

가스 터빈 Hot gas casing에 대한 유동 및 열응력 해석

최영진[†] · 이영신^{*} · 김재훈^{*} · 박원식^{**} · 김현수^{***}

A study on the flow and thermal analysis of the hot gas casing of gas turbine

Choi Young Jin, Lee Young Shin, Kim Jae Hun, Park Won Seek and Kim Hyun Soo

Key Words : Hot gas casing(핫 가스 케이싱), Flow analysis (유동해석), Thermal stress (열응력)

Abstract

The hot gas casing of gas turbine has operated high temperature and thermal gradient. The structure safety of hot gas casing will be highly depend on the thermal stress. In this paper, flow and thermal stress analysis of hot gas casing is carried out using ANSYS program. The obtained temperature data by flow analysis of hot gas casing apply the load condition of the thermal analysis. The thermal stress analysis is carry out the elastic-plasticity analysis. The pressure, temperature and velocity of the flow and thermal stress of the hot gas casing are presented.

1. 서 론

Hot gas casing은 고온, 진동 등의 가혹환경에서 운전되어 정기적으로 정비가 필요하다. 그러나 정비시 많은 비용이 소요되므로 이를 감소시키거나 사용수명을 연장하기 위한 기술들이 연구되고 있다. 따라서 Hot gas casing의 운전 조건을 고려하여 구조응력해석, 손상예측과 수명예측을 통해 구조물의 안전성을 확보할 수 있는 Hot gas casing의 평가기술이 반드시 필요하다.

본 논문에서는 재료의 고온 기계적 특성 시험을 통해 획득된 재료의 고온 물성치를 이용하여 Hot gas casing에 대한 열응력해석을 수행하였다. Hot gas casing에 대한 열응력해석은 ANSYS 프로그램을 이용하여 casing의 해석을 수행하였다. Hot gas casing에 대한 유동해석은 열응력해석에서 필요한 온도 및 하중 조건을 구하기 위

하여 해석을 수행하였다. 유동해석에서 적용된 유체는 고온 유체의 물성치를 적용하였다. Hot gas casing 유동해석에서 획득된 온도데이터는 열응력해석에서 직접 하중조건으로 적용하였다. Hot gas casing 열응력해석에서 경계조건은 터빈 부분과 Hot gas casing의 상부부분의 조건을 고정경계조건으로 가정하여 Hot gas casing의 구조적 특성을 해석하였다. 여기에 1.2.1 항의 내용을 입력한다.

2. Hot gas casing 유동해석

2.1 Hot gas casing의 해석 모델링

본 연구에서는 Hot gas casing 열응력해석을 수행하기 위하여 해석과정에서 큰 영향을 미치지 않는 부분을 간략화하였으며, 주요부분은 ANSYS 프로그램을 이용하여 해석모델을 생성하였다. 유체부분의 모델은 Hot gas casing의 사용 환경에 따라 터빈으로 내부유체가 흘러가는 부분을 고려하여 생성하였다.

본 연구에서 유동해석 및 열응력해석을 동시에 수행하기 위하여 Hot gas casing 및 유체부분의 모델을 함께 생성하였다. 유체부분의 특성을 고려하기 위하여 전체 모델은 Solid 모델로 생성하였다.

본 해석 모델에서는 냉각 홀을 제외하여 모델링

[†] 충남대학교 기계설계공학과 대학원

E-mail : lisajin@pony.cnu.ac.kr

TEL : (042)825-6531 FAX : (042)822-7366

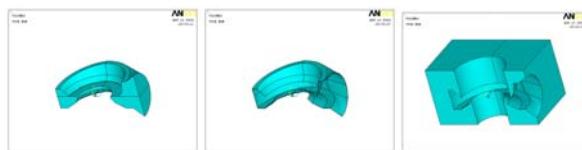
^{*} 충남대학교 기계설계공학과 교수

^{**} 한국전력연구원

^{***} 충남대학교 기계설계공학과 대학원

을 수행하였으며 외부 유체 부분과 내부 유체부분은 직접 만나지 않는다. Hot gas casing 모델은 mapped mesh 를 이용하여 정육면체 요소를 적용하였으며, 유체부분은 복잡한 형상을 고려하여 mapped mesh 를 대신 free mesh 가 지원하는 사면체 요소를 채용하였다.

