

# 전기식 히터 복합 열유동 해석

심창열\* · 박순상\* · 한풍규\*\* · 김영수\*\*\*

## Conjugated Heat Transfer Analysis of Electric Heater

Chang Yeul, Shim\* · Soon Sang, Park\* · Poong Gyoo, Han\*\* · Young Soo, Kim\*\*\*

### ABSTRACT

In this paper, the conjugated heat transfer analysis was performed about an electric heater used in a combustion test equipment of a combustor engine to figure out a physical phenomenon that heater coil was periodically cut during heating test. The result of analysis is that the temperature of coil at coil inlet region was increased locally because the velocity of air was slow in that region. The coil of heater was moved to 25mm downstream so that the structure stability of coil was assured by the decrease of the coil temperature due to increase of an air velocity.

### 초 록

본 논문에서는 연소기 엔진 연소시험 설비용으로 사용되는 비연소식 전기히터의 특정부위에서 코일이 과단되는 현상이 연속적으로 발생함에 따라 원인 규명을 목적으로 히터에 대한 복합 열유동해석을 수행하였다. 수행 결과, 히터의 과단이 발생하는 코일 입구 직선구간에서 코일의 온도가 국부적으로 크게 상승함에 따라 열 및 구조적으로 취약하다는 것이 판명되었으며, 이의 원인은 이 영역 부근에서 공기 유속이 매우 낮았기 때문이었다. 코일을 하류로 25mm 이동하였고 이를 통해서 코일 입구 직선부분에서의 공기의 유속이 증가됨으로 코일온도를 감소시킬 수 있었고, 코일의 열 및 구조적 안정성을 확보할 수 있었다.

Key Words: Electric Heater(전기히터), Conjugated Heat Transfer Analysis (복합열유동해석)

### 1. 서 론

일반적으로 연소기 엔진 시험 평가를 위해서 지상 연소 시험이 실시되는데, 지상 연소시험 설

비는 지상에서 실제 비행상황을 모사할 수 있어야 한다. 따라서 연소기 엔진의 입구조건을 만족시키기 위하여 유입 공기를 실제 운용 상태에서의 온도조건으로 가열해 주어야 하는데 가열 방법으로는 연소식 히터, 비연소식 히터, 혼합식 히터의 3가지 방식이 일반적으로 사용되고 있다.[1-4]

당사는 대표적인 비연소식 히터인 전기코일을

\* 현대로템 기술연구소 추진연구팀

\*\* 현대로템 중기사업관리팀

\*\*\* 현대로템 기술연구소 중기연구부문

† 교신저자, E-mail: cyshim@hyundai-rottem.co.kr

사용하여 공기를 가열하여 연소기 연소시험을 수행하였는데, 시험중에 특정부위에서 전기 코일이 계속적으로 끊어지는 문제점이 발생하였다. 이러한 문제점의 원인 파악 및 해결책을 마련하기 위하여 전기식 히터에 대한 복합 열유동 해석을 수행하였다.

## 2. 형상 및 계산조건

### 2.1 계산영역 및 계산격자

계산을 위해 사용된 히터 형상은 Fig. 1과 같다. 왼쪽의 입구로 상온의 공기가 유입되며 중간에 공기를 가열하는 전기 히터가 장착되어 있으며, 오른쪽에 가열된 공기가 유출되는 출구가 있다. 계산격자수는 750,000 개 정도이며, 고체인 코일과 유동이 접촉하는 부분은 상호열전달을 고려한 복합(conjugated) 열유동이 고려되어야 하므로 코일의 표면에 3개의 계산 격자층(layer)을 적용하여 격자를 생성하였다[5].

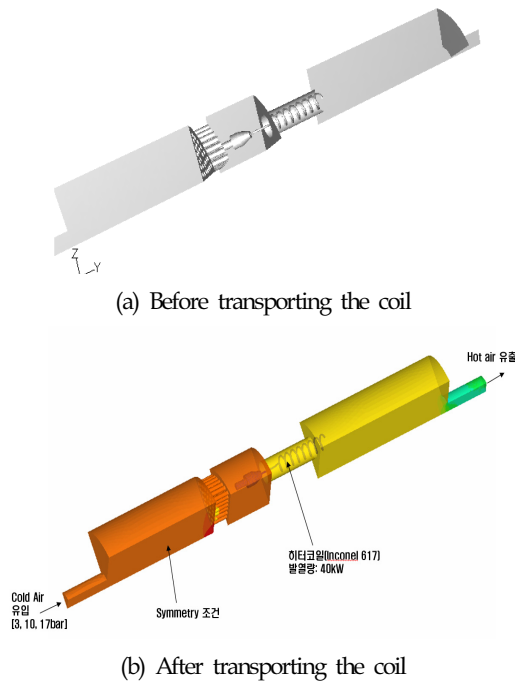


Fig. 1 Geometry of Heater for Calculation

### 2.2 해석기법 및 경계조건

본 히터의 열전달 문제를 고려한 복합 열유동해석을 수행하기 위하여 범용 열유체 해석코드인 Fluent가 사용되었으며, 비압축성 N-S 방정식이 적용되었다. 또한 계산시간을 단축하기 위하여 히터를 원주방향으로 60도 구간만 모델링하고 경계면은 주기조건으로 처리하여 계산하였으며, 코일 역시 격자수를 줄이기 위하여 1/10 으로 모델링 하였다. 계산된 사용된 경계조건은 Table 1과 같다.

