

압연용 가열로의 개념설계 기술

김창영

포항산업과학기술연구소

The Conceptual Design Technics for Reheating Furnace

Kim Chang Young

Research Institute of Industrial Science and Technology

1. 서론

철강 제조공정에서 소재를 압연하기 위해서는 약 1100 C 이상의 고온으로 가열하는 것이 요구되며 압연용 가열로는 이러한 철강소재를 가열하는 설비로서 압연 생산 설비에 있어서 반드시 요구되는 기본 설비가 된다. 이러한 압연용 가열로의 구성은 가열로 본체, 열 공급과 배기설비, 제어설비, 이송설비 및 그 외 관련된 부속설비들로 이루어지게 되는데, 지금까지 약 30년 이상 압연용 가열로를 운용해 오고 있으나, 설비의 설계와 구성과 관련된 대부분의 일들이 외국 가열로Maker에 의해 이루어져 온 관계로 자체 설계에 의한 상용화 경험이 극히 부족한 상태이다. 압연용 가열로는 타 설비에 비하여 많은 양의 에너지를 사용하고 있어 성능향상을 통해 상당량의 에너지절감과 그로 인한 환경공해를 줄일 수 있어 기업의 경쟁력 향상이 가능하고 전체적인 설비 구성시 이루어지는 연소와 제어장치 및 기계 장치는 엄격한 요구조건과 사용 온도조건을 확보하는 측면에서 압연용 가열로에 대한 자체 설계기술을 확보하는 것은 압연용 가열로 뿐만 아니라 관련된 단위부품들의 성능향상과 사용범위 확대 및 수준 향상이라는 측면에서 큰 의미를 갖고 있다.

2. 이론

2-1. 설계기술의 전개

설비를 구성하는 기술을 진행 단계와 이루어지는 일들의 내용별로 분류해 보면 통상 개념 설계, 기본설계, 상세설계 및 제작/시공설계로 구분되고, 압연용 가열로를 구성하기 위하여 여러가지 수차계산과 단위장치의 사양들을 선정하는 작업들은 통상 개념설계와 기본설계단계에서 이루어지게 된다. 그림 1에는 압연용 가열로를 설계하는 기준과 이루어지는 작업 Flow를 나타내었으며, 그림 2에는 산출하여야 하는 대상항목들에 대한 구체적인 내용들을 나타내었다. 나타난 바와 같이 관련된 기술들은 크게는 열적, 구조적인 계산이 요구되고 이들과 연계하여 부가적으로 연소 및 제어와 관련된 기술들이 요구된다.

2-2. 개념설계를 위한 Model

압연용 가열로는 Burner의 연소를 통하여 직접가열방식으로 가열소재를 가열하는 관계로 그림 3에 나타난 바와 같이 압연용 가열로의 형태와 Burner 및 연소조건에 따른 유동과 3차원적인 복사/대류열전달 해석이 이루어져야 한다. 그러나 아직까지 직접가열방식에 따른 복사열전달과 고온유동현상에 대한 해석은 계산을 위한 시간의 과다함과 계산정도가 떨어지는 관계로 적용상 한계가 있어 과거의 실적과 경험에 의한 간략화된 Model을 사용하는데 그림 4에 이러한 간략화된 Model의 개념을 나타내었다.

한편 전체적인 가열로의 구조와 가열소재를 지지, 이송하는 장치의 경우는 구조물의 안전성과 내구성을 갖추기 위한 구조해석과 피로해석을 하여야 하고 이를 위해서는 FEM Tool을 사용하여야 하나, 이 경우도 에너지 Method에 의한 처짐과 응력해석 및 Goodmann 선도에 의한 간략화된 피로강도적인 측면으로 접근하였다.

