재물 제거 기구는 여과(filtration) 및 부상(buoyancy) 작용으로 알려져 있다. Ar(g) 취입댐은 기존의 댐의 상단부에 Ar(g)를 취입하는 다공성 내화물을 부착한 것으로 래들에서의 용강 정련법을 응용한 방식이다. 이 방식에서는 개재물 주위에 Ar 기포가 존재할 경우 계면에너지를 낮추기 위해 개재물들이 Ar 기포에 포집되려 하는 성질과 취입된 Ar(g)의 용강 교반 작용을 이용하여 강중 개재물을 제거한다. 원리상 수백 μm 의 대형 개재물의 제거에 효과적이지만, Ar 기포가 용강중으로 혼입될 경우 편홀(pin hole) 등의 주편 결함의 원인이 되기도 한다. 텀디쉬용 flux는 조업중에 용강의 탕면위에 도포되어 용강의 재산화 방지, 부상되는 강중 개재물의 흡수 등의 용강 정련 역할을 하는데, flux중의 SiO_2 , FeO 및 MnO 등의 성분이 용강중으로 혼입됨으로써 용강을 오염시키기도 하므로 성분 제어가 중요하다. 용강 오염은 Al으로 탈산처리한 강이나 Ti이 함유된 극저탄강(ultra-low carbon steel)에서 빈번하게 발생하며, flux 조성중의 SiO_2 , FeO 및 MnO 등과 강중 Al 및 Ti 간의 반응에 의한 Al_2O_3 , $x\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot y\text{TiO}_2$ 계 개재물의 생성에 기인한다. 따라서 텀디쉬용 flux의 기능중에서 용강의 재산화 방지에 비중이 커지고 있으며, 텀디쉬용 코팅재의 경우도 이와 유사한 추세이다.

텀디쉬용 코팅재의 표면은 용강과 직접 접하는 가동부위이므로 텀디쉬용 flux의 경우와 마찬가지로 용강중의 Al_2O_3 계 개재물 및 Al과의 계면 반응을 이용하여 용강 정련에 활용할 수 있다. 이에 강중 Al에 의해 환원이 용이한 SiO_2 , FeO 및 MnO 등의 성분이 적고, 대신 강중 Al_2O_3 계 개재물과의 반응성이 우수한 CaO의 함량이 높은 MgO-CaO계 텀디쉬용 코팅재의 개발⁵⁾ 및 공정 적용이 시도되고 있지만, MgO-CaO계 코팅재에 의한 용강 정련 기능이나 용강과의 계면 반응에 관한 연구는 보고된 바가 거의 없다. 따라서 본 연구에서는 MgO계 및 MgO-CaO계 코팅재를 연주조업에 적용하여 조업 시험을 행하였으며, 적용한 코팅재의 재질에 따른 용강 성분의 변화를 분석하였다. 또한, 조업 시험과 실험실적으로 얻어진 결과들을 바탕으로 MgO-CaO계 코팅재와 용강간의 계면 반응을 고찰하였다.

2. 실험 방법

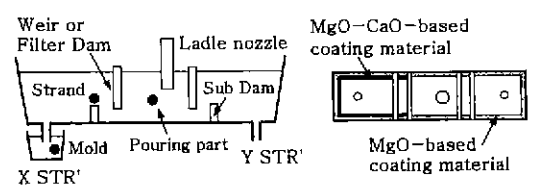
2.1. 조업 시험

조업 시험에 사용한 텀디쉬용 코팅재는 MgO계 및 MgO-CaO계 코팅재로 화학성분은 Table 1에 나타난 바와 같다. 강중은 고청정성을 요구하는 냉연재인 저탄강과 two piece can의 소재인 D&I 강을 선택하였으며, Fig. 1에 조업시험 내용을 나타내었다. 조업에 사용한 연주기는 2 STR'형으로, Fig. 1에서 알 수 있듯이 용강을 수강하는 래들 노즐(ladle nozzle)과 STR' 양측의 노즐간 거리가 서로 다르므로 각각의 STR'를 X-STR' 및 Y-STR'로 표기하기로 한다. Fig. 1에 나타난 바와 같이 조업중에 텀디쉬의 탕유부(pouring part)와 STR' 및 mold의 각 위치에서 용강을 채취하였으며, 또한 연주 몰드로부터 주조된 연주 주편의 일부를 절단하여 분석하였다. 용강을 채취한 시점은 래들 노즐이 개공된 직후 30분으로 고정하였다.

