

N₂ Splash Slag Coating 시스템 자동화 연구

장 필 장, 이 기 성¹⁾, 신 동 철²⁾, 조 현 철³⁾

홍익대학교 전기정보제어공학과¹⁾, 포스코건설²⁾, 경북전문대학 디지털전자정보과³⁾

A Study on the Automation of the N₂ Splash Slag Coating System

Pill Jang Jang, Keeseong Lee¹⁾
Hong-Ik University¹⁾

Dong Cheol Shin²⁾
POSCO E&C²⁾

Hyun-Chul Cho³⁾
Kyungbuk College³⁾

< ABSTRACT >

A study on the system automation for the nitrogen splash slag coating in Basic Oxygen Blowing Furnace (BOF) is described. The engineers are trying to do their best efforts to increase the life of converter lining by developing improved refractory material and optimal operation techniques in the steel plants. A new slag coating method is needed to reduce the erosion rates of the refractory.

In the current slag coating method, the BOF was swung back and forth. The new method uses the oxygen lance to blow the residual slag to the walls and cone of the converter. The nitrogen gas is used for blowing. This method is developed based on the automation process at factory in POSCO dated on the May 1998. The test results of nitrogen splash slag coating system for the BOF at POSCO are shown to show the effectiveness of the system.

1. 서론

본 논문은 N₂ Splash Slag Coating 설비의 시스템 자동화 연구 결과에 대하여 기술하였다. 제강 공장에서는 찻물을 담은 전로(Converter)의 생산량 증대 및 전로 내부에 축적된 내화물의 수명연장에 큰 관심을 가지고 있다. 내화물의 수명을 연장하기 위해서는 내화물의 침식 속도를 저지하여야 하는데 이를 위해 내화물의 코팅방법을 개선하는 방법에 대한 연구가 수행되어왔다. 과거에는 전로를 전, 후로 흔들며(경동) 전후 부위의 국소 코팅만을 실시하여 수명연장을 해왔으나, 그 효과가 매우 미미하고 유지보수 비용이 과다했다. 따라서 기존 산소 Lance 를 활용하여 신조업 기술인 전로 N₂ Splash Coating 설비 기술의 자동화 연구를 하여 내화물 수명연장 및 생산성 향상 등을 위한 설비 자동화 및 Process 설계의 EIC 설계기술을 개발 및 개선을 연구하였다. 또한 이를 기초로 전로 내화물의 수명연장 결과를 분석 기술하였다.

2. 전로 내화물의 Slag Coating 작업기술 비교

2.1 전로내화물 침식 Mechanism

가장 널리 사용되는 MgO-C 계 연와는 내침식성 및 내 Spalling 성이 우수하고 염기성 Slag에 대응하여 고내식성, Carbon의 내slag 침투성, 고열전도 및 내침식성의 특성을 갖고 있다. 전로내화물 침식요인으로는 크게 3가지로 구분한다. 화학적 침식(Chemical Spalling)은 Slag 의 MgO 용해도에 의한 내화물이 용해되거나 CaO/SiO₂ 가 낮을수록, 용강 온도가 높을수록 침식이 가속화 된다. 반응식은 $MgO + C = Mg(g) + CO(g)$ 로 표현할 수 있다. 전로와 같이 CO 분압(Pco)이 낮은 경우 1,650℃ 이상이면 반응이 진

행되어 연와내부의 조직을 취약하게 만든다.

