

턴디쉬용 MgO Coating재의 손상에 미치는 Flux의 영향

홍기곤 · 박재원 · 김효준

포항산업과학연구원 소재연구부내화재료연구팀
(1997년 4월 21일)

Effect of Fluxes on the Wear of MgO Coating Materials for Tundish

Gi-Gon Hong, Jae-Weon Park and Hyo-Joon Kim

Refractory Materials Research Team, Materials Division
Research Institute of Industrial Science & Technology(RIST)
P.O.Box 135, Pohang, Korea
(Received April 21, 1997)

요 약

턴디쉬용 MgO coating재의 손상에 미치는 flux의 영향을 고찰하였다. 연주 charge 수가 증가되면 왕겨로부터 용출되는 SiO₂ 증가에 의한 염기도비의 저하로 MgO coating재의 용손이 증가되었다. 용강의 산화에 의하여 생성된 Fe₂O₃ 성분은 주로 MgO 골재와 반응하여 magnesioferrite를 생성하였으며, slag중의 CaO, Al₂O₃ 및 SiO₂ 성분은 MgO coating재의 matrix부를 손상시켰다. 왕겨중의 SiO₂ 성분은 slag중으로 용출되어 slag의 염기도비를 낮추거나 MgO coating 재와 반응하여 forsterite를 생성하였으며, Fe₂O₃ 성분이 공존할 경우에는 fayalite가 생성되어 MgO coating재의 손상을 증가시켰다. CaO-SiO₂계 턴디쉬 flux가 CaO-Al₂O₃ 계 턴디쉬 flux보다 MgO coating재의 용손을 증가시켰으며, flux 중의 CaO 성분은 rankinite를 생성하여 MgO coating재의 손상을 증가시켰다.

ABSTRACT

The effects of fluxes on MgO coating materials for tundish were investigated. As the number of charge in continuous casting was increased, the basicity of tundish slag was decreased due to the increase of silica formed by dissolution from rice hull. As a result, the wear of magnesia lining was increased. In aggregates of MgO coating materials, magnesioferrite was formed by the reaction between magnesia and ferric oxide formed by the oxidation of molten steel, while matrix parts of MgO coating materials were worn by CaO-Al₂O₃-SiO₂ compounds. Silica in rice hull extracted to the molten slag reduced basicity of slag and formed forsterite in the result of its reaction with magnesia lining. Also, fayalite was formed from the reaction between silica and ferric oxide and it caused the increment of magnesia lining's wear. The wear of magnesia lining by flux of CaO-SiO₂ was larger than that of CaO-Al₂O₃, and calcia in the flux increased the wear of magnesia lining through the formation of rankinite.

Key words : MgO coating materials, Tundish, Flux, Wear, Magnesioferrite, Forsterite, Fayalite, Rankinite

1. 서 론

턴디쉬는 전로에서 출강된 용강을 수감하여 gas 교환 및 온도조정을 거쳐 연주주상으로 이동된 티밍레들로 부터 용강을 수감하여 mould에 주입하는 역할을 하는 구조설비이다.

턴디쉬의 내장내화물로서는 고알루미나질 및 고규산

질의 소성내화벽돌이나 Al₂O₃-SiO₂질 유입재등이 사용되고 있으나, 내장내화물이 강중에 노출된 상태로 수감하면 턴디쉬의 열손실 증가로 인한 용강의 온도저하, 내장내화물의 급격한 용손에 의한 용강중 비금속개재물의 증가 및 지금제거시 기계적 충격에 의한 내장내화물의 탈락이 수반된다. 그러므로, 조업부하 경감, 주편의 품질 확보 및 턴디쉬 내장내화물의 수명연장을 위하여 턴디

쉬 coating재를 사용하여야 한다.

턴디쉬 coating재로서는 알루미늄나질 및 마그네시아질이 주로 사용되고 있다. 그러나, 알루미늄나질에 비하여 MgO질은 용강 및 slag에 대한 내식성이 우수하고, 열간에서의 팽창 ↔ 수축거동이 내장내화물보다 커서 수강후 내장내화물과의 부착이 적고 해체성이 양호하여 지금제 거작업이 용이하다는 장점을 지니고 있다. 또한, 용강중으로 Al_2O_3 및 SiO_2 등의 비금속개재물의 혼입이 작아 주변품질의 확보가 용이하다는 장점 때문에 최근들어서는 거의 대부분 MgO질 coating재를 사용하고 있다.^{1,2)}

턴디쉬 내장내화물의 위에 도포되는 MgO coating재는 동일 재질이더라도 사용기기의 종류 및 시공방법에 따라 재질의 특성이 달라진다. 즉, 시공방법에 따라 MgO coating재를 구성하는 원료의 입도와 top size가 달라지는데, 과거에는 castable의 개념을 기초로 입도를 설계(조립, 중립 및 미립으로 구성)하여 trowelling 공법으로 coating재를 시공하였다. 그러나, 조업기술의 발전과 더불어 성인력에 의한 요구가 대두됨에 따라 턴디쉬 coating재의 시공방법도 인력에 의존하는 trowelling 공법에서 기계를 사용하는 gunning 공법으로 변화되었다. 그러므로, gunning기의 특성에 따라 MgO coating재를 구성하는 원료의 top size가 제한되며, gunning기의 수분첨가 방법에 따라서 MgO coating재를 구성하는 원료의 종류가 달라진다.

