

FSI 기법을 활용한 열 전달 및 열 응력 해석 방법에 관한 연구

A Study of Heat Transfer and Thermal Stress Analysis Method Utilizing FSI Technique

*박지원¹, 맹칭¹, 이상훈¹, 정일중¹, 남승용², 배성훈², #이석순²

*J. W. Park¹, MengQing¹, S. H. Lee¹, I. J. Jeong¹, S. Y. Nam², S. H. Bae², #S. S. Lee(leess@gnu.ac.kr)³

¹경상대학교 대학원 기계공학과, ²경상대학교 기계항공공학부

Key words : Thermal Stress Analysis, Transiernt Heat Treansfer Analysis, Convection, Fin Effect

1. 서론

본 연구는 Transient 해석 기법을 적용한 열 전달 해석결과로부터 나온 온도 데이터를 적용하여 열 응력 해석을 수행하는 방법에 관한 것이다.

본 연구에서는 대류 열 전달이 일어나는 예제를 이용하여 열전달 및 열응력 해석을 수행하는 과정을 정립하고 결과를 검토 함으로써 해석 기법을 확립하는데 있다. 사용된 소프트웨어에는 3 차원 형상 모델링을 위해 CATIA V5, 전처리는 HyperMesh, 열 전달 및 열 응력 해석을 위해서는 STAR-CD, ABAQUS 가 사용되었다. 또한 Matlab 을 이용한 Prgramming 을 수행하여 정해를 계산하였다.

2. 문제 정의

문제의 개략도를 Fig. 1 에 나타내었다. 지름이 5mm 이고 길이가 긴 원통형 막대를 해석을 위해 300mm 로 가정한 것이다. 한 쪽 끝이 100°C로 유지되어 있고 막대의 표면은 대류열전달계수 h 가 $100 W / m^2 \cdot K$ 로 25°C의 공기에 노출되어있다. 재료의 열전달 계수 k 가 $180 W / m \cdot K$ 이다.

정상상태 조건으로 주위와 복사 열교환은 무시하며 일정한 물성값과 균일한 열전달계수를 가진다.

Fig. 2 은 공학 수치해석 프로그램인 Matlab 을 이용하여 프로그래밍 한 결과 값을 그래프로 나타낸 것이다.

3. 전 처리과정

3.1 3 차원 형상 모델링

열전달 및 열응력 해석을 위한 원통형 막대의 3 차원 형상모델링을 Fig. 3 왼쪽에 나타내었다. 모델링은 3 차원 모델링 상용 소프트웨어인 CATIA V5 R16 에서 수행하였다.

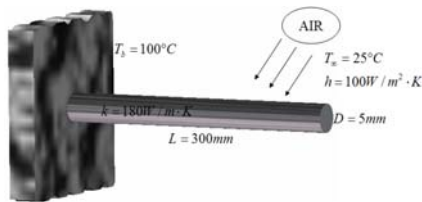


Fig. 1 Definition of problem

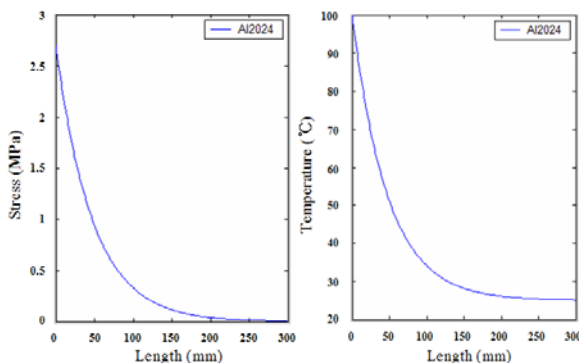


Fig. 2 Stress and Temperature distribution along length

3.2 유한요소 격자 생성

유한요소 해석을 위한 모델의 요소 생성 형상을 Fig. 3 오른쪽에 나타내었다. 요소 생성은 Altair 사의 HyperMesh 8.0 을 사용하여 생성하였으며 요소 종류로는 열전달 해석에 적합한 DC3D8 로 지정하였다.

재질은 Al2024 로 관련 정보를 Table 1 에 나타내었다.

3.3 경계조건 적용

HyperMesh 에서 생성한 요소에 대한 정보를 담고 있는 변환 된 파일을 열전달 해석을 수행 하게 될 STAR-CD 에서 불러온다.

