

국산 Castable vs. Brick 내화재의 고온 용융로 적용 성능특성 비교

정석우*, 황상연, 서석정, 이재구¹
고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터, ¹한국에너지기술연구원 청정화석연료연구센터
(swchung@iae.re.kr*)

Comparison of Performance Characteristics for High Temperature Melting Furnace of Domestic Castable vs. Brick Refractory

Chung Seok Woo*, Hwang Sang Yeon, Seo Seok Jung, Lee Jae Goo¹
Plant Engineering Center, Institute for Advanced Engineering
¹Clean Fossil Fuel Research Center, Korea Institute of Energy Research
(swchung@iae.re.kr*)

서론

고온 용융로에 적용하기 위한 내화재는 반응기를 고온으로부터 보호함과 동시에 열효율을 높여주는 역할을 하므로, 고온 반응기의 안정적인 연속운전을 위해서는 적용되는 내화재가 고온에 견디고 열전도율이 낮으며 기계적 강도가 높아 내마모성이 우수하고 용융슬랙의 침식에 대한 저항성이 우수해야 한다. 최근 상용급 용융로 설비에 대한 건설이 진행되기 시작하면서 일부 내화재 업체들이 고온 용융로에 적용하기 위한 내화재 개발의 필요성을 인식하고 있지만 국내의 경우 아직까지 시장이 형성되지 못하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 고온 용융로 적용을 위하여 기존에 진행하였던 크롬 및 인산염 계열 첨가물의 함량 변화에 따른 국산 castable 내화재의 고온 용융슬랙에 대한 내침식성 시험 결과를 바탕으로 실제 고온 용융로의 건설시 castable을 사용하였을 경우와 brick을 적용하였을 경우에 대한 성능특성 비교 시험을 진행하였는데, 그 결과에 의하면 brick이 castable에 비하여 양호한 내침식성을 가지는 결과를 나타내었으나 일부 spalling에 따른 균열이 발생하고 가격이 훨씬 고가이므로 용융슬랙과의 접촉 정도에 따라 적절한 사용이 필요할 것으로 판단되었다.

실험 조건 및 방법

본 연구에서는 기존에 진행하였던 국산 castable 내화재의 크롬 함량 변화 및 미량 첨가물 첨가에 따른 내침식성 시험결과를 바탕으로 부정형인 castable 내화재와 정형인 brick 내화재의 내침식 특성을 파악하고자 고온 회전침식 시험장치를 이용한 비교 시험을 실시하였는데, 시험은 castable과 brick에 대해 크롬 (Cr) 함량 20%와 40%의 내화재 시편을 제작한 후 각각의 시편에 내마모성을 향상시키는 것으로 알려진 지르코니아(Zr) 성분을 첨가하지 않은 경우와 3% 첨가한 경우의 총 8가지 시편을 대상으로 진행하였다.

고온 회전침식 시험은 고온의 용융로 내부에서의 용융 슬랙에 의한 내화재 침식특성을 모사하기 위하여 Figure 1에 나타난 바와같이 1,550~1,650°C의 조건에서 5시간 동안 실시하였는데, 용융로



Figure 1. High temperature rotary slag test apparatus

내부에서 고온의 용융 슬래크이 내화재 벽면을 따라 흘러내리면서 침식 현상을 일으키는 것을 최대한 모사할 수 있도록 회전침식 시험 중 내화재 시편이 장착된 시험장치 몸체가 서서히 회전하도록 구성하였고 시험 중 30분 간격으로 슬래크을 소량씩 추가하면서 시험을 실시하였으며 최종적으로 시험이 완료된 후에는 내화재 시편을 해체하여 초기 상태 대비 침식된 깊이를 측정함으로써 침식지수(Erosion Index)를 평가하였다. 그리고, 이러한 8 종류의 내화재 시편에 대해 기본적인 물성 파악을 위하여 밀도, 기공율, 흡수율 및 압축강도 측정 시험을 진행하였는데, Table 1은 이러한 castable 및 brick 내화재 시편의 조성비를 나타낸 것으로 모든 종류의 내화재 시편이 동일한 입도분포를 가지도록 배합비를 조절하였다.

Table 1. Compositopns of castable and brick refractory

Composition [wt.%]	Castable				Brick			
	Cr 20%		Cr 40%		Cr20%		Cr 40%	
Al	75	72	55	52	75	72	55	52
Cr	20	20	40	40	20	20	40	40
Zr	0	3	0	3	0	3	0	3
Binder	4	4	4	4	4	4	4	4
AlPO ₄	1	1	1	1	1	1	1	1

실험 결과

일반적으로 내화재의 특성 평가시 기공율과 흡수율이 작을수록 내화재의 조직이 치밀하여 기본물성이 좋은 것으로 평가하는데, 본 연구를 위하여 제작한 castable 및 brick 내화재의 시편에 대한 기본물성 분석결과 Table 2에 나타낸 바와같이 castable 내화재에 비하여 brick 내화재가 기공율과 흡수율이 모두 작은 값을 가짐으로써 기본물성은 양호한 것으로 확인되었으나 크롬과 지르코니아 성분의 함량 변화에는 별다른 영향이 없는 것으로 파악되었다.