MgO coating재는 수분의 첨가방법에 따라서 건식과 습식으로 분류된다. 건식의 MgO coating재는 재료의 이송 및 토출이 압축공기의 힘에 의존하며, gunning기의 nozzle 선단에서 순간적으로 물이 첨가된 후 토출된다. 반면에, 습식의 MgO coating재는 초기에 물과 혼련되어 slurry의 상태로 pumping압에 의하여 유동관(hose)을 통해 nozzle로 공급된 후, 압축공기에 의하여 토출된다.

건식의 MgO coating재는 시공표면의 요철이 적고 보수시간이 작으며, 조립(+1.00 mm)의 사용이 가능함으로 원료의 입도구성을 다양화할 수 있을 뿐만 아니라 nozzle의 막힘 현상이 발생하지 않는다는 장점이 있다. 그러나, 건식의 MgO coating재는 시공시의 분진발생 및 rebound loss가 많다는 단점을 지니고 있다. 습식의 MgO coating재는 분진 및 rebound loss의 발생이 작은 반면에, 시공표면이 거칠고 유동관 및 nozzle 막힘 현상이 발생되어 작업성이 저하될 뿐만 아니라 사용수분의 증가로 시공후의 관리소요시간이 증가되는 단점이 있다.

턴디쉬 flux는 턴디쉬 조업중 용강의 탕면위에 도포되어 용강의 보온작용, 용강의 재산화 방지 및 용강중 비금속 개재물의 흡수 등의 역할을 수행한다.

턴디쉬 flux는 화학조성에 따라서 왕겨계통의 고규산질 flux와 고염기성 flux로 구분된다. 고규산질 턴디쉬

flux는 왕겨를 탄화시킨 것으로서 탄소를 제외한 ash의 주성분은 주로 SiO_2 이다. 반면에, 고염기성 턴디쉬 flux는 CaO가 다량 함유되어 있는 것으로서 구성성분 및 조성은 매우 다양하다. 대표적인 고염기성 flux로서는 CaO- SiO_2 -MgO계, CaO- Al_2O_3 계, CaO- Al_2O_3 -MgO계 및 CaO-CaF₂계가 있다.

탄화왕겨는 다량의 탄소를 함유하고 있으므로 용강의 보온작용은 우수하나 용강의 재산화 방지 및 개재물의 흡수-용해 기능은 거의 없다. 또한, 탄화왕겨중에 존재하는 ash의 주성분인 SiO_2 는 용강을 재산화시키는 산소공급원의 역할을 하며, SiO_2 그 자체가 개재물이 되기도 한다.⁵⁾ 반면에, 고염기성 턴디쉬 flux는 용강의 보온작용은 거의 없지만 용융 slag에 의한 용강의 재산화 방지 및 용강의 정련작용은 탄화왕겨보다 상대적으로 우수한 편이다. 이러한 탄화왕겨와 고염기성 턴디쉬 flux의 양면성을 극복하기 위하여 저용점의 염기성 턴디쉬 flux를 용강위에 도포하여 용강의 재산화방지 및 정련기능을 부여하고, 염기성 턴디쉬 flux 위에 탄화왕겨를 도포함으로써 용강의 보온기능을 발현시키는 이중 도포법이 사용되기도 한다. 그러나, 이러한 경우에도 탄화왕겨의 성분과 저용점의 염기성 flux가 반응하여 용강을 오염시킬 가능성은 존재한다.

고염기성 턴디쉬 flux의 적절한 화학조성은 강종에 따라 달라질 수 있다. 즉, Al-killed 강의 경우에는 Al에 의한 용강의 재산화가 심하므로 턴디쉬 flux 조성중 FeO, MnO 및 SiO_2 등의 사용은 제한되어야 한다. 특히, 극저탄강(ultra low carbon steel)의 경우는 Al 뿐만 아니라 Ti이 다량 함유되어 있으므로 용강의 재산화 문제는 더욱 심각하다. 또한, ladle의 교환시에 티밍 ladle의 slag가 턴디쉬로 유입되어 턴디쉬 flux의 조성을 변화시키므로, 이 역시 고려하여야 할 사항이다. Si-killed 강의 경우에는 SiO_2 가 문제되는 것이 아니라 비연성 개재물의 석출을 최소화하는데 초점을 두어야하므로, Al_2O_3 나 spinel 등이 석출되지 않도록 턴디쉬 flux의 조성을 제어하여야 한다.

턴디쉬 flux는 용강의 재산화방지 및 용강의 정련작용을 하지만 경우에 따라서는 용강을 오염시키기도 하는데, 이것은 턴디쉬 flux중의 SiO_2 , FeO 및 MnO 등의 성분에 의하여 용강이 재산화될 뿐만 아니라 턴디쉬 flux 자체가 용강에 혼입되기 때문이다. 주조초기에는 턴디쉬에 용강이 filling될 때 탕면의 난류가 심하므로, 이 경우에는 투입되는 턴디쉬 flux가 용강중에 혼입될 가능성이 높다. 또한, ladle을 교환할 시점에서는 후속 ladle의 shroud를 미침직한 상태로 개공하므로, 용강에 격렬한 난류가 형성되어 강중으로 턴디쉬 slag가 대량 혼입되기 때문에 강의 품질이 저하된다. 턴디쉬 slag의 양이 많으

면 용강중으로 혼입되는 slag의 양도 증가되므로, ladle slag의 cutting 뿐만 아니라 턴디쉬 flux 투입량의 적정화가 필요하다. 즉, 턴디쉬중에 생성되는 slag의 양을 최소화하기 위하여 용강의 재산화화를 방지할 정도의 적정 flux 사용량의 도출 및 ladle 교환시 혼입되는 slag의 양을 최소화할 수 있는 방안이 강구되어야 한다.