조업중 채취한 용강 시편의 화학 성분은 SPECTRO사제 Optical Emission Spectrometer를 이용하여 분석하였으며, 강중 전산소량(total [O])은 LECO사제 N_2/O_2 Determinator로 측정하였다. 분석에 이용한 시편은 표면의 산화층을 제거하기 위하여 80 mesh의 SiC 연마

Table 1. Chemical Compositions of Applied Coating Materials

Kinds of coating material	Chemical composition(wt%)				
	MgO	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3
MgO-based	82.83	1.98	5.15	0.83	0.83
MgO-CaO-based	56.31	35.92	3.12	0.95	0.12



Kinds of steel	Installation position of MgO-CaO-based coating material		
	X-STR'	Y-STR'	pouring part
low carbon steel	×	○	×
	○	×	×
D&I steel	×	○	×
	○	×	×

Fig. 1. Schematic diagram of tundish operation and the conditions of test operations. The sampling position of molten steel in marked by closed circle.

지로 표면을 연마하였다. 연주 주변내 개재물의 함량은 Slime 추출법을 이용하여 구하였다. 10~12%의 FeCl₂ 수용액에 구연산을 2% 첨가하여 제조된 전해액중에 주편 시편을 함입한 다음 1~3V의 전압을 인가하여 전해에칭을 행하였으며, 수거된 잔사물을 세척 및 건조하여 무게를 측정하였다. 실험중 전해액의 pH가 ~2를 유지하도록 HCl 수용액으로 조절하였다.

2.2. 유도용해로 및 반응 실험

코팅재의 재질에 따른 Al₂O₃ 분말과의 계면반응을 비교하기 위해서 반응실험을 행 하였다. 코팅재를 분쇄한 후 325메쉬 이하로 체가름하여 시약급의 Al₂O₃ 분말 (Junsei Chemical 사제)과 함께 1:1의 무게비율로 섞어 알콜을 매체로 12시간 분말하였다. 건조한 후 원판형태 (20×3 mm)로 성형하였으며, 1550±10°C에서 유지시간을 달리하며 열처리 하였다. 열처리 후 공냉한 시편의 표면을 연마하여 XRD로 광물상을 분석하였다. 코팅재 재질별로 Al₂O₃ 흡수량을 비교하기 위해 코팅재를 반죽하여 도가니를 제조하였으며 Al₂O₃ 분말로 만든 슬러리를 충전한 다음, 이를 1550±10°C에서 1시간 열처리하였다. 코팅재로 제조한 도가니는 1100°C에서 예열하여 휘발성 성분을 제거한 다음 사용하였다. 열처리한 시편에서 코팅재 부분만을 분리한 다음 습식법으로 화학성분을 분석하였다.

코팅재의 재질에 따른 용강과의 계면 반응을 고찰하기 위해서 유도 용해로를 이용하여 Fig. 2와 같은 반응 실험을 행 하였다. 80 kW, 150 kHz의 유도 용해로를 이용하여 Table 2에 나타난 용강을 용융시켰으며 1600°C에서 1시간 유지한 다음 공냉하였다. 응고된 용강을 채취하여 N₂/O₂ Determinator로 전산소량을 측정하였다.

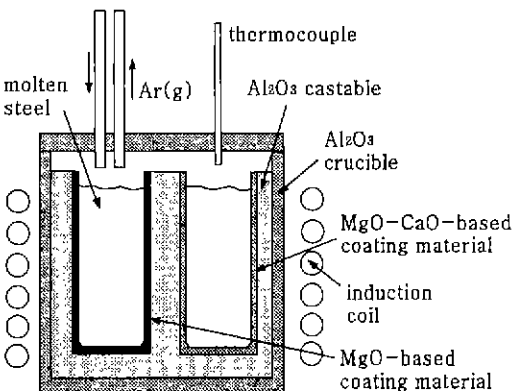


Fig. 2. Schematic diagram of induction furnace for reaction test.

