

제철용 고로 구조물의 열전도 유한요소해석

Heat Transfer Finite Element Analysis of Iron-manufacturing Furnace Structures

최 우 철* 백 점 기** 이 제 명*** 김 원 범**** 이 만 승***** 한 대 석*****
Choi, Woo Cheol Paik, Jeom Kee Lee, Je-Myung Kim, Won Beom Lee, Man Seung Han, Dae Suk

ABSTRACT

본 해석은 제철용 고로 구조물에 대하여 고로 내의 온도 분포를 이용한 열전도 유한요소 해석을 수행하고자 한다. 해석모델인 고로는 내화벽돌, 냉각판, 내화재(castable), 철판의 복잡한 구조로 이루어져 있다. 각각의 재료뿐만 아니라 고로에 사용되어지는 모든 내화벽돌의 재료 물성치 값을 사용하여 보다 실질적인 해석을 수행하고자 하며 고로의 냉각 시스템인 냉각판과 냉각 pipe의 효과 규명하고자 한다. 어떠한 부분 모델이 아니라 고로 전체를 대상으로 열전도 해석을 수행한다.

1. 서 론

본 연구는 제철용 고로 구조물의 열전도 유한요소해석을 수행하고자 한다. 가동 중인 고로는 송풍구를 통해 1500~1700°C의 고온의 열풍 가해져 제철원료를 연소시킨다. 고로 내의 고온을의 온도 냉각을 위한 고로내의 냉각 구조가 존재하는데 이를 열전도 유한요소해석을 통하여 가동 중인 고로내부의 온도를 이용하여 내화벽돌, 냉각판, 철판까지의 온도 구배를 파악하고자 한다. 고로 전체를 대상으로 해석을 수행할 것이며 기존의 연구는 각각의 모든 내화벽돌(내화재)의 재료 물성치를 사용하여 해석을 한 예는 거의 없다 하지만 본연구는 내화벽돌(내화재)의 각각의 재료 물성치 값을 입력하여 보다 실질적인 열전도 유한요소해석을 수행할 것이다.

2. 해석 모델 및 해석 방법

본 연구에서는 제철용 구조물인 고로에 대해 범용유한요소 프로그램인 ANSYS 8.0을 사용하여 열전도 유한요소해석을 수행하였다. 해석 모델인 고로의 기하학적 특성을 살펴보면 내화벽돌, 냉각판, 내화재(castable), 철판의 구조로 되어 있으며 고로의 높이에 따라 각각 다른 구조를 가지고 있다. 높이 별로 구성 재료의 두께는 다르며 특히 높은 온도가 작용하는 노저부와 송풍구에는 내화벽돌이 상당부분을 차지하고 있다. 본 해석에서 고로 전체구조를 대상으로 열전도 해석을 수행하였으며 해석시 사용된 요소는 2차원 축대칭 요소(4-node plane55)요소이고 고로 전체를 해석대상으로 취하였으며 고로 내부에서 측정된 온도값을 적용하였다

* 부산대학교 조선해양공학과 석사과정
** 부산대학교 조선해양공학과 교수
*** 부산대학교 조선해양공학과 조교수
**** 부산대학교 조선해양공학과 특별연구원
***** (주) 포스코건설
***** 부산대학교 조선해양공학과 석사과정

3. 열전도 유한요소해석

본 해석은 고로 전체 구조를 해석대상으로 취하였으며 그림 1은 고로 전체 구조에 대한 형상과 송풍구를 통한 온도 유입에 따른 고로 내부의 온도 분포이다. 사용된 요소는 축대칭 요소로써 2차원 4 Node Plane 55 요소를 사용하였다. 해석모델인 고로는 내화벽돌, 냉각판, 내화재(castable), 철판으로 이어지는 구조로 되어있는데 내화벽돌은 각각의 재료 특성이 다르며 해석 모델은 총 13개의 material로 구성되어있다. Table 1은 고로의 재료 특성을 나타내고 있다.