Table 2. Physical properties of castable and brick refractory

Physical Property	Castable (at 1,500°C)				Brick (at 1,700°C)			
	Cr 20%		Cr 40%		Cr20%		Cr 40%	
	Zr 0%	Zr 3%	Zr 0%	Zr 3%	Zr 0%	Zr 3%	Zr 0%	Zr 3%
Refractory Density [g/cm ³]	3.18	3.21	3.30	3.32	3.28	3.29	3.35	3.39
Apparent Porosity [%]	21.89	21.85	22.68	22.90	19.93	20.55	21.98	21.34
Absorption Rate [%]	5.53	5.48	5.53	5.55	4.89	5.03	5.27	5.07

그리고, 제작된 내화재 시편에 대해 압축강도 측정시험을 진행하였는데 Table 3의 결과에 의하면 brick 내화재가 castable 내화재에 비하여 월등히 우수한 강도를 가지는 것으로 확인되었으며 그 이유는 castable 내화재의 경우 고온에서의 소성 후 잔존 선팅창이 커서 강도 측면에서도 취약해지기 때문인 것으로 추정되었다. 또한, Table 3의 결과에서 castable 내화재의 경우 지르코니아 성분이 추가됨에 따라 오히려 압축강도가 감소

하는 결과를 나타내었으나 castable 내화재의 경우에는 지르코니아 성분이 압축강도에 미치는 영향이 별로 없는 것으로 파악되었다.

Table 3. Compressive strength of castabe and brick refractory

Species	Castable (at 1,500°C)				Brick (at 1,700°C)			
	Cr 20%		Cr 40%		Cr20%		Cr 40%	
	Zr 0%	Zr 3%	Zr 0%	Zr 3%	Zr 0%	Zr 3%	Zr 0%	Zr 3%
Compressive Strength [kg/cm ²]	822	745	918	690	1,963	2,003	1,838	1,819

이러한 기본물성 측정시험 결과를 바탕으로 회전침식 시험장치를 이용하여 고온 용융 슬래크에 의한 내화재 시편의 침식 특성 시험을 진행하였는데, 사용된 각 시편의 시험 후 모습은 Figure 2에 나타낸 바와 같다. 이 결과에 의하면 50 mm 높이의 초기 내화재 시편을 기준으로 회전침식 시험 후 크롬 20% 재질의 castable 내화재가 가장 많이 침식된 것을 알 수 있으며, 상대적으로 크롬 40% 재질 brick 내화재의 내침식성이 가장 우수한 것으로 측정되었다. 즉, 고온 용융 슬래크를 적용한 회전침식 시험 결과 Cr 40% brick > Cr 40% castable > Cr 20% brick > Cr 20% castable의 순으로 내침식성이 좋은 것으로 평가됨으로써, 크롬 함량이 증가함에 따라 내침식성이 증가하며 동일한 크롬 함량의 내화재일 경우 brick이 castable에 비하여 내침식성이 우수함을 확인할 수 있었다.

그리고, 용융 슬래크가 내화재 내부로 침투하는 정도를 나타내는 침윤 특성에 있어서도 침식 특성과 거의 유사하게 크롬 함량 40%의 brick이 가장 우수한 결과를 나타내었지만, Figure 2의 시편 모습에서 알 수 있듯이 brick 내화재의 경우 구조적 spalling에 의한 균열이 발생하는 것으로 확인되었다.