Table 2. Chemical Compositions of Applied Steel

Kinds of steel	Chemical composition (wt%)				
	C	Mn	P	Al	Si
Low carbon steel	0.04 ~0.05	0.20 ~0.21	0.01 ~0.015	0.04 ~0.045	0.007 ~0.008
D&I steel	0.04 ~0.05	0.29 ~0.31	0.015 ~0.02	0.05 ~0.055	0.015 ~0.02

3. 결과 및 고찰

3.1. 코팅재와 용강간의 계면 반응

탄디쉬 코팅재와 용강간의 계면 반응은 코팅재의 SiO₂ 성분과 용강중의 Al간의 반응에 의한 Al₂O₃의 생성 과정과 코팅재 표면에서 일어나는 강중 개재물의 흡착 과정 등을 들수 있으며, 이때 코팅재, 슬래그, 그리고 용강 성분의 변화가 일어난다. Fig. 3은 조업후 채취한 코팅재의 미세 영역을 EDAX로 정량 분석한 결과로 용강과 접촉한 가동면에서 코팅재의 두께 방향으로 성분변화를 나타내고 있다. Al₂O₃의 함량이 비교적 높은 영역에서 SiO₂와 CaO의 함량도 높으며 슬래그의 구성 성분인 MnO가 공존하고 있음을 알 수 있다. 반면 코팅재의 주 성분인 MgO의 함량은 낮다. 즉, 코팅재의 가동면 근방에서 Al₂O₃의 함량이 높은 영역은 탄디쉬 조업후 코팅재 표면에 피복되는 탄디쉬 슬래그의 침투에 의한 것이며, 9~12 mm 정도의 깊이에서 Al₂O₃의 함량이 높은 영역은 탄디쉬 유입재와의 계면 근처로 유입재중의 Al₂O₃의 확

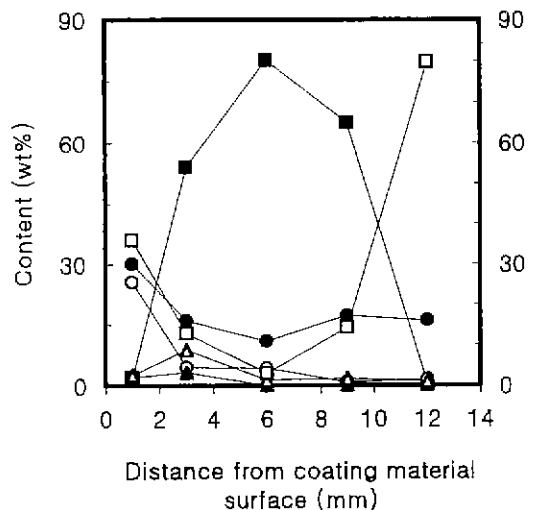


Fig. 3. Results of EDAX analysis for used MgO coating materials. (■ MgO, □ Al₂O₃, ● SiO₂, ○ CaO, △ Fe₂O₃, ▲ MnO)

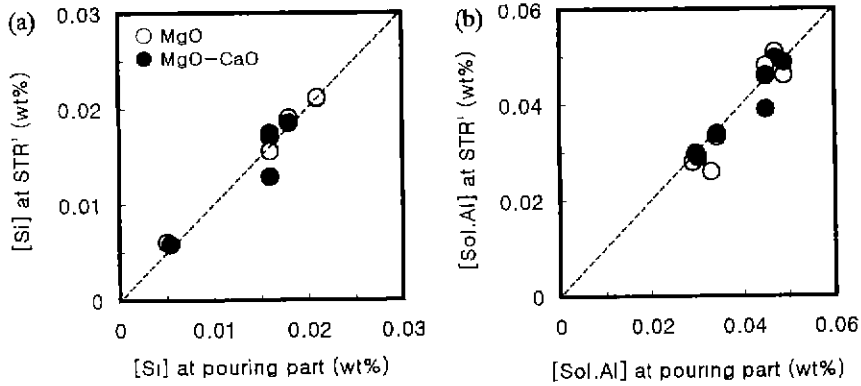


Fig. 4. Comparison of (a) silicon concentration and (b) soluble aluminium concentration of steel specimens at pouring part and strand part with the kinds of applied coating materials.

산에 기인한다. 조업후 코팅재의 성분 변화는 표면에 피복된 슬래그와 내장 유입제에 의한 영향이 매우 크기 때문에, 코팅재의 성분 분석으로부터 개재물의 부착이나 용강과의 계면 반응 여부를 효과적으로 분석하기는 불가능하였다.

Fig. 4는 턴디쉬의 탕유부와 STR'측에서 채취한 용강 시편의 [Si]과 용해성 Al 농도(이하 [Sol.Al]으로 약기함) 값을 적용한 코팅재별로 비교하여 도시한 결과이다. 코팅재의 재질과 무관하게 측정값들이 대칭선을 중심으로 대칭적으로 분포하고 있으며, 이러한 결과는 탕유부와 STR' 사이에서 용강의 [Si]과 [Sol.Al]의 변화가 거의 없음을 의미한다. Fig. 5는 턴디쉬의 탕유부와 몰드에서 채취한 용강 시편의 비용해 Al 농도(이하 [Insol.