최근에는 턴디쉬 flux의 기능중에서 용강의 재산화에 비중이 주어지는 경향을 보이고 있으며, 특히 턴디쉬 flux중 산화성 성분에 의한 용강의 재산화방지막면에 비중이 주어지고 있다.

중전에는 Al₂O₃의 흡수능을 극대화하기 위하여 CaF₂나 Na₂O가 첨가되었으나, 내화물의 침식이 심할 뿐만 아니라 용강의 보온능이 부족하다는 문제가 있었다. 그러므로, 최근에는 불화물의 첨가를 배제하고 산화물을 사용하는 추세이다.

턴디쉬 flux는 공기 및 slag에 의한 용강의 재산화화를 최소화하여야 하며, 특히 극저탄강의 경우에는 Ti의 산화도 문제가 되므로 flux중의 SiO₂ 함유량을 2% 이하로 낮추어야 한다. 또한, 신속히 용융되어 대기를 차단하기 위해서는 저융점 턴디쉬 flux가 고용점 턴디쉬 flux보다 유리하다.

용강의 재산화화동에 미치는 턴디쉬 flux의 조성에 대하여 J. van der Stel등⁶⁾은 CaO-Al₂O₃(calcium aluminate)계 flux와 SiO₂(silica) 및 Al₂O₃-SiO₂(aluminum silicate)계 flux를 비교한 결과, CaO-Al₂O₃계 flux가 용강의 재산화가 가장 작다는 사실을 관찰하였다. 또한, Mirkovas 등⁷⁾은 턴디쉬 flux에 TiO₂가 함유되면 flux의 열전도도가 감소되어 턴디쉬 slag의 고화현상을 감소시킬 수 있다고 보고한 바 있다.

염기성의 턴디쉬 flux는 화학조성 측면에서 크게 단열용과 재화용으로 구분된다. 일반적으로 CaO나 MgO 또는 양자의 혼합물에 소량의 SiO₂와 Al₂O₃가 함유되어 있는 단열용 턴디쉬 flux는 분말상태로 존재하므로 단열작용만 있고 용강의 재산화방지 기능은 수행하지 못한다. 반면에, 재화용 턴디쉬 flux는 사용중 용융되어 slag 층을 형성하므로 대기를 차단할 수 있으며, 그 조성범위는 상당히 넓다.

용융온도측면에서 턴디쉬 flux를 분류하면 저융점 턴디쉬 flux, 중융점 턴디쉬 flux 및 고용점의 턴디쉬 flux로 나눌 수 있다.

고융점 턴디쉬 flux의 용융온도는 주조온도 이상이므로, 단열재로 사용된다. 중융점의 턴디쉬 flux는 용강온도~1400°C까지의 융점을 가진 것으로, 단열능 및 완만한 속도로 대기 차단능을 갖는다. 그러나, 중융점의 턴디쉬 flux는 well area에는 적합하나, pouring area에는 용강의 난류, ladle slag 및 filler의 유입이 심하여 다연연주에는 부적합하다. 1400°C 이하의 융점을 갖는 저융점 턴디쉬 flux는 신속히 용해되어 대기를

차단할 수 있으며, 턴디쉬로 유입된 ladle slag, filler 및 재산화생성물 등을 회색시키는 것이 가능하다.

이상에서 살펴본 바와 같이, 턴디쉬에는 탄화왕겨 및 회화왕겨를 투입하거나 왕겨와 턴디쉬 flux를 이종으로 투입하고 있다. 또한, 조업시에 ladle로 부터 턴디쉬로 고염기성의 ladle slag가 유입된다. 그러므로, 본 연구에서는 탄화왕겨, 회화왕겨 및 턴디쉬 flux가 MgO coating재의 손상에 미치는 영향을 평가하였으며, ladle로 부터 유입된 ladle slag와 턴디쉬에서 투입되는 부원료(탄화왕겨, 회화왕겨 및 flux)와의 상호반응에 의하여 생성되는 연연주(continuous casting)별의 턴디쉬 slag에 의한 MgO coating재의 손상거동을 극저탄강 제조시 생성되는 턴디쉬 slag에 대하여 평가하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 Table 1에 나타낸 특성을 갖는 입자크기 1 mm 이하의 습식 MgO coating재를 대상으로 고주파유도용해로를 이용하여 침식시험을 실시하였다. 즉, 본 연구에서는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 Al₂O₃-SiO₂질 유입재위에 습식의 MgO coating재를 간이증자를 이용하여 25 mm의 두께가 되도록 vibrating 시공하고 상온에서 24시간 양생한 후, 110°C에서 24시간 건조하였다. 건조된 시편을 고주파유도용해로에 setting하고 steel을 7 kg 투입하여 용해시킨 후, 침식제로서 Table 2와 Table 3에 나타낸 탄화왕겨, 회화왕겨, 턴디쉬 flux 2종 및 극저탄강용 턴디쉬 slag를 150g 투입하였다. 본 연구에서의 실험온도는 조업시의 용강온도를 기준으로 1570±20°C로 하였으며, 유지시간은 ladle 1대당 주조하는데 소요되는 시간인 40분을 기준으로 40분간격으로