Fig.1 은 Hot gas casing 내부 및 외부 유체부분모델과 Hot gas casing 본체모델을 나타내고 있다. 내부유체에 적용된 요소의 크기는 0.05 m, 요소의 갯수는 20246 개이다. 본체해석모델은 요소 크기 0.08 m, 요소 갯수 2114 개로 구성되었다. 그리고 외부유체모델은 요소의 크기 0.03 m, 요소의 갯수 221207 개로 구성되었다.



(a) Inner flow (b) Hot gas casing (c) outer flow
Fig. 1 Analysis model of the hot gas casing

2.2 Hot Gas Casing 유동해석

Hot gas casing 유동해석을 수행하기 위하여 실제 운전조건과 유사한 외부유체와 외부유체의 흐름을 적용하였다.

Fig.2 는 Hot gas casing 유동해석에 대한 경계조건을 나타내고 있다. hot gas casing 의 유동해석에서 Hot gas casing 의 대칭성을 이용하여 대칭경계조건을 적용하였다.

외부유체는 Hot gas casing 의 하부에서 $v_x=0$, $v_y=0$, $v_z=1 \text{ m/s}$ 의 속도로 Hot gas casing 의 상부로 흘러간다고 가정하였으며, 외부유체가 흘러나가는 면의 상대압력은 0 이라고 가정하였다. Hot gas casing 외부유체의 초기 온도는 600 K 이다.

내부유체는 Hot gas casing 의 상부에서 $v_x=0$, $v_y=0$, $v_z=-3 \text{ m/s}$ 의 속도로 Hot gas casing 의 터빈부분으로 흘러간다고 가정하였으며, 내부유체가 흘러나가는 터빈부분에서의 상대압력은 0, Hot gas casing 내부유체의 초기 온도는 1300 K 이다. 유동해석에서 Hot gas casing 에 적용된 물성은 Table 1에 나타내었다.[1]

Fig.3 은 유동해석에서 생성된 요소를 나타내고 있다. 적용된 경계 조건 외에 다른 경계부분에 대해서는 세방향 v_x , v_y , v_z 모두 유속이 없다고 가정하였다.

유동해석결과 내부유체의 경우 Fig.4 에서 나타낸 것과 같이 내부유체가 빠져나가는 출구부분의

압력을 0 이라고 하면 이에 따른 내부유체의 상대압력은 초기 입구부분에서 급속도로 증가하였으며, 이때 내부유체의 최대상대압력은 10.25 Pa 이다. 전체적으로 내부유체의 상대압력은 증가하였다가 출구 부분에서 급격히 감소하였으며, 터빈출구부근에서 최소상대압력은 -0.437 Pa 이 발생하였다. 내부유체의 유속은 Fig.5 에서 나타낸 것과 같이 터빈 주위에서 급격하게 증가한다. 최대 유속은 터빈입구부분에서 9.135 m/s 가 발생한다. Hot gas casing 하부부분으로 갈수록 감소하여 Hot gas casing 하부 부분 중 터빈입구 부근에서 최소 유속 0 이 된다.

Fig.6 은 내부유체의 온도분포를 나타내었다. 내부유체는 유속이 감소되는 하부부분에서 온도가 증가하였으며, Hot gas casing 의 하부부분에서 최대 온도 1382 K 가 발생하였다. Hot gas casing 표면에서는 외부유체의 영향으로 온도가 급속히 감소하며, Hot gas casing 하부 측면 부분에서 최소 온도 700 K 가 발생하였다.

Fig.7 은 외부유체가 빠져나가는 출구부분의 압력을 0 인 상태에서 외부유체의 상대압력을 나타내고 있다. 외부유체의 상대압력은 터빈부근으로 갈수록 감소하며 터빈부근에서는 -0.09 Pa 의 최소상대압력이 발생하고, 출구로 가면서 점점 증가한다. 출구와 가까운 터빈부분에서는 와류의 영향으로 최대상대압력 1.851 Pa 이 발생한다.