Al]으로 약기함) 값을 코팅재별로 비교하여 도시한 것이다. 강중 [Insol.Al]은 전체 Al 농도에서 [Sol.Al]을 뺀 값으로 강중 Al_2O_3 개재물의 함량과 비례한다. 코팅재의 재질에 상관없이 측정값들이 대칭선을 중심으로 X 축에 치우쳐 분포하고 있으며, 이는 탕유부의 용강에 비해 몰드에서 채취한 용강 중의 개재물 함량이 감소하였음을 의미한다. 이러한 결과는 적용한 코팅재의 재질과는 무관하며, 턴디쉬 탬에 의한 강중 개재물의 저감에 의한 것이다. Fig. 6은 D&I 강의 조업시험시 mold에서 채취한 용강 시편에서 전산소량(Tot[O])을 분석하여 비교한 것으로, X축은 MgO계 코팅재를 적용한 경우, Y축은 MgO-CaO계 코팅재를 적용한 경우 mold측에서 채취한

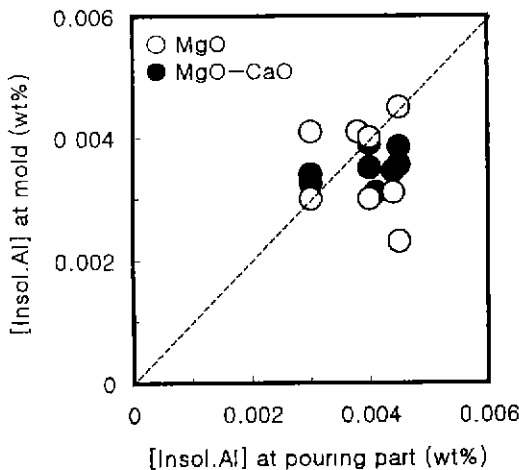


Fig. 5. Comparison of insoluble aluminium concentration of steel specimens at pouring part and mold with the kinds of applied coating materials.

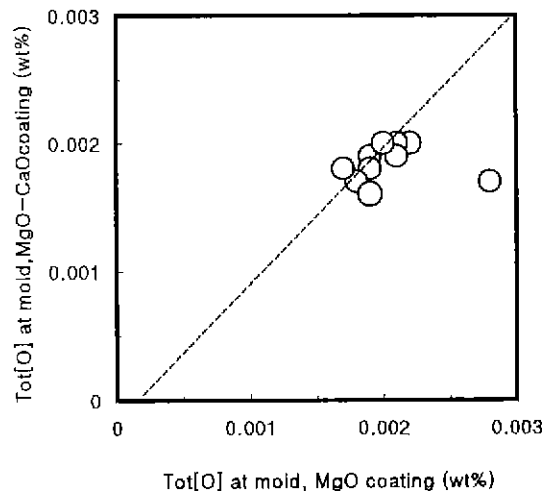


Fig. 6. Comparison of total oxygen content of steel specimens at mold with the kinds of applied coating materials.

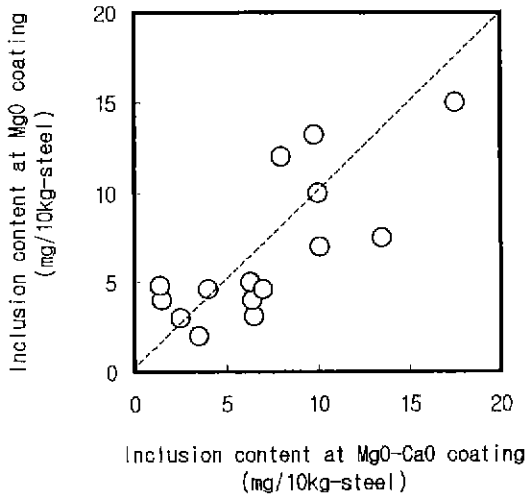


Fig. 7. Comparison of the content of inclusions within casting steel with the kinds of applied coating materials.