Table 1. Characteristics of Wet Type MgO Coating Materials for Tundish

Chemical Compositions(wt%)	MgO	78.50
	SiO ₂	9.21
	Al ₂ O ₃	0.29
	Fe ₂ O ₃	1.49
	CaO	1.10
	Others	9.41
Amount of Addition Water(wt%)		32
After Drying at 110°C for 24h	Density(g/cm ³)	1.35
	Porosity(%)	56
	Flexural Strength (kg/cm ²)	12
	Compressive Strength (kg/cm ²)	29

3. 결과 및 고찰

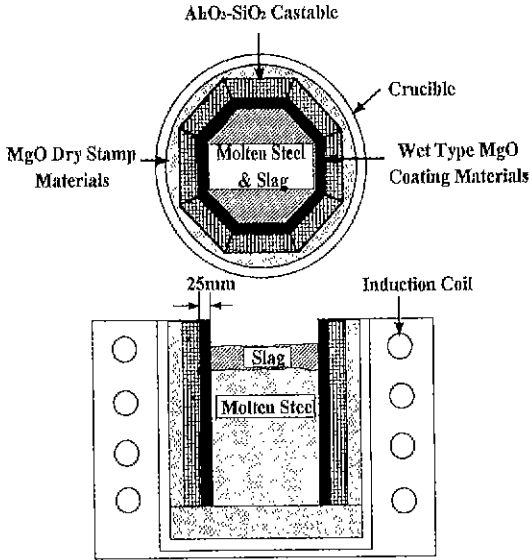


Fig. 1. Schematic diagram of corrosion test equipment by induction furnace.

Table 2. Chemical Compositions of Tundish Fluxes (Unit : wt%)

	Flux A	Flux B	High Carbon Rice Hull	Low Carbon Rice Hull
CaO	45.14	50.53	0.70	0.90
SiO ₂	53.14	2.14	41.80	88.20
Al ₂ O ₃	0.23	42.31	0.20	0.20
MgO	0.33	0.24	0.20	0.30
MnO	0.02	-	-	-
Fe ₂ O ₃	0.24	1.06	0.10	0.30
TiO ₂	0.08	2.53	-	-
Na ₂ O	0.06	0.07	0.20	0.10
K ₂ O	0.05	0.19	1.70	1.80
Carbon	-	-	54.70	7.80
Others	0.71	0.93	0.40	0.40

120분까지 유지하였다. 시험완료후 slag line부를 길이 방향으로 절단하여 침식시험전후의 침식깊이를 측정하였으며, 각 침식제가 MgO coating재의 손상에 미치는 영향을 규명하기 위하여 slag line부의 일부를 절취하여 SEM-EDAX 분석을 행하였다.

용강중에 투입되는 텀디쉬 flux가 용융되면 용강중의 알루미늄이나 개재물을 흡수-용해하거나 텀디쉬내의 Al₂O₃-C질 shroud nozzle, Al₂O₃질 dam 및 weir, MgO coating재 등을 용손시킨다. 그러므로, 내화물의 용손은 텀디쉬 slag ↔ Al₂O₃ 및 텀디쉬 slag ↔ MgO 사이의 반응에 의하여 일어난다.

Table 3에 나타낸 Al-killed 강중의 하나인 극저탄강의 연주(continuous casting) charge수 변화에 따른 텀디쉬 slag의 염기도를 살펴보면, 텀디쉬 flux B(Table 2 참조) 및 ladle slag(Fig. 2의 염기도비 참조)의 염기도보다 작다는 사실을 알 수 있다. 즉, 주조초기에 투입된 텀디쉬 flux와 왕겨와의 용해물과 ladle로부터 유입된 ladle slag로부터 생성된 텀디쉬 slag의 조성은 ladle을 교환할 때마다 ladle slag가 텀디쉬로 유입되므로 변화된다. 이러한 경우에는 Fig. 2와 같이 고염기도의 ladle slag가 유입되므로, 텀디쉬 slag의 염기도는 텀디쉬 flux B의 염기도보다는 작더라도 최소한 ladle slag의 염기도와는 유사하여야 한다. 그러나, Table 3에 나타낸 바와같이 연주 charge 수가 증가됨에 따라 텀디쉬 slag의 염기도가 저하되는데, 이것은 주조초기에 텀디쉬 flux와 왕겨를 3 : 5의 비로 투입된 왕겨중의 SiO₂ 성분이 텀디쉬 slag중으로 용출되기 때문이라 생각된다.

Table 3에 나타낸 극저탄강의 연주 charge 수의 변화에 따른 텀디쉬 slag 조성물을 침식제로 하여 MgO coating재의 침식시험을 실시한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3의 실험시 유지시간은 각 연주 charge별 slag 조성물에 대하여 40분이었다.