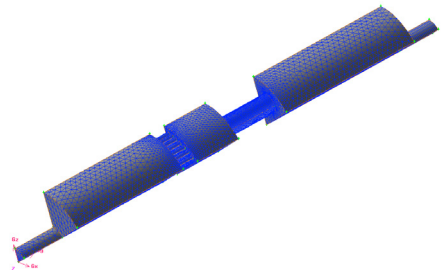


Fig. 2 Calculation Grid of Heater

Table 1. Boundary Condition

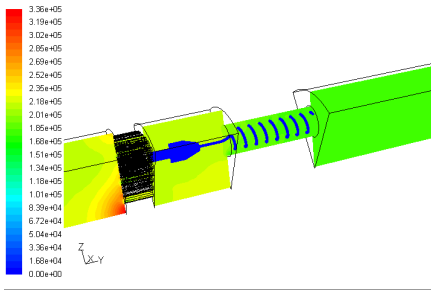
입구	235K, 1.0kg/s, 비압축성 Air
출구	대기압
코일재질	Inconel 617
난류모델	- 모델
정밀도	Double Precision
코일발열량	코일당 40kW

## 3. 계산결과

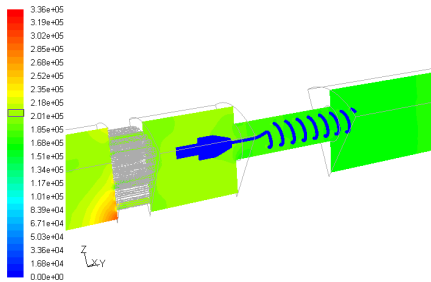
### 3.1 코일 이동전 해석결과

Figure 3(a)에서 보는바와 같이 히터 내부의 정압분포는 국부적인 부분을 제외하고 전반적으로 2.0~3.0 bar 의 균일한 분포를 보이고 있으며, 발열량에 상관없이 동일하다.

Figure 4(a)에서 보는바와 같이 히터 내부의 온도분포를 보면 코일입구에서 253K의 차가운 공기가 코일을 지나면서 가열되어 출구에서 277K 정도로 즉 24K 상승된다. 코일가열 구간을 10등분하여 각 등분이 lump 시스템으로 균일한 발열량을 보인다고 가정할 경우, 이 해석값을 근거로

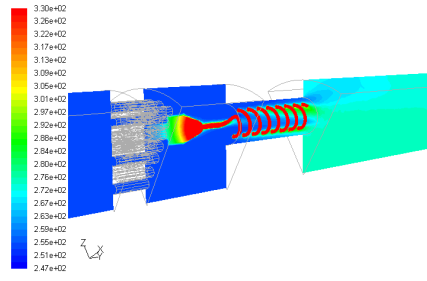


(a) Before transporting the coil

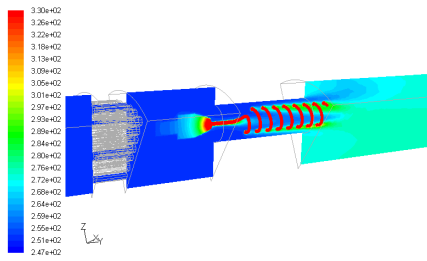


(b) After transporting the coil

Fig. 3 Pressure Contour of Air



(a) Before transporting the coil



(b) After transporting the coil

Fig. 4 Temperature Contour of Air

전체 코일길이에 대한 공기의 상승량을 예측하면 24K의 10배인 240K가 되므로, 출구에서의 공기 온도는 493K가 예상된다. 이 값은 시험값 500K와 비슷함을 알 수가 있으므로 해석값이 시험값과 상당히 일치한다는 것을 확인할 수 있었다.

Figure 5(a)의 코일의 온도 분포를 보면, 입구의 직선부분에서 코일의 온도가 국부적으로 최고값 1,870K를 가짐을 알 수가 있었다. 이것은 이 근처에서의 공기의 속도가 40~60m/s로 매우 낮아서 코일에서 공기쪽으로의 열전달이 미약하기 때문인 것으로 보인다. 따라서 코일의 재질인 Inconel 617의 녹는점을 1650~1700K로 하였을 경우, 입구부분의 코일은 녹는점을 초과하므로 이 부분에서 코일이 녹아서 끊어진다는 것을 해석값을 통해서 이해할 수가 있었다.