열적 침식(Thermal Spalling)은 내화물의 급열, 급냉시 박리현상으로 발생하는 침식을 말한다. 반응식은 $Fe + 1/2 O_2 \rightarrow FeO$ (발열 반응)이다. 기계적 침식(Mechanical Spalling)은 용선 및 스크랩 장입시의 충격과 용강 유동에 의한 마모를 말한다

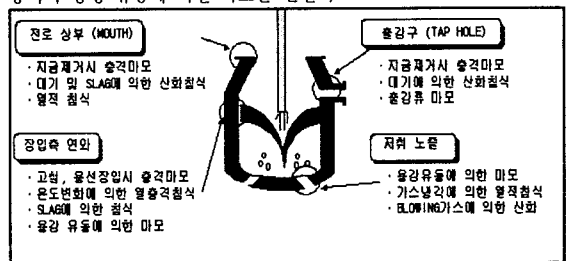


그림 1. 전로 각 부위별 내화물 마모현상

2.2 종래 Slag Coating 작업기술

기존 Slag Coating 작업을 설명하면 전로출강 작업 후 노내(전로내부) 잔류 Slag에 Coating재를 투입하여, 용융되게 한 후 전로를 전, 후로 흔들며(경동) 내화물 벽면에 Slag 코팅재를 부착시켜 내화물이 용강 또는 내화물과 Slag 와의 직접적인 접촉을 방지 함으로서 내화물 침식을 억제 시키는 수동적인 작업방식(그림 2)의 기술이다.

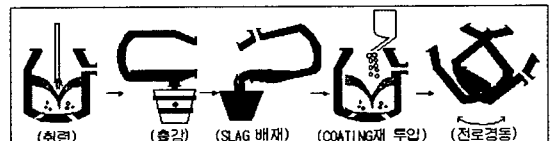


그림 2. 기존 Slag Coating 작업공정

2.3 N₂ Splash Slag Coating의 신 작업기술

N₂ Splash Coating 시스템의 작업기술 특징은 전로 출강 작업 후 노내(전로내부) 잔류 Slag에 Coating재를 투입하고 기존 산소 Lance 를 활용 또는 전용 N₂ Splash Lance를 설치하여 고압 질소를 일정시간(1-3.5 min) 동안 Slag 표층부에 분사함으로써 Coating재와 혼합된 Slag가 질소가스의 Jet Splashing에 의하여 전로내벽에 균일하게 부착되게 하여 내화물의 수명을 연장하는 신 작업 기술(그림 3)이다.

그 기대 효과로서는 내화물 코팅 효율 향상으로 원가절감과 내화물 침식에 대응한 전로내화물 수명향상을 위한 안정적 기술을 확보 하는 것이다.

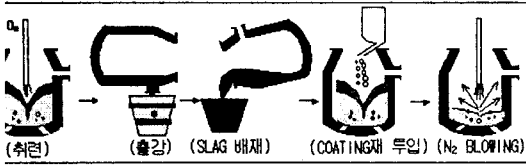


그림 3. N₂ Splash Coating 작업과정

1 종래와 N₂ Splash Slag Coating 조업기술 비교.

구분	기존 Slag Coating 방법	N ₂ Splash Coating 방법	
기술성	Coating 재 투입량	작업자 기능도에 의존	작업자 기능도의 존성 적응(대부분 일률적 적용)
	Slag 냉각	Slag Coating 시간에 의존	N ₂ 가스에 의한 Coating 재와 Slag 를 혼합후 강제냉각
	Coating 재 혼합	전로 경동 횟수에 의존	N ₂ 가스 Jet류에 의한 교반
Coating 재	15.3 kg/T-S	12.0 kg/T-S	
Coating 시간	5 ~ 8분	4 ~ 6분	
Coating 효율	기능도에 따라 변동	일정효율 유지(기존대비 우수)	
Coating 부위	제한적	전 부분(Cone, Tap Hole, Trunnion)	
운전 비용	투자비 없음	초기 투자비 및 N ₂ 비용 소요	

표 1. Slag Coating 기술 조업 비교표

5 작업과정 비교

구분	기존 SLAG COATING	N ₂ SPLASH COATING
작업 과정	출강 완료	출강 완료
	배재	배재
	COATING재 투입 (1분)	COATING재 투입 (1분)
	로 경동(1~2회) (3분)	N ₂ BLOWING (1~2분)
	COATING재 투입 (1분)	로 경동(1~2회) (1분)
	로 경동(1~2회) (3분)	소요시간 : 약 6분
	소요시간 : 약 6분	