연주 charge 수가 증가됨에 따라 MgO coating재의 손상이 증가된다는 사실을 Fig. 3으로부터 알 수 있는데, 이것은 Table 3에 대하여 고찰한 염기도비의 감소현상 및 왕겨에서 용출되는 SiO₂ 양의 증가현상과 잘 일치하고 있다.

Fig. 3의 실험 후, slag line부에 사용된 MgO coating재를 회수하여 SEM-EDAX 분석결과를 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 4에서 살펴보면 용강의 산화에 의하여 생성된 Fe₂O₃와 텀디쉬 slag 구성성분인 SiO₂, Al₂O₃ 및 CaO

Table 3. Chemical Compositions of Tundish Slag for Ultra Carbon Steel(Unit : wt%)

Number of Charge	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	CaO/SiO ₂
1	33.43	11.23	41.52	7.62	0.32	2.30	2.54	0.66	0.38	2.98
2	31.68	17.77	34.29	7.06	2.35	2.95	2.71	0.65	0.54	1.78
3	28.64	20.24	33.57	6.26	2.98	4.14	3.25	0.32	0.60	1.42
4	23.16	30.13	31.47	5.21	2.31	3.10	3.58	0.11	0.93	0.77

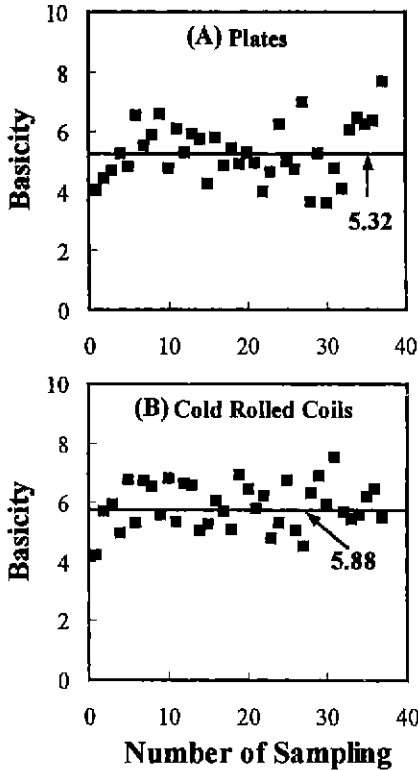


Fig. 2. Basicity of ladle slags before pouring into tundish.

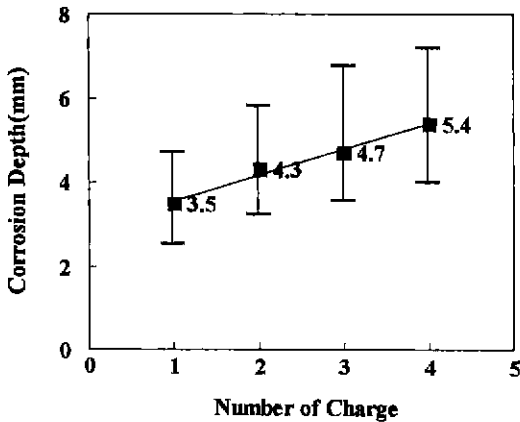


Fig. 3. Corrosion behavior of MgO coating materials according to number of charge in ultra low carbon steel.

등이 MgO coating재의 matrix를 통하여 침투된 후, Fe₂O₃ 성분은 주로 MgO 내부로 고용되어 MgO를 소결시킴으로써 MgO의 grain boundary를 소멸시킨다. 반면에, SiO₂, Al₂O₃ 및 CaO 성분은 MgO coating재의 matrix부에 존재하는데, 이러한 3 성분은 Al₂O₃-SiO₂-

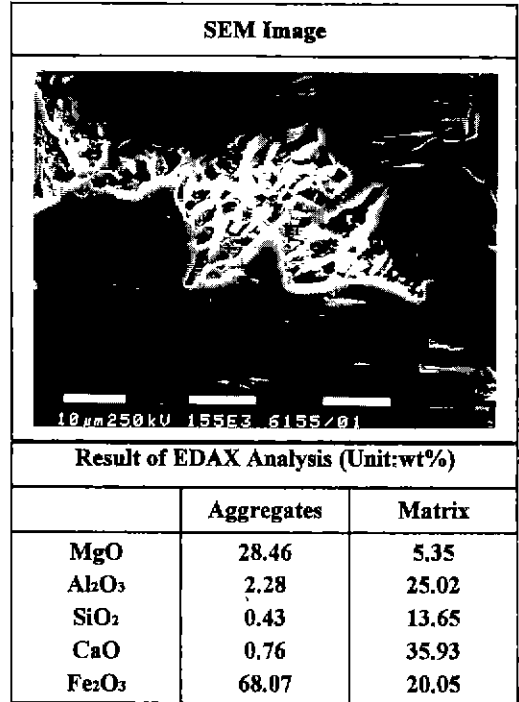


Fig. 4. SEM image and result of EDAX analysis for slag line of MgO coating materials.(Corrosion agent is tundish slag and number of charge is 1).