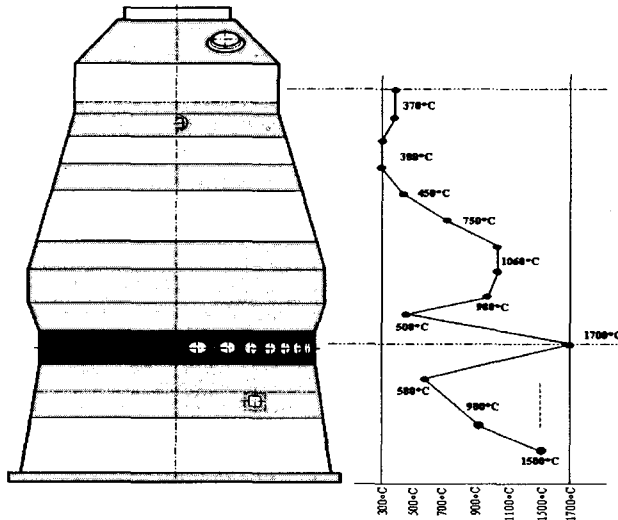


그림 1. 고로 형상 및 온도 분포

Table 1. 고로 재료 물성치

열전달계수(k, Thermal Conductivity)			
구분	k(W/mm°C)	구분	k(W/mm°C)
고로철판(외피)	0.0607	FN-1	0.0019771
IMCS-F	0.00060476	FH	0.0018608
Iron stove	0.052335	UF-WBA	0.0052335
Copper stove	0.0339	BC-8SR	0.0261675
CAB-HVSC	0.004652	BC-5	0.023296
SSB-2	0.0233763	Throat armour	0.06
SBAN-1	0.0203525	-	-

Table 2. 부위별 mesh size

부 위	Mesh Size (mm)
외 부 철판	30 × 30 ~ 30 × 60
냉 각 판	60 × 60
내 화 물	120 × 60 ~ 120 × 120

본 해석에 적용된 열적 경계조건은 철판 외부 온도는 50°C, 냉각 pipe 100°C로 가정하였다. Table 2에는 부위별 mesh size를 나타내고 있으며 사용된 요소 개수는 15306개이고 절점 개수는 14307개이다. 고로의 실제 치수는 설계도면에서 export 값들을 import 시켰으며 고로 형상의 불연속적인 부분들과 일정치

얇은 형상들로 인한 node공유의 어려움으로 인해 부분적으로 삼각형 요소를 사용하였으며 냉각판은 냉각 pipe를 고려하여 길이 방향으로 3개의 element를 생성하기 위해 mesh size를 결정하였다.

4. 해석 결과

고로 내부의 온도 분포를 이용하여 열전도 해석을 수행하였고 그림 2는 2차원 축대칭 요소를 사용한 고로의 전체 온도 분포 결과와 1/2 확장시킨 결과이며 그림 3은 부분 온도 분포 결과이다. 해석 결과는 고로 전체 해석결과와 부분(노저부와 송풍구) 해석결과를 나타내었으며 특히 노저부와 송풍구 부분의 전도 해석결과는 고온의 온도가 가해지므로 이 부분의 온도 구배와 냉각 pipe, 내화재(castable)의 효과를 graph로 나타내었다. 송풍구 주변과 노저부에서의 내화벽들에서의 온도가 높음을 알 수 있으며 내화벽들을 거쳐 냉각판을 지나면서 대부분의 온도가 강하하여 고로 철판에 전해지는 것을 알 수 있다.

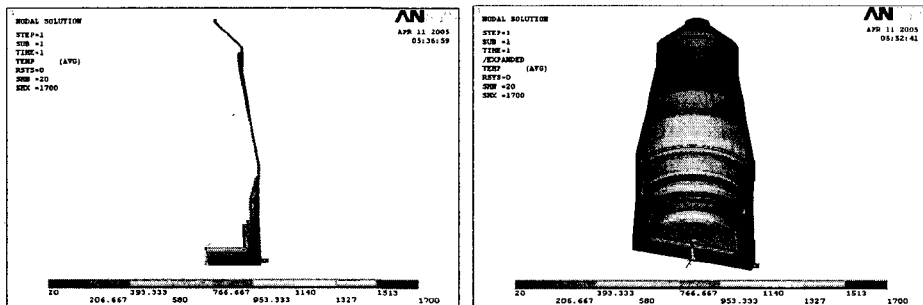


그림 2. 열전도 유한요소 해석결과 전체 온도 분포

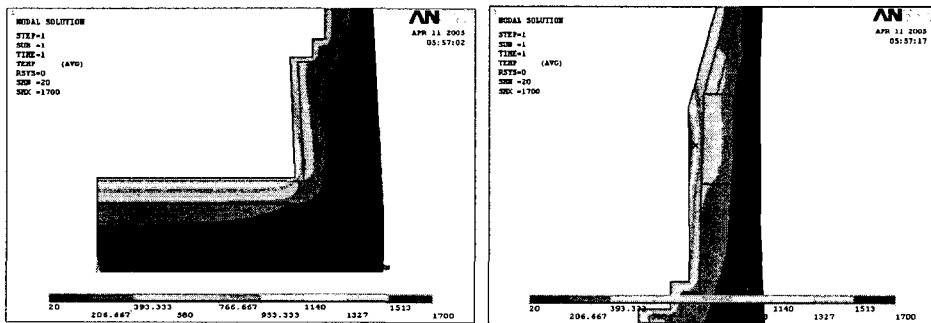


그림 3. 열전도 유한요소 해석결과 부분 온도 분포(노저부 및 송풍구)