시편의 전산소량을 나타낸 것이다. 용강 시편의 전산소량은 평형 용해 산소량과 개재물에서 비롯되는 산소량의 합으로 [Insol.Al]과 마찬가지로 용강내 비금속 개재물의 함량과 비례하는 값이다. Fig. 6을 살펴보면 측정값들이 대칭선을 중심으로 거의 대칭적으로 분포하고 있는데, 이는 코팅제의 재질에 따른 용강 시편내 개재물 함량의 차이가 거의 없음을 의미하며, 턴디쉬의 strand측에서 용강과 코팅제간의 계면 반응이 활발하지 못하여 강중 [Si], [Insol.Al] 및 [Sol.Al] 값의 변화가 코팅제의 재질에 따라 차이가 없었던 것으로 생각된다. Fig. 7은 일반 저탄강의 조업 시험시 연주몰드에서 제조된 주편내 개재물의 함량을 적용한 코팅제의 재질에 따라 비교하여 도시한 결과이다. 측정값들이 대칭선을 중심으로 대칭적인 분포를 보이고 있으며, 코팅제의 재질에 따라 강중 개재물의 저장 정도가 거의 동등함을 알 수 있다.

이상의 결과들은 다음과 같이 설명 할 수 있다. Al 탈산강에 SiO₂ 함량이 높은 내화물을 사용하였을 경우 반응식 (1)에 의해 내화물중의 SiO₂가 강중 Al에 의해 환원되며 반응 생성물인 Al₂O₃는 내화물 표면에 부착되거나 용강중에 혼입되어 강중 개재물로 존재하므로 내화물의 화학적인 침식은 물론 용강의 청정도가 저하된다. 반응의 Gibbs 자유에너지(ΔG)를 반응속도상수(k)와 연관하여 강중 [Si], [Al]과 내화물중 SiO₂ 함량에 따른 계면반응의 진행여부를 파악할 수 있다.⁶⁾

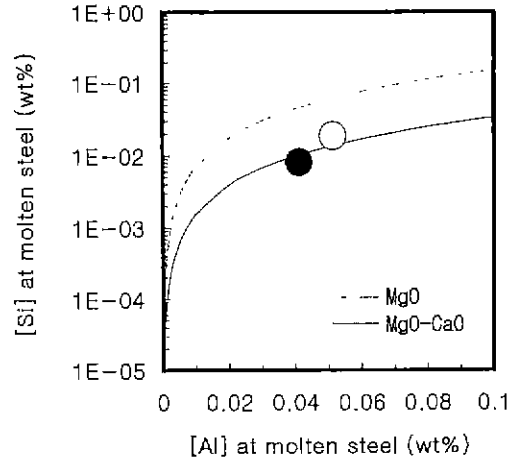
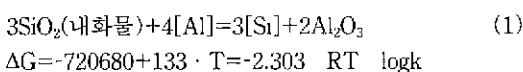


Fig. 8. Relationship between aluminium content and silicon content within steel specimens at different steel and coating materials. Closed circle is data for low carbon steel and open circle is for D&I steel.

$$k = (a_{Al_2O_3}^2 \cdot a_{[Si]}^3) / (a_{[Al]}^4 \cdot a_{SiO_2}^3)$$

(조건) a_{SiO₂}=내화물중 SiO₂의 함량(wt%), T=1873K (연주조업 온도)

a_{Al₂O₃}=1 (즉, 생성되는 Al₂O₃는 순수함)

a_[Al]=강중 [Al], a_[Si]=강중 [Si]

Fig. 8은 MgO-CaO 및 MgO계 코팅제에 대해 G=0일 경우 용강중의 [Si]와 [Al]의 관계를 도시한 결과이다. 조업 시험에 사용한 저탄강의 성분 범위를 ●으로, D&I 강 경우 ○으로 표시하였다. MgO계 코팅제를 적용하면 식(1)의 반응이 오른쪽으로 진행하며, MgO-CaO계 코팅제를 적용할 경우에는 평형 상태를 유지함을 알 수 있다. 즉, 열역학적으로 저탄강 및 D&I 강에 대하여 MgO계 코팅제보다 MgO-CaO계 코팅제가 화학적으로 안정하며 용강중으로 개재물의 혼입이 적다. 하지만, 용강의 흐름이 진행되는 턴디쉬에서 계면반응의 진행 여부를 고찰하기 위해서는 열역학적인 조건 외에도 속도론적인 인자를 고려해야 한다. 속도론적인 관점에서 중요한 인자는 용강의 유동 형태이며, 턴디쉬내 용강의 유동 형태는 Fig. 9에서와 같이 난류 영역과 내장 내화물의 표면 근처의 층류 영역으로 구분된다. 용강중의 구성 성분이 내화물과 반응하기 위해서는 층류층을 확산하여 반응이 일어나는 계면에 도달하여야 한다. 층류층의 두께(δ)는 용강의 난류에너지(K)에 의존하며 관계식 (2)가 성립하는 것으로 보고되어 있다.⁷⁾