CaO계 저융점 화합물을 형성하여 용강 및 slag의 침투 경로를 제공한다는 사실을 알 수 있다. 즉, 주조초기에서의 MgO coating재의 손상은 slag 조성물중 SiO₂, Al₂O₃, CaO 및 Fe₂O₃ 성분이 동시에 MgO coating재의 matrix부를 통하여 침투된 후, Fe₂O₃ 성분은 주로 MgO에 고용되어 magnesioferrite(MgO·Fe₂O₃, 융점 : 1750°C)를 생성하고, Fe₂O₃중 일부는 SiO₂, Al₂O₃ 및 CaO 성분과 함께 MgO coating재의 matrix부를 통하여 내부로 계속하여 침투된다. MgO coating재의 matrix부로 침투된 SiO₂, Al₂O₃ 및 CaO 성분이 과다해지면 Al₂O₃-SiO₂-CaO계 저융점화합물의 생성에 의하여 MgO coating재가 손상되는 것으로 판단된다.

Fig. 5에서 살펴보면, 연주 charge 수의 증가에 따라 턴디쉬 slag 조성중에 SiO₂ 함유량이 증가되면, MgO coating재는 MgO-SiO₂계 화합물(forsterite)로 변질되고 MgO-Fe₂O₃계 고용체는 MgO-SiO₂계 화합물에 의하여 고립화 됨으로써 MgO coating재의 손상이 가속화된다는 사실을 알 수 있다.

왕계가 MgO coating재의 손상에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 침식시험을 실시한 후, 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 유지시간이 증가될수록 MgO coating재의

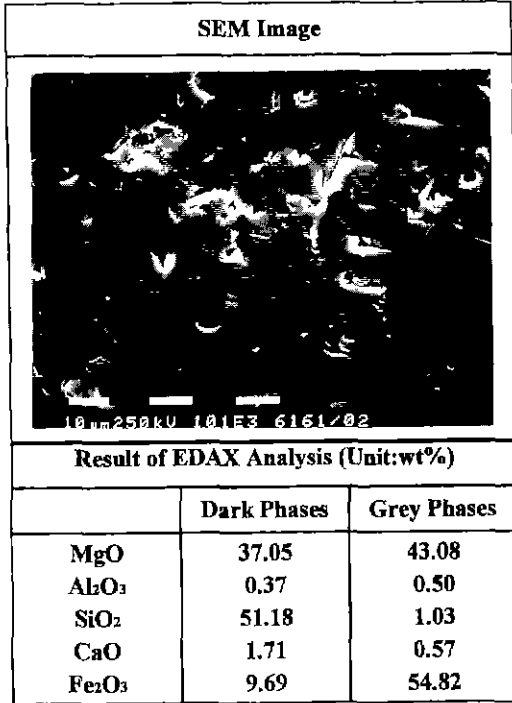


Fig. 5. SEM image and result of EDAX analysis for slag line of MgO coating materials. (Corrosion agent is tundish slag and number of charge is 3).

손상이 증가되었으며, 침식제로 사용한 왕겨의 종류에 따른 MgO coating재의 손상량은 유사하였다.

탄화왕겨와 회화왕겨를 침식제로 사용하였을 경우에 MgO coating재의 용손량이 유사하게 나타난 것은 Table 2의 화학조성에서 알 수 있듯이 사용중 산화소실되는 carbon을 제외한 나머지 ash 성분을 100으로 하여 환산하면 각 산화물의 조성비가 거의 유사한 것에 기인한 것이라 생각된다.

탄화왕겨와 회화왕겨를 침식제로 사용하여 침식시험을 행한 후, slag line부에 사용된 MgO coating재를 회수하여 SEM-EDAX 분석결과를 Fig. 7에 나타내었다.

Fig. 7에서 살펴보면, 탄화왕겨와 회화왕겨를 침식제로 사용한 경우에는 MgO coating재의 손상이 주로 Fe₂O₃와 SiO₂에 의하여 일어난다는 사실을 알 수 있으며, 이러한 SiO₂-Fe₂O₃계 화합물은 fayalite(2FeO·SiO₂, 융점 : 1210°C)인 것으로 추정된다. 즉, 왕겨를 침식제로 사용하였을 경우에는 왕겨중에 존재하는 SiO₂ 성분과 용강의 산화에 의하여 생성된 Fe₂O₃로부터 저융점의 fayalite의 생성에 의하여 MgO coating재가 손상된다는 사실을 알 수 있다.

턴디쉬 flux를 침식제로 사용하였을 경우에 MgO coat-

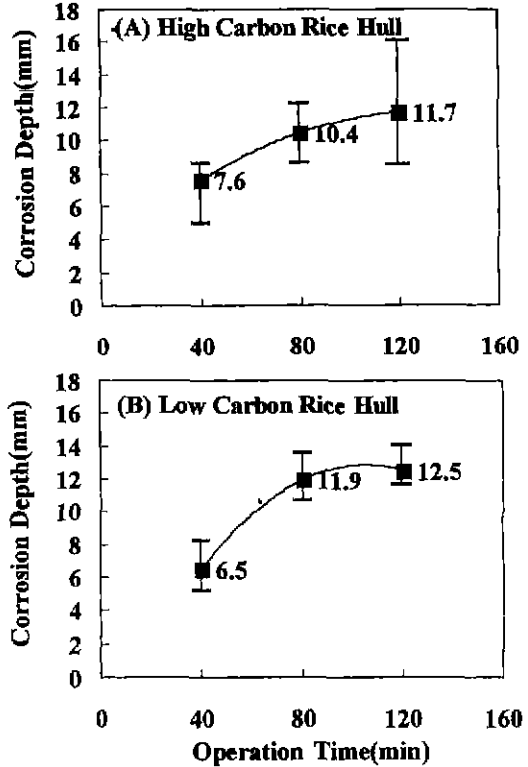


Fig. 6. Corrosion behavior of MgO coating materials according to operation time and kind of rice hull.

ing재의 손상거동을 Fig. 8에 나타내었다. 유지시간이 증가될수록 MgO coating재의 손상이 증가되었으며, MgO coating재의 손상은 턴디쉬 flux A를 사용하였을 경우가 턴디쉬 flux B를 사용하였을 경우보다 현저하였다.