표 2. Slag Coating 작업과정 비교

3. N₂ Splash Slag Coating 시스템 자동화 개발

1 주요 설비 설계구성

그림 4 는 N₂ Splash Coating 시스템의 플로우 다이어그램을 보여주고 있다. 그림 4 를 기초로 하여 주요 기기별 구성내용은 다음과 같다. ①번의 저압홀더(Low Pressure Holder)와, ②번의 송압기(Compressor), ③번의 고압홀더, ④번의 배관(Piping), ⑤번의 압력 조절밸브(Pressure Control Valve), ⑥번의 유량자동 조절밸브(Flow Control Valve), ⑦번의 Lance, ⑧번 제어시스템(Control System)등으로 설계되었다.

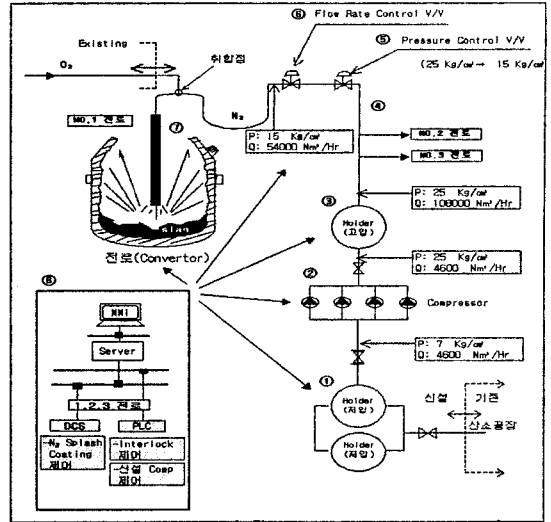


그림 4. N₂ Splash Coating 플로우 다이어그램

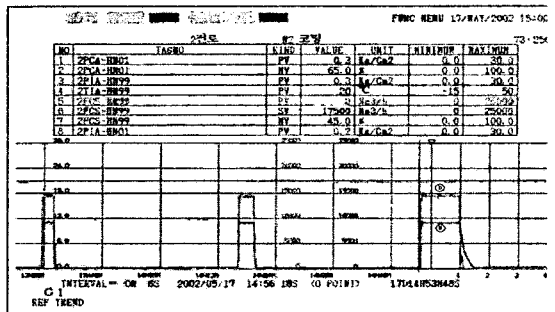


그림 5. 포함 1 제강 유량 및 압력 트렌드 (Trend) 곡선

3.2 제어시스템 설계

제어시스템 구성은 DCS 및 MMI Hardware System 으로 설계하였다. “N₂ Splash Coating” 운전모드는 Mode1 과 Mode2 로 운전이 구분된다. Mode 1 은 취련종료 후 출강전에 전로내부에 용강이 존재하는 상태에서 N₂ Splash Slag Coating 을 실시하는 운전 모드이다. Mode 2 는 출강완료후 전로내부에 용강이 없는 상태에서 N₂ Splash Slag Coating 을 실시하는 운전 모드이다. 시스템 제어는 완전자동화로 One Touch 운전이 개념으로 설계 하였다.

3.3 Lance의 다단계 제어 설계기술 연구.

Lance 제어를 위한 기술개선을 위하여 구조 및 각도를 분석 검토해본 결과 Lance의 노즐각도 및 제어되는 높이에 따라 Slag 에 용해된 Coating 재가 튀겨지(Splash)는 형상이 달라진다. 이와 연계되어 코팅부위가 변해진다. 시험 결과로서 광양 1 제강에 설계 적용 후 Slag 비산에 대한 연구를 실시하여 다음과 같은 내용의 결과(그림 6)를 얻었다. 시험방법은 Sub Lance를 이용한 Slag 부착 시험 결과, Slag 채취량에 의한 Slag 부착상황을 종합하여 거동 변화를 실측하였다. Coating 효과를 극대화 하기위한 또 다른 기술로는 질소유량 다단계제어와 Lance 높이 제어는 1-4 스텝까지 통합하여 다단계 제어를 실시하는 기능이다. MMI 화면에서의 구성된 패턴 데이터를 통하여 DCS 에 의한 Lance 높이가 1-4 스텝으로 제어된다.