$$\delta = \frac{10\mu}{\sqrt{C_{0.25} K_{0.5}}} \quad (2)$$

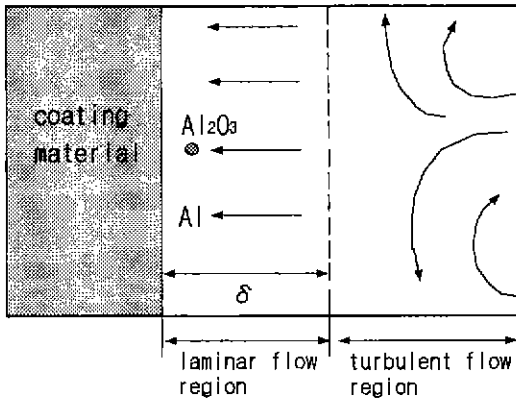


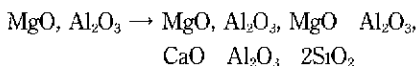
Fig. 9. Schematic diagram of molten steel flow at tundish.

식에서 μ 와 C는 용강의 유동 특성과 관계되는 상수이며, δ 는 층류층의 두께, K는 용강 흐름의 난류 에너지이다. 식에서 알 수 있듯이 용강의 난류 에너지가 클수록 계면반응에 참여하는 반응물들의 확산 거리(δ)가 짧아지므로 계면반응이 용이해진다. 래들로부터 용강이 주입되는 턴디쉬의 탕유부에서는 용강류의 난류 에너지가 크고 용강 성분의 격렬한 혼합이 이루어 지는 반면, strand측에서는 용강 흐름이 난류성은 약하고 층류성이 강하므로 개재물의 부상이 활발하다. 따라서 식 (1)의 계면반응은 턴디쉬의 strand 측보다는 탕유부에서 활발히 일어나며, 용강 정련을 목적으로 MgO-CaO계 코팅재를 적용할 경우에는 턴디쉬의 탕유부에 사용하는 것이 바람직 하다.

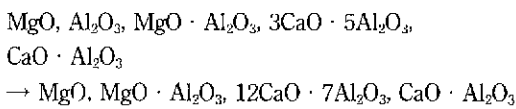
3.2. 코팅재 재질별 Al₂O₃와의 반응성

턴디쉬용 코팅재와 용강 사이에는 강중 Al과 코팅재 내의 SiO₂간의 반응외에도 강중 Al₂O₃계 개재물의 부착도 일어난다. 강중 개재물의 부착 정도는 코팅재의 재질에 따라 차이가 있을 것이므로, Al₂O₃ 분말과 코팅재 분말의 혼합계에서 열처리 시간에 따른 상생성 과정을 분석하였다. 코팅재의 재질별로 각각의 혼합계에서 열처리 시간에 따른 존재상의 변화는 다음과 같다.

● MgO계 코팅재



● MgO-CaO계 코팅재



즉, MgO계 코팅재와 Al₂O₃의 혼합계에서는 스피넬(spinel) 및 CAS₂ 상이 확인되었으며 MgO 및 Al₂O₃의 결정상이 잔존하고 있다. 반면에 MgO-CaO계 코팅재와

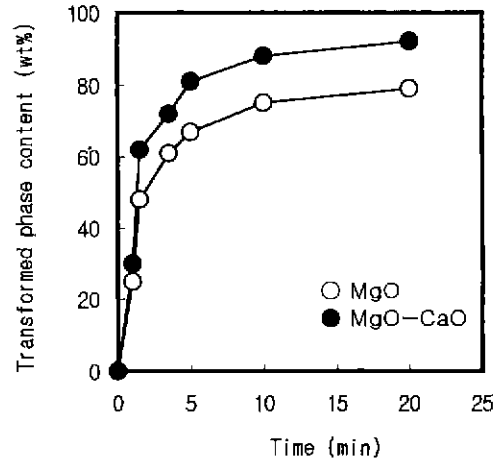


Fig. 10. Comparison of the change of transformed phase contents with holding time at different coating materials.