3. 개념설계용 Model

3-1. 열적해석용 Model

그림 1과 2에 나타난 대상 항목들에 대한 산출기준과 Flow 및 관련된 Program에 근거하고, 그림 3과 같은 간략화된 압연용 가열로에서의 열흐름을 가정하여 압연용 가열로에 대한 개념설계를 위한 Model을 작성하였다. 가열소재의 승온계산은 총괄열흡수율에 의한 복사전열을 가정하여 가열소재의 두께와 길이방향으로의 2차원 열전도방정식에 대한 수치해석(FDM)을 실시하는 Model을 작성하였으며, 이 Model을 기준으로 가열로에서의 열입출열과 관계된 수식들을 부분적인 가열로 Maker의 자료와 법규 및 철강편람의 자료등을 이용하여 추가 구성하여 Model을 완성하였으며, 연소가스와 같이 온도에 따른 물성치를 요구하는 경우에는 해당 물성치를 온도의 함수로 부여하여 계산이 이루어지도록 하였다.

3-2. 구조해석용 Model

압연용 가열로에서 구조해석이 요구되는 부분들은 가열로내에서 가열소재를 지지하고 이동시키는 부분과 가열로 외부에서 이들 지지부를 연계하여 지지하고 이동시키기 위한 부분들로 구성이 된다. 가열소재를 지지하고 이동을 위한 Skid Beam과 Post의 적절한 간격설정을 위하여 다점지지 연속보형태의 처짐과 반력을 에너지 Method를 이용하여 산출하도록 하고, 해당되는 적절한 단면계수의 산출은 산출된 반력을 기준으로 기성품을 찾도록 하였다. 또한 이들 지지부를 가열로 외부에서 연계하여 지지하고 이동을 시키는 부재들에 대해서는 고려되는 하중조건을 고려하여 집중하중과 분포하중을 받는 조건으로 지지와 이동을 위한 부재 및 이들을 전체적으로 연계시키는 I 형 구조재에 대한 단면계수를 역시 기성품을 찾도록 구성하였다. 한편 구동을 위한 전체적인 구동계의 연계에서는 해당되는 부재들이 반복되는 하중을 연속하여 받는 점을 고려하여 Goodman 선도에 의한 해당 부재의 물성치를 산출하여 단면계수에 의한 기성품을 찾도록 구성하였다. 전체적인 구동계와 관련하여 이들을 상호 체결 혹은 지지하기 위한 Journal, Bearing, Key등과 관련된 부분들은 일반적인 요소설계와 관련되고 해당되는 부품들의 종류가 다양한 관계로 추가적인 계산을 생략하였다.

3-3. 열유동 해석 Model

앞에서 언급한 바와 같이 압연용 가열로와 같이 직업가열방식의 경우는 Burner의 분사조건과 해당 가열로의 형태등에 따른 유동과 복사/대류열전달에 대한 3차원적인 분석이 요구되나, 여러 가지 이유로 인하여 간략화된 Model을 사용하여 본 압연용가열로의 개념설계용 Model을 작성하였다. 이는 전적으로 과거의 경험과 실적을 근거로 한 사항으로 실제 적용상에 큰 무리가 없는 것으로 알려져 있으나, 향후 압연용 가열로의 형태변화 혹은 기존 형태의 부분적인 변화가 이루어진 경우에 대한 분석을 위해 이를 위한 CFD Code를 작성하였다. 작성된 CFD Code는 주목적이 압연용 가열로의 형상과 내부의 연소가스 유동에 영향을 주는 구조물과 Burner 설치조건에 따른 압연용 가열로내부의 3차원적인 온도분포와 가열소재의 가열이력에 대한 분석이므로 비교적 계산결과에 영향을 미치는 효과가 적은 사항들은 생략하였다. 즉 유동과 연소 및 복사열전달은 통상적으로 적용되는 K-ε Model, WSGGM에 의한 복사조건을 고려하였으며, Burner의 경우는 Premixed로 가정하였다. 압연용 가열로에서 사용되는 대부분의 Burner는 Diffusion Flame를 적용하고 있으나, 연소반응에 따른 생성물을 분석하는 것이 아니고 단순히 온도장을 분석하기 위한 것이므로 연소반응율의 조정을 통한 실제 화염온도분포와 유사한 온도분포를 얻는 결과에 근거하고, 계산을 위한 Mesh수를 고려하여 Premixed로 가정하였으며, 작성된 CFD Code는 신속한 계산을 위해 병렬계산이 가능하도록 구성되었다.