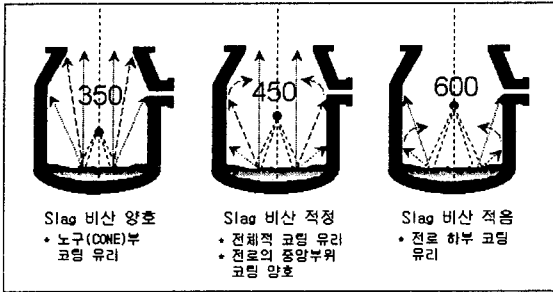


그림 6. Lance높이와 Slag 거동

그림 7 과 같은 개념으로 적용하면 1 회의 코팅시간을 적절히 분배하여 원하는 부위의 집중적인 코팅을 효과적으로 실시 할 수 있다. 결론적으로 다단계제의 개발적용 목적은 전로의 내화물 축소 후 초기에서 말기까지 가급적 침식을 둔화 시키면서 전부위를 고른 침식이 되도록 유도하기 위한 목적이다.

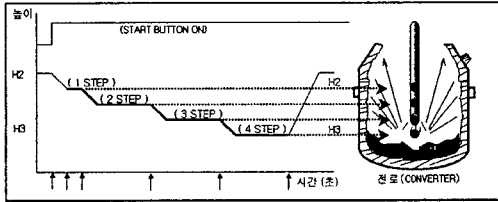


그림 7. Lance 다단계제 스텝 도표

제 4 장 시험 조업 결과

250 ton 전로를 기준으로 Slag Pocket 위치는 전로바닥 철파로부터 540cm 위치에 고정, 전로바닥 중심에서 직선으로 Cone부 40단 부위를 겨냥 Slag Pocket 을 Setting 하였다. 산소 Lance 높이는 전로바닥 철파로부터 350 cm-600 cm 사이의 구간이고, 질소공급 유량은 800 Nm³/min으로 설정하였다. 그리고 Slag 채취시간은 1분 30초로 하였다.

4.1 내화물 부위별 Slag 비산량 측정.

시험조건으로는 질소분사 유량 (N₂ Flow Rate)은 800 Nm³/min, 총 질소 분사량 (N₂ 공급량)은 1,100 Nm³, Lance높이는 350 cm(전로바닥 철파기준), 전로내부의 잔류 Slag 12-15 ton으로 하여, Coating 재(백운석: 2-3 ton, 경소백운석: 1-1.5 ton)를 투입하였다.

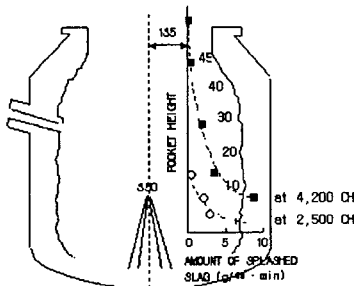


그림 8. Pocket 높이별 Slag 비산량 측정

4.2 Lance 높이에 따른 Slag 비산량 측정

전로 내화물의 사용횟수에 따라 자동 제어되는 Lance 높이와 Slag의 비산량이 어떻게 달라지는지 확인 하고자 하는 목적이다. 신로(약 500 CH)인 경우에는 Lance의 높이가 500cm, 중기로(약 1,600 CH)인 경우에는 Lance의 높이가 450cm, 말기로(4,200 CH)인 경우에는 Lance의 높이가 350 cm 에서 Slag의 비산량이 가장 많다는 결과를 얻었다.