이러한 실험결과와 Table 2에 나타낸 턴디쉬 flux의 화학조성을 살펴보면, Si-killed강용 턴디쉬 flux A는 MgO와의 반응성은 크고 Al₂O₃와의 반응은 상대적으로 작을 것으로 추정된다. 즉, 턴디쉬 flux A는 주로 CaO와 SiO₂로 구성되어 있으므로 CaO 성분에 의하여 강중에 존재하는 Al₂O₃ 성분의 포획능이 우수하고, SiO₂ 성분에 의하여 MgO coating재의 침식이 일어날 것으로 판단된다. 반면에, Al-killed강용 턴디쉬 flux B는 CaO-Al₂O₃계이므로, 턴디쉬 flux A에 비하여 MgO의 용손 및 Al₂O₃와의 반응성이 작을 것으로 판단된다. 그러므로, 턴디쉬 flux B는 Al₂O₃ 개재물의 흡수능 및 MgO coating재의 용손이 모두 낮은 탕면피복에 의한 용강의 재산화방지 기능만을 부여하는 flux인 것으로 판단된다.

턴디쉬 flux B를 침식제로 사용하여 침식시험을 행한 후, slag line부의 하단에 사용된 MgO coating재의 변질층 부위를 회수하여 SEM-EDAX 분석결과를 Fig. 9에

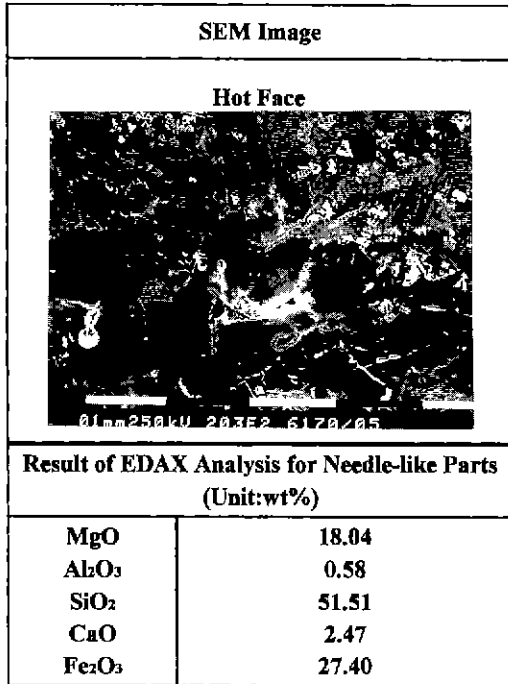


Fig. 7. SEM image and result of EDAX analysis for slag line of MgO coating materials. (Corrosion agent is high carbon rice hull and operation time is 40 min.)

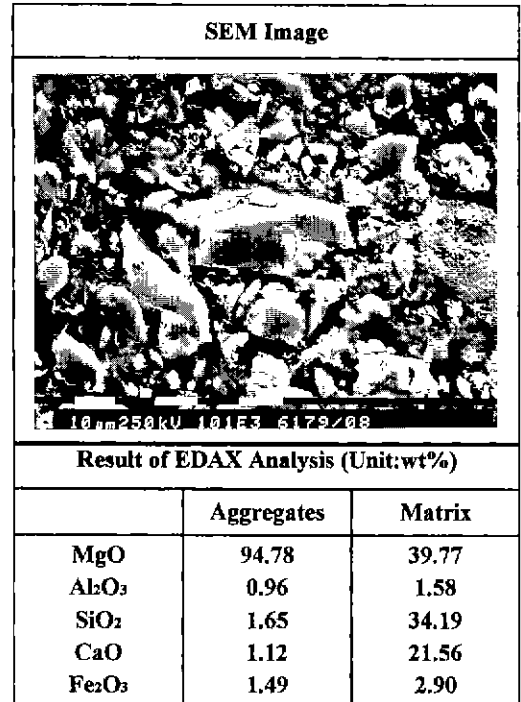


Fig. 9. SEM image and result of EDAX analysis for slag line of MgO coating materials. (Corrosion agent is flux B and operation time is 40 min.)