Fig.8 에서 나타낸 것과 같이 외부유체의 유속은 유체가 지나가는 면적이 감소하는 부분에서 증가하고 출구 부근에서 최대 유속 2.661 m/s 가 발생한다. 그러나 대칭면에 접근할수록 유체의 유속은 감소하는 것을 나타내고 있다.

Fig.9 은 Hot gas casing 의 대칭면에서의 유속을 나타낸 것이다. 그림에서 나타낸 것과 같이 터빈부분에서의 유속의 변화가 급속히 변화하는 것을 알 수 있다. 외부유체의 온도변화는 Fig.10 에 나타내었다. 외부유체의 온도는 내부유체의 영향으로 인해 출구 쪽으로 갈수록 급속히 증가하며 특히 대칭면에 접근할수록 외부유체의 온도는 급속하게 최대온도 1300 K 까지 증가한다. Hot gas casing 하부터빈부근에서는 온도가 감소하여 502.5 K 까지 감소한다.

Hot gas casing 본체의 온도분포는 Fig.11 에서 나타내었다. Hot gas casing 의 최고온도 1300 K 는 내부유체의 입구부분에서 나타났으며 상대적으로 하부 측면보다 해석모델의 대칭부분의 온도가 높게 나타났다. 이것은 내부유체의 온도가 하부대칭부분에서 높게 나타났기 때문이다. 또한 외부유

체가 출구 쪽으로 오면서 상대적으로 온도가 증가하였기 때문에 Hot gas casing 상부부분의 온도감소는 적게 나타났다.

Table 1 Thermal and flow properties of the hot gas casing

	Hot gas casing	Flow
Thermal conductivity (W/m · °C)	27	0.0456
Mass density (kg/ m ³)	8360	0.1
Specific heat (J/kg · °C)	662	1051
Viscosity (kg/m · °C)	-	30×10^{-5}

