

압연용 가열로의 고효율화 운전

김창영

포항산업과학기술연구소

The Effective Operation for Conventional Reheating Furnace

Kim Chang Young

Research Institute of Industrial Science and Technology

1. 서론

지속적인 에너지비용의 상승과 지구협약과 관련된 발생 대기오염물질에 대한 관심이 높아지고 있는 최근 상황 하에 대표적인 에너지 다소비 산업인 철강 제조공정에서 소재를 압연하기 위해 약 1100 C 이상의 고온으로 소재를 가열하는 압연용 가열로는 단순히 생산성 향상을 위한 방향으로 설비를 운용하는 이외에 에너지 사용효율에 대한 관리가 요구되고 있다.

즉 해당 설비의 능력에 비해 많은 제품을 생산하는 것이 최근까지의 경향이었고, 해당 설비 운용과 관련된 환경 규제치(NOx, SOx 등)는 크게 부담되지 않는 수준이었으나, 환경 규제물질에 대한 농도기준 관리에서 발생량 총량규제로의 변화 움직임과 특히 CO₂ 에 대한 강력한 관리 움직임, 에너지 값의 상승은 화석연료를 사용하는 설비를 기존에는 고려하지 않았던 사항들을 추가로 생각해야 하고 보완해야 할 필요성을 제기하게 되었다.

이러한 사항들은 기존 설비를 그대로 이용하면서 운용하는 방안이나 연계된 설비를 함께 고려하는 S/W 적인 조업기술, 연소장치나 배열회수장치를 고효율의 것으로 교체하는 부분적인 H/W 교체, 사용하는 연료를 고효율이나, Clean 에너지로 교체하는 것들 이외에 최근에는 앞으로 상용화될 것을 고려하여 사용 타당성을 검토하는 산소부하 / 순산소 연소기술과 수소에너지의 활용도 함께 고려되고 있다.

2. 이론

2-1. 대상 항목별 기술

최근에 제기되고 있는 사항들을 해결하기 위해서는 에너지 사용효율을 고효율화하여 사용량을 절대적으로 줄이는 방법이 최우선일 것으로 이를 위해서는 전열효율과 배열회수의 극대화과 동시에 필연적으로 발생하는 열설비 손실열량의 최소화를 기해야 할 것이다.

이러한 사항들은 기본적으로 설비 개선을 통해 이루어질 수 것으로 투자비용 대비 기대이익에 대한 평가결과가 적절해야만 이루어질 수 있는 것이다. 따라서 이러한 사항들에 대한 분석을 위해 압연용 가열로에서의 연소와 전열 및 설비적인 특성을 고려하여 열적특성을 나타내는 Model을 작성하였다. 그림 1에 열효율을 예측하기 위한 Model의 Flow Chart를 나타내었는데, 기존에 작성된 Model에 연소조건과 전열 Model을 부분 수정한 것이다.

수정된 Model에 의한 분석 가능한 항목은 적용하는 조업기술 변화, 사용 연료에 따른 변화, 연소장치와 배열회수장치의 성능에 따른 변화 및 산소부하 정도에 따른 변화를 살펴볼 수 있는데, 발생된 연소가스의 변화에 따른 전열특성은 기존의 Gray Gas에 근거한 Hottel법에 의하여 계산하고 있다.

2-2. 에너지 사용효율의 고효율화

최근 적용중인 가열로의 에너지 사용효율의 고효율화는 전열효율과 배열회수 향상 및 손실열량 최소화로 요약되는데, 각각의 단위장치들의 구현을 위한 방법들은 정립되어져 있으나, 이를 위한 투자비용대비 기대이익의 평가방법이나, 고효율화로 인하여 발생하는 상대적인 - 적인 측면에 대해서는 구체화되어지지 않은 상태이다. 예를 들어서 배열회수의 극대화를 위해 열교환기를 향상시킨 경우, 열교환에 의한 연소용 공기온도의 상승이 열효율의 향상을 가져오기는 하지만, 이로 인한 연소반응온도의 상승으로 발생 NO_x의 증가를 일으키는 문제나, 이와 유사한 경우인 산소부하의 경우도 동일한 문제를 발생시키게 된다.