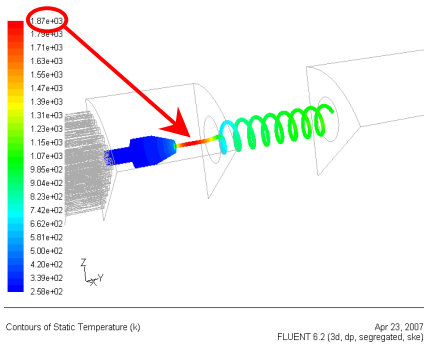
### 3.2 코일 이동후(하류 25mm) 해석결과

Figure 1(b)와 같이 코일을 하류방향으로 25mm 이동하여 같은 코일발열량에 대하여 해석을 수행한 후에 코일을 이동시키기 전의 해석결과값과 비교하였다.

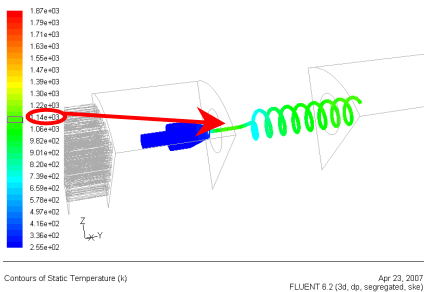
Figure 5(b)에서 보는바와 같이 코일 위치 이동전에는 코일 입구 직선부분에서의 코일 온도가 최고 1870K까지 상승하였으나, 코일을 하류로 25mm 이동한 경우 같은 영역에서 코일 온도가 최고 1140K 정도로 이동전에 비하여 730K까지 온도가 대폭 감소하였다.

코일을 이동하였을 경우 코일 앞부분의 온도가 크게 감소한 것은 Fig. 6(b)에서 보는바와 같이 코일 이동에 의한 코일 앞부분에서의 공기의 속도가 이동전 60m/s에 비하여 190m/s로 130m/s 정도 증가하였기 때문이다. 다시 말하자면 증가된 유속에 의하여 입구 근처의 코일에서 공기쪽으로의 열전달이 증가하였기 때문이다.

내부 공기의 온도 분포는 Fig. 4와 같이 코일 위치 변화와 무관하게 비슷한 온도분포를 나타내고 있으며, 내부 공기의 정압 분포 역시 Fig. 3에서 보는바와 같이 코일 이동전 2.18bar, 코일 이동후 2.1bar로서 코일 이동에 따른 이 부근에서의 압력강하는 매우 미미함을 알 수가 있었다.



(a) Before transporting the coil



(b) After transporting the coil

Fig. 5 Temperature Contour of Coil

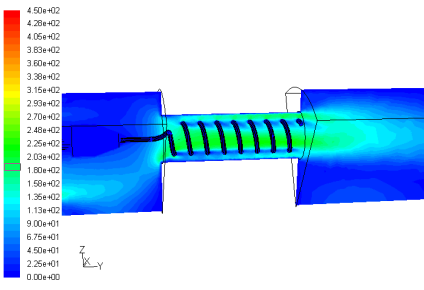
#### 4. 결 론

전기히터 코일의 파단 현상은 입구 직선부에서 코일 온도가 1870K로 코일 녹는점을 초과하여 발생한 것이다. 이것은 코일 파단면 형상(외부용융, 내부파단)으로 고려한다면 전류는 도선의 외곽으로 흐르면서 도선 외곽에 일부 용융이 생기면서 공력 등에 의해 내부는 파단이 일어나는 현상을 설명할 수 있다.

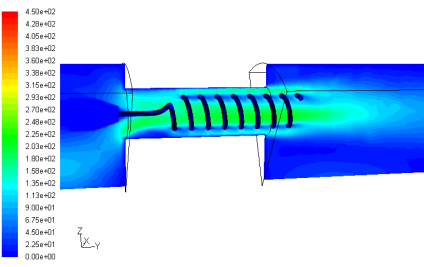
코일을 하류 방향으로 25mm 이동시 같은 발열량 조건에서 코일의 입구 직선부에서 코일 온도는 이동전 보다 730K 떨어진 1140K로 코일의 온도가 크게 감소하였다. 따라서 코일의 열적 안정성이 확보되었다고 볼 수 있으며, 소재의 고온강도가 우수한 것을 고려한다면 1140K 근처에서의 구조적 안정성도 충분하다고 판단된다.

#### 참 고 문 헌

1. Roger Maguet, Charles Ecury, Phillip Cazin, "Studies and Test of Rocket Ramjets for Missile Propulsion", AIAA 79-7037, 1979
2. AGARD (Advisory Group For Aerospace Research & Development) AR-323. P50
3. Murakami 등, "스클램젯 시험용 공기加熱器" 航空宇宙學術研究會 告書, TR-912, 1986
4. T. Hashimoto, "Combustion stability of a vitiated-air heater using coaxial injectors", Vol.38, No10-13, 1997
5. 심창열, 남궁혁준, 한풍규, 김동환, 김영수 "연소식 히터 설계 (I)," 유도무기학술대회 논문집, 2007



(a) Before transporting the coil



(b) After transporting the coil

Fig. 6 Velocity Contour of Air