Al₂O₃의 혼합계에서는 CaO 성분이 Al₂O₃와 완전히 반응하여 C₃A₅, CA, C₁₂A₇ 등의 화합물을 생성하였다. Fig. 10은 열처리 시간에 따른 생성물의 상대강도비를 생성물의 함량으로 간주하여 도시한 결과이다. MgO계 코팅재에서 생성물은 MgO, Al₂O₃로, MgO-CaO계 코팅재에서는 MgO, Al₂O₃ 및 CaO-Al₂O₃계 화합물로 정하였으며, 식 (3)과 (4)를 이용하여 생성물의 함량을 계산하였다.

Transformed phase content

$$= \frac{I_{\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3}}{I_{\text{MgO}} + I_{\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3} + I_{\text{Al}_2\text{O}_3}} \times 100 (\%) \quad (3)$$

Transformed phase content

$$= \frac{I_{\text{CA}} + I_{\text{C}_3\text{A}_5} + I_{\text{C}_{12}\text{A}_7} + I_{\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3}}{I_{\text{MgO}} + I_{\text{CA}} + I_{\text{C}_3\text{A}_5} + I_{\text{C}_{12}\text{A}_7} + I_{\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3} + I_{\text{Al}_2\text{O}_3}} \times 100 (\%) \quad (4)$$

식에서 I_{MgO}는 MgO의 (200)면, I_{Al₂O₃}는 Al₂O₃의 (113)면, I_{MgO · Al₂O₃}는 MgO · Al₂O₃의 (311)면, I_{CA}는 CaO · Al₂O₃의 (220)면, I_{C₃A₅}는 3CaO · 5Al₂O₃에서 격자면간 거리가 2.6 Å인 면, 그리고 I_{C₁₂A₇}는 12CaO · 7Al₂O₃의 (420)면의 회절강도이다. MgO계에 비해 MgO-CaO계 코팅재에서 Al₂O₃와의 반응속도가 빠름을 알 수 있으며, 이러한 결과는 시험 온도인 1550±10°C에서 Ca⁺²의 자기확산계수가 Mg⁺²나 Al⁺³에 비해 높기 때문이다.⁸⁾ Fig. 11은 코팅재와 Al₂O₃ 분말을 이용한 도가니 시험 결과로 MgO계에 비해 MgO-CaO계 코팅재에서 코팅재 내의 Al₂O₃의 증가율이 높다. 즉, MgO-CaO계 코팅재를 턴디쉬의 탕유부에 적용할 경우 CaO 성분의 높은 화학적 반응성으로 인하여 강중 Al₂O₃계 개재물의 흡착 효과가 클

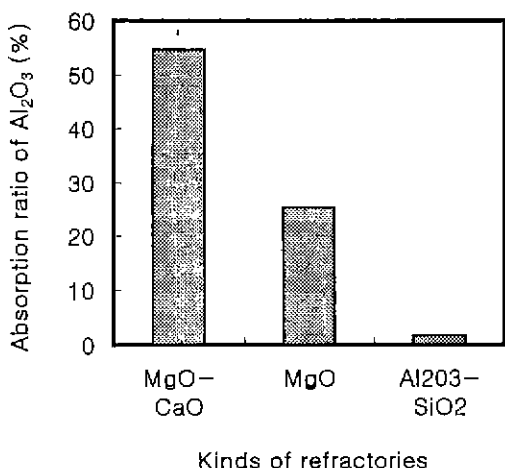


Fig. 11. Absorption ratio of Al₂O₃ within refractory specimens with the kinds of chemical compositions of refractories.

것으로 판단된다.

3.3. 코팅재 재질별 용강과의 반응성

MgO 및 MgO-CaO계 코팅재와 용강간의 계면 반응을 고찰하고자 유도 용해로 실험을 행 하였다. 유도 용해로 실험시 도가니내 용강은 인가되는 고주파에 의해서 강하게 교반되므로 강중 Al 및 Al₂O₃와 코팅재간의 계면반응이 활발하게 진행된다. Fig. 12는 실험 후 채취한 용강 시편의 전산소량 측정 결과로 X축은 MgO계 코팅재를

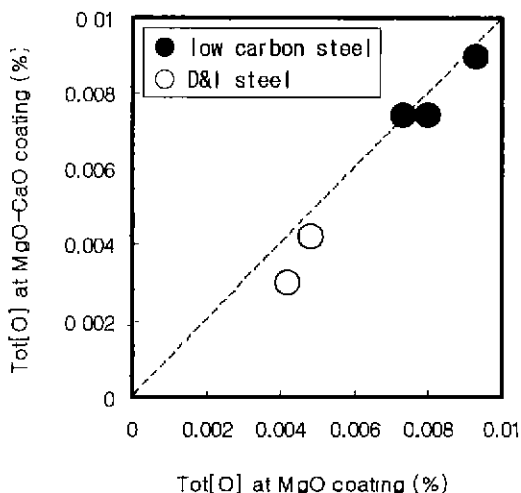


Fig. 12. Comparison of total oxygen content of steel specimens with the kinds of coating materials and applied steel.