Fig. 4 왼쪽은 STAR-CD 에서 Wall 라는 이름의 경계조건을 적용한 그림이다. 이는 주어진 문제에서와 같이 유체의 이동이 없을 경우에 사용 가능한 경계조건으로 여기에 100°C를 입력하였다. Fig. 4 오른쪽은 대류가 발생하는 경계층에 요소를 생성하여 대류경계조건을 적용한 그림이다.

Fig. 5 은 STAR-CD 에서 수행 한 열전달 해석 결과를 열 응력 해석을 위해 ABAQUS 에서 적용한 것을 보여준다

4. 열전달 및 열응력 해석 결과

Fig. 5 는 STAR-CD 에서 수행한 열전달 해석 결과를 보여 준다. 시간이 지남에 따라 길이 방향으로 열이 전달 될 때 대류에 의한 열 손실로 결국 온도는 대기 온도와 같게 된다. 원통형 막대의 표면은 대류열전달로 인한 온도 분포가 나타남을 확인 할 수 있다.



Fig. 3 3D Modeling and FE Modeling of Cylindrical bar

Table 1 Material Properties

Material	Al2024
Yong's Modulus	73GPa
Possion's Ratio	0.3
Thermal Expansion Coefficient	2.3×10^{-5}
Yield Strength	30MPa

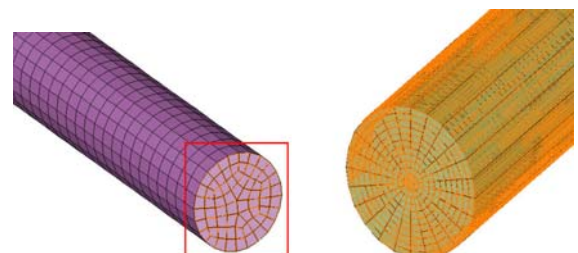


Fig. 4 Boundary condition for cylinder bar and convection

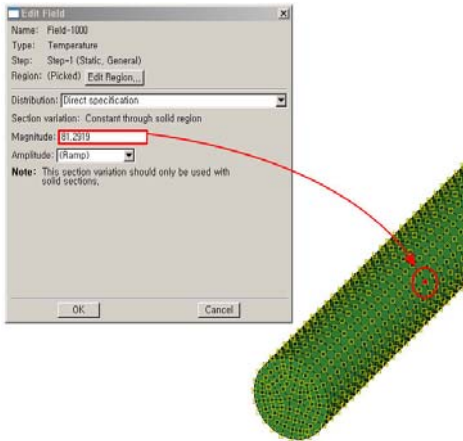


Fig. 5 Application of the result of heat transfer analysis

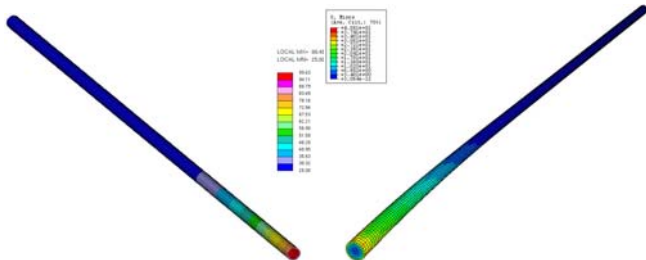


Fig. 6 The result of heat transfer and thermal stress

Fig. 6 왼쪽은 STAR-CD 에서 수행한 열전달 해석 결과를 보여준다. 시간이 지남에 따라 길이 방향으로 열이 전달 될 때 대류에 의한 열 손실로 결국 온도는 대기 온도와 같게 된다. 원통형 막대의 표면은 대류열전달로 인한 온도 분포가 나타남을 확인 할 수 있다.

Fig. 6 오른쪽은 열전달 해석 결과인 온도 분포를 가지고 ABAQUS 에서 수행한 열응력 해석 결과이다. 표면온도가 내부 온도보다 약간 낮은 것으로 보아서 대류열전달에 의한 Node 에서 온도 데이터가 바르게 적용 되었음을 알 수 있다.

5. 결과 비교

해석 기법의 검증을 위해 Matlab 을 이용하여 계산한 정해와 3 차원 유한요소 해석 결과를 비교하였다.

Fig. 7, 8 은 해석 모델에서 중심에 위치한 절점들의 유한요소 해석 결과와 프로그래밍을 통해 나온 결과 값을 비교한 그래프이다. 프로그래밍에서는 길이 방향으로 일정한 값이 입력 되도록 하였다. 200mm 이상에서는 열전달이 거의 일어나지 않아서 해석 모델의 온도가 대기온도와 같은 25°C로 유지 되었고, 열응력 해석 결과 또한 온도차이가 발생하지 않았기 때문에 0 에 가깝게 나타났다.