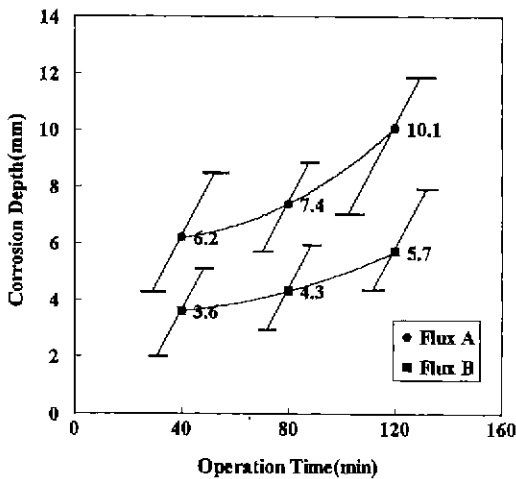
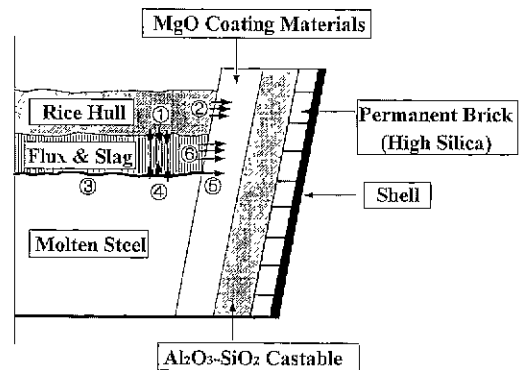


Fig. 8. Corrosion behavior of MgO coating materials according to operation time and kind of tundish flux.

나타내었다. MgO coating재의 matrix부가 침투된 CaO 성분과 MgO coating재중에 존재하는 SiO₂와의 반응에 의하여 주로 rankinite(3CaO · 2SiO₂, 융점 : 1150~



(A) In Rice Hull

- ① Dissolution of SiO₂ into Slag
- ② Attack of MgO Coating Materials by SiO₂

(B) In Interface between Molten Steel and Slag

- ③ Formation of Fe₂O₃ by Oxidation of Molten Steel
- ④ Dissolution of Fe₂O₃ into Slag
- ⑤ Attack of MgO Coating Materials by Fe₂O₃

(C) In Flux & Slag

- ⑥ Attack of MgO Coating Materials by Flux & Slag

Fig. 10. Schematic diagram for the wear of MgO coating materials during tundish operation.

1200°C)가 생성되어 침식되는 현상을 나타내고 있다. 이러한 사실로부터, slag 조성중 MgO coating재로의 침투 깊이는 CaO 성분이 가장 깊다는 사실을 알 수 있다.

이상의 결과를 근거로 텀디쉬용 MgO coating재의 손상기구를 Fig. 10에 나타내었다. 왕겨로부터 용출되는 SiO₂ 성분은 slag중으로 용해되어 slag의 염기도를 낮추거나 MgO coating재와 반응하여 MgO coating재의 가동면(hot face)에 MgO-SiO₂계 변질층을 생성한다. 또한, slag와 용강의 계면에서는 용강의 산화에 의하여 생성되는 Fe₂O₃ 성분이 slag중으로 용해되거나 MgO coating재와 반응하여 magnesioferrite를 생성한다. 실로사용시에는 텀디쉬의 slag line의 level이 항상 일정하게 유지되는 것이 아니라 상하(up & down)로 변동되므로 MgO coating재가 forsterite나 magnesioferrite로 변질된 부분이 slag와 접하게 되면 MgO coating재의 용손이 가속화 되는 것으로 판단된다.

4. 결 론

(1) 연주 charge 수가 증가되면 왕겨로부터 용출되는 SiO₂ 증가에 의한 염기도비의 저하로 MgO coating재의 용손이 증가되었다.

(2) 용강의 산화에 의하여 생성된 Fe₂O₃ 성분은 주로 MgO 골재와 반응하여 magnesioferrite를 생성하였으며, slag중의 CaO, Al₂O₃ 및 SiO₂ 성분은 MgO coating재의 matrix부를 손상시켰다.

(3) 왕겨중의 SiO₂ 성분은 slag중으로 용출되어 slag의 염기도비를 낮추거나 MgO coating 재와 반응하여 forsterite를 생성하였다. 또한, Fe₂O₃ 성분이 공존할 경

우에는 fayalite가 생성되어 MgO coating재의 손상을 증가시켰다.

(4) CaO-SiO₂계 텀디쉬 flux가 CaO-Al₂O₃계 텀디쉬 flux보다 MgO coating재의 용손을 증가시켰으며, flux중의 CaO 성분은 rankinite를 생성하여 MgO coating재의 손상을 증가시켰다.

REFERENCES

1. H.Kyoden, K.Ichigawa, H.Sugimoto, R.Nakamura and T.Yamamura, "Gunning Insulation for Tundish," *Taikabutsu*, **37**(2) 93-97 (1985).
2. 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).
3. T.Soejima, K.Kamei, R.Oshima and K.Tanigawa, "Improvement of Gunning Material for Tundish," *Taikabutsu*, **38**(11) 780-781 (1986).
4. K Shimada and S.Sakakibara, "Improvement of Gunning Material for Tundish," *Taikabutsu*, **39**(5) 300-302 (1987).
5. Richard W. Paul and Franklin T. Whitaker, "The Relationship of Basic Tundish Powder Properties to Tundish Practices and Steel Quality," Proceedings of Electric Furnace Conference, 197-203 (1992).
6. J. van der Stel and R.Boom, "Thermophysical and Kinetic Considerations for the Selection of a Tundish Flux," Proceedings of AIME Steelmaking Conference, 503-516 (1993).
7. A.Mikrovas, S Argyropoulos and I.Sommerville, "Measurement of Effective Thermal Conductivity of Liquid Slags," *Iron & Steelmaker*, **12**, 51-61 (1991).