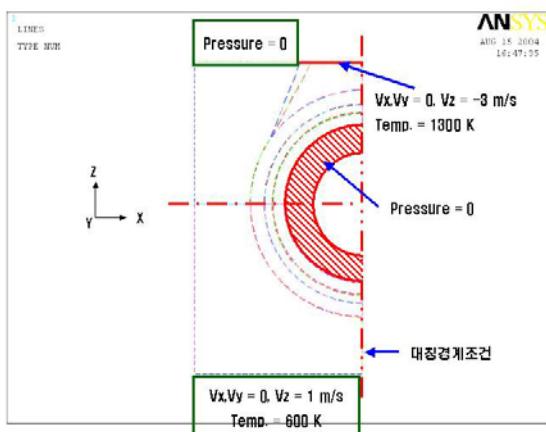


Fig. 2 Boundary condition of the hot gas casing at the flow analysis

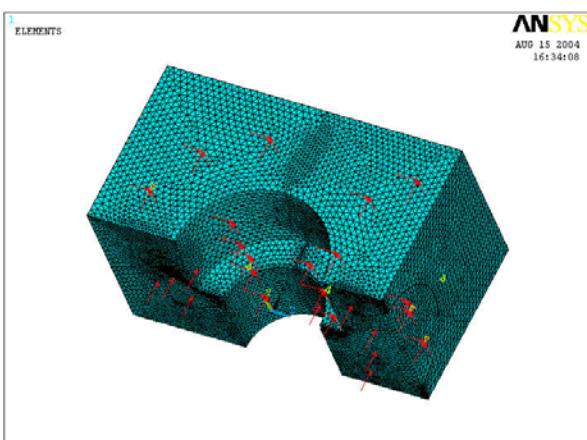


Fig. 3 Flow element shape of the hot gas casing

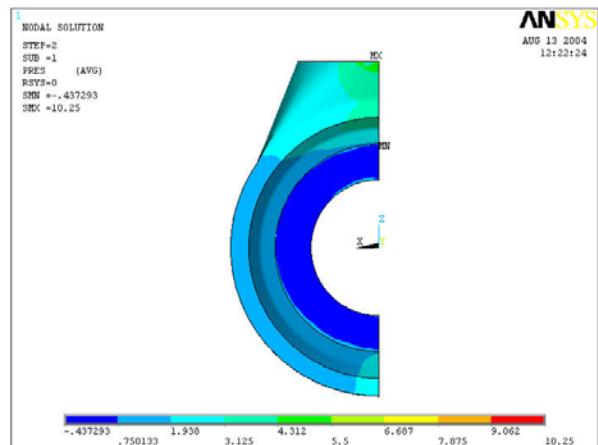


Fig. 4 Pressure distribution of the inner flow

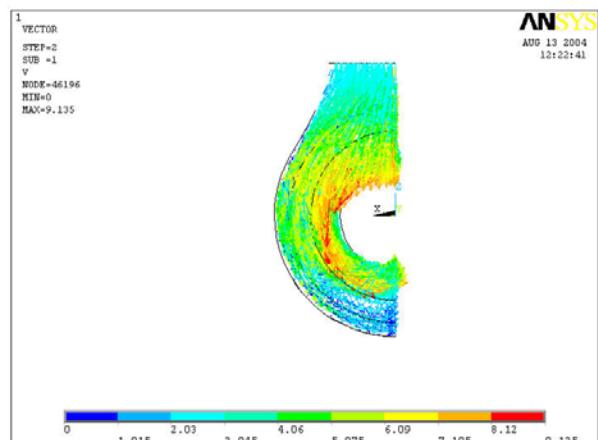


Fig. 5 Velocity vector of inner flow

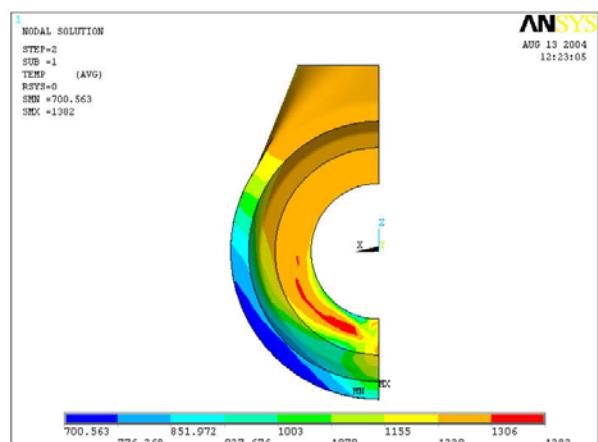
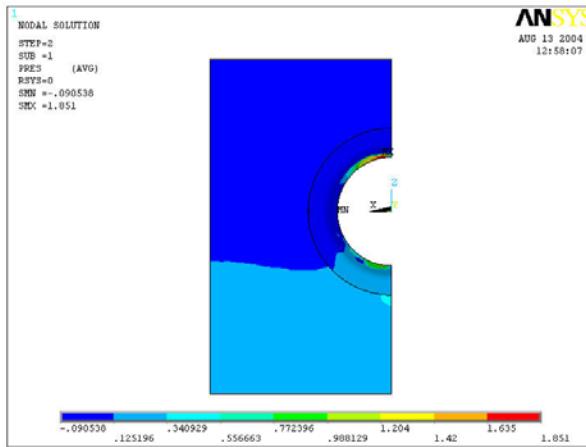
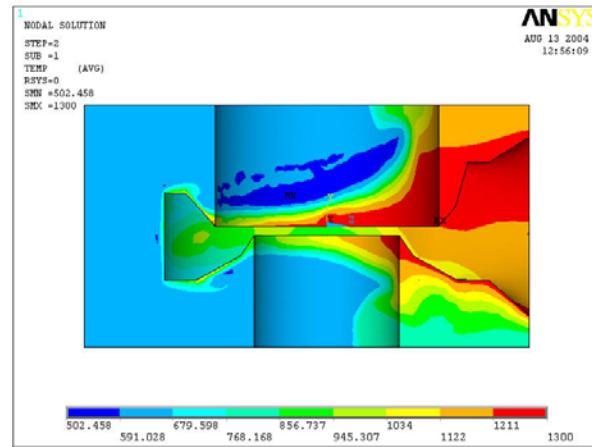
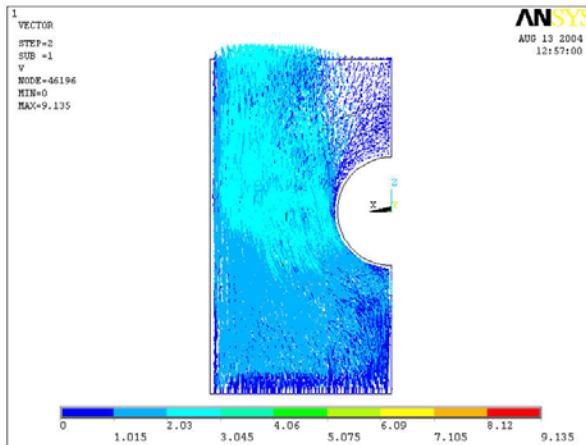
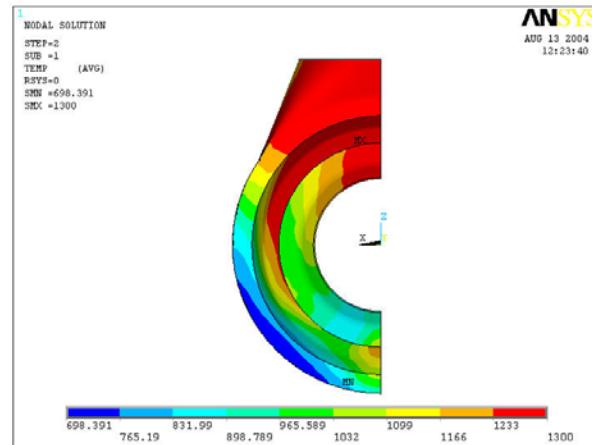
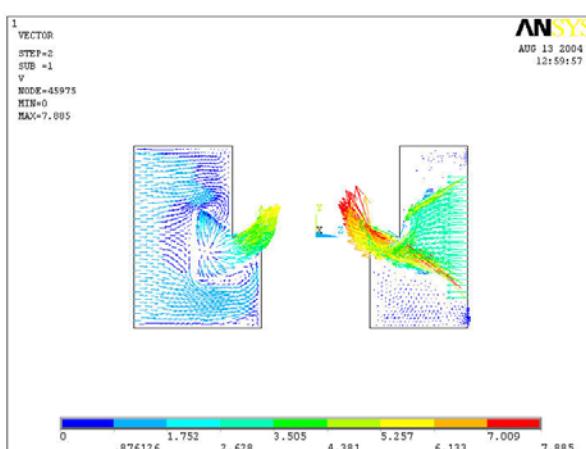