물론 이러한 사항들은 각각의 단위기술과 단위장치에 대한 개발 시 동반되는 문제점에 대해 검토와 대책이 이루어지기는 하지만, 대책 설정을 위한 추가적인 투자비용에 대해서는 고효율화를 위한 방안 설정 단계에서는 아직 충분히 반영하기에 이른 상태가 된다. 따라서 단순히 언급되는 신기술이나, 동향에 대한 적용성 여부를 검토하기 보다는 우선적으로 이루어져야 할 사항과 함께 현 수준에서 적용 가능하고 예상 기대이익이 큰 항목들을 선정하고 이에 대한 경제성 여부를 판단하여야 할 것이다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 운전 조건별 변화

그림 2에는 압연용 가열로의 크기에 따른 열효율 변화를 나타내었다. 이는 압연용 가열로의 크기와 가열하는 소재크기에 따른 변화를 동일한 단위 설비로 구성된 경우를 가정한 것으로 해당 설비의 열적효율은 설비를 구성하는 단계에 이미 결정되어지는 것이고, 이것에 근거하여 설비를 운용하는 조업상황에 따라서 열효율은 변화한다는 것을 나타내고 있다.

예를 들어서 그림에 나타난 설계 기준치로 설정에 맞추어서 가열로의 크기가 결정되고 해당 조업이 설계 기준치와 동일하게 이루어진다면 가열로의 열효율은 A에 해당하는 값을 보이지만, 조업현황에 해당하는 수준을 보인다면 C에 해당하는 열효율을 나타낸다는 것을 의미한다. 이는 결국 설비의 구성을 열효율이 좋게 구성하였다고 하더라도 조업상황이 변하게 되면 상이한 열효율을 나타낸다는 것을 의미하므로 설비구성과 함께 설비를 운용하는 조업 상황에 대해서도 같이 고려해야 한다는 것을 보여주고 있다. 그림 3에는 가열소재크기 230 * 1090 * 10540 (두께*폭*길이)로서 장입온도 30 C, 추출온도 1200 C를 확보하기 위한 가열패턴을 적용한 경우에 생산량에 따른 열효율의 변화를 나타내었는데, 생산량 증가에 따라서 열효율이 저하되는 결과를 보여주고 있다. 이는 정해진 가열로의 크기에서 생산량증가를 위해서는 재료시간의 단축 즉 가열온도의 상승이 일어나서 나타난 결과인데, 이러한 경향은 그림 4와 같은 경우를 보면 달라지게 된다. 이 경우는 가열소재 크기 230 * 1090 * 10540로서 장입온도 650 C, 추출온도 1200 C를 확보하기 위한 가열패턴을 적용한 경우인데, 이는 앞의 경우와 달리 생산량 증가에 따라서 지속적으로 열효율 변화가 나타나지 않고 생산량 275 Ton/Hr 지점을 기점으로 열효율이 저하되는 경향을 보여주고 있다.

이는 앞의 그림 2에 나타난 것과 유사한 경향을 보여주는데, 결국 이 가열로의 설계기준치와 조업상황이 동일한 상태를 보이는 조건인 것으로 주어진 가열패턴에서는 최적의 열효율을 보이는 조업상황이 275 Ton/Hr를 나타내는 생산량의 경우임을 보여주고 있다.

그림 3과 4와 같은 상황에 대해 조건별 결과들을 정리하여 그림 5에 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 가열소재 장입온도가 상승할 수록 열효율의 차이가 생산량 변화에 따라서 나타나지 않고 장입온도 650 C 정도가 되면 생산량은 열효율변화에 무관한 상황이 된다는 것을 보여주고 있다. 이처럼 해당설비의 열적특성치를 알고 있다면 설비의 효율을 극대화시키는 조업조건에 대한 도출도 가능하게 된다.