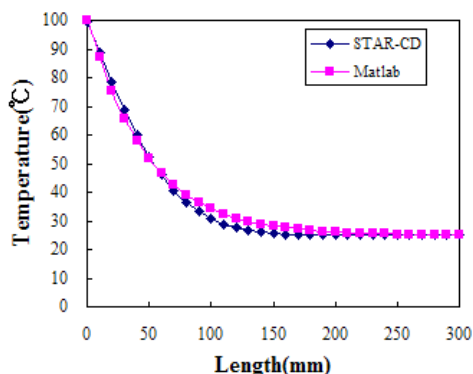


Fig. 7 The result of heat transfer analysis

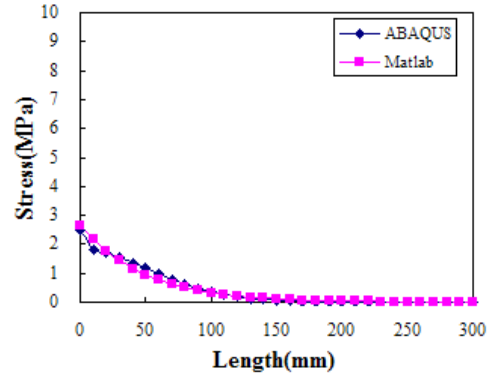


Fig. 8 The result of Thermal stress analysis

열전달 해석 결과에서 초기에는 유한요소 해석에서의 온도가 높다가 나중에는 낮아지는 것을 볼 수 있다. 이는 대류열전달에 의한 열 손실 때문일 것이다. 물론 프로그래밍을 통해 얻은 정해에도 대류열전달의 영향이 포함되었다. 하지만 계산 결과에 약간의 차이가 나는 것은, 정해의 계산은 단면에서의 온도 분포가 일정하지만 유한요소 해석은 그렇지 않기 때문이다. 열응력 해석 결과 또한 모델의 표면에서 온도와 표면 바로 아래에서의 온도 차이가 전체적인 해석 결과에 영향을 주어 약간의 오차를 가져왔을 것이다. 해석 모델의 정의와 유한요소 기교상의 오차를 감안하더라도 결과는 비슷한 경향을 보인다는 것을 확인 할 수 있다.

6. 결과 비교

공학적으로 다양한 종류의 해석문제를 정확하게 묘사하여 원하는 결과를 얻기 위해서는 다수의 프로그램을 이용하여 해석 방법을 정립해서 사용하면 효율적인 해석을 수행 할 수 있는 경우가 많다. 하지만 이러한 기법을 사용할 때에는 해석 프로그램들의 특성을 정확하게 파악한 후 데이터의 상호 교환 시 오차를 줄여 정확한 데이터를 얻는 것이 필요하다.

본 연구를 통하여 이러한 해석 방법을 정립함으로써 각각의 프로그램이 지원하는 다양한 해석들을 활용하여 점점 포괄적이고 복잡화되어 가는 해석 문제를 정확하고 유연하게 해결 할 수 있을 것이다.

참고 문헌

1. Frank P. Incropera, David P. DeWitt, 1999, "Fundamentals of Heat and Mass Transfer," pp. 27 ~ 33, pp. 102 ~ 189
2. Chon M. S, Lee H. I, 2002, "From Continuum Mechanics to Finite Element Method", pp. 225 ~ 258
3. Daryl L. Logan, 1998, "The first step of Finite Element Method", pp. 471 ~ 518
4. Im J. S, 2007, "MATLAB 7, Matlab From 6.0 to 7.0", pp. 85 ~ 137, pp. 258 ~ 362, pp. 464 ~ 494
5. 2004, "HyperMesh 7.0 Tutorials", pp. 223 ~ 309
6. Seo J. S, Lee J. S, 2006, "STAR-CD learning with example V 3.22", pp. 24 ~ 80, pp. 81 ~ 152, pp. 215 ~ 230, pp. 233 ~ 265
7. 2006, "ABAQUS Analysis User's Manual, Heat transfer and thermal-stress analysis", pp. 6.5.1 ~ 6.5.5
8. Kim D. E, Heo D. E, Han G. N, Hwang Y. J, Lee S. S, and Ann J. J, 2006, "A Study on Thermal Deformation by Welding Heat imposed at Assembly of Excavator Rotation Part Body", *Proceeding of The KSME 2006 Fall Annual Meeting Paper Book*. pp37 ~ 41