Fig. 6 Temperature distribution of the inner flow

**Fig. 7** Pressure distribution of the outer flow**Fig. 10** Temperature distribution of the outer flow**Fig. 8** Velocity vector of outer flow**Fig. 11** Temperature distribution of the hot gas casing body**Fig. 9** Velocity vector of the hot gas casing symmetric area

3. Hot gas casing 열응력해석

Fig.12 은 Hot gas casing 의 요소형상 및 경계 조건을 나타내고 있다. hot gas casing 의 열응력 해석에서 Hot gas casing 의 대칭성을 이용하여 대칭경계조건과 유동해석에서 나온 온도 하중조건을 적용하였다. Hot gas casing 의 열응력해석에서 적용된 요소는 8 절점 요소인 Solid 45를 적용하였으며 하중조건은 body load 를 이용하여 온도 하중조건을 적용하였다.

Hot gas casing 의 열응력해석 경계조건은 터빈과 연결되는 부분에 대해서는 고정경계조건, Hot gas casing 상부에 대해서도 고정경계조건을 적용하였다. 열응력해석에서 1 차년도 보고서에 따라 900 °C 물성치를 적용하였다. 열응력해석에서 적용된 물성치는 Table 2 에서 나타내었다. 본 열응

력 해석에서는 탄소성해석을 수행하였다.

Hot gas casing의 열응력해석을 수행한 결과, Fig.13과 같이 모델의 모서리에서 응력 집중이 일어났으며 최대열응력은 439 MPa이 발생하였다. 해석모델의 응력집중을 제외하고 실제 균열이 발생하는 Hot gas casing의 상부부분에서의 열응력은 300 MPa 수준이 발생하였다. 이러한 결과는 Hot gas casing의 경계조건에서 터빈부분에 해당되는 부분에 대해서 고정 경계조건을 적용하였기 때문이다.