적용한 경우 용강 시편의 전산소량을, Y축은 MgO-CaO계 코팅재를 적용한 경우 시편의 전산소량을 나타낸 것이다. 측정값들이 대칭선을 중심으로 X축에 치우쳐 분포하고 있으며, 이로부터 MgO-CaO계 코팅재에 비해 MgO계 코팅재를 적용한 경우 용강내 전산소량이 증가하였음을 알 수 있다. 이러한 결과는 MgO-CaO계에 비해 MgO계 코팅재의 경우 강중 Al과 코팅재 성분인 SiO₂간의 반응이 활발하기 때문이다. 즉, 층류층에서 생성되는 Al₂O₃는 용강 유동에 의해 강중으로 혼입되고 이는 용강의 전산소량 증가의 원인이 된다. 턴디쉬 탕유부에서는 유도용해로 실험과 유사하게 용강의 격렬한 혼합이 일어나므로, 강중 Al과 반응성이 낮은 MgO-CaO계 코팅재를 적용하는 것이 용강의 청정도 향상 측면에서 바람직 한 것으로 사료된다.

5. 결 론

턴디쉬에 있어서 강중 개재물 저감에 미치는 코팅재의 영향을 살펴보기 위하여 MgO 및 MgO-CaO계 코팅재를 공정에 적용하고, 실험실적으로 Al₂O₃ 및 용강과의 계면 반응 시험을 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 코팅재의 종류에 따른 Al₂O₃와의 반응성을 살펴보면, Mg⁺²나 Al⁺³에 비해 자기화산계수가 큰 Ca⁺² 성분을 다량 함유하고 있는 MgO-CaO계 코팅재의 Al₂O₃ 흡착 효과가 큰 것으로 나타났다.
2. 용강과의 반응성에 있어서는, 강중 Al이 코팅재에 함유되어 있는 SiO₂를 환원시켜 강중 전산소량이 증가하므로, 코팅재로부터 혼입되는 개재물 저감 측면에서 SiO₂-less 코팅재의 적용이 바람직하다.
3. 용강의 층류층이 상대적으로 두껍고 난류 에너지가 작은 값을 나타내는 턴디쉬의 strand 측에서는 코팅재의 종류에 따른 강중 개재물의 저감 정도에 큰 차이가 없었으며, 용강과 코팅재간의 계면 반응이 활발한 턴디쉬의 탕유부에 MgO-CaO계 코팅재를 적용하는 것이 강중 개재물 저감에 효과적이다.

REFERENCES

1. Y.Miyagawa, F.Hoshi, K.Fujii, T.Taniguchi and K. Koyago, "Improvement of Surface Gunning Refractories for CC Tundish Liners," *Taikabutsu*, **38**(1), 53~56 (1986)
2. Liu Xintian, Zhon Yaohe, Shang Baolu and Jiong Weiming, "Flow Behavior and Filtration of Steel Melt in Continuous Casting Tundish," *Ironmaking and Steelmaking* **19**(3), 221~25 (1992).
3. S.K.Lee and D.H.Cha, "Improved Operating Methods in Continuous Casting Process for Enhancing Quality

- of Slab," *SEAFISI Quarterly* April, 20~26 (1997).
4. Richard W.Paul and Franclin T.Whitakker, "The Relationship of Basic Tundish Powder Properties to Tundish Practices and Steel Quality," *Processings of Electric Furnace Conference*, 197~203 (1992).
 5. POSCO-KRC Technical Meeting Report, "Development of MgO-CaO-based TD Coating Materials" (1989).
 6. J.Harkki, R.Rytila, M.Palander and S.Sundstrom, "Re-oxidation Caused by Refractory Materials," *Scand.J. Metallurgy*, **19**, 116~26 (1990).
 7. A.Sinha and Y.Sahai, "Mathematical Modeling of Inclusion Transport and Removal in Continuous Casting Tundishes," *ISIJ International*, **33**(5), 556~66, (1993).
 8. 이 형직 역, "세라믹 고체반응 총론," pp.86~90, 반도출판사, 1994.