

# 열-구조 연성해석에 의한 연료전지용 가습기 튜브의 굽힘부 안전성 평가

## The Stability Evaluation of Bending Part in the Tube for Heat Exchanger of Humidifier through the Thermal-Structural Interaction Analysis in MCFC Fuel Cell

\*김재호<sup>1</sup>, #오용민<sup>1</sup>, 김수택<sup>1</sup>, 김선화<sup>1</sup>, 마종환<sup>1</sup>, 김재식<sup>1</sup>

\*J. H. Kim<sup>1</sup>, #Y. M. Oh(petri@poscoenergy.com)<sup>1</sup>, S. T. Kim<sup>1</sup>, S. H. Kim<sup>1</sup>, J. W. Ma<sup>1</sup>, J. S. Kim<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>포스코에너지(주) 연료전지사업실

Key words : Humidifier, Heat Exchanger, Structural Stability, Interaction Analysis

### 1. 서론

MCFC 연료전지는 주로 발전용으로 널리 보급이 되어왔으며 현재는 선박용, 부하추진용 및 건물용 등에도 거의 사용화 단계에 근접해 있다. 이러한 연료전지 보급의 확산에 맞춰 각 단위장치들의 설계에 많은 연구가 이뤄지고 있다. 그중 가습기 내부 열교환 튜브의 굽힘 가공부에서 잔류응력(Stress Relieving)과 같은 강도저하 요인에 의해 균열(Crack) 및 변형(Deformation) 등이 발생하였다.

본 연구에서는 열-구조 연성해석(Thermal - Structural Interaction Analysis)을 적용하여 연료전지용 가습기 열교환 튜브의 굽힘(Bending) 가공부에서 잔류응력(Stress Relieving) 및 내압, 열에 의한 효과 등을 고려한 구조적 안정성을 평가를 수행하였다.

### 2. 열-구조 연성해석 절차

열-구조 연성해석을 위해 3차원 모델을 3D CAD 프로그램인 Inventor 2012 (Autodesk, Inc.)를 사용하여 구현하였으며, 범용 유한요소해석 프로그램인 Ansys Workbench 14.0 (ANSYS, Inc.)을 사용하여 해석모델구축 및 계산을 진행하였다. (Fig. 1)

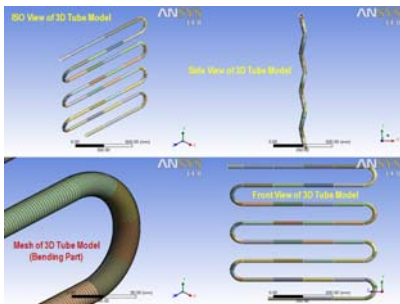


Fig. 1 Analysis Model of Tube for Heat Exchanger

해석 절차는 열해석(Thermal Analysis) 진행 후 획득한 데이터를 구조해석의 입력 데이터(Thermal Data)로 반영하여 연성해석을 수행하였다. 본 해석에서 사용된 열교환 튜브의 재질은 TP310S으로 가장 열교환기에 사용되는 가장 일반적인 소재이다. 열해석에 사용된 열물성(Thermal Properties)은 Table 1에 표기하였다. 해석조건은 대류와 전도를 고려하였으며, 외부온도(Ambient Temperature)는 700°C, 튜브 표면의 경막계수(Film Coefficient)는 19W/m<sup>2</sup>°C를 적용하였다.

Table 1 Thermal Properties of TP310S

Coefficient of Thermal Expansion (m/m°C)	Temperature (°C)
1.58E-005	100
1.62E-005	315
1.69E-005	540
1.91E-005	650
Thermal Conductivity (W/m°C)	Temperature (°C)
13.6	25
14.4	125
16.4	225

구조해석(Structural Analysis)은 열해석에서 획득한 결과데이터(Fig. 2)를 입력으로 반영하였으며, 사용된 물성치(Mechanical Properties)는 Table 2에 표기하였다. 특히 굽힘(Bending) 가공부분의 강도(Strength)는 실강도 대비 100%, 75%, 50% 수준을 영역(총 8개 영역으로 구분)에 따라 부과하였다. 해석조건은 튜브의 양 끝단을 완전고정(Fixed Support)하였으며, 자중(Dead Load) 및 최대 작동내압(Max. Internal Pressure of Normal Operating)인 50psi (0.34 MPa)를 부과하였다. (Fig. 3)