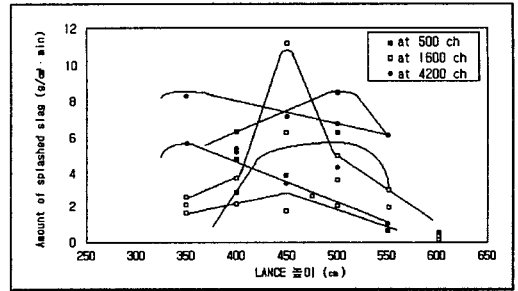


그림 9. Lance 높이에 따른 Slag 비산량

4.3 Lance 높이에 따른 Slag 비산 거동 조사

본 실험 목적은 Pocket에 채집되는 것 이외에도 추가적인 측정방법을 동원하여 Slag의 비산정도를 분석하고자 하는 목적이다. Lance의 몸체에 부착되는 Slag의 부착정도를 분석하고자 하는 내용으로 실험기준은 중점온도와 산소실적이 1,695℃, 1,039 PPM과 1,707℃, 868 PPM 조건등이 포함된 조건에서 실시하였다

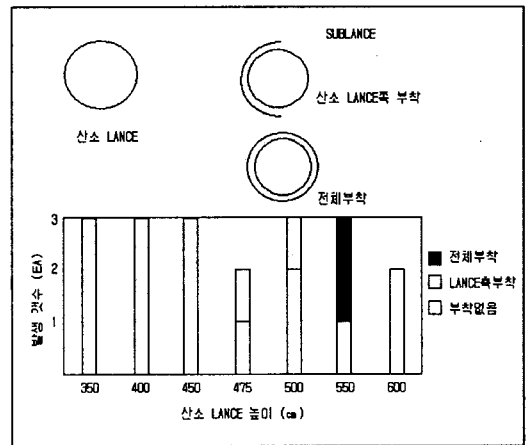


그림 10. Lance 높이에 따른 Sub-Lance Slag 부착상황

4.4 전로 내화물의 부위별 침식을 실적비교

특히 전로의 노체 수명이 지속적으로 연장됨에 따라서 그 설정 기준도 변화 하고 있다. 집중관리 위치는 크게 3 - 4 개의 위치를 선정하게 된다. 그 예로서 전로노구의 Cone 부위와 출강구의 Tap Hole 부위, 그리고 전로 중앙부위의 Trunnion 부위와 노저 부위등을 관리한다.

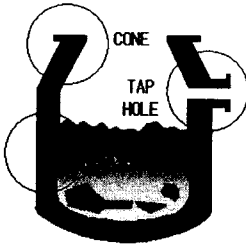


그림 11. 전로의 각 부위별 명칭

그림 12는 전로 콘(Cone)부위의 내화물 침식 결과를 시험한 내용이

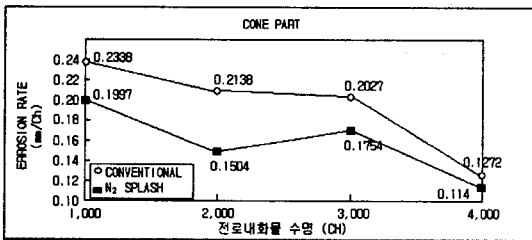


그림 12. Cone 부 내화물 침식비교

그림 13은 전로 출강구(Tap Hole) 부위의 내화물 침식 결과를 시험한 내용이다. 8.6 - 33 %가 적게 마모됨을 확인 할수 있다.