3-2. 설비 조건별 변화

설비에 대한 개선시 이루어지는 사항들은 주로 생산량 증대, 사용연료의 변경, 배열회수장치 등의 교체 및 가열장치의 변경이 주류를 이루게 되는데, 생산량증대의 경우는 앞에서 언급한 설계기준치의 변경과 유사한 사항으로 단지 설계기준치 변화에 따른 열효율의 변화가 발생하게 되며, 배열회수 장치와 가열장치의 변경은 연소용 공기온도의 상승을 위한 것으로 이로 인한 효과는 단순하게 나타날 수 있다. 표 1에는 압연용 가열로의 열정산표를 나타내었는데, 그림 1에 나타난 Model에 의한 계산결과로서 설비구성에 따른 열효율을 보여주고 있다. 표에 나타난 바와 같이 배열에 의한 손실열량이 가장 크고 가열로 내부 구조물의 냉각수와 가열로 외부 내화재를 통한 손실열량이 다음 순위를 보이고 있다. 결국 가열로의 열효율 향상을 위해서는 나타난 손실열 항목에서 큰 항목들에 대한 개선을 이루면 되는데, 이를 위해서는 개선에 요구되는 투자비와 기대효과를 비교하면 경제성여부에 대한 분석이 가능하게 된다. 이와 유사한 방법으로 사용연료에 대한 경우를 비교할 수 있는데, 표 2에 그 결과를 나타내었다. 표에 나타난 바와 같이 동일한 상황에 대한 적용시 열효율의 차이를 보면 LP, 중유, COG(제철 부생가스), MXG(제철부생가스)의 순서를 보이고 이러한 차이를 보이는 이유는 연소후 발생된 배가스 성분중 LP에 비하여 MXG가 상대적으로 많은 CO₂를 보여주고 있기 때문으로 결과적으로 비열값이 높으므로 인하여 동일온도라 하더라도 함열량이 더 많기 때문이다. 이들에 의한 발생 배가스중 CO₂와 H₂O에 대한 비율이 유사하므로 노내에서의 전열효율은 유사한 수준을 보일것으로 전열효율에 대한 분석은 생략하였다.

3-3. 신기술의 고려 시

최근에 주목 받고 있는 수소에너지와 산소 연소분야는 CO₂ 발생량 “0”화와 무한에너지라는 측면에서 각광받고 있으나, 아직은 산업현장에서 대량으로 사용하기에는 경제성과 안전성에 문제가 있는 상태이다. 그러나 비교적 한정된 분야이기는 하지만 산소 연소분야는 일부 산업현장에서도 사용되고 있는데, 산소 연소(순산소 및 산소부하)로 인한 부가적인 문제점 - NO_x 발생량 증가 -들을 해결하기 위한 자체적인 대안 - 해당 설비 혹은 계측기의 개조 - 들을 추가함에 의해 사용 영역을 확대시키고 있다. 산소연소로 인해 발생하는 배가스는 질소성분이 감소 혹은 완전히 배제된 상태로 H₂O, CO₂ 만이 존재하여 전열 Mode의 변화가 예상되나, 동일한 복사전열특성을 보인다고 가정하여 산소부하연소에 따른 효과를 표3에 나타내었다. 현재 산소연소를 실시하는 일부 유럽소재 업체들에 의한 보고에 의하면 복사전열효율이 기존과 비교하여 증가하는 것으로 알려져 있으나, 외부 침입공기에 의한 문제점들의 대안이 요구되고 있다.

4. 결론

압연용 가열로에 대한 고효율화 운전을 통해 에너지 사용효율 극대화를 위한 방안을 살펴 보았다. 최적운전조건을 설정하기 위한 열효율 예측 기술을 통한 기존 설비의 운용방안과 향후 적용이 예상되는 신기술들을 통한 열효율 향상 정도를 분석하였다. 이와 같은 분석을 통하여 앞으로 추진하여야 할 기술개발 방향과 항목들에 대한 선정과 체계적인 추진이 가능 하리라 생각한다.

5. 참고문헌

1. 일본철강협회 열경제기술부회 “ 연속강편가열로에 대한 전열실험과 계산방법 ”, 1971
2. Kurosaki Co. “ 공업로의 역사와 최근의 동향, 공업로 설계의 기초와 성 에너지“, 1987
3. 일본철강협회 열경제기술부회 “ 가열로 노내 전열해석법의 기초와 응용”, 1981
4. J,P Holman " Heat Transfer ", 4Th 1979
5. IHEA " Combustion Technology Manual ", 1994