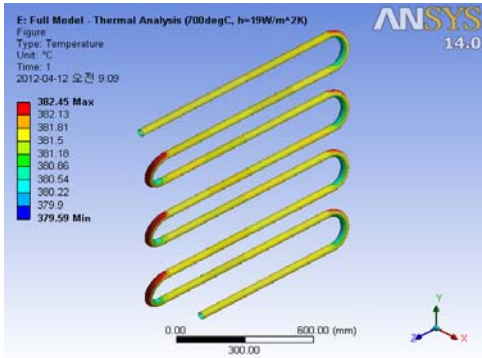


Fig. 2 Temperature Distribution of Humidifier Tube

Table 2 Mechanical Properties of TP310S

Temperature (°C)	Young's Modulus (MPa)	Bulk Modulus (MPa)
21	1.9512e+005	1.6260e+005
93	1.9030e+005	1.5858e+005
149	1.8616e+005	1.5513e+005
204	1.8271e+005	1.5266e+005
290	1.7789e+005	1.4824e+005
316	1.7444e+005	1.4536e+005
371	1.7099e+005	1.4249e+005
427	1.6616e+005	1.3847e+005
482	1.6203.e+005	1.3502e+005
538	1.5720e+005	1.3100e+005
593	1.5237e+005	1.2698e+005
649	1.4617e+005	1.2181e+005
Density (kg/m <sup>3</sup> )	Yield Strength (MPa)	Ultimate Strength (MPa)
8000	310	620

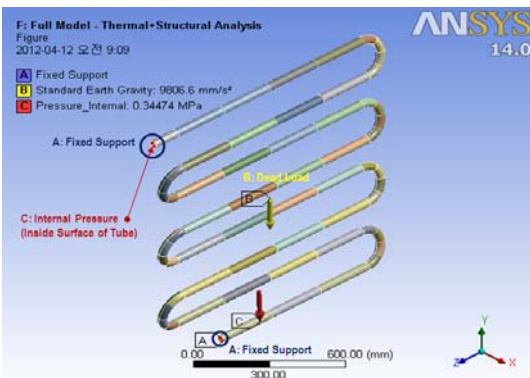


Fig. 3 Loading and Boundary Conditions of FEA

### 3. 해석결과 및 구조적 안정성 검토

열-구조의 연성해석 결과 굽힘 가공부에서 최소 6mm에서 최대 11mm의 변형(Deformation)이 발생하였으며, 이는 열해석 시 동 부위(Fig. 2)에서 382.4°C의 열에 의한 열변형율(Thermal Strain) 효과와 강도

저감효과의 복합적 작용에 의한 것으로 판단된다. 특히 구조적 특성 상 7개 부위의 굽힘 가공부 중 3번째 굽힘부에서 최대변형이 발생하며, 이는 실제 파단부위와 일치하는 것을 확인하였다. (Fig. 4)

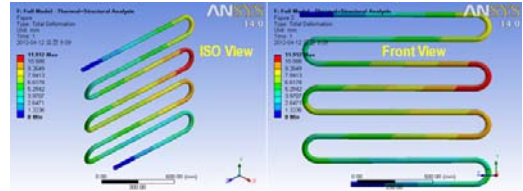


Fig. 4 Deformation of Tube with Thermal Strain

안전계수(Safety Factor)를 분석한 결과 각 굽힘 가공부에서 1~5 정도의 상대적으로 낮은 안전계수가 산출되어 구조적 안정성(Structural Stability)에 취약한 것으로 평가되어 강도보강이 필요한 것으로 판단되었다. (Fig. 5)

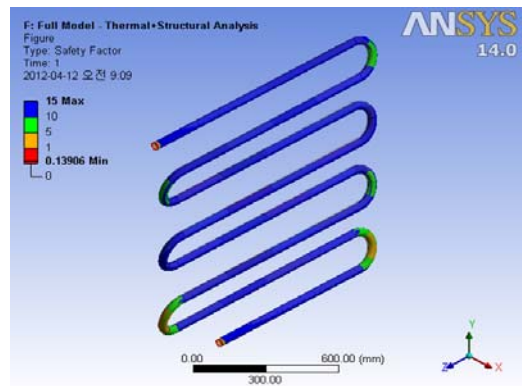


Fig. 5 Safety Factor of Tube for Heat Exchanger under Thermal and Structural Effect

## 4. 결론

본 연구에서는 연료전지용 가습기 열교환 튜브의 열과 구조적 효과를 고려한 안정성평가를 열-구조 연성 해석을 통해 진행하였다. 이를 통해 굽힘 가공부에서 상대적으로 균열과 변형에 취약함을 판단할 수 있었다.

## 후기

본 연구는 “지식경제부”, “한국산업기술진흥원”, “대경광역경제권 선도산업지원단”의 “광역경제권 선도산업 육성사업”으로 수행된 연구결과입니다.

## 참고문헌

1. D. Peckner and I. M. Bernstein, “Handbook of Stainless Steel,” McGraw-Hill Book, NY, 1997.