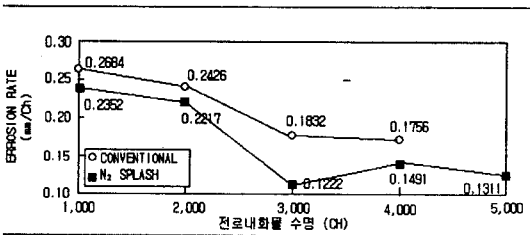


그림 13. 출강구부 내화물 침식비교

그림 14는 Trunnion 부위의 내화물 침식 결과를 시험한 부분이 약 15 - 99 %까지 침식율이 낮아지고 있음을 확인할수 있다

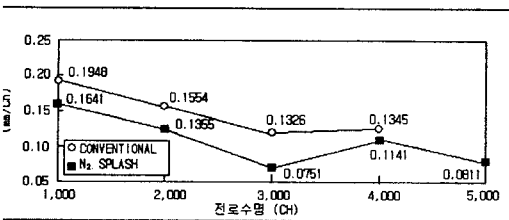


그림 14. Trunnion 부 내화물 침식현황

그림 15는 전로의 3가지 특정 부위에 대하여 종래 방법과 N₂ Slag Coating 시스템 도입후의 침식 결과를 비교한 내용이 내화물 침식 비교 실적은 전로의 수명이 5,600 CH를 기준으로 한 내용이다.

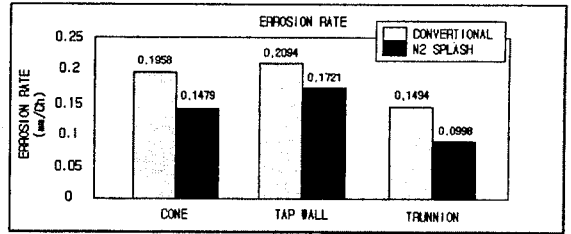


그림 15. 전로 부위별 내화물 침식비교 /5,600 CH 실적

4.5 제강 전로 노체 수명 실적결과

구분	적용	질소코팅 적용 전	질소코팅 적용 후	비고
광양 1 제강		4,263 CH	8,066 CH	250 ton
노체 수명		(1997년)	(2001년 7월)	
포항 1 제강		2,300 CH	5,000 CH	115 ton
노체 수명		(2001년)	(2002년 5월)	

표 3. 질소코팅 시스템 적용 후 노체수명 실적

5. 결론 및 향후 과제

개선된 알고리즘을 통하여 자동 조절밸브로 질소의 압력과 유량을 제어함으로써 Lance의 노즐 끝단에서 분사되는 젯트류의 운동에너지를 제어하여 Slag Coating을 효과적으로 대응할 수 있었다. Slag Coating을 위한 또 다른 인자로서 Lance의 다단높이를 제어하는 기술로서 내화물의 주요부위 코팅을 위해서는 전로 내벽의 특정코팅 부위와 Lance 높이가 관련이 있음을 확인하였다. 따라서 Lance 제어의 최적 코팅방법은 다단제어를 실시하여 국부 과도침식 부위를 집중 코팅할 수 있도록 시스템을 설계 대응 함으로서 내화물의 고른침식 유도 및 억제를 통한 전로 노체 수명연장의 극대화에 기여할 것이다.

< 참고 문헌 >

- [1] 포항 1,2 제강 전로 N₂ Splash Coating 설비 기본설계 및 상세설계, 포스코개발 제강ENG 분야, 2000년 10월.
- [2] N₂ Splash Coating 조업 기술적용결과, POSCO 1제강공장, pp. 9-18, 1998년 11월.
- [3] 제강전로 N₂ Splash Coating 설비 기술개발, 포스코개발 제강 ENG 분야, 1999년 12월.
- [5] 전로내화물 관리기술, POSCO 제강부, pp. 19-39, pp. 55-66, 1997년 6월.
- [6] 전로 제강법, 기전사, pp. 83-115, pp. 145-161, 1995년 8월.
- [7] 제강일반, POSCO, pp. 14-20, 1984년 7월.
- [8] 전로위련작업, POSCO 제강부, pp. 7-19, 1998년 5월.
- [9] *Iron and Steel Engineer*, Association of Iron And Steel Engineer, pp. 33-37, Nov. 1995.
- [10] *Iron and Steelmaker*, The Iron And Steel Society, Vol. 2, No. 6, pp. 31-34, June 1995.
- [11] *Iron and Steel Engineer*, Association of Iron And Steel Engineer, Vol. 73, No. 5, pp. 17-19, May 1995.
- [12] *Steelmaking Conference Proceedings*, The Iron And Steel Society, Vol. 77, pp. 713-722, March 1994.
- [13] 제철 용어집, 성문사, 1990년 11월.