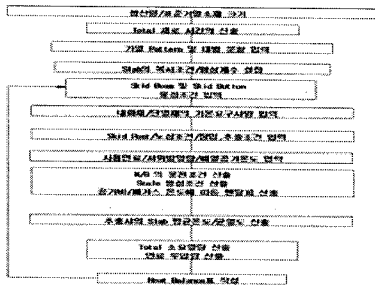


그림 1. 양면용 가열로 열효율 예측 Model 구성도

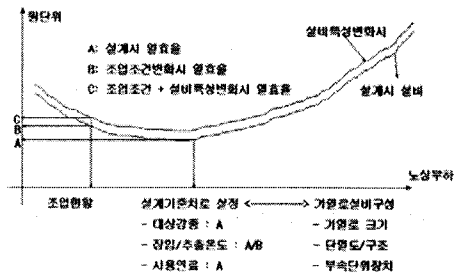


그림 2. 노상부하 측면에서 본 가열로 열효율의 변화

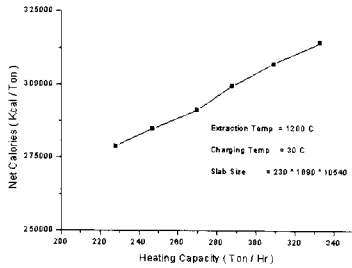


그림 3. 생산량에 따른 연료원단위의 변화 (장입온도 30℃, 추출온도 1200℃)

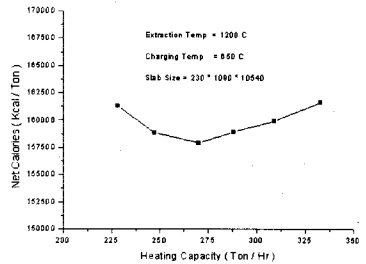


그림 4. 생산량에 따른 연료원단위의 변화 (장입온도 850℃, 추출온도 1200℃)

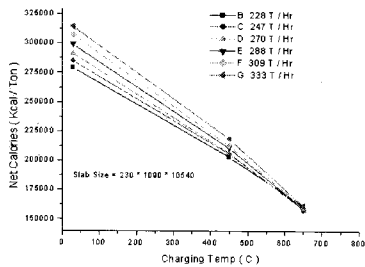


그림 5. 생산량에 따른 연료원단위의 변화

열정산 측정결과				열정산 계산결과			
구분	4 가열로	75%	구분	계산결과			
공급 열	연료연소열	279.8	75%	연료연소열	299.9	77.0	
	연소용공기 현열	57.5	15.4	연소용공기 현열	53.6	13.02	
	Scale 생성열	10.0	2.7	Scale 생성열	9.3	2.39	
	장입강재 현열	25.9	6.9	장입강재 현열	25.9	6.66	
소비 열	추출강재 현열	195.0	52.5	추출강재 현열	199.5	51.2	
	배가스 현열	121.8	32.6	배가스 현열	127.5	32.00	
	Scale 현열	2.3	0.6	Scale 현열	2.0	0.51	
	냉각수 현열	40.9	11.0	냉각수 현열	30.9	7.98	
	방산열	12.1	3.2	방산열	14.4	3.72	
	불연손실열	0.1	0.0	장입/추출손실 Skid Post 손실	6.7	1.73	
합 계	373.2	100	합 계	387.7	100		

표 1. 포함 2열연 가열로의 열정산 측정결과 및 Model 계산결과

구분	저위발열량	공기량 (μ=1.1)	폐가스비열	연료원단위
MOG	2800 Kcal	3.08 Nm ³ /Nm ³	0.3642 Kcal/Nm ³	206889 Kcal/Ton
COG	4400	4.92	0.3591	193887
LNG	9530	11.62	0.3593	194847
LPG	13800	15.91	0.3609	192804
LP	22750	26.12	0.3608	189918

표 2. 연료종류에 따른 요구되는 공기량, 비열 및 연료원 단위

열정산 계산결과 1				열정산 계산결과 2			
구분	계산결과	구분	계산결과				
공급 열	연료연소열	262705.1	연료연소열	255511.5			
	연소용 공기현열	4391.6	연소용 공기현열	3565.7			
	Scale 생성열	9346	Scale 생성열	9346			
	장입강재 현열	-	장입강재 현열	-			
소비 열	추출강재현열	156226.5	추출강재현열	156226.5			
	배가스 현열	100797.8	배가스 현열	93215.7			
	Scale 현열	1785.5	Scale 현열	1785.5			
	냉각수 현열	25523	냉각수 현열	25523			
	방산열	12289.7	방산열	12289.7			
	장입/추출 방열 Post Leak 열	4420 7000.2	장입/추출 방열 Post Leak 열	4471.6 7000.2			
합 계	316042.7	합 계	3005122				

표 3. 산소부하에 따른 열효율의 변화 (1: 산소 25%, 2: 산소 30%)