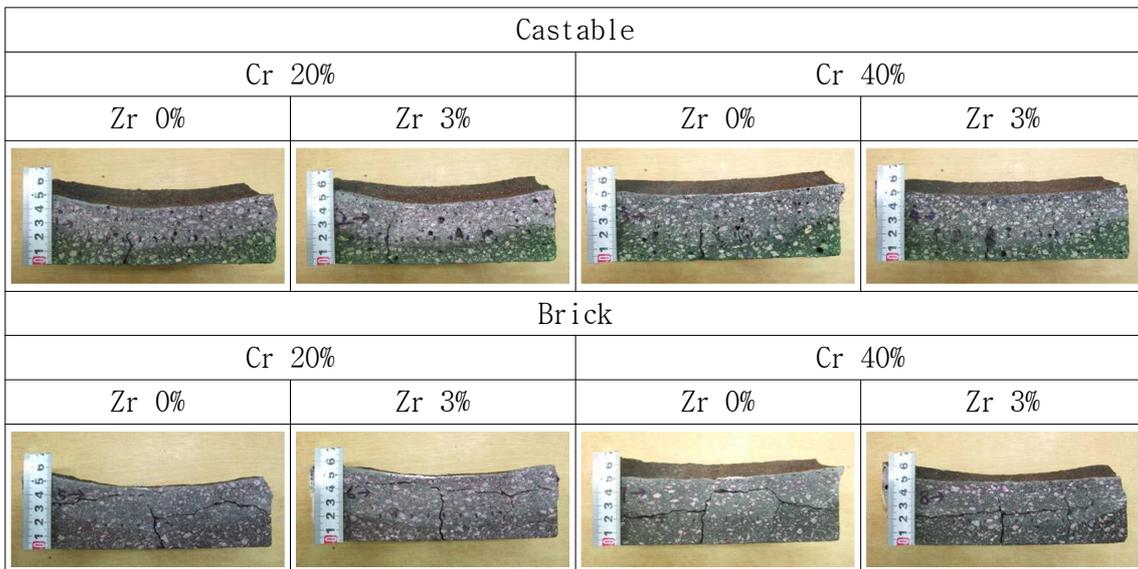


Figure 2. Samples of castable and brick refractory after rotary slag test

Table 4는 Figure 2의 시험결과를 기준으로 가장 침식이 많이 진행된 내화재 시편의 침식 깊이를 100으로 설정하였을 때 나머지 내화재 시편들의 침식 정도를 계산한 침식 지수 값을 나타낸 것으로서 침식 지수 값이 작을수록 내침식성이 우수한 내화재로 평가

할 수 있는데, 이 결과에 의하면 앞에서 설명하였듯이 Cr 40% brick < Cr 40% castable < Cr 20% brick < Cr 20% castable의 순서로 침식 지수가 커짐을 알 수 있다.

Table 4. Erosion index of castable and brick refractory

Species	Castable				Brick			
	Cr 20%		Cr 40%		Cr20%		Cr 40%	
	Zr 0%	Zr 3%	Zr 0%	Zr 3%	Zr 0%	Zr 3%	Zr 0%	Zr 3%
Erosion Index	100	86	34	59	67	65	14	14

결론

본 연구에서는 기존에 진행하였던 크롬 함량에 따른 castable 내화재의 침식특성 시험, 인산염 계열의 미량 첨가물 첨가에 따른 내침식성 향상 시험 등의 결과를 바탕으로 내화재 조성을 선정한 후 부정형인 castable 내화재와 정형인 brick 내화재 시편을 각각 제작하여 고온 용융 조건에서의 내침식성을 파악하고자 기본물성 분석 시험 및 회전침식 시험장치를 이용한 시험을 실시하였는데, 기본물성 시험 결과에서는 brick 내화재가 castable 내화재에 비하여 월등히 우수한 강도를 가지는 것으로 확인되었으며, 1,550~1,650°C의 조건에서 5시간 동안 실시한 회전침식 시험 결과에서도 Cr 40% brick > Cr 40% castable > Cr 20% brick > Cr 20% castable의 순서로 내침식성이 우수함을 확인할 수 있었다.

하지만, brick 내화재의 경우에는 강도와 내침식성이 우수하다는 장점을 가지고 있는 반면에 고온에서 일부 spalling 현상에 따른 균열이 발생하는 것으로 확인되었으며, castable 내화재에 비하여 성형, 소성 등에 많은 시간이 필요함에 따라 제조 가격이 훨씬 고가이므로 석탄가스화기와 같은 고온 용융로의 경우 내화재와 용융 슬래크의 접촉 빈도에 따라 적절한 내화재의 선정이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. J. Bonar, C. Kennedy, R. Swaroop, "Coal ash slag attack and corrosion on the refractories", American Ceramic Society Bulletin, Vol. 59, No. 4, pp. 473-478 (1980)
2. J.P Bennett, K.S. Kwong, and C. Powell, "Preliminary results from field testing an improved refractory material for slagging coal gasifiers", Proceedings of the 21st Pittsburgh Coal Conference (2004)
3. W.T. Bakker, Greenberg M. Trondt, U. Gerhardus, "Refractory practice in slagging gasifiers", American Ceramic Society Bulletin, Vol. 63, No. 7, pp. 870-876 (1984)

감사

본 연구는 한국에너지기술연구원에서 지원하는 “습식가스화기 내화재 선정평가 및 습식세정장치 기본설계 기술 개발” 과제의 일환으로 진행되었습니다. 지원에 감사드립니다.