Table 2 Mechanical and thermal properties of the hot gas casing

Material	Inconel 617
Young's modulus (GPa)	154.5
Mass density (kg/m ³)	8360
Poisson's ratio	0.30
Thermal conductivity (W/m · °C)	27
Thermal expansion coeff.(W/°C)	15.8×10^{-6}
Yield strength (MPa)	13.26

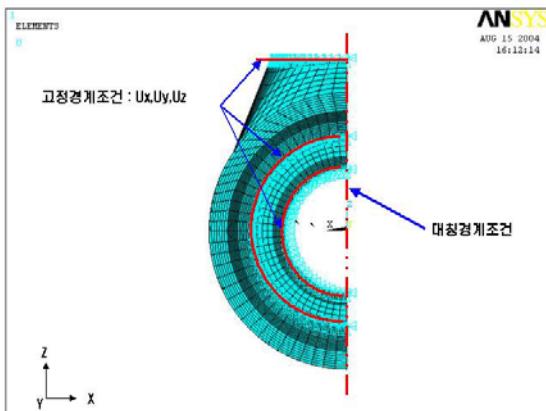


Fig. 12 Boundary condition of the hot gas casing at the thermal stress analysis

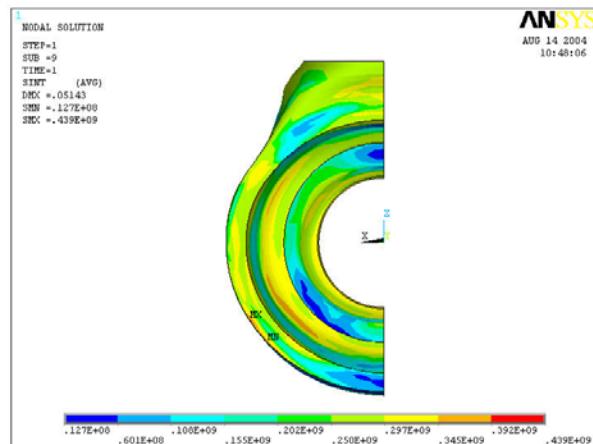


Fig. 13 Thermal stress distribution of the hot gas casing body

4. 결 론

본 연구를 통하여 다음과 같은 내용을 확인할 수 있다.

- 1) 공기의 압력은 출구 쪽으로 가면서 상대적으로 감소하였으며 유속은 유동면적의 감소에 따라 급속하게 증가하였다.
- 2) Hot gas casing의 온도는 내부유체의 온도가 대칭면 하부 쪽에서 최대온도를 나타내었다. 이로 인하여 casing의 측면부분의 온도가 상대적으로 낮게 나타났다.
- 3) 외부유체는 출구 쪽으로 가면서 온도가 증가하여 Hot gas casing의 상부 쪽의 온도감소에 영향을 크게 주지 못하였다. 이는 터빈형상의 영향으로 유체가 흘러들어가지 못하고 바로 출구 쪽으로 이동하기 때문이다.
- 4) Hot gas casing 열응력은 응력집중에 의하여 casing의 측면부분에서 최대열응력이 발생하였다.

참고문헌

- (1) A. C. Yunus, 1998, "Heat Transfer", McGraw-Hill.
- (2) O. C. Zienkiewicz, 1989, "The Finite Element Method", McGraw-Hill.
- (3) J. N. Reddy, 1993, "An Introduction to the Finite Element Method", McGraw-Hill.
- (4) TAESUNGSNE, 2002, "Selected Problems for ANSYS Users".
- (5) Swanson Analysis Systems Inc., 1992, "ANSYS User's Manual".
- (6) Y.S., Lee, , M.H., Choi, Y.H., Kang and D.S., Shin, 2002, "A Structural Analysis of the Circular Cylinder with Multi Holes under Thermal Loading," Nuclear Engineering and Design, Vol.212, pp273 ~ 279