3-4. 작성된 Model들의 사용자용 Tool 구성

이와 같이 작성된 압연용 가열로에 대한 열적 / 구조적 해석 Model들은 사용자가 용이하게 사용이 가능하도록 Visual C++을 이용하여 GUI화 하였다. 즉 사용자가 입력하는 입력변수들은 GUI화면을 통해 입력하고, 입력된 사항들을 계산하는 Model들은 Fortran으로 작성된 관계로 이를 별도 실행파일들로 구동하였으며, 계산된 결과만을 사용자가 해당 화면에서 살펴볼 수 있도록 구성하였다. 한편 압연용 가열로의 유동과 온도장 해석을 위한 CFD Code의 경우는 해석을 위해 입력하여야 할 사항들의 방대함과 계산을 위한 계산시간과 H/W의 제약으로 인하여 단순히 개략적인 사항들에 대한 입력과 계산결과를 살펴볼 수 있도록 구성하였다.

4. 결론

압연용 가열로의 개념설계를 위한 관련된 기술들을 가열로 Maker의 부분적인 자료와 일반적인 이론 및 공업규격에 따른 기준들에 의거하여 정립하였으며, 실제 압연용 가열로에 대해 Case Study를 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1). 열적해석용 Model의 경우, 실제 압연용 가열로의 개념설계와 관련된 항목인 압연용 가열로의 크기와 설치되는 Burner의 용량 등에 대하여 거의 유사한 결과를 얻을 수 있었으며, 특히 현재 적용하는 조업조건에 따른 압연용 가열로의 열효율 등에 대한 상당한 예측력을 보여주었다.
- 2). 구조해석용 Model의 경우, 실제 압연용 가열로의 개념설계와 관련된 항목인 압연용 가열로에 대한 내부 구조물인 Skid Beam 과 Post 의 설치간격 및 사용부재의 선정 등에 대한 설정된 근거를 확보할 수 있었으며, 이를 통해 압연용 가열로의 구조재에 대한 개념설계가 가능한 결과를 보여주었다.
- 3). 열유동해석 Model의 경우, 작성된 CFD Code를 통한 실험용 가열로에서의 확인실험시 측정된 각 부위별 온도와 계산된 온도가 유사한 결과를 보여주었으나, 가열소계의 가열이력에 대한 경우는 약간의 차이를 보여주었으며, 실제 압연용 가열로에 대한 해석의 경우는 일반적으로 알려진 경우와는 약간의 차이가 있는 결과를 보여주었다.
- 4). 전체적으로 작성된 압연용 가열로의 개념설계를 위한 Model들은 일반적으로 알려진 개념설계 시 산출하여야 하는 제원들을 구하기에 유용한 결과를 보여주었으며, 향후 이러한 제원들로부터 구체적인 사양과 도면을 도출해내는 추가적인 사항들이 이루어진다면 압연용 가열로에 대한 독자적인 설계능력을 확보할 수 있으리라 생각한다.

5. 참고문헌

1. 일본철강협회 열경제기술부회 " 연속강판가열로에 대한 전열실험과 계산방법 ", 1971
2. Kurosaki Co. " 공업로의 역사와 최근의 동향, 공업로 설계의 기초와 성능에너지", 1987
3. 일본철강협회 열경제기술부회 " 가열로 노내 전열해석법의 기초와 응용", 1981
4. J,P Holman " Heat Transfer ", 4Th 1979
5. H.C Hottel " Radiative Transfer ", 1969
6. 포항산업과학연구원연구소 내부보고서 " 강종/연소조건에 따른 가열로내 전열특성 분석 및 열효율 예측 기술 ",2003