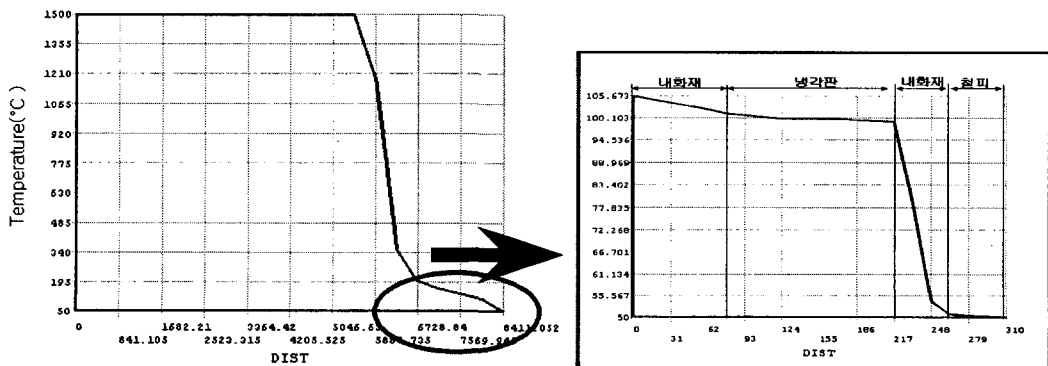


그림 4. 노저부 온도분포

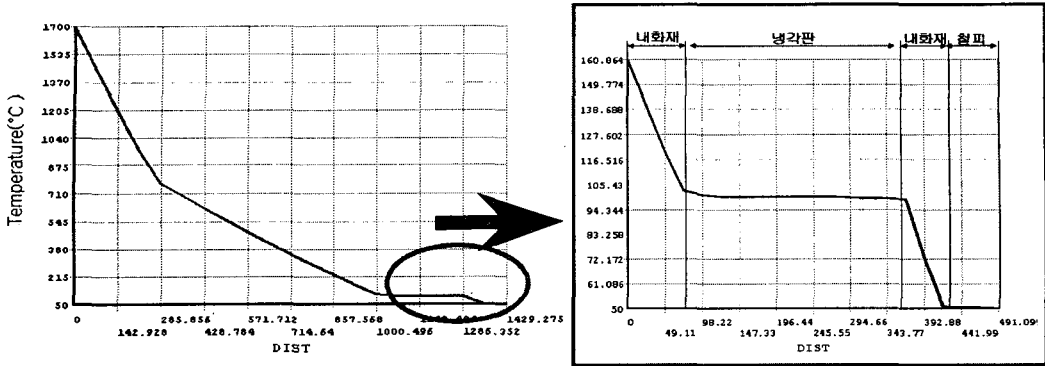


그림 5. 송풍구 온도분포

그림 4와 5가 나타내는 것은 고로 내부의 내화재 끝부분부터 철판(외피)까지의 전도 해석 결과와 내화재, 냉각판, 내화재(castable), 철판에 이르기까지의 과정 중에서 냉각 pipe의 효과를 보여주고 있다. 고온의 온도가 1차적으로 내화벽들에 의해 냉각되어지고 냉각판과, 냉각 pipe에 이르러서는 온도가 대부분 냉각되어 철판에 전도되어지는 것을 알 수 있다. 그리고 stove에 부착되어 있는 내화재(castable)에 이르러서 냉각효과가 발휘되어짐을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구는 제철용 고로 구조물의 내부 온도에 의한 열전도 유한요소해석을 수행하였다. 해석결과를 종합해본 결과 고로 내부의 고온은 내화벽들을 통해 1차적으로 냉각되어지고 대부분은 냉각판을 거치면서 냉각 pipe를 통해 냉각수의 온도까지 냉각되어진다. 즉, 고로의 냉각 시스템 중에서 냉각판과 냉각 pipe가 중요한 요소임을 확인 할 수 있었다.

참고 문헌

1. 이만승, 백점기, 이제명, "상세구조해석을 이용한 제철설비구조물 안정성평가 기술에 관한 연구", 한국전산구조공학회 2004 추계학술발표회 논문집
2. Frank P. Incropera, David P. De-Witt, "Introduction to Heat Transfer" John Wiley & Sons, Inc., New York, 2002, p. 892
3. Minkowycz, W. J., "Handbook of numerical heat transfer" John Wiley & Sons, Inc., New York, 1988, p. 1024
4. Manson, S. S., "Thermal stress and low-cycle fatigue" R.E. Krieger Pub. Co., 1981, p. 404